

VAN İLİ HEYELAN DUYARLILIĞININ FREKANS ORANI YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Nergiz ÜZEL GÜNİNİ *^{ID}
Derya ÖZTÜRK **^{ID}

Alınma: 10.07.2021; düzeltme: 03.10.2021; kabul: 18.10.2021

Öz: Bu çalışmada, Van ili heyelan duyarlılığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında Frekans Oranı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde; litoloji, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı/örtüsü, yükseklik, eğim, bakı ve genel eğrilik faktörleri değerlendirmeye alınmıştır. Heyelan envanterinin %70'i eğitim verisi, %30'u doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık sonuçlarından kategorik heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında Eşit Aralıklı, Doğal Aralıklı, Geometrik Aralıklı ve Kuantil Sınıflandırma teknikleri kullanılmış ve heyelan duyarlılığı Çok Yüksek, Yüksek, Orta, Düşük ve Çok Düşük olmak üzere beş sınıfa kategorilendirilmiştir. ROC (İşlem Karakteristik Eğrisi) analizi ve SCAI (Doğrulama Pikselli Alan İndeksi) indeksi ile heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiş ve Doğal Aralıklı Sınıflandırma yönteminin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Doğal Aralıklı Sınıflandırma yöntemi sonucuna göre ilin %17,2'si Çok Yüksek, %27,5'i Yüksek, %27,7'si Orta, %20,0'ı Düşük ve %7,6'sı Çok Düşük heyelan duyarlılığı göstermektedir. Heyelan duyarlılık haritasının arazi kullanımı/örtüsü katmanı ile çakıştırılması sonucunda ilde yerleşim ve endüstriyel alanların 0,2 km²'sinin Çok Yüksek, 3,6 km²'sinin Yüksek heyelan duyarlılığında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, Frekans Oranı yöntemiyle elde edilen analiz sonuçlarından farklı sınıflandırma teknikleri ile optimum kategorik heyelan haritasının elde edilebileceği ve gelecekteki muhtemel heyelanlar için tehlike altında bulunan alanların öngörüsünde kullanılarak afet yönetimi ve planlama çalışmalarına entegre edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Heyelan duyarlılığı, Frekans oranı, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Doğal aralıklı sınıflandırma, ROC analizi, SCAI indeksi

Analysis of Landslide Susceptibility of Van Province Using Frequency Ratio Method

Abstract: In this study, the landslide susceptibility of Van province was determined using the Frequency Ratio method in the Geographical Information Systems environment. In the landslide susceptibility analysis; lithology, distance to fault lines, land use/cover, elevation, slope, aspect, and general curvature were taken into consideration. 70% of the landslide inventory was used as training data and 30% as test data. To obtain the categorical landslide susceptibility map from the landslide susceptibility analysis results, classification techniques of Equal Interval, Natural Breaks, Geometric Interval, and Quantile were used and landslide susceptibility was categorized into five classes as Very High, High, Medium, Low, and Very Low. The accuracy of the landslide susceptibility maps was evaluated by ROC (Receiver Operating Characteristic) analysis and SCAI (Seed Cell Area Index) index, and it was determined that the Natural Breaks Classification method gave better results. According to the result of the Natural Breaks Classification method, 17.2% of the province had Very High, 27.5% High, 27.7% Medium, 20.0% Low, and 7.6% Very Low landslide susceptibility. As a result of overlapping the landslide susceptibility map with the land use/cover layer, it was determined that 0.2 km² of the residential and industrial areas in the province had Very High and 3.6 km² had High landslide susceptibility. As a result, it has been seen that the optimum categorical landslide map can be selected by different classification techniques from the analysis results obtained by the Frequency Ratio method, and it can be integrated into disaster

* Van İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 65040 Tuşba-Van

** Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 55139 Atakum-Samsun
İletişim Yazarı: Derya Öztürk (dozturk@omu.edu.tr)

management and planning studies by using it in the prediction of endangered areas for possible future landslides.

Keywords: Landslide susceptibility, Frequency ratio, Geographical Information Systems, Natural breaks classification, ROC, SCAI

1. GİRİŞ

Yamaç duraylılığının bozulması sonucunda yamaç ve şevleri oluşturan toprak, kaya veya molozların yer çekiminin etkisi altında eğim aşağı hareketi olarak tanımlanan heyelanlar tüm dünyada önemli tahribatlara ve sosyo-ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Cruden, 1991; Öztürk, 2002; Eker ve Aydın, 2014). Ülkemizde de jeolojik, iklimatik, coğrafi özellikler ve yanlış arazi kullanımı nedeniyle heyelanlar sıkça yaşanmaktadır (Dağ ve diğ., 2011; Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, 2016).

Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasında duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirme çalışmaları büyük bir önem taşımaktadır (Guzzetti ve diğ., 1999). **Heyelan duyarlılığı**, bir alanın heyelan oluşumuna eğilimi anlamına gelir. Kısaca, belirli bir yerde belirli bir türdeki heyelanların meydana gelme olasılığı olarak tanımlanır. Duyarlılık, bu nedenle, bir heyelanın gelecekte meydana gelmesi için uzamsal olasılığı (nitel veya nicel olarak ifade edilen) ifade eder. **Heyelan tehlikesi**, belirli bir yerde belirli bir tür ve büyüklükteki heyelanların belirli bir referans süresi içinde meydana gelme olasılığını ifade eder (Hervás ve Bobrowsky, 2009). **Heyelan riski** ise heyelan tehlikesinin belirli bir zaman ve mekânda gerçekleşmesi durumunda tehdit altında olan unsurların (insanlar, diğer canlılar, alt ve üst yapı tesisleri, tarımsal zararlar, doğal ve kültürel kaynaklar vb.) alabileceği hasarın düzeyine bağlı olarak oluşabilecek potansiyel kayıplar şeklinde tanımlanır (Kadıoğlu, 2011).

Heyelan araştırmalarında kütle hareketlerinin karmaşık yapısı ve bu hareketleri kontrol eden faktörlerin iyi bilinmesi gereklidir (Guzzetti ve diğ., 1999). Etken faktörlerin belirlenmesi, heyelan duyarlılık değerlendirmesinin temelidir. Heyelanlar, etkileşen iki kuvvet kümesinin sonucudur; (1) şevlerin duraylılık koşullarını yöneten hazırlayıcı (ön koşul) faktörler ve (2) deprem, yağış vb. doğal faktörler ve insan müdahalesi gibi dış etkenlerden oluşan tetikleyici faktörler (Mandal ve Mondal, 2019). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması sırasında dikkate alınması gerekenler hazırlayıcı faktörlerdir. Hazırlayıcı faktörler; jeolojik (litoloji, yapısal özellikler, yeraltı suyu koşulları), topoğrafik (yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli, yükseklik, drenaj ağı) ve çevresel (bitki örtüsü, arazi kullanım potansiyeli) faktörler olarak üç kategoride değerlendirilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Etken faktörlerin daha iyi anlaşılması, heyelan duyarlılığının belirlenmesi ve doğru arazi kullanım planlamasıyla heyelanların oluşumu ve etkileri kontrol edilebilir (Pourghasemi ve diğ., 2013; Dereli, 2019; Mandal ve Mondal, 2019; Dağ ve diğ., 2020). Heyelanların gerçekleşeceği öngörülen bölgeler için tehlike ve risk değerlendirmelerinin yapılması, önlemlerin alınması ve acil durum planlarının hazırlanabilmesi açısından heyelan duyarlılık analizleri kritik bir önem taşır (Guzzetti ve diğ., 1999). Bir heyelan duyarlılık haritası, geçmişteki heyelanların meydana geldiği alanların ve benzer veya aynı fiziksel özelliklerin bulunduğu alanların belirlenmesine dayalı olarak gelecekteki olası heyelanların nerede meydana gelebileceğinin önemli bir göstergesidir (Pourghasemi ve diğ., 2013).

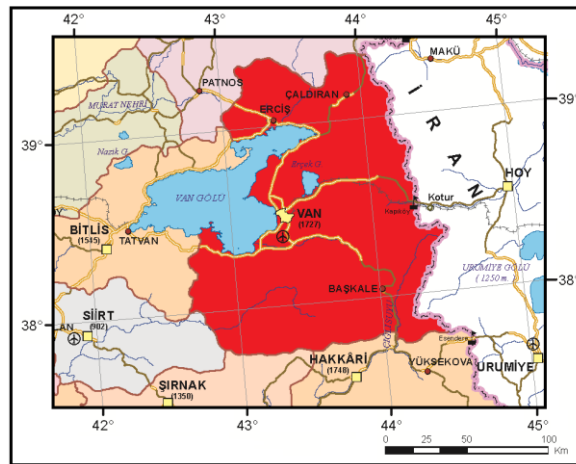
Heyelan duyarlılık haritalaması için literatürde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, heyelan duyarlılık haritalarının üretilme yöntemleri veya kapsamı konusunda genel bir fikir birliği yoktur. Buna karşın, olasılık modeline dayalı "Frekans Oranı" kolay uygulanabilir bir yöntem olması nedeniyle heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında kabul görmüş popüler bir nicel yaklaşımdır (Mandal ve Mondal, 2019). Lee ve Talib (2005), Lee ve Pradhan (2007), Intarawichian ve Dasananda (2011), Park ve diğ. (2013), Youssef ve diğ. (2015), Khan ve diğ. (2019) heyelan duyarlılık haritalamasında Frekans Oranı yöntemini başarıyla uygulamışlardır. Heyelan duyarlılık analizi çok sayıda mekânsal verinin bir arada değerlendirilmesini

gerektirdiğinden son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar mekânsal veri işleme, analiz ve haritalama özelliklerinden dolayı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli olarak gerçekleştirilmektedir. Heyelan duyarlılık analiz sonuçlarının doğrudan yorumlanması zordur ve CBS’de kategorik haritaların oluşturulması haritanın mesajını netleştirmeye ve basitleştirmeye olanak sağlar. Ancak sürekli verilerin iki veya daha fazla kategoriye dönüştürülmesinde farklı sınıflandırma teknikleri birbirinden farklı sonuçlar vereceğinden yöntem seçimi heyelan duyarlılık haritalamasında belirsizliğini korumaktadır (Ayalew ve diğ., 2004; Moreira ve diğ., 2021).

