

Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye)

An Example for Preparation of GIS-Based Landslide Susceptibility Maps: Çayeli (Rize, NE Türkiye)

Serhat DAĞ¹, Fikri BULUT²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, GÜMÜŞHANE

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 16 Mayıs (May) 2011
Düzeltilme (revised) : 27 Şubat (February) 2012
Kabul (accepted) : 11 Nisan (April) 2012

ÖZ

Ülkemizin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesi'nde ve özellikle de Doğu Karadeniz Bölümü'nde meydana gelen doğal afetlerin başında heyelanlar gelmektedir. Bölge açısından heyelanların oluşturduğu hasar, uzun vadede dikkate alındığında, depremden daha fazladır. Bu çalışmada, Çayeli yöresinde 2002 yılı temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelen heyelanlar araştırılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. İlk olarak heyelan envanter haritası oluşturulmuş ve toplam 149 adet heyelan haritalanmıştır. Arazi incelemeleri sonucunda litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, arazi örtüsü, yükseklik, akarsuya yakınlık faktörleri, heyelana neden olan parametreler olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanına ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanında parametre haritaları üretilmiştir. Haritalar mevcut heyelanlarla ilişkilendirilerek frekans oranı değerleri belirlenmiştir. Bu değerlendirmelere göre, tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastitleri ile tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastitlerinin heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir. Yine eğim sınıflarından 0° - 20° arası, yamaç eğim yönü sınıflarından kuzey-kuzeydoğuya bakan yamaçlar, topoğrafik yükseklik sınıflarından 0 - 200 m arasındaki yükseklik sınıfları elde edilen değerlere göre önemli görülmüştür. Benzer şekilde tarımsal alan ve yerleşim alanlarından oluşan arazi sınıfları ile 0 - 100 m arasındaki akarsuya yakınlık sınıfları da ikili karşılaştırmalarda önemli olarak değerlendirilen parametre sınıflarıdır. Daha sonra ağırlık değerleri hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Son olarak üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelanların % 81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Çayeli, Duyarlılık haritası, Frekans oranı, Heyelan.

S. Dağ

E-Posta: serhatdag@gumushane.edu.tr

ABSTRACT

Landslides are leading natural disasters occurring in the Black Sea Region, which is one of the regions receiving a great deal of rain and which is the roughest one in our country, particularly the Eastern Black Sea. In the region, the damage caused by landslides is greater than that caused by earthquakes in the long term. In this study, the landslides that occurred in Çayeli in July 2002 as a result of heavy rain were investigated and the landslide susceptibility map was prepared for the study area. Initially, a landslide inventory map was created and 149 landslides in total were mapped. Based on field investigations, the factors of lithology-weathering, slope angle, slope aspect, landcover, elevation and proximity to river were evaluated as the parameters causing the landslides. Using topographical and thematic maps, the parameter maps were created in Geographical Information Systems (GIS) environment,. Associating the maps with the current landslides, their frequency ratio values were determined. In the light of these evaluations, it is thought that completely weathered dacite and pyroclastics, and completely weathered andesite-basalt and pyroclastics are effective in the landslide occurrence. The slope classes between 0° and 20°, northward-northeastward slopes and the elevation classes between 0 and 200 m were regarded as significant according to the obtained values. Similarly, landcover classes from agricultural and settlement area, and proximity to river classes between 0 - 100 m are parameter classes considered significant in paired comparisons. Then, weighted values were calculated and by taking these values into account, a landslide susceptibility map was created. Finally, to analyse the performance of the map, the current landslides and the susceptibility map were compared and 81% of current landslides were determined to be situated in susceptible, highly susceptible and very highly susceptible areas.

Key Words: GIS, Çayeli, Susceptibility Map, Frequency ratio, Landslide

GİRİŞ

Literatürde farklı tanımlamaları yapılan heyelanlar, genel anlamda yerel jeolojik, hidrolojik, jeomorfolojik koşulların ürünü olarak bitki örtüsü, arazi kullanımı, insan aktiviteleri tarafından etkilenen, yağış ve sismik olayların sıklığı ve şiddeti tarafından kontrol edilen yapay ve doğal şev duraysızlıklarıdır (Souters ve Van Westen, 1996). Ani ve şiddetli yağışların ve depremlerin yanı sıra, gerekli jeoteknik çalışmalar yapılmadan yerleşime açılan yamaçlardaki yapı inşaatı, değişik amaçlı patlatma ve kazı

çalışmaları, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi gibi nedenler herhangi bir alanda meydana gelen heyelanları tetiklemektedir.

İnsan yaşamını doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz yönde etkilemesi, konuya olan hassasiyeti gün geçtikçe artırmaktadır. Daha önceleri yerel duraysızlıkların incelenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, günümüzde daha geniş alanlara yönelik bölgesel değerlendirmeler yönünde artmıştır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Baeza ve Corominas, 2001; Lee vd. 2001; Donati ve Turruni, 2002; Ercanoğlu

ve Gökçeoğlu, 2002; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Çan vd., 2005; Dağ vd. 2006; Dağ, 2007; Akgün ve Bulut, 2007; Yalçın ve Bulut, 2007; Akgün vd. 2008; Nefeslioğlu vd., 2008; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Akgün ve Türk, 2010a,b).

Bugün dünyada heyelanlardan dolayı yüzlerce insan hayatını kaybetmekte ve bu heyelanlar ülke ekonomilerine büyük zararlar vermektedir. Japonya’da doğal afetlerden dolayı meydana gelen can kayıplarının hemen hemen yarısı heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Dağ, 2007). Ülkemiz açısından değerlendirildiği zaman, durum çok farklı değildir. Özellikle Karadeniz Bölgesi’nde uzun zaman aralıklarında heyelanların meydana getirdiği can ve mal kaybı, depremden daha fazladır. Sarp topoğrafyası nedeni ile yerleşim alanlarının sınırlı olduğu bölgede, artan nüfus yoğunluğundan dolayı heyelan alanlarında gerçekleştirilen plansız yapılaşma, heyelan nedeniyle meydana gelebilecek zararları artırmaktadır.

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

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

Bu çalışma kapsamında Rize ili Çayeli ilçesi ve çevresinin, heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması amaçlanmıştır.

Doğu Karadeniz Bölümü’nde yer alan Çayeli ilçesi ve çevresinde 23 Temmuz 2002 tarihinde sağanak şeklinde yağın şiddetli yağış sonucunda çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu çalışmada öncelikle, bu tarihte yağışların tetiklediği heyelan alanları uzun süreli arazi çalışmaları ile belirlenmiş ve heyelan envanteri oluşturulmuştur. Üretilen parametre haritaları mevcut heyelanlarla ilişkilendirilerek frekans oranı değerleri belirlenmiştir. Daha sonra ağırlık değerleri hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

İNCELEME ALANI VE JEOLJİ

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölümü’nde Rize iline bağlı Çayeli ilçesi ve çevresinde yaklaşık 160 km²’lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Karadeniz Bölgesi’ne özgü, ılıman ve her mevsim bol yağışın hüküm sürdüğü inceleme alanında 1975 - 2006 yılları arasında ölçülen yıllık ortalama yağış miktarı 2238 mm’dir (MİGM, 2007).

Yörede sahil kesiminden itibaren iç kesimlere doğru gidildikçe âni yükselen yamaçlar yer almaktadır. Bu yamaçların ortalama eğimleri 0° - 20° arasında değişmektedir. Bölgenin morfolojik yapısına uygun olarak çok sayıda düzenli ve düzensiz akış rejimine sahip akarsu mevcut olup, bunlar dentritik bir drenaj ağı oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki dereler, 8 - 10 km’lik akış mesafelerinde yaklaşık 1000 m’ye ulaşan kot farkına sahip eğimli vadiler içerisinde akmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

Bu durum akış hızını artırmakta ve daha fazla miktarda malzemenin taşınmasına neden olmaktadır. Hemen hemen her mevsim bol yağışlı bir iklimin hüküm sürmesi, yörede bitki örtüsünün gür ve çeşitli olmasına neden olmuştur.

Rize ilinin de içerisinde yer aldığı Doğu Karadeniz Bölümü, çok geniş anlamda Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura - Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayayı dizisinin bir parçasıdır (Korkmaz ve Gedik, 1988). Jeolojik evrime bağlı olarak, yörede volkanik kayalar egemendir. Sedimanter kökenli kayalar çok az ve genellikle arakatki şeklinde gelişmiştir.

İnceleme alanında yüzeylenen en yaşlı birimi Santoniyen - Maastrichtiyen yaşlı

Hemşindere Formasyonu oluşturmaktadır (Şekil 2). Formasyon, yer yer kırmızı renkli kireçtaşı, kumtaşı ve marn arakatıkları içeren dasit, andezit - bazalt ve piroklastitlerinden oluşmuştur. Bu birime ait kayalar, yoğun bir şekilde hidrotermal ve yüzeysel ayrışmaya uğramıştır. Asidik karakterli olan intrüzif kayalar inceleme alanında Hemşindere Formasyonu'nu keserek yerleşmişlerdir (Korkmaz ve Gedik, 1988).

