

To Cite This Article: Öz, T. & Günek, H. (2021). Landslide susceptibility and settlement risk analysis of Solaklı Basin (Trabzon). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 44, 396-412.

Submitted: April 30, 2021

Revised: June 17, 2021

Accepted: June 28, 2021

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY AND SETTLEMENT RISK ANALYSIS OF SOLAKLI BASIN (TRABZON)

Solaklı Havzası'nın (Trabzon) Heyelan Duyarlılığı ve Yerleşim Yeri Risk Analizi¹

Turgay ÖZ²

Halil GÜNEK³

Öz

Solaklı havzası; doğal karakterinden kaynaklı tehlike ve riskler taşır. Havza da Eğim değerlerinin yüksek oluşu, şiddetli ve ekstrem yağış değerleri, hidrografik özellikler, litoloji ve antropojenik baskıların birlikteliği heyelanları daha sık görülen, ekonomi ve toplum üzerinde daha yıkıcı etkileri olan bir afete dönüştürmüştür. Havzada heyelan envanter çalışmaları olmasına karşın heyelan riskini azaltabilecek çalışmalar az yada eksiktir. Bu çalışma bu eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacaktır. Solaklı havzasında heyelana neden olan parametrelerin heyelan üzerindeki etki oranlarının belirlenmesi, bu parametrelerin çakıştırılmasıyla oluşturulacak sonuç haritalarında (Heyelan duyarlılık, Yerleşim yeri heyelan risk haritası) göz önünde bulundurarak havzanın heyelan oluşturma potansiyelinin ortaya konması, heyelana karşı riskli yerleşmelerin mekansal dağılımının değerlendirilmesi, ilgili kurum ve kuruluşlara havzada heyelan risklerin azaltılmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bu çerçevede topoğrafik parametreler (yükseklik, eğim, bakı, drenaj yoğunluğu, akarsuya uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi, profil eğriliği) litoloji yola yakınlık ve yağış verilerinin heyelana duyarlı alanların mekansal dağılışı üzerine etkilerini belirlemek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bir heyelan duyarlılık haritası geliştirmek için frekans oranı tekniğinde kullanılmıştır. Havzanın % 35'lik kısmına denk düşen saha çok düşük ve düşük duyarlılığa sahipken % 33'lük kısmı yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip alanlara karşılık gelmektedir. Solaklı havzasının heyelan duyarlılık haritası ROC Eğrisi kullanılarak doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre Solaklı havzasının duyarlılık haritasının 0,73 doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Havzada yapılan heyelan analizleri ve değerlendirmeleri yerel makamlara heyelan risk yönetiminin gerçekleştirilmesine katkı sağlayacaktır. Havzada yapılan heyelan çalışmalarının artması havzadaki nüfusun heyelan riskine karşı tedbir alması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Solaklı Havzası (Trabzon), Frekans Oranı Metodu, Heyelan Duyarlılık Analizi, Yerleşim Yeri Heyelan Risk Analizi

Abstract

Solaklı basin; It carries dangers and risks arising from its natural character. The high slope values in the basin, the combination of severe and extreme rainfall values, hydrographic features, lithology and anthropogenic pressures have turned landslides into a more common disaster with more destructive effects on the economy and society. Although there are landslide inventory studies in the basin, there are little or no studies that can reduce the landslide hazard. This study will contribute to the elimination of this deficiency. Determining the effect rates of the factors causing landslides in the Solaklı basin, determining the landslide potential of the basin by considering the results maps (Landslide sensitivity, Settlement landslide risk map) to be created by overlapping these factors, evaluating the spatial distribution of settlements that are risky against landslides, It is aimed to contribute to the reduction of landslide risks in the basin. In this framework, topographic factors (height, slope, aspect, drainage density, distance to the stream, topographic humidity index, profile curvature) were used to determine the effects of lithology proximity to the road and precipitation data on the spatial distribution of the landslide-sensitive areas. The results obtained were used in the frequency ratio technique to develop a landslide susceptibility map. Landslide analyzes and evaluations made in the basin will contribute to the realization of landslide hazard management for local authorities. The increase in landslide studies in the basin is of vital importance for the future of the population in the basin.

Keywords: Solaklı Stream Basin (Trabzon), Frequency Ratio Method, Landslide Sensitivity Analysis, Settlement Landslide Risk Analysis

¹ This study was produced from the PhD Thesis titled "Applied Geomorphology of the Solaklı Stream Basin (Trabzon)" conducted at the Social Sciences Institute of Firat University.

² **Correspondence to:** Res. Assist., Firat University, Faculty of Humanity and Social Sciences, Geography Department, 23, Elazığ, TURKEY., <https://orcid.org/0000-0002-3749-4193>, toz@firat.edu.tr

³ Assoc. Prof., Kırşehir Ahi Evran University, faculty of science and literature, Geography Department, Kırşehir, TURKEY., <https://orcid.org/0000-0002-2005-2743>, halil.gunek@ahievran.edu.tr

GİRİŞ

Yerçekimi nedeniyle toprak veya kayanın yerinden koparak yer değiştirmesi genel olarak heyelan terimi ile ifade edilmektedir (Erinç, S, 1996; Chen ve Chen, 2021). Heyelanlar doğal yüzey süreçlerinden biri olsa da (Pourghasemi, 2018) antropojenik etkiler bu süreci hızlandırmaktadır (El Jazouli al., 2019; Wubalem, 2021).

Dağlık ve engebeli bölgelerdeki en önemli jeomorfolojik tehlikelerden birini temsil eden heyelanlar (An et al., 2016; Das ve Lepcha, 2019; Khan et al., 2019; Medina, Hürimann ve dig 2021) evlere, temel alt yapılara, tarım arazilerine, ekonomiye zarar verir ve büyük can kaybına neden olur (Abedini ve Tulabi, 2018; Huang ve Zhao, 2018; Das ve Lepcha, 2019; Chen ve Chen, 2021).

Ülkemizde de sıklıkla görülen heyelanlar telafisi mümkün olmayan can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. 1929 yılından günümüze kadar Türkiye'deki 81 ilin 67'sinde ölümcül heyelan kaydedilmiştir. İstanbul'da 58 heyelan olayında 85 ölüm olayı gerçekleşirken Solaklı havzasında içinde bulunduğu Trabzon ilinde 38 olay, 336 ölüm gerçekleşmiştir (Fidan ve Görüm, 2020).

Heyelanların verdiği zararların azaltılması, afetlere hazırlıklı olma ve heyelana eğilimli alanların belirlenmesi için heyelan duyarlılık haritaları son derece önemlidir (Dağdelenler, 2020) ve stratejik planlama için temel bir altlık oluşturabilir. Heyelan duyarlılığı yerel arazi koşullarını dikkate alarak heyelanların "nerede" meydana gelebileceğini ortaya koyan heyelan olasılığıdır (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir ve Guzzetti, 2018). Bu tür haritalar politikacılar ve karar vericiler için imar planlarının yapılması ve heyelana duyarlı alanların belirlenmesini kolaylaştıracaktır (Mohammad ve dig, 2012).

Solaklı havzasında heyelan kaynaklı ölümler, sosyal ve ekonomik kayıpların azaltılması için birçok parametrenin (Yükseklik, Eğim, Bakı, yağış, litoloji, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı, Topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç profili) birleştirilerek oluşturulan heyelan duyarlılığı ve yerleşim yeri heyelan risk haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda heyelan duyarlılık çalışmaları oldukça yaygın olarak üretilmektedir (Çellek, Bulut ve Ersoy, 2015; Avcı, 2016; Hepdeniz ve Soyaslan, 2018; Dağdelenler, 2020; Aghlmand ve dig 2020 ;Taşoğlu, 2020).

Heyelan duyarlılık haritalamasında, değerlendirme modellerinin seçimi heyelan duyarlılık haritalamasının doğruluğunu etkileyen önemli bir faktördür. (Liu, Li, Meng, ve Liu, 2020). Heyelan duyarlılık haritalamalarında nitel ve nicel olmak üzere iki yaklaşım benimsenmektedir. (Pourghasemi, Rahmati, 2018; Huang ve Zhao, 2018) Nitel yöntemler (Bilgiye dayalı yöntemler) uzmanların bilgisi temelinde, çeşitli heyelan koşullandırma faktörlerinin ağırlıkları ve sıralanması değerlendirilir ve ardından heyelan oluşumunun mekansal olasılığını tahmin etmek için kullanılır. Nicel yöntemler (Fiziksel ve veriye dayalı yöntemler) jeloji teorisinin benzerlik ilkesine göre, geçmişte heyelanların, jeoçevresel özelliklerini gösteren verilere, gelecekte heyelan olmasının mekansal olasılığını değerlendirmek için başvurulur (Huang ve Zhao, 2018).

