

CBS VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİMİ: RİZE İLİ ÖRNEĞİ

S. Reis^{a*}, A. Yalçın^b, M. Atasoy^a, R. Nişancı^c, T. Bayrak^c, C. Sancar^d, S. Ekercin^a

^{a,*} Aksaray Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray

^b Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray

^c Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

^d Karadeniz Teknik Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Trabzon

ANAHTAR KELİMELER: CBS, Heyelan, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Frekans Oranı, uydu görüntüsü

ÖZET:

Türkiye'nin jeolojik, jeomorfolojik ve meteorolojik özellikleri itibarıyla heyelanların en fazla görüldüğü bölümü Doğu Karadeniz Bölgesidir. Özellikle, Rize yöresi heyelanların en çok meydana geldiği ve buna bağlı olarak can ve mal kayıplarının sürekli gündemde olduğu bir ildir. Heyelanların bu bölgede çok fazla etkili olmasında aşırı yağışların yanında, jeolojik malzemenin ayrışma derecesinin de etkisi çok fazladır. Bu yüzden, yöredeki heyelan zararlarının azaltılması için heyelan duyarlılık analiz çalışmalarının yapılması çok büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritası üretiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Frekans Oranı (FO) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma alanındaki heyelan envanter bilgileri, arazi çalışmaları sonucu elde edilmiş ve her bir heyelan alanının alansal bilgileri ve litolojik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma alanının güncel arazi örtüsü haritası ise Landsat ETM+ uydu görüntüsünün kontrollü sınıflandırılması sonucu üretilmiştir. Bu analiz çalışmasında, litoloji, eğim, bakı, arazi örtüsü, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu ve yola yakınlık veri parametreleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, AHY göre çalışma alanının heyelana duyarlılık açısından %7.1'i çok düşük duyarlılıkta ve %21.7'si ise yüksek duyarlılıkta olduğu belirlenmiştir. Frekans oranı yöntemine göre ise, %3.5'i çok düşük ve %26.8'i yüksek duyarlılık değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ

Heyelanlar, dünyanın birçok yerinde çok sayıda can kaybına ve büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Heyelanların sebep olduğu bu sosyal ve ekonomik kayıplar etkili bir planlama ve yönetimle azaltılabilmektedir. Bunun için, yerleşim alanlarının seçimi, alt yapı çalışmaları ve diğer mühendislik yapılarının inşasında jeolojik ve jeoteknik amaçlı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, değişik bilgileri içeren farklı türde haritalar hazırlanmaktadır. Bu çerçevede hazırlanan jeolojik tabanlı en önemli haritalardan birisi de heyelan duyarlılık haritalarıdır. 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 vd.,

2002; Çevik ve Topal, 2003; Lee vd., 2004a; Yalcin and Bulut, 2007, Yalcin, 2008).

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, süresizlik 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 sisimsite gibi parametrelerden yararlanılarak değerlendirmeler yapılır (Yalçın, 2007a).

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.

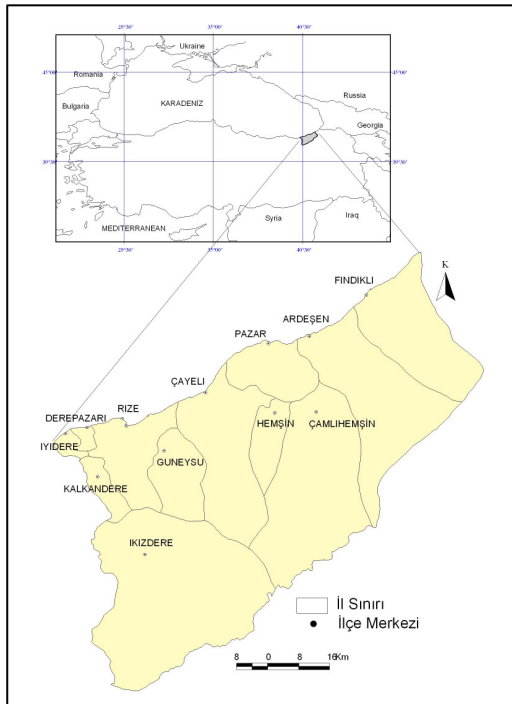
Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz Bölümünde bulunan Rize yöresi, jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları açısından heyelan oluşumuna uygun bir yöredir. Bugüne kadar bu yörede olan kayıplar bunun en iyi göstergesidir. Bununla birlikte Rize yöresinde her geçen gün yeni yerleşim yerlerine ihtiyaç olmaktadır, ancak gerek yerleşim yerleri gerekse yerleşim yerleri ile alakalı diğer yapıların inşasında herhangi bir

