

HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASINDA CBS KULLANIMI

A. Erener¹, S. Lacasse²

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, Ankara, erener@metu.edu.tr

²International Centre for Geohazards, NGI, Oslo, Norway, suzanne.lacasse@ngi.no

ÖZET

Hızlı killi toprak kaymaları Norveç'te hayata, mülke ve çevreye zarar veren doğal afetlerin başında gelmektedir. Güvenilir tehlike ve risk değerlendirmeleri ile bu heyelanların zararlarına karşı önlem alınabilir. Bu çalışma Norveç'te Shien şehrinde bulunan hızlı killi toprak kaymaları için yapılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalamasını ele almaktadır. Heyelan duyarlılık haritaları için frekans oranı metodu ve lojistik regrasyon metodları olmak üzere iki farklı metod kullanılmıştır. Bu çalışma için eğim açısı, baki, eğrilik, yükseklik topoğrafik veri tabanından çıkarılmış, jeolojik formasyonlar ve toprak tipi jeolojik haritalardan ve jeolojik ölçümlerle elde edilmiş, tren rayı ve otoyola mesafe, nehir ve göllere olan yakınlık ve yeryüzü kullanımı ve yağış bu çalışmada dikkate alınmıştır. Sonuçlar elde var olan heyelan envanteri ile karşılaştırılmış ve çalışmanın doğruluğu test edilmiştir. Çalışma sonunda şehirleşmenin heyelana neden olan en büyük etki olduğu görülmüştür. Uygulanan ilk yöntem olan frekans oranı yaklaşımında her bir parametre için frekans oranları hesaplanmış ve heyelan duyarlılık haritası elde etmek için bu değerler tüm alandaki her harita ünitesi için çakıştırma yöntemi ile toplanmıştır. Lojistik regrasyon yönteminde ise bağımsız değişkenler, coğrafi hücrelerdeki heyelanın olma yada olmaması ile ilişkilendirilmiş ve gelecekte olabilecek heyelanın olma olasılığını gösteren harita üretilmiştir. Analizler sonucu göstermiştir ki CBS teknolojisi mekansal analizler ve heyelan tehlike ve duyarlılık haritaları modellemesinde oldukça güçlü bir araçtır.

Anahtar Sözcükler: CBS, Coğrafi Veritabanları, Heyelan Duyarlılık Haritası.

ABSTRACT

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING USING GIS

Quick clay landslides represent a natural hazard to life, property and the environment in Norway. Reliable hazard and risk assessment approaches would help mitigate the consequences of such landslides. The paper presents a Geographical Information Systems (GIS) study of the sliding hazard presented by quick clay deposits in the Skien area in Norway. The potential hazard area was analysed and mapped using two approaches, a frequency ratio probabilistic approach and a logistic regression approach. The factors considered in the study included slope angle, aspect, curvature and elevation derived from topographic databases, geological formation and soil type derived from geological maps and geotechnical soundings, distance to transportation infrastructure, rivers and lakes, and anthropogenic activities in the area. Rainfall intensity was not considered since it is not considered as one of the main triggers for such slides, and was not particularly variable in the area. The results of the analysis were validated with comparisons with the actual locations of the quick clay slides inventoried at the site. The urbanization was one of the most important triggers for quick clay slides in the region studied. In the probabilistic approach, frequency ratio values for each of these parameters were computed. With an overlay analysis, the frequency ratios were summed to yield a landslide hazard index and hazard map. In the logistic regression, the predictor variables were related to the occurrence or non-occurrence of landslides within geographic cells, and a map showing the probability of future landslides was produced. The results of the analyses showed that the GIS technology provides a powerful tool to do spatial analysis and to model landslide hazard. The frequency ratio probabilistic approach was found to give more realistic results than the logistic regression approach.

Keywords: GIS, geographic database, landslide susceptibility mapping.