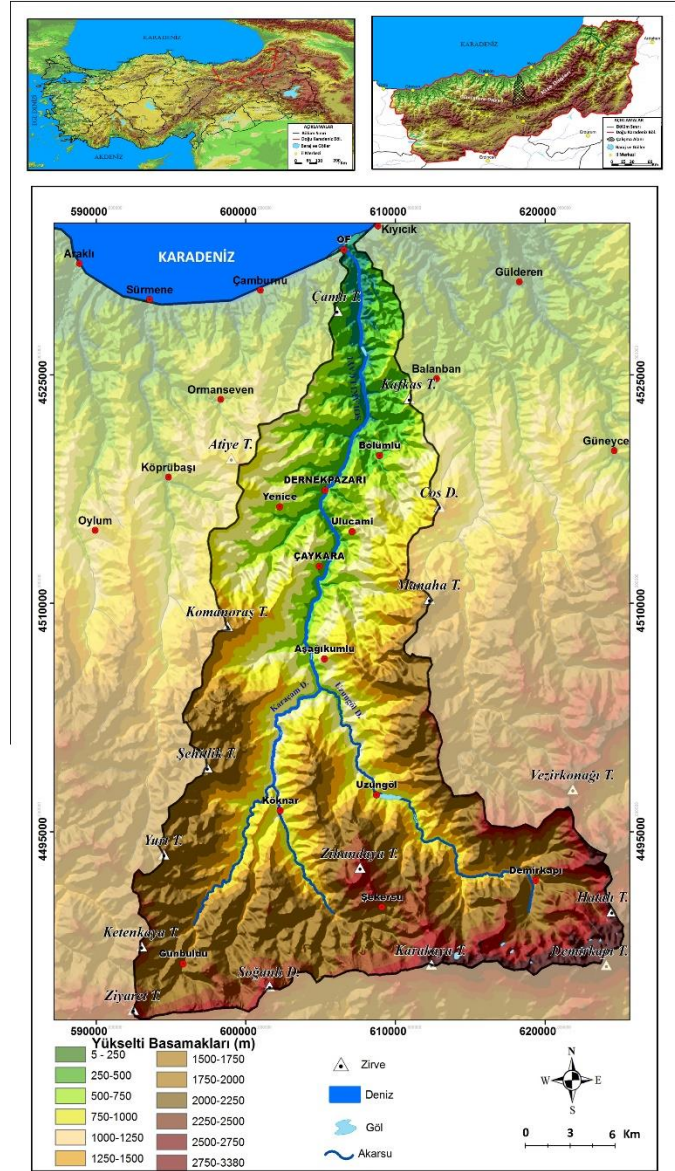
Bu çalışmada istatistiksel modele dayanan frekans oranı (FR) metodu kullanılmıştır. İstatistiksel yöntemin fiziksel temelli modellere göre daha geniş alanlarda daha az maliyetle uygulanabilirliği (Pourghasemi, R.H, Rahmati, 2018) tercih sebebidir. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama gibi mekansal analizlere dayalı sistemlerin yaygınlaşması istatistiksel yöntemlerin kullanımını arttırmıştır. İstatistiksel modeller geçmiş ve mevcut heyelan veri kümelerini kullanarak heyelanı etkileyen faktörlerin analizine odaklanır (Goetz ve dig , 2015). Geçmiş geleceğin anahtarıdır (Jadda ve dig 2009; Lee et al., 2004) ilkesinden yola çıkılarak geçmiş ve günümüz heyelan sahalarının heyelan envanteri çıkarılmakta ve heyelana neden olan parametreler belirlenmektedir. Heyelana neden olan her bir parametre analiz edilerek heyelanın meydana gelmesinde bu parametrelerin etki oranları ortaya konulmakta ve sonuçları bir harita birleştirilerek duyarlılık haritası ve yerleşim yeri heyelan risk haritası üretilmektedir.

Bu tür haritalar ilgili kurum ve kuruluşlar için heyelanların izlenmesi, risk değerlendirmelerinin yapılması heyelan tedbirlerinin alınması için önemli bir altlık oluşturmaktadır.

Araştırma Sahası ve Coğrafi Özellikleri

Solaklı Çayı Havzası Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz bölümü sınırları içinde kalmaktadır. Hidrografik bir havza özelliği gösteren araştırma alanı 757 km²'lik bir alana sahiptir. Havzanın İzdüşüm alanı 757 km² iken gerçek alanı 873 km²'dir. 116 km²'lik bu fark sahanın engebeli topoğrafyası ile ilgilidir.

Solaklı Çayı, Karaçam Deresi ve Uzungöl Deresinin birleşmesiyle oluşmuş bir havza özelliği göstermektedir. Kaynağını Soğanlı dağlarından alan Solaklı Çayı ve kolları Trabzon'un Of ilçesi'nde Karadenize dökülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Araştırma Sahasının Yer Bulduru Haritası

Solaklı havzası Of, Dernekpazarı ve Çaykara ilçesi idari sınırları içinde kalır. Ayrıca kısmende olsa yaylalar kuşağındaki bazı köyler bayburt ili idari sınırları içinde kalır. Güneydeki Çaykara ilçesi havza içindeki en geniş topraklara sahip ilçedir. Havzada yerleşme dokusu topoğrafyanın etkisiyle dağınık özellik gösterirken konutlar birbirine yaklaşıp toplu özellik göstermektedir.

Solaklı Havzası glasyal, periglasyal ve flüvyal topoğrafik morfolojik yapılara sahiptir. Solaklı Çayı Havzası kolları tarafından derince yarılmış ve kıydan itibaren N-S doğrultusunda yükseltisi hızla artan hidrografik bir havza karakterindedir. Karadeniz ikliminin karakteristik özelliklerini gösteren (Koçman, 1993; Çoban, 2015; Arınç, 2011) Solaklı havzasında yer yer 5-10 metreyi bulan (Jeolojik Etüt Raporları) kilce zengin malzemenin varlığı, Eğim derecelerinin yer yer 40° geçmesi ve antropojenik etkilerin (inşaat faaliyetleri, karayolu yapım çalışmaları, orman degradasyonu) birlikteliği havzada heyelanları sık görülen bir afete dönüştürmüştür.

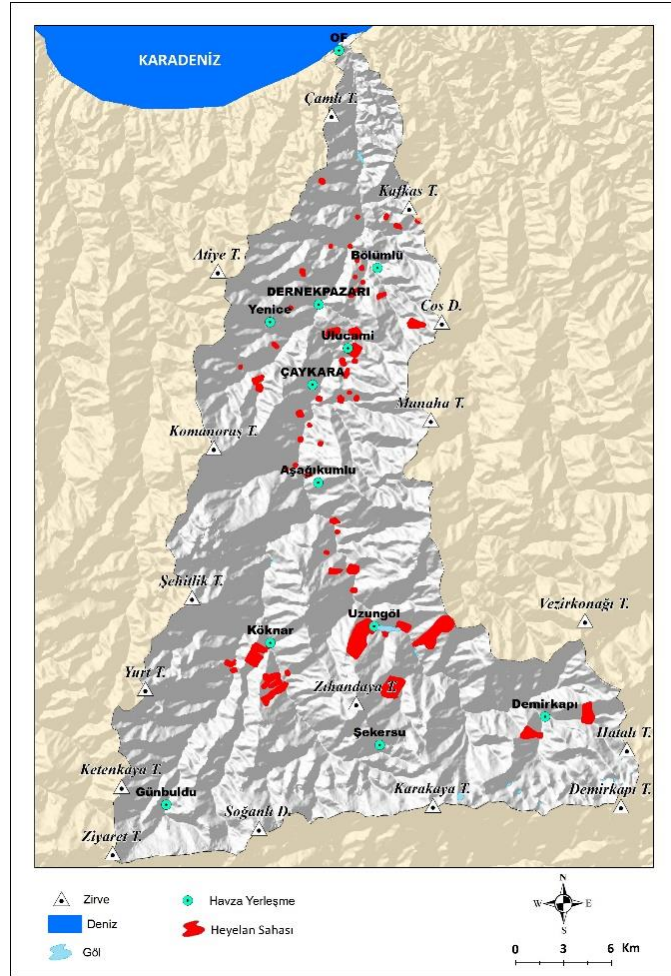
Karadeniz iklim özelliğinin bitki karakterini yansıtan havza Türkiye'nin flora bölgelerinden Avrupa –Sibiryaya flora bölgesinin kolşik kesiminde kalır. Kolşik vejetasyon sahalarında iklim açısından en belirgin özelliği yaz yağışı miktarının diğer kesimlere göre yüksek olmasıdır. Havzada orman, çalı ve Alpin bitkiler olmak üzere üç belirgin bitki formasyonu görülür. Ormanlar özellikle yüzeysel heyelanların önlenmesinde etkilidir (Eker ve Aydın, 2014). Son yıllarda ormanların kesilerek tarım alanlarına dönüştürülmesi orman alanlarında bir azalma meydana getirmiştir. Bu durum krip akması şeklindeki heyelanlarda bir artışa neden olmuştur.

METOT VE MALZEME

Bu çalışmada daha geniş alanlarda daha az maliyetle uygulanabilirliği (Pourghasemi ve Rahmati, 2018) nedeniyle istatistiksel modellerden frekans oranı metodu kullanılmıştır. Çalışma Solaklı havzası içinde heyelana duyarlı alanların belirlenmesi ve yerleşim yeri heyelan risk alanlarının oluşturulması ve değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

Solaklı Havzasında geçmişte meydana gelmiş heyelan alanlarının belirlenip envanterinin çıkarılması önem arz etmektedir. Çünkü gelecekteki heyelanların şimdiki ve geçmişteki heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır (Yılmaz, 2009). Başka bir ifadeyle geçmişte meydana gelmiş heyelanlara neden olan ana kriterlerle alt kriterlerin etki derecesi şimdiki ve gelecekte meydana gelecek heyelanlara aynı derecede etki edecektir. Örneğin bir sahada heyelana neden olan ana kriter veya parametre eğim ise ve alt kriter olarak en çok 20-30° lik eğimlerde heyelan gerçekleşmiş ise şimdi ve gelecekte 20-30° lik eğimlerde heyelan gerçekleşme olasılığı yüksektir.