* Sorumlu yazar, E-mail: sreis@aksaray.edu.tr, Tel: +90.382.215 0953

mühendislik çalışması yapılmamaktadır. Gerekli mühendislik çalışması yapılmadan tespit edilen yerleşim alanlarında yapılan yapılarda birçok problem ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bu tür problemlerin önüne geçilebilmesi için Rize ilinin heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Heyelan duyarlılık çalışmalarının ilk basamağı olan heyelan alanlarının tespit edilmesinde, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin yorumlanmasının yanı sıra arazi çalışmaları da yapılmıştır. Heyelan duyarlılık analizleri için kalitatif ve kantitatif birçok yöntem mevcuttur. Kalitatif yöntemler daha çok subjektif olup uygulanmasında kişisel deneyimler çok önemlidir. Kantitatif yöntemler ise objektif nitelikte olup heyelanlar ve heyelanları etkileyen faktörler arasında sayısal değerlerle ifade edilir. Bu çalışmada, heyelan duyarlılık analizleri Frekans Oranı ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Rize ili, 40° 20' ve 41° 15' N enlemleri ile 40° 22' ve 41° 28' E boylamları arasında yaklaşık olarak 4000 km² lik bir alan kapsamaktadır (Şekil 1). Türkiye'nin en çok yağış alan ili olan Rize'de yıllık toplam yağış miktarı 2300 mm'nin üzerinde olup, yağışlar her mevsime dengeli olarak dağılmıştır. Bu nedenle Rize ili genelinde kurak mevsim yoktur. Rize ilinin bu iklimsel özelliğinin yanı sıra jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin de heyelan oluşumu için uygun olması, yörede heyelanların oluşumunu sürekli hale getirmiştir. Bundan dolayı, her aşırı yağış periyotundan sonra heyelanlar meydana gelmekte ve büyük can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Dolayısıyla, heyelanların zararlarının azaltılarak can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için detaylı heyelan araştırmalarının yapılması gerekmektedir. Bunun için tüm Rize ilinin heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

3. METODOLOJİ

Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli, 1/25000 ölçekli standart topoğrafik haritadan (STH) yararlanılarak üretilmiştir. Bu model kullanılarak, eğim, bakı, yükseklik, akarsulara uzaklık, drenaj yoğunluğu, yola uzaklık haritaları üretilmiştir. Arazi çalışmaları ve daha önceki çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu bölgenin genel jeoloji haritası üretilmiştir. Ayrıca uydu görüntülerinin değerlendirilmesi ve arazi çalışmaları 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, hem frekans oranı yöntemi hem de AHP ile analizler yapılmış ve heyelan duyarlılık haritaları üretilerek karşılaştırmaları da yapılmıştır.

3.1. Veri Katmanları

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım ve özelliklerinin gösterildiği haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir (Cevik 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. Bu çalışmada, heyelan envanter haritasının hazırlanmasında uydu görüntüsünden ve arazi çalışmalarından 100 adet heyelan verisi kullanılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun kontrolü içinde bu heyelan envanter verilerinden hariç 40 adet test verisi tespit edilmiş ve doğruluk değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

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 (Dai vd., 2001; Cevik ve Topal, 2003, Yalcin 2008). Litolojik özellikler, sahanın heyelana karşı duyarlılığı hakkında önemli veriler sağlayabilecek özelliktedir. Bu nedenle litolojik özelliklerin mutlaka sağlıklı bir şekilde gruplandırılması çok önemlidir. Bu çalışmada, yedi litolojik birim ayrılmış olup en çok heyelanın (%59.45) andezit ve piroklastlarından oluşan birimde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Şev stabilite çalışmalarında ana parametre eğim açısidir (Lee ve Min, 2001). Eğim açısı heyelanlarla direkt ilgili olduğu için, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok sık kullanılan bir parametredir (Saha vd., 2002; Cevik ve Topal, 2003; Yalcin ve Bulut, 2007). 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 ArcGIS 9.2'de analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda eğim ve heyelan arasındaki ilişki belirlenerek, eğim gruplarına karşılık gelen heyelanların alansal

ve yüzde dağılımları tespit edilmiştir. Eğim değerlerine göre en fazla heyelanın %22.91'lik derecesi ile %20-30 eğim grubunda meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 1).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğim gibi bakı da önemli faktörlerdendir (Cevik ve Topal, 2003; Galli vd., 2008). Bakı, heyelanların oluşumunu kontrol edebilen süreksizlikler, yağış, rüzgar etkisi ve güneş ışığına maruz kalma gibi parametrelerle ilişkilidir (Komac, 2006). 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).