İnceleme alanındaki Hemşindere Formasyonu'nun üzerine uyumsuz olarak Melyat Formasyonu gelmektedir (Korkmaz ve Gedik, 1988). Formasyon, masif ve kötü katmanlanma gösteren andezit - bazalt ve piroklastitlerinden (tüf, volkanik breş ve aglomeralardan) oluşmaktadır. Birim içerisinde boyutları birkaç

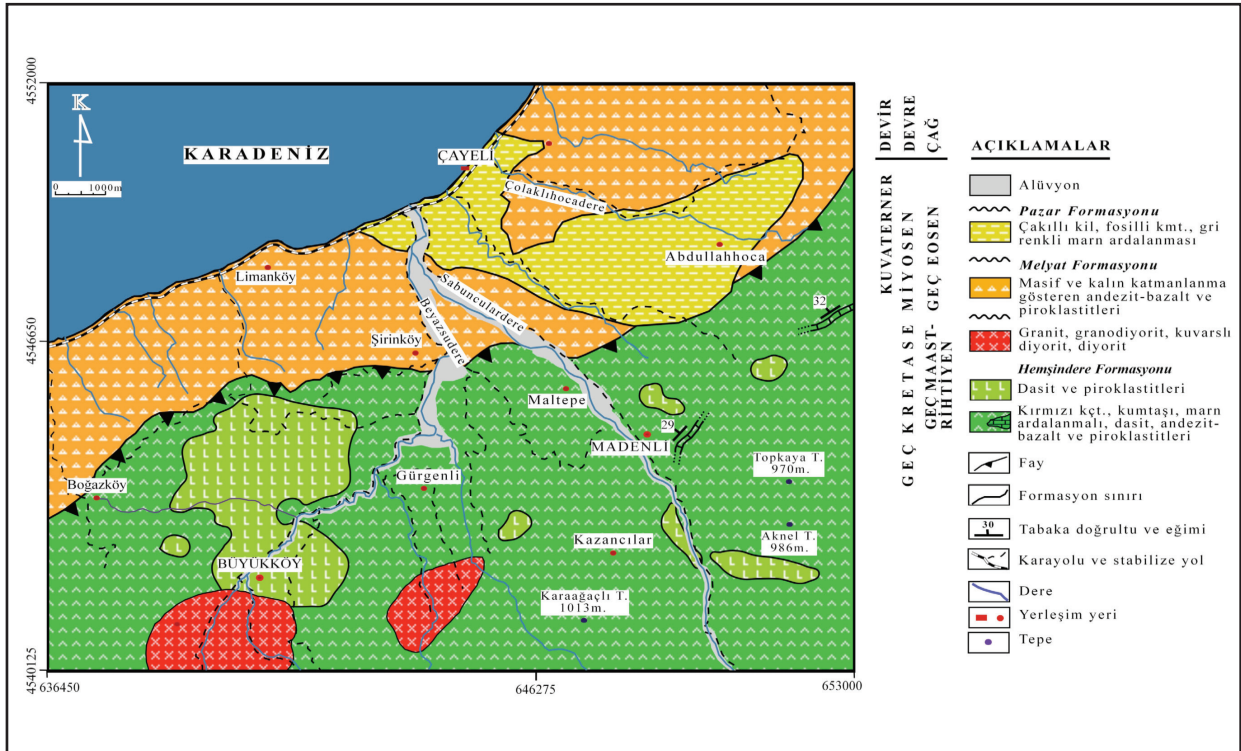
cm'den bir metreye kadar değişen volkanik kökenli bloklar yer almaktadır. Bu formasyona ait andezit ve bazaltlar Geç Kretase yaşlı volkanik kayalara oranla daha sağlamdır.

Melyat Formasyonu üzerine açılal uyumsuzlukla Sarmasiyen yaşlı Pazar Formasyonu gelmektedir. Pazar Formasyonu, tabanda yer yer çakıltaşları ile başlayıp üste doğru kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı arakatıkları içeren gri renkli marn ardalanmasıyla devam etmektedir.

Jeolojik olarak en genç birimleri taraça ve alüvyonlar oluşturmaktadır. Taraça ve alüvyonlar daha çok büyük dere yatakları ve denize yakın

kesimlerde görülmektedir. Bunlar alttaki yaşlı birimlerden türeyen değişik boyuttaki volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmalı güncel oluşuklardır. Yine inceleme alanındaki kuru derelerin içerisinde ve yamaçların eteklerinde yamaç molozları gözlenmektedir. Yamaç molozları, blok boyutundan ince taneli malzeme boyutuna kadar değişen çaplardaki malzemelerin karışımından oluşmuştur.

Bu birimlerin inceleme alanı içerisindeki dağılım ve ilişkileri 1:25000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 2). Ayrıca kaya birimleri ve özellikleri genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitte verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Korkmaz ve Gedik 1988'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the study area (modified from Korkmaz and Gedik, 1988).

ZAMAN DEVİR	DEVRE	ÇAĞ	FORMASYON	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	TERSİYER	MIYÖSEN	PAZAR	30-100 m		Alüvyon
	EOSEN	IPRESİYEN LÜTESİYEN	MELYAT	500 m		Masif ve tabakalanma gösteren andezit-bazalt ve piroklastitleri
MESOZOYİK	KRETASE	GEÇ KRETASE	SANTONİYEN-ERKEN MAASTRİHTİYEN	HEMŞİNDERE	3500-5000 m	Andezit-bazalt ve piroklastitleri
						Kumtaşı, marn ve kırmızı kireçtaşı
						Dasit
						Andezit-bazalt ve piroklastitleri
						Kırmızı kireçtaşı
						Granit, granodiyorit, kuvarslı diyorit, diyorit, mikrogranit ve gabro
						Dasit ve dasitik tuf
						Andezit-bazalt ve piroklastitleri

Ölçeksizdir

Şekil 3. İnceleme alanına ait geliştirilmiş stratigrafik kolon kesit (Korkmaz ve Gedik, 1988).

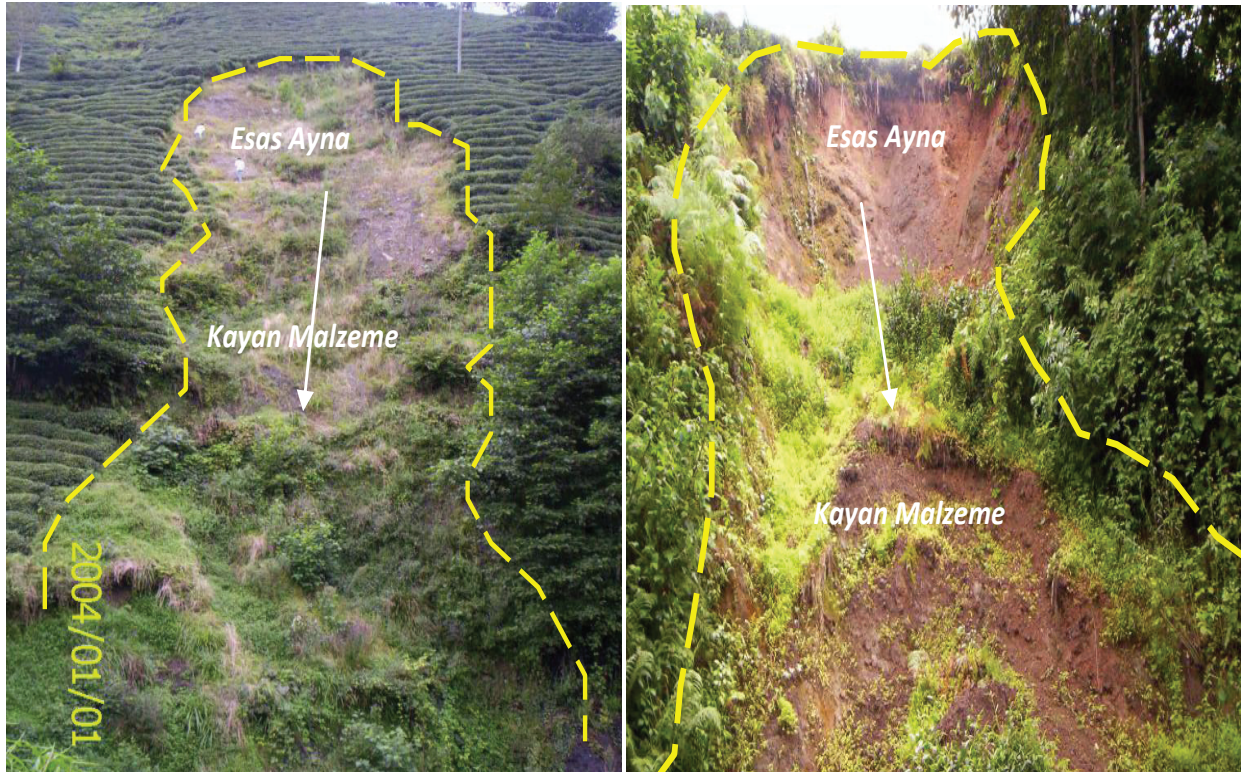
Figure 3. Generalized stratigraphical columnar section of the study area (Korkmaz and Gedik, 1988).

HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelanların alansal dağılımını gösteren

haritalardır. Bu tür haritalarda heyelanların türleri, yerleri ve biliniyorsa oluşma zamanları belirtilmektedir. Çalışma alanı içerisinde tespit edilen heyelanlar, daha ziyade akma ve dairesel kayma şeklinde olup hareket eden malzeme yüzeyden itibaren fazla derinliğe sahip değildir



Şekil 4. Çalışma alanındaki heyelanların görünümü.

Figure 4. A view of landslides in study area.

