

## COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP) YÖNTEMİ KULLANILARAK EZİNE ÇAYI HAVZASI'NIN (BOZKURT/KASTAMONU) HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Yüksek Lisans Öğrencisi YASEMİN ŞENGÜR<sup>1</sup>, Doç. Dr. LEVENT UNCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı,  
[yasmin.sengur@gmail.com](mailto:yasmin.sengur@gmail.com) – ORCID: 0009-0007-0954-8979

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Anabilim Dalı,  
[levent.uncu@bilecik.edu.tr](mailto:levent.uncu@bilecik.edu.tr) – ORCID: 0009-0002-3908-1157

### Özet

Türkiye toprakları fiziki coğrafya özellikleri (jeolojik, jeomorfolojik, iklimik, hidrolojik, bitki örtüsü ve toprak) ve beşerî etkenler nedeniyle sık rastlanılan bir doğal afet olan heyelan olaylarına müsait bölgelere sahiptir. Özellikle, Karadeniz Bölgesinde heyelanlar sıklıkla yaşanan doğal afetlerin başında gelmektedir. Son yıllarda ülkemizde heyelan afeti zararlarının en aza indirmek amacıyla farklı yöntemler kullanılarak havza bazında duyarlılık haritaları üretilmiştir. En sık ve popüler olarak kullanılan yöntemlerden biri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'dir. Bu çalışmada Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz Bölümünde yer alan Kastamonu ili, Bozkurt ilçesinde bulunan ve toplam alanı 375,5 km<sup>2</sup> olan Ezine Çayı Havzası'nın heyelan duyarlılığı CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çalışmada çeşitli kurumlardan elde edilen farklı verilerden yararlanılmıştır. Heyelan duyarlılığı analizinde 12 parametre (yükseltili, eğim, bakı, yağış, litoloji, eğrisellik, arazi kullanımı, toprak, NDVI, fay hatlarına mesafe, akarsulara mesafe ve yola mesafe) kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre Ezine Çayı Havzası'nda heyelan oluşma potansiyeli %22,30'u yüksek ve %10,72'si çok yüksek olmak üzere toplamda alanın %33,02'lik kısmının heyelan duyarlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılığı daha çok eğim ve yükselti değerlerinin arttığı, bitki örtüsünün zayıf olduğu dağlık ve yamaç arazilerde görülmüştür. Elde edilen verileri ilgili mercilerle paylaşılması bölgede yapılacak planlama kararlarında heyelan riskini azaltabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Bozkurt (Kastamonu), Ezine Çayı Havzası, Heyelan Duyarlılık Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemi, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

### LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF EZINE STREAM BASIN (BOZKURT/KASTAMONU) USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD

### Abstract

Turkey has regions that are prone to landslides due to its physical characteristics (geological, geomorphological, climatic, hydrological, vegetation and soil characteristics) as well as human factors. Especially in the Black Sea Region, landslides are among the most frequently occurring natural disasters. In recent years, susceptibility maps have been prepared to minimize landslide disaster damages and many methods have been used for this purpose. One of the most frequently and popularly used methods is the Analytical Hierarchy Process (AHP). In this study, the landslide susceptibility of the Ezine Stream Basin, which is located in the Bozkurt district of Kastamonu province in the Western Black Sea Part of the Black Sea Region and has a total area of 375.5 km<sup>2</sup>, was evaluated by the GIS-based Analytical Hierarchy Process method. Different data obtained from various institutions were used in the study. In the landslide susceptibility analysis, 12 parameters (elevation, slope, aspect, precipitation, lithology, curvature, land use, soil, NDVI, distance to fault lines, distance to streams and distance to roads) were used. According to the findings obtained as a result of the analysis, it was determined that 22.30% of the landslide potential in the Ezine Stream Basin is high and 10.72% is very high, and 33.02% of the total area has landslide susceptibility. Landslide susceptibility was observed more in mountainous and hilly areas where slope and elevation values increase and vegetation cover is weak. Sharing the obtained data with the relevant authorities can reduce the landslide risk in planning decisions to be made in the region.

**Keywords:** Bozkurt (Kastamonu), Ezine Stream Basin, Landslide Susceptibility Analysis, Geographic Information System, Analytical Hierarchy Process (AHP)

## GİRİŞ

Heyelan, dünya genelinde engebeli topografyaya sahip alanlarda sıklıkla meydana gelen bir doğal afet olayıdır. Heyelan, bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz türündeki malzemelerin farklı nedenlerden dolayı yerçekimi (gravite) etkisiyle yamaçtan aşağıya doğru hareket ederek yer değiştirmesi olayıdır (Varnes, 1978). Heyelanlar, çoğunlukla volkanik patlama ve depremler gibi jeolojik afetler sırasında meydana gelebilir. Diğer yandan ormanların yok edilmesi, yanlış arazi kullanımı veya kentsel genişleme gibi insan faaliyetleri nedeniyle heyelanların görülme sıklığı ve büyüklüğü artabilir. Bu olay, meydana geldiği yere yaşayan insanların normal yaşam düzenini bozabilir ve/veya daha büyük bir olay meydana gelirse toplumun toparlanması için dış desteğe ihtiyacı olabilir (Bhatt vd., 2013). Heyelanlar, küresel ısınmanın yarattığı iklimsel değişimler ve olumsuz etkilerin yanısıra özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı, yerleşim yerlerinin dağlık alanlara doğru genişlemesi ve plansız kentleşmenin bir sonucu olarak yüksek risk oluşturmaktadır (Mijani & Neysani Samani, 2017). Bu alanlardaki nüfus yoğunluğunun çevresel duyarlılığın dikkate alınmadan ölçsüz bir şekilde artması sosyal, ekonomik, çevresel kayıpların yanısıra önemli sayıda insan kaybına neden olabilen heyelan olayları yaşanmasına neden olmaktadır (Fell vd., 2008).

Türkiye’de heyelan olayları, jeolojik ve jeomorfolojik yapısı, iklimi, hidrolojik yapısı, toprak ve bitki örtüsü özelliklerine bağlı olarak özellikle Karadeniz Bölgesinde sıklıkla meydana gelmektedir. Uluslararası Afet Veritabanı (EM-DAT), 1990 ile 2015 yılları arasında heyelanların, tüm doğal afet olaylarının arasında %4,9’unu ve tüm doğal afet ölümlerinin arasında %1,3’ünü oluşturduğunu ileri sürmektedir (Ali vd., 2019). Türkiye 2024 Yılı Erken İklim Değerlendirmesi raporunda; en fazla zarara yol açan doğal afet olayları içerisinde heyelanın payı % 3’ tür (MGM, 2024). Türkiye’de son 50 yıldaki doğal afetler, tahmini 15,5 milyar ABD doları tutarında konutla ilgili kayıplara neden olmuştur. Heyelanlardan dolayı kaynaklanan yıllık ekonomik kayıplar yaklaşık 80 milyon ABD dolardır (Yalçın vd., 2011).

