

## **Bulanık Mantık Yöntemiyle Sera Gölü Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi**

Olgu Aydın<sup>1</sup>, Nussaibah Begum Raja<sup>2</sup>

### **Öz**

Karadeniz Bölgesi, etkili yağışlarla birlikte, jeomorfolojik ve litolojik koşulları, toprak özellikleri ve nemi, arazi kullanımı gibi faktörlerle kütle hareketlerinin, özellikle heyelanların sık meydana geldiği bir bölgedir. Heyelan duyarlılık değerlendirmesine yönelik çalışmalar, heyelanlara karşı gerekli önlemleri almak ve muhtemel can ve mal kaybının azaltılmasına yardımcı olmak açısından önemlidir. İleriye yönelik planlamalar yaparken, alanın heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilmesi gereklilik haline gelmiştir. Çalışmanın amacı, Trabzon, Akçaabat ilçesi, Sera Gölü çevresinin yapay zekâ tabanlı Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemiyle heyelan duyarlılık değerlendirmesini yapmaktır. Çalışmada eğim, bakı, yamaç şekli, göreceli rölyef, litoloji, nehre olan mesafe, topografik nemlilik indeksi kullanılmıştır. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen Sera Gölü çevresi heyelan duyarlılık analizi başarılı bir sonuç vermiştir. R<sup>2</sup> değeri %67 ile modeli açıklamıştır. RMSE ve MAE sonuçları "0" değerine yakındır. Heyelana duyarlı alanlar çalışma alanının önemli bir bölümüne karşılık gelmektedir. Çalışmanın sonuçları, heyelanlara karşı duyarlı olabilecek alanları göstermesi açısından heyelanların ekonomik, sosyal, kültürel ve çevresel hasarlarına karşı gerekli önlemleri almak ve ileriye yönelik planlamalar yapabilmek açısından önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Mantık, Heyelan, Heyelan Duyarlılık Haritası, Sera Gölü Çevresi

## **Landslide Susceptibility Analysis of Surrounding of Sera Lake by Fuzzy Logic Method**

### **Abstract**

Landslides are a frequent occurrence in the Black Sea Region, mainly due to factors such as geomorphological and lithological conditions, soil properties and humidity, land use, along with effective precipitation. Landslide susceptibility assessments are vital to ensure that necessary precautions are taken to mitigate against landslides so as to help reduce possible loss of life and property. In addition, landslide susceptibility assessments are also important for future land development plans. The aim of the study is to carry out a landslide susceptibility assessment using the artificial intelligence-based Fuzzy Logic method of Sera Lake around Trabzon, Akçaabat district. The variables used in our model are: slope, aspect, slope shape, relative relief, lithology, distance to the river and topographic humidity index. The landslide susceptibility analysis of the Sera Lake environment provided an R<sup>2</sup> value of 0.67 and RMSE and MAE values close to "0". This suggests that our method was quite good at evaluating landslide susceptibility in our study area. Landslide sensitive areas correspond to an important part of the study area. The results of the study are important in terms of taking necessary measures against economic, social, cultural and environmental

<sup>1</sup> Doç. Dr., Coğrafya Bölümü, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara

İlgili yazar e-posta/Corresponding author e-mail: [oyaydin@ankara.edu.tr](mailto:oyaydin@ankara.edu.tr) ORCID No: 0000-0001-8220-6384

<sup>2</sup> Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany

e-posta/e-mail: [nussaibah.raja.schoob@fau.de](mailto:nussaibah.raja.schoob@fau.de) ORCID No:0000-0002-0000-3944

*Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article*

Aydın, O.. ve Raja, N.B. (2024). Bulanık Mantık Yöntemiyle Sera Gölü Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi.

*Afet ve Risk Dergisi, 7(2), 441-456.*

damages of landslides and making future plans in order to show the areas that may be sensitive to landslides.

**Keywords:** Fuzzy Logic, Landslide, Landslide Susceptibility Map, Surrounding of Sera Lake

## 1. GİRİŞ

Doğal afetler, dünya genelinde nüfusu tehdit eden, çoğu zaman beklenmedik ve yıkıcı şekillerde kendini gösteren önemli doğa olaylarıdır (Chaudhary ve Piracha, 2021). Bu doğa olayları arasında yer alan heyelanlar, ölümlere, sosyoekonomik kayıplara ve maddi hasarlara yol açan en yaygın ve sık görülen doğal afetlerden biri olarak bilinir (Petley, 2012; Kouhpeima vd., 2017; Noorollahi vd., 2018; Turner, 2018). Hızlı nüfus artışı, iklim değişikliği, ormansızlaşma gibi temel nedenler dünya genelinde heyelanların yıkıcı etkisini arttırmaya da devam etmektedir (Saha vd., 2021). Heyelan en basit şekliyle, kaya, toprak veya yeryüzü kütesinin eğim aşağı hareketi olarak tanımlanır (Cruden, 1991). Şiddetli yağış olayları, yeraltı su seviyesinde yükselme, deprem, volkanik faaliyetler, yanlış arazi kullanımı, insan aktiviteleri gibi faktörler heyelanların gerçekleşmesine neden olmakta (Rostami vd., 2016) ve kendine özgü hazırlayıcı faktörlerle (morfoloji, litoloji, jeolojik ortam, arazi kullanımı, iklim vb.) ve tetikleyici olaylarla (aşırı yağış olayları, depremler, kontrol edilemeyen yangınlar, yangınlar vb.) ilişkili olarak ortaya çıkmaktadır (Miccadei vd., 2022). Heyelanlar gerçekleştikleri bölgenin farklı yapısal özelliklerine göre şekillendiklerinden, bir alanın heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilmesinde bu parametrelerin ayrı bir öneme sahip olduğu bilinir (Zhang vd., 2023). Heyelanların ekonomik, sosyal, kültürel ve çevresel hasarlarına karşı gerekli önlemler almak ve ileriye yönelik planlamalar yapmak gerekir. Bu durum, heyelan dinamiklerinin anlaşılması ve etkilerini azaltıcı önlemlerin geliştirilmesiyle mümkündür. Bu sebeple, doğruluğu yüksek heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Heyelan duyarlılık haritaları, heyelana eğilimli alanlardaki duyarlılık seviyelerinin ölçülmesi ve mekânsal dağılımları hakkında bilgi sağlayan ve risk yönetiminde temel girdi olarak kullanılan haritalardır (Şahin, 2018). Afet yönetim planlarında, heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesi önemli konulardan biridir (Zhao vd., 2022).

Çok sayıda araştırmacı potansiyel heyelan alanlarını göstermek için heyelana neden olan faktörleri göz önünde bulundurarak farklı yöntemlerle heyelan duyarlılık haritaları geliştirmiştir (Ercanoğlu ve Gokceoğlu, 2004; Süzen ve Doyuran, 2004; Yesilnacar ve Topal, 2007; Ercanoğlu vd., 2008; Aksoy ve Ercanoğlu, 2012; Althuwaynee vd., 2014; Erener vd., 2015; Pradhan, 2011; Zhang vd., 2016; Raja vd., 2017; Dağdelenler, 2020; Kılıçoğlu, 2020; Dalkes ve Korkmaz, 2023; Taş, vd., 2024). Bu çalışmalar, heyelan duyarlılık haritaları oluşturmada, kullanılan tekniklerin kayda değer sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, karmaşıklığın üstesinden gelmek için Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemi yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Ercanoğlu ve Gokceoğlu, 2002; Pradhan vd., 2009; Ercanoğlu ve Temiz, 2011; Bui vd., 2012; Pourghasemi vd., 2012; Feizizadeh vd., 2014; Pradhan ve Kim, 2016; Rostami vd., 2016; Noorollahi vd., 2018). Son yıllarda yöntemle gerçekleştirilen çalışmalarda da artış olduğu görülmektedir (Bahrami vd., 2021; Abdı vd., 2021; Okoli vd., 2022; Klai vd., 2023; Zhang vd., 2023; Vega ve Hidalgo, 2023).

