



Open Access Journal
E-ISSN: 2619 – 8991

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt 9 - Sayı 4: 1954-1969 / Temmuz 2026

(Volume 9 - Issue 4: 1954-1969 / July 2026)

KARA DERE HAVZASININ (ERZİNCAN) ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ METODUYLA HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Muhammet Enes YANIK^{1*}, İbrahim KOPAR²

¹Erzincan University, Faculty of Literature and Sciences, Department of Geography, 24100, Erzincan, Türkiye

²Atatürk University, Faculty of Literature, Department of Geography, 25000, Erzurum, Türkiye

Özet: Doğa kaynaklı afetlerin başında gelen heyelanlar, can ve mal kayıplarına neden olan önemli bir kütle hareketidir. Bu çalışmanın amacı, Erzincan Ovası'nın kuzeybatısında yer alan Kara Dere Havzası'nın heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirerek olası riskli alanları mekânsal olarak belirlemektir. Araştırmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılmıştır. Model kapsamında heyelanı tetikleyen eğim, yağış, litoloji, NDVI, eğim şekli, akarsuya mesafe, arazi kullanımı, yükselti, büyük toprak grupları, bakı ve yollara mesafe olmak üzere 11 farklı parametre değerlendirilmiştir. AHS yöntemiyle yapılan ağırlıklandırma sonucunda heyelan oluşumunda en etkili faktörlerin eğim (%25,10) ve yağış (%19,20) olduğu tespit edilmiştir. Üretilen duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirmesi için çalışma alanındaki geçmiş heyelan envanteri rastgele ikiye bölünerek %70 eğitim ve %30 test verisi olarak kullanılmıştır. Alıcı İşletim Karakteristiği (ROC) eğrisi ve Eğri Altında Kalan Alan (AUC) tekniği ile yapılan doğrulama sonucunda 0.799 AUC değeri elde edilmiş olup, modelin bilimsel olarak kabul edilebilir ve güvenilir bir tahmin kapasitesine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre havzanın %43'ünün çok fazla ve riskli, %34'ünün orta derecede riskli, %23'ünün ise az ve çok az riskli alanlardan oluştuğu saptanmıştır. En riskli bölgelerin havzanın kuzeyi ve kuzeydoğusundaki yüksek eğimli araziler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Erzincan-Kelkit karayolunun belirli kesimlerinin yüksek riskli bölgede yer aldığı görüldükçe, geçmişteki heyelan sonrası kurulan Ahmetli Köyü afet evlerinin düşük riskli alanda bulunduğu doğrulanmıştır. Elde edilen bu duyarlılık haritasının, gelecekteki bölgesel ve mekânsal planlamalar ile afet risk yönetimi çalışmalarına önemli bir bilimsel altlık oluşturması öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: CBS, Heyelan, Uzaktan algılama, Kara dere havzası, Analitik hiyerarşi süreci

Landslide Susceptibility Analysis of Kara Dere Basin (Erzincan) Using Analytical Hierarchy Process Method

Abstract: Landslides, as one of the primary natural hazards, are significant mass movements that cause considerable casualties and property damage. The objective of this study is to perform a landslide susceptibility analysis of the Kara Dere Basin, located in the northwest of the Erzincan Plain, and to spatially delineate potential risk areas. In this research, the Analytic Hierarchy Process (AHP), a Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) method, and Geographic Information Systems (GIS) technology were utilized. Within the scope of the model, eleven different landslide-conditioning parameters were evaluated: slope, precipitation, lithology, NDVI, slope curvature, distance to streams, land use, elevation, great soil groups, aspect, and distance to roads. As a result of the weighting process applied via the AHP method, slope (25.10%) and precipitation (19.20%) were identified as the most influential factors in landslide occurrence. For the validation of the susceptibility map produced, the historical landslide inventory in the study area was randomly partitioned, utilizing 70% as training data and 30% as independent testing data. The validation procedure, performed using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve and the Area Under the Curve (AUC) technique, yielded an AUC value of 0.799, demonstrating that the model possesses a scientifically acceptable and reliable predictive capacity. According to the spatial analysis results, it was determined that 43% of the basin consists of high and very high-risk areas, 34% of moderate-risk areas, and 23% of low and very low-risk areas. The most susceptible regions were identified as the high-gradient terrains in the north and northeast of the basin. Furthermore, while certain sections of the Erzincan-Kelkit highway were observed to be located in high-risk zones, it was verified that the Ahmetli Village disaster housing, constructed following a historical landslide event, is appropriately situated in a low-risk area. It is anticipated that the resulting susceptibility map will serve as a crucial scientific baseline for future regional and spatial planning, as well as disaster risk management strategies.

Keywords: GIS, Landslide, Remote sensing, Kara dere basin, Analytical hierarchy process

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Erzincan Faculty of Literature and Sciences, Department of Geography, 24100, Erzincan, Türkiye

E mail: muhammet.yanik@erzincan.edu.tr (M. E. YANIK)

Muhammet Enes YANIK  <https://orcid.org/0000-0003-2926-5814>

İbrahim KOPAR  <https://orcid.org/0000-0002-2840-9786>

Gönderi: 24 Haziran 2026

Kabul: 06 Temmuz 2026

Yayınlanma: 15 Temmuz 2026

Received: June 24, 2026

Accepted: July 06, 2026

Published: July 15, 2026

Cite as: Yanik M.E., Kopar İ. 2026. Landslide susceptibility analysis of Kara Dere basin (Erzincan) using analytical hierarchy process method. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 9(4), 1954-1969.

1. Giriş

Doğa kökenli afetlerin başında bir kütle hareketi türü olan heyelanlar gelmektedir. Heyelan olaylarının oluşmasında ise doğal (jeolojik, jeomorfolojik, hidrolojik,

topografik, iklimsel özellikler) ve insan kaynaklı nedenlerin (ormansızlaşma, patlamalar, madencilik, kentleşme vb.) etkisi söz konusudur (Sür, 1972; Atalay ve Bekaroğlu, 1973; Öner ve Çiçek, 1987; Erinc, 1996). Aktif



ya da zaman zaman hareketlenen bir heyelanın bilimsel yollarla özelliklerini anlık olarak ortaya koymak kadar heyelan duyarlılığı olan kesimleri belirlemek ve haritalayarak gelecekte doğabilecek riskleri azaltacak çalışmalar yapmak oldukça önemlidir. Çünkü heyelan duyarlılığı (hassasiyeti) analizleri sayesinde; heyelan oluşturabilme yeteneğine sahip bir arazinin konumsal pozisyonu ve heyelana meyillilik ortamsal koşullarının belirlenmesi hedeflenirken heyelan oluş potansiyeli ve olasılığını erken algılamaya odaklı bir çalışma yürütülmektedir.

Heyelan çalışmalarının önemli bir bölümünde genellikle heyelanların mekanizması ve sonuçları üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmalar heyelanın meydana geldiği sahanın doğal coğrafya özelliklerinin yanı sıra heyelanı tetikleyici faktörler, hasar ve heyelan sonrası durum analizi gibi çok önemli bilgiler vermektedir (Ömerbeyoğlu ve Sevinç, 1991). Aynı zamanda heyelan olayını çeşitli yönleriyle ortaya koyan bu çalışmalar aynı konudaki diğer çalışmalar için son derece önemli kaynaklardır (Kopar, 1995; Öztürk, 2002; Sevindi vd., 2004; Erener ve Lacasse, 2007; Kopar, 2010; Dağ ve Bulut, 2012; Saatcıoğlu ve Arslan, 2016; Ulutaş ve Güler, 2017; Kopar ve Sevindi, 2018; Fidan ve Görüm, 2020; Taş, 2025). Günümüzde gelişen teknolojik imkanlar ile elde edilen doğruluğu yüksek veriler, istatistiksel yöntemler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi, yerel ve bölgesel ölçekte afete neden olan heyelan ve benzeri olayların oluşmadan evvel duyarlılık analizlerinin doğruya en yakın şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır. Böylelikle risk oluşmadan gerekli önlemlerin alınabilmesi ve olası afetlerden doğacak can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi mümkün olmaktadır (Kumtepe vd., 2011; Görüm ve Nefeslioğlu, 2015).

Heyelan duyarlılık analizlerinde farklı nicel yöntemler tercih edilmektedir. Bu çalışmada Kara Dere Havzası'nın heyelan duyarlılık analizi için literatürde en yaygın şekilde kabul gören ve sonuçları doğruya en yakın olan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır (Myers ve Alpert, 1968; Saaty, 1977). Bilindiği gibi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) sağladığı güvenilir sonuçlar yönüyle çeşitli uygulamalarda geniş bir çevrenin benimsediği çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir (Yalçın, 2007; Akgün ve Türk, 2010; Yalçın vd., 2011; Akıncı vd., 2015; Aghlmand vd., 2020; Taş, 2022). AHS metodunda karar verici amacına uygun olarak kriterler ve bu kriterlere göre alt kriterler ile bunların alternatifi durumundaki hiyerarşik bir model uygulamaktadır. AHS yöntemi karar verirken aynı süreçte uzman görüşlerini, sayılara dayalı (nicel) ve betimsel (nitel) değişebilir değerleri bir arada dikkate alarak güvenilirliği yüksek bir matematiksel bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır (Yazgan, 2022).

Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında Kara Dere Havzası'nın heyelana duyarlı bölgeler haritası elde edilmiş, risk gurupları oluşturularak olası heyelan

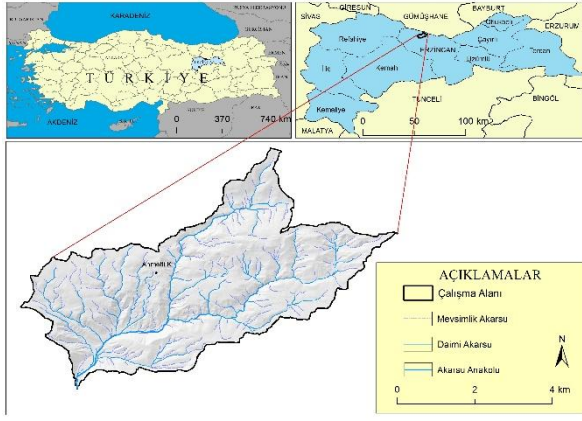
sahaları belirlenmiş, bölgede yaşanan heyelanlar ile uygunluk karşılaştırması yapılarak sonuçların gerçeğe ne kadar yakın olduğu hem arazi gözlemleri hem de istatistiksel sonuçlarla ortaya konulmuştur.