Bunun için öncelikle heyelan envanter haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Heyelan envanter haritaları arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım özelliklerini gösterdiği gibi (Çevik ve Topal, 2003) heyelanların meydana geldiği yer, tarih, tip, tetikleyici faktör, ölü ve yaralı sayısı ile ortaya çıkan ekonomik kayıplar hakkında bilgi sağlamaktadır (Fidan and Görüm, 2020). Bu çalışmada Trabzon İl afet müdürlüğünden temin edilen sayısal heyelan envanter haritası kullanılmıştır (Şekil 2). 84 adet heyelan sahasından 64 adeti analiz için kullanılmış geriye kalan 20 heyelan sahası ise doğruluk analizi için kullanılmıştır.

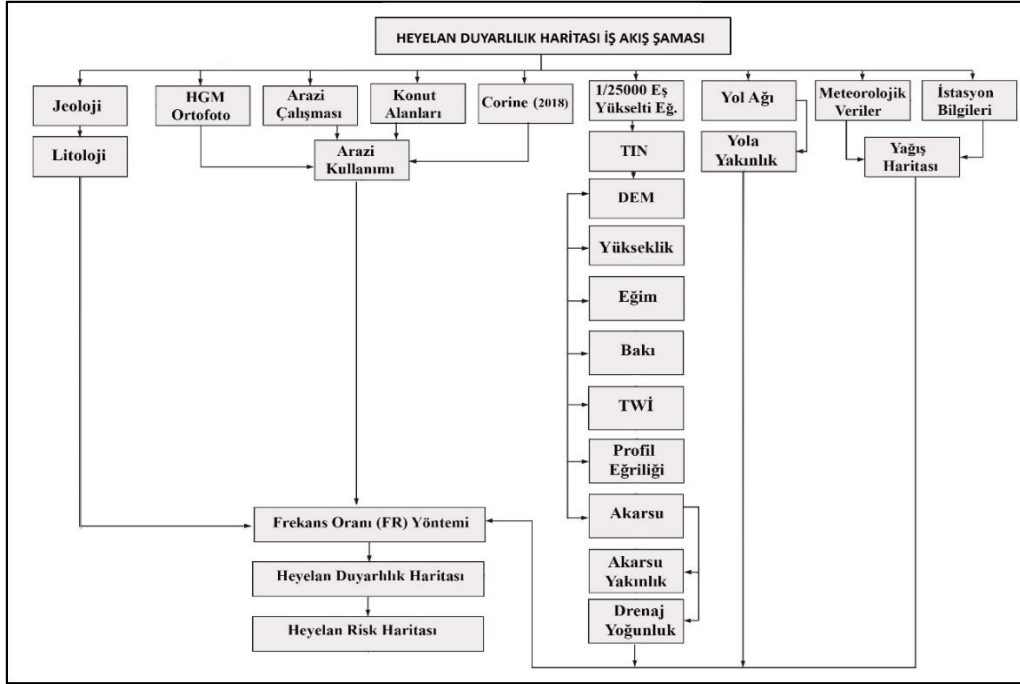


Şekil 2: Araştırma Sahasının Heyelan Envanter Haritası

Çalışmada bir diğer aşama heyelana neden olan parametrelerin ve alt parametrelerin belirlenmesidir. Bunun için çalışma alanında dikkate alınarak literatürde de sıklıkla kullanılan (Güney, 2018, Hepdeniz and Soyaslan, 2018, Dağdelenler, 2020) 11 parametre (Yükseklik, Eğim, Bakı, Yağış, Jeoloji, Drenaj yoğunluğu, Akarsuya yakınlık, Yola Yakınlık, Profil Eğriliği, Toprak Nemlilik İndeksi, Arazi Kullanımı) belirlenmiştir (Şekil 4).

Çalışma alanına ait Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen sayısal topoğrafya haritaları kullanılarak çalışma alanının sayısal arazi modeli üretilmiştir. Bu veri yardımıyla Yükseklik, eğim, bakı, topoğrafik nemlilik indeksi ve yamaç profili hesaplanmıştır. Arazi kullanımı haritasının hazırlanması dört verinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen ortofoto, Corine 2018 arazi kullanımı, konut alanları ve arazi çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak şimdiki arazi kullanımı haritası elde edilmiştir (Şekil 4-(11)). Yağış haritasının elde edilmesi için meteorolojik veriler ve istasyon bilgileri kullanılmıştır (Şekil 3). Yağış verileri noktasal istasyon verisine işlenerek enterpolasyon yöntemiyle mekansal dağılımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4-(4)).

Elde edilen parametre haritaları istatistiksel bir metod olan frekans oranı metodu kullanılarak analize tabi tutulmuştur. Frekans oranı metodu daha önce meydana gelmiş heyelan sahalarında her bir parametre için piksellerin sayılması ve heyelandan etkilenmeyen alanlara oranlanmasıyla elde edilmektedir.



Şekil 3: Yöntem İş Akışı

Frekans oranı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$FR = PLO / PIF$$

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 (Erener ve Lacasse, 2007).

BULGULAR VE YORUMLAR

Heyelan Duyarlılığını Etkileyen Parametreler

Litoloji-Ayrışma

İnceleme alanında mesozoikten kuvaternere kadar çeşitli yaş ve litolojide birimler bulunmaktadır. Tabanda genellikle paleozoik yaşlı birimler yer alırken onun üzerinde volkanitler, volkanitlerin üzerinde ise paleosen ve eosen yaşlı kumtaşı, marn, kittaşı, killikireçtaşı bulunur (Şekil 4 (5)). Bunların ayrışmasıyla yer yer 5-10 m bulan kil tabakası şiddetli yağışlarla birlikte eğim doğrultusunda akışa geçerek heyelan olayına neden olmaktadır. İnceleme sahasında Hamurkesen ve Çağlayan formasyonu heyelana karşı yüksek korelasyon göstermektedir (Tablo 1).

Yükseklik

Yükseklik basamakları ile heyelanlar arasında bir ilişki söz konusudur. yükseklik ile birlikte yağış, eğim ve toprak koşullarının değişmesi heyelanı dolaylı olarak etkilemektedir. Ayrıca yükseklikle birlikte değişen yağış ve sıcaklık koşulları arazi kullanımında etkilemektedir. Bunlarla birlikte yükseklikle farklılaşan arazi kullanımı heyelanı etkileyebilecektir. Havza da heyelanların 500-750 m yükseltilerde yüksek korelasyon gösterdiği görülmektedir (Tablo 1). Bunun nedeni bu yükseltilerde yağış miktarının bir hayli yüksek oluşu ve yerleşmelerin ve tarımsal faaliyetlerin yoğunlukta olmasıdır. Havzada en düşük korelasyon 2000 m'nin üzerindeki yaylalar kuşağıdır. Bunun temel sebebi bu kuşakta eğim ve yağış değerlerinin düşük olmasıdır (Şekil 4 (2-4)).

Eğim

Yamaç eğimi heyelan oluşumunu doğrudan etkileyen (Dağ ve Bulut, 2012) ve heyelan duyarlılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Araştırmacılar genellikle eğim arttıkça heyelan duyarlılığının artacağı yönünde bir görüşe sahiptirler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001; Avcı, 2016). Solaklı havzasında 0-25° eğimli yerler (Şekil 4(2)) heyelana karşı düşük korelasyon gösterirken 25-40° eğimli (Şekil 4(2)) yerler yüksek korelasyon göstermektedir (Tablo 1). Havzada Solaklı ve kollarının açmış olduğu derin vadiler eğim değerlerinin yüksek olduğu alanlara karşılık gelir. Antropojenik etkiler (inşaat faaliyetleri, madencilik, yol yapım çalışmaları) eğim değerlerinin artmasına ve yamaç stabilizesinin bozulmasına neden olmuştur. Havzada eğim kıyı şeridi ve yaylalar kuşağında düşmektedir (Şekil 4(2)).

Baki

Sayısal yükseklik modelinden elde edilen baki haritasında (Şekil 4 (3)) güney ve güneybatı yamaçlar heyelana karşı yüksek korelasyon göstermektedir (Tablo 1). Oysaki yağış getiren hava kütlelerine açık kuzey ve kuzeybatı yamaçların heyelan duyarlılığının yüksek olması beklenirdi. Ancak kuzey ve kuzeybatı yamaçların daha sık bir orman örtüsüyle kaplı olması heyelanların daha az görülmesinin başlıca nedenidir. Güney ve güneybatıya bakan yamaçlarda daha seyrek bitki örtüsü içinde daha yoğun yerleşme ve tarımsal faaliyetler bu yönlerde heyelanların daha sık yaşanmasına neden olmaktadır.

Arazi Kullanımı

Havzada arazi kullanımı ile heyelanlar arasındaki ilişkiye baktığımızda yerleşme yeri ile tarımsal faaliyetlerin olduğu alanlarda yüksek bir korelasyon olduğu göze çarpmaktadır. Yerleşim yerleri ve tarımsal faaliyetlerin yoğunlukta olduğu alanlar Trabzon (Of) ilçe merkezi, Yemişalan, Ballica, Fındıkoba, Saraçlı, Bölümlü ve Dernekpazarı hattında yoğunluk kazandığı görülmektedir (Şekil 4 (11)). Yağış miktarının bir hayli yüksek olması ve topraktaki aşırı yılanmaya bağlı olarak asit karakterdeki toprakların fazlalığı çay tarımına uygun ortamı sağlamıştır.

