

İSVEÇ’TE CBS KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI UYGULAMASI

A. Erener¹, M.A. Kaynia²

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

²International Centre for Geohazards, NGI, Oslo, Norway, amir.kaynia@ngi.no

ÖZET

İsviçre’de meydana gelen hızlı toprak kaymaları ciddi kayıp ve maddi zararlara neden olmaktadır. Heyelan zararlarını en aza indirmek için güvenilir risk ve tehlike değerlendirmeleri yapılmalıdır. Bu çalışma İsviçre’nin LillaEdet şehrinde meydana gelen killi toprak kaymaları için, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasını içermektedir. Heyelana duyarlı bölgeler, heyelana neden olan faktörler dikkate alınarak, frekans oranı metodu ve ilk derece ikinci moment metodları kullanılarak (FOSM) belirlenmiştir. Heyelana neden olan faktörler olarak eğim açısı, baki, eğrilik, ve yükseklik değerleri kullanılmıştır. Bu faktörler LIDAR verisinden çıkarılmıştır. Geçmiş tarihli heyelan lokasyonları killi toprak kaymasını gösteren bölgeye ait kağıt haritalardan sayısallaştırılmıştır. Bu lokasyonlar LIDAR verileri ve hava fotoğrafları kullanılarak doğrulanmıştır. Analizleri sonrası uygulanan metodların, heyelana duyarlı alanları tahmin etme yeteneği, geçmiş heyelan bilgileri kullanılarak, relatif eğri (ROC) metodu kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar eski heyelan lokasyonları ile elde edilen duyarlılık haritaları arasında büyük bir uyuma olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: CBS, Heyelan, LIDAR, Frekans oranı metodu (FR), ilk derece ikinci moment metodu (FOSM).

ABSTRACT

SUSCEPTIBILITY MAPPING USING GIS AT LILLEDET SWEDEN

Quick clay slides occur frequently in Sweden and cause serious damages and costs. Reliable hazard and risk assessment approaches would help to mitigate the consequences of such landslides. This paper evaluates the hazard of clay slides in the Lilla Edet municipality in Sweden using Geographical Information Technology (GIS). This tool provides a powerful tool to model the landslide susceptibility accounting for the spatial analysis and prediction. Landslide hazard areas are analysed and mapped as a function of landslide-occurrence factors, by the frequency ratio (FR) (or probability likelihood ratio) method and the first order second moment (FOSM) method. The governing factors, such as slope angle, aspect, curvature, plan, and elevation, were recognised for the probability likelihood ratio method. These factors were extracted from the light detection and ranging (LIDAR) data. The historical landslide locations were digitized from the hardcopy map of the region. The LIDAR data and aerial photos were used to confirm the historical landslide locations. In the FOSM approach, a probabilistic slope stability model was integrated into GIS environment. The performance of the landslide mapping was assessed using the actual landslide locations and the relative operating curve (ROC) method. An ROC curve evaluates how well the methods predict a quantity. The analyses showed satisfactory agreement between the predicted hazard map and earlier landslide locations in the area, and validate the methodology used in this investigation.

Keywords: GIS, Landslide, LIDAR, Frequency Ratio Method (FR), First Order Second Moment Method (FOSM).

1. GİRİŞ

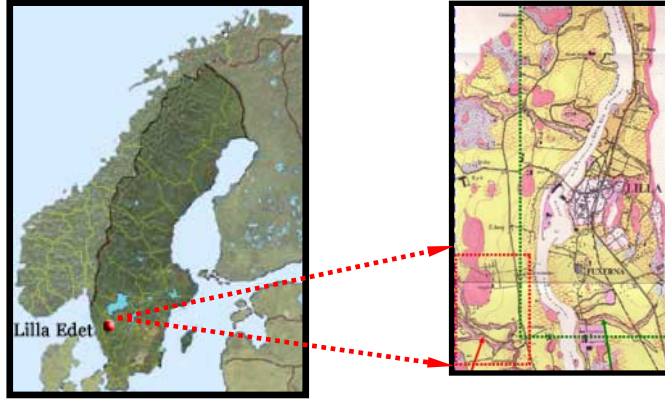
Tuве heyelanı sonrası, İsveç hükümeti heyelana duyarlı alanlar içinde bulunan, yapılaşmış ve imar planı yapılmış araziler için, heyelan tehlike haritası oluşturulması için araştırmalarda bulunmuştur (SGI Raporu, 2006). Meydana gelen heyelanların sonuçlarını azaltmaya yardımcı olmak amacıyla İsveç’te bulunan LillaEdet kenti için hızlı toprak kaymalarının mekansal olasılığı araştırılmıştır. Literatürde heyelan duyarlılığını araştırmak için farklı birçok metod bulunmaktadır. Bu çalışmada iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. İlk yaklaşım tek değişkenli olasılık analizine dayanmaktadır. Çoğunlukla frekans oranı (FR) modeli olarak adlandırılan bu analizde, heyelan lokasyonları ile heyelanı etkileyen faktörlerin mekansal ilişkisi CBS kullanılarak analiz edilmektedir (Lee ve Tu Dan, 2005; Lee ve Pradhan, 2006). Heyelanı etkileyen her bir faktörün her bir kategorisi için bu frekans değeri CBS araçları kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu ilişkiler üstüste çıkıştırma işleminde, her bir faktörün decelendirilmesinde kullanılmaktadır. Faktörlerin dereceleri daha sonra heyelan duyarlılık indexi ve haritası oluşturmak için toplanmaktadır.