Araştırma sahasının konumu ve geçmiş heyelanlar Erzincan Ovası'nın kuzeybatısında bulunan Kara Dere Havzası (~1940 ha) Otlukbeli Dağlarının güney aklanında yer almakta olup havzanın fazla suları adını aldığı Kara Dere tarafından önce Çardaklı Çayına ardından da Karasu Irmağına drene edilmektedir (Şekil 1).

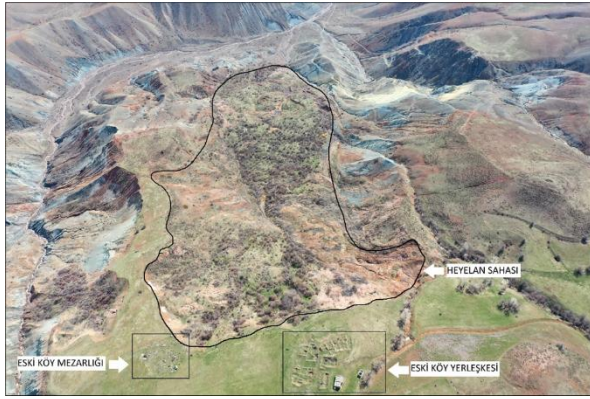
Kara Dere kaynaktan Çardaklı Çayına kadar toplamda 8 km uzunluğa sahiptir. Havza'nın yükseltisi genel itibarıyla güneyden kuzeye doğru artmaktadır. Havzanın en alçak olan yeri Kara Dere'nin Çardaklı Deresi'ne katıldığı en güney kesimdir (1440 m). Havzanın en yüksek yeri ise 2400m ile Kuyu Tepe civarındır. Hipsografik olarak havzanın en yüksek noktasıyla en alçak noktası arasında 960 m'lik irtifa farkı bulunmaktadır.

AFAD İl Müdürlüğü tarafından havzanın hidrografik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Buna göre Kara Dere'nin beslediği Çardaklı Çayı'nda 50 yıllık debi tahmininin ortalama 63,36 m³/s, 100 yıllık debi tahmininin 77,36 m³/s ve 500 yıllık debi tahmininin ise 104,63 m³/s olacağı tahmin edilmiştir (AFAD, 2021). Yapılan modellemeler havzanın su bulundurma potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu durum sahanın heyelan oluşturma potansiyelinde önemli bir etkenin varlığına işaret etmektedir. Erzincan Ovası'nın batı kısmında sulama suyu ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan Çardaklı Çayı üzerinde özellikle tarımsal amaçlı faydalanan su miktarını arttırmak amacıyla ıslah çalışmaları yapılmıştır.

Havzadaki tek yerleşme Ahmetli Köyüdür. Erzincan şehrini Karadeniz Bölgesi'ne bağlayan Erzincan-Kelkit karayolu ile Erzincan'ın batı ile bağlantısını sağlayan Erzincan-Sivas karayolu Kara Dere Havzası'ndan geçmektedir. Kara Dere Havzası'nda 13/08/1990 tarihinde gerçekleşen heyelan yaklaşık 37 hektarlık bir alanı etkilemiştir (Şekil 2). Bu heyelanda havza sınırları içerisinde bulunan Ahmetli Köyü riskli alan içerisinde kalmış, 11.02.1991 tarihinde "Afete Maruz Bölge" ilan edilen Ahmetli Köyü için yaklaşık 2 km kuzeydoğuda Erzincan-Kelkit karayolu üzerinde afet konutları inşa edilmiş ve eski köy konutları tamamen boşaltılmıştır (Şekil 3).



Şekil 1. Kara Dere Havzası lokasyon haritası.



Şekil 2. Kara Dere havzasındaki Ahmetli Köyü (eski) heyelan sahası.



Şekil 3. Kara Dere havzasında meydana gelen heyelandan sonra inşa edilen Ahmetli Köyü afet konutları (afet evleri).

2. Materyal ve Yöntem

Yapılan heyelan duyarlılık analizinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri içerisinde yer alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır. AHS ilk defa Myers ve Alpert (1968) tarafından kullanılmış ardından da Saaty (1977) tarafından modellenme yapılarak geliştirilmiş ve böylece problem çözümlerinde kullanılması mümkün olmuştur (Kavas, 2009; Yaralıoğlu, 2001). AHS yöntemi uygulanırken ilk önce problemlerin detaylı bir şekilde tanınımının yapılması ve kararlar ilişkili

ölçütlerin ortaya konulması gerekmektedir (Gülenç ve Aydın Bilgin, 2010). Bu çalışmada Saaty (1988) de izlenen yöntem uygun şekilde karar probleminin belirlenmesinin ardından problemin hiyerarşik yapısı oluşturulmuş, karar problemi ve alt problemlerin etkilendiği faktörlerin belirlenmesinin ardından ortaya çıkan her faktörün problemlere etki derecesi ortaya konulmuştur. Etki dereceleri belirlendikten sonra faktörlerin karar problemi üzerindeki ağırlıkları hesaplanmış ve probleme doğruluğu en yakın çözümler belirlenmiştir. AHS yöntemi ÇKKV yöntemleri içerisinde alt problemleri hiyerarşik bir yapıda sınıflayarak karmaşıklığı azaltmak ve çözümün doğruluğunu arttırmak için risk analizlerinde yaygın kullanılan bir yöntem olduğu için heyelan duyarlılık analizlerinde de kullanılan bir yöntem olmuştur (Çeltek vd., 2015; Dalkes ve Korkmaz, 2023).

Bu çalışmada literatürde yapılan değerlendirmeler, alanında uzman kişilerden alınan görüşler ve sahaya özgü jeolojik, jeomorfolojik, iklimik, beşerî etkenler göz önüne alınmış ve sahanın heyelan duyarlılık analizinin yapılabilmesi için bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Sahanın heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılacak faktörler: eğim, yağış, litolojik yapı, NDVI, eğim şekli, akarsuya olan mesafe, arazi kullanımı, yükselti, toprak, bakı ve yollara olan mesafe olarak belirlenmiştir. Bu faktörlerin önceliklerinin belirlenmesinde 4 aşama uygulanmıştır. Bu aşamalar aşağıda belirtildiği şekilde formüle (eşitlik 1) edilmiştir (Cihangir ve Görüm, 2016; Saaty, 1977; 1980; 1982; 1987; 1990; 2003).

$$A = (a_{ij}) \begin{bmatrix} 1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & 1 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & 1 \end{bmatrix}, a_{ij} =$$

$$1/a_{ji} (i = 1, 2, 3, \dots, n, \text{ and } j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (1)$$

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş olan Likert tipi ölçek kullanılmıştır (Tablo 2.) Hesaplanan ikili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi (eşitlik 2).

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{\sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Vektör ağırlığının hesaplanması (eşitlik 3).

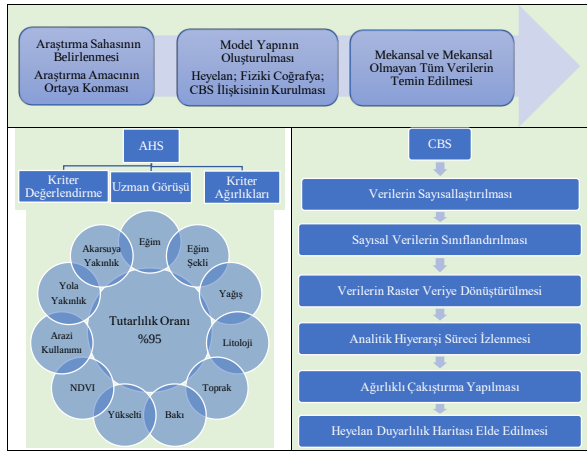
$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}, W_i = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Tutarlılık oranı katsayısının hesaplanması (eşitlik 4).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Tutarlılık oranının hesaplanması (eşitlik 5).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$



Şekil 4. Kara Dere Havzası'nın heyelan duyarlılık analizinde veri toplamayı ve uygulamayı gösteren hiyerarşi (Kızılkın vd. 2023).

Karar verilen faktörlere ağırlık dereceleri ArcGIS yazılımı kullanılarak atanmıştır. Faktörlerin kendi içerisinde alt etki derece belirlenmesi yine literatür değerlendirmeleri, uzman görüşü ve sahanın kendine özgü özellikleri göz önünde tutularak belirlenmiştir. Etki değerleri belirlenen bütün faktörler ve onlara ait alt etki dereceleri hesaplanmış ve SCB Associates şirketinin ürettiği ikili karşılaştırma matrisi yazılımı kullanılarak çarpan değerleri kontrol edilmiştir. Elde edilen tüm çarpan

değerleri her faktör içerisinde kendine uygulandıktan sonra AHS değerleri elde edilmiştir. Tüm bu değerler ArcMAP PRO yazılımında "ağırlıklı toplam aracı" kullanılarak Kara Dere Havzası heyelan duyarlılık analizi oluşturulmuş ve heyelan duyarlılık haritası çıkarılmıştır (Şekil 4). Elde edilen heyelan duyarlılık haritası ROC aracında değerlendirilerek True Positive Rate ve False Positive Rate eğrilerinin karşılaştırılması yöntemi ile gerçeğe uygunluğu ortaya konmuştur. Bu yöntem saha içerisinde daha önce yaşanan heyelanların noktasal bazda değerlendirilerek alansal bazda oluşturulmuş duyarlılık haritasında doğruluğunu bize göstermektedir.

3. Bulgular

Analizde kullanılan faktörlerin matris ve çarpan değeri hesaplanması çalışma alanında heyelana etki eden parametreler; eğim, yağış, litolojik yapı, NDVI, eğim şekli, akarsuya olan mesafe, arazi kullanımı, yükselti, toprak, bakı ve yollara olan mesafe olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametrelerin önem derecelerinin belirlenmesi ve çarpan değerlerinin hesaplanması tamamlandıktan sonra SCB Associates yazılımı ile elde edilen karşılaştırma matrisi ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır (Tablo 1 ve 2).

Tablo 1. Heyelan Duyarlılık Analizi tüm parametrelerin ikili karşılaştırma matrisi.

