



## ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHS) İLE DELİBEKİRLİ (KIRIKHAN/HATAY) HAVZASI'NIN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

### *Landslides Susceptibility Analysis of Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Basin By Analytical Hierarchy Process (AHP)*

**Mahsum BOZDOĞAN**

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi  
Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Hatay-Türkiye  
mahsumbozdogan@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-6624-4188

**Ergin CANPOLAT<sup>1</sup>**

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi  
Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Hatay-Türkiye  
ergincanpolat@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-2123-3551

(Teslim: 7 Ocak 2022; Düzeltme: 13 Mayıs 2022; Kabul: 16 Mayıs 2022)  
(Received: January 7, 2022; Revised: May 13, 2022; Accepted: May 16, 2022)

### Abstract

The economic and human losses, caused by landslides, are related with processes of different origins and scales is quite high. Detecting the potential of landslides that may occur in any area and considering these determinations in land use plans will prevent possible losses due to landslides. In this study, Delibekirli basin, which covers an area of approximately 52 km<sup>2</sup>, located in the middle of the Amanos Mountains, was examined in terms of its natural and human characteristics that may be related to landslides. The lowest point is 170 m and the highest point is 1795 m. In addition to these high relief values, the area covered by lithologically different rocks is tectonically fragmented by many faults. The geomorphological development of the Delibekirli basin, which has a rich vegetation diversity with an annual precipitation of 579 mm and an average temperature of 21.1°C (according to Kırıkhan meteorology station data) continues under the influence of tectonism, karstification, stream erosion, climate, vegetation and hydrographic processes and anthropogenic processes. In this study, it was aimed to perform landslide susceptibility analysis for the basin and the Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used. Stream network, tectonism, slope, aspect, elevation, slope shape, NDVI, soil, climatic features, distance to the roads, land use and lithological features were selected as input data. According to the Analytical Hierarchy Process, the landslide susceptibility of the Delibekirli Basin is 32,1% for the fall type in medium, high and very high grade landslides; for the slip type it is 30,2%. The overlap of field observation findings with the results of the AHP method supports the reliability and applicability of the method.

**Keywords:** Analytical Hierarchy Process (AHP), Hatay, Landslides Susceptibility Analysis, Geographic Information Systems (GIS)

### Öz

Birbirinden farklı köken ve ölçekteki faktörlerin oluşturduğu süreçlerle gerçekleşen heyelanların yol açtığı can kayıplarının sayısı ile ekonomik kayıpların miktarı oldukça fazladır. Herhangi bir sahada yaşanabilecek heyelan potansiyelinin önceden tespit edilmesi ve bu tespitlerin arazi kullanım planlamalarında göz önünde bulundurulması heyelanlarla olması muhtemel kayıpların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada, Amanos Dağları'nın orta kesiminde yer alan yaklaşık 52 km<sup>2</sup> alan kaplayan Delibekirli Havzası heyelanları ile ilişkili olabilecek doğal ve beşerî özellikleri bakımından irdelenmiştir. Kısa mesafeler içerisinde yükselti farkının çok fazla değiştiği havzada en alçak yer 170 m en yüksek yer 1795 m'dir. Bu yüksek relief değerlerinin yanı sıra litolojik olarak farklı kayaların kapladığı saha tektonik olarak çok sayıda fay ile parçalanmıştır. Kırıkhan meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık 579 mm yağış ve ortalama 21,1 °C sıcaklık değerleri ile zengin bir bitki örtüsü çeşitliliği arz eden Delibekirli havzasının jeomorfolojik gelişimi, tektonizma, karstlaşma, akarsu aşındırması, iklim, bitki, hidrografik süreçler ve antropojenik süreçlerin etkisi altında sürmektedir. Bu çalışmada, havzaya yönelik heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır. Akarsu ağı, tektonizma, eğim, baki, yükselti, eğim şekli, NDVI, toprak, iklimik özellikler, ulaşım yolları, arazi kullanımı ve litolojik özellikler girdi veri olarak seçilmiştir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre Delibekirli Havzası'nın heyelan duyarlılığı orta, yüksek ve çok yüksek dereceli heyelanlarda düşme tipi için %32,1; kayma tipi için %30,2'dir. Arazi gözlem bulgularının AHS yöntemindeki sonuçlarla örtüşmesi yöntemin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Hatay, Heyelan Duyarlılık Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar/ Corresponding author

## 1. GİRİŞ

Doğal çevre şartlarından en verimli şekilde yararlanmaya ve ihtiyaçlarını gidermeye çalışan insan, yine doğal çevrede oluşan tehlikeler ile karşı karşıya kalmaktadır. İnsanların doğal ortamdan yararlanarak gidermeye çalıştıkları ihtiyaçları ile doğal çevrede çeşitli faktörlerin tesiri altında gelişen tehlikeler, yaşamın devamlılığı için bazı planlamaların yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bir kaya, moloz veya toprak kütesinin bir yamaçtan aşağı hareketi anlamına gelen heyelan (Cruden 1991; Varnes, 1996) zaman zaman afet boyutuna ulaşarak can ve mal kayıplarına neden olmaktadır (Görüm & Fidan, 2021). Heyelan sınıflandırmasında literatürde farklı sınıflamalar (Güner, 1991; Epoch, 1993; Monroe vd., 1995; Cruden & Varnes, 1996; Erinç, 2002) yer alsa da en yaygın olan sınıflandırma, heyelanları malzeme türü ve harekete bağlı olarak sınıflandıran Cruden & Varnes (1996)'ın sınıflandırmasıdır (Tablo 1). Hareket türüne bağlı olan sınıflandırma; düşme, yuvarlanma, kayma, yanıl yayılma, akma ile karmaşık hareket biçimlerini içermektedir. Düşme hareketleri 48°-70° eğim değerleri arasında daha çok litoloji ve yapı faktörlerine bağlı gerçekleşmektedir. Kayma hareketleri ise 18°-40° eğim değerleri aralığında, NDVI, yola uzaklık, eğim gibi topoğrafik koşulların denetimi altında gerçekleşmektedir.

Heyelanlar aktivitenin gerçekleşme durumuna göre de sınıflandırılmaktadır. WP/WLI (1993), heyelanları aktif, duraklamış, yeniden aktif olan, aktif olmayan, eski, durağan, kalıntı heyelanlar şeklinde sınıflandırılmıştır.

Heyelanlar yaşam için tehlike oluşturabildiklerinden üzerinde durulması gereken ve planlama yapılmasını gerektiren olaylardan biridir. Cruden ve Varnes (1996)'e göre heyelana neden olan faktörler arasında; bozunmuş, dirençsiz ve gevşek tutturulmuş malzemedan oluşan zeminler (litolojik özellikler), tektonik yükselme (jeolojik faktörler), erozyon, sağanak yağış (klimatik faktörler) ve yol yapımı, yamaç kazıları, sulama (beşeri faaliyetler) gibi faktörler yer almaktadır. Buna bağlı olarak, doğal tehlike ve sürdürülebilirlik amacıyla planlamaların yapılabilmesi için ilgili sahanın tüm yönleriyle (drenaj özellikleri, tektonizma, eğim, bakı, yükselti, eğim şekli/eğrisellik (iç bükey, dış bükey veya düz topoğrafya), bitki örtüsü, toprak, iklimatik özellikler, ulaşım yolları, arazi kullanımı ve litolojik özellikler gibi) bilinmesi ve haritalanması gerekmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarıyla, kütle hareketleri açısından hassas olan sahaları önceden tespit etmek mümkündür. Bundan hareketle olası heyelanların zararları minimal düzeye indirilebilir (Varnes, 1984; Yalçın, 2007).

Tablo 1- Heyelan sınıflandırması (Cruden & Varnes, 1996)  
Table 1- Landslide classification (Cruden & Varnes, 1996)

Hareket Türü	Malzeme Türü		
	Kaya	Toprak	
		<i>Kaba (İri) Taneli</i>	<i>İnce Taneli</i>
Düşmeler	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak düşmesi
Yuvarlanmalar	Kaya Yuvarlanması	Moloz Yuvarlanması	Toprak Yuvarlanması
Kaymalar	Rotasyonel	Kaya Kayması	Moloz Kayması
	Düzlemsel		
Yanal Yayılmalar	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akmalar	Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Kayması
	Derin Sürünme (Krip)	Sürünme (Krip)	
	Karmaşık	İki veya daha fazla türdeki heyelanın birlikte oluşması	

Genelde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS); özelde ise Çok Kriterli Değerlendirme (ing. Multi Criteria Evaluation) adı altında yapılan bu duyarlılık haritaları, birbirine göre bazı ağırlık değerlerine sahip parametrelerin üst üste çakıştırılmasıyla elde edilmektedir (Saaty, 1990). Birçok araştırmacı, AHS ile üretilen haritalar baz alınmak suretiyle gerek afet

yönetimi özelinde gerekse de arazi kullanımı özelinde birtakım planlamaların yapılabileceğini mümkün görmektedir (Klimes & Escobar, 2010; Das vd., 2013; Kayastha vd., 2013). Aynı zamanda bazı araştırmacılar, AHS yönteminin arazideki verilerle uyumlu olduğu kanaatindedir (Komac, 2006; Bhatt vd., 2013). Son yıllarda giderek geliştirilen Coğrafi

Bilgi sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri ise bu haritaların yapımında önemli avantajlar sağlamaktadır. Mekansal veri toplama aşamasında, fiziksel temas gerektirmeden veri toplayan ve topladığı verileri CBS'de istatistiksel metodlarla analize tabii tutmayı sağlayan UA veri sistemi ise kullanıcılara zaman, maliyet ve güvenilirlik açısından kolaylıklar sağlamaktadır.