Nüfusun yoğun olduğu bu alanlarda orman degradasyonu ve antropojenik etkiler (patlatma, inşaat faaliyetleri, karayolu yapım çalışmaları vb) nedeniyle heyelana karşı oldukça duyarlıdır. Nitekim yerleşme (2,72), ve tarımın (2,23) yüksek korelasyon gösterdiği görülmektedir (Tablo 1). Yerleşme yerlerinin bu denli yüksek korelasyon göstermesi yerleşim yerlerinde inşaat faaliyetleri ve beraberindeki arazi degradasyonu ve karayolu ulaşım ağı yoğunluğunun buralarda yüksek olması ile açıklayabiliriz.

Yola Yakınlık

Yamacın yola yakın olduğu kısımlarda yamaç dengesi bozulmakta ve eğim yönünde hareketi hızlanmaktadır. (Hepdeniz ve Soyaslan, 2018) Havzada karayolu ulaşım ağı heyelanlar üzerinde büyük rol oynamaktadır. Havzada tarım alanlarının topoğrafik koşullar ve iklimsel koşullardan dolayı çok sınırlı olması ve su sıkıntısının yaşanmaması konutların çok dağınık olmasını sağlamıştır. Bu durum her haneye yolun ulaştırılması zorunluluğunu doğurduğundan çok yoğun bir ulaşım ağına sahiptir (Şekil 4 (8)). Havzada yerleşme yeri yoğunluğu ile karayolu yoğunluğunun benzerlik göstermesi bunu doğrulamaktadır. Havzada karayolu genel olarak vadileri, sırtları yer yerde dik eğimli yamaçları takip eder. Karayolunun tıpkı akarsular gibi yamacı kesmesi ve yamaçları topuktan aşındırması bu alanlarda heyelan duyarlılığının artmasına neden olmaktadır (Fotoğraf 1). Havzada heyelan sahaları karayoluna uzaklığın 0-50 m olduğu mesafelerde yüksek korelasyon (1,20) göstermektedir (Tablo 1).

Akarsuya Yakınlık

Havzada meydana gelen heyelanların akarsuya yakın yerlerde yüksek korelasyon gösterdiği görülmüştür. Drenaj ağlarının kesişme noktalarında yer alan yamaçlar akarsulardan etkilenmektedir. Akarsular yamacın topuk kısmını aşındırmakta ve yamaç akarsu seviyesine kadar suyla doygun hale gelmektedir (Gökçeoğlu, 2001). Akarsudan uzaklaştıkça frekans değerlerinin düştüğü ve daha düşük korelasyon gösterdiği görülmektedir (Tablo 1).

Drenaj Yoğunluğu

Heyelana neden olan parametrelerden biride drenaj yoğunluğudur. Drenaj yoğunluğu bir akarsu havzasındaki toplam akarsu uzunluğunun havza alanına bölünmesiyle elde edilir. Drenajın yoğunluğunun yüksek olması infiltrasyon derecesini düşürmekte, yüzey akışını hızlandırmaktadır. Solaklı havzasında Drenaj yoğunluğu yeniden sınıflandırılarak çok az yoğun, az yoğun, orta yoğun, yoğun ve çok yoğun olmak üzere 5 sınıfa ayrılmış ve bu alanlardaki heyelanlı hücre sayıları hesaplanmıştır. Buna göre çok yoğun alanlar 2,41'lik oranla çok yüksek korelasyon gösterirken çok az yoğun alanlar 0,05'lik oranla çok düşük bir korelasyon göstermektedir (Tablo 1).

Havzada drenaj yoğunluğunun heyelana karşı frekansları drenaj yoğunluğunun çok düşük olduğu alanlardan çok yüksek olduğu alanlara doğru artış göstermesi havzada akarsuyun aşındırma faaliyetlerinin (derine ve yana aşındırma) heyelanlar üzerinde duyarlılığı artırdığı yönündedir.

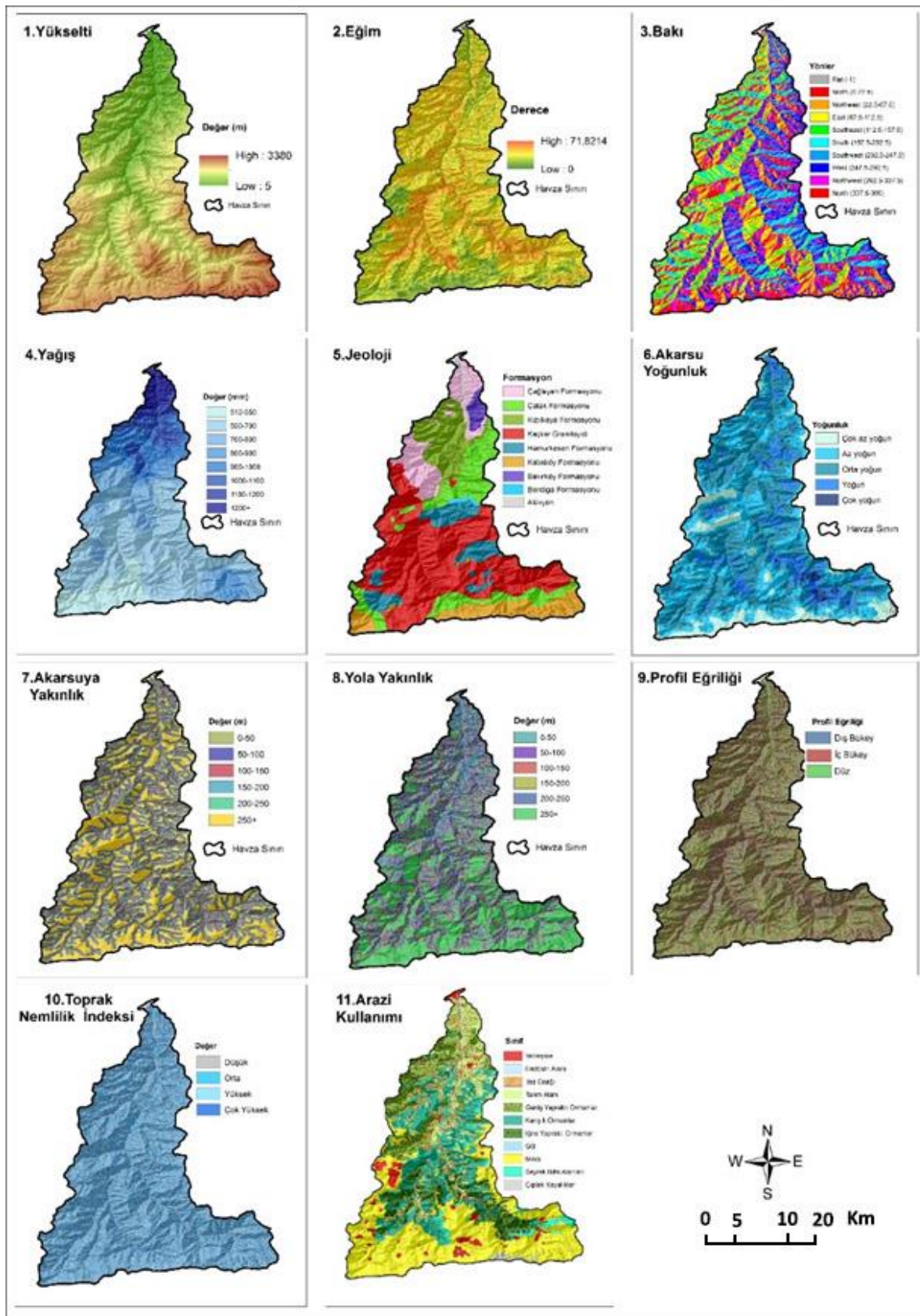


Fotoğraf 1: Dernekpazarı-Çaykara İlçesi Arasında Meydana Gelen Heyelan

Heyelanın hemen altından geçen D915 karayolu yamaç stabilizasyonunun bozulmasına ve yamaç eğiminin artmasına neden olmuştur. Gece boyunca yağın aşırı yağışlar heyelanın meydana gelmesinde tetikleyici faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. (Kaynak: İHA)

Yağış

Bölgede en önemli meteorolojik olaylardan biri olan şiddetli yağışlar heyelanları tetikleyici faktörlerden biridir. Havzada yıllık ortalama yağış dağılışı haritasına baktığımızda yağış miktarı 550-1400 mm arasında değişmektedir. Kıyının hemen gerisinde hızla yükselen dağlık alanların hava kütlelerine açık kuzey ve kuzeybatı yamaçları 1000 mm nin üzerinde yağış alırken kıyından iç kısımlara doğru gidildikçe yağış miktarı azalmakta ve nihayetinde yaklaşık 500 mm lere kadar düşmektedir. Bunun nedeni kış mevsiminde etkili olan cephelerin dağların kuzeye bakan yamaçlarına yağış bırakması ancak iç kısımlara gidildikçe nemini kaybetmiş hava kütlelerinin bu kesimlerde daha az yağışa neden olmasıdır. Havzada yağış miktarının 900-1000 mm olduğu (Şekil 4 (4)) ve nüfusun çoğunlukta yaşadığı kıyıya yakın alanlarda heyelanların çok yüksek korelasyon (1,98) gösterdiği görülmektedir (Tablo 1).