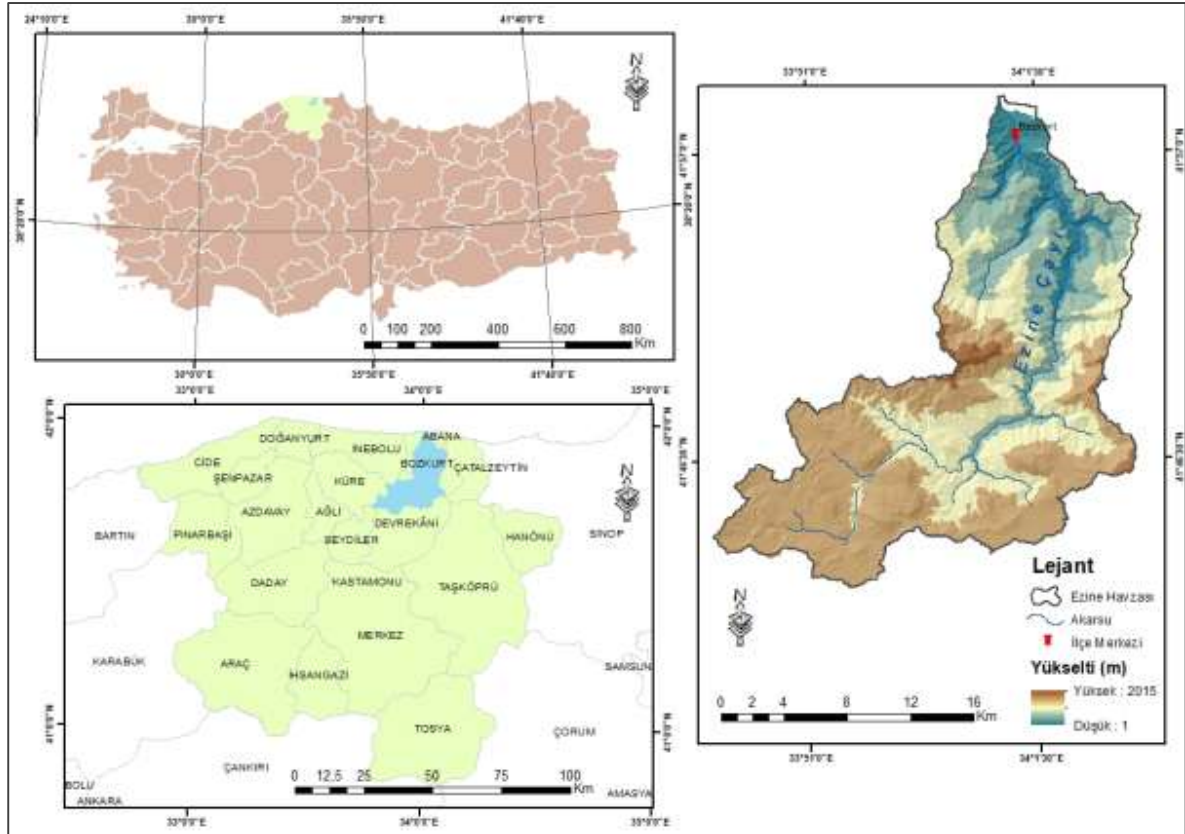
Heyelan değerlendirmeleri duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerini içerir. Duyarlılık değerlendirmeleri ise tehlike ve risk değerlendirmelerinin temelini oluşturur. Duyarlılık, belirli bir tür ve hacimdeki heyelanların meydana gelme olasılığının mekânsal olarak ifade eder. Tehlike değerlendirmeleri, belirli bir zaman dilimi içinde, belirli bir bölgede heyelanın meydana gelme olasılığını belirler. Risk değerlendirmesi ise zamansal ve mekânsal olasılıklar, duyarlılık ve sayılar (ekonomik kayıplar) dahil olmak üzere afetten etkilenen kuruluşlardan ilgili bilgileri ekler. Bu nedenle belirli bir bölgenin heyelan duyarlılığı değerlendirmesi, aslında o bölgenin heyelan değerlendirmesinin temelini oluşturur (He vd., 2019) ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi genellikle 'şimdiki zaman ve geçmiş, geleceğin anahtarıdır' kavramına dayanır (Ahmed, 2015). Dolayısıyla heyelan aktivitesine potansiyel olarak eğilimli alanların bilinmesi, heyelanla ilişkili riskleri azaltmak için hayati önem taşımaktadır (Narumon & Songkot, 2010). Bu da heyelan duyarlılık haritaları yapılarak ortaya konur. Heyelan duyarlılığını belirlemek için yapılan çalışmalarda parametre seçimi, heyelan oluşumuna olan katkıları dikkate alınarak değerlendirilir (Aytop vd., 2023). Şimdiye kadar duyarlılık değerlendirmesinde, heyelanları etkileyen parametrelerin seçilmesi için genel bir kılavuz yoktur. Sebep olan faktörlerin seçimi; analiz ölçeğine, çalışma alanının karakteristiğine, heyelan türüne ve kayma mekanizmasına ayrıca mevcut veri ve kaynakların mevcudiyetine bağlı olarak değişebilir (Solle vd., 2013). Ayrıca araştırılan bölgeye bağlı olarak her faktörün önemi, diğerlerinden daha düşük veya daha yüksek olabilir (Noorollahi vd., 2018).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), heyelan duyarlılık analizi için önemli bir araçtır. Böyle bir durumda CBS'nin kullanılması, büyük ve hacimli verilerin hızlı bir şekilde analiz edilmesi, işlenmesi ve ilişkilendirilmesi avantajını sağlar (Nourani & Ghaffari, 2012). Aynı zamanda mekânsal ve zamansal verilerin etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur (Panchal & Shrivastava, 2022). Araştırmacılar, CBS tekniklerine dayalı heyelan duyarlılığının mekânsal dağılımını değerlendirmek için 1970'lerden beri uygun yöntemler aramaktadırlar. Bu yöntemlerden biri de Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'dir. AHP yöntemi, Saaty (1980) tarafından geliştirilen ve heyelan duyarlılığı haritalamasında kullanılan yarı nicel yöntemlere en iyi örneklerden biridir (Abay vd., 2019). Literatürde AHP yöntemi ile heyelan duyarlılığının belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır (örn.; Aytop vd., 2023; Bozdoğan ve Canpolat, 2022; Demirel, 2023; Kıncal ve Kayhan, 2022; Özşahin, 2014; Saaty, 1980; Taş vd., 2024; Yalçın vd., 2011; Yalçın ve Bulut, 2007; Yalçın, 2008). Bu çalışmanın temel amacı ise, 2021 yılında Kastamonu’ya bağlı Bozkurt ilçesinde büyük bir taşkın/sel felaketinin yaşandığı Ezine Çayı Havzası’nın CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılığını belirlemektir.