Bu çalışmada uygulanan ikinci metod ise ilk derece ikinci moment (FOSM) metodudur. Bu metod formülasyonundaki kolaylığı bakımından yaygın olarak kullanılan metodlardan biridir, Düzgün ve Özdemir (2006); Düzgün ve Karpuz, (2006), ve Chen ve ark., (2007). Bu çalışmada tehlikeyi değerlendirmek ve Lilla Edet kentinde duyarlılık haritası oluşturmak için, olasılıklı eğim stabilite modeline bağlı olarak kopma gerilimi, alana ait eğim haritası ile birleştirilmiştir.

FR ve FOSM kullanılarak oluşturulan modellerin tahmin etme kabiliyetleri relatif eğri (ROC) metodu kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda FR metodunun FOSM'a göre tahmin etme kabiliyetinin daha iyi olduğu görülmüştür.

1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı $1 \times 1,3 \text{ km}^2$ boyutlarında ve Lille Edet kentinin güney batı kısmında yer alan Västra Götaland vilayetinde ve Göta Älv River vadisinin güney batısında yer almaktadır. Göta Älv River vadisi İsveç'te heyelanın en yüksek oranda olduğu alandır. Bunun nedeni bölgenin özel bir jeolojik tarihe sahip olmasıdır. Bu bölgede kaya çıkıntıları tarafından çevrelenmiş derin birikinti şeklinde yumuşak kil bulunmaktadır. Heyelanların boyutu küçük olsada, ciddi sayıda heyelan geniş bir alana dağılmaktadır.



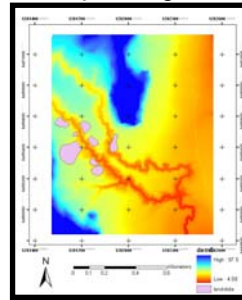
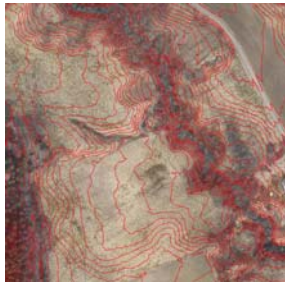
Şekil 1: Çalışma alanı İsveç Lille Edet kentinin güney batısı

Çalışma alanında heyelanlara ait afet değerlendirmesi yapabilmek için heyelana neden olan faktörler LIDAR verisinden çıkarılmıştır. Uçaktan laser taraması ile yeryüzünün yükseklik modeli, var olan topoğrafik haritalardan çok daha iyi doğrulukta elde edilmektedir. Alanın topografyasını taramak için TopEye hava topoğrafik ölçme sistemi kullanılmış ve her metre karede 5-10 m ölçüm alınmış ve x,y ve z ölçümlerinde 10 cm. doğruluk elde edilmiştir (SGI, 2006). Bu çalışmada yükseklik modeli oluşturmak için 5x5 m. çözünürlük kullanılmış ve bu yükseklik modelinden eğim, eğrilik ve eğrilik planı hesaplanmıştır. Geçmişte olmuş kayma konumları alana ait haritalardan belirlenip, kontur haritaları ve hava fotoğrafları kullanılarak bu lokasyonların doğruluğu analiz edilmiştir. Heyelanı etkileyen faktör analizi ve geçmişte olmuş heyelan konumu belirlenmesi sonrası, her bir faktör ve heyelan konumları arasındaki ilişki, FR ile analiz edilmiştir. Her bir faktörün heyelanla olan korelasyon derecesi daha sonra, heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için toplanmıştır. FOSM metodu için ise kopma gerilimi üç farklı derinlik 5, 10, ve 15 m için hesaplanmıştır.

