

## Araştırma Makalesi / Research Article

**Frekans Oranı Metodu ve Bayesyen Olasılık Modeli Kullanılarak Samsun İli Vezirköprü İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi****Cem KILIÇOĞLU**<sup>1</sup> Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Samsune-posta: cemopanpe@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3384-7921>

Geliş Tarihi: 12.12.2019

Kabul Tarihi: 26.02.2020

**Öz**

Türkiye’de yaygınlık ve sıklık açısından en çok görülen doğal afetler heyelan ve taşkınlardır. Söz konusu etkiler küçük ve orta ölçekli haritalarda araştırılması gereken lokal etkiye sahip olup ekonomik ve sosyal sonuçları açısından tekrarlı olarak incelenmesi gereken afetlerdir. Buna ek olarak Türkiye, bu afetlerin ekonomik ve sosyal sonuçları açısından büyük risk taşımaktadır. Bu çalışmada, Orta Karadeniz bölgesinde yer alan Vezirköprü İlçesinin hem iklim değişikliğinden etkilenmesi hem de Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun içinde olması nedeniyle heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması için istatistik modeller kullanılmıştır. Bu amaçla tümevarım olarak Bayesyen Model (BM-WOE) ve tümdengelim olarak ise Frekans oranı (FR) modeli kullanılmıştır. Temel parametrelerin çözümlenmesinde yükseklik, eğim, bakı, eğrilik (plan ve profil eğriliği), yola, drenaj ağlarına ve faya yakınlık, topografik nemlilik indeksi ve jeoloji kullanılmıştır. Üretilen duyarlılık haritaları; çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük derecede duyarlı alanları gösterecek şekilde 5 sınıfa ayrılmıştır. Heyelan envanter haritasında yer alan 68 adet heyelan içinden 21 adeti kontrol amacıyla ayrılmış olup, heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğini test etmek için üretilen duyarlılık haritaları ile karşılaştırılmıştır. Nihai değerlendirmede kontrol heyelanlarının üretilen haritalar ile FR için %57 ve Bayesyen Model (BM-WOE) için %80.9 oranında uyumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler**

CBS; Heyelan; Frekans; Bayesyen; Vezirköprü

**Production of Landslide Susceptibility Map of Vezirköprü District (Samsun) By Using Frequency Ratio Method and Bayesian Probability Model****Abstract**

In Turkey, landslides and floods are having the most impact in terms of prevalence and frequency of natural disasters. These impacts have local impacts need to be investigated in small and medium scale maps, and the mentioned disasters should be examined repeatedly in terms of their economic and social consequences. In addition to that, Turkey is under at greater risk in terms of the economic and social consequences of these disasters. In this study, landslide susceptibility map has been produced in Vezirköprü District in the Central Black Sea Region, both because of being affected by climate change and being in the North Anatolian Fault Zone. In the study, statistical models were used for the preparation of landslide susceptibility maps. For this purpose, Bayesian and Frequency ratio model were used as induction and deduction, respectively. Elevation, slope, aspect, curvature (plan and profile curvature), geology, topographic wetness index proximity to road, stream and fault were used to analyze for production of landslide susceptibility. Classification is applied as the “very high, high, moderate, low and non-susceptible” into risky areas. The 21 ones from 68 landslide inventories from were separated for control purposes and compared with 47 landslide inventories applied Bayesian and Frequency ratio (FR) models to test the reliability of the landslide susceptibility map. As a result, it has been ascertained that the produced landslide susceptibility map is consistent with the control landslides with 57 % and 80.9% in total for FR and Bayesian Model, respectively.

**Keywords**

GIS; Landslide; Frequency; Bayesian; Vezirköprü

## 1. Giriş

Son 50 yılda doğayı oluşturan bileşenleri kısmen ya da tamamen etkileyen afetlerin verdiği ekonomik zararlar yanında habitatı sosyolojik ve psikolojik olarak da etkilediği açıktır.

Dünya Bankası 2017 tarihli raporunda afetlerin tüm dünyadaki dağılımının ülkelerin gelişmişlik ya da coğrafi bölge farklılıklarına göre yıllar içinde farklılıklar içerdiğini raporlamıştır (Int Kyn. 1). Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED); afetleri 6 ana grupta sınıflandırmıştır. Bunlar; biyolojik, meteorolojik, hidrolojik, iklimsel, jeolojik ve dünya dışıdır. 2008-2017 yılları arasında kıtalardaki zarar gören ilk 10 ülke için 348 doğal afet olayında 67.572 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu olaylarda yalnızca heyelan nedeniyle 20 olayda 1058 kişi hayatını kaybetmiştir. Buna ilaveten 2018 yılı içinde 315 doğal afet gerçekleşmiştir ve 11.804 kişi hayatını kaybetmiştir. Bunların içinde heyelan nedeniyle 14 olayda hayatını kaybedenler ise 292 kişidir (Int Kyn. 2).

Heyelanlar, çoğunlukla dağlık ve engebeli bölgelerde gözlenen, insan hayatı, mülk, altyapı ve doğal çevre için çok yoğun bir tehdit olarak sınıflandırılan doğal olaylar olarak kabul edilir (Alimohammadlou vd. 2013). Gelecekteki heyelanları anlamak, öngöründe bulunmak ve çalışma alanındaki olumsuz etkilerini azaltmak için hayati önem taşıyan aşama, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasıdır. Özellikle her türlü yer seçimi (yerleşim, depolama alanı, baraj yeri, vb.), güzergâh belirlenmesi (yol, demiryolu, enerji iletim hattı vb.) gibi mühendislik projelerinin gerçekleştirilmesi aşamasında proje alanının heyelan duyarlılığı açısından irdelenmesi ve gelecekte oluşabilecek heyelan nedenli problemlerin önceden kestirilerek gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanınması noktasında heyelan duyarlılık haritalarına olan gereksinim son derece önem kazanmaktadır (Akgün 2018). Geçtiğimiz otuz yıl boyunca Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknolojilerinde kaydedilen ilerlemelerin, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ve heyelan riskini değerlendirmek için kullanılan yöntem ve

tekniklerin geliştirilmesinde etkili olduğu düşünülmektedir (Dağ vd. 2011, Chen vd.2019).

Heyelanların karmaşık yapısı nedeniyle orta ölçekli heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmıştır (Akgün 2012). Araştırmacılar genel olarak heyelanla ilgili yapılan çalışmaları ve araştırmaları özetleyerek, bu kapsamdaki çalışmaları 3 ana grupta istatistik, yazılım ve indeks haritalarının kombinasyonu olarak değerlendirmiştir.

Corominas vd. (2014)'te heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bilgi tabanlı yöntemler, fiziksel yöntemler ve veri tabanlı yöntemler olarak üç temel ögeyi belirtmiştir. Farklı bir çalışmada ise; 1983 ile 2016 yılları arasında 565 yayın incelenmiş, sonuç olarak yaklaşık %46'sını oluşturan çalışmaların dört model tipinde olduğu tespit edilmiştir. Bunlar özel olarak lojistik regresyon analizi (%18,5), veri katmanları çakıştırılarak yapılan çalışmalar (%10,7), yapay sinir ağı (%8.3) ve indeks tabanlı modellerdir (%8.2) (Reichenbach et al. 2018).

Buna ilaveten şehirlerin bütününe ya da bir kısmını doğrudan etkileyen heyelan çalışmalarında farklı yöntemler kullanılmıştır. Ayrıca doğrudan heyelan çalışmalarının yanı sıra mikrobölgeleme çalışmalarının içinde yer alan heyelan çalışmaları da yapılmaktadır (Caniani vd. 2008, Yalçın 2008, Dragičević et al. 2015, Bathrellos et al. 2009, Erol ve Topal 2013, Akıncı vd. 2015, Ilia et al. 2015, Aditian et al. 2018, de Assis Dias et al. 2018, Fayez et al. 2018; Ko ve Lo 2018, Fanos and Pradhan 2019). Araştırmacılar bu konudaki çalışmalarda en çok kullanılan 8 parametrenin; litoloji, bakı, eğim, plan eğriliği, arazi kullanımı, akarsulara, yollara ve faylara mesafe olduğu konusunda bir benzerlik göstermiştir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001, Dağ vd. 2011, Akıncı vd. 2011, Pourghasemi and Rahmati 2018).

Bunun nedenlerinden biri araştırmacıların özellikle orta ölçekli haritalarda temel verilerin güvenliği konusunda azami dikkat göstermeleridir.

Bu çalışmada; gelecekte heyelan olabilecek sahaların önceden kestirimini sağlayacak heyelan duyarlılık haritalarının üretimi amaçlanmış ve bu doğrultuda istatistik modeller kullanılmıştır. İstatistik çalışmalarında esas alınan iki temel yöntem vardır. Bunlar tümevarım ve tümdengelimdir (Ekici 2009). Çalışmada tümdengelim için Frekans Oranı

metodu, tümevarım için ise Bayesyen olasılık modeli seçilmiştir. Her iki metot da yaygın olarak araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. 2005-2016 yılları arasında heyelan duyarlılık haritalarında toplamda Frekans Oranı 92 yayında ve Bayesyen olasılık modeli ise 60 yayında kullanılmıştır (Pourghasemi et al. 2018).

Bu çalışmada her iki yöntem için de 1/25000 ölçekli jeoloji haritası, aynı paftaya ait 1/25000 ölçekli heyelan envanter haritası, yükseklik, eğim, bakı, plan eğriliği, profil eğriliği, yola ve drenaj ağlarına yakınlık, faya uzaklık ve topografik nemlilik indeksi (TNI) parametreleri ile heyelan duyarlılığı hesaplanmıştır.