## 1. ÇALIŞMA ALANI, MATERYAL VE YÖNTEM

### 1.1. Çalışma Alanı

Bozkurt ilçesi, Kastamonu il merkezinin 95 km kuzeyinde Karadeniz kıyısında yer alan Abana ilçesinin 2 km güneyinde yer almaktadır. Yüzölçümü 296 km<sup>2</sup> olan ilçe, Ezine Çayı'nın yukarı çığırındaki düzlük ile yamaçlar üzerinde kurulmuştur. İlçe, coğrafi koordinat sistemine göre 35,43" ve 42,00" kuzey enlemleri ile 32,43" ve 34,37" doğu boylamları arasında yer almakta ve denizden yüksekliği 27 ile 400 metre arasında değişmektedir. Ezine Çayı'nın uzunluğu 60 km'dir (Bozkurt Belediyesi, 2024). Kastamonu il sınırları içerisinde yer almakla birlikte Ezine Çayı Havzası'nın toplam alanı 375,54 km<sup>2</sup>'dir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası

### 1.2. Materyal

Dünyada ve ülkemizde yapılan heyelan duyarlılık analizlerinde genel olarak yükselti, eğim, eğrisellik, arazi kullanımı, bakı, yağış, litoloji, toprak, fay hatlarına mesafe, akarsulara mesafe, yola mesafe ve NDVI gibi parametreler/kriterler kullanılmaktadır. Bu parametrelerin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için gerekli verilerin bir kısmı kamu kurumlarından diğerleri de açık erişimli kaynaklardan temin edilmiştir. Çalışmadaki parametre haritalarının üretilmesinde CBS tabanlı yazılım olan ArcGIS/ArcMap 10.7 programından yararlanılmıştır. AHP'nin gerçekleştirilmesinde SCB Associates Ltd. tarafından geliştirilen AHP Template yazılımı kullanılmıştır.

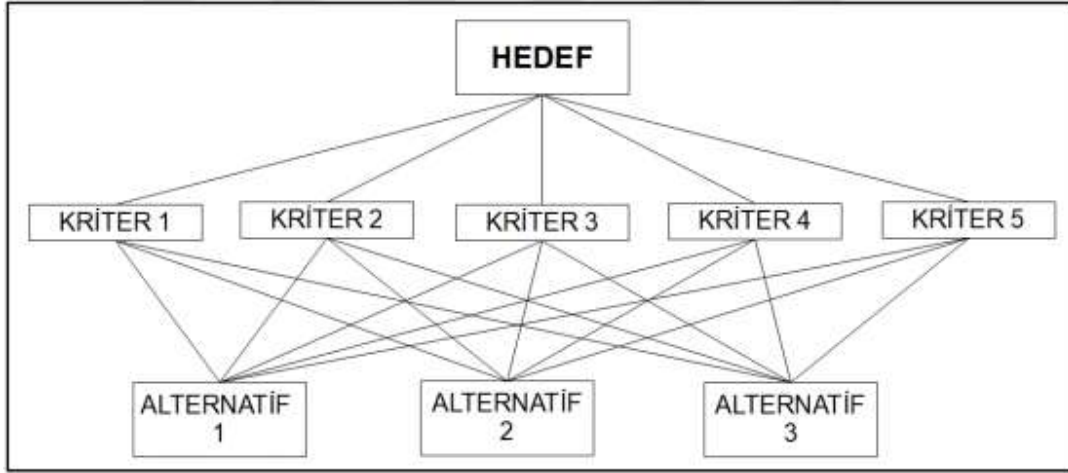
### 1.3. Yöntem

#### 1.3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi, ilk önce Alpert ve Myers tarafından 1968 yılında öne sürülmüş (Bozdoğan ve Canpolat, 2022), 1970'lerin sonlarında ise Thomas L. Saaty, AHP yöntemini Wharton İşletme Okulu'nda geliştirmiştir. AHP karmaşık, yapılandırılmamış ve çok kriterli kararlarla başa çıkmak için bir karar alma aracıdır. AHP, heyelanla ilgili fikirleri

değiştirmeye ve yaklaşık varsayımlar yaparak sorunları çözmeye olanak tanır. Aynı zamanda hem nesnel hem de öznel değerlendirmeleri karar sürecine dahil etmeye imkan sağlar (Bhatt vd., 2013).

AHP kullanılarak yapılan çalışmalar hiyerarşik yapıda üç aşamada ilerler. İlk düzeyde araştırmanın hedefi belirlenir, ikinci düzeyde belirlenen bu hedef doğrultusunda seçimi etkileyen parametreler/kriterler ve son düzeyde ise bu kriterler göz önüne alınarak alternatifler (alt kriter) tespit edilir (Özşahin, 2014; Şekil 2).



Şekil 2. Üç aşamalı hiyerarşik model (Saaty & Vargas, 2001)

Ardından tespit edilen kriterler ve alternatifler Saaty 1980 tarafından ortaya konan önem ölçeğine göre kıyaslanmıştır. Bu ölçek yardımıyla 1 ile 9 arasında göreceli baskın bir değer atayarak diğer tüm faktörlere göre derecelendirilir (Abdul Rahamana vd., 2014). Literatürde bildirilen ölçütlere göre bu derecelendirme gerçekleştirilmiştir (Özşahin, 2014; Tablo 1).

Tablo 1. İkili karşılaştırma tercih ölçeği (Saaty, 1980)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriter aynı derecede önem taşır.
3	Orta önemli	Biri diğerine göre orta derecede önem taşır.
5	Güçlü önemli	Biri diğerine göre güçlü önem taşır.
7	Çok güçlü önemli	Biri diğerine göre çok daha güçlü önem taşır.
9	Son derece önemli	Biri diğerine göre son derecede önem taşır.
2, 4, 6, 8	Ara değerleri ifade eder.	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.

İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında ikinci düzeyde belirlenen kriterler ve aynı şekilde üçüncü düzeyde belirlenen karar alternatifleri kendi içlerinde birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu işlem karşılaştırma matrisini tamamlamak için tüm faktör çiftleri üzerinde tekrarlanır (Mengstie vd., 2024). Daha sonra hiyerarşinin her bir unsuru için sayısal bir ağırlık veya öncelik türetilir, bu da çeşitli ve çok sayıda unsurun rasyonel ve tutarlı bir şekilde birbirleriyle karşılaştırılmasına olanak tanır (Abay, vd., 2019). Tüm bu işlemler AHP Template yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tutarlılık oranı (CR), tutarlılık indeksinin (CI) rastgele indeks ile bölünmesiyle hesaplanır (Denklem 1). Rastgele indeks, parametre/kriter sayısına bağlı olarak değişen bir standart düzeltme değeridir (Demirel, 2023). Tablo 2’de verilen “n” kriter sayısı “RI” ise rastgelelik indeks değerleridir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

**Tablo 2.** Rasgelelik indeksi (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Tutarlılık oranı, 0 ile 1 arasında bir değer alır. 0,10'a eşit veya daha küçük olduğunda ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ve karar vericilerin kararlarının güvenilir olduğunu gösterir. Tutarlılık oranı 0,10'dan büyük olduğunda ise karar vericilerin değerlendirmelerinin güvenilir olmadığını gösterir (Denklem 2). Burada karar vericilerin değerlendirmelerini yeniden gözden geçirmesi gerekir (Saaty & Vargas, 2000).

$$CR = \begin{cases} < 0.10 \\ \geq 0.10 \end{cases} \quad (2)$$

## 2. BULGULAR

### 2.1. Yükselti

Yükselti yerel rölyefin sınıflandırılması, arazilerdeki maksimum ve minimum yüksek noktalarının belirlenmesi için faydalıdır (Nourani & Ghaffari, 2012). Bu faktörün heyelanların oluşumunu doğrudan etkilemediğini (Le vd., 2021), genellikle dolaylı ilişkiler veya diğer faktörler aracılığıyla gösterildiği (Moradi ve Rezaei, 2014) konusunda görüşler bulunmaktadır. Buna karşın Kincal vd. (2022), yüksekliğin, bitki örtüsü türünü ve yağış seviyelerini etkilediğini bu nedenle heyelan duyarlılığını doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Çalışma alanının yükselti haritasını üretmek için SYM (Sayısal yükseklik modeli) kullanılmıştır. Alanın yükseltisi ortalama deniz seviyesinden 1 m ile 2015 m arasında değişmektedir (Şekil 3a).

### 2.2. Eğim

Eğim, heyelan gelişimini ve yamaç stabilitesini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür (He vd., 2019). Heyelan olayları genellikle belirli kritik eğim açılarında meydana gelir. Eğimin kararlılığını, eğim açısı ile malzemenin geçirgenliği, kohezyonu ve sürtünme açısı arasındaki ilişki belirler (Alamrew vd., 2024). Çalışma alanının eğim haritası SYM kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanındaki eğim değerlerinin 0°-84° arasında değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 3b).

### 2.3. Bakı (Eğim Yönü)

Heyelan oluşumunu dolaylı olarak etkileyen bakı, güneş ışığına ve rüzgâra maruz kalan arazinin yönüdür (Das vd., 2022; Desalegn vd., 2022). Farklı yönlerde sahip olan yamaçlar, farklı bitki örtüsü türlerini ve yoğunluklarını destekler. Söz gelimi kuzeye bakan yamaçlar, daha yüksek nem seviyeleri nedeniyle daha yoğun bitki örtüsünü destekleyebilir, bu da toprağı potansiyel olarak stabilize edebilir. Buna karşın güneye bakan yamaçlar daha seyrek bitki örtüsüne sahip olabilir, bu da erozyona ve heyelanlara karşı duyarlılığı artırabilir (Mengstie vd., 2024). Çalışma alanının bakı haritası SYM kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3c).

### 2.4. Yağış

Heyelanların çoğu şiddetli yağışlardan sonra meydana gelir. Şiddetli yağış üzerine su hızla zemine sızar, doygunluk derecesini ve heyelan oluşma potansiyelini artırır (Moradi vd., 2012). Dolayısıyla yağış oranı ne kadar yüksekse, heyelanların oluşması için koşullar o kadar elverişli hale gelir (Ghanavati, 2016). Çalışma alanının yağış haritası enterpolasyon (IDW) tekniği uygulayarak üretilmiştir (Şekil 3d).

## 2.5. Litoloji

Litoloji çeşitliliği, yamaç malzemesinin geçirgenliğini ve mukavemetini etkileyeceği için başlıca tetikleyici parametrelerden biri olarak kabul edilir (Le vd., 2021). Litolojinin heyelan oluşumuna etkisi, kayaçların heyelanlara karşı duyarlılığından kaynaklanmaktadır. Buradan hareketle farklı litolojik birimler farklı duyarlılık derecelerine sahiptir (Dai vd., 2001). Dolayısıyla heyelanlar jeolojik yaş ve litolojide farklılık gösteren formasyonlar arasında önemli ölçüde değişir (He vd., 2019). Çalışma alanının jeoloji haritası 1/25.000 ölçekli MTA jeoloji verisi temin edilerek üretilmiştir (Şekil 3e).

## 2.6. Eğrisellik (Eğim Şekli)

Eğrisellik, yüzeyin ikinci türevidir (Panchal, & Shrivastava, 2022). Eğim şekli değerleri bölgedeki topografyanın şeklinin göstergesi olup yüzeyin düz, dışbükey ve içbükey olup olmadığını gösterir (Devkota vd., 2021). Negatif bir değer, yüzeyin dışbükey olduğunu; pozitif bir değer, yüzeyin içbükey olduğunu gösterir. Sıfır değeri ise yüzeyin doğrusal olduğu anlamına gelir (Panchal & Shrivastava, 2022). Çalışma alanının eğrisellik haritası SYM kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3f).

## 2.7. Arazi Kullanımı

Yerleşme, tarım, orman ve bitki örtüsünün yoğun veya seyrek olduğu alanlar gibi faktörler kendi başlarına heyelan oluşumuna neden olmasa da heyelan oluşumuna karşı dirençleri, farklı etkiler altında değişiklik gösterir (Kincal & Kayhan, 2022). Arazi kullanımında yerleşme ve orman alanlarındaki faaliyetler yamaç istikrarsızlığını tetikler (Le vd., 2021) ve heyelan oluşumuna neden olur. Çalışma alanının arazi kullanım haritası Corine 2018 verisinden üretilmiştir (Şekil 3g).

## 2.8. Toprak

Toprak türü heyelan oluşumunda önemli bir faktördür. Çünkü toprak parçacıklarının birbirinin üzerinden kaymaya karşı direnç gösterme eğilimini etkiler. En kohezif toprak tipleri, kumlu topraklar gibi büyük parçacıklara sahip olanlardır. Küçük parçacıklara sahip killi topraklar ise neredeyse koheziftir (Shano vd., 2020). Çalışma alanının toprak haritası 1/25000 ölçekli büyük toprak grubu verisinden üretilmiştir (Şekil 3h).