1. GİRİŞ

Norveç'te sıkça meydana gelen hızlı toprak kayması insanların için, ekonomik ve çevresel olarak büyük kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle tehlike alanları iyi şekilde belirlenmelidir. Tehlike alanlarının belirlenmesi için seçilecek olan metod basitçe çalışma ölçeğine bağlı olarak değişmektedir. Alan kullanımı planlamasının ele alındığı, bölgesel ölçekli çalışmalarda tehlike değerlendirmeleri heyelana duyarlı alanların belirlenmesi şeklindedir. Heyelan tehlikesini değerlendirmek için birçok metodoloji önerilmiştir. Bunlar başlıca nicel ve nitel olarak iki ana sınıfa ayrılabilirler. Nitel olan yaklaşımlar daha çok uzman kişinin görüşüne bağlı olarak direk olarak çalışma alanında yapılan arazi incelemeleri sonucu yada heyelanı etkileyen faktörlerin indeks haritalarının birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Nicel metodlar ise heyelanı kontrol eden faktörler ile heyelan arası ilişkiye dayanan sayısal tanımlamalara bağlıdır. Nicel metod uygulaması sonrası elde edilen haritalar genellikle heyelan duyarlılık haritalarıdır (Carrara ve Merenda, 1976; Anbalagan, 1992; Soeters ve Van Westen, 1996; Wachal ve Hudak, 2000; Van Westen ve ark., 2003). Heyelan tehlike haritaları genellikle heyelanın belirlenen bir alanda ve belirlenen zamanda olma olasılığını hakkında bilgi içermelidir. Bu nedenle gerçek bir tehlike haritası temel olarak mekansal ve zamansal heyelan olma olasılığı tahminlerinin birleşimi ile oluşturulabilmektedir. Fakat geçmiş heyelanların oluş

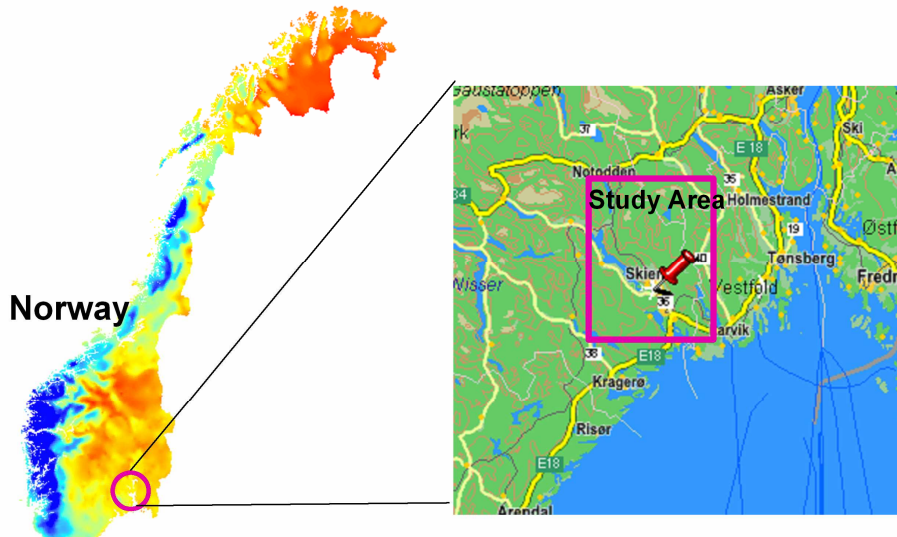
tarihleri hakkında genelde bilgi bulunmadığı için heyelanın zamansal olasılığını tahmin etmek oldukça zordur. Bu nedenle çoğu tehlike haritası elde var olan sayısal verilerin kullanımı ile heyelanların ne zaman olacağı ile ilgili bilgi vermeden nerede olacağı hakkında bilgi sağlamaktadır (Ohlmacher ve Davis, 2003).

Heyelan tehlike haritalarının oluşturulması için birçok istatistiksel metod kullanılmaktadır (Anagnosti ve Lesevic, 1991; Carrara, 1983; 1988; Carrara ve ark., 1991; 1995; Van Westen, 1993; 1997; Chung ve Leclerc, 1994; Van Westen ve ark., 1997; Begueria ve Lorente, 1999; Chung ve Fabbri, 1999; Lee ve Min, 2001; Pistocchi, 2002; Ohlmacher ve Davis, 2003; Lee, 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Guzetti ve ark., 2005; Yesilnacara ve Topal, 2005; Zhu ve Huang, 2006).

