

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARHAVİ (ARTVİN) VE ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Gülin AKSOY

**HAZİRAN- 2011
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARHAVİ (ARTVİN) ve ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Jeoloji Müh. Gülin AKSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 02.06.2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında

Gülin AKSOY tarafından hazırlanan

ARHAVİ (ARTVİN) ve ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIĞI ANALİZİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08/02/2011 gün ve 1391 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/06/2011 tarihinde yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT



Üye : Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN



Üye : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı yöneten ve denetleyen, tüm imkan ve destekleriyle yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN ve Sayın Doç. Dr. Şener CERYAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Jeoloji Yük. Mühendisi İlknur ŞEN, Harita Mühendisi Çiğdem Saltık ŞEŞEOĞULLARI, İnşaat Yük. Mühendisi Gül GENÇTÜRK'e teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen değerli anneannem Aslı ALP, babam Rıfat AKSOY, annem Eriş AKSOY, ablam Gülşah BAL ve kardeşim Ezgi AKSOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Gülin AKSOY

Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ARHAVİ (ARTVİN) ve ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

02/06/2011

Gülin AKSOY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu	3
1.4. Morfoloji	4
1.5. Ulaşım ve Yerleşim Durumu	5
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü	5
1.7. Akarsular	7
1.8. Literatür Çalışmaları	8
1.9. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme	10
1.9.1. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramı	11
1.9.2. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler	13
1.9.2.1. Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler	13
1.9.2.1.1. Jeomorfolojik Analizler	14
1.9.2.1.2. Parametre Haritalarının Kullanılması	15
1.9.2.2. Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler	15
1.9.2.2.1. İstatistiksel Analizler	15
1.9.2.2.1.1 İki Değişkenli İstatistiksel Analizler	16
1.9.2.2.1.2 Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler	16
1.9.2.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar	17

1.9.2.2.3.	Yapay Zeka Yöntemleri.....	17
1.9.3.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında AHY	17
1.9.4.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Ölçekler.....	22
1.9.5.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler...	22
1.9.5.1.	Yamaç Eğimi.....	23
1.9.5.2.	Litoloji-Ayrışma.....	23
1.9.5.3.	Yamaç Eğim Yönü (Baki).....	25
1.9.5.4.	Arazi Örtüsü.....	26
1.9.5.5.	Yükseklik.....	26
1.9.5.6.	Drenaj Ağı.....	27
1.9.5.7.	Ana Faylara Yakınlık.....	27
1.9.6.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında CBS.....	28
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	30
2.1.	Giriş.....	30
2.2.	Jeolojik Harita Alımı.....	30
2.3.	Arazi Çalışmaları.....	30
3.	BULGULAR	32
3.1.	Arhavi ve Çevresinin Genel Jeolojisi.....	32
3.1.1.	Kızılkaya Formasyonu.....	35
3.1.2.	Çağlayan Formasyonu.....	36
3.1.3.	Dayklar ve Siller.....	37
3.1.4.	Alüvyon.....	38
3.1.5.	Yamaç Molozu.....	39
3.2.	Ayrışma.....	39
3.2.1.	Arhavi ve Çevresindeki Kayaçların Ayrışma Tanımlaması ve Sınıflandırılması.....	41
3.3.	Çalışma Alanındaki Heyelanlar ve Genel Özellikleri.....	44
3.3.1.	Kütle Hareketleri ve Genel Özellikleri	44
3.3.2.	Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılmaları	45
3.3.3.	Çalışma Alanındaki Heyelanlar ve Genel Özellikleri	47
3.3.4.	Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler	47

3.3.4.1.	Heyelan Envanteri	47
3.3.4.2.	Litoloji-Ayrışma.....	57
3.4.	Arhavi İlçesi (Artvin) Yerleşim Alanı ve Yakın Çevresinin Heyelan Duyarlılık Haritasının AHY ile Oluşturulması	60
4.	SONUÇLAR.....	70
5.	KAYNAKLAR.....	72
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ARHAVİ (ARTVİN) ve ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Gülin AKSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Aykut AKGÜN
2011, 89 Sayfa

Heyelanların ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi'nde çok yaygın olarak meydana gelmesi ve bunların sonucunda can ve mal kayıplarının oluşması konunun ayrıntılı olarak incelenerek çözümler üretmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu çalışmada, Arhavi (Artvin) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Arhavi ve çevresinin 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak, yaşlıdan gence doğru Kızılkaya Formasyonu (Santoniyen-Kampaniyen), Çağlayan Formasyonu (Kampaniyen-Mestiştien) ve Alüvyon (Kuvaterner) şeklinde sıralanan Litostratigrafi birimleri tanımlanmıştır.

İklimsel koşulların ön plana çıktığı çalışma alanındaki kayaçlarda yüzeysel ayrışma büyük öneme sahiptir. Bölgede gerçekleşen aşırı ve şiddetli yağışların tetikleme ile özellikle yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayaçlarda çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlara ait envanter haritası arazi çalışmaları neticesinde hazırlanmıştır.

Çalışmada, heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen duyarlılık haritalarında, çok az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere farklı duyarlılık alanları ayrırtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Heyelan Duyarlılık Haritası, Envanter Haritası, Ayrışma

SUMMARY

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF ARHAVİ REGION (ARTVİN)

Gülin AKSOY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geology Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN
2011, 89 Pages,

Due to the most extensive occurrence of landslide in the Black Sea Region and the resulting life and property losses it has become significant to conduct detailed studies for the production of possible solutions.

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

After the preparation of a geological map on 1/25 000 scale from older to younger Kızılkaya Formation, rhyodacite and their pyroclastics, Late Cretaceous aged Çağlayan Formation consisting of limestone and marl interbedded basalt and andesite, and Quaternary alluvium lithostratigraphical units have been defined.

Surficial weathering, on rocks of study area where climatic conditions presence to be on first place, has great importance. In the region, due to triggering of heavy rainfalls numerous landslides occurred completely weathered rocks. Inventory maps of these landslides were prepared by field works.

In this study, landslide susceptibility maps were produced. On these susceptibility maps, different susceptibility areas were separated. These are as follows; very low, low, medium, high and very high susceptible area.

Key Words: Landslide susceptibility map, inventory map, alteration

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan hanelerin afet türlerine göre dağılımı	1
Şekil 2. Türkiye’deki heyelan sayısı.....	2
Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresine ait yer bulduru haritası	3
Şekil 4. Okangiloni Tepesi.....	4
Şekil 5. Rize ili meteoroloji istasyonu verilerine göre sıcaklık ve yağış histogramları	7
Şekil 6. Heyelan değerlendirme yöntemleri	13
Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler....	24
Şekil 8. İnceleme Alanın Jeoloji Haritası.....	33
Şekil 9. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti.....	34
Şekil 10. Kızılkaya Formasyonu’na ait dasitlerin görünümü.....	35
Şekil 11. Kızılkaya Formasyonundaki dasitlerde meydana gelen silisleşme.....	36
Şekil 12. Çağlayan Formasyonundaki bazaltlarda oluşan çatlaklar.....	37
Şekil 13. Andezit dayklarının arazi görünümü	38
Şekil 14. Alüvyonlar	39
Şekil 15. Peltier (1950) diyagramına göre çalışma alanında etkili olan ayrışma türü....	41
Şekil 16. Yamaç üzerine etki eden kuvvetler.....	44
Şekil 17. Farklı türlerde gelişen bazı kütle hareketlerine ait blok diyagramlar.....	46
Şekil 18. İdeal bir heyelana ait blok diyagram (toprak kayması ve akma karmaşık hareket).....	46
Şekil 19. Çalışma alanında gözlenen heyelan türlerine ait blok diyagram ve şematik şekiller.....	48
Şekil 20. Heyelanın çevresindeki ağaçlardaki eğilmeler	49
Şekil 21. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı.....	50
Şekil 22. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı.....	51
Şekil 23. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı	51

Şekil 24.	Heyelanın esas ayna üst sınırı.....	52
Şekil 25.	Musazade Mah. Meydana gelen heyelandan etkilenen yapının görünümü.....	52
Şekil 26.	Tepeköy Mah. meydana gelen heyelan.....	53
Şekil 27.	Arazide belirlenen heyelanların uzunlukları, genişlikleri ve alanlarına ait histogramlar.....	55
Şekil 28.	İnceleme alanının heyelan envanter haritası.....	56
Şekil 29.	İnceleme alanında kayaçlardaki farklı ayrışma dereceleri	58
Şekil 30.	İnceleme alanının litoloji-ayrışma haritası.....	59
Şekil 31.	Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin yamaç yönelimi ve litoloji haritaları	63
Şekil 32.	Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin yamaç eğimi ve ayrışma haritaları	64
Şekil 33.	Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin arazi örtüsü ve akarsu güç indeksi haritaları	65
Şekil 34.	Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin drenaj hatlarına uzaklık ve topoğrafik nem indeksi haritaları	66
Şekil 35.	Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritası	68
Şekil 36.	Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelana duyarlı alanların ve mevcut heyelan alanlarının dağılımı	69

TABLOLAR DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Rize İli'ne ait meteorolojik veriler.....	6
Tablo 2.	AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği	21
Tablo 3.	Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan ölçekler	22
Tablo 4.	ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflandırması ve tanımlama kriterleri.....	42
Tablo 5.	Kütle hareketlerinin sınıflandırılması.....	45
Tablo 6.	Çalışma alanında tespit edilen heyelanların alanları.....	54
Tablo 7.	Veri katmanlarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri	62
Tablo 8.	Eleman sayısına göre rastgele indeks değerleri	68

SEMBOLLER DİZİNİ

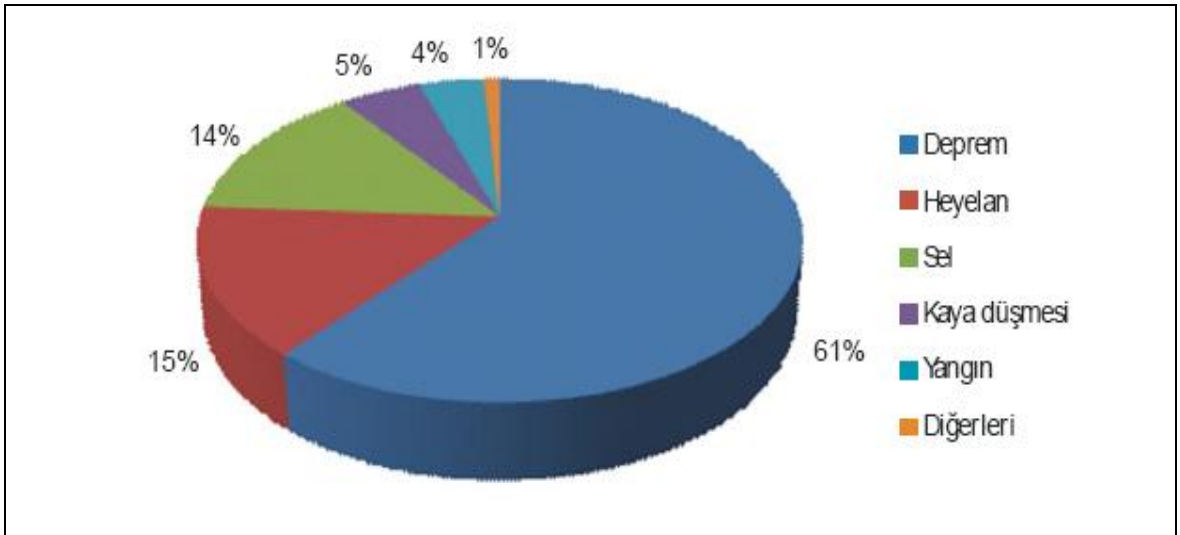
A	: Parametre sınıfındaki piksel sayısı
AA	: Az ayrıışmış
AGİ	: Akarsu güç indeksi
AHY	: Analitik Hiyerarşı Yöntemi
B	: Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
Etp	: Potansiyel buharlaşma-terleme
Fo	: Fosil
GIS	: Geographical Information Systems
Horn	: Hornblend
Kl	: Klorit
Kp	: Kayaç Parçası
Ku	: Kuvars
LRA	: Logistic regression analysis
MCE	: Çok Kriterli Değerlendirme (Multi Criteria Evaluation)
ODA	: Orta derecede ayrıışmış
P	: Yağış
Pl	: Plajiyoklas
Rİ	:Rastgele indeks
RS	: Remote sensing
TA	: Tamamen ayrıışmış
TNİ	: Topoğrafik nem indeksi
TO	: Tutarlılık Oranı (consistency ratio)
Tİ	: Tutarlılık indeksi
UA	: Uzaktan Algılama
YDA	: Yüksek derecede ayrıışmış

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

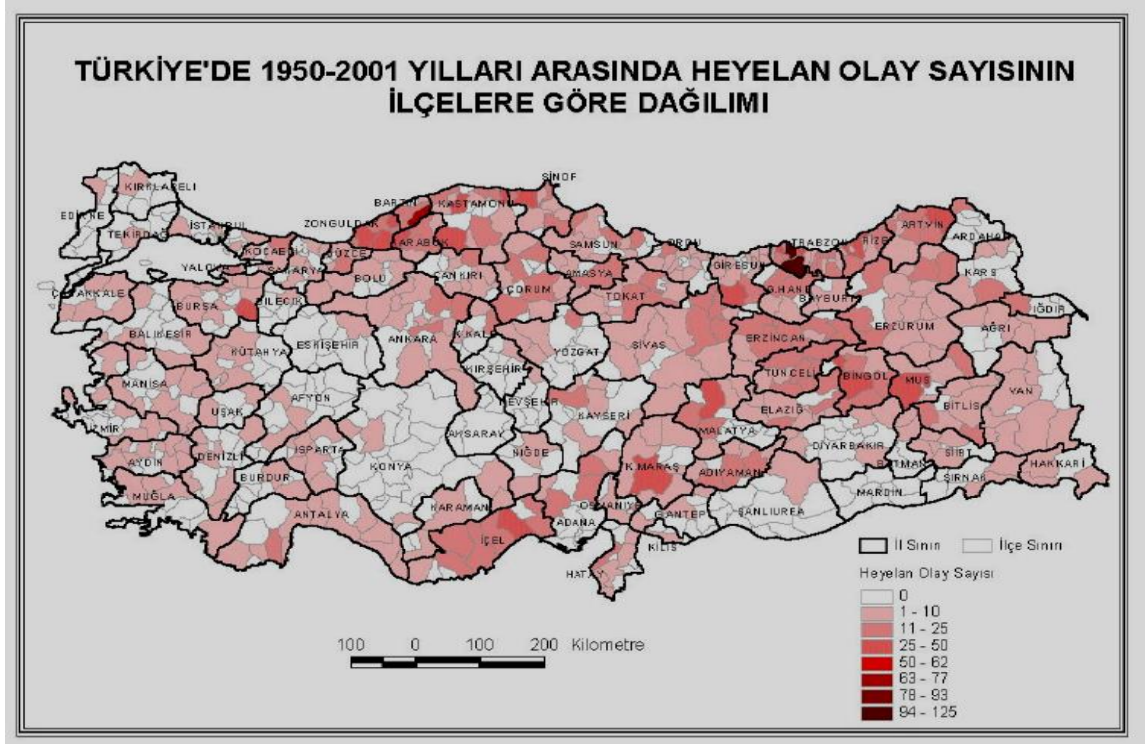
Dünyada meydana gelen doğa olayları insan hayatı ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkilediği takdirde doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Deprem, heyelan, volkanik aktivite, çığ, fırtına ve sel olayları başlıca doğal afetlerdendir. Yapılan farklı çalışmalar ve bu çalışmalara ilişkin değerlendirmelerde, yaşanan doğal afetlerle ilgili olarak değişik oranlar söz konusudur. Ancak bu oranlar değişse de, depremden sonra yaşamı etkileyen en önemli doğal afetin heyelanlar olduğu, değişmeyen bir gerçektir. Dünyada meydana gelen heyelanlardan dolayı binlerce insan hayatını kaybetmektedir.

Ülkemiz, gerek morfolojik yapısı ve coğrafik konumu gerekse iklim özellikleri nedeniyle, can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara neden olan doğal afetlerle sık sık karşılaşmaktadır. Şekil 1’den de görüleceği üzere, Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucu yıkılan hanelerin dağılımını afet kaynağına göre sırasıyla deprem %61, heyelan %15, sel %14, kaya düşmesi %5, yangın %4, çığ, fırtına ve yağmur %4’tür (Ergünay, 1999).



Şekil 1. Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan hanelerin afet türlerine göre dağılımı (Ergünay, 1999)

Ülkemizde, oluşma sıklığı ve verdiği zararlar açısından heyelandan en fazla etkilenen bölgelerden birisi Karadeniz Bölgesi'dir (Şekil 2). Karadeniz kıyısında, yamaç hareketleri önde gelen jeomorfolojik olaylar olarak tanımlanabilir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki zeminler dik topografya nedeniyle bir süre sonra hareket etmekte ve bu hareketler yol, temel kazısı gibi mühendislik çalışmaları ve yağış sonucu hızlanmaktadır. Doğu Karadeniz bölgesindeki heyelanlar %42'si su, %26'sı ayrışma, %26'sı kazı, %4'ü bitki değişikliği ve %2'si diğer nedenlerden dolayı oluşmaktadır. Değişik zamanlarda meydana gelen heyelanlar binaların yıkılmasına, alt yapıların, tarım ve orman alanlarının kullanılamaz hale gelmesine, çok daha önemlisi insanların hayatlarını yitirmesine neden olur.



Şekil 2. Türkiye'deki heyelan sayısı (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2004)

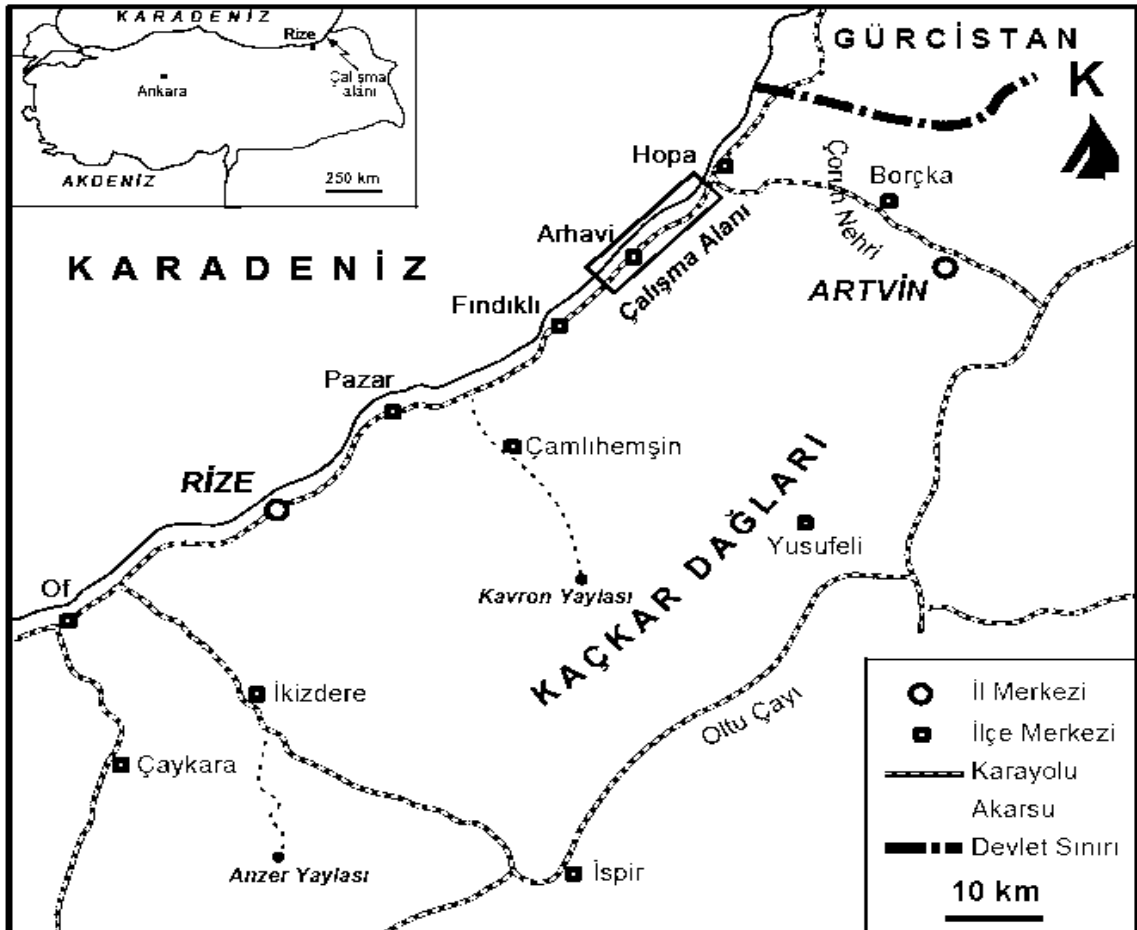
Doğu Karadeniz bölgesindeki topografik yapının dağlık olması ve dağların hemen kıyıda başlaması nedeniyle bölgede yerleşim alanları sınırlıdır. Ekonomik büyüme ve nüfus artışı, dağ eteklerinin yerleşime açılmasını gerektirmiştir. Bu yerleşim alanları, genelde doğal ya da insan kaynaklı oluşmuş heyelan riski yüksek yamaçlardır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz bölümünde yer alan, Artvin İli Arhavi ilçe merkezi ve çevresinde meydana gelen heyelan alanlarının belirlenmesi ve heyelan duraylılık analizinin yapılması amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

Çalışma sahası, Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Artvin iline bağlı Arhavi ilçe merkezi ve çevresinde yer alır ve 1/25 000 ölçekli F46-b4 paftasının sınırları içerisinde yaklaşık 32 km² lik alanı kapsar (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresine ait yer bulduru haritası.