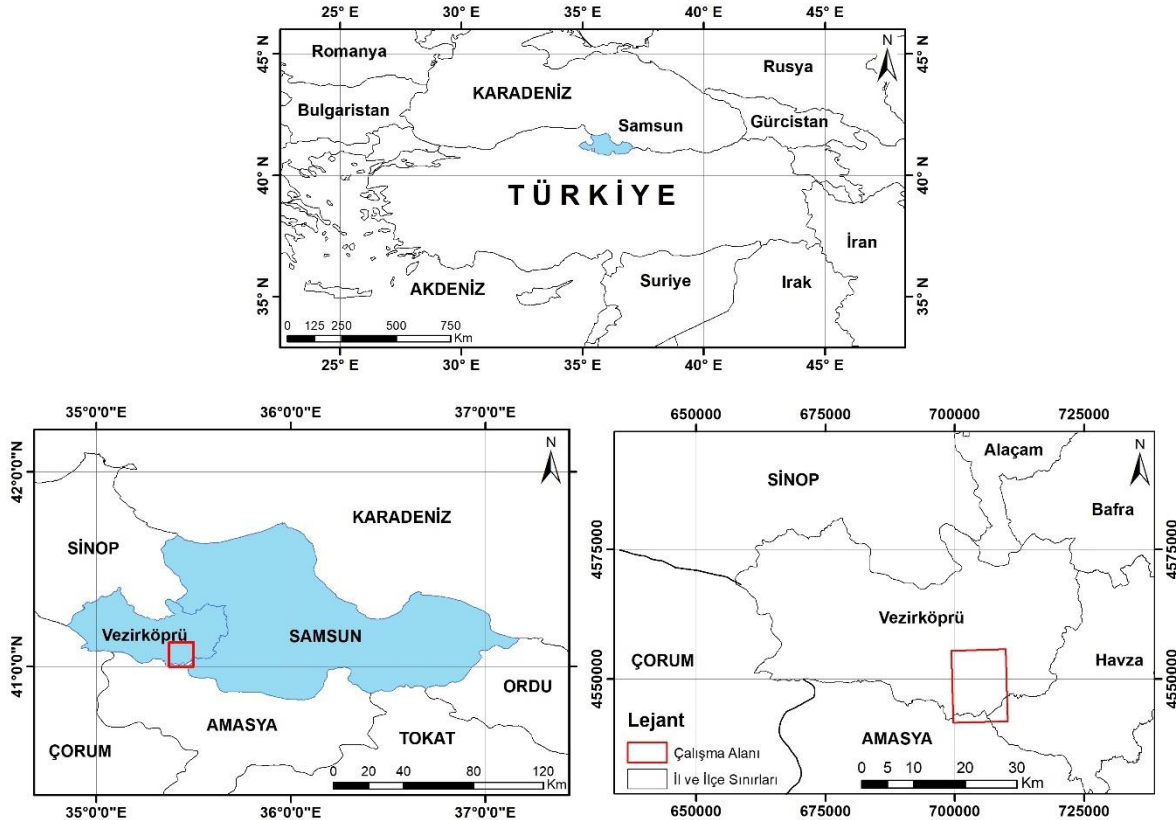
## 2. Materyal

Çalışmada heyelan duyarlılık haritasını üretmek için kullanılan parametreler; yükseklik, eğim, bakı, jeoloji, plan eğriliği, profil eğriliği, yola ve drenaj ağlarına yakınlık, faya uzaklık ve TNI dir. Bu veriler içinde jeoloji ve faylar için Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) 1/25000 ölçekli haritası (Uguz ve Sevin 2009) ArcGIS 10.5 yazılımı ile

sayısallaştırılmıştır. Ayrıca yine aynı kurumdan 1/25.000 ölçekli sayısal heyelan envanter haritası ESRI GRID formatına dönüştürüldükten sonra duyarlılık haritasının üretilmesine geçilmiştir. Yol verileri Google Earth'ten alınarak ArcGIS 10.5'e aktarılmıştır. Elde edilen ve üretilen haritalar, sırasıyla heyelan envanter haritası ile değerlendirilmiş ve her bir katmanın alt gruplarının heyelanlarla olan ilişkileri analiz edilmiştir. Sonuç olarak çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

### 2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı Orta Karadeniz Bölgesi Samsun ili Vezirköprü ilçesinde 1/25.000 ölçekli F34-c3 paftasını içermektedir. Çalışma alanı İlçe merkezinin güney bölgesinde yer almakta ve şehirleşme oranı çok düşüktür. Çalışma alanı, 41° 7' 30" kuzey enlemleri ile 35° 22' 30" – 35° 30' 0" doğu boylamları rasın da kalan 145.90 km<sup>2</sup>'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı haritası.

## 2.2 Verilerin Temini ve Hazırlanması

Çizelge 1’de konumsal verilerin hangi kurumlardan temini ve temel değişkenlerden hangi alt değişkenin üretilerek çalışmada kullanıldığı açıklanmıştır.

**Çizelge 1.** Verilerin özellikleri.

| Veri katmanı                | Ölçek   | Veri        | Veri formatı |
|-----------------------------|---------|-------------|--------------|
| Heyelan                     | 1/25000 | MTA         | poligon      |
| Litoloji                    | 1/25000 | MTA         | poligon      |
| Fay                         | 1/25000 | MTA         | çizgi        |
| Topoğrafik                  | 1/25000 | HGK         | çizgi        |
| Yol ağı                     | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Drenaj ağı                  | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Yükseklik                   | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Eğim açısı                  | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Baki                        | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Plan eğriliği               | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Profil eğriliği             | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |
| Topoğrafik nemlilik indeksi | 1/25000 | ArcGIS 10.5 | çizgi        |

### 2.2.1 Verilerin Temini ve Hazırlanması

Heyelan envanteri heyelan duyarlılık analizi için temel veridir. Gelecekte olabilecek heyelanları kestirebilmek için öncelikle yapılacak iş, envanter haritasında bulunan sahaların temel özelliklerini saptamaktır. (Erener ve Düzgün 2016). 1983-2016 yılları arasında istatistik tabanlı heyelan duyarlılık çalışmalarında 565 çalışmanın 458’inde heyelan envanter haritası kullanılmıştır (Reichenbach 2018). Bu çalışmada MTA’nın 2007 yılı 1/25.000 ölçekli heyelan envanter haritasında var olan 68 adet heyelanı, litoloji temel veri olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada heyelan duyarlılık haritasını test etmek için toplam 68 adet heyelan içerisinden 21 adet heyelan, kontrol amaçlanarak hesaplamalara katılmamıştır. Toplam 21 adet olan kontrol heyelanın 9 tanesi TİP1 (eski heyelan) ve 12 tanesi TİP2 (aktif heyelan) seçilmiştir.

### 2.2.2 Litoloji

Litoloji, heyelan duyarlılık çalışmalarının tamamına yakınında kullanılan temel parametredir. Bazı çalışmalarda litoloji; stratigrafik yaş ve kayaçların litolojileriyle açıklanmış (Lee and Min 2001, Li vd. 2012, Ilia and Tsangaratos 2016) bazılarında ise formasyon isimleri de dahil edilmiştir (Akıncı vd. 2010, Akıncı vd. 2014, Pourghasemi et al. 2014).

Bu çalışmada kullanılan 1/25.000 ölçekli sayısal jeoloji haritası MTA’dan temin edilmiştir. Sayısal

harita ESRI GRID formatına dönüştürülmüştür ve takiben duyarlılık haritaları üretilmiştir. Türkiye MTA tarafından yapılan 1/25.000 ölçekli jeoloji çalışmasına göre çalışma alanında 12 farklı litoloji yüzeylenmiştir (Uguz ve Sevin 2009). Çalışma sahasının jeolojik özelliklerini oluşturan litolojik birimler yaşlıdan gence sırasıyla;

Neritik Kireçtaşı Formasyonu (Pmk); Formasyon gri renkli, orta-kalın, kalın tabakalı, yer yer masif görünümlü ve yer yer oolitik kireçtaşlarıyla temsil edilir ve açık gri-bej renkli, masif görünümlü, bol çatlaklı ve erime boşluklu kireçtaşlarından oluşur. Birim Permiyen yaşlıdır.

Bekirli Formasyonu (TRJb-mb); Formasyon kuvars ve mikaca zengin metakumtaşı-fillat ve bazik magmatit-volkanit kökenli kırıntılı kayalardan oluşur. Birim Triyas-Liyas yaşlıdır.

Çalarasın Formasyonu (Kç); Kırmızımsı kahverenkli, siyahımsı gri, gri renkli kumtaşı, silttaşı, şeyl, çamurtaşı ardalanması biçiminde gözlenmiştir. Birim Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı

Beşpınar Formasyonu (KTpeb); Üst Kretase-Alt Eosen yaşlı birim altta sarımsı kahve, kirli sarı renkli, kalın tabakalı, oolitik ve foraminiferli kireçtaşları ile ardalanan yeşil, gri, kırmızı renkli, ince kumtaşı ve üste doğru kırmızı, kirli sarı, yeşilimsi kül renkli, ince tabakalı, kötü tutturulmuş, silttaşı-marn ardalanması; gri renkli, orta-kalın tabakalı, çok iyi tutturulmamış şeyl-marn ardalanması biçimindedir. Beynamaz Formasyonu (Temeb); Lütesiyen yaşlı Beynamaz volkanitleri başlıca bazalt-andezit lavları, aglomera ve tüflerden oluşur.

Meryemdere Formasyonu (Teme); Lütesiyen yaşlı Formasyon başlıca çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, marn, çamurtaşı ardalanması ile kireçtaşlarından oluşan birim kırmızımsı, sarı, alaca renkli, çakıltaşı-kumtaşı ardalanmasıyla başlar. Üst düzeylere doğru çakıltaşı kırmızımsı renkli, killi ve kumlu ara düzeyler içerir.

Köprübaşı Formasyonu (Tomk); Volkanitler andezit ve andezitik bazalt bileşimindedir. Andezitler pembe, kırmızımsı boz renklidir. Bazaltlar olivinli bazalt ve ojit andezit biçimindedir. Birim Oligosen-Miyosen yaşlıdır.