Faktörler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Eğim	1	2	3	3	4	4	5	6	7	8	8
2 Yağış	1/2	1	2	3	3	4	4	5	6	7	8
3 Litoloji	1/3	1/2	1	1	3	3	4	4	5	6	7
4 NDVI	1/3	1/3	1	1	2	3	3	4	4	5	6
5 Eğim Şekli	1/4	1/3	1/3	1/2	1	1	3	3	4	4	5
6 Akarsu Mesafe	1/4	1/4	1/3	1/3	1	1	2	3	3	4	4
7 Arazi Kullanımı	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3	3	4
8 Yükseklik	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3	3
9 Toprak	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3
10 Bakı	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2
11 Yollara Mesafe	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1

Tablo 2. AHS ikili karşılaştırma matrisi önem dereceleri (Saaty, 1990)

Önem Dereceleri	
Son Derece Az Önemli	1/9
Çok Az Önemli	1/7
Az Önemli	1/5
Orta Derece Az Önemli	1/3
Eşit Derecede Önemli	1
Orta Derece Fazla Önemli	3
Fazla Önemli	5
Çok Fazla Önemli	7
Son Derece Fazla Önemli	9

Heyelan duyarlılık analizinde en hassas hesaplamalar gerektiren konu çarpan değerlerinin bulunmasıdır. Bunun için faktörlere atanan karşılaştırma değerleri heyelan duyarlılık analizi alanında dünya literatüründe yapılmış olan çalışmalar ve çalışma sahasının kendine has özellikleri referans alınarak belirlenmiştir. İkili karşılaştırma matrisinde önem derecesi 1 olarak belirlenen faktörler eşit derecede öneme sahip iken rakam arttıkça önem derecesi de artmaktadır (Saaty, 1984; Panchal ve Shrivastava, 2022) (Tablo 2). Hesaplanan bu değerlerin yazılıma aktarılmasında AHS analizinde değerlendirilecek çarpan değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu hesaplanan değerler söz konusu faktörlerin heyelan olayı gerçekleşmesi

durumunda olaya etki derecelerinin önemini ve bu önemin yüzdelik değerini göstermektedir. Matrise Kara Dere Havzası için elde edilen veriler girildikten sonra ikili matrisin kendi içerisinde kullanılan verilerin tutarlılık oranlarını %95 ile tutarlı seviyede olduğu hesaplanmıştır.

Kararlaştırılan her bir faktör kendi içerisinde alt etki derecelerinin belirlenmesi içinde Formüller kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve yazılım uygulanmıştır, tüm faktörler için elde edilen AHS verileri ArcMAP Pro yazılımında ağırlıklı toplam aracı kullanılarak

çakıştırılması matristen elde edilen oranlarla yapılmış ve sonuç olarak Kara Dere Havzası heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda çıktı olarak Kara Dere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası elde edilmiştir. Analiz parametreleri ve verilen değerler Tablo 3 de verilmiştir. Bu verilerde en yüksek etki değerine eğim faktörü %25,10 luk bir değerle işlem görürken, yollara mesafe faktörü %1,80 lik bir değerle en düşük işlemi görmüştür (Tablo 3). Faktörlerin etki değerleri ve alt etki derecelerinin belirlenmesi ardından her bir faktör için AHS analizi adımları uygulanmıştır.

Tablo 3. Tüm parametrelere ait nihai çarpan değerleri, önem dereceleri ve matris tutarlılık oranı.

	Faktörler	AHS Ağırlığı	AHS Ağırlığı (%)	Tutarlılık Kontrolü
1	Eğim	0,251	25,10	Tutarlılık Oranı %95
2	Yağış	0,192	19,20	
3	Litoloji	0,136	13,60	
4	NDVI	0,117	11,70	
5	Eğim Şekli	0,08	8,00	
6	Akarsu Mesafe	0,069	6,90	
7	Arazi Kullanımı	0,051	5,10	
8	Yükseklik	0,038	3,80	
9	Toprak	0,027	2,70	
10	Bakı	0,02	2,00	
11	Yollara Mesafe	0,018	1,80	

3.1. Eğim Faktörü ve Alt Sınıflarının Hesaplanması

Heyelan olayının en etkili faktörlerinin başında Eğim faktörü gelmektedir, önceki çalışmalara ve gerçekleşen heyelan olaylarına bakıldığında eğim derecesine paralel olarak heyelan olayının gerçekleşmesi ve büyüklüğü değişiklik göstermektedir (Uromehy ve Mahdaviyar, 2000).

Sahanın eğim faktörünün hesaplanması için öncelikle Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) temin edilmiştir. DEM sayesinde ArcMAP Pro yazılımında Slope aracı kullanılarak sahanın eğim haritası oluşturulmuştur. Elde edilen eğim haritasında değerler 6 farklı kategoride değerlendirilmiştir. Formüller ile bu değerlerin ikili matrisleri bulunmuş ve SCB Associates yazılımı ile tutarlılık oranı kontrol edilmiştir. Yapılan hesaplamaların doğruluk oranı yazılıma göre %96 olarak ölçülmüştür (Şekil 5 A, Tablo 4 ve 5). Sahanın eğim özelliklerine bakıldığında sahanın %50,48 i 0°- 30° eğim değeri arasında bulunduğu, %49,52 si ise 30°- 65° arasında bulunduğu görülmektedir. 30° ve üzeri eğim değeri heyelan olayı için tehlikeli değerler kabul edilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Tek başına eğim faktörü verileri bile sahada heyelan olayının tahmin edilmesi açısından fikir vermektedir. Sahada eğim derecelerinin yüksek görüldüğü yerler ise akarsuyun zamanla yatağını derine aşındırarak eğim derecesini yükselttiği yamaç kısımlar ile sahanın kuzeyinde bulunan yüksek kesimlerdir. (Şekil 5 A).

3.2. Yağış Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Heyelan olayında yağışın etkisine bakılırken miktarı

kadar şeklinin de büyük bir etkisi vardır. Çalışma sahasında yağış neredeyse yıl genelinde yağmur olarak düşmektedir. Sahada yıllık ortalama 835 mm'nin üzerinde yağış alan yerler bulunmaktadır. Kısa zaman içerisinde sağanak olarak düşen yağmur suları toprak örtüsünün toplam ağırlığını arttırarak kütlenin toplam ağırlığını arttırmakta ve yer çekimine karşı gelemeyerek heyelan olayının başlamasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden yağış faktörünün heyelan olayının gerçekleşmesinde etkisi büyüktür (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Çalışma sahaya ait yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Saha sınırları içerisinde istasyon bulunmadığı için en yakın istasyon olan Erzincan istasyonu verileri referans alınmıştır. Bu verilerin sahanın geneline uygulanabilmesi için ArcMAP Pro yazılımda temin edilen istasyonların verileri bulundukları konuma girilmiş ve sahanın tamamına Schreiber yöntemi temel alınarak Enterpolasyon (IDW-Natural Neighbor) aracı ile uygulanmıştır. Ardından yağış dağılışı haritası elde edilmiştir. Yağış haritasından sağlanan veriler Reclassify aracı ile kategorilere ayrılmış ve yağış etki değeri haritası oluşturulmuştur (Şekil 5 B). Formüller uygulanarak bu değerlerin ikili matrisleri bulunmuş, ardından SCB Associates yazılımı ile yapılan hesaplamaların doğruluk oranı %98 olarak ölçülmüştür (Şekil 5 B, Tablo 6 ve 7).

Tablo 4. Eğim faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Eğim (%)	6	5	4	3	2	1
6 (+50)	1	2	3	4	5	6
5 (40-50)	1/2	1	2	3	4	5
4 (30-40)	1/3	1/2	1	2	3	5
3 (20-30)	1/4	1/3	1/2	1	3	5
2 (10-20)	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
1 (0-10)	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Tablo 5. Eğim faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

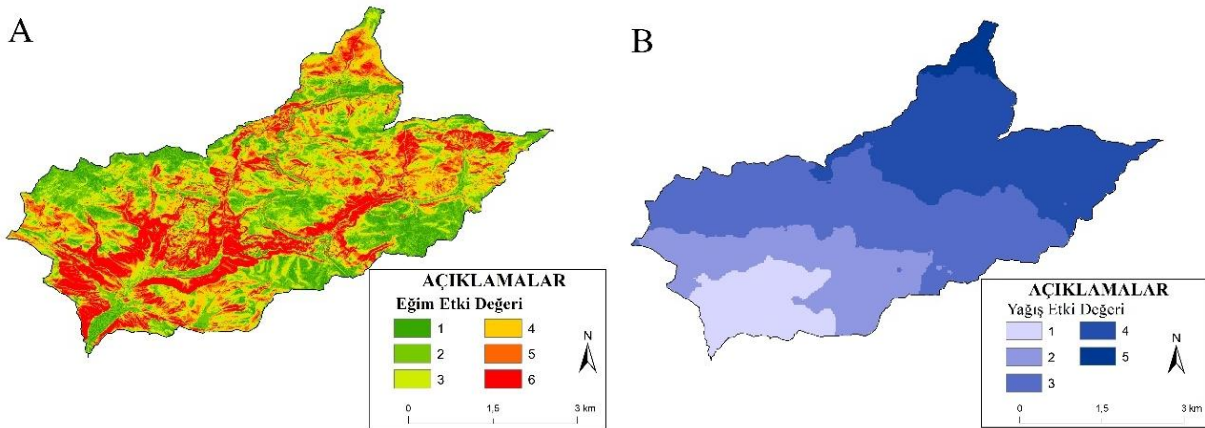
Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri						Etki Değeri Ve Önem Derecesi (%)		
6	0,408163	0,466926	0,42654	0,379747	0,30303	0,25	0,372	37,20
5	0,204082	0,233463	0,28436	0,28481	0,242424	0,208333	0,243	24,30
4	0,136054	0,116732	0,14218	0,189873	0,181818	0,208333	0,162	16,20
3	0,102041	0,077821	0,07109	0,094937	0,181818	0,208333	0,123	12,30
2	0,081633	0,058366	0,047393	0,031646	0,060606	0,083333	0,06	6,00
1	0,068027	0,046693	0,028436	0,018987	0,030303	0,041667	0,039	3,90

Tablo 6. Yağış faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Yağış	5	4	3	2	1
5 (789-838 mm)	1	2	3	4	5
4 (739-788 mm)	1/2	1	2	3	4
3 (689-738 mm)	1/3	1/2	1	2	3
2 (639-688 mm)	1/4	1/3	1/2	1	3
1 (589-638 mm)	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Tablo 7. Yağış faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri						Etki Değeri ve Önem Derecesi(%)		
5	0,437956	0,489796	0,439024	0,380952	0,333333	5	0,416	41,60
4	0,218978	0,244898	0,292683	0,285714	0,266667	4	0,262	26,20
3	0,145985	0,122449	0,146341	0,190476	0,2	3	0,161	16,10
2	0,109489	0,081633	0,073171	0,095238	0,133333	2	0,099	9,90
1	0,087591	0,061224	0,04878	0,047619	0,066667	1	0,062	6,20



Şekil 5. Eğim etki değeri haritası (A), Yağış etki değeri haritası (B).