Eğim ve bakı gibi heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan diğer bir parametrede yükseklik değerleridir. Bu çalışmada yükseklik değerleri 0-3500 m arasında 8 kategoriye ayrılmış ve heyelan yükseklik ilişkisi tespit edilmiştir (Tablo 1).

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. Bazı araştırmalarda (Reis ve Yomralıoğlu, 2006; Yalcin, 2007b) yamaç duyarlılığında arazi örtüsünün çok önemli yer tuttuğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmada, 10 Temmuz 2000 tarihli Landsat ETM+ (path 185, row 31) uydu görüntüsü kullanılarak yedi sınıf arazi örtüsü tespit edilmiştir (Tablo 1).

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 (Saha vd., 2002; Yalcin 2008). Çalışma alanındaki akarsular, 0-25 m, 25-50m ve 50-75m olmak üzere 3 farklı tampon bölgeye ayrılmış ve heyelanların daha çok 0-25 m ve 25-50 m aralığında meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 1).

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir (Pachauri vd., 1998; Yalcin,2008). 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. Yolların heyelanlara etkisinin tespit edilmesi için 0-15m ve 15-30m'lik tampon bölgeler tespit edilmiştir (Tablo1).

3.2 Heyelan duyarlılık Analizleri

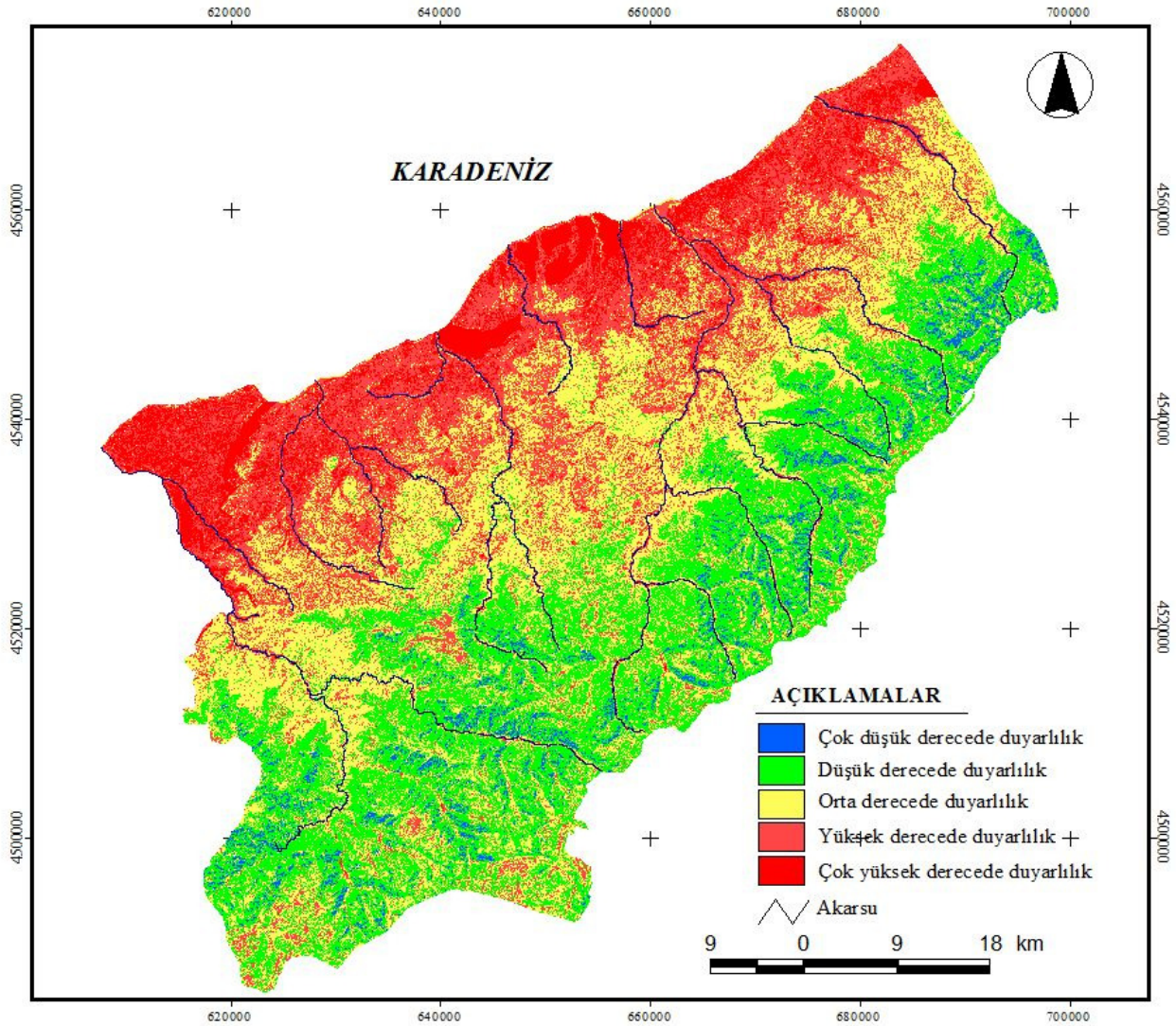
Bu çalışmada, heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinde Frekans Oranı ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır. Frekans oranı, herhangi bir katmandaki heyelan oranının tüm alandaki katmanın değerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Parametrelerin alt gruplarının frekans oranları bulunarak her bir parametreye ait değerler toplanarak heyelan duyarlılık indeksi (LSI) bulunur (Lee ve Talib, 2005).

