

170909

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARDEŞEN (RİZE) YÖRESİNİN HEYELAN DUYARLILIĞI AÇISINDAN
İNCELENMESİ

Jeoloji Yük. Müh. Ali YALÇIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.03.2005
Tezin Savunma Tarihi : 29.04.2005

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fikri BULUT
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Remzi DİLEK
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necdet TÜRK

[Handwritten signatures of the jury members]

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

[Handwritten signature of Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT]

Trabzon 2005

ÖNSÖZ

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

Bu doktora çalışması sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile çalışmamı yönlendiren Sayın hocam Prof. Dr. Fikri BULUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme komitesinde görev alarak çalışmalarına katkı sağlayan Prof. Dr. Remzi DİLEK ve Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Özellikle bu tez çalışmasının, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Dijital Fotogrametri ayağının hazırlanmasında her türlü teknik destek ve katkıda bulunan başta Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU olmak üzere, Dr. Selçuk REİS, Arş. Gör. Recep Nişancı, Arş. Gör. H. İbrahim İNAN'a ve diğer GISLab çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Dijital Fotogrametrik çalışmalarda her türlü yardımı gösteren Dr. Fevzi KARSLI ve Dr. Mustafa ATASOY'a şükranlarımı sunarım.

Çalışma ile ilgili GPS ölçümlerinin yapılmasında arazi çalışmalarına katılan Arş. Gör. Kamil TEKE'ye, jeofizik ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ'ye şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince beraber olduğumuz bölümümüzün değerli çalışanlarına ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını eksik etmeyen teknisyen Yakup YAVUZ'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarım esnasında bana her türlü destek veren Sayın İmdat SÜTLÜOĞLU'na ve Ardeşen Belediyesinin diğer çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın 2002.112.05.1 kod nolu proje ile desteklenmesini sağlayan KTÜ Araştırma Fonu kurumuna teşekkürlerimi bildirmeyi borç bilirim.

Bugünlere gelmemde her türlü fedakarlığı gösteren ve attığım her adımda desteklerini hissettiğim anneme, babama ve tez çalışmam süresince beni destekleyen, sabrını esirgemeyen ve yardımcı olan eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali YALÇIN

Trabzon 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Amaç	3
1.3. Çalışma Alanının Konumu.....	3
1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu.....	4
1.5. İklim ve Bitki Örtüsü Özellikleri.....	5
1.6. Ekonomik Durum.....	7
1.7. Literatür Çalışmaları.....	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	17
3. BULGULAR.....	19
3.1. Ardeşen Yöresinin Genel Jeolojisi.....	19
3.1.1. Bölgesel Jeoloji.....	19
3.1.2. Stratigrafi ve Petrografi	21
3.1.2.1. Hemşindere Formasyonu	21
3.1.2.2. İntrüsif Kayaçlar	33
3.1.2.3. Hamidiye Formasyonu	38
3.1.2.4. Alüvyonlar	39
3.2. Heyelan Duyarlılık Analizinde Temel Kavramlar	40
3.2.1. Duyarlılık haritası / analizi	40
3.2.2. Heyelan Duyarlılık Zonlanmasında Genel Eğilimler	41
3.2.2.1. Heyelan Dağılım Analizi	43
3.2.2.2. Kalitatif Heyelan Analizi	43
3.2.2.3. İstatistiksel Analiz	44

3.2.2.4.	Deterministik Analiz	45
3.2.2.5.	Heyelan Frekans Analizi	45
3.2.3.	Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	46
3.2.4.	Uzaktan Algılama	47
3.2.4.1.	Fotogrametri	48
3.2.4.2.	Fotogrametrik Sistemler	50
3.2.4.2.1.	Hava Fotoğrafi	50
3.2.4.2.2.	Fotogrametrik İşlem	51
3.2.4.2.3.	Fotogrametrik Ürünler	51
3.2.5.	Dijital Fotogrametri	53
3.2.5.1.	Dijital Fotogrametride Veri Toplama Yöntemleri	53
3.2.6.	Heyelan Duyarlılık Analizinde CBS ve Uzaktan Algılama	55
3.3.	Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler	59
3.3.1.	Heyelan Envanteri	60
3.3.2.	Litoloji - Ayrışma	68
3.3.3.	Arazi Örtüsü	76
3.3.4.	Eğim	83
3.3.5.	Bakı	87
3.3.6.	Jeoteknik Özellikler	89
3.3.6.1.	Makaslama Dayanımı	94
3.3.7.	Akarsulara Yakınlık Derecesi	100
3.3.8.	Drenaj Yoğunluğu	103
3.3.9.	Yola Yakınlık Derecesi	106
3.4.	Heyelan Duyarlılık Analizinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi	109
3.4.1.	Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Hiyerarşinin Kurulması	114
3.4.2.	AHY ile Önceliklerin Tespiti	114
3.4.2.1.	İkili Karşılaştırmalar Matrisi	116
3.5.	Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi	123
4.	SONUÇLAR	131
5.	ÖNERİLER	135
6.	KAYNAKLAR	137
7.	EKLER	148
	ÖZGEÇMİŞ	159

ÖZET

Bu araştırmada, can ve mal kayıplarına neden olan heyelanların sıkça meydana geldiği Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan Ardeşen (Rize) yöresi, heyelan duyarlılığı açısından incelenmiştir.

Ardeşen yöresinin 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak, yaşlıdan gence doğru; Hemşindere Formasyonu (Üst Kretase), Granitik Kayaçlar (Üst Maastrichtiyen), Hamidiye Formasyonu (Pliyo-Kuvaterner) ve Alüvyon (Kuvaterner) şeklinde sıralanan litostratigrafi birimleri tanımlanmıştır.

Gerek literatür araştırmaları ve gerekse arazi çalışmaları sonucunda; litoloji-ayırışma, eğim, bakı, arazi örtüsü, makaslama dayanımı, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu ve yola yakınlık parametrelerinin heyelan duyarlılık haritasının üretiminde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu katman haritaları arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Dijital Fotogrametri tekniklerinden yararlanılarak üretilmiştir. Ayrıca, bu katman haritalarının, meydana gelmiş heyelanlarla ilişkilerinin belirlenmesi için gerekli olan heyelan envanter haritası, Dijital Fotogrametri teknikleriyle üretilmiştir.

Veri katmanlarının her birinin ve katmanların alt gruplarının heyelan oluşumundaki etkilerini (ağırlıklarını) belirlemek için Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen katmanlar, ağırlıklarına göre değerlendirilerek analizler yapılmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen bu haritada, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecelerde heyelana duyarlı olmak üzere 5 zon ayrılmıştır. Heyelan duyarlılık derecelerinin alan ve yüzde dağılımları hesaplanmış ve çalışma alanının yaklaşık %28'inin heyelan tehdidi altında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan modellemenin gerçekte ne kadar uyduğunu görmek için, elde edilen heyelan duyarlılık haritası ile heyelan envanter haritası karşılaştırılmış ve yaklaşık %84'lük bir oranda örtüşme tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma alanındaki konutlar hava fotoğraflarından tek tek belirlenerek, bu konutların yaklaşık %30'unun heyelan duyarlılığı yüksek ve çok yüksek olan alanlar içinde kaldığı ve bu konutlarda yaşayan yaklaşık 2300 kişinin heyelan tehlikesi ile karşı karşıya olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Heyelan duyarlılık haritası, Heyelan envanter haritası, Coğrafi bilgi sistemleri, Dijital fotogrametri, Analitik hiyerarşi yöntemi

SUMMARY

An Investigation on Ardeşen (Rize) Region on the Basis of Landslide Susceptibility

In this study, the Ardeşen (Rize) area located in the north-eastern part of the Black Sea region, where frequently-occurring landslides loss of human lives and goods, are investigated with respect to landslide susceptibility.

1/10.000 scaled geological map of the Ardeşen area has been prepared, and, from bottom to the top of the sequence, the Hemşindere Formation (Upper Cretaceous), Granitic rocks (Upper Maastrichtien), the Hamidiye Formation (Plio-Quaternary) and alluvium (Quaternary) have been defined in the area.

As a result of literature and field studies, lithology-weathering-, slope-, aspect-, land cover-, shear strength-, proximity to stream-, drainage density- and proximity to road parameters were found to be effective during the production of the landslide susceptibility map. The layer maps have been produced based on field, laboratory and office studies, geographical information system and digital photogrammetry techniques. In addition, the landslide inventory map needed to define the relations between these layer maps and the previous landslides, has been produced by digital photogrammetry techniques.

Analytical Hierarchy Process has been used to determine the effect (weight) of each data layers and subgroups of the layers on the occurrence of landslides the obtained layers were evaluated according to their weights and analyzed, and then the landslide susceptibility map was produced. This map was divided into five zones based on the degree of susceptibility to landslides, identified as very low-, low-, medium-, high- and very high- risk zones. The field and percentage distributions have been calculated, and about 28% of the study area was found to be under the landslide risk. Furthermore, a comparison of the landslide susceptibility map and landslide inventory map carried out in order to check the validity of the finalized model, showed on overlap of about 84%. In addition, residences in the study area were determined by air photos and about 30% of them were found to be in the areas highly and very highly susceptible to landslide indicating that about 2300 persons living in these residences are under the landslide risk.

Key Words: Landslide susceptibility map, Landslide inventory map, Geographical information system, Digital photogrammetry, Analytical hierarchy process

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası	4
Şekil 2. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılım grafiği	7
Şekil 3. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılım grafiği	7
Şekil 4. Rize – Fındıklı – Çamlıhemşin yöresinin genelleştirilmiş dikme kesiti .	20
Şekil 5. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti	22
Şekil 6. Ardeşen ve çevresinin jeoloji haritası	23
Şekil 7. (a ve b) Hemşindere Formasyonu'na ait andezitlerin polarizan mikroskobtaki görünüşleri	25
Şekil 8. (a ve b) Bazaltın polarizan mikroskobtaki görünüşleri	26
Şekil 9. (a,b,c ve d) Hemşindere Formasyonu'na ait andezitik tüflerin mikroskobtaki görünüşleri	26
Şekil 10. (a ve b) Hemşindere Formasyonu'na ait dasitlerin polarizan mikroskobtaki görünüşleri	27
Şekil 11. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait riyodasitlerin polarizan mikroskobtaki görünüşleri.....	28
Şekil 12. (a,b,c ve d) Hemşindere Formasyonu'na ait riolitlerin polarizan mikroskobtaki görünüşleri	29
Şekil 13. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait dasitik tüflerin polarizan mikroskobtaki görünüşleri	30
Şekil 14. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait ince taneli tüflerin görünüşleri.	31
Şekil 15. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait kumtaşlarının görünüşleri	31
Şekil 16. (a,b,c ve d) Hemşindere Formasyonu'na ait tüfitlerin görünüşleri	32
Şekil 17. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait kireçtaşlarının görünüşleri	33
Şekil 18. Ardeşen ve çevresinin jeoloji kesitleri	34
Şekil 19. (a,b,c ve d) Hornblendli kuvarslı diyoritlerin polarizan mikroskobundaki görünüşleri	36
Şekil 20. (a ve b) Ojitli mikrogabro ve mikrogabroların polarizan mikroskobundaki görünüşleri.....	37
Şekil 21. (a ve b) Tonalitlerin polarizan mikroskobundaki görünüşleri	38
Şekil 22. Fırtına deresi boyunca yüzeyleyen Hamidiye Formasyonunun görünümü	39
Şekil 23. Hava fotoğrafı geometrisi	51
Şekil 24. Dijital görüntü	54
Şekil 25. Optik tarayıcı	55
Şekil 26. Digital fotogrametrik sistem ve değerlendirme çalışması	61
Şekil 27. İç yöneltme işlemi	62

Şekil 28.	Karşılıklı yöneltme işlemi	63
Şekil 29.	Mutlak yöneltmede kullanılan eski bir bina köşesi	63
Şekil 30.	Mutlak yöneltme için gerekli olan detay noktalarının arazide ölçülmesi	64
Şekil 31.	a- 1996 yılına ait hava fotoğrafı (heyelan öncesi), b- 2002 yılına ait hava fotoğrafı (heyelan sonrası)	65
Şekil 32.	Hava fotoğraflarından tespit edilen tipik heyelan görünümü	66
Şekil 33.	Ardeşen ve çevresinin heyelan envanter haritası	67
Şekil 34.	Çalışma alanında görülen farklı kayma yüzeyli heyelanlar	68
Şekil 35.	Ardeşen yöresinde görülen farklı ayrışma dereceleri	70
Şekil 36.	Ardeşen ve çevresinin litoloji - ayrışma haritası	71
Şekil 37.	RAMAC/GPR sistemi ile arazide yapılan ölçümler	74
Şekil 38.	Çalışma alanında Yer Radarı ölçümlerinden elde edilen kesitler	74
Şekil 39.	Orman alanları, kayalık ve çaylık alanların sınırlarının tespiti	77
Şekil 40.	Ardeşen ve çevresinin arazi örtüsü haritası	78
Şekil 41.	Fındıklık ve kayalık alanların görünümü	79
Şekil 42.	Yerleşim yerlerinin dağılımı	80
Şekil 43.	Orman alanları içerisinde yer alan çay bahçeleri	81
Şekil 44.	Heyelanların çaylık-orman alanı sınırında gelişiminin arazi ve hava fotoğrafındaki görünümü	82
Şekil 45.	Ardeşen ve çevresinin üç boyutlu görünümü	84
Şekil 46.	Ardeşen ve çevresinin eğim haritası	85
Şekil 47.	Ardeşen ve çevresinin bakı haritası	88
Şekil 48.	Ardeşen ve çevresinin örnek alım haritası.....	91
Şekil 49.	Örneklerin plastisite kartındaki dağılımı	93
Şekil 50.	Hava fotoğraflarından yamaç kesitlerinin üretilmesi	96
Şekil 51.	Stabilite hesaplamalarında kullanılan jeolojik kesit	96
Şekil 52.	Makaslama dayanımı parametrelerine göre güvenlik sayısı değerleri a) Güvenlik sayısı – efektif kohezyon grafiği, b) Güvenlik sayısı – efektif içsel sürtünme açısı grafiği	97
Şekil 53.	Eş efektif kohezyon ve eş efektif içsel sürtünme katsayısı haritalarıyla makaslama dayanımı haritasının üretilmesi	98
Şekil 54.	Ardeşen ve çevresinin makaslama dayanımı haritası	99
Şekil 55.	Ardeşen ve çevresinin akarsuya yakınlık haritası	101
Şekil 56.	Akarsu vadisinin etkilediği yamaçlarda oluşan heyelanlar	102
Şekil 57.	Arc\Info Hydro modülünde havza sınırlarının belirlenmesindeki akış şeması	104

Şekil 58.	Ardeşen ve çevresinin drenaj yoğunluk haritası	105
Şekil 59.	Yol kazılarının neden olduğu heyelanlar	106
Şekil 60.	Ardeşen ve çevresinin yola yakınlık haritası	108
Şekil 61.	Hiyerarşi Tasarımı	111
Şekil 62.	Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için oluşturulan hiyerarşi	115
Şekil 63.	Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde CBS fonksiyonları	125
Şekil 64.	Ardeşen ve çevresinin heyelan duyarlılık haritası	127
Şekil 65.	Hava fotoğrafından konutların sayısallaştırılması.....	129
Şekil 66.	Ardeşen ve çevresinin konut dağılım haritası	130
Ek Şekil 1.	Likit limit deney sonuçları için vuruş sayısı-su muhtevası grafikleri	148
Ek Şekil 2.	Kesme kutusu deney verileri ile elde edilen $\sigma - \tau$ grafikleri	152



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. 1975-2002 yılları arasında 27 yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı	6
Tablo 2. Heyelan duyarlılık analiz yöntemleri ve genel özellikleri	42
Tablo 3. Litolojik birimlere göre heyelanların alan ve yüzde dağılımları	72
Tablo 4. Ayırışma derecelerine göre birimlerin alan ve yüzde dağılımları	72
Tablo 5. Değişik ayırışma zonlarındaki heyelanların alanları ve yüzde dağılımları ...	73
Tablo 6. Çalışma alanının arazi örtüsü çeşitlerinin alan ve yüzde dağılımları	80
Tablo 7. Heyelanların arazi örtüsüne göre alanları ve yüzde dağılımları	81
Tablo 8. Çalışma alanındaki eğim gruplarının alan ve yüzde dağılımları	86
Tablo 9. Eğim gruplarına göre heyelanların alanları ve yüzde dağılımları.....	86
Tablo 10. Bakı değerlerinin çalışma alanındaki alan ve yüzde dağılımları	89
Tablo 11. Bakı yönlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları	89
Tablo 12. Yıkamalı elek analiz sonuçları	90
Tablo 13. Kıvam limitleri deney sonuçları	92
Tablo 14. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre grup sembolleri ve plastisite özellikleri	93
Tablo 15. Zemin örneklerinin jeoteknik özellikleri	95
Tablo 16. Makaslama dayanımı değerlerinin alan ve yüzde dağılımları	100
Tablo 17. Makaslama dayanım değerlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları	100
Tablo 18. Akarsulara göre oluşturulan tampon bölgelerin alanları ve yüzde dağılımları	102
Tablo 19. Akarsuya yakınlık değerlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları .	103
Tablo 20. Drenaj havzalarının alan ve yüzde dağılımları	104
Tablo 21. Drenaj havzalarına ait alan, akarsu uzunluğu ve yoğunluk değerleri ile bu alanlara ait heyelanların alan ve yüzde dağılımları	106
Tablo 22. Yola yakınlık değerlerine göre oluşturulan tampon bölgelerin alan ve yüzde dağılımları	107
Tablo 23. Yola yakınlık değerlerine göre heyelanların alan ve yüzde dağılımları	107
Tablo 24. AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği	113
Tablo 25. Makaslama dayanımı değerlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	116
Tablo 26. Eğim gruplarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	117

Tablo 27.	Ayrışma grupları ve her bir grubunun heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	118
Tablo 28.	Arazi örtüsü türlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	118
Tablo 29.	Bakı gruplarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	118
Tablo 30.	Akarsuya olan yakınlık değerlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	119
Tablo 31.	Drenaj havzalarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	120
Tablo 32.	Yola olan yakınlık değerlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri .	120
Tablo 33.	Veri katmanlarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	121
Tablo 34.	Eleman sayısına göre rastgele indeks değerleri	122
Tablo 35.	Veri katmanları ve alt kriterlerin ağırlık değerleri	124
Tablo 36.	Heyelan duyarlılık zonlarının alan ve yüzde dağılımları	126
Tablo 37.	Konutların heyelan duyarlılık zonlarındaki dağılımları	129
Ek Tablo 1.	Plastik limit deney sonuçları.....	157



SEMBOLLER DİZİNİ

D	: Tarama aralığı
F	: Güvenlik sayısı
L.L., W _L .	: Likit limit
P.I.	: Plastisite indisi
P.L., W _p .	: Plastik limit
R	: Milimetredeki çizgi çifti sayısı
$R\bar{I}$	: Rastgele indeks
S	: Uygunluk
$T\bar{I}$	: Tutarlılık indeksi
TO	: Tutarlılık oranı
W	: Katman ağırlığı
X	: Alt kriter ağırlığı
c'	: Efektif kohezyon (kg/cm^2)
n	: Porozite (%)
n	: Eleman sayısı
σ	: Toplam gerilme (kg/cm^2)
ϕ'	: Efektif içsel sürtünme açısı (derece)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_s	: Tane birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
$\lambda_{\max}$	: Maksimum özdeğer

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Her geçen yıl, nüfusun artması, yerleşim yerlerinin bilinçsizce genişlemesi ve insanların ekonomik seviyelerinin iyileşmesi sonucu gelişen ve endüstrileşen ülkelerde, doğal felaketlerin etkileri çok önemli derecede artış göstermiştir. Doğal felaketlerden öldürücü olanlarının yaklaşık % 95'ini kütle hareketleri, özellikle heyelanlar oluşturmaktadır (Hansen, 1984; Chung ve diğerleri, 1995). Heyelanlar, ülke ekonomilerine direkt ya da dolaylı olarak büyük zarar veren doğal olaylardan biridir. Çok çatlaklı kaya kütleleri, yamaç molozu ya da zemin kütlelerinin belirli bir yüzey boyunca yamaç aşağı doğru hareketi olarak tanımlanan heyelanlara yoğun yağış, deprem dalgaları, su seviyesindeki değişiklikler ya da hızlı dere yatağı erozyonları gibi doğal faktörler sebep olmaktadır. Bunlara ilave olarak, gerekli mühendislik çalışmaları yapılmadan yerleşime açılan yamaç ve engebeli arazilerde yapı inşası, bitki örtüsünün tahrip edilmesi, değişik amaçlı kazılar vb. heyelanların oluşumunu tetikleyen önemli faktörlerdir.

Endüstrileşen toplumlar, doğal riskleri azaltmada köklü önlemlerin alınması için yatırım yapmakta çoğunlukla isteksiz davranmaktadırlar. Önlemlerin alınmaması, doğal afetlerde büyük kayıplarla sonuçlanmış ve bunun sonucu olarak, uzun periyotta pahalı arazi stabillite projeleri için harcama yapmadan, can ve mal kaybını minimuma indirmek için arazi kullanım düzenlemesi ve uyarı sisteminin yapılması düşünülmeye başlanmıştır. Dünya genelinde hükümetler ve araştırma enstitüleri heyelan tehlike ve risklerini değerlendirmek için geniş çaplı araştırmaya girmiş ve heyelanların alansal dağılımları haritalanmaya başlanmıştır. Heyelan duyarlılık analizinde çok farklı metotlar önerilmiş ve uygulanmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinin değerlendirilmesinin yanında bu haritaların güvenilirliği ve kriterleri tam anlamıyla bir çerçeveye oturtulamamıştır. Jeomorfolojik bilgilerin tanımlanması kişiden kişiye büyük farklılıklar göstermesi nedeniyle konunun uzmanı olan mühendis, idareci ve plancıların arazi kaynaklarını birlikte planlanması gerekmektedir. Böylece uygun olmayan arazi kısımları belirlenerek oluşabilecek jeolojik tehlikeler azaltılmış olacaktır (Guzzetti ve diğerleri, 1999).

Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmaktır. Doğal tehlike haritaları (Natural hazard mapping) geçmişte

meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal olayların oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte böyle doğal olayların oluşumlarının tahmin edildiği bilgileri içerir (Varnes, 1984).

Duyarlılık haritalarının üretilmesinde literatürde yapılan çalışmalarda, Sayısal Arazi Modeli – SAM (*Digital Elevation Model-DEM*), jeoloji, jeomorfoloji, arazi kullanımı, topoğrafya, drenaj ağları (Temesgen, 2001), jeoteknik parametreler, ana fay zonlarına yakınlık, arazi kotu, eğim, bitki örtüsü, yamacın zirvesinden olan uzaklık, yol ağlarının yoğunluğu, yeraltı suyu (Pachauri ve Pant, 1992; Dai ve diğerleri, 2001), süreksizlikler (Anbalagan, 1992; Anbalagan ve Singh, 1996), kohezyon ve içsel sürtünme açısı (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Moo ve Blackstock, 2004) gibi parametreler kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan metot, teknik, prensipler ve kavramların değerlendirildiği birçok çalışma literatürde yer almaktadır (Carrara, 1983, 1992, 1995; Brabb, 1984; Crozier, 1984, 1986; Hansen, 1984; Varnes 1984; Einstein, 1988; van Westen, 1993, 1994; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Pachauri ve diğerleri, 1998; Guzzetti ve diğerleri, 2000; Nagarajan ve diğerleri, 2000; Dai ve diğerleri, 2001; Lee ve Min, 2001; Parise, 2001; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu ve diğerleri, 2004; Lee ve diğerleri, 2004).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında gelişen teknoloji ile birlikte çok önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri – CBS (*Geographical Information Systems-GIS*) ve Uzaktan Algılama – UA (*Remote Sensing-RS*) teknikleri bu tür haritaların hazırlanmasında çok büyük avantajlar sağlamıştır. Uzaktan Algılama teknikleri kullanılarak veriler kısa zamanda ve kolayca toplanıp analiz edilebilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak çok karmaşık ve veri hacmi yüksek olan verilerin depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi gibi işlemler kısa zaman içerisinde mümkün olabilmektedir. Uzaktan Algılama tekniklerinin kullanımıyla kolayca elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri yardımıyla istatistiksel ve matematiksel kriterlere göre analiz edilmekte ve depolanmaktadır. Dolayısıyla Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi sistemleri yakın ilişki içerisinde. Artık günümüzde yapılan çalışmalarda da bu yöntemler kullanılmaktadır (Carrara, 1992, 1995; Anbalagan 1992; Anbalagan ve Singh, 1996; van Westen, 1993, Miles ve Ho, 1999; Guzzetti ve diğerleri, 2000; Nagarajan ve diğerleri, 2000; Temesgen, 2001; Dai ve diğerleri, 2001; Dai ve diğerleri, 2002; Lee ve Min, 2001; Parise, 2001; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu ve diğerleri, 2004; Frattini ve diğerleri, 2004; Lee ve diğerleri, 2004; Lan ve diğerleri, 2004; Perotto-Baldiviezo ve diğerleri, 2004).

1.2. Amaç

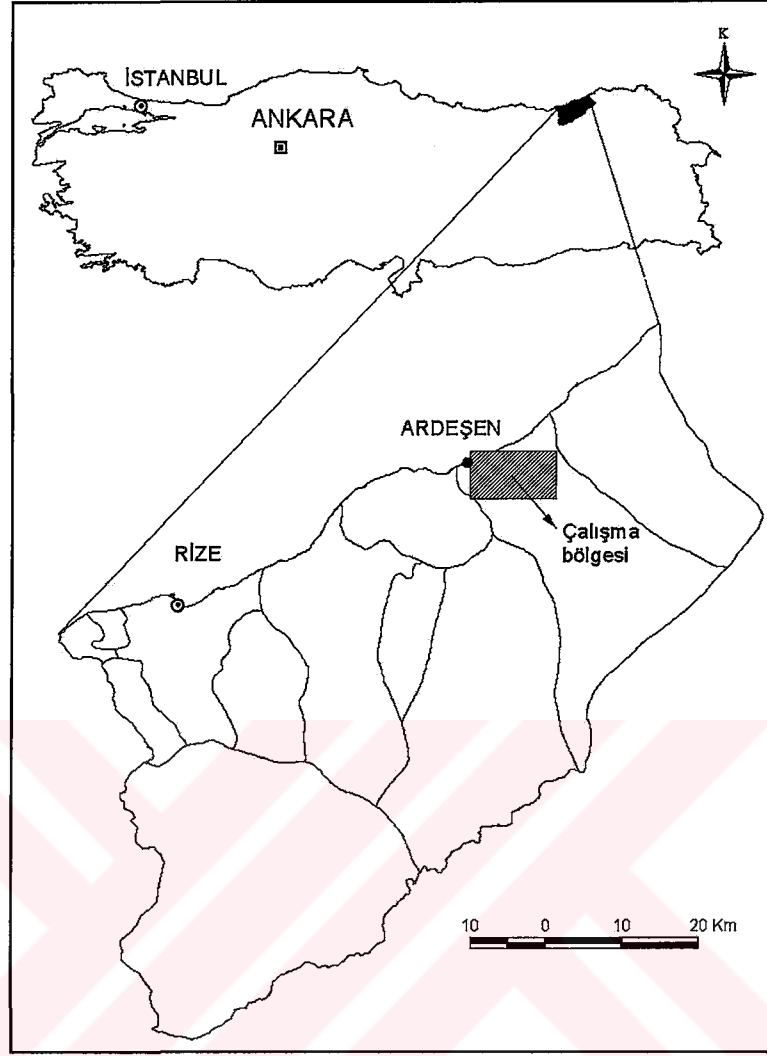
Dünyada olduğu gibi ülkemizde de her yıl can kayıplarına ve genellikle büyük ekonomik zararlara yol açan çok sayıda heyelan meydana gelmektedir. Özellikle Türkiye'nin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesinde heyelanlar sıkça meydana gelmektedir.

Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz Bölümünde bulunan Rize yöresi, jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları açısından heyelan oluşumuna uygun bir yöredir. Nitekim, daha önceki yıllarda da sıkça olduğu gibi Kasım 2001'de meydana gelen şiddetli yağışlar nedeniyle il genelinde çok sayıda heyelan oluşmuş, buna bağlı olarak can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Özellikle Ardeşen ilçesinde meydana gelen heyelanlar yörede büyük ekonomik kayıplar meydana getirmiştir. Bu yörede heyelan tehlikesi hala devam etmektedir. Bu nedenle Ardeşen yöresinde ayrıntılı heyelan araştırmaları yapılarak heyelan açısından tehlikeli alanların belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu araştırmada, Karadeniz Bölgesinin en fazla heyelana maruz kalan bölümü olan Doğu Karadeniz'de, Rize ilinin Ardeşen ilçesinde yerleşim yerlerinin yoğun olduğu merkezleri de kapsayan bir alanda heyelan duyarlılık analizi yapılarak, heyelan açısından tehlikeli alanların belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, ayrıca, yeni yerleşim yerlerinin belirlenmesi, alt yapı çalışmaları ve diğer mühendislik yapılarının inşasında bölgesel ya da lokal planların hazırlanması için kullanılabilecek bir altlık oluşturulması amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı 1/25000 ölçekli STH (Standart Topoğrafik Harita)'da Artvin – F46 – d1 ve Artvin – F45 – c2 paftalarında, 41°09'54" ve 41°12'04" paralelleri ile 40°57'17" ve 41°06'39" boylamları arasında yer alan Rize ili Ardeşen ilçesi sınırları içerisinde yaklaşık 50 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası

1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

Ardeşen ilçesi, Rize ilinin doğusunda merkezden yaklaşık 48 km. uzaklıkta sahilde kurulmuş bir yerleşim birimidir. İlçe merkezinden Rize-Hopa devlet karayolu geçmektedir. Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) sınır kapılarının açılması ve serbest girişin sağlanması sonucu mevcut Devlet Karayolu yetersiz duruma gelmiştir. İlçenin grup yolu niteliği taşıyan üç yolu vardır. Bunlardan Ortaalan grup yolu kısmen beton yapılmış, diğer kısmı ise stabilize olup betonlaşma çalışmalarına devam edilmektedir. İkinci grup yolu niteliği taşıyan ve birçok köylerin ulaşımının sağlandığı Tunca grup yolu stabilize olup, çok az bir bölümü betonlanmıştır. Üçüncü grup yolu niteliğindeki Duygulu grup yolu bir kısmı Çamlıhemşin

devlet karayolu üzerinde olup, diğer kısımları stabilize ve betondur (Ardeşen Kaymakamlığı, 2002).

Ardeşen, doğuda Artvin, güneyde Erzurum ve Bayburt, batıda Trabzon ve kuzeyde Karadeniz ile çevrili olan Rize ilinin nüfusu en fazla olan ilçesidir. Genel olarak engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Deniz kenarlarındaki vadi ağızları, özellikle Fırtana vadisi, dışında hemen hemen düzlük alan yoktur. Kıyı kuşağının darlığı ve yer ihtiyacı, tarihi süreç içinde kıyının doldurulması olgusunu beraberinde getirmiştir. Kent kıyılarında çok büyük bir alanı oluşturan dolgu alanları, blok ve molozlarla doldurulmuş, kum ve çakıl ile tesviye edilerek kullanıma sunulmuş alanlardır.

Kentleşme hareketlerinin geliştirdiği sosyo-ekonomik yaşantı göç hareketlerini etkilemiştir. Kent merkezlerine doğru göçün artması, merkez dışında, iskana hazırlıksız, altyapısı olmayan alanlara yerleşimi zorlamıştır. Doğu Karadeniz Bölümünün genelinde olduğu gibi Ardeşen ilçesi içinde, nüfusun dağılımını belirleyen temel faktör yer şekilleridir. Yerleşime elverişli düz alanların az bulunması, yerleşim merkezlerinin sahil şeridinde ve akarsu vadilerinde kurulmasını zorunlu kılmıştır. Diğer taraftan arazinin çok engebeli olmasının yanı sıra birtakım sosyo-ekonomik nedenler, köylerde yerleşim biçiminin dağınıklığına sebep olmuştur. Evler çoğunlukla birbirinden uzak olup, her ailenin konutu kendi arazisi içerisinde kurulmuştur (Rize Valiliği, 2001).

Çalışma alanındaki yerleşim yerleri Ardeşen ilçe merkezi, Kahveciler, Başmahalle, Gündoğan, Armağan, Ortaalan ve Pirinçlik köyleri ve buna bağlı mahallelerdir.

1.5. İklim ve Bitki Örtüsü Özellikleri

Türkiye'nin en çok yağış alan ili olan Rize'de yıllık toplam yağış miktarı 2300 mm' nin üzerinde olup, yağışlar her mevsime dengeli olarak dağılmıştır. Bu nedenle Rize ili genelinde kurak mevsim yoktur. En az yağış alan ilkbaharın toplam yağış miktarı kuraklık sınırının çok üstündedir.

Rize ili güneyinde 3000 m. yüksekliğindeki sıradağların varlığı, Doğu Anadolu tarafından gelebilecek soğuk havayı kesmektedir. Dolayısıyla bu sert hava, Rize dağlarını aştıktan sonra kıyıya doğru inerken ısınır ve kıyıya ulaştığında bu bölgede sıcaklıkların yükselmesine yol açar. Güneyden gelen bu akım, yörede kış sıcaklık değerlerinin aşırı düşüş göstermesini önlemektedir.

Mevsimlere göre değişmekle birlikte yörede nem oranı her zaman %75'in üzerindedir. Yılın 150 günü kapalı, 163 günü bulutlu geçmektedir. Açık gün sayısının az olması özellikle Rize ili kıyı şeridindeki yerleşim yerlerinde güneş enerjisinden yararlanma imkanını en aza indirmiştir (Rize Valiliği, 2001).

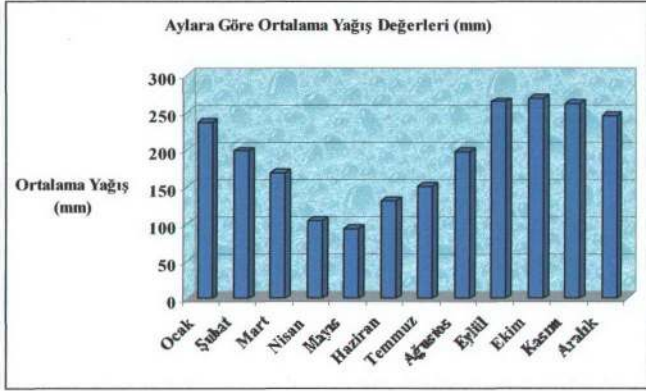
Ardeşen yöresinde yazları serin, kışları ılıman ve her mevsimi yağışlı Karadeniz İklimi görülür. Pazar ilçesi meteoroloji gözlem istasyonundan alınan 27 yıllık rasat sonuçlarına göre, en soğuk ay olan Şubat ayının sıcaklık ortalaması 6.7 °C; en sıcak ay olan Temmuz ayının ortalaması ise 22.2 °C'dir. Minimum sıcaklık değeri -5.6 °C ile Ocak ayında, maksimum sıcaklık değeri ise 32.5 °C ile Temmuz ayındadır. Dolayısıyla yöredeki yıllık sıcaklıkta değişim miktarı 25.8 °C'dir.

Çalışma alanına en yakın meteoroloji gözlem istasyonundan sağlanan 27 yıllık ölçüm sonuçları Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerden, ortalama yağış ve sıcaklık değeri Tablo 1'de verilmiştir ve bu değeri aylara göre dağılım grafikleri de Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

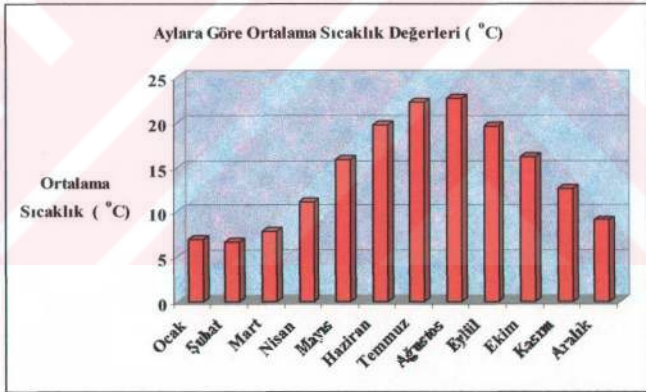
Tablo 1. 1975-2002 yılları arasında 27 yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değeri aylara göre dağılımı

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Yağış (mm)	236.8	198.1	168.6	105.0	94.3	131.9	151.4	197.1	264.2	269.1	260.8	245.9	2323.2
Sıcak. (°C)	7.0	6.7	7.8	11.1	15.8	19.7	22.2	22.6	19.5	16.1	12.6	9.1	(Ort.) 14.2

Çalışma alanında, bitki örtüsünün büyük kısmını çay bahçeleri oluşturmaktadır. Tarımsal faaliyetler açısından da çay yörede önemli yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra, az miktarda bulunan fındık bahçeleri, bitki örtüsü olarak değerlendirilebilen diğeri bir sınıfı oluşturmaktadır. Bunların dışında kayın, gürgen, kızılğaç ve karağaç gibi ağaç türlerinden oluşan ormanlıklar mevcuttur. Bu ormanlıklar genel olarak Karadeniz makisi denilen karayemiş ve orman gülünden oluşan zengin alt flora ile örtülüdür.



Şekil 2. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılım grafiği



Şekil 3. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılım grafiği

1.6. Ekonomik Durum

İlçede 2 adeti Çaykur'a, 7 adeti ise özel şirket'e ait toplam 9 adet çay fabrikası ve bir adet Ardeşen Silah Sanayi A.Ş. (ASİLSAN) adında silah fabrikası bulunmaktadır. Yöre

insanı bu fabrikalarda iş yoğunluğuna göre gerek mevsimlik gerekse sürekli olarak çalışmaktadır.

Tarımda yetiştirilen ürünler dikkate alındığında, 60 000 ton/yıl gibi bir değerle yaş çay üretimi ilk sırayı almaktadır. Diğer tarım ürünlerinden bazılarının miktarları da şöyledir; fındık 200 ton/yıl, kivi 100 ton/yıl, turunçgiller 300 ton/yıl, sebze-mısır 1100 ton/yıl.

Ayrıca büyük ve küçük baş hayvancılık, arıcılık, kültür balıkçılığı yörenin diğer ekonomik getirisi olan faaliyetlerdir (Ardeşen Kaymakamlığı, 2002).

1.7. Literatür Çalışmaları

Einstein (1988), "Special lecture: Landslide risk assessment procedure" isimli çalışmasında; heyelan risk haritalamasında kullanılan kavramların (danger, hazard, risk gibi.) tanımlamasını yaparak bu haritaların yapılma yöntemlerinden bahsetmektedir. Ayrıca bu çalışmada, risk haritalarının yapılması için gerekli olasılık hesaplamalarının nasıl olması gerektiği ifade edilmektedir.

Korkmaz ve Gedik, (1988), "Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol oluşumları" isimli araştırmalarında, inceleme alanının jeolojik ve stratigrafik ilişkisini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, ana kayalarda yaptıkları organik jeokimyasal analizlerle, bölgede iyi bir ana kaya fasiyesinin gelişmediğini belirlemişlerdir. Bunun yanı sıra, Çayeli'nde denizde bulunan petrol sızıntılarının, Karadeniz'in tabanında bulunan tortul serilerden oluşmuş petrolün aktif faylar ve kırık hatları boyunca yüzeye çıkmasıyla açıklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Gupta ve Joshi (1990), "Landslide hazard zoning using the GIS approach- a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas" isimli makalelerinde; Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak heyelan tehlike ve risk analizi için bir teknik geliştirilmiş ve Aşağı Himalayalarda Ramganga alanına uygulanmıştır. Bu çalışmada, litoloji, arazi kullanımı, ana tektonik hattan olan uzaklık gibi parametreleri kullanarak 522 heyelan için 4 adet alt bölge seçilmiş ve her bir bölge için heyelan nominal risk faktörü (landslide nominal risk factor – LNRF-) tanımlanmıştır. Önemli faktörlerin her biri için LNRF tanımlanmış ve parametreler farklı ağırlık değerlerine göre sınıflandırılarak risk sınıflamasına gidilmiştir.

Carrara ve diğerleri (1992), "Uncertainty in assessing landslide hazard and risk" adlı çalışmalarında; heyelan tehlike ve risk değerlendirilmesi için gerekli olan tüm aşamalar

tanımlanarak haritalanmıştır. Farklı araştırmacılar tarafından yada farklı yöntemlerle yapılan heyelan haritalarının karşılaştırılması yapılmıştır. İncelenen alanın belirli alanlara bölünmesi ve bu bölünmüş alanlara göre verilerin toplanması ile haritalamadaki hataların büyük ölçüde azaltılabileceği vurgulanmıştır. Araştırmacılar, uygulamalarında CBS yardımıyla istatistiksel kantitatif yaklaşımı kullanmışlar ve sonuç haritasını üretmişlerdir.

van Westen (1993), "Remote sensing and geographic information systems for geological hazard mitigation" adlı çalışmada, Birleşmiş Milletlerin 1990-2000 tarihleri arasında "Uluslararası On Yıllık Doğal Felaketleri Azaltma" konulu toplantısında alınan kararlar doğrultusunda, Bangladeş'teki sel tehlikeleri ve And Dağlarındaki heyelan tehlikeleri için önlemler alınması kararlaştırılmıştır. Bu bölgelerdeki sel ve heyelan tehlikelerinin etkilerini azaltmak için ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Science) bünyesinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, Uzaktan Algılama ve CBS teknikleri kullanılıp, gerek arazi verileri gerekse uydu görüntülerinin analizleri yapılarak sonuçlara gidilmiştir.

Ayday ve Ulusay (1993), "CBS ile mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanması" isimli araştırmalarında, daha önce yapmış oldukları çalışmalardan elde ettikleri jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritalarındaki jeolojik birimlerin sınırlarını, örnek alınan yerleri, yapısal unsurları ve jeomekanik laboratuvar test sonuçlarını sayısallaştırarak ve CBS'nin sorgulama yeteneğini kullanarak mühendislik jeolojisi ile ilgili problemlere yardımcı olabilecek değişik haritalar elde etmişlerdir.

Fell (1994), "Landslide risk assessment and acceptable risk" başlıklı makalesinde; heyelan risk değerlendirmesinde, risk ve tehlike tanımlarının yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Uygun risk tanımı farklı araştırmacılar tarafından tartışılmış, heyelanın doğal olarak oluşması yada insanların etkisiyle oluşan kaymalara bağlı olarak uygun özel risk kavramı önerilmiştir. Kalitatif ve kantitatif risk tanımı yapılarak heyelan yada moloz akması tarafından etkilenen alanlarda risk değerlendirilmesinin kullanımı örnek olarak verilmiştir. Birinci örnekte Newcastle'de kömür işletme sahasında heyelan çalışmaları yapılmış, buradaki araştırmalarda arazi çalışmaları ve görüntüleme ile detay bilgiler elde edilmiştir. Heyelanların yağmurlarla ilişkileri değerlendirilerek yağmurla birlikte piezometrik seviye değişimi izlenmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek belirlenen gözlem noktalarındaki heyelanlar, kayma olasılığı, her bir noktanın hassasiyeti ve bu noktalardaki can ve mal kayıpları değerlendirilerek özel risk tanımlaması yapılmıştır. İkinci örnekte yine aynı şekilde Melbourne'de meydana gelen moloz akması incelenmiştir. Burada tespit edilen gözlem

noktalarındaki parametreler aynı şekilde değerlendirilerek özel risk tanımlanması yapılmış ve yüksek-orta riskli, orta-düşük riskli, düşük-çok düşük riskli olmak üzere heyelan risk sınıflandırılması yapılmıştır.

Hutchinson (1995), "Keynote paper: Landslide hazard assessment" adlı çalışmada; heyelan tehlikelerini tanımladıktan sonra, heyelanlarla ilişkili ana fiziksel faktörlerin özelliklerini açıklamıştır. Farklı heyelan tiplerini tanımladıktan sonra var olan heyelan tehlike analizlerinin bölgesel ölçekte tanımlanmasını ve tartışmasını yapmıştır. GIS yardımıyla Uzaktan Algılama ve indirekt yöntemleri kullanarak analizlerde en doğru sonuca yaklaşılabileceğini ifade etmiştir.

Terlien, van Asch ve van Westen (1995), "Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment" konulu araştırmalarında; CBS ve deterministik modelde, raster veri kullanımıyla iki boyutlu deterministik hidrolojik model uygulanmıştır. Deterministik heyelan tehlike zonlanmasına bir tane Kosta Rika, iki tanede Kolombiya'dan olmak üzere üç örnek sunulmuştur. Kosta Rika'daki örnekte, farklı yağmur fırtınasında farklı zemin türleri için zeminin üst kısmındaki asılı su tablası yüksekliğinin hesabı bir boyutlu yüzeysel hidrolojik model kullanılarak yapılmıştır. Kolombiya'daki birinci örnekte, 20 yıllık periyot için, geçirimsiz rezidüel zeminlerin üzerindeki volkanik küllerin oluşturduğu farklı yamaçlarda, iki boyutlu hidrolojik model kullanılarak maksimum yer altı su seviyesi hesaplanmıştır. İkinci örnekte ise, üç boyutlu hidrolojik model kullanılarak CBS'de yer altı suyunun yağmurlu bir sezon boyunca değişimi saptanmıştır. Bir ve ikinci örnekte güvenlik faktörleri ve kayma olasılıklarının alansal dağılımlarını gösteren haritaları elde etmek için stabilite hesaplamalarında hidrolojik hesaplamaların sonuçları kullanılmıştır. Üçüncü örnekte ise, hesaplanan yer altı suyu seviyeleri şev stabilite modellerinde kullanılarak, her bir şev profili boyunca güvenlik faktörü hesaplanmıştır.

Anbalagan ve Singh (1996), "Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains- a case study from Kumaun Himalaya, India" isimli çalışmalarında; heyelanların insan yaşamı, arazi, yollar, binalar ve diğer özellikler üzerindeki zararlarını ve tehlikelerini değerlendirmek için sistematik şekilde çalışıldığı vurgulanmıştır. Risk terimi, tehlike olasılığının bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve risk analiz haritalamasında Risk Analiz Matrisi (Risk Assessment Matrix–RAM) kullanılarak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir.

van Westen ve diğerleri (1997), " Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-bases hazard zonation" adlı araştırmalarında; CBS destekli heyelan

tehlike analiz uygulamalarında kullanılacak veri ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Farklı yöntemlerin uygulanmasında hangi özelliklerin nasıl değerlendirileceği özetlenmiştir.

Borga ve diğerleri, 1998; "Shallow landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data" başlıklı araştırmalarında; Kuzey İtalya'da yer alan Cordon bölgesinde dağlık bir alanın yüksek çözünürlüğe sahip sayısal arazi modeli verileri elde edilerek sığ heyelanların oluşmasında topoğrafik etkinin analizi için bir model geliştirilmiştir. Model, çok eğimli alanlarda yüzey topoğrafyasındaki hidrolojik etkilerden dolayı sığ heyelanların oluşum mekanizmasını tanımlamaktadır. Model iki kısımdan oluşmaktadır; sığ yüzeyaltı akışları için sabit durum modeli, sonsuz şevlerde kaymanın olduğu durumdaki zeminin kohezyonsuz kabul edildiği Coulomb kayma modeli. Heyelan izlerinin tespitinde, stabilitesiz alanların kayıtları ve tahmini yapılan alanlar ile gözlemlenen alanların karşılaştırılmasının yapıldığı test modelleri kullanılmıştır. Aynı topoğrafik kontrol bölgeleri içinde heyelan alanlarının dağılımı, bu modelde dikkate alınmayan zeminin dirençleri ve geçirimsizlik katsayısı yersel değişiklik göstermesine rağmen model ile yeniden ortaya konan heyelan alanlarının dağılımı çok büyük oranda uygunluk gösterdiği ifade edilmiştir.

Rigol ve Chica-Olmo (1998), "Merging remote-sensing images for geological-environmental mapping: applicatoion to the Cabo de Gata-Nijar Natural Park, Spain" adlı çalışmalarında; İspanya'da jeolojik, ekolojik ve çevresel özellikleri mükemmel olan bir doğal parkın Uzaktan Algılama verilerinin kullanımıyla jeolojik-çevresel haritaları hazırlanmıştır. Yörede on sene öncesine kadar maden çalışmaları yapılmış ve bu maden alanı, terkedilmiş saha ve tüm alanla ilgili litolojik ayrımlar yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, çalışma sahasının jeolojik ve çevresel haritasının hazırlanmasında yüksek çözünürlüğe sahip görüntülerin çeşitli Uzaktan Algılama teknikleri ile işlenerek, maden aktivitelerinin çevredeki etkileri araştırılmıştır. Bu verilerin elde edilebilmesinde, farklı konumsal çözünürlükteki Uzaktan Algılama görüntülerinin birleştirilmesiyle çok daha veri üretilmiştir. SPOT pankromatik ve Landsat TM gibi görüntüler jeolojik ve çevresel çalışmalarda Uzaktan Algılamaya dayanan iki önemli veri kaynağı olarak ifade edilmiştir. SPOT pankromatik ve Landsat TM verileri kendi içinde çeşitli metotlarla birleştirilerek yeni görüntüler üretilmiştir. Bu çalışmada bunların analizi ve çok kullanışlı bazı metotların karşılaştırılması, detay jeolojik-çevresel çalışmalarda en uygun metodun seçimi ve bu metodolojinin seçilen doğal parka uygulanması amaç edinilmiştir.