3.3. Litoloji Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Litolojik formasyonlar yapıları gereği su tutma ve sızdırma kapasiteleri bakımından farklılık göstermektedirler. Bünyesinde su tutabilen formasyonlar bu sayede toprak örtüsü ağırlığını arttırır ve heyelan yaşanma ihtimalini yükseltirken, gözenekliliği az ve su tutma kapasitesi düşük formasyonlar yağış sonrası zemin ağırlığına fazla bir etkide bulunmazlar (Carrara vd., 1982). Bu yüzden heyelan analizi yapılırken sahanın litolojik yapısı önem arz etmektedir.

Sahada bulunan jeolojik birimler ve dağılımları Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilen 1: 100.000 ölçekli Jeoloji Paftası sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Sayısallaştırılan bu veriler ile Kara Dere Havzası jeoloji haritası elde edilmiştir. Sahada bulunan jeolojik birimlerin etki dereceleri belirlendikten sonra etki değeri haritası oluşturulmuştur (Şekil 6 A). Saaty den referans alınan formüller kullanılarak bu değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri bulunmuş, yapılan hesaplamaların ve haritalardan elde

edilen verilerin doğruluk oranları SCB Associates yazılımı ile %97 olarak ölçülmüştür (Tablo 8 ve 9).

3.4. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Bitki örtüsünün heyelan üzerinde risk azaltıcı etkilerinin olduğu tam olarak kanıtlanmamış olsa da yapılan araştırmalar bitki örtüsü bakımından zayıf arazilerde heyelan olayının görülme sayısının bitki örtüsü zengin arazilere göre daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Roth, 1983). Bitki örtüsü bakımından zengin sayılabilecek araştırma sahası heyelan riskinin arazi genelinde daha düşük tutulmasını sağlamıştır.

Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) verileri ile sahanın bitki örtüsü dağılışı sayısallaştırılmıştır. Oluşturulan alt sınıflar etki değerleri atandıktan sonra NDVI etki değeri haritası hazırlanmıştır (Şekil 6 B). Değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri hesaplanıp, yapılan hesaplamaların ve haritalardan elde edilen verilerin doğruluk oranları yazılıma göre %94 olarak ölçülmüştür (Tablo 10 ve 11).

Tablo 8. Litoloji faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Jeoloji	Alüvyon	Karasal Çökel	Melanj	Volkanit
Alüvyon	1	2	2	3
Karasal	1/2	1	1	2
Melanj	1/2	1	1	2
Volkanit	1/3	1/2	1/2	1

Tablo 9. Litoloji faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

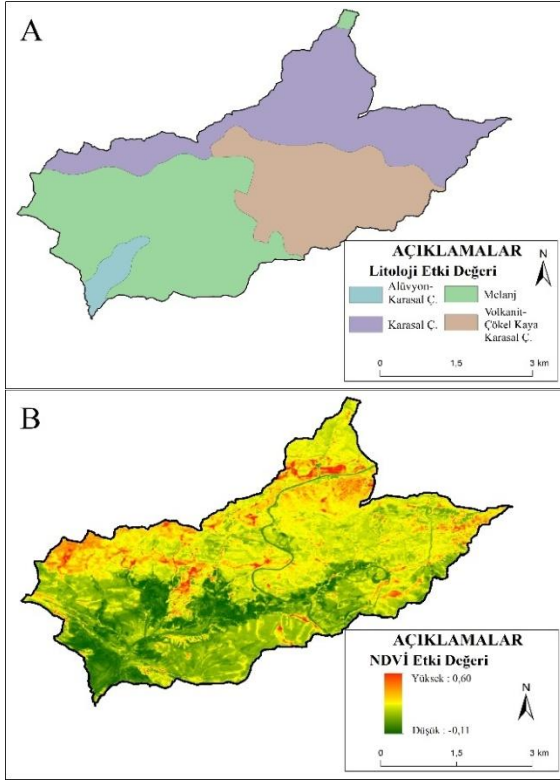
Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri					Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)		
1	0,428571	0,444444	0,444444	0,375	1	0,423	42,30
2	0,214857	0,222222	0,222222	0,25	2	0,227	22,70
3	0,214857	0,222222	0,222222	0,25	3	0,227	22,70
4	0,142857	0,111111	0,111111	0,125	4	0,123	12,30

Tablo 10. NDVI faktörü ikili karşılaştırma matrisi

NDVI	1	2	3	4	5
1 (-0,10 / -0,05)	1	2	3	4	5
2 (-0,05 / 0,00)	1/2	1	2	3	4
3 (0,00 / 0,33)	1/3	1/2	1	2	3
4 (0,33 / 0,66)	1/4	1/3	1/2	1	3
5 (0,66 / 1,00)	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Tablo 11. NDVI faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri						Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)		
1	0,437956	0,489796	0,439024	0,380952	0,333333	1	0,416	41,60
2	0,218978	0,244898	0,292683	0,285714	0,266667	2	0,262	26,20
3	0,145985	0,122449	0,146341	0,190476	0,2	3	0,161	16,10
4	0,109489	0,081633	0,073171	0,095238	0,133333	4	0,099	9,90
5	0,087591	0,061224	0,04878	0,047619	0,066667	5	0,062	6,20



Şekil 6. Litoloji etki değer haritası (A), NDVİ etki değer haritası (B).

3.5. Eğim Şekli Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Alanda daha önce yapılmış benzer çalışmalar ve uzman görüşlerinin alınmasında sonra eğim şeklinin heyelan olayı üzerinde belirleyici faktörlerden biri olduğu görülmüştür. Eğim şekli ile heyelan olayı arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmacılar dışbükey yamaçlara

sahip alanların içbükey yamaçlara göre heyelan yaşanma olasılığının daha yüksek olduğunu görmüşlerdir (Fernandez vd., 1999). Eğim şekli haritası, sahanın DEM verisinin ArcMAP Pro yazılımında Curvature aracında işlenmesi ile hazırlanmıştır. Bu harita sayesinde sahadaki içbükey düz ve dışbükey eğime sahip arazilerin analizi yapılmaktadır. Eğim şekli faktörünün kendi içerisindeki etki oranı hesaplanmış ve etki değer haritası elde edilmiştir (Şekil 7 A). Formüller kullanılarak bu değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri bulunmuştur ardından SCB Associates yazılımı ile yapılan hesaplamalar ve haritalardan elde edilen verilerin doğruluk oranları %98 olarak belirlenmiştir (Tablo 12 ve 13).

3.6. Akarsulara Yakınlık Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Akarsuya yakınlık heyelan olayı ile ilişkilendirilirken akarsuyun kaymaya karşı riski arttırıcı bir etki olarak ele almaktadır, aynı zamanda yamaç topuğunu erozyonla tahrip etmesi ve yamaç dibini suya doyurması heyelan riskini arttırmaktadır (Choubey ve Litoria, 1990). Sahanın akarsu ağı haritası DEM verisinin ArcMAP Pro yazılımı Hydrology Tools aracında işlenmesi ile elde edilmiştir. Bu akarsu ağı verisi sayısal yükseklik modeline oturtularak Kara Dere Havzası akarsu haritası elde edilmiştir. Akarsu verilerinden alt sınıfları elde etmek için 100 m aralıklarla multiple buffer geçirilmiş ve etki değerleri işlenerek akarsu etki değer haritası elde edilmiştir (Şekil 7 B). Formüller kullanılarak elde edilen değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri bulunmuştur, SCB Associates yazılımı ile yapılan hesaplamaların ve haritalardan elde edilen verilerin doğruluk oranları %97 olarak ölçülmüştür (Tablo 14 ve 15).

Tablo 12. Eğim şekli faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Eğim Şekli	1	2	3
1 (Dışbükey)	1	2	3
2 (Düz)	1/2	1	2
3 (İçbükey)	1/3	1/2	1

Tablo 13. Eğim şekli faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

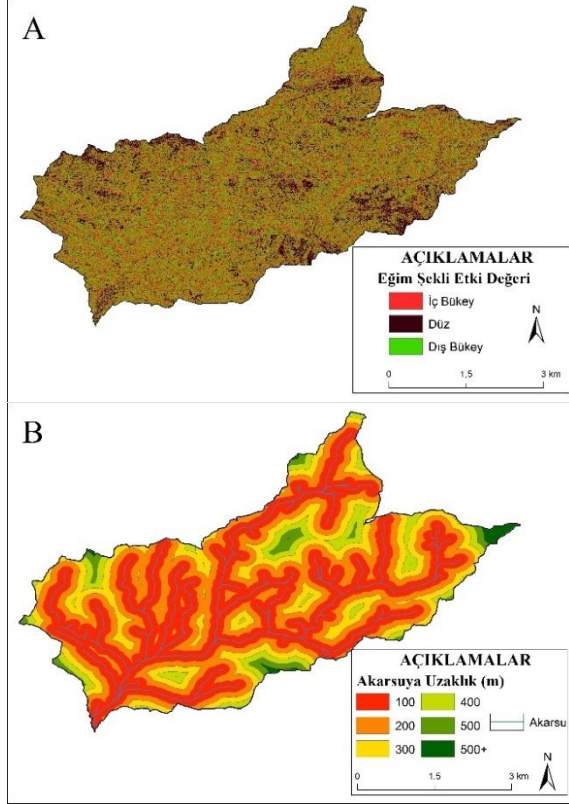
	Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri			Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)		
1	0,545455	0,571429	0,5	1	0,539	53,90
2	0,272727	0,285714	0,333333	2	0,297	29,70
3	0,181818	0,142857	0,166667	3	0,164	16,40

Tablo 14. Akarsuya yakınlık faktörü ikili karşılaştırma matrisi.