Heyelan duyarlılık üzerine, çalışma alanının içinde bulunduğu Karadeniz Bölgesi'nin farklı alanlarında, farklı yöntemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiş pek çok çalışma bulunmaktadır. Karadeniz Bölgesi'nin, jeomorfolojik ve litolojik koşulları, toprak özellikleri ve nemi, bitki örtüsü gibi faktörlerin mevcudiyeti ve bu özelliklerinin yanında, her yıl etkili yağışların görülmesi bölgede kütle hareketlerinin, özellikle heyelanların sık gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bu sebeple, heyelan duyarlılık konusuna ilgi duyan pek çok araştırmacının çalışma alanı olmuştur. Ercanoğlu ve Gokceoğlu (2002) Türkiye'nin kuzeybatısında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, eğim, baki, arazi kullanımı, bozunma derinliği, su koşulları ve topografik yükseklik faktörlerini

kullanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak bölge, çok yüksek duyarlı, yüksek duyarlı, orta derece duyarlı, az duyarlı, duyarlı olmayan şeklinde beş sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıfların %53'ü yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara karşılık gelmiştir. Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2004)'de Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Karabük ilinin Kuzey batısındaki Yenice ilçesinde, 275.4 km<sup>2</sup>'lik bir alanın heyelan duyarlılığını hesaplamışlardır. Litoloji, yapısal elemanlara uzaklık, uyumsuzluklar ve yamaçlar, eğim açısı, drenaj ağına olan uzaklık, topografik yükseklik, yamaç şekli, bakı, bitki örtüsü ve ana yolları içeren faktörler çalışmada heyelan duyarlılık haritası üretmek için kullanılmıştır. Analiz FULLSA adlı bir program ile gerçekleştirilmiş ve bulanık ilişkiler ortaya konulmuştur. Heyelan duyarlılık haritası sonucuna göre, %19.9'luk kısmı çok yüksek duyarlılık ve yüksek duyarlılık sınıflara karşılık gelmiştir. Türkiye'nin Kuzey Doğu'sunda yer alan Rize'nin Ardeşen ilçesinde Yalcın ve Bulut (2007), CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile Digital Fotogrametri Teknikleri (DPT) yardımıyla, Analytical Hierarchy Process (AHP) yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Çalışmada litoloji, bozunma, eğim, bakı, arazi örtüsü, makaslama dayanımı, akarsuya olan uzaklık, akış yoğunluğu ve yollardan uzaklık heyelanı belirleyen faktörler olarak seçilmiştir. Sonuçlara göre, çalışma alanının %28'lik kısmının heyelan tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir. Başka bir çalışma, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde Bartın ilinin 35 km Güney Doğusu'nda yer alan yaklaşık olarak 879.2 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplayan bir sahada Ercanoğlu vd. (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar çalışma alanına ait eğim açısı, bakı, topografik yükseklik, topografik şekil, su koşulları ve bitki örtüsü faktörlerini heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için belirlemişlerdir. AHP yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarını, alanda daha önce Yapay Sinir Ağ (YSA) yöntemiyle gerçekleştirilen bir diğer çalışma sonuçları ile karşılaştırmışlardır. AHP yönetimi sonuçlarının, YSA yöntemi sonuçları ile benzer olduğunu vurgulayarak, heyelan duyarlılık haritalarında AHP yönteminde başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, sonuçlar değerlendirildiğinde %73.2'lik kısmın çok yüksek duyarlılık alanına karşılık geldiği görülmüştür. Ercanoğlu ve Temiz (2011) Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi, Kastamonu ili içerisinde 570.625 km<sup>2</sup>'lik bir alanda Lojistik Regresyon ve Bulanık Mantık yaklaşımları kullanarak heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmişlerdir. Alana ait topografik yükseklik, litoloji, arazi kullanımı, eğim, bakı ve akarsulara olan uzaklık heyelan faktörleri seçilmiştir. Uygulanan iki yöntemle 18 adet heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Haritaların doğrulaması için ROC eğrileri ve kosinüs büyüklük yöntemi kullanılmıştır. Çalışmalar, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin heyelana etki eden hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler altında, heyelana karşı duyarlı bir bölge olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Gerçek dünyada karmaşık problemlerin çözümünde, klasik mantık yaklaşımını kullanmak yetersiz kalmaktadır. Heyelan olaylarının karmaşık yapısı belirsizlik ya da bulanıklık içeren bir düzene sahiptir. Bu bağlamda bulanık mantığın belirsizlik içeren kuralları (eğer-ise) heyelanların karmaşık yapısını çözümlenmede tercih edilmektedir. Çalışma alanında Raja vd. (2017) oluşturdukları heyelan duyarlılık haritasında kullandıkları yöntemin dışında, Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak yapılmış bir çalışma mevcut değildir. Bu sebeple, bulanık mantığın başarılı özellikleri ve literatürdeki heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yaygın kullanımı dikkate alınarak çalışmanın motivasyonu sağlanmıştır. Bu değerlendirmeler altında çalışmanın amacı, Trabzon, Akçaabat ilçesinde 21 Şubat 1950 yılında meydana gelen heyelan sonucu oluşmuş Sera Gölü çevresinin (a) heyelana neden olan faktörler altında (b) yapay zekâ tabanlı Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak (c) heyelan duyarlılık haritasını oluşturmaktır.