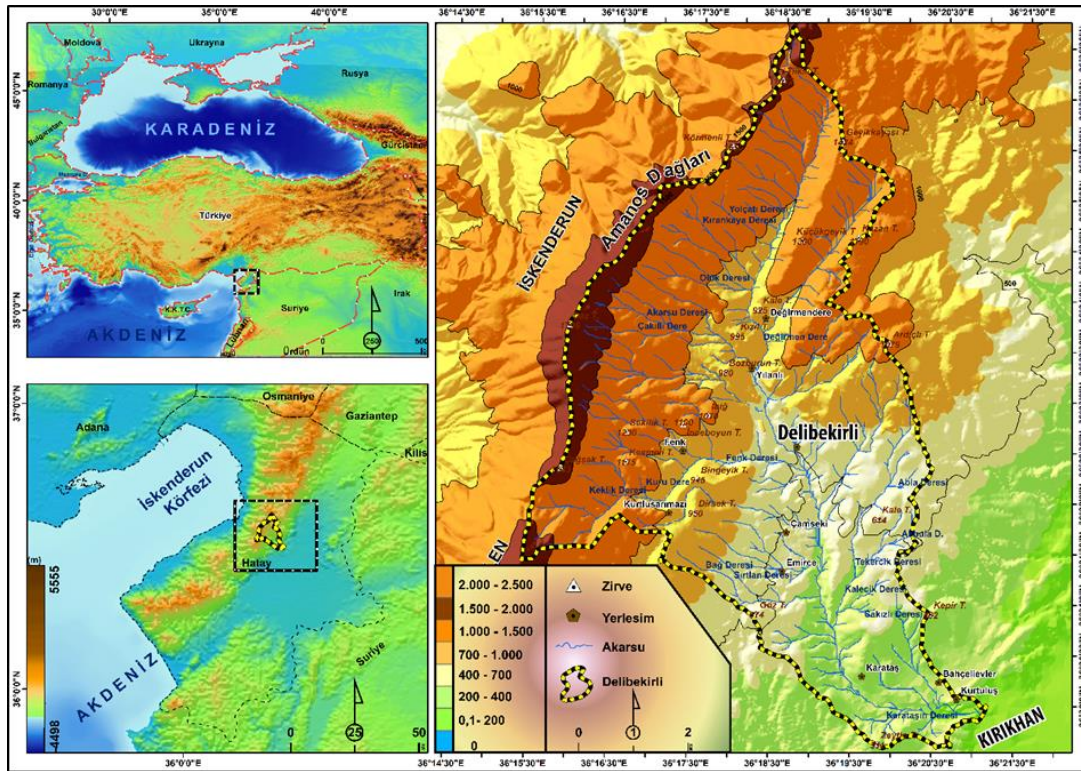
Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Deresi Havzası'nda Cruden ve Varnes'in 1996 (Tablo 1) sınıflandırmasına göre kayma tipi heyelan olarak toprak kayması ve düşme tipi heyelan olarak kaya düşmesi görülmektedir. Sahadaki heyelan duyarlılığının tespiti için CBS teknolojileri kullanılarak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem için sahanın drenaj, tektonizma, eğim, bakı, yükselti, eğim şekli, bitki örtüsü, toprak, iklimik özellikler, ulaşım yolları, arazi kullanımı ve litolojik özellikleri temel veri seti olarak kullanılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA SAHASI

Akdeniz Bölgesi'nde, Amanos Dağları'nın orta kesiminde (Orta Amanoslar) yer alan Delibekirli Havzası; idari olarak Hatay'ın Kırıkhan İlçesi'ne bağlıdır. Küresel Konumlama Sistemi'ne göre; 36° 36' 48"- 36° 29' 51" Kuzey enlemleri ile 36° 18' 32"- 36° 21' 10" Doğu boylamları arasında yer almaktadır.

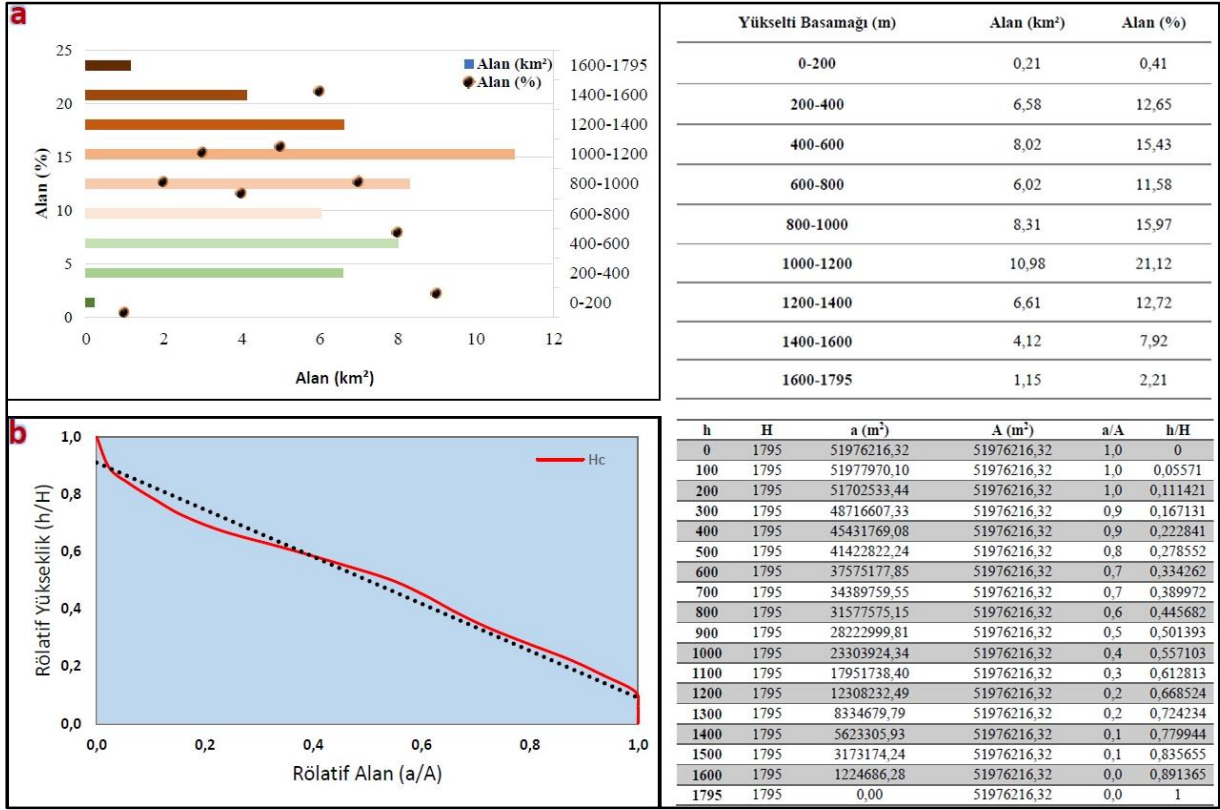
Toplamda 52 km<sup>2</sup>'lik su toplama alanına sahip olan havzanın en alçak noktası; 170 m olup; bu nokta (alan), havzadaki akarsuların Amik Ovası'na deşarj olduğu kesimdedir. Havzanın en yüksek noktası ise; havzanın batı sınırını oluşturan Daz Tepesi (1795m)'dir. Havza; Kuzeyde ve Kuzeybatıda İskenderun, Güneybatıda Belen ve Doğu ile Güneyden Kırıkhan ilçeleri ile çevrilidir. Havza sınırlarının (su bölümü çizgisi) kuzeyini Tilkili T. (1572m) doğusunu Ardıçlı T. (1079m) batısını Daz T. (1795m) oluşturmaktadır. Genel hatlarıyla KD-GB yönlü uzanan çalışma sahasının büyük eksenini kuzeydeki Tilkili Tepe ile güneydeki Zeytin Tepesi arasında uzanır ve 13 km'lik bir uzunluğa sahiptir. Batıdan Daz Tepesi ve doğudan Ardıçlı Tepe ile sınırlı olan çalışma sahası, bu ekseninde (doğu-batı) 6 km'lik bir uzunluğa sahiptir (Şekil 1).

Delibekirli Havzası, farklı litolojik özellikteki kayalardan oluşmakta olup; jeomorfolojik gelişimi, tektonik hareketler, iklim, karstlaşma, akarsu aşındırması ve antropojenik faktörlerin etkisi altında sürmektedir. Havzaya uygulanan eğim analizi, yükselti frekans analizi, hipsometrik eğri (Şekil 2), hipsometrik integral, havza şekli ve oranı, vadi uzunluğunun vadi genişliğine oranı gibi morfometrik özellikler, havzanın genç-olgun bir saha olduğuna işaret etmektedir. Havzanın jeomorfolojisi ve yeryüzü şekillerinin oluşması da bu ekseninde sürmektedir.



Şekil 1- Çalışma sahasının lokasyon haritası

Figure 1- Location map of the study area



Şekil 2- Çalışma sahasının yükselti frekans analizi (a) ve hipsometrik eğri grafiği (b)

Figure 2- Altitude frequency analysis of the study site (a) and hypsometric curve graph (b)

Akdeniz fitocoğrafya bölgesinde yer alan Delibekirli Havzası, engebeli topografya, bakı ve eğim gibi faktörlere bağlı olarak zengin bir bitki örtüsü tür çeşitliliği arz eder. Delibekirli Havzası'nın bitki örtüsü gelişimi ve dağılışı üzerinde tarım ve yerleşim alanı açma gibi beşerî; iklim, bakı, eğim, yükselti ve toprak gibi doğal faktörler etkili olmuştur. Çalışma sahasının uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış miktarı 579 mm; ortalama sıcaklık değeri ise 21,1 °C'dir.

Sahanın jeomorfolojik bakımdan genç-olgun aşınım evresinde olmasına ek olarak, MTA'nın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasına göre tektonik açıdan aktif fayların bulunması ve fayların oluşturduğu eğim kırıklıkları, tektonik hareketler ve yol açma, teraslamalarla tarım alanı açma gibi antropojenik faaliyetlere bağlı olarak yamaç duraylılığı bozulmaktadır. Bu tür faaliyetler, düşme ve kayma tipi heyelanların sayısını arttırmaktadır. Hatta bunlara bağlı olarak yaşanan doğal afetler, 2000'li yıllardan önce çalışma sahasındaki bazı yerleşim yerlerinin yer değiştirmesine sebep olmuştur (Fotoğraf 1). Buradaki heyelan üzerinde yaptığımız değerlendirme, boyut olarak 101400 m<sup>3</sup> miktarda malzemenin yer değiştirdiğini göstermektedir. Afet risklerinin fazla olduğu Tepe Mahallesi (Delibekirli)'ne yönelik 1980 ve 1990'lı yıllarda devlet destekli 60 tane afet konutu inşa edilerek yerleşimin yeri değiştirilmiştir. Yine

çalışma sahasında heyelana maruz kalmasına rağmen yeri değişmemiş çok sayıda yerleşme bulunmaktadır (Dinç vd., 2021).



Fotoğraf 1- Düşme tipi heyelan riskinin yüksek olduğu sahalarda (a-b) ve düşme tipi heyelanlardan dolayı yer değiştiren yerleşmeden (c- sarı ok) görünüm

Photo1- Areas with high risk of fall type landslides (a-b) and view from the settlement displaced due to fall type landslides (c- yellow arrow)

### 3. METOD VE MATERYAL

#### 3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci fikrini Alpert ve Myers 1968 yılında ortaya atmış; 1977 yılında Saaty tarafından “çok ölçülü karar verme sorunlarının çözümü” için model haline dönüştürülmüştür. Saaty, gerek yöneylem araştırmalara gerekse de matematik disiplinine teorik manada birçok katkı yapmış ve Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini büyük ölçüde geliştirmiştir.