Bu çalışmada belirlenen bir takım heyelanı etkileyen faktör ile gelecekte olabilecek heyelanların olma olasılıkları belirlenmiştir. Bu çalışmada topoğrafik haritadan elde edilmiş eğim açısı, bakı haritası, eğrilik ve yükseklik; jeolojik haritadan elde edilmiş jeolojik formasyon ve toprak türü ayrıca tren rayı, otoyola mesafe, nehir ve göllere olan yakınlık, yeryüzü kullanımı ve yağış analizlerde dikkate alınmış faktörlerdir. Bu çalışmada, CBS mekansal veri yönetimi ve veri işlemek amaçlı kullanılmıştır. Carrara (1983), Wang ve Unwin (1992), Van Westen (1993), Carrara ve ark. (1995), Sakellariou ve Ferentinou (2001), Ohlmacher ve John (2003), Lan ve ark. (2004), Lee (2004; 2005), Wang ve ark. (2005), ve Zhu ve Huang (2006) heyelan tehlike alanları belirleme çalışmalarında CBS kullanmıştır. Heyelan duyarlılık haritalaması için uygulanan yöntem “geçmiş ve şuan, gelecek için anahtardır” prensibine dayanmaktadır. Bu nedenle geçmiş heyelan konumlarını gösteren, çalışma alanı ait envanter haritası basılı haritalardan çıkarılmış daha sonra bu envanter haritası CBS ortamında dijital hale dönüştürülüp hücresel formata çevrilmiştir. Veriyi oluşturduktan sonra, frekans oranları metodu ve lojistik regresyon metodları uygulanarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliği geçmiş heyelan konumları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Norveç’in güney doğusunda yer almakta ve 44.8 km² lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 1). Çoğu killi toprak kayması kent yerleşiminin bulunduğu, nehir kenarında meydana gelmektedir. Bu nedenle bu killi toprak kaymaları her yıl yaşam kaybı, maddi kayıplar, ulaşım ve haberleşmenin kesilmesi gibi tehditler oluşturmaktadır. Alanda bulunan killi toprak, üstüne çok yük bindiği takdirde veya doğal yapısı bozulduğu takdirde ani çökmelere eğilimlidir buda yıkıcı heyelanlara neden olabilmektedir. Toprak profili üstte 1.5 m den 3.5 m ye kadar kalın nehir kumu içermektedir. Kum altında killi alüvyon ile birlikte bulunan ince kum katmanı içeren deniz depozitleri bulunmaktadır. Bunun da altında ana kayalara kadar uzanan kum ve çakıl bulunmaktadır. Deniz depozitlerinden kum/çakıl depozitlerine geçiş nehrin su seviyesinden daha düşüktür bunun anlamı killi alüvyonlar erozyon oluşumuna maruzdur. Olabilecek bir erozyon killi toprak kaymalarını tetiklemektedir. Bu da nehir kenarında bulunan yapılar ve yaşayan insanlar için bir tehdit unsuru oluşturmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı Norveç Skien kenti

Bu nedenle heyelana duyarlı alanlar çalışma alanında uygun şekilde belirlenmelidir. Duyarlılık haritaları oluşturmak için ise heyelan oluşumuna etkisi olan ilgili faktörler iyi şekilde belirlenmelidir. Bu çalışma için toplam 11 faktör heyelan duyarlılık haritalaması için belirlenmiştir.

2.1. Tematik Haritaların Oluşturulması

Bu çalışmada 11 faktör olasılık tahmininde dikkate alınmıştır. Heyelanı etkileyen faktörler esas değişken ve harici değişken olmak üzere iki çeşide ayrılabilir. Esas değişkenler jeolojik koşullar, morfoloji ve eğim açısı gibi değişkenlerdir. Heyelanlar aynı zamanda yağış, deprem ve insan aktiviteleri gibi çeşitli harici değişkenler tarafından da tetiklenebilirler. Ormanların kesilmesi, kazı, yol yapımları veya bina yapımları gibi insan aktiviteleri özellikle nüfus artışı ve şehirleme Norveç'te killi toprak kaymalarını tetikleyici önemli faktörlerdendir. Bu nedenle yapılaşma çalışmaya dahil edilen önemli bir değişkendir. Dikkate alınan diğer faktörler tren rayı ve otoyola mesafe, nehir ve göllere olan yakınlık, yeryüzü kullanımı, eğim açısı, bakı haritası, eğrilik ve yükseklik, jeolojik formasyon, toprak türü, ve yağıştır. Analizlerde kullanılan veriler, veri tipi ve ölçeği Tablo 1'de gösterilmektedir.