$$LSI = \sum FR \quad (1)$$

Tablo 1. Katmanların frekans oranı değerleri

Katmanlar	Alt gruplar	Toplam alanın yüzdesi (a)	Heyelan alanının yüzdesi (b)	Frekans oranı (b/a)	
Jeoloji	Alv	0.98	0.95	0.97	
	Pl	0.16	0.00	0.00	
	Gr	44.03	13.13	0.30	
	An	43.77	59.45	1.36	
	Da	8.98	16.71	1.86	
	Kn	1.91	9.76	5.11	
	Dy	0.18	0.00	0.00	
Eğim (%)	0-10	4.50	4.25	0.95	
	10-20	2.81	10.40	3.70	
	20-30	7.36	22.91	3.11	
	30-40	12.15	21.54	1.77	
	40-50	15.75	15.89	1.01	
	50-60	15.75	10.23	0.65	
	>60	41.68	14.78	0.35	
Bakı	Düz	3.81	3.84	1.01	
	Kuzey	15.09	17.89	1.19	
	Kuzeydoğu	12.65	13.27	1.05	
	Doğu	10.57	8.85	0.84	
	Güneydoğu	8.18	5.48	0.67	
	Güney	9.88	7.70	0.78	
	Güneybatı	12.00	10.15	0.85	
	Batı	13.78	16.20	1.18	
	Kuzeybatı	14.03	16.62	1.18	
	Yükseklik (m)	0-500	21.11	46.99	2.23
		500-1000	16.70	20.04	1.20
1000-1500		14.42	22.68	1.57	
1500-2000		12.44	3.22	0.26	
2000-2500		13.88	1.33	0.10	
2500-3000		16.94	3.92	0.23	
3000-3500		4.48	1.81	0.40	
Arazi örtüsü	3500-4000	0.04	0.00	0.00	
	Çay	16.17	39.74	2.46	
	İğne yaprak	34.86	40.93	1.17	
	Geniş yaprak	10.31	4.73	0.46	
	Kayalık	12.11	3.67	0.30	
	Mera	19.25	7.59	0.39	
	Tarım	3.26	1.95	0.60	
Akarsuya yakınlık (m)	Yerleşim	1.93	0.99	0.51	
	0-25	44.53	46.10	1.04	
	25-50	46.76	51.04	1.09	
	50-75	8.02	2.86	0.36	
Yola yakınlık (m)	0-15	0.50	0.49	0.98	
	15-30	0.50	0.51	1.02	