Çok kriterli problem öğelerini öncelik durumuna göre belirli bir akış ve yapı içerisinde sistematik bir şekilde belirlemeye yarayan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), problem olduğu düşünülen öğeleri kendi içerisinde parçalara ayırmaktadır. Parçalara ayırdığı bu öğeleri ikili bir biçimde karşılaştırır; hiyerarşik olarak ağırlıklarını (etki gücü) belirler ve tutarlı bir şekilde işlemeye başlar (Akıncı, 2011).

Modelde, problem olarak düşünülen faktöre yönelik bir amaç ve bu amaca (Geçen, 2019) yönelik ölçütler, alt ölçütler ve seçenekler belirlenir; akışa dahil edilen problemin kriterlerine ağırlık değeri atanır. Hiyerarşi içerisinde her bir kriter, aslında kendisinden bir önceki kritere bağlı olarak çalışır ve bu kritere göre ağırlığı hesaplanarak modele dahil edilir. Bu kriterlere yönelik ağırlık puanının ve çift karşılaştırmalı matrisin (Denklem 1) oluşturulmasında Saaty (1980)'in geliştirdiği tercih ölçeği kullanılmaktadır (Tablo 2). Çift karşılaştırma matrisindeki her bir n öğesi için n (n-1)/2 adet karşılaştırma oluşturulur (Malczewski, 1999; Öztürk & Batuk, 2010).

Tablo 2- Saaty' in tercih ölçeği (Saaty, 1980)  
 Table 2- Saaty's preference scale (Saaty, 1980)

Önem Derecesi	Açıklama
1	Kriterler eşit öneme sahip
3	1. kriter, 2. kritere göre biraz daha önemli
5	1. kriter, 2. kritere göre fazla önemli
7	1. kriter, 2. kritere göre çok fazla önemli
9	1. kriter, 2. kritere göre en kuvvetli öneme sahip
2, 4, 6, 8	İki faaliyet arasında kalan ara değerler

Çift karşılaştırmalı matrisi;

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

yapısında olup ‘k’ sütun; ‘r’ satır sayısı olmak üzere  $a_{kr} = \frac{1}{a_{rk}}$ ,  $a_{rk} \neq 0$ ’dır. Eğer  $k=r$  ise  $a_{rk} = 1$  dir (Montis, Toro, Franke, Omann, & Stagl, 2005).

Her kriterin AHS’ye göre çıktı değerini bulmak için aşağıdaki eşitlikten (Denklem 2) yararlanılır (Saaty, 1980);

$$A_{AHS} = \sum_j^n a_{ij} w_j \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

Burada;

$a_{ij}$ : j kriterinin i seçeneğine göre bağlı önemi,

$w_j$ : kriterin, çift karşılaştırmayla belirlenen ağırlık değeridir.

Çift karşılaştırma matrisinin belirli bir standarda oturtulması, karşılaştırılması yapılacak olan kriterlerin önem derecesine bağlı olarak yapılmaktadır. Standart (Normalize) çift karşılaştırma matrisi, matrisin sütun elemanları, matristeki her bir sütunun toplamına bölünmesiyle elde edilmektedir (Denklem 3).

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Neticede matriste yer alan satır elemanların toplanıp eleman sayısına bölünmesiyle elemanların etki gücü (ağırlık vektörü) elde edilir (Tombuş, 2005; Kavas, 2009). Genel toplamı 1 olan ağırlık vektörünün ( $w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n = 1$ ) her bir elemanı 0-1 aralığında değişmektedir (Malczewski, 1999; Öztürk & Batuk, 2010; Akıncı, Yavuz Özalp, & Turgut, 2012) (Denklem 4).

$$w_i = \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n a'_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Analitik Hiyerarşi Sürecinde ortaya çıkabilecek olası tutarsızlıklar, Saaty (1980) tarafından geliştirilen Consistency Ratio- CR (tutarlılık oranı) kullanılarak değerlendirilebilir. Consistency Ratio kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanır ve esasında literatürde bu değer üst limiti 0.10 (%10)’dur. Şöyle ki, ikili karşılaştırma parametreleri arasındaki değer 0.10 veya bu değerden daha düşük ise genel olarak ilgili parametreler arasında bir tutarlılığın; bilakis değer 0.10 veya bu değerden daha fazla ise genel olarak ilgili parametreler arasında bir tutarsızlığın olduğu söylenebilir. Böyle bir durumda kriterler arasındaki ağırlık oranları düşürülerek veya artırılarak bu değer optimize edilmelidir.

Tutarlılık oranı belirlenirken, matristeki satır toplamalarının elde edilebilmesi için; ilgili kriterdeki ağırlık değerinin matris sütunlarıyla sırasıyla çarpılması gerekmektedir (n. öğe ağırlığı\* n. sütun). Böylece ağırlıklı toplam vektörün ağırlık değerine bölünmesiyle tutarlılık vektörü ortaya çıkar (Denklem 5).

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \rightarrow A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21}=1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}=1/a_{1n} & a_{n2}=1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}, \quad i=1,2,\dots,n$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Söz konusu vektörün ortalama değeri ile genel ölçüt sayısı baz alınarak tutarlılık indeksi (CI) (Denklem 6) elde edilir. Tutarlılık oranı (Denklem 7) ise; tutarlılık indeksinin tesadüflük göstergesine (CR) (Tablo 3) bölümünün sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Malczewski, 1999).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Formülde;

CR: Çift karşılaştırma matrisinin tutarlılık indisi

RI: Tesadüflük Göstergesi

Gerek aktif gerekse de fosil heyelanların oluşumunda etkin rol oynayan farklı türdeki parametreler tespit edilerek bundan sonra oluşabilecek olası potansiyel heyelanların alansal tespiti yapılabilmektedir. Yine farklı türdeki parametreler bir araya getirilerek ve her parametreye etki gücü oranında ağırlık değerleri atanarak heyelana duyarlı sahaların tespiti yapılabilmektedir (Dağ, 2007; Delikanlı, 2010; Aksoy, 2011; Özşahin, 2014).

Tablo 3- Tesadüflük göstergesi (Saaty, 1980)  
Table 3- Indicator of randomness (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

### 3.2. AHS Analizi için Girdi Veriler ve Verilerin Hazırlanması

Çellek vd. (2015), heyelan duyarlılığı ile ilgili yapılmış 300'e yakın çalışma incelemiş ve heyelan duyarlılığı ile ilgili en çok tercih edilen 21 parametreyi ön plana çıkarmıştır. Bu çalışma kapsamında Çellek vd. (2015)'in önerdiği 21 parametreden, büro ve arazi çalışmaları yapılan değerlendirmeler neticesinde kayma niteliğindeki heyelanlar için 12 parametrenin kullanılması kararlaştırılmışken; düşme tipi hareket için parametre sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında yakın geçmişte heyelan yaşanan ve heyelan açısından aktif sahalar tespit edilebilmiştir. Bunlar; Delibekirli Mahallesi'nde doğu yamaçlarda kayma ve düşme niteliğinde, Yılanlı Mahallesi'nin doğu kesiminde, Değirmendere çevresinde düşme şeklinde, Keklik Deresi çevresinde kayma şeklindeki kütle hareketleridir. Delibekirli Havzası'nda yüksek eğim değerlerinin arttırdığı

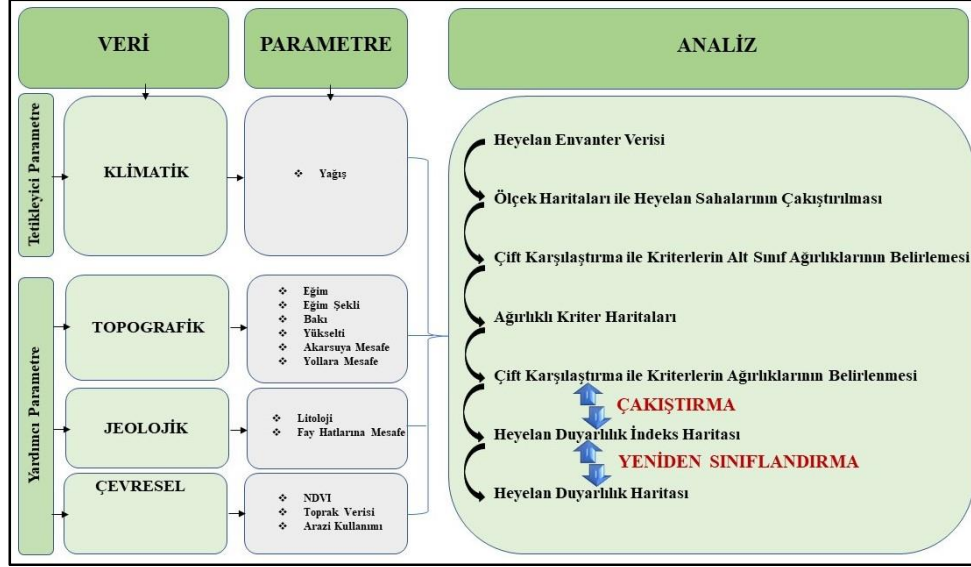
erozyon kısa süre içerisinde topoğrafya üzerinde değişiklikler oluşturmaktadır. Bu değişikliklere ek olarak tarihi görüntü, vaka incelemesi ve veri eksikliği heyelan envanteri çıkarılmasını güçleştirmiştir. Heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan parametreler, sahada tespiti yapılmış heyelanların tipleri ve heyelana yol açan sebepler değerlendirilerek seçilmiştir.

Düşme tipi hareketler için parametreler tetikleyici ve yardımcı parametreler olmak üzere 2 alt gruba ayrılmıştır. Yağış, tetikleyici parametre klasmanında yer alırken eğim, eğim şekli, bakı, yükselti, akarsuya mesafe, yollara mesafe, litoloji, fay hatlarına mesafe, NDVI, toprak ve arazi kullanımı yardımcı parametreler klasmanında yer almaktadır (Şekil 3). Kayma tipi heyelanlarda yine aynı parametreler temel alınmış fakat bakı ve toprak parametresi işleme tabii tutulmamıştır. Kayma tipinde diğer parametrelerin yanında sahanın morfolojik

yapısı göz önünde tutularak ağırlıklı olarak eğim parametresi ön planda tutulmuştur.

İlgili parametrelerden yağış verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden; eğim, eğim şekli, baki, yükselti ve akarsu verisi 1:25.000 topoğrafya haritalarından; yol verisi OpenStreetMap'ten; litoloji

ve faylar MTA tarafından oluşturulmuş 1:25.000'lik jeoloji paftalarından; NDVI, Landsat 8 OLI/TIRS C2 L2 görüntüsünden; toprak verisi Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün 1:100.000 ölçekli Toprak ve Arazi kullanımı haritalarından; arazi kullanımı ise CORİNE verisinden temin edilmiştir.