1.4. Morfoloji

314 km² yüzölçümüne sahip olan Arhavi ilçesi 30 köy ve 7 yerleşim biriminden oluşmaktadır. Engebeli arazi üzerine kurulmuş iki vadi eteklerinde yerleşimi vardır. Köylerin çoğu vadi eteklerinde ve bu vadinin meydana getirdiği küçük düzlüklerde kurulmuştur. İlçede 500-600 m yüksekliğe kadar yerleşim bulunmaktadır. İlçe, Artvin'in Karadeniz kıyısında yer alan iki ilçesinden birisi olup kıyı uzunluğu 14 km'dir.

Çalışma alanının kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Kavak Mahallesi, doğusunda Hacılar Mahallesi, batısında ise Güngören Mahallesi yer almaktadır.

Sahanın büyük bir bölümünü sarp ve geçit vermeyen dağlar oluşturmaktadır. İnceleme alanının en önemli yükseltilerinden biri doğuda 556 m yüksekliğinde Okangiloni tepesidir (Şekil 4).

İlçenin 2800 m yüksekliğinde iki krater gölü (Göle ve Karagöl) ve Dikmen çevresinde de üç adet küçük göl vardır. İnceleme alanının en önemli akarsuyu 450 lt/sn debili Kabirse Çayı'dır.



Şekil 4. Okangiloni Tepesi (556 m).

1.5. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

Bölgeye ulaşım, Karadeniz Devlet Sahil Yolu ile kolaylıkla sağlanmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzeyine yerleşmiş olan Arhavi ilçesi, kuzeyden Karadeniz, batıdan Rize iline bağlı Fındıklı ilçesi, doğudan Hopa ilçesi, güneyden kısmen Murgul ve Yusufeli ilçeleri ile çevrilidir.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Karadeniz iklim şartları hakimdir. Yazlar sıcak; kışlar ise ılık ve yağışlıdır. Karadeniz Bölgesi genel olarak incelendiğinde sıcaklık değerleri hemen hemen tüm bölge için birbirine benzer değerler sunmaktadır.

Buna karşın, kuzeybatı yönlü (karayel) rüzgarlarla yükselerek yoğunlaşan bulutlar, bölgenin doğusunda havzaya daha fazla miktarda yağışın düşmesine neden olmaktadır. Sahil kesiminde yağışlar yağmur şeklinde, daha yüksek olan iç kesimlerde yazın yağmur, kışın kar şeklindedir.

Son 32 yıllık dönemin ortalama sıcaklık ve yağış değerlerini içeren meteorolojik veriler incelendiğinde (Tablo 1, Şekil 5), aylara göre ortalama sıcaklık değerlerinin yıl içerisinde 6.2 ile 23.1 °C arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanında en düşük sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında, en yüksek sıcaklık ise Ağustos ayındadır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.1 °C dir. Ülkemizin en bol yağış alan bölgesi özelliğini gösteren çalışma alanında yıllık ortalama yağış miktarı 2238.5 mm'dir. Yıl içerisinde en fazla yağış Ekim, Kasım ve Aralık aylarında yani sonbahar mevsiminde gözlenmektedir (Şekil 3). Yağışın en az olduğu ay ise 92.8 mm'lik yağış değeri ile Nisan ayıdır. Ortalama nispi nem değerinin % 77 olduğu yörede, hakim rüzgar yönü Karayel (kuzeybatı) dir.

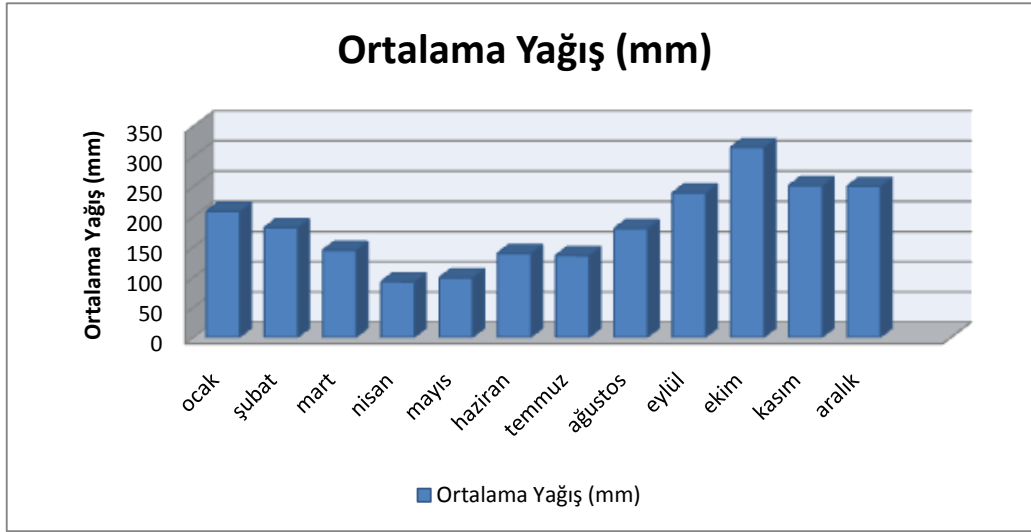
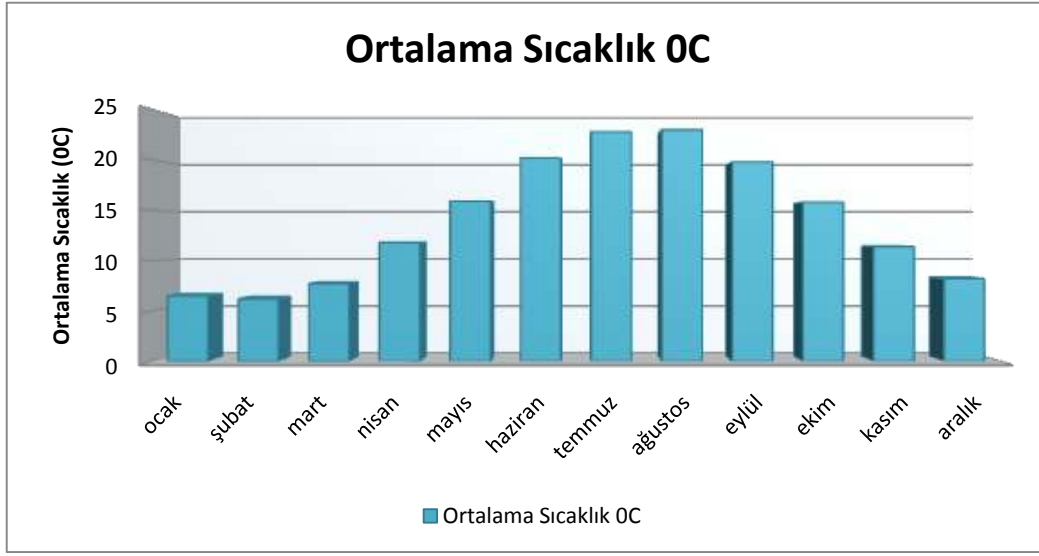
İnceleme alanında en sıcak ay Ağustos olup ortalama sıcaklık 24°C, en soğuk ay ise şubat olup ortalama sıcaklık 7°C dir. Ortalama yağış miktarı metrekareye 830 mm' dir. İnceleme alanına ait meteorolojik veriler. Tablo 1'de, sıcaklık-ortalama yağış histogramları Şekil 5'de verilmektedir.

Bölgede Doğu Karadeniz Bölgesi'ne özgü genelde her mevsim yağışlı olması nedeniyle çok zengin bitki örtüsüne sahiptir. Çalışma sahasının büyük bir kısmı fındık, ceviz, gürgen kızılâğaç, çam ve kestane ağaçlarını oluşturduğu ormanlarla kaplıdır. Dağların dik ve yamaçlı oluşu tarım alanını da sınırlamış, 1950 yılından sonra çay tarımı yapılmaya başlanmıştır.

Yöre halkının geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. İlçede bulunan çay fabrikaları ve taş ocakları son zamanlarda önemli geçim kaynağı haline gelmiştir.

Tablo 1. Rize İli'ne ait meteorolojik veriler (DMİGM, 2005; 1975-2005 yılları arası)

<u>AYLAR</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<u>Yıllık</u>													
<u>En Yüksek</u>													
<u>Sıcaklık(°C)</u>	23.4	26.6	31.3	32.5	38.2	34.5	32.5	35.6	33.2	33.8	30.4	26.2	31.5
<u>En düşük</u>													
<u>Sıcaklık(°C)</u>	-5.6	-6.2	-7.0	-1.6	4.6	7.5	12.9	13.5	4.6	2.5	-4.8	-5.4	1.3
<u>Ortalama</u>													
<u>Sıcaklık(°C)</u>	6.5	6.2	7.8	11.8	15.9	20.2	22.8	23.1	19.8	15.8	11.4	8.1	14.1
<u>Aylık yağış</u>													
<u>Toplamı(mm)</u>	211.3	182.2	143.3	92.8	98.6	138.4	136.9	174.8	241.6	314	255.2	249.5	2238.5
<u>Nispi</u>													
<u>nem(%)</u>	73	74	75	77	80	78	80	81	81	79	77	72	77



Şekil 5. Rize ili meteoroloji istasyonu verilerine göre sıcaklık ve yağış histogramları

1.7. Akarsular

İnceleme alanında debisi ve akışı düzensiz birçok derecikten beslenen ve yaklaşık 35 km uzunluğundaki Arhavi (Kabisre) Deresi yörenin en önemli akarsuyunu oluşturmaktadır.

1.8. Literatür Çalışması

Önalp (1980) “Doğu Karadeniz Heyelanları Tanımlanması-Analizi Araştırma Raporu” başlıklı çalışmalarında heyelanların anlaşılması için öncelikle ayrışma/yıpranma mekanizmalarının anlaşılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca çeşitli yamaçlarda yeraltı suyunun durumunun incelenerek basınç ve gerilmelerin ölçülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bölgede heyelan envanter haritalarının oluşturulması gerektiğini ve daha sonra ayrışma haritasının oluşturulmasını önermişlerdir.

Tarhan (1982), Artvin Granitini mühendislik jeolojisi açısından ve baraj yeri olma açısından incelemiş ve bunu doçentlik tezi olarak sunmuştur. Çalışmada süreksizlik özellikleri arazi gözlemleriyle, kaya malzemesinin özellikleri de deneysel olarak belirlenmiştir.

Önalp ve diğ. (1987), Doğu Karadeniz heyelanlarının oluşum koşullarını incelemiş, türlerini belirlemiş ve bunun sonucunda da Araştırma Raporu sunmuşlardır. Heyelanların oluşumunda en önemli parametrenin yağışlar ve kazıların olduğunu ortaya koymuşlardır.

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

Güven (1993), yaptığı çalışmada özellikle doğu Pontidlerin kuzey zonunda yüzeyleme veren ve volkanik ağırlıklı olarak temsil edilen Geç Kretase yaşlı birimleri formasyonlara ayırarak bu formasyonları alttan üste doğru bazalt, andezit lav ve piroklastlarından oluşan Çatak formasyonu (Turoniyen–Santoniyen?) dasit lav ve piroklastlarından oluşan ve yoğun masif sülfid cevherleşmeleri içeren Kızılkaya formasyonu (Santoniyen-Kampaniyen), kumtaşı kilitaşı marn ve kırmızı kireçtaşı ara seviyeleri içeren bazalt-andezit ve piroklastlarından oluşan Çağlayan formasyonu (Kampaniyen Mestriştien) ve riyodasit dasit ve piroklastlarından oluşan Çayırbağ formasyonu (Mestriştien) olmak üzere dört ana formasyona ayırmış ve adlandırmıştır.

Bulut vd. (1995), “Fındıklı (Rize) İlçesi Doğu Yöresindeki Heyelanların Nedenleri” isimli çalışmalarında; yöredeki heyelanların oluşumunda etkili oldukları düşünülen morfoloji, iklim, bitki örtüsü, ayrışma ve kayaçların jeoteknik özellikleri gibi faktörlerin heyelanlarla ilişkisini ortaya koymuşlardır. Yapılan detaylı çalışmalar neticesinde, heyelanların oluşmasında yağışın birinci derecede etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Oluşan heyelanların % 85’inin ayrılmış kayaçlar içerisinde meydana gelmesi, ayrışmanın heyelan oluşumunda ne derece etkili olduğunu göstermektedir. Tamamen ayrılmış kayaçlardaki kil içerisinde artmasının heyelan sayısında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Heyelanların çoğu eğimi 10^0 - 25^0 arasında değişen yamaçlarda oluşmuştur. Ayrıca heyelanların %77’sinin yerleşim merkezi ve çay tarımı yapılan alanlara yer alması, bitki örtüsünün değiştirilmesinin heyelan oluşumundaki etkisini göstermesi bakımından önemlidir.

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

Ceryan (2005), “Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC (Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırması) Yönteminin Bekçiler-Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı” isimli yüksek lisans tezinde incelenen kaya şevleri jeoteknik birimlere ayrılmış ve seçilen kazı şevlerinin duraylılığının değerlendirilmesi her bir jeoteknik birim için yapılmıştır. Dasitik ve andezitik volkanitlerde tanımlanan jeoteknik birimler için GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) değeri kullanılarak RMS (Jeomorfolojik Amaçlı Sınıflandırma), RMR M-RMR (Yeniden Düzenlenmiş Jeomorfolojik Sınıflandırma) ve MRMR (Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma) puanları tahmin edilmiştir.

Dağ ve diğ. (2005), İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanları değerlendirmişler ve sonuç olarak litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, arazi örtüsü ve yükseklik faktörlerinin heyelanların oluşumunda daha fazla etkili olduğunu belirlemişlerdir.

1.9. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme

Dünyada meydana gelen doğa olayları insan hayatı ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkilediği takdirde doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Doğal afetlerden kaynaklanan zararların azaltılması ve canlı hayatın bu zararlardan en az seviyede etkilenmesi amacı ile heyelanlara yönelik olarak çok sayıda araştırma yapılmaktadır.

Heyelanlarla ilgili değerlendirme çalışmaları yaklaşık yarım yüzyıldır sürmektedir. Bu konudaki çalışmalar geçmiş zamanda yerel duraysızlık problemlerinin araştırılması ve bu problemlerin çözümüne ilişkin yapılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

Daha sonraları bölgesel planlamaların öneminin artması dolayısıyla, heyelan değerlendirme çalışmaları da bölgesel düzeyde yapılmaya başlamıştır. Günümüzde ise CBS teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sayısal tabanlı değişik amaçlı haritalar üretilerek heyelan değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Bu konuda özellikle duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar çoğunluktadır (Akgün, 2007; Dağ, 2007).

Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının değerlendirmeleri özellikle karmaşık ortamlarda uygulandığında çeşitli sınırlamalar ortaya çıkabilmektedir. Genelleştirmelerden ve kullanılan yöntemlerin doğasından kaynaklanan sınırlamalar, söz konusu analizler içerisindeki belirsizliklerin temel kaynağını oluşturmaktadır.

Her ne kadar sözü edilen belirsizlikleri içerse de, heyelan duyarlılık haritaları özellikle son on yıl içerisinde gerçekleşen, verilerin derlenerek farklı şekillerde değerlendirilip sunulmasına imkan veren Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki (CBS) gelişmelere bağlı olarak yaygın biçimde üretilmekte ve bölgesel ölçekteki çalışmaların temellerini oluşturmaktadırlar.

Söz konusu haritaların uygulamada yaygınlaşmalarına karşın, uygulamacılar arasında gerek kullanılan parametreler gerekse hazırlama yöntemleri üzerinde, henüz bir görüş birliği oluşmamıştır. Bu hususta bir fikir birliğine ulaşılabilmesinde, çalışılan alanların büyük olması ve farklı alanlarda farklı parametrelerin dikkate alınması, ayrıca bu amaçla kullanılabilecek mesleki deneyime dayalı yorumlamalar, çok değişkenli istatistiksel analiz, bulanık mantık, olasılık yaklaşımı vb. gibi çeşitli yöntemlerin varlığı gibi nedenler de etkili olmuştur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

1.9.1. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramı

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

Heyelan duyarlılığı ile ilgili çalışmalar, bir bölge içerisindeki alanların, göreceli olarak (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlı vb.) heyelana karşı hassasiyetinin sınıflandırılması şeklinde tanımlanabilir. Dai vd. 2002 ise, heyelan duyarlılığını, yağış, deprem ve insan faktörü gibi tetikleyici faktörlerin değerlendirilmediği koşullar altında belirlenen heyelan olasılığı olarak tanımlamaktadır. Bu tür çalışmalarda, incelenen alanda heyelanların meydana gelmesine neden olabilecek faktörler değerlendirilerek, daha sonraki doğal süreçte heyelan oluşumundan etkilenebilecek olası duraysız alanlar belirlenmektedir. Bu çalışmalar için, bölgedeki heyelanlara ilişkin bir envanter ve heyelan oluşumuna neden olan faktörlere ait genel bir veri tabanının oluşturulması gereklidir. Duyarlılık çalışmalarında heyelanlarla yakın ilişkisi olan, kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki parametrelerin seçilmesi önemlidir (Carrara vd. 1991).

Heyelan duyarlılık çalışmalarında hem güncel hem de geçmişte meydana gelmiş heyelanların özelliklerinin belirlenmesi ve bu heyelanların oluşumunda etkili olabilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Özetle heyelan oluşumunda etkili olabileceği düşünülen parametrelere ait haritalar oluşturularak, bu parametrelerin etkileri hesaplanan ağırlık değerleri ile belirlenmekte ve bu değerlerin kullanılması ile gerçekleştirilen işlemler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır.

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

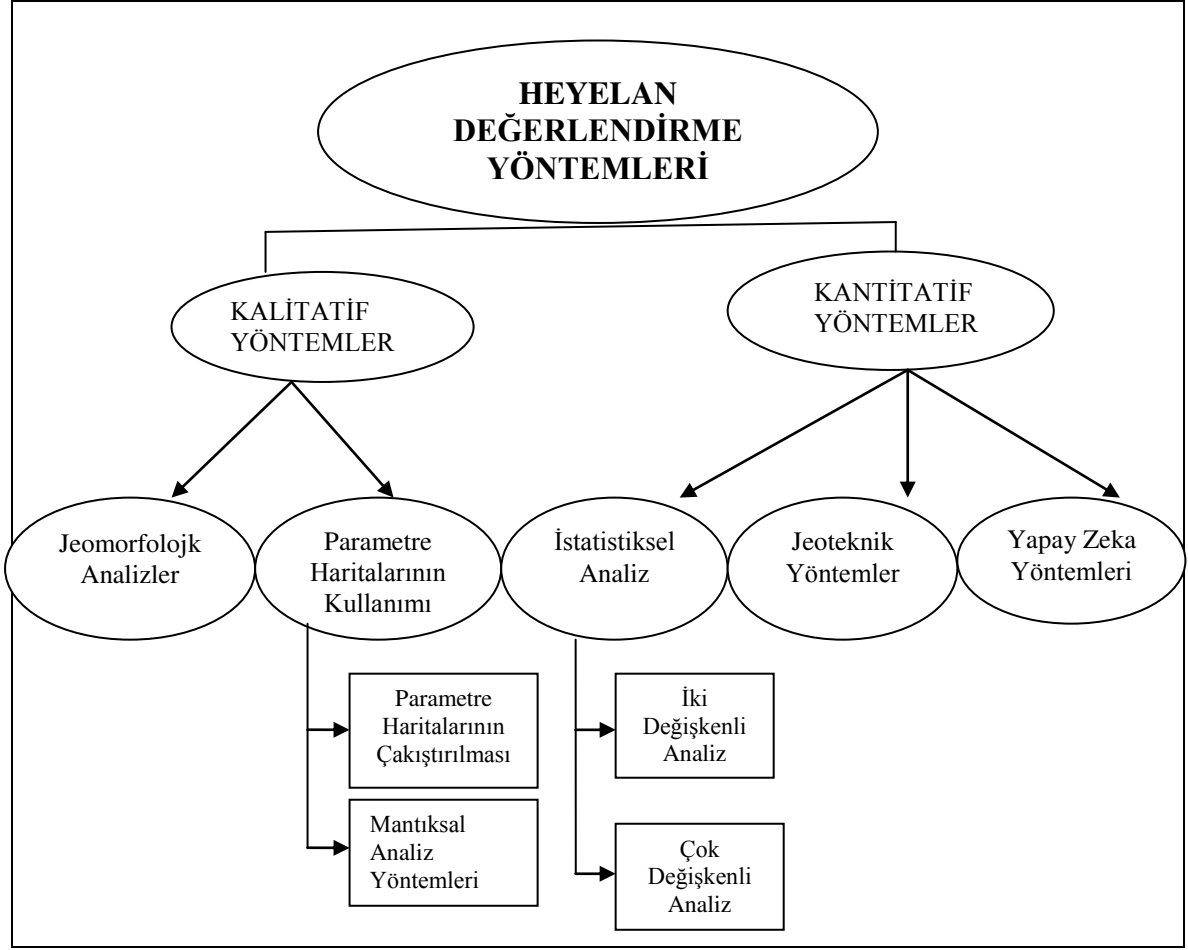
- ✓ Göreceli tehlike: Kesin ve sayısal bir değer ifade etmeksizin farklı yamaçlar karşılaştırılarak belirlenen tehlike.
- ✓ Mutlak tehlike: Ya deterministik olarak (güvenlik sayısına bağlı) ya da istatistiksel analizlere dayanarak hesaplanan tehlike.
- ✓ Amprik tehlike: Yamaç yüksekliği ve açısı gibi birkaç parametre ile ilgili grafiklerden elde edilen eğrilerin değerlendirilmesi ile hesaplanan tehlike.
- ✓ Gözlemlenen tehlike: Deformasyon ve/veya yağış verilerinin, önceden belirlenmiş olan kritik değerler ile karşılaştırılması sonucunda belirlenen tehliktir.