## 2.9. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Fark İndeksi), bitki örtüsünün sağlık durumunu gösteren bir parametredir (Taş vd., 2024). NDVI değerleri -1 ile +1 aralığındadır (Denklem 3). NDVI ne kadar yüksekse, bitki örtüsünün büyümesi de o kadar yüksektir. Dolayısıyla bitki örtüsünün yüksek olduğu bir bölgede toprak erozyonu kolay gerçekleşmez, arazi erozyonu yavaştır ve yamaçlardaki hasar nispeten önemsizdir. (He vd., 2019). Çalışma alanının NDVI haritası Landsat 8 Band 4 ve Band 5 uydu görüntülerinden üretilmiştir (Şekil 3i).

$$NDVI = \left[ \frac{NIR - red}{NIR + red} \right] \quad (3)$$

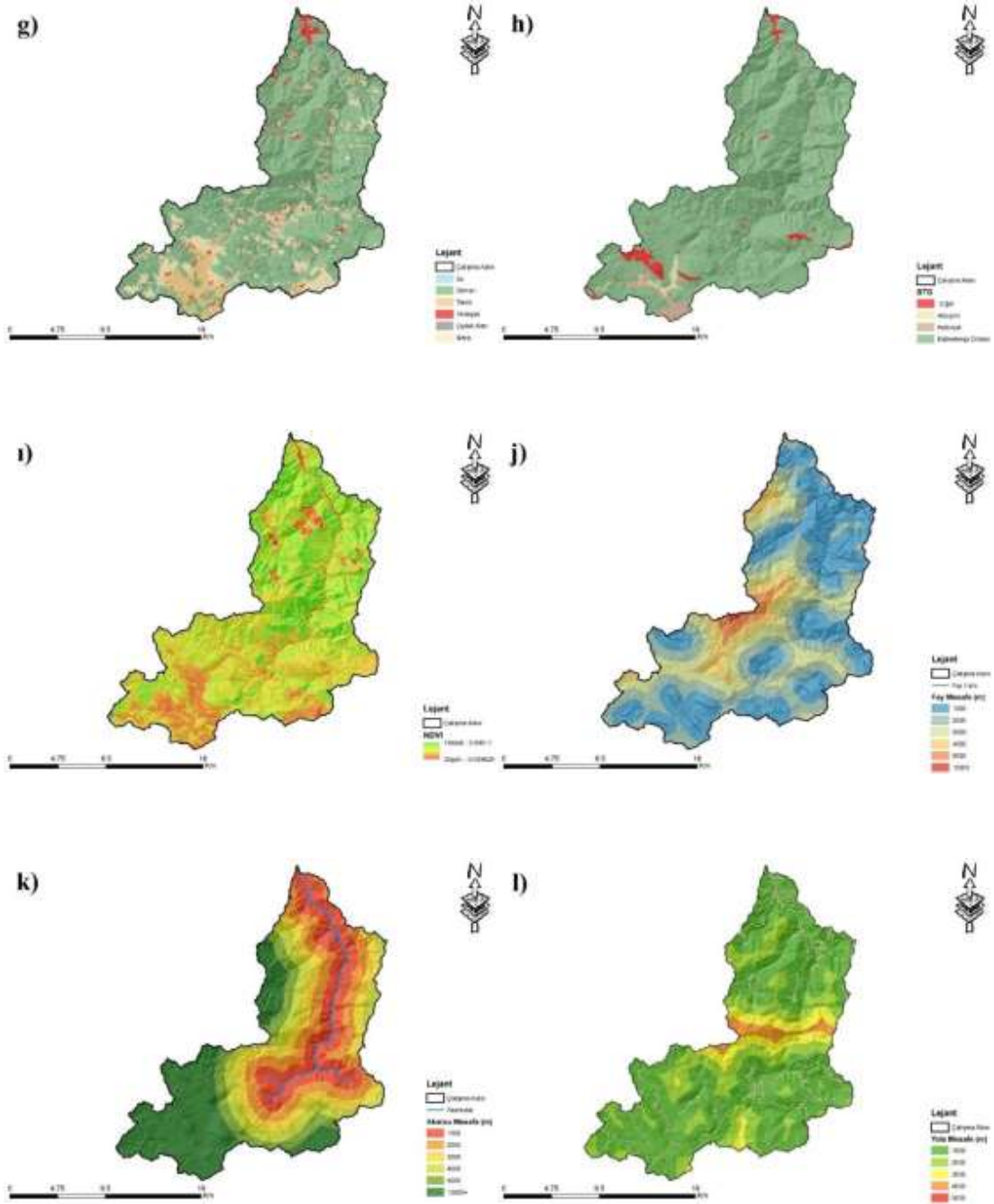
## 2.10. Fay Hattına Mesafe

Tektonik olarak aktif alanlarda faylar, heyelanı aktive etmede kritik bir faktör olarak kabul edilmiştir (Tien vd., 2011). Fay alanları, tektonik kırılmalar nedeniyle çevredeki kaya dayanıklılığının azalmasıyla heyelanlara karşı oldukça hassastır (Chen vd., 2017). Bir bölge faydan ne kadar uzaksa, heyelan yoğunluğu o kadar düşüktür (He vd., 2019). Çalışma alanının fay hattına mesafe haritası 1/25000 ölçekli MTA diri fay verisinde üretilmiştir (Şekil 3j).

## 2.11. Akarsulara Mesafe

Akarsuya mesafe, bir yamacın kararlılığını ve malzemelerin doygunluk derecelerini doğrudan etkiler. Akarsular, yamaçları aşındırarak veya malzemenin alt kısmını doyurarak kararlılığı olumsuz etkiler (Dai vd., 2001; Saha vd., 2002). Akarsuya olan mesafe azaldıkça yeraltı suyundaki artış ve akarsuyun taşıma gücünün neden olduğu erozyon heyelan oluşma olasılığını artırır (Kincal & Kayhan, 2022). Çalışma alanının akarsuya mesafe haritası SYM kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3k).