Bu çalışmada; Van ilinin heyelan duyarlılığı CBS ortamında Frekans Oranı yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Litoloji, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı/örtüsü, yükseklik, eğim, bakı ve genel eğrilik faktörleri ile heyelan envanteri kullanılarak değerlendirmeler yapılmış, analiz sonuçları Eşit Aralıklı, Doğal Aralıklı, Geometrik Aralıklı ve Kuantil Sınıflandırma teknikleri kullanılarak kategorilendirilmiştir. Sonuçların doğrulukları ROC (Receiver Operating Characteristic: İşlem Karakteristik Eğrisi) analizine dayalı olarak belirlenen Başarı Oranı Eğrisi-Tahmin Oranı Eğrisi ve SCAI (Seed Cell Area Index: Doğrulama Pikseli Alan İndeksi) indeksi yöntemleri ile karşılaştırılmış ve çalışma alanında en iyi sonuç veren sınıflandırmaya göre Van ili heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

2. ÇALIŞMA ALANI

Van ili (Şekil 1) Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesinde yer almakta olup, $42^{\circ} 40' - 44^{\circ} 30'$ doğu boylamları ile $37^{\circ} 43' - 39^{\circ} 26'$ kuzey enlemleri arasında bulunur (Karaca ve diğ., 2019). Van; kuzeyde Ağrı ilinin Doğubeyazıt, Diyadin ve Hamur ilçeleri, batıda Van Gölü, Ağrı ilinin Patnos, Bitlis ilinin Adilcevaz, Tatvan ve Hizan ilçeleri, Güneyde Siirt ilinin Pervari, Şırnak ilinin Beytüşşebap ve Hakkâri ilinin Yüksekova ilçesi ile sınırlı olup doğusunda İran yer almaktadır. Van ilinin Merkez ilçe dâhil olmak üzere 13 ilçesi vardır (Van Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020). İl toprakları Harita Genel Müdürlüğü (HGM) verilerine göre 20921 km^2 ’dir (<https://www.harita.gov.tr/urun/il-ve-ilce-yuzolcumleri/176>). Yüz ölçümü bakımından Türkiye topraklarının %2,5’ini oluşturur ve Türkiye’nin 6. büyük ilidir (Karaca ve diğ., 2019). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 verilerine göre Van ilinin toplam nüfusu 1149342’dir (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>).



Şekil 1:

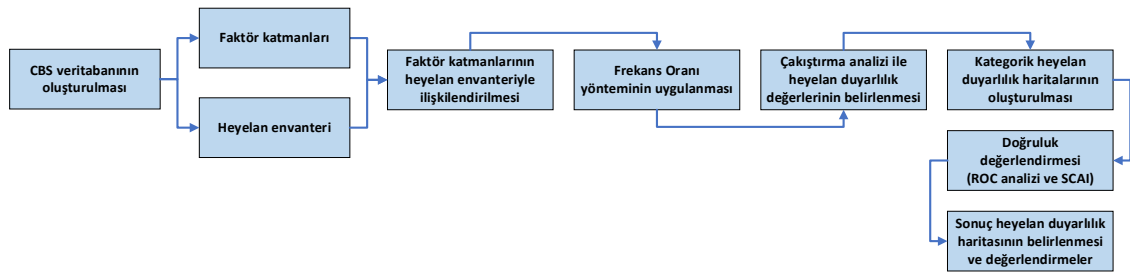
Çalışma alanına ait yerbulduru haritası (Harita Genel Müdürlüğü (2015) Türkiye mülki idare bölümleri haritasından düzenlenmiştir)

İlde kışların sert ve uzun geçtiği karasal iklim hâkimdir. Yazları az yağışlı ve çok sıcaktır. Van gölünün iklimi yumuşatıcı etkisiyle kışlar çok sert geçmemektedir (Van Valiliği Çevre ve

Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1991-2020 periyodundaki iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 10,1 °C ve yıllık toplam yağış 410,2 mm'dir (<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=VAN>). Topoğrafik yükseklik 1140 m ila 3672 m arasında, arazi eğimi 0° ila 59,2° arasında değişmektedir. İlin heyelan envanterine göre, gerçekleşen heyelanlar il geneline yayılmış ancak belirli alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu heyelanlardan bazıları belirli alanlarda kümelenmiş olarak izlenirken, bazıları da tek veya birkaç heyelandan oluşmaktadır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2007).

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada Van ilinin heyelan duyarlılığı Frekans Oranı yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmanın ana işlem adımları Şekil 2'de gösterilmektedir. Çalışmanın ilk adımında heyelanı etkileyen faktörler belirlenmiş ve CBS ortamında her faktör kategorilerine ayrılarak faktör katmanları oluşturulmuştur. Daha sonra heyelan envanteri hazırlanarak faktör katmanlarının heyelan envanteriyle ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Heyelan envanterinin %70'i analizler için, %30'u doğrulama için yeterli kabul edildiğinden (Wang ve diğ., 2016; Deng ve diğ., 2017; Anis ve diğ., 2019; Silalahi ve diğ., 2019) veri seti %70 ve %30 oranlarında bölümlene gerçekleştirilerek kullanılmıştır. Heyelanların çoğu için gerçekleşme tarihi bilinmediğinden çalışma alanına homojen dağılmak üzere rastgele seçme/bölümlene tekniği (Chung ve Fabbri, 2003) kullanılmıştır. Heyelan envanterinin %70'lik kısmı ile her bir faktör alt grubu için Frekans Oranı değeri hesaplanmış ve bu değerler normalleştirilmiştir. Faktör katmanları Normalleştirilmiş Frekans Oranı değerlerine göre yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden sınıflandırılmış faktör katmanları çakıştırma (overlay) analiziyle birleştirilmiş ve heyelan duyarlılık değerleri elde edilmiştir. Son olarak, heyelan duyarlılık değerleri dört farklı sınıflandırma yöntemi (Eşit Aralıklı, Doğal Aralıklı, Geometrik Aralıklı ve Kuantil Sınıflandırma) kullanılarak kategorilendirilmiş, ROC analizi ve SCAI indeksi ile doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilerek model performansları karşılaştırılmış ve optimum heyelan duyarlılık haritasına karar verilmiştir. Faktör katmanları ve heyelan envanterinin hazırlanmasında ve CBS analizlerinde ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008), ROC analizinde Idrisi Selva 17.0 (Clark Labs, 2012) yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 2:

Çalışmanın ana işlem adımları

3.1. Faktörlerin Belirlenmesi ve Faktör Katmanlarının Hazırlanması

Heyelan duyarlılık analizi için kullanılacak faktörler literatür araştırmaları (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Dai ve Lee, 2002; Bai ve diğ., 2010; Erener ve Duzgun, 2010; Pradhan ve Lee, 2010; Kavzoğlu ve diğ., 2012; Dou ve diğ., 2015), çalışma alanının özellikleri ve ayrıca veri erişimi/elde edilebilirliği dikkate alınarak (i) Litoloji, (ii) Fay hatlarına uzaklık, (iii) Arazi kullanımı/örtüsü, (iv) Yükseklik, (v) Eğim, (vi) Bakı ve (vii) Genel eğrilik olarak belirlenmiştir.

Farklı litolojik birimler, farklı bileşimlere, geçirgenliğe ve materyal gücünü etkileyen farklı yapılar sahiptir (Hong ve diğ., 2016; Nohani ve diğ., 2019). Litoloji, bir arazinin jeomekanik özellikleri üzerindeki etkisinden dolayı heyelan duyarlılık haritalamasında en etkili faktörlerden

biri olarak kabul edilir (Costanzo ve diğ., 2012; Dou ve diğ., 2015). Tektonik kırılmalar nedeniyle çevredeki kayaların mukavemeti azalacağından fay hatları da heyelan oluşumunda belirli bir etkiye sahiptir (El Jazouli ve diğ., 2019; Li ve diğ., 2021). Arazi kullanımı/örtüsü heyelan duyarlılık analizinde dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktördür (Nohani ve diğ., 2019). Arazi kullanımı/örtüsü, insan ve doğal etkenlerden kolay etkilenen ve değişime uğrayabilen yarı dinamik bir özellik gösterir (Rawat ve Kumar, 2015). Arazi kullanımı/örtüsü içerisinde değerlendirilen bitki örtüsü, yağmurlu dönemler sonrasında toprak hidrolojisi açısından önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak, yoğun bitki örtüsüne sahip orman alanları, seyrek bitki örtülü alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına kıyasla heyelanlardan daha az etkilenmektedir (Dağ, 2007). Yükseklik, heyelan oluşumu üzerinde doğrudan etkili değildir, ancak yükseklikteki değişiklik, tektonik, bitki örtüsü türleri ve yağış gibi farklı çevresel koşulları etkilediğinden heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dou ve diğ., 2015). Eğim kayma gerilimi ile ilişki olduğundan heyelanların meydana gelmesinde en önemli faktörler arasında değerlendirilir (Bui ve diğ., 2011; Dou ve diğ., 2015; Fayez ve diğ., 2018; Nohani ve diğ., 2019). Bakı evapotranspirasyon nedeniyle hidrolojik süreçleri, toprak nemini ve bitki örtüsünü etkilediğinden heyelan duyarlılık analizinde dikkate alınan faktörler arasındadır (Dou ve diğ., 2015; Nohani ve diğ., 2019). Heyelana etki eden bir diğer faktör yüzey eğriliğidir (Dou ve diğ., 2015). Yüzey eğriliği bir arazi yüzeyinin dışbükeyliğini/içbükeyliğini tanımlayan topoğrafik bir nitelikler ve yamaç duraylılığını etkiler. Genel eğrilik parametresi için, pozitif değerler bir grid hücresinde yüzeyin dışbükey olduğunu, negatif değerler içbükey olduğunu, sıfır değeri yüzey alanının düz olduğunu gösterir (Mandal ve Mondal, 2019).