Varnes (1984)'a göre risk kavramı, belirli bir alanda ve belirli bir zaman içerisinde gerçekleşecek, zarar verebilecek herhangi bir tehlikeye bağlı olarak oluşacak olası can kaybı, yaralanma, mal kaybı ve ekonomik zararların tahmini miktarı olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla heyelan risk çalışmaları, heyelan sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, oluşacak hasarın tahmini, ekonomik ve çevresel zararları da beraber değerlendiren çalışmalardır. Duyarlılık ve tehlike çalışmalarına ilave olarak heyelanı oluşturan veya tetikleyen parametreler dışında, çalışılan bölgedeki nüfus, ekonomik aktivite gibi konularda da ayrıntılı bilgiye gereksinim duyulmaktadır.

Dolayısıyla bu tür haritaların oluşturulmasında, duyarlılık ve tehlike haritalarına göre daha fazla disiplinler arası çalışmalar gerekmektedir. Çünkü heyelan risk haritaların hazırlanmasında, sadece yerbilimciler değil, sosyal bilimciler, şehir planlamacıları gibi meslek gruplarının ortaklağa çalışması gerekmektedir. Heyelan risk haritalarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar, duyarlılık ve tehlike haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalara oranla çok daha az sayıdadır. Bu durumun temel nedeni, parametrelere ilişkin sağlıklı verilere ulaşmanın oldukça güç bir işlem olmasıdır (Dağ, 2007).

1.9.2. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler

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



Şekil 6. Heyelan değerlendirme yöntemleri Aleotti ve Chowdury (1999), Ercanoğlu(2003).

1.9.2.1. Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler

Kalitatif yöntemler, genel olarak, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesini yapan kişi ya da kişilerin doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve deneyimini esas alan yöntemlerdir. Bu yöntemlerde kullanılacak olan veriler, asıl olarak arazi çalışmaları süresince yapılan gözlem ve değerlendirmelerden elde edilmektedir.

Hava fotoğraflarının yorumlamaları yapılarak arazi çalışmaları desteklenmektedir. Bu yöntemler deneyime dayalı olduklarından dolayı aynı zamanda “uzman değerlendirme yaklaşımları” olarak ta değerlendirilmektedir (Dağ, 2007). Kalitatif yöntemler başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

1.9.2.1.1. Jeomorfolojik Analizler

Bu yöntemde, potansiyel olarak duraysız olabileceği düşünülen alanlar, önceden meydana gelmiş olan heyelanların jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak belirlenir (Yalçın, 2005). Bu yöntem, ağırlıklı olarak hava fotoğrafı yorumlamaları ile arazi çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu yöntemin başlıca dezavantajları şunlardır;

- ✓ Yamaç duraylılığını kontrol eden faktörlerin seçimindeki kişisellik. Bu durum farklı araştırmacı ya da uzmanlar tarafından hazırlanan haritaların karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır.
- ✓ Deneyime dayalı bir yöntem olması nedeniyle kesin olmayan kuralların kullanılması,
- ✓ Verilerin güncellenememesi,
- ✓ Arazi çalışmalarının bir hayli zaman alıcı olması olarak değerlendirilebilir (Leroi, 1996).

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

1.9.2.1.2. Parametre Haritalarının Kullanılması

Bu yöntem, heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametrelere yönelik birdizi haritaların oluşturulması ve bunların üst üste çakıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde araştırmacı, yamaç duraylılığında etkili olan faktörleri belirlemekte ve haritalamaktadır. Parametrelerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi, araştırmacının deneyimi veya verilerin mantıksal regresyona tabi tutulmasıyla gerçekleştirilir (Dağ, 2007). Bu yöntemde yapılması gereken işlem adımları şu şekilde özetlenmektedir;

- ✓ Her bir parametrenin uygun alt sınıflara ayrılması
- ✓ Her bir alt sınıfa ağırlık değerlerinin atanması
- ✓ Her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması
- ✓ Ağırlıklı haritaların çakıştırılması
- ✓ Duyarlılık sınıflarını gösteren duyarlılık haritasının üretilmesi (Soeters ve Van Westen, 1996).

1.9.2.2. Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler

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

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

1.9.2.2.1. İstatistiksel Analizler

Kalitatif yöntemlerle ilgili asıl sınırlama (dezavantaj), yamaçların duraylılığını kontrol eden çok sayıdaki faktöre ağırlık değerleri atanırken yaşanan kişisel değerlendirmeleri dikkate alan öznelliktir. Bu problemin çözümü, heyelanların konumsal dağılımı ile faktörler arasında istatistiksel yaklaşımlar kurularak sağlanmaktadır.

Bu yöntemde, öncelikle potansiyel duraysızlıkların nedenlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu işlem, geçmişte meydana gelmiş olan heyelanlara neden olan faktörlerin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Çünkü heyelanlar geçmişte hangi nedenlere bağlı olarak geliştise, gelecekte benzer faktörlerden etkilenecektir(Dağ, 2007).

1.9.2.2.1.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler

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

Bu tür analizlerde:

- ✓ Heyelan oluşumuna neden olabilecek faktörlerin seçimi, haritalanması ve uygun sınıflar altında gruplandırılması
- ✓ Mevcut heyelanların haritalanması (envanter haritasının oluşturulması)
- ✓ Envanter haritasıyla her bir parametre haritasının karşılaştırılması
- ✓ Her bir parametre için heyelan yoğunluğunun bulunması ve ağırlıklı değerinin belirlenmesi
- ✓ Ağırlıklı değerlerin farklı parametre haritalarına atanması
- ✓ Duyarlılık hesaplamaları yapılarak, sonuç haritasının hazırlanması gibi bir dizi işlemler gerçekleştirilir (Dağ, 2007).

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

1.9.2.2.1.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler

Çok değişkenli istatistiksel analizlerin amacı, diğer istatistiksel işlemlerle benzer olup, herhangi bir konu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların sayısal olarak ifade edilebilen sonuçlarının özetlenmesi, yorumlanması ve konu ile ilgili olarak karar verilirken bu sonuçların kullanılmasının sağlanmasıdır (Dağ, 2007).

1.9.2.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar

Jeoteknik Yaklaşımın temelini, heyelanlarla ilgili güvenilir jeoteknik parametrelerin ve çalışılan alandaki duraysızlıkları doğru bir şekilde temsil eden duraysızlık modeli ve analiz yönteminin seçilmesi oluşturmaktadır (Dağ, 2007).

1.9.2.2.3. Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka, düşünme ve yorumlama gerektiren işlemlerin, bilgisayar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların gerçekleştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesini esas alan bir bilim dalıdır. Bu kavram, düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme yapılarının programlamayla taklit edilerek problemlerin çözümüne uygulanması olarak da tarif edilebilir (Dağ, 2007).

1.9.3. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Günümüzde toplumların nüfusunun giderek artması, insanların yeni yerleşim yerlerine ve buna bağlı olarak gerekli mühendislik yapılarına olan ihtiyacını hızla artırmıştır. 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 gibi birden fazla nitel ya da nicel parametrelerden, ilgili olanları bir arada değerlendirilerek karar verilmektedir (Yalçın, 2005). 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.

İlerleyen bölümde (aşağıda) verilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) Yalçın (2005) tarafından yapılan doktora çalışmasından alınmıştır.

Karar teorisinde yaygın uygulama alanı bulunan bir yöntem olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), birbiriyle çelişen ölçülebilir ve/veya soyut kriterleri dikkate alan bir ölçme yöntemidir ve 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. AHY, karar seçeneklerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi sürecinde nitel ve nicel karar kriterlerinin de kullanılabilmesini sağlayan bir yöntemdir (Saat, 2000).

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

Ayırıştırma 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. Ayırıştırma düzeyleri, ölçümün temel bir bölümünü oluşturur ve bu yüzden de genellikle farklı olmamaları, diğer bir deyişle belli bir nitelik ölçüsünden daha farklı olmamaları gerekir (Yalçın 2005).

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,
- Çözüme 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. 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 somaki 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 artırılabilir (Saaty, 1994).

Hiyerarşinin Değerlendirilmesi: AHY'nin uygulanmasında ikinci aşama, hiyerarşide yer alan iki öğe arasındaki ilişkilerin sayısal olarak temsil edilmesini sağlayan karşılaştırmaların ya da değerlendirmenin yapılmasıdır. Bu değerlendirme kümesi, bir kare matris şeklinde olan ikili karşılaştırmalar matrisi olarak ifade edilir. Her bir değerlendirme iki öğe arasında, bir üst düzeydeki kriterle 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. Sübjektif 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 2'de gösterilen bu ölçek AHY'nin temel ölçeğidir.

Hiyerarşinin her düzeyindeki benzer öğeler, bir sonraki düzeydeki kriterler açısından karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalardan elde edilecek sonuçlar aşağıdaki ölçekte yeralan 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.

Tablo 2. AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkıdır
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.

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 kritere 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.

1.9.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Ölçekler

Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken, dikkate alınması gereken diğér bir konu, kullanılan ölçektir. Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken kullanılması gereken ölçekler seçilirken, çalışılan alanın büyüklükleri de gözönüne alınmaktadır. Heyelan değérlendirmelerinde bölgesel, orta ve büyük ölçekler kullanılmaktadır (Akgün,2007; Dağ, 2007) (Tablo 3).

Tablo 3. Heyelan değérlendirmelerinde kullanılan ölçekler (IAEG, 1976)

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

1.9.5. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık değérlendirmeleri ile ilgili çalışmaların ilk aşamasını heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanması oluşturmaktadır. Duyarlılık haritaları hazırlanırken, heyelana neden olan birçok parametre kullanılmaktadır (Dağ, 2007) (Şekil 10). Bu parametrelerin ortak özelliklerini kısaca şu şekilde belirtmek mümkündür;

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

1.9.5.1. Yamaç Eğimi

Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda direk etkili olup duraylılık çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl duraylılık faktörüdür. Ayrıca bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenlerindendir. Bu durum orta derecede eğim değerine sahip (200-450) yamaçlar için geçerlidir. Bu tür yamaçlarda artan eğim değeri zeminin kayma gerilmesini artıracığından, yamaçların duraylılığını olumsuz olarak etkilemektedir. Eğim değerinin 45⁰'yi geçtiği yüksek eğim değerine sahip yamaçlar zemin özelliğindeki ayrılmış malzemeden ziyade, sağlam kayalardan oluşmaktadır ve bu tür kayalarda stabilite açısından duraylıdır (Santacana vd. 2003). Çok düşük eğim değerine sahip alanlarda kayma gerilmeleri daha düşük olacağından dolayı, bu eğim değerleri heyelan açısından daha az duyarlıdır (Dai vd., 2001). Buna rağmen düşük eğim değerindeki yamaçlarda da heyelanların oluştuğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Dağ, 2007).

1.9.5.2. Litoloji-Ayrışma

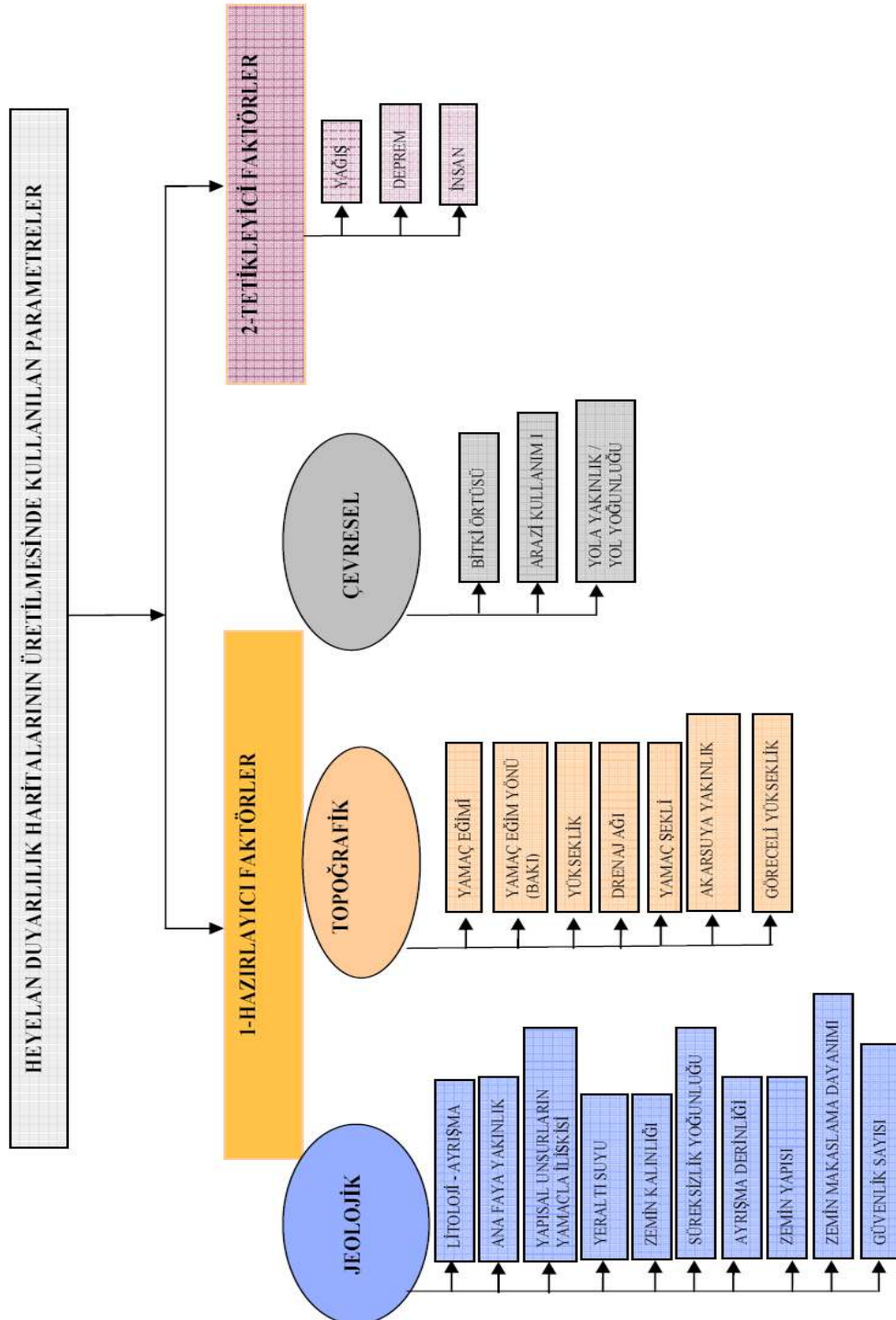
Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir.

Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma gerilmeleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı da farklı olacaktır.

Litolojik anlamda değerlendirilen önemli bir diğer durum da ayrışmadır. Çünkü litolojik olarak birim aynı olsa bile farklı ayrışma derecelerinde farklı duraylılığa sahip olmaktadır. Dolayısıyla ayrışma durumu da kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak dikkate alınmalı ve değerlendirilmelidir.

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

Bu değerlendirmeler dikkate alındığında, heyelan duyarlılık haritaları üretilirken çalışma alanındaki litoloji ve ayrışma durumu titizlikle değerlendirilmeli, arazi gözlem ve incelemeleri hassas bir şekilde yapılmalıdır (Dağ, 2007).



Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler (Dağ, 2007).

1.9.5.3. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

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

Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, özellikle bölgenin genel yağış yönü, sahanın genel morfolojik yapısı, güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, değişik nedenlerden dolayı (topoğrafik eğim, zeminin türü, geçirgenlik, gözeneklilik, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim) daha az yağış alan yamaçlara oranla doygunluğa daha çabuk ulaşmaktadır. Zemin içerisinde oluşan boşluk suyu basınçları, bu tür yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu nedenle yamaç eğim yönü parametresinin kullanımında, yoğun yağış alan yamaçlar daha duyarlı olarak tanımlanmaktadır (Dağ, 2007).

1.9.5.4. Arazi Örtüsü

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

Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Özellikle güçlü ve büyük kök sistemleri ile bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Ağaç ya da bitkilerin yaprakları sayesinde suyu emmesi ve buharlaştırması, yağışın süzülme etkisini azaltmaktadır. Yine ağaç ya da bitkiler kökleri sayesinde, zemin boşluklarındaki suyu azaltarak, terleme yoluyla buharlaştırır. Ancak, kök ve gövdeler zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak, yüzey sularının zemin içerisine doğru girmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca zemindeki nem oranının azalmasına bağlı olarak gelişen kuruma çatlakları da zemine giren yağış suları ve boşluk suyu basıncının artmasına neden olabilmektedir. Bu durumlarda yamaç duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir. Ancak farklı bir değerlendirme Lee ve Min, (2001) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar yaptıkları çalışma neticesinde ormanlık alanlarda yerleşim alanlarına oranla daha fazla oranda heyelan meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bunun nedenini yerleşim alanlarının düz, ormanların ise daha eğimli dağlık arazilerde olması ve heyelanların genel olarak eğimli arazilerde meydana gelmesine bağlamışlardır (Dağ, 2007).

1.9.5.5. Yükseklik

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır. Genel olarak çok düşük yükseklikler (0-150 m), yamaç eğiminin az ve kalın örtü malzemesi içermesi nedeniyle, heyelanlara karşı daha az duyarlı olarak değerlendirilmektedirler.

Orta yüksekliklerdeki alanlar (150-400 m), daha yüksek alanlardan gelen malzeme ve ayrışma dolayısıyla oluşacak toprak örtüsü nedeniyle, heyelanlara karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir. Yüksek kotlardaki alanlar ise (> 400 m), kayaç türü malzemelerden oluştuğu ve daha alt kotlardaki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip oldukları için, heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları kabul edilmektedir.

Yapılan araştırmalar değerlendirilecek olursa; yükseklik parametresi, duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok kullanılan bir parametre olmasına rağmen, morfoloji, bitki örtüsü ve yağış gibi diğer bazı parametrelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir. Dolayısıyla herhangi bir bölgede meydana gelecek heyelanların hangi yüksekliklerde olacağının belirlenmesi, çoğu araştırmacı için sadece bir ön fikir verebilecek nitelikte veri olarak kabul edilmektedir (Dağ, 2007).

1.9.5.6. Drenaj Ağı

Yamaçların drenaj ağına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Çünkü akarsular, yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır (Dağ, 2007).

1.9.5.7. Ana Faylara Yakınlık

Ana faylara yakınlık, jeolojik parametreler içinde değerlendirilen yapısal özelliklerdendir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik, özellikle sismik aktivite açısından önemli olan bölgelerde yapılan çalışmalarda sıkça kullanılan bir parametredir. Araştırmacıların çoğu haritalama yapılan bölgede yer alan ana fayları yapısal unsur olarak değerlendirip, faylara yakınlığı dikkate almışlardır.

Gupta ve Joshi (1990), fay zonlarından uzaklaştıkça, heyelanlarda bir azalmanın söz konusu olduğunu, faylara yakın olan alanların heyelandan daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Faylara yakın olmanın kayaçlarda parçalanmaya neden olacağını ve bu durumun da yamaçların duraylılığını olumsuz yönde etkileyeceğini ifade etmişlerdir (Dağ, 2007).