Frekans oranı metodunda, herhangi bir katmandaki heyelan frekans oranının değerlendirilmesi yapılırken ortalama değer 1 alınır. Oranın 1'den büyük olması yüksek bir korelasyona 1'den düşük olması da düşük korelasyona işaret etmektedir. Bütün parametrelere ait frekans oranı değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir ve eşitlik 1 kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Frekans oranı yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası

AHP, çok kriterli bir karar verme süreci olup uygun yerleşim alanlarının belirlenmesi, bölgesel planlama ve heyelan duyarlılık analiz çalışmaları gibi alanlarda uygulanabilir bir yöntemdir (Ayalew vd., 2005). İkili karşılaştırmalar, AHP'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 uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları ile üretilen heyelan envanter haritası ile diğer veri katmanlarının karşılaştırılması esas alınmıştır. Oluşturulan matrislerin hesaplanması sonucu her bir katmanın ve alt gruplarının ağırlık değerleri belirlenerek (Tablo 2) heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 3).

4. SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMA

CBS ortamında gerçekleştirilen iki farklı yöntemle heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Her iki yönteme göre de duyarlılık kategorilerinin alansal ve yüzde dağılımları

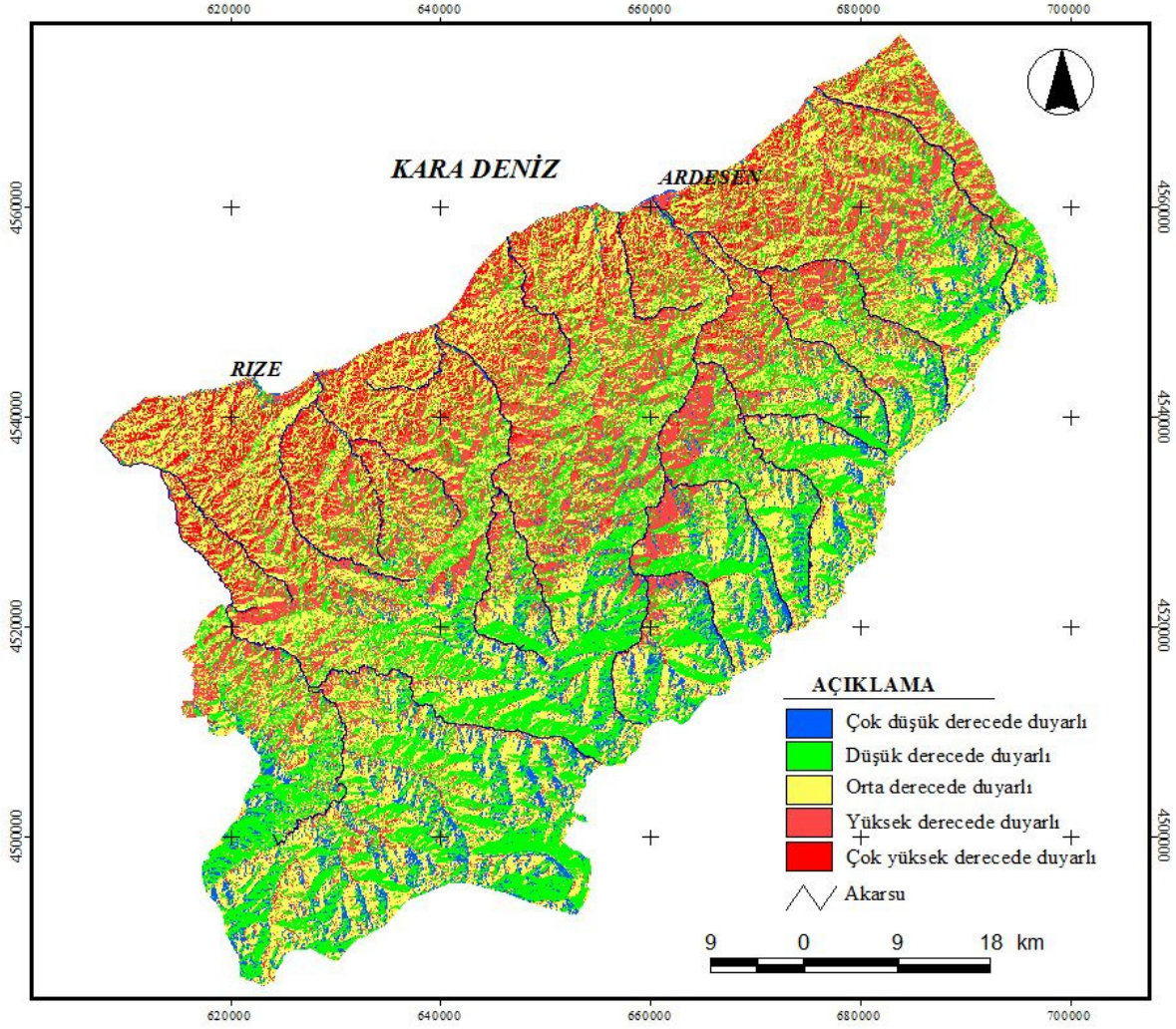
belirlenmiştir. Frekans oranı ve AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun testi için 40 adet aktif heyelandan üretilen heyelan aktivite haritası ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, heyelan aktivite haritasındaki heyelan alanlarının heyelan duyarlılık haritalarındaki karşılık geldiği alanların duyarlılık derecesi irdelenmiştir. Daha sonra, gerçek heyelan alanlarının heyelan duyarlılık zonlarına göre dağılımları tespit edilmiştir.