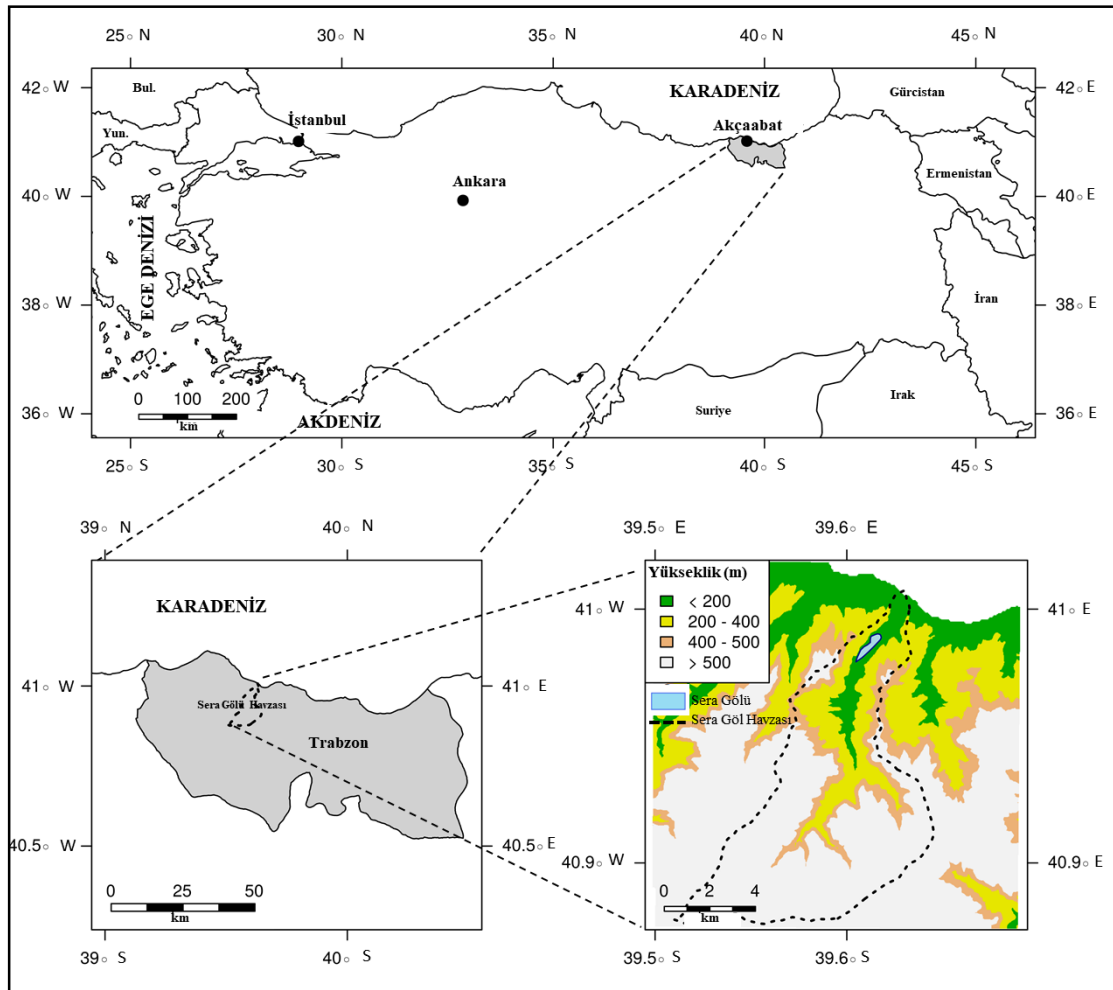
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Sera Gölü çanağı, Sera deresi vadisinin, Trabzon'un 8 km kadar batısında yer alan Sera köyünün 2.5 km güneyindeki Mavra tepesinin Sera deresine bakan yamacında meydana gelen bir heyelan sonucu oluşmuştur (Aktaran: Hoşgören, 1994:26). Doğu Karadeniz Bölümü'nde hâkim olan

suptropikal-okyanusal iklimin etkisiyle, fazla rutubet ve sıcaklık fiziki çözülme ve ayrışma, alanda andezit gibi rutubete karşı dayanıksız kayaların olması, o dönemlerin son 3-4 yılının fazla yağışlı geçmesi özellikle kış mevsiminin karlı ve günlerce havanın fön karakterinde olması gibi nedenler ana kaya ile teşekkülât arasındaki bağın gevşemesi ve kopmasına neden olmuştur (Beret, 1955).

Bu nedenlerle 21 Şubat 1950 tarihinde büyük çapta gerçekleşen kayma sonucu, 650 m uzunluğunda, 350 m eninde ve 130 m yükseklikte bir enkaz setti ortaya çıkmış, Sera deresinin derin yatağını doldurmuş ve mecrasını tıkamıştır (Beret, 1955). Sera deresinin tıkanması ve kapalı bir çanak oluşması sonucunda, çanakta sular birikmiş ve 4 km uzunluğunda, 150 m genişliğinde ve 55 m derinliğinde Sera heyelan set gölü oluşmuştur (Hoşgörün, 1994). Ayrıca gölde, ikisi küçük (5-10 m<sup>2</sup>), biri büyük (60 m<sup>2</sup>) olmak üzere üç adacık yer almaktadır (Güneroğlu ve Pektaş, 2022). Çalışma alanı, Sera Gölü çevresinde 73.75 km<sup>2</sup>lik bir alanı içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı ve topografyası

Alan Gölün içinde bulunduğu vadinin batı yamacındaki eğim şartları, doğu yamacına göre daha uygundur. Dolayısıyla yerleşmeler ve tarım alanları batı yamaçta yoğunlaşmıştır (Şekil 2).

Yerleşme alanlarının bir kısmı da kuzeyde heyelan kütleleri üzerinde yer almaktadır. Fındık bahçeleri, sebze bahçeleri ve seralar dikkat çekicidir. Sera Gölü, konumu, kültürel özellikleri, doğal güzellikleri, günü birlik rekreasyon alanı kullanımıyla turizm potansiyelinin yüksek olduğu bir yerdir (Çavuş, 2014; Gökler, 2021), (Şekil 3).

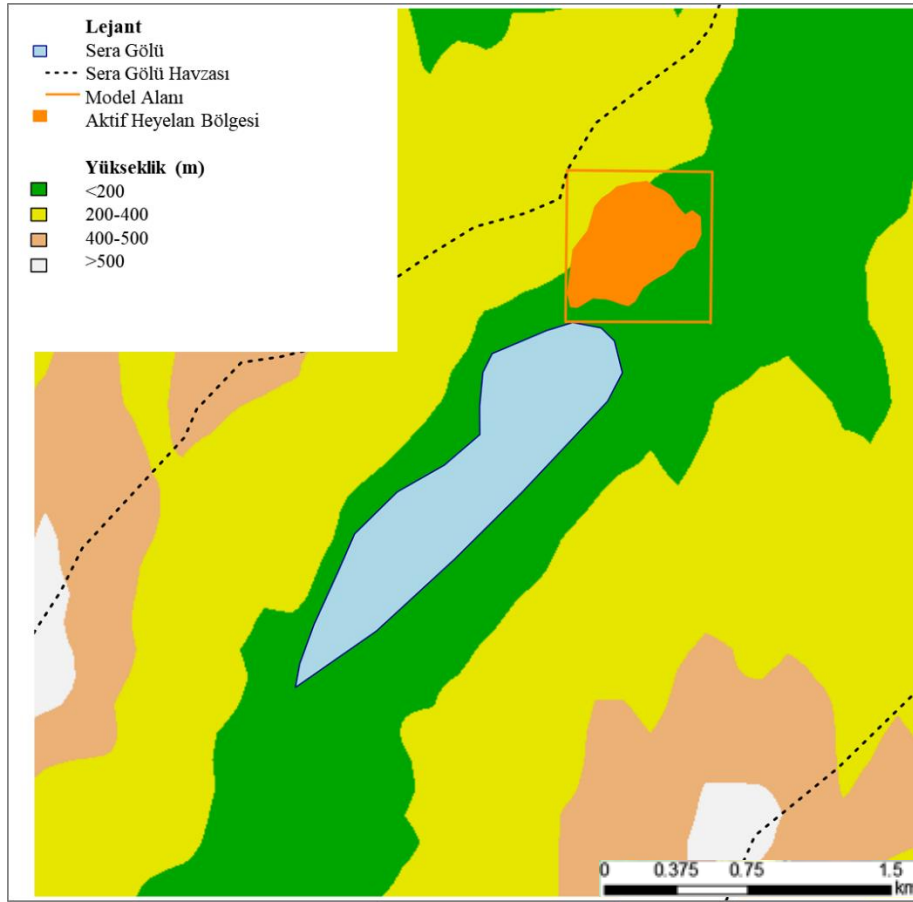


Şekil 2. Sera Gölü ve çevresindeki yerleşme alanları ve tarım alanları



Şekil 3. Sera Gölü'nde rekreasyon alanları

Son yıllarda kentlilerin, özellikle Arap turistlerin ilgi odağı olması, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yoğun kullanılmasına ve bu durum kapasitesinin üzerinde hizmet veren bir alan haline gelmesini sağlamıştır (Güneroğlu ve Pektaş, 2022). Sera Gölü'nün oluşmasına yol açan 1950 heyelanı olup, bu tarihten sonra heyelan faaliyeti sürekli olarak devam etmiştir. Sera Gölü ve çevresinde, tarım ve altyapı dönüşümünün sürekli devam etmesi heyelanların sıklığında artışa neden olmaktadır (Raja vd., 2017). Çalışma alanında aktif heyelan bölgesi, < 200 yükseklik alanına karşılık gelmektedir. Çevre alanı yüksekliği, 200-400 m'yi bulmaktadır. Model alanı, aktif heyelan bölgesinin bulunduğu yer olarak tayin edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Sera Gölü aktif heyelan alanı ve model alanı