Şekil 4: Çalışmada Kullanılan Parametreler (1) Yükselti, (2) Eğim, (3) Bakı, (4) Yağış, (5) Jeoloji, (6) Akarsu Yoğunluk, (7) Akarsuya Yakınlık, (8) Yola Yakınlık, (9) Profil Eğriliği, (10) Toprak Nemlilik İndeksi (TWI), (11) Arazi Kullanımı

Tablo 1: Heyelanı Etkileyen Parametrelerin Frekans Oranları

Faktör	Kategori	A	PLO (%)	C	PIF (%)	FR
Yükseklik	5-250	1586	2,60	262219	3,54	0,73
	250-500	3917	6,44	572777	7,54	0,85
	500-750	10023	16,48	618712	8,1	2,03
	750-1000	4992	8,20	597899	7,87	1,041
	1000-1250	10109	16,62	633156	8,34	1,99
	1250-1500	7381	12,13	620879	8,18	1,48
	1500-1750	5252	8,63	625100	8,23	1,04
	1750-2000	3147	5,17	710267	9,35	0,55
	2000-2250	5568	9,15	1087399	14,32	0,63
	2250-2500	6746	11,09	1078620	14,21	0,78
	2500-2750	1861	3,05	521016	6,86	0,44
	2750+''''''	237	0,38	261516	3,44	0,11
Eğim	0-10	1753	2,88	576707	7,59	0,37
	10-15	2151	3,53	705118	9,29	0,37
	15-20	3737	6,14	881869	11,61	0,52
	20-25	6294	10,34	1048501	13,81	0,74
	25-30	11406	18,75	1263697	16,65	1,12
	30-35	16636	27,35	1356916	17,87	1,53
	35-40	12976	21,33	1046696	13,29	1,60
	40+	5866	9,64	710056	9,35	1,03
Bakı	Düz	213	0,35	46781	0,61	0,57
	Kuzey	1777	2,92	573147	7,55	0,38
	Kuzeydoğu	9421	15,49	987255	13	1,19
	Doğu	9768	16,06	925648	12,19	1,31
	Güneydoğu	7309	12,01	782958	10,31	1,16
	Güney	10120	16,63	760217	10,01	1,66
	Güneybatı	10492	17,25	782828	10,31	1,67
	Batı	8302	13,65	1018310	13,41	1,01
	Kuzeybatı	2230	3,66	1107147	14,58	0,23
Arazi Kullanımı	Kuzey	1187	1,95	605269	7,97	0,24
	Yerleşme	1347	2,21	61809	0,81	2,72
	Endüstri Alanı	80	0,13	6838	0,09	0,12
	Taş Ocağı	0	0	2984	0,03	0
	Tarım Alanı	23953	39,38	1337664	17,62	2,23
	Geniş Yapraklı Ormanlar	3622	5,95	682159	9	0,32
	Karışık Ormanlar	5149	8,46	1496329	19,71	0,42
	İğne Yapraklı Ormanlar	8722	14,34	790251	10,41	1,37
	Göl Alanı	0				0
	Doğal Çayırlar	17568	28,88	2894978	38,14	0,75
Profil eğriliği	Çıplak Kayalıklar	0	0	42787	0,56	0
	Dış Bükey	8983	17,77	1015755	13,38	1,32
	Düz	20127	33,09	2890382	38,08	0,86
Yağış (mm)	İç Bükey	31709	52,13	3683423	48,53	1,07
	512-550	24110	39,64	1860293	24,51	1,61
	550-700	5403	8,88	1340680	17,66	0,50
	700-800	8806	0,14	1979825	26,08	0,005
	800-900	9567	15,73	1979825	26,08	0,60
	900-1000	10671	17,54	669847	8,82	1,98
	1000-1100	273	0,44	487010	6,41	0,06
	1100-1200	796	1,30	206304	2,71	0,47
Akarsuya yakınlık	1200+	1063	1,74	179141	2,36	0,73
	0-50	15904	26,14	1320223	17,39	1,50
	50-100	11695	19,22	1117560	14,72	1,30
	100-150	9598	15,78	1019954	13,43	1,17
	150-200	7810	12,84	896537	11,81	1,08
	200-250	5262	8,65	755194	9,95	0,86
Yola yakınlık	250+	10463	17,20	2450576	32,28	0,53
	0-50	19006	31,25	1963819	25,87	1,20
	50-100	9747	16,02	1248698	16,45	0,97
	100-150	7868	12,93	855989	11,27	1,14
	150-200	3166	5,20	653390	8,60	0,60
	200-250	5543	9,11	522441	6,88	1,32
Yola yakınlık	250+	15474	25,44	2568082	33,83	0,75

Tablo 1'in Devamı						
Drenaj Yoğunluğu	Çok az yoğun	392	0,64	901106	11,87	0,05
	Az yoğun	8137	13,37	1818365	23,95	0,55
	Orta yoğun	14565	23,94	2286345	30,12	0,79
	Yoğun	25246	41,51	1916958	25,25	1,64
	Çok yoğun	12449	20,46	644081	8,48	2,41
Litoloji	Hamurkesen Formasyonu	8778	14,43	673472	8,87	1,62
	Çatak Formasyonu	8728	14,35	1146777	15,10	0,95
	Kızılkaya Formasyonu	8401	13,81	776620	10,23	1,34
	Berdiga For.	0	0	44502	0,58	0
	Çağlayan Formasyonu	7852	12,91	732250	9,64	1,33
	Bakırköy Formasyonu	105	0,17	131811	1,73	0,09
	Kabaköy Formasyonu	0	0	709007	9,34	0
	Kaçkar Gran	26603	43,74	3320609	43,75	0,99
	Alüvyon	343	0,56	50082	0,65	0,86
Topoğrafik Nemlilik İndeksi	Çok düşük	2591	4,2	327190	4,31	0,97
	Düşük	12719	20,24	1573864	20,73	0,97
	Orta	12603	20,75	1570046	20,68	1
	Yüksek	2248	3,69	280467	3,69	1
	Çok yüksek	30658	50,40	3837993	50,56	0,99

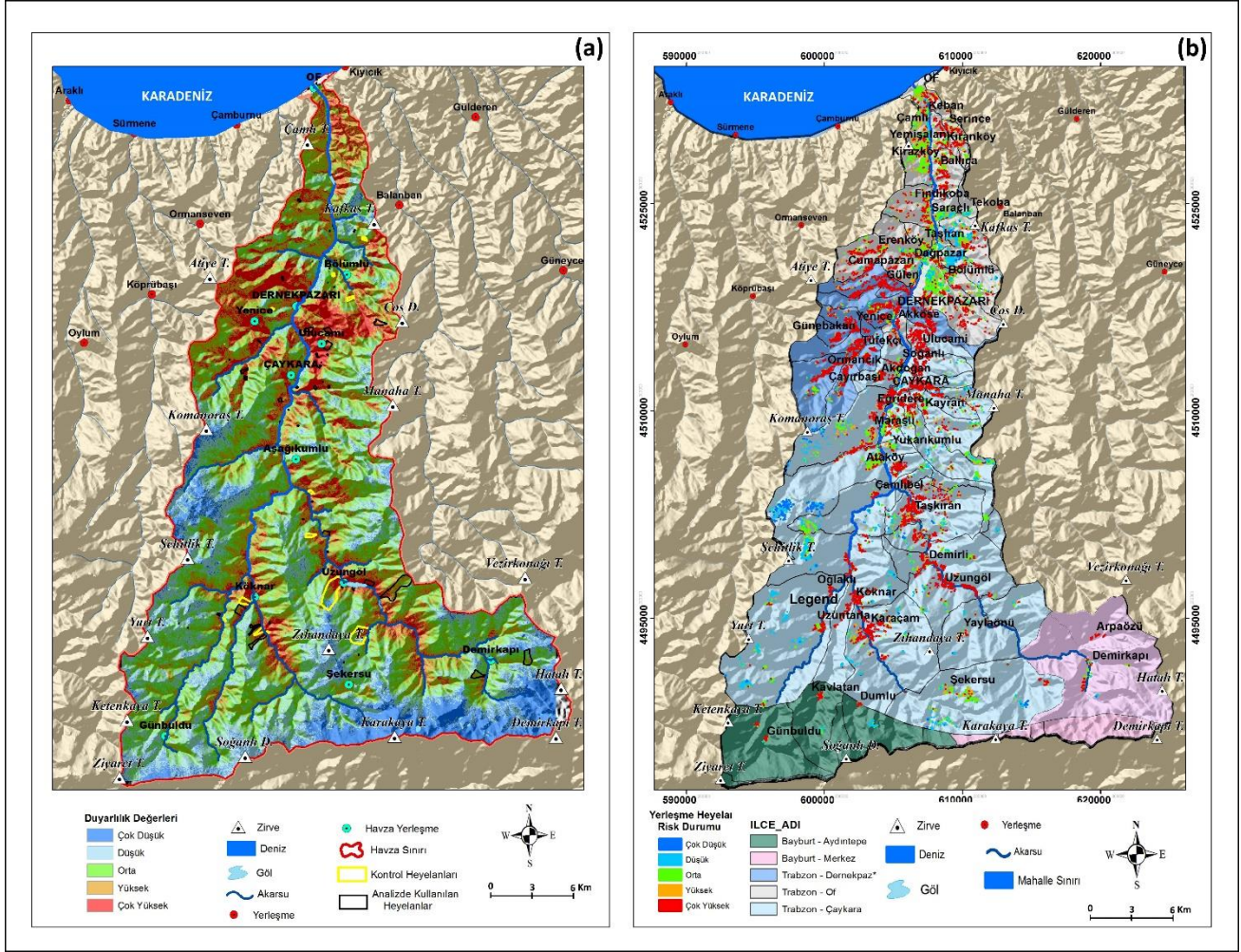
Heyelan Duyarlılığı ve Yerleşim Yeri Risk Durumu

Solaklı Çayı Havzası'nda heyelana duyarlı alanların belirlenmesi ve bu alanlar içinde kalan yerleşim yerlerinin heyelan risk durumunun belirlenmesi çalışmanın analizini oluşturmaktadır. Yöntem kısmında da bahsedildiği gibi çalışmada 11 parametre kullanılmıştır (Şekil 4-Tablo 1). ve havzanın heyelanlı alan piksel sayıları hesaplanarak frekans oranları çıkarılmıştır. Her bir parametre yeniden sınıflandırılarak parametrelerin alt parametrelerine frekans değerleri yazdırılmış ve parametreler tek bir haritada birleştirilerek heyelan duyarlılık haritası çıkarılmıştır.