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

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), genel olarak konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan bilgilerin (verilerin) toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2000).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde konumsal veriler, çeşitli yöntemlerle toplanmaktadır. Bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir;

Yersel ölçme yöntemleri;

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

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

Vektörel veri modelleri; harita görünümüne sahip coğrafi verilerdir. Bu veri modelinde noktalar; sabit alanların çok küçük boyutlu şekillerini, çizgiler; süreklilik ve alan özelliği gösteren çok küçük boyutlu coğrafi unsurları ve poligonlar ise; homojen yapıya sahip bütünlük özelliği gösteren coğrafi öğeleri temsil etmektedir. Vektörel veri modelleri sayısallaştırma işlemi ile elde edilebilir. Vektörel veri modelinde coğrafi unsurlara ait her konum bir (x,y) koordinat değerine sahiptir. Gerçek durumun veri yapısına doğrudan yansımaları, veri yapısının bütünlük göstermesi ve grafik ve grafik olmayan veriye ulaşma, güncelleme işlemlerinin mümkün olması vektörel veri modellerinin avantajları arasında yer almaktadır. Buna rağmen veri yapılarının karmaşıklığı, poligon özelliğine sahip vektör ve raster şekillerin üst üste bindirilmesinde yaşanan zorluklar da vektörel veri modelinin dezavantajlarından (Dağ, 2007).

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

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde ham verinin yararlı bilgiye dönüştürülmesi ve kullanıcıya sunulması bir dizi konumsal analizleri gerektirmektedir. Konumsal analiz, dönüşümler, işlemler ve coğrafi veriye değer atayan, kararları destekleyen ve açık olarak belli olmayan örnekleri ortaya çıkaran metotlardır.

Coğrafi alanların, potansiyel yapılarının değerlendirilmesi, konumsal olayların çevreye etkilerinin tahmin edilmesi ve bu olayların yorumlanıp anlaşılır hale dönüştürülmesi gibi uygulamalar tamamı ile konumsal analiz kapsamına girmektedir. Konumsal veri tabanına ait katmanlardan yararlanarak farklı disiplinlerin kullanabileceği çeşitli analizler yapılabilir. Yerleşime uygun alanların belirlenmesi, heyelana duyarlı alanların tespiti ya da farklı tarımsal üretim alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar bu tür analizlere örnek olarak verilebilir (Dağ, 2007).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

İnceleme alanında genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapılarak yörenin 1/25 000 ölçekli haritası hazırlanmış olup bölgede yüzeylenen kayaçların stratigrafik dizilimi ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz bölümünde yer alan, Artvin ilinin Arhavi ilçe merkezi ve çevresinde meydana gelen heyelan alanlarını belirlenmiştir. Söz konusu alanın heyelan duraylılık analizi yapılmıştır.

2.2. Jeolojik Harita Alımı

Arhavi Yöresi ve çevresinin 1/25 000 ölçekli jeolojik harita hazırlanmış ve bölgede yüzeylenen kayaçların stratigrafik dizilimi ortaya konmuştur.

2.3. Arazi Çalışmaları

Arhavi ilçesi ve çevresinde meydana gelen heyelanları belirlemek amacıyla arazi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmalarının ilk aşamasında genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapılarak yörenin 1/25 000 ölçekli genel jeoloji haritası hazırlanmış olup bölgede yüzeylenen kayaçların stratigrafik dizilimi ortaya konmuştur (Şekil 9).

Arazi çalışmaları ile gerçekleştirilen bir diğer işlem heyelan envanter haritasının hazırlanmasıdır. Çalışma alanı ve çevresinde geçmiş yıllarda gerçekleşen aşırı ve şiddetli yağışların tetiklemesi sonucunda heyelanlar meydana gelmiştir. Dolayısıyla hazırlanan envanter haritası da özellikle bu tarihlerde meteorolojik anomali sonucu gerçekleşen, hızlı toprak akmaları ve dairesel kaymalar türünde gerçekleşen kütle hareketlerine aittir.

Bölgede yapılan arazi çalışmaları ile 13 adet heyelan tespit edilmiştir. Bu heyelanlar için kayan malzemenin türü, heyelanların alansal yayılımları, hareketin başlangıç noktasından itibaren akma ucuna kadar gerçekleşen hareket mesafesi, genişliği gözlemlere dayalı olarak doğrudan arazi çalışmalarından yararlanılarak tesbit edilmiştir. Heyelan alanlarının fotoğrafları yine arazi çalışmaları esnasında çekilerek döküman olarak saklanmıştır. Mevcut heyelanlar, ölçek göz önüne alınmaksızın, heyelan başlangıç bölgesinin koordinat değerleri dikkate alınarak heyelan envanter haritası hazırlanmıştır.

Yapılan bir başka arazi çalışması da gözlemsel verilere dayalı olarak arazi sınırları içinde bulunan kayaçların ayrışma derecelerini incelenmiş ve ayrışma derecelerine göre litoloji-ayrışma haritasının hazırlanmasıdır. Litolojik olarak birim aynı olsa bile farklı ayrışma derecelerinde farklı duraylılığa sahip olmaktadır. Yapılan çalışma andezit, bazalt, dasit kayaçların tamamen ayrışmış zemin özelliğindeki zonlarında gerçekleştirilmiştir. Ancak çalışma alanı zemin özelliğinin çok dar alanlarda bile değişim gösteriyor olması nedeniyle, yapılan çalışmaların, çalışma alanını temsil edici özellikte olması söz konusu değildir. Bu konuda gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları sadece gözlemsel verilere dayanarak zemin örneğinin bulunduğu alanlara yönelik olup genel olarak tanımlayıcı bilgi niteliğindedir. Çalışmalar neticesinde litolojik birimler farklı ayrışma derecelerine göre sınıflandırılmıştır. Kayaçların ayrışma dereceleri ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması kullanılarak belirlenmiş ve çalışma alanı için 1/25 000 ölçekli litoloji-ayrışma haritası hazırlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Arhavi ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Doğu Türkiye, jeoloji ve tektonik özellikleri açısından beş ana tektonik birliğe ayrılmıştır. Bu tektonik birlikler, Rodop-Pontid Parçası, Doğu Anadolu Eklenir Prizması, Bitlis-Pötürge Masifi, Erzurum-Kars Platosu ve Kuzeybatı İran parçasıdır. (Şengör ve diğ., 2003). Doğu Karadeniz Bölgesi, bu tektonik birliklerden Rodop-Pontid parçasında yer almaktadır. Rodop-Pontid Parçası'nda, Geç Kretase yaşlı kayaçlar, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için güney (iç) ve kuzey (dış) bölümlere ayrılmıştır (Akın,1978; Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd.,1981). Arhavi ve çevresini kapsayan çalışma alanı Rodop-Pontid Parçası'nın kuzey doğusunda yer alır (Şengör ve diğ., 2003). Bununla birlikte Rodop-Pontid Parçası'nın kuzey zonunun tipik özelliklerini yansıtır.

Yapılan çalışmalara göre inceleme alanında yayılım gösteren birimlerlerin büyük bir çoğunluğunu volkanik (tüf, aglomera) kökenli kayaçların oluşturduğu görülmüştür. Çalışma alanının çok az bir bölümünde bu volkanitlerle yer yer uyumlu tortul kayaçlar yüzeylenir. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait dikme kesit Şekil 9'de jeoloji haritası Şekil 8'de verilmiştir.

İnceleme alanında yüzeylenen litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru şöyledir;

1. Kızılkaya Formasyonu (Santoniyen-Kampaniyen)
2. Çağlayan Formasyonu (Kampaniyen-Mestiştien)
3. Alüvyon ve yamaç döküntüleri (Kuvaterner)



AÇIKLAMALAR

Kuvaterner



Üst Kretase



Alüvyon

Çaglayan Formasyonu
Andezit Bazalt ve Piroklastları

Kızılkaya Formasyonu
Dasit Riyodasit ve Piroklastları



Karayolu

Irmak

Eş yükselti

Eğrileri

Tabaka Duruşu

0 1 2 km

Şekil 8. İnceleme alanının jeoloji haritası

SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
					Yamaç Molozu
					Alüvyon
KRETASE	ÜST KRETASE	Kampaniyen-Mestiştiyen	ÇAĞLAYAN		Andezit Bazalt ve Proklastlar
		SANTONİYEN-KAMPANİYEN	KIZIL KAYA		Dasit riyodasit ve piroklastlar, tortul ara seviyeler dayk ve yastık bazaltlar

Ölçeksizdir

Şekil 9. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti

3.1.1. Kızılkaya Formasyonu

Espiye (Giresun) ilçesinin güneyinde yer alan Kızılkaya yöresinde tipik olarak yüzeylenen riyodasit-dasitik lav ve piroklastları ilk olarak Güven (1993) tarafından Kızılkaya Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bölge genelinde belirli bir stratigrafik horizon boyunca takip edilebilen bu volkanitlerin bir formasyon adı altında toplanması yararlı görülmüş ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250 000 ölçekli komplikasyonunda ilk olarak bu formasyon adlandırılması uygulanmıştır (Güven, 1993).

Bu formasyon gri beyaz yer yer açık kırmızı-kahverenkli dasit-riyodasitik lavlar ile başlamakta olup üste doğru piroklastiklerine geçmektedir. Dasitlerde yastık lavlar gözlenir (Şekil 10). Hidrotermal gelimler sonucu sülfürlü mineralizasyon oluşumları ve buna bağlı olarak da yan kayaçlarda yer yer hidrotermal alterasyona bağlı olarak dasitte killeşme ve silisleşme görülmektedir (Şekil 11). Kızılkaya Formasyonu inceleme alanında Şenköy ve Konaklı Mahallesi ve Cumhuriyet Mahallesi civarında yüzeylenmektedir

Formasyon Kampaniyen-Mestriştien yaşlı Çağlayan Formasyonu ile uyumlu olarak üstlendiğinden dolayı formasyonun Santoniyen-Kampaniyen yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Güven, 1993).



Şekil 10. Kızılkaya formasyonu'na ait dasitlerin görünümü



Şekil 11. Kızılkaya Formasyonundaki dasitlerde meydana gelen silisleşme

3.1.2. Çağlayan Formasyonu

İlk olarak Güven (1993) tarafından Trabzon il merkezine bağlı Çağlayan beldesi civarındaki Kampaniyen-Mestriştien yaşlı bazik volkano-tortul istif Çağlayan Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

İnceleme alanında da benzer litostratigrafik özellikler gösteren bazik volkano-tortul istif Çağlayan Formasyonu ile denştirilerek aynı formasyon adı verilmiştir. Çağlayan Formasyonu, inceleme alanının tamamına yakın bir bölümünde yaygındır. Formasyon genellikle gri-yeşil renkli andezitik bazaltlar ve piroklastları ile birlikte aratabakalı olarak bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur. Bazalt ve andezitlerin taze yüzeyleri siyah ve koyu gri, ayrışma yüzeyleri ise yeşilimsi gri renklerdedir. Musazade Mahallesiindeki bazaltlarda soğuma ve tektonizma sonucu çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 12).

Çağlayan Formasyonu içerisinde alınan gri renkli kireçtaşı ve kırmızı biyomikritlerden yapılan paleontolojik tayinler sonucu elde edilen *Globotruncana linneiana* (d'orbigny), *Globotruncana arca* (Cushman), *Globigerinidea* (Brotzen), *Pithanella ovalis* (Kaufmann), *Heterohelix* (Ehrenberg) mikrofosillerine dayanarak formasyonun Kampaniyen yaşlı olduğu saptanmıştır (Erdoğan,1999).



Şekil 12. Çağlayan Formasyonundaki bazaltlarda oluşan çatlaklar

3.1.3. Dayklar ve Siller

İnceleme alanında yer alan formasyonlar yer yer çeşitli kalınlıklardaki andezit daykları tarafından kesilmiştir. (Şekil 13). Diğer birimleri keserek yüzeylenen bu kayaların yan kayaç dokanaklarında yanma izleri gözlenmektedir.



Şekil 13. Andezit dayklarının arazi görünümü

3.1.4. Alüvyon

Kuvaterner yaşlı alüvyonlar Ortacalar beldesinde Kabisre Deresi etrafında gözlenmiştir. Alüvyon malzemesi boyutları birkaç santimetreden yarım metreye kadar değişen andezit, bazalt ve aglomera çakıllarından oluşmuştur.



Şekil 14. Alüvyonlar

3.1.5. Yamaç Molozu

İnceleme alanındaki yamaçlar boyunca görülen yamaç döküntüleri andezit, bazalt çakılları ile kum ve kil malzemesinden oluşmuştur. Yoğun bitki örtüsünden dolayı yamaç döküntüsünün kalınlığı tahmin edilememiştir.

3.2. Ayrışma

Ayrışma, yeryüzü ve yeryüzüne yakın derinliklerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların etkisiyle kaya ya da zemin malzemelerindeki parçalanma ve alterasyonu ifade etmektedir (Anon, 1995). Ayrışma olayı doğal faktörler ve insanların faaliyetleri etkisiyle oluşur. Ayrışma yüzeyden derine doğru ilerler ve bir zonü teşkil eder.

Ayrışma zonunun derinliği ve ayrışmanın özelliği, kaya türüne, ayrışmaya neden olan faktörlere ve topoğrafik koşullara bağlı olarak değişir. Kayaçların ayrışmasına neden olan faktörler, sıcaklık değişmesi, erime, çabuk soğuma, donma – erime, sızan suların kimyasal bileşimi, bitki kökleri - organizmaların etkisi ve gaz çıkışlarıdır.

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

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

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

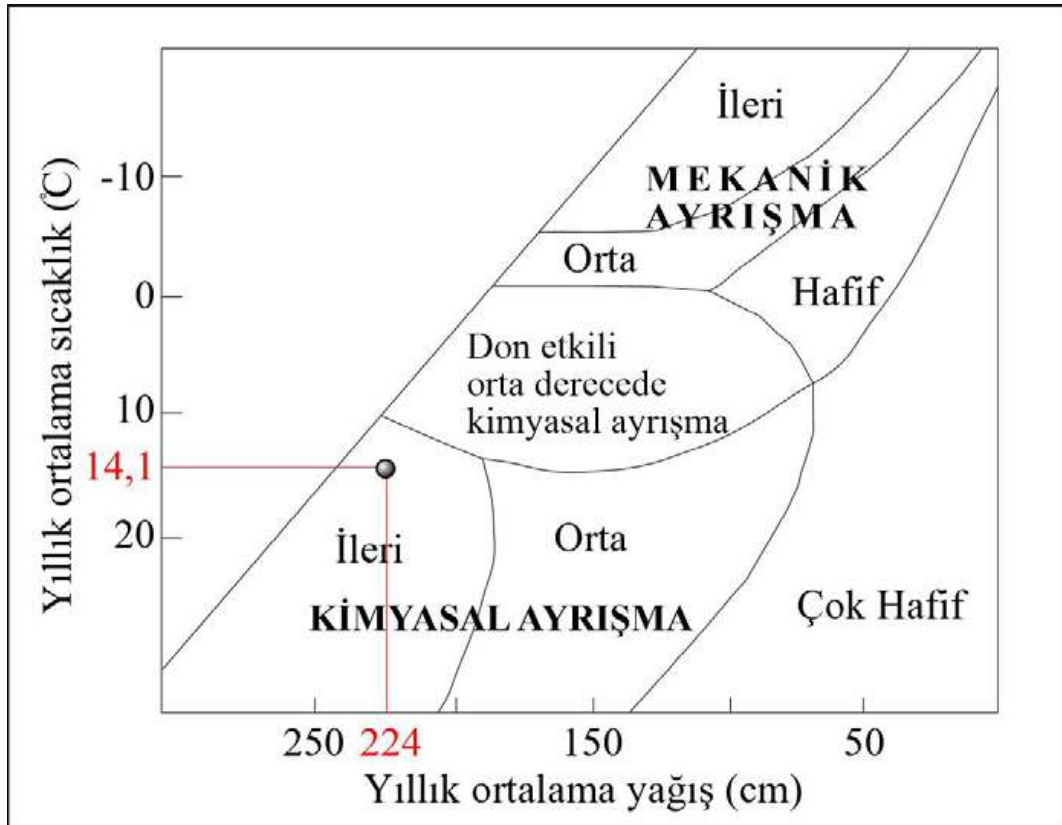
Zamansal ölçek dikkate alındığında ayrışma, jeolojik süreçte ayrışma ve mühendislik zamanında ayrışma olarak ikiye ayrılmaktadır. Kayaçların oluşumundan günümüze kadarki süreçte geçirdikleri değişimler jeolojik süreçte ayrışma olarak ifade edilmektedir. Mühendislik zamanındaki ayrışma ise, insan aktiviteleri,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

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

Yüzeysel ayrışma yeryüzü ya da yeryüzüne yakın derinliklerde kaya malzemesinde yüzeysel etkilerle oluşan ve renk, şekil, doku, yapı ve bileşimde gözlenen değişimlerdir. Hidrotermal alterasyon ise, yeryüzünden derinlere sızan suların veya magmatik kökenli su ve gazların etkisi ile mineral ve kayaçlardaki bozunmadır. Hidrotermal alterasyon derinden yüzeye doğru gelişirken, yüzeysel ayrışma yüzeyden derinlere doğru gelişmektedir (İrfan, 1981).

3.2.1. Arhavi ve Çevresindeki Kayaçların Ayırışma Tanımlaması ve Sınıflandırılması

Jeomorfolojik amaçlı mühendislik jeolojisi çalışmalarında, kayaçların tanımlanması ve amaca yönelik olarak sınıflandırılması son derece önemlidir. Özellikle iklimsel koşulların ön plana çıktığı çalışma alanında aşırı yağışların etkisiyle kayaçlarda yüzeysel ayırışma büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla çalışma kapsamında inceleme alanındaki kayaçların ayırışma durumlarının tanımlanması ve ayırışma sınıflandırmalarının yapılması gerekli görülmüştür. Öncelikle bölgedeki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri olan iklimsel verilerden yararlanarak etkili olan ayırışma türü belirlenmiştir. Bu konuda Peltier (1950) tarafından önerilen ve günümüzde de geçerli olan (Fowler ve Peterson, 2004), diyagramdan faydalanılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Peltier (1950) diyagramına göre çalışma alanında etkili olan ayırışma türü

İnceleme alanında, meteorolojik verilere göre yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.1 °C ve yıllık ortalama yağış 2238 mm dir. Bu değerler dikkate alındığında, inceleme alanında ileri derecede kimyasal ayrışmanın etkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kayaçların ayrışma durumları arazide yapılan gözlemler ve basit fiziksel deneylerle (Schmidt Çekici) belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrışma durumlarının belirlenmesinde ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflandırma yöntemi dikkate alınmıştır. (Tablo 4).

Tablo 4. ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflandırması ve tanımlama kriterleri

Ayrışma Derecesi	Ayrışma Sınıfı	Tanımlama Kriterleri
I	Taze	✓ Kayanın orijinal durumunda bir değişiklik yoktur. ✓ Ayrışma belirtisi olarak bazı süreksizlik yüzeylerinde çok az renk bozulması görülmektedir.
II	Az Ayrışmış	✓ Kaya yüzeyinde hafifçe renk değişimi, kaya direncinde zayıflama.
III	Orta Derece Ayrışmış	✓ Kaya direncinde önemli ölçüde zayıflama, süreksizlik yüzeylerinde derine doğru renk değişimi. ✓ Devamlılık ve ara uzaklık önemli ölçüde azalmış.
IV	Yüksek Derece Ayrışmış	✓ Büyükçe kayaç parçaları elle kırılabilir. ✓ Kuru parçalar suya daldırıldığında kolayca dağılmazlar.
V	Tamamen Ayrışmış	✓ Kayaç direncinde önemli ölçüde zayıflama. ✓ Su içerisinde kolayca dağılma. ✓ Kayacın orijinal tekstürü kısmen görülmekte.
VI	Kalıntı Toprak	✓ Yerinde ayrışma ile toprak oluşumu. ✓ Kayacın orijinal doku ve tekstürü tamamen kaybolur.

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

Kayaların sınıflandırılması ve tanımlanması birbiriyle ilişkili olmasına karşın, temelde amaçları farklıdır. Sınıflandırmada ilk aşama, ilgili parametre ve özelliklerin belirlenmesi ve kayacın bu parametre ve özelliklere göre tanımlanmasıdır.

Kayacın tanımlanması, kayacın o andaki durumunun belirlenmesi anlamını taşır. Ayırışmış kayacın mühendislik amaçları için tanımlanması, kayacın o andaki bozunma etkilerinin derecesi, kapsamı ve özelliklerinin tüm yönleriyle belirlenmesi anlamına gelmektedir. Tanımlamada kaydedilen bilgiler, ayırışmış kayacın mühendislik özellikleri hakkında sağlıklı Yaklaşımda bulunulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, tanımlamaların mümkün olduğunca sayısal yapılması önerilmektedir (Hencher ve Martin, 1982; ISRM, 1981).