Ana veri Setleri	Üretilen Haritalar	CBS veri tipi	Ölçek/Doğruluk	Sınıflandırma
Arazi kullanım Haritaları	Arazi kullanım	Poligon	1/250,000	Alan kullanım
	Nehir ve göle mesafe	GRID	20x20	Mesafe
	Yol ve trenyoluna mesafe	GRID	20x20	Mesafe
Topoğrafik Harita	Eğim	GRID	20x20	Topoğrafik
	Eğrilik	GRID	20x20	Topoğrafik
	SYM	GRID	20x20	Topoğrafik
Yağış Haritası	Yağış	GRID	1X1 km ²	Yağış verisi
Jeoloji Haritası	Litoloji	Poligon	1:250,000	Jeoloji
Toprak Haritası	Toprak tipi	Poligon	1:250,000	Yapısal Jeoloji
Kil alanları	Kil alanı	Poligon	1:50,000	Jeoloji

Tablo 1. Analizlerde kullanılan veriler

Topoğrafik faktörlerin hesabı için TIN (Düzensiz Üçgen Ağları) kurulmuş daha sonra hücre formatındaki SYM'ne enterpolasyon yapılmıştır. Alanın ortalama denizden yüksekliği 0 ile 215 m arasında değişmektedir. 20 m x 20 m çözünürlüklü SYM daha sonra morfolojik faktörleri çıkarmak için kullanılmıştır. SYM' den eğim ve eğrilik hesaplanmıştır. Eğim haritası 0 ile 55 derece arası değişmektedir. Alandaki pozitif eğrilik; yüzeyin yukarı doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrilik; yüzeyin yukarı doğru içbükey olduğunu ve sıfır değeride yüzeyin düz olduğunu göstermektedir.

Topoğrafik etkiler yanında şehirleşme ve insan etkileri de dikkate alınmıştır. Bu etkilerin killi toprak kaymasına etkisini araştırmak için yol ve tren rayına olan mesafe, ve arazi kullanımı da analizle eklenmiş faktörlerdendir. Yol ağları çok sık ve birbirine yakın olduğu için, ana ve ara yollar ve tren yollarına kadar olan 75 metrelik mesafe hesaplanmıştır. Korelasyon analizleri sonucunda yola yakın mesafelerde killi toprak kaymalarının daha sık olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanına ait arazi kullanım haritaları ise dört farklı kategoride incelenmiştir. Bunlar: Şehir , Ulaşım, Hidroloji, ve boş alanlar. Alana ait 6 farklı formasyonda jeoloji haritası ve 5 farklı tür içeren toprak haritalarında Norveç jeoloji biriminden elde edilmiştir. Heyelanlar oldukça sık olarak yağışlarla tetiklenmektedir. Bu nedenle ortalama aylık yağış haritası Oslo meteorolojik enstitüsü tarafından sağlanmıştır. Alana ait yağış 100 ile 97 mm arasında değişmektedir. Ortalama yağış değerinin çok değişkenlik göstermemesinin nedeni bu haritaların tüm ülke için hazırlanmış olması ve dolayısıyla oldukça düşük çözünürlüğe sahip olmasıdır. Alana ait toprak mukavemeti profili yapılan noktasal penetrometre testleri ile çıkarılmış ve kriging yapılarak bu faktör tüm alan için enterpolasyon metodu ile belirlenmiştir.

Gelecekte olabilecek heyelan konumları, geçmiş heyelan konumları kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır bu nedenle, alana ait heyelan haritaları dijital hale getirilmiş ve analizler için bu konumlar kullanılmıştır.

3. DUYARLILIK HARİTALARI

3.1. Frekans Oranı Metodu (FR)

Frekans oranları metodu, geçmiş heyelan konumları ile dikkate alınan heyelanı etkileyen her bir faktörün korelasyonunu araştırmak için kullanılmıştır. Bu nedenle her bir heyelanı etkileyen faktör kategorilere ayrılmış ve her bir faktörün her bir kategorisindeki frekans oranı değeri CBS fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır.

Her bir faktörün kategorik birimindeki heyelan alanı analiz edilmiş ve daha sonra bu değerler irdelenmiştir. Bu metod potansiyel tehlike alanlarının belirlenmesinde, heyelanı etkileyen faktörlerin objektif bir şekilde ağırlıklandırılmalarını sağlamaktadır. Faktörlerin ağırlıklandırılmalarıyla ilgili öznellik kalksada, her bir faktörün kategorilere ayrılması sırasında kullanılan eşik değerleri belirlemesi yine öznelliği devam ettirmektedir. Dikkate alınan faktörlerin ve heyelan konumlarının korelasyon analizi sonrası elde edilen bu oranlar, daha sonra heyelan duyarlılık haritaları oluşturmak için kullanılmıştır. Hesaplanan frekans oranları faktörlerin derecelendirilmeleri için