## 2.2. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Heyelana neden olan faktörlerin belirlenmesi, heyelan duyarlılık haritası hazırlanmasında önemlidir. Heyelanların meydana gelmesine neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerin (Miccadei vd., 2022) etkisi değerlendirilerek ve çalışma alanı özellikleri dikkate alınarak eğim, bakı, göreceli rölyef, yamaç şekli, litoloji, nehire olan uzaklık ve topografik nemlilik indeksi faktörleri seçilmiştir. Bu faktörlerden eğim, heyelanların oluşumunu ve harekete geçen malzemenin hareket mesafesini kontrol etmesinden dolayı, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında önemli bir girdi parametresidir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Gómez ve Kavzoğlu, 2005; Demir, 2011). Ayrıca, güneş radyasyonu, aydınlatma süreci, sıcaklık, yağış ve rüzgâr hızı eğim açalarına göre farklılık göstermektedir (Zhao vd., 2022). Bakı, heyelanların belli yönelime sahip yamaçlarda yoğunlaşması, alanın morfolojik eğilimi, yağış yönü ve güneş ışığına maruziyet gibi olaylar ile ilişkilidir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Farklı yönlere bakan yamaçların yağış, güneş ışığı, donma-çözülme vb. gibi atmosferik olaylardan etkilenme koşulları farklı olduğundan bakı, heyelan çalışmalarında göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir (Demir, 2011). Yamaçlarda gözlemlenen topografik düzensizlikler gerilim dağılımını olumsuz yönde etkilemekte ve duyarsızlıkların gelişmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple, yamaç şekli heyelan duyarlılığı analizlerinde önemli faktörlerden bir diğeridir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Bir, 2023). Bunlardan başka heyelan çalışmalarında, yükseklikle ilişkili olarak kullanılan bir parametre de göreceli rölyeftir. Bir bölgedeki en yüksek ve düşük noktalar arasındaki, yükseklik aralığını göstermektedir. Rölyef arttıkça heyelan duyarlılığı artmaktadır. Litoloji, malzemelerin dayanım, geçirimsizlik, sertlik gibi birçok özelliği ile doğrudan ilişkilidir (Demir, 2011). Litolojik farklılıkların gözlemlendiği bölgelerde heyelanlar daha çok meydana geldiğinden, kayaç sınırlarının ve genel dağılımlarının belirlenmesi gerekir (Ayalew ve

Yamagishi, 2005). Bir (2023) heyelan duyarlılığının, her bir litolojik birimde farklılık göstereceğini belirtmiştir. Bu sebeple, heyelan duyarlılık haritaların hazırlanmasında kullanılan en önemli girdilerden biri, çalışma alanına ait litolojik özelliklerdir (Zhao vd., 2022). Ayrıca, Sera Gölü'nün bağlantısı olan Sera Nehri'nin çalışma alanı içerisinde yer alması, nehre olan mesafe parametresinin heyelan duyarlılık haritası oluşturmada dikkate alınmasını gerekli kılmıştır. Çalışmada, Sera Gölü'nün bağlantısı olan Sera Nehri'ne olan mesafesi belirlenmiştir. Son olarak, heyelana yönelik çalışmalarda sıkça kullanılan topografik nemlilik indeksi, çalışma alanına uygun şekilde tanımlanmıştır. Topografik nemlilik indeksi, suya doygunluk veya su tutma kapasitesinin belirlenmesini sağlamaktadır (Aydınoglu ve Altürk, 2021). Düz ve yatay arazilerde daha yüksek, dik ve ayrık arazilerde daha düşük değerler göstermektedir (Timilsina vd., 2014).

Çalışmada kullanılan 1:25.000 ölçekli topografik haritalar, Harita Genel Komutanlığı'ndan ve 1:100.000 ölçekli jeoloji haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Jeoloji haritası sayısallaştırılarak çalışma alanının litolojik birimleri çıkarılmıştır. Topografik haritalarda eş yükselti eğrileri 10 m'de sayısallaştırılmış, vektör veri formatında olduğundan bu sayısal topografik veriler kullanılarak, hücre boyutu 25m x 25m olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. Elde edilen SYM'den eğim, bakı, yamaç şekli ve topografik nemlilik indeksi hesaplanmıştır. Tüm bu işlemlerin uygulanmasında ArcGIS 10.1 programından, heyelan analizleri için R 3.2 istatistik programında frbs modülünden faydalanılmıştır.

### 2.3. Bulanık Mantık Yöntemi

Yapay zekâ tabanlı yöntemlerden biri olan Bulanık Mantık, klasik mantık (0 veya 1) sistemine karşı geliştirilmiş bir yöntemdir. Değişkenlere üyelik dereceleri tayin ederek, olayların hangi oranda gerçekleştiğini belirleyen çoklu mantık sistemidir. Kısaca, bulanık mantık klasik mantığın karmaşık problemleri çözmede yeterli olmadığı durumlar için geliştirilmiştir (Akçay, 2003). Klasik mantıkta bir ifade yanlışa "0" değerini, doğruysa "1" değerini alır. Bulanık mantıkta bir ifade, 0 ve 1 arasında değerler alabilir (Khalig ve Ahmad, 2010; Özdemir ve Kalıncara, 2020). Örneğin; bir fotoğrafın modeli oluşturulmak istendiğinde klasik mantığa göre ya güzel ya da çirkin olarak ifade edilir. Klasik mantık yaklaşımına göre, kümenin elamanı ya da elamanı değildir. Örnekte olduğu gibi güzel ve çirkinin arası yoktur. Ancak, Bulanık Mantık yaklaşımında güzel ve çirkin arasında değer alabilir. Çok güzelden, çok çirkinine doğru geçiş oluşturulabilir. Kümenin üyelik derecesi olarak belirtilen değer ölçüsünde kümeye ait ya da değildir. Çok az güzel, az güzel, orta güzel, güzel, çok güzel şeklinde sözel terimler kullanılarak dereceli modelleme yapılmasına olanak sağlar. Böylece, olayların belirsizliklerinin modellenmesinde daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi sağlanabilir (Ateş, 2021). Sayısal değişkenlerin yerine, sözel değişkenlerin kullanılması bulanık mantığı klasik mantıktan ayıran önemli bir özelliktir. Bulanık Mantık, dayandığı matematiksel teoremin basit olması, doğal olması ve işlemler sırasında günlük konuşma dilinin kullanılması, eksik ve yetersiz bilgilerle işlemler yapabilmesi, karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonları modelleyebilmesi ve başka yöntemlerle birlikte kullanılarak bulanık modeller oluşturabilmesi, uzmanların görüşlerinin modele dâhil edilebilmesi ve sayısal olmayan bu verilerle işlem yapılabilmesi gibi nedenlerden, karmaşık sistemlerin veya problemlerin çözümünde tercih edilen bir yöntemdir (Yılmaz ve Arslan, 2005). Belirsizlik ile ilgilenen ve bu belirsizliği modellemeye çalışan Bulanık Mantık ilk defa Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Belirsizlik, Zadeh (1965) tarafından "bulanık mantık" olarak adlandırılmıştır. Bir olaydaki belirsiz veya kesin olmayan ifade "bulanıklık" olarak tanımlanmaktadır (Zadeh ve Kacprzyk, 1992). Bulanık modelin temeli "eğer-ise" biçimindeki bulanık kurallardan oluşur. Bunlar bulanık sistemin en önemli kurallarıdır. Genel olarak bulanık kuralların formları;