Ayırışmış kayaçların sınıflandırılması, kayaçların tanımlanması ile yapılabilmektedir. Ancak, arazide standart ayırışma ölçeklerinde bulunmayan özelliklere rastlanması, sınıflandırmaların kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde bulunan sınıflandırma yöntemlerinin aynı şekilde kullanılmadığı, kişiden kişiye değişen farklılıklar göstermesi, bu durumun incelenen arazideki ayırışma profilinin kalınlığına, kullanıcıların bilgi ve deneyimine bağlı olarak ele alındığını göstermektedir (Anon, 1995). Litolojik anlamda dikkate alınan önemli bir durum da kayaçların ayırışmalarıdır.

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

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

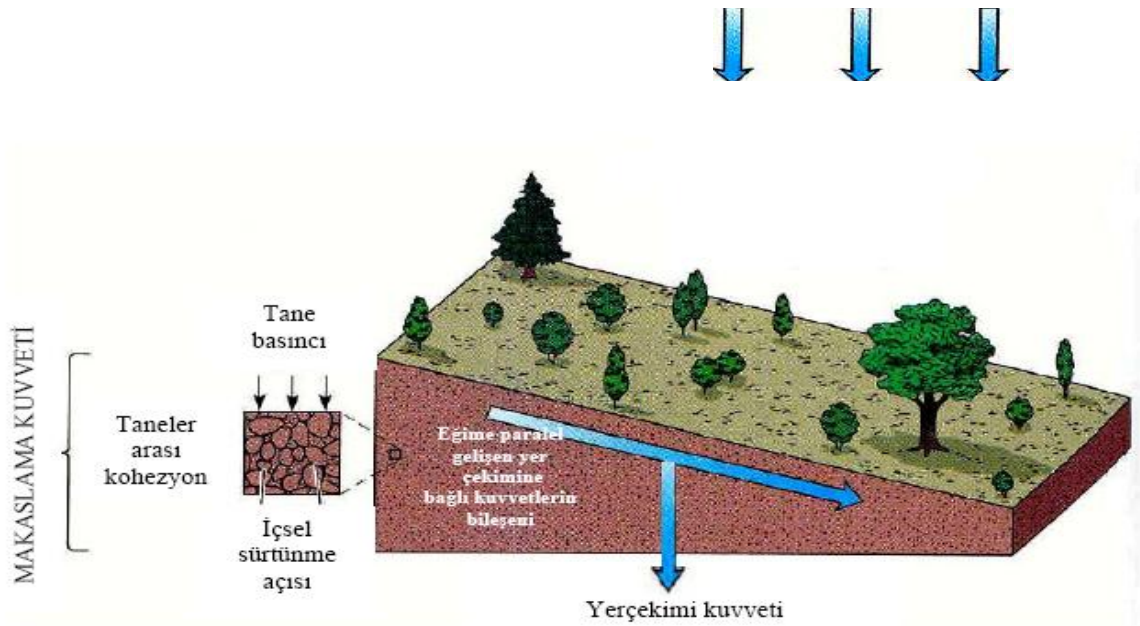
3.3. Çalışma Alanındaki Heyelanlar ve Genel Özellikleri

3.3.1. Kütle Hareketleri ve Genel Özellikleri

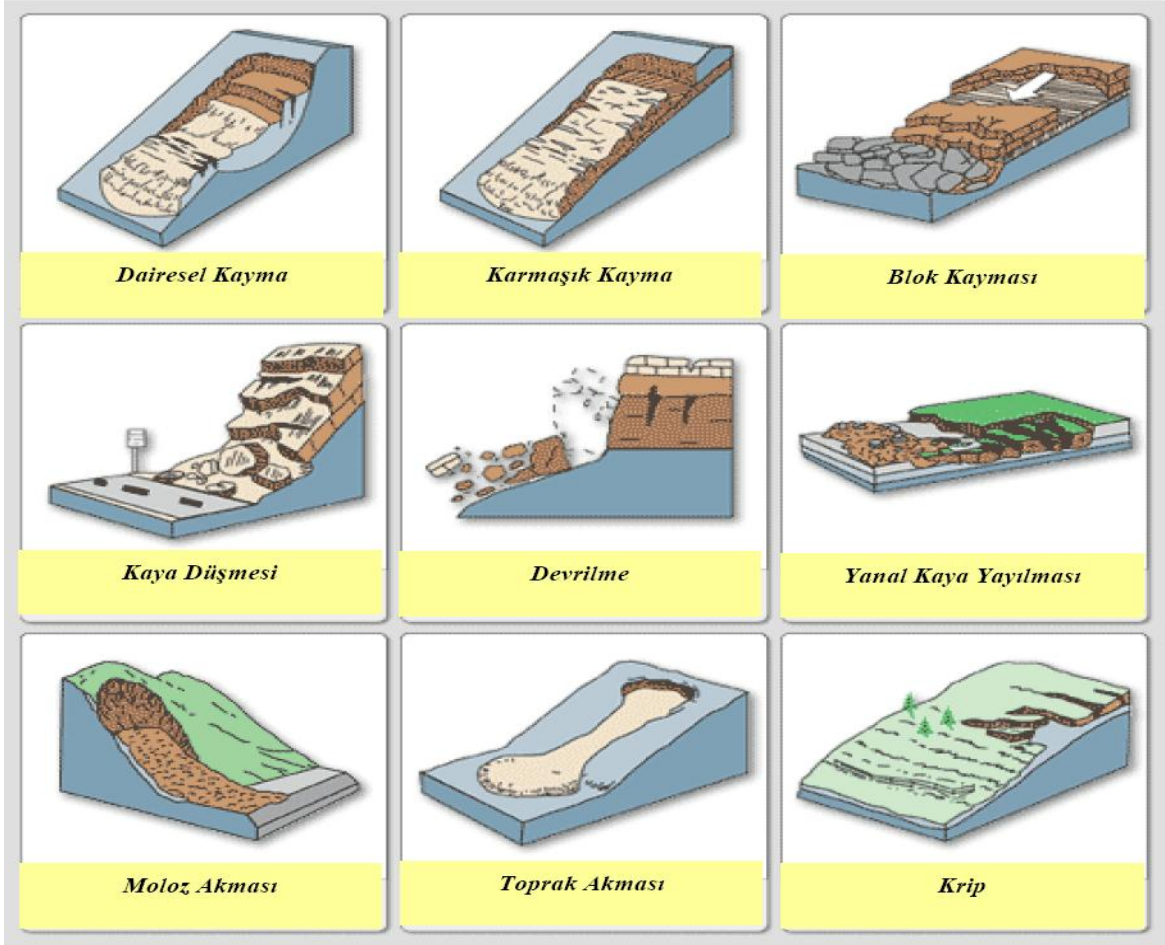
Kütle hareketleri, jeolojik, jeomorfolojik, iklim vb. nedenler ve insan aktivitelerine bağlı olarak yamaç dengesinin bozulması sonucunda meydana gelmektedir. Literatürde heyelanlara ilişkin değişik tanımlamalar mevcuttur.

Bunlar içerisinde yaygın olarak kullanılan ve genel kabul gören bir tanımlama Varnes, (1978) tarafından yapılmıştır. Bu tanıma göre heyelan, bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz türündeki malzemelerin farklı nedenlerden dolayı yer çekimi (gravite) etkisi ile yamaç aşağı doğru hareket etmesidir.

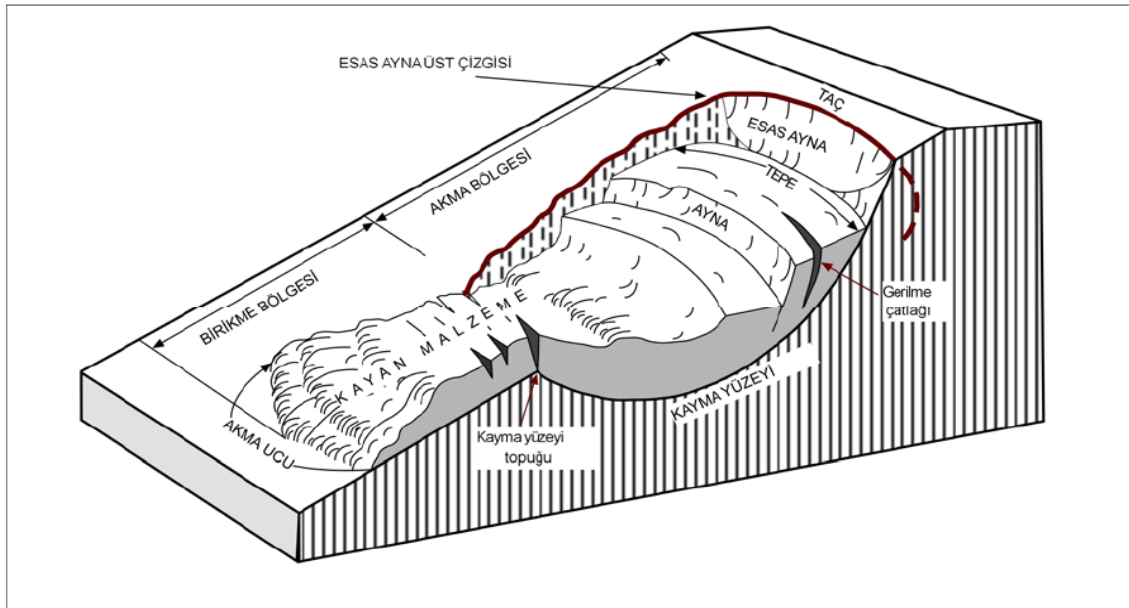
Yamaç dengesinin bozulması kütle hareketlerinin oluşumunun en önemli nedenidir. Bu tanımlamadan da anlaşılacağı üzere kütle hareketlerinin esas nedeni yer çekimi etkisidir. Doğal ve insan aktiviteleri ile ilişkili diğer nedenler ise kütle hareketini hazırlayan, tetikleyen ve aynı zamanda türünü belirleyen etkenlerdir.



Şekil 16. Yamaç üzerine etki eden kuvvetler (Monroe ve Wicander, 2005).



Şekil 17. Farklı türlerde gelişen bazı kütle hareketlerine ait blok diyagramlar (<http://www.teara.govt.nz>).



Şekil 18. İdeal bir heyelana ait blok diyagram (toprak kayması ve akma- karmaşık hareket) Cruden ve Varnes, (1996)'dan değiştirilmiştir.

3.3.3. Çalışma Alanındaki Heyelanlar ve Genel Özellikleri

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yeryüzünü şekillendiren en önemli jeomorfolojik olaylardan biri heyelanlardır. Çalışma alanını oluşturan Arhavi ve çevresi de farklı zamanlarda çok sayıda heyelana maruz kalmıştır. Yapılan jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar bölgede pek çok fosil heyelanın olduğunu ortaya koymuştur.

Yapılan arazi çalışmaları ve gözlemleri neticesinde, çalışma alanında gerçekleşen heyelanların dairesel kayma ve toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir. Dairesel kaymalar zeminin aşırı yağışlardan sonra doymuş hale geçmesi ile ya da akarsuların şev topuklarını aşındırıp, zayıflatması ve üstteki malzemenin aşağıya doğru hareket etmesi ile gerçekleşmektedir. Çalışma alanındaki heyelanların çoğunu toprak akmaları oluşturmaktadır.

Yapılan arazi çalışmaları ile bu tür heyelanların özellikle çaylık alanlar içerisinde, nispeten orta derecede eğimli ve ayrışma derinliğinin çok fazla olmadığı alanlarda geliştiği belirlenmiştir. Heyelanlar kil boyutundan silt, kum ve çakıl boyutlarında değişen taneler içeren malzeme içerisinde meydana gelmiştir. Yine saha gözlemleri ile çoğunlukla bu tür heyelanların hareket yönüne dik olarak su akışının mevcut olduğu belirlenmiştir.

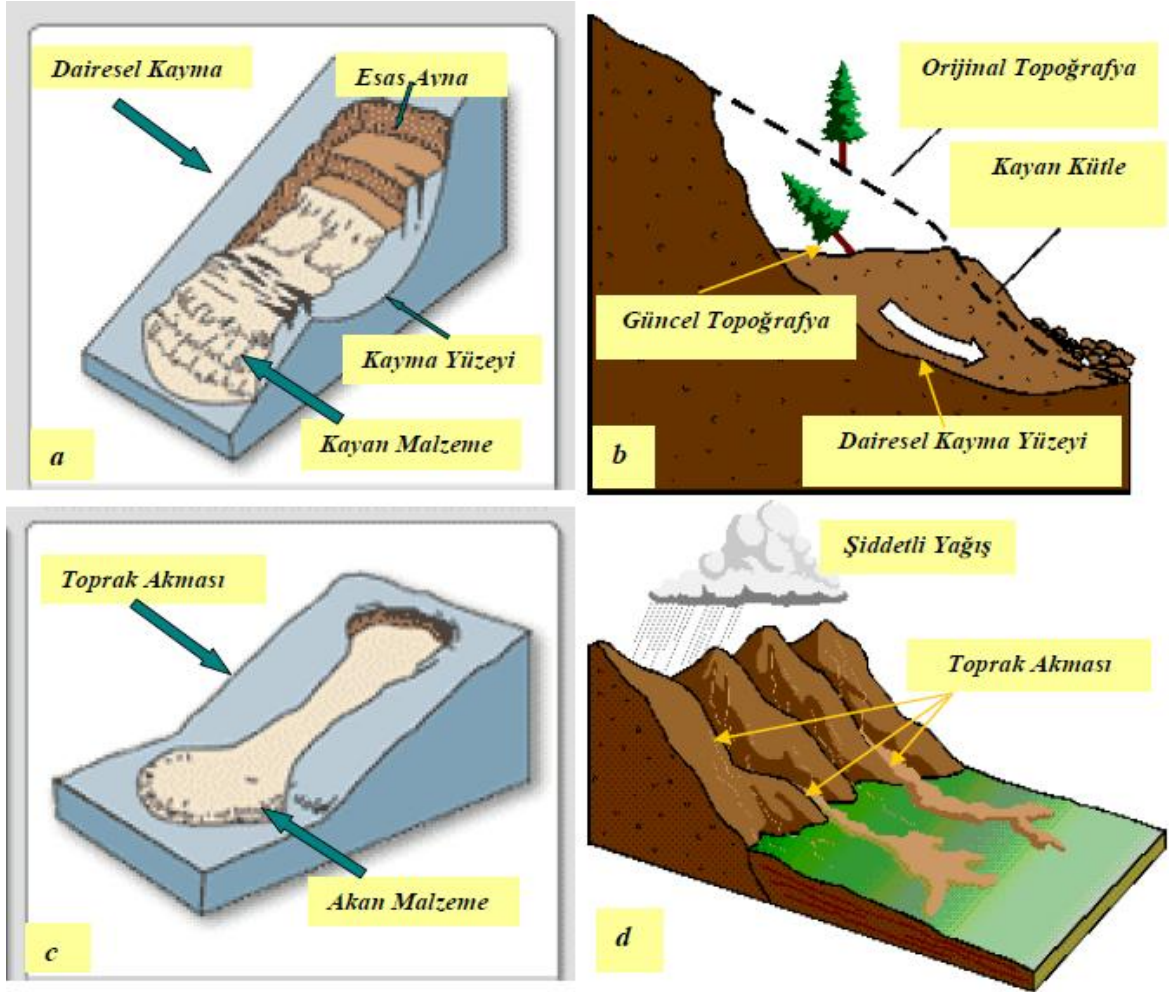
Aşırı yağışlardan sonra artan yüzey sularının bu tür heyelanların oluşumunda önemli derecede etkileri olduğu düşünülmektedir.

3.3.4. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

3.3.4.1. Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelanların alansal dağılımını gösteren haritalardır. Bu tür haritalarda heyelanların türleri, yerleri ve biliniyorsa oluşma zamanları belirtilmektedir.

Arhavi yöresinde gerçekleşen şiddetli ve aşırı yağışlar neticesinde çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlar sonucunda önemli ölçüde ekonomik zararlar ve can kaybı olmuştur.

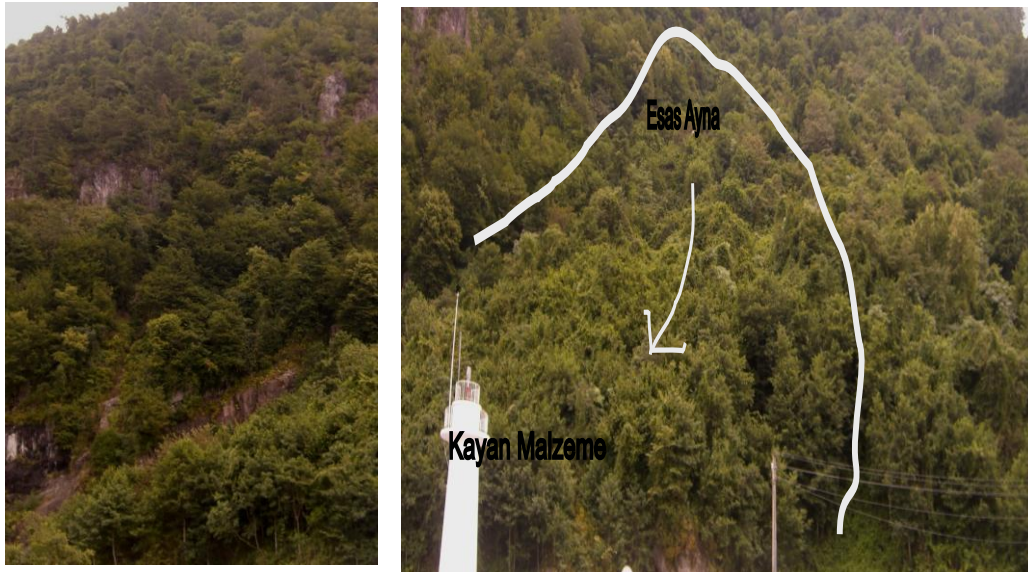


Şekil 19. Çalışma alanında gözlenen heyelan türlerine ait blok diyagram ve şematik şekiller(<http://www.em.gov.bc.ca/Mining/GeolSurv/Surficial/landslid/ls2.htm>).

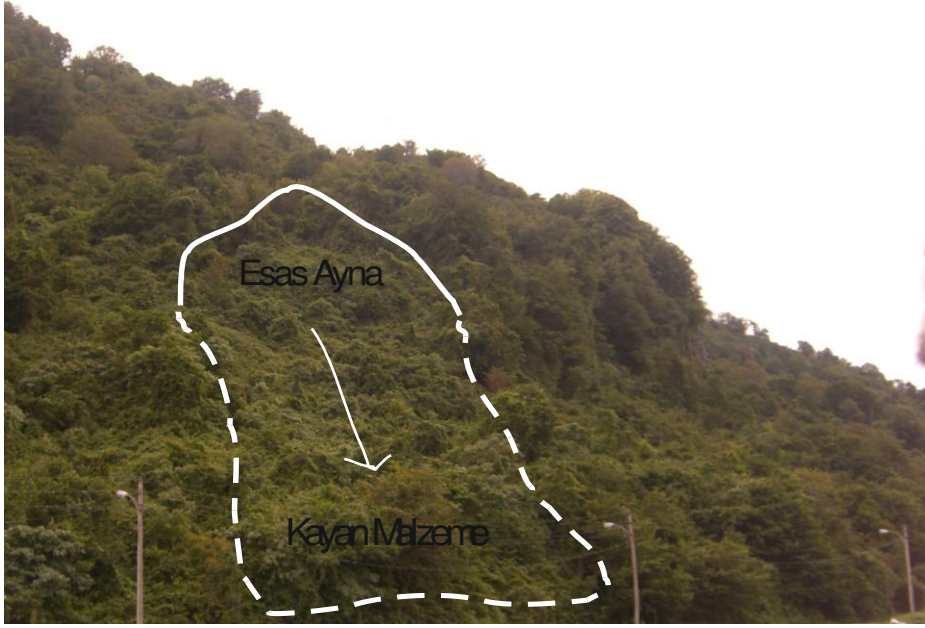
Çalışma alanında gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile 13 adet heyelan tespit edilmiştir. Gerek mevcut heyelanlara ait alanların küçük olması gerekse bu alanların çabuk kapanması gibi nedenlerden dolayı heyelan envanter haritasının hazırlanmasında doğrudan arazi çalışmalarından yararlanılmıştır.

Heyelanlar; Aşağı Hacılar, Hacılar, Musazade, Tepeköy, Kale, Yemişlik dolaylarında yer almaktadır. Hemen hemen her bir heyelan alanının fotoğrafı yine arazi çalışmaları esnasında çekilmiştir. Mevcut heyelanlar, envanter haritasında ölçek göz önüne alınmaksızın, haritaya işaretlenmiştir.

