

## HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİNDE ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİNİN VE CBS'İN KULLANIMI

Ali YALÇIN

*Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray Üniversitesi, 68100, Aksaray, Türkiye*

**ÖZET:** Heyelanlar, doğal afetler arasında en yaygın olarak gelişen kütle hareketi türü olup, can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu zararların azaltılması için, potansiyel heyelan alanlarının belirlenerek önlem alınması gerekmektedir. Bu açıdan, potansiyel alanlar için heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması hem meydana gelebilecek zararların azaltılmasıyla ilgili önlemlerin alınmasını, hem de mühendislik projelerinin planlanması ve yürütülmesinde kolaylıklar sağlayacaktır. Bu çalışmada, öncelikle heyelan duyarlılık analizlerinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin kullanımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Analitik Hiyerarşi Yöntemi, karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan tekniklerinden biri olup, esas olarak elemanların ikili karşılaştırılmasından elde edilen önceliklere dayalı bir ölçüm yöntemidir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, yapılan örnek bir çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritasının 56 aktif heyelan alanında kontrolü yapılmış ve uygulanan bu yöntemin kullanılmasıyla % 84 gibi bir oranla, bu alanların yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlara rastladığı saptanmıştır.

### The Use of Analytical Hierarchy Process and GIS in Production of Landslide Susceptibility Maps

**ABSTRACT:** Among various natural hazards, landslides are the most widespread and damaging. Potentials landslide-prone areas should, therefore, be identified in advance in order to reduce such damage. In this respect, landslide susceptibility assessment can provide valuable information essential for hazard mitigation through proper project planning and implementation. This paper presents a geographic information system (GIS) and based the Analytic Hierarchy Process (AHP) making approach for landslide susceptibility analyses. AHP is a commonly used solution technique for solving any multi-criteria decision making problem. This method is one of the most flexible and easily implemented multi-criteria decision making techniques. It is a theory of measurement concerned with dominance priorities from pair-wise comparison of elements with respect to a common criterion. Multi-criteria analysis is performed to evaluate landslide susceptibility for each data layer, according to appropriately measured and weighted factors. A landslide susceptibility map for each data layer is developed using an algorithm that combines factors in weighted linear combinations. To verify the practicality of the susceptibility map was compared with a landslide inventory map containing 56 active landslide zones. The outcome was that the active landslide zones do not completely fit into the high and very high susceptibility class. But 84% of these landslide zones fall into the high and very high susceptibility zones.

### GİRİŞ

Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmaktır. Doğal tehlike haritaları geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal olayların oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte böyle doğal olayların oluşumlarının tahmin edildiği bilgileri içerir (Varnes, 1984).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında gelişen teknoloji ile birlikte çok önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri bu tür haritaların hazırlanmasında çok büyük avantajlar sağlamıştır. Uzaktan Algılama teknikleri kullanılarak veriler kısa zamanda ve kolayca toplanıp analiz edilebilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak çok karmaşık

ve veri hacmi yüksek olan verilerin depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi gibi işlemler kısa zaman içerisinde mümkün olabilmektedir. Uzaktan Algılama tekniklerinin kullanımıyla kolayca elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri yardımıyla istatistiksel ve matematiksel kriterlere göre analiz edilmekte ve depolanmaktadır. Dolayısıyla Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi sistemleri yakın ilişki içerisinde. Artık günümüzde yapılan çalışmalarda da bu yöntemler kullanılmaktadır (Dai ve diğerleri, 2002; Çevik ve Topal, 2003; Lee vd., 2004a; Perotto-Baldivieso ve diğerleri, 2004). Bu çalışmada da 1:16000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak heyelanlar, topoğrafya ve arazi örtüsü ile ilgili veriler elde edilmiştir.

Günümüzde toplumların nüfusunun giderek artması, insanların yeni yerleşim yerlerine ve buna bağlı olarak gerekli mühendislik yapılarına olan ihtiyacını hızla artmıştır. Bu amaçla, gelişmiş toplumlarda, insanlara yeni yerleşim yerleri seçilirken en uygun yerler nerelerdir bunun araştırması yapılmaktadır. Bu yerler seçilirken 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 (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Guzzetti vd., 1999; Dai vd., 2001; Chi vd., 2002; Saha vd., 2002; Lee vd., 2004b) gibi birden fazla niteliksel ya da niceliksel parametrelerden ilgili olan veriler bir arada değerlendirilerek karar verilir. Bu parametrelerden bazıları birbiriyle çeliştiğinde, bu tür karar verme durumları Analitik Hiyerarşi Yönteminin (AHY) bir bileşeni olan Çok Kriterli Değerlendirme (Multi Criteria Evaluation- MCE) olarak adlandırılır (Saaty, 1994). Çok Kriterli Değerlendirmede, kriterlerin çelişkili olmasından dolayı en iyi alternatifin seçimi karar verici açısından oldukça zordur. Bu kriterler arasından en iyi sonuçları elde edebilmek için

kriterler arasındaki çelişkileri ele alıp bu çelişkileri giderecek yöntemlerin kullanılması gereklidir.