Şekil 3- Düşme tipi heyelanlar için seçilen parametreler

Figure 3- Selected parameters for fall type landslides

### 3.2.1. Litoloji

Litoloji, heyelanların oluşmasında etkili olan faktörlerin başında yer almaktadır (Dai, Lee, Li, & Xu, 2001; Yalçın, 2008; Özşahin, 2015; Cihangir & Görüm, 2016) ki heyelan, esasında kayacın ayrışma özelliği ve litolojisiyle yakından ilişkilidir. Aynı zamanda her bir litolojik birim farklı duyarlılık değerine sahip olduğundan litoloji, heyelan için önem arz etmektedir (Pachauri & Pant, 1992; Dai, Lee, Li, & Xu, 2001). Çalışma sahasında izlenen heyelanlar Gossage (1959)'in "Terbüzek red beds" olarak tanımladığı, Bryant (1960)'in "Terbüzek formation" adıyla yeniden tanımladığı ve çalışma sahasında alt dokanağı gözlenemeyen Terbüzek Formasyonu (Fotoğraf 2) içerisinde yer alan kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ve bu formasyonun üzerine tektonik uyumsuzlukla gelen (Herece, 2008) Karadut formasyonu olarak tanımlanan olistostromların kontakt noktalarında yer almaktadır. Çalışma sahasında Perinçek (1978) tarafından Hoya formasyonu olarak tanımlanan çörtlü kireçtaşı birimi yer almaktadır. Bu birim, taban çakıltaşları ile başlayıp kireçtaşı, killi kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, dolomit ve çört yumrulu kireçtaşı ile temsil edilir.

Formasyonun kapsadığı çörtler genelde gri, kahvems renkli, yumru ve bantlar şeklinde olup silisçe zengin hidrotermal akışkanların bünyesindeki silislerin kireçtaşı içerisindeki boşluklara veya tabaka aralarına yerleşmesiyle meydana gelmişlerdir (Beyazpirinç & Usta, 2018). Hoya formasyonu sığ deniz, resifal ortam ve zaman zaman derinleşen havza yamaç ortamında çöklemiştir. Kireçtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı gibi litolojinin yaygınlık gösterdiği sahalarda heyelanların yoğunlaşması; aslında bu birimlerin heyelan için elverişli şartlar sunmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık eğimin ve yükseltinin azaldığı havzanın güney kesimindeki ofiyolit ve alüvyal birimlerin üzerinde heyelanların sayısı ya düşüktür ya da hiç yoktur.

### 3.2.2. Eğim

Eğim, şev stabilitesini konu alan çalışmaların ana parametresini (Lee & Min, 2001; Yalçın, 2007) oluşturduğu gibi heyelanların oluşum ve gelişimini kontrol etmektedir. Yamaç eğimleri ile yerçekimi kuvveti pozitif bir korelasyon içerisindedir. Eğim değerleri arttıkça ve buna bağlı olarak yamaç duraylılığının bozulmasıyla yamaçtaki malzemenin dengesi bozulur ve yamaç boyunca kaymalar meydana



Fotoğraf 2- Terbüzek formasyonundan görünüm  
Photo 2- View from terbüzek formation



Fotoğraf 3- Çalışma sahasındaki kütle hareketlerinden görünüm (a, c, d: Düşme tipi, b: Kayma tipi heyelan örnekleri)  
Photo 3- View from the mass movements in the study area (a, c, d: Falling type, b: Sliding type landslide examples)

gelir (Smith & Petley, 2008). Aynı zamanda killi serilerin yaygın olduğu sahalarda su koşulları da elverişli ise heyelanın gelişme potansiyeli artmaktadır. Çalışma sahasındaki eğim değerleri Varnes (1984)'in eğim skalasına göre sınıflandırılmış olup bu skalaya

göre eğimin %15'ten fazla olduğu yerlerde kütle hareketlerinin duyarlılığı da artmaktadır. Çalışma sahasında özellikle kuzey kesimde Delibekirli deresinin doğu ve batı yamaçlarında eğim değerleri genel olarak %25'ten daha fazladır. Özellikle Amanos



Dağlarının zirve hattının doğusundaki yamaçlarda eğim değerleri %30 civarındadır. Bu kesimlerde artan eğim değerleri kayma ve düşme tipinde heyelanların gerçekleşmesine zemin hazırlamaktadır (Fotoğraf 3).

### 3.2.3. Eğim Şekli

Eğim özelliklerini içbükey, dışbükey ve düz alanlar şeklinde tanımlamaya yardımcı olan eğim şekli parametresi, drenaj özelliklerinin heyelan oluşmasındaki etkisini ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır. Eğim şekli, diğer bir deyişle eğrilik (curvature) havza şeklini ve akış faktörünü kontrol etmekte bu durum ise heyelanı etkilemektedir. Nitekim eğrilik; yerel noktaya dayalı değişkenler olan plan, profil veya enine eğrilik ifadelerine karşılık gelmektedir ve yerçekimi alanında tanımlandığından (Canpolat & Turoğlu, 2019) heyelan üzerinde etkili bir faktördür. Fakat bu parametre heyelan oluşmasında tek başına değil; diğer parametrelerle birlikte ele alındığında sonuç vermektedir. Öyle ki, heyelan duyarlılık haritalarına bakıldığında (Şekil 5-6) hem dışbükey sahalarda hem de içbükey sahalarda heyelan duyarlılığının olduğu görülmektedir.

İçbükey yamaçlarda görülen zayıf drenaj koşullarından dolayı yüzey suları, düz ve dışbükey yamaçlara göre daha fazla sızma özelliği göstermektedir. Bu sızma faaliyetlerine bağlı içbükey yamaçlarda heyelana karşı bir duyarlılık ortaya çıkar. Neticede içbükey alanların kayma tipi heyelanlarda kopma yüzeylerine; dışbükey alanların ise malzemenin biriktiği topuk kısmına denk geldiğini söyleyen araştırmacılar da mevcuttur (Jakob, 2000; Özdemir, 2007; Akıncı vd., 2015). Buna karşılık olarak birçok araştırmacı (Hoek & Bray, 1977; Van Westen & Bonilla, 1990; Juang vd. 1992; Guzzetti vd. 1999; Fernandez vd. 1999) dışbükey alanların, içbükey alanlara göre daha duyarlı olduğunu ifade etmektedir. Sonuç olarak literatürde, bu parametreye dair belirsizlikler bulunmaktadır (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Bu belirsizliklere istinaden eğim şekli parametresine frekans analizi uygulanmış ve sonuçta bu analize göre ağırlık değerleri atanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4- Eğim şekli parametresinin frekans oranları  
Table 4- Frequency ratios of curvature parameter

	Toplan alan yüzdesi	Çok yüksek heyelanlı alan yüzdesi	Frekans oranı
İçbükey	25,8	6,06	0,23
Düz	43,7	4,17	0,10
Dışbükey	30,5	3,17	0,10

### 3.2.4. Yağış

İklim koşulları heyelan oluşmasında büyük bir öneme sahiptir. Özellikle yağış şartları, heyelanı belirli bir oranda etkilemektedir. Kayastha vd. (2013), heyelan duyarlılık analizi için yıllık ortalama yağış değerlerinin önemli olduğunu vurgulamaktadır. Neticede bazı durumlarda heyelanların ön hazırlık aşamasında akiferin doygun hale gelmesi ve buna bağlı olarak su tablasının yükselmesi gerekmektedir. Akarsuların bazı dönemlerde yer değiştirmesine sebebiyet veren bol yağışlar, aynı zamanda yamaçtaki topuk kısımlarının aşınmasına da neden olmaktadır. Aşınan bu topuk kısmı ise zaman içerisinde heyelanların meydana gelmesine neden olmaktadır (Öner & Çiçek, 1987). Çalışma sahasının yağış verileri için, Kırıkhan Meteoroloji İstasyonu'nun iklim verileri baz alınmıştır. Havza içerisindeki lokal alanlarda yağış değerlerini ortaya çıkarmak için havzada rastgele istasyonlar belirlenmiş ve bu istasyonlara (Kırıkhan Meteoroloji İstasyonu'nun verileri baz alınmak suretiyle) Schreiber (1904) metoduyla ( $Ph=Po+54xh$ ) yağış değerleri atanmıştır. Denizden yüksekliği 250 m olan Kırıkhan meteoroloji istasyonunun uzun yıllar ortalama 579 mm olan yıllık yağış değerine Schreiber formülü uygulandıktan sonra IDW (Inverse Distance Weighting) enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. IDW, enterpolasyonun gerçekleştirileceği sahada, yakındaki noktaların uzaktaki noktalara oranla daha fazla ağırlığa sahip olduğunu göz önünde bulundurmaya dayanmaktadır (Özdemir, 2007; Turoğlu, 2008; Çılğın, 2019). Bunun sonucunda havzada yağış değerlerinin çoğunlukla 700 mm ve üzeri olduğu görülmüştür. Bu özellik heyelanların oluşmasında yağış koşullarının etkili olabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

### 3.2.5. Bakı

Bakı, esas itibarıyla yeryüzündeki bütün coğrafi olayları doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Aynı zamanda bakı faktörü, iklimik koşullar üzerinde de yönlendirici bir etkiye sahip olup yamaçların farklı güneş radyasyonuna maruz kalmasına sebebiyet vermektedir. Bazı yazarlar ise (Neuland, 1976; Carrara, 1983; Wiczorek vd., 1996; Avcı, 2015) yamaca düşen yağış miktarının, bakıya bağlı olduğunu, bunun toprak ve litolojik birimin su içeriğini ve bitki örtüsü özelliklerine tesir ettiği, böylece bakının heyelanı etkilediği şeklinde değerlendirmeler yapmıştır. Bu tür etkilerinden dolayı bakı faktörü, diğer parametrelerle beraber değerlendirildiğinde aslında heyelanı kontrol etme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Çalışma sahası için bakı faktörü, 4 sınıfa (kuzey, güney, doğu-batı, düzlük sahalara) ayrılmış ve böylece bu

parametrenin heyelan üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır. Havzayı derene eden Delibekirli deresi topoğrafik yönelimi genel olarak KD-GB'dir. Buna bağlı olarak bakı yönü KB ve GD olan yamaçlar geniş yer kaplamaktadır.

### 3.2.6. Fay Hatlarına Mesafe

Fay hatları, heyelanı etkileyen bir diğer önemli parametredir. Fay düzlemi sahaları, kütle hareketlerinin oluşmasına zemin hazırlayacak belirli yükseltideki ve eğimdeki sahalardır. Gökçeoğlu ve Aksoy (1996)'un Mengen (Bolu) ile ilgili yaptıkları çalışmada, Kuzey Anadolu Fay'ı baz alınmak suretiyle 10 km'lik zon içerisinde heyelanın büyük bir kısmının (%88) faya 250 m'den daha yakın mesafede oluştuğunu saptamışlardır. Çalışma sahası morfolojik açıdan Avrasya, Arabistan ve Afrika levhalarının göreceli hareketlerinin etkilerini yansıtan coğrafi bir konumda (Kuzucuoğlu, Cine & Kazancı, 2019); tektonik açıdan ise, Ölü Deniz Fayı, Karasu Fayı ve Kıbrıs-Antakya Transform Fayı'nın karşılaştığı noktada yer almaktadır. Ayrıca saha içerisinde çok sayıda tali fay bulunmakta olup bu faylar sahayı şekillendirmiştir. MTA tarafından üretilen 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası verilerine göre çalışma sahasındaki faylar, büyüklükleri ve yapısal unsurlara mesafeleri oranında heyelan süreçlerini kontrol etmektedir.