kullanılmıştır. Bu derecelerin her bir birim için toplamı daha sonra heyelan duyarlılık harita indexleri oluşturmak için kullanılmıştır. Frekans Oranları hesabı için aşağıda verilen formül 1 kullanılmıştır:

$$FR = PLO / PIF \quad (1)$$

Burada: PLO heyelanı etkileyen faktörün her bir kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi ve PIF heyelanı etkileyen faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir. Frekans oranı hesap tablosunda PLO A/B olarak ve PIF ise C/D olarak hesaplanmıştır. Frekans oranlarının hesabı için verilen örnek tabloda elde edilen FR değerlerinden 1'den büyük değerler yüksek korelasyonu ifade etmekte, 1 den düşük değerler ise (örn: 0.85 den düşük) düşük korelasyonu göstermektedir. Heyelan oluşumuna yüksek korelasyon gösteren değişkenler koyu renkle gösterilmiştir. Heyelan lokasyonları ve her bir heyelanı etkileyen faktörler arası korelasyon incelenmiştir. Heyelan lokasyonu ile eğim arasındaki ilişki göstermiştir ki, eğim 5° ile 15° arasında heyelana yüksek korelasyon göstermektedir. Eğimin 15° den büyük olduğu yerlerde ise heyelanın oluşması ile ilgili bir ilişki görülmemektedir. Bu sonuç yapılan arazi çalışmalarında da teyid edilmiştir.

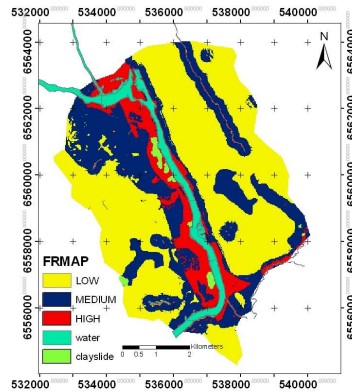
Kategori	Heyelan varlığı*		Tüm Alan**		Oran
	A, Hücre sayısı	PLO (%)	C, Hücre sayısı	PIF(%)	
0~50	556	53	73555	66	0.81
5~100	349	34	22553	20	1.67
10~150	130	12	8953	8	1.56
15~200	6	1	3692	3	0.18
20~250	0	0	1758	2	0.00
>250	0	0	1630	1	0.00

*B=1041 (Heyelanı içeren toplam hücre sayısı)

**D=112,141 (Alandaki toplam hücre sayısı)

Tablo 2. Eğim haritası için frekans oranı hesabı

Yükseklik haritası heyelan oluşumuna 0 dan 15 m ye kadar yüksek korelasyon göstermiştir. Bunun nedeni bu düşük yükseklikte nehire yakınlık ve erezyon olarak verilebilir. Nehire yakınlık incelendiği zaman en çok korelasyon 0-20 m de görülmektedir. Nehirden uzaklaştıkça bu korelasyon azalmaktadır. Şehirleşme ise killi toprak kaymasının önemli bir tetikleyici nedenidir. Bu durum yollara yakınlık için yapılan korelasyon analizlerinden de açıkça görülmektedir. Özellikle yollara 60'm ye kadar heyelan ile korelasyon gittikçe artmakta ve uzaklaştıkça korelasyon düşmektedir. Toprak tipi sınıflarında ise en çok korelasyon nehir birikintileri ve killi çamur da görülmektedir. Jeolojide ise kireçtaşı, şist ve kumtaşı biriminin heyelana korelasyonu fazladır. Arazi kullanımında ise heyelanla en yüksek görülen korelasyon şehir alanındadır. Bu sonuçta yine şehirleşmenin heyelan oluşumuna negatif etkisini göstermektedir. Frekans oranları 20x20 m² lik her bir birim için hesaplanıp, her bir faktörün her bir kategorisi için bu değerler bu birimlere atanmıştır. Daha sonra CBS ile tüm haritalar çakıştırılıp, oranlar toplanmış ve her birim için duyarlılık indeksi oluşturulmuştur. Sonuç haritası indeksi değeri 0 ile 34.43 arasında değişmekte ve standart sapma 5.14 olarak elde edilmiştir. Bu harita daha sonra düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılarak duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Yüksek duyarlı bölgeler daha çok nehir kıyısında, yol ve tren raylarına yakın alanlar olarak belirlenmiştir. Duyarlılık haritası heyelan lokasyonları ile çakıştırıldığı zamanda bu alanların iyi tahmin edildiği görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Frekans oranları metodu sonrası elde edilen duyarlılık haritası geçmiş heyelan lokasyonları ile çakıştırılmıştır.