Şekil 3 Devamı. g) arazi kullanım h) toprak i) ndvi j) fay hattına mesafe k) akarsulara mesafe l) yola mesafe

### 3. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada Ezine Çayı Havzası'nın heyelana duyarlılık durumu ÇKKV tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Araştırma alanının heyelan duyarlılık analizi yapılabilmesi amacıyla 12 ana parametre ve 60 alt kriter kullanılmıştır. Sonuçta, çalışma sahasında heyelan duyarlılığına etki eden en önemli parametrelerin litoloji, eğim ve eğrisellik olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucunda parametrelerin aldığı ağırlıklar; litoloji 0,204, eğim 0,162, eğrisellik 0,150, yağış 0,125, bakı 0,093, fay hattına mesafe 0,072, akarsulara mesafe 0,061, yola mesafe 0,043, arazi kullanım 0,032, toprak 0,025, yükselti 0,019 ve NDVI 0,013'tür. Aynı şekilde alt kriterlerin analiz sonucu aldığı ağırlıklar; yükselti 0,413 (5. sınıf), eğim 0,372 (6. sınıf), bakı 0,466 (kuzey), yağış 0,413 (5. sınıf), litoloji 0,466 (alüvyon), eğrisellik 0,539 (içbükey), arazi kullanım 0,372 (çıplak alan), toprak 0,413 (çıplak kayalık), NDVI 0,413 (1. sınıf), fay hattına mesafe 0,377 (1000 m), akarsulara mesafe 0,377 (1000 m) ve yola mesafe 0,370 (1000 m)'tir. Parametreler ve alt kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerin tamamında tutarlılık oranı 0,10'un altında çıkmıştır. Elde edilen bu oran, yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı ve güvenilir olduğunu göstermiştir (Tablo 3-5).

**Tablo 3.** Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi, ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

HEYELAN DUYARLILIK													
KRİTERLER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ağırlık
Litoloji	1	2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	9	0,204
Eğim	1/2	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	7	0,162
Eğrisellik	1/2	1/2	1	2	3	4	4	5	5	4	6	9	0,150
Yağış	1/3	1/2	1/2	1	2	3	4	5	5	6	7	7	0,125
Bakı	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3	4	5	5	5	7	0,093
Fay Hattına Mesafe	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	4	5	6	0,072
Akarsulara Mesafe	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	3	5	5	7	0,061
Yola Mesafe	1/4	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	0,043
Arazi Kullanım	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	0,032
Toprak	1/5	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	0,025
Yükselti	1/5	1/5	1/6	1/7	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	0,019
NDVI	1/9	1/7	1/9	1/7	1/7	1/6	1/7	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0,013
Tutarlılık Oranı=	0,07												

Elde edilen veriler ışığında oluşturulan Ezine Çayı Havzası'nın heyelan duyarlılık haritası heyelan duyarlılık seviyesi "çok düşük" olan alanın %14,18'ini (5263,20 ha), "düşük" olan alanın %26,69'unu (9907,11 ha), "orta" duyarlılık seviyesindeki alanın %26,11'ini (9691,38 ha), "yüksek" olan alanın %22,30'unu (8275,23 ha) ve heyelan duyarlılık seviyesi "çok yüksek" olan alanın %10,72'sini (3977,46 ha) kaplamaktadır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve oransal dağılımları

Heyelan Duyarlılık	Alan (ha)	Oran (%)
Çok Düşük	5263,20	14,18
Düşük	9907,11	26,69
Orta	9691,38	26,11
Yüksek	8275,23	22,30
Çok Yüksek	3977,46	10,72
<b>TOPLAM</b>	<b>37114,38</b>	<b>100,00</b>

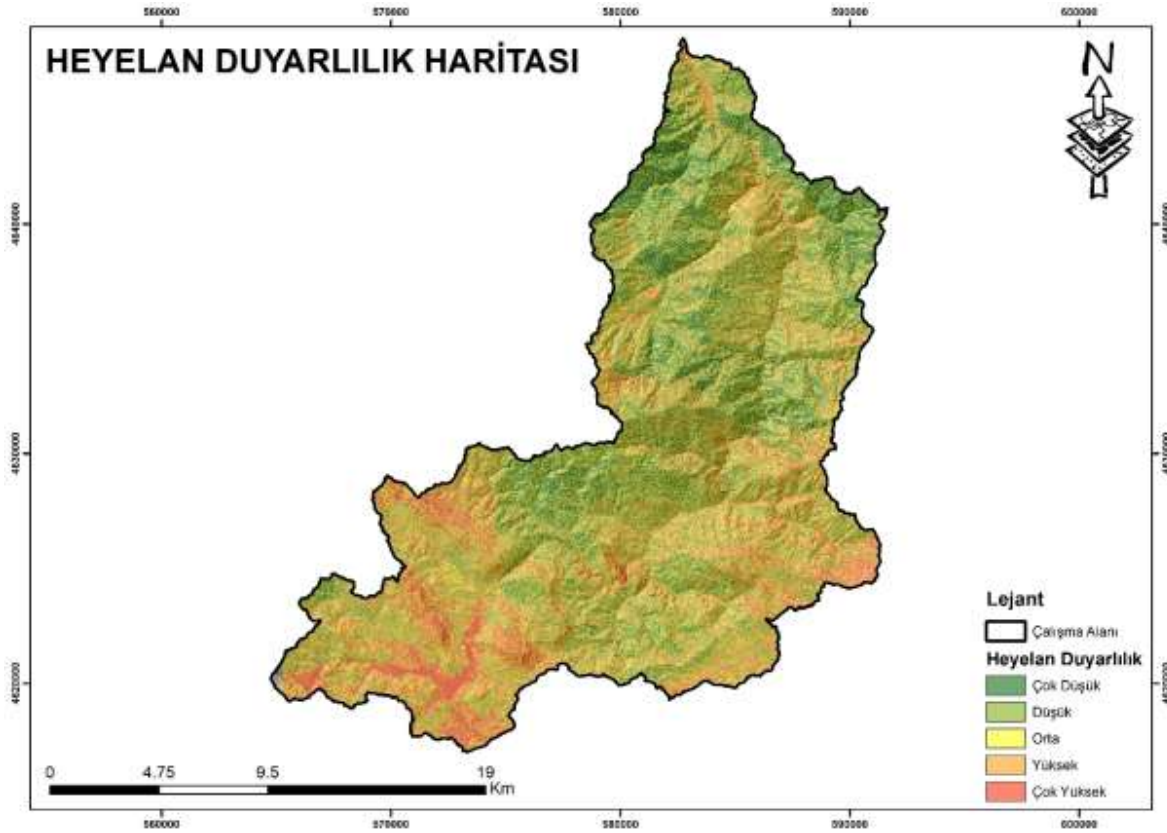
Tablo 5. Sınıflandırılmış alt kriterler, ağırlık değerleri ve tutarlılık oranları