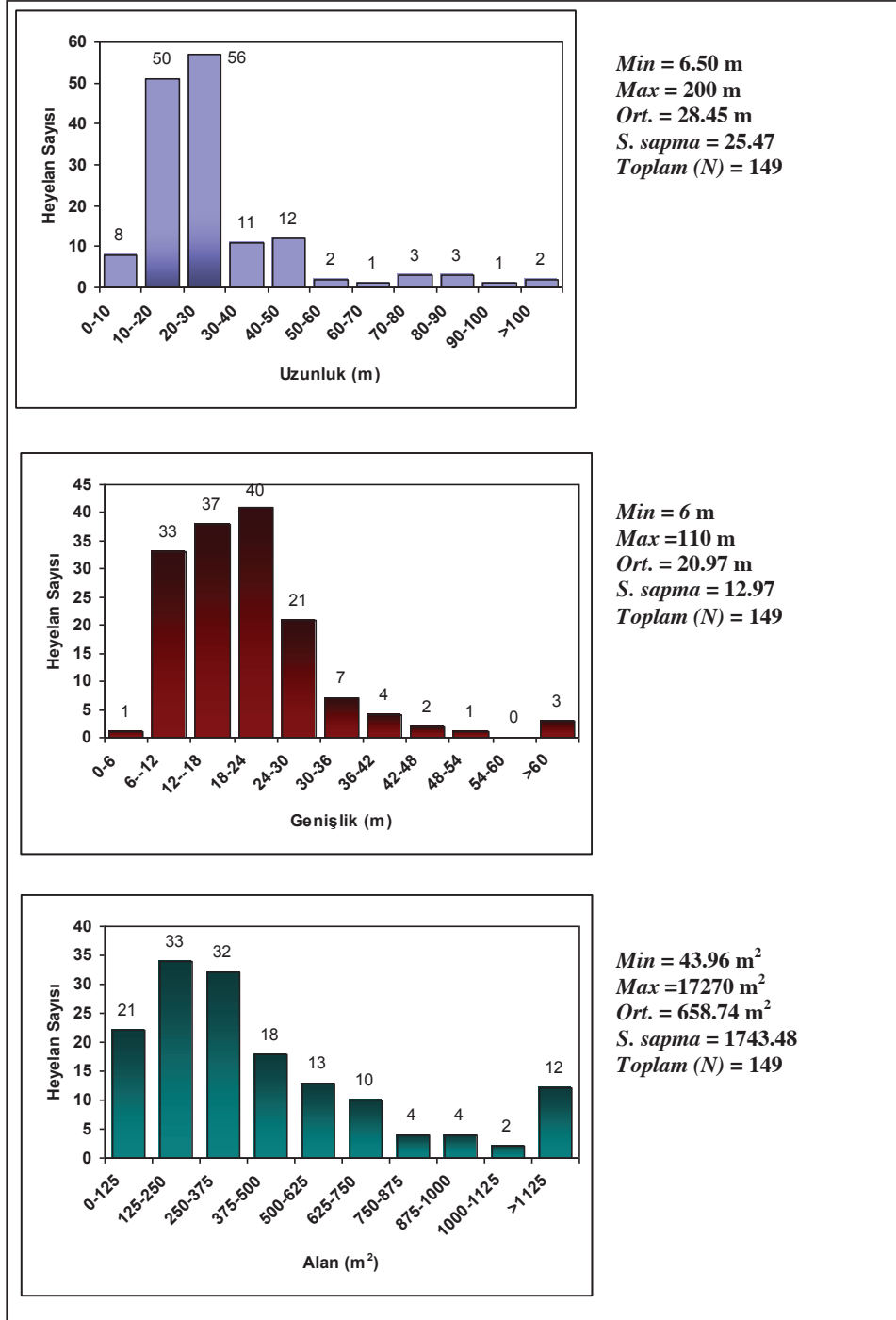
(Şekil 4). Birçoğu çaylık alanlar içerisinde gelişen bu heyelanlar, çay bitkisinin kısa sürelerde yetişmesi nedeni ile çabuk kapanmaktadır. Gerek mevcut heyelanlara ait alanların küçük olması gerekse bu alanların çabuk kapanmasından dolayı heyelan envanter haritasının hazırlanmasında doğrudan arazi çalışmalarından yararlanılmıştır

İnceleme alanında yapılan saha çalışmaları sonucunda 149 adet heyelan belirlenmiştir. Mevcut heyelanların boyutsal değişimleri hazırlanan histogramlarda verilmiştir (Şekil 5).

Heyelanlara ilişkin ölçülen değerler dikkate alındığında, ortalama uzunlukları 28.45

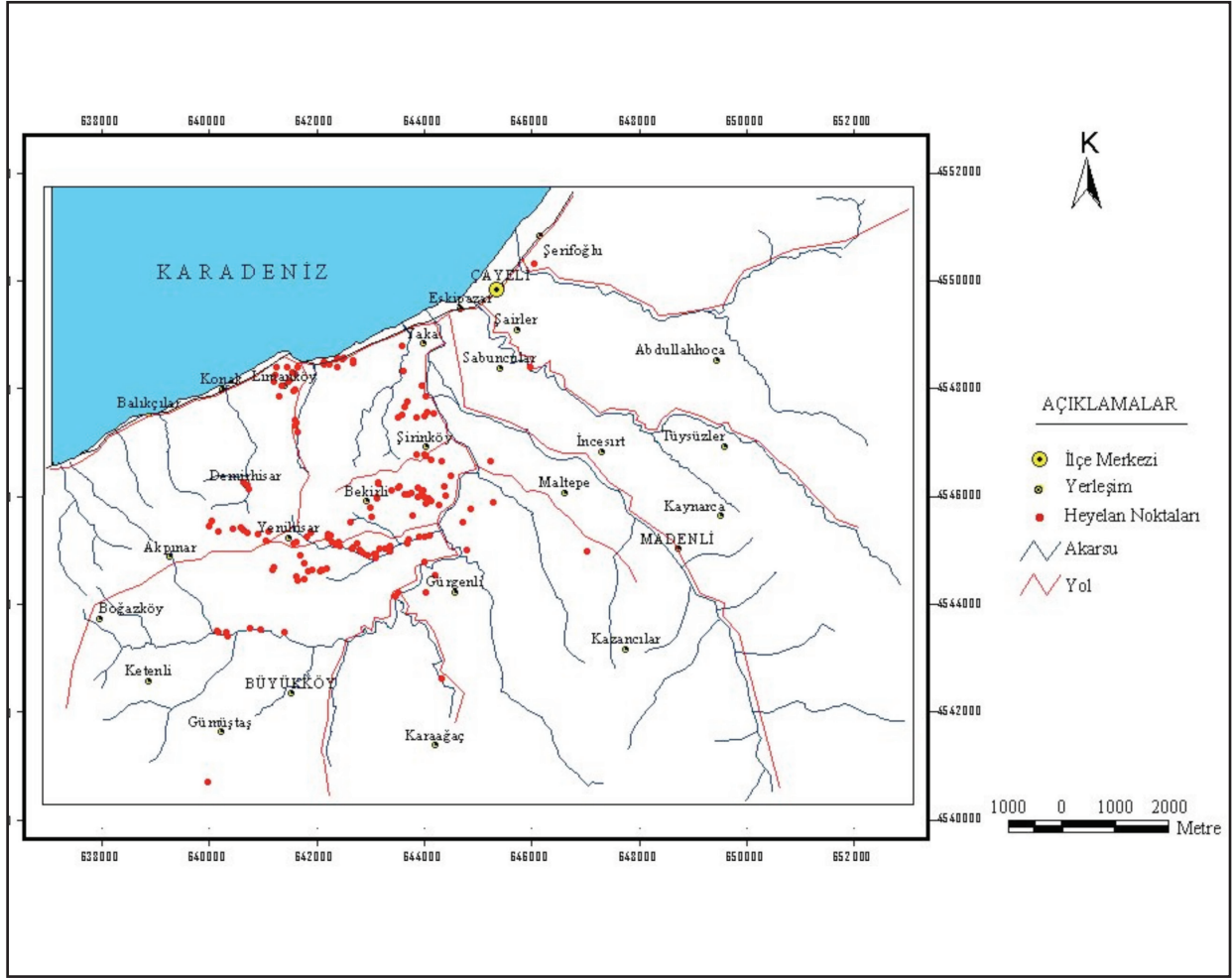
m ve ortalama genişlikleri 20.97 m olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki 149 adet heyelanın alansal ortalamaları 658.74 m² ve toplam alanları 98,151 m² olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki heyelanların boyutları, 1:25000 ölçekli topoğrafik haritada gösterilemeyecek kadar küçüktür. Bu nedenle mevcut heyelanlar, envanter haritasında ölçek göz önüne alınmaksızın, el GPS aleti ile ölçülen, heyelan başlangıç bölgesine ait koordinat değerleri dikkate alınarak haritaya işaretlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Heyelanların uzunluk, genişlik ve alanlarına ilişkin histogramlar.

Figure 5. Histograms regarding the lengths, widths and areas of landslides.



Şekil 6. İnceleme alanının heyelan envanter haritası.

Figure 6. Landslide inventory map of the study area.

Litoloji-Ayrışma

Heyelanların oluşabileceği zemin veya kaya ortamının fiziko-mekanik özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma dayanımı parametreleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı olan duyarlılığı da farklı olmaktadır.

Litolojik anlamda dikkate alınan önemli bir unsur da kayaların ayrışmasıdır. Mineral ve kayalarda 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

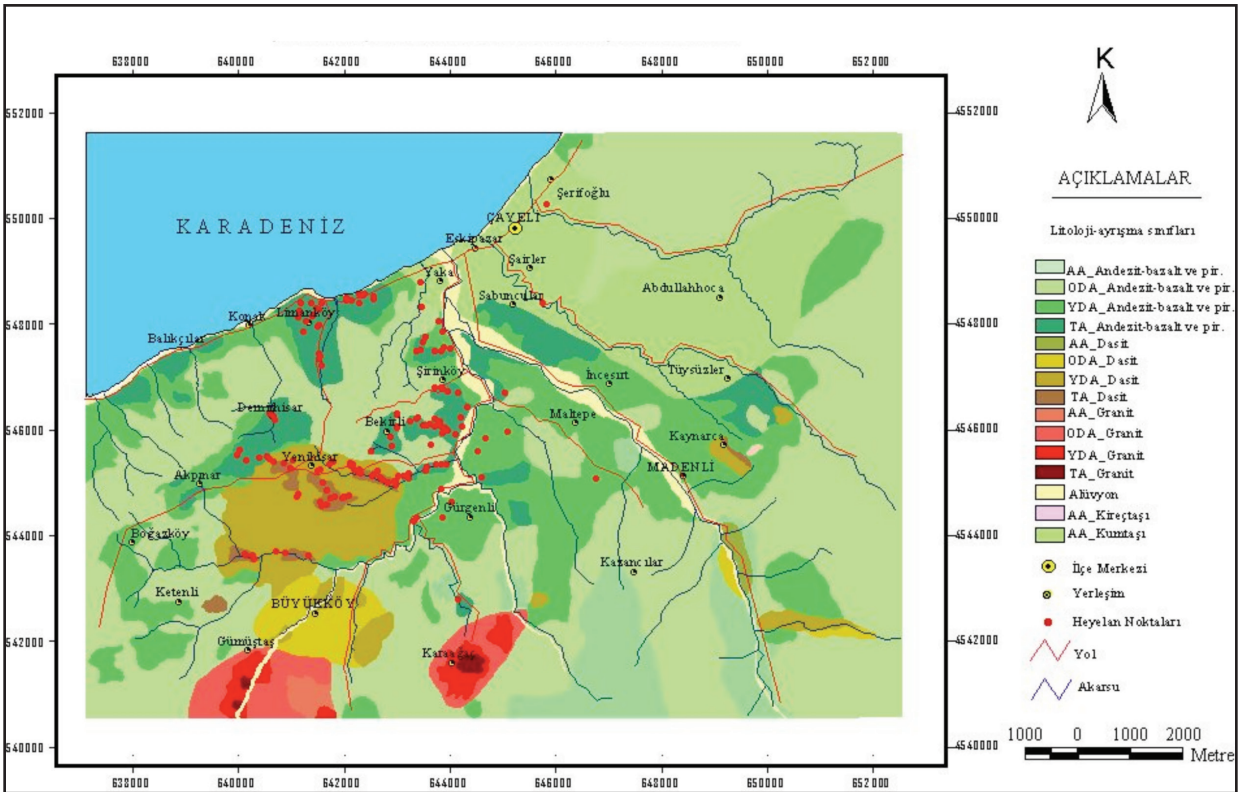
Dağ ve Bulut

da açıkça görülmüştür. Arazide litolojik birimler, çoğunlukla farklı ayrışma derecesinde, duraylılık açısından farklılıklar sunmaktadır. Özellikle tamamen ayrıışmış ve kalıntı zemin özelliğindeki malzemelerde heyelan sayısı, az veya orta derecede ayrıışmış litolojilere oranla çok daha fazladır.