### 3.2.7. Akarsuya Yakınlık

Akarsular, yamaçtaki materyalin doygunluğu ve duraylılığı üzerinde etkili olup bu sayede heyelan oluşumunu da kontrol etmektedir. Yamaçta yer alan malzeme, akarsular tarafından nemlendirildiği oranda yamacın stabilitesini bozmakta ve heyelana neden olmaktadır.

Literatürdeki bazı çalışmalar, havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesini veren drenaj yoğunluğu ( $D_d$ ), düşük değerlerde ise suların yeraltına sızdığını; yüksek değerlerde ise aşındırmanın olduğunu ifade etmektedir (Patton, 1988; Özdemir, 2011) (Denklemler 5).

Drenaj yoğunluğu;

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (4)$$

formülüyle elde edilir. Formülde;

$D_d$ : Drenaj Yoğunluğu

$\sum L$ : Drenaj Uzunluğu (km)

A: Alan (km<sup>2</sup>)

Bu formüle göre Delibekirli havzasında  $D_d$  değeri 1,25 gibi bir değere karşılık gelmektedir. Drenaj yoğunluğunda sonucun 1 rakamının üzerine çıkması

yoğun drenaja işaret etmektedir (Patton, 1988). Sahanın akarsularca fazlaca parçalanması ise topoğrafik pürüzlülüğünün artması anlamına gelmektedir ki bu durum da heyelanı tetikleyen bir özelliktir.

### 3.2.8. Yollara Mesafe

Esasında heyelanın meydana gelmesinde önemli bir parametre olan yol hatları, yoldan geçen araçların ağırlıkları nispetinde yaptıkları titreşimler heyelan oluşumuna etki etmektedir. Aynı zamanda yamaç boyunca yapılan yol çalışmaları, yamacın topuk kısmında yükün azalmasına neden olmaktadır. Bu azalmayla beraber yamacın gerisinde gerilmeler artmakta ve bu sahalarda gerilme çatlakları gelişmektedir. Dolayısıyla bu çatlaklar, yeraltına su girişlerini kolaylaştırmakta ve yamaç boyunca duraysızlıklar meydana getirmektedir (Yalçın, 2007). Çalışma sahasında yoğun bir yol ağı bulunmamaktadır. Buna rağmen özellikle Delibekirli, Yılanlı, Değirmendere mahalleleri gibi yerleşim yerlerinden yol ağı geçmekte ve buradaki yollar yamaç duyarlılığını bozmaktadır. Bu nedenle çalışma sahasındaki yol parametresi 500 m aralıkla buffer metoduna tabii tutularak diğer parametrelere eklenmiştir.

### 3.2.9. Arazi Kullanımı

Heyelan duyarlılığını aktif bir şekilde kontrol eden bir diğer parametre de arazi kullanım özellikleridir. Corine 2018 verilerine göre; Delibekirli Havzası'nda ormanlık alanlar %29, mera alanları %39, tarımsal alanlar %25, çıplak kayalık alanlar %8, yerleşim alanları %2 yer kaplamaktadır. Havzaya göre alan kaplama oranı az olsa da dağınık haldeki yerleşim alanları, yaylalar, ulaşım ağları, madencilik faaliyetleri topoğrafya yüzeyine müdahalelerin olduğu kesimleri oluşturmaktadır. Çalışma sahasında özellikle güney kesimlerde zeytin yetiştiriciliği için alan oluşturma amacıyla çok eğimli yamaçlarda teraslamalar yapılmıştır. Bu özellikler heyelanın tetiklenmesine sebebiyet verebilmektedir.

### 3.2.10. Toprak

Toprak örtüsü özellikleri tür, diziliş ve tane büyüklüğü oranında heyelanı tetikleyen bir diğer parametredir (Gökçeoğlu & Aksoy 1996). Çalışma sahası sınırları içerisindeki başlıca toprak tipleri incelendiğinde; Kireçsiz Kahverengi Orman Toprağı (40 km<sup>2</sup>), Kahverengi Orman Toprağı (9 km<sup>2</sup>) Kolüvyal Toprakların (2 km<sup>2</sup>) yayılım gösterdiği görülmektedir. Kireçsiz Kahverengi Orman Toprağı en fazla 75 cm kadar olan kalınlığa rağmen genelde ultrabazik kayalar üzerinde geliştiklerinden yüksek oranda kil içermektedir. Bu toprak tipinde yoğun oranda kil içeriğine ek olarak, eğim değerlerinin ve ani yükselti artışlarının olduğu sahalarda heyelanların

sayısı fazla olabilmektedir. Yine kolüvyal depolar duraysız özelliklerinden dolayı heyelan açısından hareketli ortamlar oluşturmaktadır.

### 3.2.11. Yükseklik

Yağış, bitki örtüsü, ayrışma ve çözülme gibi faktörlerinin dolaylı etkisini yansıtan yükseklik, heyelan oluşumuna doğrudan bir etkide bulunmaz (Yüksel, 2007). Diğer yandan yüksek sahalarda dik kesimlerinde sismik ivmenin yatay bileşeninin vadilere göre 1,2-1,5 kat daha yüksek olması heyelan duyarlılığını arttırmaktadır (Zolotraev, 1976). Çalışma sahası 170 m ile 1795 m arasında değişen yükselti değerleri ile kısa mesafeler içerisinde yükselti artışlarına ilişkin özellikler sunmaktadır. Özellikle batı kesimde Amanos Dağları'nın zirve hattına doğru artan yükselti, eğim değerlerinin de artmasına ve heyelan için uygun şartların oluşmasına zemin hazırlamaktadır.

### 3.2.12. NDVI

#### (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi)

Yağışla beraber akışa geçen su miktarı üzerinde büyük rol oynayan bitki örtüsü heyelan, sel ve taşkın gibi afetlerin oluşmasında yönlendirici bir etki yapar. Bu parametrenin yamaç duraylılığı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Şöyle ki, güçlü ve büyük kök sistemleri ile bitki örtüsünün yoğun olduğu orman alanları, çıplak ve kayalık sahalarda tarım alanlarına oranla derin olmayan heyelanlardan daha az etkilenmektedir (Bhatt vd., 2013). Diğer taraftan bu kök sistemleri, yüzeyin geçirgenliğini artırır ve böylece yüzey sularının yeraltına doğru intikal etmesine neden olmakta ve bu da heyelan duyarlılığını arttırmaktadır (Dağ & Bulut, 2012). Sığ heyelanların oluşmasını kısmen engelleyen ağaçlar ve diğer bitki formasyonları derin heyelanların ve kütle hareketlerinin oluşmasını tetikler (Eker & Aydın, 2014). Yakın kızılötesi ve elektromanyetik spektrumun görünür bandlarının fark ve toplamının oranlanmasıyla elde edilen NDVI (Denklem 6), bitki

örtülerinin yeşillik miktarını belirlemektedir (Sellers, 1985; Melesse & Jordan, 2003; Wang & Tenhunen, 2004; Özdemir, 2007). NDVI, güneşten ve bakıdan kaynaklanan değişik aydınlanma özellikleri ve gölge etkisinin büyük çoğunluğunu ortadan kaldırır (Holben & Fraser, 1984; Sotomayor, 2002; Özdemir, 2007).

$$\text{Landsat 8 OLI/ TIRS C2 L2} = \frac{\text{Band5} - \text{Band4}}{\text{Band5} + \text{Band4}} \quad (5)$$

Çok düşük NDVI değerleri (açık kahverengi olarak gösterilen 0.1 ve altı) çorak, kum veya kar alanlarına karşılık gelir. Orta değerler (0.2 ila 0.3 açık yeşil olarak gösterilir) çalılık ve otlakları temsil ederken, yüksek değerler (0.5 ila 0.9 koyu yeşil olarak gösterilir) yoğun ormanlık alanları temsil eder (<https://www.esri.com/en-us/home>). Güncel veri olması açısından seçilen ve işleme tabii tutulan Landsat 8 OLI/TIRS C2 L2 görüntüsünün 15.06.2021 tarihli verisine göre çalışma sahasının büyük kısmında bitki örtüsü az veya hiç yoktur. Seçilen her bir parametreye çift karşılaştırma matrisine göre AHP Template yazılımının Microsoft Excel versiyonu kullanılarak ağırlık değerleri atanmış ve bu parametreler ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak analiz işlemine tabii tutulmuştur. Parametrelerin birbirine göre ağırlık değerleri, saha gözlemleri sonucu belirlenmiştir.

Yönteme dahil edilen vektör veri yapısındaki girdiler düşme ve kayma tipi heyelanlar göz önünde bulundurularak ayrı ayrı parametreler olmak üzere haritaların öznetelik bilgilerine işlenmiş ve yüzdelik alan dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 5, Tablo 6). Bu bilgiler temel alınmak suretiyle 10 m çözünürlüklü raster veri yapıları elde edilmiştir. Elde edilen bu veri yapıları işleme tabii tutularak sahanın heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve her bir derecenin yüzdelik alan hesapları yapılmıştır. Heyelan duyarlılığı kendi içerisinde "çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek" olarak sınıflandırılmıştır.



litolojik faktörlerin de etkisiyle düşme tipi heyelanların sayısını arttırmaktadır. Kayma tipi heyelanlar ise eğimin görece azalmasıyla sahasının doğu kesiminde yoğunlaştığı görülmektedir. Hoya formasyonu olarak bilinen çörtlü kireçtaşının görüldüğü yerlerde düşme tipi heyelanların duyarlılığı 5 (çok yüksek) dereceye kadar çıkmaktadır. Güney kesimindeki alüvyal ve ofiyolitlerin yer aldığı sahalarda, yükselti ve eğimin de azalmasıyla beraber bu sahalarda gerek kayma gerekse de düşme tipi heyelanlar azalmaktadır. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki litolojik birimlerin tutarlılık oranı her iki tip için de %4'tür.

2. Eğim ve heyelan duyarlılık haritaları göz önünde bulundurulduğunda gerçekten de eğimin %15 ve üstü olduğu sahalarda hem düşme hem de kayma tipi heyelanların duyarlılığı da artmaktadır. Çalışma sahası, KD-GB yönlü faylar tarafından parçalanmış ve yarılmıştır. Bunun sonucu olarak da sahada bir yandan yüksek eğim değerleri görülürken diğer yandan eğim değerleri kısa mesafeler içerisinde farklılık göstermiştir. Eğimin 25° üzeri olduğu yerler sahadaki en geniş yayılım alanına sahiptir (%32,8). Kaldı ki bu sahalarda heyelan duyarlılığı fazladır. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki eğim değerlerinin tutarlılık oranı düşme tipi heyelan için %5; kayma tipi heyelan için %1'dir.

