

Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) arasındaki bölgenin heyelan duyarlılığının analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle (AHP) değerlendirilmesi

Samet BERBER*, Şener CERYAN

Balıkesir Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl., Çağış Kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 22.11.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.01.2023

Öz

Bu çalışmada Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) arasındaki bölgenin heyelan duyarlılık analizi, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Arazi çalışmalarıyla heyelan envanteri haritası oluşturulmuş ve heyelan oluşumuna etki ettiği düşünülen 9 adet girdi parametresi belirlenmiştir. Bunlar; litoloji, eğim, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), akarsulara mesafe, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), eğrisellik ve baki parametreleridir. Öncelikle belirlenen parametreler arasında bir karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve her bir parametrenin ağırlığı hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlık değerleri; litoloji için 0,251, eğim için 0,198, arazi kullanımı için 0,167, topoğrafik yükseklik için 0,117, NDVI için 0,086, akarsulara mesafe için 0,063, TWI için 0,054, eğrisellik için 0,039, baki için 0,025 şeklindedir. Parametrenin alt sınıfları için de matrisler oluşturularak her bir alt sınıf için de ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ağırlık değerleri ilgili parametre haritalarına Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) platformunda atanmıştır. AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre çalışma alanının %7,22'si çok düşük, %24,18'i düşük, %36,97'si orta, %27,92'si yüksek ve %3,71'i çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0.893 olarak bulunmuştur. Bu değer, modelin doğruluğunun ve dikkate alınan parametreler ile heyelan envanterinin tatminkar sonuçlar ürettiği şeklinde yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Analitik hiyerarşi süreci (AHP), heyelan, heyelan duyarlılığı, ROC eğrisi, Çanakkale

*Samet BERBER, sametberber@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8747-9346>
Şener CERYAN, sceryan@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1927-6985>

Evaluation of the landslide susceptibility of the region between Güzelyalı and Lapseki (Çanakkale) with the analytical hierarchy process method (AHP)

Abstract

In this study, the landslide susceptibility analysis of the region between Güzelyalı and Lapseki (Çanakkale) was evaluated by the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. A landslide inventory map was created by field studies, and nine input parameters thought to affect landslide formation were determined. These are; lithology, slope, land use, topographic elevation, normalized difference vegetation index (NDVI), distance to streams, topographic wetness index (TWI), curvature, and aspect parameters. First, a comparison matrix was created between the determined parameters, and the weight of each parameter was calculated. Calculated weight values are 0.251 for lithology, 0.198 for slope, 0.167 for land use, 0.117 for topographic elevation, 0.086 for NDVI, 0.063 for distance to streams, and 0.054 for TWI, 0.039 for curvature, 0.025 for aspect. Matrices were created for the subclasses of the parameter, and weights were calculated for each subclass. These calculated weight values are assigned to relevant parameter maps on the Geographical Information System (GIS) platform. According to the landslide susceptibility map produced by AHP, 7,22% of the study area is very low, 24,18% is low, 36,97% is medium, 27,92% is high, and 3,71% is very high appeared to be susceptible to landslides. It has landslide susceptibility. ROC curve method was used for the performance analysis of the landslide susceptibility map. Accordingly, the AUC value of the landslide susceptibility map produced by the AHP method was 0.893. This value was interpreted as the accuracy of the model and the parameters considered, and the landslide inventory produced satisfactory results.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), landslide, landslide susceptibility, ROC curve, Çanakkale