2. METODLARIN UYGULAMASI

2.1. Frekans Oranları Metodu (FR)

FR kayma konumları ile dikkate alınan farklı faktörler arasında bir korelasyon kurmaktadır. Bu nedenle bir mekansal veritabanı kurulmalıdır. Bu çalışmada olasılıkların hesaplanması için beş farklı faktör dikkate alınmıştır. Faktörleri hesaplamak için ilk olarak alana ait LIDAR verisi kullanılarak Düzensiz Üçgen Ağı (TIN) kurulmuş ve bu oluşturulan TIN daha sonra enterpolasyon ile hüresel veri formatına dönüştürülmüştür. CBS analiz fonksyonları kullanılarak oluşturulan yükseklik modelinden eğim, bakı, eğrilik haritaları üretilmiştir. Kaymalara ait eski konumlar var olan haritalardan çıkarılmış ve sayısal ortamda çizilmiştir. Bu konumların doğruluğu hava fotoğrafları ve kontur haritası ile kontrol edilmiştir. Bu analizler sonucunda alanda 8 adet kayma alanı haritalanmış ve sonra bu konumlar hüresel veri formatına dönüştürülmüş ve heyelan konumlarını içeren toplam 1783 hücre elde edilmiştir.



Şekil 2: Heyelan konumlarının kontur haritasıyla doğruluk kontrolü Şekil 3: Heyelan konumlarını gösteren harita

Veriyi oluşturduktan sonra, FR metodu kullanılarak geçmiş heyelan konumları ile dikkate alınan faktörler arasındaki korelasyon incelenmiştir. Bu yaklaşımda her bir dikkate alınan parametre için, ve belirlenen her parametre aralığındaki hücrelerin yüzdesi tüm alan ve heyelan olan alan için hesaplanmaktadır. Daha sonra bu FR değeri o aralıktaki her bir parametre değer aralığı için oranı belirlemektedir. 1 değerinden büyük olan FR değerleri heyelan oluşumuna yüksek korelasyon gösterdiğini belirtmekte ve 1 den düşük değerler düşük korelasyonu göstermektedir. Örnek olarak heyelan ve eğim arasındaki ilişki tablo 1 de gösterildiği gibi, $10^0 \sim 15^0$ aralığı 1.88 değeri ile heyelan oluşumuyla en yüksek korelasyonu göstermektedir. Fakat 5^0 den düşük ve 25^0 den büyük eğimler heyelan oluşumu ile bir ilişki göstermemektedir.

Sınıf	Heyelan Varlığı*		Alandaki hücre**		Ratio
	A, Sayısı	PLO=(A/B)*100 (%)	C, Sayısı	PIF=(C/D)*100(%)	
$0^0 \sim 5^0$	664	37	31138	58	0.64
$5^0 \sim 10^0$	474	26	8406	16	1.68
$10^0 \sim 15^0$	306	17	4831	9	1.89
$15^0 \sim 20^0$	174	10	3559	7	1.46
$20^0 \sim 25^0$	96	5	2490	5	1.15
$>25^0$	69	4	2772	5	0.74

*B=1783 (Heyelan olan toplam hücre sayısı)

**D=53196 (Çalışma alanındaki toplam hücre sayısı)

Tablo 1. Eğim ve heyelan oluşumu ilişkisi

2.2. İlk derece ikinci Moment (FOSM)

Lilla Edet kentinde heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için ikinci metod, olası eğim stabilite modelinin CBS ortamına entegrasyonu ile uygulanmıştır. FOSM metodunda güvenilirlik yaklaşımı, hücrelerde eğimin kayma olasılığını hesaplamak için kullanılmış ve bu olasılıklar heyelana duyarlılığı değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan FOSM metodunda toprak kopma gerilimi, eğim haritasıyla birlikte kullanılmıştır.

Limit durum fonksyonu G aşağıda verildiği gibi, karşı koyma stresi R_f ve çekme kuvveti D_f arasındaki farktır:

$$G = R_f - D_f \quad (1)$$

Bu çalışmada limit durum fonksyonu aşağıda verildiği şekilde formüle edilmiştir:

$$R_f = s \quad (2)$$

$$D_f = \gamma_m H \sin(\alpha) \quad (3)$$

Burada γ_m = Toprağın birim kütlesi, α = Eğim açısı, s = toprağın kopma kuvveti, ve H = kayma yüzeyi derinliği

Buna göre güvenilirlik indeksi bu çalışma için formül 4 formunu almaktadır:

$$\beta = \frac{s - \gamma_m * H * \sin(\alpha)}{\sigma_s} \quad (4)$$

Toprağın kopma kuvveti profili, LessLoss Deliverable 24 (2007) raporunda çizilmiş ve detaylı anlatılmıştır. Bu rapora göre tahmin edilen nehir kenarlarına yakın alanda kopma kuvveti:

$$c_u(z) = 23 + z \quad z > 1 \text{ m} \quad (5)$$

formülasyonu ile verilmektedir.