Yılmaz ve diğerleri, (1998), "Rize ilinin çevre jeolojisi" isimli araştırmalarında, Rize ilinin genel jeolojik özellikleri tespit ederek il genelinin 1/100000 ölçeğinde jeoloji haritası üretilmiştir. Bunun yanı sıra ilin, jeomorfoloji, hidrojeoloji, su ve toprak kirliliği, mühendislik jeolojisi, depremselliği ve alternatif enerji kaynakları gibi özellikleri ile çalışmalar yapılmıştır.

Aleotti ve Chowdhury (1999), "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives" adlı çalışmalarında; heyelan tehlike analizlerinde kullanılan yöntemler özet şekilde anlatılmıştır. İlk olarak heyelanların öneminden ve etkisinden bahsedilmiştir. Heyelan tehlike analizlerinde, tehlike zonlanması yapılırken nelere dikkat etmek gerektiği anlatılmaktadır. Daha sonra verilerin güvenilirliğinden, yani veri toplama, depolama ve seçiminde nelere uyulması gerektiği vurgulanmaktadır. Heyelan tehlike analizlerinde uygulanan yöntemler kalitatif ve kantitatif diye ikiye ayrıldıktan sonra, bunlar özet şekilde açıklanmıştır. Son olarak da bu yöntemlerin uygulamadaki avantaj ve dezavantajları ve verimli şekilde uygulanabileceği harita ölçekleri ve bu yöntemlerdeki CBS'nin rolü tablo halinde özetlenmiştir.

Parise ve Wasowski (1999), "Landslide activity maps for landslide hazard evaluation: three case studies from southern Italy" başlıklı çalışmalarında; Güney İtalya'da seçilen alanlarda kütle hareketleri tehlikelerinin değerlendirilmesi için heyelan aktivite haritaları yapılmıştır. Son 40 yılda arazide meydana gelen morfolojik değişikliklerin değerlendirilmesinde farklı zamanlara ait hava fotoğrafları kullanılmıştır. Hava fotoğraflarından elde edilen bilgiler, yamaç duraysızlığına neden olan veriler ve arazi kontrolleri ile birleştirilerek heyelan aktivite haritalarının üretilmesinde kullanılmıştır. Bu haritaların, yamaç duraysızlığına neden olan durumların ve süreçlerin neler olduğunu ortaya koyması nedeniyle kütle hareketi tehlikesinin değerlendirilmesinde etkili olduğu, basit ve geniş ölçekli hazırlanması durumunda, yerel yöneticiler ve plancılar için heyelanın sosyo-ekonomik maliyetini azaltması açısından yardımcı olacağı ifade edilmiştir. Üstelik, heyelan aktivitesinin karşılaştırmalı çalışması, mühendislik kontrollerinin performansını değerlendirmek için ucuz ve hızlı metot olarak sunulmaktadır. Ayrıca hazırlanan heyelan aktivite haritalarının nispi heyelan tehlikesinin (çok yada az tehlikeli gibi) belirlenmesinde yararlı olacağı belirtilmiştir.

Nagarajan ve diğerleri (2000); "Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions" başlıklı araştırmalarında; muson yağmurlarının etkili olduğu tropikal bölgelerde aşırı derecede ayrışma, rezidüel malzemeler

ve yoğun yağışın heyelanların oluşumundaki en önemli faktörler olduğu belirlenmiştir. Yapılan heyelan envanter çalışmasında Uzaktan Algılama (Remote Sensing) verileri, topoğrafik harita verileri, jeolojik arazi çalışmasından elde edilen veriler ve zemin kütlelerinin özellikleri kullanılmıştır. Bölgesel jeolojik süreksizlikler, arazi ve bitki örtüsü yoğunluğu ve yüzey sularının konumları uydu görüntülerinden elde edilmiştir. Arazi çalışmalarında ise ana kayacın ayrışma derecesi belirlenmiş ve malzemenin su içeriği laboratuvar deneyleri ile tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, yamaçların stabilitesi için önemli olan bitki örtüsü yoğunluğu, drenaj ağı yoğunluğu, yamaç eğimi ve eğim yönü, ana kayacın litolojik özellikleri, ayrışma durumu, süreksizlikler, zemin-kaya ara yüzeyindeki durum ve yamaç molozu kalınlığı gibi özelliklerin heyelanların oluşumundaki önem derecelerine göre etkileri araştırılarak bu parametrelerin ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık değerlerinin kullanılmasıyla heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır.

Uromeihy ve Mahdaviyar (2000), "Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran" adlı çalışmalarında; potansiyel heyelan alanlarının tespit edilmesine yönelik olarak heyelan tehlike zonlanması metodu olarak kullanılmıştır. Burada heyelan için tehlike olabilecek faktörler değerlendirilerek aynı heyelan tehlikesini içeren bölgeler tespit edilerek kendi aralarında göreceli olarak haritalanmıştır. Heyelan zonlanmasında arazi gridlere bölünerek değerlendirme yapılmıştır. Heyelan tehlike zonlanmasında litoloji, eğim, tektonik, aktivite, arazi kullanımı ve yer altı suyu parametre olarak kullanılmıştır. Her bir grid için heyelana etki eden bu faktörlerin etki derecelerine göre Yüzde Yüzey İndeksi (Surface Percentage Index- SPI) diye tanımlanan değerleri tespit edilmiştir. Yüzde Yüzey İndeksi, tanımlanan faktör için heyelanın etkilediği alanın, faktörün etkili olduğu tüm alana oranı olarak tanımlanmıştır. Daha sonra bilgisayar programında bulanık mantık (fuzzy sets) kullanılarak her grid için Potansiyel Tehlike İndeksi (Hazard Potential Index- HPI) kullanılarak heyelan tehlike zonlama haritası hazırlanmıştır. Bu heyelan tehlike zonlama haritası da çok yüksek tehlikeli bölge (very high hazard zone), yüksek tehlikeli bölge (high hazard zone), orta tehlikeli bölge (moderate hazard zone), düşük tehlikeli bölge (low hazard zone) ve çok düşük tehlikeli bölge (very low hazard zone) olmak üzere kendi arasında 5 sınıfa ayırmıştır.

Parise (2001), "Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard" adlı makalede; heyelan haritası üretim teknikleri incelenerek farklı tipteki heyelan haritalarının tartışması yapılmıştır. Her bir harita türünün avantaj ve dezavantajları literatürde var olan analiz yöntemleri yardımıyla belirlenmiştir. Bu yöntemlerin heyelan

tehlike analizlerindeki muhtemel kullanımları gösterilmiş ve yapılan bu çalışmaya Güney İtalya'dan bir örnek verilmiştir.

Temesgen, Mohammed ve Korme (2001), "Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogent area, Ethiopia", başlıklı çalışmalarında; Ethopya'da yoğun yağış ve insanların çevreye aşırı etkisinden dolayı sık sık heyelan problemleriyle karşılaşıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, CBS ve UA teknikleri kullanılarak heyelanların oluşumları ve bunlarla ilgili parametrelerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Heyelanlarla ilgili parametrelerin istatistiksel ilişkileri değerlendirilerek risk duyarlılıklarına göre öncelik numaraları verilmiştir. Bu numaralar toplam risk faktörüne katılmadan önce her bir veri katmanı için 0 ile 1 arasında yeniden bölünerek heyelan tehlike zonlanması yapılmıştır. Çalışmada, SAM, jeoloji, jeomorfoloji, yamaç bakışı, eğim, bitki örtüsü gibi parametreler kullanılmıştır. Özellikle TM band4 ve band 7 Landsat TM+ görüntüleri kullanılarak ormanlık, tarım alanları, bitki örtüsü- tarım alanlarının karışık olduğu alanlar, çıplak arazi ve akarsu ağları gibi su yapıları ortaya konulmuştur.

Zinck ve diğerleri (2001), "Mapping and modelling mass movement and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques" başlıklı çalışmalarında; kütle hareketleri ve oyuntu-vadi gibi insanların müdahalesi ile oluşan hareketleri ciddi çevresel tehlikelere sebep olduğu ifade edilmiştir. Uzaktan algılama verileri kütle hareketleri ve oyuntu-vadi gibi parametrelerin tanımlanmasında ve görüntülenmesinde geniş imkanlar sağladığı belirtilmiştir. Fakat bu verilerin etkili biçimde kullanılması bulut etkisi, geometrik sapmalara neden olan morfolojik engebeler ve gölgelik alanların varlığı gibi kısıtlamalarla engellendiği ifade edilmiştir. Yine de hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri (görünür, kızıl ötesi ve mikrodalga bantları) yada bunların kombinasyonları oyuntu-vadi tiplerinin ve heyelanların ayrılmasında ve tanımlanmasında başarı ile uygulandığı belirtilmiştir. Kütle hareketlerinin ve oyuntu-vadilerin, uzaktan algılama verileri ve yardımcı bilgilerin kullanılmasıyla CBS ile modellenmesi hızla gelişim göstermekte olduğu belirtilmiştir. Kütle hareketleri ve oyuntu-vadi gibi karışık doğal olayların CBS'nin açıklayıcı ve önceden belirleyici özelliği ile modellemede mükemmel sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Yazarlar yaptıkları çalışmada, tepelik ve dağlık alanlarda kütle hareketleri ve oyuntu-vadilerdeki tehlikeleri değerlendirmek, sebep – sonuç ilişkilerini ortaya koymak, görüntülemek ve haritalamak için CBS ve Uzaktan Algılamanın pratik uygulamasını ortaya koymuşlardır.

Bhasin, ve diğerleri (2002), " Landslide hazards and mitigation measures at Gangtok, Sikkim Himalaya" adlı çalışmalarında; heyelanların ve diğer kütle hareketlerinin Himalaya'larda çok ciddi yersel-çevresel tehlikeler oluşturduğu ve özellikle Tibet, Nepal ve Bhutay'ın oluşturduğu Doğu Himalaya'da meydana gelen büyük çaplı heyelanlarla onbinlerce insanın felaketlerle karşı karşıya geldiği ifade edilmiştir. Çalışmada, Gangtok'da önceden meydana gelen heyelanların özellikleri ve oluşum mekanizmaları, doğal yamaçlarda hareketi tetikleyen faktörler ve bunların yamaçtaki hareketlere etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar, bu bölgedeki yoğun yağmurun sadece kaya kütlelerindeki ayrışmayı ve erozyonu hızlandırma ile kalmayıp bunun yanında yeraltı su seviyesini yükselterek doğal yamaçların stabilitesini azalttığını ifade etmişlerdir. Çalışma alanında, heyelanların hareketleri yeraltına piezometrenin ve arazinin değişik noktalarına pilyelerin yerleştirilmesi ile heyelan takip programı oluşturulmuştur. Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla heyelan alanlarındaki malzemelerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri ortaya konmuştur. Jeoteknik incelemeler çalışma alanında yüzeyleyen zemin ve heyelan esnasında hareketin olduğu ana kaya üzerindeki çatlaklı ortamlar için yapılmıştır. Süreksizlikler boyunca meydana gelen kaymanın çatlaklardaki boşluk suyu basıncının artmasıyla olduğu ifade edilmiştir. Buradaki düzgün veya girintili çıkıntılı çatlakların hepsinde çok yoğun yağıştan dolayı su basıncı oluşmuştur. Zeminlerdeki hareketlerde ise zeminin doymuş hale gelerek boşluk suyu basıncının artması etkili olmuştur. Bu çalışmada, heyelan sınırlama ve görüntülemeye birkaç önlem geliştirilmiştir. Boşluk suyu basıncının ölçülmesinde kullanılan piezometre ve yer hareketlerinin ölçümünün yapıldığı pilyeler görüntüleme tekniğinin elemanlarını oluşturmaktadır. Bu pilyelerle üçgenleme yapılarak hareketsiz bölgeye yerleştirilen pilyelerden hareketli bölgedeki pilyenin hareketi takip edilmiştir. Drenaj kanallarının yapımı, ağaçlandırma, insan aktivitelerinin düzenlenmesi gibi hareketi sınırlayıcı önlemler sunulmuştur.

Dai, Lee ve Ngai (2002), "Landslide risk assessment and management: an overview", başlıklı araştırmalarında; heyelan risk analizinde geliştirilen diğer çalışmaların bir incelemesi ve heyelan risk analizi için kullanılan farklı yaklaşımların uygulanabilirliği tartışılmış ve heyelan risk analizi ve yönetimi çalışmalarıyla heyelan riskinin azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Çevik ve Topal (2003), " GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey) " adlı çalışmalarında; Hendek yöresinden geçen doğal gaz boru hattında heyelan meydana gelmesi ve boru hattının zarar

görmesi sonucu, yeni bir güzergahın belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Araştırmacılar, yörede meydana gelebilecek heyelanlardan, tespit edilecek yeni boru hattının etkilenmemesi için heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Bu haritanın üretiminde; heyelan envanteri, litoloji, eğim, bakı, yükseklik, arazi kullanımı/arazi örtüsü, akarsuya uzaklık, drenaj yoğunluğu ve faylara uzaklık gibi veri katmanlarını kullanmışlardır. Bu katmanların heyelan duyarlılık haritasının üretimindeki etkilerini belirlemek için de, istatistiksel indeks ve ağırlık faktörü yöntemlerinden yararlanmışlardır.

Lee, Choi ve Min, (2004), "Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea" , adlı araştırmalarında; Boun kenti için CBS ve Uzaktan Algılama tekniklerini kullanarak heyelan tehlike analizi çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, heyelan lokasyonları hava fotoğrafları yorumlamalarından ve arazi çalışmalarından yararlanılarak belirlenmiştir. Topoğrafya, jeoloji ve arazi örtüsü ile ilgili bilgiler CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri ile detaylandırılmıştır. Heyelanların oluşmasında etkili olan eğim, bakı ve topoğrafyadaki engebeler gibi veriler topoğrafik veri tabanından elde edilmiştir. Daha sonra bu veri kümelerinin CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri ile analizleri sonucu heyelan açısından tehlikeli bölgeler tespit edilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

- Bu araştırmada Ardeşen yöresinin 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak incelenen alanda yüzeyleyen kayaçların genel jeolojik özellikleri ile stratigrafik ilişkileri belirlenmiştir.

- Heyelan duyarlılığı ile ilgili olarak literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için ne tür bir alt yapı, sistem ve tekniklerin kullanılması gerektiği ve bunların heyelan çalışmalarına kazandırdıkları araştırılmıştır. Bu bağlamda, heyelan duyarlılık analizinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama tekniklerinin fonksiyonları değerlendirilmiştir.

- Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için gerekli olan parametrelerin neler olduğu, Dünya ve Türkiye ölçeğinde yapılan çalışmalarda hangi tür veriler kullanıldığı araştırılmış ve bunların değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma alanında yapılan arazi incelemeleri ve değerlendirmeleri sonucunda, heyelanların oluşumunda etkili olan parametreler belirlenmiş ve bunlarla ilgili katman haritaları oluşturulmuştur.

- İnceleme alanındaki zeminlerin ilgili jeoteknik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, araziden zemin örnekleri alınmış ve bu örneklerin jeoteknik özellikleri, laboratuvar deneyleri ile ortaya konmuştur.

- Elde edilen litolojik, topoğrafik, fotogrametrik ve jeoteknik veriler bir Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı olan Arc\Info v. 8.01 ve Arc View v. 3.2 programları kullanılarak sayısal hale getirilmiş ve aynı koordinat sisteminde işlenmiştir. Bu verilerin depolanması, analiz edilmesi ve sunulmasında belirtilen yazılımlar kullanılmıştır.

- Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan veri katmanlarının üretilmesinden sonra, her bir katmanın heyelan oluşumundaki etkisi araştırılmıştır. Bunun için ilk olarak her bir katman kendi içerisinde alt gruplara ayrılarak bu alt grupların kendi içindeki heyelana olan etkileri belirlenmiştir. Her bir veri katmanı için bu işlem gerçekleştirildikten sonra katmanların birbiriyle olan ilişkileri değerlendirilmiş ve her bir katmanın heyelan duyarlılık analizindeki etkileri ortaya konmuştur.

- Veri katmanlarının gerek kendi alt gruplarıyla gerekse birbiri arasındaki ilişkileri, karmaşık ve çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (*Analytic Hierarchy Process*) teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

- Belirlenen bu ilişkilere göre CBS fonksiyonları kullanılarak sonuç verisi, yani, heyelan duyarlılık haritası elde edilmiş ve bu haritadan elde edilen değerlerle gerçek arazi verileri karşılaştırılmıştır.

- Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, duyarlılığı yüksek ve çok yüksek olan alanlar içerisinde kalan yerleşim yerleri belirlenerek heyelan tehdidi altındaki konutlar ve yaklaşık nüfus sayısı araştırılmıştır.



3. BULGULAR

3.1. Ardeşen Yöresinin Genel Jeolojisi

3.1.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanını da kapsayan bölgede (Korkmaz ve Gedik, 1988) ve (Gedik ve diğerleri, 1992) tarafından detaylı jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda Rize-Fındıklı- Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi incelenmiş ve altı formasyon ayırtlanmıştır. Bunlar yaşlıdan gence doğru;

Hemşindere Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988), Santoniyen-Mestrihtiyen yaşlı, kumtaşı, marn ve kırmızı kireçtaşı ara katmanları içeren ve esas olarak bazalt, dasit ve riolit yer yer de andezit türünde piroklastiklerden oluşur. Bölgesel olarak geniş yayılım gösteren bu formasyon yer yer bazik ve asidik intrüzipler tarafından (Granit, granodiyorit, kuvarslı diyorit, gabro) kesilmiştir (Şekil 4). Kalınlığı 3500-5000 m arasında değişen Hemşindere Formasyonu'nun yaşının içindeki kırmızı kireçtaşlarından elde edilen fosillerle, Santoniyen-Alt Mestrihtiyen olduğu belirlenmiştir (Gedik ve diğerleri, 1992).

Hemşindere Formasyonu üzerine uyumlu olarak Rize Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) gelmektedir. Bu formasyon kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve kumtaşı arakatmanlı, kırmızımsı-bordo ve beyaz renkli marn ve şeyl ardalanmasından oluşmuştur. Formasyonun yaşı Üst Kretase-Paleosen olup kalınlığı 325 m'dir (Gedik ve diğerleri, 1992).

Kalın katmanlı iri taneli kumtaşı, marn ve kilitaşı ardalanmasından oluşan Kaplıca Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988), Rize Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 4). Yaklaşık 575 m kalınlık sunan formasyonun yaşı Alt-Orta Eosen'dir (Gedik ve diğerleri, 1992).

Kaplıca Formasyonu üzerine uyumlu olarak, masif ve kötü katmanlanma gösteren ve çoğunlukla bazaltik, yer yer andezitik tüf ve aglomeralardan oluşan Melyat Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) gelmektedir (Şekil 4). Alt-Orta Eosen yaşlı Kaplıca Formasyonu ile geçişli ve uyumlu olan Melyat Formasyonunun yaşı Orta Eosen'dir. İçinde, boyutları birkaç cm'den 1m'ye kadar değişen volkanik blokların da bulunduğu

formasyonun yaklaşık 500-750 m kalınlıkta olduğu tespit edilmiştir (Gedik ve diğerleri, 1992).

Melyat Formasyonu üzerine uyumsuz olarak, tabanda çakılda ile başlayıp üstte doğru kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı arakatmaları içeren gri renkli marn aralanması gösteren Pazar Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) gelmektedir (Şekil 4). Bu birimin üst kısımlarında kum, çakıl ve kayaç parçaları içeren kırmızımsı, kil ve çamurtaşı yer alır. Çakıllar kötü boyanmalı olup, volkanik kayaçlardan türemişlerdir. Kırmızımsı kil ve çamurlar çoğunlukla daha yaşlı volkanik kayaçların ayrışmasıyla oluşmuşlardır. Bol mikro ve makro fosil içeren Pazar Formasyonunun, Sarmasiyen (Orta-Üst Miyosen) yaşlı ve 30-100 m kalınlıkta olduğu tespit edilmiştir (Gedik ve diğerleri, 1992).

Kötü katmanlı ve kötü boyanmalı, kum ve kil mercikleri içeren gevşek çimentolu çakıltaşlarının oluşturduğu Hamidiye Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) uyumsuz olarak Pazar Formasyonunun üzerine gelmektedir (Şekil 4). Hamidiye Formasyonunu oluşturan malzemelerin daha önce oluşmuş birimlerin kayaç parçalarına, özellikle volkanik kayaçlara ait olduğu tespit edilmiştir. Formasyonun yaklaşık 50 m kalınlıkta ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı olduğu belirlenmiştir (Gedik ve diğerleri, 1992). Hamidiye Formasyonunun üzerinde güncel oluşuklar olan alüvyonlar bulunmaktadır.

3.1.2. Stratigrafi ve Petrografi

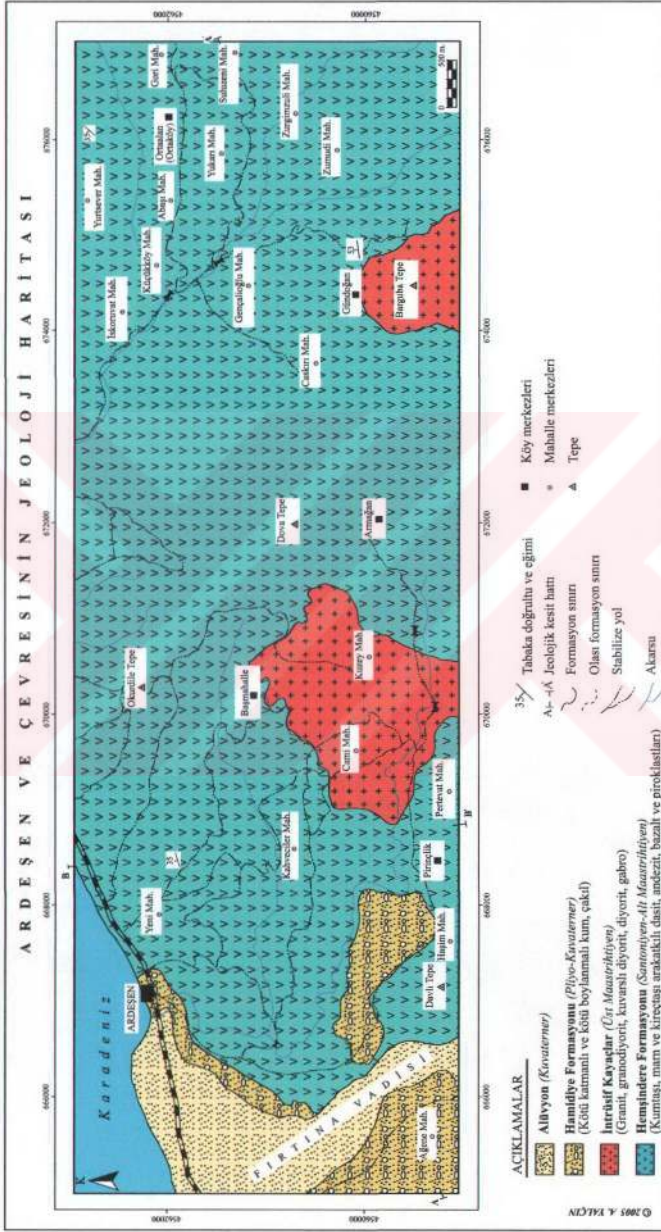
Ardeşen ilçe merkezi ve çevresini kapsayan çalışma alanında, Türkiye Stratigrafi Komitesi tarafından hazırlanan “Stratigrafi Sınıflama ve Adlama Kuralları” (MTA, 1986) esaslarına göre yaşlıdan gence doğru; Hemşindere Formasyonu, İntrüsif kayaçlar, Hamidiye Formasyonu ve alüvyon ayırtlanmıştır (Şekil 5).

3.1.2.1. Hemşindere Formasyonu

Birim ilk kez, Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında yapılan çalışmada, litostratigrafi kurallarına göre Korkmaz ve Gedik (1988) tarafından Hemşindere Formasyonu adıyla tanımlanmıştır. Birim başlıca Ardeşen ilçe merkezi ve çevresinde, Başmahalle, Pirinçlik, Armağan, Gündoğan ve Ortalan Köylerinde yüzeylenmektedir (Şekil 6).

K R E T A S E	S İ S T E M	K U V A T E R		F O R M A S Y O N	K A L I N L I K (m)	L İ T O L O J İ	A Ç I K L A M A L A R
		T E R S İ Y E R	P L İ Y O - K U V A T E R N E R				
Ü S T K R E T A S E	S E R İ						
S A N T O N İ Y E N - A L T M A A S T R İ H T İ Y E N	K A T						
H E M Ş İ N D E R E				H A M İ D İ Y E	5 0		
					> 2 1 7 5		
							Alüvyon
							Kötü katmanlı ve kötü boyanmalı, kum, çakıl
							Andezit, bazalt ve piroklastları
							Dasit
							Andezitik tüf
							Kumtaşı, marn
							Kırmızı kireçtaşı
							Andezit, bazalt ve piroklastları
							Kırmızı kireçtaşı
							Andezit ve andezitik tüf
							(+) Granit, granodiyorit, kuvarşlı diyorit, diyorit, gablo
							Dasit
							Andezit

Şekil 5. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti



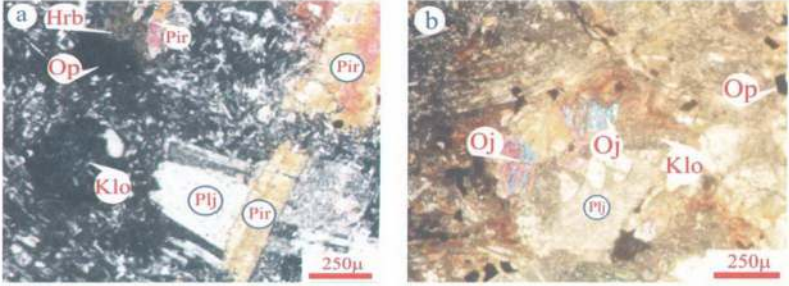
Şekil 6. Ardeşen ve çevresinin jeolojî haritası

Hemşindere Formasyonu litolojik olarak; andezit-bazalt ve piroklastları; dasit-riyodasit ve piroklastları; tüfit,kireçtaşı, kumtaşı, marn arakatkılarından oluşmaktadır.

Andezit - bazalt ve piroklastları; Ortaalan Köyü, İskoruvat, Gori, Küçükköy, Gençlioğlu, Zumudi, Zurgimzuli, Suluzeni, Yukarı Mahalle ve Gündoğan Köyü civarında yüzeylenirler. Hemşindere Formasyonu'nun yaygın kayaç grubunu andezit-bazalt ve piroklastları oluşturmaktadır. Birim arazide sağlam kayaçtan tamamen ayırmış kayaca kadar değişik ayrışma derecelerini sunmaktadır. Bu gurupta yer alan, ayırmamış sağlam kayaçlar masif görünümlü, gri, koyu gri ve siyahımsı renk tonları sunmaktadır. Kayaçta ayrışmanın artmasıyla çatlakların geliştiği izlenmiş fakat bu çatlak gelişiminin gelişi güzel olması hakim çatlak yüzeylerinin doğrultusunun tespitini olanaksızlaştırmıştır. Bu çatlaklar da kil gibi ince taneli malzemelerle doludur. Yine bu birim içerisinde çok yönlü kırıklar gelişerek karmaşık bir yapı oluşturmuş ve kayacın direncini azaltarak ayrışma sürecini hızlandırmıştır. Gelişen ayrışmaya bağlı olarak kayaçta çok farklı renk değişimleri gözlenmiştir. Bu kayaçlarda, yeşil, yeşilimsi siyah ve siyah, çatlakların çevresinde sarı, sarımsı kırmızı ve kırmızıya dönük renkler belirgindir.

Andezitlerin ince kasitlerinde mikrolitik porfirik doku gözlenmektedir. Plajiyoklaslar ince ve kalın levhalar halinde ve (010) yüzeyine göre basık bir durumdadır. Hamur içerisinde de küçük kristaller halinde bulunmaktadır. Bu plajiyoklas kristallerinde (010) yüzeyine dik kesitte yapılan cins tayinlerde bunların andezin (An_{36}) olduğu tespit edilmiştir. Beyazımsı griden toprağımsı renk tonlarına kadar bir renk helezonu göstermektedir. İri plajiyoklas kristalleri öz kısmen yarı özşekilli olup polisentetik ikizlenme, daha küçük kristaller ise albit ikizi sunarlar. Kalsitleşmeler ve serizitleşmeler plajiyoklasların ayrışma ürünü olarak görülürler. Kısmen iri, öz ve yarı özşekilli hornblend kristalleri koyu yeşil ve kahverengimsi renk tonlarında görülmektedir (Şekil 7-a). (010) yüzeyine paralel kesitlerde sönme açıları 12° ile 16° arasında değişmektedir. Genellikle uzanım istikametine paralel tek yönde dilinimler, seyrek olarak da birbiriyle 56° lik açılar yapan dilinimler görülür. Pleokroizma renkleri; z yönünde kahvemi yeşil, y yönünde yeşil ve x yönünde açık sarı yeşildir. Biyotit minerali prizmatik şekilli olup küçük kristaller halindedir. (001) yüzeyine paralel dilinimi belirgindir ve bu dilinime göre paralel sönmelidir. Kayacın genelinde kalsitleşmelere ve kloritleşmelere rastlanılmıştır. Opak mineraller ise genellikle dörtgenimsi ve düzensiz geometrik şekiller halindedir. Kayaç genelinde görülen kalsit, serizit ve klorit gibi mineraller ikincil mineraller olup

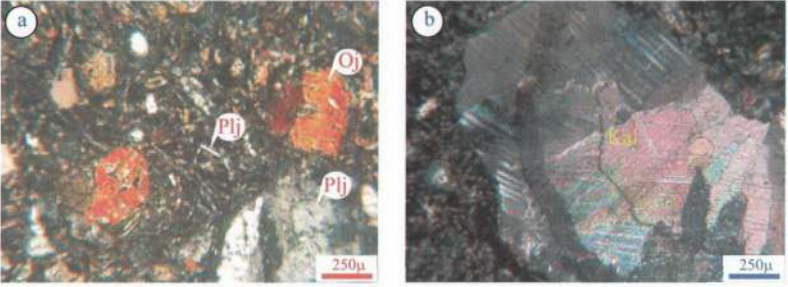
hamur maddesi içinde ise plajiyoklas, hornblend, biyotit gibi minerallerin mikro kristalleri yer almaktadır (Şekil 7-a,b).



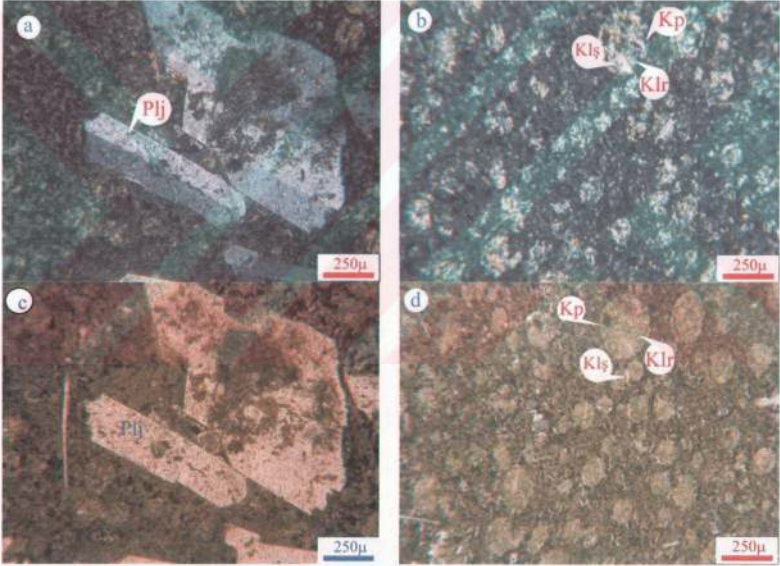
Şekil 7. (a ve b) Hemşidere Formasyonu'na ait andezitlerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Ç.N.) (Plj: Plajiyoklas, Pir: Piroksen, Klor: Klorit, Hrb: Hornblend, Oj: Ojit, Op: Opak)

Bazaltların mikroskobik incelemelerinde subofitik doku gözlenmiştir. Açık renkli mineralleri genellikle küçük kristaller halinde olan plajiyoklaslar oluşturur. Yer yer az da olsa orta büyüklükte birkaç tane plajiyoklas kristali mevcuttur (Şekil 8-a). Plajiyoklas kristalleri yarı özşekilli olup, (001) yüzeyine paralel iyi dilinim gösterirler. Plajiyoklas kristallerinde en olağan ikizlenmeler birbirine paralel ince lameller şeklinde olan albit ikizlenmelerdir. Plajiyoklaslara yarı özşekilli, orta ve küçük boyutlu klinopiroksenler eşlik etmektedir. Klinopiroksenler kahverengi ve yeşilimsi gri bir renk tonunda olup zayıf pleokroizma gösterirler. (001) yüzeyine göre prizmatik, aynı zamanda ince-uzun şekillidir. Bütün piroksenlerde olduğu gibi bu kesitte de klinopiroksen kristalleri {110} yüzeyine göre çok iyi dilinim gösterirler. +15° ile +87° arasında değişen sönme açılarına sahiptirler. Hamurda ve hamur içindeki boşluklarda kalsit ve kalseduan yaygındır. Kalsit mineralindeki dilinimler belirgin şekilde görülmektedir (Şekil 8-b).

Andezitik tüflerin mikroskobik incelemelerinde, aşırı derecede kloritleşmiş ve kısmen de kalsitleşmiş bir hamur içinde hem feldispat (genelde plajiyoklas) mineralleri (Şekil 9-a,c) hem de yer yer yuvarlak ve elipsoidal şekilli kayaç parçaları izlenmiştir (Şekil 9-b,d). Plajiyoklaslar, kayaç içerisinde kümeler halinde olup kısmen serizitleşmişlerdir.



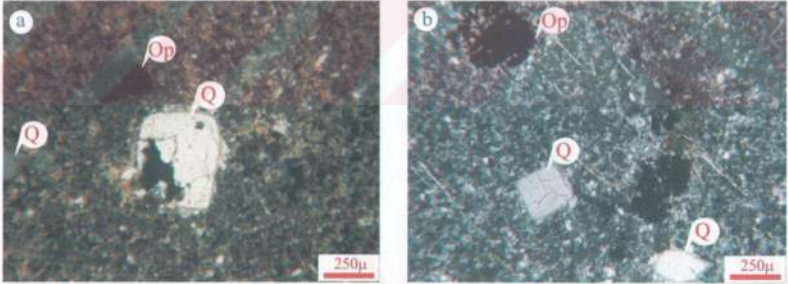
Şekil 8. (a ve b) Bazaltın polarizan mikroskoptaki görünümüleri (Ç.N.) (Plj: Plajiyoklas, Oj: Ojit, Kal: Kalsit)



Şekil 9. (a,b,c ve d) Hemşindere Formasyonu'na ait andezitik tüflerin mikroskoptaki görünümüleri (T.N. ve Ç.N.) (Plj: Plajiyoklas, Kp:Kayaç parçası, Kls: Kalsitleşme, Klr: Kloritleşme)

Dasit – Riyodasit ve Piroklastları; Hemşindere Formasyonu'nun diğer bir kayaç grubunu oluşturan dasit – riyodasit ve piroklastları, Başmahalle Köyü, Yeni ve Kahveciler Mahalleleri, Pirinçlik Köyü, Haşim Mahallesi ile Dova ve Davlı Tepe yörelerinde yüzeylenirler. Dasit-riyodasit ve piroklastlarından oluşan kayaç grubu arazide açık renk tonlarında görülmektedir. Sarı, sarımsı kahve ve turuncu- açık kırmızıya dönük renkler belirgin kayaç renklerini sunmaktadır. Dasit grubu kayaçların yüzeylendiği alanlarda ayrışma çok daha belirgin olarak göze çarpmaktadır. Dasitik kayaçlarda ayrışmadan dolayı çok yönlü çatlak yüzeyleri gelişmiştir. Bu kayaçlarda da hakim çatlak yüzeyleri belirgin değildir.

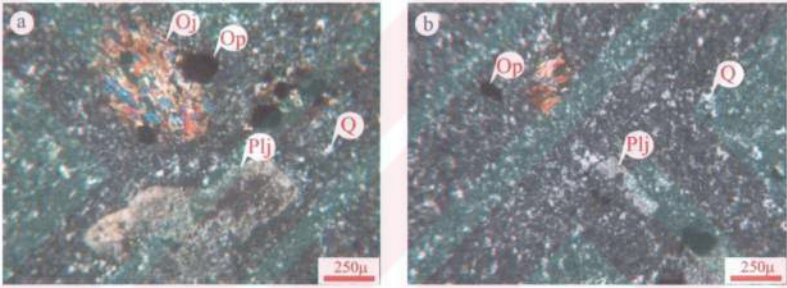
Dasitlerin ince kesitlerinde mikrogrönü porfirik doku gözlenmiştir (Şekil 10-a ve b). Hamur kuvars ve kloritten oluşmaktadır. Çok az miktarda plajiyoklasa rastlanılmıştır. Fenokristal olarak gözlenen kuvarsların etrafı bir reaksiyon bandı ile çevrilidir. Kloritler yeşil bir renk ve belirgin pleokroizma gösterirler. Pleokroizma özellikle (001) yüzeyine dik olan kesitlerde kuvvetli, bu yüzeye paralel olan kesitlerde ise belirsizdir. Ayrıca birincil opak minerallerde mevcuttur. Opak mineraller oldukça yaygın olup değişik boyutlarda ve geometrik şekildedir. Kenarlar ve iç kısımlarında kemirilme mevcut olup bazı kristalleri kenarlarında demir oksit ve hidroksit oluşumları gözlenmiştir (Şekil 10-a ve b).



Şekil 10. (a ve b) Hemşindere Formasyonu'na ait dasitlerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Ç.N.) (Q: Kuvars, Op: Opak)

Riyodasitlerin mikroskobik incelemelerinde mikrogrönü porfirik doku ve aynı zamanda glomera porfirik doku gözlenmiştir (Şekil 11-a ve b). Kuvars, yarı özşekilli ve özşekilsiz biçimde bulunur. Bu dokuda iri ve yarı özşekilli plajiyoklas kristalleri bir arada

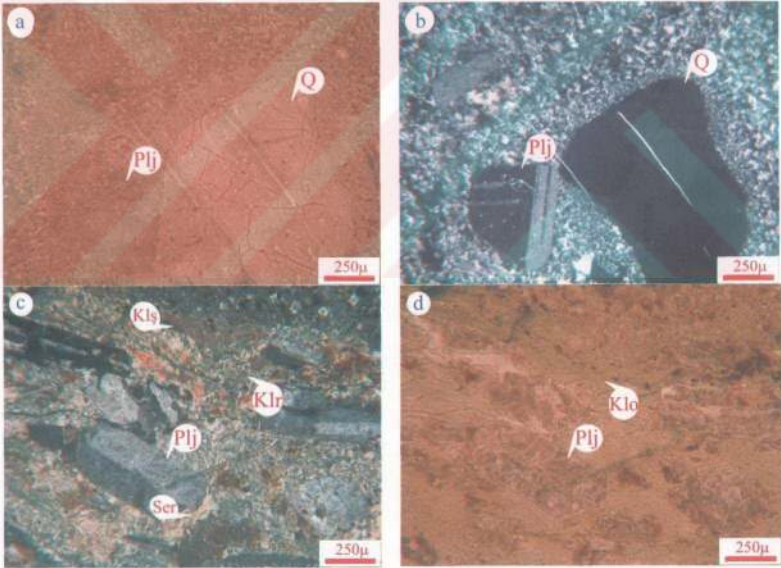
kümelenmiş şekilde bulunur. Bu mineral kümesi içinde öz şekilli opak minerallere ve apatit mineraline rastlanmıştır. Plajiyoklaslar hemen hemen kil minerallerine dönüşmüştür. Alkali feldispatlar kaolenleşmiştir. Ferromagnezyen mineral olarak amfiboller yer almaktadır, fakat bunlar aşırı derecede kloritleşmişlerdir. Ojit minerali genellikle yarı özşekli ve özşekilsiz kristaller halinde olup sarımsı ve açık yeşil renk tonları gösterir ve (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 40-45 derece arasında değişmektedir. Opak mineraller özşekilsiz fenokristaller halinde ve hamur içerisinde saçınımlar halindedir. Opak minerallere eşlik eden apatit minerali altıgenimsi şekilde olup, ayrışmadan dolayı bulutumsu (flu) gözlenmektedir. Ojitler, prizmatik-iğnemi kristaller halinde görülür. (0001) yüzeyine göre kötü gelişmiş dilinimlere sahiptir. Paralel sönme gösteren apatitlerin çift kırıcılığı çok zayıftır (Şekil 11-a ve b).



Şekil 11. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait riyodasitlerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Ç.N.) (Q: Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Oj: Ojit)

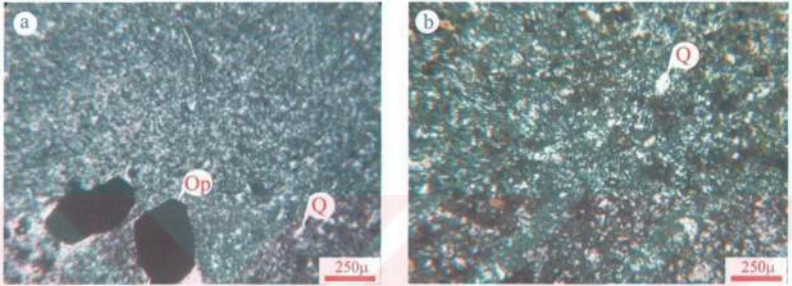
Riyolite ait ince kesitlerde hyalo mikrogörünü porfirik doku ve yer yer akma yapıları tespit edilmiştir (Şekil 12-a,b,c,d). Fenokristal olarak içerisinde kuvars bulunmaktadır. Kuvars, yarı özşekli ve özşekilsiz biçimde bulunur. Hamur maddesinde birincil kuvars ve ikincil kuvars olmak üzere iki çeşit kuvars bulunmaktadır. Tek nikolde renksiz bir görünüme sahip olan kuvars kristallerinin kenar ve köşeleri magma tarafından kemirilmiş ve yuvarlatılmış şekildedir. Kuvars minerali tek nikoldeki çatlaklı görünüm sunmaktadır (Şekil 12-a). Dilinim göstermeyen kuvarsın öz şekilli kristallerinde paralel sönme gösterir. Çift kırıcılığı düşük olup hamur maddesini oluşturan cam devitrifiye olarak ikincil kuvars oluşumlarına sebep olmuştur. Plajiyoklaslar özşekilsiz kristaller halinde olup, (100)

yüzeyinde dilinim izleri arasındaki açı 83° 'dir. Plajiyoklas kristalleri birbirine paralel ince lameller şeklinde albit polisentetik ikizlenmesi gösterirler (Şekil 12-b). Eğik sönme gösterirler ve çift kırıcılığı zayıftır. Sönme açısı 20° 'dir ve plajiyoklas cinsi Andezin (An_{38})'dir. Kalsitleşmeler hem hamur maddesi içerisinde hem de çatlaklar boyunca gelişmiştir (Şekil 12-c). Hamur maddesi içerisinde yoğun kalsitleşmeler ve kloritleşmeler görülmektedir. Kloritleşmeler tek nikolde açık yeşil renk tonunda görülmektedir. Dilinim izleri arasında dar açı 75° civarındadır. Dilinim izlerine göre simetrik sönme gösterir ve çift kırıcılığı çok yüksektir. Öz ve yarı özşekilli fenokristaller halinde olan sanidinler, (001) yüzeyine paralel iyi, (010) yüzeyine paralel az belirgin dilinimlere sahiptir. Genellikle karlsbad kanuna göre ikizlenme sunar, ender olarak ta polisentetik ikizlenme gösterir. Sönme açısı $3-12^\circ$ arasında olup çift kırıcılığı zayıftır. Alterasyondan etkilanmemiş temiz yüzeylidir (tek nikol özelliği) (Şekil 12-d).



Şekil 12. (a,b,c ve d) Hemşindere Formasyonu'na ait riyoitlerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Ç.N.) (Plj: Plajiyoklas, Q: Kuvars, Kls: Kalsitleşme, Klr: Kloritleşme, Ser: Serizitleşme, Klo: Klorit)

Dasitik tüflerin mikroskobik incelemeleri sonucu çok ince taneli bir yapıya sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 13-a ve b). İnce taneli hamur içinde opak ve kuvars minerali bir arada bulunur (Şekil 13-a). Kristal olarak kuvarslar, oldukça parçalanmış plajiyoklaslar ve demir oksit boyanmaları içermektedir. İkincil kil oluşumları mevcuttur (Şekil 13-b).



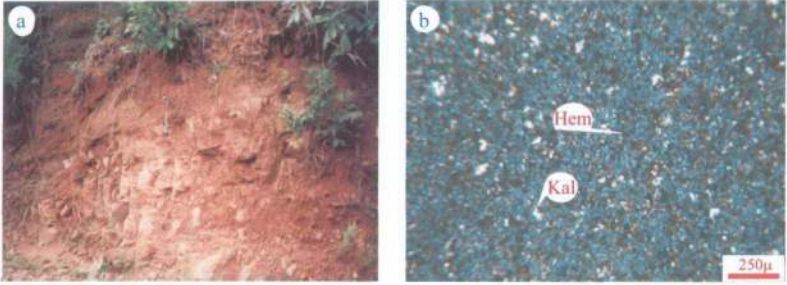
Şekil 13. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait dasitik tüflerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Ç.N.) (Q: Kuvars, Op: Opak)

Tortul Kayaçlar; Hemşindere Formasyonunda gerek andezitik gerekse dasitik kayaçların içerisinde ara katmanlar şeklinde tortul kayaçlar yer almaktadır. Bu kayaçlar, ince taneli tuf, tüfit, kumtaşı, kireçtaşı ve marn türündedirler. Tüfler, Gündoğan Köyü ile Zumudi Mahallesi arasında belirgin ve geniş bir yüzeyleme vermektedir. Tabakalı birimin rengi gri ve grimsi yeşil renkte olup kalınlıkları 30 cm ile 100 cm arasında ve katmanların genel duruşu ise 350/53'tür (Şekil 14-a).

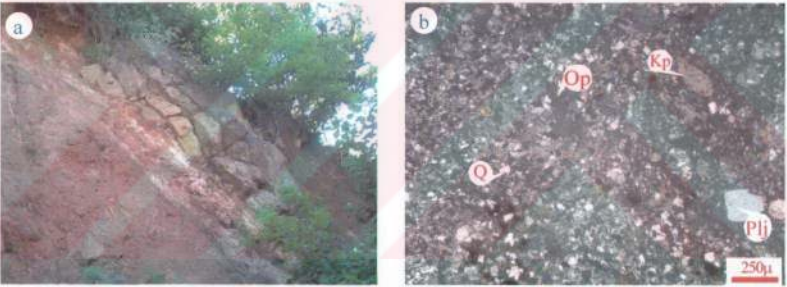
Çok ince taneli tüflerin mikroskobik incelemesinde hakim bir hematitleşme göze çarpmaktadır. Bu hematitleşme Fe elementinden kaynaklanmaktadır. Kayaç içerisindeki plajiyoklaslarda yoğun bir kalsitleşme söz konusudur. Ayrıca hamur içerisinde çok ince taneli kalsitler de bulunmaktadır. Kayaçtaki kalsitler yer yerde boşluk dolgusu olarak bulunmaktadır (Şekil 14-b).

Hemşindere Formasyonu'nun içerisinde dar alanlarda kumtaşı-marn araldanmasından oluşan kayaç grubu yer almaktadır. Kahveciler Mahallesi ile Azaklı Tepe civarında yüzeyleme veren bu birim, gri-grimsi sarı renk tonlarında olup tabaka kalınlıkları 20-30 cm arasında ve katmanların genel duruşu 310/50'dir (Şekil 15-a). Yapılan mikroskobik incelemelerde kumtaşlarının kuvars bileşimli silis çimento içerdiği

belirlenmiştir. Kayaç kuvars, feldispat, kayaç kırıntıları ve opak minerallerden oluşan bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 15-b).