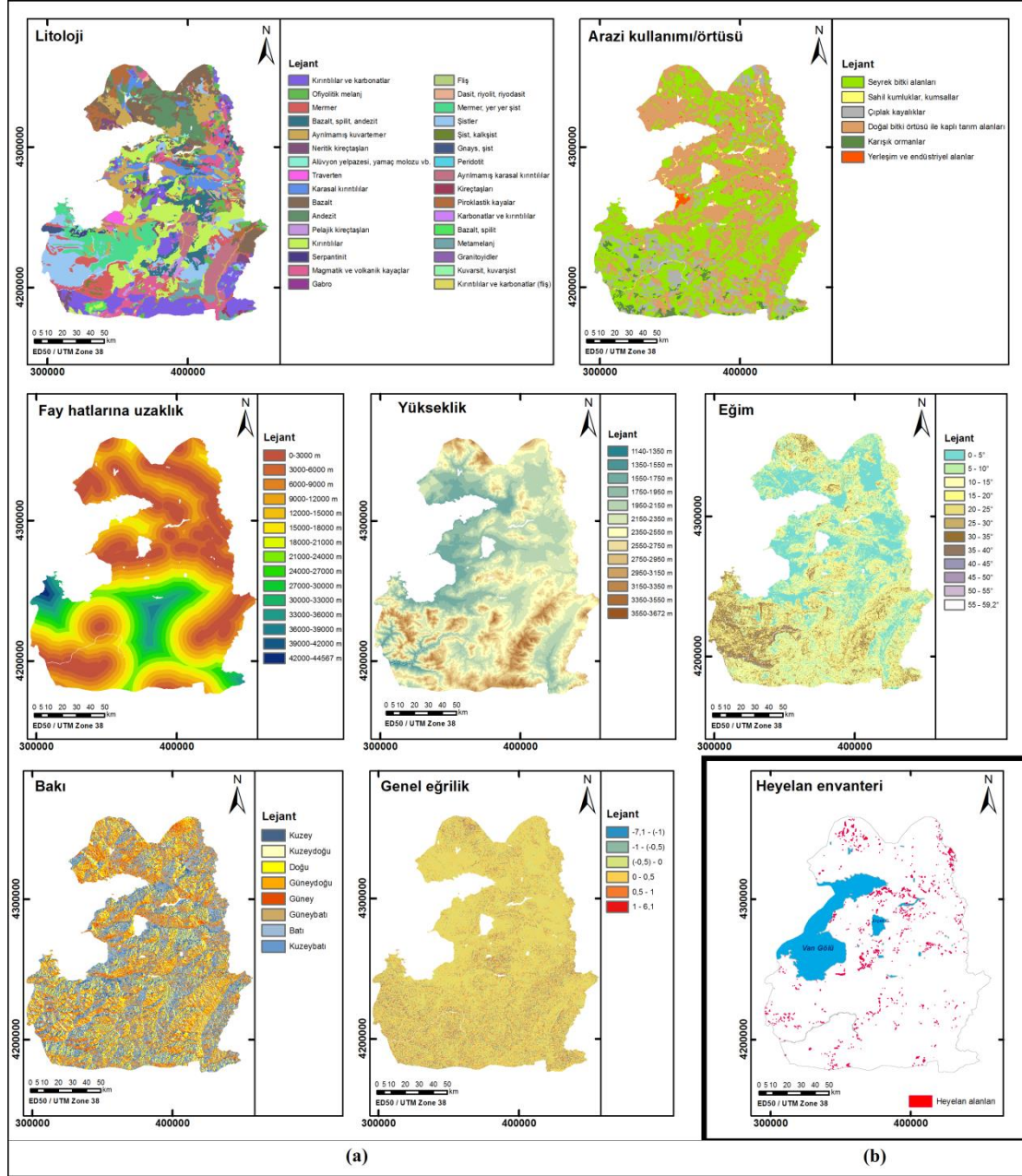
Çalışma alanında heyelan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak faktör katmanları ve heyelan envanteri CBS ortamında 25 m piksel boyutlu raster formatında ve ED50/UTM Zone 38 sisteminde üretilmiştir. Faktör katmanları il sınırına göre ve suyla kaplı alanlar maskelenerek üretilmiştir. Van iline ait 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan yararlanarak CBS ortamında grid formda Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Daha sonra SYM'den yararlanarak eğim, bakı ve genel eğrilik katmanları hazırlanmıştır. Litoloji katmanının hazırlanmasında 1/500.000 ölçekli vektör formdaki jeoloji haritalarından, fay hatlarına uzaklık katmanının hazırlanmasında 1/250.000 ölçekli diri fay haritalarından, arazi kullanımı/örtüsü katmanının hazırlanmasında raster formdaki 1/100.000 ölçekli CORINE (Coordination of Information on the Environment: Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu) arazi kullanımı/örtüsü haritalarından yararlanılmıştır.

Belirlenen faktörlerden Litoloji, Arazi kullanımı/örtüsü ve Bakı kesikli değerler içerdiğinden kategorileri doğrudan kullanılmıştır. Ancak Fay hatlarına uzaklık, Yükseklik, Eğim ve Genel eğrilik faktörleri sürekli değerler içerdiğinden verilerin sınıf aralıklarına bölünerek gruplandırılması gerekmektedir. Sınıf sayısının seçiminde genel bir kural olmamakla birlikte çok az veya çok fazla sınıf sayısından kaçınılması önerilmektedir (Ross, 2014; Xing ve diğ., 2021). Çok düşük sınıf sayısı bir sınıftaki gerçek veri değerleri hakkında çok fazla bilgi kaybedilmesine neden olurken çok fazla sayıda sınıf sayısı da sınıf frekanslarının, bir örüntünün fark edilmesi açısından çok küçük olmasına neden olur (Ross, 2014). İdeal bir frekans dağılımı için genel olarak 5-15 arasındaki sınıf sayıları uygun kabul edilmektedir (Sharma ve Gupta, 2017). Bu çalışmada sürekli değerlere sahip faktörler 6-15 sınıfa aralığına bölünmüştür. Hazırlanan faktör katmanları Şekil 3a'da gösterilmektedir.

3.2. Heyelan Envanterinin Hazırlanması

Heyelan envanterinin oluşturulmasında 1/500.000 ölçekli heyelan envanter haritası, heyelan raporları, krokiler, saha gözlem çalışmaları ve el GPS'i ile gerçekleştirilen ölçümlerden yararlanılmış ve heyelanlı alanlar 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalara işlenmiştir. Envanter oluşturulurken heyelanlara ilişkin gözlemsel olarak elde edilen özellikler (boyutları, türü, eğim,

baki, yamaç şekli, bitki örtüsü vb.) göz önünde bulundurulmuştur. Toplam 1108 heyelan alanı CBS ortamında sayısallaştırılarak Van ili heyelan envanter haritası oluşturulmuştur (Şekil 3b).



Şekil 3:

Katmanlar a. Faktör katmanları b. Heyelan envanteri

3.3. Heyelan Duyarlılığının Belirlenmesi

Bu çalışmada Van ili heyelan duyarlılığı Frekans Oranı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Faktör katmanlarının hazırlanması ve alt kategorilendirilmesi, kategorilendirilmiş faktör katmanları ve heyelan envanterinden frekans oranlarının hesabı ve karşılaştırma analiziyle heyelan duyarlılık değerlerinin elde edilmesi, CBS ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanının toplam piksel sayısı il sınırının tamamı olarak alınmış olup (suyla kaplı alanlar maskelenerek çalışma sahasından çıkarılmıştır) heyelanlı piksel sayıları ise analize alınan vektör formatlı

poligon yapısındaki heyelanların raster faktör katmanlarıyla CBS ortamında karşılaştırılmasıyla hesaplanmıştır. CBS ortamında faktör katmanları oluşturulduktan sonra, envantere alınan 1108 adet heyelan alanına karşılık gelen toplam 237952 piksel eğitim ve doğrulama veri kümelerine bölünmüştür. 888 adet heyelan alanında toplam 161881 adet piksel (tüm heyelanlı piksellerin yaklaşık %70'i) frekans oranını hesaplamak üzere (model oluşturma), 220 adet heyelan alanında toplam 76071 adet piksel (tüm heyelanlı piksellerin yaklaşık yaklaşık %30'u) analiz sonrası kontrol aşamasında (model doğrulama) kullanılmak amacıyla ayrılmıştır. Faktör katmanlarının alt kategorilerine ait frekans oranı değerleri hesaplanıp normalleştirilerek faktör katmanlarının CBS ortamında karşılaştırma analiziyle heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

3.3.1. Frekans oranı yöntemi

Frekans oranı, heyelan duyarlılık değerlendirmesi ve tahmini için belirli bir yerin heyelan olasılığını, heyelana neden olan faktörlerin belirlenen kategorilerine ve daha önce yaşanmış heyelanlara bağlı olarak her bir faktörün göreceli önemine göre hesaplar (Mandal ve Mondal, 2019). Bu yöntem, her faktör kategorisinde yer alan heyelan yüzdesinin, ilgili kategorinin kapladığı alanın yüzdesine oranı olarak ifade edilebilir (Xing ve diğ., 2021).

Tüm faktör katmanlarının her bir sınıfı için frekans oranı değerleri, heyelan envanteri ve faktör katmanları kullanılarak Denklem 1'e göre elde edilir (Mandal ve Mondal, 2019). 1'den daha büyük Frekans Oranı (FO) değeri heyelan yüzdesinin alan yüzdesinden daha yüksek olduğu ve heyelan oluşumunda daha etkin olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Erener ve Duzgun, 2010; Khan ve diğ., 2019).

$$FO = a / b \quad (1)$$

Denklemden; FO frekans oranı, a faktör alt kategorisinde heyelanlı piksel sayısının toplam heyelanlı piksel sayısına oranı ve b faktör alt kategorisinde piksel sayısının toplam piksel sayısına oranıdır.

Frekans oranı değerleri son analiz ve yorumlamayı kolaylaştırmak için Denklem 2'ye göre normalleştirilir. Normalleştirilmiş Frekans Oranı (NFO) değerlerinin büyük olması, o parametre alt grubundaki heyelan duyarlılığının yüksek olduğunu göstermektedir (Pham ve diğ., 2015; Mirdda ve diğ., 2020).

$$NFO = FO / \text{MaksFO} \quad (2)$$

Denklemden; FO faktör alt kategorisinin frekans oranı, MaksFO faktördeki tüm frekans oranlarının maksimumu ve NFO normalleştirilmiş frekans oranıdır.

Her bir faktör alt kategorisi için hesaplanan NFO değerlerinden Denklem 3'e göre CBS ortamında karşılaştırma analizi ile Heyelan Duyarlılığı (HD) elde edilir (Pham ve diğ., 2015).

$$HD = \sum NFO \quad (3)$$

Denklemden; HD heyelan duyarlılığı, \sum NFO dikkate alınan alandaki her bir piksel için hesaplanan NFO değerlerinin matematiksel toplamıdır.

Bu çalışmada hesaplanan NFO değerleri (Tablo 1) heyelan duyarlılık analizinde kullanılmak üzere heyelan faktörlerinin yeniden sınıflandırmasında kullanılmıştır.