Akarsuya Yakınlık	1	2	3	4	5	6
1 (0 – 100 m)	1	2	3	5	7	9
2 (101-200m)	1/2	1	3	5	7	9
3 (201-300m)	1/3	1/2	1	3	5	7
4 (301-400m)	1/5	1/3	1/2	1	3	5
5 (401-500m)	1/7	1/5	1/3	1/2	1	3
6 (+501 m)	1/9	1/7	1/5	1/3	1/2	1

Tablo 15. Akarsuya yakınlık faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri						Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)			
1	0,437196	0,52808	0,390819	0,344037	0,3	0,264706	1	0,377	37,70
2	0,218598	0,26404	0,390819	0,344037	0,3	0,264706	2	0,297	29,70
3	0,145732	0,088013	0,130273	0,206422	0,214286	0,205882	3	0,165	16,50
4	0,087439	0,052808	0,043424	0,068807	0,128571	0,147059	4	0,088	8,80
5	0,062457	0,03772	0,026055	0,022936	0,042857	0,088235	5	0,047	4,70
6	0,048577	0,029338	0,01861	0,013761	0,014286	0,029412	6	0,026	2,60



Şekil 7. Eğim şekli etki değer haritası (A), Akarsulara yakınlık etki değer haritası (B).

3.6. Arazi Kullanımı Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Arazi kullanımı heyelan olayını kullanım durumuna göre etkilemektedir, yapılan değerlendirmelerde heyelan olayının dikkate değer bir kısmının tarım alanları ve bitki örtüsünden yoksun kesimlerde yaşandığı görülmüştür (Mehrotra vd., 1992). Sahanın arazi kullanımı durumu Avrupa Çevre Ajansı tarafından oluşturulan CORİNE açık kaynak sisteminden alınmış ve ArcMAP Pro yazılımı kullanılarak Kara Dere Havzası arazi kullanım durumu haritası elde edilmiştir. Arazi kullanımının alt sınıflarının etki değerleri eklenerek arazi kullanımı etki değer haritası oluşturulmuştur (Şekil 8 A). Değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri hesaplanmıştır, yapılan hesaplamaların ve haritalarda kullanılan verilerin doğruluk oranları SCB Associates yazılımına göre %92 dir (Tablo 16 ve 17).

3.7. Yükselti Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Yükselti faktörü özellikle yağış ile yükselti arasındaki yakın ilişkiden dolayı heyelan risk hesaplamalarında

kullanılan bir faktör olmuştur, sahanın özel konumu itibari ile nemli havaya ulaşma imkanının olduğu yerlerde yükseklik değerindeki ani değişimler risk analizlerindeki etki değerini de yükseltmektedir (Koukis ve Ziourkas, 1991). Çalışma sahasının yükseklik verilerine bakıldığında ise arazinin en yüksek ve en alçak noktası arasında 955m lik yükseklik farkı bulunmaktadır, arazinin yüksekliği kabaca güneyden kuzeye doğru artmaktadır.

Sahanın deniz seviyesinden yüksekliğinin tespit edilmesi için MGH 'nden temin edilen sym5 L0 yüksek çözünürlüklü DEM verisi kullanılmıştır. ArcMAP Pro yazılımı Reclassify aracı ile 5 adet alt sınıflara ayrılan yükselti değerleri ikili matris ile elde edilen verilerin işlenmesiyle faktörün kendi içerisindeki etki değerleri dağılımı tamamlanmış ve yükselti etki değeri haritası oluşturulmuştur (Şekil 8 B). Elde edilen değerler ile ikili matrisler ve normalleştirilmiş çarpan değerleri bulunmuştur ardından yaptığımız hesaplamaların ve haritalardan elde edilen verilerin doğruluk oranları SCB Associates yazılımına göre %93 olarak ölçülmüştür (Tablo 18 ve 19).

3.8. Büyük Toprak Grupları (BTG) Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Heyelan ve büyük toprak grupları arasındaki ilişki sahada bulunan toprak gruplarının karakteristik özelliklerine ve hâkim bitki örtüsüne göre değişiklikler göstermektedir (Jakob, 2000). Her toprak grubu homojen olarak dağılmadığı için analizde etki derecesi düşük tutulmuştur. Sahaya ait büyük toprak grupları (BTG) dağılışı T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan temin edilen Erzincan İli Toprak Kaynağı Envanter Raporundan sayısalılaştırılarak elde edilmiştir. ArcMAP Pro programında hazırlanan bu sayısal veriler ile Kara Dere Havzası büyük toprak grupları dağılışı haritası oluşturulmuştur. BTG faktörünün her bir alt sınıflarını oluşturan bu toprak grupları için belirlenen etki dereceleri atanmış ve BTG etki değeri haritası hazırlanmıştır (Şekil 9 A). Elde edilen değerlerden ikili matrisler ve normalleştirilmiş çarpan değerleri hesaplanmış, yaptığımız hesaplamaların ve haritalardan elde edilen verilerin doğruluğu SCB Associates yazılımı ile %91 olarak ölçülmüştür (Tablo 20 ve 21).

3.9. Bakı Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Bakı faktörü heyelan olayı ile ilişkilendirilirken gün ışığı almasından ziyade sahanın genel yağış yönü bakımından değerlendirilmektedir (Koukis ve Ziourkas, 1991). Bölgenin özel konumuna göre nemli havaya ve yağışa

maruz kalma açısından bakıldığında kuzeye bakan yamaçlar heyelan riski açısından daha duyarlıdır. Sahanın DEM verisi ArcMAP Pro yazılımında Aspect aracı ile işlenerek sahanın baki haritası oluşturulmuştur. Baki faktörü için belirlenen alt sınıflara hesaplanan etki dereceleri atanmış ve baki etki değeri haritası elde

edilmiştir (Şekil 9 B). Formüllerle bu değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri bulunmuş, yapılan hesaplamaların ve haritalardan elde edilen verilerin doğruluk oranları SCB Associates yazılımına göre %97 olarak ölçülmüştür (Tablo 22 ve 23).

Tablo 16. Arazi kullanım durumu faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Arazi Kullanım	1	2	3	4	5	6
1 (Çıplak Kayalıklar)	1	2	3	3	4	5
2 (Doğal Çayırılık)	1/2	1	3	3	3	4
3 (Tarım Alanları)	1/3	1/2	1	2	3	3
4 (Seyrek Bitki)	1/3	1/3	1/2	1	2	3
5 (Yerleşim Alanı)	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2
6 (Sulak Alanlar)	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1

Tablo 17. Arazi kullanım durumu faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

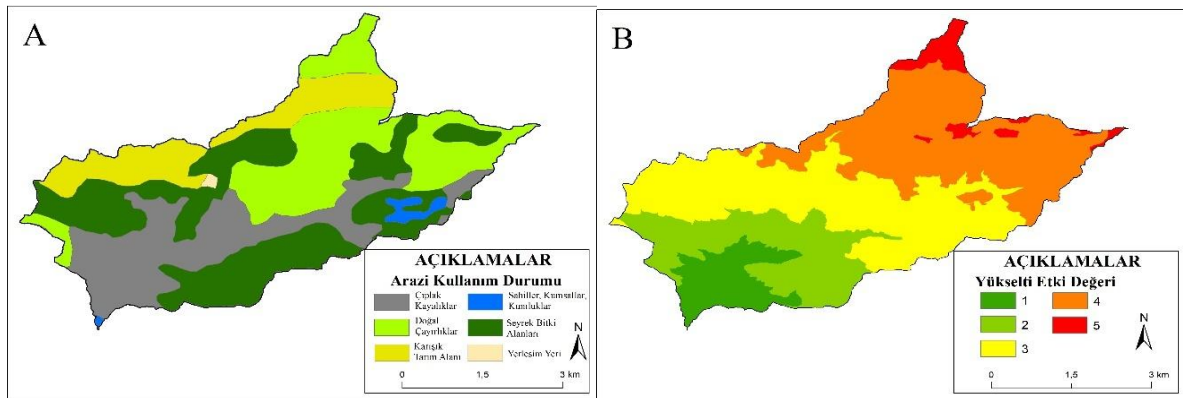
Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri							Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)		
1	0,382166	0,45283	0,418605	0,305085	0,296296	0,277778	1	0,355	35,50
2	0,191083	0,226415	0,27907	0,305085	0,222222	0,222222	2	0,241	24,10
3	0,127389	0,113208	0,139535	0,20339	0,222222	0,166667	3	0,162	16,20
4	0,127389	0,075472	0,069767	0,101695	0,148148	0,166667	4	0,115	11,50
5	0,095541	0,075472	0,046512	0,050847	0,074074	0,111111	5	0,076	7,60
6	0,076433	0,056604	0,046512	0,033898	0,037037	0,055556	6	0,051	5,10

Tablo 18. Yükselti faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Yükselti	1	2	3	4	5
1 (2205-2396 m)	1	2	3	4	5
2 (2014-2204 m)	1/2	1	2	3	4
3 (1823-2013 m)	1/3	1/2	1	2	3
4 (1632-1822 m)	1/4	1/3	1/2	1	3
5 (1441-1631 m)	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Tablo 19. Yükselti faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri						Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)		
1	0,437956	0,489796	0,439024	0,380952	0,333333	1	0,416	41,60
2	0,218978	0,244898	0,292683	0,285714	0,266667	2	0,262	26,20
3	0,145985	0,122449	0,146341	0,190476	0,2	3	0,161	16,10
4	0,109489	0,081633	0,073171	0,095238	0,133333	4	0,099	9,90
5	0,087591	0,061224	0,04878	0,047619	0,066667	5	0,062	6,20



Şekil 8. Arazi kullanımı etki değeri haritası (A), Yükselti etki değeri haritası (B).