Frekans oranı metoduna göre üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre, çok düşük heyelan duyarlılığı toplam alanın %3.52'si kadardır. Düşük, orta ve yüksek heyelan duyarlılığı ise sırasıyla %30.59, %29.81 ve %26.75'tir. Çok yüksek heyelan duyarlılığı ise toplam alanın %9.34'lük bir kısmını kapsamaktadır.

AHP yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritasında ise, çok düşük heyelan duyarlılığının toplam alandaki oranı %7.14'tür. Düşük ve orta derecedeki heyelan duyarlılığı ise sırasıyla %27.46 ve %37.27'dir. Yüksek ve çok yüksek derecedeki heyelan duyarlılığının yüzdesi ise %21.73 ve %6.39'dur.

Tablo 2. İkili karşılaştırmalar matrisi ve ağırlık değerleri

<i>Katmanlar</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<i>Ağırlıklar</i>
(1) Alv	1									0.076
(2) Pl	1/3	1								0.030
(3) Gr	1/2	3	1							0.055
(4) An	3	5	4	1						0.130
(5) Da	4	6	5	3	1					0.190
(6) Kn	7	9	7	8	6	1				0.483
(7) Dy	1/3	1	1/2	1/3	1/4	1/9	1			0.035
<i>Tutarlılık oranı: 0.080</i>										
(1) 0-10	1									0.070
(2) 10-20	7	1								0.382
(3) 20-30	7	1/2	1							0.280
(4) 30-40	2	1/4	1/3	1						0.118
(5) 40-50	1	1/5	1/4	1/2	1					0.075
(6) 50-60	1/3	1/7	1/6	1/3	1/2	1				0.044
(7) > 60	1/2	1/8	1/7	1/4	1/3	1/2	1			0.032
<i>Tutarlılık oranı: 0.031</i>										
(1) Düz	1									0.054
(2) Kuzey	2	1								0.187
(3) Kuzeydoğu	1	1/2	1							0.054
(4) Doğu	3	1/4	3	1						0.085
(5) Güneydoğu	4	1/5	4	1/2	1					0.074
(6) Güney	3	1/4	3	1	2	1				0.085
(7) Güneybatı	3	1/4	3	1	2	1	1			0.085
(8) Batı	2	1	2	3	4	3	3	1		0.187
(9) Kuzeybatı	2	1	2	3	4	3	3	1	1	0.187
<i>Tutarlılık oranı: 0.071</i>										
(1) Çay	1									0.418
(2) İğne yaprak	1/3	1								0.226
(3) Geniş yaprak	1/6	1/4	1							0.065
(4) Kayalık	1/7	1/5	1/2	1						0.041
(5) Mera	1/7	1/5	1/2	1	1					0.041
(6) Tarım	1/5	1/3	2	3	3	1				0.104
(7) Yerleşim	1/5	1/3	2	3	3	1	1			0.104
<i>Tutarlılık oranı: 0.021</i>										
(1) 0-500	1									0.367
(2) 500-1000	1/4	1								0.162
(3) 1000-1500	1/3	2	1							0.203
(4) 1500-2000	1/6	1/4	1/5	1						0.061
(5) 2000-2500	1/7	1/5	1/6	1/3	1					0.032
(6) 2500-3000	1/6	1/4	1/5	1	3	1				0.058
(7) 3000-3500	1/5	1/3	1/2	2	4	2	1			0.093
(8) 3500-4000	1/9	1/6	1/7	1/4	1/2	1/3	1/4	1		0.023
<i>Tutarlılık oranı: 0.044</i>										
(1) 0-25	1									0.429
(2) 25-50	1	1								0.429
(3) 50-75	1/3	1/3	1							0.143
<i>Tutarlılık oranı: 0.000</i>										
(1) 0-25	1									0.500
(2) 25-50	1	1								0.500
<i>Tutarlılık oranı: 0.000</i>										
<i>Data layers</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<i>Weights</i>
(1) Jeoloji	1									0.231
(2) Eğitim	2	1								0.345
(3) Yükseklik	1/4	1/5	1							0.077
(4) Arazi örtüsü	1/2	1/3	2	1						0.132
(5) Bakı	1/2	1/3	3	1	1					0.151
(6) Akarsuya yakınlık	1/6	1/7	1/3	1/4	1/5	1				0.038
(7) Yola yakınlık	1/7	1/8	1/4	1/5	1/6	1/2	1			0.027
<i>Tutarlılık oranı: 0.025</i>										