3. Havzanın kuzey kesiminde içbükey eğim şekilli yamaçlar yüksek eğim değerleri ile birlikte hem kayma hem de düşme tipi heyelanları tetiklemektedir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki eğim şekli parametresinin tutarlılık oranı her iki tip için de %1'dir.

4. Havzada özellikle yağış değerlerinin 700-+mm olduğu sahalarda heyelan duyarlılık derecesinin yüksek olduğu görülmektedir. Yağış ve eğim değerlerinin düşük olduğu havzanın güney kesimlerinde ise doğal afetler açısından kütle hareketlerinin yerini taşkınlar almaktadır. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki yağış parametresinin tutarlılık oranı her iki tip için de %2'dir.

5. Heyelan duyarlılık haritasına bakıldığında, heyelanların duyarlılık derecesinin arttığı yerlerin daha çok sahanın çarpılma yönelimine paralel olacak şekilde KD-GB yönünde yoğunlaştığı görülmektedir. Aynı zamanda KD-GB yönlü uzanan yamaçların yükseltisi fazla olduğu için bu sahalarda nemlilik fazla ve kar erimeleri görülmektedir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki bakı parametresinin tutarlılık oranı %1'dir. Bakı parametresi, kayma tipi heyelanların oluşumunda görece yüksek etkiye sahip olmadığı için bu parametre

kayma tipi heyelanların bir parametresi olarak ele alınmamıştır.

6. Tektonik açıdan aktif bir sahada yer alan çalışma sahasında MTA tarafından çok sayıda fay işaretlenmiştir. Düşme tipi heyelanlar, kayma tipi heyelanlara oranla daha yüksek derecelere sahip sahalarda gerçekleştiği için fay parametresi düşme tipi heyelanların olduğu sahalarda daha anlamlı bir sonuç vermiştir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki fay hatlarına mesafe parametresinin tutarlılık oranı düşme tipi heyelanlar için %1; kayma tipi heyelanlar için %5 olarak hesaplanmıştır.

7. Çalışma sahasındaki akarsu parametresi düşme tipi heyelanlar için 500 m; kayma tipi heyelanlar için 100 m yükselti değeri temel alınarak buffer metoduna tabii tutulmuş, diğer parametrelere eklenmiştir. Düşme tipi heyelan duyarlılık haritasına göre, 500 m içerisinde ve akarsuyun sürekli koluna yakınlığı oranında duyarlılığın arttığı; kayma tipi heyelan duyarlılık haritasına göre ise, duyarlılık faktörünün akarsuların kaynak kesimlerinde arttığı görülmektedir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki akarsuya yakınlık parametresinin tutarlılık oranı düşme tipi heyelan için %7; kayma tipi heyelan için %1'dir.

8. Gerek kayma gerekse de düşme tipi heyelan duyarlılık haritasına bakıldığında; çalışma sahasında yol mesafesinin ~500 m olduğu sahalardan bir kısmında heyelan duyarlılığı yüksek çıkmıştır. Çalışma sahasının orta-güney kesimlerine denk gelen bu sahalardan dışında kalan sahalarda heyelan duyarlılığının düşük çıkması, diğer parametrelerin etkisinden dolayıdır. Diğer yandan yola yakın olup düşme tipi heyelan riskinin yüksek olduğu sahalarda yer yer istinat duvarları inşa edilmiştir (Foto 4a, b, c). Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki yollara yakınlık parametresinin tutarlılık oranı düşme tipi heyelan için %4; kayma tipi heyelan için %1'dir.

9. Arazi kullanımına göre çoğunluğunu mera, orman ve tarımsal alanların oluşturduğu havzada, kayma tipi heyelanların çoğunlukla tarımsal alanlarda (kuru tarım) gerçekleştiği görülmektedir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre arazi kullanımı parametresinin tutarlılık oranı her iki tip için de %4'tür.

10. Toprak parametresi değerlendirildiğinde heyelanların iklim, bitki örtüsü ve ana kayanın etkisi altında oluşan zonal toprak grubunun üyesi olan kireçsiz kahverengi orman topraklarında yoğunlaştığı görülmektedir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki toprak parametresinin tutarlılık oranı %2'dir.

11. Gerek kayma gerekse de düşme tipi heyelan duyarlılık haritası incelendiğinde çalışma sahasında, yükseklik ile heyelan duyarlılığı pozitif bir korelasyon içerisinde (diğer parametrelerin sabit olduğu varsayımıyla) olup heyelan duyarlılık sahaslarının 700-+ m'den itibaren yoğunlaştığı görülmektedir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki yükseklik parametresinin tutarlılık oranı her iki tip için de %3'tür.

12. 15.06.2021 tarihli LandSat 8 OLI/TIRS C2 L2 verisi temel alındığında havzanın büyük kısmında bitki örtüsü az veya hiç yoktur. Bu sahalarda, hem düşme hem de kayma tipi heyelanlar için yüksek duyarlılığa sahiptir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre çalışma sahasındaki NDVI parametresinin tutarlılık oranı her iki tip için de %2'dir.

Bütün bu parametrelerin tutarlılık dereceleri incelendiğinde genelde CI/RI değerlerinin 0,10 'den düşük olması parametreler arası tutarlılığın olduğunu göstermektedir (Tablo 7).

Analitik Hiyerarşi Sürecine göre Delibekirli Havzası'nda düşme tipi heyelanlar %32,1; kayma tipi heyelanlar %30,2 oranında orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık derecesinde bir sonuç vermiştir. Çalışma

sahasında heyelan duyarlılığı olmayan veya az duyarlı derecede olan alanlar, düşme tipinde % 67,9; kayma tipinde ise % 69,8'lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 5, Şekil 6).

Tablo 7: Parametrelere ait tutarlılık indeksleri (CI) ve tutarlılık oranları (CI/RI)

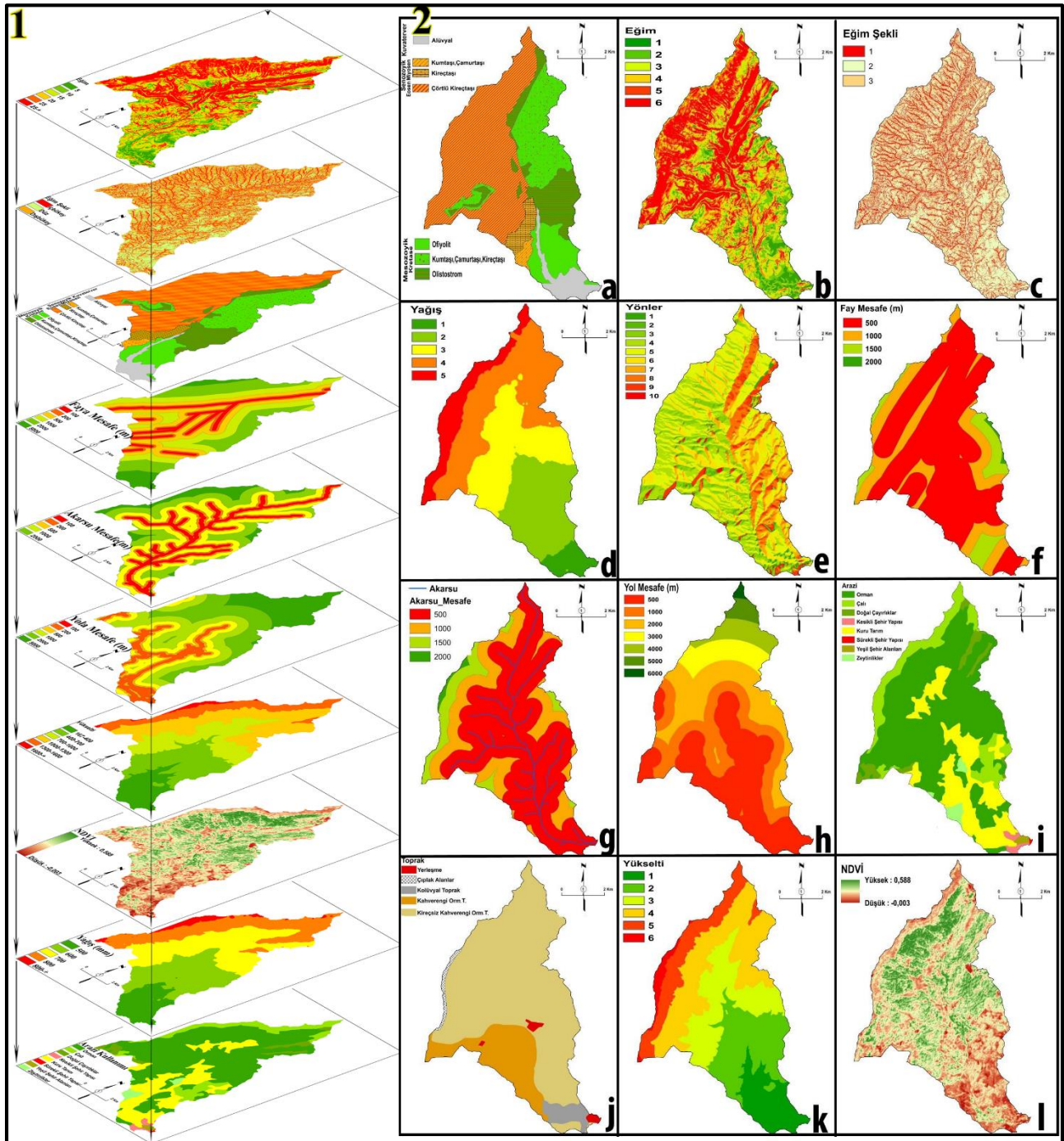
Table 7: Consistency indexes (CI) and consistency ratios (CI/RI) of the parameters

Parametreler	Kayma Tipi			Düşme Tipi		
	$\lambda$	CI	CI/RI	$\lambda$	CI	CI/RI
Litoloji	7,3	0,04	0,04	7,2	0,04	0,04
Eğim	6,08	0,02	0,01	6,3	0,06	0,05
Eğim Şekli	3,01	0,00	0,00	3,1	0,005	0,009
Yağış	5,03	0,00	0,00	5,09	0,02	0,02
Bakı				4,03	0,01	0,01
Fay Hatlarına Mesafe	6,3	0,06	0,05	4,03	0,01	0,01
Akarsulara Mesafe	5,16	0,04	0,03	4,17	0,05	0,06
Yollara Mesafe	6,08	0,01	0,01	7,27	0,04	0,03
Arazi Kullanımı	5,15	0,03	0,03	5,15	0,03	0,03
Toprak				5,09	0,02	0,02
Yükseklik	6,08	0,01	0,01	6,16	0,03	0,02
NDVI	5,03	0,00	0,00	5,09	0,02	0,02