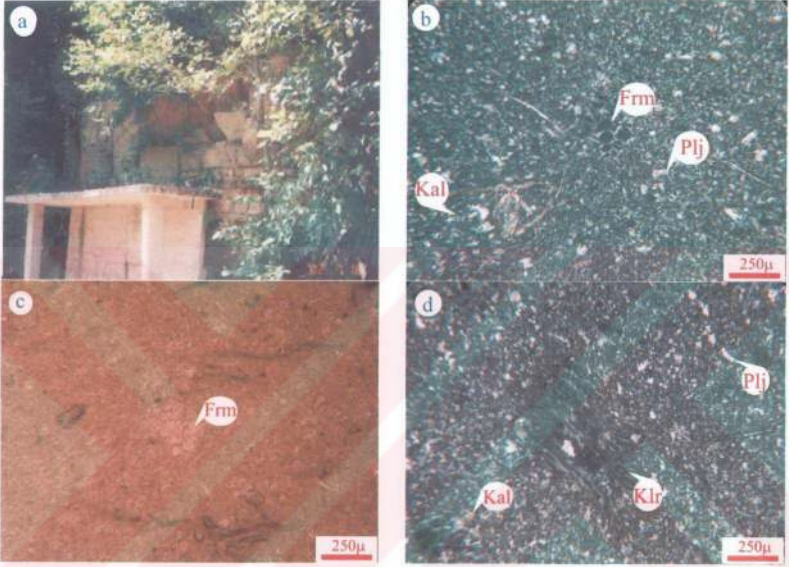
Şekil 14. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait ince taneli tüflerin görünüşleri (Ç.N.) (Hem: Hematitleşme, Kal: Kalsit)



Şekil 15. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait kumtaşlarının görünüşleri (Ç.N.) (Q: Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Kp: Kayaç parçası, Op: Opak)

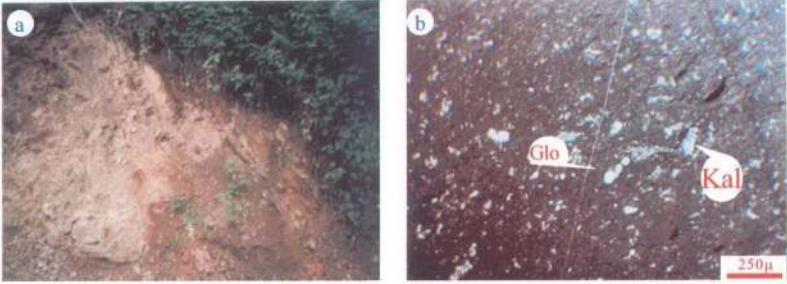
Tüfitler, Zumudi Mahallesi civarında yüzylemektedir. Bu kayaçlar, gri, grimsi sarı ve açık kahve renk tonlarında olup tabaka kalınlıkları 10-70 cm arasında değişmektedir (Şekil 16-a). Tüfitlerin mikroskobik incelemesinde kayaçta, Üst Kretase yaşı veren Globotruncana ve Foraminiferlerden oluşan fosillere rastlanılmıştır. Globotruncana fosilleri hemen hemen kalsitleşmiştir. Dolayısıyla öz şekilde görüntü vermemektedirler (Şekil 16-b,c). Foraminiferlerin etrafında kalsit locaları mevcuttur. Bu fosillerin varlığı aynı zamanda derin denizel bir oluşum ortamını ifade etmektedir. Bunlardan başka kayaç içerisinde az miktarda ayrışmamış plajiyoklaslar bulunmaktadır. Plajiyoklasların genelinde

kalsitleşme söz konusu olup, aynı zamanda boşluk dolgusu olarak da kalsitlere rastlanılmaktadır. Hamurda kloritleşme hakim olup, volkanik kayaç parçaları içermektedir. Opak mineraller ise hamur içerisinde çok ince taneler halindedir (Şekil 16-d).



Şekil 16. (a,b,c ve d) Hemşindere Formasyonu'na ait tüfitlerin görünüşleri (Ç.N.) (Frm: Foraminifer fosili, Plj: Plajiyoklas; Kal: Kalsit; Klr: Kloritleşme)

Hemşindere Formasyonu içerisinde ara katmanlar şeklinde bulunan kireçtaşları, Ortalan Köyünün kuzey bölgesinde yüzeylenmektedir. Bu kayaçlar, sarı ve sarımsı kahve renk tonlarında olup, tabakalı yapı sunarlar ve tabaka kalınlıkları 10-30 cm arasında değişir (Şekil 17-a). Kireçtaşının mikroskobik incelemesinde, bol miktarda Globotruncana fosilleri ile kalsit, plajiyoklas ve klorit mineralleri görülmektedir (Şekil 17-b, c, d).



Şekil 17. (a ve b) Hemşindere Formasyonuna ait kireçtaşlarının görünimleri (T.N.) (Kal: Kalsit, Glo: Globotruncana fosili)

Hemşindere Formasyonunun jeoloji kesitlerinden ölçülen görünür maksimum kalınlığı 2175 m'dir (Şekil 18).

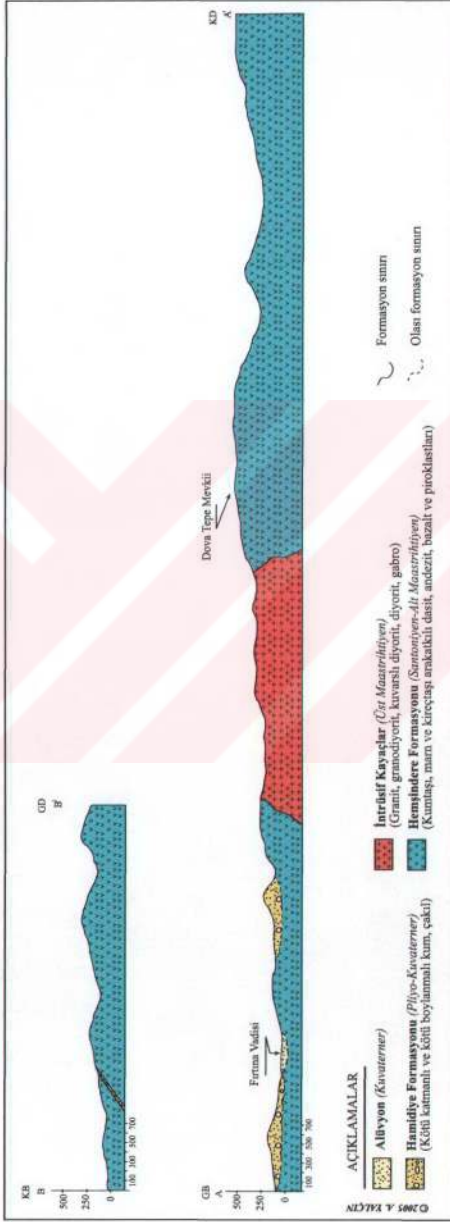
Formasyonun alt sınırı inceleme alanı içinde gözlenememiştir. Birimin üzerine ise uyumsuz olarak kötü katmanlı kum ve kil mercikleri içeren gevşek çimentolu çakıltaşlarından oluşan Hamidiye Formasyonu gelmektedir.

Formasyonun değişik seviyelerinde bulunan kireçtaşı ve tüfitler içerisinde Globotruncana ve Foraminifer fosilleri tespit edilmiştir. Bu fosillere dayanarak Hemşindere Formasyonuna Santoniyen-Alt Maastrichtiyen yaşı verilmiştir (Korkmaz ve Gedik, 1988).

Hemşindere Formasyonu, Doğu Pontidlerde Subaşı Sırtı Formasyonu (Çapkinoğlu, 1981) ve Kanlı, Ziverağa ve Makenet Formasyonları (Özsayar ve diğ., 1982) ile denestilebilir özelliktedir.

3.1.2.2. İntrüsif Kayaçlar

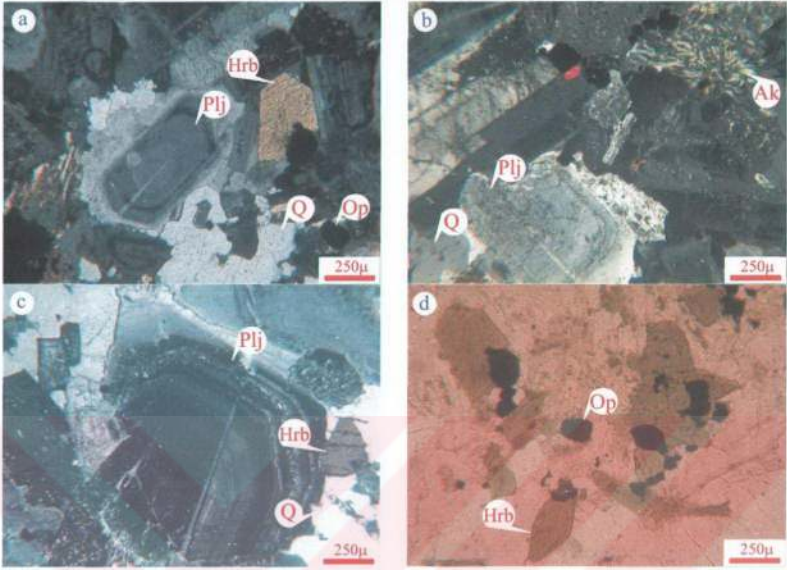
Hemşindere Formasyonunu yer yer kesen intrüsif kayaçlar, inceleme alanında Düzmahalle Köyü ile Başmahalle Köyü arasında Cami Mahallesi ile Kuzey Mahallelerinde ve Gündoğan Köyü ve güneyinde yüzeylenmektedir (Şekil 5). Bu intrüsifler kuvarşlı diyorit, tonalit ve gabro türü kayaçlardan oluşmaktadır. Bu kayaçlar gri, grimsi siyah, siyah ve yeşil renk tonlarında olup, değişik derecelerde ayrıışmışlardır.



Şekil 18. Ardeşen ve çevresinin jeoloji kesitleri

Yapılan mikroskopik incelemeler sonucu intrüsf kayaçların hornblendli kuvarslı diyorit, ojitli mikrogabro, mikrogabro ve tonaliten oluŖtuđu tespit edilmiŖtir.

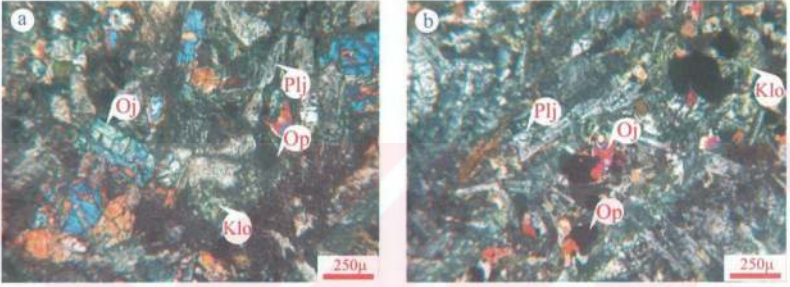
Hornblendli kuvarslı diyorit, taneli doku ve belirgin bir renk pleokroizması göstermektedir, (X = Açık sarımsı yeŖil, Z= Koyu yeŖil). Amfibol ve yeŖil hornblend mineralleri bazen uzun, tablamsı bazen de küçük kristaller halinde yer yerde c eksenine dik yöndeki kesitleri (altugenimsi Ŗekilli) ile tipiktir. Kısım kenloritleŖmiŖ az da olsa epidotlaŖmıŖlardır. Plajiyoklaslar deđiŖik Ŗekillerde (genelde öz ve yarı  zŖekilli) ve farklı boylarda genellikle d rtgenimsi Ŗekillidir. Yapılan cins tayininde (010'a dik kesitte) plajiyoklasın andezin (An₃₉) olduğu tespit edilmiŖtir. Plajiyoklaslar, kısmen serizitleŖmiŖ ve killeŖmiŖtir ve albit ikizi, halkalı zonlanma ve karmaŖık ikizli kristal halinde bulunmaktadır (Ŗekil 19-a,c). Kuvars, tek nikelde berrak, çapraz nikelde d Ŗ k çift kırıcılık gösterir. Plajiyoklaslara oranla daha az miktarda olan kuvars mineralleri, öz ve yarı  z Ŗekilli plajiyoklaslar ve amfiboller arasında kalan boŖluklarda g zlenmiŖtir. Yer yer plajiyoklaslarla birlikte reaksiyona girerek mirmekitit doku gösterirler. Apatitler, plajiyoklas kristalleri içerisinde inklüzyonlar halinde, çubuksu kristaller Ŗeklinde bulunur. Bazı kristaller  zŖekilli, prizmatik-iğnems i arasında deđiŖen bir Ŗekil gösterirken bazıları da kısa prizmatik kristaller halindedir. Yüksek röliyef, d Ŗ k çift kırıcılık ve dik sönme gösterirler. Az miktarda bulunan ortoklaz, rensiz bir görünüme sahiptir. Temiz bir yüze ye sahip olan ortoklaz kuvarstan farklı olarak bulanık bir görünüme sahiptir. (001) yüzeyine paralel çok iyi derecede geliŖmiŖ dilinimlere sahiptir. a eksenine dik kesitlerde {(100) yüzeyinde} dilinim izlerinin birbirine dik durumda olduğu görülür. Ayrıca (100) yüzeyine paralel kötü geliŖmiŖ dilinimler de göstermektedir. D Ŗ k röliyef ve zayıf çift kırıcılık göstermektedir, oldukça kaolenleŖmiŖtir. Opak mineraller,  zŖeksiz kristaller halinde bulunmaktadır. Aktinolitler, soluk yeŖilims i bir renk gösterir. Pleokroizma çok belirgin değildir. Prizmatik Ŗekilli mineraller halinde bulunurlar (Ŗekil 19-b). Amfibollerde dilinim iyi geliŖmiŖ olup (001) yüzeyine paralel dilinim göstermektedir. Eğik sönme göstermekte olup, sönme açısı +10  ile +15  arasında deđiŖir. Zirkon minerali, plajiyoklasların içinde bulunmaktadır. Paralel sönme göstermektedir. Yüksek röliyef ve yüksek çift kırıcılık gösterir. Bazı hornblendler plajiyoklasların içinde bulunurken, bazıları da plajiyoklasların etrafını sarmıŖtır (Ŗekil 19-d).



Şekil 19. (a,b,c ve d) Hornblendli kuvarslı diyoritlerin polarizan mikroskobundaki görünüşleri (Ç.N.) (Q: Kuvars, Plj:Plajiyoklas, Hrb: Hornblend, Op: Opak Ak: Aktinolit, Hrb: Hornblend)

Ojitli mikrogabro taneli doku göstermektedir (Şekil 20-a). Plajiyoklaslar yarı özşekilli kristaller halinde olup yer yer mikrolitler şeklindedir. İri kristaller hemen hemen hiç yoktur. Plajiyoklas kristalleri aşırı derecede serisitleşmiş ve killeşmişlerdir. Piroksen kristalleri ise plajiyoklas gibi orta büyüklükte genelde kırıklı ve kemirilmiş şekilde gözlenmektedir. Piroksen grubu mineralleri genellikle ojitler oluşturmaktadırlar. Hemen hemen renksiz-grimsi yeşil arasında ve çok zayıf pleokroizma göstermektedir. Özşekilli kristalleri kısa prizmatik olup 8 köşelidir. $\{110\}$ yüzeyine paralel ve aralarındaki açı $85-93^\circ$ olan iki yönde gelişmiş dilinim izlerine sahiptir. İkiz düzlemi (100) olan ikizlenmeleri yaygın olarak görülmektedir. Bazı ojit kristallerinde ikiz düzlemi (001) olan polisentetik ikizleri de görülmektedir. $+38^\circ$ ile $+48^\circ$ arasında değişen sönme açılarına sahip olup, çapraz nikolde yüksek çift kırıcılık gösterir. Ferromagnezyen minerallerin bir kısmı kloritleşmişlerdir. Opak mineraller öz şekilsiz kristaller halinde bulunmaktadır (Şekil 20-a).

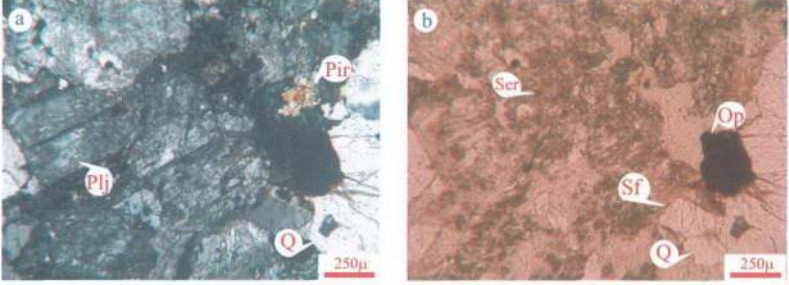
Mikrogabrolar taneli doku gösterir. Plajiyoklaslar iri kristaller halinde gözlenmektedir ve bunlar arasındaki boşluklarda klinopiroksen ve opak mineraller bulunmaktadır. Özellikle plajiyoklas arasındaki boşluklarda klorit oluşumları yaygındır. Plajiyoklas oldukça altere olup killeşmiştir. Plajiyoklasların genelinde hakim olan albit ikizi ayrışmadan dolayı nadiren tanımlanabilmektedir. Opak mineraller ise özşekilsiz kristaller halindedir. Kloritleşme ve killeşme yaygın olarak izlenir (Şekil 20-b).



Şekil 20. (a ve b) Ojitli mikrogabro ve mikrogabroların polarizan mikroskobundaki görünüşleri (Ç.N.) (Oj: Ojit, Plj: Plajiyoklas, Klo: Klorit, Op: Opak)

Tonalitler taneli doku sunarlar. Plajiyoklaslar, yer yer oldukça iri kristaller halinde gözlenir. Bunun yanında orta ve küçük boyutlu olanları da mevcuttur {seri-(seriate) doku} (Şekil 21-a). Yarı özşekilli plajiyoklas mineralleri (010) yüzeyine paralel iyi gelişmiş dilinimlere sahiptir. En fazla görülen ikizlenmeler birbirine paralel lameller şeklinde olan ve polisentetik ikiz denilen albit kanunlarına göre gelişen ikizlenmelerdir. Eğik sönme gösterirler ve çift kırıcılığı zayıftır. Sönme açısı 22° 'dir ve plajiyoklas cinsi Andezin (An_{38})'dir. Plajiyoklas mineralleri kısmen serisitleşmiş ve epidotlaşmışlardır. Kuvarslar genelde kırıklı, ezilmiş ve daha küçük taneler halinde kayaçta oldukça yaygındır. İri kuvars kristalleri içinde özşekilli ve yarı özşekilli küçük plajiyoklas kristalleri mevcuttur. Kayaçta yaygın olan koyu renkli mineral piroksendir. Genelde küçük ve orta büyüklükteki piroksenlerin çevresinde kloritleşmeler gözlenmiştir. Kesitte altıgenimsi ve eşkenar dörtgen şekilli orta ve küçük boyutta sfen oluşumlarına rastlanmıştır. Bol miktarda bulunan sfen mineralinin ince kesitte genel özellik olarak renksizdir. Ancak bu kesitteki kahverengimsi bir renk sunması Fe^{+3} iyonundan kaynaklanmaktadır. (110) yüzeyine

paralel dilinim ve yüksek röliyef gösterir ve mızrak ucu gibi sivri görünümündür (Şekil 21-b).



Şekil 21. (a ve b) Tonalitlerin polarizan mikroskobundaki görünimleri (Ç.N. ve T.N.) (Plj: Plajiyoklas, Q: Kuvars, Pir: Piroksen, Ser: Serizitleşme, Sf: Sfen)

İntrüzif kayaçlar, inceleme alanında Santoniyen-Maastrichtiyen yaşlı Hemşindere Formasyonunu kesmişlerdir. Daha genç formasyonları kesen bir intrüzife rastlanılmamıştır. Bu nedenle inceleme alanındaki intrüzif kayaçların yerleşme yaşı Üst Maastrichtiyen olarak düşünülmektedir.

Hemşindere Formasyonunu kesen bu intrüzif kayaçların yerleşim yaşı dikkat alındığında, Rize yöresinde (Güven, 1993) tarafından tanımlanan “Kaçkar Granitoyidi I” e karşılık gelmektedir.

3.1.2.3. Hamidiye Formasyonu

İlk kez Korkmaz ve Gedik (1988) tarafından Hamidiye yöresinde tanımlanan Hamidiye Formasyonu, inceleme alanında Ağene Mahallesi ve Davlı Tepe ile Haşım Mahallesi kuzeyinde yüzeylenmektedirler. Formasyon, kötü katmanlanma gösteren, kum ve kil mercekleri içeren gevşek çimentolu çakıltaşlarından oluşmuştur. Çakıl boyutları birkaç cm’den 30-40 cm’ye kadar değişmektedir. Çakıllar volkanik kökenli olup başlıca andezit, bazalt, dasit, granit ve granodiyorit gibi kayaç parçalarından oluşmaktadır. Çakıllar kötü boyulanmalıdır. Hamidiye Formasyonunu oluşturan bu birim genelde yatay konumdadır. Formasyonu oluşturan kötü katmanlanmalı kum ve kil mercekleri içeren

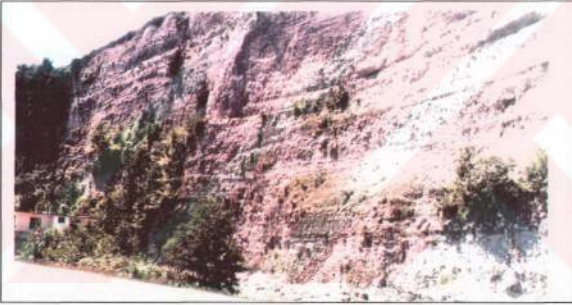
gevşek çimentolu çakıltaşları Elmalık Mahallesi ile Ağene Mahallesi'nin Fırtına Deresi boyunca uzanan hattında çok net izlenmektedir (Şekil 22).

Hamidiye Formasyonunun kalınlığı Fırtına Deresi sol yamacında 50 m olarak ölçülmüştür.

Hamidiye Formasyonunun alt sınırı Santoniyen-Maastrichtiyen yaşlı Hemşindere Formasyonunu ile uyumsuzdur. Birimi alüvyonlar uyumsuzlukla üstler.

Formasyonun yaşını doğrudan verebilecek bir fosile rastlanılmamıştır. Korkmaz ve Gedik, 1988'de yapmış oldukları çalışmalarında, bu birimin Sarmasiyen yaşlı Pazar Formasyonunu (Şekil 4) uyumsuzlukla üstlediği için Plio-Kuvaterner yaşında olduğunu ortaya koymuşlardır.

Hamidiye Formasyonunun litolojik özellikleri dikkate alındığında, (Güven, 1993) tarafından tanımlanan Beşirli Formasyonu ile deneştirilebilir özelliktedir.



Şekil 22. Fırtına deresi boyunca yüzeyleyen Hamidiye Formasyonunun görünümü

3.1.2.4. Alüvyonlar

Alüvyonlar, Fırtına Deresinin denizden itibaren oluşturduğu yaklaşık 5 km'lik deltasında yüzeylenmektedir. Kil, silt, kum, çakıl ve blokların oluşturduğu alüvyonun genişliği 250-1500 m, uzunluğu 5 km'dir. Fırtına Deresi içinden alınmış alüvyon malzemesinin elek analizinden, malzemenin %75'inin blok ve çakıldan, geriye kalanın da daha ince malzemeden oluştuğu tespit edilmiş ve makroskopik olarak yapılan incelemede

malzemeyi oluşturan elemanların %70'inin bazalt, %30'unu ise, dasit ve dasitik tuf olduğu belirlenmiştir (Dilek, 1979).

Alüvyonun kalınlığı jeofizik yöntemle 15-23 m olarak saptanmıştır (Yılmaz ve diğ., 1998). Rize-Hopa sahil yolunun Fırtına Deresi köprüsünün yaklaşık olarak 350 m kadar güneyinde yapılan rezistivite ölçümlerinden, alüvyon kalınlığının 38.5 m olduğu tespit edilmiştir (Dilek, 1979).

3.2. Heyelan Duyarlılık Analizinde Temel Kavramlar

Bu bölümde, şev duraysızlık tehlikesinin belirlenmesinde kullanılan metotlar değerlendirilmiştir.

3.2.1. Duyarlılık haritası / analizi

Şev ve yamaçlardaki duraysızlık tehlikesinin gösterildiği ideal haritalar, belli bir alanda tahmin edilen kütle hareketlerinin mekansal ve zamansal olma olasılıkları, retrogresif (gerileyici) sınırları, etkileyeceği alanlar, hareketin hızı, tipi ve büyüklüğü hakkında bilgi verebilmektedir (Hartlen ve Viberg, 1988). Duyarlılık haritalarının çoğu, daha önce meydana gelen heyelanların gösterildiği envanter haritalarıdır. Heyelanların alansal uzanımlarının belirlenmesi ve yakın geçmişteki heyelanların gelişimleri, farklı zamanlı görüntü (uydu veya hava fotoğrafları) yorumlamaları ve jeomorfolojik arazi çalışmalarının yapılması ile tespit edilebilir (Karşlı ve diğerleri, 2004). Ancak, heyelan duyarlılık zonlanmasında bu metot kullanılırken şu hususlara dikkat etmek gerekir;

- a. Heyelanlar geçmişte farklı arazi kullanımı veya iklim rejimleri gibi bugün hükmü değişebilen şartlardan meydana gelmiş olabilir.
- b. Uydu görüntüleri yada hava fotoğraflarının değerlendirilmesi ve jeomorfolojik arazi çalışmaları ile mevcut heyelanların izlendiği alanlar hakkında bilgi verebilirler, ancak görüntünün çekildiği zamanda heyelan olmayan alanlar için herhangi bir tehlike tahmini yapılamaz.

Heyelan olmamış alanlarda duyarlılık tahmini için farklı metotlar gereklidir. Bu metotlar, geçmişte meydana gelen tehlikeli olaylardan elde edilen bilgilerle gelecekte oluşabilecek olaylar hakkında yararlı bilgiler elde edilebilir esasına dayanır (Hansen, 1984). Bundan dolayı bu tür olayların ve etkili olduğu düşünülen faktörlerin haritalanması

duyarlılık zonlanmasında çok önemlidir. Bu tür haritalar için iki genel yaklaşım mevcuttur;

- a. Jeomorfoloji tabanlı duyarlılık zonlanma çalışmalarının çoğu, arazi çalışmaları esnasında yapılmaktadır. Arazide toplanan veriler (bitki türü, jeolojik yapı, vb.) haritalara aktararak buradan basitçe duyarlılık değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu tür çalışma ile haritaların üretildiği yönetime direkt yaklaşım (*direct approach*) denmektedir (Hansen, 1984).
- b. İndirekt metotta (*indirect methods*), heyelanın meydana geldiği alanlardaki parametrelerin kombinasyonları hesaplanarak, aynı kombinasyonlara sahip olan ve henüz heyelan olmamış alanlarda heyelanlarla ilgili veriler elde edilir. Bunlar daha çok istatistiksel yöntemlerdir (Hansen, 1984).

Şevlerdeki duraysızlık tehlikesinin değerlendirilmesinde kullanılan yararlı yöntemlerden bir başkası da, Hartlen ve Viberg (1988) tarafından verilen nispi tehlike (*relative hazard*) ve kesin tehlike değerlendirme teknikleri (*absolute hazard assessment techniques*)'dir. Nispi tehlike değerlendirme teknikleri haritadaki farklı alanlarda kütle hareketlerinin meydana gelme olasılıklarını belirler. Kesin tehlike haritaları ise gerek güvenlik sayısı gerekse hareketin olma olasılığı ile ilgili tehlike için kesin bir değer gösterir. Kesin tehlike değerlendirme teknikleri üç ana gruba ayrılır (Carrara, 1983; Hartlen ve Viberg, 1988).

- a. Beyaz kutu modelleri (*white box models*); fiziksel modellere dayanır (şev stabilite ve hidrolojik modeller) ve deterministik model (*deterministic model*) olarak da tanımlanır.
- b. Siyah kutu modelleri (*black box models*); fiziksel modellere değil istatistiksel analizlere dayanır.
- c. Gri kutu modelleri (*grey box models*); hem fiziksel modellere hem de istatistiksel analizlere dayanır.

3.2.2. Heyelan Duyarlılık Zonlanmasında Genel Eğilimler

Dünya nüfusunun sürekli artması yeni yerleşim yerlerine olan ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde yeni yerleşim alanları belirlenirken, bu alanlarla ilgili gerekli mühendislik çalışmaları yapılmaktadır. Ancak, geri kalmış yada gelişmekte olan ülkelerin büyük bir kısmında artan taleplerin karşılanmasında önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu yüzden, yerleşim alanlarının önemli bir kısmının mühendislik

çalışmaları yapılamamaktadır. Dünya genelinde meydana gelen doğal afetler sonucunda yaşanan can ve mal kayıpları büyük boyutlara varınca, insanlar “benim oturduğum alanlar güvenilir mi yoksa tehlikeli mi?” diye sorgulamaya başlamışlardır. İnsanların bu sorgulamaları, yaklaşık otuz yıldan beri heyelan duyarlılık haritalarına olan ihtiyacı beraberinde getirmiştir. Bu ihtiyaca paralel olarak, heyelan duyarlılık zonlanması çalışmaları da artış göstermiştir. Çeşitli heyelan duyarlılık teknikleri Brabb (1984), Hansen (1984), Varnes (1984), Hartlen ve Viberg (1988), Pachauri ve Pant (1992), van Westen (1994), van Westen ve diğerleri (1997), Uromeihy ve Mahdaviyar (2000), Temesgen ve diğerleri (2001) ve Parise (2001) gibi daha birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, araştırma yapılan sahanın ölçeğinin seçimi ve deterministik modelin geliştirilmesi esas olmuştur. Günümüzde mühendisler değişik deterministik şev stabilite metotları kullanmaktadırlar. Özellikle bu metotlar, Hoek ve Bray (1981), Chowdury (1984), Graham (1984), Bromhead (1986) ve Anderson ve Richard (1987) tarafından yapılan çalışmalarda yer almaktadır.

Deterministik modelde, kohezyon, içsel sürtünme açısı, tabakaların kalınlığı ve yer altı suyunun derinliği gibi jeoteknik değişkenler geniş alanlarda farklılık göstermektedir. Detaylı alan araştırmasında, çalışma alanının büyük olması veri toplamak için gerekli olan zaman ve maliyet artışına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak, mühendislik projelerinde planlama ve karar verme aşamasında maliyet/fayda oranı artmaktadır. Uygulamalar, “kısa zamanda ve düşük maliyetle etkili karar verme nasıl olabilir?” sorusunun cevabına odaklanmıştır. Bu yüzden problemin çözümüne yönelik farklı teknikler geliştirilmiştir. Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan teknikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Heyelan duyarlılık analiz yöntemleri ve genel özellikleri

Heyelan duyarlılık analiz yöntemleri	Ana Özelliği
Dağılım analizi	Kütle hareketleri sonucunda oluşan özelliklerin direkt olarak gösterildiği haritalardır, sadece incelenen alanda geçmişte oluşan heyelanlar hakkında bilgi vermektedir.
Kalitatif analizi	Direkt yada yarı-direkt metot olan bu yöntemde, tehlike haritasının üretiminde jeomorfolojik haritalar kullanılır, farklı katman haritaları birleştirilerek sonuca gidilir, bu metot da yer bilimcinin deneyimi çok önemlidir.
İstatistiksel analiz	İndirekt metot olan bu yöntemde katman haritalarından herbirindeki kütle hareketi tehlikesinin belirlenmesinde istatistiksel analizler kullanılır.
Deterministik analiz	İndirekt metot olan bu yöntemde üretilen katman haritalarıyla şev stabilite analizleri sonucu üretilen makaslama dayanımı katman haritası birleştirilir.
Heyelan frekans analizi	Bu metotta, deprem ve/veya yağış yada hidrolojik modeller, elde edilmiş heyelan verileri ile karşılaştırılarak hareketin başlangıç değerleri elde edilir

3.2.2.1. Heyelan Dağılım Analizi

Bu analizde bir alanda meydana gelen heyelan hakkında envanter bilgilerini içeren haritaların oluşturulması amaçlanmıştır. Bu haritalar, daha önce meydana gelen heyelanlarla ilgili arazi çalışmaları ile uydu yada hava fotoğraflarından elde edilen verileri kapsamaktadır. Yapılan arazi çalışmaları sonunda gerek ölçek gerekse nokta bazında kütle hareketlerinin alansal dağılımıyla ilgili bilgiler elde edilir (Wieczorek, 1984). Kütle hareketi envanter haritası diğer heyelan duyarlılık zonlanma tekniklerinin çoğu için temel oluşturur. Bu haritalar, şev hareketinin meydana geldiği alanları gösterdiğinden dolayı, tehlike haritalarının basit bir şekli olarak kullanılabilirler. Kütle hareketi envanter haritalarından, arazi çalışmalarının yapıldığı ve hava fotoğraflarının çekildiği zamandan kısa bir süre önceki periyot için bilgi edinilebilmektedir. Kütle hareketlerinde zamanla meydana gelen değişimlerle ilgili olarak herhangi bir veri içermemektedirler. Görüntü çekiminden önce meydana gelmiş heyelanlardan çoğu tespit edilemez, bunun için çok zamanlı çekilmiş görüntülere ihtiyaç vardır. Bu görüntülerin kullanımıyla heyelan aktivite haritaları üretilerek daha önce meydana gelen hatalar giderilebilir. Ayrıca bu tür çalışmalarda, arazi kullanımı/örtüsü ve heyelan aktivite haritaları gibi zamanla değişim gösterebilen veri katmanlarının değişimleri de tespit edilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Heyelan dağılımı, bir yoğunluk haritası (*density map*) şeklinde de gösterilebilir. Bulut ve diğerleri (2000) tarafından heyelan kontur çizgileri kullanılarak heyelan yoğunluğunun hesaplandığı bir metot geliştirilmiştir. Daha sonra yoğunluk değerleri enterpolasyon yapılmış ve heyelan isopleth (*landslide isopleths*) haritaları üretilmiştir. Bu metoda göre harekete neden olan faktörler değerlendirilerek heyelan yoğunlukları kantitatif olarak ortaya konulmuştur.

3.2.2.2. Kalitatif Heyelan Analizi

Jeomorfolojik metotlarda, 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. Bunun yanı sıra, bu metot da duyarlılık analizlerinin

değerlendirilmesinde yerbilimcinin deneyimi çok önemlidir. Bu yaklaşımda kullanılan objektif ve sübjektif terimleri, tehlike derecesinin belirlenmesinde değişik aşamaların farklı araştırmacılar tarafından incelenip yeniden değerlendirilebileceğini ifade etmektedir. Burada kullanılan sübjektif terimi yada sübjektif değerlendirme yetersizlik anlamında değildir. Sübjektif analizler deneyimli yerbilimciler tarafından yapılırsa çok güvenilir haritalar üretilebilir. Ancak, objektif analizlerde arazideki gerçek durum çok fazla basitleştirilirse hatalı haritaların üretimi kaçınılmaz olur.

Jeomorfolojik haritalamada, araştırmacılara göre farklılık gösteren bu problemlerin üstesinden gelebilmek için kalitatif harita kombinasyonları temeline dayanan kalitatif metotlar geliştirilmiştir (Stevenson, 1977). Bu metotların esasını, şev duraysızlığına neden olan faktörleri belirlemek ve katman haritalarının her birini farklı kısımlara ayırarak bunlara harekete etkisine göre ağırlık değerleri atamak oluşturmaktadır. Kalitatif harita kombinasyonları heyelan duyarlılık zonlanması çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.2.3. İstatistiksel Analiz

Brabb ve diğerleri (1972), şev açısı ve sevi oluşturan malzeme cinsinin özelliklerine bağlı olarak meydana gelen heyelanları belirlemede, bölgesel ölçekte kantitatif heyelan duyarlılık analizleri geliştirmiştir. Bu analizlerde jeolojik birimler, heyelan yoğunluklarına ve nispi duyarlılıklarına göre sınıflandırılarak gruplandırılmış ve daha sonra bu değerler eğim haritası ile birleştirilerek duyarlılık haritasını oluşturulmuştur. Bu metodun kullanılması kolaydır, fakat günümüz gelişmeleri dikkate alındığında sadece litolojik birimleri ve eğimi dikkate alarak üretilen haritalar yetersizdir. Duyarlılık zonlamasında geçerliliği herkes tarafından kabul edilebilen, daha fazla objektiflik ve üretkenlik sağlamak amacıyla heyelan tehlike değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir.

Carrara ve diğerleri (1977,1978) kütle hareketleri verilerinin çok değişkenli (*multivariate*) istatistiksel analizi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde iki ana yaklaşım bulunmaktadır.

- a. Her bir noktaya ait verilerin istatistiksel analizi, tek bir heyelanın oluşumu ile ilgili olarak harekete neden olan faktörlerin listesinin oluşturulması ile elde edilir (Carrara ve diğerleri, 1977, 1995, 1999; Lessing ve diğerleri, 1983, Corominas ve diğerleri, 1992; Guzzetti ve diğerleri, 2000).

- b. İstatistiksel analiz, incelenen alanındaki her birim için jeolojik, jeomorfolojik, hidrolojik ve morfometrik veriler kullanılarak çoklu regresyon ve diskriminant analizi ile yapılır (Carrara ve diğerleri, 1978; Carrara, 1992).

Bu metotlar, veri toplama ve veri işleme açısından daha fazla zaman almaktadır (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

3.2.2.4. Deterministik Analiz

Problemin tanımlanmasıyla ilgili yeterli ve güvenilir verilerin toplanması zor olmasına rağmen, deterministik modellerin kullanımı giderek artmaktadır (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Bu modeller, jeomorfolojik ve jeolojik özelliklerin çalışma alanı genelinde homojen olması ve heyelan tiplerinin basit olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Beyaz kutu modellerinin avantajı, fiziksel modellere (şev stabilite ve hidrolojik modeller) dayanıyor olmasıdır. Bu metot genelde sonsuz şev modeli kullanılarak gerçekleştirilen heyelan analizlerinde kullanılır (Brass ve diğerleri, 1989; Murphy ve Vita-Finzi, 1991; van Westen, 1994). Ayrıca, deterministik analizlerde yeraltı suyu hesaplamalarda kullanılabilmektedir (Terlien ve diğerleri, 1995).

3.2.2.5. Heyelan Frekans Analizi

Bu analiz çalışmalarında, heyelanın tam olarak hangi lokasyonlarda ve hangi zaman aralığında meydana geleceğinin tespiti için, yağış ve deprem gibi heyelanı tetikleyen faktörlerin frekansı ve heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle yağış ile ilişkili heyelanlarda, daha önce meydana gelen yağışların eşik değerlerinin belirlendiği çeşitli teknikler geliştirilmiştir (Crozier, 1986). Bu yöntemde oluşturulan modellerle elde edilen heyelan verileri karşılaştırılarak, heyelanın başlangıçındaki arazi özellikleri ile ilgili değerler elde edilebilmektedir.

3.2.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, yeryüzü şekillerini ve yeryüzünde gelişen olayları haritaya dönüştürmek ve bunları analiz etmek için gerekli olan bilgisayar destekli araçlardan oluşan bir sistem olarak algılanmaktadır. CBS teknolojisi ortak veri tabanlarını birleştirme özelliğine sahiptir. Örneğin, haritaların sağladığı görsel ve coğrafik analiz avantajları sorgulama ve istatistiksel analiz olarak kullanıcıya sunulur. Bu özelliği bakımından, CBS diğer bilgi sistemlerinden farklıdır. Bunun bir sonucu olarak CBS, hizmet alanındaki olayların tanımlanmasında ve ileriye dönük tahminlerde bulunarak stratejik planların yapılmasında kamu ve özel sektör tarafından oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Her ne kadar harita yapımı ve coğrafik verilerin analizi yeni bir işlem değilse de, CBS bu tür işlemleri olduğundan daha iyi ve hızlı yapabilmektedir (Yomralıoğlu, 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin sahip olduğu bileşenler şunlardır;

- a. Veri girişi ve bu verilerle ilgili sağlama işlemleri,
- b. Veri depolama ve veri tabanında yapılan güncelleme, ayıklama, transfer gibi işlemler,
- c. Veri dönüşümleri ve analizler,
- d. Veri çıkışı ve sunumu.

CBS sistemleri arasında da kullanılan verinin özelliklerine göre bir takım farklılıklar bulunmaktadır, bunlardan başlıcaları şunlardır;

- Farklı konumsal veri modelleri; bunlar vektörel (*vector*) ve hücreli (*raster*) veri modelleridir.
- Farklı veri sıkıştırma teknikleri; vektörel veriler için spagetti ve topolojik veri yapısı, raster veriler için zincir kodları (chain codes), blok kodları (block codes), eş-tarama uzunluğu kodları (run-length codes) ve dörtlü ağaç yapısı (quad-tree) yöntemleridir.
- İki boyutluya karşı üç boyutlu yöntemler,
- Kullanıcı ara yüzleri (ana menüye ait alt menüler, fare (mouse) kontrollü işlemler, yardım menüleri v.b.)

Günümüzde hangi işlem veya analiz olursa olsun, ortaya bir ürün koymak için yapılması gereken ilk işlem problemle ilgili verilerin toplanmasıdır. Veri toplama, yapılacak olan çalışmada en fazla zaman alan ve en çok maliyet gerektiren işlemdir. Dolayısıyla veri toplama esnasında yapılacak işlemler belirli metotlara ve belirli bir sistematığe göre yapılmalıdır. CBS’de de konumsal veri toplama tekniklerinin başlıcaları,

- Yersel ölçme yöntemleri
- Fotogrametrik yöntem
- Uzaktan algılama tekniği
- GPS tekniği
- Mevcut haritaların sayısallaştırılması
- Hazır veri tabanlarından bilgi aktarımı’dır.

Konumsal veriler, harita gibi mevcut verileri içerdiği gibi direkt arazi çalışmaları ile elde edilecek olan mevcut olmayan verileri de içerir. Dolayısıyla mevcut veriler gerekli sayısallaştırma işlemleri ile elde edilebilir. Mevcut olmayan veriler ise bizzat arazide yapılan yersel ölçümlerle, GPS ile uydu gözlemlerinden yararlanma, fotogrametrik yöntemle harita üretimi ve uzaktan algılama ve uydu fotoğraflarından yararlanılarak elde edilebilir (Yomralıoğlu, 2002).

3.2.4. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, gerekli donanımına sahip uydu ve uçaklardan, belirli bir mesafeden yapılan yeryüzünü gözleme teknolojisidir. Burada yapılan teknoloji tanımı, görüntünün alınmasından başlayıp, işlenmesi ve analiz edilmesine değin geçen süreçte uzay, uydu, iletişim, bilgisayar ve elektronik ile ilgili aşamaları ifade etmektedir. Bugün yerküre çevresindeki çeşitli yörüngelerde bulunan uyduların algılayıcıları amaçlarına göre elektromanyetik alanın değişik bölümleri aracılığı ile sağlanan bilgiyi sayısal olarak depolamaktadırlar. Çeşitli yer istasyonları tarafından sinyaller halinde alınıp kullanıcıların işleyebileceği duruma getirilen yeryüzü ile ilgili bu sayısal veriler, görüntü işleme ve analizler yardımıyla değerlendirilirler. Görüntüler üzerinde gerekli düzeltme, zenginleştirme ve sınıflandırma gibi birtakım işlemler bilgisayarlar aracılığı ile gerçekleştirilir. Amaca yönelik analizler yapılarak kullanıcıların hizmetine sunulur (Sabins, 2000).

Bu teknikler jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalara da çok büyük katkılar sağlamaktadır. Bunlar; kayaç türlerinin tanınması, ana jeolojik birimlerin haritalanması, jeolojik haritaların revizyonu, jeomorfolojik haritalama, mineral zonları ve alterasyon alanlarının belirlenmesi, bölgesel yapıların incelenmesi, çizgisel yapıların haritalanması ve depremsellik dahil güncel tektonik çalışmalardır.

Hidrolojideki belli başlı uygulama alanları ise, su alanlarının sınırlarının çizilmesi, yüzey su alanlarının ve boyutlarının belirlenmesi, akarsuların ve akarsu düzlüklerinin haritalanması, kar sınırları, yüzeysel genişlikleri ve miktarının belirlenmesi, buzul özelliklerinin ölçülmesi, su derinliğinin belirlenmesi, drenaj alanının çizilmesi ve göllerle ilgili çalışmalardır.

Tarımsal alanların, otlakların ve orman alanlarının belirlenmesi, tarımsal ürün gelişiminin izlenmesi, sağlıklı ve hastalıklı ürünlerin ve orman alanlarının ayrımı, toprak şartlarının belirlenmesi, çeşitli (yangın, hastalık, sel vb.) nedenlerle zarar gören tarım, orman ve otlak alanlarının tespiti uzaktan algılamanın tarım ve ormancılıktaki başlıca uygulamalarıdır.

Arazi kullanımı ve haritacılıktaki uygulamalar ise, arazi kullanımının sınıflandırılması, arazi örtüsünün haritalanması, kartoğrafik harita yapımı ve güncelleştirilmesi, kentsel ve kırsal alan planlarının yapılmasıdır.

Uzaktan algılama yukarıda sözü edilen alanların dışında da pek çok alanda kullanılmaktadır. Yeryüzü ile ilgili elde edilen verilerin, çeşitli şekillerde gösteriminin yanında veri tabanı oluşturulması, haritaların ve bilgilerin hızlı bir şekilde güncelleştirilmesi, çeşitli alansal konularda sorgu ve analiz yetenekleri bulunan Coğrafi Bilgi Sistemleri ile birleştirilerek problemlerin tanımı ve çözümüne yönelik metotlar geliştirilerek kullanılabilir.

3.2.4.1. Fotogrametri

Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğine (ASPRS) göre, fotogrametri, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotografik görüntülerin ve yaydıkları elektro manyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji ve bilim dalıdır (Wolf ve diğerleri, 2000).

Diğer bir tanımla, fotogrametri; fotoğraflar ve görüntülerden çeşitli objelerin biçimleri, pozisyonları, hacimleri özelliklerin ortaya konulduğu temel bir bilgi alma/çıkarma teknolojisidir. Teknik uygulama olarak fotogrametri; iki veya üç boyutlu cisimlerin fotoğraflar üzerinden ölçülmesidir (Mikhail ve diğerleri, 2001).

Fotogrametrinin temel amacı plan ve harita yapımı olmakla birlikte zamanla modern tekniğin gelişmesiyle pek çok alanda uygulama imkanı bulmuştur. Fotogrametri cismin bir veya birkaç resimden yararlanılarak şeklinin, boyutlarının ve konumunun hassas bir biçimde belirlenmesini amaçlamaktadır. Resim ölçmesi geniş kapsamlı olarak aslına uygun merkezi izdüşümün oluşturulmasına ait optik-mekanik yöntem olan fotoğrafçılığın ortaya çıkışıyla grafikleşmiştir. Fotografik yöntemler diğer yöntemlere göre bir çok avantaja sahiptir. Genel olarak fotogrametrinin sağladığı avantajlar şunlardır:

- a. Ölçme işlemi yer ve zaman yönünden resim çekme işleminden bağımsız olup sakin ve rahat bir ortamda her zaman yapılabilir ve tekrarlanabilir.
- b. Objelere dokunmaksızın detay ölçümü yapılabilir.
- c. Karmaşık yapılı ve hareket halindeki cisimlerin şekli ve davranışları kolaylıkla belirlenebilir.
- d. Resimler birer belge niteliğinde olup istenildiğinde tekrar kullanılabilir.

Fotogrametri, resim çekilen noktanın (istasyon noktası) yerine göre hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Tüdeş, 1996).

Hava fotogrametrisi esas olarak topoğrafik harita üretiminde kullanılmaktadır. Bu haritalar çizgisel (grafik) veya raster (ortofoto) olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. Söz konusu haritalar veya ürünler, modern aletlerle üç boyutta üretildiği zaman Sayısal Arazi Modeli (SAM) olarak isimlendirilirler. Arazi yüzeyinin kullanımı ve şekli ile ilgili bilgiler ise çeşitli şekillerde modellenerek CBS’de değişik biçimlerde işlenirler (Yomralıoğlu, 2000).

Fotogrametri harita üretimi dışında jeoloji, ormancılık, tarım, kent planlaması, etüd-proje, arkeoloji, mimarlık, uçak ve gemi yapımı endüstrileri, uzay araştırmaları, astronomi, askerlik, kriminoloji, metalurji, atom fiziği ve tıp gibi pek çok alanlarda da yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Atasoy, 2004).

3.2.4.2. Fotogrametrik Sistemler

Bir fotogrametrik proje;

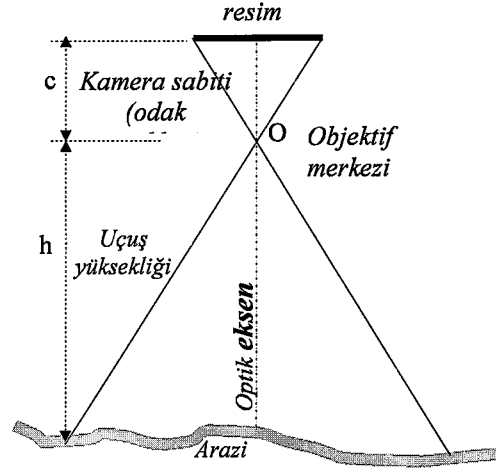
- Görüntülerin alınması ve bu görüntülere ait verilerin toplanması, hazırlanması ve işlenmesi,
- Görüntülerden amaca uygun bilgilerin çıkarılması,

şeklinde iki ana aşamadan oluşur. İlk aşamada, projenin tanımlanması, planlanması, uygun görüntülerin alınması, fotogrametrik metotlarla görüntülerin işlenmesi ve yer kontrol ölçmeleri gibi yardımcı işlemler gerçekleştirilir. İkinci aşamada ise fotogrametrik sistemle ne gibi ürünlerin ortaya çıkarılacağına karar verilir. Fotogrametrik işlemler için hava fotoğrafları yaygın olarak kullanılmaktadır (Mikhail ve diğerleri, 2001).