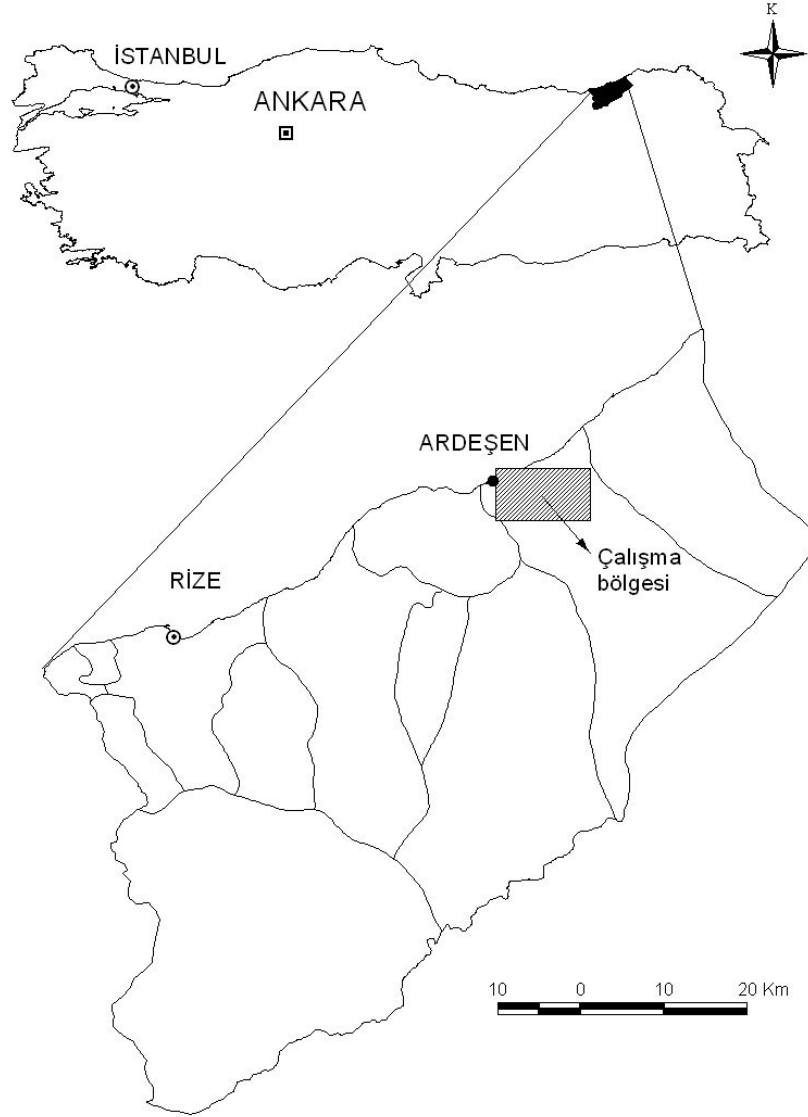
Dünyada her yıl çok sayıda heyelanlar meydana gelmekte ve genellikle büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Özellikle Türkiye'nin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesinde heyelanlar sıkça meydana gelmektedir.

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

Bu çalışmada, GIS ve digital fotogrametri teknikleri kullanılarak Ardeşen yöresi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken, jeoloji, eğim, bakı, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, akarsuya yakınlık ve yola yakınlık parametreleri ilişkilendirilerek kullanılmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak sonuç haritası üretilmiştir.

## ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı 1/25000 ölçekli STH (Standart Topoğrafik Harita)'da Artvin – F46 – d1 ve Artvin – F45 – c2 paftalarında, 41°09'54" ve 41°12'04" paralelleri ile 40°57'17" ve 41°06'39" boylamları arasında yer alan Rize ili Ardeşen ilçesi sınırları içerisinde yaklaşık 50 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

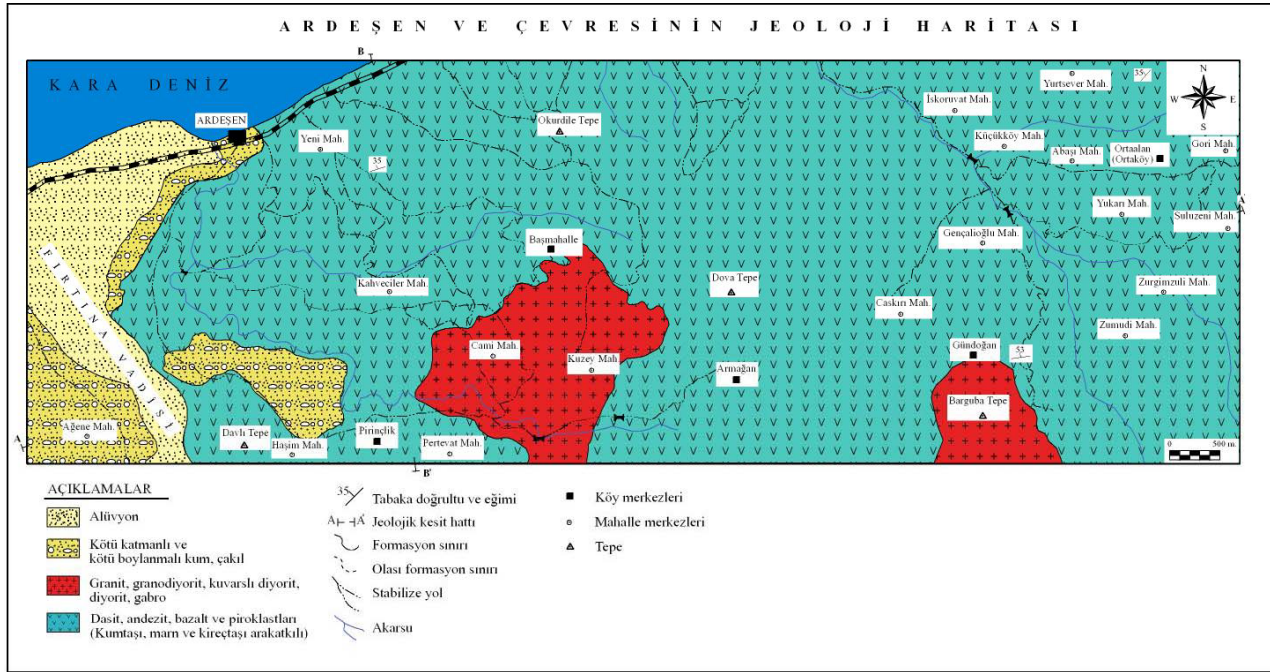


**Şekil 1.** Çalışma alanının konum haritası

*Figure 1.* Location map of study area

Jeolojik olarak, çalışma alanındaki litolojik birimleri, Hemşindere Formasyonu ve bu formasyon üzerine uyumsuz olarak gelen Hamidiye Formasyonu oluşturmaktadır. Alüvyonlar ise çalışma alanındaki en genç birimdir ve özellikle Fırtına vadisi boyunca geniş yüzeyleme vermektedir. Hemşindere Formasyonu, en geniş yayılım gösteren formasyon olup stratigrafik olarak en alttadır. Formasyon başlıca kumtaşı, marn ve kırmızı kireçtaşı ara katmanları içeren ve esas olarak bazalt, dasit ve riyoelit yer yer de andezit türünde piroklastiklerden oluşur.