Güngören Mahallesiinde oluşan heyelanlar Çağlayan Formasyonu'nun yüksek derecede ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastlarında meydana gelmiştir. Gerek mevcut heyelanlara ait alanların küçük olması gerekse bu alanların çabuk kapanması gibi nedenlerden dolayı heyelan envanter haritasının hazırlanmasında direk arazi çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu bölgede gerçekleşen heyelanlar dairesel kayma şeklinde olmuştur. Bu heyelanların ne zaman gerçekleştiklerine dair kesin bir bilgi bulunamamakla birlikte en az 15 yıldır varlığından söz edilmektedir. Varnes (1978), Bu tür heyelanların gerçekleşmesinde aşırı yağışların etkisiyle yeraltı su seviyesinin değişimi ve yüzey sularının etkili olduğu düşünülmektedir. Dairesel kaymalar zeminin aşırı yağışlardan sonra doymun hale geçmesi ile ya da akarsuların şev topuklarını aşındırıp, zayıflatması ve üstteki malzemenin aşağıya doğru hareket etmesi ile gerçekleşmektedir.

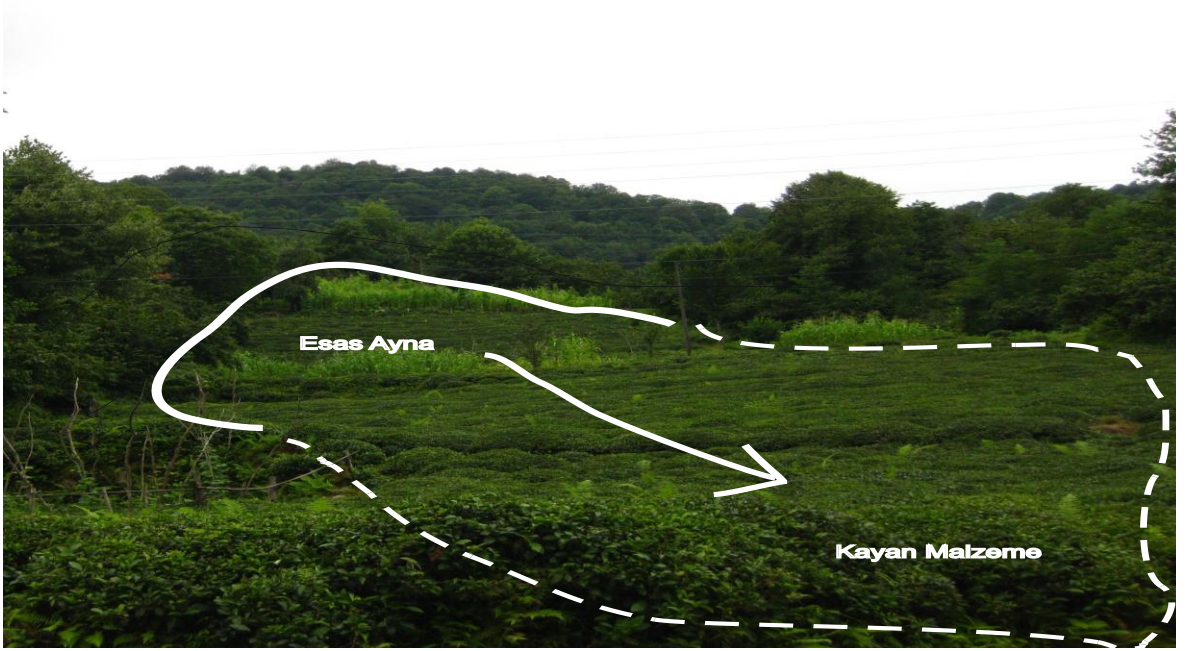


Şekil 20. Heyelanın çevresindeki ağaçlardaki eğilmeler.



Şekil 21. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı

Aşağı Hacılar ve Hacılar ve Musazade Mahallelerinde meydana gelen heyelanlar toprak akması şeklinde gerçekleşmiştir. Yapılan arazi çalışmaları ile bu tür heyelanların özellikle çaylık alanlar içerisinde, nispeten orta derecede eğimli ve ayrışma derinliğinin çok fazla olmadığı alanlarda geliştiği belirlenmiştir. Heyelanlar kil boyutundan silt, kum ve çakıl boyutlarında değişen taneler içeren malzeme içerisinde meydana gelmiştir.



Şekil 22. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı



Şekil 23. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı



Şekil 24. Heyelanın esas ayna üst sınırı



Şekil 25. Musazade Mah. meydana gelen heyelandan etkilenen yapının görünümü

Cumhuriyet Mahallesinde meydana gelen heyelanlar toprak kayması şeklinde olup Çağlayan Formasyonu' nun yüksek derecede ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastlarında meydana gelmiştir. Heyelan alanının yakınındaki binalarda heyelanlardan etkilenmiş ve binalarda çatlaklar oluşmuştur.



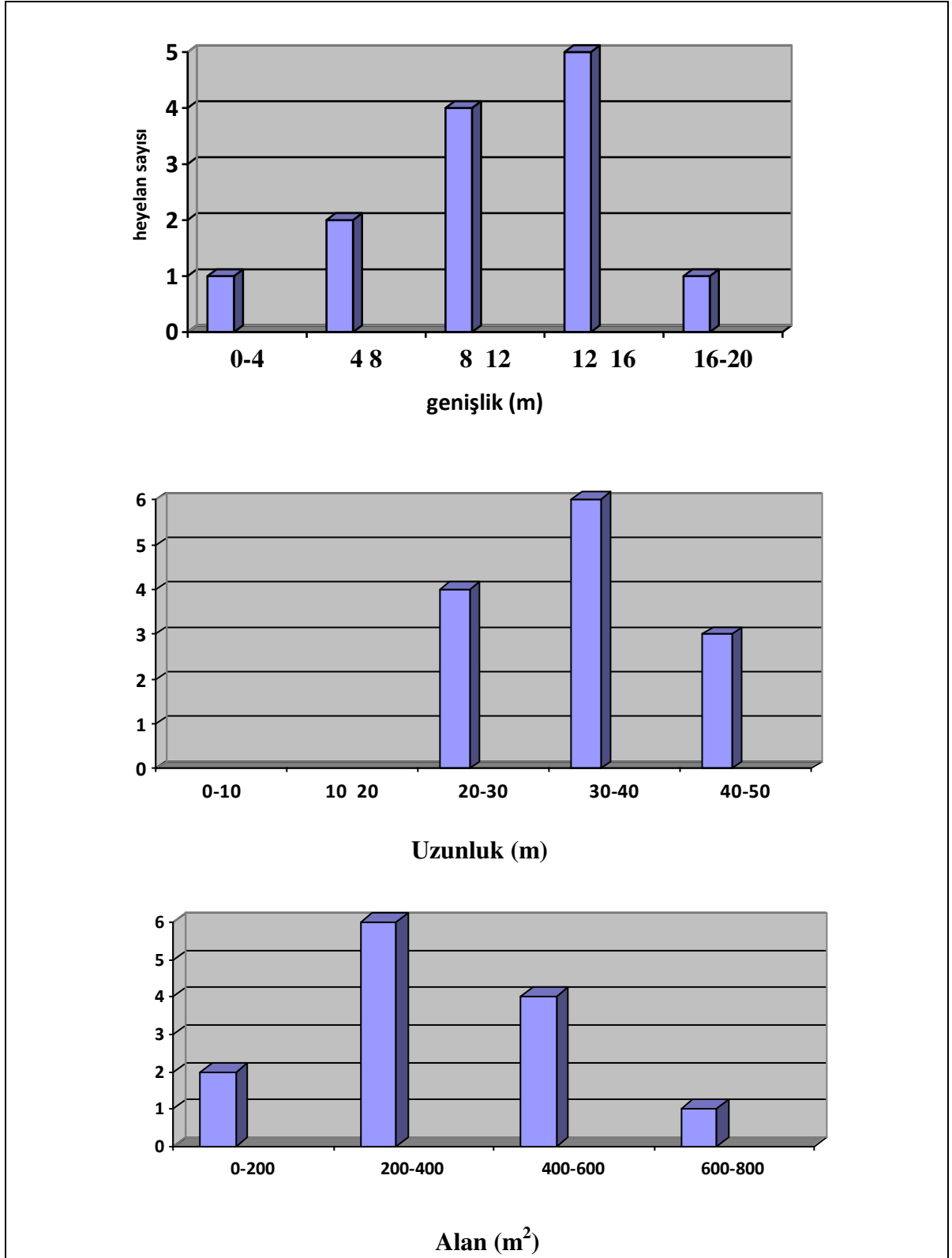
Şekil 26. Tepeköy Mahallesinde meydana gelen heyelan

Tepeköy Mahallesinde meydana gelen 3 tane fosil heyelan tespit edilmiştir. Bu heyelanlar özellikle ormanlık çaylık alanlar içerisinde, eğim derecesi yüksek alanlarda, toprak akması şeklinde gelişmiştir. Heyelanlar Çağlayan Formasyonunda yer alan ayrıışmış kayalar (kil boyutundan silt, kum ve çakıl boyutlarında değişen taneler içeren malzeme) içerisinde meydana gelmiştir.

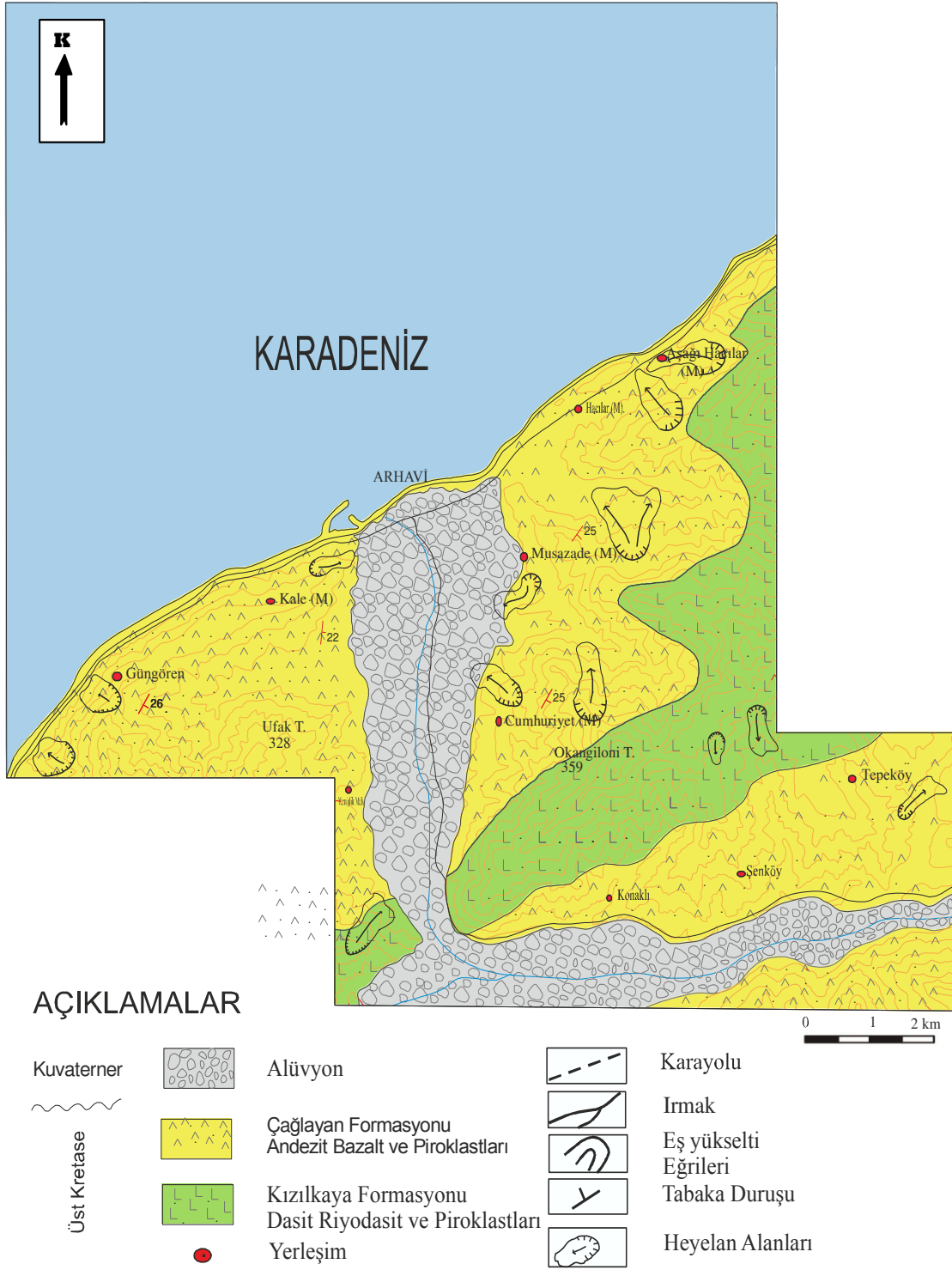
No	Alan (m ²)	No	Alan (m ²)
1	255	8	300
2	252	9	256
3	290	10	315
4	456	11	360
5	500	12	540
6	430	13	265
7	740	Toplam	4959 m ²

Tablo 6. Çalışma alanında tespit edilen heyelanların alanları

Heyelanların genişlikleri;	Max: 20 m	Min: 6 m	Ort: 10.6 m
Heyelanların uzunlukları;	Max: 45 m	Min: 21 m	Ort: 34.08 m
Heyelanların alanları;	Max: 740 m ²	Min: 150 m ²	Ort: 361.38 m ²



Şekil 27. Arazide belirlenen heyelanların uzunlukları, genişlikleri ve alanlarına ait histogramlar



Şekil 28. İnceleme alanının heyelan envanter haritası

3.3.4.2. Litoloji-Ayrışma

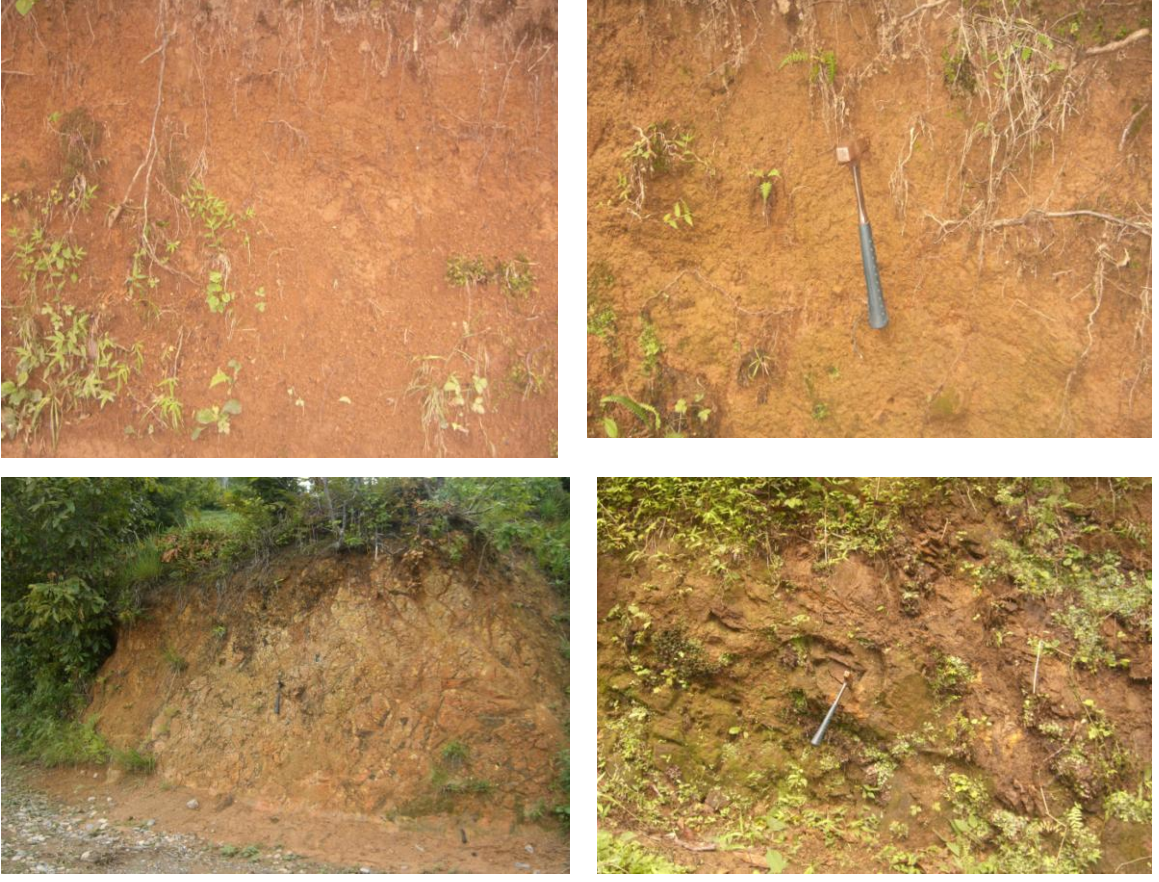
Heyelan duyarlılık değerlendirmesine yönelik olarak yapılan bir başka arazi çalışması da litoloji-ayrışma haritasının hazırlanmasıdır. Litolojik olarak birim aynı olsa bile farklı ayrışma derecelerinde farklı duraylılığa sahip olmaktadır.

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

Litolojik anlamda dikkate alınan önemli bir durum da kayaçların ayrışmalarıdır. Mineral ve kayaçlarda sonradan oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri ifade eden ayrışma, kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Aynı litolojiye sahip birimler ayrışma derecelerindeki değişimlere göre farklı duraylılık özelliklerine sahiptir. Bu durum yapılan saha çalışmalarında açıkça görülmüştür. Bu çalışmada kayaçların ayrışma durumları arazide yapılan gözlemler ve basit fiziksel deneylerle (Schmidt Çekici) belirlenmeye çalışılmıştır.

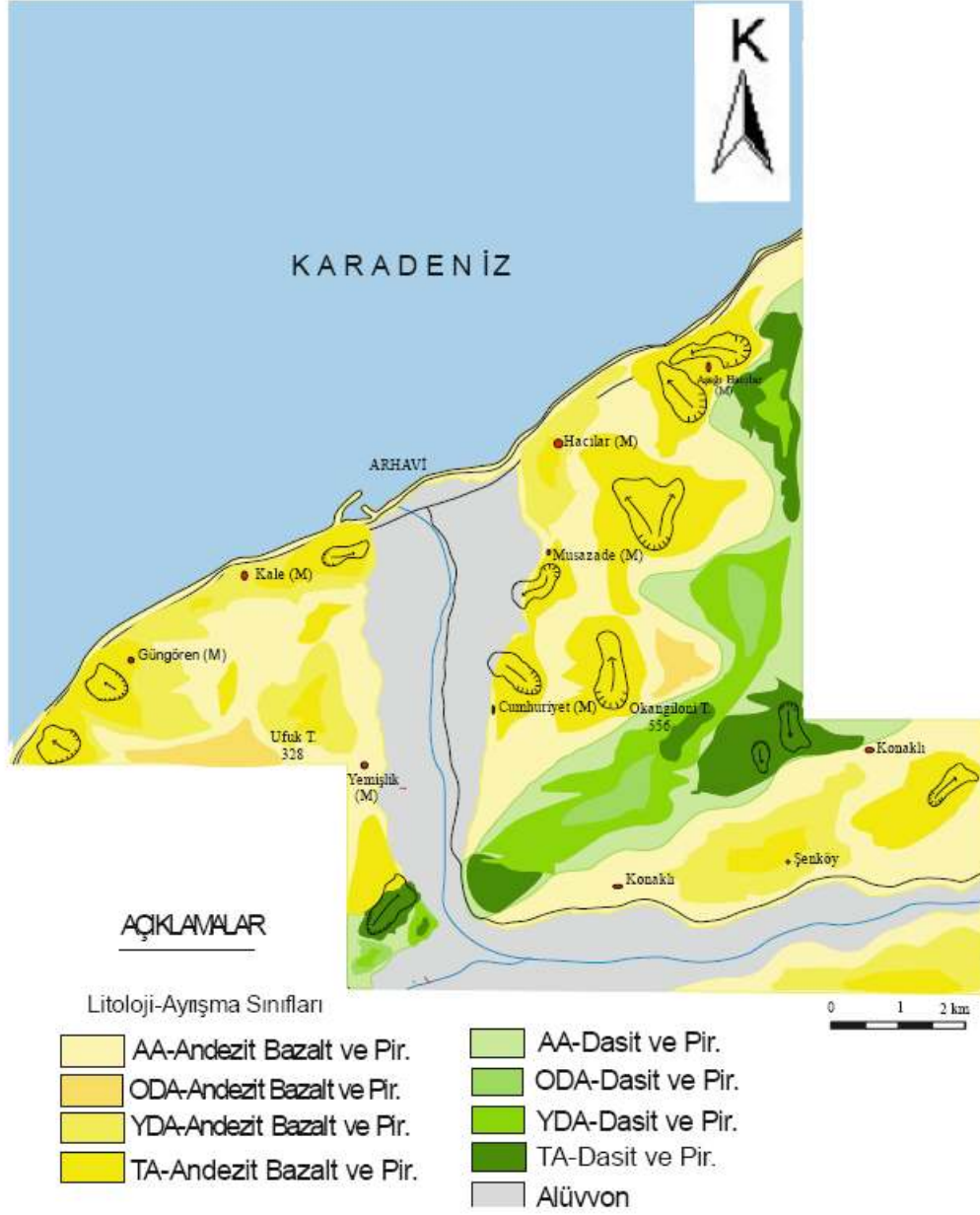
Arazide gözlenen mevcut heyelanlar çoğunlukla aynı litolojik birimlerin farklı ayrışma derecelerine ait sınıflarında farklılık sunmuştur. Özellikle tamamen ayrıışmış ve rezidüel zemin özelliğindeki malzemelerde heyelan sayısı, az veya orta derecede ayrıışmış litolojilere oranla çok fazladır. Bu değerlendirmeler dikkate alınarak, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak çalışma alanındaki litoloji ve ayrışma durumu titizlikle değerlendirilmiştir.