Şekil 3. AHP yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası

5. İRDELEME

Bu çalışmada, Rize ili için Frekans Oranı ve Analitik Hiyerarşi yöntemi olmak üzere iki farklı ağırlık belirleme yöntemine göre heyelan duyarlılık değerlendirilmesi yapılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun testi için 40 adet farklı heyelan alanından oluşan heyelan aktivite haritası ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre yüksek ve çok yüksek duyarlılık zonlarının doğruluk derecesi, frekans oranı metoduna göre %73, AHP yöntemine göre ise %70 oranında çıkmıştır. Bu bulunan değerler, arazi koşullarının ve özelliklerinin yüksek bir doğruluk derecesi ile ortaya koyulduğunu, böylece daha gerçekçi sonuçlara ulaşıldığı göstermektedir. Ayrıca, Frekans Oranı yönteminin daha yüksek derecede doğruluk verdiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için sağladığı katkılardan dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK, Proje No: 106Y018) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. & Kanno, T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology* 81, s.432-445.
- Cevik, E. & Topal, T. 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, s.949-962.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J. & Xu, Z.W. 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 43(3), s.381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview, *Engineering Geology*, 64, 1, s.65-87.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. & Reichenbach, R. 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, s.268-289.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current

- techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, s.181-216.
- Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74(1-4), s.17-28.
- Lee, S. & Min, K. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40, s.1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2004. (a) Probabilistic Landslide Hazard Mapping Using GIS and Remote Sensing Data at Boun, Korea, *Int. J. Remote Sensing*, 25, 11, s.2037-2052.
- Lee, S., Ryu, J., Won, J. ve Park, H., 2004. (b) Determination and Application of the Weight for Landslide Susceptibility Mapping Using an Artificial Neural Network, *Engineering Geology*, 71, s.289-302.
- Lee, S. & Talib, J.A. 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology* 47, s. 982-990.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V. ve Chander, R., 1998. Landslide Zoning in a Part of the Garhwal Himalayas, *Environmental Geology*, 36, s.325-334.
- Reis, S. & Yomralioglu, T. 2006. Detection of current and potential hazelnut (*corylus*) plantation areas in Trabzon, North East Turkey using GIS & RS. *Journal of Environmental Biology*, 27 (4), s.653-659.
- Saaty, T.L. & Vargas, G.L., 2001. Models, methods, concepts, and applications of the analytic hierarchy process. Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Saha, A.K., Gupta, R.P. & Arora, M.K. 2002. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valey, Himalayas. *Int. J. Remote Sensing* 23(2):357-369.
- Varnes, D.J., 1984. *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices* Commission on Landslides of the IAG, UNESCO, Paris.
- Yalçın, A. (a). "Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı", Selçuk Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, 23-3, s.1-14 (2007).
- Yalçın, A. 2007 (b). Environmental impacts of landslides: A case study from East Black Sea region, Turkey. *Environmental Engineering Science*, 24(6), s.821-833.
- Yalçın, A. & Bulut, F. 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: A case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards* 41, s.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, s.1-12.