Bu formasyon üzerine uyumsuz olarak, kötü katmanlanma gösteren kum ve kil mercekleri içeren gevşek çimentolu çakıltaşlarından oluşan Hamidiye Formasyonu gelmektedir. Santoniyen-Mestrihtiyen yaşlı Hemşindere Formasyonunu kesen intrüzif kayaçlar yer almaktadır. Bu intrüziflerin daha genç birimleri kestiğine rastlanılmadığı için bu kayaçların Üst Maastrichtiyen yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Korkmaz ve Gedik, 1988). Ayrımı yapılan bu formasyonların gösterildiği jeolojik harita Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** İnceleme alanının genel jeolojisi haritası

*Figure 2. Geological map of study area*

## METODOLOJİ VE VERİ KULLANIMI

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritasının üretilmesine yönelik katman haritalarının üretilmesinde, Arc\INFO v. 7.2. ve ArcView v. 3.2. GIS yazılımları ve hava fotoğraflarının değerlendirilmesinde Zeiss ve Intergraph firmalarınca ortaklaşa üretilen Z/I Imaging Digital Fotogrametri sistemi kullanılmıştır. İlk olarak, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritadan çalışma alanının sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Bu model kullanılarak, eğim, bakı, akarsulara uzaklık, drenaj yoğunluğu, yola uzaklık haritaları üretilmiştir. Arazi çalışmaları ile üretilen jeolojik haritanın değerlendirilmesi ve birimlerin ayrışma derecelerinin incelenmesi ile alanın litoloji-ayrışma haritası üretilmiştir. ayrıca hava fotoğraflarının dijital fotogrametrik sistemde değerlendirilmesi ile, heyelan envanter haritası ve arazi örtüsü haritası üretilmiştir. Sonuçta, elde edilen veri katmanlarının heyelan envanter haritası ile değerlendirilmesi yapılarak, katmanların alt gruplarının heyelanlarla olan ilişkisi ortaya konulmuştur. Bu veriler yardımıyla, AHY'inde katmanların ve alt gruplarının ikili karşılaştırmalar matrisi (pair-

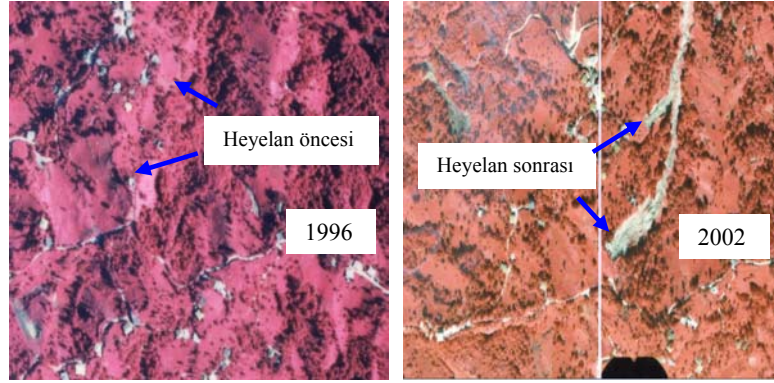
wise comparison matrix) oluşturularak ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak raster formatına dönüştürülen katmanlara overlay analizi yapılmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

## Heyelan Envanter Haritası

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım ve özelliklerinin gösterildiği haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir (Einstein, 1988; van Westen, 1994; Parise, 2001; Griffiths vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003). Heyelanların konum ve alanlarının doğru olarak belirlenmesi heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok önemlidir. Heyelan envanter haritaları, alanın büyüklüğüne, araziden toplanan verilere, bu verilerin kalitesine ve çalışma ölçeğine göre değişik şekillerde hazırlanabilir. Bu haritalar, heyelanlarla ilgili bilgilerin toplanması ya da uzaktan algılama verilerinin analizi ile üretilmektedir.

Hava fotoğraflarının yorumlanması ile elde edilen sonuçlar arazi kontrolleriyle test edilerek,

elde edilen verilerin arazi verileri ile örtüştüğü belirlenmiştir.



**Şekil 3.** 1996 ve 2002 yıllarına ait hava fotoğrafları.  
*Figure 3.* The aerial photos belonging to 1996 and 2002 years.

Hava fotoğraflarının değerlendirilmesiyle heyelan alanları ve heyelana ait belirgin özellikler hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmiştir. 2001 yılında meydana gelen yoğun heyelanların öncesi ve sonrasına ait hava fotoğraflarının (1996 ve 2002) birlikte değerlendirilmesiyle heyelanların tespit edilmesi çok daha kolay olmuştur (Şekil 3). Çalışma alanında, 1/16000 ölçekli hava fotoğraflarının değerlendirilmesi ve arazi kontrolleri sonucunda 56 adet heyelan tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, heyelan alanlarının hangi litolojik birimde ne kadar alan kapladığı da tespit edilmiştir (Tablo 1).

### Litoloji ve Ayrışma

Bir arazinin jeomorfolojisi ile ilgili verilerin temel kaynağını o sahanın litolojik özellikleri oluşturmaktadır (Dai vd., 2001). Jeomorfolojik çalışmaların bir bileşeni olan heyelan olayı, arazide yüzeyleyen malzemenin litolojisi ve ayrışma özellikleri ile ilişkilidir. Farklı litolojik birimler heyelan çalışmalarında farklı duyarlılık değerlerine sahip oldukları için heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynamaktadır (Pachauri vd., 1998; Luzi ve Pergalani, 1999; Dai vd., 2001; Çevik ve Topal, 2003). Litolojik özellikler, sahanın heyelana karşı duyarlılığı hakkında önemli veriler sağlayabilecek özelliktedir. Bu nedenle litolojik özelliklerin mutlaka sağlıklı bir şekilde gruplandırılması çok önemlidir.