1. Giriş

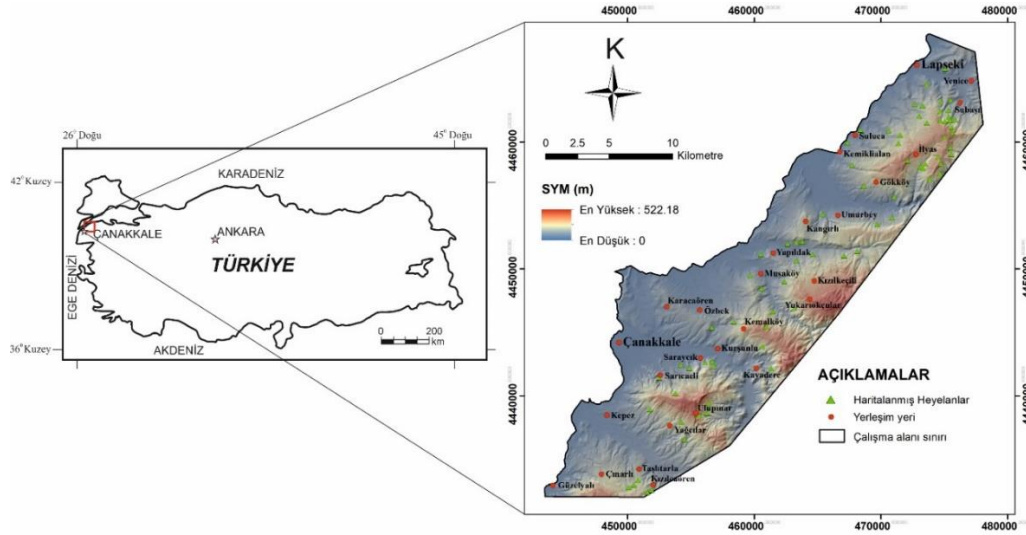
Heyelan; su, rüzgâr ve buzul gibi herhangi bir taşıyıcı etkisi olmadan yerçekimi etkisi altında kayaç, moloz veya toprak türü malzemelerin yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır [1]. Heyelanlar dünyanın her yerinde can ve mal kayıplarının yanı sıra, ormanlık ve tarımsal alanlar gibi bölgelere de zarar vererek çevresel unsurları olumsuz yönde etkilemektedirler.

Heyelan duyarlılığı, bir bölgede heyelan oluşumunda etkin olabilecek girdi parametrelerinin dikkate alınmasıyla heyelan gelişmesi olası alanların göreceli sınıflandırılması şeklinde tanımlanmaktadır [2]. Duyarlılık haritalarında genellikle kullanılan sınıflandırmada bölgedeki alanlar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı sınıflarında, göreceli olarak sınıflandırılmaktadır.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında araştırmacılar tarafından kullanılan analiz yöntemlerini Aleotti ve Chowdhury [3] niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak iki ana başlık altında

toplayarak genel bir sınıflandırma yapmıştır. Niteliksel yöntemler, araştırmacıların doğrudan saha gözlemlerine ve tecrübelerine dayanan yöntemleri içermektedir; niceliksel yöntemler farklı veri grupları kullanılarak çoğunlukla bilgisayar destekli ve veriye dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar destekli haritalama teknolojisinin gelişmesi ve verilerin elde edilebilirliğinin kolaylaşması sonucunda heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntem çeşitliliği artmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar dikkate alındığında heyelan duyarlılık analizlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerin iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile yapay zekâ yöntemleri olduğu söylenebilir. Çok kriterli değerlendirme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ise, heyelan oluşumunda etkisi olan parametrelerin birbirlerine göre önem derecesini belirleyerek duyarlılık analizinin yapılması esasına dayanmaktadır.

Bu çalışmada Güzelyalı-Lapseki arasındaki bölgenin (Şekil 1) heyelan duyarlılık haritası AHP yöntemiyle oluşturulmuştur. Biga yarımadasının batı kesiminde bulunan ve yaklaşık 430 km²'lik alanı kapsayan çalışma sahasında geçmişte birçok heyelan meydana gelmiştir. Söz konusu heyelanların büyük çoğunluğunun yerleşim alanlarını etkilediği görülmektedir. Bu duruma rağmen söz konusu alanda heyelan duyarlılık ve tehlike çalışmaları yapılmamıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Çanakkale ili geçiş iklimi özellikleri göstermekte, genel yapısı itibarıyla Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtmaktadır. İlin kuzey kısımlarında ise kış aylarında ortalama sıcaklık daha düşüktür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (1929-2019 yılları arası) verilerine göre; en düşük sıcaklık -11,5 °C ile Şubat ayı, en yüksek sıcaklık +39,1 °C ile Ağustos ayındadır. Yıllık sıcaklık ortalaması ise 15,05 °C, ortalama bağıl nem oranı ise %72,6'dır [4]. Yıllık yağış ortalaması 625,8 mm olup, en çok yağış alan ay, 105,3 mm ortalama ile Aralık ayıdır. Ortalama en düşük yağış alan ay ise 9,5 mm ile Ağustos ayıdır. Çanakkale'de günlük ölçülmüş en yüksek yağış miktarı ise 137,8 mm'dir [5].