3. 2. Lojistik Regrasyon Metodu

Heyelan tehlikesinin araştırılması için uygulanan ikinci yöntem lojistik regrasyon yöntemidir. Bu yöntem istatistiksel olarak duyarlılık haritası oluşturmak için uygulanan en yaygın yöntemlerden biridir (örn, Dai ve Lee, 2001; 2002; Ohlmacher ve Davis, 2003; Lee, 2004; 2005; Guzetti ve ark., 2005; Yesilnacar ve Topal, 2005; Lee ve Min, 2001; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Zhu ve Huang, 2006). Lojistik regrasyon yöntemi bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken olan heyelan arasındaki ilişkiye bakmakta ve gelecekte olabilecek heyelan alanları için bu ilişkiyi kullanmaktadır. (Ohlmacher and John, 2003). Lojistik regrasyonun diğer regrasyon yöntemlerine göre avantajı, değişkenlerin sürekli, kategorik veya çift değişkenli olabilmesidir. Bu çalışmada bağımlı değişken, heyelanın var yada yok olduğunu gösteren çift değişkenli bir değerdir. 11 bağımsız değişken ise eğim, eğrilik, yükseklik, yağış, mukavemet kuvveti değeri, jeolojik formasyon, toprak tipi, killi alanlar, yola ve tren raylarına mesafe, nehre ve göllere mesafe ve arazi kullanımıdır. Tüm alanı içeren hücre birimi 112,141 adettir ve bunların 1043'ü geçmiş heyelan lokasyonlarını oluşturmaktadır. Lojistik regrasyon sonucu elde edilen model göstermiştir ki heyelan oluşumu şehir alanı ile ve toprak tipinden buzul killi birikinti ve organik toprak tipleri ile yüksek oranda pozitif korelasyonludur. Model ayrıca jeoloji tipinden Marble ve granit ile ayrıca suya mesafe ve yola mesafe ile negatif korelasyonludur (Tablo 3).

Değişken	Kategori	Beta	Değişken	Kategori	Beta
Killi alanlar		4.6024	Toprak tipi		
Eğrilik		-0.0882	Organik Toprak		1.2035
Yükseklik		-0.0201	Kaya yatakları		-1.3514
Nehire Mesafe		-0.0043	Nehir birikintileri		-0.095
Alan kullanımı			Buzul killi birikinti		1.6047
	Şehir	3.0551	Deniz birikintileri		0.2239
	Ulaşım	0.5060	Jeoloji		
	Boş	0.1846	Granit		-3.364
	Hidroloji	0.2003	Kumtaşı		1.0035
Mukavemet kuvveti		0.0011	Şist		0.7027
Yola mesafe		-0.0126	Marble		-2.7245
Eğim		0.0501	Çakıltası		0.4742
Yağış		0.0002	Volkanik kayalar		0.1465
Baki sinüs		-0.011	Sabit		-11.8632
Baki kosinüs		0.0257			

Tablo 3. Lojistik Regrasyon modeli katsayı olasılıkları hesabı

Lojistik regrasyon sonucu daha sonra Cox-Snell R^2 ve Nagelkerke R^2 değerleri ve sınıflandırma tablosu ile değerlendirilmiştir. Cox-Snell R^2 and Nagelkerke R^2 değerleri temel olarak R^2 değeri tahminidir ve bağımsız değişkenlerin modele katılımı ile bağımlı değişkendeki değişim oranını göstermektedir. Büyük değerdeki R^2 değeri değişimin çoğunun model tarafından tanımlandığını ifade etmektedir. Ve bu değerler sırasıyla 0.536 ve 0.714 olarak bulunmuştur. Lojistik regrasyon sonucunun başarısı ayrıca sınıflandırma tablosuna bakılarak değerlendirilebilir. 2x2 olan tablo tüm model için doğru ve yanlış tahminleri göstermektedir. Kolonlar bağımlı değişkenin tahmin edilen değer yüzdesi ve satırlar gözlenen (gerçek) değerler yüzdesidir. Tablo 4'te görüldüğü gibi tüm doğruluk 93 % tür.