Tablo 20. BTG faktörü ikili karşılaştırma matrisi

BTG	1	2	3	4	5
1 (Alüvyal)	1	1	2	2	3
2 (Kolüvyal)	1	1	1	2	2
3 (Kahverengi Topraklar)	1/2	1	1	1	2
4 (Kahverengi Orman T.)	1/2	1/2	1	1	2
5 (Kireçsiz Kahverengi T.)	1/3	1/2	1/2	1/2	1

Tablo 21. BTG faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

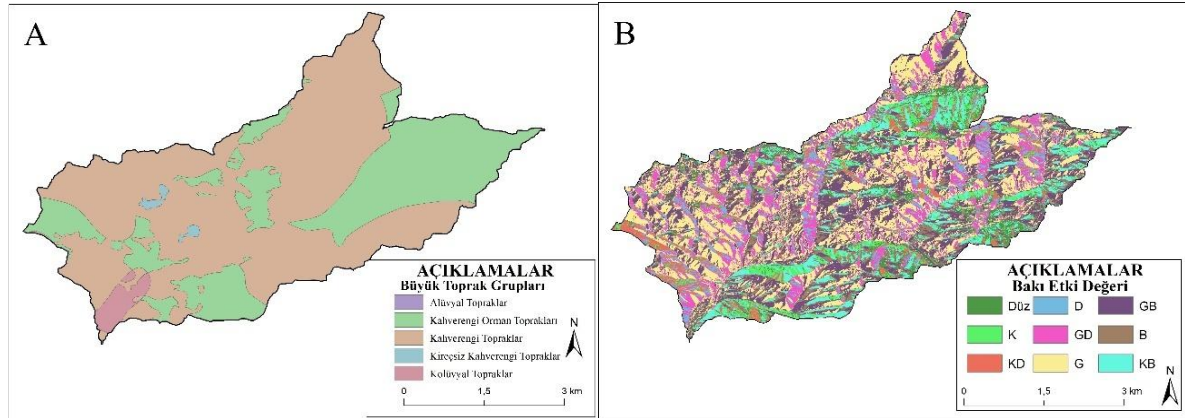
Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri					Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)			
1	0,3	0,25	0,363636	0,307692	0,3	1	0,304	30,40
2	0,3	0,25	0,181818	0,307692	0,2	2	0,248	24,80
3	0,15	0,25	0,181818	0,153846	0,2	3	0,187	18,70
4	0,15	0,125	0,181818	0,153846	0,2	4	0,162	16,20
5	0,1	0,125	0,090909	0,076923	0,1	5	0,099	9,90

Tablo 22. Bakı faktörü ikili karşılaştırma matrisi

Bakı	1	2	3	4
1 (Kuzeye Bakan Yamaçlar)	1	2	3	5
2 (Doğu-Batı Bakan Yamaçlar)	1/2	1	2	3
3 (Güneye Bakan Yamaçlar)	1/3	1/2	1	2
4 (Düz Araziler)	1/5	1/3	1/2	1

Tablo 23. Bakı faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri					Etki Değeri Ve Önem Derecesi(%)		
1	0,491803	0,521739	0,461538	0,454545	1	0,482	48,20
2	0,245902	0,26087	0,307692	0,272727	2	0,272	27,20
3	0,163934	0,130435	0,153846	0,181818	3	0,158	15,80
4	0,098361	0,086957	0,076923	0,090909	4	0,088	8,80



Şekil 9. BTG etki değeri haritası (A), Bakı etki değeri haritası (B).

3.10. Yollara Yakınlık Faktörü ve Alt Sınıfların Hesaplanması

Karayolları ve heyelan riski ilişkisinde yolların etki değerleri çok düşük tutulmuştur. Yola yakınlık faktörü arazinin yol yapılırken yarılmaması, yamaç dengesinin bozulması ve kısmi olarak yamaç dengesinin değiştirilmesinden dolayı analizde kullanılmıştır. Sahanın yol ağı verileri Open Street Map açık kaynağından temin

edildikten sonra yükseklik modeli verisi ile çakıştırılmış ve Kara Dere Havzası yol haritası elde edilmiştir. Yol ağının alt sınıflarını belirlemek için 100 m aralıklarla multiple buffer geçirilmiş ve oluşan katmanlara etki değerleri işlenerek yollara yakınlık etki değeri haritası elde edilmiştir (Şekil 10). Elde edilen değerlerin ikili matrisleri ve normalleştirilmiş çarpan değerleri hesaplanmış, yapılan hesaplamaların ve haritalardan elde

edilen verilerin doğruluk oranları SCB Associates yazılımı ile %97 olarak ölçülmüştür (Tablo 24 ve 25).

3.11. Faktörlerin Çakıştırılması, Heyelan Duyarlılık Haritası ve ROC Testi

Çalışma sahasında heyelana etki eden eğim, yağış, litolojik yapı, NDVI, eğim şekli, akarsuya olan mesafe, arazi kullanımı, yükselti, toprak, bakı ve yollara olan mesafe faktörleri belirlendi. Her bir faktör için alt sınıf belirlemesi yapılmıştır. Faktörlerin ve alt sınıfları etki değerleri yöntem ve materyal bölümünde açıklanan formüller ile hesaplanmıştır. Atanan değerler ve oluşturulan haritalarda veri tutarlılıkları ile doğruluk oranları SCB Associates yazılımıyla kontrol edilmiştir. Bütün faktörler ve alt sınıflar için doğruluk oranı %90 nin üzerinde çıkmıştır.

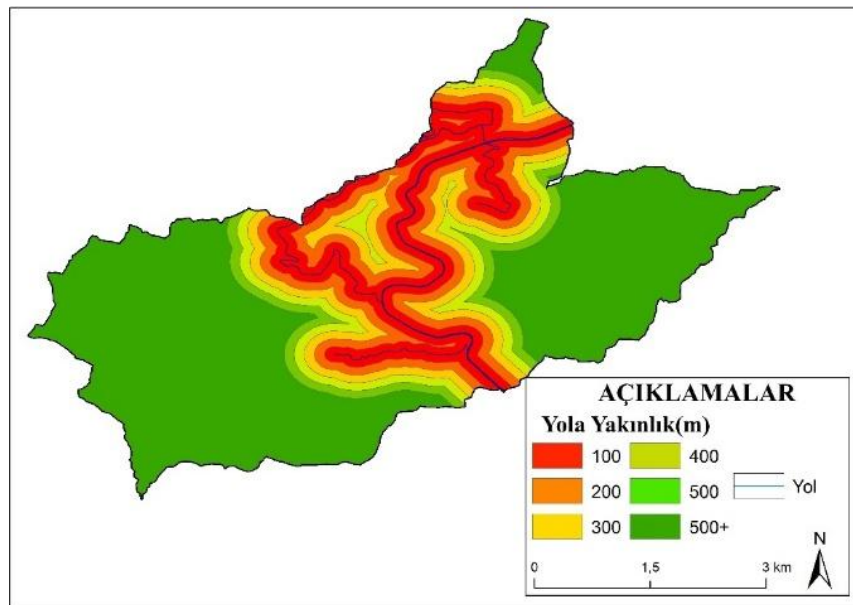
Elde edilen verilerin doğruluk doğrulaması yapıldıktan sonra her bir faktör için AHS haritası elde edilmiş, faktör bazında oluşturulan AHS haritaları önem sırası ve çarpan değerlerine göre ArcMAP Pro yazılımında Weighted Sum aracı kullanılarak birleştirilmiştir. Bu birleştirme işleminin tamamı ağırlıklı çakıştırma yöntemi dahilinde yapıp, AHS haritaları çakıştırma sonrası Kara Dere Havzası Heyelan Duyarlılık Haritası raster formatta elde edilmiştir (Şekil 11). Haritanın sayısal olarak yorumlanabilmesi için raster formattaki harita öncelikle Reclassify (3D Analyst Tools) aracı kullanılarak 5 kategoriye ayrılmış olup, ardından Raster to Polygon (Conversion Tools) aracı ile kategorize edilebilir veri haline gelmiştir.

Tablo 24. Yollara yakınlık faktörü ikili karşılaştırma matrisi

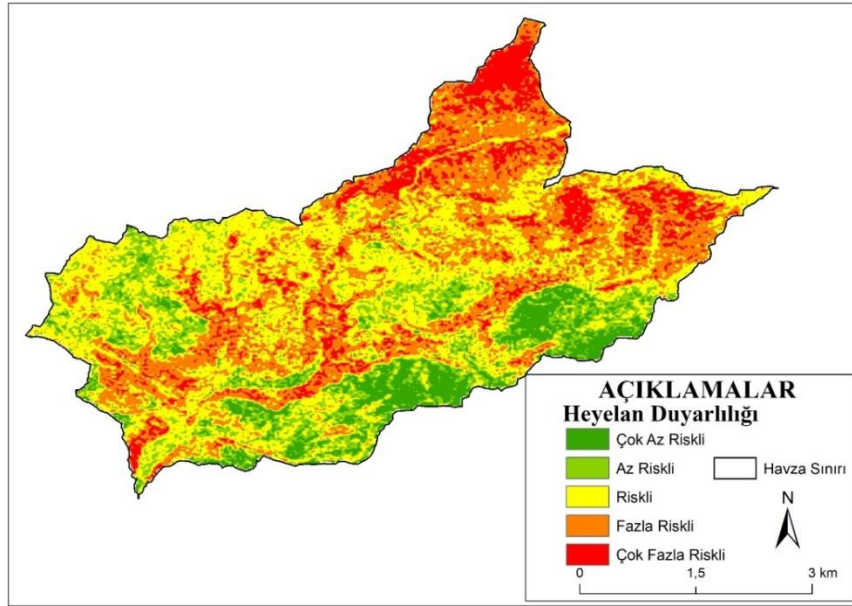
Yollara Yakınlık	1	2	3	4	5	6
1 (0 - 100 m)	1	2	3	5	7	9
2 (101-200m)	1/2	1	3	5	7	9
3 (201-300m)	1/3	1/2	1	3	5	7
4 (301-400m)	1/5	1/3	1/2	1	3	5
5 (401-500m)	1/7	1/5	1/3	1/2	1	3
6 (+501 m)	1/9	1/7	1/5	1/3	1/2	1

Tablo 25. Yollara yakınlık faktörü normalleştirilmiş çarpan değerleri, etki değeri ve önem derecesi

Normalleştirilmiş Çarpan Değerleri						Etki Değeri Ve Önem Derecesi (%)			
1	0,437196	0,52808	0,390819	0,344037	0,3	0,264706	1	0,377	37,70
2	0,218598	0,26404	0,390819	0,344037	0,3	0,264706	2	0,297	29,70
3	0,145732	0,088013	0,130273	0,206422	0,214286	0,205882	3	0,165	16,50
4	0,087439	0,052808	0,043424	0,068807	0,128571	0,147059	4	0,088	8,80
5	0,062457	0,03772	0,026055	0,022936	0,042857	0,088235	5	0,047	4,70
6	0,048577	0,029338	0,01861	0,013761	0,014286	0,029412	6	0,026	2,60



Şekil 10. Yollara yakınlık etki değer haritası.