Kriter	Alt Kriter	Ağırlık	CR
<b>Yükselti (m)</b>	5.Sınıf	0,413	0,04
	4.Sınıf	0,259	
	3.Sınıf	0,159	
	2.Sınıf	0,110	
	1.Sınıf	0,058	
<b>Eğim (°)</b>	6.Sınıf	0,372	0,05
	5.Sınıf	0,243	
	4.Sınıf	0,162	
	3.Sınıf	0,123	
	2.Sınıf	0,060	
	1.Sınıf	0,039	
<b>Bakı</b>	Kuzey	0,466	0,01
	Güney	0,277	
	Doğu-Batı	0,161	
	Düz Alanlar	0,096	
<b>Yağış (mm)</b>	5.Sınıf	0,413	0,04
	4.Sınıf	0,259	
	3.Sınıf	0,159	
	2.Sınıf	0,110	
	1.Sınıf	0,058	
<b>Litoloji</b>	Alüvyon	0,466	0,01
	Kırıntılar	0,277	
	Şist	0,161	
	Granit	0,096	
<b>Eğrisellik</b>	İçbükey	0,539	0,01
	Düz Eğim	0,297	
	Dışbükey	0,164	
<b>Arazi Kullanımı</b>	Çıplak Alan	0,372	0,05
	Mera	0,243	
	Orman	0,162	
	Tarım	0,123	
	Yerleşme	0,060	
	Su	0,039	
<b>Toprak</b>	Çıplak Kayalık	0,413	0,04
	Alüvyal	0,259	
	Kolüvyal	0,159	
	Yerleşme	0,110	
	Orman Toprağı	0,058	

Tablo 5 Devamı

Kriter	Alt Kriter	Ağırlık	CR
NDVI	1.Sınıf	0,413	0,04
	2.Sınıf	0,259	
	3.Sınıf	0,159	
	4.Sınıf	0,110	
	5.Sınıf	0,058	
Fay Hattına Mesafe (m)	1000	0,377	0,08
	2000	0,297	
	3000	0,165	
	4000	0,088	
	5000	0,047	
Akarsulara Mesafe (m)	10000 +	0,026	0,08
	1000	0,377	
	2000	0,297	
	3000	0,165	
	4000	0,088	
Yola Mesafe (m)	5000	0,047	0,02
	10000 +	0,026	
	1000	0,370	
	2000	0,247	
	3000	0,189	
4000	0,120		
5000	0,073		

Ulaşılan sonuçlara göre çalışma alanında genellikle eğim ve yükselti değerlerinin yüksek olduğu, kuzeye bakan yamaçlarda, yağış değerlerinin yüksek, litolojik yapının çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalı birimden oluştuğu, mera-çayır arazilerin ve bitki örtüsünün seyrek olduğu sahalar heyelan oluşumuna müsait olduğu tespit edilmiştir. Nitekim Ezine Çayı Havzası'nın akarsu ağlarına sahip olan bölgeleri ve yerleşime açık alanlarda “düşük ve çok düşük” heyelan duyarlılığı göstermiştir. “Orta” sınıf heyelan duyarlılığı akarsu ağlarının yamaçlarında görülmüştür. Çalışma alanının güney kesimleri “yüksek ve çok yüksek” heyelan duyarlılığı göstermiştir. Bu sahalarda eğim ve yükselti değeri yüksek, bitki örtüsü zayıf, çayır-mera alanları, tarımsal arazi kullanımı ve yoğun yağışlar hâkim olduğundan heyelan duyarlılığı yüksek çıkmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Ezine Çayı Havzası'nın heyelan duyarlılık haritası

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda Ezine Çayı Havzası'nda heyelan oluşma potansiyelinin yüksek duyarlılık %22,30 ve çok yüksek duyarlılık %10,72 değerlerinin toplamında havzanın %33,02'lik kısmı heyelan duyarlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Havzanın güney kesiminin yüksek heyelan duyarlılığına sahip oluşu; eğim değerlerinin yüksek ve kuzeye bakan yamaçların etkili olduğu, litolojik yapının çakıltası-kumtaşı-çamurtaşından meydana geldiği, yükseltinin arttığı ve buna bağlı olarak yağış miktarının artış gösterdiği, bitki örtüsünün zayıf, çayır-mera alanları ve tarımsal arazi kullanımının olduğu sahalara varlığına bağlıdır.

CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizi çalışmalarının kullanılabilir sonuçlar verdiğini araştırmacılar çalışmalarında ifade etmiştir. Yalcin ve Bulut (2007) CBS tekniklerine dayalı AHS yöntemi ile gerçekleştirilen heyelan duyarlılık haritaları sonuçlarının güvenli alanların tespit edilmesi, yer seçiminde ve planlanmasında doğru ve pratik bilgiler verdiğini belirtmiştir. Yalcin (2008) diğer bazı yöntemlere göre AHS yönteminin çok daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ileri sürmüştür. Ulaşılan bulgular doğrultusunda bu çalışma, doğal ve beşerî ortamda yapılacak yeni planlamalarda kullanılabilir. Kayastha vd., 2012 özellikle afet yönetim planlamalarında ve risk haritalarının hazırlanmasında heyelan duyarlılık çalışmalarının kullanılması büyük yarar sağladığını belirtmişlerdir. Klimes ve Escobar, 2010 gelecekteki arazi kullanım planlaması için heyelan duyarlılık haritalarının bir rehber olacağını vurgulamışlardır.