3.3.2. Frekans oranı yöntemi sonuçlarından kategorik haritaların oluşturulması

Sınıflandırmanın amacı, analiz sonuçlarının belirli veri aralıklarıyla sınıflar halinde gruplandırılmasıdır. Bu çalışmada analiz sonuçlarının anlamlı kategorik sınıflara ayrılmasında Eşit Aralıklı, Doğal Aralıklı, Geometrik Aralıklı ve Kuantil Sınıflandırma teknikleri olmak üzere dört sınıflandırma yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılığı beş kategoriye ayrılmış ve

doğruluk değerlendirmesiyle en uygun harita seçilmiştir. Manuel sınıflandırma tekniği subjektif olması ve yanlış sonuçlar vermesi bakımından bu çalışmada tercih edilmemiştir.

Eşit Aralıklı Sınıflandırma yönteminde değerler belirlenen sınıf sayısına göre eşit aralıklara bölünür. Yöntemin kritik yanı aykırı değerlerin bulunması durumunda içinde çok az sayıda elamana sahip sınıfların oluşabilmesidir (Moreira ve diğ., 2021).

Doğal Aralıklı Sınıflandırma yönteminde sınıf içi varyansı en aza indirecek ve sınıflar arası farklılıkları maksimize edecek sınıf sonları kullanılır. Genellikle histogramda ani değişim yerleri sınıfların ayrılma sınırları olarak düşünülür (Chien ve diğ., 2019).

Geometrik Aralıklı Sınıflandırma yönteminde geometrik bir seriye sahip sınıf aralıklarına dayalı olarak sınıf sonları oluşturulur. Algoritma, her sınıftaki eleman sayısının karelerinin toplamını en aza indirerek geometrik aralıklar oluşturur. Bu sınıf aralıklarının yaklaşık aynı olmasını ve aralıklar arasındaki değişimin tutarlı olmasını sağlar (Flores-Garnica ve Flores-Rodríguez, 2020).

Kuantil Sınıflandırma yönteminde her sınıfta yaklaşık eşit sayıda eleman olacak şekilde sınıflandırma yapılır. Bu yöntemde çok fazla ya da çok az sayıda elemanı olan sınıf oluşmaz. Yöntemin kritik yanı çok farklı sayısal aralıklara sahip sınıfların oluşabilmesidir (Ayalew ve diğ., 2004; Moreira ve diğ., 2021).

3.3.3. Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi

Heyelan duyarlılık sonuçlarının doğrulanması; tahmin sonuçlarının gelecekteki muhtemel heyelanlar için anlamlı bir şekilde yorumlanabilmesinin bir başka ifadeyle haritanın kullanılabilirliğinin temel ölçütüdür (Chung ve Fabbri, 2003). Genel yaklaşım; heyelan envanteri verisinin eğitim ve doğrulama veri kümeleri şeklinde iki veri alt kümesine ayrılması ve bir veri kümesinin model oluşturma (tahmin), diğer veri kümesinin model doğrulama (tahmin sonuçlarıyla karşılaştırılarak kontrol) amaçlı kullanılmasıdır (Deng ve diğ., 2017).

Bu çalışmada dört farklı sınıflandırma tekniği ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi için ROC analizine dayalı olarak hesaplanan Başarı Oranı Eğrisi ve Tahmin Oranı Eğrisi yaklaşımları ve SCAI indeksi kullanılmıştır. ROC analizi IDRISI Selva 17.0 ile gerçekleştirilmiş, AUC (area under the success rate curve: başarı oranı eğrisinin altındaki alan) ve AUPC (area under the prediction rate curve: tahmin oranı eğrisinin altındaki alan) değerleri hesaplanmıştır. Başarı Oranı Eğrisi için heyelan eğitim veri seti (heyelanların %70'lik kısmı) ve Tahmin Oranı Eğrisi için doğrulama veri seti (heyelanların %30'luk kısmı) kullanılmıştır. ROC analizi sonuçlarına göre Excel'de Başarı Oranı Eğrileri ve Tahmin Oranı Eğrileri çizilmiştir. SCAI indeksi için heyelan duyarlılık haritaları ve doğrulama veri seti (heyelanların %30'luk kısmı) CBS ortamında karşılaştırılmış ve doğrulama piksellerinin heyelan duyarlılığı kategorilerine isabet eden oranları hesaplanmıştır.

Başarı oranı ve Tahmin Oranı Eğrisi

ROC sınıflandırma performansını değerlendirmek için kullanılan bir analiz tekniğidir. ROC analiziyle yanlış pozitif (hatalı Evet tahmini) ve doğru pozitif (doğru Evet tahmini) oranları hesaplanarak ROC eğrisi oluşturulur. Yatay eksen yanlış pozitif oranı (1-özgüllük) ve düşey eksen doğru pozitif oranını (duyarlılık) temsil edecek şekilde her eşik için bir nokta işaretlenir ve bu noktalar birleştirilerek ROC eğrisi elde edilir (Mas ve diğ., 2013). ROC eğrisi altında kalan alanın (AUC: Area Under the Curve) değeri 0,5 ila 1 arasında değişir. AUC değerinin 1 olması mükemmel uyumu, 0,5 olması ise rastgele uyumu gösterir. AUC değeri ne kadar büyükse uyum o kadar iyidir (Deng ve diğ., 2017). AUC değer ölçüğüne göre (Mandrekar, 2010) 0,70'in üzerindeki AUC değeri, iyi bir uyum gösterdiği ve yeterli olduğu anlamındadır.

ROC eğrisi altında kalan alan, heyelan olması muhtemel olan alanlarla, heyelan olmaması beklenen alanları ayırt edebilme başarısının en iyi göstergelerinden kabul edilmektedir (Chung ve Fabbri, 2003; Deng ve diğ., 2017). ROC eğrilerinden hesaplanan AUC değerleri ile bir heyelan duyarlılık haritası model uydurma ve tahmin yeteneği şeklinde iki açıdan doğrulanabilir. AUC, mevcut heyelanların oluşumunu güvenilir bir şekilde sınıflandırmak için

heyelan modellerinin kalitesini temsil ederken, AUPC, önerilen heyelan modelinin tahmin için kapasitesini açıklar (Deng ve diğ., 2017). Başka bir ifadeyle Başarı Oranı Eğrisi, sınıflandırmanın modele nasıl uyduğunu gösterirken (eğitim heyelan piksellerine dayalı olduğundan modellerin tahmin kapasitesini değerlendirmek için uygun değildir), Tahmin Oranı Eğrisi modelin tahmin kabiliyetini gösterir (Mirdda ve diğ., 2020). Başarı Oranı Eğrisi heyelan duyarlılık haritası ile modellemede kullanılan heyelanlar (eğitim verisi) arasındaki karşılaştırmaya, Tahmin Oranı Eğrisi ise heyelan duyarlılık haritası ile modellemede kullanılmayan ve kontrol amaçlı ayrılan heyelanlar (doğrulama/test verisi) arasındaki karşılaştırmaya dayanmaktadır (Chung ve Fabbri, 2003; Deng ve diğ., 2017).

SCAI İndeksi

Heyelan duyarlılık haritasında belirli bir heyelan duyarlılık bölgesinin piksel yüzdesinin bu duyarlılık bölgesine isabet eden doğrulama amaçlı heyelan piksellerinin yüzdesi arasındaki oran olarak tanımlanır (Pawluszek-Filipiak ve diğ., 2020). Heyelan duyarlılık haritalarında, Yüksek ve Çok Yüksek duyarlılık sınıflarının çok düşük, buna karşın Çok Düşük ve Düşük duyarlılık sınıflarının yüksek SCAI değerlerine sahip olması istenir (Dragičević ve diğ., 2015; Wang ve Li, 2017).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Alt kategorilendirilmiş faktör katmanları ve heyelan envanteri CBS ortamında ilişkilendirilerek (bu aşamada toplam envanterin %70'i kullanılmıştır) öncelikle Denklem 1'de a ve b katsayılarına karşılık gelen "Faktör alt kategorisinde heyelanlı piksel sayısının (hp) toplam heyelanlı piksel sayısına oranı" ve "Faktör alt kategorisinde piksel sayısının (ps) toplam piksel sayısına oranı" hesaplanmış ve bu oranlardan Frekans Oranı (a/b) değerleri elde edilmiştir. Frekans Oranı değerleri Denklem 2'de belirtildiği şekilde kategorinin maksimum değerine göre normalleştirilmiştir. Frekans Oranı hesabı Tablo 1'de gösterilmektedir.

Frekans oranlarıyla, geçmiş heyelanların konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktörün ilişkisi ortaya konulabilmektedir (Erener ve Lacasse, 2007). Çalışma alanındaki heyelanlar, seçilen faktörler bakımından incelendiğinde genel olarak (Tablo 1);

- Litolojik açıdan heyelanların en yoğun olarak görüldüğü birimlerin (frekans oranı en yüksek) "Kırıntılılar ve karbonatlar (filiş)", "Karbonatlar ve kırıntılılar" ve "Alüvyon yelpazesi, yamaç molozu vb." kategorilerinde olduğu görülmüştür.
- Heyelanların en yoğun olarak görüldüğü arazi kullanımı/örtüsü türünün "Doğal bitki örtüsüyle kaplı tarım alanları" ve "Seyrek bitki alanları" olduğu görülmüştür.
- Fay hatlarına 18 km'ye kadar uzaklıklarda heyelan yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Çalışma alanındaki yükseklik değerleri 1140-3672 m arasında değişmekte olup, heyelan yoğunluğu 1950-2950 m arasındadır. Bununla birlikte, frekans oranının en yüksek olduğu bölge 1140-1350 m arasındadır.
- Eğim değerlerine bakıldığında; heyelanların 5°-25° eğim aralığında yoğunlaştığı görülmüştür.
- Heyelanların kuzey, batı, kuzeybatı ve kuzeydoğuya bakan yamaçlarda, diğer yönelimlere oranla daha fazla yoğunlaştığı belirlenmiştir.
- Genel eğrilik açısından incelendiğinde -0,5 ila 0 aralığındaki içbükey yamaçlarda heyelan yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Heyelanı etkileyen faktörlerin frekans oranları