Litolojik açıdan önemli olan diğer bir değerlendirme de, birimlerin ayrışma dereceleri ile ilgilidir. Çalışılan bir alanda litolojik birimin aynı olmasına karşın, farklı ayrışma dereceleri görülebilmektedir. Aynı zamanda ayrılmış malzemenin derinliği de farklı alanlarda değişik değerler verebilmektedir. Bu nedenle, ayrışma özelliklerinin ve derecelerinin hatalı değerlendirilmesiyle üretilen duyarlılık haritaları da hatalı olacaktır. Bu hataların önüne geçebilmek için, ayrışma haritaları oluşturulurken çok iyi arazi gözlem ve ölçümleri yapılmalıdır. İnceleme alanında yüzeyleyen kayalar fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisiyle değişik derecelerde ayrılmışlardır. Kayaçlardaki ayrışma dereceleri, Brown (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen verilere göre ayrışma haritası üretilmiştir. Ayrışma haritaları ile heyelan envanter haritası ilişkisi çok iyi analiz edilmelidir. Heyelan envanter haritası, heyelan duyarlılık haritalarının analiz aşamasında kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Bundan dolayı, litoloji-ayrışma haritasında, hangi birimlerde heyelanların oluştuğu tespit edilerek, kayaların ayrışma derecesine göre toplam heyelan alanları ve heyelan yüzdesi belirlenmiştir (Tablo 1).

Farklı birimlerin ayrışma derecelerine göre yapılan analiz sonucunda, heyelanların yaklaşık %95'lik kısmının yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalar içerisinde meydana geldiği belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Katmanlara göre heyelanların alan, yüzde ve frekans dağılımları.  
*Table 1. The area, percentage, and frequency ratio distribution of landslide according to data layers.*

LİTOLOJİK BİRİMLER	Toplam alan (m <sup>2</sup> )	Toplam alan yüzdesi (a)	Heyelan alanı (m <sup>2</sup> )	Heyelan alan yüzdesi (b)	Frekans oranı (b)/(a)
Az ayr. andezit	3828325.00	0.095	945.00	0.002	0.022
Az ayr. dasit	307828.18	0.008	0.00	0.000	0.000
Az ayr. granit	882123.22	0.022	0.00	0.000	0.000
Orta ayr. andezit	6081203.90	0.150	3254.00	0.007	0.048
Orta ayr. dasit	1540239.29	0.038	330.00	0.001	0.019
Orta ayr. granit	684359.52	0.017	0.00	0.000	0.000
Yük.ayr. andezit	6486347.44	0.160	84054.00	0.185	1.154
Yük.ayr. dasit	7792932.80	0.193	140742.00	0.310	1.608
Yük.ayr. granit	120839.79	0.003	0.00	0.000	0.000
Tam. ayr. andezit	1283860.10	0.032	22548.00	0.050	1.563
Tam. ayr. dasit	9344228.80	0.231	102765.00	0.226	0.979
Tam. ayr. granit	2117488.20	0.052	99984.00	0.220	4.203
Toplam	40469776.24	1.000	454622.00	1.000	1.000
ARAZİ ÖRTÜSÜ					
Çay	24079876.00	0.540	268026.00	0.590	1.093
Orman	554968.00	0.012	180653.00	0.397	31.953
Fındık	785647.00	0.018	5943.00	0.013	0.743
Kayalık	17307813.00	0.388	0.00	0.000	0.000
Yerleşim alanı	1897708.00	0.043	0.00	0.000	0.000
Toplam	44626012.00	1.000	454622.00	1.000	1.000
EĞİM (°)					
0-10	9860590.00	0.212	51078.00	0.112	0.531
10-20	10302620.00	0.221	100251.00	0.221	0.997
20-30	15133719.00	0.325	162103.00	0.357	1.097
30-40	8316901.00	0.179	107496.00	0.236	1.324
40-50	2315699.00	0.050	27825.00	0.061	1.231
>50	649056.00	0.014	5869.00	0.013	0.926
Toplam	46578585.00	1.000	454622.00	1.000	1.000
BAKİ					
Düz	5433352.00	0.117	46821.00	0.103	0.883
Kuzey	14256445.00	0.306	154559.00	0.340	1.111
Doğu	6720903.00	0.144	57996.00	0.128	0.884
Güney	8563894.00	0.184	71252.00	0.157	0.852
Batı	11603991.00	0.249	124010.00	0.273	1.095
Toplam	46578585.00	1.000	454622.00	1.000	1.000
AKARSUYA YAKINLIK (m)					
0 - 50	10936035.00	0.296	151467.00	0.390	1.319
50 - 100	9678150.00	0.262	99977.00	0.257	0.983
100 - 150	7576089.00	0.205	47035.00	0.121	0.591
150 - 200	5227167.00	0.141	36036.00	0.093	0.656
200 - 250	3559945.00	0.096	53885.00	0.139	1.441
Toplam	36977386.00	1.000	388400.00	1.000	1.000
HAVZA ADI					
A	5989982.00	0.130	-	-	-
B	15212078.00	0.330	149188.00	0.328	0.995
C	884906.81	0.019	-	-	-
D	1599159.00	0.035	-	-	-
E	3940184.00	0.085	179761.00	0.395	4.630
F	15108357.00	0.327	97442.00	0.214	0.655
G	3406730.00	0.074	28231.00	0.062	0.841
Toplam	46141396.81	1.000	454622.00	1.000	1.000
YOLA YAKINLIK (m)					
0 - 25	6223974.00	0.246	34898.00	0.149	0.606
25-50	5675511.00	0.224	42442.00	0.181	0.808
50-75	5036452.00	0.199	55556.00	0.237	1.192
75-100	4439228.00	0.176	53608.00	0.229	1.305
100-125	3912449.00	0.155	47582.00	0.203	1.314
Toplam	25287614.00	1.000	234086.00	1.000	1.000

### Arazi Örtüsü

Arazi örtüsü, yamaçların stabilite halinde olduğunun dolaylı bir ifadesidir. Kıraç ve nadir arazi örtüsü ile kaplı alanlar daha hızlı erozyon ve ormanlara göre daha büyük duraysızlıklar göstermektedir (Anbalagan, 1992; Turrini ve Visintainer, 1998; Nagarajan vd., 2000; Dai vd., 2001; Çevik ve Topal, 2003; Perotto-Baldiviezo vd., 2004).