3.2.4.2.1. Hava Fotoğrafı

Bir çok fotogrametrik işlem, çeşitli platformlardan fotoğraf çekimiyle başlar. Genel olarak hava fotogrametrisi için çekilen fotoğraflarda uygulanan temel prensipler, fotogrametrinin diğer dallarında (yersel fotogrametri, yakın resim fotogrametrisi gibi) küçük değişiklikler yapmak suretiyle kullanılmaktadır. Çekilen fotoğrafların daima düşey olması arzu edilir, fakat uygulamada bu her zaman mümkün olmayabilir. Şekil 23’de düşey bir hava fotoğrafının geometrisi gösterilmektedir. Analog olarak alınan fotoğraflar banyo işlemleriyle diapositif haline getirildikten sonra fotogrametrik değerlendirme aletleri yardımıyla değerlendirilmeleri gerekmektedir. Burada temel amaç, elde edilen görüntülerden istenilen biçimde bilgi almak ve ölçü yapabilmektir (Yomralıoğlu, 2000).

Hava fotoğrafları siyah beyaz veya renkli olabilmektedirler. Özellikle hava fotogrametrisi amacıyla çekilen fotoğraflar enine % 25 (yan bindirme) boyuna ise % 60 (boyuna bindirme) oranında bindirilirler ki bunlara fotoğrafik bindirmeler adı verilir. Böylece değerlendirilecek detayında içinde bulunduğu bir stereo model elde edilir.



Şekil 23. Hava fotoğrafı geometrisi

3.2.4.2.2. Fotogrametrik İşlem

Fotogrametrik işlemin temeli ve başlangıcını oluşturan etkin bir biçimde kayıt edilmiş fotoğraf, fotogrametrik işlemde grid verisi olarak kullanılır. Çıkış verisi de üretilecek ürüne göre belirlenir. Uzun yıllardan beri değişik kullanıcı amaçlarına yönelik fotogrametrik sistemler geliştirilmektedir. Bu sistemlerin bir kısmı tek resim değerlendirebilirken diğerleri çift yada daha fazla sayıda resmi değerlendirebilmektedirler. Çift yada daha fazla sayıda resimleri değerlendirebilen sistemler stereo görüş esasına dayanmaktadır. Analog hava fotoğrafının değerlendirildiği sistemler analog değerlendirme aletleri (stereo plotters), dijital resimleri kullanan sistemler ise fotogrametrik iş istasyonları (photogrammetric workstations) olarak tanımlanır. Bütün bu sistemler obje uzayı ile resim uzayı arasındaki projektif ilişkiye göre çalışmaktadırlar. Bu ilişki kurulduktan sonra istenilen formatta veri ve ürün elde etmek mümkündür (Mikhail ve diğerleri, 2001).

3.2.4.2.3. Fotogrametrik Ürünler

Farklı fotogrametrik sistemlerinden elde edilen ürünleri görüntü (raster), nokta ve vektör ürünleri olarak sınıflandırmak mümkündür.

a- Raster (Görüntü) Ürünler: Bu ürünler tamamen objelerin resim formatında gösterimini içermektedir. Raster ürünleri aşağıdaki biçimde sınıflamak mümkündür.

- 1- Hava fotoğrafları: Değişik uygulamalarda yorumlama ve genel planlama amacı ile kullanılırlar.
- 2- Elektromanyetik spektrumun siyah beyaz ve renkli bölgeleri (kızıl ötesi dahil) için alınmış görüntüler: Bunlar yorumlama ve planlama amacıyla kullanılırlar.
- 3- Mozaikler: Ardışık resimlerin bir araya getirilerek oluşturduğu bir resim bloğunu ihtiva ederler.
- 4- Düzeltilmiş Görüntü: Bu görüntülerin eğiklik etkileri ve yükseklikten meydana gelen hataları elimine edilmiş olup, orijinal görüntü gibi veya mozaik amaçlı kullanılabilir.
- 5- Ortofoto: Stereo görüntülerden üretilen bu ürünler resim harita ve Sayısal Yükseklik Modelleri ile bindirilmeleri sonucu topoğrafik harita olarak kullanılabilir.
- 6- Orto mozaikler: Bunlar birden fazla sayıda orto foto haritanın birleştirilmesi sonucu elde edilirler.

Bunlara ilaveten modern fotogrametrik iş istasyonlarında farklı perspektiflerden görülebilen arazi görüntüleri ve renkli koduna göre yükseklik haritaları üretilebilmektedir.

b-Nokta veya Vektör Ürünler: Vektör ürünler obje uzayı veya keyfi olarak tanımlanmış bir koordinat sisteminde üç koordinatla tanımlanırlar. Bunlar;

- 1- Fotogrametrik nirengi için kullanılacak kontrol noktaları,
 - 2- Özel amaçlar için tesis edilen hedefler,
 - 3- Arazi yüzeyini gösteren Sayısal Arazi Modelleri. Bu modeller iki şekilde olabilir,
- * Eğim değişikliği olan kısımlarda rasgele dağıtılmış noktalar,
 - * X ve Y konumuna düzgünce dağıtılmış grid noktaları şeklinde verilebilirler.

Vektör veya çizgisel veriler doğal veya yapay detaylara ilişkin bilgileri de göstermektedir. Bu anlamda çizgisel haritalar aşağıdaki şekilde örneklenebilmektedir.

- a- Planimetrik haritalar: Kullanılan fotogrametrik tekniğin doğruluğuna göre üretilen bu haritalar sadece objelerin konum bilgilerini içerirler.
- b- Yükseklik eğrili haritalar: Bu haritalar sadece sayısal arazi modeli bilgisini içerirler.
- c- Topoğrafik haritalar: Hem konum ve hem de yükseklik bilgisi içerirler.

- d- Tematik haritalar: Bu haritalar özel bir amaç için üretilirler. Drenaj, vejetasyon, ulaşım ağı ve eğim gibi çok çeşitli tematik haritalar üretilir. Bu haritalar aynı zamanda GIS katmanı olarak ta kullanılabilirler.
- e- Profiller: Arazi yüzeyi üzerinden kesit almak için kullanılırlar.
- f- Üç boyutlu obje modelleri ve çizgisel yapılar: Bunlar daha çok fotogrametri ile bilgisayar teknolojisinin entegrasyonu sonucu elde edilirler ve endüstriyel problemlerin çözümünde kullanılırlar (Mikhail ve diğerleri, 2001).

3.2.5. Dijital Fotogrametri

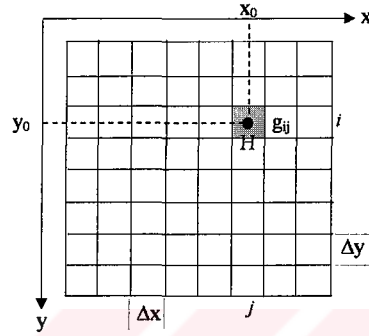
Günümüzde analog ve analitik fotogrametri alet ve yöntemlerinden sayısal fotogrametri alet ve yöntemlerine doğru hızlı bir geçişin olduğu gözlenmektedir. Bu hızlı geçişin en önemli nedenleri arasında; çok çeşitli ürünlerin (ortofoto, fotomozaik ve anaglif haritalar, sayısal ve vektörel harita bilgileri, fotogrametrik nirengi ölçüm ve dengeleme sonuçları gibi) bu sistemlerden elde edilmesi, fotogrametrik açıdan pek çok beklenti ve gereksinimlere cevap verebilmesi sayılabilir.

Dijital fotogrametri; klasik fotogrametri teorisi ile sayısal görüntü işleme tekniklerinin birleştirilmesi şeklinde oluşan yeni bir fotogrametri tekniğidir. Bu yöntemi kullanan sistemlere “dijital fotogrametrik stereo iş istasyonu” denir. Dijital fotogrametrinin temeli, sayısal formda hava fotoğrafı ve uydu görüntülerinin kullanımına dayanır.

3.2.5.1. Dijital Fotogrametride Veri Toplama Yöntemleri

Dijital fotogrametriyi klasik fotogrametriden ayıran en önemli fark, kamera görüntü düzlemindeki ışığın fotoğrafik olarak değil, elektronik araçlarla kaydedilmesidir. Dijital fotogrametride girdi verisi olarak taranmış fotoğraf ya da dijital kameralarla alınan görüntülerden yararlanılır. CCD kameralar fotogrametrik uygulamalarda yüzey üzerine düşen ışık miktarını kaydetmek için en yaygın olarak kullanılan aletlerdir. Bunlar, görüntülerin dijital olarak elde edilmesini sağlayan iki boyutlu çizgisel algılayıcılardan oluşmuşlardır. Bu algılayıcılar, ışığın algılayıcı yüzeye vurmasından sonra yüzeye ışıkla düşen fotonları elektrona dönüştürerek kayıt eder. Bu algılayıcı dizilerin büyüklüğü

piksel büyüklüğüdür. En önemli karakteristik özelliği kameraların teknoloji ile sınırlı olmalarıdır. Dijital bir görüntünün en küçük elemanına piksel (*pixel*) adı verilmektedir (Şekil 24). Her bir piksel kapladığı arazi yüzeyi ile ilgili bilgiler taşır. Pikseller siyah-beyaz bir görüntüde, 0-255 arasında bir değer alır. Bu değerlere gri seviyesi değeri ya da yoğunluğu denir. Renkli görüntülerde kırmızı (Red), yeşil (Green) ve mavi (Blue) olmak üzere üç tip renk katmanından söz edilmektedir.



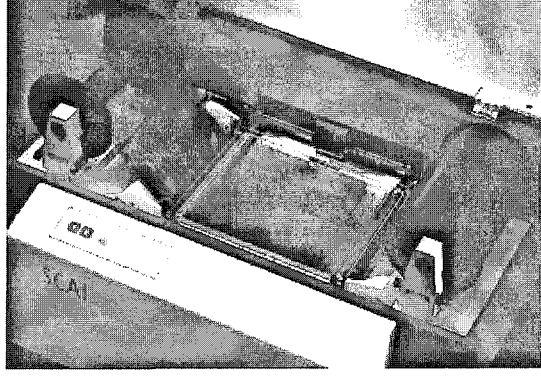
Şekil 24. Dijital görüntü

Dijital görüntü elde etme yöntemlerinden bir diğeri, analog resimleri tarayıcılarla dijital forma dönüştürmektir ya da analog kameralarla çekilen resimlerin optik tarayıcılar kullanılarak digital sistemlere aktarılmasıdır. Bu şekilde elde edilen digital görüntüler CCD kameralar kullanılarak elde edilmiş digital görüntülerden daha yüksek çözünürlüğe sahiptirler. Ancak görüntü elde etme işlemi dijital kameralara göre daha zahmetli olmakta ve daha uzun sürmektedir. Resimleri tarama sırasında dikkat edilecek husus, bilgi kaybının olmamasıdır. Yani gerekli çözünürlüğün sağlanması şarttır. Fotoğrafın çözünürlüğü R , milimetredeki çizgi çifti sayısı (lp/mm) olarak düşünülür ise buna göre tarama aralığı D ,

$$D(mm) \approx 1/2 R \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Pratikte 1 yerine 0.7 kullanıldığından formül,

$$D(mm) = 0.7/2 R \quad (2)$$



Şekil 25. Optik tarayıcı

şeklini alır. Uygulamada kullanılan tarayıcıların en az resim boyutunda ($23 \times 23 \text{ cm}$) tarama yapmaları istenir. En yaygın kullanılan tarayıcı, Zeiss Scai ve Zeiss ile Intergraph'ın ortak ürünü olan Photo Scan (Şekil 25) tarayıcılarıdır. Bu tarayıcılar 7, 14, 21, 28 μm piksel çözünürlüğünde tarama yapabilmektedir. Ayrıca bu tarayıcılar 2 μm geometrik çözünürlükte ölçü yapabilecek kapasiteye sahiptirler (Kraus, 1997).

Dijital görüntü kullanmanın sağladığı katkılar;

- a) Optik-mekanik gereksinimlere ihtiyaç duyulmaksızın digital resimlerin bilgisayar ekranından ölçülebilir ve görülebilir olması,
- b) Ölçme sistemlerinin, kalibrasyon gerektirmeyen değişmez sistemler olması,
- c) Bu sistemlerde görüntü işleme teknikleri ile resim kalitesinin artırılabilir olması,
- d) Bu sistemlerin kullanıcılara otomasyon olanağı sağlaması,

şeklinde özetlenebilir.

3.2.6. Heyelan Duyarlılık Analizinde CBS ve Uzaktan Algılama

Coğrafi Bilgi Sistemleri, kentlerde arazi kullanımı planlanmasının yersel ve çevresel değerlendirilmesinde etkili bir sistemdir. CBS'nin önemli özelliklerinden biriside, birbiriyle uyumlu olan çeşitli konumsal veri setlerinin elde edilmesinden sonra yeni bilgiler üretebilmesidir (Yomralıoğlu, 2002). CBS teknolojisi doğal jeolojik tehlikelerin değerlendirilmesinde, (Carrara ve diğerleri, 1992; 1995, 1999; Wang and Unwin, 1992; van Westen, 1994; van Westen ve diğerleri, 1997; Mejia-Navarro ve Garcia, 1996; Atkinson ve Massari, 1998; Guzzetti ve diğerleri, 2000; van Westen ve diğerleri, 2000),

yeraltı suyu değerlendirilmesinde (Halliday ve Wolf, 1991; Hiscock ve diğerleri, 1995) ve atıkların depo alanlarının belirlenmesinde (Carver, 1991; Irigaray ve diğerleri, 1994) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri'ndeki gelişmelere paralel olarak, heyelan duyarlılık analizleri için geliştirilen tekniklerin uygulanabilirliği de artmıştır. 1970'li yılların sonunda CBS kullanılarak heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır. Carrara ve diğerleri (1978), yaklaşık 25 değişken kullanarak 200 x 200 m. boyutlarındaki hücrelerde çok değişkenli (*multivariate*) analizle uygulamalar yapmıştır. Huma ve Radulescu (1978), Romanya'da bir bölgede jeolojik ve hidrolojik özellikler ile bitki örtüsü, yamaç eğimi ve yamaç bakışını kullanarak kalitatif tehlike analizi yapmıştır.

1980'li yıllarda şev duraysızlık haritalarının yapımında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımının artması, ARC/INFO, Intergraph, ILWIS, GRASS ve IDRISI gibi belli başlı coğrafi bilgi sistemlerinin ticari ürünlerin piyasaya çıkması ve bunun yanı sıra kişisel bilgisayarlardaki artışa dayanmaktadır. Daha önce yapılmış çalışmalara bakıldığında, bunların çoğunun kalitatif tehlike haritaları olarak yapıldığı görülmektedir. Kienholz (1992) tarafından yapılan çalışmada, jeomorfolojik verilerin elde edilmesinin çok önemli olduğu ve bu verilerin kalitatif tehlike analizlerinde CBS ile kullanıldığı ve hava fotoğraflarının yorumlanması yapılırken yine bu verilerden faydalandığı ifade edilmiştir.

CBS ile heyelan duyarlılık analiz uygulamaları 1970'li yıllardan bu yana USGS (United States Geological Survey) tarafından yapıla gelmektedir. Brabb ve diğerleri (1972) tarafından yapılan çalışmalar ilk çalışmalardandır. Bu çalışmaların sonraki yıllarda geliştirilen yöntemlerinde heyelan, jeoloji ve eğim özelliklerinin yanı sıra daha fazla parametreler kullanılmıştır (Brabb, 1984; Brabb ve diğerleri, 1989). CBS destekli tek değişkenli kantitatif istatistiksel analizin kullanımı daha sınırlıdır (van Westen, 1994). CBS destekli çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinin uygulayıcılarının başında Carrara ve ekibi gelmektedir. Uygulamalarında, çalışma alanını büyük dikdörtgen şekilli gridlere bölerek analizlerini yapmışlardır (Carrara ve diğerleri, 1978; Carrara, 1983), daha sonraki çalışmalarında ise morfometrik özelliklerin kullanımını geliştirmişlerdir (Carrara ve diğerleri, 1992; 1995; 1999). İstatistiksel yöntemlere göre, kütle hareketinin meydana geldiği alanlarda heyelanların alansal dağılımı ve harekete neden olan faktörler belirlenerek, daha sonra çalışılacak alanlarda aynı özellikleri gösteren yerlerde heyelan oluşumunu önlemek için gerekli tedbirler alınabilir (Carrara ve diğerleri, 1992).

CBS destekli heyelan duyarlılık analizlerinden birisi de deterministik heyelan duyarlılık analizidir. Bu analizde esas olarak, her bir piksele ait makaslama dayanımı değerlerini belirlemek için, sonlu şev modeli ile hesaplanan güvenlik faktörü değerlerinden yararlanılır (Brass ve diğerleri, 1989). Güvenlik faktörleri belirlenirken yapılacak hesaplamalarda yeraltı suyu varlığının ve deprem etkisinin olup olmadığı çok önemlidir. Çünkü güvenlik faktörü hesaplamalarında bu iki parametrenin etkisi çok fazladır. Bu parametreler de göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar sonunda, elde edilen güvenlik faktörü değerlerinden yararlanılarak makaslama dayanımı haritası üretilir. Üretilen makaslama dayanımı haritasıyla birlikte diğer katman haritaları değerlendirilerek heyelan duyarlılık haritası elde edilir.

CBS destekli diğer bir uygulama da, yapısal jeoloji açısından homojen yapıya sahip alanlarda, eğim ve bakıdan yararlanarak süreksizlik ölçümlerinin karşılaştırılmasıyla kaya kaymalarının tahminleri yapılabilmesidir (Wagner ve diğerleri, 1988; Yalçın ve diğerleri, 2002).

Şev duraysızlık değerlendirilmesinde CBS kullanımında ortaya çıkan gelişmelerden birisi de komşuluk analizi (*neighbourhood analysis*) uygulamasıdır. Bu çalışmalarda, CBS teknikleri ile farklı nitelikte (eğim, bakı vs.) üretilen haritaların konumsal birleştirilmesi (*spatial join*) diğer bir ifadeyle overlay işlemleri yapılmaktadır. Böylece aynı koordinatlara sahip piksellerin farklı katman haritaları için karşılaştırılması yapılabilmektedir. Komşuluk analizleri, merkezdeki bir pikselin etrafındaki komşu piksellerin değerlendirilmesini yapabildiği gibi, her bir piksel için yamaç eğimi, bakı, sırt ve vadi çizgileri, su havza alanları, akarsu kollarının belirlenmesi gibi morfometrik ve hidrolojik özellikler Sayısal Arazi Modelinden çıkarılarak kullanılabilir. Her bir piksel için bahsedilen bu katman değerleri, CBS programı olan Arc/Info v. 8.01 ve ArcView v. 3.2 CBS yazılımlarının kombinasyonları ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Heyelan duyarlılık analizinde komşuluk analizinin uygunluğu daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Wadge, 1988; Carrara ve diğerleri, 1995 ve 1999; Guzzetti ve diğerleri, 1999). Yapılan çalışmalarda detaylı Sayısal Arazi Modelinden çok değişkenli analizlerde kullanılan aynı değere sahip alanlar otomatik olarak çıkarılmaktadır (Carrara ve diğerleri, 1992).

Uzaktan algılama, objelerin belirli bir uzaklıktan mekanik veya elektronik cihaz kullanılarak gözlenmesi olarak tanımlanır. Veriler ya bir görüntü olabilir yada daha sonraki aşamalarda kullanılmak üzere depolanabilir. Hızlı nüfus artışı, buna bağlı olarak yeni yerleşim yeri ihtiyacının artması, kısıtlı doğal kaynaklar ve çevre kirliliği, yeryüzü

hakkında hızlı ve doğru bilgiye olan ihtiyacın artmasına neden olmaktadır. Bugün, yeryüzünün fiziksel yapısı hakkındaki pek çok bilgi uzaktan algılama teknikleri ile elde edilmektedir. Hava fotoğrafları, laser tarama verileri ve uydu görüntüleri bu tekniğin temel veri kaynaklarıdır. Bu tür veriler için kullanıcı ihtiyaçları her gün artmaktadır. Bundan dolayı, uzaktan algılama özellikle gelişmekte olan ülkeler için önemli bir veri kaynağıdır. Ülkelerin ekonomik gelişmesinin temeli, doğal kaynaklarının en verimli bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. Gelişmiş ülkeler kaynaklarını bu şekilde kullanırken gelişmekte olan ülkeler genellikle doğal kaynaklarının nitelik ve niceliklerine ilişkin yeterli bilgilerden henüz yoksundurlar. Bu nedenle, özellikle az gelişmiş ülkelerde doğal kaynakların yeterli biçimde haritalanmamış olması sonucu toprak ve su kaynakları, işlenen toprakların dağılımı, orman ve otlaklar ile madenlerin yerleri ve miktarları hakkında tam ve kesin veriler elde bulunmamaktadır. Doğal çevrenin önemli bir bölümünün dinamik nitelikte olması bunların bir kez belirlenmesi ile yetinilmeyip sık sık takip edilmelerini gerektirmektedir. Bunun için de, modern havacılık ve uzay teknolojisinden yararlanılır. Uzaktan algılama adı verilen yöntemle havadan ve uzaydan elde edilen görüntüler yorumlanabilir.

Hava fotoğrafları, fotogrametrik yöntemle harita yapımında kullanılmakla birlikte, çeşitli mühendislik çalışmaları ve özellikle foto-yorumlama (interpretation) yöntemi ile doğal kaynakların bulunmasında da kullanılmaktadır.

Özet olarak, uzaktan algılama verileri;

- Otoyol, devlet yolu, demiryolu ve boru hattı koridor seçimleri, sulama, baraj, madencilik ve ormancılık ön etütlerinde,
- Stereo uydu görüntülerinden etüt haritaları ve üç boyutlu sayısal arazi modellerinin hazırlanmasında,
- Deniz ve kıyı kirliliği etütlerinde, uydu görüntülerinden işlenip uygun filtrelemeler yapılarak kirlilik haritalarının yapımında,
- Tarımsal amaçlı arazi kullanımı ve toprak haritalarının etüdünde,
- Orman kaynaklarının ön envanterlerinin yapımı ve haritalanmasında, ayrıca orman yangınlarının yaptığı hasarların tespitinde,
- Mühendislik jeolojisi çalışmalarında, maden aramalarında, jeolojik etütlerin yapımında, arazi çalışmalarını süre ve maliyet açısından en aza indirmek amacıyla ve bunlara benzer daha bir çok çalışmada başarıyla uygulanmaktadır.

Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama görüntülerinin yorumlanması heyelan duyarlılık analizi projelerinde en önemli aşamalardan biridir.

3.3. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

Özellikle bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesine paralel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama tekniklerinin 1990 yılından itibaren hayata geçirilmesi ile birlikte bu teknikler, heyelan duyarlılık analiz çalışmalarına da hız kazandırmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminin artmasına karşın, uygulayıcılar arasında gerek parametre seçimi, gerekse harita üretim yöntemleri üzerinde henüz bir görüş birliğine varılamamıştır (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Farklı alanlarda değişik parametrelerin etkili olması, kullanıcılar tarafından parametrelerin farklı değerlendirilmesi, çok değişkenli istatistiksel analizlerin yapılması, bulanık mantık, olasılık yaklaşımı gibi çeşitli yöntemlerin varlığı ortak bir görüşe ulaşılamamasında etkili olmuştur.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelerin belirlenmesi için öncelikle bu konu ile ilgili literatürde mevcut çalışmalar (Dai vd., 2001; Dai vd., 2002; Lee ve Min, 2001; Parise, 2001; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Frattini vd., 2004; Lee vd., 2004; Lan vd., 2004; Perotto-Baldivieso vd., 2004) incelenmiş ve yapılan değerlendirmeler sonucunda, eğim, litoloji ve bitki örtüsü parametreleri hemen hemen bütün çalışmalarda ortak parametre olarak kullanıldığı, diğer parametrelerin ise, çalışılan arazinin özelliklerine, araştırmacının bakış açısına ve değerlendirmesine göre seçildiği görülmüştür.

Bu çalışmada, heyelan envanteri, litoloji-ayırışma, arazi örtüsü, eğim, bakı, makaslama dayanımı, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu ve yola yakınlık parametreleri kullanılarak Ardeşen yöresi için heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır.

3.3.1. Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılımını ve özelliklerini gösteren haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir (Einstein, 1988; Van Westen, 1994; Parise, 2001; Griffiths vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003). Heyelanların konum ve alanlarının doğru olarak belirlenmesi heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok önemlidir. Heyelan envanter haritaları, alanın büyüklüğüne, araziden toplanan verilere, bu verilerin kalitesine ve çalışma ölçeğine göre değişik şekillerde hazırlanabilir. Bu haritalar, heyelanlarla ilgili bilgilerden yada uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı ile elde edilen verilerden üretilebilmektedir.

Envanter haritalarının üretiminde harita ölçeği, elde edilebilecek verilerin nasıl ve nerelerden sağlanacağı açısından önemlidir. Küçük ölçekli ($<1:200.000$) haritalarda, literatür çalışmaları, kamu ve özel kurumlar, gazete ve dergiler, teknik ve bilimsel raporlar, heyelan uzmanları ve hava fotoğrafları veri kaynaklarıdır. Orta ölçekli ($1:25.000-1:200.000$) haritalar, kartoğrafik olarak $1:60.000$ 'den $1:20.000$ 'e kadar hava fotoğraflarının sistematik yorumlanması, eski kayıtlı bilgiler ve lokal arazi kontrollerinin bütünleştirilmesiyle hazırlanmaktadır. Büyük ölçekli ($>1:25.000$) envanter haritaları ise, daha sınırlı alanlarda $1:20.000$ ölçeğinden büyük hava fotoğraflarının yorumlanması ve jeomorfoloji, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik incelemelerle yapılan detaylı arazi çalışmalarıyla hazırlanmaktadır (Parise ve Wasowski, 1999; Guzzetti vd., 2000)

Heyelan bilgileri, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama verilerinin kullanılmasıyla kısa zamanda ve etkin bir şekilde elde edilebilmektedir. Arazi çalışmaları ile elde edilecek verilerin kalitesi daha yüksek olabilir, ancak böyle bir heyelan envanter haritasının doğru olarak hazırlanması güç olmakla birlikte, daha fazla zaman ve maliyet gerektirir. Ayrıca, bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda ve engebeli arazilerde, bu tür haritaların hazırlanması için elde edilebilecek veriler sınırlıdır. Bu yüzden, envanter haritalarına yönelik arazi çalışmaları, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan verilerin kontrolü için gereklidir. Bu nedenle, heyelan envanter haritalarının hava fotoğrafları yardımıyla üretimi için, Ardeşen yöresine ait 1996 ve 2002 yılında Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından çektilen renkli hava fotoğrafları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verilerin temini ve değerlendirilmesi ile ilgili bilgiler ise aşağıda verilmiştir:

Çalışmada Kullanılan Fotogrametrik Sistem: Çalışmada Zeiss ve Intergraph firmalarınca ortaklaşa üretilen Z/I Imaging Digital Fotogrametri sistemi kullanılmış ve sistemde fotogrametrik işlemler Zeiss SSK (Stereo Softcopy Kit) yazılımı ile yapılmıştır. Bu yazılımın modülleri; ISPM (Image Station Project Management) ISMS (Image Station Model Setup), Image Station (IS) Macth-T, ISDM (Image Station Digital Mensuration), ISSD (Image Station Stereo Display), ISFC (Image Station Feature Collection), ISBR (Base Rectifier-Orthophoto), I/RAS C olarak tanımlanmaktadır. Donanım olarak; Üç boyutlu 3D mouse, Stereo Kristal Gözlük, Grafik Kart (Wildcat 6210), 21 inc monitör, Dual processor (çift işlemci) 866 Mhz Pentium IV, 240 GB harddisk donanımlı sistem kullanılmıştır. Verilerin grafik olarak gösterimi için Bentley firması tarafından üretilen CAD tabanlı Microstation V.8 yazılımı kullanılmıştır. (Şekil 26).

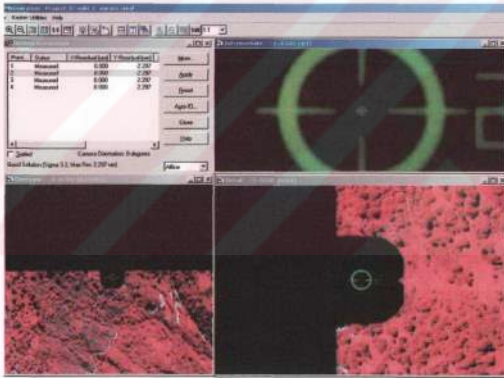
Hava Fotoğraflarının Temin Edilmesi: Çalışma alanında, kullanılan hava fotoğrafları, 2002 yılında Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından 1/16.000 ölçekli ve renkli (colour-infrared) olarak Harita Genel Komutanlığına (HGK) çektirilmiştir. Çalışma bölgesi için 8 adet hava fotoğrafı yeterli görülmüştür. Bu fotoğraflar üzerinde dijital değerlendirme yapılabilmesi için fotogrametrik tarayıcılar kullanılarak bu verilerin sayısal formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, gerek heyelanlara ait verilerin hassas bir şekilde elde edilmesi gerekse bitki örtüsündeki nitelik değişimi ayırmanın detaylı bir şekilde yapılabilmesi için hava fotoğrafları 21 mikron çözünürlükte taranmıştır.



Şekil 26. Digital fotogrametrik sistem ve değerlendirme çalışması

Fotoğrafların Değerlendirilmesi: Fotogrametrik sistemde, dijital hale dönüştürülen görüntülerin değerlendirilmesi için ön işlemler yapılmıştır. Bu amaçla sistemde üç farklı yöneltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla; iç yöneltme, karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltmedir.

a) İç Yöneltme (Interior Orientation): İç yöneltme, bir görüntü üzerinde yapılan ilk yöneltme işlemidir. İç yöneltme ile, resim çerçeve koordinatları ve bunların piksel koordinatları arasındaki ilişki kurulur. Kısaca iç yöneltme, resim koordinat sistemi ile piksel koordinat sistemi arasındaki dönüşüm olarak tanımlanır. Uygulamada, iç yöneltmede genellikle afin dönüşüm kullanılır. Böylece, dijital görüntü üzerinde piksel koordinatları ölçülen her noktanın otomatik olarak resim koordinat sistemindeki koordinatları hesaplanır (Şekil 27). Burada resim koordinat sistemine geçişin nedeni, fotogrametrik nokta belirlemede matematik model içinde daima metrik koordinat sisteminde bilgilerin kullanılması gerekliliğidir.

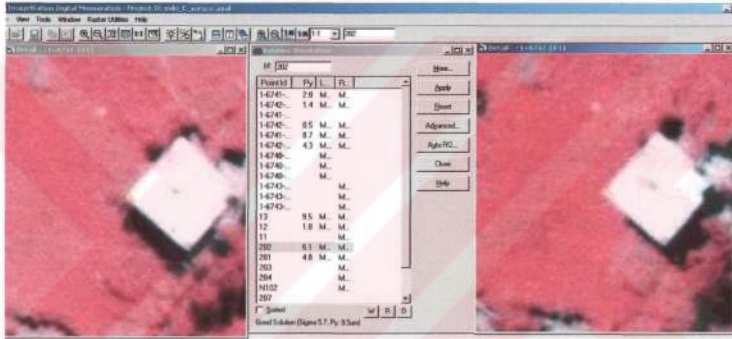


Şekil 27. İç yöneltme işlemi

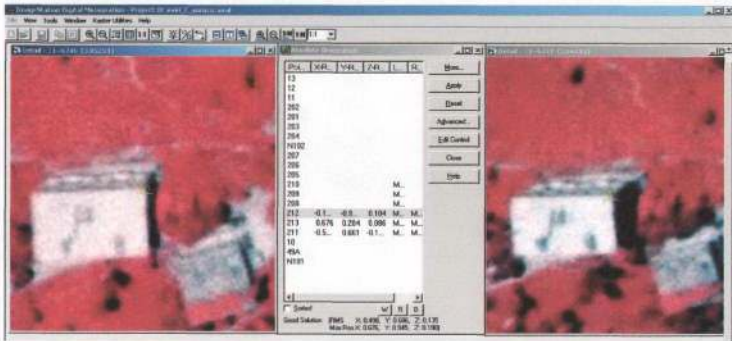
b) Karşılıklı Yöneltme (Relative Orientation): Karşılıklı yöneltme, bindirmeli çekilmiş bir veya daha fazla fotoğraf çiftinin yöneltme parametrelerinin belirlendiği bir metottur (Şekil 28). Karşılıklı yöneltmede, görüntü üzerinde belirgin bütün detay ya da kontrol noktaları ölçü amacıyla kullanılabilir. Model üzerinde iyi dağılmış en az 6 adet bağlantı noktasının bulunması gerekir. Bu noktalarda yapılan ölçülerle paralaks (düşey paralaks) bulunur. Bu yöneltme ile resim çiftlerinden oluşan model üç boyutlu hale

getirilir.

c) Mutlak Yönelme (Absolute Orientation): Mutlak yönelme ile, resim koordinat sistemi ve belirlenen obje uzayı koordinat sistemi arasındaki bağlantı sağlanır. Mutlak yönelmenin yapılabilmesi için model alanına iyi dağılmış en az üç kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Çalışma bölgesinde resim üzerinden belirgin olarak bulunan bina köşelerine GPS ölçme aletleri kullanılarak bina köşelerine koordinat verilmiştir. Bu koordinatlar yardımıyla mutlak yönelme yapılmıştır (Şekil 29). Çalışma alanında GPS aleti yardımıyla yapılan arazi çalışmaları ve hava fotoğraflarından tespit edilebilecek bina köşelerinin ölçümünün nasıl yapıldığı Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 28. Karşılıklı yönelme işlemi



Şekil 29. Mutlak yönelmede kullanılan eski bir bina köşesi

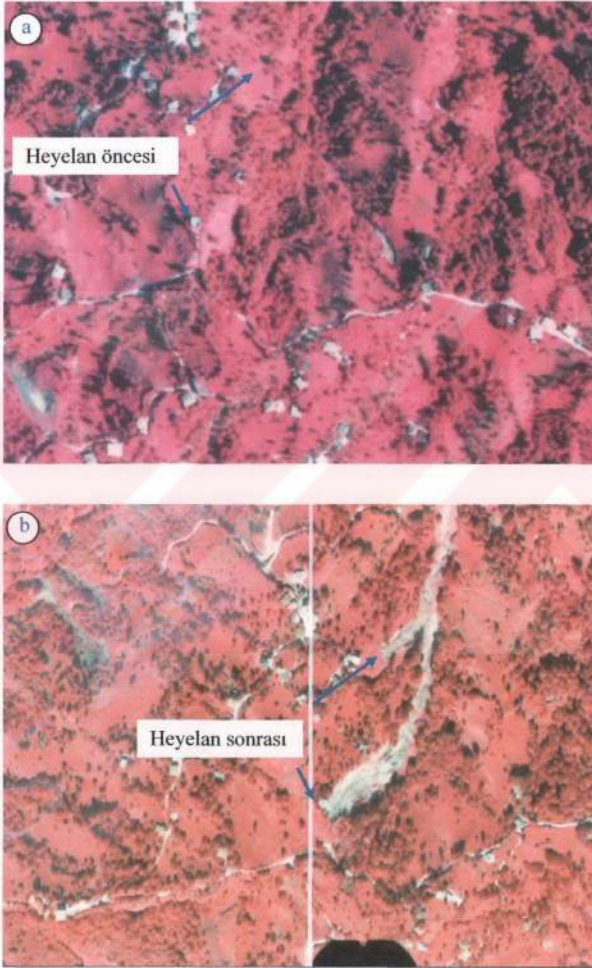


Şekil 30. Mutlak yöneltme için gerekli olan detay noktalarının arazide ölçülmesi

Bu aşamalardan sonra hava fotoğrafları fotogrametrik sistemde değerlendirmeye hazır hale getirilmiştir (Atasoy, 2004).

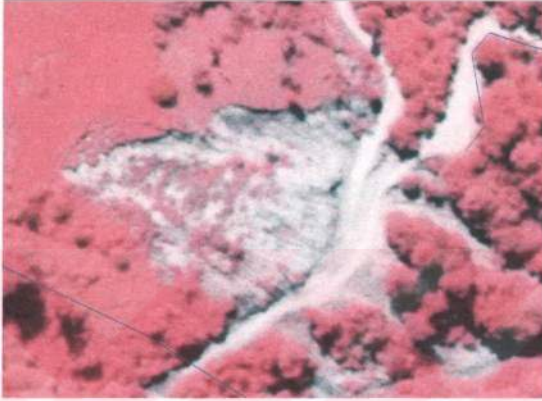
Hava fotoğraflarının yorumlanması ile elde edilen sonuçlar arazi kontrolleriyle test edilerek, bu verilerin arazi değerleri ile örtüştüğü belirlenmiştir. Hava fotoğraflarının değerlendirilmesiyle heyelan alanları ve heyelana ait belirgin özellikler hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmiştir. 2001 yılında meydana gelen yoğun heyelanların öncesi ve sonrasına

ait hava fotoğraflarının (1996 ve 2002) birlikte değerlendirilmesiyle heyelanların tespit edilmesi çok daha kolay olmuştur (Şekil 31). Hava fotoğraflarının değerlendirilmesi,



Şekil 31. a- 1996 yılına ait hava fotoğrafı (heyelan öncesi), b- 2002 yılına ait hava fotoğrafı (heyelan sonrası)

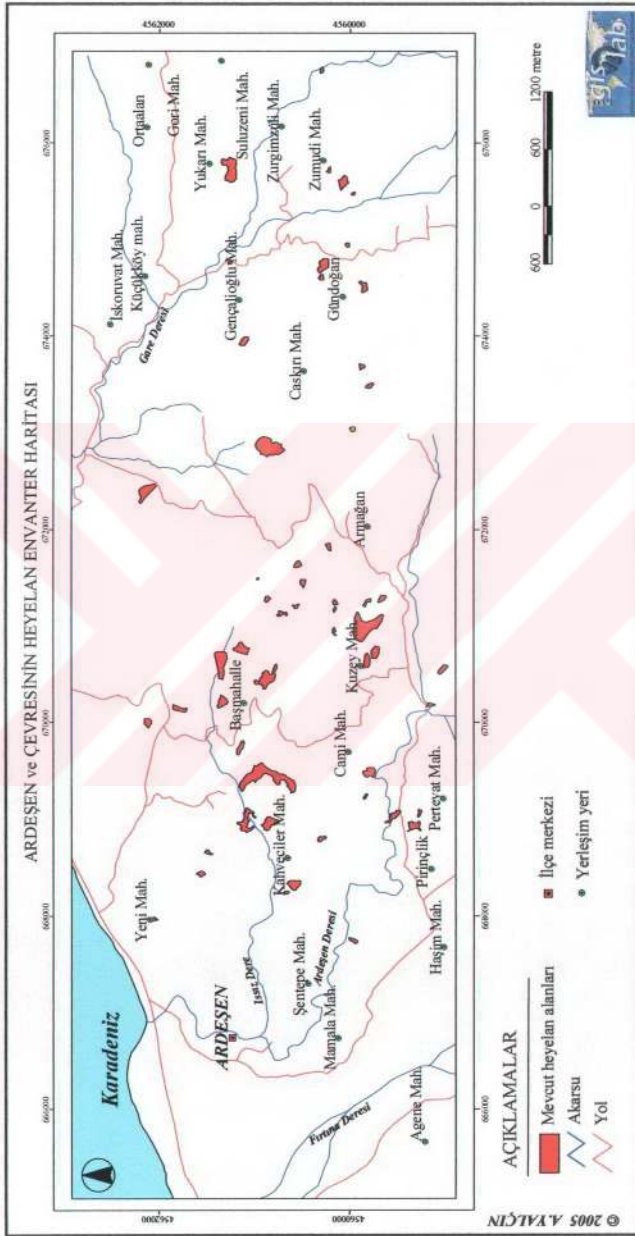
8 ayrı görüntü kullanılarak stereo değerlendirme tekniği ile yapılmıştır. Görüntülerde, özellikle çay bahçelerindeki kaymalarda, heyelan aynası ve ikincil kayma yüzeyleri gibi heyelanın karakteristik özellikleri çok belirgin bir şekilde tespit edilmiştir (Şekil 32).

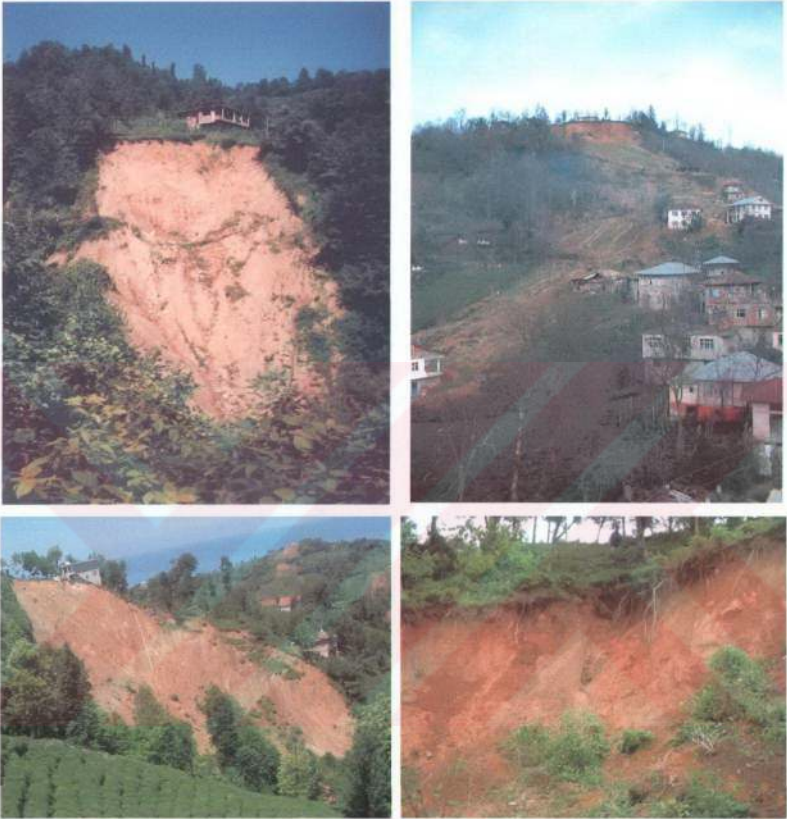


Şekil 32. Hava fotoğraflarından tespit edilen tipik heyelan görünümü

Ardeşen yöresinde tespit edilen heyelanların büyük çoğunluğu 2001 yılında meydana gelen aşırı yağışlar sonucunda oluşmuşlardır. Daha önceki yıllara ait heyelanların bir kısmı, yoğun bitki örtüsünün oluşan heyelan alanlarını bir kaç sene gibi kısa zaman içinde kaplaması veya söz konusu heyelan alanlarının hemen tarım alanlarına dönüştürülmesi gibi nedenlerle tespit edilememiştir.

Çalışma alanında, 1/16000 ölçekli hava fotoğraflarının değerlendirilmesi ve arazi kontrolleri sonucunda 56 adet heyelan tespit edilmiştir (Şekil 33). Bu heyelanların toplam alanı 454638.00 m^2 olarak hesaplanmıştır. Yapılan arazi çalışmalarında, bu heyelanların kayma yüzeylerinin dairesel veya düzlemsel olduğu tespit edilmiştir (Şekil 34). Bu hesaplamalar ve sorgulamalar bir CBS programı olan ArcView v.3.2 programı kullanılarak yapılmıştır.





Şekil 34. Çalışma alanında görülen farklı kayma yüzeyli heyelanlar

3.3.2. Litoloji-Ayrışma

Bir arazinin jeomorfolojisi ile ilgili verilerin temel kaynağını o sahadaki kayaçların litolojik özellikleri oluşturmaktadır (Dai vd., 2001). Jeomorfolojik çalışmaların bir bileşeni olan heyelan, arazide yüzeyleyen kaya kütlelerinin litolojisi ve ayrışma özellikleri ile ilişkilidir. Farklı litolojik birimler heyelan çalışmalarında farklı duyarlılık değerlerine sahip

oldukları için heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynamaktadır (Carrara vd., 1991; Anbalagan, 1992; Mejia-Navarro ve Wohl, 1994; Mejia-Navarro ve Garcia, 1996; Pachauri vd., 1998; Luzi ve Pergalani, 1999; Dai vd., 2001; Çevik ve Topal, 2003). Litolojik özellikler, sahanın heyelana karşı duyarlılığı hakkında önemli veriler sağlayabilir. Bu nedenle litolojik özelliklerin mutlaka sağlıklı bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, hazırlanan haritalarda bazı araştırmacılar doğrudan saha gözlemlerini temel alan nitel değerlendirmeleri (Van Westen ve Bonilla, 1990; Pachauri ve Pant, 1992; Maharaj, 1993; Mejia-Navarro ve Wohl, 1994; Nagarajan vd., 2000), bazıları ise istatistiksel değerlendirmeleri veya yamacı oluşturan malzemenin jeoteknik özelliklerini, diğer bir deyişle nicel değerlendirmeleri (Carrara vd., 1991; Anbalagan, 1992; Juang vd., 1992; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzzetti vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Uromehy ve Mahdaviyar, 2000) esas almışlardır. Nitel değerlendirmeler, çoğu zaman kişiye özgü değerlendirmelere neden olmakta ve elde edilen haritalarda, farklı sonuçların çıkmasına sebep olmaktadır. Yani heyelana duyarlı olarak tanımlanan litolojik birimlerde herhangi bir kütle hareketin gözlenmemesi, az duyarlı/duyarsız alanlarda ise kütle hareketi meydana gelmesi, değerlendirmenin hatalı olduğunu göstermektedir (Guzzetti vd., 1999). Nicel veya istatistiksel değerlendirmelerde meydana gelebilecek hata daha azdır. Çünkü istatistiksel değerlendirme, incelenen alandaki mevcut heyelanların hangi birimler içerisinde meydana geldiğini gösterir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Litolojik açıdan önemli olan diğer bir değerlendirme de, birimlerin ayrışma dereceleri ile ilgilidir. Bir alanda litolojik birimin aynı olmasına karşın, farklı ayrışma dereceleri görülebilmektedir.

Diğer taraftan ayrışmış malzemenin derinliği de aynı alan içerisinde farklı olabilmektedir. Bu nedenle, ayrışma özelliklerinin ve derecelerinin hatalı değerlendirilmesiyle üretilecek duyarlılık haritaları da hatalı olacaktır. Bu hataların önüne geçebilmek için, ayrışma haritaları oluşturulurken çok iyi arazi gözlem ve ölçümleri yapılmalıdır.

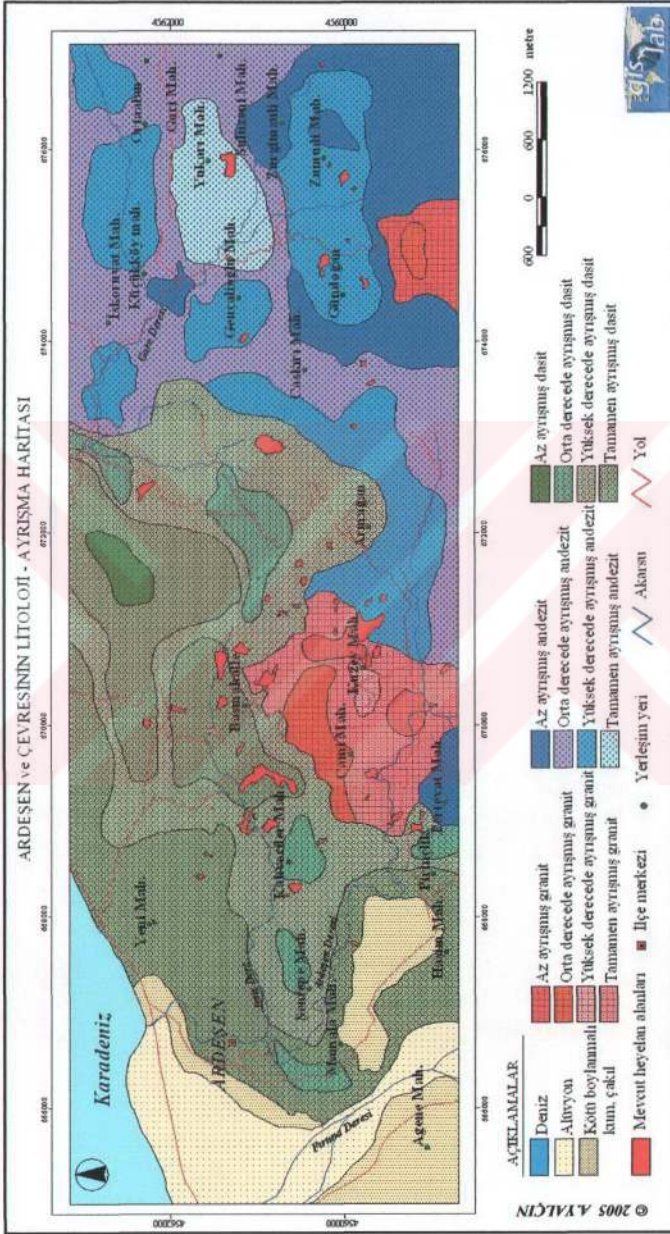
İnceleme alanında yüzeyleyen kayalar fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisiyle değişik derecelerde ayrışmışlardır (Şekil 35).