Trabzon il sınırları içinde yer alan havzada Trabzonun Of ilçesinin bir kısmı ile Dernekpazarı ve Çaykara ilçesi yer almaktadır. İdari olarak mahalle statüsünde olan ancak coğrafi olarak köy diyebileceğimiz 76 yerleşme yeri bulunmaktadır. Bu köylerden 25'i Of, 31 köy Çaykara, 10 köy Dernekpazarı, 5 Köy Bayburt Merkez, 5 Köyde Bayburt Aydıntepe ilçesine bağlıdır.

Solaklı Çayı Havzası'nın heyelan duyarlılık haritası kullanılarak yerleşme alanları yeniden sınıflandırılmış ve yerleşme yeri heyelan risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 5 (b)). Analizde yerleşme yerinin % 40 yüksek risk durumuna sahipken %34,47'si çok yüksek risk durumuna sahiptir. Risksiz alanlar ise 0,64'lük küçük bir orana sahiptir. Çok yüksek riskli alanlar Çaykara, Ulucami ve Dernekpazarı civarında toplanmıştır (Şekil 5 (b)). Havzanın yukarı çıkırında Uzungöl ve yakın çevresi çok yüksek riskli alanlara karşılık gelmektedir. Düşük ve Orta riskli alanlar ise daha çok orman üst sınırında yaylalar kuşağında yer almaktadır. Eğim ve yağış değerlerinin düşük olması bu kuşakta heyelan olma olasılığını azaltmıştır. Sonuç olarak havzada yerleşmelerin % 74'ü yüksek ve çok yüksek riskli alanlara karşılık gelirken % 7,5 çok düşük ve düşük riskli alanlara karşılık gelmektedir.

Şekil 5 (b)' ü incelediğimizde heyelan riski çok yüksek yerleşmelerin dernekpazarı ilçesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Dernekpazarı merkez, yenice, günebakan, çalışanlar, tüfekçi ve Akköse köylerinde yüksek riskli alanların yoğunlaştığı alanlara karşılık gelmektedir. Diğer yoğunluklu alanlar ise Dernekpazarı-Çaykara ilçe sınırları yakında yaklaşık olarak Zincirlitaş, Ulucami civarında başlamakta ve solaklı vadisi ve yan kollarının her iki yamacında yoğunlaşmaktadır. tarımsal faaliyetlerin ve yerleşmelerin bu alanda yoğunlaşması ve antropojenik baskılar (inşaat faaliyetleri, patlatma, yol yapım çalışmaları) bu alanlarda heyelan duyarlılığının yüksek çıkmasının temel sebebidir. N-S istikameti boyunca Zincirlitaş, Ulucami, Kabataş, Çaykara ilçe merkezi, Taşlıgedik, taşkıran ve Uzungöl civarları ile Köknar ve Kalınçam vadi yamaçlarına kurulu yerleşim yerleri yüksek riskli yerlerdir. Bunun temel nedeni ise yüksek eğim, drenaj yoğunluğunun yüksek olması ve akarsuyun buralarda yatağını derine kazmış olmasıdır. Tüm bunları tetikleyen ana parametre ise hiç kuşkusuz Karadeniz ikliminin karakteristik özelliği olan şiddetli yağışlardır.



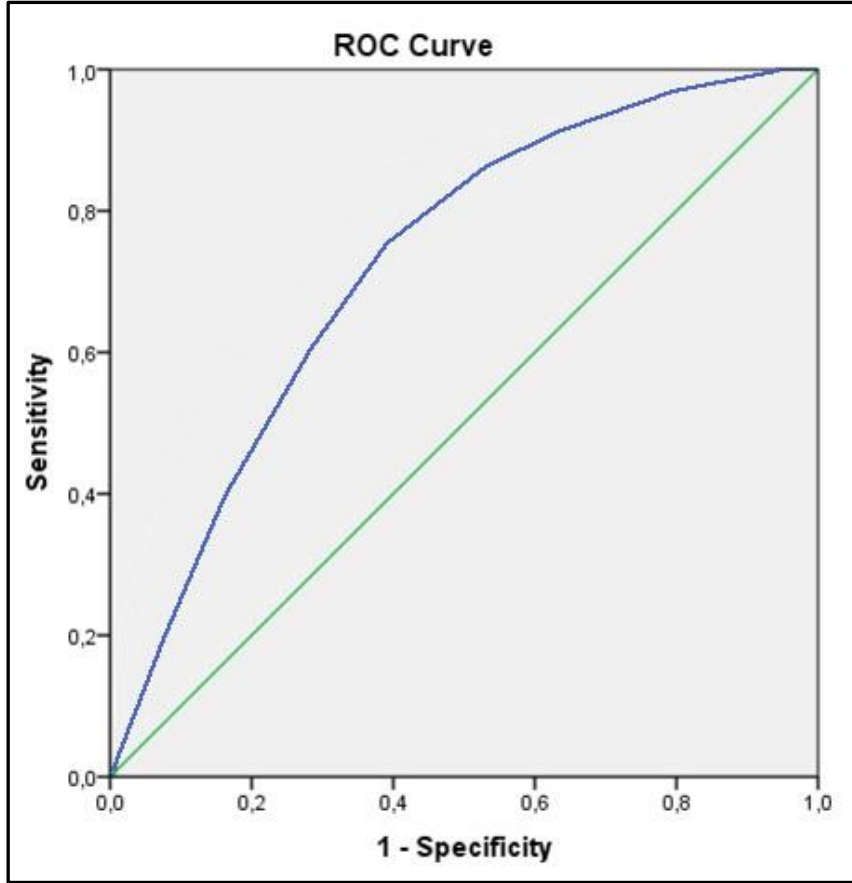
Şekil 5: Solaklı Havzasının Heyelan Duyarlılığı (a) ve Yerleşme Yeri Heyelan Risk Haritası (b)

Duyarlılık Haritasının Doğruluk Değerlendirmesi

Duyarlılık haritalarında doğruluk değerlendirmelerinin yapılması haritalarının güvenilirliği açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunu test etmek amacıyla literatürde sıklıkla kullanılan rastgele noktalama yaparak örneklem oluşturulmuştur. Bu amaçla daha önce doğruluk analizi için ayrılan heyelan envanter haritaları kullanılmıştır. Heyelanlı gerçek sahalara ve bunların dışında kalan alanlara rastgele 300 nokta atılmış ve bu noktalara karşılık gelen değerler yazdırılarak SPSS programına aktarılmıştır. SPSS programının ROC analiz aracı kullanılarak ROC eğrisi oluşturulmuştur.

Solaklı Çayı Havzasının duyarlılık haritasının doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla ROC Eğrisi Altında Kalan Alan (EAA) yaklaşımı kullanılmıştır. ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflik (1-belirlilik) oranlarının yer aldığı bir eğridir (Dirican,1991; Faraggi ve Reiser 2002; Beguería 2006).

EAA değerinin 1'e yakın olması modelin doğruluğunun yüksek, 0.5'e yakın olması ise modelin doğruluğunun oldukça düşük olduğunu göstermektedir (Fawcett, 2006; Akgün,2018). Bu çalışmada heyelan envanter haritaları kullanılarak heyelanlı sahalara ile heyelanlı sahaların dışında kalan yerlerin heyelan değerleri tespit edilerek SPSS programında ROC eğrisi çizilmiştir (Şekil 6). Çizilen egride ROC eğrisinin 0,73 olduğu görülmüştür. Bu değer Frekans oranı yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 6: Heyelan Duyarlılık Haritası ROC Eğrisi

SONUÇ

Dağlık bir bölge olan solaklı havzasında heyelanlar insanlara ve mülklere büyük zararlar vermiştir. Bununla birlikte topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar ile beşeri faaliyetlerin sonucu olan heyelanlar üzerine araştırmalar hala sınırlıdır. Bu alandaki çalışmalar ya heyelan envanteri çalışmaları ya da il ölçeğinde yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarıdır. Havza temelli çalışmaların önemi günden güne artmakta ve bilimsel çalışmaların sınırını oluşturmaktadır.