	Sınıf	Sınıf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO	
<i>Litoloji</i>	1	Kırıntılılar ve karbonatlar	21129	0,131	2970757	0,100	1,303	8	
	2	Ofiyolitik melanj	6454	0,040	982878	0,033	1,203	7	
	3	Mermer	3695	0,023	1559293	0,053	0,434	3	
	4	Bazalt, spilit, andezit	7395	0,046	1457314	0,049	0,930	6	
	5	Ayrılmamış kuvarterner	1426	0,009	2876208	0,097	0,091	1	
	6	Neritik kireçtaşları	2627	0,016	513091	0,017	0,938	6	
	7	Alüvyon yelpazesi, yamaç molozu vb.	3002	0,019	189619	0,006	2,901	18	
	8	Traverten	1484	0,009	183732	0,006	1,480	9	
	9	Karasal kırıntılılar	13408	0,083	1334137	0,045	1,842	11	
	10	Bazalt	12443	0,077	2178900	0,073	1,047	6	
	11	Andezit	17177	0,106	1589165	0,054	1,981	12	
	12	Pelajik kireçtaşları	1196	0,007	327865	0,011	0,669	4	
	13	Kırıntılılar	26108	0,161	3694992	0,125	1,295	8	
	14	Serpantinit	1056	0,007	120498	0,004	1,606	10	
	15	Magmatik ve volkanik kayalar	11466	0,071	1861672	0,063	1,129	7	
	16	Gabro	88	0,001	5915	0,000	2,727	17	
	17	Fliş	692	0,004	61654	0,002	2,057	12	
	18	Dasit, riyolit, riyodasit	394	0,002	65273	0,002	1,106	7	
	19	Mermer, yer yer şist	2045	0,013	1750467	0,059	0,214	1	
	20	Şistler	14490	0,090	2537836	0,086	1,046	6	
	21	Şist, kalkşist	0	0,000	71944	0,002	0,000	0	
	22	Gnays, şist	0	0,000	101180	0,003	0,000	0	
	23	Peridotit	107	0,001	51288	0,002	0,382	2	
	24	Ayrılmamış karasal kırıntılılar	2794	0,017	1570417	0,053	0,326	2	
	25	Kireçtaşları	1898	0,012	208707	0,007	1,667	10	
	26	Piroklastik kayalar	7759	0,048	763351	0,026	1,863	11	
	27	Karbonatlar ve kırıntılılar	285	0,002	11107	0,000	4,702	29	
	28	Bazalt, spilit	762	0,005	196581	0,007	0,710	4	
	29	Metamelanj	67	0,000	416558	0,014	0,029	0	
	30	Granitoidler	0	0,000	653	0,000	0,000	0	
	31	Kuvarsit, kuvarşist	0	0,000	9107	0,000	0,000	0	
	32	Kırıntılılar ve karbonatlar (fliş)	434	0,003	4830	0,000	16,467	100	
		Toplam	161881	1,000	29666989	1,000			
<i>Fay hatlarına uzaklık</i>		Sınıf	Sınıf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO
	1	0-3 km	19223	0,119	4605145	0,155	0,765	28	
	2	3-6 km	30272	0,187	4375605	0,147	1,268	46	
	3	6-9 km	22840	0,141	4239066	0,143	0,987	36	
	4	9-12 km	33584	0,207	3664920	0,124	1,679	61	
	5	12-15 km	19969	0,123	2695806	0,091	1,358	50	
	6	15-18 km	17089	0,106	2259501	0,076	1,386	51	
	7	18-20 km	5080	0,031	2024039	0,068	0,460	17	
	8	21-24 km	2569	0,016	1717846	0,058	0,274	10	
	9	24-27 km	778	0,005	1227127	0,041	0,116	4	
	10	27-30 km	3683	0,023	1000067	0,034	0,675	25	
	11	30-33 km	4303	0,027	817869	0,028	0,964	35	
	12	33-36 km	1336	0,008	628026	0,021	0,390	14	
	13	36-39 km	116	0,001	261352	0,009	0,081	3	
	14	39-42 km	538	0,003	117118	0,004	0,842	31	
15	42-44,6 km	501	0,003	33502	0,001	2,741	100		
		Toplam	161881	1,000	29666989	1,000			
<i>Arazi Kullanımı/ Örtüsü</i>		Sınıf	Sınıf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO
	1	Seyrek bitki alanları	74435	0,460	12768356	0,430	1,068	96	
	2	Sahil kumluklar, kumsallar	49	0,000	312484	0,011	0,029	3	
	3	Çıplak kayalıklar	6077	0,038	3000756	0,101	0,371	33	
	4	Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alan.	77799	0,481	12755672	0,430	1,118	100	
	5	Karışık ormanlar	2965	0,018	603878	0,020	0,900	80	
6	Yerleşim ve endüstriyel alanlar	556	0,003	225843	0,008	0,451	40		
		Toplam	161881	1,000	29666989	1,000			

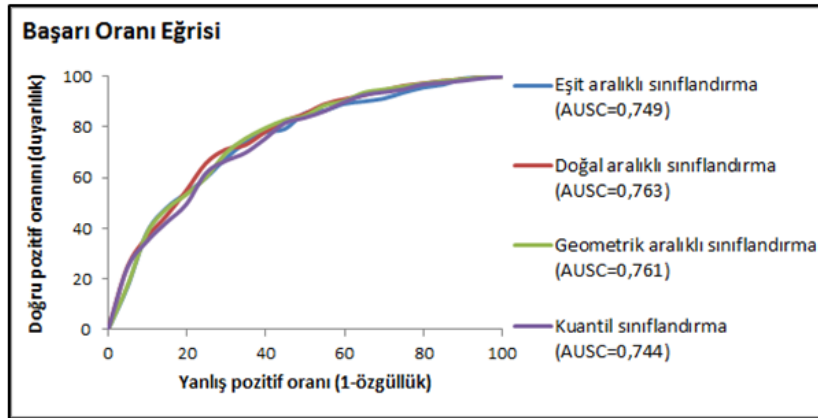
Tablo 1. Heyelanı etkileyen faktörlerin frekans oranları (Devam)

	Sımf	Sımf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO
<i>Yükseklik</i>	1	1140-1350 m	157	0,001	8806	0,000	3,267	100
	2	1350-1550 m	234	0,001	52714	0,002	0,814	25
	3	1550-1750 m	1317	0,008	1551746	0,052	0,156	5
	4	1750-1950 m	13200	0,082	3000893	0,101	0,806	25
	5	1950-2150 m	30359	0,188	5568336	0,188	0,999	31
	6	2150-2350 m	36758	0,227	6639556	0,224	1,015	31
	7	2350-2550 m	32071	0,198	5218902	0,176	1,126	34
	8	2550-2750 m	29309	0,181	3626892	0,122	1,481	45
	9	2750-2950 m	14447	0,089	2136243	0,072	1,239	38
	10	2950-3150 m	3172	0,020	1190334	0,040	0,488	15
	11	3150-3350 m	845	0,005	559943	0,019	0,277	8
	12	3350-3550 m	12	0,000	108017	0,004	0,020	1
	13	3550-3672 m	0	0,000	4607	0,000	0,000	0
	Toplam		161881	1,000	29666989	1,000		
	Sımf	Sımf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO
<i>Eğim</i>	1	0 - 5°	6840	0,042	6824716	0,230	0,184	11
	2	5 - 10°	30929	0,191	5723528	0,193	0,990	60
	3	10 - 15°	47102	0,291	5238712	0,177	1,648	100
	4	15 - 20°	38886	0,240	4308889	0,145	1,654	100
	5	20 - 25°	23913	0,148	3415570	0,115	1,283	78
	6	25 - 30°	9831	0,061	2371117	0,080	0,760	46
	7	30 - 35°	3389	0,021	1218222	0,041	0,510	31
	8	35 - 40°	867	0,005	439730	0,015	0,361	22
	9	40 - 45°	120	0,001	101818	0,003	0,216	13
	10	45 - 50°	4	0,000	19779	0,001	0,037	2
	11	50 - 55°	0	0,000	4466	0,000	0,000	0
	12	55 - 59,2°	0	0,000	442	0,000	0,000	0
	Toplam		161881	1,000	29666989	1,000		
	Sımf	Sımf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO
<i>Bakı</i>	1	Kuzey	28655	0,177	3730910	0,126	1,408	97
	2	Kuzeydoğu	23401	0,145	3477711	0,117	1,233	85
	3	Doğu	15057	0,093	3160494	0,107	0,873	60
	4	Güneydoğu	11154	0,069	3741460	0,126	0,546	38
	5	Güney	10224	0,063	3880376	0,131	0,483	33
	6	Güneybatı	17189	0,106	3939480	0,133	0,800	55
	7	Batı	24534	0,152	3718154	0,125	1,209	84
	8	Kuzeybatı	31667	0,196	4018404	0,135	1,444	100
	Toplam		161881	1,000	29666989	1,000		
	Sımf	Sımf adı	hp	a	ps	b	FO=a/b	NFO
<i>Genel eğrilik</i>	1	-7,1 - (-1)	910	0,006	508214	0,017	0,328	30
	2	-1 - (-0,5)	12018	0,074	2260480	0,076	0,974	88
	3	(-0,5) - 0	72079	0,445	12002548	0,405	1,101	100
	4	0 - 0,5	63761	0,394	12141825	0,409	0,962	87
	5	0,5 - 1	11626	0,072	2347542	0,079	0,908	82
	6	1 - 6,1	1487	0,009	406380	0,014	0,671	61
	Toplam		161881	1,000	29666989	1,000		

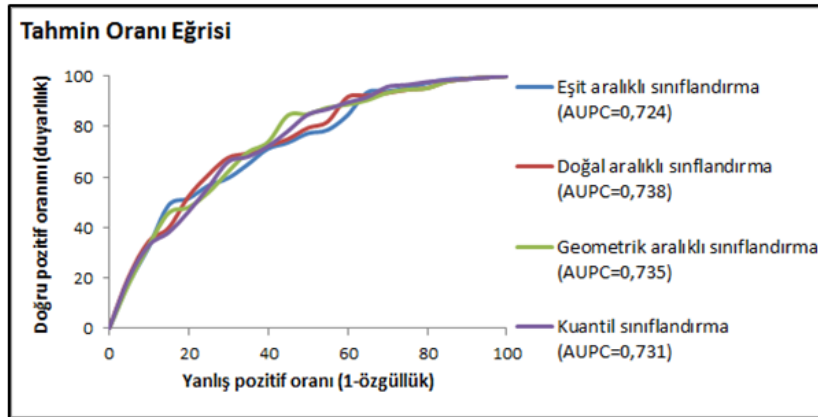
Faktör katmanları, faktör alt kategorileri için hesaplanan Normalleştirilmiş Frekans Oranları kullanılarak yeniden sınıflandırılmış ve Denklem 3'e göre çakıştırma analiziyle piksel bazında Heyelan Duyarlılığı (120-602 değer aralığında) belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık değerleri Eşit Aralıklı, Doğal Aralıklı, Geometrik Aralıklı ve Kuantil Sınıflandırma yöntemleri kullanılarak "Çok Yüksek", "Yüksek", "Orta", "Düşük" ve "Çok Düşük" olmak üzere beş sınıfa kategorilendirilmiş ve bu kategorilere göre heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi için ROC analizi gerçekleştirilmiş ve AUC değerleri hesaplanmıştır. Eğitim veri seti kullanılarak değerlendirilen model uyumluluğu ve doğrulama veri seti kullanılarak değerlendirilen tahmin doğruluğu için ROC eğrileri (başarı oranı eğrisi ve tahmin oranı eğrisi) ve AUC değerleri (AUSC ve AUPC)