*Kural 1: Eğer  $x = A_1$  ve  $y = B_1$  ise  $z = N_1$*

*Kural 2:  $x = A_2$  ve  $y = B_2$  ise  $z = N_2$*

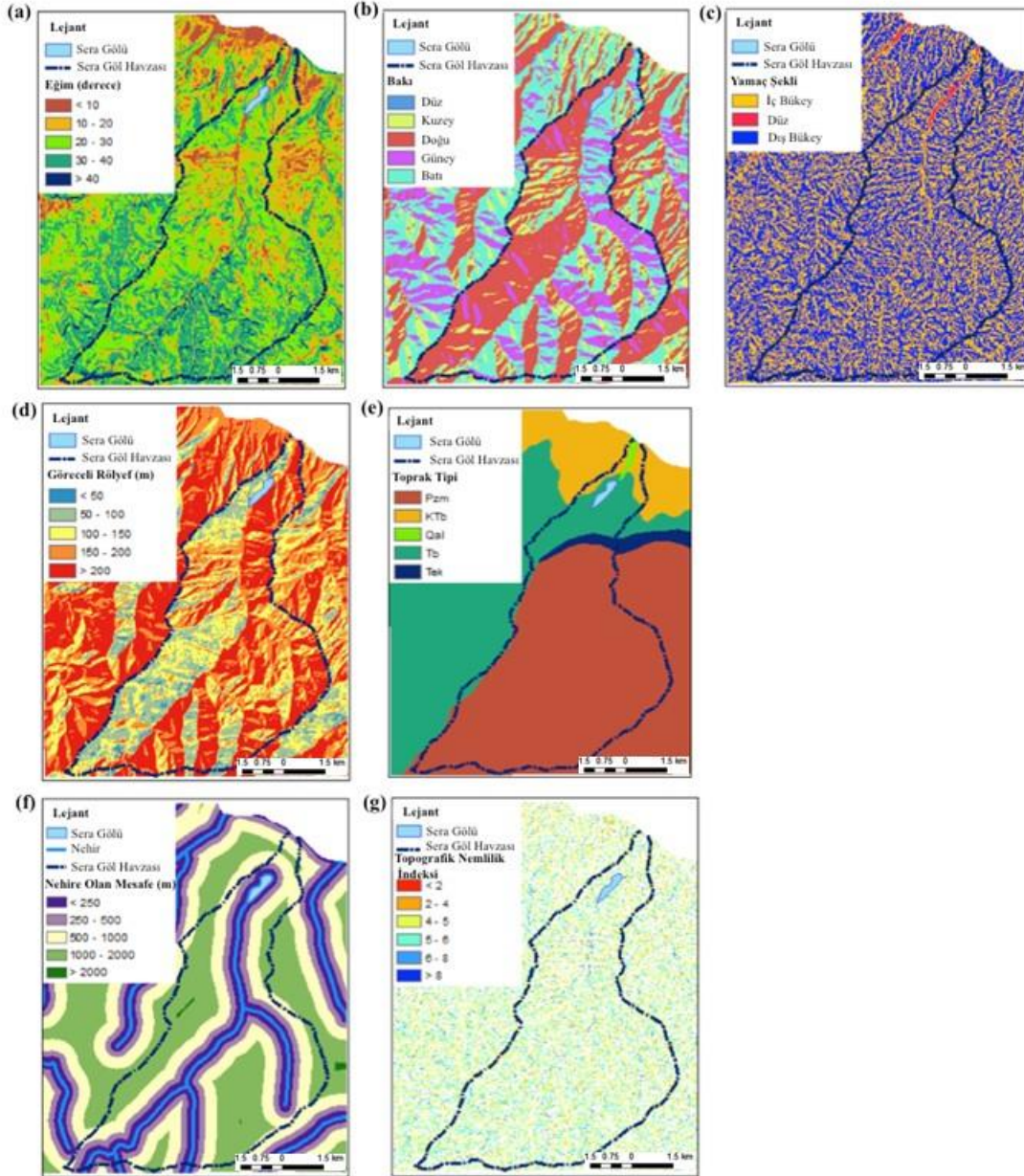
şeklinde ifade edilmektedir (Yılmaz ve Arslan, 2005; Khalig ve Ahmad, 2010). Burada  $x$  ve  $y$  girdi değişkenlerini,  $z$  çıktı değişkenini oluşturmaktadır. Her bir kural, sistemin çıktısı ile ilgili

varsayımları ifade eder (Şen, 2001). Bulanık sistemler, Bulanıklaştırıcı, Çıkarsama, Durulaştırma aşamalarından oluşmaktadır. Sistemde, bulanıklaştırma aşaması girdi değerlerinin bulanık değerlere dönüştürdüğü aşama olarak bilinir. Girdi değerleri için olan belirsizlik belirlenir. Yapılan işlem, girdi değerlerinin sözel olarak tanımlanarak daha önceden belirlenen üyelik fonksiyonlarından hangisine ve ne derecede (üyelik derecesi) atanacağıdır. Girişler bulanıklaştırıldıktan sonra, kurallar aşaması ile sistemin yapısına göre kural tabanı belirlenmektedir. Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki "eğer-ise" kuralları kullanılarak sağlanmaktadır (Ödük, 2019). Sistemi oluşturan çıkarsama aşaması girdi ve çıktı değişkenlerinin eşleştirildiği yani bilginin işlendiği süreçtir. Bu aşamada her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümeler birleştirilmektedir. Sistemin son aşamasını Durulaştırma oluşturmaktadır. Durulaştırma aşaması, bulanık değerlerin gerçek değerlere dönüştürüldüğü bölümdür. Gerçek dünya problemlerinde bulanık değerler yoktur. Bu sebeple, sistemin ilk aşamasında gerçekleştirilen bulanıklaştırma işlemi bu aşama ile tersine çevrilerek durulaştırma işlemi yapılmaktadır. Bu aşamanın gerçekleşmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu aşamada önemli olan doğru durulaştırma yöntemini seçmektir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karadeniz Bölgesi şiddetli yağış olaylarının sık rastlandığı bir bölgedir. 1975–2010 yıllık ortalama toplam yağış miktarına göre, yüksek yağış değerlerine karşılık gelen alanlar bu bölgeyi oluşturmaktadır (Aydın ve Çiçek, 2015). Bu sebeple, yağış heyelanların oluşmasını etkileyen çevresel faktörler arasında ana tetikleyici faktör olarak bilinir. Bölgenin kuzeydoğusunda yer alan Trabzon ili, fazla yağış alan illerden biri olup, tüm mevsimler yağışlıdır (Türkeş, 2021). Yıllık ortalama toplam yağış değeri 820 mm'dir (MGM, 2018). Yağışın ana etken olduğu ilin, sahip olduğu yüksek ve eğimli topografyası da, heyelanların oluşum sıklığını arttırmaktadır (Bayrak ve Ulukavak, 2009). AFAD (2020)'de ilde, 1950–2019 tarihleri arasında 1673 heyelanın kayıtlara geçtiğini ve yılda ortalama 24 heyelanın meydana geldiğini belirtmiştir. Çalışma alanı için yağış önemli bir etken olmasına rağmen, oluşturulan yağış haritası homojen bir dağılım gösterdiğinden, Bulanık Mantık hesaplamasında topografik nemlilik indeksi faktörü kullanılmıştır. Ayrıca, bölgede yerleşim alanı ve tarım alanı bakımından arazi kullanımı sürekli değişim göstermektedir. Bölgeye ait arazi kullanım değişikliğindeki bu dönüşümler doğru bir arazi kullanım haritasının mevcudiyetini engellediğinden bu parametre de değerlendirmeye alınmamıştır. Çalışmada heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, eğim, baki, yamaç şekli, göreceli rölyef, litoloji, nehre olan uzaklık, topografik nemlilik indeksi çalışma alanı göz önünde bulundurularak düzenlenmiştir. Çalışmada kullanılan eğim değerleri,  $< 10^\circ$ ,  $10^\circ - 20^\circ$ ,  $20^\circ - 30^\circ$ ,  $30^\circ - 40^\circ$ ,  $> 40^\circ$  olarak 5 eğim sınıfına, baki değerleri, Düz  $-1^\circ$ , Kuzey  $0^\circ - 45^\circ/315^\circ - 360^\circ$ , Doğu  $45^\circ - 135^\circ$ , Güney  $135^\circ - 225^\circ$ , Batı  $225^\circ - 315^\circ$  olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 5a, Şekil 5b). Yamaç şekli,  $< 0$  İçbükey,  $0$  Düz,  $> 0$  Dışbükey olacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 5c). Bundan başka, göreceli rölyef,  $< 50$ ,  $50 - 100$ ,  $150 - 200$ ,  $> 200$  m şeklinde 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 5d). Çalışma alanı litolojik özellikleri bakımından 5 grupta toparlanmıştır (Şekil 5e). Tablo 1, çalışma alanına ait litolojik birimleri ve özellikleri göstermektedir. Nehire olan mesafe  $< 250$ ,  $250 - 500$ ,  $500 - 1000$ ,  $1000 - 2000$ ,  $> 2000$  olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 5f). Son olarak, çalışmada topografik nemlilik indeksi, 1 – 10 aralığında normalize edilmiştir. 1 en düşük değeri, 10 en yüksek değeri temsil etmektedir. Buna göre,  $< 2$ ,  $2 - 4$ ,  $4 - 5$ ,  $5 - 6$ ,  $6 - 8$  ve  $> 8$  olmak üzere 6 sınıfta toplanmıştır (Şekil 5g).