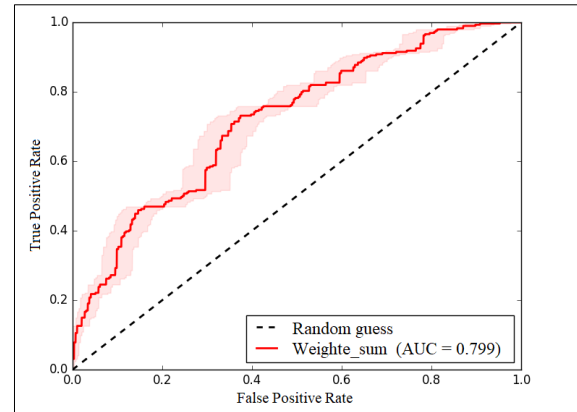
Şekil 11. Kara Dere Havzası heyelan duyarlılık haritası.

Çıktı olarak elde edilen Heyelan Duyarlılık Haritası ve topografya haritası karşılaştırıldığı zaman özellikle çalışma alanının kuzeyinde kalan Kaleiçi Sırtı, Sarıbaba Tepesi ve Tanta Deresi mevki ile çalışma alanının doğusunda yer alan Uzun Tepe, Kırtyokuşu Sırtı ve Sonbaba Deresi çevresi çok fazla riskli bölge içerisinde kalmaktadır. Çalışma alanının güneydoğusunda yer alan Uzunçayır Tepesi, Ahmetbey Tepe, Alacagöl Tepe, Çifteburun tepe ve Susuzlar tepe çevresi ise az ve çok az riskli bölgeler içerisinde kalmaktadır (Şekil 11).

Bölgenin ana ulaşım yollarından biri olan Erzincan-Kelkit anayolunun yaklaşık 6 km lik bir bölümü çalışma alanının içerisinden geçmektedir. Elde edilen duyarlılık analizi ile Erzincan-Kelkit yolu karşılaştırıldığında yolun yaklaşık 2200m uzunluğundaki bölümü az riskli ve çok az riskli, 2050m uzunluğundaki bölümü orta derecede riskli, 1750m uzunluğundaki bölümü ise çok fazla riskli ve riskli olarak tespit edilmiştir. Özellikle yolun Sarıbaba Tepe kuzeyinde bulunan kısmı akarsu yatağına yakın ve paralel yapıldığı için riskli bölgede bulunmaktadır.

Kara Dere Havzası için üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirmesi, literatürde duyarlılık modellerinin performansını ölçmek için en yaygın ve güvenilir yöntem olarak kabul gören Alıcı İşletim Karakteristiği (ROC) eğrisi ve Eğri Altında Kalan Alan (AUC) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Pradhan, 2013). Modelin gerçeği yansıtır ve tahmin yeteneğini tarafsız bir şekilde test edebilmek için, çalışma alanında geçmişte meydana gelmiş olan heyelan envanteri rassal (rastgele) bir biçimde bölünmüştür (Chung ve Fabbri, 2003). İlgili literatürdeki kabul görmüş metodolojik yaklaşımlara uygun olarak, toplam heyelan envanterinin %70'ini oluşturan eğitim verisi modelin (ağırlıkların) oluşturulması aşamasında, geriye kalan %30'luk bağımsız test verisi ise üretilen duyarlılık haritasının sonuçlarının ROC eğrisi ile doğrulanması amacıyla kullanılmıştır (Pourghasemi vd., 2012). Test

verisi ile yapılan doğrulama sonucunda hesaplanan 0.799 AUC değeri (Şekil12), haritanın bilimsel olarak kabul edilebilir ve güvenilir bir tahmin kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir (Yesilnacar ve Topal, 2005).



Şekil 12. Kara Dere Havzası heyelan duyarlılık haritası ROC çıktısı.

4. Tartışma

Bu çalışmada, Kara Dere Havzası'nın heyelan duyarlılık analizi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 0.799 AUC değerli ROC eğrisi, modelin kabul edilebilir bir doğruluk düzeyine sahip olduğunu göstermekte ve AHS yönteminin bölgesel ölçekli heyelan duyarlılık analizlerindeki etkinliğini teyit etmektedir.

Çalışmada eğim faktörünün (%25,10) heyelan duyarlılığını kontrol eden en baskın parametre olarak belirlenmesi, literatürdeki pek çok çalışma ile tutarlılık göstermektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Kavzoğlu ve Şahin, 2012; Özşahin, 2014; Çellek vd., 2015; Avcı, 2016). Kara Dere Havzası'nın morfolojik yapısı incelendiğinde, akarsuyun yatağını derine aşındırmasıyla

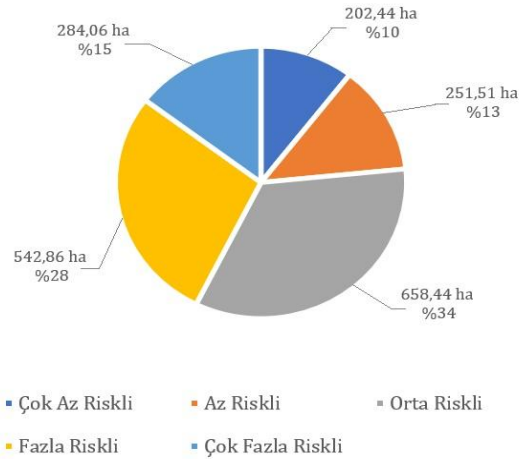
oluşan ve özellikle havzanın kuzey kesimlerinde belirginleşen yüksek eğimli yamaçların varlığı, bu faktörün ağırlığının neden yüksek çıktığını jeomorfolojik olarak açıklamaktadır. Benzer şekilde, yağış faktörünün ikinci en önemli parametre olarak belirlenmesi, toprağın suya doygun hale gelerek zemin ağırlığını ve boşluk suyu basıncını artırmasının heyelanları tetikleyici rolünü doğrulamaktadır (Koukis ve Ziourkas, 1991). AFAD (2021) raporunda belirtilen havzanın yüksek debi potansiyeli de bu bulguyu hidrolojik açıdan desteklemektedir. Litolojik birimlerin ve NDVI (bitki örtüsü) değerlerinin de analizde önemli ağırlıklara sahip olması, ayrışmaya ve su tutmaya elverişli jeolojik formasyonlar ile bitki örtüsünden yoksun arazilerin heyelan riskini artırdığı yönündeki genel kanıyı (Carrara vd., 1982; Roth, 1983) bölgesel ölçekte doğrulamıştır.

Bu çalışmanın literatüre en önemli katkısı, daha önce detaylı bir heyelan duyarlılık analizine tabi tutulmamış olan Kara Dere Havzası için bilimsel temellere dayalı, bütüncül bir duyarlılık haritası sunmasıdır. Özellikle Erzincan-Kelkit karayolunun riskli kesimlerinin ve Ahmetli Köyü afet konutlarının konum seçiminin doğruluğunun bu harita ile değerlendirilmesi, çalışmanın yerel otoriteler ve planlamacılar için pratik bir başvuru kaynağı niteliği taşıdığını göstermektedir. AHS yönteminin uygulanmasıyla faktörlerin nicel ağırlıklarının belirlenmesi ve CBS ortamında bütünleştirilmesi, karar vericilere somut ve anlaşılır bir sonuç sunmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın bazı kısıtlılıkları da mevcuttur. AHS yöntemi, doğası gereği uzman görüşlerine ve literatür değerlendirmelerine dayalı ikili karşılaştırmalar içerdiğinden, belirli bir düzeyde öznellik barındırmaktadır. Her ne kadar tutarlılık oranı kontrolü ile bu öznellik en aza indirilmeye çalışılsa da sonuçlar tamamen veriye dayalı istatistiksel modellerden (örn. Lojistik Regresyon) farklılık gösterebilir. Ayrıca, havza içerisinde bir meteoroloji istasyonu bulunmadığından en yakın istasyon verilerinin enterpolasyon ile kullanılması ve 1:100.000 ölçekli jeoloji haritasının çözünürlüğü, modelin hassasiyetini etkileyebilecek diğer faktörlerdir. Çalışma, heyelanları tetikleyebilecek dinamik faktörleri (örn. anlık yoğun yağış, sismik aktivite) değil, konuma bağlı statik faktörleri ele almaktadır. Gelecekteki çalışmalar için, bu çalışmada elde edilen AHS tabanlı sonuçların, Frekans Oranı, Lojistik Regresyon veya makine öğrenmesi gibi farklı istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılması, modelin güvenilirliğini daha da artıracaktır. Daha yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve daha detaylı jeoloji haritalarının kullanılmasıyla analizlerin hassasiyeti yükseltilebilir. Ayrıca, havza içerisine kurulacak sensörlerle anlık yağış ve zemin hareketi verilerinin toplanması, statik duyarlılık haritalarından dinamik erken uyarı sistemlerine geçiş için önemli bir adım olacaktır. Son olarak, haritada "çok fazla riskli" olarak belirlenen alanlarda detaylı saha etütleri ve jeoteknik analizler yapılarak potansiyel kayma mekanizmalarının incelenmesi önerilmektedir.

4. Sonuç

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHS) yöntemi kullanılarak Kara Dere Havzası heyelan duyarlılık analizi oluşturulmuştur. AHS yöntemi gereği çalışma alanında heyelan olayına etki eden faktörler literatür taraması ve uzman görüşü alınarak 11 adet olarak belirlenmiştir. Bu faktörler ve alt sınıfları ilk önce kendi içerisinde ardından bir bütün olarak ikili matrisle hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar birleştirilerek analiz tamamlanmıştır. Analiz sonucu olarak havzanın %43 ü (826,92 ha.) çok fazla riskli ve riskli, %34 ü (658,44 ha.) orta derecede riskli, %23 ü (453,94 ha.) az riskli ve çok az riskli olarak tespit edilmiştir (Şekil 13).