Hacılı Formasyonu (Tmh); Miyosen yaşlı Formasyon çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, marn ardalanmasından oluşur. Çakıltaşı sarımsı boz, gri renkli, iyi yuvarlaklaşmış, genellikle volkanit çakıllı, kötü tutturulmuş, kalın tabakalı- tabakalanmasız görünümlüdür.

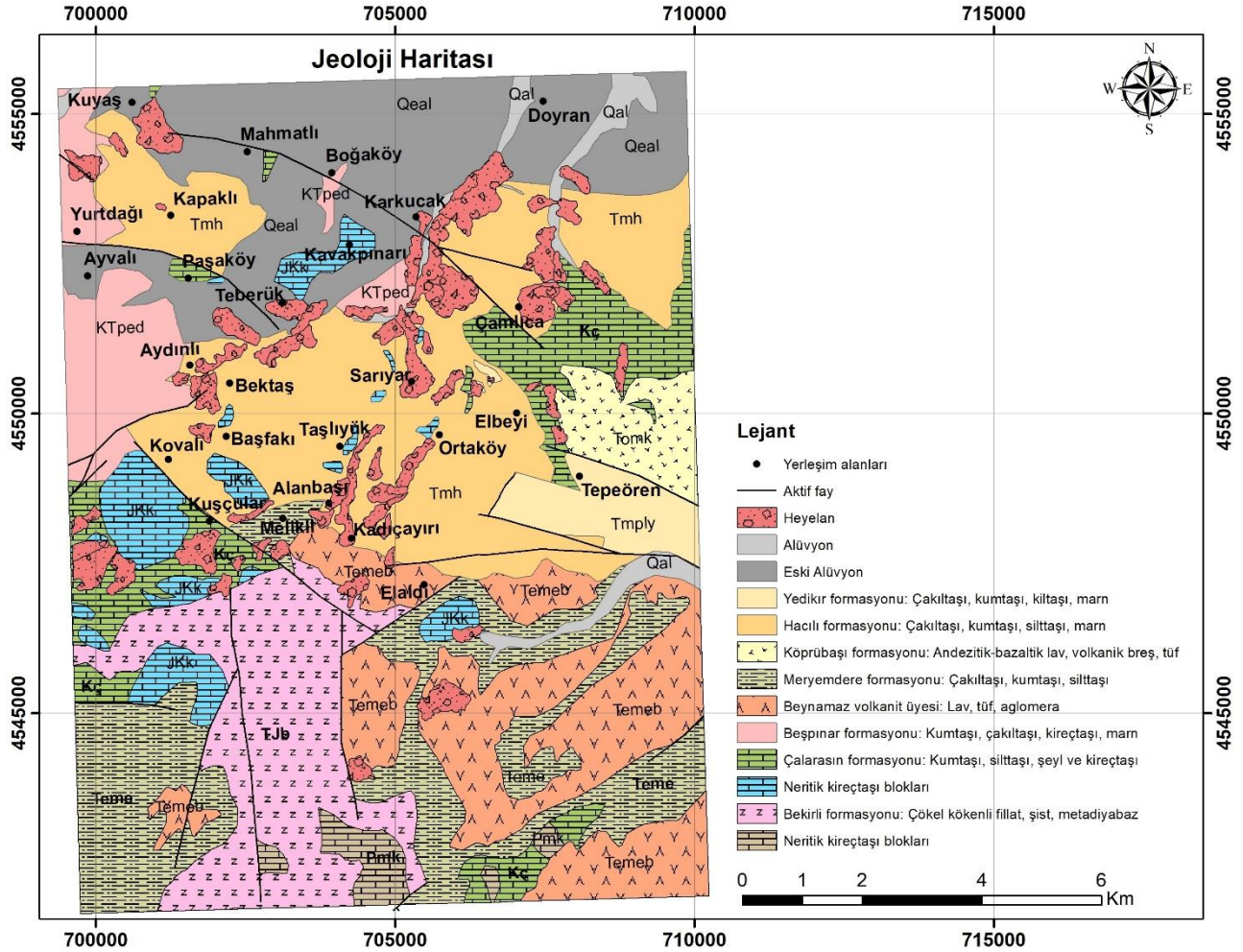
Yedikir Formasyonu (Tmply); Kirli beyaz, krem, sarımsı boz renkli, düzensiz katmanlanmalı, kötü tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı, kilttaşı, çamurtaşı,

marn ardalanmasından oluşan birimin kiltası-marn düzeyleri beyaz, yeşilimsi beyaz, bej renkli, ince tabakalı ve laminalıdır. Formasyon Üstmiyosen-Pliyosen yaşlıdır.

Eski Alüvyon (Qeal); birim üst pleyistosen yaşlı ve açık gri, bej, krem renkli, belirsiz katlanmalı, gevşek tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanımından oluşan birim menderesli ırmak, örgülü akarsu, taşkın ovası ortamlarında çökelmiştir. Alüvyon (Qal); Holosen yaşlı birim başlıca menderesli, örgülü akarsu ve taşkın ovası çökelleriyle temsil edilen ve çakıl, kum, silt çamur birikintilerinden oluşan birimin Kızılırmak ve Gökırmak vadileri boyunca yüzeylemeleri vardır.

Çalışma bölgesi Kuzey Anadolu Fayı Zonu (KAFZ)'nin diri yüzey kırıklarının tam ortasından geçmektedir (Şekil 2). Tüm sahada yaygın olarak meydana gelmiş 18 adet fay kırığı mevcuttur. Çalışma bölgesi Amasya ve çevresinin kuzeyinde kalmaktadır. Amasya ve yakın çevresi, kuzeyde KAFZ ana kolu ile sınırlanan, orta ve güneyinde ise KAFZ'den ayrılarak Anadolu içerisinde doğru uzanan yan kollar olan Esençay-

Suluova (Es-SuF) ve Ezinepazar-Sungurlu (EzSF) Fay sistemleri tarafından denetlenen geniş bir deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır. Amasya Makaslama Zonu (AMZ) olarak tanımlanan bu alanın morfotektonik evrimi, aktivitesini günümüzde de sürdüren çok sayıda tektonik hat tarafından kontrol edilmiştir. İnceleme alanında yer alan aktif tektonik hatlardan en önemlisi olan KAFZ'nin ana kolu, son yüzyıldaki (1939, 1942 ve 1943) deprem serisi ile tamamen kırılmıştır (Erturaç ve Tüysüz 2011). Yine MTA 1/100000 ölçekli jeoloji haritasında bölge; İlçenin güneyinde yer alan Tepeören Köyü dolayında KAFZ'yi yaklaşık doğu-batı doğrultusunda ve Ortaköy, Taşlıyük, Başlıana, Boruk, ve Kıрма köyleri üzerinden geçerek Öğürlü Köyü'nde Koraçay Dere Vadisi içine girer, Alanşeyhi-Sarıdibek köyleri üzerinden batıya doğru uzanarak Tahtaköprü'de inceleme alanını terk eder (Uguz ve Sevin 2009). Çalışma bölgesi ayrıca Erikli fayının güneyinde ve Ekinveren fayının ise kuzeyinde yer almaktadır ve uzunluğu 32km olan sağ yönlü doğrultu atımlı Köprübaşı segmenti üzerindedir (MTA 2013).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası.

### 2.2.3 Ana Faylara yakınlık

Türkiye deprem ülkesidir. Büyük depremler ve can kaybına neden olan KAFZ yaklaşık 1500 km uzunlukta ( $M_w > 7$ ) ve çalışma sahasının tam ortasından geçmektedir Sağ yönlü doğrultu atımlı KAFZ dünyada aktif faylar içinde en yıkıcı fay kırıklarından biridir. Kıta kabuğu üzerinde görülen en önemli fay sistemlerinden biri olan KAFZ, doğuda Karlıova üçlü ekleminden başlar ve Karadeniz kıyısına kabaca paralel kuzey yönlü geniş bir dışbükey yaparak batıda Saros Körfezi'ne kadar yaklaşık 1200 km boyunca uzanır (Ketin 1969, Barka 1992). Deprem için sismik tehlikelerin değerlendirilmesi, risklerin ve arazi kullanımının getirdiği planlamaların sürekli güncellenerek devam etmesini sağlamaktadır (Duman vd. 2018). Ülkemizin deprem gerçeği ve olası beklenen depremler için yapılan senaryoları içine Orta Karadeniz Bölgesi de dahil olmaktadır. KAFZ, Paleozoyik ve Tersiyer yığılma kompleksi içinde bir makaslama zonundan oluşmaktadır. KAFZ olarak adlandırılan bu deformasyon zonu içinde çok sayıda havza bulunur. Serravaliyen'den günümüze kadar yaştaki çökelleri içeren bu havzalar esas olarak üç farklı geometri gösterirler. Fay kaması havzaları; Suşehri, Gölova ve Vezirköprü havzalarıdır (Dirik 1991a, Dirik 1994b, Doğan 2010). Diğer önemli bir konuda sahada oluşabilecek pik yer ivmeleridir. Üç büyük depremde; Kaliforniya'daki Northridge depremi, Tayvan'daki Chi-Chi depremi ve Papua Yeni Gine'nin Finisterre Dağları'nı sınırlayan Ramu Markham fayındaki iki depremde pik yer ivmesinin büyük olduğu yerlerde heyelanların olduğu gösterilmiştir (Meunier vd. 2007). Bu gerekçelerle sahadaki heyelan çalışmalarında kırıklara uzaklıklar da ayrıntılı olarak sonuç verilerine dahil edilmiştir. Literatürde çalışma sahaslarının büyüklüğüne, fayın heyelanlara uzaklığı vb. nedeniyle ortak bir kanaat oluşmamıştır (Vahidnia vd. 2010, Akgun 2012, Erener vd. 2016, İlia. 2016, Hong et al. 2018, Yan 2019). Bu çalışmada ise KAFZ nedeniyle 500 m aralıklar ile uygulanmıştır.