Çalışma alanının heyelana yüksek ve çok yüksek duyarlı bölgelerinde yapılaşmaların engellenmesi, bu bölgelerin yerleşime açılmaması, doğal bitki örtüsünün korunması, yöre halkının bu konuda bilinçlendirilmesi, yeni yapılacak planlamalarda heyelan duyarlılık haritası göz önüne alınarak yapılması, bu alanlarda var olan yüksek binaların ve bölgedeki taşıma kapasitesini aşan yapıların azaltılması veya daha güvenli alanlara taşınması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abay, A., Barbieri, G., & Woldearegay, K. (2019). GIS-based landslide susceptibility evaluation using analytical hierarchy process (AHP) approach: The case of Tarmaber District, Ethiopia. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 11(1), 14-36.
- Abdul Rahamana, S., Aruchamy, S., & Jegankumar, R. (2014). Geospatial approach on landslide hazard zonation mapping using multicriteria decision analysis: a study on Coonoor and Ooty, part of Kallar watershed, The Nilgiris, Tamil Nadu. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 1417-1422.
- Ahmed, B. (2015). Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh. *Landslides*, 12(6), 1077-1095.
- Alamrew, B. T., Kassawmar, T., Mengstie, L., & Jothimani, M. (2024). Combined GIS, FR and AHP Approaches to Landslide Susceptibility and Risk Zonation in the Baso Liben District, Northwestern Ethiopia. *Quaternary Science Advances*, 100250.
- Ali, S., Biermans, P., Haider, R., Reicherter, K. (2019). Landslide susceptibility mapping by using a geographic information system (GIS) along the China-Pakistan Economic Corridor (Karakoram Highway), Pakistan. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 19:999–1022.
- Aytop, H., Saygın, F., Dengiz, O., & Alaboz, P. (2023). Determination Of Landslide Susceptibility With The Fuzzy-Analytical Hierarchical Process-Andırın Example. *EEDINGS*, 84.
- Bhatt, B. P., Awasthi, K. D., Heyojoo, B. P., Silwal, T., & Kafle, G. (2013). Using Geographic Information System And Analytical Hierarchy Process In Landslide Hazard Zonation. *Applied Ecology And Environmental Sciences*, 1(2), 14-22.
- Bozdoğan, M., & Canpolat, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53.
- Bozkurt Belediyesi (2024). Coğrafi Konum Bilgileri. <https://www.bozkurt.bel.tr/sayfa/cografik-konum/>
- Chen, W., Pourghasemi, H., Panahi, M., Kornejady, A., Wang, J., Xie, X., Cao, S. (2017). Spatial prediction of landslide susceptibility using an adaptive neuro-fuzzy inference system combined with frequency ratio, generalized additive model, and support vector machine techniques. *Geomorphology* 297, 69–85.
- Dai, F. C., Lee, C. F., Li, J., & Xu, Z. W. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 43 (3), 381-391.
- Das, S., Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. *Environ. Monit. Assess.* 194, 234.
- Demirel, B. (2023). Yalova İli Merkez İlçesinin CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Analitik Hiyerarşi Prosesi, Htea ve Pareto Sistemik Analizlerinin Kullanılarak Oluşturulması. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Desalegn, H., Mulu, A., Damtew, B. (2022). Landslide susceptibility evaluation in the Chemoga watershed, upper Blue Nile, Ethiopia. *Nat. Hazards* 113, 1391–1417.
- Devkota, K., Regmi, A.D., Yoshida, K., Pradhan, B. (2021). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy, and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal. *Nat. Hazards*.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. Z., & JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering geology*, 102(3-4), 85-98.

- Ghanavati, E. A. Y. E. (2016). Landslide hazard zonation by using AHP (analytical hierarchy process) model in GIS (geographic information system) environment (case study: Kordan watershed). *Int J Sci High Technol*, 2, 24-39.
- He, H., Hu, D., Sun, Q., Zhu, L., & Liu, Y. (2019). A Landslide Susceptibility Assessment Method Based On GIS Technology And An AHP-Weighted Information Content Method: A Case Study Of Southern Anhui, China. *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, 8(6), 266.
- Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F. (2013). Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408.
- Kıncal, C., & Kayhan, H. (2022). A Combined Method For Preparation Of Landslide Susceptibility Map İn Izmir (Türkiye). *Applied Sciences*, 12(18), 9029.
- Klimes, J., & Escobar, V. R. (2010). A landslide susceptibility assessment in urban areas based on existing data: An example from the Iguana Valley, Medellin City, Colombia. *Natural Hazards Earth Syst. Sci*, 10, 2067-2079.
- Le, T. T. T., Hoang, V. H., Van, T. B., Bui, T. K. T., & Nguyen, H. P. (2021). Developing a landslide susceptibility map using the analytic hierarchical process in Ta Van and Hau Thao Communes, Sapa, Vietnam. *Journal of Disaster Research*, 16(4), 529-538.
- Mengstie, L., Nebere, A., Jothimani, M., & Taye, B. (2024). Landslide susceptibility assessment in Addi Arkay, Ethiopia using GIS, remote sensing, and AHP. *Quaternary Science Advances*, 15, 100217.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2024). Türkiye 2024 Yılı Erken İklim Değerlendirmesi. <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2024-iklim-raporu.pdf>
- Mijani, N., & Neysani Samani, N. (2017). Comparison of fuzzy-based models in landslide hazard mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 407-416.
- Moradi, M., Bazayar, M. H., & Mohammadi, Z. (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping by AHP method, a case study, Dena City, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(7), 6715-6723.
- Moradi, S., ve Rezaei, M. (2014). A GIS-based comparative study of the analytic hierarchy process, bivariate statistics ve frequency ratio methods for lveslide susceptibility mapping in part of the Tehran metropolis, Iran. *GeoPersia*, 4(1), 45-61.
- Narumon, I., & Songkot, D. (2010). Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in lower Mae chaem watershed, northern Thailand. *Suranaree. Journal of Science and Technology*, 17(3):277-292.
- Noorollahi, Y., Sadeghi, S., Yousefi, H., & Nohegar, A. J. I. J. H. (2018). Landslide modelling and susceptibility mapping using AHP and fuzzy approaches. *Int J Hydro*, 2(2), 137-148.
- Nourani, V., & Ghaffari, H. (2012). Landslide susceptibility mapping with analytical hierarchical process and GIS techniques (case study: Zonouz, East Azerbaijan, IRAN). In *10th International Congress on Advances in Civil Engineering. Congreso llevado a cabo en la Middle East Technical University, Turkey*.
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ İlinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanarak Heyelan Duyarlılık Analizi. *HUMANITAS-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(03), 167-186.
- Özşahin, E. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 47-63.
- Panchal, S., & Shrivastava, A. K. (2022). Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (AHP): A case study of National Highway 5 in India. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101626.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* McGraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2000). "Models, Methods, Concepts&Applications of the Analythic Hierarchy Process", Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London.



- Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (2001). Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process. 1st ed. Kluwer Academic, Boston, 333p.
- Saha, A.K., Gupta, R.P., Arora, M.K., (2002). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (2): 357–369.
- Shano, L., Raghuvanshi, T., Meten, M., (2020). Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. *Geoenviron. Disasters* 7, 1–19.
- Solle, M. S., Mustafa, M., Baja, S., & Imran, A. M. (2013). Landslide susceptibility zonation model On Jeneberang Watershed using Geographical Information System and Analytical Hierarchy Process. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(7), 174-179.
- Taş, M. A., Şenol, C., & Yanık, M. E. (2024). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Metodu ile Of İlçesi'nde (Trabzon) Heyelan Risk Duyarlılığı Analizi. *Afet ve Risk Dergisi*, 7(1), 279-302.
- Tien, B. D., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. (2011). Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Natural Hazards*, 59:1413-1444.
- Varnes, D. J. (1978). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Yalcin, A., & Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*. 41, 201-226.
- Yalçın, 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- 12.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınoğlu, A. C., & Yomralıoğlu, T. (2011). A GIS-Based Comparative Study Of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics And Logistics Regression Methods For Landslide Susceptibility Mapping In Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3), 274-287.