Analizler sonucunda heyelana karşı fazla riskli ve çok fazla riskli bölgelerin havzanın kuzeyi ve kuzeydoğusundaki engebeli araziler ile akarsu tarafından yarılarak eğim kazanmış akarsu çevresi olduğu gözlemlenmektedir. Heyelan duyarlılığı çok az riskli ve az riskli arazilerin ise genel anlamda havzanın güneydoğu kesiminde görülmektedir, buradaki arazilerin duyarlılık derecesinin düşük olmasının başlıca sebepleri eğim derecesinin düşük olması ve akarsu ağının bu bölgede çok yoğun olmamasıdır. Havza sınırları içerisindeki Ahmetli Köyü (afet evleri) eğim derecesi düşük ve akarsu yatağına yakın olmayan bir yere kurulduğu için risk derecesi yüksek yerlerde yer almamaktadır. Heyelan olayı ile büyük zarar almış eski yerleşim yerine alternatif kurulan yeni yerleşim yerinin kuruluş yeri seçimi ve Erzincan-Kelkit anayolunun yakınına kurulması köy sakinlerinin ulaşım imkanlarını kolaylaştırmış ve heyelan benzeri afetlerden etkilenme ihtimalini azaltmıştır.



Şekil 13. Kara Dere Havzası heyelana duyarlı bölgelerin alan ve yüzde dağılımı.

Bu çalışma gibi afet riskini bilimsel yöntemlerle ortaya koyan çalışmaların referans alınarak bölge ve şehir planlamalarının yapılması, gelecekte meydana gelecek afetlerden etkilenme ihtimalini en aza indirecektir. Böylelikle hem yeni yapılacak yerleşmeler afet bölgelerinden olabildiğince uzağa yapılacak hem de afet bölgeleri içerisinde kalan yerleşmeler afet yaşanmadan

önce gerekli tedbirler alınarak meydana gelebilecek can ve mal kaybı en aza indirilebilecektir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	M.E.Y.	İ.K.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından SDK-2023-12462 numaralı proje kapsamında desteklenen, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırlamakta olduğu "Erzincan Depresyonunun Doğal Afet Risk Analizi" başlıklı doktora tezinin bir bölümü esas alınarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- AFAD. (2021). *İRAP afet risk azaltma planı*. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Erzincan Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Yayınları.
- Aghlmand, M., Onur, M. İ., & Talaei, R. (2020). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 224–230.
- Akgün, A., & Türk, N. (2010). Landslide susceptibility mapping for Ayvalık (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61(3), 595–611.
- Akinci, H., Özalp, A. Y., & Kılıçer, S. T. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri ve AHP yöntemi kullanılarak planlı alanlarda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi: Artvin örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1–2), 40–53.

- Atalay, İ., & Bekaroğlu, N. (1973). *Heyelanlar ve mühendislik uygulaması*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Avcı, V. (2016). Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl güneybatısı) frekans oranı metoduna göre heyelan duyarlılık analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (34), 160–177.
- Carrara, A., Sorisso-Valvo, M., & Reali, C. (1982). Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques. *Catena*, 9(1), 35–62.
- Choubey, V. D., & Litoria, P. K. (1990). Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, a terrain evaluation approach. In D. G. Price (Ed.), *Proceedings of 6th International Association of Engineering Geology Congress, 6–10 August 1990, Amsterdam, Netherlands* (pp. 65–72). Balkema.
- Chung, C. J. F., & Fabbri, A. G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), 451–472.
- Cihangir, M. E., & Görüm, T. (2016). Kelkit Vadisinin aşağı çıkışında gelişmiş heyelanların dağılım deseni ve oluşumlarını kontrol eden faktörler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 19–28.
- Çellek, S., Bulut, F., & Ersoy, H. (2015). AHP yöntemi'nin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanımı ve uygulaması (Sinop ve yakın çevresi). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(2), 59–90. <https://doi.org/10.24232/jeoloji-muhendisligi%20dergisi.295366>
- Dağ, S., & Bulut, F. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35–62.
- 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>
- Erener, A., & Lacasse, S. (2007). *Heyelan duyarlılık haritalamasında CBS kullanımı*. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon, Türkiye.
- Eriç, S. (1996). *Jeomorfoloji I*. DER Yayınları.
- Fernandez, C. I., Del Castillo, T. F., El Hamdouni, R., & Montero, J. C. (1999). Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(6), 537–544.
- Fidan, S., & Görüm, T. (2020). Türkiye'de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (74), 123–134. <https://doi.org/10.17211/tcd.731596>
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189–206.
- Görüm, T., & Nefeslioğlu, H. A. (2015). Çok zamanlı heyelan aktivitesinin belirlenmesinde jeomorfolojik bir yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, (65), 47–58.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181–216.
- Gülenç, İ. F., & Aydın Bilgin, G. (2012). Yatırım kararları için bir model önerisi: AHP yöntemi. *A Model Öneri Dergisi*, 9(34), 97–107. <https://doi.org/10.14783/od.v9i34.1012000233>
- JAKOB, Matthias (2000). The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38, 279–30
- Kavas, E. (2009). *Analitik hiyerarşik süreç yöntemiyle İzmir ilinde heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi*. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi (CBS2009), İzmir, Türkiye.
- Kavzoğlu, T., & Şahin, E. K. (2012). *Bulut bilişim teknolojisi ve*

- bulut CBS uygulamaları. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye.
- Kızıllıkan, Y., Birinci, S., & Kaymaz, Ç. K. (2023). Endüstriyel gelişime uygun yerlerin belirlenmesinde CBS ve AHP entegrasyonu yaklaşımı: Palandöken, Aziziye ve Yakutiye (Erzurum). *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1), 69–88.
- Kopar, İ. (1995). *Ünlükaya ve çevresinde kütle hareketleri*. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi.
- Kopar, İ. (2010). Oluşmuş ve aktivitesini sürdüren karışık tip bir heyelan: Elmalı-Madenköprübaşı (İspir-Erzurum) heyelanı, sorunlar ve öneriler. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 15(24), 191–209.
- Kopar, İ., & Sevindi, C. (2018). Karışık tip eski bir heyelan kompleksi: Kirazlı-Altinçanak heyelanına (Uzundere-Erzurum-KD Türkiye) dair ilk jeomorfolojik bulgular ve heyelanın morfolojik özellikleri. *Uluslararası Anadolu Gürcistan İlişkileri Sempozyumu*, 339–359.
- Koukis, G., & Ziourkas, C. (1991). Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. *Bulletin of the International Association of Engineering Geologists*, 43(1), 47–60.
- Kumtepe, P., Nurlu, Y., Cengiz, T., & Sütçü, E. (2011). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, (Special Issue: 2011/3).
- Mehrotra, G. S., Sarkar, S., & Dharmaraju, R. (1992). Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India. In D. H. Bell (Ed.), *Proceedings of 6th International Symposium on Landslides, 10–14 February 1992, Christchurch, New Zealand* (pp. 1001–1007). Balkema.
- Myers, J. H., & Alpert, M. I. (1968). Determinant buying attitudes: Meaning and measurement. *Journal of Marketing*, 32(4), 13–20. <http://www.jstor.org/stable/1249332>
- Myers, J., & Alpert, M. (1968). Determinant buying attributes: meaning and measurement. *Marketing*, 2, 13–20.
- Ömerbeyoğlu, E., & Sevinç, N. (1991). Doğu Karadeniz bölgesi heyelanları ve karayollarımız. *Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 64–71.
- Öner, E., & Çiçek, İ. (1987). Heyelan olayları ve Karadeniz kıyı şeridinden örnekler. *Jeomorfoloji Dergisi*, 15, 53–64.
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ ilinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi süreci kullanarak heyelan duyarlılık analizi. *Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3), 167–186.
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye’ye etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35–50.
- 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), Article 101626.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965–996.
- Pradhan, B. (2013). A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences*, 51, 350–365.
- Roth, R. A. (1983). Factors affecting landslide-susceptibility in San Mateo County, California. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 20(4), 353–372.
- Saatcioğlu, M., & Arslan, M. (2016). Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi ile heyelan riski haritalarının oluşturulması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 59(4), 485–494.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in a hierarchical structure. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill International Book Company.
- Saaty, T. L. (1982). *Decision making for leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. Lifetime Learning Publications.
- Saaty, T. L. (1984). The analytic hierarchy process: Decision making in complex environments. In *Quantitative assessment in arms control: Mathematical modeling and simulation in the analysis of arms control problems* (pp. 285–308). Springer.
- Saaty, T. L. (1987). Rank generation, preservation and reversal in the analytic hierarchy decision process. *Decision Sciences*, 18(2), 157–177.
- Saaty, T. L. (1988). What is the analytic hierarchy process? In G. Mitra, H. J. Greenberg, F. A. Lootsma, M. J. Rijkaert, & H. J. Zimmermann (Eds.), *Mathematical models for decision support* (pp. 109–121). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1_5
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8)
- Sevindi, C., Kopar, İ., & Kaya, G. (2004). Akdam (Kağızman-Kars) heyelanı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(11), 185–204.
- Sür, Ö. (1972). Heyelan olaylarına sebep olan faktörler ve bunların Türkiye’de etkili olduğu alanlar. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, (5–6), 111–142.
- Taş, M. A. (2022). *Tokat ilinde doğal afetler: Horoztepe’den günümüze 6000 yılda Tokat*. Paradigma Akademi Yayınları.
- Taş, M. A. (2025). Comparison Of Analytical Hierarchy Process (AHP) And Frequency Ratio (FR) Methods In Landslide Susceptibility Assessment: A Case Study In Kemah-Kömür Stream Basin, Erzincan. *Ege Coğrafya Dergisi*, 34(2), 337–356.
- Toprak-Su Genel Müdürlüğü. (1972). *Erzincan ili toprak kaynağı envanter raporu*. Toprak-Su Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Ulutaş, B., & Güler, N. (2017). AHP yöntemi ile heyelan riski haritalarının oluşturulması ve analizi (Konya örneği). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 41(1), 44–54.
- Uromehiy, A., & Mahdavi, M. R. (2000). Landslide hazard zonation of Khorshrostan area, Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(3), 207–213.
- Yalçın, A. (2007). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS’nin kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22(3), 1–14.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınoglu, A. C., & Yomralioğlu, 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.
- Yaraloğlu, K. (2001). Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi prosesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 129–142.
- Yazgan, E. (2022). Analitik hiyerarşi süreci (AHS) yöntemini kullanarak havacılık sektörünün kalite süreçlerindeki insan faktörü risklerinin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue 34), 14–18.
- 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), 251–269.