Buna göre: c_u = kopma kuvveti [kPa], ve z = derinlik [m]

Nehirden uzak alanlar için ise kopma kuvveti aşağıda tanımlandığı gibi tahmin edilmektedir:

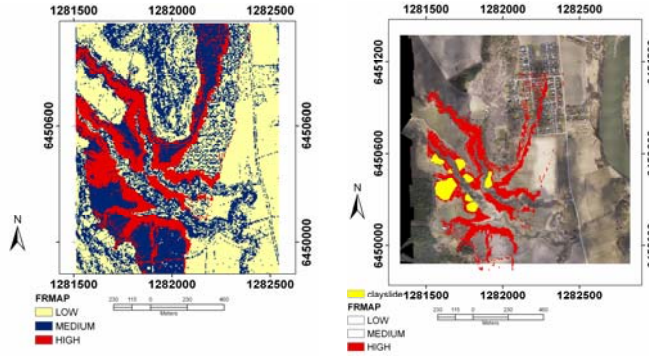
$$c_u(z) = 27 \quad 1 \text{ m} < z < 8 \text{ m} \quad (6)$$

$$c_u(z) = 23 + 2.1 * z \quad z > 8 \text{ m} \quad (7)$$

Rapordaki kopma kuvveti grafiğinden faydalanarak çalışmada, kopma kuvveti 3 ayrı derinlikte (5, 10, and 15m) hesaplanmıştır. γ değeri hesaplamalarda 20 kN/m^3 değerine eşit kabul edilmiştir. Böylelikle çalışma alanına ait her hücre için β değeri hesaplanmıştır.

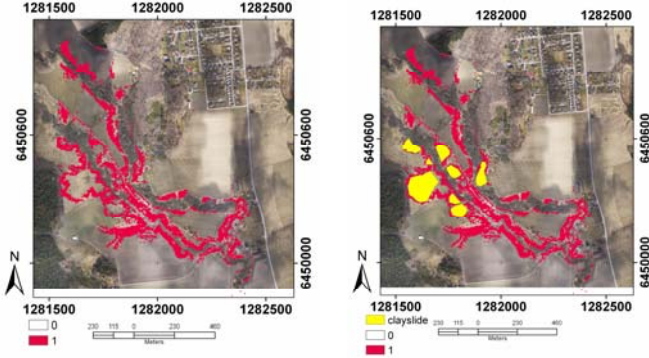
2.3. FR & FORM Duyarlılık Haritaları

FR metodu ile duyarlılık haritası hazırlamak için, her bir faktörün hesaplanmış frekans oranları dikkate alınmıştır. Her bir parametre aralığı için hesaplanmış oran değerleri CBS ortamında ilgili katmana atanmıştır. Daha sonra değerlerin atandığı tüm katmanlar üstüste çakıştırılarak, her bir katmanın her bir hücre indeksi toplanarak duyarlılık haritası indeksi oluşturulmuştur. Toplanmış değerler 0.34 ve 7.85 değerleri arasında ve standart sapma değeri 1.42 dir. Toplam frekans değeri daha sonra az, orta ve yüksek duyarlılık olarak sınıflandırılmıştır. Oluşturulan duyarlılık haritası Şekil 4'de verilmektedir. Şekil 5'tede sadece yüksek duyarlı alanlar hava fotoğrafında gösterilip, geçmiş heyelan konumları da haritaya eklenmiştir ve yüksek heyelan alanlarının heyelan noktaları ile oldukça iyi çakıştığı görülmüştür.