Solaklı havzasında yapılacak heyelan değerlendirmeleri yerel makamların heyelan tehlike yönetimini gerçekleştirmesine ve önleyici tedbirler almasına yardımcı olacaktır. Bu çalışmanın sonuçları Solaklı havzasında heyelan zararlarının en aza indirilmesi ve sürdürülebilir havza yönetimi için kullanılabilir.

Havzada yapılan arazi gözlemleri, heyelan analiz ve değerlendirmelerinde heyelana neden olan faktörlerin herbirinin heyelan oluşumuna katkı sağladığı ancak bazı kriterlerin daha belirgin olduğu görülmüştür. Heyelanların eğim değerlerinin yüksek, akarsu ve yola yakın yerler ile yerleşme ve tarımsal arazi kullanımının olduğu yerlerde duyarlılığın arttığı görülmüştür. İnşaat faaliyetlerinin baskısı, binaların yamaca ek yük getirmesi, karayolunun yamaç topuğunu oyarak yamaç stabilizesini bozması ve aşırı yağışlar ile birlikte ayrılmış killi malzemenin varlığı havzada heyelanların sık görülmesinin temel sebepleridir. Havzada son yıllarda artan ormansızlaştırma ile birlikte ormanların yerini tarımsal araziler alması bu alanlarda daha sık heyelan olayı yaşanmasına neden olmuştur.

Frekans oranı yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında % 9,69'luk (72 km²) değer çok düşük alanlara, % 25,58'lik (190,57 km²) düşük alanlara, % 31,30'luk (233,18) değer orta duyarlılıkta alanlara, % 23,57'lik (175,61 km²) değer ise yüksek alanlara % 9,76'lık (72,73 km²) değer çok yüksek duyarlılıkta alanlara karşılık geldiği görülmektedir.

EXTENDED ABSTRACT

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY AND SETTLEMENT RISK ANALYSIS OF SOLAKLI BASIN (TRABZON)

INTRODUCTION

Landslides, which are frequently experienced in our country, cause irreparable loss of life and property. Since 1929, fatal landslides have been recorded in 67 of the 81 provinces in Turkey. While 85 deaths occurred in 58 landslides in Istanbul, 38 landslides and 336 deaths occurred in Trabzon, where Solaklı basin is located (Fidan and Görüm, 2020).

Landslide susceptibility maps are extremely important to reduce the damage caused by landslides, to be prepared for disasters and to identify areas prone to landslides (Dağdelenler, 2020) and they can form a basis for strategic planning. Landslide susceptibility is the probability of landslides that reveals “where” landslides can occur, taking into account local terrain conditions (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir and Guzzetti, 2018). Such maps may enable politicians and decision makers to prepare development plans and identify areas susceptible to landslides (Mohammad et al., 2012).

Landslide susceptibility and settlement risk maps created by combining many parameters (altitude, slope angle, slope exposure, precipitation, lithology, distance from rivers, distance from roads, drainage density, land use, topographic humidity index, slope profile) are needed in order to reduce landslide-related deaths and social and economic losses in the Solaklı basin. Recently, landslide susceptibility studies have extensively been carried out (Çellek, Bulut and Ersoy, 2015; Avcı, 2016; Hepdeniz and Soyaslan, 2018; Dağdelenler, 2020; Aghlmand et al., 2020; Taşoğlu, 2020).

In this study, the frequency ratio (FR) method based on the statistical model was used. The statistical method is preferred since it is applicable in larger areas with less cost than physically-based models (Pourghasemi, R.H, Rahmati, 2018). The spread of systems based on spatial analysis such as Geographical Information Systems and Remote Sensing has led to an increase in the use of statistical methods. Statistical models focus on the analysis of factors affecting landslides using past and current landslide datasets (Goetz et al., 2015). Based on the principle that the past is the key to the future (Jadda et al., 2009; Lee et al., 2004), a landslide inventory of past and present landslide areas is compiled, and the parameters that cause landslides are determined. By analyzing each parameter that causes a landslide, the size of the effect of these parameters on the occurrence of landslides are revealed and the results are combined into a map to produce a susceptibility map and landslide risk map for the settlement.

METHOD AND MATERIAL

In this study, the frequency ratio method, which is one of the statistical models, was used due to its applicability in larger areas with less cost (Pourghasemi and Rahmati, 2018). The aim of the study is to determine the landslide susceptibility areas in the Solaklı basin and to identify and evaluate the settlement landslide risk areas.

The digital landslide inventory map obtained from the Trabzon Provincial Directorate of Disaster was used (Figure 2). 64 out of 84 landslide areas were analyzed, and the remaining 20 landslide areas were used for accuracy analysis.

Another step in the study was to determine the parameters and sub-parameters that cause landslides. To this end, 11 parameters (altitude, slope angle, slope exposure, precipitation, geology, drainage density, distance from rivers, distance from roads, profile curvature, soil moisture index, land use) were determined (Figure 4) considering their frequent use in the literature (Güneş, 2018, Hepdeniz and Soyaslan, 2018, Dağdelenler, 2020).

The parameter maps were analyzed using the frequency ratio method. The frequency ratio method is obtained by counting the pixels for each parameter in the areas where landslides occurred before and by proportioning them to the areas not affected by a landslide.

$$FR = PLO / PIF$$

where PLO is the percentage of landslide presence within each category of the factor affecting the landslide, and PIF is the percentage of each category of the factor affecting the landslide. In the frequency ratio spreadsheet, PLO was calculated as A/B and PIF was calculated as C/D . The FR values greater than 1 obtained in the sample table for the calculation of frequency ratios indicate high correlation, while values lower than 1 (e.g., lower than 0.85) indicate low correlation (Erener & Lacasse, 2007).

FINDINGS AND DISCUSSION

Parameters Affecting Landslide Susceptibility

Lithology-Decomposition

There are units of various ages and lithologies from mesozoic to quaternary in the study area. While paleozoic aged units are generally located at the bottom, volcanites are located on top of it, and paleocene and eocene aged sandstone, marl, kitstone and clay limestone are found on top of the volcanites (Figure 4 (5)). With their decomposition, the clay layer, which is 5-10 m deep in some places, flows in the direction of the slope with heavy rains, causing landslides. In the study area, the Hamurkesen and Çağlayan formations show a high correlation in terms of landslides (Table 1).

Altitude

There is a relationship between elevation steps and landslides. Changes in precipitation slope and soil conditions together with altitude affect landslides indirectly. Precipitation and temperature conditions that change with altitude also affect land use, which may affect landslide. It is seen that landslides in the basin show a high correlation at 500-750 m altitudes.

Slope Angle

In the Solaklı basin, places with a slope of $0-25^{\circ}$ (Figure 4(2)) show a low correlation in terms of landslides, while places with a slope of $25-40^{\circ}$ (Figure 4(2)) show a high correlation (Table 1). The deep valleys opened by Solaklı and its branches in the basin correspond to areas with high slope values. Anthropogenic factors (construction activities, mining, road construction works) have caused the slope values to increase and the slope stability to deteriorate. In the basin, the slope falls on the coastline and plateaus (Figure 4(2)).

Slope Exposure

The northern and northwest slopes are covered with dense forest cover in the Solaklı Basin, which is the main reason why landslides are less common. On the slopes facing south and southwest, denser settlement in the areas with sparse vegetation and agricultural activities cause landslides to occur more frequently.

Land Use

It is remarkable that there is a high correlation between landslide susceptibility in the Solaklı basin and settlement and agriculture areas. It is seen that landslides are concentrated in Trabzon (Of) district center, Yemişalan, Ballica, Fındıkoba, Saraçlı, Bölümlü, and Dernekpazarı where settlement and agriculture areas are widespread (Figure 4 (11)).

The densely populated areas are prone to landslides due to forest degradation and anthropogenic effects (blasting, construction activities, highway construction works, etc.). In fact, a high correlation is observed between landslides and settlement (2.72) and agriculture (2.23) (Table 1).

Distance from Roads

The road transport network in the basin plays a major role in landslides. The fact that the agricultural lands in the basin are very limited due to topographic and climatic conditions and that there is no water shortage caused the dwellings to be highly scattered. Since this situation necessitates building roads extending to every household, the basin has a very dense transportation network (Figure 4 (8)). The similarity between settlement density and highway density in the basin confirms this. In the basin, the highway generally follows valleys, ridges and steeply sloping slopes. Just like rivers, the highway cuts the slopes and erodes them from the heel, causing an increase in landslide susceptibility in these areas (Photo 1). The landslide areas in the basin show a high correlation (1.20) at distances of 0-50 m from the highway (Table 1).

Distance from Rivers

The slopes located at the intersection points of the drainage networks are affected by rivers. Rivers erode the heel of the slope and the slope becomes saturated with water up to the river level (Gokceoglu, 2001). It is seen that the frequency and correlation values decrease once there is a move away from the river (Table 1).

Drainage Density

Drainage density in the Solaklı basin was reclassified and divided into five classes as very low density, low density, medium density, dense and very dense, and the number of landslide cells in these areas was calculated. Very dense areas show a very high correlation with a ratio of 2.41, while areas with very low density show a very low correlation with a ratio of 0.05 (Table 1).