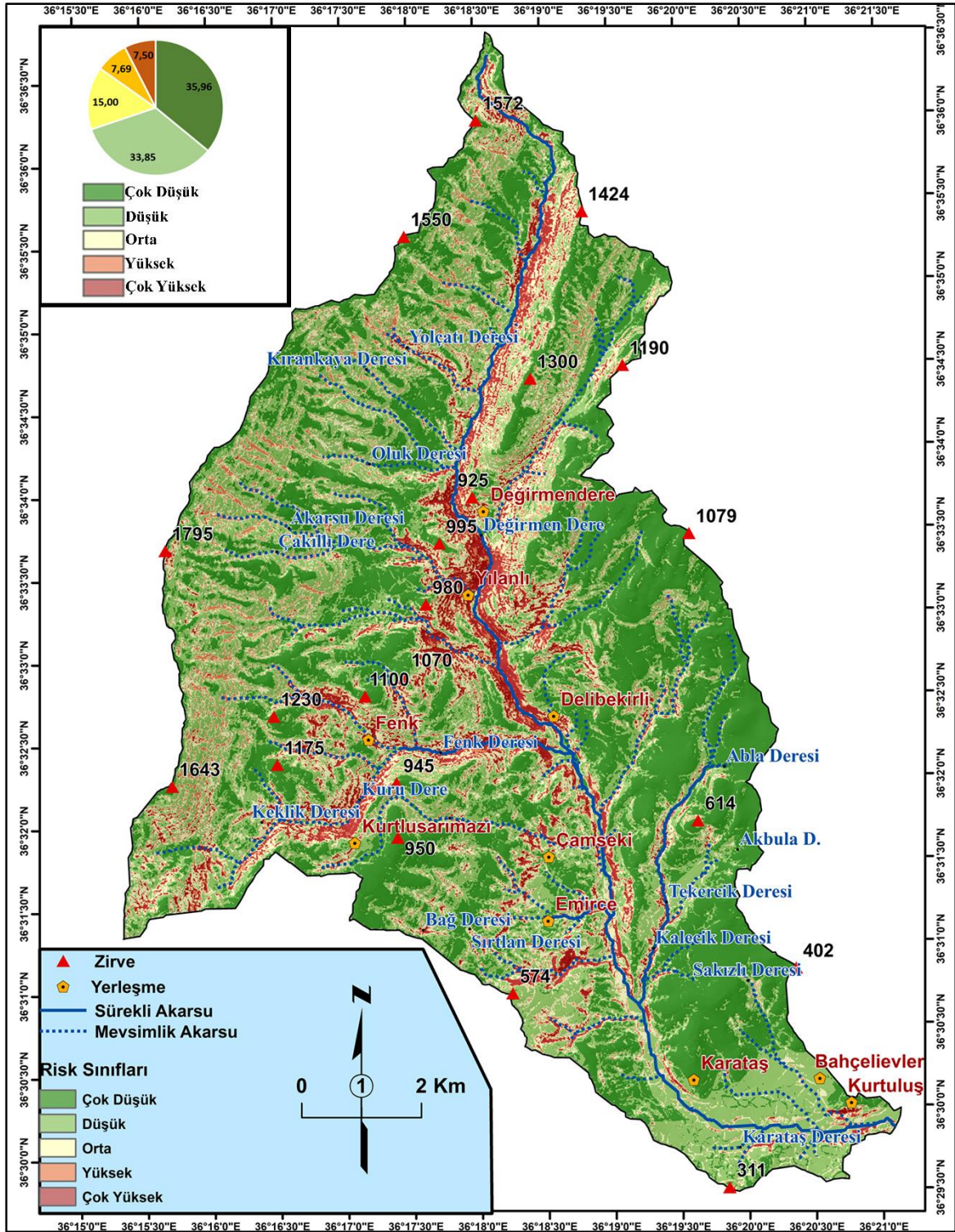
Fotoğraf 4- Düşme tipi heyelan riskinin yüksek olduğu sahalarda drone görüntüsü (a) ve bu sahalara yönelik inşa edilen istinat duvarları (b-c) (Oklar kaya düşmelerinin fazla olduğu alanları göstermektedir)

Photo 4- Drone view of areas with high risk of fall type landslides (a) and retaining walls built for these areas (b-c) (Arrows indicate areas of high rockfall)



Şekil 4- Kayma tipi heyelanlar için kullanılan parametreler (1), düşme tipi heyelanlar için kullanılan parametreler: Litoloji (2a), eğim (2b), eğim şekli (2c), yağış (2d), bakı (2e), fay hatlarına mesafe (2f), akarsuya mesafe (2g), yollara mesafe (2h), arazi kullanımı (2i), toprak (2j), yükselti (2k), NDVI (2l)

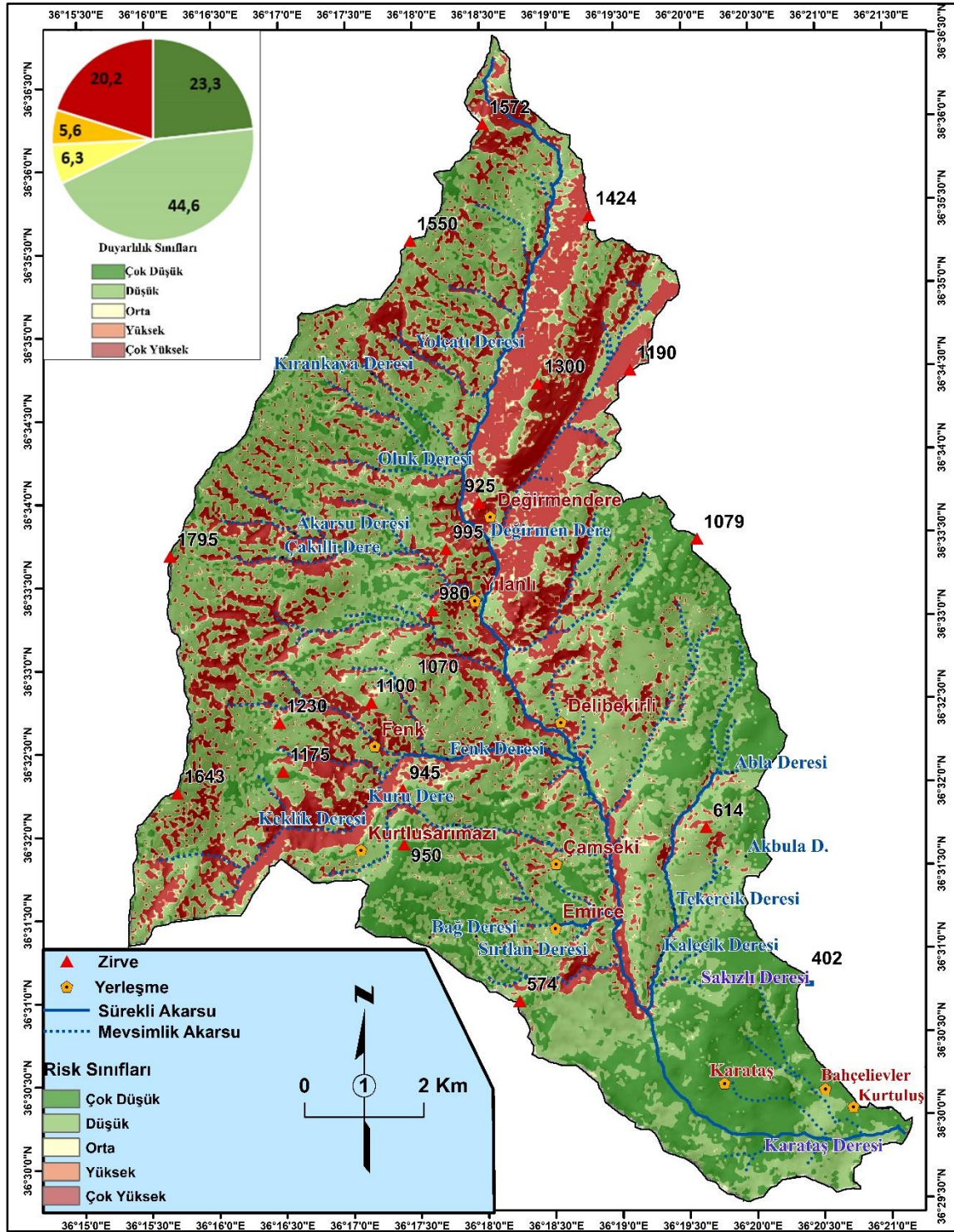
Figure 4- Parameters used for sliding type landslides (1), parameters used for falling type landslides: Lithology (2a), slope (2b), curvature (2c), precipitation (2d), aspect (2e), distance to faults (2f), distance to stream (2g), distance to roads (2h), land use (2i), soil (2j), elevation (2k), NDVI (2l)



Şekil 5- AHS yöntemine göre çalışma sahasının kayma tipi heyelan duyarlılık haritası

Figure 5- Slip type landslide susceptibility map of the study area according to the AHP method





Şekil 6- AHS yöntemine göre çalışma sahasının düşme tipi heyelan duyarlılık haritası  
Figure 6- Falling slip type landslide susceptibility map of the study area according to the AHP method

## 5. SONUÇ

Çalışma sonucunda üretilen ve kayma şeklinde heyelanların duyarlılık haritası incelendiğinde; özellikle havzanın doğu kesiminde yüksek alanlarda ve litolojik açıdan çıplak kaya yapılarının yer aldığı kesimlerin oldukça duyarlı olduğu görülmektedir. Delibekirli Havzası'nın batı kesimi ise kayma tipi heyelanlar bakımından orta ve yüksek duyarlı sınıftadır. Ancak Amanos Dağları zirve hattının hemen doğusundaki dik yamaçlarda kayma tipi heyelan değerleri yer yer yüksek duyarlı olarak tespit edilmiştir. Havza genelinde Delibekirli deresine yakın kesimlerde ve sahanın güneyine doğru heyelan duyarlılığı derecesi azalmaktadır.