Şekil 4. FR Heyelan duyarlılık haritası Şekil 5. Yüksek duyarlı alanların geçmiş heyelan noktaları ile gösterimi

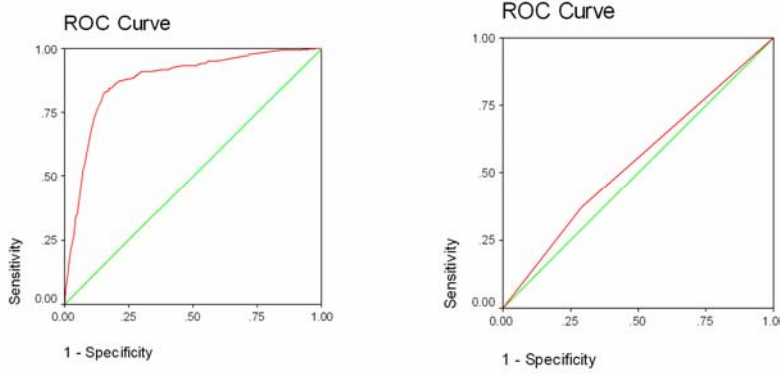
FORM metodu sonrası heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için her hücre için hesaplanan güvenilirlik indeksi kullanılmıştır. Haritayı oluşturmak için hesaplanan 1.88 lik β değeri eğimlerin güvenlik değerlendirmesinde eşik değeri olarak kabul edilip, bu değerden düşük değerlere sahip hücreler güvensiz ve üstü değerler güvenli olarak haritalanmıştır. Şekil 6'da 15m'lik derinlik için duyarlılık güvensiz bölge gösterilmektedir. Şekil 7'de ise hesaplanan güvensiz bölgeler ile, geçmişte olmuş heyelan sınırları karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. FOSM güvenli olmayan bölgeler Şekil 7. Heyelan lokasyonları ile karşılaştırılmış güvenli olmayan bölge.

2.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Duyarlılık haritaları üretiminde kullanılan model performanslarının değerlendirilmesi için, relatif eğri metodu kullanılmış ve sonuçlar Şekil 8'da ve tablo 2'de verilmiştir. Bu metoda göre, eğri referans çizgisinden ne kadar uzaksa metod o kadar doğrudur. FR metodu için eğri altındaki alan tablo 2'de görüldüğü gibi 0.88 dir. Bu değer, ideal değer olan 1'e çok yakın olduğundan dolayı ve 0.54 değeri olan FORM metodu değeriyle karşılaştırıldığında oldukça iyidir. Ayrıca olasılık modelinin tahminden daha iyi olduğunu gösteren asimtotik önem değeri de 0.05 ten küçüktür. Bu nedenle FR modelinin bu alan için analizlerde daha güvenilir sonuç verdiği söylenebilir.



Şekil 8. FR ve FORM metodlarının sonuçları için ROC Eğrisi

Metod	Alan	Standart Sapma	Asimtotik Önem	Asymtotik 95% Güven aralığı	
				Düşük Sınır	Yüksek Sınır
FRM	0.877	0.004	.000	0.869	0.885
FOSM	0.540	0.008	.000	0.524	0.556

Tablo 2. FR ve FORM metodları için Eğri altında kalan alan

3. SONUÇ VE ÖZET

Bu çalışmada İsveç'in LillaEdet kentinde, hızlı heyelan kaymaları analiz edilip FR ve FORM metodları kullanılarak alana ait duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. FR metodu ile CBS fonksyonları kullanılarak heyelanı etkileyen faktörler ve heyelan lokasyonları arasındaki korelasyon incelenmiştir. FOSM metodunda olası eğim stabilite metodu CBS ortamına entegre edilmiştir. Bu metodların tahmin etme yetenekleri daha sonra ROC eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki FR metodu FORM'a göre çalışma alanında daha güvenilir sonuç üretmektedir.

KAYNAKLAR

- Chen J.C., Jan C.D. ve Lee M.H., 2007. *Probabilistic analysis of landslide potential of an inclined uniform soil layer of infinite length: theorem*. Environ Geol, Vol. 51, sayfa 1239–1248.
- Düzgün H.S.B., Karpuz C. 2006, *GIS-Based Landslide Risk Assessment for Bandirma Harbor Evaluacion de Riesgo Deslizamiento Basado en SIG para el Puerto de Bandirma*
- Düzgün H.S.B., A. Özdemir, 2006. *Landslide risk assessment and management by decision analytical procedure for Dereköy, Konya, Turkey*. Nat Hazards, Vol 39, sayfa 245-263.
- Lee S, Tu Dan N. 2005, *Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: Focus on the relationship between tectonic fractures and landslides*, Environ Geol. 48: sayfa 778-787.
- Lee. S. ve Pradhan B., 2007. *Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models*, Landslides, Vol. 4, sayfa 33–41.
- Swedish Geotechnical Institute (2006). *Risk Mitigation for earthquakes and landslides integrated project-LIDAR data for slope stability analysis*, LessLoss Deliverable 6.