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

Yapılan değerlendirmeler sonucunda çay alanları, ormanlıklar, kayalıklar, fındıklıklar ve yerleşim yerleri olmak üzere 5 farklı arazi örtüsü sınıfı tanımlanmıştır.

Mevcut arazi örtüsünün heyelanlarla olan ilişkisini ortaya koymak için heyelan envanter haritasının üretilen arazi örtüsü haritası ile birlikte değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda arazi örtüsünün heyelanlara göre alansal ve yüzde dağılımı hesaplanmıştır (Tablo 1).

### Eğim

Şev stabilite çalışmalarında ana parametre eğim açıdır (Lee ve Min, 2001). Eğim açısı heyelanlarla direkt ilgili olduğu için, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok sık kullanılan bir parametredir (Anbalagan, 1992; Pachauri vd.,1998; Clerici vd., 2002; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Lee vd., 2004a,b). Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde eğim parametresinin çok önemli bir fonksiyonu vardır. Bu çalışmada, 1/25000 ölçekli STH kullanılarak eğim haritası üretilmiştir. Meydana gelen heyelanların hangi eğim gruplarında ve oranlarda oluştuğunu tespit etmek için ArcView 3.2'de analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda eğim ve heyelan arasındaki ilişki belirlenerek, eğim gruplarına karşılık gelen heyelanların alansal ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 1).

### Bakı

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğim gibi bakı da önemli faktörlerdendir (van Westen ve Bonilla, 1990; Carrara vd., 1999; Maharaj, 1993; Guzzetti vd., 1999; Nagarajan, 2000; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004; Lee vd., 2004a,b). Bakı, heyelanların oluşumunu kontrol edebilen süreksizlikler, yağış, rüzgar etkisi ve güneş ışığına maruz kalma gibi parametrelerle ilişkilidir (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Dai vd., 2001, Çevik ve Topal, 2003). Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısı, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Bu çalışmada, bakı ve heyelanlar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için inceleme alanının bakı haritası üretilmiştir. Bakı bölgeleri düz (-1°), kuzey (315°-360°, 0°-45°), doğu (45°-135°), güney (135°-225°) ve batı (225°-315°) olmak üzere 5 bakı yönüne göre sınıflandırılmıştır.

Heyelanların bakı yönlerine göre dağılımlarını belirlemek yani hangi bakı yönünde ne kadar heyelan meydana geldiğini tespit etmek için bakı ve heyelan envanter haritaları kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda bakı yönüne göre heyelanların alansal ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 1).

### Akarsulara Yakınlık Derecesi

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

oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan kısmını suya doyurma veya her iki şekilde de etkileyerek stabiliteyi bozmaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Dai vd., 2001; Saha vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003). Akarsuların yamaçlara etkisinin tam olarak ortaya konması için iyi bir arazi gözlemi gerekmektedir. Yapılan arazi çalışmalarıyla, akarsuların hangi derecede yamaçları etkilediği belirlemek için 5 farklı tampon (*buffer*) bölge oluşturulmuştur.

Akarsulara yakınlık haritasının heyelan envanter haritası ile karşılaştırılması sonucu, akarsulara olan yakınlık derecelerine göre heyelan alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'da gösterilmiştir.

### Drenaj Yoğunluğu

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

Her bir akarsu havzasının alanı, bu alanlar içindeki akarsu uzunlukları ve drenaj yoğunluğu, ayrıca bu havzalardaki toplam heyelan alanları ve heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Meydana gelen heyelanların yaklaşık %40'ı E olarak isimlendirilen havza alanında meydana gelmiştir.

### Yola Yakınlık Derecesi

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir (Pachauri ve Pant, 1992; Pachauri vd., 1998). Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu

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

Yolun yamaç stabilitesine etkisini belirlemek için yol güzergahlarının geçtiği hatlar boyunca 5 farklı tampon bölge oluşturulmuştur.

Yola yakınlık haritası heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak, yola yakınlık derecelerine göre, heyelan alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

### İkili Karşılaştırmalar Matrisi

İkili karşılaştırmalar, AHY'nin önemli yapı taşlarından birisidir. Parametrelerin, heyelan duyarlılık haritasına etkisinde önceliklerin belirlenmesinde, ilk aşamada parametrelerin ikişerli değerlendirilip bu iki parametrenin birbirine göre heyelan duyarlılığına etkisi belirlenmiştir. Normal olarak, bu iki parametrenin birbirine göre alacağı değeri belirleme karar vericinin tercihine bağlı bir durumdur. Yapılan bu çalışmada ise, hem parametrelerin birbirine göre olan karşılaştırmalarında, hem de karar alternatiflerinin yani parametrelerin alt kriterlerinin etki değerlerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde hava fotoğrafları yardımıyla elde edilen heyelan envanter haritası ile diğer veri katmanlarının karşılaştırılması esas alınmıştır. Dolayısıyla belirlenen ağırlık değerleri gerçek arazi verileriyle uygun bir durum kazanmıştır. Her bir parametrenin alt kriterlerine ait olan heyelan dağılım yüzdeleri belirlenmiştir. Buradaki veriler, parametrenin alt kriterlerinin hangisinin heyelan duyarlılığına daha eğilimli olduğuna işaret etmektedir. Bu kapsamda yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu her bir parametrenin ikili karşılaştırmalar matrisi (*pair-wise comparison matrix*) oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu ikili karşılaştırmalar matrisinden alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplaması yapılmıştır. Bu işlem AHY'nde sentezleme olarak adlandırılır ve matematiksel olarak özdeğer ve özvektör hesaplamalarını içerir (Tablo 2).