### 2.2.4 Yola yakınlık

Heyelan duyarlılık çalışmalarında yola yakınlık verileri çok sıklıkla kullanılmıştır (Van Westen et al. 2003, Süzen ve Doyuran 2004, Ayalew and Yamagishi 2005, Akgün vd. 2008, Akıncı vd. 2010, Kornejady et al. 2018, Arabameri et al. 2019). Literatürde yol ağlarının oluşturulmasında kullanılan modeller benzer olsa dahi mesafeler farklı olarak kullanılmıştır. Bunun doğal nedeni çalışma

sahasındaki yol ağının yoğunluğu, olası etkisi (bilinen), jeoloji vb. nedenlerdir. Yolların, heyelan duyarlılık haritalarında kullanılmasında diğer parametrelerin aksine antropojenik olması en önemli özelliğidir. Bu nedenlerle haritaların üretilmesinden sonra yapılacak yolların etkisiyle meydana gelebilecek heyelanların gözlenmesi için ilk indikatördür. Bu çalışmada yola yakınlık parametreleri 150 m aralıklarla 1323 m'de sonlandırılarak seçilmiştir.

### 2.2.5 Drenaj ağı

Hidrolojik olarak yüzey suları, yeraltı su seviyesi, pınarlar ve yamaçtaki sular heyelanların hazırlayıcısı ya da tetikleyicisidir. Yalnızca akarsular (nehir) dahi tek başlarına taşkın durumunda yamaçlarda hem zeminleri hem de kaya şevlerini topuktan aşındırır. Diğer taraftan zemin ya da kaya şevler; akarsuların mevsimsel değişime bağlı olarak su seviyelerine kadar suya doygun kısmına kadar olan seviyeden akışa geçmesinde etkindir (Chen et al. 2019). Drenaj ağları da yol ağları gibi heyelan duyarlılık çalışmalarında çok sık kullanılan parametrelerden biridir. (Dağ vd. 2011, Pourghasemi et al. 2018). Araştırmacılar, drenaj ağlarına uzaklık parametrelerinde farklı mesafeler ve farklı ölçekler kullanmışlardır (Lee 2005, Yalcin 2008, Sezer vd. 2011, Feizizadeh et al. 2014, Kavzoglu vd. 2015, Reichenbach et al. 2018).

### 2.2.6 Yükseklik eğrileri

Son 30 yıldaki bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişim CBS'ni doğrudan geliştirerek orta ölçekli haritalarda sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanımını daha etkin hale getirmiştir (Feizizadeh et al. 2014, Chen et al. 2019, Yan et al. 2019). Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasını üretmek için ihtiyaç duyulan topoğrafik parametrelere ait veriler; 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritalardan üretilmiştir. Topoğrafik haritalardaki eşyükseklik eğrileri kullanılarak ArcGIS 10.5 yazılımında çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Üretilen SYM, 10x10m hücre boyutuna sahip ESRI GRID formatına dönüştürüldükten sonra çalışma alanının sırasıyla yükseklik, eğim, bakı, plan ve profil eğriliği haritaları üretilmiştir. Çalışmada eğim açısı envanter haritasındaki eğimler ile karşılaştırılarak yoğunluk histogramı ile analiz edildikten sonra düzenlenmiştir.

### Eğim Açısı

Eğim açısı heyelan duyarlılık çözümlerinde en önemli bileşendir (Santacana et al. 2003, Lee 2005). Bu konuda çalışan araştırmacıların değerlendirmeleri ve sahada yapılan arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelan duyarlılık arasında yüksek bir korelasyon öngörmektedir (Ercanoğlu vd. 2004). Eğim açısı heyelan duyarlılık analizlerinin tamamında kullanılmıştır. Çalışmalarda eğim açısının aralıkları arasında ortak bir karar yoktur (Pham et al. 2008, Yalçın, 2007, Kamp, 2008, Iliia et al. 2016, Akgün 2018, Chen et al. 2019). Bu çalışmada heyelan envanterleri ile eğim açıları örtüştürülerek yoğunluk dağılımına bakılmak suretiyle eğim aralıkları belirlenmiştir (Tablo 3).

### Bakı

Heyelanlar, meteorolojinin etkisiyle kayaların fiziksel, kimyasal ve mekanik parametrelerini etkilerler. Özellikle aşırı hava ve donma çözünme sonrasındaki etkiler heyelan oluşumunu arttırmaktadır. Bu nedenlerle bakı önemli bir parametre olarak duyarlılık haritalarında kullanılmaktadır (Yalçın 2007, Akgün 2018). Bakı ve heyelan arasındaki korelasyona ilişkin ortak bir görüş oluşmamaktadır (Akıncı vd. 2010). Fakat heyelan duyarlılık çalışmalarının çok önemli bölümünde bakı kullanılmıştır (Pourghasemi et al. 2018). Bakının heyelana birincil olarak değil ama özellikle donma, çözünme ve diğer topoğrafik parametreler yanında özellikle kaya yamaç hareketlerinde etkin olması muhtemeldir (Bostancı vd. 2018).

### Plan ve Profil Eğriliği

Arazi yüzeyinin plan ve profil eğriliği heyelanların türünü etkileyen çok önemli nedenlerinden biridir. Bu nedenle birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Yalçın 2008, Akıncı vd. 2011, Pourghasemi et al. 2014, Akıncı vd. 2015). Çalışma sahasının arazi yüzeyinin içbükey ve dışbükeyliğini belirlemek için SYM'lerin türevlerinden faydalanılır. SYM'lerde yükseklik eğrilerine paralel olan eğimin eğriliğine plan eğriliği, bu eğriliğe dik yönde kullanılan dik eğriliğe profil eğriliği denir. Burada pozitif eğrilik yüzeyinin bir hücrede konkavlığını, negatif eğrilik ise konveksliğini ve sıfır olması durumunda ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder (Yesilnacar ve Topal 2005, Chen et al. 2019). Plan ve profil eğriliği, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak çalışma alanındaki eğrilik-heyelan ilişkisi belirlenmiştir (Tablo 3).

### 2.2.7 Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNI)

Taşkın modellemelerinde ve heyelan çalışmalarında sıkça kullanılan TNI; zeminin su tutma (doygunluk) kapasitesinin belirlenmesi için suya doygun alanların alansal boyutlandırılmasıyla hesaplanmaktadır. Kavzoglu vd. (2014) uniform ve izotrop bir ortam koşulu dikkate alarak, yarı-dinamik topoğrafik nem indeksinin hesaplanması için

$$TNI = \ln \frac{As}{\tan\beta} \quad (1)$$

formülünü kullanmışlardır. Denklemden As özgül havza alanı ve  $\tan\beta$  ise yamaç eğimidir. Denklemden zeminin uniform kabulü TNI'nin temel bir zorlaştırıcı unsurudur (Beven and Kirkby, 1979). TNI birçok heyelan duyarlılık çalışmasında kullanılmıştır (Gokceoglu ve Sezer 2009, Akıncı vd. 2015). Bu çalışmada SYM'ler ve ArcGIS 10.5 yazılımı ile çalışma alanının bağıl nemlilik indeksi haritası; akışın yoğunluğu ve yönü kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada TNI 5 parametreye ayrılarak sınıflandırılmıştır (Tablo 3).

### 3. Yöntem

#### 3.1 Frekans Oranı Metodu (FR) Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde Frekans Oranı Metodu; geçmişte gerçekleşmiş heyelanları etkileyen her bir faktörün konumları ile gelecekte meydana gelebilecek heyelanlar arasındaki ilişkiyi bulmak için kullanılmaktadır (Lee and Min 2001, Clerici et al. 2002, Vijith and Madhu 2008, Termeh vd. 2018). FR, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Akıncı vd. 2010, Rasyid et al. 2016, Fayed et al. 2018). Frekans oranı metodunun hesaplanmasında, geçmiş heyelanların (envanter) konumları nedeniyle sahip oldukları bilgileri faktörlere ayrılmıştır. Her bir faktör sınıflandırılarak ve CBS fonksiyonları kullanılarak piksel sayıları üretilmektedir. Frekans oranı hesabı için kullanılan aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$FR = \frac{PLO}{PIF} \quad (2)$$

PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesini, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesini ifade etmektedir. Frekans oranı hesap

tablosunda yüzde olarak PLO, A/B ve yine yüzde olarak PIF ise C/D olarak hesaplanmaktadır (Tablo 3). Bu bağıntılardaki A çalışma alanındaki her bir kategorideki alt sınıfın heyelanlı hücre sayısını, B çalışma alanındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, C çalışma alanındaki her bir kategorideki alt sınıfın hücre sayısını, D ise çalışma alanındaki toplam hücre sayısını ifade etmektedir (Huang et al. 2018). Tablo 3’de yer alan sayılar içinde 1 den büyük sayılar yüksek korelasyonu ve 1 den küçük sayılar ise düşük korelasyonu ifade etmektedir. Her bir kategori için hesaplanan frekans oranı ArcGIS 10.5 kullanılarak bağlı katmanda gösterilmiştir. Sürecin devamında tüm katmanlar üst üste çakıştırılarak, heyelan duyarlılık indeksi (HDİ) bulunmuştur.