Şekil 4'te gösterilmiştir. Başarı oranı eğrisi, heyelan duyarlılık haritası ile eğitim heyelan piksellerinin arasındaki ilişkiyi, tahmin oranı eğrisi, heyelan duyarlılık haritası ile doğrulama heyelanları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Buna göre başarı oranı eğrisi altındaki alan değeri olan AUSC, eğitim veri seti ile uyum derecesini gösterirken, tahmin oranı eğrisi altındaki alan değeri olan AUPC modelinin tahmin kabiliyetini göstermektedir. Tüm sınıflandırma yöntemlerinin sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritalarında AUSC ve AUPC değerlerinin tamamının 0,70'ten büyük olduğu ve heyelan duyarlılık haritalarının gerek modelleme gerekse tahmin açısından AUC değer ölçüğüne göre iyi bir uyum derecesi gösterdiği belirlenmiştir. AUSC ve AUPC değerlerine göre Doğal Aralıklı Sınıflandırma ve Geometrik Aralıklı Sınıflandırma yöntemlerinin nispeten benzer bir modelleme performansı ve tahmin yeteneğine sahip olduğu ve diğer sınıflandırma yöntemlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bununla birlikte, en yüksek AUSC ve AUPC değerleriyle (0,763 AUSC ve 0,738 AUPC) Doğal Aralıklı Sınıflandırma yönteminin daha fazla model doğruluğu ve tahmin kabiliyetine sahip olduğu söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 4:

ROC eğrileri a. Başarı oranı eğrisi b. Tahmin oranı eğrisi

Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi için SCAI indeksi de kullanılmıştır. Bu amaçla doğrulama için ayrılan 220 heyelan alanında toplam 76071 piksel kategorik heyelan duyarlılık haritalarıyla karşılaştırılmış ve kontrol piksellerinin heyelan duyarlılık haritalarıyla uyumu belirlenmiştir. Duyarlılık kategorisi alanlarının nispi dağılımı ve çalışmadaki her kategorideki heyelanların nispi oranı Tablo 2'de gösterilmiştir. Yüksek bir doğruluk için doğrulama amaçlı heyelan piksellerinin çoğunun heyelan duyarlılık haritalarında

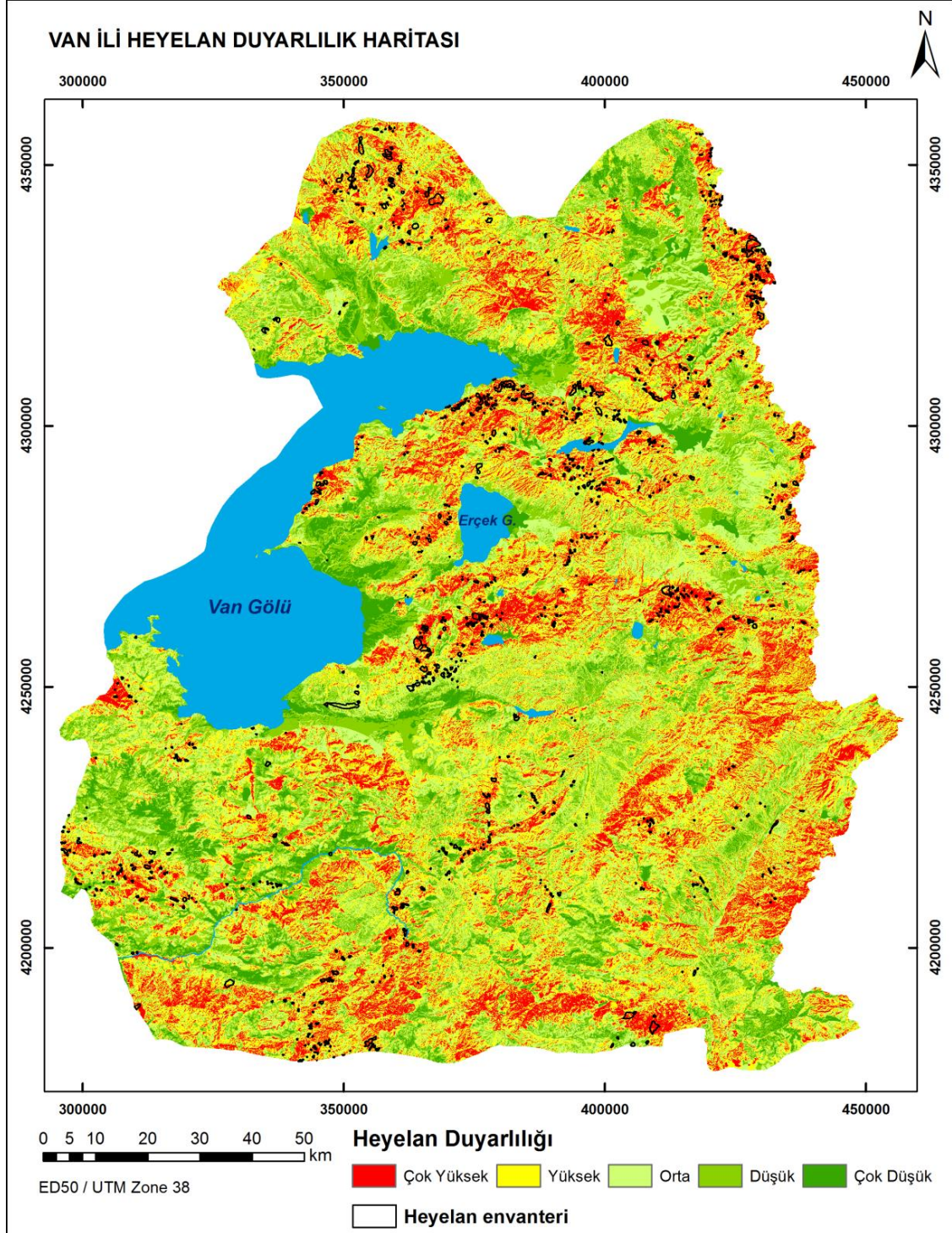
Çok Yüksek ve Yüksek heyelan duyarlılığı bölgelerine karşılık gelmesi beklenir. Wubalem (2021) doğrulama heyelanlarının %60'ından fazlasının beş sınıflı kategorik bir haritada Çok Yüksek ve Yüksek duyarlılık sınıfına girmesinin modellerin çok iyi doğruluğa sahip olduğunu teyit ettiğini belirtmiştir. Tablo 2 incelendiğinde tüm sınıflandırma yöntemlerinin Çok Yüksek ve Yüksek kategorilerinin toplamında %60'ı geçtiği ve hatta Eşit Aralıklı Sınıflandırma hariç diğer sınıflandırma yöntemlerinde doğrulama piksellerinin çoğunun Çok Yüksek heyelan duyarlılığı kategorisinde bulunduğu görülmektedir. Ancak burada değerlendirme yaparken kategori alanlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin Geometrik Aralıklı Sınıflandırmada doğrulama piksellerinin 58,6'sı Çok Yüksek heyelan duyarlılığında kalmaktadır. Bu değer diğer sınıflandırma yöntemlerinden daha yüksek görünse de heyelan duyarlılık haritasında kategori yüzdesinin de çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle SCAI değerleri hesaplanmıştır. SCAI değeri, kategori yüzdesinin doğrulama yüzdesine oranıyla hesaplanmakta ve doğrulama yüzdesi arttıkça SCAI indeksi azalmaktadır. Buna göre iyi bir sonuç için Çok Yüksek ve Yüksek kategorilerinin düşük SCAI değerleri taşınması beklenmektedir. Tablo 2'ye göre Çok Yüksek ve Yüksek heyelan duyarlılığında düşük SCAI değerleriyle Doğal Aralıklı Sınıflandırma ve Kuantil Sınıflandırma yöntemlerinin Geometrik Aralıklı sınıflandırma yönteminden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 2. Kategorilendirme

Yöntem	Kategori No	Kategori adı	Kategori aralığı	Kategori piksel sayısı	Kategori yüzdesi	Doğrulama piksel sayısı	Doğrulama yüzdesi	SCAI
Eşit Aralıklı	1	Çok Düşük	120 - 216,4	69591	0,2	0	0	-
	2	Düşük	216,4 - 312,8	3134627	10,6	729	1,0	10,6
	3	Orta	312,8 - 409,2	16349054	55,1	26048	34,2	1,6
	4	Yüksek	409,2- 505,6	10081390	34,0	48387	63,6	0,5
	5	Çok Yüksek	505,6 - 602	32327	0,1	907	1,2	0,1
	Toplam				29666989	100	76071	100,0
Doğal Aralıklı	1	Çok Düşük	120 - 301	2247439	7,6	440	0,6	12,7
	2	Düşük	301 - 350	5937767	20,0	4163	5,5	3,6
	3	Orta	350 - 393	8220865	27,7	14415	18,9	1,5
	4	Yüksek	393 - 437	8151513	27,5	23389	30,7	0,9
	5	Çok Yüksek	437 - 602	5109405	17,2	33664	44,3	0,4
	Toplam				29666989	100	76071	100,0
Geometrik Aralıklı	1	Çok Düşük	120 - 302	2313709	7,8	448	0,6	13,0
	2	Düşük	302 - 353	6338302	21,4	4420	5,8	3,7
	3	Orta	353 - 368	2806497	9,5	3579	4,7	2,0
	4	Yüksek	368 - 419	9978169	33,6	23020	30,3	1,1
	5	Çok Yüksek	419 - 602	8230312	27,7	44604	58,6	0,5
	Toplam				29666989	100	76071	100,0
Kuantil	1	Çok Düşük	120 - 335	5965780	20,1	2480	3,2	6,3
	2	Düşük	335 - 371	6052126	20,4	7265	9,6	2,1
	3	Orta	371 - 401	5964287	20,1	13077	17,2	1,2
	4	Yüksek	401 - 433	5954773	20,1	16458	21,6	0,9
	5	Çok Yüksek	433 - 602	5730023	19,3	36791	48,4	0,4
	Toplam				29666989	100	76071	100,0

ROC analizi ve SCAI indeksi değerlerinin birlikte değerlendirilmesiyle Van ili heyelan duyarlılığı için sonuçların geçerliliğinin diğer sınıflandırma yöntemlerine göre daha güvenle doğrulanabilmesinden dolayı Doğal Aralıklı Sınıflandırma yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık haritasının kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 5). Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesiyle ilin duyarlı bölgeleri hakkında yorumlama yapılabilmektedir. Van ilinin Doğal Aralıklı Sınıflandırma sonucuna göre %17,2'si (3193 km²) Çok Yüksek, %27,5'i (5095 km²) Yüksek, %27,7'si (5138 km²) Orta, %20,0'ı (3711 km²) Düşük ve %7,6'sı (1405 km²) Çok Düşük heyelan duyarlılığındadır. Heyelan duyarlılık haritası arazi kullanımı/örtüsü katmanı ile karşılaştırıldığında Yerleşim ve endüstriyel alanların 0,2 km²'sinin Çok Yüksek, 3,6 km²'sinin Yüksek heyelan duyarlılığında olduğu tespit edilmiştir. Çok yüksek heyelan duyarlılığı gösteren

alanların büyük kısmının Seyrek bitki alanları (1812 km²) ve Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları (1324 km²) olduğu görülmüştür.