Şekil 5. Çalışmada kullanılan heyelan faktörleri, (a) eğim; (b) baki; (c) yamaç şekli; (d) göreceli rölyef; (e) litoloji; (f) nehire olan mesafe; (g) topografik nemlilik indeksi

Tablo 1. Çalışma Alanına Ait Litolojik Birimleri ve Özellikleri (Raja vd., 2017)

Litolojik alan	Yaş	Kayaş formasyonu	Açıklama
1. Qal	Quaterner	Alüvyon	Çakıl, kum, kil
2. Tb	Pliyosen	Beşirli formasyonu	Kumtaşı, çamurtaşı, konglomera, bazalt, aglomera
3. Tek	Eosen	Kabaköy formasyonu	Andezit, bazalt ve piroklastikleri, kumlu kireçtaşı, tuf
4. KTb	Paleosen-Alt Eosen	Bakırköy formasyonu	Kumtaşı, marn, şeyl, killi kireçtaşı, tuf
5. Pzm	Paleozoik	Metamorfik kayalar	Gnays, mika, şist, klorit şist

Çalışmada, hazırlanan tüm girdi verileri 0 ve 1 arasında olacak şekilde standardize edilmiştir. Bulanık Mantık algoritması 0 değerini kabul etmediği için heyelana duyarlı olan alanlar 2 olarak, heyelana duyarlı olmayan alanlar 1 şeklinde tanımlanmıştır. Bulanık Mantık yöntemi için frbs

içinde sınıflandırma yöntemini temel alan FRBCS.CHI:Fuzzy Rule-Based Classification Systems yöntemi kullanılmıştır (Chi vd., 1996). Çalışmada heyelana neden olan faktörlerden litoloji değişkeni hariç diğer tüm değişkenler, sürekli değişken olarak sisteme girilmiştir. Tüm altlıklar algoritma ile otomatik olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada kullanılan algoritma parametrelerinden, etiket sayısı (number of labels, linguistic terms), 11; işlem türü (type of membership function, Gaussian; iletim operatörü tipi (type of conjunction operator, t-normal), min (standart tip); uygulama işlevi türü (type of implication function) ve son olarak maksimum yineleme sayısı (maximum number of iterations) 100 belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veri setinin %75'i öğrenme veri seti olarak, %25'i test veri seti olarak ikiye ayrılmıştır. Öğrenme veri seti kullanılarak oluşturulan Bulanık Mantık modelinde 29.917 nokta heyelan olan alanları, 32.439 nokta heyelan olmayan alanları temsil etmiştir. Test verisi kullanılarak modelin doğruluk analizi yapılmıştır. Oluşturulan Bulanık Mantık modelinin performans sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.  $R^2$  değerine göre modelin %67'si açıklanmıştır. RMSE ve MAE sonuçları "0" değerine yakın bir değerde çıkmıştır. Hesaplamalardaki sınırlamalar söz konusu olsa da heyelan duyarlılık hakkında kabul edilebilir sonuçlar vermiş ve heyelan duyarlılık haritasının performans sonuçları yeteri kadar yüksek çıkmıştır. Şekil 6, Bulanık Mantık analizi sonucu oluşturulan heyelan duyarlılık haritasını göstermektedir. Yeşil renk ile gözlenen alanlar heyelana karşı duyarlı alanları temsil etmektedir. Heyelana duyarlı alanlar çalışma alanının %48'lik bölümünü oluşturmaktadır. Bu alanlar genellikle nehre yakın olan yerlerde yoğunlaşmıştır. Bu alanların duyarlı sonuç vermesi nehre yakınlığın, heyelan duyarlılığını arttıran önemli bir etken olmasından kaynaklanmaktadır (Bir, 2023). Benzer şekilde, Sera Nehri'nin batı ve kuzey kesimleri heyelana karşı daha duyarlı olduğu alanlar içerisinde yer almaktadır. Raja vd. (2017) aynı çalışma sahasında Sera Nehri'nin batı ve kuzey kıyılarının, doğu ve güney kıyılarıyla karşılaştırıldığında heyelanlara karşı daha duyarlı olduğunu görmüşlerdir. Heyelana duyarlı alanların nehrin etrafında daha lokalize olduğu ve nehirden uzaklaştıkça en düşük heyelan duyarlılığı gösteren alanların yoğunlaştığını izlemişlerdir (Raja vd., 2017). Ayrıca, heyelana duyarlı alanların, haritada Tb, Tek ve Pzm litoloji alanlarına denk geldiği gözlenmektedir. Trabzon ilinin zemin yapısı heyelanların oluşmasında önemlidir (Bayrak ve Ulukavak, 2009). Lav ve tüf aglomeralar alanın en yaygın kayaç topluluğunu oluşturmakta (Akçalı, 2011), lav ve tüflerin yarık ve çatlaklarına yağış alması, sıcak ve nemli oluşu kayaçların kolay ayrışmasını sağlamaktadır (Bayrak ve Ulukavak, 2009). Raja vd. (2017) çalışma alanının sahip olduğu litolojik özelliklerinin, batı ve kuzey kıyılarının heyelana karşı daha duyarlı olmasıyla ilişkilendirmişlerdir.