### 3.2 Bayesyen Model (BM)-WOE Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

İstatistik yaklaşımlar (tahmin) için iki temel görüş vardır. Bunlar, klasik (Frekansçı) yaklaşım ile Bayesyen yaklaşımdır. Klasik yaklaşıma göre bir heyelanların olasılık dağılımlarını şekillendiren parametreler sabittir (her bir heyelanın (envanter) konumundan doğan bilgiler). Bayesyen yaklaşıma göre ise bu parametrelerin bizzat kendileri de olasılık dağılımına uymaktadırlar. Dolayısıyla parametrelerin kendileri de birer rastlantı değişkenleridirler. Sonuç olarak “envanter heyelanlarını” meydana getiren şartlar aynı sahada heyelan olmadığı sürece sabittir. Fakat heyelanları etkileyen faktörler değişmektedir. Bunun sonucu olarak faktörlerin altındaki sınıflara ait bilgiler de değişmektedir. Sürekli değişen koşulları açıklayabilmek için CBS fonksiyonları kullanılarak faktörler ve sınıflandırmalar için piksel sayıları üretilmektedir. Bayesyen modelin daha açık olarak hesaplanabilmesi bu çalışmada için WoE modeli kullanılmaktadır. WoE modeli temelde Bayesyen yaklaşımın içinde öncül (koşulsuz) ve soncul (şartlı) olasılıkların veri odaklı (yeterli verilerle) uygulanabilir bir yöntemdir (Erener and Lacasse 2007). Daha açık olarak ifade edilirse; bir alanda oluşabilecek heyelanların 4 olası sıralanış biçimi vardır. Yöntem öncelikle  $W^+$  ve  $W^-$  olarak pozitif ve negatif olarak heyelanı etkileyen faktörlerin 2 alt kategorilerinin ağırlıklarını hesaplanmaktadır. Daha sonra pozitif ve negatifleri de 2 alt kategoriye ayırmaktadır. Duyarlılık haritalarının oluşturulması için aşağıdaki formüller verilmiştir (Bonham-Carter 1994). Kısaltmalar Çizelge 2 de verilmiştir.

$$W^+ = \ln \left[ \frac{\left( \frac{A1}{A1+A2} \right)}{\left( \frac{A3}{A3+A4} \right)} \right] \quad (3)$$

$$W^- = \ln \left[ \frac{\left( \frac{A2}{A1+A2} \right)}{\left( \frac{A4}{A3+A4} \right)} \right] \quad (4)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (5)$$

**Çizelge 2.** Bayesyen modeli -WOE formülünde kullanılan kısaltmaların açıklaması.

| Kısaltma | Açıklaması   |
|----------|--|
| A1       | heyelanlı hücre sayısını   |
| A3       | heyelansız hücre sayısını  |
| A2       | kategori dışındaki toplam heyelanlı hücre sayısını                   |
| A4       | kategori dışındaki toplam heyelansız hücre sayısını                  |
| A1+A2    | seçilen kategori dışındaki toplam heyelanlı hücre sayısını           |
| A3+A4    | çalışma alanındaki toplam heyelansız hücre sayısını ifade etmektedir |

$W^+$  ve  $W^-$  ağırlıkları arasındaki fark ise (contrast - C) C olarak adlandırılır. Çalışma alanında üretilen henüz sınıflandırılmamış heyelan duyarlılık tablosunda sifıra eşit bir çelişki değeri, heyelana neden olan faktörün alt kategorisinin analiz için önemli olmadığını gösterir. Pozitif çelişki bir konumsal ilişkiyi, negatif çelişki ise tersini ifade etmektedir (Van Westen et al. 2003, Neuhäuser and Terhorst 2007, Corsini et al. 2009, Akıncı vd. 2015). Çalışmada her iki yöntemde de heyelan envanterinin %30’u kontrol için kullanılmıştır.

### 4. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanındaki heyelanı etkileyen parametreler Tablo 3’de  $W^+$  -  $W^-$  ağırlıkları ve FR verilmiştir. Gelecekte meydana gelebilecek heyelanların yerlerini en hassas duyarlılıkla tespit etmek ve nedenselliğini bulmak için; MTA tarafından temin edilen envanter haritalarının yardımıyla (kesin kabulü ile) bilgisayar teknolojileri kullanılarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Duyarlılık haritasının sonuçlarının değerlendirilmesi ve tartışılmasında literatür değerlendirmeleri dikkate alınmıştır.

Yamaç hareketlerini meydana getiren etmenlerden jeoloji, öncelikli olarak analiz edilmektedir. Çalışma



alanındaki jeoloji haritası ile heyelan envanter haritası karşılaştırıldığında heyelanların, çalışma sahasında toplam heyelanlı alanların %56.12'ünü oluşturan Miyosen yaşlı Hacılı Formasyonda meydana geldiği görülmüştür. Formasyon, heyelan duyarlılık analizlerinde ağırlıkları sırasıyla FR analizinde 2.30 ve C'de ise 1.34 olarak bulunmuştur. Çalışma sahasında ikinci sırada ise olarak Beynamaz volkanitleridir. Beynamaz üyesi çalışma sahasında, toplam heyelanlı alanların %4.89'unu oluşturmaktadır. Üye, heyelan duyarlılık analizlerinde sırasıyla FR analizinde 1.28 ve C'de ise 0.30 olarak bulunmuştur. Diğer bir önemli Formasyon Çalarasın Formasyonudur. Formasyon,

toplam heyelanlı alanların %9.74'ünde sıralansa dahi FR analizinde 1.96 ve C'de ise 0.08 olarak bulunmuştur. Çalışma sahasında Hacılı Formasyonu ve Beynamaz volkanit üyesi örtü kayası özelliğindedir. Buna rağmen Çalarasın Formasyonu temel kaya özelliğindedir.

Çalışmada yükseklik faktörü incelendiğinde hem FR'de hem de C'de 960 m ile 1070 m arasında en yüksek değerler gözlenmiştir. Çalışma sahasında heyelanlı alanların %98'ini oluşturan alt kategorilerin her birinde Çizelge 3'te görüldüğü gibi eşit bir dağılım vardır.

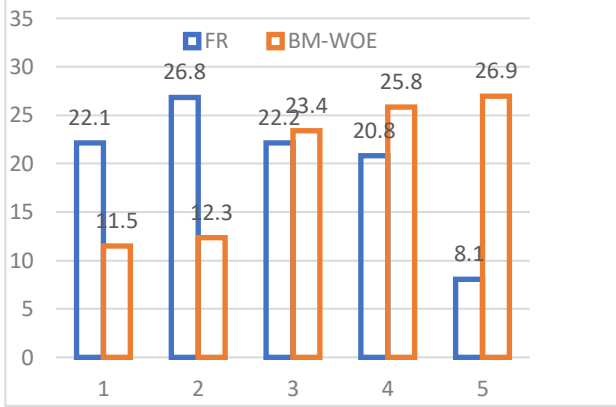
**Çizelge 3.** Heyelanı etkileyen parametrelerden Frekans oranları ve Bayesyen ağırlıkları.

| Faktör       | Sınıflandırma | Heyelanlı alanların piksel sayısı | Alandaki piksel sayısı |         |        | FR      |        | W      | W     | C    |
|--------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|------|
|              |               |                                   | A                      | PLO (%) | C      | PIF (%) | (artı) | (eksi) |       |      |
| Yükseklik    | 0-410         | 423                               | 0.58                   | 24296   | 1.68   | 0.00    | 0.00   | 0.02   | -6.11 |      |
|              | 410-520       | 20897                             | 28.48                  | 139519  | 9.65   | 1.64    | 0.16   | 0.10   | 0.51  |      |
|              | 520-630       | 15041                             | 20.50                  | 184238  | 12.7   | 1.28    | 0.16   | 0.13   | 0.25  |      |
|              | 630-740       | 7457                              | 10.16                  | 234189  | 16.2   | 0.98    | 0.16   | 0.16   | -0.02 |      |
|              | 740-850       | 12996                             | 17.71                  | 212813  | 14.7   | 1.31    | 0.19   | 0.15   | 0.28  |      |
|              | 850-960       | 4352                              | 5.93                   | 159979  | 11.0   | 1.58    | 0.17   | 0.11   | 0.47  |      |
|              | 960-1070      | 9424                              | 12.85                  | 117825  | 8.15   | 1.65    | 0.13   | 0.08   | 0.51  |      |
|              | 1070-1375     | 2771                              | 3.78                   | 242576  | 16.7   | 0.10    | 0.02   | 0.17   | -2.28 |      |
|              | 1375-1680     | 1                                 | 0.00                   | 130113  | 9.00   | 0.00    | 0.00   | 0.09   | 0.00  |      |
|              | Eğim          | 0-2                               | 9650                   | 13.15   | 193688 | 13.4    | 1.02   | 0.14   | 0.13  | 0.02 |
| 2-4          |               | 1546                              | 2.11                   | 70657   | 4.89   | 0.32    | 0.02   | 0.05   | -1.15 |      |
| 4-6          |               | 4508                              | 6.14                   | 111914  | 7.74   | 0.35    | 0.03   | 0.08   | -1.06 |      |
| 6-8          |               | 6053                              | 8.25                   | 128161  | 8.87   | 0.55    | 0.05   | 0.09   | -0.60 |      |
| 8-10         |               | 8214                              | 11.20                  | 127819  | 8.84   | 0.85    | 0.07   | 0.09   | -0.17 |      |
| 10-20        |               | 31430                             | 42.84                  | 433663  | 30.0   | 1.20    | 0.36   | 0.30   | 0.19  |      |
| 20-30        |               | 8911                              | 12.15                  | 245932  | 17.0   | 1.33    | 0.23   | 0.17   | 0.29  |      |
| 30-40        |               | 2582                              | 3.52                   | 109778  | 7.59   | 1.18    | 0.09   | 0.08   | 0.17  |      |
| 40-50        |               | 396                               | 0.54                   | 21245   | 1.47   | 1.13    | 0.02   | 0.01   | 0.13  |      |
| 50-82.641983 |               | 71                                | 0.10                   | 2691    | 0.19   | 1.60    | 0.00   | 0.00   | 0.48  |      |
| Bakı         | Düz           | 7665                              | 10.45                  | 148159  | 10.2   | 1.10    | 0.11   | 0.10   | 0.09  |      |
|              | Kuzey         | 7144                              | 9.74                   | 275730  | 19.0   | 0.44    | 0.08   | 0.19   | -0.83 |      |
|              | Kuzeydoğu     | 9828                              | 13.40                  | 259022  | 17.9   | 0.85    | 0.15   | 0.18   | -0.17 |      |
|              | Doğu          | 13744                             | 18.73                  | 189059  | 13.0   | 2.03    | 0.27   | 0.13   | 0.73  |      |
|              | Güneydoğu     | 10180                             | 13.88                  | 144115  | 9.97   | 1.79    | 0.18   | 0.10   | 0.60  |      |
|              | Güney         | 3858                              | 5.26                   | 80945   | 5.60   | 1.33    | 0.07   | 0.06   | 0.29  |      |
|              | Güneybatı     | 2696                              | 3.67                   | 49045   | 3.39   | 0.99    | 0.03   | 0.03   | -0.01 |      |
|              | Batı          | 7614                              | 10.38                  | 93322   | 6.46   | 0.59    | 0.04   | 0.07   | -0.53 |      |
| Litoloji     | Kuzeybatı     | 10632                             | 14.49                  | 206151  | 14.2   | 0.43    | 0.06   | 0.14   | -0.85 |      |
|              | Pmk           | 1                                 | 0.00                   | 36425   | 2.52   | 0.00    | -5.85  | 0.01   | -5.86 |      |
|              | JKk           | 1156                              | 1.58                   | 37027   | 2.56   | 1.01    | 0.00   | 0.00   | 0.00  |      |