Şekil 5:

Frekans oranı yöntemiyle oluşturulan kategorik heyelan duyarlılık haritası

Çalışmanın bulguları literatürde Frekans Oranı yöntemiyle heyelan duyarlılık değerlendirmesinin gerçekleştirildiği çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Doğal Aralıklı

Sınıflandırma yönteminin kullanıldığı ve beş sınıfa kategorilendirilmiş çalışmalarda AUSC ve AUPC değerlerinin 0,70 ile 0,90 arasında çeşitli doğruluk düzeylerinde olduğu görülmüştür. Rasyid ve diğ. (2016) Endonezya-Lompobattang'da 0,858 AUSC ve 0,851 AUPC ile, Yoo ve diğ. (2016) Güney Kore-Busan'da 0,806 AUSC ve 0,727 AUPC ile, Meten ve diğ. (2015) Etiyopya-Debre Sina'da 0,748 AUSC ve 0,737 AUPC ile, Thapa ve Bhandari (2019) Nepal-Chatara-Barakakshetra'da Siwalik bölgesinde 0,726 AUSC ve 0,717 AUPC ile, Acharya ve diğ. (2017) Nepal-Bhotang'da 0,725 AUSC ve 0,713 AUPC ile Frekans Oranı yöntemini uygulamışlardır. Bu çalışmada Van ili için elde edilen 0,763 AUSC ve 0,738 AUPC değerleri de literatürdeki benzer çalışmalar gibi 0,7 eşik değerinin üzerinde kalmıştır. Aynı yöntem uygulanmasına karşın AUSC ve AUPC değerlerindeki farklılıkların; kullanılan verilerin ölçeği ve doğruluğu, analizde kullanılan faktörler-alt kategorilendirme, heyelan envanterinin doğruluğundaki farklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek doğruluk elde edebilmek için etken tüm faktörlerin dikkate alınabilmesi ve bu etken faktörler için yüksek doğrulukta veri gereksinimi söz konusudur (Guzzetti ve diğ., 1999). Aynı şekilde daha önce yaşanmış heyelanlar hakkında ne kadar kapsamlı bilgi varsa, etkili karar verme, planlama ve mühendislik uygulamalarını desteklemek için üretilen harita o kadar iyi olacaktır (Rahardianto ve diğ., 2017). Mekânsal verilerle ilgili çalışmalarda karşılaşılan en büyük sorun gerekli harita, bilgi ve belgelerin eksik ve tutarsız olabilmesi, ulaşılabilen verilerin ise birçoğunun güncel olmayıp yeterli detayı yansıtmamasıdır. Bu bağlamda ülkemizde Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgisi Sistemi Altyapısı (TUCBS-A) kapsamında mekânsal veri altyapısının oluşturulmasıyla belirli yapım kriterlerine uygun ve yeterli kalitede hazırlanmış mekânsal veriye erişimin taşıdığı önem ve gereklilik bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Van iline ait heyelan duyarlılığı, pratik kullanımı nedeniyle literatürde sıkça kullanılan Frekans Oranı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Frekans Oranı ile heyelan duyarlılık analizinde litoloji, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı/örtüsü, yükseklik, eğim, bakı ve genel eğrilik faktörleri kullanılmış, faktör katmanları kendi içinde kategorilere ayrılarak heyelan olan ve olmayan alanlarla ilişkisi belirlenmiştir. Frekans Oranı yönteminin uygulanmasında il sınırları dâhilinde toplam 1108 adet heyelanlı alan envantere alınmıştır. Heyelanlı alanların %70'i frekans oranlarının belirlenmesinde %30'u elde edilen heyelan duyarlılığının doğruluk değerlendirmesinde kullanılmıştır. Çalışmalar CBS ortamında yürütülmüş sonuç heyelan duyarlılık haritası Eşit Aralıklı, Doğal Aralıklı, Geometrik Aralıklı ve Kuantil Sınıflandırma yöntemleriyle Çok Yüksek, Yüksek, Orta, Düşük ve Çok Düşük olmak üzere beş duyarlılık sınıfına kategorize edilmiştir. Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu ROC analizi ve SCAI indeksi ile değerlendirildiğinde en iyi sonuç Doğal Aralıklı Sınıflandırma yöntemi ile elde edilmiştir. Doğal Aralıklı Sınıflandırma yöntemi sonucuna göre Van ilinin %17,2'si (3193 km²) Çok Yüksek, %27,5'i (5095 km²) Yüksek, %27,7'si (5138 km²) Orta, %20,0'ı (3711 km²) Düşük ve %7,6'sı (1405 km²) Çok Düşük heyelan duyarlılığında. Çok Yüksek heyelan duyarlılığı gösteren alanların büyük kısmının Seyrek bitki alanları (1812 km²) ve Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları (1324 km²) olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yerleşim ve endüstriyel alanların 0,2 km²'sinin Çok Yüksek, 3,6 km²'sinin Yüksek heyelan duyarlılığında olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada heyelan duyarlılık analiz sonuçlarının kategorilendirilmesinde farklı sınıflandırma yöntemlerinin kullanılması ve doğruluk değerlendirmesi sonucunda nihai heyelan duyarlılık haritasına karar verilmesinin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin kalitesinin artırılmasında destekleyici olduğu ve karar vericiler için belirsizliği azaltmada yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen duyarlılık haritası tüm il sınırını kapsayacak şekilde 1/25.000-1/500.000 ölçekli haritalar kullanılarak elde edilmiştir. Hassasiyetin ve uygulanabilirliğin yüksek olması amacıyla bundan sonraki aşamada özellikle yerleşim alanları başta olmak üzere Çok Yüksek ve Yüksek heyelan duyarlılığı tespit edilen alanlarda lokal

bölgeler bazında çalışılması, büyük ölçekli verilerin kullanılması, TUCBS ile verilerin elde edilebilirliğinin artırılmasıyla daha fazla faktörün değerlendirmeye alınması ve ileri analiz teknikleriyle hassas değerlendirmelerin yapılması önemlidir.

Üretilen duyarlılık haritasının üst ölçekli planlar, strateji planları, ilin heyelan tehlike ve risk haritalarının üretilmesinde öngörülerin oluşturulması ve lokal bazda ayrıntılı çalışmalar için gereksinim önceliği olan alanların belirlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Çalışma bulgularının, benzer akademik ve teknik çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Derya ÖZTÜRK çalışmanın kavramsal tasarımı ve yönetimi, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılması, Nergiz ÜZEL GÜNİNİ literatür araştırması, veri toplama, veri analizi ve makalenin yazılması kısımlarına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Acharya, T.D., Yang, I.T. ve Lee, D.H. (2017) GIS-based landslide susceptibility mapping of Bhotang, Nepal using frequency ratio and statistical index methods, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 35(5), 357-364. doi:10.7848/ksgpc.2017.35.5.357
2. Anis, Z., Wissem, G., Vali, V., Smida, H. ve Essghaier, G.M. (2019) GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical methods in North-western Tunisia, *Open Geosciences*, 11(1), 708-726. doi:10.1515/geo-2019-0056
3. Ayalew, L., Yamagishi, H. ve Ugawa, N. (2004) Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan, *Landslides*, 1(1), 73-81. doi:10.1007/s10346-003-0006-9
4. Bai, S.B., Wang, J., Lu, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S. ve Xu, S.N. (2010) GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 115(1-2), 23-31. doi:10.1016/j.geomorph.2009.09.025
5. Bui, D.T., Lofman, O., Revhaug, I. ve Dick, O. (2011) Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression, *Natural Hazards*, 59(3), 1413-1444. doi:10.1007/s11069-011-9844-2
6. Chien, T.W., Wang, H.Y., Hsu, C.F. ve Kuo, S.C. (2019) Choropleth map legend design for visualizing the most influential areas in article citation disparities: A bibliometric study, *Medicine*, 98(41). doi:10.1097/MD.00000000000017527
7. Chung, C.J.F. ve Fabbri, A.G. (2003) Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping, *Natural Hazards*, 30(3), 451-472. doi:10.1023/B:NHAZ.0000007172.62651.2b
8. Clark Labs (2012) Idrisi Selva 17.0, Clark University, Worcester, USA.
9. Costanzo, D., Rotigliano, E., Irigaray, C., Jiménez-Perálvarez, J.D. ve Chacón, J. (2012) Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the gis matrix method: Application to the river Beiro basin (Spain), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 327-340. doi:10.5194/nhess-12-327-2012

10. Cruden, D.M. (1991) A simple definition of a landslide, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27-29. doi:10.1007/BF02590167
11. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (2016). *Heyelanlar*, 36 s.
12. Dağ, S. (2007) Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
13. Dağ, S., Akgün, A., Kaya, A., Alemdağ, S. ve Bostancı, H.T. (2020) Medium scale earthflow susceptibility modelling by remote sensing and Geographical Information Systems based multivariate statistics approach: An example from Northeastern Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 79(19), 1-21. doi:10.1007/s12665-020-09217-7
14. Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S. ve Kaya, A. (2011) Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 151-176.
15. Dai, F.C. ve Lee, C.F. (2002) Landslide characteristics and slope instability modelling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42(3-4), 213-238. doi:10.1016/S0169-555X(01)00087-3
16. Deng, X., Li, L. ve Tan, Y. (2017) Validation of spatial prediction models for landslide susceptibility mapping by considering structural similarity, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 103. doi:10.3390/ijgi6040103
17. Dereli, M. A. (2019) Giresun iline ait Coğrafi Bilgi Sistemleri destekli heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi, *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, Samsun. doi:10.36287/setsoci.4.6.132
18. Dou, J., Tien Bui, D., Yunus, A.P., Jia, K., Song, X., Revhaug, I., Xia, H. ve Zhu, Z. (2015) Optimization of causative factors for landslide susceptibility evaluation using remote sensing and GIS data in parts of Niigata, Japan, *PLOS One*, 10(7), e0133262. doi:10.1371/journal.pone.0133262
19. Dragičević, S., Lai, T. ve Balram, S. (2015) GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments, *Habitat international*, 45, 114-125. doi:10.1016/j.habitatint.2014.06.031
20. Eker, R. ve Aydın, A. (2014) Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 15(1), 84-93.
21. El Jazouli, A., Barakat, A. ve Khellouk, R. (2019) GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco), *Geoenvironmental Disaster*, 6, 3. doi:10.1186/s40677-019-0119-7
22. Erener, A. ve Duzgun, H.S. (2010) Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), *Landslides*, 7, 55-68. doi:10.1007/s10346-009-0188-x
23. Erener, A. ve Lacasse, S. (2007) Heyelan duyarlılık haritalamasında CBS kullanımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim-02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.
24. ESRI (2008) ArcGIS 9.3, Redlands, CA, USA.
25. Fayez, L., Pham, B.T., Solanki, H.A., Pazhman, D., Dholakia, M.B., Khalid, M. ve Prakash, I. (2018) Application of frequency ratio model for the development of landslide susceptibility mapping at Part of Uttarakhand State, India, *International Journal of Applied Engineering Research*, 13, 6846-6854.