Kayaçların ayrışma dereceleri ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması kullanılarak belirlenmiş ve çalışma alanı için 1/25 000 ölçekli litoloji-ayrışma haritası hazırlanmış ve bu harita üzerine arazide belirlenen heyelanlar işaretlenmiştir.



Şekil 29. İnceleme alanında kayalardaki farklı ayrışma dereceleri

ARHAVİ ve ÇEVRESİNİN LİTOLOJİ-AYRIŞMA HARİTASI



Şekil 30. İnceleme alanının jeoloji-ayrışma haritası

3.4. Arhavi İlçesi (Artvin) Yerleşim Alanı ve Yakın Çevresinin Heyelan Duyarlılık Haritasının AHY ile Oluşturulması

Heyelanların oluşumu jeolojisi, morfoloji, iklim ve bitki örtüsü açısından çok elverişli Karadeniz Bölgesinde son yıllarda coğrafi bilgi sistemleri tabanlı birçok heyelan duyarlılık çalışması yapılmıştır (örneğin Akgün ve Bulut 2007; Akgün vd., 2008).

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, detaylama 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 ve büro çalışmaları sonucu elde edilen verilerle konumsal veri tabanı oluşturulmuştur. Raster veri modeline dönüştürülen veri katmanlarının, daha önceki bölümde anlatılan Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda veri katmanı bazında ağırlıkları belirlenerek analizleri yapılmıştır. Bu ağırlık değerlerinden büyük olanı, heyelan duyarlılığına olan etkinin daha fazla olduğuna işaret etmektedir. Bu analizlerin temeli, her katmandan ayrı bir pikselin alacağı özellik ile bunun matematiksel değeri ve heyelan duyarlılık haritasının üretimindeki etkisini belirlemeye dayanmaktadır.

AHY'de ilk aşama; genel amaç, kriterler ve karar alternatiflerine göre problemin hiyerarşisini oluşturulmasıdır. Hiyerarşinin ilk düzeyi, genel amacın heyelan duyarlılık haritası üretmek olduğunu göstermektedir. İkinci düzeydeki sekiz adet kriter (makaslama dayanımı, eğim, bakı, arazi örtüsü, litoloji-ayırışma, 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.

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 (Akgün vd. 2008). Normal olarak, bu iki parametrenin birbirine göre alacağı değeri belirleme karar vericinin tercihinine bağlı bir durumdur. Bu çalışmada, hem parametrelerin birbirine göre olan karşılaştırmalarında, heyelan envanter haritası ile diğer veri katmanlarının karşılaştırılması esas alınmıştır. Dolayısıyla belirlenen ağırlık değerleri gerçek arazi verileriyle uyumludur. Oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisinden alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu işlem AHY'nde sentezleme olarak adlandırılır ve matematiksel olarak özdeğer ve özvektör hesaplamalarını içerir.

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında; 1-yamaç eğimi, 2-yamaç yönelimi, 3- Kayatürü (litoloji), 4- Ayrışma, 5-Akarsu güç indeksi, 6-Topoğrafik nem indeksi, 7-Arazi örtüsü, 8- Drenaj Hattına uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelere göre çalışma alanı haritalanarak 8 ayrı katman oluşturulmuştur (Şekil 31-36)

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 7). 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.

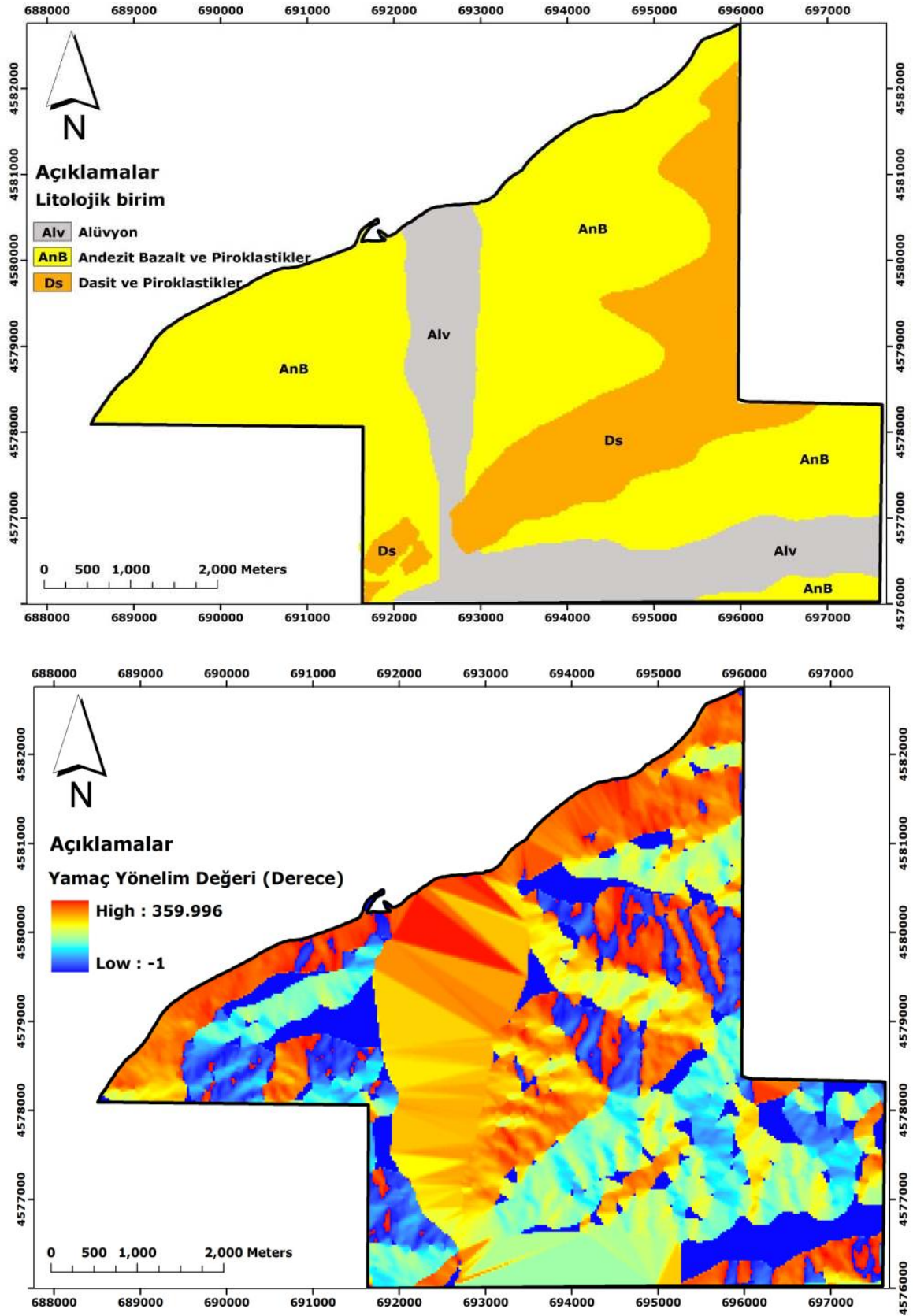
Tablo 7. Veri katmanlarının heyelan duyarlılığına olan etki değerleri

Parametre	Eğim	Yamaç Yönelim	Litoloji	Ayrışma	AGİ	TNİ	Arazi Örtüsü	Drenaj Hattına Uzaklık
Eğim	1							
Yamaç Yönelimi	½	1						
Litoloji	3	3	1					
Ayrışma	3	3	2	1				
AGİ	1/3	1/3	1/3	1/3	1			
TNİ	1/3	1/3	1/3	1/3	2	1		
Arazi örtüsü	2	2	1/2	1/2	3	2	1	
Drenaj hattına uzaklık	1/3	½	1/3	1/2	1/2	2	1/3	1

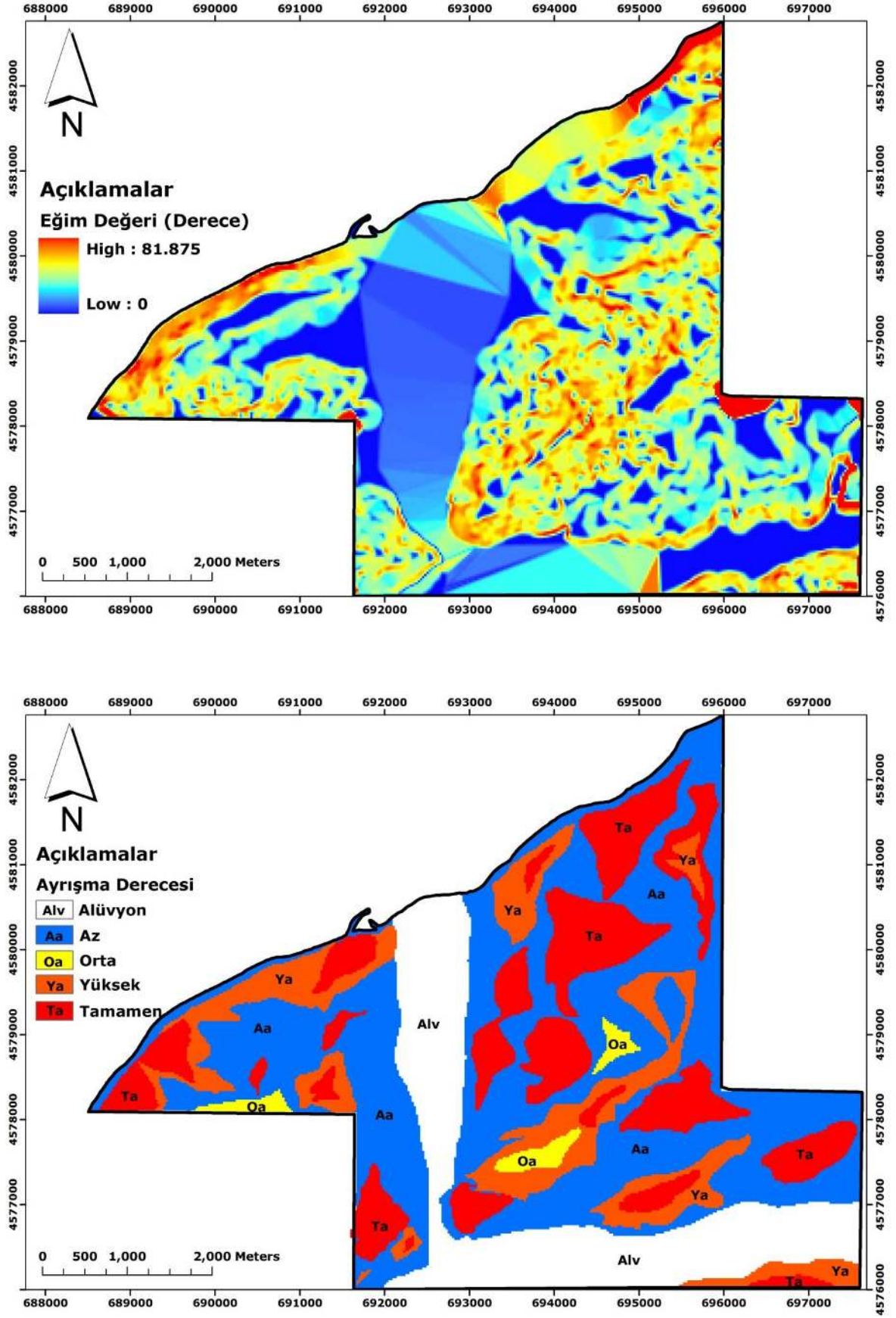
AHY karşılaştırma matrisi ile elde edilen parametre ağırlık değerleri aşağıda verilmiştir.

Eğim	: 0.1165
Yamaç yönelim	: 0.0823
Litoloji	: 0.1871
Ayrışma	: 0.2315
AGİ	: 0.0494
TNİ	: 0.0495
Arazi örtüsü	: 0.1377
Drenaj uzaklık	: 0.0543

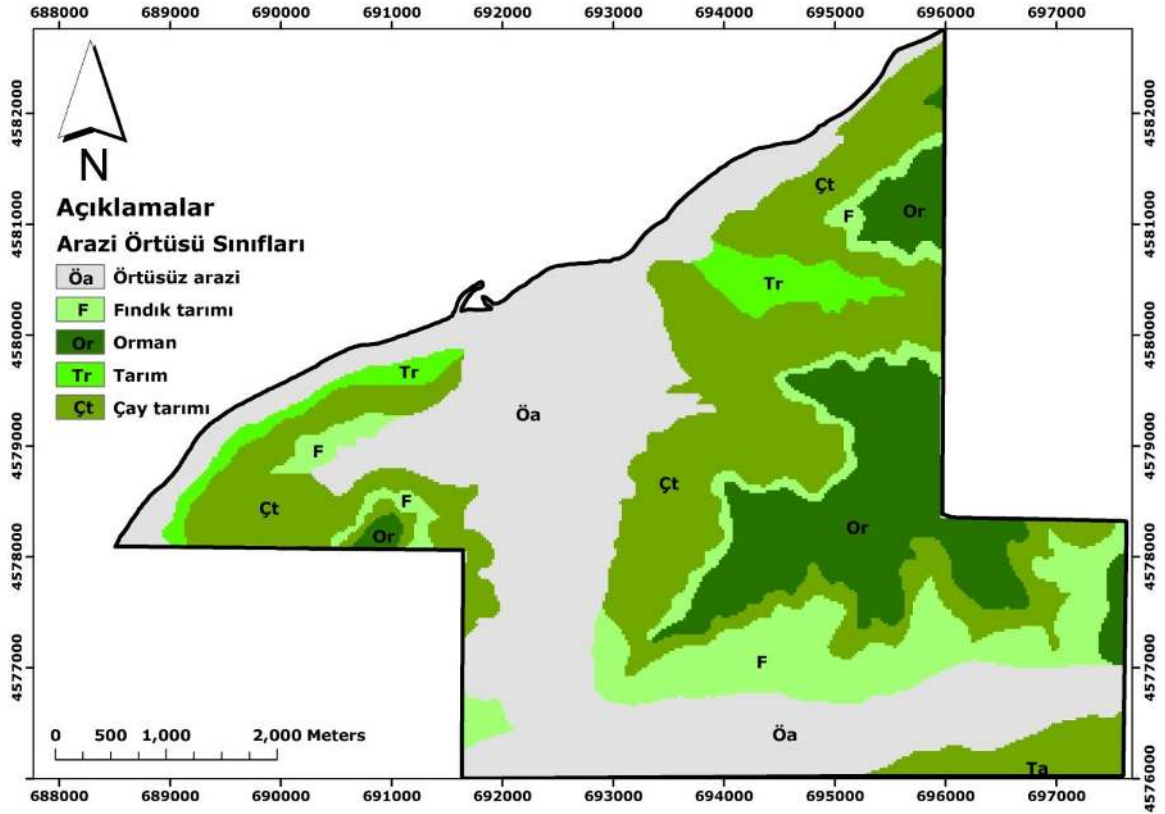
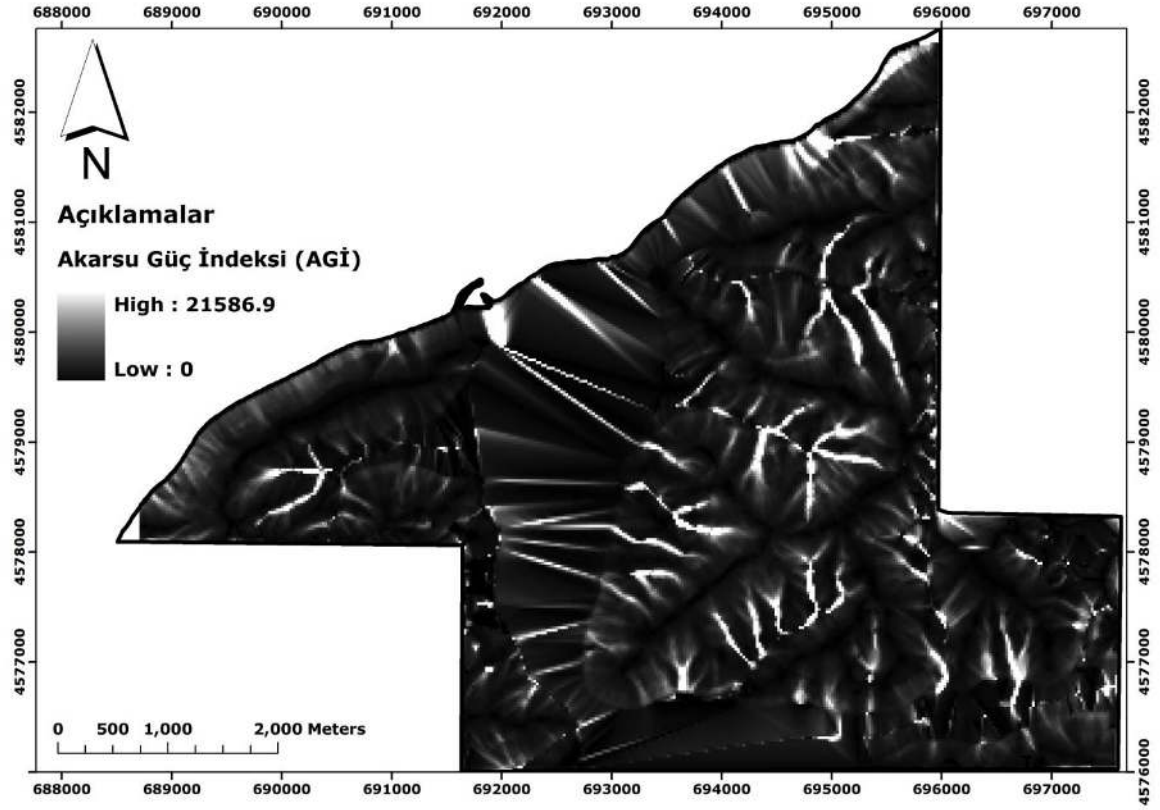
Tutarlılık Oranı=0.06<0.1 olduğundan karşılaştırma matrisi tutarlıdır.