Tablo 2. %25 Test Verisi Kullanılarak Hesaplanan Bulanık Mantık Modelinin Performans Sonuçları

RMSE	$R^2$	MAE
0.30	0.67	0.09

Bu yöntemi kullanan Ercanoğlu ve Gokceoğlu (2002)'da çalışmalarında Bulanık Mantık yönteminin performansı ile tatmin edici sonuçlar bulduklarını açıklamışlardır. Ayrıca, haritada belirlenen bölgelerin bağıl duyarlılık bölgeleri ile eşleştiğini belirtmişlerdir. Ercanoğlu ve Temiz (2011) Lojistik Regresyon ve Bulanık Mantık yaklaşımları kullanarak oluşturdukları heyelan duyarlılık analiz sonuçları değerlendirildiğinde, Bulanık Mantık gamma operatörü 0.975 seviyesi ile en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Benzer sonuç, Pradhan vd. (2009) tarafından gerçekleştirdikleri analiz sonucunda da çıkmıştır. Bulanık Mantık gamma operatörünün %80 değeri ile en iyi doğruluğu gösterdiği sonucuna varmışlardır. Aksoy ve Ercanoğlu (2012) ve Dhianaufal vd. (2018) heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan Bulanık Mantık yöntemini kullanışlı bulmuşlardır. Ayrıca, Dhianaufal vd. (2018) Bulanık Mantık yönteminin verilerin yetersiz olduğu durumlarda uygulanabilmesinin önemine değinmişlerdir.



Şekil 6. Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritası

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma için 1950 yılında meydana gelen tek bir heyelandan yola çıkılarak, Trabzon, Akçaabat ilçesi, Sera Gölü çevresinin heyelan duyarlılık haritası, Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Literatür ve çalışma alanının özellikleri değerlendirilerek, heyelanın oluşmasına etki eden faktörlerden eğim, bakı, göreceli rölyef, yamaç şekli, litoloji, nehire olan uzaklık, topografik nemlilik indeksi seçilmiştir. Analiz sonucunda oluşturulan modelin performans değerleri, kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Heyelana duyarlı alanlar, çalışma alanının %48'lik kısmıyla, nehire yakın olan yerlerde yoğunlaşmıştır. Nehrin batı ve kuzey kesimleri, heyelana karşı daha duyarlı olduğu alanlar içerisinde yer almaktadır. Buna karşın heyelan duyarlılığı düşük alanlar, nehirden daha uzak alanlarda gözlenmekte, dağınık ve nispeten az bir alanı kaplamaktadır. Ayrıca, alanın litolojik özellikleri ile heyelana duyarlı alanlar birbirleri ile örtüşmektedir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de heyelanlar en tehlikeli doğal afetler arasında yer almaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin pek çok yerinde olduğu gibi, Sera Nehri Havzası'nda şiddetli yağış, eğim, ana kayanın ayrışması gibi doğal nedenler ve dik, düzgün olmayan kesim yamaçları, iyi kontrol edilemeyen yüzey drenajı, kontrolsüz yerleşim ve tarımsal faaliyetler gibi yapay nedenler heyelanların sık sık ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Heyelanlar sonucu oluşan ciddi kayıplar düşünüldüğünde, heyelan riskinin yüksek olduğu alanlar için heyelan duyarlılık haritaları, heyelanların yönetimsel, sosyal ve ekonomik faaliyetlerinde gerçekleşen olumsuz

sonuçlarına karşı gerekli önlemler almak ve ileriye yönelik düzenleyici bir planlama politikası yapabilmek açısından önem arz etmektedir. Böylece, heyelanların olumsuz etkilerin en az düzeye indirmek mümkün hale gelecektir. Bulanık Mantık gibi yapay zekâ tabanlı yaklaşımların kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları, ülke geneli güvenilir bir heyelan veri tabanının oluşmasını sağlayacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, 20–22 Haziran 2019 tarihinde düzenlenen 1. Uluslararası İstanbul Coğrafya Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

### **KAYNAKLAR**

Abdi, A., Bouamrane, A., Karech, T., Dahri, N., Kaouachi, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using GIS-based fuzzy logic and the analytical hierarchical processes approach: A case study in Constantine (North-East Algeria). *Geotechnical and Geological Engineering*, 39, 5675–5691. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01855-3>

AFAD. (2020). Afet yönetimi kapsamında 2019 yılına bakış ve doğa kaynaklı olay istatistikleri. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, [https://afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e\\_Kutuphane/Kurumsal-Raporlar/2019yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf](https://afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Kurumsal-Raporlar/2019yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf) (Son Erişim: 11.04.2024)

Akçalı, E. (2011). Heyelan yağış ilişkisinin modellenmesi ve analizi: Trabzon ili örneği. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Akçay, C. (2003). İnşaat mühendisliğinde fuzzy logic uygulama örnekleri. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi

Aksoy, B., Ercanoğlu, M. (2012). Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey). *Computers & Geosciences*, 38, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.05.010>

Althuwaynee, F. O., Pradhan, B., Park, H., Lee J. H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114, 21–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.011>

Ateş, E. C. (2021). Bulanık mantık (fuzzy logic). İçinde: Akdemir, N., Tuncer, C. O. (ed) Siber ansiklopedi: siber ortama çok disiplinli bir yaklaşım, Pegem Akademi Yayıncılık, Ankara, pp. 73–77

Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains Central Japan. *Geomorphology*, 65(1–2), 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>

Aydınoglu, A. Ç., Altürk, G. (2021). Heyelan duyarlılık haritalarının istatistik ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak üretilmesi: Taşlıdere Havzası örneği (Rize). *Coğrafya Dergisi*, 43, 159–176. <https://doi.org/10.26650/GEOG2021-814561>

Aydın, O., Çiçek, İ. (2015). Geostatistical interpolation of precipitation in Turkey. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken

Bahrami, Y., Hassani, H., Maghsoudi, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using AHP and fuzzy methods in the Gilan province, Iran. *GeoJournal*, 86, 1797–1816. <https://doi.org/10.1007/s1062-y>

Bayrak, T., Ulukavak, M. (2009). Trabzon heyelanları. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(2), 20–30. e-ISSN: 1309-3983

Beret, B. (1955). Sera Heyelanı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 13-14, 155-160. <https://doi.org/10.17211/tcd.52826>

Bir, B. N. (2023). Sakarya ili heyelan duyarlılık haritalandırması ve risk değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O. B. (2012). Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. *Catena*, 96, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.001>

Chaudhary, M. T., Piracha, A. (2021). Natural disasters—origins, impacts, management. *Encyclopedia*, 1, 1101-1131. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1040084>

Chi, Z., Yan, H., Pham, T. (1996). Fuzzy algorithms: With applications to image processing and pattern recognition. World Scientific, Singapore <https://doi.org/10.1142/3132>

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27-29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>

Çavuş, A. (2014). Trabzon'da doğa turizmi açısından değerlendirilmesi gereken turistik bir alan: Sera Gölü. *Türk Coğrafya Dergisi*, 64, 43-50. <https://doi.org/10.17211/tcd.45471>

Dalkes, M., Korkmaz, M. S. (2023). Analitik hiyerarşi süreci ve frekans oranı yöntemlerinin heyelan duyarlılık analizinde karşılaştırılması: Trabzon ili Akçaabat ve Düzköy ilçeleri örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 16-38. <https://doi.org/10.21324/dacd.1105000>

Demir, G. (2011). Kuzey Anadolu Fayı üzerinde Niksar-Suşehri arasındaki alanın CBS tabanlı heyelan duyarlılık analizi. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi

Dhianaufal, D., Kristyanto, T. H. W., Indra, T. L., Syahputra, R. (2018). Fuzzy logic method for landslide susceptibility mapping in volcanic sediment area in Western Bogor. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 020190. <https://doi.org/10.1063/1.5064187>

Ercanoğlu, M., Gokceoğlu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (North of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720-730. <https://doi.org/10.1007/s00254-001-0454-2>