Çalışma alanına ait heyelan envanter haritası iki adımda oluşturulmuştur. Öncelikli olarak yapılan saha çalışmalarıyla bölgede tespit edilen her bir heyelan için heyelan veri formu oluşturulmuş bu formda heyelanlara ait gözlemlenebilen tüm özellikler kayıt altına alınmıştır. İkinci adımda ise ofis çalışmaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler ile bir veritabanı oluşturularak arazide haritalanan heyelanlar CBS aracılığıyla sayısal hale

getirilmiştir. Yürütülen arazi çalışmalarıyla birlikte bölgede toplam 75 adet heyelan haritalanmıştır.

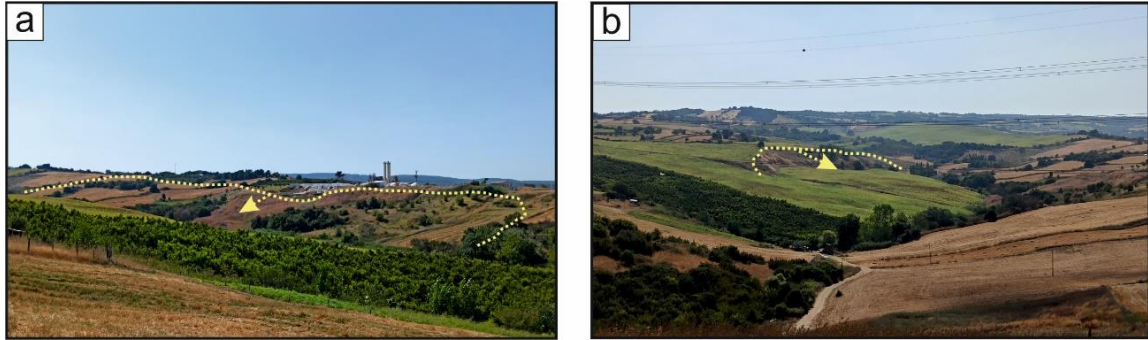
İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için litoloji, eğim, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), akarsulara mesafe, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), eğrisellik ve bakı parametreleri seçilmiştir. AHP yöntemiyle karşılaştırma matrisleri oluşturularak söz konusu parametrelerin ağırlıkları elde edilmiştir. Bu ağırlıklara göre oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının performansı ROC eğrisi (Receiver Operating Characteristic) yöntemiyle yapılmıştır.

Heyelan oluşumuna etki ettiği belirlenen parametre haritalarının oluşturulması, heyelan envanterinin sayısal hale getirilmesi, belirlenen yöntemle heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi aşamaları Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında mevcut olan ArcGIS 10.2v ve IDRISI Selva 17 programları aracılığıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

5.1. Verilerin elde edilmesi ve analize hazırlanması

Çalışma alanına ait heyelan envanteri iki adımda oluşturulmuştur. Öncelikli olarak bölgedeki heyelanları haritalamak ve tespit edilebilen özelliklerini kayıt altına alabilmek için arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar süresince bölgede toplam 75 adet heyelan tespit edilmiş ve haritalamaları yapılmıştır (Şekil 2). Çalışma alanın güney kesimlerinde yoğun bitki örtüsünün olduğu kesimler mevcuttur bu bölgelerdeki heyelanları haritalamada Google Earth uydu görüntülerinden de yararlanılmıştır. Arazi çalışmaları tamamlandıktan sonra haritalanan heyelanların bilgisayar ortamına aktararak sayısallaştırılması için CBS kullanılmıştır.