|                          |                  |       |       |        |      |      |       |       |       |
|--------------------------|------------------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|
|                          | Kç               | 12941 | 17.64 | 323823 | 22.4 | 1.96 | 0.00  | -0.08 | 0.08  |
|                          | KTped            | 3024  | 4.12  | 149852 | 10.3 | 0.85 | -0.16 | 0.01  | -0.17 |
|                          | Teme             | 1010  | 1.38  | 187611 | 12.9 | 0.32 | 0.00  | 0.10  | -0.10 |
|                          | Tmply            | 313   | 0.43  | 182551 | 12.6 | 0.12 | -2.17 | 0.02  | -2.19 |
|                          | Temeb            | 3586  | 4.89  | 221644 | 15.3 | 1.28 | 0.26  | -0.04 | 0.30  |
|                          | Qeal             | 4255  | 5.80  | 33258  | 2.30 | 0.01 | -4.76 | 0.17  | -4.93 |
|                          | Tmh              | 41174 | 56.12 | 18728  | 1.30 | 2.30 | 0.86  | -0.48 | 1.34  |
|                          | Qal              | 5792  | 7.90  | 109869 | 7.60 | 0.05 | -3.05 | 0.02  | -3.08 |
|                          | Tomk             | 108   | 0.15  | 80520  | 5.57 | 0.15 | -1.91 | 0.02  | -1.94 |
|                          | TJb              | 2     | 0.00  | 64097  | 4.43 | 0.25 | -1.41 | 0.09  | -1.50 |
| <b>Plan Eğriliği</b>     | <0               | 28798 | 39.25 | 561072 | 38.8 | 0.99 | -0.02 | 0.01  | -0.02 |
|                          | 0                | 14117 | 19.24 | 261196 | 18.0 | 1.04 | 0.00  | -0.01 | 0.05  |
|                          | >0               | 30446 | 41.50 | 623280 | 43.1 | 0.99 | 0.02  | 0.01  | -0.01 |
| <b>Profil Eğriliği</b>   | <0               | 30789 | 41.97 | 627561 | 43.4 | 0.98 | 0.42  | 0.01  | -0.03 |
|                          | 0                | 11842 | 16.14 | 224144 | 15.5 | 1.00 | 0.16  | 0.00  | 0.00  |
| <b>Eğrilik</b>           | >0               | 30730 | 41.89 | 593843 | 41.0 | 1.02 | 0.42  | -0.01 | 0.03  |
|                          | <0               | 28642 | 39.04 | 544935 | 37.7 | 1.03 | 0.03  | -0.02 | 0.06  |
|                          | 0                | 14955 | 20.39 | 285986 | 19.7 | 0.97 | -0.03 | 0.01  | -0.03 |
| <b>Yola Yakınlık</b>     | >0               | 29764 | 40.57 | 614627 | 42.5 | 0.98 | -0.02 | 0.01  | -0.03 |
|                          | 0-150            | 13268 | 18.09 | 321309 | 22.2 | 0.60 | -0.51 | 0.11  | -0.62 |
|                          | 150-300          | 19641 | 26.77 | 454961 | 31.4 | 0.74 | -0.31 | 0.05  | -0.36 |
|                          | 300-450          | 16425 | 22.39 | 310979 | 21.5 | 1.12 | 0.11  | -0.04 | 0.15  |
|                          | 450-600          | 12557 | 17.12 | 186539 | 12.9 | 1.41 | 0.35  | -0.09 | 0.44  |
|                          | 600-750          | 6719  | 9.16  | 100327 | 6.94 | 1.05 | 0.05  | -0.01 | 0.06  |
|                          | 750-900          | 3654  | 4.98  | 49699  | 3.44 | 1.16 | 0.15  | -0.01 | 0.16  |
|                          | 900-1050         | 1066  | 1.45  | 15973  | 1.10 | 1.77 | 0.58  | -0.02 | 0.60  |
|                          | 1050-1200        | 31    | 0.04  | 4637   | 0.32 | 1.46 | 0.39  | 0.00  | 0.39  |
|                          | 1200-1323        | 1     | 0.00  | 589    | 0.04 | 1.64 | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| <b>Akarsuya Yakınlık</b> | 0-300            | 31531 | 42.98 | 378521 | 26.1 | 1.71 | 0.55  | -0.29 | 0.84  |
|                          | 300-600          | 20418 | 27.83 | 335803 | 23.2 | 1.03 | 0.03  | -0.01 | 0.04  |
|                          | 600-900          | 11430 | 15.58 | 287790 | 19.9 | 0.70 | -0.37 | 0.07  | -0.44 |
|                          | 900-1200         | 6691  | 9.12  | 224454 | 15.5 | 0.66 | -0.43 | 0.06  | -0.49 |
|                          | 1200-1500        | 2871  | 3.91  | 131024 | 9.06 | 0.61 | -0.50 | 0.04  | -0.53 |
|                          | 1500-1800        | 260   | 0.35  | 58032  | 4.01 | 0.25 | -1.42 | 0.03  | -1.45 |
|                          | 1800-2100        | 160   | 0.22  | 20859  | 1.44 | 0.43 | -0.85 | 0.01  | -0.85 |
|                          | 2100-2400        | 1     | 0.00  | 6231   | 0.43 | 0.01 | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                          | 2400-2700        | 1     | 0.00  | 1638   | 0.11 | 0.03 | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                          | 2700-3127        | 1     | 0.00  | 661    | 0.05 | 0.07 | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| <b>TNİ</b>               | 0-(-1.70)        | 6697  | 9.13  | 130302 | 9.01 | 1.04 | 0.04  | 0.00  | 0.05  |
|                          | (-1.70)-(-2.84)  | 20121 | 27.43 | 422349 | 29.2 | 1.16 | 0.15  | -0.07 | 0.22  |
|                          | (-2.84)-(-5.34)  | 31237 | 42.58 | 606905 | 41.9 | 0.93 | -0.08 | 0.05  | -0.13 |
|                          | (-5.34)-(-8.86)  | 9039  | 12.32 | 193708 | 13.4 | 0.78 | -0.25 | 0.03  | -0.28 |
|                          | (-8.86)-(-20.00) | 6267  | 8.54  | 92284  | 6.38 | 1.14 | 0.13  | -0.01 | 0.14  |
| <b>Ana Faya yakınlık</b> | 0-400            | 18056 | 24.61 | 418074 | 28.9 | 0.93 | -0.08 | 0.03  | -0.11 |
|                          | 400-800          | 19651 | 26.79 | 366167 | 25.3 | 1.20 | 0.18  | -0.07 | 0.25  |
|                          | 800-1200         | 9848  | 13.42 | 253605 | 17.5 | 0.68 | -0.40 | 0.07  | -0.46 |
|                          | 1200-1600        | 17787 | 24.24 | 172901 | 11.9 | 2.09 | 0.76  | -0.16 | 0.92  |
|                          | 1600-2000        | 6599  | 8.99  | 114469 | 7.92 | 0.75 | -0.29 | 0.02  | -0.31 |
|                          | 2000-2400        | 1120  | 1.53  | 69204  | 4.79 | 0.00 | -7.15 | 0.05  | -7.20 |
|                          | 2400-2800        | 1     | 0.00  | 24741  | 1.71 | 0.00 | -6.12 | 0.02  | -6.14 |
|                          | 2800-3200        | 1     | 0.00  | 14434  | 1.00 | 0.00 | -5.59 | 0.01  | -5.60 |
|                          | 3200-3600        | 1     | 0.00  | 8328   | 0.58 | 0.01 | -5.04 | 0.01  | -5.04 |
|                          | 3600-4194        | 1     | 0.00  | 4007   | 0.28 | 0.01 | -4.30 | 0.00  | -4.31 |

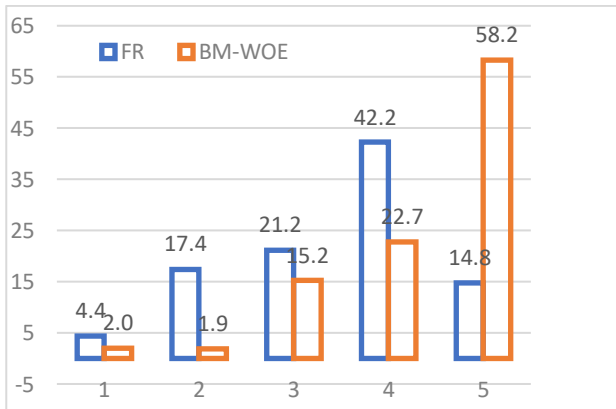
## 5. Sonuçlar

Çalışmada heyelanı etkileyen 11 farklı kategorik değişken kullanılarak üretilen duyarlılık haritaları; “çok düşük (1), düşük (2), orta (3), yüksek (4) ve çok yüksek (5)” derecede duyarlı alanları temsil edecek şekilde doğal kesiklik sınıflaması (natural breaks) yöntemi ile 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3 ve Şekil 4).