	Tahmin edilen		
Gözlenen	0%	1%	Doğruluk yüzdesi
0%	89	11	89.34%
1%	3	96	96.54%
			Tüm doğruluk 92.94%

Tablo 4. Hızlı Toprak kayması için yapılan lojistik regrasyon sonucu doğruluk araştırması

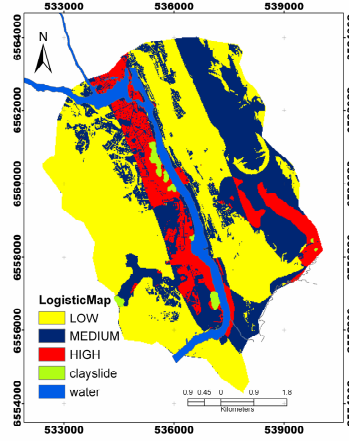
Lojistik regrasyon modeli oluşturulduktan sonra alana ait heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Fonksiyonun logit değeri, $P(L)$, lojistik fonksiyonu tarafından olasılık olarak tanımlanmaktadır. Bunun için Formül 2' ye göre fonksiyon her birim için hesaplanmış ve heyelan duyarlılık haritası Formül 3'e göre oluşturulmuştur.

$$f(x) = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (2)$$

$$P(L) = \frac{1}{1 + \exp^{-f(x)}} \quad (3)$$

Burada B_i değerleri bağımsız değişkenlerin ($X_1, X_2, \dots, X_n$) katkısını ölçen değerler, $P(L)$, ise lojistik fonksiyonun olasılığı olarak tanımlanır. $f(x)$ değeri $-\infty$ ile $+\infty$ arası değişirken olasılık 0 ile 1 arasında değişir. Heyelan olasılık değerleri Formül 3'e göre elde edildikten sonra duyarlılık haritası oluşturmak için düşük, orta ve yüksek olarak üç

sınıfa ayrılmıştır. Yüksek heyelana duyarlı alanlar faktör analizi sonuç haritası gibi nehir kenarları çıkmıştır ve burada yol, şehir alanı etkisinde açıkça görülmektedir.



Şekil 2. Lojistik regresyon metodu sonrası elde edilen duyarlılık haritası.

3.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Uygulanan metodların doğruluğu her bir duyarlılık sınıfı alanı için heyelan yoğunlukları ve yüzdeleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Duyarlılık sınıflarındaki heyelan yoğunluğu, her bir duyarlılık sınıfı alanında bulunan heyelan alanının oranı olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her bir metodun hangi oranda heyelan oluşumunu tahmin ettiğini analiz etmek içinde yüzdeleri hesaplanmıştır. Yapılan analiz sonuçları göstermiştir ki yüksek duyarlılık sınıfı tahmininde frekans oranları metodu LR metoduna göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu durum FR metodu analizinde tahmin edilen yüksek duyarlılık sınıfı yoğunluğunun ve yüzdesinin LR metodu değerlerine göre daha yüksek olmasından anlaşılmaktadır.

FR Metodu					LR Metodu			
Duyarlılık Sınıfı	Heyelan alanı	Toplam alan	Yoğunluk	Heyelan oluşumu Yüzdesi	Heyelan Alanı	Toplam Alan	Yoğunluk	Heyelan oluşumu Yüzdesi
Düşük	2	69235	0.00	0.19	5	56579	0.00	0.48
Orta	146	27149	0.01	14.02	288	40648	0.01	27.67
Yüksek	893	15757	0.06	85.78	748	14914	0.05	71.85

Tablo 5. FR ve LR metodu sonuç değerlendirme

4. ÖZET VE SONUÇ

Norveç'in güneyinde bulunan çalışma alanında heyelan duyarlılık haritası, frekans oranları metodu ve lojistik regresyon metodu gibi iki farklı yaklaşımla belirlenmiştir. 11 farklı heyelanı etkileyen faktör dikkate alınmış ve veri katmanları CBS ortamında oluşturulmuştur. Metodları uygulama sonrası oluşturulan duyarlılık haritaları düşük, orta ve yüksek duyarlı alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu belirlenen tehlike alanları olmuş olan killi toprak kaymaları ile karşılaştırılmıştır. Her iki metodda oldukça iyi sonuç vermiştir fakat frekans oranları metodu sonucu bulunan yüksek tehlike alanları ile olmuş olan heyelanların korelasyonu daha gerçekçi bir sonuç vermektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu proje Avrupa projesi No. 505448 LESSLOSS tarafından desteklenmiştir. Çalışma Uluslararası tehlike araştırmaları merkezi olan NGI (International Centre for Geohazards) da yapılmıştır. Birinci yazar, araştırmacı olarak ziyaret ettiği uluslararası tehlike araştırmaları merkezi olan, NGI, Enstitüsüne bu imkanı sağladıkları için teşekkür etmektedir.