**Tablo 2.** İkili karşılaştırmalar matrisi ve ağırlık değerleri.  
**Table 2.** The weights of data layers and sub-criteria.

Katmanlar	1	2	3	4	5	6	7	8	Ağırlıklar
<i>Litoloji-ayırışma</i>									
(1) Az ayrıışmış andezit	1								0.045
(2) Orta ayrıışmış der. andezit	1	1							0.036
(3) Orta ayrıışmış der. dasit	1/3	1/3	1						0.020
(4) Yük. der. ayrıış. andezit	6	5	7	1					0.124
(5) Yük. der. ayrıış. dasit	8	7	9	4	1				0.300
(6) Tamamen ayrıış. andezit	1/2	3	5	1/3	1/4	1			0.063
(7) Tamamen ayrıış. dasit	7	6	8	3	1/2	4	1		0.207
(8) Tamamen ayrıış. granit	7	6	8	3	1/2	4	1	1	0.207
Tutarlılık oranı: 0.064									
<i>Arazi örtüsü</i>									
(1) Çay	1								0.546
(2) Orman	1/3	1							0.288
(3) Fındık	1/7	1/5	1						0.085
(4) Kayalık	1/9	1/8	1/3	1					0.041
(5) Yerleşim alanı	1/9	1/8	1/3	1	1				0.041
Tutarlılık oranı: 0.044									
<i>Eğim (°)</i>									
(1) 0-10	1								0.110
(2) 10-20	3	1							0.173
(3) 20-30	4	3	1						0.393
(4) 30-40	3	3	1/3	1					0.239
(5) 40-50	1/3	1/4	1/6	1/4	1				0.062
(6) >50	1/7	1/8	1/9	1/8	1/5	1			0.023
Tutarlılık oranı: 0.083									
<i>Bakı</i>									
(1) Düz	1								0.036
(2) Kuzey	9	1							0.511
(3) Doğu	2	1/8	1						0.053
(4) Güney	4	1/7	3	1					0.104
(5) Batı	8	1/3	7	5	1				0.296
Tutarlılık oranı: 0.065									
<i>Akarsuya yakınlık (m)</i>									
(1) 0-50	1								0.514
(2) 50-100	1/3	1							0.224
(3) 100-150	1/5	1/3	1						0.085
(4) 150-200	1/7	1/5	1/2	1					0.050
(5) 200-250	1/6	1/2	2	3	1				0.126
Tutarlılık oranı: 0.024									
<i>Drenaj yoğunluğu (havza adı)</i>									
(1) A	1								0.034
(2) B	9	1							0.423
(3) C	1	1/9	1						0.032
(4) D	1	1/9	1	1					0.032
(5) E	7	1/3	9	9	1				0.257
(6) F	5	1/5	6	6	1/2	1			0.171
(7) G	2	1/8	2	2	1/8	1/7	1		0.051
Tutarlılık oranı: 0.043									
<i>Yola yakınlık (m)</i>									
(1) 0-25	1								0.072
(2) 25-50	2	1							0.135
(3) 50-75	4	2	1						0.269
(4) 75-100	4	2	1	1					0.269
(5) 100-125	3	2	1	1	1				0.255
Tutarlılık oranı: 0.002									
<b>VERİ KATMANLARI</b>									
(1) Eğim	1								0.172
(2) Litoloji-ayırışma	3	1							0.329
(3) Arazi örtüsü	1	1/2	1						0.194
(4) Bakı	1	1/3	1/2	1					0.149
(5) Akarsuya yakınlık	1/3	1/4	1/3	1/3	1				0.076
(6) Drenaj yoğunluğu	1/4	1/5	1/4	1/4	1/2	1			0.052
(7) Yola yakınlık	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1		0.028
Tutarlılık oranı: 0.031									

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretimine yönelik yapılan arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucu elde edilen verilerle ilgili konumsal veri tabanı oluşturulmuştur. Raster veri modeline dönüştürülen veri katmanlarının, Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda hem veri katmanı bazında hem de alt kriterler bazında ağırlıkları belirlenerek analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin temelinde, her katmandan aynı bir pikselin alacağı özellik ve bunun matematiksel değeri ve heyelan duyarlılık haritasının üretimindeki etkisini belirlemektir. Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki bu işlem akışı şematik olarak Şekil 4' de gösterilmiştir.

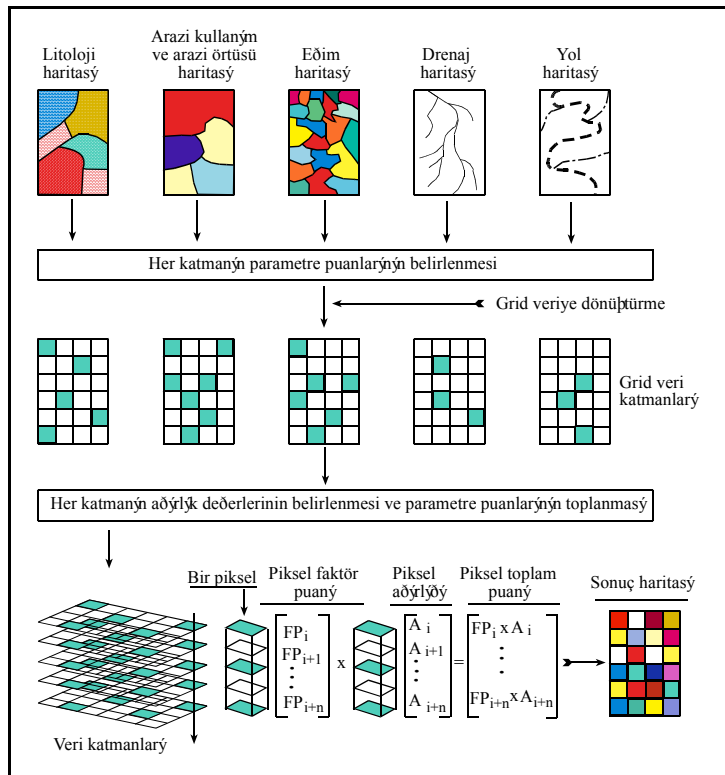
Burada yapılan işlem, Çok Kriterli Değerlendirme (Multi Criteria Evaluation-MCE)' de (Eastman vd., 1995; Dai vd., 2001) tarafından lineer ağırlık kombinasyonu (Weighted Linear Combination- WLC) (Formül-3) olarak tanımlanan faktörlerin ağırlıkları ile alt kriter ağırlıklarının çarpımının toplamı işlemidir.