Düşme tipi heyelan duyarlılığı sonuç haritası incelendiğinde; Değirmendere kuzey kesiminde, Yılanlı-Değirmendere arasında, Delibelirli Mahallesi kuzey kesimlerinde yüksek duyarlı heyelan derecesine sahip lokasyonların sayısının fazla olduğu görülmektedir. Havzanın batı yamaçlarında Keklik Dere, Tesbihli Dere civarlarında orta ve çok yüksek duyarlı kategorileri taşıyan sahalara yer almaktadır. Yine Amanos Dağları zirve hattının doğusunda 1300-1600 metre yükselti aralığında bazı vadilerin yamaçlarında heyelan duyarlılığı yüksek derecelerde olduğu anlaşılmaktadır. Düşme tipi heyelanlarda da sahanın güneyine doğru duyarlılık derecesi azaldığı görülmektedir. Her iki heyelan tipinde sahanın güneyine doğru heyelan duyarlılığının azalmasının

sebebi, bu sahalarda bitki örtüsünün nispeten yoğun olması ve eğimin azalmasından ileri gelmektedir. Çalışma sahasında Değirmendere ve Fenk Deresi tarafından derin bir şekilde yarılan vadilerin eğim değerleri çok yüksek olup bu sahalarda da aynı zamanda AHS'ye göre heyelan duyarlılık derecesi yüksek çıkmıştır.

Her iki heyelan tipinde çoğunlukla kireçtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı gibi litolojinin yaygın olduğu, eğimin %15'ten fazla olduğu, yağış değerlerinin 700 mm'den fazla olduğu ve yükseltinin 700 m'nin üzerinde olduğu sahalarda özellikle KD-GB uzanışları boyunca heyelan duyarlılık derecesinin arttığı görülmektedir.

Arazi gözlemleriyle ulaşılan heyelan bulgularının, AHS yöntemindeki sonuçlarla örtüşmesi yöntemin güvenilirliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu analizler sonucunda çalışma sahasındaki heyelanların, eğim, fay, yağış, litoloji, bakı, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımı parametrelerine göre yoğunluk kazandığı görülmüştür.

Havzada yerleşim yerleri göz önünde bulundurulduğunda Delibekirli, Yılanlı, Değirmendere mahallerinde yerleşim yerlerinde ve yakın çevrelerinde heyelan duyarlılık dereceleri daha çok düşükten çok yüksek duyarlıya doğru değişmektedir. Bu yerleşim yerlerinde ve yakın çevrelerinde heyelan kaynaklı doğal afet risklerine karşı tedbirli olunması önem arz etmektedir.

## REFERANSLAR

- Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C., & Temiz, M. S. (2011). Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) city center by using frequency ratio method. *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (5), 1015-1025.
- Akıncı, H., Yavuz Özalp, A., & Turgut, B. (2012). AHP yöntemi ile tarıma uygun alanların belirlenmesi. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu* 16-19 Ekim (UZAL-CBS 2012), Zonguldak.
- Aksoy, G. (2011). *Arhavi (Artvin) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizi*. Yüksek lisans tezi, KATÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Avcı, V. (2015). Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) heyelan duyarlılık analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1-26.
- Beyazpırınç, M., & Usta, D. (2018). *Türkiye jeoloji haritaları serisi. MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi. Ankara.*
- 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.
- Bryant, G.F. (1960). *Stratigraphic report of the Amanus Mountains area, Petroleum Districts VI and VII, Southeast Turkey [American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report]. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi Kutu No: 398, Rapor No: 3, s. 67.* [Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Arama Grubu Rapor No: 906, Ankara (yayımlanmamış)].
- Canpolat, E., & Turoğlu, H. (2019). Isparta güneyi ve güneybatısındaki volkanik sahanın jeomorfolojik gelişiminin çizgisellik ve dairesellik analizleri ile yorumlanması. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (2), 23-36.
- Çılğın, Z. (2019). CBS kullanılarak Munzur Dağları'nın ve yakın çevresinin sıcaklık ve yağış özelliklerinin belirlenmesi. Ebru A., & Mehmet Fatih, D. (Eds) İçinde, Coğrafya Araştırmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları (287-310). Pegem Akademi.
- Carrara, A. (1983). Multivariate methods for landslide hazard evaluation. *Math. Geo*, 15 (3), 403-426.
- Cihangir, M., & Görüm, T. (2016). Kelkit Vadisi'nin aşağı çıkırında gelişmiş heyelanların dağılım deseni ve oluşumlarını kontrol eden faktörler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 19-28.
- Copernicus, (2021). <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes. Landslides investigation and mitigation, Special Report 247. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.), 36-75.
- Dağ, S. (2007). *Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi*. Yüksek lisans tezi, KATÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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.
- 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, H. O., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., & Nefeslioğlu, H. A. (2013). Influence of seismic acceleration on landslide susceptibility maps: A case study from NE Turkey (the Kelkit Valley). *Landslides*, 10, 433-454.
- Delikanlı, M. (2010). *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) Bölgesi'nin heyelan duyarlılık incelemesi*. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dinç, Y., Canpolat, E., & Ceylan, M. A. (2021). *Hatay İli'nde doğal ve beşeri nedenlerle yer değiştiren yerleşmeler (I. b.)*. Pegem Akademi.
- Eker, R., & Aydın, A. (2014). Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 84-93.
- Erinç, S. (2002). *Jeomorfoloji I (6. b.)*. 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 Process and Landforms*. 24, 537-544.
- Fraedrich, K. (2010). A Parsimonious Stochastic Water Reservoir: Schreiber's 1904 Equation. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 575-578.

- Geçen, R. (2016). Hatay İli'nde güneş enerjisi potansiyeli ve güneş enerjisi santrali kurulacak alanlarının belirlenmesi. *Turkish Studies*, 14(6): 3031-3054.
- GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics, (2021). <https://www.esri.com/en-us/home>.
- Gossage, D. W. (1959). *Stratigraphic observations in the Tut area of district VI, Southeast Turkey: N.V. Turkse Shell*. Report no: GRT. 18-48.
- Gökçeoğlu, C., & Aksoy, H. (1996). Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen Region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Eng. Geo*, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 23, 189-207.
- Görüm, T., & Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides* 18, 1691–1705 <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01580-7>
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & 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.
- Güner, R. (1991). Heyelanların önlenmesi ve düzenlenmesi. *Yağış, Sel, Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB, 1991, 171-204.
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi 13*, Ankara.
- Holben, B. N., & Fraser, R. S. (1984). Red and near infrared response to off Nadir Viewing. *International Journal of Remote Sensing*, 5, 145-160.
- Jakob, M. (2000). The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38, 279-300.
- Juang, C.H., Lee, D.H., & Sheu, C. (1992). Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 118 (3), 475-494.
- Kavas, E. (2009). Analitik hiyerarşik süreç yöntemiyle İzmir İli'nde heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 02-06 Kasım 2009 (CBS2009). İzmir.
- Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F. (2013). Evaluation of the consistency of landslide susceptibility mapping: A case study from the Kankai Watershed in East Nepal. *Landslides*, 10, 785-799.
- 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.
- Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74, 17,28.
- Kuzucuğlu, C., Çiner, A., & Kazancı, N. (2019). The geomorphological regions of Turkey. C. Kuzucuğlu, A. Çiner, & N. Kazancı içinde, *Landscapes and Landforms of Turkey* (s. 41-180). Springer.
- Lee, S., & Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095-1133.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons.
- Melesse, A. M., & Jordan, J. M. (2003). Spatially distributed watershed mapping and modelling: Thermal maps and vegetation indices to enhance land cover and surface microclimate mapping: Part 1. *Journal of Spatial Hydrology*, 3 (2).
- Montis, A., Toro, P., Franke, B. D., Omann, I., & Stagl, S. (2005). Assessing the quality of different MCDA methods. M. Getzner, C. L. Spash, & S. Stagl in: *Alternatives for Environmental Valuation* (s. 99-184). Routledge.
- Neuland, H. (1976). A prediction model of landslides. *Catena*, 3, 215-230.
- Open Street Map, (2021). <https://www.openstreetmap.org/#map=9/50.0634/14.4660>.
- Öner, E., & Çiçek, İ. (1987). Heyelan olayları ve Karadeniz kıyı şeridinden örnekler. *Jeomorfoloji Dergisi*, 15, 53-64.
- Özdemir, H. (2007). *Havran Çayı Havzası'nın (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi sosyal Bilimler Üniversitesi, İstanbul.
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar. D. Ekinci (Ed.) içinde, *Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistemik ve Bölgesel* (s. 457-474). Türk Coğrafya Kurumu Yayınları.

- Özşahin, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde kütle hareketleri duyarlılığının değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23/2, 19-35.
- Özşahin, E. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla heyelan duyarlılık analizi: Ganos Dağı örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 47-63.
- Öztürk, D., & Batuk, F. (2010). Konumsal karar problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Pachauri, A. K., & Pant, M. (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Patton, P. (1988). Drainage Basin Morphometry and Floods. In: Baker, V., Kochel, R. & Patton, P., Eds., *Flood Geomorphology* (s. 51-65). Wiley.
- Perinçek, D. (1978). V-VI-Ix. Bölge (Güneydoğu Anadolu Otokton-Allokton Birimler) Jeoloji Sembolleri. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Arama Grubu, Arşiv No: 6657, Ankara (yayımlanmamış).
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill International Book Company.
- Saaty, T. L. (1990). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. 2nd Ed. RWS Publications.
- Sellers, P. J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *Int. J. Remote Sensing*, 6, 1335-1372.
- Smith, K., & Petley, D. N. (2008). *Environmental hazards (Assessment Risk and Disaster)* (5. Edt). Routledge.
- Sotomayor, A. I. (2002). *A spatial analysis of different forest cover types using GIS and remote sensing techniques; A Case study in Shivapuri area, Nepal*. Master of Science Thesis, ITC, Nepal.
- Tombuş, F. E. (2005). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak erozyon risk belirlemesine yeni bir yaklaşım, Çorum İli örneği*. Eskişehir: Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı.
- Turoğlu, H. (2008). *Coğrafi bilgi sistemlerinin temel esasları* (Genişletilmiş 2. Baskı). Çantay Kitabevi.
- Van Westen, C.J., & Bonilla, J.B.A. (1990). Mountain hazard analysis using a PC-based GIS. *Proceedings of the 6th International Congress of Engineering Geology*. 6-10 August 1990, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 265-271.
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of landslides of the IAEG, UNESCO", *Natural Hazards*, 3, 61.
- Wang, Q., & Tenhunen, J. D. (2004). Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 17-31.
- Wieczorek, G. F., Gori, P. L., Jager, S., Kappel, W. M., & Negussey, D. (1996). Assessment and management of landslide hazards near Tully Valley landslide, Syracuse, New York, USA. *Proc. VII Int. Symp. Landslides*, (s. 411-416). Trondheim.
- WP/WLI (Working Party on World Landslide Inventory), (1993). A suggested method for describing the activity of a landslide, *IAEG Bull.* 47, 53-57.
- Yalçın, A. (2007). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS'nin kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 1-14.
- 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.
- Yüksel, N. (2007). *Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında istatistiksel yöntemlerin ve yapay sinir ağlarının kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi*. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Zolotraev, W. H. (1976). Present day problems in the engineering geological investigation of landslides, falls and mudflows in Mountainous Folded Regions. H. JN in: *Geological factors and mechanism involved in the development of landslides, falls and mudflows* (s. 5-34.). Paris: UNESCO.