The frequency between drainage density and landslides increases in the areas where the drainage density is very high compared to the areas where the drainage density is very low, which indicates that the erosion activities of the river (deep and side erosion) in the basin increase landslide sensitivity

Precipitation

When the annual average precipitation distribution map in the basin is examined, it is seen that the amount of precipitation varies between 550-1400 mm. The northern and northwestern slopes of the mountainous areas, which are open to the air masses just behind the coast, receive more than 1000 mm of precipitation, while the amount of precipitation decreases to about 500 mm as one goes from the coast to the interior. The reason for this is that the fronts that are effective in the winter season leave precipitation on the north-facing slopes of the mountains, but the air masses that have lost their moisture in the interior cause less precipitation in these areas. It is seen that the amount of precipitation in the basin is 900-1000 mm (Figure 4 (4)), and landslides show a very high correlation (1.98) in the areas close to the coast where the majority of the population lives (Table 1).

Landslide Susceptibility and Settlement Risk Status

Using the landslide susceptibility map of the Solaklı Basin, the settlement areas were reclassified and a landslide risk map was created (Figure 5 (b)). According to the analysis, 40% of the settlement area has a high risk status, while 34.47% has a very high risk status. Risk-free areas have a small ratio of 0.64. Very high risk areas are concentrated around Çaykara, Ulucami and Dernekpazarı (Figure 5 (b)). In the upper part of the basin, Uzungöl and its surroundings correspond to very high risk areas. Low and medium risk areas are mostly located at the upper forest border, in the plateaus belt. The low slope and precipitation values have reduced the possibility of landslides in this belt. In brief, 74% of the settlements in the basin are in the high and very high risk areas, while 7.5% are in the very low and low risk areas.

When Figure 5(b) is examined, it is seen that the settlements with very high landslide risk are concentrated in the Dernekpazarı district. The center of Dernekpazarı, Yenice, Günebakan, Çalışanlar, Tüfekçi and Akköse villages are high-risk areas. Other dense areas start around Zincirlitaş and Ulucami, close to the borders of Dernekpazarı-Çaykara district, and concentrate on both slopes of the Solaklı Basin and its branches. The concentration of agricultural activities and settlements in this area and anthropogenic effects (construction activities, blasting, road construction works) are the main reasons for the high landslide susceptibility in these areas.

Accuracy Assessment of the Sensitivity Map

The reserved landslide inventory maps were used for accuracy analysis. 300 points were randomly drawn on the real landslide areas and the areas outside them, and the values corresponding to these points were printed and transferred to the SPSS program. The ROC curve was created using the ROC analysis tool of the SPSS program.

In this study, the landslide values of the landslide areas and the places outside the landslide areas were determined using the landslide inventory maps, and the ROC curve was drawn in the SPSS program (Figure 6). The ROC curve was found to be 0.73. This value shows that the landslide susceptibility map created using the frequency ratio method is applicable.

CONCLUSION

In the field observations, landslide analysis and evaluations made in the basin, it has been seen that each of the factors causing landslides contributes to the formation of landslides; however, some criteria are more significant. It has been observed that landslide sensitivity increases in places with high slope values, in areas close to rivers and roads, and on lands which are used for settlement and agriculture. The pressure of the construction activities, the additional load

buildings put on the slope, the deterioration of slope stability by the highway due to the carving of the heel of the slope, and the presence of decomposed clay material together with excessive precipitation are the main reasons for the frequent occurrence of landslides in the basin. With the increasing deforestation in the basin in recent years, the forests were replaced by agricultural lands, which led to more frequent landslides in these areas.

In the landslide susceptibility map created using the Frequency Ratio Method, the value of 9.69% (72 km²) corresponds to the areas with very low sensitivity, while 25.58% (190.57 km²), 31.30% (233.18 km²), 23.57% (175.61 km²) and 9.76% (72.73 km²) correspond to the areas with low, medium, high and very high sensitivity

Kaynakça / References

- Abedini, M. & Tulabi, S. (2018). Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(11), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7524-1>
- Aghlmand, M., Onur, M. İ. & Talaei, R. (2020). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde Analitik Hiyerarşi yönteminin ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, Nisan (Özel Sayı), 224-230. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf28>
- Akgün, A. (2018). Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Tonya (Trabzon) Örneği. *GÜFBED/GUSTU*, 8(1), 135-146. doi: 10.17714/gumusfenbil.346532.
- An, H., Viet, T. T., Lee, G., Kim, Y., Kim, M., Noh, S. & Noh, J. (2016). Development of time-variant landslide-prediction software considering three-dimensional subsurface unsaturated flow. *Environmental Modelling and Software*, 85, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.08.009>
- Arıncı, K. (2011). *Doğal, İktisadi, Sosyal Yönleriyle Türkiye'nin Kıyı Bölgeleri*. Bam Yayınları. Erzurum.
- Avcı, V. (2016). Gökdere havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) frekans oranı metoduna göre heyelan duyarlılık analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 34, 160-177.
- Beguería, S. (2006). Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Natural Hazards*, 37(3), 315-329.
- Çellek, S., Bulut, F. & Ersoy, H. (2015). AHP yöntemi'nin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanımı ve uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(2), 59-59. <https://doi.org/10.24232/jeoloji-muhendisligi-dergisi.295366>
- Çevik, E. & Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44(8), 949-962. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0838-6>
- Chen, X. & Chen, W. (2021). Catena GIS-based landslide susceptibility assessment using optimized hybrid machine learning methods. *Catena*, 196, 104833. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104833>
- Çoban, A. (2015). Türkiye'nin iklimi. In H. D. İ. Akengin (Ed.), *Türkiye fiziki coğrafyası* (pp. 23-53). Ankara.
- Dağ, S. & Bulut, F. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35-62.
- Dağdelenler, G. (2020). Comparison of the landslide susceptibility maps using two different sampling techniques with the frequency ratio (Fr) method. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(1), 19-38. <https://doi.org/10.24232/jmd.740509>
- Das, G. & Lepcha, K. (2019). Application of logistic regression (LR) and frequency ratio (FR) models for landslide susceptibility mapping in Relli Khola river basin of Darjeeling Himalaya, India. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1499-8>
- Dirican, A. (1991). *ROC eğrisi çözümlenmesi ile tanı testlerinin değerlendirilmesi ve bilgisayar uygulaması*. (Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).
- Eker, R. & Aydın, A. (2014). Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormanlık Dergisi*, 15(1), 84. <https://doi.org/10.18182/tjf.31067>
- El Jazouli, A., Barakat, A. & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>
- Erener, A. & Lacasse, S. (2007). *Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Trabzon
- Erinç, S. (1996). *Jeomorfoloji 1*. İstanbul.
- Faraggi, D. & Reiser, B. (2002). Estimation of the area under the ROC curve. *Stat Med*, 21, 3093-3106.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.
- Fidan, S. & Görüm, T. (2020). Türkiye'de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 74, 123-134. <https://doi.org/10.17211/tcd.731596>
- Goetz, J. N., Brenning, A., Petschko, H. & Leopold, P. (2015). Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. *Computers and Geosciences*, 81, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.04.007>

- Gökçeoğlu, C. & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 22(23), 189-206
- Güney, Y. (2018). Frekans Oranı yönteminin erozyon duyarlılık analizinde kullanımı : Selendi Çayı havzası (Manisa) örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Beslenme Dergisi*, 6(2), 73-85.
- Hepdeniz, K. & Soyaslan, İ. İ. (2018). CBS ve Frekans Oranı yöntemi kullanılarak Isparta-Burdur dağ yolu heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 179-186. <https://doi.org/10.29048/makufebd.414392>
- Huang, Y. & Zhao, L. (2018). Review on landslide susceptibility mapping using support vector machines. *Catena*, 165, 520-529. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.003>
- Jadda, M., Shafri, H. Z. M., Mansor, S. B., Sharifikia, M. & Pirasteh, S. (2009). Landslide susceptibility evaluation and factor effect analysis using Probabilistic-Frequency Ratio model. *European Journal of Scientific Research*, 33(4), 654-668.
- Jakob, M. (2000). The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38(4), 279-300. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00078-8)
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U. & Calligaris, C. (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>
- Koçman, A. (1993). *Türkiye İklimi*. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No: 72.
- Lee S., Choi J. & Min K., (2004), Landslide hazard mapping using gis and remote sensing data at Boun, Korea. *Int J Remote Sensing*, 25, 2037-2052.
- Liu, H., Li, X., Meng, T. & Liu, Y. (2020). Susceptibility mapping of damming landslide based on slope unit using Frequency Ratio model. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05689-w>
- Medina, V., Hürlimann, M., Guo, Z., Lloret, A. & Vaunat, J. (2021). Catena Fast physically-based model for rainfall-induced landslide susceptibility assessment at regional scale. *Catena*, 201, 105213. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105213>
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R. & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2012.10.005>
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi, Dergisi*, 2, 35-50.
- Pourghasemi, R.H. & Rahmati, O. (2018). Prediction of the landslide susceptibility: which algorithm, which precision? *Catena*, 162, 177-192. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.022>
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M. & Guzzetti, F. (2018). Earth-science reviews a review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60-91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Taşoğlu, E. (2020). *Devrek İlçesi'nin (Zonguldak) yapay sinir ağları ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Karabük).
- UNISDR. (2017). *Economic losses, DISASTERS poverty & 1998-2017*. 1–27. Retrieved from <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021243259/>
- Wu, X., Shen, S. & Niu, R. (2016). Landslide susceptibility prediction using GIS and PSO-SVM. *Wuhan Daxue Xuebao (Xinxi Kexue Ban)/Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 41(5), 665-671. <https://doi.org/10.13203/j.whugis20130566>
- Wubalem, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 1-28. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00170-y>
- Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using Frequency Ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*, 35(6), 1125-1138. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.08.007>