$$S = \sum W_i * X_i \quad (3)$$

Burada; S: Uygunluk (*suitability*),  $W_i$ , katman ağırlığı,  $X_i$ , alt kriter ağırlığı'dır. Yapılan bu analizler sonucunda Ardeşen ve yöresi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 5).

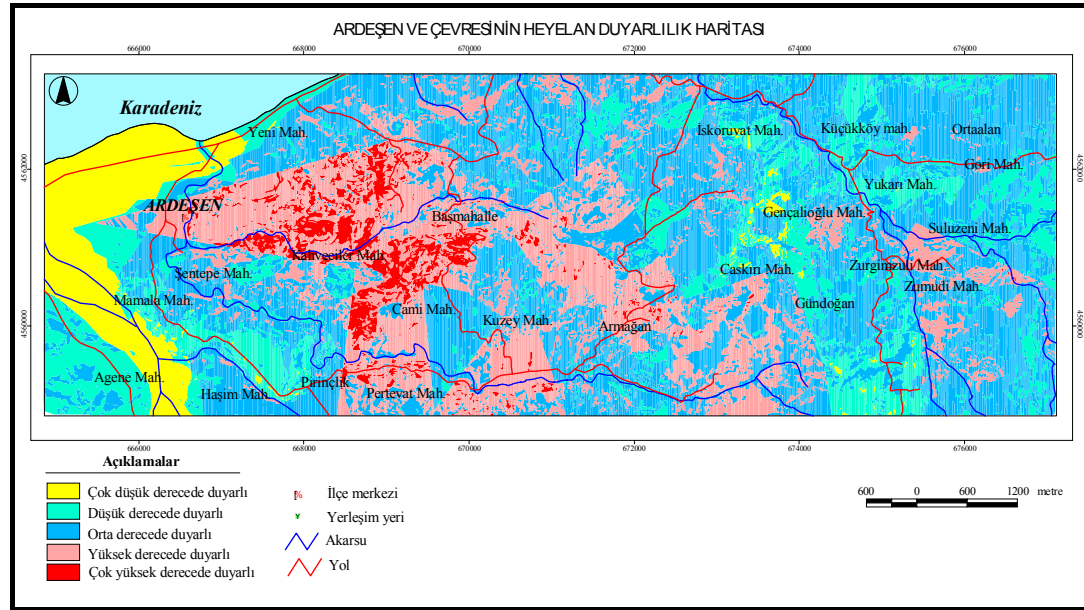
Üretilen heyelan duyarlılık haritasında sınıf aralıklarının belirlenmesi için, elde edilen piksel değerleri eşit şekilde bölünerek çok düşük duyarlı, düşük duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. Bu harita, piksel değerlerinin daha anlamlı gruplar oluşturması için 5x5 Median filtreleme uygulanmıştır.

Duyarlılık sınıflarının çalışma alandaki alansal ve yüzde dağılımları, yapılan analizler sonucu belirlenerek her bir grubun ne kadar bir alanda etkili olduğu belirlenmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun değerlendirilmesi için, bu haritanın heyelan envanter haritasından elde edilen gerçek arazi verileri ile istatistiksel değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 4. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde CBS fonksiyonları (Yalçın vd., 2002).

Figure 4. GIS functions in landslide susceptibility maps (Yalcin et al. 2002)



Şekil 5. Ardeşen ve çevresinin heyelan duyarlılık haritası.

Figure 5. Landslide susceptibility map of Ardesen and surrounding.

Tablo 3. Konutların heyelan duyarlılık zonlarındaki dağılımları.

Table 3. The distribution of the buildings in landslide susceptibility zones.

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

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

Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, ayrılan duyarlılık zonlarına göre yerleşim yerlerinin dağılımlarını belirlemek için CBS ve dijital fotogrametri teknikleri kullanılarak bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Ardeşen ilçe merkezinin yoğun yerleşimi dışında kalan çalışma alanındaki 1843 tane bina, noktasal olarak hava fotoğraflarından tespit edilmiştir. Gerekli analizlerin yapılabilmesi için, tespit edilen evlerin konumlarının gösterildiği harita heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır.

Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile binaların konum haritası kullanılarak analizler yapılmış ve konutların heyelan duyarlılık alanlarına göre dağılımları belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3'e göre, yöredeki evlerin yaklaşık % 30'luk kesimi yüksek ve çok yüksek derecede heyelana duyarlı alanlar içerisinde kalmaktadır. Devlet İstatistik Enstitüsü'nün verilerine göre kırsal kesimde bir ev için, hane halkı ortalama sayısı 4'tür (URL-2). Bu verilere göre, yörede yaklaşık olarak 2300 kişinin her an heyelan tehlikesi ile karşı karşıya olduğu söylenebilir.

### Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışma, Ardeşen (Rize) ve yöresi için heyelan duyarlılık haritasının üretimine yönelik tasarım ve uygulamaları içermektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretimi için ne tür veri ve yöntemlerden yararlanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, yörede heyelan oluşumunda etkili olan parametreler çok iyi bir şekilde analiz edilerek, heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılacak veri katmanlarının seçimi yapılmıştır. Bu veri katmanlarının üretilmesinde; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları, topoğrafik haritalar ve hava fotoğrafları temel veri kaynaklarını oluşturmuştur. Elde edilen bu verilerin değerlendirilmesinde CBS ve digital fotogrametri teknikleri kullanılmıştır. Hava fotoğrafları digital fotogrametrik sistemde değerlendirilerek heyelan, arazi örtüsü ve topoğrafya ile ilgili gerekli veriler üretilmiştir. Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları, topoğrafik haritalar ve hava fotoğraflarından elde edilen tüm veriler CBS ortamında sayısal hale getirilerek bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanındaki bilgilerin, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasındaki etkilerini belirlemek için, Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle, veri katmanlarının alt gruplarının ve birbirlerine göre olan etki değerleri belirlenmiştir. Oluşturulan modelleme ile CBS teknikleri kullanılarak Ardeşen ve yöresi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için kullanılan parametrelerin ve karar

alternatiflerinin etki değerleri (ağırlıkları) Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile belirlenmiştir. Bu ağırlıklar belirlenirken, hem parametrelerin birbirine göre olan karşılaştırmalarında, hem de karar alternatiflerinin yani parametrelerin alt kriterlerinin etki değerlerinin belirlenmesinde hava fotoğrafları yardımıyla elde edilen heyelan envanter haritası esas alınmıştır. Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu her bir parametrenin ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilmiştir. Oluşturulan bu ikili karşılaştırmalar matrisinden özdeğer ve özvektör hesaplamaları yapılarak ağırlıklar hesaplanmıştır.

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

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

### KAYNAKLAR

- Anbalagan, R., 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain, *Engineering Geology*, 32, 269-277.
- Brown, T.E., 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring (ISRM Suggested Methods), Editor, Royal School of Mines, Imperial college of Science and Technology, London.

- Chi, K., Lee, K. ve Park, N., 2002. Landslide Stability Analysis and Prediction Modeling with Landslide Occurrences on KOMPSAT EOC Imagery, Korean Journal of Remote Sensing, 18,1, 1-12.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2002. A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method, Geomorphology, 48, 349-364.
- Çevik, E. ve Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, 44, 949-962.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J. ve Xu, Z.W., 2001. Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong, Environmental Geology, 43, 3, 381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview, Engineering Geology, 64, 1, 65-87.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K., ve Toledano, J., 1995. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 5, 539-547.
- Einstein, H.H., 1988. Special Lecture: Landslide Risk Assessment Procedure, In: Proc. V Int. Semp. on Landslides, Lausanne, 2, 1075-1090.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. ve Van Asch, TH. W. J., 2004. Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, Natural Hazard, 32, 1-23.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, 23, 189-206.
- Griffiths, J.S., Mather, A.E. ve Hart, A.B., 2002. Landslide Susceptibility in the Rio Aguas Catchment, SE Spain, Q J Eng. Geol. Hydrogeol., 35, 9-17
- 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.
- Korkmaz, S. ve Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan ve Bölgenin Jeolojisi ve Petrol Oluşumları, Jeoloji Mühendisliği, 32-33, 5-15.
- Lee, S., ve Min, K., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, Environmental Geology, 40, 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2004a. Probabilistic Landslide Hazard Mapping Using GIS and Remote Sensing Data at Boun, Korea, Int. J. Remote Sensing, 25, 11, 2037-2052.
- Lee, S., Ryu, J., Won, J. ve Park, H., 2004b. Determination and Application of the Weight for Landslide Susceptibility Mapping Using an Artificial Neural Network, Engineering Geology, 71, 289-302.
- Luzi, L. ve Pergalani, F., 1999. Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The "Oltre Po Pavese" Case History (Region Lombardia-Italy), Natural Hazards, 20, 57-82.
- Maharaj, R., 1993. Landslide Processes and Landslide Susceptibility Analysis from an Upland Watershed: A Case Study From St. Andrew, Jamaica, West Indies, Engineering Geology, 34, 53-79.
- 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. Geol. Env., 58, 275-287.
- Pachauri, A.K. ve Pant, M., 1992. Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes, Engineering Geology, 32, 81-100.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V. ve Chander, R., 1998. Landslide Zoning in a Part of the Garhwal Himalayas, Environmental Geology, 36, 325-334.
- Parise, M., 2001. Landslide Mapping Techniques and their Use in the Assessment of the Landslide Hazard, Phys. Chem. Earth (C), 26,9, 697-703.

- Perotto-Baldiviezo, H. L., Thurow, T. L., Smith, C. T., Fisher, R. F. ve Wu, X. B., 2004. GIS-Based Spatial Analysis and Modeling for Landslide Hazard Assessment in Steeplands, Southern Honduras, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103,1, 165-176.
- Saaty, T.L., 1994. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *Interfaces*, 24,6, 19-43.
- Saha, A.K., Gupta, R.P. ve Arora, M.K., 2002. GIS-Based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas, *Int. J. Remote Sensing*, 23,2, 357-369.
- Turrini, M.C. ve Visintainer, P., 1998. Proposal of a Method to Define Areas of Landslide Hazard and Application to an Area of the Dolomites, Italy, *Engineering Geology*, 50, 255-265.
- van Westen, C.J. ve Bonilla, J.B.A., 1990. Mountain Hazard Analysis Using a PC-Based GIS. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Congress of Engineering Geology, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, August 1990, 265-271.
- van Westen, C.J., 1994. GIS in Landslide Hazard Zonation: A Review with Example from the Colombian Andes, In: Price, M.F., Heywood, D.I. (Eds.), Taylor and Francis, London.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Paris.
- Yalçın, A., Reis, S. ve Nişancı, R., 2002. Mass Movement Evaluation with Geographical Information Systems: A Case Study from Gümüşhane Region, Proceedings International Symposium on Geographic Information Systems (GIS 2002), September 2002, Istanbul, 760-767.