Gerek litoloji gerekse litoloji-ayrışma parametresi, araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik pek çok çalışmada kullanılmıştır (Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Çevik ve Topal, 2003, Yeşilnacar ve Topal, 2005; Çan vd., 2005; Dağ vd., 2006; Dağ, 2007; Akgün

ve Bulut, 2007; Akgün vd. 2008; Nefeslioğlu vd., 2008; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Akgün ve Türk, 2010a,b).

İnceleme alanında yüzeyleyen kayaçlar, fiziksel ve özellikle kimyasal faktörlerin etkisiyle değişik derecelerde ayrıışmışlardır. Arazide yapılan detaylı incelemeler ve gözlemsel çalışmalarla kayaçların ayrışma dereceleri, ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflandırılmış ve ayrışma haritası üretilmiştir. Hazırlanan litoloji-ayrışma haritası üzerine arazide belirlenen heyelanlar işaretlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. İnceleme alanının litoloji-ayrışma haritası

Figure 7. Lithology-weathering map of the study area

Çalışma alanında yer alan farklı ayrışma derecesine sahip birimlerin ve bu ayrışma derecelerine ait parametre sınıflarındaki

heyelanların kapladığı toplam alanların % dağılımı hesaplanmıştır. (Çizelge 1).

Çizelge 1. Litoloji-ayrışma sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Table 1. Relations between lithology-weathering classes and landslides.

Litoloji Ayrışma	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	%B/A
1	13101	5.15	0	0.00	0.0000
2	114157	44.84	4	2.68	0.0035
3	44941	17.65	10	6.71	0.0223
4	15291	6.01	81	54.36	0.5297
5	675	0.27	0	0.00	0.0000
6	4708	1.85	0	0.00	0.0000
7	13508	5.31	15	10.07	0.1110
8	2008	0.79	32	21.48	1.5936
9	891	0.35	0	0.00	0.0000
10	4880	1.92	0	0.00	0.0000
11	2357	0.93	1	0.67	0.0424
12	395	0.16	0	0.00	0.0000
13	7521	2.95	3	2.01	0.0399
14	76	0.03	0	0.00	0.0000
15	30101	11.82	3	2.01	0.0100
Toplam	254610	100	149	100	2.3524

Çizelge 1'deki litoloji-ayrışma sınıfları; 1- Az ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 2- Orta derecede ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 3- Yüksek derecede ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 4- Tamamen ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 5- Az ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 6- Orta derecede ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 7- Yüksek derecede ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 8- Tamamen ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 9- Az ayrışmış granit, 10- Orta derecede ayrışmış granit, 11-Yüksek derecede

ayrışmış granit, 12- Tamamen ayrışmış granit, 13- Alüvyon, 14- Az ayrışmış kireçtaşı, 15- Az ayrışmış kumtaşı

Frekans oranı hesaplanırken, önce parametre sınıfı içerisindeki heyelanlı pikseller (B) aynı parametre sınıfındaki piksel sayısına (A) bölünmüştür. Sonra bu iki değer birbirine oranlanarak % B/A değerleri belirlenmiştir. Benzer işlemler duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılacak olan tüm parametreler için gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde en fazla alana (% 44.84) orta derecede ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastitleri sahiptir. Tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastitleri % 54.36 ile en fazla heyelanlı alana sahip sınıf özelliğindedir. Bu sınıfı % 21.48 ile tamamen ayrılmış dasit ve piroklastitleri izlemektedir. Frekans oranı değerleri dikkate alındığında toplam alan içerisindeki dağılımları diğer birimlere oranla daha az olmasına rağmen mevcut alansal dağılım içerisindeki heyelanlı alanları fazla olduğu için tamamen ayrılmış dasit ve piroklastitleri en yüksek frekans oranı değerine sahiptir (Çizelge 1). Bu değer aynı zamanda birimin heyelana olan duyarlılığının da bir göstergesidir.

Yamaç Eğimi

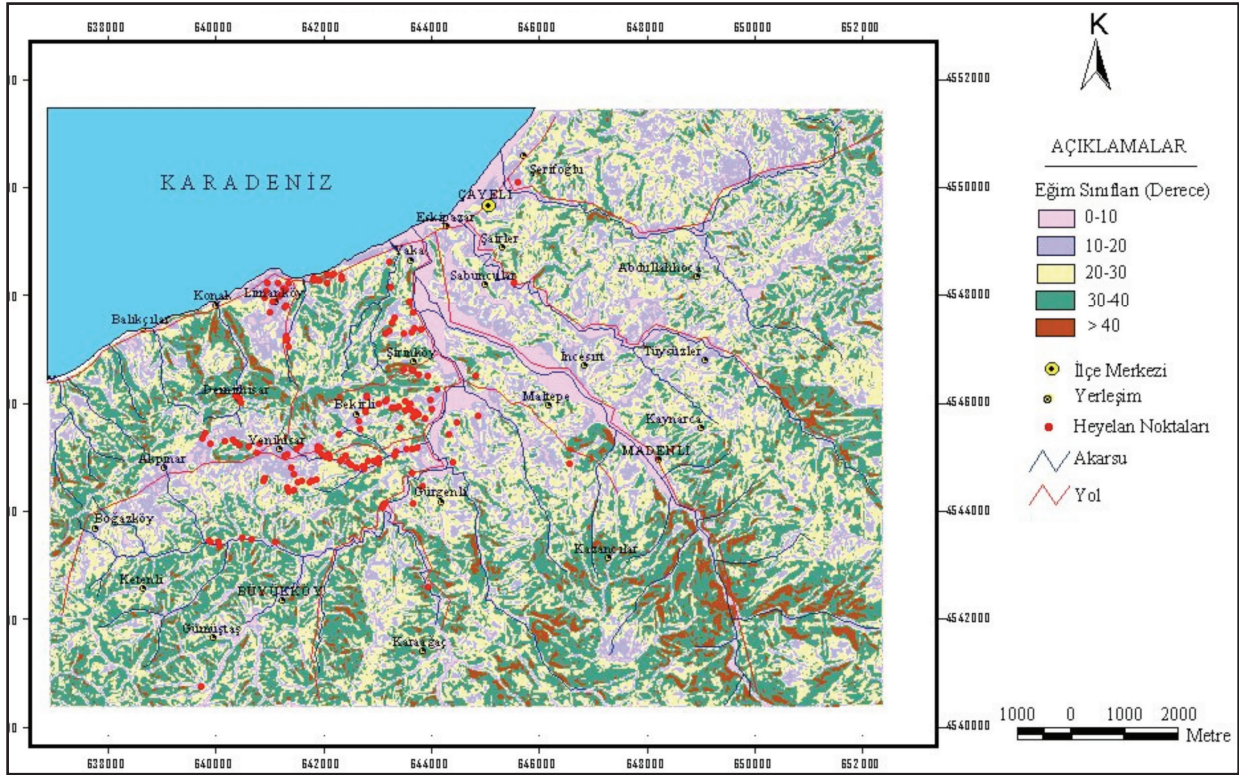
Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda doğrudan etkilidir. Duyarlılık çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan bu parametre üzerinde araştırmacılar arasındaki genel eğilim, yamaç eğiminin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın da artacağı yönündedir. (Santacana vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Ayalew vd., 2004; Lee, 2005; Fell vd., 2008). Buna karşın düşük eğim değerindeki yamaçlarda da heyelanların oluştuğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Örneğin Temesgen vd. (2001) ve Ayalew ve Yamagishi (2005) tarafından yapılan çalışmalarda heyelanların çoğunlukla 20°nin altında, düşük eğime sahip yamaçlarda gerçekleştiği belirtilmektedir.

Araştırmada topoğrafik özellikler belirlenirken öncelikle inceleme alanını

kapsayan 1:25000 ölçekli topoğrafik paftalar taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılmıştır. Daha sonra bilgisayar ortamında eşyükseklik eğrileri 10 m aralıkla sayısallaştırılmıştır. Resim koordinatlarında elde edilen vektörel veriler, afin dönüşümü ile UTM (*Universal Transverse Mercator*) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu eğrilere yükseklik değerleri girilerek düzensiz üçgen ağları (TIN; *Triangulated Irregular Network*) veri yapısında çalışma alanının üç boyutlu sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında piksel boyutu 25 m olarak seçilmiştir. Yapılan analizlerde de 25x25m'lik grid ağı temel alınmıştır. Bu seçimin yapılmasında kaynak veri ölçeği dikkate alınarak, harita çözünürlüğü belirlenmiştir (Wilson ve Gallant, 2000). Ayrıca heyelan alanlarının küçüklüğü göz önüne alındığında, mevcut heyelanları temsil edecek en iyi piksel boyutunun 25x25 m olacağı düşünülmüştür.

Daha sonra sayısal yükseklik modelinden hareketle çalışma alanında topoğrafik parametrelere (yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yükseklik) ilişkin haritalar üretilmiştir.

İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim haritası üretilmiştir (Şekil 8). Eğim haritası farklı sınıflara ayrılarak farklı eğim aralıkları belirlenmiştir. Çalışma alanında belirlenen ve haritalanan heyelanlar eğim haritası ile çakıştırılarak eğim değerleri ile heyelan oluşumu arasındaki ilişki belirlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 8. İnceleme alanına ait eğim haritası.

Figure 8. Slope map of the study area.