Şekil 35 . Ardeşen yöresinde görülen farklı ayrışma dereceleri

a: Tamamen ayrışmış, b: yüksek derecede ayrışmış, c: orta derecede ayrışmış, d. Az ayrışmış

Kayaçlardaki ayrışma dereceleri, Brown (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen verilere göre ayrışma haritası üretilmiştir (Şekil 36).



Şekil 36. Ardeşen ve çevresinin litolojisi - ayrışma haritası

Ayrışma haritasında, farklı ayrışma dereceleri gösteren kayalar için "tamamen ayrılmış", "yüksek derecede ayrılmış", "orta derecede ayrılmış" ve "az ayrılmış" olmak üzere dört zon ayrılmıştır.

İlk olarak, litolojik birimlere göre heyelan alanlarının hangi jeolojik birimde ne kadar alan kapladığı belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Litolojik birimlere göre heyelanların alan ve yüzde dağılımları

Litolojik Birim	Heyelan Alanı (m ²)	Heyelan Yüzdesi (%)
Andezit, dasit ve piroklastları (Hemşindere Form.)	373500.00	82.15
İntrüsif kayalar	81138.00	17.85

Çalışma alanında, ayrışma derecelerine göre ayrılmış zonların kapladığı alanlar ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Ayrışma derecelerine göre birimlerin alan ve yüzde dağılımları

Litoloji	Ayrışma derecesi	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
Andezit	Az ayrılmış	3828325.00	9.46
Dasit	Az ayrılmış	307828.18	0.76
Granit	Az ayrılmış	882123.22	2.18
Andezit	Orta derecede ayrılmış	6081203.90	15.03
Dasit	Orta derecede ayrılmış	1540239.29	3.81
Granit	Orta derecede ayrılmış	684359.52	1.69
Andezit	Yüksek derecede ayrılmış	6486347.44	16.03
Dasit	Yüksek derecede ayrılmış	7792932.80	19.26
Granit	Yüksek derecede ayrılmış	120839.79	0.30
Andezit	Tamamen ayrılmış	1283860.10	3.17
Dasit	Tamamen ayrılmış	9344228.80	23.09
Granit	Tamamen ayrılmış	2117488.20	5.23

Tablo 4 incelendiğinde, inceleme alanında %23.09'luk bir oranla tamamen ayrılmış dasit ve %19.26'luk oranla yüksek derecede ayrılmış dasit en fazla yayılım gösteren birimlerdir.

Litoloji-ayrışma haritası ile heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak heyelanların hangi birimler içerisinde meydana geldikleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu katman haritaları

kullanılarak yapılan analizlerle, ayrışma zonlarına göre heyelan alanları ve yüzdeleri tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Değişik ayrışma zonlarındaki heyelanların alanları ve yüzde dağılımları

Birim Adı	Heyelan Alanı (m ²)	Heyelan Yüzdesi (%)
Az ayrılmış andezit	1639.00	0.33
Orta derecede ayrılmış andezit	5248.00	1.05
Orta derecede ayrılmış dasit	330.00	0.07
Yüksek derecede ayrılmış andezit	94041.00	18.76
Yüksek derecede ayrılmış dasit	140742.00	28.07
Tamamen ayrılmış andezit	27687.00	5.52
Tamamen ayrılmış dasit	116847.00	23.30
Tamamen ayrılmış granit	114851.00	22.91

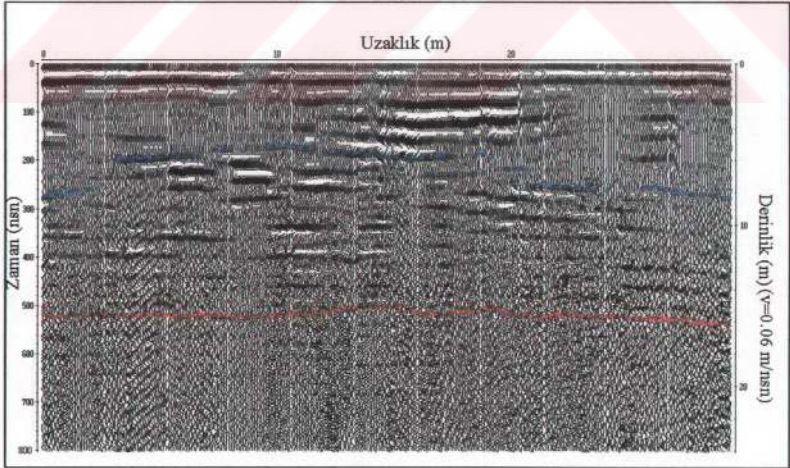
Tablo 5 incelendiğinde, heyelanların yaklaşık %98'lik kısmının yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalar içerisinde meydana geldiği görülmektedir.

Yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalardaki ayrışma zonlarının derinlikleri, arazi gözlemleri ve Yer Radarı Yöntemi (GPR) ile yapılan jeofizik çalışma sonucu tespit edilmiştir. Yer Radarı (GPR), yeraltının yüksek çözünürlükte görüntülenmesini sağlayan ve son zamanlarda uygulama alanı gittikçe artan bir jeofizik yöntemdir (Carcione, 1996; Lorenzo vd., 2002). Yer radarı yönteminde kaynak olarak yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır. Yöntem, özellikle sığ derinliklerde yüksek ayırım sağladığından, yeraltı jeolojisi ve heterojenliği hakkında bilgi vermektedir. Sondaj, kazı ve patlatma yapmadan kullanılması, çevreye zarar vermeden uygulanması yöntemi oldukça çekici hale getirmiştir (Tillard, 1994; URL-1). Bu çalışma için ayrışma derinliklerinin tespitinde kullanılan RAMAC/GPR Yer Radarı sistemi, bir kişisel bilgisayar, bir radar kontrol birimi, verici anten ve alıcı antenden oluşmaktadır (Şekil 37).



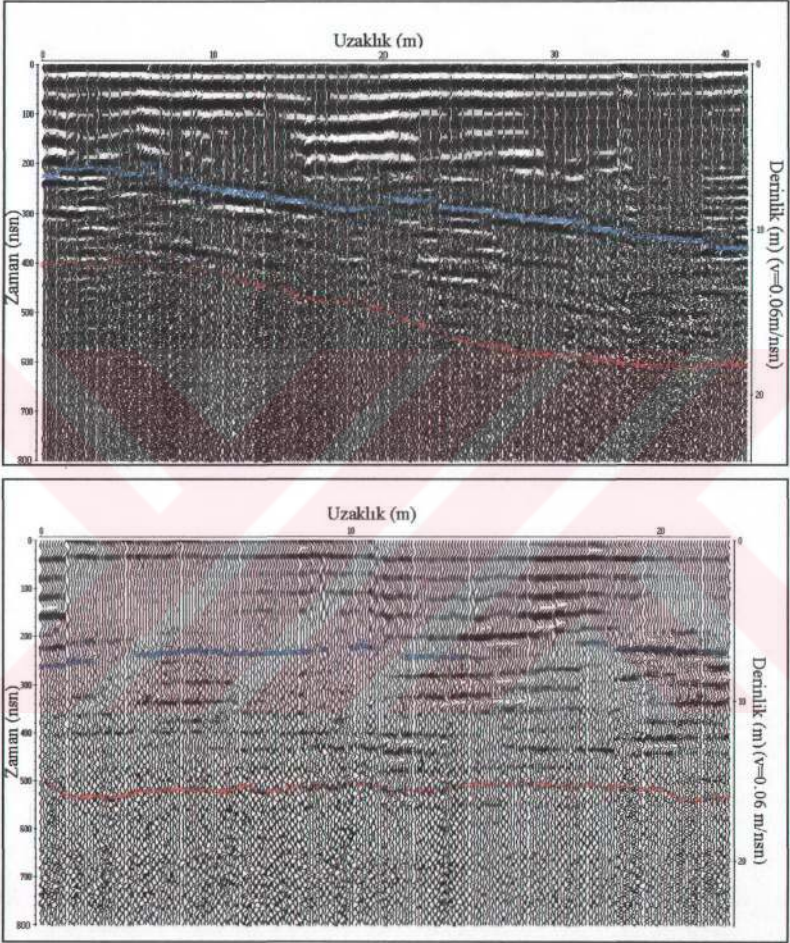
Şekil 37. RAMAC/GPR sistemi ile arazide yapılan ölçümler

RAMAC/GPR Yer Radarı sistemi kullanılarak dokuz farklı alanda ölçüm yapılmış ve elde edilen profiller değerlendirilerek ayrışma derinliklerini temsil eden profiller çıkarılmıştır (Şekil 38).



Şekil 38. Çalışma alanında Yer Radarı ölçümlerinden elde edilen kesitler

(Şekil 38'in devamı)



Çalışma alanında yapılan ölçümlerin tamamında yoğun bitki örtüsünden dolayı net görüntü elde edilememiştir. Ölçümlerde net görüntünün elde edilmesi için Yer Radarı aletinin alıcılarının yer ile temasında hiç kesinti olmaması gerekir. Özellikle çay bahçelerinde yapılan ölçümlerde bu problemle karşılaşmıştır. Ölçümlerin yapılabildiği

profillerin kesitlerinin yorumlanması sonucu, bu alanlarda 16-18 m derinliklerde bir sınır tespiti yapılmıştır. Bu sınır değeri ölçüm yapılan alanlarda ayrışma derinliği ile ilgili verilere karşılık gelmektedir. Arazi çalışmaları esnasında gerek şevlerde gerekse meydana gelen heyelan aynalarında yapılan ölçümlerle, ayrışma derinliklerinin 15-20 m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ölçülen bu değerler, Yer Radarı ile elde edilen değerleri destekler niteliktedir.

3.3.3. Arazi Örtüsü

Arazi örtüsünün varlığı, yamaçların stabilite halinde olduğunun dolaylı bir ifadesidir. Kıraç ve nadir arazi örtüsü ile kaplı alanlar daha hızlı erozyon ve ormanlara göre daha büyük duraysızlıklar göstermektedir (Anbalagan, 1992; Turrini ve Visintainer, 1998; Nagarajan vd., 2000; Dai vd., 2001; Çevik ve Topal, 2003; Perotto-Baldivezo vd., 2004). Bitki örtüsünün yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır.

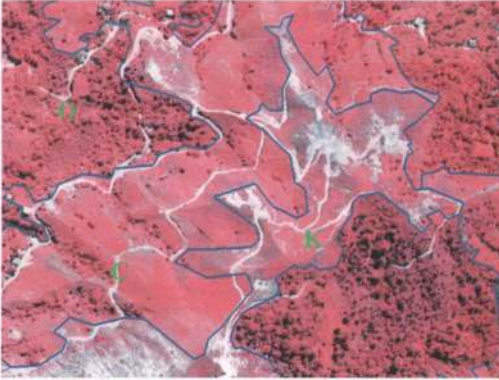
Ağaç ya da bitkilerin yaprakları suyu emme ve buharlaştırma özelliğinden dolayı yağışın süzülme etkisini azaltır. Bunun yanı sıra kökler, zemin içerisindeki suyu alarak terleme yoluyla buharlaştırır ve boşluk suyu basıncının azalmasına neden olurlar. Bu olaylar hidrolojik açıdan yamaçların duraylılığı üzerinde olumlu etkiler olarak sayılabilir. Kök ve gövdeler zemin yüzeyinin pürüzlülüğünü ve geçirgenliğini artırır. Böylece yüzeyden akan suyun zemin içerisine girişini kolaylaştırır. Ayrıca zemindeki nemin azalması, yüzeyde kuruma çatlakları oluşturur ve bu kuruma çatlaklarından zemin içerisine giren yağış suları boşluk suyu basıncının artmasına neden olur. Bu gibi faktörler de yamaçların duraylılığını hidrolojik açıdan olumsuz etkilerler. Köklerin zemini güçlendirerek makaslama dayanımını artırması, bunun yanı sıra, yüzey ve yüzey altındaki tabakanın arasında bağlantı görevi görmesi mekanik açıdan yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Yamaçtaki ağaçların ağırlıkları yamaçtaki normal ve kayma gerilmelerini artırmaktadır. Gerilme artışları da yamaçtaki malzemenin stabilitesini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, rüzgar etkisi ile oluşan dinamik yükler bitkiler tarafından yamaca aktarılır. Bu olay da yamaç duraylılığını olumsuz etkilemektedir (Greenway, 1987).

Bu etkiler arazi örtüsünün türüne ve dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Heyelan duraylılık haritalarının hazırlanmasında bitki örtüsünün duraylılık üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Eğer bitki örtüsü özellikleri itibariyle zeminde bir tahribe yol açmamış ve zemini güçlendirecek özellikte katkıda bulunmuşsa duraylılığa olumlu

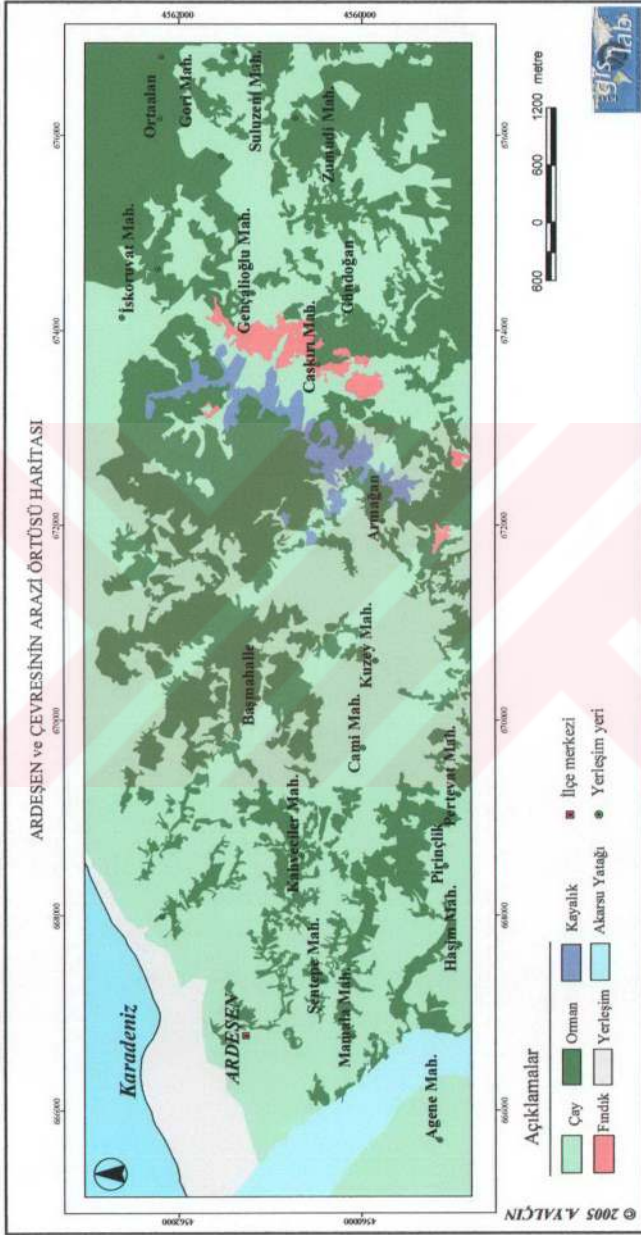
yönde etki ettiği kabul edilmiş, buna karşın yamaçlarda gelişebilecek kayma yüzeyleri üzerinde aşırı yük oluşturabilecek örtünün de duraylılığa olumsuz etki ettiği ortaya konulmuştur (Anbalagan, 1992; Juang vd., 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Nagarajan vd., 2000). Bazı çalışmalarda ise, bitki örtüsü arazi kullanımı ile birlikte değerlendirilmiştir (Carrara vd., 1991; Maharaj, 1993; Mejia-Navarro ve Wohl, 1994; Luzi ve Pergalani, 1999; Uromeihy ve Mahdaviyar, 2000). Nitekim, son zamanlarda yapılan çalışmalarda, bitki örtüsü ayrı bir parametre olarak değerlendirilmeyip, arazi kullanım potansiyeli içerisinde ele alınmıştır (Pachauri vd., 1998; Nagarajan vd., 2000; Lee ve Min, 2001; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Lee vd., 2004 a, Lee vd., 2004 b).

Arazi örtüsü ile heyelan ilişkisi incelendiğinde, tarımsal alanlar, yerleşim alanları, çıplak alanlar, seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar ve yoğun küçük bitki örtüsü ile kaplı alanlarda meydana gelen heyelan yüzdelilerinin fazlalığı dikkati çekmektedir (Koukis ve Ziourkas, 1991; Mehrotra vd., 1992, Pachauri ve Pant, 1992; Zezere vd., 1999; Uromeihy ve Mahdaviyar, 2000).

Bu çalışmada, hava fotoğrafları dijital fotogrametri teknikleri kullanılarak değerlendirilmiş ve arazi örtüsü türlerinin sınırları çok hassas bir şekilde sayısallaştırılmıştır (Şekil 39).



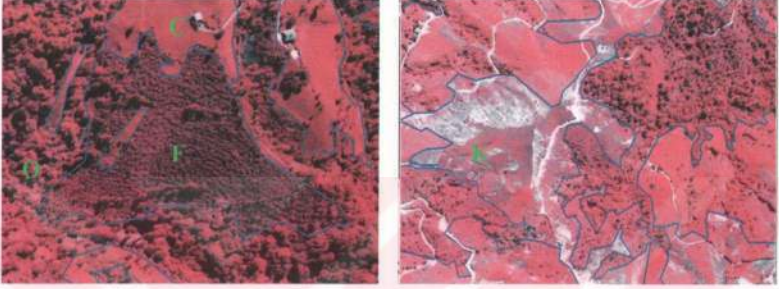
Şekil 39. Orman alanları, kayalık ve çaylık alanların sınırlarının tespiti (O: Orman, Ç: Çay, K: Kayalık)



Şekil 40 . Ardeşen ve çevresinin arazi örtüsü haritası

Yapılan değerlendirmeler sonucunda çay alanları, orman alanları, kayalıklar, fındıklıklar ve yerleşim yerleri olmak üzere 5 farklı arazi örtüsü sınıfı tanımlanmıştır (Şekil 40).

Fındıklık ve kayalık alanların sınırları, hava fotoğraflarında çok iyi bir şekilde izlenmektedir (Şekil 41).



Şekil 41. Fındıklık ve kayalık alanların görünümü (O: Orman, K: Kayalık, : ay, F: Fındık)

Bu sınıflamada yerleşim yeri olarak değerlendirilen kısımlar, Ardeşen ilçe merkezinin bulunduğu ve yaklaşık %4'lük bir alan kaplayan sahil kuşağıdır. Çalışma alanının diğer bölgelerindeki yerleşim yerleri gerek çaylık alanlar gerekse orman alanlarıyla iç içedir. Genelde Doğu Karadeniz Bölümünün tipik dağınık yerleşim biçimi bu yörede de hakimdir. Dolayısıyla yerleşim yerleri hem çay bahçeleri kenarları boyunca hem de orman alanları olarak değerlendirilen sıra ağaçlar boyunca uzanmaktadır (Şekil 42). Bu dağınıklıktan dolayı çaylık ve orman alanlarında yerleşim yeri olarak görünen konutlar ayrıca değerlendirilmemiştir.



Şekil 42. Yerleşim yerlerinin dağılımı

Elde edilen sınıfların çalışma alanında kapladığı alan ve yüzde dağılımları da Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Çalışma alanında arazi örtüsü çeşitlerinin alan ve yüzde dağılımları

Arazi örtüsü	Alan (m ²)	Yüzde (%)
Çay	24079876.00	53.96
Fındık	554968.00	1.24
Kayalık	785647.00	1.76
Orman	17307813.00	38.79
Yerleşim	1897708.00	4.25

Tablo 6 incelendiğinde, çalışma alanında hakim arazi örtüsünün yaklaşık %54'lük bir oranla çaylık alanlar, %39'luk bir oranla da orman alanlarından oluştuğu ortaya konmuştur. Kayalık ve fındıklık olarak belirlenen alanlar tüm alanın %3'lük bir kısmını kaplamaktadır.

Mevcut arazi örtüsünün heyelanlarla olan ilişkisini ortaya koymak için heyelan envanter haritası, üretilen arazi örtüsü haritası ile birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 7'de verilen değerler elde edilmiştir.

Tablo 7. Heyelanların arazi örtüsüne göre alanları ve yüzde dağılımları

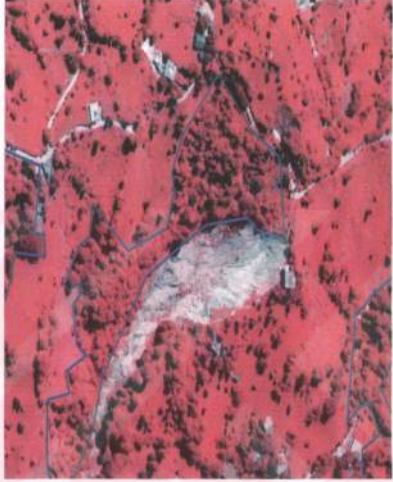
Arazi örtüsü	Heyelan Alanı (m ²)	Heyelan Yüzdesi (%)
Çaylık alanlar	268026.00	58.96
Orman alanları	180653.00	39.74
Fındıklık	5943.00	1.30
Kayalık	0.00	0.00
Yerleşim	0.00	0.00

Çalışma alanında, heyelanların yaklaşık %60'lık bir kısmının çaylık alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Orman alanlarında tespit edilen heyelanların oranı da %40 civarındadır. Orman alanlarında meydana gelen heyelanın oranının yüksek olmasının nedeni, orman olarak tanımlanan alan içerisinde yer yer çaylık alanların bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 43).



Şekil 43. Orman alanları içerisinde yer alan çay bahçeleri

Diğer taraftan, arazi çalışmalarında çaylık alanlarda oluşan heyelanların bir kısmının çaylık-orman alanı sınırlarını takip ettiği tespit edilmiştir. Bu durum arazideki incelemelerde ve hava fotoğrafı değerlendirilmesinde de net bir şekilde görülmektedir (Şekil 44).



Şekil 44. Heyelanların çaylık-orman alanı sınırında gelişiminin arazi ve hava fotoğrafındaki görünümü

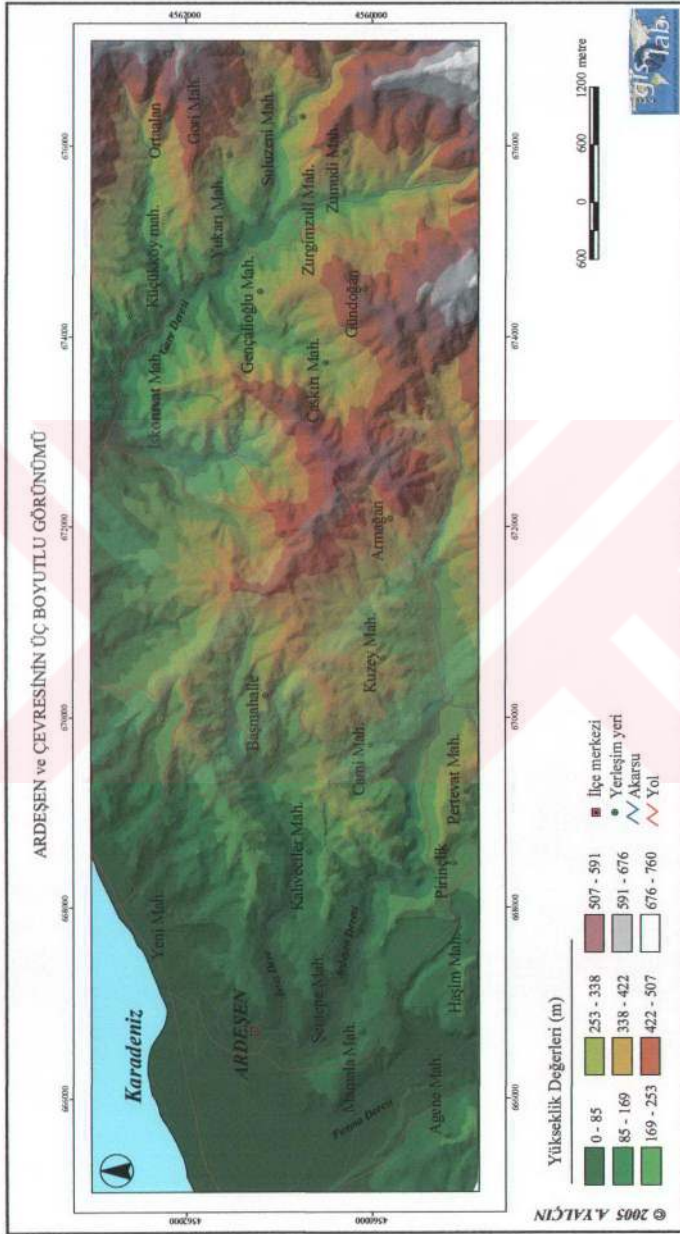
Elde edilen arazi örtüsü haritası incelendiğinde, sahiliden iç kesimlere doğru orman alanlarının açılarak özellikle çay bahçelerine dönüştürüldüğü tespit edilmiştir (Şekil 40). Çok büyük boyutlarda orman tahribatı görülmektedir. Orman alanlarının gelişi güzel açılmasıyla bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve yanlış arazi kullanılmaları sonucu heyelanların meydana gelmesi kolaylaştırılmaktadır.

3.3.4. Eğim

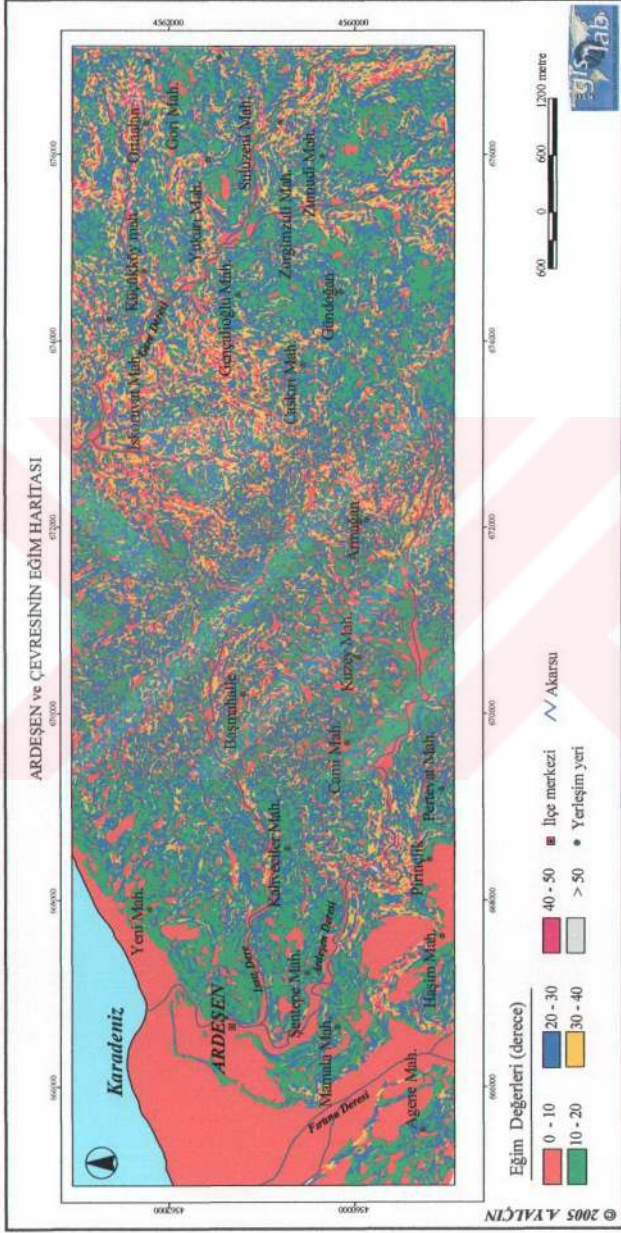
Şev stabilite çalışmalarında ana parametre şev yada yamacın eğim açısıdır (Lee ve Min, 2001). Şev yada yamacın eğim açısı heyelanlarla direkt ilgili olduğu için, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok sık kullanılan bir parametredir (Anbalagan, 1992; Pachauri vd., 1998; Clerici vd., 2002; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Lee vd., 2004). Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde eğim parametresinin çok önemli bir fonksiyonu vardır.

Bu çalışmada, 1/25000 ölçekli STH kullanılarak eğim haritası üretilmiştir. Bunun için, topografik harita üzerindeki eşyükseklik eğrilerinin sayısallaştırılmasında raster tarama yöntemi kullanılarak çalışma alanını kapsayan 1/25000 ölçekli topografik paftalar taranmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra 10 m aralıklı eşyükseklik eğrileri ekran üzerinden manuel olarak (el yordamıyla) sayısallaştırılmıştır. Resim koordinatlarında elde edilen vektörel eğriler, afin dönüşümü ile UTM (*Universal Tranverse Mercator*) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Sayısallaştırılarak yükseklik değerleri girilen eşyükseklik eğrilerinden TIN (*Triangulated Irregular Network*) veri yapısında çalışma alanının üç boyutlu arazi modeli elde edilmiştir (Şekil 45).

Sayısal Arazi Modeli ArcView v.3.2. yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Öncelikle vektör formatında arazi modeli üretilmiş, daha sonra 5 m piksel boyutu tanımlanarak eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 46). Eğim değerleri, derece veya yüzde olarak hesaplanabilir. Yüzde olarak eğim, eğim açısının tanjantının 100 ile çarpımı ile elde edilir (Reis, 2003). ArcView 3.2. yazılımı eğim değerlerini derece olarak vermektedir. Eğer istenirse, derece olarak elde edilen eğim değerleri, yüzdeye dönüştürülebilir. Bu çalışmada, eğim değerleri derece olarak alınmış ve kendi aralarında altı gruba ayrılmıştır. Bu eğim gruplarının arazideki hakimiyetini belirlemek için CBS ortamında yapılan analiz sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 45. Ardeşen ve çevresinin üç boyutlu görüntüsü



Şekil 46. Ardeşen ve çevresinin eğim haritası

Tablo 8. Çalışma alanındaki eğim gruplarının alan ve yüzde dağılımları

Eğim değeri (°)	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
0 - 10	9860590.00	21.17
10 - 20	10302620.00	22.12
20 - 30	15133719.00	32.49
30 - 40	8316901.00	17.86
40 - 50	2315699.00	4.97
> 50	649056.00	1.39

Tablo 8 incelendiğinde 30 dereceye kadar olan eğim değerlerinin araziye hakim olduğu görülmektedir.

Meydana gelen heyelanların hangi eğim gruplarında ve oranlarda oluştuğunu tespit etmek için ArcView v.3.2'de analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda eğim ve heyelan arasındaki ilişki belirlenerek, eğim gruplarına karşılık gelen heyelanların alansal ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Eğim gruplarına göre heyelanların alanları ve yüzde dağılımları

Eğim değeri (°)	Heyelan Alanı (m ²)	Heyelan Yüzdesi (%)
0 - 10	51078.00	11.23
10 - 20	100257.00	22.05
20 - 30	162113.00	35.66
30 - 40	107496.00	23.65
40 - 50	27825.00	6.12
> 50	5869.00	1.29

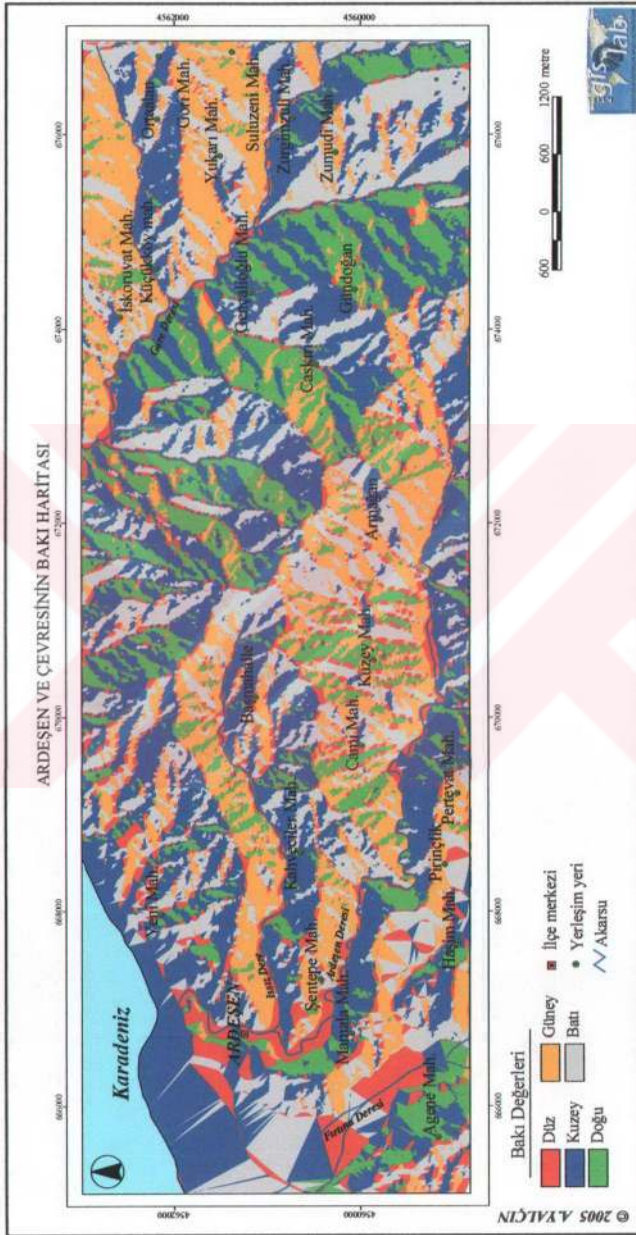
Tablo 9 incelendiğinde, oluşan heyelanların yaklaşık %82'lik kısmının 10 ile 40 derece eğim aralığında meydana geldiği görülmektedir.

3.3.5. Bakı

SAM kullanarak elde edilen diğer bir harita da bakı haritasıdır. Bakı, arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve herhangi bir noktadaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Bakı, kuzeye doğru saat ibresi yönünde gidilerek ölçülür ve 0 ile 360 derece arasında pozitif değerler alır (Reis, 2003).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğim gibi bakı da önemli faktörlerdendir (Van Westen ve Bonilla, 1990; Carrara vd., 1999; Maharaj, 1993; Guzetti vd., 1999; Nagarajan, 2000; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Lee vd., 2004). Bakı, heyelanların oluşumunu kontrol edebilen süreksizlikler, yağış, rüzgar etkisi ve güneş ışığına maruz kalma gibi parametrelerle ilişkilidir (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Dai vd., 2001, Çevik ve Topal, 2003). Konu ile ilgili birçok çalışmada yapılan istatistiksel değerlendirmelerde heyelanların belli bakı değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Van Westen ve Bonilla, 1990; Carrara vd., 1991; Koukis ve Ziourkas, 1991; Anbalagan, 1992; Juang vd., 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Maharaj, 1993; Mejia-Navarro ve Wohl, 1994; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzetti vd., 1999; Nagarajan vd., 2000; Saha vd., 2002; Ercanoğlu et al. , 2004; Lee vd., 2004). Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısı, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik eğim ile zeminin türü, geçirirliiliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Bu çalışmada, bakı ve heyelanlar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için inceleme alanının bakı haritası üretilmiştir. Bakı bölgeleri düz (-1°), kuzey (315° - 360° , 0° - 45°), doğu (45° - 135°), güney (135° - 225°) ve batı (225° - 315°) olmak üzere 5 bakı yönüne göre sınıflandırılmıştır (Şekil 47). Elde edilen bakı gruplarının arazide ne kadar bir alanda hakim olduğu ve bunların yüzde değerleri tespit edilmiştir (Tablo 10).



Şekil 47. Ardeşen ve çevresinin bakı haritası

Tablo 10. Bakı değerlerinin çalışma alanındaki alan ve yüzde dağılımları

Bakı Yönü	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
Düz	5433352.00	11.67
Kuzey	14255517.00	30.61
Doğu	6720903.00	14.43
Güney	8563894.00	18.39
Batı	11603991.00	24.91

Bakı yönlerinin arazideki hakimiyeti incelendiğinde, kuzeye bakan yamaçların %30'larda olduğu görülmüştür. Bu değer, arazinin genelinde denizden gelen hava akımlarının yörede daha fazla alanı etkileyeceği sonucunu doğurmaktadır.

Heyelanların bakı yönlerine göre dağılımlarını belirlemek yani hangi bakı yönünde ne kadar heyelan meydana geldiğini tespit etmek için bakı ve heyelan envanter haritaları kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda bakı yönüne göre heyelanların alan ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. Bakı yönlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları

Bakı Yönü	Heyelan Alanı (m ²)	Heyelan Yüzdesi (%)
Düz	46821.00	10.29
Kuzey	154559.00	34.00
Doğu	57996.00	12.76
Güney	71252.00	15.67
Batı	124010.00	27.28

Bakı değerleri ile heyelan dağılımı arasındaki değerlere bakıldığında, heyelanların %34'lük kısmının kuzeye bakan yamaçlarda meydana geldiği görülmektedir. Batıya bakan yamaçlarda ise heyelanların oranı %27.28'dir (Tablo 11).

3.3.6. Jeoteknik Özellikler

Ardeşen ve çevresinde, özellikle heyelanın meydana geldiği alanlardaki kayalar yüksek derecede-tamamen ayrışmış olduklarından bu kayalar mekanik açıdan zemin özelliğine sahiptirler. Bu araştırmada, arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen

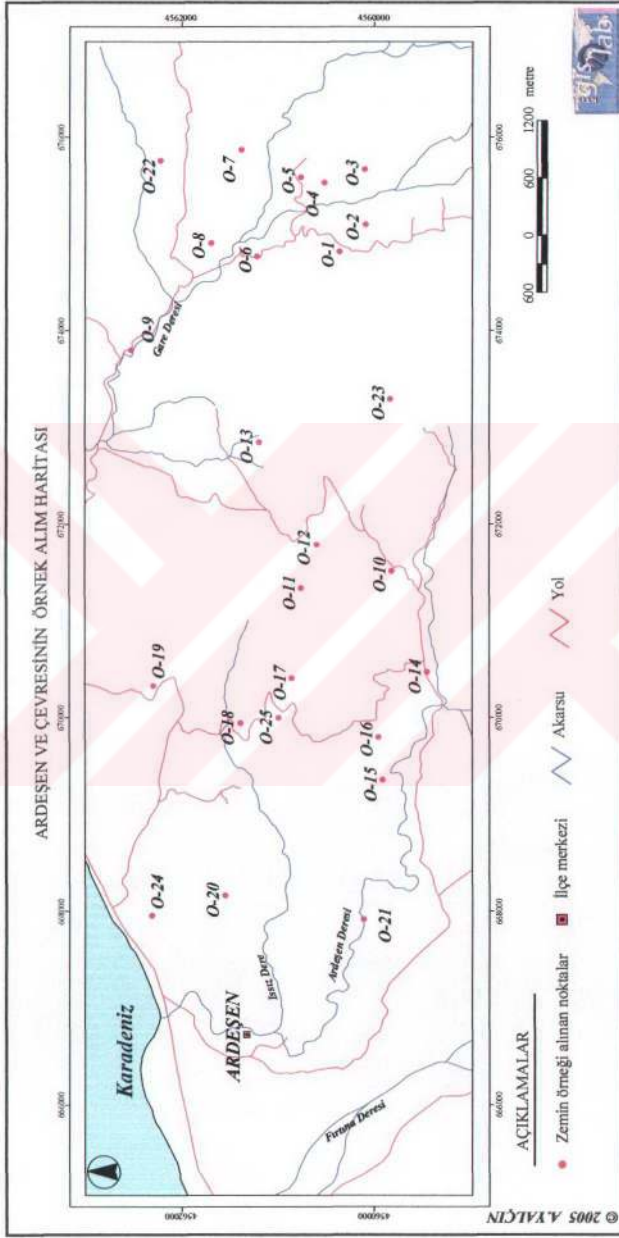
jeolojik birimlerin özellikleri, ayrışma dereceleri ve dağılımları gibi veriler dikkate alınarak laboratuvar deneyleri için tüm çalışma alanını karakterize edebilecek 25 ayrı istasyondan örnek alınmış (Şekil 48) ve örnekler üzerinde laboratuvarda elek analizi, kıvam limitleri, özgül ağırlık ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.

İnceleme alanında yüzeyleyen ayrışmış malzemenin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflanmasına göre sınıflandırılabilmesi için, gerekli olan veriler yıkamalı elek analizi deneyi ve kıvam limitleri deneyleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 12 ve Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 12. Yıkamalı elek analiz sonuçları

Örnek No	200 nolu elekten geçen zemin miktarı (%)	4 nolu elekten geçen zemin miktarı (%)	Örnek No	200 nolu elekten geçen zemin miktarı (%)	4 nolu elekten geçen zemin miktarı (%)
O-1	37.18	100.00	O-14	60.13	99.87
O-2	80.25	100.00	O-15	58.38	100.00
O-3	78.69	99.70	O-16	42.85	99.19
O-4	53.64	100.00	O-17	63.64	100.00
O-5	50.18	100.00	O-18	54.90	100.00
O-6	10.85	65.72	O-19	58.72	99.24
O-7	63.34	100.00	O-20	80.39	99.43
O-8	52.85	100.00	O-21	38.57	98.18
O-9	38.33	93.07	O-22	54.44	100.00
O-10	51.61	100.00	O-23	52.07	100.00
O-11	64.62	100.00	O-24	59.42	100.00
O-12	62.82	100.00	O-25	50.44	100.00
O-13	48.01	100.00			

Likit limitin belirlenmesinde kullanılan vuruş sayısı-su muhtevası grafikleri ise Ek Şekil 1'de, plastik limitin belirlenmesinde kullanılan veriler Ek Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 48. Ardeşen ve çevresinin zemin örneği alım haritası

Tablo 13. Kıvam limitleri deney sonuçları

Örnek No	KIVAM LİMİTLERİ		
	Likit Limit (W_L) (%)	Plastik Limit (W_P) (%)	Plastisite İndisi (I_P) (%)
O-1	37.50	37.17	0.33
O-2	61.80	45.23	16.57
O-3	62.50	41.91	20.59
O-4	74.00	54.79	19.21
O-5	56.50	50.94	5.56
O-6	-	-	-
O-7	45.00	44.61	0.39
O-8	40.50	27.74	12.76
O-9	41.50	32.98	8.52
O-10	43.50	41.51	1.99
O-11	56.00	43.72	12.28
O-12	41.30	37.15	4.15
O-13	43.00	38.28	4.72
O-14	43.50	32.29	11.21
O-15	33.80	30.46	3.34
O-16	50.50	41.08	9.42
O-17	57.00	39.43	17.57
O-18	47.00	36.70	10.30
O-19	50.00	40.41	9.59
O-20	39.50	34.92	4.58
O-21	53.00	46.21	6.79
O-22	71.00	42.52	28.48
O-23	35.00	27.82	7.18
O-24	55.00	48.65	6.35
O-25	41.00	34.17	6.83

Tablo 12’de 0-6 nolu örnekte likit limit değeri hesaplanamamıştır. Bu örnek için yapılan deneyde, Casagrande deney aletinin çanağında açılan oluk, zemindeki akma yoluyla kapanacağına, zeminin kap yüzeyi boyunca kaymasıyla kapanmıştır. Birkaç kez su ilave edilmesine karşın tekrar kayma meydana gelmiş ve deney gerçekleştirilememiştir. Tablo 12 ve Tablo 13’te verilen sonuçlar kullanılarak ayrılmış malzeme Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre adlandırılmış ve ilgili örneklerin plastisite kartındaki yerleri Şekil 49’da verilmiştir. Malzemenin plastiklik özellikleri, Uluslararası Mühendislik

(Tablo 14'ün devamı)

O-15	ML-OL	Düşük plastisiteli	Az plastisiteli
O-16	SC	Yüksek plastisiteli	Orta plastisiteli
O-17	MH-OH	Yüksek plastisiteli	Yüksek plastisiteli
O-18	ML-OL	Orta plastisiteli	Orta plastisiteli
O-19	MH-OH	Yüksek plastisiteli	Orta plastisiteli
O-20	ML-OL	Orta plastisiteli	Az plastisiteli
O-21	SM-SC	Yüksek plastisiteli	Az plastisiteli
O-22	MH-OH	Çok yüksek plastisiteli	Yüksek plastisiteli
O-23	ML-OL	Orta plastisiteli	Orta plastisiteli
O-24	MH-OH	Yüksek plastisiteli	Az plastisiteli
O-25	ML-OL	Orta plastisiteli	Az plastisiteli

3.3.6.1. Makaslama Dayanımı

Şev stabilite modelleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için, stabilite hesaplarında kullanılacak makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Moon ve Blackstock, 2004).

Ardeşen yöresindeki ayrıışmış malzemenin makaslama dayanımı parametrelerini belirlemek için ASTM (1990) standartlarına göre, 0.05 mm/dakika sabit makaslama kuvveti ile konsolidasyonlu-drenajlı kesme kutusu deneyi yapılmış ve elde edilen deney sonuçları yardımıyla σ - τ grafikleri (Ek Şekil 2) çizilerek efektif kohezyon ve efektif içsel sürtünme açısı değerleri bulunmuştur (Tablo 15). Ayrıca, ayrıışmış malzemenin tane birim hacim ağırlık (γ_s), kuru birim hacim ağırlık (γ_k), doğal birim hacim ağırlık (γ_n) ve doymun birim hacim ağırlık (γ_d) gibi indeks özellikleri laboratuvarında yapılan deneylerle belirlenmiştir (Tablo 15).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında, ayrı bir katman olarak kullanılan zeminlerin makaslama dayanımı haritası için, öncelikle konumları belli olan örnek noktalarının efektif kohezyon ve efektif içsel sürtünme katsayı değerleri kullanılarak ArcView v.3.2 ve ArcInfo v.8.01 programı *Theissen Polygons* modülü ile örnek noktaları etrafında etki değerlerine göre alanlar oluşturularak, poligon türü coğrafi veri elementleri elde edilmiş, böylece eş efektif kohezyon ve eş efektif içsel sürtünme katsayısı haritası üretilmiştir. Daha sonra hava fotoğraflarının dijital fotogrametrik sistemde değerlendirilmesiyle, farklı litolojik birimlerde ayrışma dereceleri de dikkate alınarak, farklı eğim derecelerine ve farklı yüksekliklere sahip yamaçlardan 1m'den daha küçük

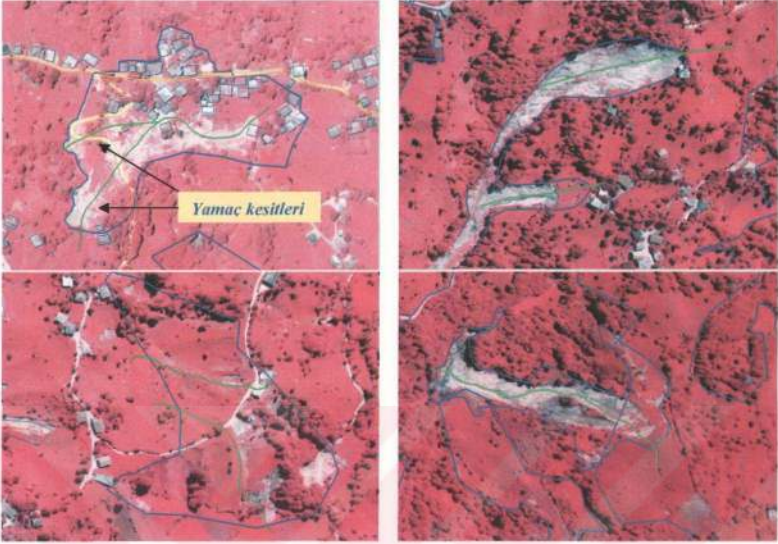
hassasiyetle 60 adet yamaç kesiti çıkarılmıştır. Hava fotoğraflarında yamaç kesitlerinin sayısallaştırılması işlemi Şekil 50'de gösterilmiştir.