**Grafik 1.** Çalışma alanının heyelan duyarlılık derecelerine göre dağılımı.

FR yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritasında çalışma alanının %26,8’inin “düşük (2)” derecede heyelana duyarlı olduğu belirlenmiştir. BM-WOE modelinde ise çalışma alanının %26,9’u “çok yüksek (5)” derecede heyelana duyarlı olarak bulunmuştur (Grafik 1). FR modelinde çalışma alanının %28,9’u “yüksek” ve “çok yüksek” derecede heyelana duyarlı iken BM-WOE modelinde bu oran %52,7 olarak hesaplanmıştır.



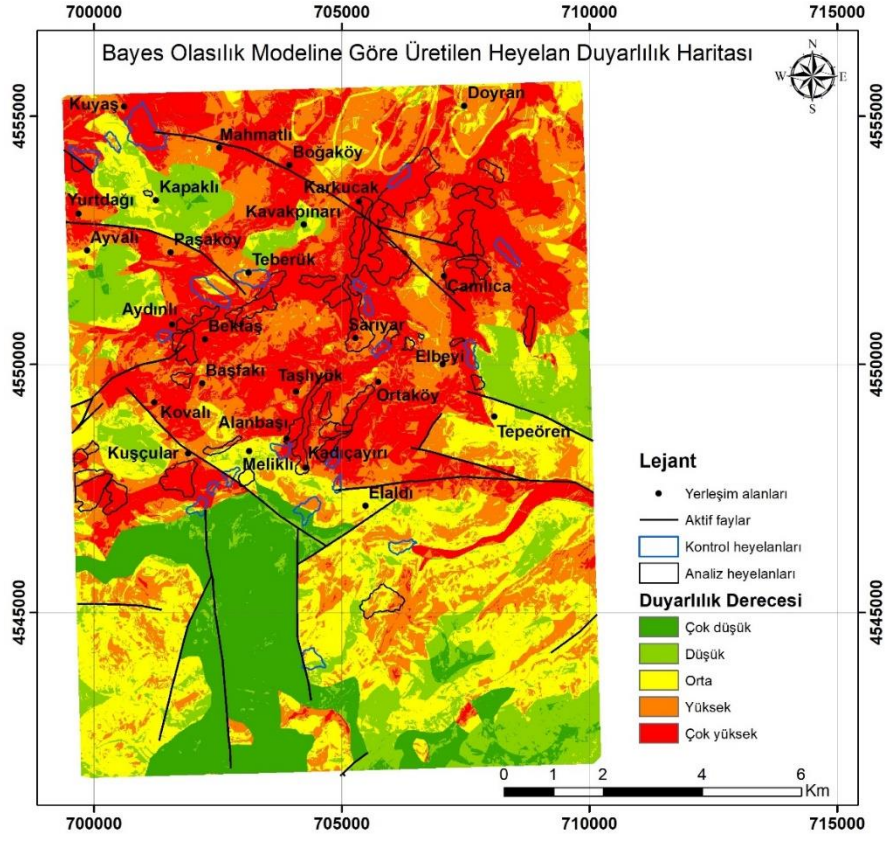
**Grafik 2.** Kontrol heyelanlarının FR ve BM-WOE modellerindeki duyarlılık derecelerine göre dağılımı.

Grafik 2 de, kontrol heyelanlarının FR ve BM-WOE modellerinden üretilen duyarlılık haritalarına göre dağılımları yüzde olarak verilmiştir. Bu grafiğe göre,

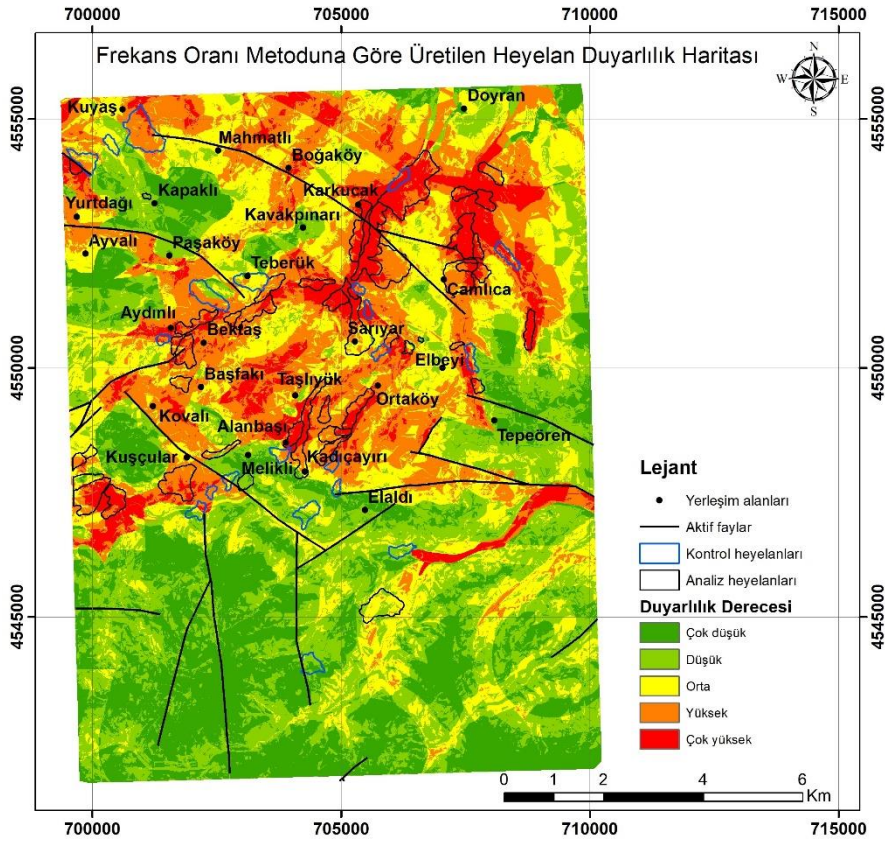
FR modeli için kontrol heyelanlarının %4.4’ünün çok düşük, %17.4’ünün düşük, %21.2’sinin orta, %42.2’sinin yüksek ve %14.8’inin ise çok yüksek derecede duyarlı alanlarda kaldığı tespit edilmiştir (Grafik 2). BM-WOE modelinden üretilen heyelan duyarlılık haritası için kontrol heyelanlarının %2’sinin çok düşük, %1.9’unun düşük, %15.2’sinin orta, %22.7’sinin yüksek ve %58.2’sinin ise çok yüksek derecede uyumlu olduğu belirlenmiştir (Grafik 2). Kontrol heyelanlarının, “yüksek” ve “çok yüksek” derecede heyelana duyarlı alanlarla uyumu FR modeli için toplamda %57, BM-WOE modeli için toplamda %80.9 olarak tespit edilmiştir (Grafik 2).

FR ve BM-WOE modellerinin performansları karşılaştırıldığında, BM-WOE modelinin FR yöntemine göre daha doğru sonuç ürettiği görülmüştür. Her iki duyarlılık modeli de matematiksel olarak basit bir yapıya sahip olup hızlı bir şekilde sonuca ulaşılmaktadır.

Çalışma sahasının KAFZ içinde olması, olası bir Orta Karadeniz depreminde heyelanlı sahaların aktifleşerek riskleri tehlikeye döndürme olasılığını arttırmaktadır. Bu nedenle, özellikle BM-WOE modeline göre üretilen heyelan duyarlılık haritasının çalışma sahasında heyelan tehlikelerinin önlenmesi ve azaltılması konusunda yerel yöneticilere ve kamu kurumlarına rehberlik edeceği düşünülmektedir.



Şekil 3. Bayesyen (BM-WOE) olasılık modeline göre üretilen heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 4. Frekans oranı modeline göre üretilen heyelan duyarlılık haritası.

## 6. Kaynaklar

- Adition, A., Kubota, T., Shinohara, Y., 2018. Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, **318**, 101-111.
- Akgun, A., 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. *Landslides*, **9(1)**, 93-106.
- Akgün, A., 2018. Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Tonya (Trabzon) Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **8(1)**, 135-146.
- Akgün, A., Dag, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, **Volume 54**, Number 6, 1127-1143.
- Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C., ve Keçeci, S. B., 2010. Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2(3)**, 13-27.
- Akıncı, H., Özalp Yavuz, A., Özalp, M., Temuçin Kılıçer, S., Kılıçoğlu, C., ve Erevan, E., 2014. Bayes olasılık teoremi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi. *5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., Özalp, M., Kılıçer, S. T., Kılıçoğlu, C., and Everan, E., 2015. Production of Landslide Susceptibility Map using Bayesian Probability Model. *International Journal of 3-D Information Modeling*, **4(2)**, 16-33.
- Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C., and Temiz, M. S., 2011. Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) City Center by using frequency ratio method, *International Journal of Physical Sciences*, **6(5)**, 1015-1025.
- Alimohammadlou, Y., Asadallah, N., and Yalcin A., 2013. Landslide process and impacts: A proposed classification method, *Catena*, **104**: 219-232.
- Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, K., Sohrabi, M., and alantari, Z., 2019. GIS-based landslide susceptibility mapping using numerical risk factor bivariate model and its ensemble with linear multivariate regression and boosted regression tree algorithms, *Journal of Mountain Science*, **16(3)**, 595-618.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, **Volume 65**, Issues 1-2, 15–31.
- Barka, A. A., 1992. The north Anatolian fault zone. *In Annales Tectonicae*, **Volume 6**, No. Suppl, pp. 164-195.
- Bathrellos, G. D., Kalivas, D. P., and Skilodimou, H. D., 2009. GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban planning in Trikala, Central Greece, *Estud Geol*, **65(1)**, 49-65.
- Beven, K. J., and Kirkby, M. J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, **24(1)**, 43-69.
- Bonham-Carter, G. F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists*. **Volume 13**: Modelling with GIS (Computer Methods in the Geosciences).
- Bostanci, H.T., Alemdag, S., Gurocak, Z., Gokceoglu, C., 2018. Combination of discontinuity characteristics and GIS for regional assessment of natural rock slopes in a mountainous area (NE Turkey). *Catena*, **165**, 487-502.
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., and Sole, A., 2008. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. *Natural Hazards*, **45(1)**, 55-72.
- Chen, W., Panahi, M., Tsangaratos, P., Shahabi, H., Ilia, I., Panahi, S., and .Ahmad, B. B., 2019. Applying population-based evolutionary algorithms and a neuro-fuzzy system for modeling landslide susceptibility. *Catena*, **172**, 212-231.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., and Vescovi, P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, **48(4)**, 349-364.

- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitolakis, K., Winter, M.G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., Smith, J.T., 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bull. Eng. Geol. Environ.* **73** (2), 209–263.
- Corsini, A., Cervi, F., and Ronchetti, F., 2009. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy), *Geomorphology*, **111**(1-2), 79-87).
- CRED, 2018. 2017-2018. The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) The UN Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR).
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **1**(2), 151-176.
- de Assis Dias, M. C., Saito, S. M., dos Santos Alvalá, R. C., Stenner, C., Pinho, G., Nobre, C. A., and Lima, C. O., 2018. Estimation of Exposed Population to Landslides and Floods Risk Areas In Brazil, on an Intra-Urban SCALE, *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Dirik, K., 1991a., Doktora, "Tectono-Stratigraphy Of The Vezirköprü Area (Samsun-Turkey)". *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği (Dr) Ocak*, 1991.
- Dirik, K., 1994. Kuzey Anadolu Transform Fay Zonunun Beşpınar-Havza Kesimindeki Neotektonik Özellikleri. *MTA dergisi*, **116**, 37-50.
- Doğan, B., 2010. Doktora Çalışması Kuzey Anadolu Fay Sistemi Güney Kolunun Geyve Gemlik Arasındaki Kesiminin Morfotektonik, Tektonostratigrafik Ve Paleosismolojik Evrimi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dragičević, S., Lai, T., and Balram, S., 2015. GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments. *Habitat international*, **45**, 114-125.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadrioğlu, F. T., Baştürk, N. B., Kılıç, T., and Karakaya, F., 2018. Seismotectonic database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16**(8), 3277-3316.
- Ekici, O., (2009). İSTATİSTİKTE BAYESYEN VE KLASİK YAKLAŞIMIN KAVRAMSAL FARKLILIKLARI. *Balikesir University Journal of Social Sciences Institute*, **12**(21).
- Ercanoğlu, M., Gokceoglu, C., and Van Asch, T., W.2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, **32**(1), 1-23.
- Erener, A., Lacasse, S., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı. *Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim–02 Kasım, KTÜ, Trabzon. TMMOB Coğrafi.
- Erener, A., Mutlu, A., and Düzgün, H. S., 2016. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM). *Engineering geology*, **203**, 45-55.
- Erener, A., Mutlu, A., and Düzgün, H. S., 2016. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM). *Engineering geology*, **203**, 45-55.
- Erol, G., and Topal, T., 2013. GIS-based microzonation of the Nıksar settlement area for the purpose of urban planning (Tokat, Turkey). *Environmental earth sciences*, **68**(7), 2065-2084.
- Erturaç, M. K., ve Tüysüz, O., 2011. Amasya ve çevresinin depremselliği ve deterministik deprem tehlike analizi. *İTÜ DERGİSİ/d*, **9**(3).
- Fanos, A. M., and Pradhan, B., 2019. A novel rockfall hazard assessment using laser scanning data and 3D modelling in GIS. *Catena*, **172**, 435-450.
- Fayez, L., Pazhman, D., Pham, B. T., Dholakia, M. B., Solanki, H. A., Khalid, M., and 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(9)**, 6846-6854.
- Feizizadeh, B., Roodposhti, M. S., Jankowski, P., and Blaschke, T., 2014. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers and geosciences*, **73**, 208-221.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., and Can, T., (2005). The 17 March 2005. Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering geology*, **81(1)**, 65-83.
- Gokceoglu, C., and Sezer, E., 2009. A statistical assessment on international landslide literature (1945–2008), *Landslides*, **6(4)**, 345.
- Gökçeoğlu, C., ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri Dergisi*, **5(23)**, 189-206.
- Hong, H., Tsangaratos, P., Iliä, I., Liu, J., Zhu, A. X., and Chen, W., 2018. Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China, *Science of the total environment*, **625**, 575-588.
- Huang, F., Yao, C., Liu, W., Li, Y., and Liu, X., 2018. Landslide susceptibility assessment in the Nantian area of China: a comparison of frequency ratio model and support vector machine, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **9(1)**, 919-938.
- Iliä, I., Koumantakis, I., Rozos, D., Koukis, G., and Tsangaratos, P., 2015. A geographical information system (GIS) based probabilistic certainty factor approach in assessing landslide susceptibility: the case study of Kimi, Euboea, Greece, In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 2* (pp. 1199-1204). Springer, Cham.
- Iliä, I., and Tsangaratos, P., 2016. Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map. *Landslides*, **13(2)**, 379-397.
- Kadir, D., 1994b., Kuzey Anadolu Transform Fay Zonunun Beşpınar-Havza Kesimindeki Neotektonik Özellikleri, *MTA Dergisi* **116**,37 50.
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., and Owen, L. A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, **101(4)**, 631-642.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., and Colkesen, I., 2014. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, **11(3)**, 425-439.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., and Colkesen, I., 2015. Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm. *Engineering Geology*, **192**, 101-112.
- Ketin İ., 1969. Kuzey Anadolu fayı hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **72(72)**.
- Ko, F. W., and Lo, F. L., 2018. From landslide susceptibility to landslide frequency: A territory-wide study in Hong Kong. *Engineering geology*, **242**, 12-22.
- Kornejady, A., Ownegh, M., Rahmati, O., and Bahremand, A., 2018. Landslide susceptibility assessment using three bivariate models considering the new topo-hydrological factor: HAND. *Geocarto international*, **33(11)**, 1155-1185.
- Lee, S., and Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental geology*, **40(9)**, 1095-1113.
- Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, **26(7)**, 1477-1491.
- Li, Y., Aydın, A., Xiqiong, X., Nengpan, Ju., Jianjun, Z., and Özbek, A., 2012. XiLandslide Susceptibility Mapping And Evaluation Along A River Valley İn China. *Acta Geologica Sinica* **86(4)**.
- Maden Tetkik ve Arama, 2013. 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası. *Özel yayın serisi-30*.
- Meunier, P., Hovius N., and Haines. A. J., 2007. Regional patterns of earthquake-triggered landslides and their

- relation to ground motion. *Geophysical Research Letters*, **34(20)**
- Neuhäuser, B., and Terhorst, B., 2007. Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology*, **86(1-2)**, 12-24.
- Pham, B. T., Bui, D., Prakash, I., and Dholakia, M., 2016. Evaluation of predictive ability of support vector machines and naive Bayes trees methods for spatial prediction of landslides in Uttarakhand state (India) using GIS. *J Geomatics*, **10**, 71-79.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., Aghda, S. F., Gokceoglu, C., and Pradhan, B., 2014. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, **7(5)**, 1857-1878.
- Pourghasemi, H. R., and Rahmati, O., 2018. Prediction of the landslide susceptibility: which algorithm, which precision?, *Catena*, **162**, 177-192.
- Pourghasemi, H. R., Yansari, Z. T., Panagos, P., and Pradhan, B., 2018. Analysis and evaluation of landslide susceptibility: a review on articles published during 2005–2016 (periods of 2005–2012 and 2013–2016). *Arabian Journal of Geosciences*, **11(9)**, 193.
- Rasyid, A. R., Bhandary, N. P., and 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(1)**, 19.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., and Guzzetti, F., 2018. A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, **180**, 60-91.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A., and Marturiá, J., 2003. A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural hazards*, **30(3)**, 281-295.
- Sezer, E. A., Pradhan, B., and Gokceoglu, C., 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Applications*, **38(7)**, 8208-8219.
- Süzen, M. L., and Doyuran, V., 2004. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental geology*, **45(5)**, 665-679.
- Termeh, S. V. R., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R., and Keesstra, S., 2018. Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment*, **615**, 438-451.
- Uguz F.M., ve Sevin M., 2009. 1/100000 ölçekli Sinop-F34 paftası jeoloji haritası. *MTA Gen. Müd. Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi*, **No:116**.
- Vahidnia, M., H. Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A., and Hosseinali, F., (2010). A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, **36(9)**, 1101-1114.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., and Soeters, R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural hazards*, **30(3)**, 399-419.
- Vijith, H., and Madhu, G., 2008. Estimating potential landslide sites of an upland sub-watershed in Western Ghat's of Kerala (India) through frequency ratio and GIS. *Environmental Geology*, **55(7)**, 1397-1405.
- Yalçın, A., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22(3)**, 1–14.
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, **72(1)**, 1-12.
- Yan, F., Zhang, Q., Ye, S., and Ren, B., 2019. A novel hybrid approach for landslide susceptibility mapping integrating analytical hierarchy process and normalized frequency ratio methods with the cloud model. *Geomorphology*, **327**, 170-187.



Yesilnacar, E., and Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, **79(3-4)**, 251-266.

***İnternet kaynakları***

1. <https://www.worldbank.org/en/region/eca/publication/europe-and-central-asia-country-risk-profiles-for-floods-and-earthquakes>, (20.06.2019)
2. [https:// www.cred.be/publications](https://www.cred.be/publications), (01.06.2019)