6. KAYNAKLAR

Anagnosti P., Lesevic Z., 1991. *Probabilistic versus deterministic approach in hazard assessment of landslides along man made reservoirs*. Landslides, 2:1221-1227

Anbalagan R. 1992. *Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain*. Proc. VI Int Symp on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2:861-868

- Ayalew L., Yamagishi H., 2005. *The application of GIS-based logistic regression for susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan*. *Geomorphology*, 65(1-2):15-31.
- Beguiria S., Lorente A. 1999. *Hazard mapping by multivariate statistics: comparison of methods and case study in the Spanish Pyrenees*. Debris fall assessment in mountain catchments for local end-users. Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, 202, 50080-Zaragoza, Spain.
- Carrara A., Merenda L., 1976. *Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87: 1153–1162
- Carrara, A., 1983. *A multivariate model for landslide hazard evaluation*. *Mathematical Geology* 15:403–26.
- Carrara A., 1988. Multivariate models for landslide hazard evaluation. A black box approach. Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries, Perugia, Italy, pp. 205-224
- Carrara A., Cardinali M., Detti R., Guzzetti F., Pasqui V., Reichenbach P., 1991. *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard*. *Earth Surface Processes and Landforms* 16:427–45.
- Carrara A., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P., 1995. *GIS technology in mapping landslide hazard*. *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, 135-175
- Chung C.F., Leclerc Y., 1994. *A Quantitative Technique for Zoning Landslide hazard*. International Association for Mathematical Geology Annual Conference, Mont Tremblant, Québec: 87-93.
- Chung C.J.F., Fabbri A.G., 1999. *Probabilistic Models for landslide Hazard Mapping*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 65(12):1389-1399
- Dai F.C., Lee C.F., 2001. *Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case Study*. *Can. Geotech. J.* 38:911–923
- Dai F.C., Lee C.F., 2002. *Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS*, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42:213-228
- Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M., Ardizzone F., 2005. *Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines*. *Geomorphology*, 72:272–299.
- Lan H.X., Zhou C.H., Wang L.J., Zhang H.Y., Lier H., 2004. *Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed*, Yunnan, China, *Engineering geology*, 76:109-128
- Lee S., Min K., 2001. *Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea*. *Environmental, Geology*, 40:1095–1113
- Lee S., 2004. *Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS*. *Environ Manage*, 34:223–232
- Lee S., 2005. *Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data*. *Int. J. Remote Sensing* preview article, Taylor & Francis Ltd.
- Ohlmacher G.C., Davis J.C., 2003. *Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA*. *Eng Geol* 69:331–343
- Pistocchi A., Luzi L., Napolitano P., 2002. *The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods*. *Environ Geol*, 41:765–775
- Sakellariou M., Ferentinou M., 2001. *GIS-based Estimation of Slope Stability*, *Natural Hazards Review (ASCE)*, No 1, Vol 2:12-21.
- Soeters R., Van Westen C.J., 1996. *Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation*, In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), *Landslides, investigation and mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington DC, USA, pp 129–177.
- Wachal D.J., Hudak P.F., 2000. *Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA*. *GeoJournal* 51:245–253, 2000.
- Wang S.Q., Unwin D.J., 1992. *Modelling landslide distribution on loess soils in China: an investigation*. *International Journal of Geographical Information Systems* 6:391–405.
- Wang H., Liu G., Xu W., Wang G., 2005. *GIS-based landslide hazard assessment: an overview*, *Progress in Physical Geography* 29(4):548-567
- Van Westen C.J., 1993. *Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation*. ITC-Publication No. 15, ITC, Enschede, 245 pp.
- Van Westen C.J., 1997. *Statistical landslide hazard analysis*. ILWIS 2.1 for Windows application guide. ITC Publication, Enschede: 73–84
- Van Westen C.J., Rengers N., Terlien M.T.J., Soeters R., 1997. *Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation*, *Geol Rundsch* 86:404-414

Van Westen C.J., Rengers N., Soeters R., 2003. *Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment*, Natural Hazards 30:399–419, 2003.

Yesilnacara 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

Zhu L., Huang J., 2006. *GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale*. Journal of Zhejiang University Science A, 7 (12):2007-2017