Tablo 15. Zemin örneklerinin jeoteknik özellikleri

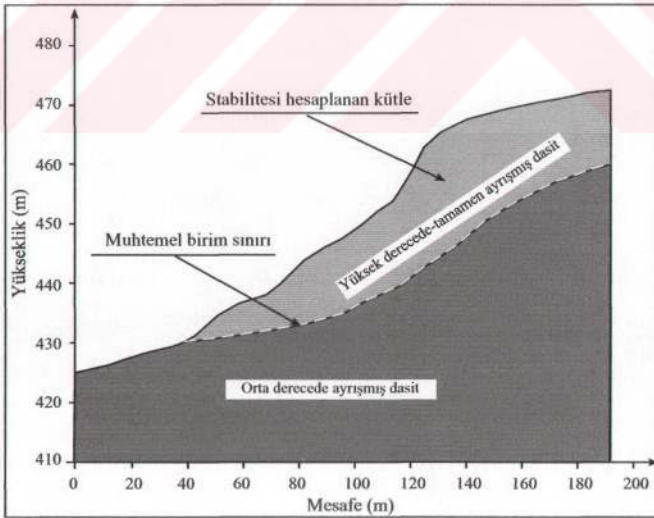
Örnek No	c' (kg/cm^2)	ϕ' ($^\circ$)	İndeks özellikleri				
			γ_s (gr/cm^3)	γ_k (gr/cm^3)	γ_n (gr/cm^3)	γ_d (gr/cm^3)	n (%)
O-1	0.40	25.64	2.77	1.37	1.73	1.87	50.44
O-2	0.50	21.80	2.80	1.04	1.63	1.66	62.81
O-3	0.25	36.12	2.72	1.32	1.77	1.80	51.45
O-4	0.27	35.37	2.84	1.01	1.57	1.67	64.37
O-5	0.33	32.21	2.87	1.06	1.62	1.72	63.09
O-6	0.51	31.38	3.02	1.38	1.85	1.91	54.17
O-7	0.18	44.13	2.76	1.13	1.69	1.74	59.12
O-8	0.40	23.75	2.75	1.14	1.69	1.73	58.41
O-9	0.15	45.85	2.68	1.50	1.92	1.96	44.13
O-10	0.35	36.87	2.75	1.34	1.70	1.85	51.19
O-11	0.23	37.95	2.73	1.40	1.67	1.88	48.78
O-12	0.24	36.13	2.71	1.32	1.77	1.79	50.88
O-13	0.08	46.39	2.72	1.33	1.76	1.80	51.18
O-14	0.34	31.38	2.73	1.58	1.92	2.00	42.23
O-15	0.21	34.60	2.69	1.37	1.83	1.88	49.04
O-16	0.36	27.02	2.75	1.23	1.69	1.76	55.20
O-17	0.24	36.13	2.71	1.24	1.77	1.80	55.04
O-18	0.19	37.95	2.74	1.18	1.68	1.71	56.87
O-19	0.17	43.53	2.70	1.25	1.73	1.77	53.88
O-20	0.24	33.42	2.70	1.43	1.83	1.91	47.07
O-21	0.39	25.64	2.82	1.13	1.62	1.71	60.08
O-22	0.30	36.13	2.68	1.23	1.72	1.78	54.20
O-23	0.26	34.99	2.85	1.46	1.85	1.98	51.00
O-24	0.45	21.30	2.79	1.13	1.64	1.73	49.00
O-25	0.24	34.22	2.73	1.30	1.69	1.83	52.20

Hava fotoğraflarının dijital fotogrametrik sistemde değerlendirilmesi ile üretilen yamaç kesitleri üzerine jeolojik özellikler işaretlenerek yamaçlara ait jeolojik kesitler elde edilmiştir. Bu kesitlerden bir tanesi örnek olarak Şekil 51'de verilmiştir.

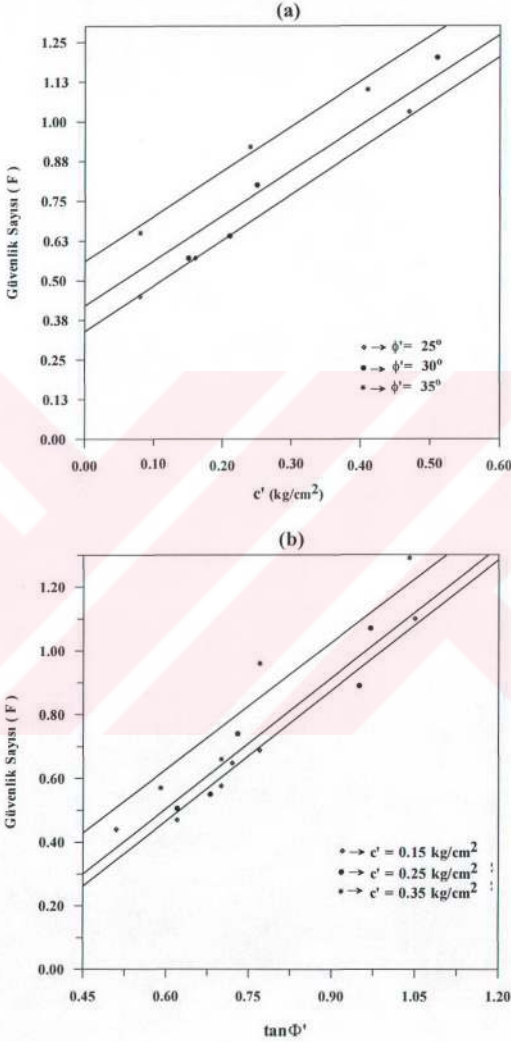
Stabilite analizleri, jeolojik kesitlerden elde edilen veriler ve laboratuvar deneyleri ile belirlenen jeoteknik özellikler yardımıyla, zeminin doymun durumu için PCSTABL5M (Achilleos, 1988) bilgisayar programı kullanılarak yapılmış ve güvenlik sayıları bulunmuştur.



Şekil 50. Hava fotoğraflarından yamaç kesitlerinin üretilmesi



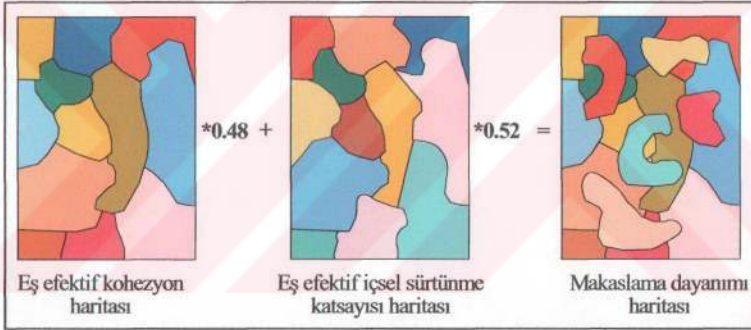
Şekil 51. Stabilité hesaplamalarında kullanılan jeolojik kesit



Şekil 52. Makaslama dayanımı parametrelerine göre güvenlik sayısı değerleri a) Güvenlik sayısı – efektif kohezyon grafiği, b) Güvenlik sayısı – efektif içsel sürtünme açısı grafiği

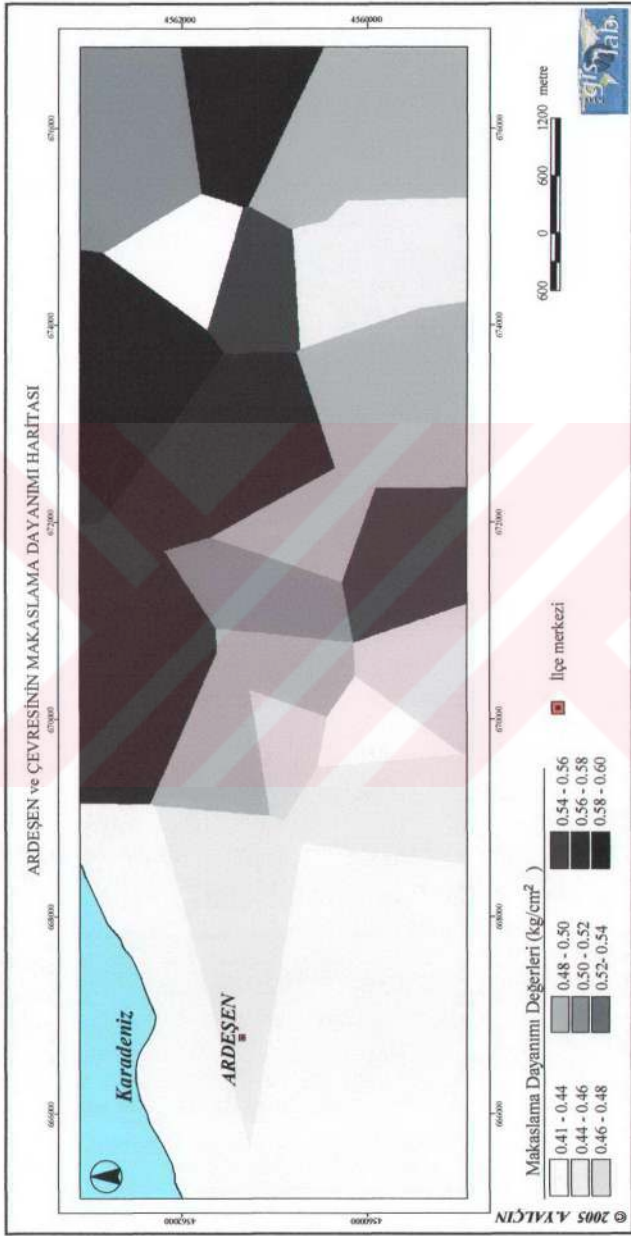
Elde edilen güvenlik sayılarında, zeminin efektif kohezyon ve efektif içsel sürtünme açısının etkilerini ayrı ayrı belirlemek için, sabit efektif kohezyon ve sabit efektif içsel sürtünme açısı değerlerine göre çizilen güvenlik sayısı (F) – efektif kohezyon (c') ve güvenlik sayısı (F) – efektif içsel sürtünme katsayısı ($\tan\phi'$) grafikleri kullanılmıştır (Şekil 52).

Bu grafikler yardımıyla, efektif kohezyonun güvenlik sayısı üzerindeki etkisinin %48, efektif içsel sürtünme katsayısının ise %52 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen efektif kohezyon ve efektif içsel sürtünme katsayısının etki değerlerinin eş efektif kohezyon ve eş efektif içsel sürtünme katsayısı haritaları ile çarpılıp toplanması sonucu (Şekil 53), çalışma alanındaki zeminlerin makaslama dayanımı haritası üretilmiştir. (Şekil 54).



Şekil 53. Eş efektif kohezyon ve eş efektif içsel sürtünme katsayısı haritalarıyla makaslama dayanımı haritasının üretilmesi

Makaslama dayanımı haritasında her bir pikselin aldığı değer, eş efektif kohezyon haritası ve eş efektif içsel sürtünme katsayısı haritasının üretiminde kullanılan efektif kohezyon ve efektif içsel sürtünme katsayısı değerlerinin raster veri yapısında gerçekleştirilen işlemleri sonucu elde edilmiştir. Elde edilen makaslama dayanımı değerlerinin poligon olarak arazide minimum değerden maksimum değere doğru kapladığı alan ve yüzde dağılımları Tablo 16'da verilmiştir.



Şekil 54. Ardeşen ve çevresinin makaslama dayanımı haritası

Tablo 16. Makaslama dayanımı değerlerinin alan ve yüzde dağılımları

Makaslama dayanımı değerleri (kg/cm ²)	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
0.41 – 0.45	14681800.00	31.83
0.45 – 0.49	9372750.00	20.32
0.49 – 0.53	9259550.00	20.08
0.53 – 0.57	7454350.00	16.16
0.57 – 0.61	5353650.00	11.61

Zeminlerin makaslama dayanımı değerlerinin dağılımı incelendiğinde, 0.41 – 0.45 kg/cm² değer aralığının en fazla alan (%31.83) kapladığı görülmektedir (Tablo 16). Üretilen makaslama dayanımı haritası ile heyelan envanter haritasının karşılaştırılması sonucu, zemin direnç değerlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları elde edilmiştir (Tablo 17).

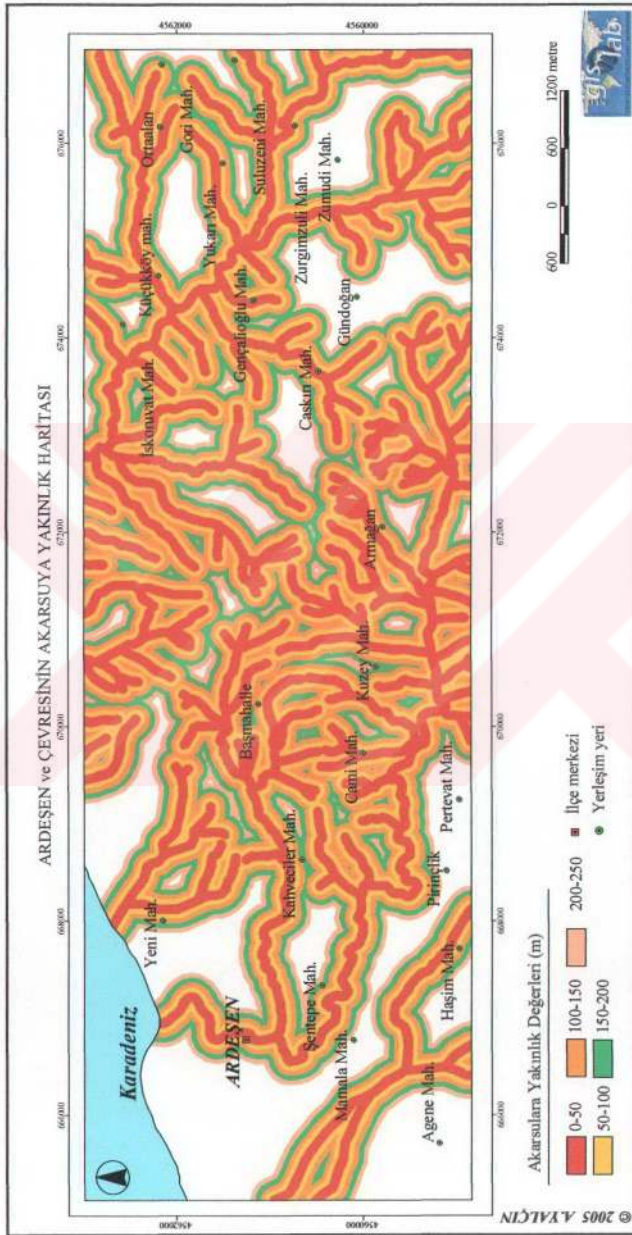
Tablo 17. Makaslama dayanım değerlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları

Makaslama dayanımı değerleri (kg/cm ²)	Heyelan alanı (m ²)	Heyelan yüzdesi (%)
0.41 – 0.45	36315.00	7.99
0.45 – 0.49	138850.00	30.54
0.49 – 0.53	128529.00	28.27
0.53 – 0.57	96021.00	21.12
0.57 – 0.61	54918.00	12.08

Tablo 17 irdelendiğinde, makaslama dayanımı değeri düşük olan zeminlerde ilk değer hariç heyelan yüzdelerinin daha fazla olduğu, yüksek dayanım değerlerinde ise bu oranın giderek azaldığı görülmektedir. İlk direnç değerinde, heyelan yüzdesinin az olmasının nedeni, bu alanların eğiminin düşüklüğü ve sahil kıyı şeridindeki Ardeşen merkez yerleşiminin de bu alan içine rastlaması şeklinde ifade edilebilir.

3.3.7. Akarsulara Yakınlık Derecesi

Yamaçların stabilitesini kontrol eden parametrelerin en önemlilerinden birisi de yamaçlardaki malzemenin doygunluk derecesidir. Yamaçların drenaj yapılarına yakınlığı da stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Akarsular, yamaç yada şevleri ya topuktan aşındırma şeklinde yada yamaçları oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan



kısmını suya doyurma veya her iki şekilde de etkileyerek stabiliteyi bozmaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Dai vd., 2001; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003). Akarsuların yamaçlara etkisinin tam olarak ortaya konması için iyi bir arazi gözlemi gerekmektedir. Yapılan arazi çalışmalarıyla, akarsuların hangi derecede yamaçları etkilediği belirlemek için 5 farklı tampon (*buffer*) bölge oluşturulmuş (Şekil 55) ve bu tampon bölgelerin alanları ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Akarsulara göre oluşturulan tampon bölgelerin alanları ve yüzde dağılımları

Akarsuya yakınlık (m)	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
0 - 50	10936035.00	29.57
50 - 100	9678150.00	26.17
100 - 150	7576089.00	20.49
150 - 200	5227167.00	14.14
200 - 250	3559945.00	9.63

İnceleme alanında akarsuların yamaçları topuktan aşındırarak heyelana neden olduğu bir çok yerde gözlenmiştir (Şekil 56) .



Şekil 56. Akarsu vadisinin etkilediği yamaçlarda oluşan heyelanlar

Tablo 18 irdelendiğinde, 0-50 m aralığına sahip tampon bölgelerin alan olarak, %30'a yakın değere sahip olduğu görülmektedir.

Akarsulara yakınlık haritasının heyelan envanter haritası ile karşılaştırılması sonucu, akarsulara olan yakınlık derecelerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 19'da gösterilmiştir.

Tablo 19. Akarsuya yakınlık değerlerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları

Akarsuya yakınlık (m)	Heyelan alanı (m ²)	Heyelan yüzdesi (%)
0 - 50	151467.00	39.00
50 - 100	99977.00	25.74
100 - 150	47035.00	12.11
150 - 200	36036.00	9.28
200 - 250	53885.00	13.87

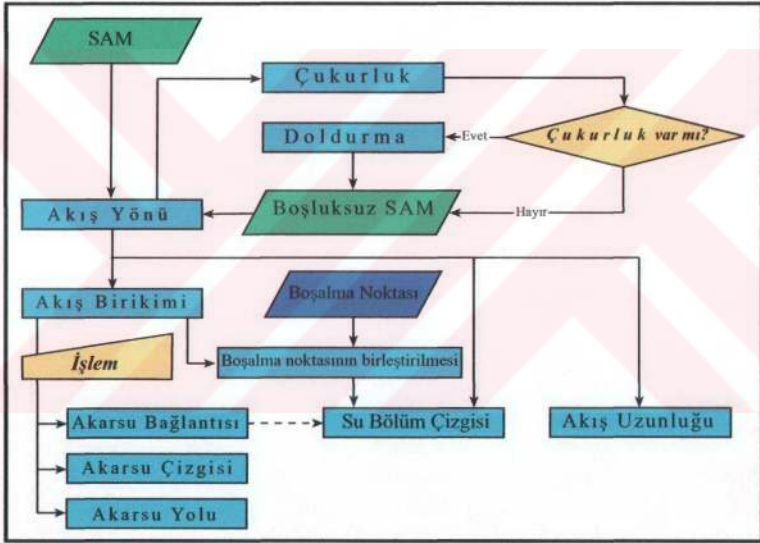
Tablo 19 incelendiğinde, heyelanların %39'luk kısmının akarsuya 0-50 m arasında değişen uzaklıklarda meydana geldiği görülmektedir.

3.3.8. Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu, bir akarsu havzasındaki toplam akarsu uzunluklarının o akarsu havzasının alanına oranıdır. Drenaj yoğunluğu ne kadar yüksek olursa, infiltrasyon o derecede düşük ve yüzey akışı ise o derecede hızlı olur (Pachauri vd., 1998; Nagarajan vd., 2000; Çevik ve Topal, 2003). En fazla infiltrasyon, alüvyon gibi permeabilitesi yüksek olan akarsulara bitişik yamaçlarda görülür. Drenaj yoğunluğu haritasının üretimi için, drenaj ağlarının birinci, ikinci ve üçüncü derece kolları hesaba katılmıştır. ArcView 3.2 ve ARC/INFO Hydro modülü (Şekil 57) kullanılarak çalışma alanı 7 adet drenaj havzasına ayrılmış ve drenaj yoğunluk haritası üretilmiştir (Şekil 58). Ayrıca bu havzaların çalışma alanındaki alan ve yüzde değerleri hesaplanmıştır (Tablo 20).

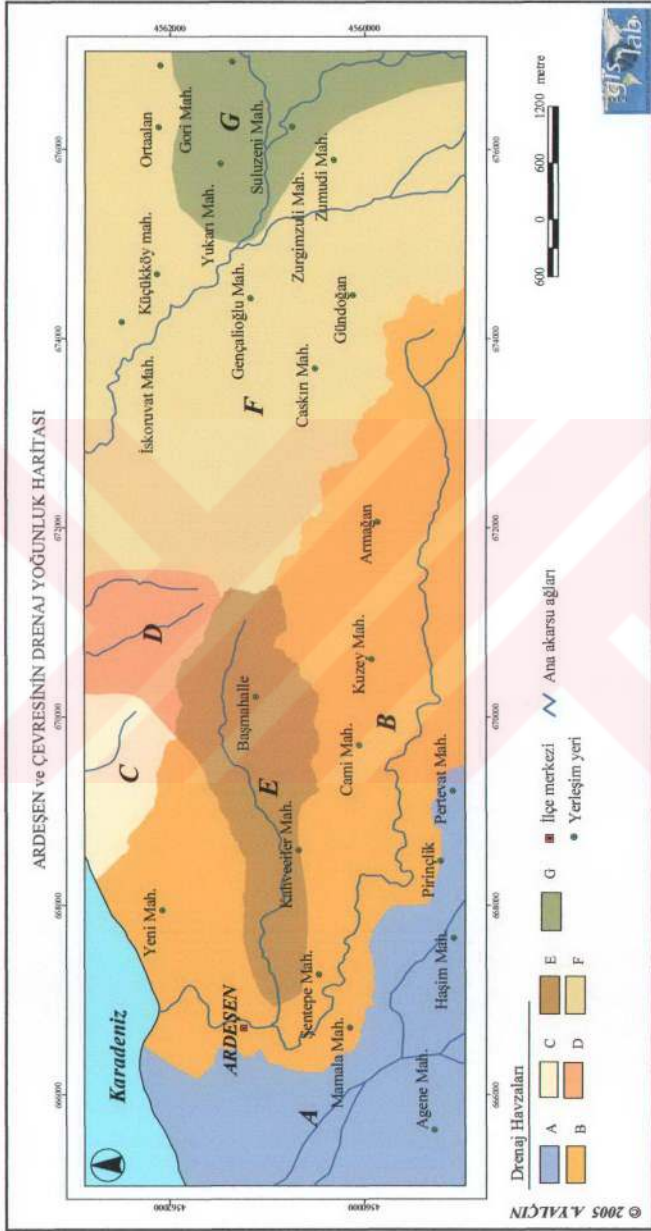
Tablo 20. Drenaj havzalarının alan ve yüzde dağılımları

Havza adı	Alansal dağılımları (m ²)	Yüzde dağılımları (%)
A	5989982.00	12.98
B	15212078.00	32.97
C	884906.81	1.92
D	1599159.00	3.47
E	3940184.00	8.54
F	15108357.00	32.74
G	3406730.00	7.38



Şekil 57. Arc/Info Hydro modülünde havza sınırlarının belirlenmesindeki akış şeması

Her bir akarsu havzasının alanı, bu alanlar içindeki akarsu uzunlukları ve drenaj yoğunluğu, ayrıca bu havzalardaki toplam heyelan alanları ve heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır (Tablo 21). Meydana gelen heyelanların yaklaşık %40'ı E olarak isimlendirilen havza alanında meydana gelmiştir.



Şekil 58. Ardeşen ve çevresinin drenaj yoğunluk haritası

Tablo 21. Drenaj havzalarına ait alan, akarsu uzunluğu ve yoğunluk değerleri ile bu alanlara ait heyelanların alan ve yüzde dağılımları

Havza Adı	Alan (m ²)	Akarsu Uzunlukları (m)	Drenaj yoğunluğu	Heyelan alanı (m ²)	Heyelan yüzdesi (%)
A	5989982.00	6356.65	0.0011	-	-
B	15212078.00	42995.44	0.0028	149188.00	32.81
C	884906.81	1581.58	0.0018	-	-
D	1599159.00	5488.35	0.0034	-	-
E	3940184.00	11786.96	0.0030	179761.00	39.54
F	15108357.00	36940.02	0.0024	97442.00	21.43
G	3406730.00	8123.72	0.0024	28244.00	6.21

3.3.9. Yola Yakınlık Derecesi

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir (Pachauri ve Pant, 1992). Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının



Şekil 59. Yol kazılarının neden olduğu heyelanlar

gelişmesine neden olmaktadır. Yol açılmadan önce dengede olan yamaçta, daha sonra dışarıdan gelebilecek su girişi gibi negatif etkilerle duraysızlıklar meydana gelmektedir. Nitekim, arazi çalışmaları esnasında yol açılmasının da etkisiyle gelişen heyelanlar tespit edilmiştir (Şekil 59).

Yolun yamaç stabilitesine etkisini belirlemek için yol güzergahlarının geçtiği hatlar boyunca 5 farklı tampon bölge oluşturulmuş (Şekil 60) ve bu tampon bölgelerin çalışma alanındaki kapladığı alanlar ve yüzde dağılımları da belirlenmiştir (Tablo 22).

Tablo 22. Yola yakınlık değerlerine göre oluşturulan tampon bölgelerin alan ve yüzde dağılımları

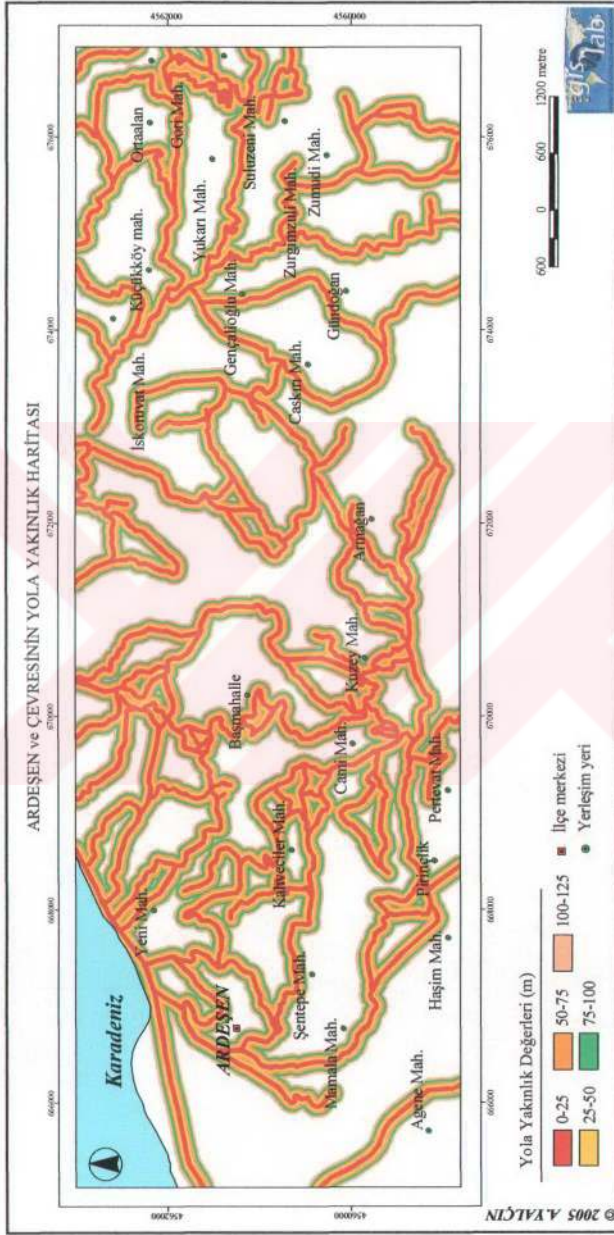
Yola yakınlık (m)	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
0 - 25	6223974.00	24.61
25-50	5675511.00	22.44
50-75	5036452.00	19.92
75-100	4439228.00	17.55
100-125	3912449.00	15.47

Yola yakınlık haritası heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak, yola yakınlık derecelerine göre, heyelan alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23. Yola yakınlık değerlerine göre heyelanların alan ve yüzde dağılımları

Yola yakınlık (m)	Heyelan alanı (m ²)	Heyelan yüzdesi (%)
0 - 25	34898.00	14.91
25-50	42442.00	18.13
50-75	55556.00	23.73
75-100	53608.00	22.90
100-125	47582.00	20.33

Tablo 23 incelendiğinde, heyelanların yaklaşık %47'lik kısmının yola 50-100 m uzaklıklarda olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 60. Ardeşen ve çevresinin yola yakınlık haritası

3.4. Heyelan Duyarlılık Analizinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Günümüzde toplumların nüfusunun giderek artması, insanların yeni yerleşim yerlerine ve buna bağlı olarak gerekli mühendislik yapılarına olan ihtiyacını hızla artmıştır. Bu amaçla, gelişmiş toplumlarda, yeni yerleşim yerleri seçilirken en uygun yer araştırması yapılmaktadır. Yer seçiminde, ilk olarak dikkate alınan parametrelerden birisi de doğal tehlikelere karşı olan güvenilirliğinin araştırılmasıdır. Bu araştırma yapılırken yöre ile ilgili jeolojik yapı, büyük faylara yakınlık, yapısal elemanların yamaçla ilişkisi, yeraltı suyu, zemin kalınlığı, süreksizlik yoğunluğu, ayrışma derinliği, zemin yapısı, zemin makaslama dayanımı, eğim, drenaj ağı, göreceli yükseklik, yükseklik, en yakın tepeye olan mesafe, yamaç şekli, yamaç eğim yönü, arazi kullanım potansiyeli, bitki örtüsü, yol yoğunluğu, yağış ve sismisite (Van Westen ve Bonilla, 1990; Anbalagan, 1992; Carrara vd., 1991; Chang, 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Jade ve Sarkar, 1993; Maharaj, 1993; Mejia-Navarro ve Wohl, 1994; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzzetti vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Guzzetti vd., 2000; Nagarajan vd., 2000; Uromeihy ve Mahdaviyar, 2000; Dai vd., 2001; Parise, 2001; Temesgen vd., 2001; Chi vd., 2002; Griffiths vd., 2002; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Lee vd., 2004) gibi birden fazla nitel ya da nicel parametrelerden, ilgili olanları bir arada değerlendirilerek karar verilmektedir. Bu parametrelerden bazıları birbiriyle çeliştiğinde, daha güvenilir sonuçların elde edilmesi için Çok Kriterli Değerlendirme (*Multi Criteria Evaluation- MCE*) olarak adlandırılan karar verme süreci kullanılır (Saaty, 1994). Çok Kriterli Değerlendirmede, kriterlerin çelişkili olmasından dolayı en iyi alternatifin seçimi karar verici açısından oldukça zordur. Bu kriterlerden en iyi sonuçları elde edebilmek için, kriterler arasındaki çelişkileri ele alıp bu çelişkileri giderecek yöntemlerin kullanılması gereklidir.

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), 1970'lerde Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHY, belirlilik yada belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli, çok amaçlı bir karar vermede kullanılır. Burada AHY, rasyonel ve irrasyonel tercihler ve sezgileri de karar verme sürecinin içine katabilmek için, kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır (Harker ve Vargas, 1987). AHY, karar seçeneklerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi sürecinde nitel ve nicel karar kriterlerinin de kullanılabilmesini sağlayan bir yöntemdir (Saat, 2000).

AHY, karar teorisinde yaygın uygulama alanı bulunan bir yöntem olup, birbiriyle çelişen ölçülebilir ve/veya soyut kriterleri dikkate alan bir ölçme yöntemidir. AHY bir

karar verme durumunda, veriler kadar değerli olan bilgi ve deneyimlerin de dikkate alınması ilkesine dayanır. AHY, kişisel kararlardan karmaşık işletme kararlarına kadar geniş bir alanda kullanılabilen bir araçtır. Teorinin başarısı, basitliğinden ve değişik koşulların herbirinde aynı şekilde kullanılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır (Vargas, 1990).

Bu yöntemle problem çözmede kullanılabilecek üç ilke bulunmaktadır. Bunlar ayrıştırma, karşılaştırmalı değerlendirmeler ve önceliklerin sentezinin yapılmasıdır (Saaty, 1990).

Ayrıştırma ilkesi, problemin temel öğelerinin belirlenmesi için hiyerarşinin yapılandırılmasını içerir. Bunu yapmanın etkin bir yolu üst düzeydeki kriterden ona bağlı olan alt düzeydeki kritere doğru alınmasıdır. Bundan sonra üçüncü düzeydeki alt kritere gidilir ve bu süreç bir sonraki alt kriterle devam eder. Böylece daha genel olandan daha özel ve belirgin olan değerlere ulaşılır. Daha sonra alt düzey için alternatifler ve bunların karşılaştırılacağı bir üst düzeydeki özellikler belirlenir. Ayrıştırma düzeyleri, ölçümün temel bir bölümünü oluşturur ve bu yüzden de genellikle farklı olmamaları, diğer bir deyişle belli bir nitelik ölçüsünden daha farklı olmamaları gerekir.

Karşılaştırma ilkesi ise ikinci düzeydeki öğelerin, birinci düzeydeki genel amaç karşısındaki göreceli önemlerinin ikili karşılaştırılmasını yapmak için bir matrisin oluşturulmasını içerir. Ölçümde kullanılacak bir ölçeğin bulunmaması halinde ise bu değerlendirme, problemi çözmekte olan kişi ya da grup tarafından yapılır.

Bundan sonra önceliklerin sentez edilmesi ilkesi uygulanır. Hiyerarşinin en alt düzeyinden elde edilen önceliklerden hareket edilerek problemin bütünü için ya da hiyerarşide en üst düzeyde yer alan genel kriter için öncelik belirlenir (Saat, 2000).

AHY'nin karar verme uygulamaları, Hiyerarşi Tasarımı ve Değerlendirme olarak iki aşamada gerçekleşir.

Hiyerarşi Tasarımı: Hiyerarşi tasarımı, problem alanı ile ilgili bilgi ve deneyim gerektirir. İki karar verici, aynı probleme ilişkin iki ayrı tasarım geliştirebileceği gibi probleme ilişkin aynı hiyerarşiyi de geliştirebilir. Hiyerarşiler oluşturulurken hiyerarşiyi tasarlayan kişi/kişiler aşağıdaki hususları dikkate almalıdır (Saaty, 1990).

- Problem tanımlanırken mümkün olduğunca öğelerde meydana gelen değişim dikkate alınmalı,
- Problem değerlendirilirken çevre etkiler göz önünde bulundurulmalı,
- Çözümde katkıda bulunacak nitelik ve katkıları belirlenmeli,

- Problemlerle ilişkili katılımcılar belirlenmelidir.

Hiyerarşi tasarımı, birbirini izlemeyen, ama birbiriyle ilişkili üç süreçten oluşur. Bunlar düzey ve öğelerin belirlenmesi, kavramların tanımlanması ve soruların formüle edilmesidir (Vargas, 1990). Birinci adımda düzey ve öğeler tanımlanır. Bu tanımlamalar soru formülasyon aşamasında kullanılır. Eğer karar vericinin bu sorulara cevap vermede bir sorunu olursa, düzey ve öğe tanımlaması yenilenir. Hiyerarşi tasarımı bu şekilde kendini tekrarlayan bir süreçtir. Sorgulama sürecinde belirsizlik, karar vericiyi yanlış kriter ve alternatif seçimine götürür. Tüm sorular cevaplanabilir nitelikte ve mevcut bilgilerle tutarlı olmalıdır. Hiyerarşi tasarımı sürecinde akış şeması Şekil 61’de gösterilmektedir (Saat, 2000).



Şekil 61. Hiyerarşi Tasarımı (Vargas, 1990).

Hiyerarşide öğelerin her kümesi bir hiyerarşi düzeyini oluşturur. En üst düzeyde sadece genel amacı temsil eden bir öğe bulunur. Bundan sonra gelen düzeylerde farklı öğeler bulunabilir. Bir düzeydeki öğeler bir sonraki daha yüksek düzeydeki kriter çerçevesinde birbiriyle karşılaştırılır. Her düzeydeki öğeler aynı önem derecesine sahip olmalıdır. Öğeler aralarındaki çelişki büyük ise, yani öğeler birbirinden çok farklı önem derecelerine sahip ise, bu öğeler değişik düzeylerde yer almalıdır. Hiyerarşinin düzey sayısında bir sınırlama yoktur. Oluşturulan hiyerarşi bir kalıp değildir. Hiyerarşiye yeni kriterler eklenip çıkarılabilir, kriterlerin göreceli önemleri hakkında değerlendirmeler değiştirilebilir, düzey sayısı arttırılabilir (Saaty, 1994).

Hiyerarşinin Değerlendirilmesi: AHY'nin uygulanmasında ikinci aşama, hiyerarşide yer alan iki öge arasındaki ilişkilerin sayısal olarak temsil edilmesini sağlayan karşılaştırmanın ya da değerlendirmenin yapılmasıdır. Bu değerlendirme kümesi, bir kare matris şeklinde olan ikili karşılaştırmalar matrisi olarak ifade edilir. Her bir değerlendirme iki öge arasında, bir üst düzeydeki kritere bağlı olarak hangisinin daha önemli olduğunu ortaya koyar ve bu önemin derecesini yansıtır. Bu önem derecesini ifade etmek için sayılardan yararlanılır. Bu sayıların belirlenmesinde bir ölçeğin kullanılması gerekir.

AHY'de ölçeğin belirlenmesi çok önemlidir. AHY'de ölçeğin belirlenmesi için önce bu ölçek için belli bir sayılar dizini alınır ve bu sayılar kullanılarak belirlenecek önceliklerin birbiriyle nasıl birleştirileceğine karar verilir. Bir ölçek nesneler kümesi, sayılar kümesi ve nesnelerle sayılar arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenmesi olmak üzere üç elemandan oluşur.

Standart bir ölçekte ölçeğin değerlerini oluşturmak için bir birimin kullanılması gerekmektedir. Standart ölçek, belli bir özelliği ölçmek için geliştirilen bir birimi kullanarak, nesneler ya da olayların ölçümünde kullanılır. Ölçekten elde edilen sayılar sadece insan zihni açısından bir uyarıcı işlev görür ve kendi başlarına bir değere sahip değildir.

Standart ölçekleri kullanmayan daha genel bir ölçüm yöntemi de bulunmaktadır. Bu yöntem standart ölçme ölçeği olmayan özellikler için kullanılabilen göreceli ölçüm yöntemidir. Bu gibi özellikler soyut, maddi olmayan özelliklerdir. Göreceli ölçeklerin çok önemli bir özelliği de, ihtiyaç duyulduğunda standart ölçeklerden elde edilen bilgileri kullanabilmeleridir. Böyle bir durumda standart oran ölçeğinde elde edilen ölçümler normal hale getirilerek göreceli ölçekteki ölçümlere dönüştürülür. Bir özelliği ölçmek için kullanılan standart ölçeğin elde edilmesi her zaman mümkündür. Eğer ele alınmakta olan özelliğe ilişkin doğrudan gözlemler ya da değerlendirmeler yapılıyorsa, önceliğin ya da önem derecesinin ifade edilmesi açısından göreceli bir ölçeğe ihtiyaç duyulur. Böyle bir ölçek, standart bir ölçekten elde edilen verilerin gerçekte neyi ifade ettiğini anlamada da çok yarar sağlar. Subjektif değerlendirmelerin ifade edilmesi açısından da göreceli ölçeklere her zaman ihtiyaç duyulmaktadır (Saaty, 1990).

Saaty (1990) tarafından bu konu ile ilgili göreceli bir ölçek geliştirilmiştir. Tablo 24'te gösterilen bu ölçek AHY'nin temel ölçeğidir.

Tablo 24. AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkılıdır
3	Orta önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir
5	Güçlü önemde	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Çok güçlü önemde	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilmiştir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler	Bir değerlendirmeyi yapmakta hangi değer olduğu noktasında tereddütler varsa, sayısal değerlerin ortasındaki bir değer verilir.

Hiyerarşinin her düzeyindeki benzer öğeler, bir sonraki düzeydeki kriterler açısından karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalardan elde edilecek sonuçlar yukarıdaki ölçekte yer alan sayılar cinsinden ifade edilir. Bu ölçek 1'den 9'a kadar olan değerlerin anlamlarını göstermektedir. Bu ölçekte yer alan değerler, öğeler arasındaki ilişkilerin yoğunluğunu belirtmektedir. Tüm öğelerin ikili karşılaştırılması sonucunda ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matriste bir öğenin kendisiyle karşılaştırılması 1 sayısı ile ifade edileceğinden, matrisin köşegenlerine 1 değerleri yerleştirilir. n elemanlı bir matriste $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma yapılır. Bunun nedeni, matrisin diyagonal köşegeninde öğelerin kendileriyle karşılaştırılmalarından dolayı 1 değerlerinin yer almasıdır. Matriste diyagonal köşegenin üst tarafındaki eleman sayısı kadar değerlendirme yapılması gereklidir. Bu durum, diyagonal köşegenin altında kalan değerlendirmelerin, köşegenin üstünde yer alan değerlerin tersi olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden ihtiyaç duyulan değerlendirme sayısı $\{(n*n)-n\}/2$ olacaktır.

İkili karşılaştırma matrisinde öncelik vektörü elde edilir. Öncelik vektörü matrisin asıl özvektörüdür. Niteliksel özelliklere verilen ağırlıklar olarak ifade edilen karar öncelikleri, ikili karşılaştırmalar matrisinin özvektörü olarak tanımlanır. Özvektör yardımıyla kriterin göreceli önemi en alt kriterden en üst kriter kadar belirlenmektedir.

AHY'de bütün karar verme sürecinin ve hiyerarşisinin tutarlılık derecesi de hesaplanabilmektedir. Bu oran bütün karar verme sürecinin tutarlılık ölçüsünü de verir. Bu orana bakarak hiyerarşinin geçerliliği hakkında bilgi edinmek mümkündür. AHY'nin

sağladığı en önemli yararlarından birisi, bu yöntemin ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesini ölçebilmesidir. Tutarlılık Oranı (*consistency ratio*) (TO) adı verilen bu ölçü, ikili karşılaştırmalardaki yanlış değerlendirmelerin tespit edebilmesine imkan verir. 0.10 değeri TO için kabul edilebilir üst sınır değeridir. TO 0.10'dan büyükse karar vericinin karşılaştırmalarını tekrar gözden geçirmesi gerekmektedir.

3.4.1. Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Hiyerarşinin Kurulması

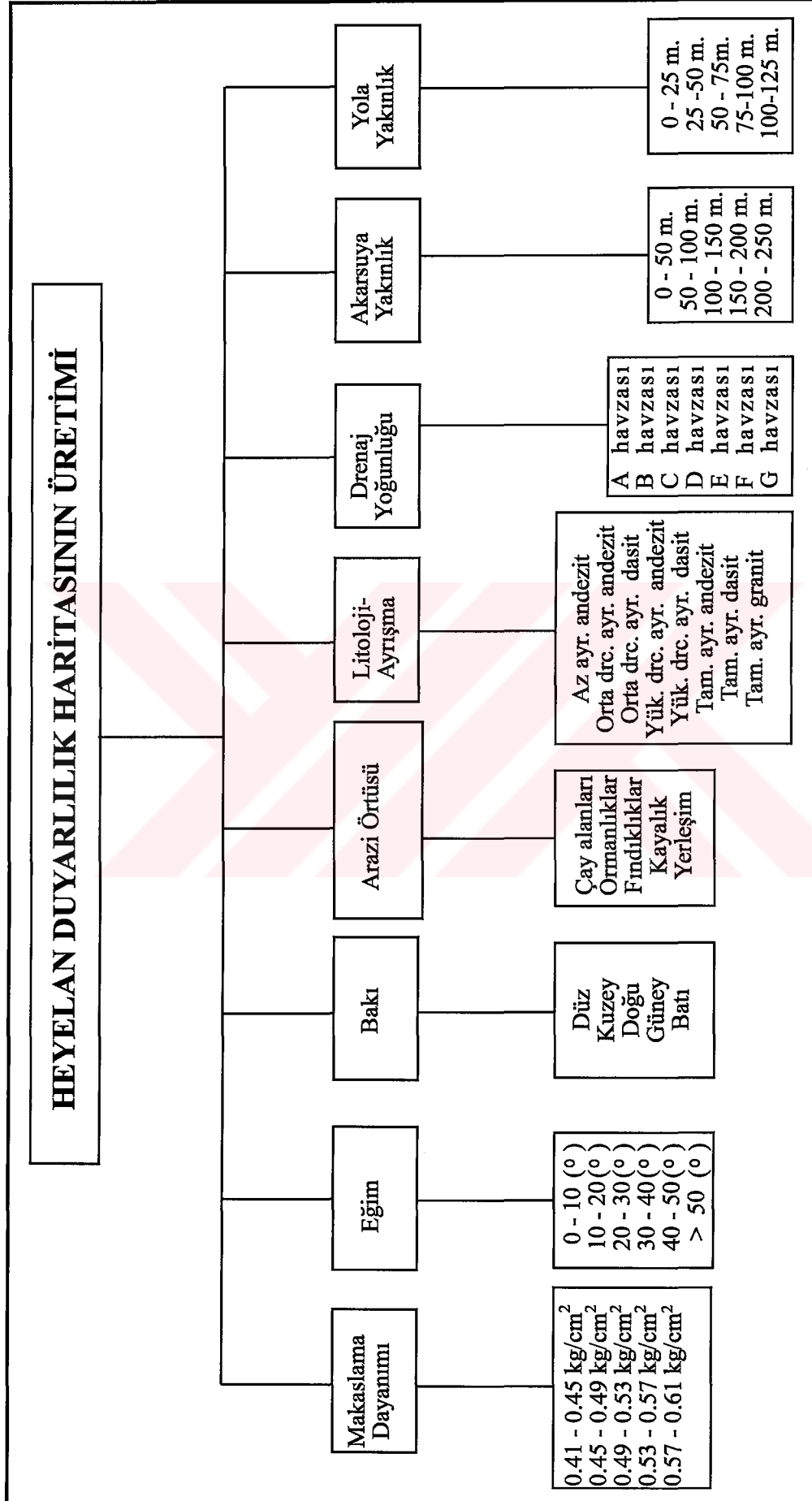
AHY'de ilk aşama; genel amaç, kriterler ve karar alternatiflerine göre problemin grafiksel bir akış şemasının oluşturulmasıdır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretimi için oluşturulan akış şeması Şekil 62'de verilmiştir.

Bu şema problemin hiyerarşisini göstermektedir. Hiyerarşinin ilk düzeyi, genel amacın heyelan duyarlılık haritası üretmek olduğunu göstermektedir. İkinci düzeydeki sekiz adet kriter (makaslama dayanımı, eğim, bakı, arazi örtüsü, litoloji-ayrışma, drenaj yoğunluğu, akarsuya yakınlık, yola yakınlık) genel amaca ulaşmaya katkıda bulunacaktır. Üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi (sınıflandırılmış alt kriterler) ise her bir kritere göre değerlendirilecektir.

3.4.2. AHY ile Önceliklerin Tespiti

AHY'de kullanılan kriterlerin ve karar alternatiflerine yönelik olarak önceliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ikili karşılaştırmalardan yararlanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için belirlenecek öncelikler şunlardır;

- Genel amaca göre sekiz adet kriterin öncelikleri,
- Makaslama dayanımı parametresinin öncelikleri,
- Eğim parametresinin öncelikleri,
- Bakı parametresinin öncelikleri,
- Arazi örtüsü parametresinin öncelikleri,
- Litoloji-ayrışma parametresinin öncelikleri,
- Drenaj yoğunluğu parametresinin öncelikleri,
- Akarsuya yakınlık parametresinin öncelikleri ve
- Yola yakınlık parametresinin öncelikleridir.



Şekil 62. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için oluşturulan hiyerarşi

3.4.2.1. İkili Karşılaştırmalar Matrisi

İkili karşılaştırmalar, AHY'nin önemli yapı taşlarından birisidir. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan parametrelerin ağırlıkları, parametrelerin ikişerli karşılaştırılması ve bunların birbirine göre heyelan duyarlılığına etkisi göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Normal olarak, bu iki parametrenin birbirine göre alacağı değeri belirleme karar vericinin tercihinine bağlı bir durumdur. Bu çalışmada, hem parametrelerin birbirine göre olan karşılaştırmalarında, hem de karar alternatiflerinin yani parametrelerin alt kriterlerinin etki değerlerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde hava fotoğrafları yardımıyla elde edilen heyelan envanter haritası ile diğer veri katmanlarının karşılaştırılması esas alınmıştır. Dolayısıyla belirlenen ağırlık değerleri gerçek arazi verileriyle uyumludur. Her bir parametrenin alt kriterlerine ait olan heyelan dağılım yüzdeleri Bölüm 3.3'te tablolar halinde verilmiştir. Tablolarda verilen heyelan yüzde değerleri, parametrelerin alt kriterlerinin heyelan duyarlılığına olan etkilerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu her bir parametrenin ikili karşılaştırmalar matrisi (*pair-wise comparison matrix*) oluşturulmuştur.

Oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisinden alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu işlem AHY'nde sentezleme olarak adlandırılır ve matematiksel olarak özdeğer ve özvektör hesaplamalarını içerir.

Makaslama dayanımı katmanının ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturularak hesaplamalar yapılmış ve makaslama dayanımı için alt kriterlerin ağırlıkları ve tutarlılık oranı bulunmuştur (Tablo 25).

Tablo 25. Makaslama dayanımı değerlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1					0.061
B	5	1				0.412
C	4	1/2	1			0.259
D	3	1/3	1/2	1		0.176
E	2	1/4	1/3	1/3	1	0.092
Tutarlılık Oranı: 0.024						
A: 0.41–0.45 kg/cm ² , B: 0.45–0.49 kg/cm ² , C: 0.49–0.53 kg/cm ² , D: 0.53–0.57 kg/cm ² , E: 0.57–0.61 kg/cm ²						

Tablo 25'te, makaslama dayanımı 0.45–0.49 kg/cm² arasında değişen aralığın heyelan duyarlılığına etkisinin en fazla olduğu, makaslama dayanımı değeri arttıkça

heyelan duyarlılığına olan etki değerinin azaldığı görülmektedir. Makaslama dayanımı en düşük olan değer aralığının heyelan duyarlılığındaki etkisinin az olması, bu alanların çok düşük eğime sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.

Eğim veri katmanının alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için üretilen eğim haritası 5 (beş) gruba ayrılmış ve her bir eğim grubunun karşılaştırılması sonucu ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuş ve buradan eğim gruplarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır (Tablo 26).

Tablo 26. Eğim gruplarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	F	Ağırlıklar
A	1						0.110
B	3	1					0.173
C	4	3	1				0.393
D	3	3	1/3	1			0.239
E	1/3	1/4	1/6	1/4	1		0.062
F	1/7	1/8	1/9	1/8	1/5	1	0.023
Tutarlılık Oranı: 0.083							

A: 0-10°, B: 10-20°, C: 20-30°, D: 30-40°, E: 40-50°, F: >50°

Tablo 26’da, heyelan duyarlılığına olan etkisi bakımından 20-30 ve 30-40 derece eğim aralıkları ağırlık değerlerinin diğer gruplara göre daha baskın olduğu görülmektedir.