Çizelge 2. Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Table 2. Relations between slope classes and landslides

Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	Frekans Oranı %B/A
0-10	18698	7.34	19	12.75	0.1016
10-20	49073	19.27	38	25.50	0.0774
20-30	93998	36.92	60	40.27	0.0638
30-40	81779	32.12	29	19.46	0.0355
> 40	11062	4.34	3	2.01	0.0271
Toplam	254610	100	149	100	0.3054

İnceleme alanındaki eğim değerleri 20° ile 40° arasında yoğunlaşmaktadır. Bu aralığa karşılık gelen eğim değerlerinin toplam alan içerisindeki oranı yaklaşık olarak % 70 civarındadır. Buna karşılık heyelanlı alanlar dikkate alındığında mevcut heyelanların % 66'sının 10°-30° arasında değişen eğim değerlerine sahip yamaçlarda geliştiği görülmektedir (Çizelge 2).

İnceleme alanında özellikle düşük eğim değerine sahip yamaçlarda frekans oranı değeri yüksek çıkmıştır. Bu durum çalışma alanında bu eğim aralığının heyelan oluşumunda önemli olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu eğim aralığı yerleşim alanı ve tarımsal alanlara karşılık

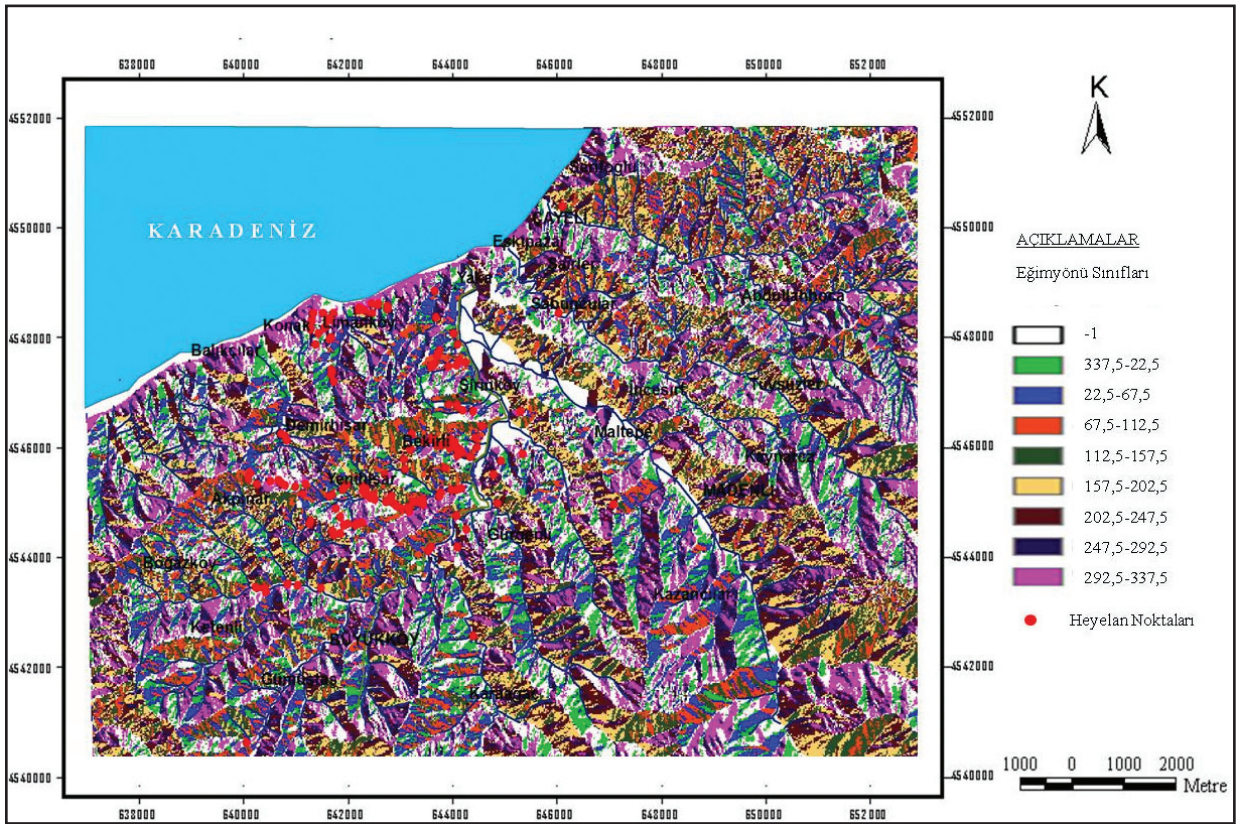
gelmekte ve dolayısıyla da bu sınıf aralıklarında heyelan değerleri yüksek çıkmaktadır.

Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

Birçok çalışmada araştırmacılar yaptıkları istatistiksel değerlendirmelerde heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaştığını ifade etmiştir. Bu araştırmacıardan Gökçeoğlu ve Aksoy, (1996), Dai vd., (2001) ve Lee vd., (2001) heyelanların belirli yönelimlerde yoğunlaşmasının nedenini ağırlıklı olarak yağışla

ilişkilendirirken, Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) bu durumu sahanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmektedir. Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında özellikle bölgenin genel yağış yönü, sahanın genel morfolojik yapısı, güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır.

Bu çalışmada yamaç eğim yönü ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için inceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim yönü haritası üretilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. İnceleme alanına ait eğim yönü haritası.

Figure 9. Slope aspect map of the study area.

Üretilen eğim yönü haritası, farklı yamaç eğim yönleri dikkate alınarak 9 sınıfa ayrılmıştır. Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak

çalışma alanındaki eğim yönü sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Yamaç eğim yönü ile heyelanlar arasındaki ilişkiler.
Table 3. Relations between slope aspect and landslides.

	Eğim yönü Sınıfları	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
		Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	%B/A
1	Düz	4107	1.61	1	0.67	0.0243
2	Kuzey	30132	11.83	25	16.78	0.0830
3	Kuzeydoğu	26336	10.34	23	15.44	0.0873
4	Doğu	24042	9.44	13	8.72	0.0540
5	Güneydoğu	28986	11.39	19	12.75	0.0655
6	Güney	31673	12.44	21	14.09	0.0663
7	Güneybatı	34594	13.59	21	14.09	0.0607
8	Batı	35040	13.76	12	8.06	0.0342
9	Kuzeybatı	39700	15.60	14	9.40	0.0352
	Toplam	254610	100	149	100	0.5105

Çizelge 3 incelendiğinde; heyelanlı alanların oranı kuzeye bakan yamaçlarda (% 16.78) diğerlerine oranla fazladır. Çalışma alanı içerisindeki çoğu heyelan (% 32.22), kuzey-kuzeydoğu yönde gelişen yamaçlarda meydana gelmiştir. Frekans oranı değeri de bu yönlerdeki yamaçlarda diğer yönlerle oranla daha yüksektir. Ancak bu fark çok belirgin olmayıp göreceli bir değerdir.

Yükseklik

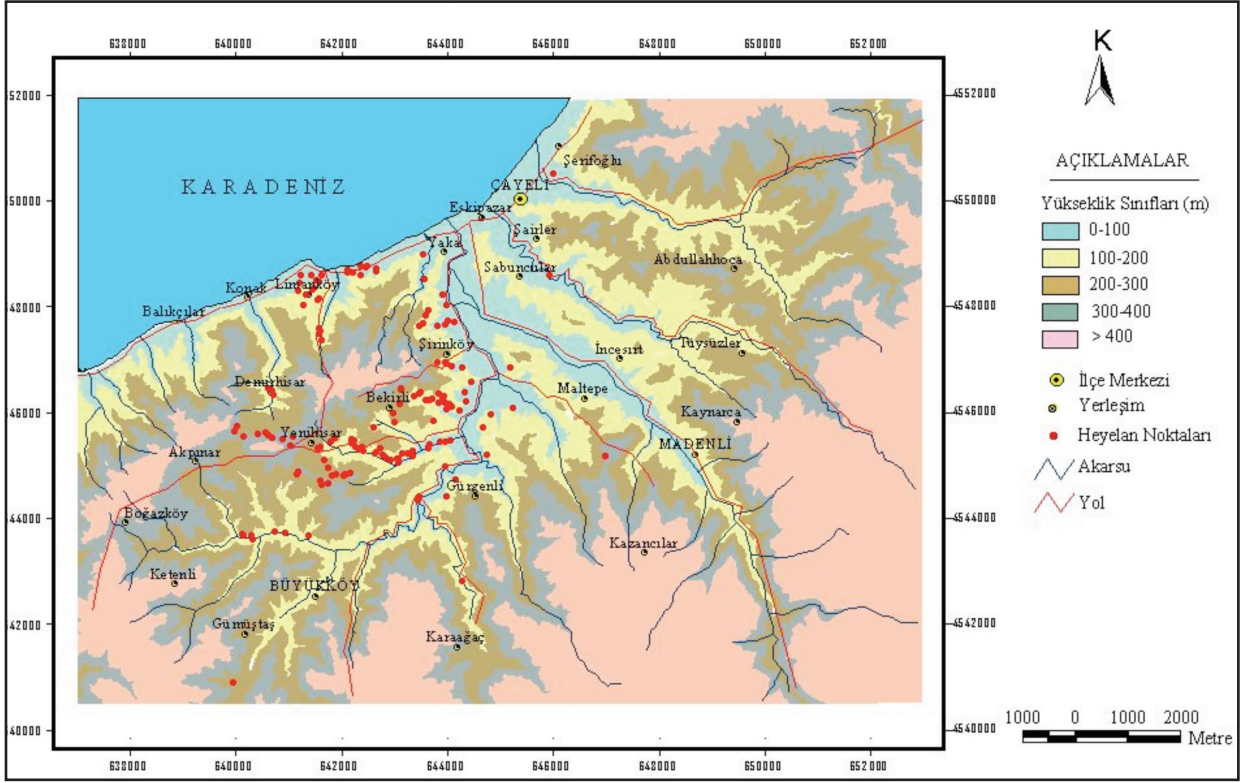
Heyelan duyarlılık analizlerine yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada inceleme alanına ait yükseklik haritası sayısal yükseklik modelinden üretilmiş

ve 5 farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 10). Daha sonra bu yükseklik değerleri heyelan alanları ile karşılaştırılarak yükseklik ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4 incelendiğinde; çalışma alanının yaklaşık % 70'lik bir kesiminin yüksekliği 100 - 400 m arasında değişmektedir. İnceleme alanında 400 m'nin üzerindeki yükseklikler ise toplam alanın % 30'unu oluşturmaktadır. Heyelanlı alanların sınıflar arasındaki % dağılımları incelendiği zaman, mevcut heyelanların yaklaşık % 78'inin 0 - 200 m yükseklikleri arasında olduğu anlaşılmaktadır. Frekans oranı değeri de 0 - 200 m yükseklikleri arasında daha fazladır. Bu durumun yörede düşük kotlarda gerçekleştirilen çay tarımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dağ ve Bulut



Şekil 10. İnceleme alanına ait yükseklik haritası.