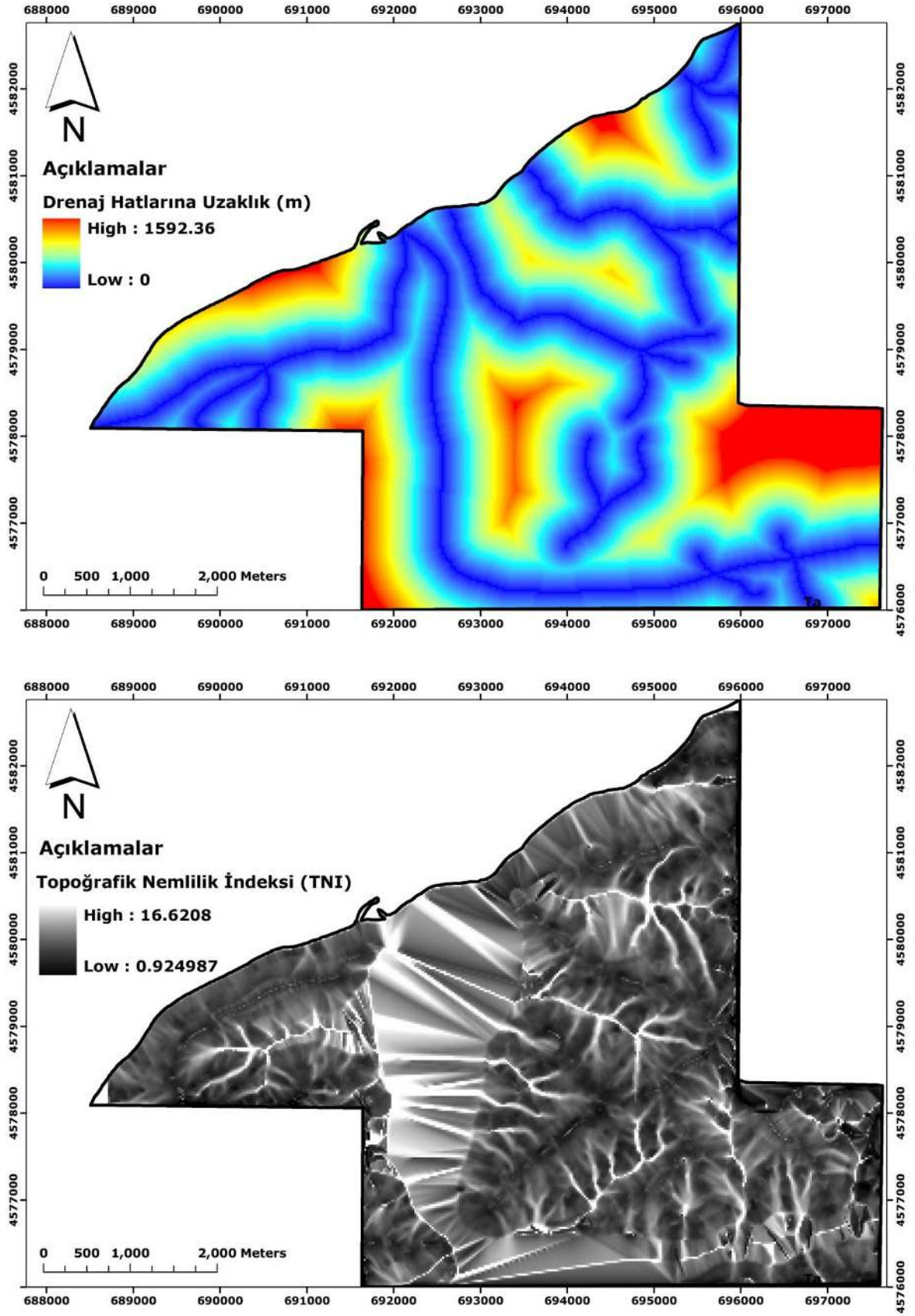
Şekil 31. Arhavi İlçesi(Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin yamaç yönelimi ve litoloji haritaları



Şekil 32.Arhavi İlçesi(Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin yamaç eğimi ve ayrışma haritaları



Şekil 33. Arhavi İlçesi(Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin arazi örtüsü ve akarsu güç indeksi haritaları



Şekil 34. Arhavi İlçesi(Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin drenaj hatlarına uzaklık ve topoğrafik nem indeksi haritaları

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde veri katmanlarına ait ağırlık değerleri incelendiğinde, heyelan duyarlılığında ayrışma katmanının en etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu katmanı sırasıyla litoloji ve topoğrafik eğim takip etmektedir. Akarsu güç indeksi ve Topoğrafik nemlilik indeksi heyelan duyarlılığında etki değerleri az olan parametrelerdir. Parametrelerin birbirleriyle yapılan karşılaştırılmasının uygun olup, olmadığını test etmek için tutarlılık oranı hesaplanmış ve 0.06 değeri elde edilmiştir (Tablo 7).

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. Her bir ölçüte ait ağırlıklar (öncelikler), ikili karşılaştırma matrisine bağlı olarak hesaplanır. Bu hesaplamalar için kullanılan matris oluşturulurken yapılan karşılaştırmalar, nesnel (objektif) olsa bile öznel (subjektif) olarak belirlendiği için tutarsızlıklar ortaya çıkabilmektedir. Bunun ölçütü olarak, Saaty tarafından aşağıdaki formülle hesaplanan bir Tutarsızlık Oranı (T.O.) kullanılır ve 0,1'den büyük olmamasına dikkat edilir. Büyük çıkması durumunda ise yeniden sınıflandırma yapılması gerekmektedir.

$$T.O. = \frac{T.İ.}{R.İ.}$$

$$T.İ. = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$$

- T.O. :Tutarlılık oranı
T.İ. :Tutarlılık indeksi
R.İ. :Rastgele indeksi göstermektedir.
 λ_{max} :İkili karar matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektördür.

Rasgele indeks değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına (n) bağlı olarak Tablo 8'teki değerleri alır (Saaty, 1990).

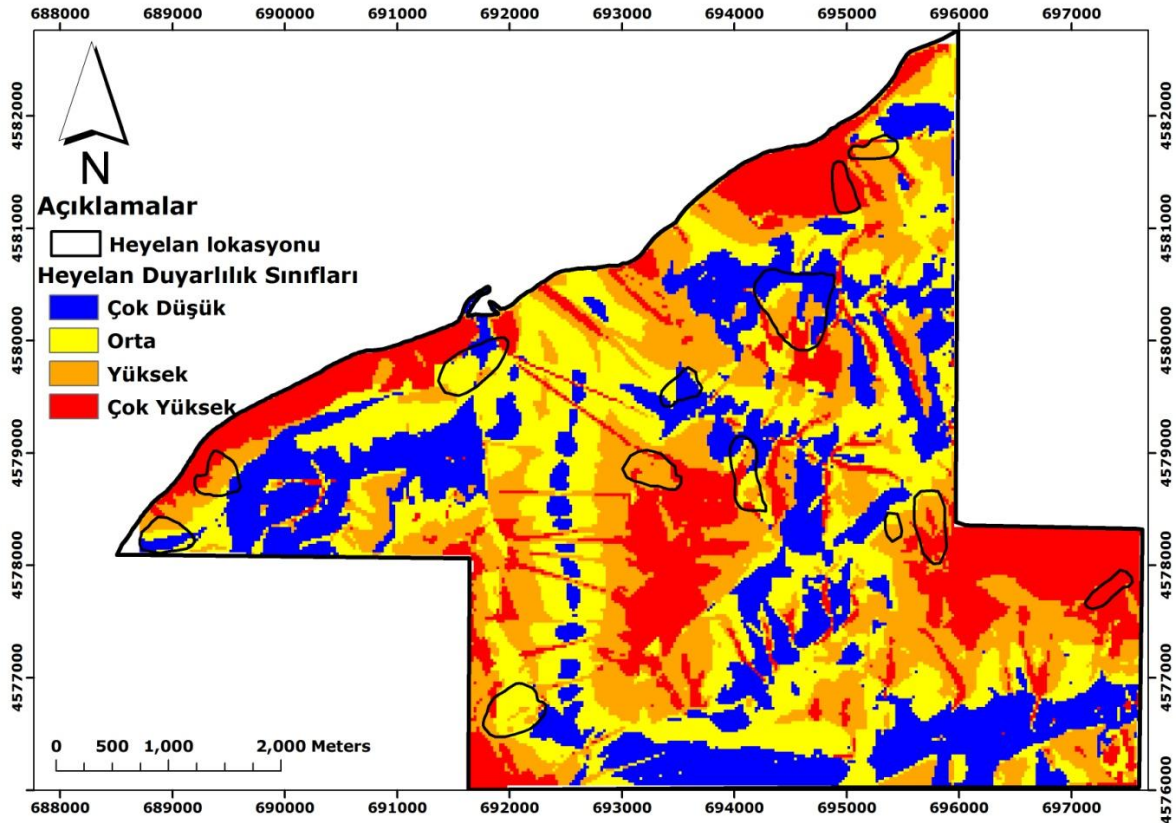
Tablo 8. Eleman sayısına göre rastgele indeks değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.İ.	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

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

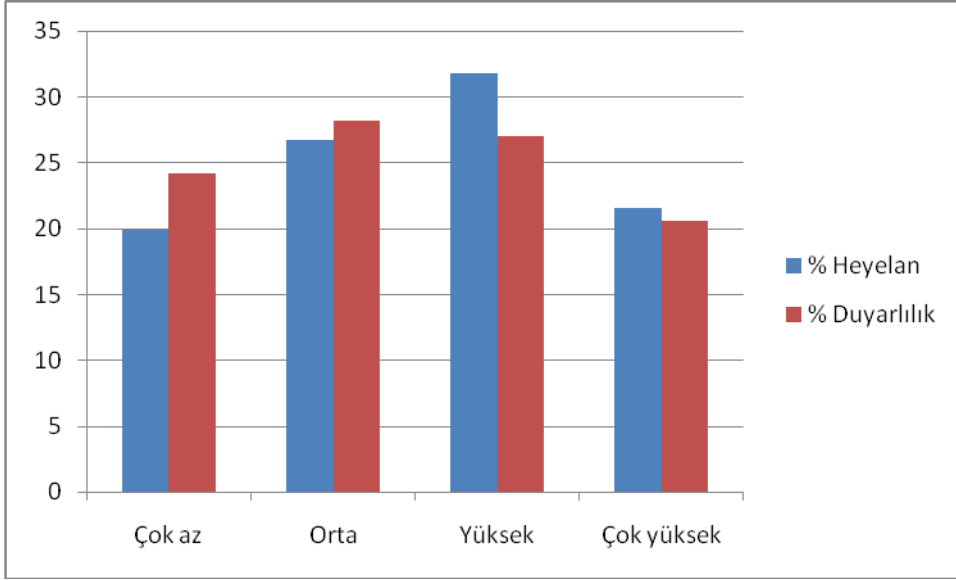
Bu hesaplamalar sonucunda, yapılan işlemlerin kabul edilebilir olması için elde edilen tutarlılık oranı değerlerinin 0.10'dan küçük olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen tutarlılık oranı değerleri 0.10'dan küçük bulunmuştur. Bu değerler de, yapılan hesaplamaların tutarlı ya da güvenilir olduğunu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

Vektör yapıda olan veri katmanları raster veri modeline dönüştürülmüş, her bir katmana ait olan ağırlık değeri, ait olduğu katmandaki piksel değerleri ile çarpılmış ve sonuç haritası üretilmiştir. (Şekil 35)



Şekil 35. Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritası

Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritası oluşturulduktan sonra heyelana duyarlı alanların ve mevcut heyelan alanlarının dağılımı incelenmiştir (Şekil 36).



Şekil 36. Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelana duyarlı alanların ve mevcut heyelan alanlarının dağılımı

Bu inceleme sonucunda, inceleme alanının % 24,19'u heyelana Çok Az, % 28,19'u Orta, % 27,01'i Yüksek ve % 20,61'i de Çok Yüksek duyarlıdır. Söz konusu alandaki mevcut heyelanların 19,92'si heyelana Çok Az Duyarlı alanda, % 26,72'si heyelana Orta Duyarlı alanda, % 32,84'ü heyelana Yüksek Duyarlı alanda ve % 21,52'si de Çok Yüksek Duyarlı alandadır.

4. SONUÇLAR

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

1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

2. Arhavi 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.

3. Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında; yamaç eğimi, yamaç yönelimi, Kayatürü (litoloji), Ayırışma, Akarsu güç indeksi, Topoğrafik nem indeksi, Arazi örtüsü, Drenaj Hattına uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelere göre çalışma alanı haritalanarak 8 ayrı katman oluşturulmuştur. AHY karşılaştırma matrisi ile elde edilen parametre ağırlık değerleri; Eğim için 0.1165, Yamaç yönelim için 0.0823, Litoloji için 0.1871, Ayırışma için 0.2315, Akarsu güç indeksi için 0.0494, Topoğrafik Nem indeksi için 0.0495, Arazi örtüsü için 0.1377 ve Drenaja uzaklık için 0.0543 değerindedir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde veri katmanlarına ait ağırlık değerleri incelendiğinde, heyelan duyarlılığında ayırışma katmanının en etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu katmanı sırasıyla litoloji ve topoğrafik eğim takip etmektedir. Akarsu güç indeksi ve Topoğrafik nemlilik indeksi heyelan duyarlılığında etki değerleri az olan parametrelerdir. Parametrelerin birbirleriyle yapılan karşılaştırılmasının uygun olup, olmadığını test etmek için tutarlılık oranı hesaplanmış ve 0.06 değeri elde edilmiştir. Tutarlılık Oranı=0.06<0.1 olduğundan karşılaştırma matrisi tutarlıdır.

4. Vektör yapıda olan veri katmanlarının raster veri modeline dönüştürülmüş, her bir puanı (ait oldukla ağırlığı) piksel faktör puanıyla çarpılarak Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık üretilmiştir.

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. Bu inceleme sonucunda, inceleme alanının % 24,19'u heyelana Çok Az, % 28,19'u Orta, % 27,01' i Yüksek ve % 20,61'i de Çok Yüksek duyarlıdır.

Söz konusu alandaki mevcut heyelanların 19,92'si heyelana Çok Az Duyarlı alanda, % 26,72'si heyelana Orta Duyarlı alanda, % 32,84'ü heyelana Yüksek Duyarlı alanda ve % 21,52'si de Çok Yüksek Duyarlı alandadır.

5. Bu çalışmada Arhavi İlçesi (Artvin) yerleşim alanı ve yakın çevresinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile oluşturulmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda heyelana duyarlılığı değişik olan alanlardaki mühendislik yapılarının dağılımı belirlenmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Akgün, A. ve Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S. ve Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. Environmental Geology, 54, 1127-1143.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R., 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. Bull. Engineering Geology Env., 58, 21-44.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain, Engineering Geology, 32, 269-277.
- Anon, 1995. The Description and Classification of Weathered Rocks Masses for Engineering Purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 207-242.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. ve Ugawa, N., 2004. Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Weighted Linear Combination, The Case in Tsugawa Area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan, Landslides, 1, 73-81.
- Ayalew, L. ve Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, Geomorphology, 65, 1-2, 15-31
- Baeza, C. ve Corominas, J., 2001. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility by Means of Multivariate Statistical Techniques, Earth Surf. Process. and Landforms, 26, 1251-1263.
- 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.
- Ceryan, Ş. ve Ceryan, N., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Kaya Şev ve Yamaçları İçin Duraylılık Analizlerin Değerlendirilmesi. Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Potansiyeli Sempozyumu Bildiri Özleri, Trabzon 57-59.
- Ceryan, N., 2005. Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC Yönteminin Bekçiler-Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 163s.
- Cruden, D.M. ve Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes. Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247. In Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Eds.), 36-75.

- Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A., 2005, İki Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi ile Çayeli (Rize) ve Çevresindeki Heyelanların Değerlendirilmesi, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 84.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM), 2005, Ortalama Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni, Ankara.
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2001. Terrain-Based Mapping of Landslide Susceptibility Using a Geographical Information System: A Case Study, Can. Geotech. J., 38, 911-923.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview. Engineering Geology, 64, 65-87
- Donati, L. ve Turrini, M.C., 2002. An objective Method to Rank the Importance of the Factors Predisposing to Landslides with the GIS Methodology: Application to an Area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). Eng. Geol., 63, 277-289.
- Ergünay, O., 1999. A Perspective of Disaster in Turkey: Issues and Prospects, Urban Settlements and Natural Disasters. Proceedings of UIA Region II Workshop. Chamber of Architects of Turkey.
- Fernandez, C.I., 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.
- Fookes, P.G., Dale, S.G. ve Land, J.M., 1991. Some Observation on a Comparative Aerial Photography Interpretation of a Landslipped Area. Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, 249-265.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. The main lines of the geotectonic evolution of eastern Pontides in Mesozoic era. Geocom Abstracts, Ankara, 68-69.
- 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 ilişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 201-219.
- 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., Cardinali, M. ve Reichenbach, P., 1999. Landslide Hazard Evaluation: a Review of Current Techniques and Their Application in a Multi- Scale Study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu, M.T.A. Genel Müd., Ankara, (Yayınlanmamış).
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis in Slope Stability, John Wiley and Sons, New York, 23-35.
- Hartlen, J. ve Viberg, L.G., 1988. General Report: Evaluation of Landslide Hazard, Proceeding 5th International Symposium on Landslides, lausanne, Switzerland, 2, 1037-1057, 720-730.
- Hencher, S.R., ve Martin, R.P., 1982. The Description and Classification of Weathered Rocks in Hong Kong for Engineering Purposes. Proc. 7th Southeast Asian Geotechnical Conf., 125-142.
- Hutchinson, J.N., 1988. General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. In Landslides, Proceeding 5th International Symposium on Landslides (Ed. C. Bonnard) 1, 3-35.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1976. Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation, UNESCO Pres, Paris, 79 p.
- ISRM, 1981. In: Brown ET (ed) Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford,
- İrfan, Y., 1981. Bozunma ve Bozunma Sınıflandırmaları, Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Dizisi. No: 19.
- İskenderoğlu, A., 1990, Çayeli-Pazar (Rize) Arası Ana Yol Şevlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 154s.
- Jakob, M., 2000. The Impacts of Logging on the Landslide Activity at Clayoquot Soung, British Columbia. Catena, 38, 279-300.
- Kienholz, H., 1978. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Gürindelwald, Switzerland, scale 1/10000, Arc. and Alp. Res., 10, 169-184.
- Koukis, G. ve Ziourkas, C., 1991. Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis, Bulletin of International Association of Engineering Geologists, 43, 47-60.
- Lee, S. ve Min, K., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, Env. Geol., 40, 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2002. Landslide Susceptibility Analysis and Verication Using the Bayesian Probability Model, Enviromental Geology, 43, 120-131.

- Lee, S., 2005. Application of Logistic Regression Model and Its Validation for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Remote Sensing Data, Int. J. Remote Sensing, 26,7 1477-1491.
- Leroi, E., 1996. Landslide Hazard-Risk Maps at Different Scales: Objectives, Tools and Developments. Proc. VII. Int. Symp. Landslides, Trondheim, 1, 35-52.
- Luzi, L. ve Pergalani, F., 1999. Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The "Oltre Po Pavese" Case History (Region Lombardia-Italy), Nat. Haz., 20, 57-82.
- Maharaj, R., 1993. Landslide Processes and Landslide Susceptibility Analysis From an Upland Watershed: A Case Study From St. Andrew, Jamaica, West Indies. Eng. Geol. 34, 53-79.
- Monroe, J. S., and Wicander, R. 2005. Physical Geology: Exploring the Earth, 5 th ed. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, California, 644 p.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M.V., 2000. Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, Bull. Eng. Env., 58, 275-287.
- Ollier, C.D., 1979. Weathering. Longman Group Ltd., 4th impression.
- Önalp A., 1978. Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi, Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Eğitimi. 41-44.
- Önalp. A., 1980, Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, Araştırma Raporu, TUBİTAK, M-441.
- Önalp, A., Tarhan, F., Sevinç, N., 1987. Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, Dengeli Yamaç Tasarımı. TUBİTAK, MAG: 585, Ankara.
- Pachauri, A.K., ve Pant, M., 1992, Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes, Engineering Geology, 32, 81-100.
- Peltier, L., 1950, The Geographic Cycle in Periglacial Regions as Its Related to Climatic Geomorphology, Ass. Of American Geography, 40 p.
- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Altlık Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sağiroğlu, S., Besdok, E., Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., Kayseri.

- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D. ve Marturia, J., 2003. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain), Natural Hazards, 30, 281-295.
- Soeters, R.S. ve Van Westen, C.J., 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In Landslides: Investigation and Mitigation A.K. Turner and R.L. Schuster (eds.), Transportation Research Board, National Research Council, Special Report-247, National Academy Press, Washington DC, 129-177.
- Şengör A.M.C., Özeren S., Zor E., Genç T., 2003. Doğu Anadolu Litosfer Mekaniğine Yeni Bir Yaklaşım, Kuvaterner Çalıştay 4, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Çalıştayı. 101-110.
- Tarhan, F., 1982, Artvin Granitinin Mühendislik Jeolojisi ve Baraj Yeri Olma Açısından İrdelenmesi, Doçentlik Tezi (yayınlanmamış), KTÜ, Trabzon
- Tarhan, F., 1991. Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 38-64.
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Cem Web Ofset Ltd., Ankara, 424.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U. ve Korme, T., 2001. Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to The Landslides in The Wondogenet Area, Ethiopia. Phys.Chem.Earth(C), 26,9 665-675.
- Van Westen, C.J. ve Bonilla, J.B.A., 1990. Mountain Hazard Analysis Using a PC-Based GIS. Proceeding of the 6th International Congress of Engineering Geology, August Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 265-271.
- Varnes, D.J., 1978. Slope Movement Types and Processes. In Landslides Analysis and Control, (Ed.R.L. Schuster and R.J. Krizek), Transportation Research Board, , Special Report, No.176,12-33, National Academy of Sciences.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. UNESCO Pres, Paris, 63.
- Yılmaz, B.S., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları, MTA. Raporu, Ankara.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

01.03.1983 tarihinde Trabzon’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon’da tamamlayarak 2001 yılında Trabzon Fatih Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. Haziran-2005 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Jeolojisi Mühendisliği Bölümü’nden üçüncü olarak mezun olan Aksoy, 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2006-2007 tarihleri arasında yüksek lisans öğrenimi kapsamında verilen yabancı dil hazırlık programını başarıyla tamamladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Haziran-2007 tarihinde İstanbul Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü’nde göreve başladı. Halen bu görevine devam etmektedir.