Ercanoğlu, M., Gokceoğlu, C. (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3-4), 229-250. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.06.001>

Ercanoğlu, M., Kasmer, O., Temiz, N. (2008). Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 565-578. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0170-1>

Ercanoğlu, M., Temiz, A. F. (2011). Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). *Environmental Earth Science*, 64(4), 949-964. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0912-4>

Erener, A., Mutlu, A., Duzgun, S. H. (2015). 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. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.09.007>

Feizizadeh, B., Roodposhti S. M., Jankowski, P., Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers&Geosciences*, 73, 208-221 <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.08.001>

Gómez, H., Kavzoğlu, T. (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78(1-2), 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.004>

Gökler, L. A. (2021). Foreign demand and high-rise luxury housing projects in two Turkish cities: Ankara and Trabzon. *Land Use Policy*, 103, 105318. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105318>

Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189-206

Güneroğlu, N., Pektaş, S. (2022). Sera Gölü Tabiat Parkı'nın kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9, 124-132. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1091159>

Hoşgören, M. Y. (1994). Türkiye'nin gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 19-51. <https://doi.org/10.17211/tcd.70549>

Khalig, A., Ahmad, A. (2010). Fuzzy logic and approximate reasoning. Degree of Master of Sciences in Mathematical Modelling and Simulation. Blenkinge Institute of Technology

Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans oranı metodu ve Bayesyen olasılık modeli kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 20(1), 138-154. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.658662>

Klai, A., Katlane, R., Haddah, R., Rabia, M. C. (2024). Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and fuzzy logic approach: a case study of Mogods and Hedil (Northern Tunisia). *Applied Geomatics*, 16, 91-109. <https://doi.org/10.1007/s12518-023-00544-5>

Kouhpeima, A. S., Feyznia, S., Ahmadi, H., Moghadamnia, A. R. (2017). Landslide susceptibility mapping using logistic regression analysis in Latyan catchment. *Desert*, 22(1), 85-95. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2017.62181>

MGM (Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü). (2019). 2018 yılı iklim değerlendirmesi. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2018-iklim-raporu.pdf> (Son erişim: 11.04.2024)

Miccadei, E., Carabella, C., Paglia, G. (2022). Landslide hazard and environment risk assessment. *Landslide Hazard and Environment Risk Assessment*, 11(3), 428. <https://doi.org/10.3390/land11030428>

Noorollahi, Y., Sadeghi, S., Yousefi, H., Nohegar, A. (2018). Landslide modelling and susceptibility mapping using AHP and fuzzy approaches. *International Journal of Hydrology*, 2(2), 137-148. <https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00063>

Okoli, J., Nahazanan, H., Nahas, F., Kalantar, B., Shafri, H. Z. M., Khuzaimah, Z. (2023). High resolution lidar-derived DEM for landslide susceptibility assessment using AHP and fuzzy logic in Serdand, Malasia. *Geosciences*, 13(2), 1-34. <https://doi.org/10.3390/geosciences13020034>

Ödük, M. N. (2019). Bulanık mantık yöntemi ve uygulamaları. Iksad Publications. ISBN: 978-625-7029-11-7

Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40(10), 927-930. <http://doi.org/10.1130/G33217.1>

Özdemir, O., Kalinkara, Y. (2020). Bulanık mantık: 2000-2020 yılları arası tez ve makale çalışmalarına yönelik bir içerik analizi. *ActaInfologica*, 4(2), 155-174. <http://doi.org/10.26650/acin.762872>

Pourghasemi, R. H., Pradhan, B., Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *National Hazards*, 63, 965-996. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-012-0217-2>

Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M. F. (2009). Use of geospatial data and fuzzy algebraic operators to landslide-hazard mapping. *Applied Geomatics*, 1, 3-5. <https://doi.org/10.1007/s12518-009-0001-5>

- Pradhan, B. (2011). Use of GIS-based fuzzy logic relations and its cross application to produce landslide susceptibility maps in three test areas in Malaysia. *Environmental Earth Science*, 63, 329–349. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0705-1>
- Pradhan, A. M. S., Kim, Y. T. (2016). Evaluation of a combined spatial multi-criteria evaluation model and deterministic model for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 140, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.022>
- Raja, N. B., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., Aydın, O., Kawasaki, A. (2017). Landslide susceptibility mapping of the Sera river basin using logistic regression model. *Natural Hazards*, 85(3), 1323–1346. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2591-7>
- Rostami, Z. A., Al-modaresi, S. A., Fathizad, H., Faramarzi, M. (2016). Landslide susceptibility mapping by using fuzzy logic: a case study of Chamgardalan cathment, Ilam, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(685), 1–11. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-016-2720-3>
- Saha, S., Ray J., Pradhan, B., Hembram, T.K. (2021). Hybrid ensemble machine learning approaches for landslides susceptibility mapping using different sampling ratios at East Sikkim Himalayan, India. *Advances in Space Research*, 68(7), 2819–2840. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2021.05.018>
- Şahin, E. K. (2018). Heyelan duyarlılık haritası için adimsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Dergisi*, 159, 1–15. ISSN: 1300-5790
- Şen, Z. (2001). Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri. 2. Baskı. Bilge Sanat Yapım Evi, İstanbul
- Süzen, L. M., Doyuran, V. (2004). A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: Multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 45, 665–679. <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-003-0917-8>
- Taş, M. A., Şenol, C., Yanık, M. E. (2024). Analitik hiyerarşi süreci (AHS) metodu ile Of ilçesi'nde (Trabzon) heyelan risk duyarlılığı analizi. *Afet ve Risk Dergisi*, 7(1), 279–302. <https://doi.org/10.35341/afet.1361149>
- Timilsina, M., Bhandary, N. P., Dahal, R. K., Yatabe, R. (2014). Distribution probability of large-scale landslides in Central Nepal. *Geomorphology*, 226, 236–248. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.05.031>
- Turner, A. K. (2018). Social and environmental impacts of landslides. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(70), 1–253. <https://doi.org/10.1007/S41062-018-0175-y>
- Türkeş, M. (2021). Genel klimatoloji-atmosfer, hava ve iklimin temelleri. Kriter Yayınevi, İstanbul
- Vega, J. H. C. (2023). Comparison study of a landslide event hazard mapping using a multi-approach of fuzzy logic, TRIGRS model and support vector machine in a data-scarce Andes Mountain region. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(527), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11627-3>
- Yalcin, A., Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: A case study from Ardesen (NE-Turkey). *National Hazards*, 41, 201–226. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-006-9030-0>
- Yesilnacar, E., Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3–4), 251–266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.02.002>
- Yılmaz, M., Arslan, E. (2005). Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Zadeh, L. H., Janusz, K. (1992). Fuzzy logic for the management of uncertainty. John Wiley&Sons, Inc., New York.

Zhang, G., Cai, Y., Zheng, Z., Zhen, J., Liu, Y., Huang, K. (2016). Integration of the Statistical Index Method and the Analytic Hierarchy Process technique for the assessment of landslide susceptibility in Huizhou, China. *Catena*, 142, 233–244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.028>

Zhang, Y., Zhang, J., Dong, L. (2023). Fuzzy logic regional landslide susceptibility multi-field information map representation analysis method constrained by spatial characteristics of mining factors in mining areas. *Processes*, 11(985), 1–33. <http://doi.org/10.3390/pr11040985>

Zhao, B., Zhu, J., Hu, Y., Liu, Q., Liu, Y. (2022). Mapping landslide sensitivity based on machine learning: A case study in Ankang City, Shaanxi province, China. *Geofluids*, 2022, 1–32. <https://doi.org/10.1155/2022/2058442>