Figure 10. Elevation map of the study area.

Çizelge 4. Yükseklik değerleri ile heyelanların ilişkisi.

Table 4. Relations between elevations and landslides.

Yükseklik Sınıfları (m)	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı %B/A
	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	
0-100	25607	10.06	46	30.87	0.1796
100-200	46441	18.24	70	46.98	0.1507
200-300	57345	22.52	23	15.44	0.0401
300-400	47342	18.59	10	6.71	0.0211
> 400	77875	30.59	0	0.00	0.0000
Toplam	254610	100	149	100	0.3915

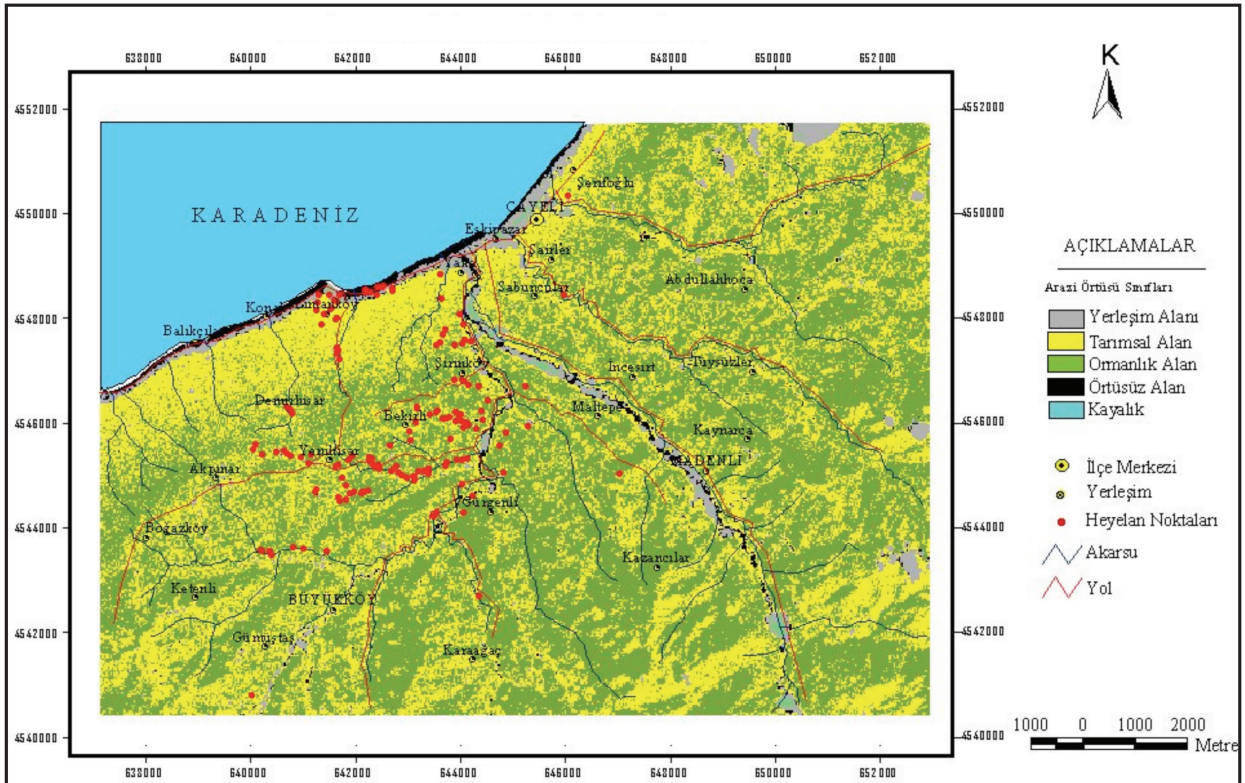
Arazi Örtüsü

Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Özellikle güçlü ve büyük kök sistemleri ile bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Ancak, kök ve gövdeler zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak, yüzey sularının zemin içerisine doğru girmesini kolaylaştırmaktadır. Genel olarak, bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir (Dağ, 2007).

Çalışma alanına ait arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında, 12 Temmuz 2004 tarihli, 15x15 m çözünürlüklü ASTER L3A uydu görüntüsünden

yararlanılarak, kontrollü sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma yöntemi olarak En Yüksek Olabilirlik (Maksimum Likelihood) Algoritması kullanılmıştır. Arazi çalışmaları ile elde edilen verilerin, görüntü üzerindeki spektral karakteristikleri, görüntünün tamamının sınıflandırılması için kullanılmıştır. Daha sonra sınıflar arasında en iyi ayrımı sağlayacak bantlar seçilmiş ve çalışma alanına ait arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur (Şekil 11).

Daha sonra, çalışma alanındaki arazi sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki % dağılımları ve frekans oranı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5).



Şekil 11. İnceleme alanına ait arazi örtüsü haritası

Figure 11. Land cover map of the study area

Dağ ve Bulut

Çizelge 5. Arazi örtüsü sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Table 5. Relations between land cover classes and landslides.

Arazi Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	Frekans Oranı %B/A
Yerleşim Alanı	10057	3.95	5	3.36	0.0497
Tarımsal Alan	102437	40.23	78	52.35	0.0761
Ormanlık Alan	137261	53.91	65	43.62	0.0474
Örtüsüz Arazi	4157	1.63	1	0.67	0.0241
Kayalık	698	0.27	0	0.00	0.0000
Toplam	254610	100	149	100	0.1973

Frekans oranı değeri en fazla tarımsal alanlarda gözlenirken, yerleşim alanları heyelan açısından 2. derecede önemli arazi örtüsü sınıfını oluşturmaktadır. Ormanlık alanlar toplam alanın % 53.91'ine sahiptir. Buna rağmen bu alanlarda frekans oranı değeri daha düşüktür. Bu durum tarımsal ve yerleşim alanlarının heyelana karşı daha duyarlı, ormanlık alanların ise heyelan açısından daha güvenilir olduğunu göstermektedir

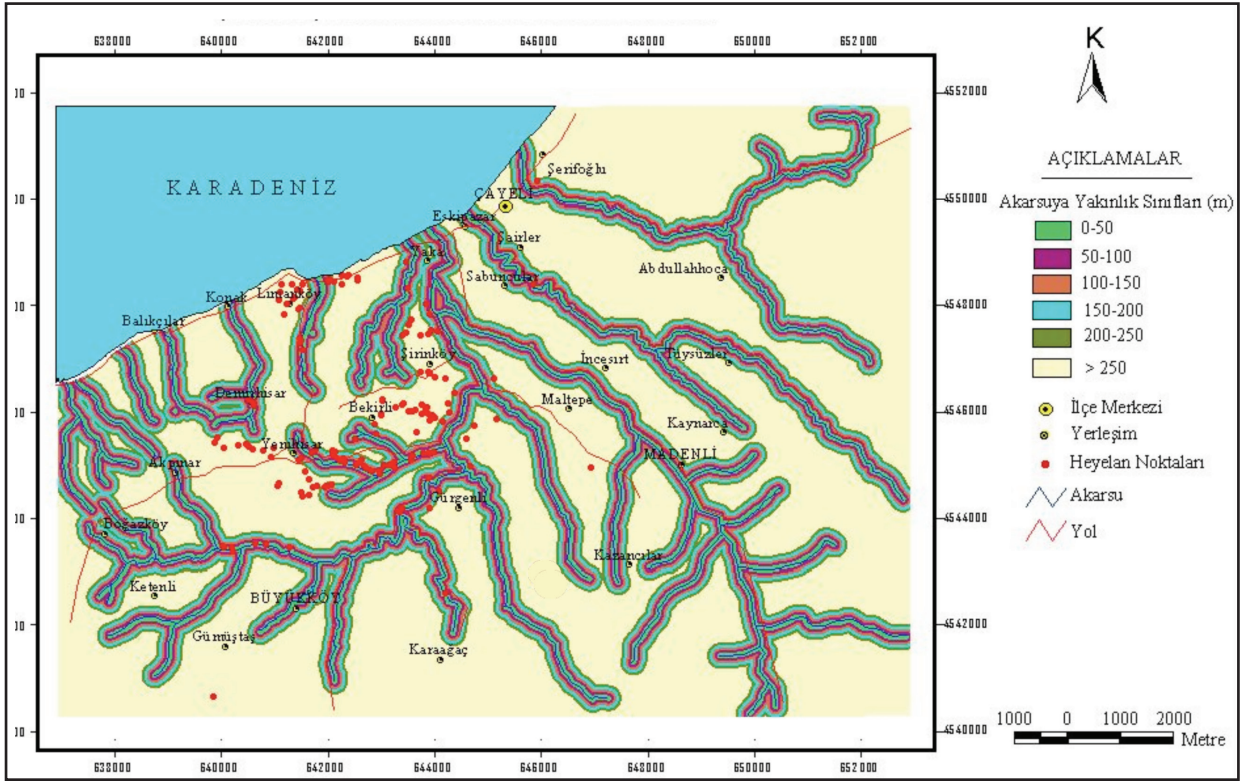
Akarsuya Yakınlık

Yamaçların drenaj ağına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Çünkü akarsular, yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik birçok çalışmada araştırmacılar saha gözlemlerinden yararlanarak akarsuya yakınlığı, heyelan değerlendirmelerinde bir parametre

olarak kullanmışlardır (Choubey vd., 1992; Guillande vd., 1993; Mejia-Nevarro ve Wohl, 1994; Fernandez vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Nagarajan vd., 2000; Peloquin ve Gwyn, 2000; Baeza ve Corominas, 2001; Barnard vd., 2001; Dai ve Lee, 2001; Çevik ve Topal, 2003, Lee vd., 2003, Nefeslioğlu vd., 2008; Akgün vd., 2008; Pradhan ve Lee, 2010).