26. Flores-Garnica, J.G. ve Flores-Rodríguez, A.G. (2020) Comparative analysis of the number and intervals of forest fire risk classes, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(62), 4-30. doi:10.29298/rmcf.v11i62.775
27. Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. (2001) Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri Dergisi*, 22(23), 189-206.
28. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. ve Reichenbach, P. (1999) Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216. doi:10.1016/S0169-555X(99)00078-1
29. Harita Genel Müdürlüğü (2015) Türkiye mülki idare bölümleri haritası. Erişim adresi: <https://www.harita.gov.tr/urun/turkiye-mulk-idare-bolumleri-haritasi/189>
30. Hervás, J. ve Bobrowsky, P. (2009) *Mapping: Inventories, Susceptibility, Hazard and Risk*. İçinde: Sassa K., Canuti P. (editörler) *Landslides – Disaster Risk Reduction*, Springer, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-69970-5_19
31. Hong, H., Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R. ve Pradhan, B. (2016) GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China, *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 112. doi:10.1007/s12517-015-2094-y
32. Intarawichian, N. ve Dasananda, S. (2011) Frequency ratio model based landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand, *Environmental Earth Sciences*, 64(8), 2271-2285. doi:10.1007/s12665-011-1055-3
33. Kadioğlu, M. (2011) *Afet Yönetimi: Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek*, T.C. Marmara Belediyeler Birliği Yayını, Yayın No: 65.
34. Karaca, S., Sargın, B. ve Türkmen, F. (2019) Bazı arazi ve toprak niteliklerinin coğrafi bilgi sistem analizleriyle incelenmesi: Van ili arazi ve toprak özellikleri, *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 199-205. doi:10.19159/tutad.542543
35. Kavzoğlu, T., Şahin, E.K. ve Çölkesen, İ. (2012) Heyelan duyarlılığının incelenmesinde regresyon ağaçlarının kullanımı: Trabzon örneği, *Harita Dergisi*, 147, 21-33.
36. Khan, H., Shafique, M., Khan, M.A., Bacha, M.A., Shah, S.U. ve Calligaris, C. (2019) Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11-24. doi:10.1016/j.ejrs.2018.03.004
37. Lee, S. ve Pradhan, B. (2007) Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, *Landslides*, 4(1), 33-41. doi:10.1007/s10346-006-0047-y
38. Lee, S. ve Talib, J.A. (2005) Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, *Environmental Geology*, 47(7), 982-990. doi:10.1007/s00254-005-1228-z
39. Li, B., Wang, N. ve Chen, J. (2021) GIS-based landslide susceptibility mapping using information, frequency ratio, and artificial neural network methods in Qinghai Province, Northwestern China, *Advances in Civil Engineering*. doi:10.1155/2021/4758062
40. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (2007) Van İlinin Yerbilim Verileri, Ankara, 158 s.
41. Mandal, S. ve Mondal, S. (2019) *Statistical Approaches For Landslide Susceptibility Assessment and Prediction*, Springer International Publishing, Cham, 193 s.

42. Mandrekar, J.N. (2010). Receiver operating characteristic curve in diagnostic test assessment. *Journal of Thoracic Oncology*, 5(9), 1315-1316. doi:10.1097/JTO.0b013e3181ec173d
43. Mas, J.F., Soares Filho, B., Pontius, R.G., Farfán Gutiérrez, M. ve Rodrigues, H. (2013) A suite of tools for ROC analysis of spatial models, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3), 869-887. doi:10.3390/ijgi2030869
44. Meten, M., Bhandary, N.P. ve Yatabe, R. (2015) GIS-based frequency ratio and logistic regression modelling for landslide susceptibility mapping of Debre Sina area in central Ethiopia, *Journal of Mountain Science*, 12(6), 1355-1372. doi:10.1007/s11629-015-3464-3
45. Mirdda, H.A., Bera, S., Siddiqui, M.A. ve Singh, B. (2020) Analysis of bi-variate statistical and multi-criteria decision-making models in landslide susceptibility mapping in lower Mandakini Valley, India, *GeoJournal*, 85(3), 681-701. doi:10.1007/s10708-019-09991-3
46. Moreira, L.L., de Brito, M.M. ve Kobiyama, M. (2021) Effects of different normalization, aggregation, and classification methods on the construction of flood vulnerability indexes, *Water*, 13, 98. doi:10.3390/w13010098
47. Nohani, E., Moharrami, M., Sharafi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., Pham, B.T., Lee, S. ve Melesse, A.M. (2019) Landslide susceptibility mapping using different GIS-based bivariate models, *Water*, 11(7), 1402. doi:10.3390/w11071402
48. Öztürk, K. (2002) Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35-50.
49. Park, S., Choi, C., Kim, B. ve Kim, J. (2013) Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea, *Environmental Earth Sciences*, 68(5), 1443-1464. doi:10.1007/s12665-012-1842-5
50. Pawluszek-Filipiak, K., Oreńczak, N. ve Pasternak, M. (2020) Investigating the effect of cross-modeling in landslide susceptibility mapping, *Applied Sciences*, 10(18), 6335. doi:10.3390/app10186335
51. Pham, B.T., Tien Bui, D., Indra, P. ve Dholakia, M. (2015) Landslide susceptibility assessment at a part of Uttarakhand Himalaya, India using GIS-based statistical approach of frequency ratio method, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(11), 338-344. doi:10.17577/IJERTV4IS110285
52. Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R. ve Aghda, S.F. (2013) Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances, *Natural hazards*, 69(1), 749-779. doi:10.1007/s11069-013-0728-5
53. Pradhan, B. ve Lee, S. (2010) Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling, *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 747-759. doi:10.1016/j.envsoft.2009.10.016
54. Rahardianto, T., Saputra, A. ve Gomez, C. (2017) Assessment of landslide distribution map reliability in Niigata prefecture-Japan using frequency ratio approach, *AIP Conference Proceedings*, 1857(1), 060003, AIP Publishing LLC.
55. Rasyid, A.R., Bhandary, N.P. ve Yatabe, R. (2016) Performance of frequency ratio and logistic regression model in creating GIS based landslides susceptibility map at

- Lompobattang Mountain, Indonesia, *Geoenvironmental Disasters*, 3, 19. doi:10.1186/s40677-016-0053-x
56. Rawat J.S. ve Kumar M. (2015) Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84. doi:10.1016/j.ejrs.2015.02.002
57. Ross, S.M. (2014) *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Academic Press, 670 s.
58. Sharma, M. ve Gupta, A. (2017) *The Practice of Business Statistics: Using Statistics for Decision Making*. Khanna Book Publishing, 809 s.
59. Silalahi, F.E.S., Arifianti, Y. ve Hidayat, F. (2019) Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model in Bogor, West Java, Indonesia, *Geoscience Letters*, 6(1), 1-17. doi:10.1186/s40562-019-0140-4
60. Thapa, D. ve Bhandari, B. P. (2019) GIS-Based frequency ratio method for identification of potential landslide susceptible area in the Siwalik zone of Chatara-Barahakshetra section, Nepal, *Open Journal of Geology*, 9(12), 873. doi:10.4236/ojg.2019.912096
61. Van Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2020) *Van İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu*, 146 s.
62. Wang, Q. ve Li, W. (2017) A GIS-based comparative evaluation of analytical hierarchy process and frequency ratio models for landslide susceptibility mapping, *Physical Geography*, 38(4), 318-337. doi:10.1080/02723646.2017.1294522
63. Wang, Q., Li, W., Xing, M., Wu, Y., Pei, Y., Yang, D. ve Bai, H. (2016) Landslide susceptibility mapping at Gongliu county, China using artificial neural network and weight of evidence models, *Geosciences Journal*, 20(5), 705-718. doi:10.1007/s12303-016-0003-3
64. Wubalem, A. (2021) Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area, northwestern Ethiopia, *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 1-21. doi:10.21203/rs.3.rs-15731/v2
65. Xing, Y., Yue, J., Guo, Z., Chen, Y., Hu, J. ve Travé, A. (2021) Large-scale landslide susceptibility mapping using an integrated machine learning model: A case study in the Lvliang mountains of China, *Frontiers in Earth Science*, 622. doi:10.3389/feart.2021.722491
66. Yoo, Y., Baek, T., Kim, J. ve Park, S. (2016) A Comparative Study of the Frequency Ratio and Evidential Belief Function Models for Landslide Susceptibility Mapping, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 34(6), 597-607. doi:10.7848/ksgpc.2016.34.6.597
67. Youssef, A.M., Al-Kathery, M. ve Pradhan, B. (2015) Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy models, *Geosciences Journal*, 19(1), 113-134. doi:10.1007/s12303-014-0032-8
68. <https://www.harita.gov.tr/urun/il-ve-ilce-yuzolcumleri/176>, Erişim Tarihi: 15.02.2021, Konu: *İl ve İlçe Yüzölçümleri*.
69. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>, Erişim Tarihi: 17.05.2021, Konu: *Nüfus*.
70. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=VAN>, Erişim Tarihi: 08.07.2021, Konu: *Resmi istatistikler*.