Ardeşen ve yöresinde yüzeyleyen kayalarda çeşitli derecelerde ayrışma grupları tanımlanmıştır. Bu gruplardan 8 (sekiz) tanesinin heyelanlarla ilişkisi belirlenerek, grupların ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda ayrışma gruplarının ağırlık değerleri ve ayrışma veri katmanının tutarlılık oranı tespit edilmiştir (Tablo 27).

Tablo 27 incelendiğinde, yüksek derecede ve tamamen ayrılmış dasitik kayaların heyelanlara daha duyarlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çaylık alanlar, ormanlık, findıklık, kayalık ve yerleşim yeri olmak üzere 5 sınıfa ayrılan arazi örtüsü katmanının heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilerek ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuş ve her bir alt kriterin ağırlık değerleri ve veri katmanının tutarlılık oranı bulunmuştur (Tablo 28).

Tablo 27. Ayırışma grupları ve her bir grubunun heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	Ağırlıklar
A	1								0.028
B	2	1							0.039
C	1/2	1/3	1						0.020
D	6	5	7	1					0.124
E	8	7	9	4	1				0.300
F	3	3	5	1/3	1/4	1			0.073
G	7	6	8	3	1/2	4	1		0.207
H	7	6	8	3	1/2	4	1	1	0.207

Tutarlılık Oranı: 0.043

A: Az ayırışmış andezit, B: Orta derecede ayırışmış andezit, C: Orta derecede ayırışmış dasit, D: Yüksek derecede ayırışmış andezit, E: Yüksek derecede ayırışmış dasit, F: Tamamen ayırışmış andezit, G: Tamamen ayırışmış dasit, H: Tamamen ayırışmış granit

Tablo 28. Arazi örtüsü türlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1					0.546
B	1/3	1				0.288
C	1/7	1/5	1			0.085
D	1/9	1/8	1/3	1		0.041
E	1/9	1/8	1/3	1	1	0.041

Tutarlılık Oranı: 0.044

A: Çaylık alanlar, B:Ormanlık, C:Fındıklık, D:Kayalık, E: Yerleşim yeri

Tablo 28’de, çaylık alanların heyelanlar üzerinde etki değerinin diğer gruplara göre daha hakim (0.546) olduğu görülmektedir.

Bakı veri katmanının da heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilmek üzere bakı değerleri düz, kuzey, doğu, güney ve batı olmak üzere 5 (beş) sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıfların heyelanlarla ilişkisini değerlendirmek üzere ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuş ve her bir alt kriterin ağırlık değerleri ve bakı katmanının tutarlılık oranı bulunmuştur (Tablo 29).

Tablo 29. Bakı gruplarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1					0.033
B	9	1				0.507
C	3	1/8	1			0.059
D	5	1/7	3	1		0.110
E	8	1/3	7	5	1	0.292

Tutarlılık Oranı: 0.089

A: Düz, B: Kuzey, C:Doğu, D: Güney, E:Batı

Doğu Karadeniz Bölümünde yükseltiler kıyıya paralel olarak uzandığı için Karadeniz üzerinden gelen yağışlardan kuzeye bakan yamaçlar aşırı derecede etkilenmektedir. Çalışma alanında yapılan incelemelerde, kuzeye bakan yamaçlarda heyelanların daha fazla meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kuzeye bakan yamaçların ağırlık değerleri diğer yönlerle göre daha büyük bulunmuştur (Tablo 29).

Ardeşen yöresinde, akarsulara olan yakınlık değerine göre 5 sınıf tanımlanmıştır. Bu sınıfların heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilerek ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen ikili karşılaştırmalar matrisinde gerekli hesaplamalar yapılarak alt kriterlerin ağırlık değerleri bulunmuş ve akarsuya yakınlık katmanının tutarlılık oranı hesaplanmıştır (Tablo 30).

Tablo 30. Akarsuya olan yakınlık değerlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1					0.514
B	1/3	1				0.224
C	1/5	1/3	1			0.085
D	1/7	1/5	1/2	1		0.050
E	1/6	1/2	2	3	1	0.126
Tutarlılık Oranı: 0.028						

A: 0-50 m, B: 50-100 m, C: 100-150 m, D: 150-200 m, E: 200-250 m

Tablo 30’da, akarsuya 0-50 m yakınlık aralığının diğer gruplara göre heyelan duyarlılığında daha etkili (0.514) olduğu görülmektedir.

Bir alanda drenaj yoğunluğunun fazla olması, o alanda su aktivitesinin fazlalığına işaret etmektedir. Su aktivitesinin fazlalığı da heyelan duyarlılığına olan eğilimi arttırmaktadır. 7 (yedi) farklı drenaj havzası tanımlanan çalışma alanında, her bir havzanın heyelanlar üzerindeki etki değerlerini belirlemek için ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturularak bu havzaların heyelan duyarlılığına olan etki değerleri ile veri katmanının tutarlılık oranı hesaplanmış ve E olarak tanımlanan drenaj havzasının heyelanlar üzerindeki etki değerinin diğer gruplara göre daha baskın olduğu belirlenmiştir (Tablo 31).

Tablo 31. Drenaj havzalarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	Ağırlıklar
A	1							0.038
B	7	1						0.193
C	1	1	1					0.060
D	1	1	1	1				0.060
E	9	1	9	9	1			0.340
F	5	1	5	5	1/2	1		0.200
G	3	1/3	3	3	1/3	1/2	1	0.109
Tutarlılık Oranı: 0.099								

A,B,C,D,E,F,G: Su havzalarına verilen isimler

İnceleme alanında meydana gelen heyelanların yollarla olan ilişkisini değerlendirmek için ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalarla her bir yola yakınlık değerinin ağırlık değerleri ve yola yakınlık katmanının tutarlılık oranı bulunmuştur (Tablo 32).

Tablo 32. Yola yakınlık değerlerinin heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1					0.072
B	2	1				0.135
C	4	2	1			0.269
D	4	2	1	1		0.269
E	3	2	1	1	1	0.255
Tutarlılık Oranı: 0.002						

A: 0-25 m, B:25-50 m, C:50-75 m, D:75-100 m, E:100-125 m

Tablo 32 incelendiğinde, yola yakınlık mesafelerine karşılık gelen ağırlık değerlerinin gruplar arasında dağılım gösterdiği, yani, herhangi bir grubun baskınlığının olmadığı görülmektedir.

Katmanların kendi içerisinde etki değerleri yukarıda ifade edilen hesaplamalarla bulunmuştur. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için katmanların birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Hangi katmanın ne kadar etki değerinin olduğunu belirlemek için katmanlar arasında AHY’de ikili karşılaştırmalar metodu kullanılarak katmanların ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 33). Oluşturulan bu matris ile katmanların her birinin heyelan duyarlılık haritası üretimindeki ağırlık değerleri bulunmuştur. Ayrıca yapılan işlemlerin anlamlılığının ortaya konulması için veri katmanlarına ait tutarlılık oranı bulunmuştur.

Tablo 33. Veri katmanlarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	Ağırlıklar
A	1								0.247
B	1/3	1							0.124
C	1	3	1						0.238
D	1/2	2	2	1					0.197
E	1/4	1/2	1/4	1/3	1				0.078
F	1/5	1/4	1/5	1/4	1/3	1			0.042
G	1/5	1/4	1/4	1/4	1/2	2	1		0.053
H	1/8	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1	0.020

Tutarlılık Oranı: 0.068

A: Makaslama dayanımı, B: Eğim, C: Litoloji-ayırışma, D: Arazi örtüsü, E: Bakı, F: Akarsuya yakınlık, G: Drenaj yoğunluğu, H: yola yakınlık

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde veri katmanlarına ait ağırlık değerleri incelendiğinde (Tablo 33), heyelan duyarlılığında makaslama dayanımı, eğim, litoloji / ayırışma ve arazi örtüsü veri katmanlarının daha etkin olduğu anlaşılmaktadır. Bu katmanlar arasında, makaslama dayanımı 0.247 değeri ile ilk sırada yer almaktadır. Bu değer, heyelan duyarlılığında bu katmanın etki değerinin en fazla olduğunu göstermektedir. Bu katmanı sırasıyla litoloji/ayırışma, eğim ve arazi örtüsü katmanları takip etmektedir. Bunların dışındaki bakı, drenaj yoğunluğu, akarsuya yakınlık ve yola yakınlık katmanlarının etki değerleri ilk grup veri katmanlarına göre daha azdır. Bu grupta da bakı ve drenaj yoğunluğu 0.078 ve 0.053 ağırlık değerleri ile diğer önemli veri katmanlarını oluşturmaktadır. Akarsuya ve yola yakınlık katmanları, heyelan duyarlılığında etki değerleri az olan parametrelerdir. Parametrelerin birbirleriyle yapılan karşılaştırılmasının uygun olup, olmadığını test etmek için tutarlılık oranı hesaplanmış ve 0.068 değeri elde edilmiştir (Tablo 33).

AHY'de ikili karşılaştırmalarla önceliklerin ortaya konulmasından sonra elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle yapılan işin niteliği de ortaya çıkmaktadır. Verilen hükümlerin birbirini destekleyip desteklemediği, yani anlamlı olup olmadığı belirlenebilmektedir. AHY'de bu işlem tutarlılık oranı ile ortaya konmaktadır. Tutarlılık oranının hesaplamasındaki işlem sırası aşağıda verilmiştir:

$$\lambda_{\max} = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) / n \quad (3)$$

Burada;

$\lambda_{\max}$: Maksimum özdeğer,

$a_1, a_2, \dots, a_n$: Ağırlıklandırılmış toplam vektörün öncelik değerlerine oranı

n : Eleman sayısı'dır.

Maksimum özdeğer ve karşılaştırılan eleman sayısı değerleri kullanılarak tutarlılık indeksi elde edilir.

$$TI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

Burada;

TI : Tutarlılık indeksi,

n : Karşılaştırılan parametre sayısı'dır.

Tutarlılık oranı aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$TO = TI / RI \quad (5)$$

Burada;

TO : Tutarlılık oranı,

RI : Rasgele indeks değeri'dir.

Rasgele indeks değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına (n) bağlı olarak Tablo 34'teki değerleri alır (Saaty, 1990).

Tablo 34. Eleman sayısına göre rastgele indeks değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Üretilen ikili karşılaştırmalar matrisinin ağırlıklandırılmış toplam vektörün öncelik değerlerine bölünmesiyle elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ile maksimum özdeğer bulunur (Saaty, 1990).

Bu hesaplamalar sonucunda, yapılan işlemlerin kabul edilebilir olması için elde edilen tutarlılık oranı değerlerinin 0.10'dan küçük olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen tutarlılık oranı değerleri 0.10'dan küçük bulunmuştur. Bu değerler de, yapılan hesaplamaların tutarlı ya da güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

3.5. Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi

Gelişmiş ülkeler, heyelanlar gibi doğal afetlerden doğacak zararları önleme ve en aza indirmek için gerekli çalışmalarını her geçen gün artırarak devam ettirmektedirler. Bu amaçla, ülke genelinin veya heyelan riski taşıyan bölgelerin haritalarını üreterek, ülke düzeyinde planlamalar yaparken bu haritaları esas almaktadırlar. Türkiye’de ise durum çok farklıdır. Jeolojisi, morfoloji, iklim ve bitki örtüsü açısından heyelana çok müsait bölgeleri bulunan ülkemizde, ülke genelinde veya heyelana en fazla maruz kalan Karadeniz Bölgesinde bu kapsamda yapılmış detaylı bir heyelan duyarlılık haritası bulunmamaktadır. Bazı kurumlar tarafından yapılan haritalar ise, yüzeysel olarak değerlendirilmiş, sadece mevcut heyelanların tespitiyle sınırlı kalmıştır. Oysa ki, bu alanda yapılacak çalışmalarla üretilecek heyelan duyarlılık haritaları, merkezi ve yerel yönetimlerin yapacakları alt yapı çalışmaları, bölgesel ve çevresel planların hazırlanması gibi planlama çalışmalarında temel altlık olacak ve böylece, ülkemizin bu alanda oluşacak ekonomik kayıpları azalacaktır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde, arazide heyelanlarla ilgili ne kadar ayrıntılı veri elde edilirse, üretilecek heyelan duyarlılık haritaları da o kadar hassas olacaktır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, kullanılan programların da bu yönde artmasına ve çeşitlenmesine sebep olmuştur. Bu yönde, gerek Coğrafi Bilgi Sistemleri gerekse Uzaktan Algılama tekniklerinin kullanımı artmış ve elde edilen veride; çeşitlenme, detaylanma ve hassasiyeti de beraberinde getirmiştir. Bu tekniklerin kullanımı ile sayısal harita hazırlanmasına ilişkin yöntemlerin de çoğalması özellikle heyelan gibi doğal afetlerin zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmaları artırmıştır.

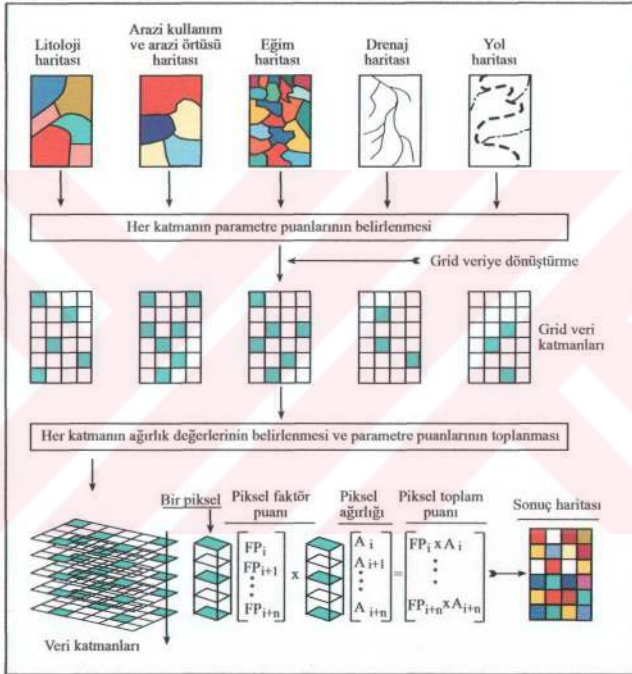
Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretimine yönelik olarak arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucu elde edilen verilerle konumsal veri tabanı oluşturulmuştur. Raster veri modeline dönüştürülen veri katmanlarının, daha önceki bölümde (Bölüm 3.4) anlatılan Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda hem veri katmanı bazında hem de alt kriterler bazında ağırlıkları belirlenerek analizleri yapılmıştır. Bu ağırlık değerlerinden büyük olanı, heyelan duyarlılığına olan etkinin daha fazla olduğuna işaret etmektedir (Tablo 35). Bu analizlerin temeli, her katmandan aynı bir pikselin alacağı özellik ile bunun matematiksel değeri ve heyelan duyarlılık haritasının üretimindeki etkisini belirlemeye dayanmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki bu işlem akışı şematik olarak Şekil 63’ de gösterilmiştir.

Tablo 35. Veri katmanları ve alt kriterlerin ağırlık değerleri

<i>Katmanlar / Alt Kriterler</i>	<i>Ağırlıklar</i>
MAKASLAMA DAYANIMI	0.247
0.41 – 0.45 kg/cm ²	0.061
0.45 – 0.49 kg/cm ²	0.412
0.49 – 0.53 kg/cm ²	0.259
0.53 – 0.57 kg/cm ²	0.176
0.57 – 0.61 kg/cm ²	0.092
EĞİM	0.124
0-10°	0.110
10-20°	0.173
20-30°	0.393
30-40°	0.239
40-50°	0.062
>50°	0.023
LİTOLOJİ-AYRIŞMA	0.238
Az ayrılmış andezit	0.028
Orta derecede ayrılmış andezit	0.039
Orta derecede ayrılmış dasit	0.020
Yüksek derecede ayrılmış andezit	0.124
Yüksek derecede ayrılmış dasit	0.300
Tamamen ayrılmış andezit	0.073
Tamamen ayrılmış dasit	0.207
Tamamen ayrılmış granit	0.207
ARAZİ ÖRTÜSÜ	0.197
Çay alanları	0.546
Orman alanları	0.288
Fındık alanları	0.085
Kayalık alanlar	0.041
Yerleşim yerleri	0.041
BAKİ	0.078
Düz	0.033
Kuzey	0.507
Doğu	0.059
Güney	0.110
Batı	0.292
AKARSUYA YAKINLIK	0.042
0-50 m	0.613
50-100 m	0.141
100-150 m	0.128
150-200 m	0.080
200-250 m	0.038
DRENAJ YOĞUNLUĞU	0.053
A su havzası	0.038
B su havzası	0.193
C su havzası	0.060
D su havzası	0.060
E su havzası	0.340
F su havzası	0.200
G su havzası	0.109

(Tablo 35'in devamı)

YOLA YAKINLIK	0.020
0-25 m	0.072
25-50 m	0.135
50-75 m	0.269
75-100 m	0.269
100-125 m	0.255



Şekil 63. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde CBS fonksiyonları (Yalçın vd., 2002).

Vektör yapıda olan veri katmanlarının raster veri modeline dönüştürülmesinde, çalışmanın amacı ve veri tabanı ölçeği dikkate alınarak piksel boyutu 5 m olarak belirlenmiştir. Her bir katmanın alt kriterlerine karşılık gelen ağırlık değerleri (piksel faktör puanı) ait oldukları piksellere atanmış ve katmanların belirlenen ağırlık değerleri (piksel ağırlığı) piksel faktör puanıyla çarpılarak sonuç haritası üretilmiştir.

Yukarıda gerçekleştirilen analizler, Eastman vd., (1995) ve Dai vd., (2001) tarafından verilen Çok Kriterli Değerlendirme (*Multi Criteria Evaluation- MCE*) kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde belirlenen duyarlılık zonlarının değerlerinin sınıflandırılmasında lineer ağırlık kombinasyonu (*Weighted Lineer Combination- WLC*) kullanılmıştır. Çok Kriterli Değerlendirme’de üretilen sonuç verisinin değeri Formül-6 ile hesaplanmaktadır.

$$S = \sum W_i * X_i \quad (6)$$

Burada;

S: Uygunluk (*suitability*),

W_i ; katman ağırlığı,

X_i ; alt kriter ağırlığı’dır.

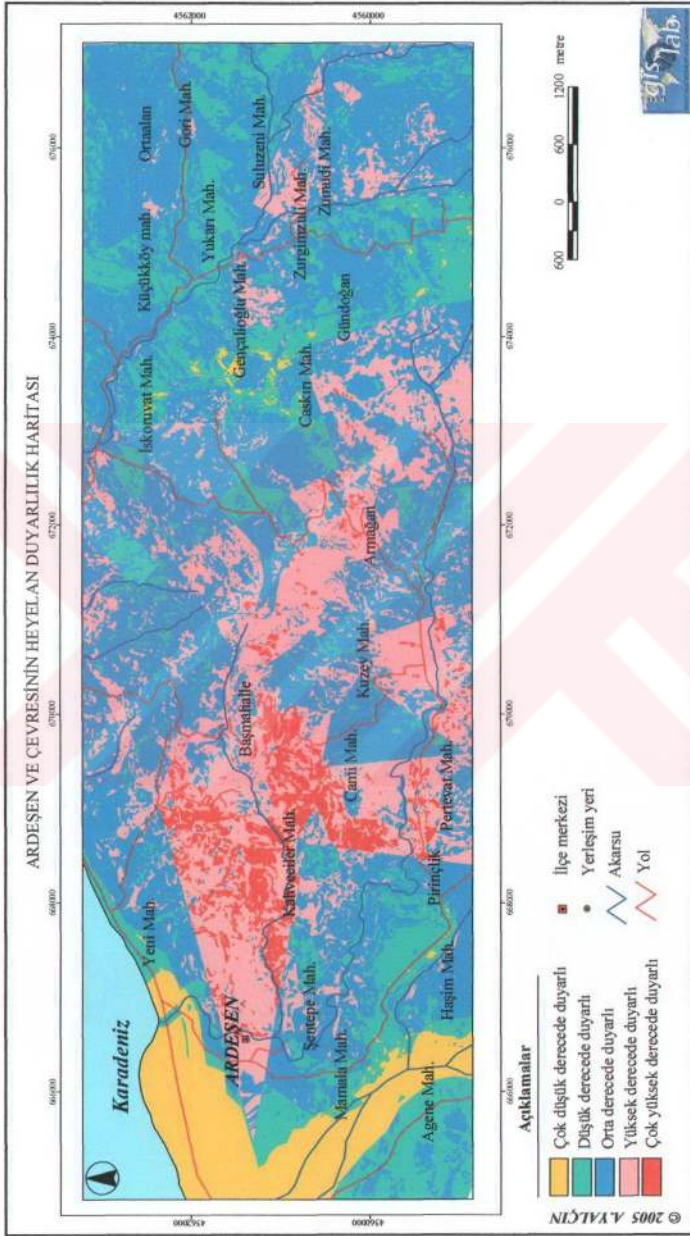
Bu metotlara göre yapılan analizler sonucunda, Ardeşen ve yöresi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 64).

Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, piksel değerleri eşit şekilde bölünerek çok düşük duyarlı, düşük duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 duyarlılık zonu tanımlanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, duyarlılık zonlarının çalışma alanındaki alan ve yüzde dağılımları belirlenmiştir (Tablo 36).

Tablo 36. Heyelan duyarlılık zonlarının alan ve yüzde dağılımları

Duyarlılık zonları	Kapladığı alan (m ²)	Yüzde dağılım (%)
Çok düşük derecede duyarlı alanlar	3206149.00	6.96
Düşük derecede duyarlı alanlar	8277691.00	17.97
Orta derecede duyarlı alanlar	21828447.00	47.39
Yüksek derecede duyarlı alanlar	11121630.00	24.14
Çok yüksek derecede duyarlı alanlar	1628051.00	3.53



Şekil 64. Ardeşen ve çevresinin heyelan duyarlılık haritası

Tablo 36 incelendiğinde, yörenin %30'a yakın bir bölümünün heyelan duyarlılığı yüksek olan alanlar, %47.39'u heyelan duyarlılığı orta derece, %17.97'si düşük derece ve %6.96'sı da çok düşük derecede heyelan duyarlılığına sahip alanlar olduğu görülmektedir.

Şekil 64 değerlendirildiğinde, çalışma alanında orta derecede heyelana duyarlı alanların hakim olduğu izlenmektedir. Orta derecede duyarlı alanlar, çalışma alanında dengeli bir dağılım göstermektedir. Yüksek ve çok yüksek derecede heyelana duyarlı alanlar, orta derece heyelana duyarlı alanlardan sonra en fazla yayılım gösteren yerler olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Başmahalle, Kuzey Mahallesi ve Cami Mahallesi üçgeni ve Kuzey Mahallesinin kuzey ve kuzeybatı kesimleri haritada heyelan duyarlılık yüksekliği bakımından dikkati çeken alanlardandır. Heyelan duyarlılığının çok düşük ve düşük olduğu alanlar ise eğim değerinin sıfıra yakın olduğu fırtına vadisi düzlükleri ve Ardeşen ilçesinin yerleşim merkezinin bulunduğu alanlar olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Agene Mahallesi, Haşim Mahallesi ile Mamala Mahallesi arasında kalan alanlar, Küçükköy Mahallesinin güney kısımları ile Gündoğan Köyünün çalışma bölgesinin güney kısmına yakın alanları ile kuzeybatı kısmında Caskırı ve Gençlioğlu Mahalleleri arasında kalan alanlar da heyelan duyarlılığı düşük olan yerler olarak belirlenmiştir.

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ve heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada, oluşmuş heyelanların gösterildiği heyelan envanter haritasındaki alanlar, heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, mevcut heyelan alanlarının duyarlılık zonlarına göre dağılımları belirlenmiştir. Yapılan analizlerle mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisi araştırılmıştır. Sonuçta, üretilen heyelan duyarlılık haritasının mevcut heyelan değerleri ile %84 oranında uyumlu olduğu tespit edilmiş ve yapılan modellemenin başarılı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, ayrıtlanan duyarlılık zonlarına göre yerleşim yerlerinin dağılımlarını belirlemek için CBS ve dijital fotogrametri teknikleri kullanılarak bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Ardeşen ilçe merkezinin yoğun yerleşimi dışında kalan çalışma alanındaki 1843 tane bina, noktasal olarak hava fotoğraflarından tespit edilmiştir. Hava fotoğraflarından konutların tespit edilerek sayısallaştırılması da Şekil 65'de gösterilmiştir. Gerekli analizlerin yapılabilmesi için, tespit edilen evlerin konumlarının gösterildiği harita heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 66).



Şekil 65. Hava fotoğrafından konutların sayısallaştırılması

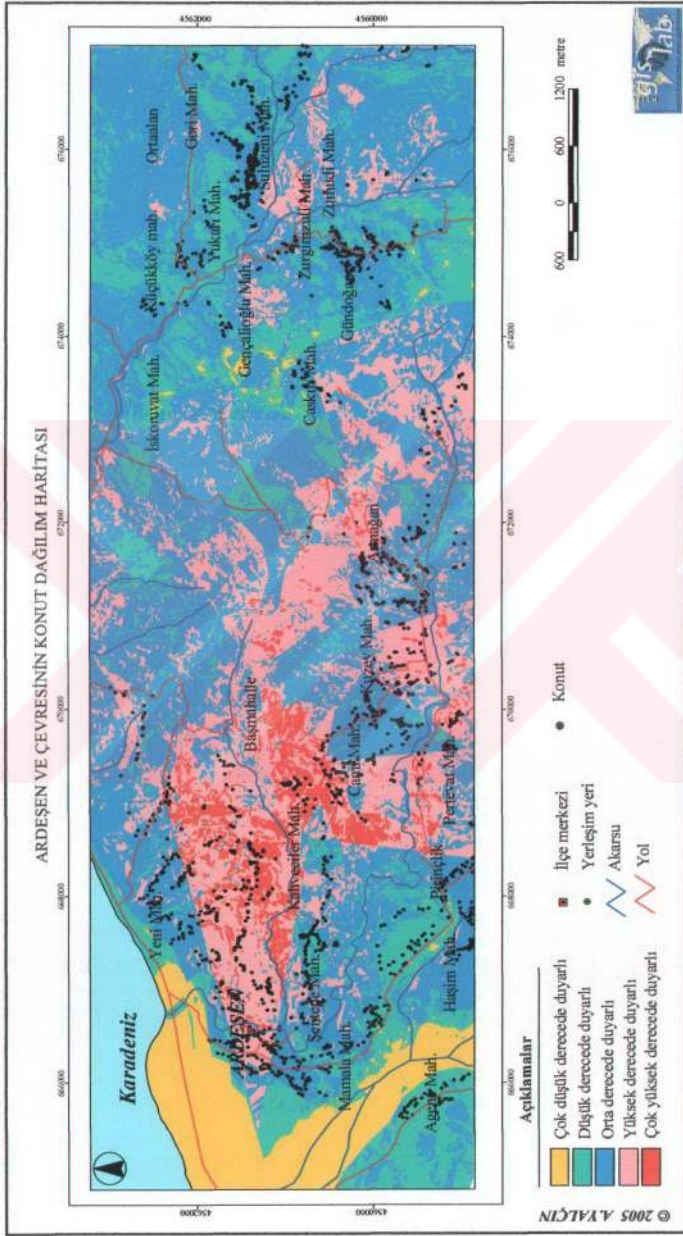
Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile binaların konum haritası kullanılarak analizler yapılmış ve konutların heyelan duyarlılık alanlarına göre dağılımları belirlenmiştir (Tablo 37).

Tablo 37. Konutların heyelan duyarlılık zonlarındaki dağılımları

Duyarlılık zonları	Hane Sayısı (adet)	Yüzde dağılım (%)
Düşük derecede duyarlı alanlar	267	14.46
Orta derecede duyarlı alanlar	1008	54.6
Yüksek derecede duyarlı alanlar	467	25.46
Çok yüksek derecede duyarlı alanlar	101	5.47

Tablo 37'ye göre, yöredeki evlerin yaklaşık % 30'luk kesimi yüksek ve çok yüksek derecede heyelana duyarlı alanlar içerisinde kalmaktadır.

Devlet İstatistik Enstitüsü'nün verilerine göre kırsal kesimde bir ev için, hane halkı ortalama sayısı 4'tür (URL-2). Bu verilere göre, yörede yaklaşık olarak 2300 kişinin her an heyelan tehlikesi ile karşı karşıya olduğu söylenebilir.



Şekil 66. Ardeşen ve çevresinin konut dağılım haritası

4. SONUÇLAR

Bu araştırmada arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarıyla belirlenen veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve digital fotogrametri teknikleriyle değerlendirilerek Ardeşen (Rize) yöresi heyelan duyarlılığı açısından incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Ardeşen (Rize) yöresinin 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve bu yöre için litostratigrafi birimleri olarak yaşlıdan gence doğru; Hemşindere Formasyonu (Üst Kretase), Granitik Kayaçlar (Üst Maastrichtiyen), Hamidiye Formasyonu (Pliyo-Kuvaterner) ve Alüvyon (Kuvaterner) ayırtlanmıştır.

2. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve dijital fotogrametri tekniklerinin heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

3. Ardeşen yöresi için heyelan duyarlılık haritasının üretiminde litoloji-ayırışma, makaslama dayanımı, arazi örtüsü, eğim, bakı, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu ve yola yakınlık parametrelerinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

4. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için elde edilen veri katmanlarının analizi yapılarak, bu veri katmanlarına ait alt veri gruplarının alan olarak dağılımları tespit edilmiştir. Bu analizler sonucunda;

- Çalışma alanının %30.07'si tamamen ayrıışmış, %34.14'ü yüksek derecede ayrıışmış, %22.37'si orta derecede ayrıışmış ve %13. 43'ü de az ayrıışmış birimlerden oluştuğu,
- İnceleme alanının %31.83'ünün 0.41-0.45 kg/cm², %20.32'sinin 0.45-0.49 kg/cm², %20.08'inin 0.49-0.53 kg/cm², %16.16'sının 0.53-0.57 kg/cm² ve %11.61'inin 0.57-0.61 kg/cm² arasında değişen makaslama dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- Çalışma alanının %53.96'sının çaylık, %38.79'unun orman alanları, %4.25'inin yerleşim yerleri, %1.76'sının kayalık ve %1.24'ünün findıklık olmak üzere beş sınıf arazi örtüsü,
- Çalışma alanının %21.17'sinin eğimi 0-10 derece, %22.12'sinin eğimi 10-20 derece, %32.49'unun eğimi 20-30 derece, %17.86'sının eğimi 30-40 derece,

%4.97'sinin eğimi 40-50 derece arasında değiştiği ve %1.39'unun eğimi ise 50 dereceden büyük olduğu,

- Çalışma alanının %11.67'sinin düz alanlar, %30.61'inin kuzeye bakan yamaçlar, %14.43'ünün doğuya bakan yamaçlar, %18.39'unun güneye bakan yamaçlar ve %24.91'inin batıya bakan yamaçlar içerdiği,
 - Çalışma alanının %39.00'unun akarsuya 0-50 m, %25.74'ünün akarsuya 50-100 m, %12.11'inin akarsuya 100-150 m, %9.28'inin akarsuya 150-200 m ve %13.87'sinin akarsuya 200-250 m uzaklıklarda olduğu,
 - Drenaj havzalarına göre, çalışma alanında A havzasının %12.98, B havzasının %32.97, C havzasının %1.92, D havzasının %3.47, E havzasının %8.54, F havzasının %32.74 ve G havzasının %7.38'lik bir alan kapladığı,
 - Çalışma alanının %24.61'inin yola 0-25 m, %22.44'ünün yola 25-50 m, %19.92'sinin yola 50-75 m, %17.55'inin yola 75-100 m ve %15.47'sinin yola 100-125 m uzaklıklarda olduğu,
- tespit edilmiştir.

5. Hava fotoğrafları dijital fotoğrametri teknikleriyle değerlendirilerek, mevcut heyelan alanları tespit edilmiştir. Buna göre;

- Ayırışma durumuna göre; heyelanların yaklaşık %95'lik kısmının yüksek derecede ve tamamen ayırışmış kayaçlar içerisinde,
 - Makaslama dayanımına göre; heyelanların %30.54'lük kısmının makaslama dayanımı $0.45-0.49 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişen malzeme içerisinde,
 - Arazi örtüsüne göre; heyelanların %58.96'sının çaylık alanlarda,
 - Eğime göre; heyelanların %35.66'lık bir kısmının eğimi $20^\circ-30^\circ$ arasında değişen yamaçlarda,
 - Bakı değerlerine göre; heyelanların %34'lük kısmının kuzeye bakan yamaçlarda,
 - Akarsuya yakınlık değerlerine göre; heyelanların %39'luk kısmının akarsuya 0-50 m uzaklıklarda,
 - Drenaj havzalarına göre; heyelanların yaklaşık %40'ının E olarak isimlendirilen havza alanında,
 - Yola yakınlık değerlerine göre; heyelanların yaklaşık %24'lük kısmının yola 50-75 m uzaklıklarda,
- meydana geldiği belirlenmiştir.

6. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için kullanılan parametrelerin ve karar alternatiflerinin etki değerleri (ağırlıkları)'nin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmış ve makaslama dayanımının 0.247, eğimin 0.124, litoloji/ayırışmanın 0.238, arazi örtüsünün 0.197, bakının 0.078, akarsuya yakınlığın 0.042, drenaj yoğunluğunun 0.053 ve yola yakınlığın ise 0.020 etki değerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

7. Heyelan duyarlılık haritası, elde edilen katmanların ağırlık değerleri kullanılarak raster veri modelinde yapılan analizler sonucunda üretilmiştir. Vektör yapıda olan veri katmanları raster veri modeline dönüştürülmüş ve piksel boyutu çalışmanın amacı ve veri tabanı ölçeği dikkate alınarak 5 m olarak belirlenmiştir. Her bir katmanın alt kriterlerine karşılık gelen ağırlık değerleri ait oldukları piksellerle atanarak, katmanların belirlenen ağırlık değerleri bu piksel değerleriyle çarpılmıştır. Yapılan analizler sonucunda sonuç haritası elde edilmiştir. Bu harita heyelan duyarlılığı açısından çok düşük derecede duyarlı, düşük derecede duyarlı, orta duyarlı derecede, yüksek derecede duyarlı ve çok yüksek derecede duyarlı olmak üzere beş zona ayrılmıştır.

8. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası değerlendirilerek, duyarlılık zonlarının çalışma alanındaki alansal dağılımları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda çalışma alanının;

- ➔ %6.96'sı çok düşük,
- ➔ %17.97'si düşük,
- ➔ %47.39'u orta,
- ➔ %24.14'ü yüksek ve
- ➔ %3.53'ü çok yüksek derecelerde heyelana duyarlı zonlar

içerdiği tespit edilmiştir.

9. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ile heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelan alanlarının duyarlılık zonlarına göre dağılımları belirlenmiştir. Sonuç olarak, üretilen heyelan duyarlılık haritasının mevcut heyelan değerleri ile %84 oranında uyumlu olduğu tespit edilmiş ve geliştirilen modellemenin başarılı olduğu görülmüştür.

10. Üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre mevcut durumda, çalışma alanındaki konutların ve yaklaşık olarak nüfusun etkilenme derecesi ortaya konulmuştur. Yapılan analiz sonucunda, 267 adet konut düşük derecede heyelana duyarlı alanlarda, 1008 adet konutun orta derecede heyelana duyarlı alanlarda ve 568 konutun da yüksek ve çok yüksek derecede heyelana duyarlı alanlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu veriler, yöredeki evlerin yaklaşık % 30'luk kesiminin ciddi bir heyelan tehdidiyle karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Devlet İstatistik Enstitüsü'nün verilerine göre kırsal kesimde bir ev için, hane halkı ortalama sayısı 4'tür. Bu sayı dikkate alındığında, yörede yaklaşık olarak 2300 kişinin her an heyelan tehlikesi ile karşı karşıya olduğu anlaşılmaktadır.



5. ÖNERİLER

1. Heyelanlardan kaynaklanan can ve mal kayıplarının azaltılması veya ortadan kaldırılması için heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması gerekmektedir. Bu haritaların üretilmesinde jeolojik, jeomorfolojik, jeoteknik, topoğrafik ve meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Bir bölge için heyelan duyarlılık analizi yapılması düşünüldüğünde bu veriler, her defasında yeniden üretilip değerlendirilmektedir. Çünkü, böyle bir çalışmanın yapılabilmesi için temel verilerin sağlanabileceği bir veri tabanı bulunmamaktadır. Özellikle heyelan çalışmalarında, maliyeti azaltmak için daha sonraki çalışmalarda da kullanılabilecek özellikte veri tabanları oluşturulmalıdır.

2. Veri tabanlarının oluşturulması için gereken bilgilerin, veri kalitesi açısından yüksek değerlikli olması gerekmektedir. Bunun için, günümüz gelişen teknolojilerinden yararlanılması hızı, kaliteyi ve doğruluk derecesini artıracaktır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, özellikle planlama çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Yeni yerleşim alanları, alt yapı çalışmaları, yol güzergahlarının belirlenmesi vb. gibi mühendislik yapıları için uygun alanların belirlenmesinde CBS etkin rol oynamaktadır. Bu tür planlama çalışmalarında, özellikle bölgesel düzeyde olanlarda, Uzaktan Algılama teknikleri CBS'nin en önemli veri toplama yöntemidir. Bu amaçla, CBS ve UA çalışmaları birleştirilerek çalışmaların daha verimli olması sağlanmalıdır.

3. Potansiyel heyelan alanlarında bölgesel ve yerel bazdaki planlamalar, heyelan duyarlılık haritaları esas alınarak yapılmalı ve özellikle heyelan duyarlılığı yüksek-çok yüksek olan alanlarda yeni yerleşim yapılmamalı, mevcut yerleşim birimlerinde ise gerekli önleyici tedbirler alınmalıdır.

4. Ardeşen yöresinde daha önce meydana gelen heyelanların % 58.96'sının ormanlık alanların sökülmesi ile elde edilen çay bahçelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bazı büyük ölçekli heyelanların incelenmesi esnasında, yer yüzeyin 15-20 m derinliklerinde 20-30 cm çaplı ağaç köklerine rastlanması, bu alanlarda ne kadar büyük orman tahribinin olduğunu göstermektedir. Çay bahçelerinde yüzey sularını toplayıp drene edecek kanallar bulunmamaktadır. Çay bitkileri çok sık aralıklı oldukları için yüzey akışını engelleyerek suyun zemine sızmasını sağlamakta ve heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, çaylık alanlarda yüzey sularının drenajı mutlaka yapılmalıdır.

5. Jeolojik malzemenin ayrışma durumu yöredeki heyelanların oluşumunda diğer bir faktördür. Ayrışmış malzeme mukavemet açısından zayıflamıştır. Dolayısıyla bu alanlarda yapılacak gelişmiş güzel temel ve yol kazıları stabiliteyi olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle özellikle problemlili olabilecek alanlarda stabilite analiz sonuçlarına göre şevlerin eğim açıları ve yükseklikleri belirlenerek kazılar yapılmalıdır.

6. Özellikle kırsal kesimlerde atık suları gelişigüzel araziye bırakılmaktadır. Bunun sonucu olarak, bu alanlarda malzemenin aşırı doygunluğa ulaşması ile akışa geçmesi kolaylaşmaktadır. Yerleşim alanlarında atık sular mutlaka kanalizasyon sistemine bağlanmalıdır. Karadeniz Bölgesi kırsal kesimlerindeki evler genelde dağınık olmasından dolayı merkezi bir kanalizasyon hattı kurulması mümkün olmayabilir. Ancak, birkaç ev de olsa bir araya gelerek, kanalizasyonlarını çay bahçeleri yerine kendilerine en yakın vadilere aktarmalıdır.



6. KAYNAKLAR

- Achilleos, E., 1988. User Guide for PCSTABL5M. Joint Highway Research Project, Report JHRP-88/19, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R., 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives, Bulletin Eng. Geology and Env., 58, 21-44.
- Alexander, E.D., 1989. Urban Landslides, Progress in Physical Geography, 13, 157–191.
- Alexander, E.D., 1995. A Survey of the Field of Natural Hazards and Disaster Studies. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 1–19.
- Al-Sheriadeh, M. S. ve Al-Hamdan, A.Z., 1999. Erosion Risk Assessment and Sediment Yield Production of the King Talal Watershed, Jordan, Environmental Geology, 37, 3, 234-242.
- 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.
- Atasoy, 2004. Kadastro Çalışmalarında Karşılaşılan Orman-Mülkiyet Sorunlarının Çözümünde Dijital Fotogrametrinin Uygulanması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Anderson, M.G. ve Richards, K.S. (eds), 1987. Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology, Wiley&Sons, New York, 648 p.
- Ardeşen Kaymakamlığı, 2002. Ardeşen İlçesine Ait Brifing Dosyası, Ardeşen.
- ASTM D3080-90, 1990. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Condition, ASTM, Philadelphia, USA.
- Atkinson, P.M. ve Massari, R., 1998. Generalized Linear Modelling of Susceptibility to Landsliding in Central Apennines, Italy, Computers and Geosciences, 24, 4, 373-385.
- Ayday, C. ve Ulusay, R., 1993. CBS ile Mühendislik Jeolojisi Haritalarının Hazırlanması, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 148-154.

- Bhasin, R., Grimstad, E., Larsen, J.O., Dhawan, A.K., Singh, R., Verma, S.K. ve Venkatachalam, K., 2002. Landslide Hazards and Mitigation Measures at Gangtok, Sikkim Himalaya, Engineering Geology, 64, 351-368.
- Borga, M., Fontana, G.D., Da Ros, D. ve Marchi, L., 1998. Shallow Landslide Hazard Assessment Using a Physically Based Model and Digital Elevation Data, Environmental Geology, 35, 2-3, 81-88.
- Brabb, E.E., Pampeyan, E.H ve Bonilla, 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.
- Brabb, E.E., Guzzetti, F., Mark, R. ve Simpson, R.W., 1989. The Extent of Landsliding in Northern New Mexico and Similar Semi-Arid Regions, In: Landslides in a Semi-Arid Environment, Sadler and Morton (Eds.), Publications of the Inland Geological Society, 2, 163-173.
- Brass, A., Wadge, G. ve Reading, A.J., 1989. Designing a Geographical Information System for the Prediction of Landsliding Potential in the West Indies, Proceedings Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions, University Collage, London, April 1989, 13 p.
- Bromhead, E.N., 1986. The Stability of Slopes, Surrey University Pres, Surrey, 373 p.
- Brown, T.E., 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring (ISRM Suggested Methods), Editor, Royal School of Mines, Imperial college of Science and Technology, London.
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F. ve Ataoğlu, E., 2000. Reliability of Landslide Isopleth Maps, Bulletin of the International Association of Engineering Geology and Environment, 58, 2, 95-98.
- Buttrick, D. ve van Schalkwyk, A., 1998. Hazard and Risk Assessment for Sinkhole Formation on Dolomite Land in South Africa, Environmental Geology, 36,1-2, 170-178.
- Carcione, J.M., 1996. Ground Penetrating Radar: Wave Theory and Numerical Simulation in Lossy Anizotrophy Media, Geophysics, 61,6,1664-1677.
- Carrara, A., Pugliese Carretelli, E. ve Merenda, L., 1977. Computer-Based Data Bank and Statistical Analysis of Slope Instability Phenomena, Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 21, 2, 187-222.
- 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. A Multivariate Model for Landslide Hazard Evaluation, Mathematical Geology, 15, 403-426.
- 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. Landforms, 16, 427-445.
- Carrara, A., Cardinali M. ve Guzzetti, F., 1992. Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk, ITC Journal, 2, 172-183.
- Carrara, A., Cardinali M., Guzzetti, F. ve Reichenbach, 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., Guzzetti, F., Cardinali M. ve Reichenbach, P., 1999. Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard, Natural Hazards, 20, 117-135.
- Carver, S., 1991. Integration Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems, International Journal of Geographical Information Systems, 5, 321-339.
- Chang, S.C., 1992. The Simprecise Mapping and Evaluation Systems 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, 905-910.
- Chi, K., Lee, K. ve Park, N., 2002. Landslide Stability Analysis and Prediction Modeling with Landslide Occurrences on KOMPSAT EOC Imagery, Korean Journal of Remote Sensing, 18,1, 1-12.
- Chowdury, R.N., 1984. Recent Developments in Landslide Studies: Probabilistic Models, Proceedings 4th International Symposium on Landslides, Toronto, Canada, 1, 209-220.
- Chung C.F., A.G. Fabbri ve C.J. van Westen, 1995. Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards (A. Carrara and F. Guzzetti, Editors), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 107-133.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2002. A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method, Geomorphology, 48, 349-364.
- Corominas, J., Baeza, C. And Saluena, I., 1992. The Influence of Geometrical Slope Characteristics and Land Use on the Development of Shallow Landslides, Proceeding 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2, 919-924.
- Crozier, M.J., 1984. Field Assessment of Slope Instability, In: Brunsden, D., Prior, D.B. (Eds.), Slope Instability, Wiley, Chichester.

- Crozier, M.J., 1986. Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Helm Publication, London.
- Çapkinoğlu, Ş., 1981. Borçka-Çavuşlu (Hopa) Arasının Jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, K. Ü., Trabzon.
- 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.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J. ve Xu, Z.W., 2001. Assessment of Landslide Suspectibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong, Environmental Geology, 43, 3, 381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview, Engineering Geology, 64, 1, 65-87.
- Dilek, R., 1979. Trabzon-Hopa Kıyı Şeridinin Yeraltı Suyu Olanakları, KTÜ Basımevi, Trabzon.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K., ve Toledano, J., 1995. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 5, 539-547.
- Einstein, H.H., 1988. Special Lecture: Landslide Risk Assessment Procedure, In: Proc. V Int. Semp. on Landslides, Lausanne, 2, 1075-1090.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. ve Van Asch, TH. W. J., 2004. Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, Natural Hazard, 32, 1-23.
- Fell, R., 1994. Landslide Risk Assessment and Acceptable Risk, Canada Geotech. Journal, 31, 261-272.
- 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.
- Frattoni, P., Crosta, G.B., Fusi, N. ve Dal Negro, P., 2004. Shallow Landslides in Pyroclastic Soils: A Distributed Modelling Approach For Hazard Assessment, Engineering Geology, 73, 3-4, 277-295.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında (Doğu Karadeniz) Yer Alan Mağmatik Kayaçların Petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki Bölgesel Dağılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38.
- Glade, T., 1998. Establishing the Frequency and Magnitude of Landslide-Triggering Rainstorm Events in New Zealand, Environmental Geology, 35, 2-3.

- 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, 23, 189-206.
- Graham, J., 1984. Methods of Stability Analysis, In: Slope Instability, D. Brunsten and D.B. Prior (Eds.), Wiley&Sons, New York, 171-215.
- Greenway, D.R., 1987. Vegetation and Slope Stability, In: Slope Stability, M.G. Anderson and K.S. Richards (Eds.), John Wiley and Sons, 187-230.
- Griffiths, J.S., Mather, A.E. ve Hart, A.B., 2002. Landslide Susceptibility in the Rio Aguas Catchment, SE Spain, Q J Eng. Geol. Hydrogeol., 35, 9-17
- 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.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinalli, 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., Cardinalli, M. Reichenbach, P. ve Carrara, A., 2000. Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, Environmental Management, 25, 3, 247-263.
- Güven, İ.H., Boğuşlu, M. ve Çuvalcı, F., 1993. 1/100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Trabzon F 44 ve G 44 Paftaları, Yayınlanmamış, MTA, Trabzon.
- Halliday, S.L. ve Wolfe, M.L., 1991. Assessing Groundwater Pollution Potential from Nitrogen Fertilizer Using a Geographical Information System, Water Resources Bulletin, 27, 237-245.
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis, In: Slope Instability, Brunsten, D., and Prior, D. B., (Editors), Wiley & Sons, New York, 523-602.
- Harker, P.T. ve Vargas, L.G., 1987. The Theory of Ration Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process, Management Science, 33, 11, 1383-1403.
- Hartlen, J. ve Viberg, L., 1988. General Report: Evaluation of Landslide Hazard, Proceeding 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, 2, 1037-1057.
- Hiscock, K.M., Lovent, A.A., Brainard, J.S. ve Parfitt, J.P., 1995. Groundwater Vulnerability Assessment: Two Case Studies Using GIS Methodology, Quarterly Journal of Engineering Geology, The Geological Society, 28, 179-194.