Çalışma alanında, akarsuya yakınlık parametresinin heyelan oluşumuna etkisini belirlemek için 50 metre aralıklı 6 farklı tampon bölge oluşturulmuş ve akarsuya yakınlık haritası üretilmiştir (Şekil 12).

Yapılan analiz ile oluşturulan 6 farklı tampon bölgede, inceleme alanında akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanların kapladığı alanlar ile frekans oranı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6) İnceleme alanında oluşturulan tampon bölgelerin toplam alanları benzer dağılımlar göstermektedir. Heyelanlı alanlar ise 0 - 50 m arasında % 21.48 değeri ile önemli bir orandadır.



Şekil 12. İnceleme alanının akarsuya yakınlık haritası.

Figure 12. Proximity to stream map of the study area.

Çizelge 6. Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişki.

Table 6. Relations between proximity to stream classes and landslides.

Akarsuya yakınlık	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
Sınıfları (m)	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	%B/A
0-50	21270	8.35	32	21.48	0.1504
50-100	20747	8.15	14	9.40	0.0675
100-150	20363	8.00	9	6.04	0.0442
150-200	19711	7.74	11	7.38	0.0558
200-250	18823	7.39	9	6.04	0.0478
> 250	153696	60.37	74	49.66	0.0481
Toplam	254610	100	149	100	0.4138

Frekans oranı değerleri dikkate alındığında akarsuya yakın olan sınıflarda, bu değerlerin yüksek olduğu açıktır. Özellikle 0 – 50 m mesafede bu değerlerin büyüklüğü görülmektedir. Buradan hareketle, akarsulardan uzaklaştıkça yamaç duraysızlığı üzerinde suyun meydana getirebileceği etkinin azalacağı söylenebilir.

HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ VE PERFORMANSI

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

Bu çalışmada coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanında frekans oranı değerleri dikkate alınarak, parametrelerin ağırlık değerleri belirlenmiş ve çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Bu yöntemin temelini, analiz için kullanılan ve heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen her bir faktörün, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılması oluşturmaktadır. CBS ortamında raster formatındaki her bir parametre haritası, frekans oranı değerinin hesaplanması için, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmaktadır.

Çalışmada heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen ve değerlendirmeye alınan

parametrelerin ağırlık değerleri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Süzen, 2002):

$$W = 1000 \frac{B}{A} - 1000 \frac{\sum B}{\sum A}$$

Bu eşitlikte;

W: Parametre ağırlık değeri

B: Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı

A: Parametre sınıfındaki piksel sayısını vermektedir.

Parametre haritalarına ilişkin ağırlık değerlerinin pozitif olması ilgili parametrenin heyelan oluşumunda etkisinin olduğunu, negatif olması ise etkisinin göreceli olarak daha az olduğunu göstermektedir (Van Westen, 1993; Rautella ve Lakhara, 2000)

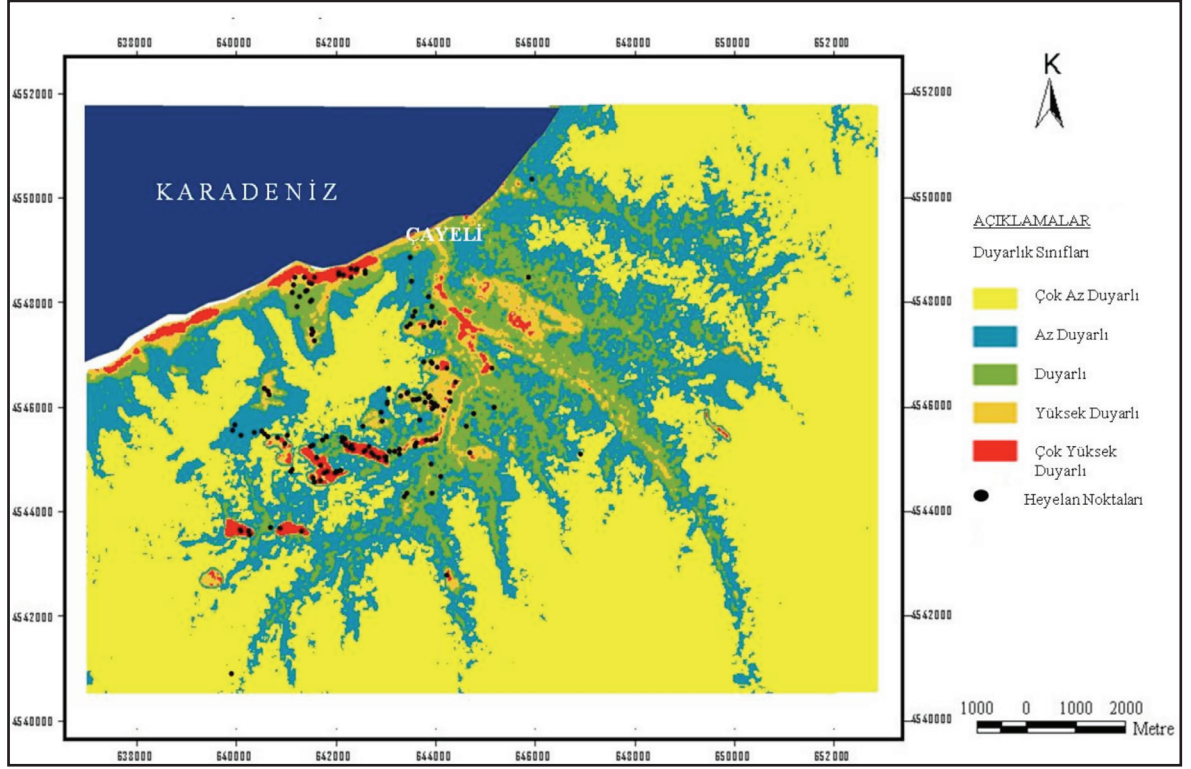
Daha sonra, hesaplanan bu değerler dikkate alınarak, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, “yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılmıştır (Şekil 13).

Üretilen haritanın performansını analiz etmek için, duyarlılık haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak duyarlılık sınıflarına ait toplam alanlar ve her bir sınıfa karşılık gelen heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır (Şekil 14). Duyarlılık haritalarında yüksek ya da çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanı içerisinde kapladıkları alanların en az olması istenirken, bu sınıflardaki heyelan yüzdelerinin yüksek olması gerekmektedir. Mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırıldığında mevcut heyelanların % 81’inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara karşılık geldiği belirlenmiştir (Şekil 14).

Çizelge 7. Parametre sınıfları ve ağırlık değerleri.

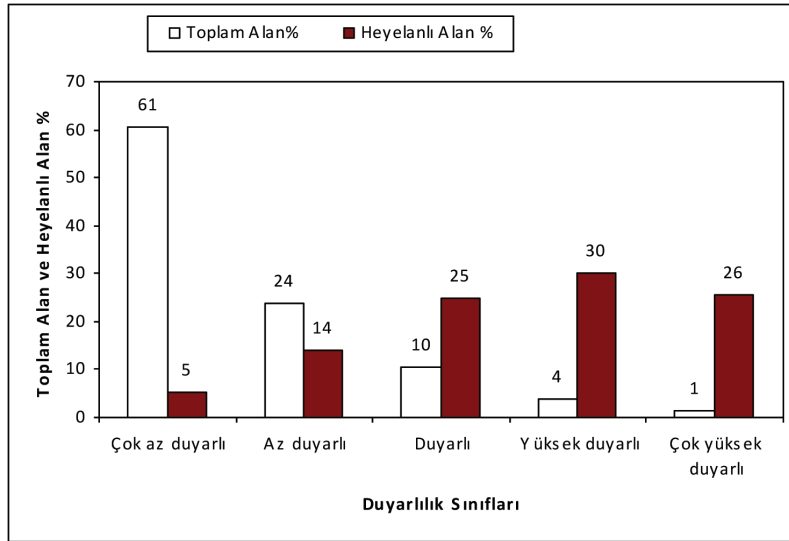
Table 7. Parameter classes and weighted values.

PARAMETRE SINIFLARI	Piksel Sayısı (A)	Heyelanlı Piksel (B)	Ağırlık Değerleri (1000x(B/A)) - (1000x(SB/SA))
Litoloji-Ayrışma			
1	13101	0	-0.59
2	114157	4	-0.55
3	44941	10	-0.36
4	15291	81	4.71
5	675	0	-0.59
6	4708	0	-0.59
7	13508	15	0.53
8	2008	32	15.35
9	891	0	-0.59
10	4880	0	-0.59
11	2357	1	-0.16
12	395	0	-0.59
13	7521	3	-0.19
14	76	0	-0.59
15	30101	3	-0.49
Toplam	254610	149	14.75
Eğim			
0-10	18698	19	0.43
10-20	49073	38	0.19
20-30	93998	60	0.05
30-40	81779	29	-0.23
> 40	11062	3	-0.31
Toplam	254610	149	0.13
Eğim Yönü			
Düz	4107	1	-0.34
Kuzey	30132	25	0.24
Kuzeydoğu	23336	23	0.40
Doğu	24042	13	-0.04
Güneydoğu	28986	19	0.07
Güney	31673	21	0.08
Güneybatı	34594	23	0.08
Batı	35040	10	-0.30
Kuzeybatı	39700	14	-0.23
Toplam	254610	149	-0.04
Yükseklik			
0-100	25607	46	1.21
100-200	46441	70	0.92
200-300	57345	23	-0.18
300-400	47342	10	-0.37
> 400	77875	0	-0.59
Toplam	254610	149	0.99
Arazi Örtüsü			
Yerleşim Alanı	10057	5	-0.09
Tarımsal Alan	102437	78	0.18
Ormanlık Alan	137261	65	-0.11
Örtüsüz Arazi	4157	1	-0.34
Kayalık	698	0	-0.59
Toplam	254610	149	-0.95
Akarsu Yakınlık			
0-50	21270	32	0.92
50-100	20747	14	0.09
100-150	20363	9	-0.14
150-200	19711	11	-0.03
200-250	18823	9	-0.11
> 250	153696	74	-0.10
Toplam	254610	149	0.63



Şekil 13. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası

Figure 13. Landslide susceptibility map of the study area



Şekil 14. Duyarlılık sınıfları ve mevcut heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Figure 14. Relations between susceptibility classes and existing landslides.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çayeli yöresinde 2002 yılı temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelen heyelanlar araştırılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Bu nedenle su toplama havzalarının kullanıldığı doğal sınır yerine inceleme alanının tamamı dikkate alınmıştır.

Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde, heyelan envanter haritası temel altlığı oluşturmuştur. Heyelana neden olabilecek faktörlerin seçiminde ise öncelikle çalışma alanına ait koşullar göz önüne alınmış ve arazi çalışmalarında yapılan gözlem ve incelemelerden yararlanılmıştır. Çalışmada, jeolojik parametre olarak litoloji-ayırışma, topoğrafik parametrelerden yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (baki), topoğrafik yükseklik ve akarsuya yakınlık ile çevresel parametrelerden arazi örtüsü kullanılmıştır.

Çalışmada, topoğrafik parametrelerin üretilmesinde 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalardan yararlanılmıştır. Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında piksel boyutu 25 m olarak seçilmiştir. Yapılan analizlerde de 25x25 m'lik grid ağı temel alınmıştır. Bunun gerekçeleri şöyle açıklanmaktadır:

- İnceleme alanı için heyelan alanlarına ilişkin ortalama değer 658.74 m² olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde heyelanların nokta olarak belirtildiği ve her bir heyelanın da bir pikselle ifade edildiği göz önüne alındığında, mevcut heyelanları en iyi temsil edecek piksel boyutunun 25x25 m olacağı düşünülmüştür.
- Literatürde benzer çalışmalarda çalışma ölçeği dikkate alındığında piksel boyutu bu

şekilde seçilmiştir (Ercanoğlu, 2003; Süzen, 2002).

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

Envanter haritasının hazırlanmasında arazi çalışmalarından yararlanılmıştır. Arazi çalışmasının tercih edilmesinin değişik nedenleri vardır. Çalışma alanı yoğun bitki örtüsü ile kaplıdır. Arazi örtüsünün büyük bir kısmını (yaklaşık olarak % 94) tarımsal ve ormanlık alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlar birbirleri ile iç içe olup ayırt edilmeleri son derece güçtür. Tarımsal faaliyetler yörede çoğunlukla çay tarımına yönelik olup, çay bitkisi kısa sürede yetişmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında çoğu çaylık alanlar içerisinde gerçekleşen bu tür heyelan alanları hem boyutlarının küçük olması hem de çay bitkisinin kısa sürede yetişmesi gibi nedenlerden dolayı kapanmakta ve mevcut heyelanların gözlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı envanter haritasının hazırlanmasında arazi çalışmaları tercih edilmiştir.

Arazide gözlenen mevcut heyelanlar çoğunlukla aynı litolojik birimlerin farklı ayırışma derecelerine ait sınıflarında farklılık sunmuştur. Özellikle tamamen ayırışmış ve kalıntı zemin özelliğindeki malzemelerdeki frekans oranı değerlerinin, az veya orta derecede ayırışmış litolojilere oranla çok fazla olduğu gözlenmiştir. Arazi inceleme ve gözlemlerine dayanarak litoloji parametresi tek başına değerlendirilmemiş, ayırışma derecesi de belirlenerek heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında

litoloji-ayırışma durumu bir parametre olarak kullanılmıştır. Arazide gerçekleştirilen ayırışma çalışmaları esnasında arazi detaylı bir şekilde incelenmiş ve farklı ayırışma derecesi gösteren alanların sınırları hassas bir şekilde takip edilmiştir. Nitekim belirlenen bu sınırlarda heyelanların dağılımları da farklı ayırışma derecelerinin önemini göstermektedir.

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

Çayeli (Rize) ilçesi ve çevresinde 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük süredeki meteorolojik anomaliye bağlı olarak

oluşan heyelanlara ait envanter ve duyarlılık haritasının hazırlanmasına yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- 1- Çalışma alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda 149 adet heyelan belirlenmiş ve heyelan envanteri oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki heyelanların dairesel kayma ve toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir.
- 2- İnceleme alanındaki heyelanların meydana gelmesini tetikleyen ana unsur aşırı ve şiddetli yağıştır. Heyelana neden olan diğer faktörler ise özellikle litolojik açıdan kayaların önemli oranda ayırışması, insanlar tarafından arazinin dikkatsiz kullanılarak ormanlık alanların tahrip edilmesi ve tarımsal alana çevrilmesi, yol ve kazı çalışmaları nedeni ile yamaç eğimlerinin değiştirilmesidir.
- 3- İnceleme alanına ait frekans oranı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre; tamamen ayırışmış dasit ve piroklastitlerinin, tamamen ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastitlerinin, yüksek derecede ayırışmış dasit ve piroklastitlerinin, 0 - 20 derece arasındaki eğim sınıflarının, kuzey-kuzeybatıya bakan yamaçların, 0 – 200 m arasındaki yükseklik sınıflarının, yerleşim alanı ve tarımsal alanların ve 0 – 100 m arası akarsuya yakınlık sınıflarının heyelan oluşumunda etkili oldukları tespit edilmiştir.
- 4- Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında, parametre sınıflarının ağırlık değerleri, heyelan alanları ve sınıf aralıklarına karşılık gelen toplam alanlardan yararlanarak belirlenmiştir.

Buna göre; litoloji-ayırışma parametresinin 14.75, eğimin 0.13, eğim yönünün -0.04, yüksekliğin 0.99, arazi örtüsünün -0.95 ve akarsuya yakınlık parametresinin 0.63 ağırlık değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

- 5- Ağırlık değerleri dikkate alınarak, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, “yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.
- 6- Üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda mevcut heyelanların % 81’inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara karşılık geldiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, üretilen haritanın kullanılabilirliğini göstermektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2004.118.002.01 kod numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında katkılarından dolayı MTA Genel Müdürlüğü personeli Dr. Hakan A. Nefeslioğlu’na teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akgün, A., Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S., 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.
- Akgün, A., Türk, N., 2010a. Landslide susceptibility mapping for Ayvalık (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Science*, 61, 595-611.
- Akgün, A., Türk, N., 2010b. İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34 (2), 85-112.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 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., 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., Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1251-1263.
- Barnard, P.L., Owen, L.A., Sharma, M.C., Finkel, R.C., 2001. Natural and human-induced landsliding in the Garhwal Himalaya of Northern India. *Geomorphology*, 40, 21-35.
- Choubey, V.D., Chaudhari, S., Litoria, P.K., 1992. Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri Districts P. Himalaya, India. *Proceeding 6th International Symposium on Landslides*, Christchurch, 911-917.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Duman, T.Y., 2005. Susceptibility assessments of

- shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72, 250-271.
- Çevik, E., Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949-962.
- Dağ, S., Bulut, F., Akgün, A., 2006. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanların değerlendirilmesi. 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 84.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 241 s (yayımlanmamış).
- Dai, F.C., Lee, C.F., Xu, Z.W., 2001. Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40 (3), 381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F., 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: A case study. *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 911-923.
- Donati, L., Turrini, M.C., 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: Application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63, 277-289.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide-Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach. *Environmental Geology*, 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi - Yenice Kuzeyi)" Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 203 s. (yayımlanmamış).
- Environmental Systems Research Institute, 1996, Using ArcView GIS, United States of America.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, 85-98.
- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R., Montero, J.C., 1999. Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surface Process and Landforms*, 24, 537-544.
- Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowich, J., Deffontaines, B., Parrot, J.F., 1993. Cartographie automatique de zones a aleas de mouvement de terrain sur l'île de Tahiti a partir de donnees digitales. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 164 (4), 577-583.
- Gökçeoğlu, C., 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.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods; Rock Characterization, Testing and Monitoring. Pergamon Press, London, 211 p.
- Korkmaz, S., Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol oluşumları. *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*, 32-33, 5-15.
- Lee, C.F., Ye, H., Yeung, M.R., Shan, X., Chen, G., 2001. A GIS-Based Methodology for Natural Terrain Landslide Susceptibility Mapping in Hong Kong. *Episodes*, 24 (3), 150-159.

- Lee, S., Chwae, U., Min, K., 2003. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: The Janghung Area, Korea. *Geomorphology*, 46, 9-162.
- Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (7), 1477-1491.
- Luzi, L., Pergalani, F., 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: The "Oltre Po Pavese" case history (Region Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20, 57-82.
- Mejia-Navarro, M., Wohl, E.E., 1994. Geological hazard and risk evaluation using GIS: Methodology and model applied to modellin, Colombia. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 31 (4), 459-481.
- MİGM (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü), 2007, Ankara, 4s.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A., Khire, M.V., 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 275-287.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu C., Sönmez H., 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97, 171-191.
- Ohlmacher, G.C., Davis, J.C., 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69, 331-343.
- Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Peloquin, S., Gwyn, Q.H.J., 2000. Using remote sensing, GIS and artificial intelligence to evaluate landslide susceptibility levels: Application in the Bolivian Andes. 4th International Conference On Integrated GIS Environment Modules, Canada, 26-37.
- Pradhan, S., Lee, B., 2010. Regional landslide susceptibility analysis using back-propagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia. *Landslides*, 7, 13-30.
- Rautella, P., Lakhera, R.C., 2000. Landslide risk analysis between giri and ton rivers in Himachal Himalaya (India). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (3-4), 153-160.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D., 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.
- Süzen, M.L., 2002. Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information System and Remote Sensing. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences Geological Engineering Department, PhD. Thesis, Ankara, 196 p. (unpublished).
- Soeters, R.S., 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.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U., Korme, T., 2001. Natural hazard assessment using gis and remote

- sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiophia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26 (9), 665-675.
- Van Westen, C.J., 1993. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geological Hazard Mitigation. The Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Journal, 4, 393-399.
- Wilson, J.P., Gallant, J.C., 2000. *Terrain Analysis Principles and Application*, John Wiley & Sons, Canada, 479 p.
- Yalçın, A., Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrametric techniques; a case study from Ardeşen (NE-Turkey). *Natural Hazard*, 41, 201-226.
- Yalçın, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1-12.
- Yeşilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek Region (Turkey). *Engineering Geology*, 79, 251-266.
- Yılmaz, I., 2009. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by Artificial Neural Networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (3), 297-306.