- Hoek, E. ve Bray, J.W., 1981. *Rockslope Engineering*, Institute of Mining and Metallurgy, London, 358 p.
- Huma, I. ve Radulescu, D., 1978. Automatic Production of Thematic Maps of Slope Instability, Bulletin International Association of Engineering Geologists, 17, 95-99.
- Hutchinson, J.N., 1995. Keynote Paper: Landslide Hazard Assessment. In: Proc VI Int Symp on Landslides, Christchurch, 1, 1805-1842.
- IAEG, 1976. *Engineering Geological Maps, a Guide to their Preparation*, International Association of Engineering Geologist, The UNESCO press, Paris, 79 p.
- Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., El Amrani-Paaza, N. ve Boussouf, S., 1994. GIS Geotechnical and Environmental Assessment of Site Selection for Urban Waste Disposal in the Granada District (Spain), Proceeding of the 7th International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, 4679 p.
- Jade, S., ve Sarkar, S., 1993. Statistical Models for Slope Instability Classification, Engineering Geology, 36, 91-98.
- Juang, C.H., Lee, D.H. ve Sheu, C., 1992. Mapping Slope Failure Potential Using Fuzzy Sets, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 118,3, 475-494.
- Karşlı, F., Yalçın, A., Atasoy, M., Demir, O., Reis, S ve Ayhan, E., 2004. Landslide Assessment by Using Digital Photogrammetric Techniques, XXth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 12-23 July 2004, Istanbul.
- Kienholz, H., 1992. Risk Assessment in Mountains, Proceedings 1st Simposio International Sobre Sensores Remotos Sistemas De Information Geografica (SIG) Para El Estudio De Riesgos Naturales, Bogota, Colombia, 2, 20 p.
- Korkmaz, S. ve Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan ve Bölgenin Jeolojisi ve Petrol Oluşumları, Jeoloji Mühendisliği, 32-33, 5-15.
- Koukis, G., ve Ziourkas, C., 1991. Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis, Bulletin of International Association of Engineering Geologists, 43, 47-60.
- Kraus, K., 1997, *Photogrammetry*, Vol. 2, Bonn.
- 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, Yunnan, China, Engineering Geology, 76, 1-2, 109-128.
- Lee, S., ve Min, K., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, Environmental Geology, 40, 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2004. (a) Probabilistic Landslide Hazard Mapping Using GIS and Remote Sensing Data at Boun, Korea, Int. J. Remote Sensing, 25, 11, 2037-2052.

- Lee, S., Ryu, J., Won, J. ve Park, H., 2004. (b) Determination and Application of the Weight for Landslide Susceptibility Mapping Using an Artificial Neural Network, Engineering Geology, 71, 289-302.
- Lessing, P., Messina, C.P. ve Fonner, R.F., 1983. Landslide Risk Assessment, Environmental Geology, 5, 2, 92-99.
- Lorenzo, H., Hernandez, M.C., ve Cuellar, V., 2002. Selected Radar Images of Man-Made Underground Galleries, Archeological Prospection, 9, 1-7.
- 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), Natural Hazards, 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, Engineering Geology, 34, 53-79.
- Mantovani, F., Soeters, R. ve van Westen, C.J., 1996. Remote Sensing Techniques for Landslide Studies and Hazard Zonation in Europe, Geomorphology, 15, 213-225.
- Mejia-Navarro, M. ve Wohl, E.E., 1994. Geological Hazard and Risk Evaluation Using GIS: Methodology and Model Applied to Medellin, Colombia, Bull. Assoc. Eng. Geology, 31, 459-481.
- Mejia-Navarro, M. ve Garcia, L.A., 1996. Natural Hazard and Risk Assessment Using Decision Support Systems, Application: Glenwood Springs, Colorado, Environmental and Engineering Geoscience, 2,3, 299-324.
- Mehrotra, G.S., Sarkar, S. ve Dharmaraju, R., 1992. Landslide Hazard Assessment in Rishikesh- Tehri Area, Garhwal Himalaya, India, Processing of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (Ed.), Balkema, 1001-1007.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. ve McGlone, J. C., 2001, Introduction to Modern Photogrammetry, John Wiley&Sons, USA.
- Miles, S.B. ve Ho, C.L., 1999. Rigorous Landslide Hazard Zonation Using Newmark's Method and Stochastic Ground Motion Simulation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 305-323.
- Moon, V. ve Blackstock, H., 2004. A Methodology for Assessing Landslide Hazard Using Deterministic Stability Models, Natural Hazard, 32, 111-134.
- MTA, 1986. Stratigrafi Sınıflama ve Adlama Kuralları, Türkiye Stratigrafi Komisyonu, Ankara.

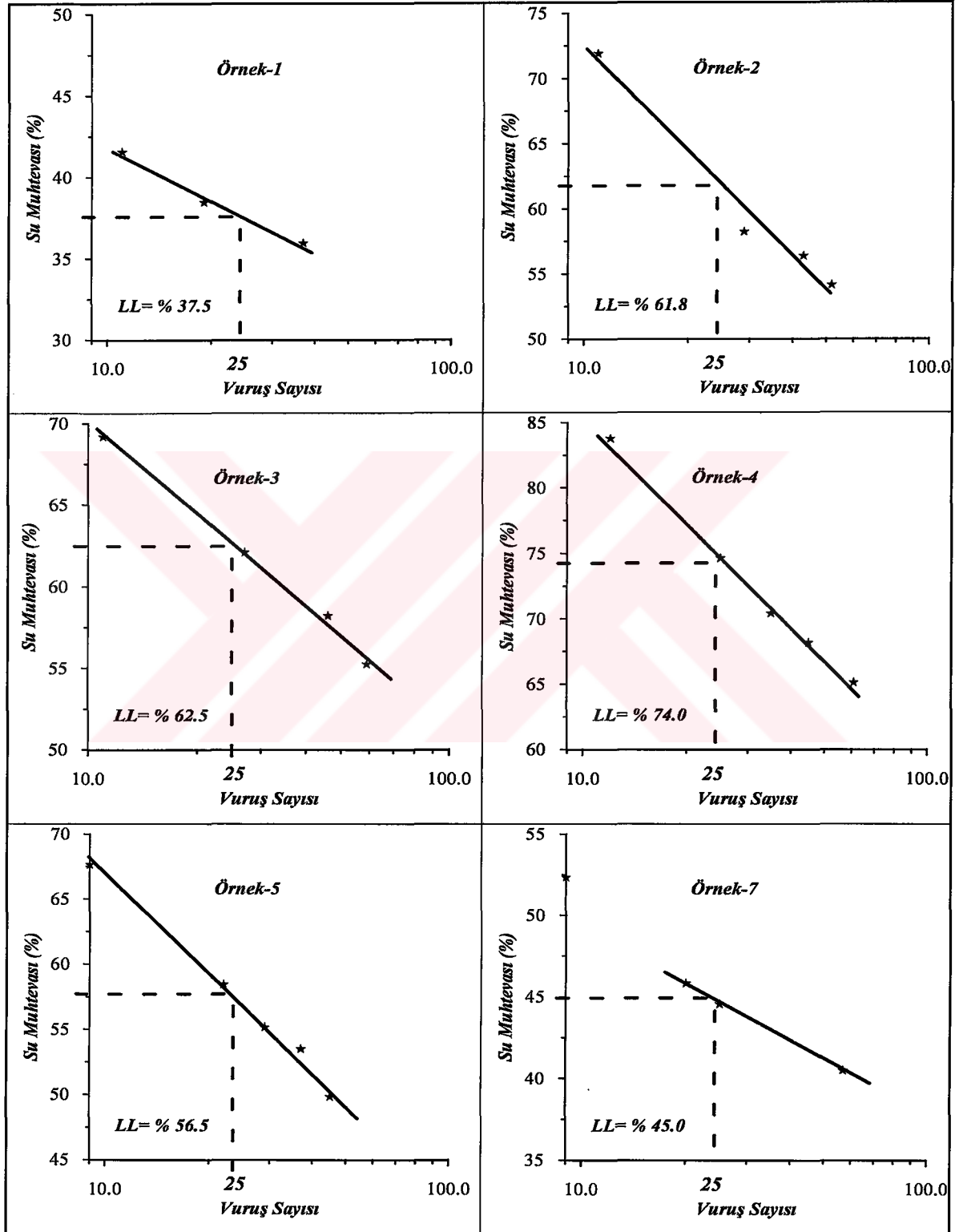
- Murphy, W. ve Vita-Finzi, C., 1991. Landslides and Seismicity: An Application of Remote Sensing, Proc. 8th Thematic Conference on Geological Remote Sensing (ERIM), Denger, Colorado, USA, 2, 771-784.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M.V., 2000. Landslide Hazard Suspectibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, Bull. Eng. Geol. Env., 58, 275-287.
- Nash, D. 1987, A Comparative Review of Limit Equilibrium Methods of Stability Analysis, Slope Stability for Geotechnical Engineering and Geomorphology, Anderson, M. G. & K. S. Richards (Eds.), John Wiley & Sons, New York, 11-75.
- Olshansky, R., 1990. Landslide Hazard in The United States: Case Studies in Planning and Policy Development, Garland Publishing, New York, 178 pp.
- Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., Eren, A.A. ve Çapkinoğlu, Ş., 1982. Ardunç (Artvin) Yöresinin Jeolojisi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Dergisi, 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, Environmental Geology, 36, 325-334.
- Parise, M. ve Wasowski, J., 1999. Landslide Activity Maps for Landslide Hazard Evaluation: Three Case Studies from Southern Italy, Natural Hazards, 20, 159-183.
- Parise, M., 2001. Landslide Mapping Techniques and their Use in the Assessment of the Landslide Hazard, Phys. Chem. Earth (C), 26,9, 697-703.
- Perotto-Baldviezo, H. L., Thurow, T. L., Smith, C. T., Fisher, R. F. ve Wu, X. B., 2004. GIS-Based Spatial Analysis and Modeling for Landslide Hazard Assessment in Steeplands, Southern Honduras, Agriculture, Ecosystems & Environment, 103,1, 165-176.
- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamaları Altılık Bir Coğrafi Bilgi Sistem Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Rigol, J.P. ve Chica-Olmo, M., 1998. Merging Remote-Sensing Images for Geological-Environmental Mapping: Applicatoin to the Cabo De Gata-Nijar Natural Park, Spain, Environmental Geology, 34, 2/3, 194-202.
- Rize Valiliği, 2001. 2000 Yılı Çevre Durum Raporu, Rize.
- Rosenfeld, C.L., 1994. The Geomorphological Dimensions of Natural Disasters, Geomorphology, 10, 27-36.
- Saat, M., 2000. Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Yöntemi,

- G.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2, 2, 1-24.
- Saaty, T.L., 1990. The Analytic Hierarchy Process, 2nd edition, RWS Publications, Pittsburg, 286 p.
- Saaty, T.L., 1994. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, Interfaces, 24,6, 19-43.
- Sabins, F.F., 2000. Remote Sensing: Principles and Interpretation, Third ed., W.H. Freeman and Company, New York, 494 p.
- Saha, A.K., Gupta, R.P. ve Arora, M.K., 2002. GIS-Based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valey, Himalayas, Int. J. Remote Sensing, 23,2, 357-369.
- Schuster, R.L., ve Fleming, R.W., 1986. Economic Losses and Fatalities Due to Landslides, Bulletin of Association of Engineering Geologists, 23,1,11-28.
- 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.
- Stevenson, P.C., 1977. An Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslide Risk, Bull. Int. Ass. Eng. Geol., 16, 69-72.
- Swanston, D.N. ve Schuster, R.L., 1989. Long-Term Landslide Hazard Mitigation Programs: Structure and Experience from other Countries, Bulletin American Association of Engineering Geologists, 26, 1, 109-113.
- Tarhan, F., 1996. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Basımevi, Trabzon.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U. ve Korme, T., 2001. Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular References to the Landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia, Phys. Chem. Earth (C), 26, 665-675.
- Terlien, M.T.J., van Asch, Th.W.J. ve van Westen, C.J., 1995. Deterministic Modelling in GIS-Based Landslide Hazard Assessment. In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (Editors), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Pub., Dordrecht, the Netherlands, 57-77.
- Tillard, S., 1994. Radar Experiments in Isotropic and Anizotropic Geological Formations (Granite and Schists), Geophysical Prospecting, 42, 615-636.
- Turrini, M.C. ve Visintainer, P., 1998. Proposal of a Method to Define Areas of Landslide Hazard and Application to an Area of the Dolomites, Italy, Engineering Geology, 50, 255-265.
- Tüdeş, T., 1996, Yer Fotogrametrisi, KTÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, KTÜ Basımevi, II. Baskı, Trabzon.

- URL-1, <http://www.geomodel.com/gprtext.htm>, Geomed Web Sayfası, 14.12.2001.
- URL-2, <http://www.die.gov.tr>, Devlet İstatistik Enstitüsü, 2000 Genel Nüfus Sayımı, 16 Nisan 2002.
- Uromeihy, A. ve MahdaviFar, M.R., 2000. Landslide Hazard Zonation of the Khorshrostan Area, Iran, *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58, 207-213.
- van Asch, Th.W.J., 1992. The Role of Water in Landslide Hazard Analyses, Proceedings 1st Simposio International Sobre Sensores Remotos Sistemas De Information Geografica (SIG) Para El Estudio De Riesgos Naturales, Bogota, Colombia, March 1992, 485-498.
- van Westen, C.J. ve Bonilla, J.B.A., 1990. Mountain Hazard Analysis Using a PC-Based GIS. Proceedings of the 6th International Congress of Engineering Geology, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, August 1990, 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., 1994. GIS in Landslide Hazard Zonation: A Review with Example from the Colombian Andes, In: Price, M.F., Heywood, D.I. (Eds.), Taylor and Francis, London.
- van Westen C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J. ve Soeters, R., 1997. Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena Through GIS-Bases Hazard Zonation, *Geologische Rundschau*, 86, 2, 404-414.
- van Westen, C.J., Soeters, R., Sijmons, K., 2000. Digital Geomorphological Landslide Hazard Mapping of the Alpago Area, Italy, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2,1, 51-59.
- Vargas, L.G., 1990. An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications, *European Journal of Operational Research*, 48, 2-8.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices Commision on Landslides of the IAEG, UNESCO, Paris.
- Wadge, G., 1988. The Potential if GIS Modelling of Gravitiy Flows and Slope Instabilities, *International Journal of Geographical Information Systems*, 2, 2, 143-152.
- Wagner, A., Olivier, R. ve Leite, E., 1988. Rock and Debris Sliderisk Maps Applied to Low-Volume Roads in Nepal, Proceedings 4th International Conference on Low Volume Roads, Transportation Research Record, 1106, 255-267.
- Wang, S.Q. and Unwin, D.J., 1992. Modelling Landslide Distrubition on Loess Soils in China: An Investigation, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6, 391-405.

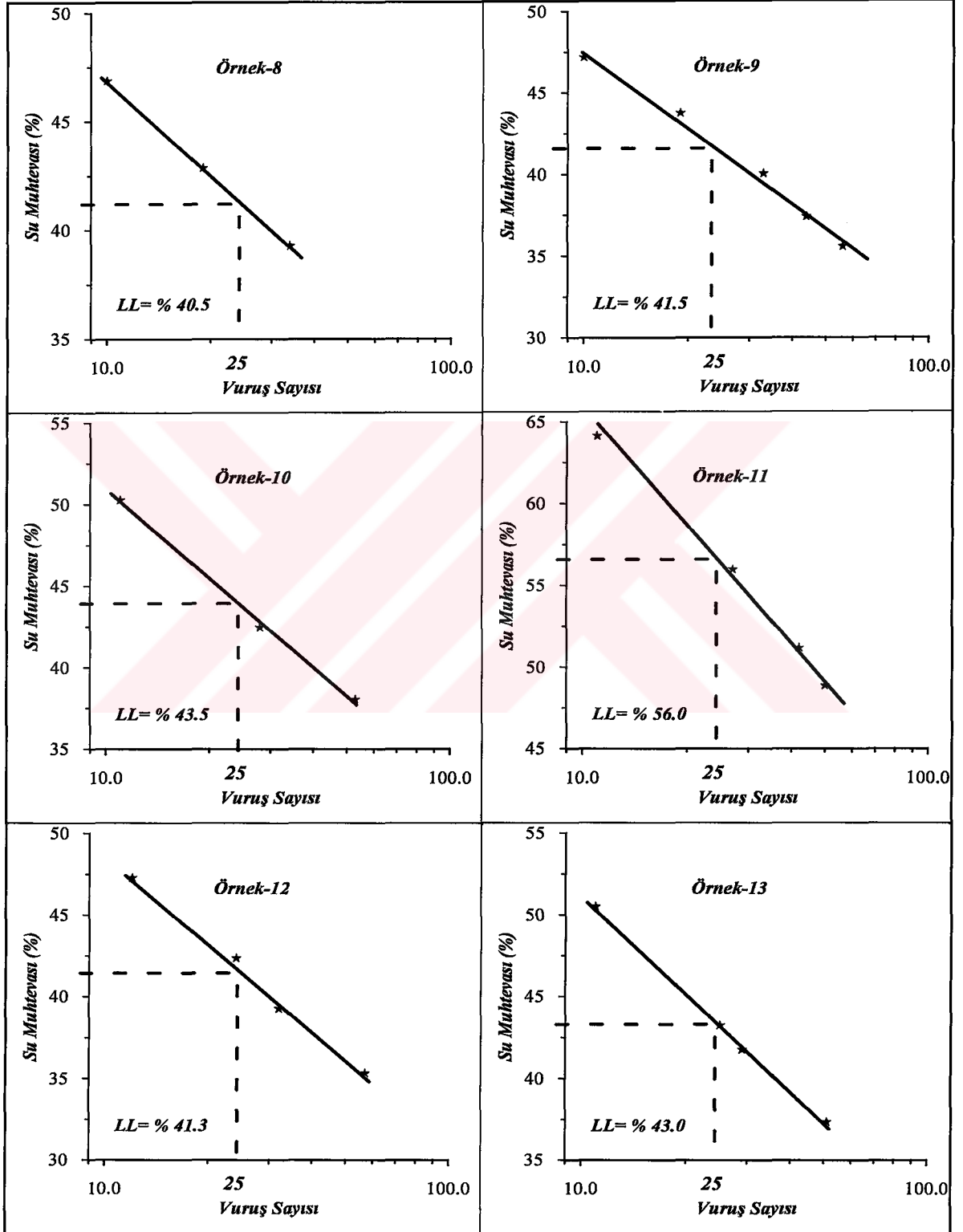
- Wieczorek, G.F., 1984. Preparing a Detailed Landslide-Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction, Bull. Ass. Eng. Geol., 21,3, 337-342.
- Wolf, P. R., ve Dewitt, B. A., 2000, Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, 3rd edition, McGraw-Hill, USA.
- Wu, W. ve Sidle, R.C., 1995. A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Basins, Water Resour. Res., 31, 8, 2097-2110.
- Yalçın, A., Reis, S. ve Nişancı, R., 2002. Mass Movement Evaluation with Geographical Information Systems: A Case Study from Gümüşhane Region, Proceedings International Symposium on Geographic Information Systems (GIS 2002), September 2002, Istanbul, 760-767.
- Yılmaz, B.S., Güç, A.R., Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E.N., Konak, O., Yaprak, S. ve Köse, Z., 1998. Rize İlinin Çevre Jeolojisi, Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA, Ankara.
- Yomralıoğlu, T., 2002. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, 2. baskı, İber ofset, İstanbul.
- Zezere, J.L., Ferreira, A.B. ve Rodrigues, M.L., 1999. The Role of Conditioning and Triggering Factors in the Area North of Lisbon (Portugal), Geomorphology, 30,133-146.
- Zinck, J.A., Lopez, J., Metternicht, G.I., Shrestha, D.P. ve Vazquez-Selem, L., 2001. Mapping and Modelling Mass Movement and Gullies in Mountainous Areas Using Remote Sensing and GIS Techniques, JAG, 3, 1, 43-53.

7. EKLER

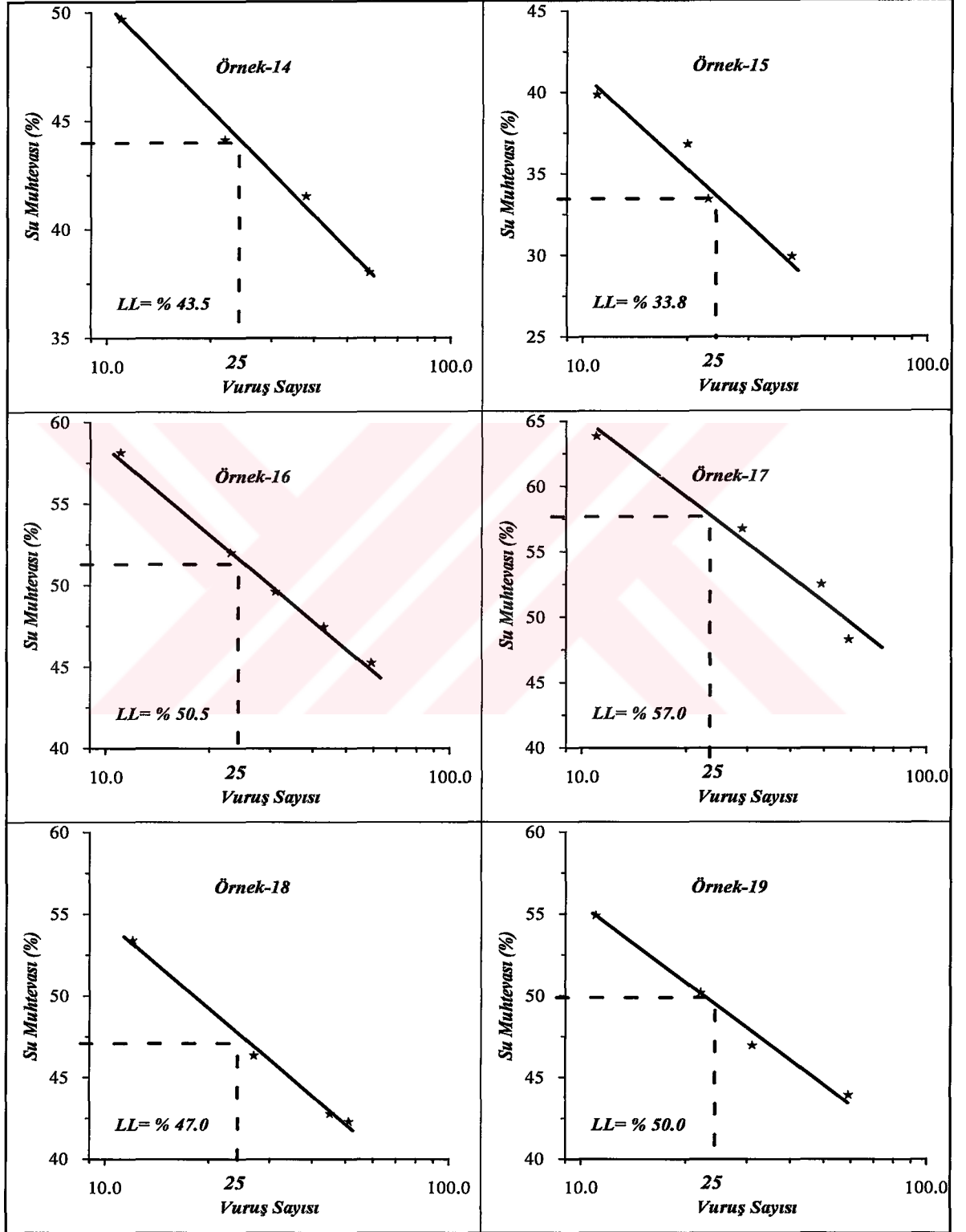


Ek Şekil 1. Likit limit deney sonuçları için vuruş sayısı-su muhtevası grafikleri

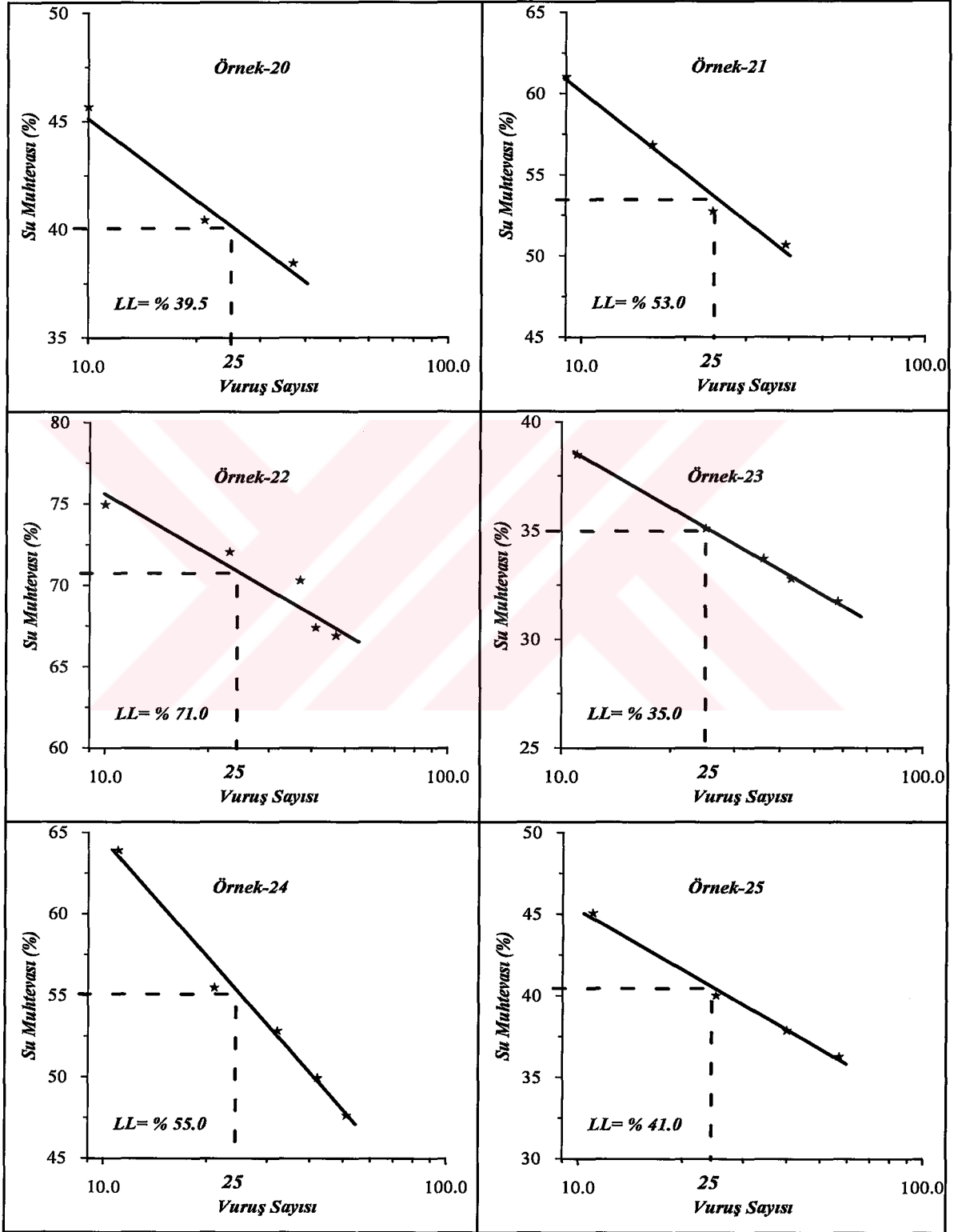
(Ek Şekil 1'in devamı)

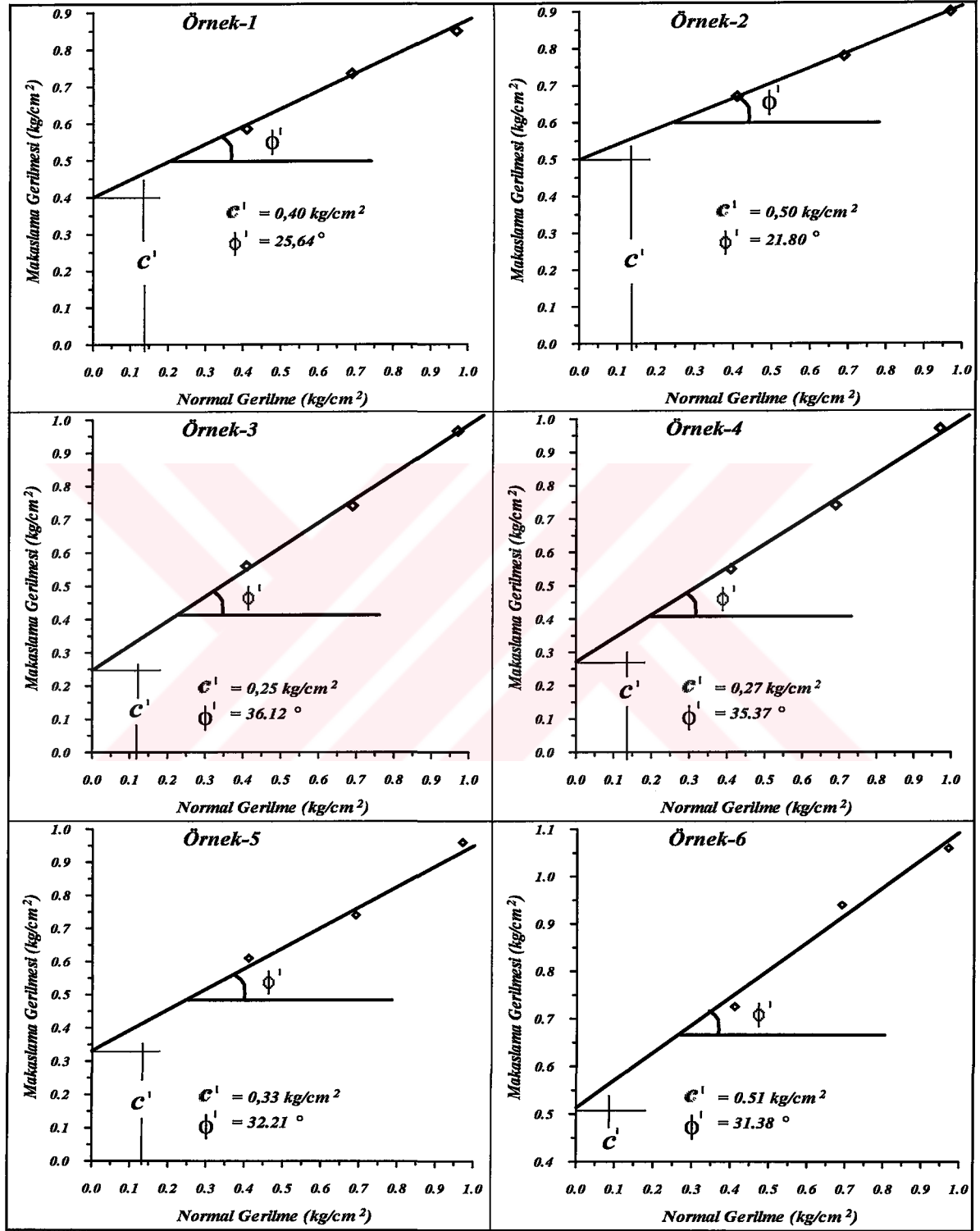


(Ek Şekil 1'in devamı)



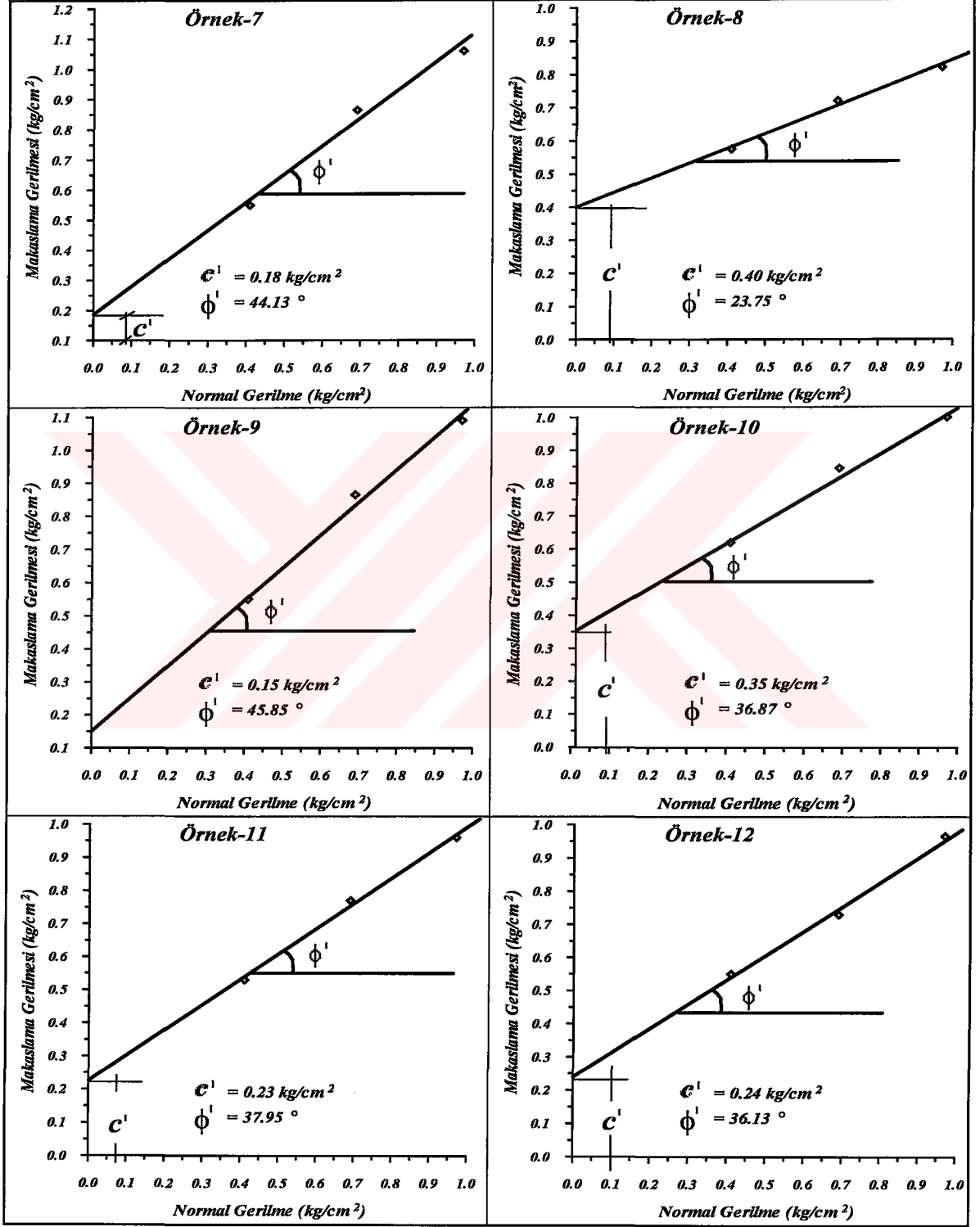
(Ek Şekil 1'in devamı)



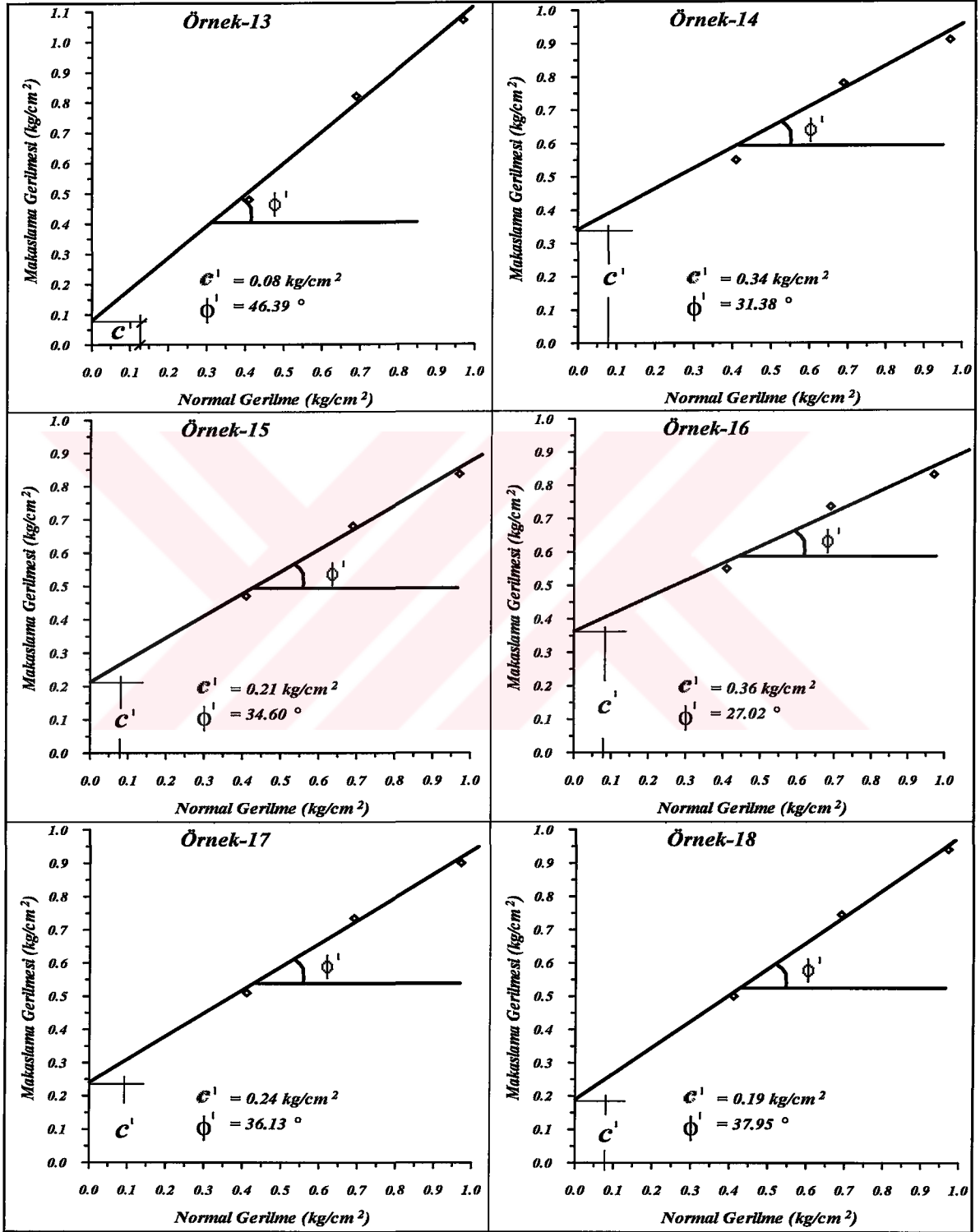


Ek Şekil 2. Kesme kutusu deney verileri ile elde edilen $\sigma - \tau$ grafikleri

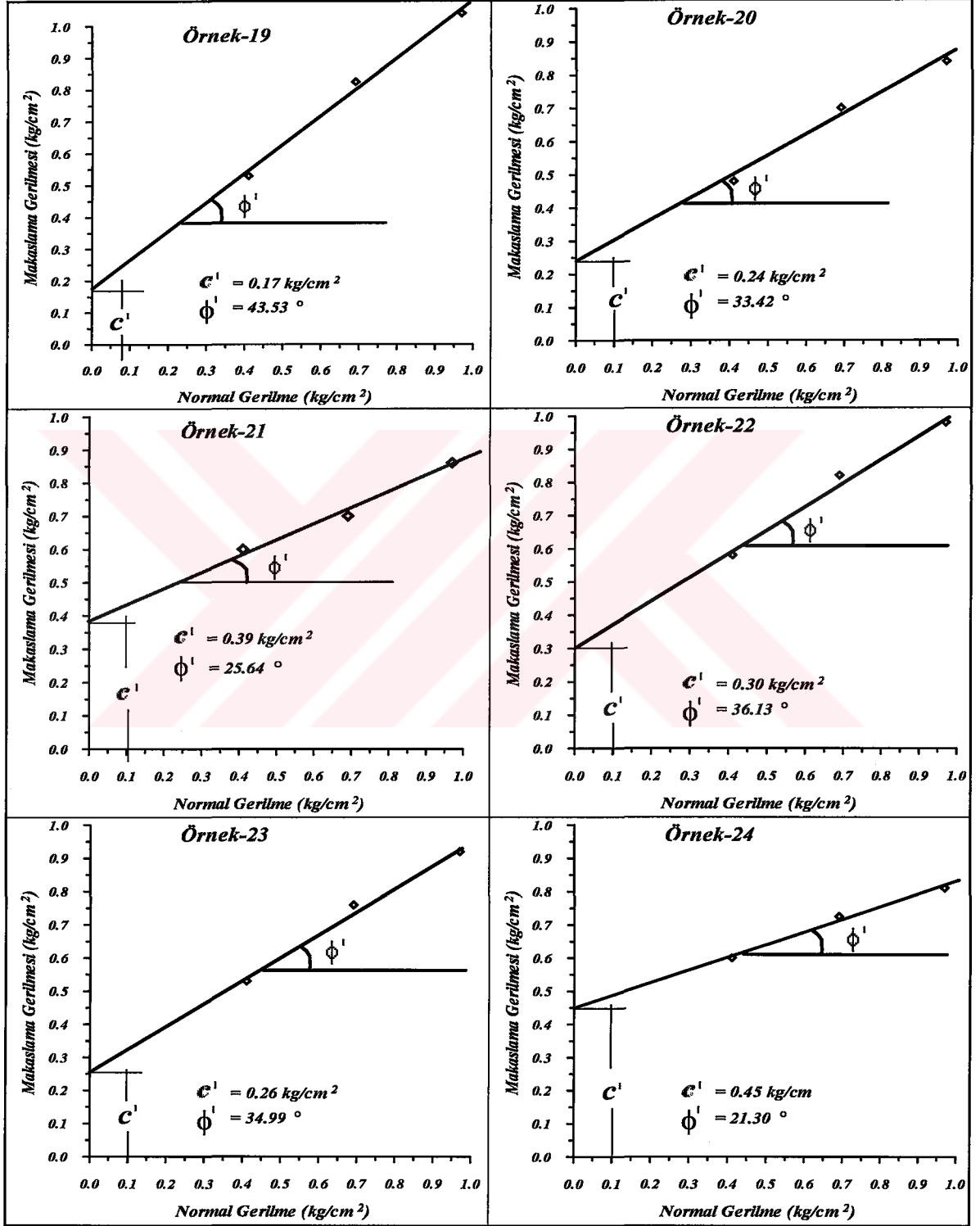
(Ek Şekil 2'nin devamı)



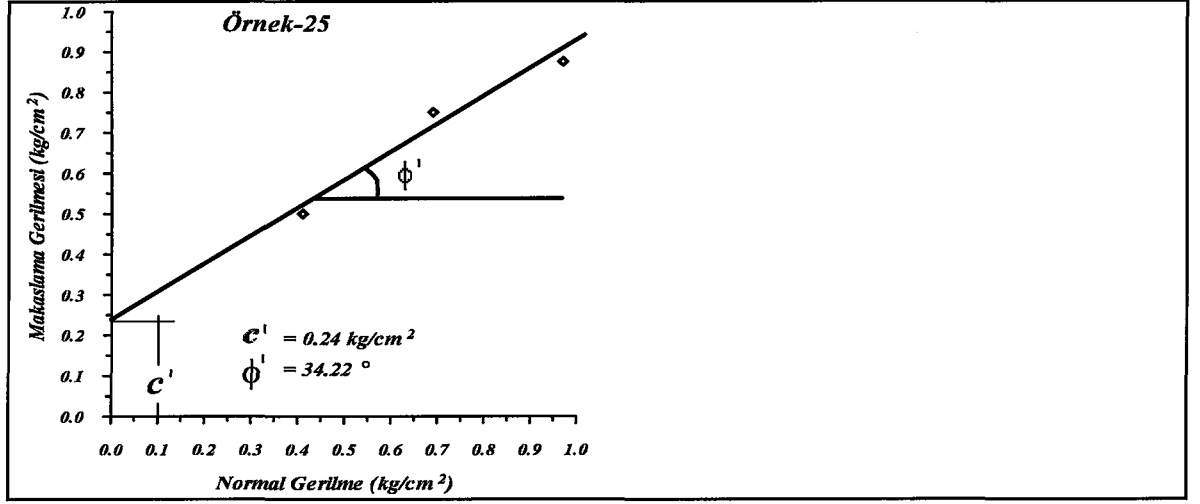
(Ek Şekil 2'nin devamı)



(Ek Şekil 2'nin devamı)



(Ek Şekil 2'nin devamı)



Ek Tablo 1. Plastik limit deney sonuçları

Örnek No	Deney No	Kap ağırlığı (gr)	Kap+yaş örnek ağırlığı (gr)	Kap+kuru örnek ağırlığı (gr)	Su muhtevası (%)	Plastik limit (%)
O-1	1-1	35.13	43.30	41.09	37.08	37.17
	1-2	18.09	25.77	23.68	37.38	
	1-3	18.05	24.41	22.69	37.06	
O-2	2-1	25.98	34.05	31.66	42.07	45.23
	2-2	24.63	35.35	31.88	47.86	
	2-3	42.23	51.40	48.52	45.78	
O-3	3-1	37.42	45.37	43.02	41.96	41.91
	3-2	42.25	48.85	46.88	42.54	
	3-3	25.99	33.01	30.96	41.24	
O-4	4-1	41.10	48.60	45.89	56.57	54.79
	4-2	42.24	49.22	46.81	52.73	
	4-3	25.98	36.06	32.48	55.07	
O-5	5-1	44.09	50.84	48.57	50.67	50.94
	5-2	41.55	49.23	46.63	51.18	
	5-3	40.82	48.52	45.92	50.98	
O-6	-----					
O-7	7-1	40.82	47.88	45.69	44.97	44.61
	7-2	24.63	34.16	31.17	45.71	
	7-3	41.08	49.77	47.15	43.16	
O-8	8-1	25.97	35.98	33.89	26.39	27.74
	8-2	32.29	37.11	36.01	29.56	
	8-3	31.19	41.17	39.03	27.29	
O-9	9-1	25.96	32.14	30.62	32.61	32.98
	9-2	41.53	51.13	48.74	33.14	
	9-3	34.50	44.13	41.73	33.19	
O-10	10-1	35.52	40.70	39.13	43.49	41.51
	10-2	41.10	47.87	45.93	40.16	
	10-3	44.09	50.98	48.98	40.89	
O-11	11-1	21.69	27.75	25.89	44.28	43.72
	11-2	31.18	37.76	35.78	43.04	
	11-3	32.30	38.40	36.54	43.86	
O-12	12-1	35.13	40.78	39.24	37.47	37.15
	12-2	18.08	24.38	22.67	37.25	
	12-3	26.76	36.14	33.62	36.73	
O-13	13-1	18.03	24.83	22.97	37.65	38.28
	13-2	20.31	26.79	24.99	38.46	
	13-3	24.62	31.03	29.24	38.74	
O-14	14-1	44.09	50.88	49.26	31.34	32.29
	14-2	34.50	42.57	40.57	32.94	
	14-3	41.53	48.81	47.02	32.60	
O-15	15-1	31.16	40.08	38.01	30.22	30.46
	15-2	21.69	31.06	28.84	31.04	
	15-3	43.89	51.97	50.10	30.11	

(Ek Tablo 1'in devamı)

O-16	16-1	21.70	31.08	28.35	41.05	41.08
	16-2	43.91	54.46	51.37	41.42	
	16-3	32.30	38.79	36.91	40.78	
O-17	17-1	35.12	44.01	41.48	39.78	39.43
	17-2	31.16	39.02	36.82	38.87	
	17-3	24.62	31.98	29.89	39.65	
O-18	18-1	37.41	43.75	42.06	36.34	36.70
	18-2	42.00	51.87	49.20	37.08	
	18-3	41.84	51.08	48.60	36.68	
O-19	19-1	32.28	40.96	38.45	40.68	40.41
	19-2	26.74	34.34	32.15	40.48	
	19-3	20.31	27.30	25.33	40.08	
O-20	20-1	41.84	49.70	47.67	34.81	34.92
	20-2	32.29	40.55	38.40	35.18	
	20-3	20.33	27.11	25.36	34.79	
O-21	21-1	34.51	41.72	39.43	46.54	46.21
	21-2	41.54	48.02	45.99	45.62	
	21-3	26.76	34.23	31.86	46.47	
O-22	22-1	34.51	41.46	39.38	42.71	42.52
	22-2	26.75	33.44	31.46	42.03	
	22-3	31.71	37.78	35.96	42.82	
O-23	23-1	37.42	43.24	41.96	28.19	27.82
	23-2	41.09	48.53	46.90	28.05	
	23-3	21.70	27.73	26.44	27.22	
O-24	24-1	44.09	50.79	48.59	48.89	48.65
	24-2	42.23	48.96	46.76	48.57	
	24-3	34.51	42.44	39.85	48.50	
O-25	25-1	25.97	34.47	32.29	34.49	34.17
	25-2	31.17	38.88	36.92	34.08	
	25-3	32.29	39.00	37.30	33.93	

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Gümüşhane ili Torul ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ordu'da tamamlayarak 1991 yılında Ordu Lisesi'nden mezun oldu. 1992 yılında KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1996 yılında Jeoloji Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl adı geçen bölümde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1997 yılında Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1999 yılında, Niğde Üniversitesi tarafından Yüksek Öğretim Kanunu'nun 35. Maddesine göre lisansüstü öğrenimini tamamlamak üzere KTÜ Fen Bilimleri enstitüsüne görevlendirildi. Ocak 2000'de "Kanlıca (Giresun-Yağlıdere) Heyelanı ve Çevresindeki Yamaçların Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi" konulu tezi ile yüksek lisans öğrenimini tamamladı. Evli ve iki çocuk babası olan Ali YALÇIN, İngilizce bilmekte ve halen KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora öğrenimini sürdürmektedir.