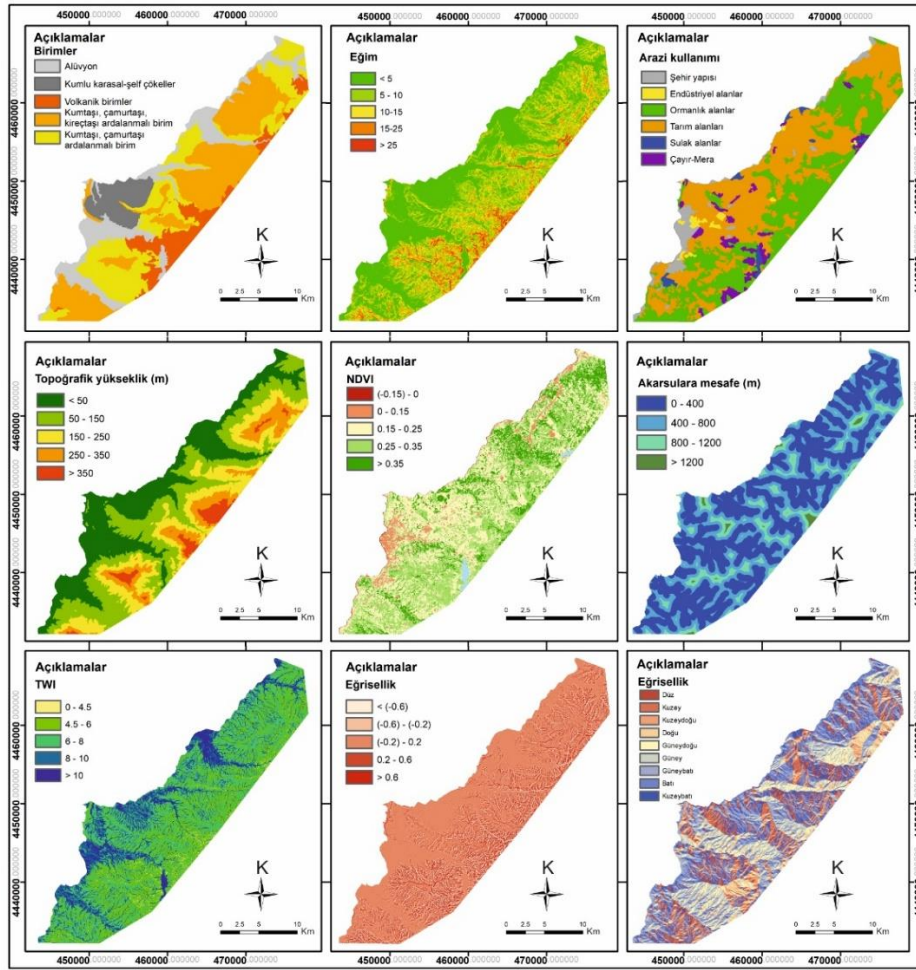


Şekil 2. Çalışma alanında Kocaveli-İlyasköy civarında gözlenen heyelanlar; (a) vadinin güney yamacı, (b) vadinin kuzey yamacı.

Yapılan literatür çalışmaları ve arazi gözlemleri sonucunda çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki ettiği düşünülen 9 adet girdi parametresi belirlenmiştir. Bunlar; litoloji, eğim, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), akarsulara mesafe, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), eğrisellik ve bakı parametreleridir (Şekil 3). Belirlenen 9 adet girdi parametre haritalarının üretiminde kullanılan ham veri kaynakları Tablo 1’te verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan girdi parametreleri ve veri kaynakları.

Parametre	Veri kaynağı
Litoloji	Arazi çalışmaları ve 1/25.000 ölçekli MTA Jeoloji Haritaları
Eğim	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'den üretilmiştir.
Arazi kullanımı	Corine vektör verilerinden üretilmiştir.
Topoğrafik yükseklik	Harita Genel Komutanlığı 1/25.000 ölçekli vektör verisinden üretilmiştir.
NDVI	LANDSAT 8-Bant 4 ve Bant 5 görüntülerinden üretilmiştir.
Akarsulara mesafe	Akarsu konumları ve SYM'den üretilmiştir.
TWI	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'den üretilmiştir.
Eğrisellik	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'den üretilmiştir.
Bakı	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'den üretilmiştir.



Şekil 3. Heyelan duyarlılığı analizi için kullanılan girdi parametre haritaları; (a) litoloji (litoloji haritası [6]'dan değiştirilerek alınmıştır), (b) eğim, (c) arazi kullanımı, (d) topoğrafik yükseklik, (e) NDVI, (f) akarsulara mesafe, (g) TWI, (h) eğrisellik, (i) bakı.

İnceleme alanında beş litolojik birim ayırtlanmıştır (Şekil 3). Eosen ve daha genç yaşlı olan bu birimler yaşlıdan gence doğru kumtaşı çamurtaşı araldanmalı birim, kumtaşı çamurtaşı kireçtaşı araldanmalı birim, volkanik birimler, kumlu karasal-şelf çökeller ve alüvyon şeklinde sıralanmaktadır [6].

Arazi koşullarının değişken olmasından ötürü yamaç eğimi haritalarında kullanılan standart bir sınıflama yoktur. Dolayısıyla çalışma alanı için üretilen yamaç eğimi

haritasında eğim değerlerinin dağılımları incelenerek bu dağılıma uygun şekilde sınıflandırma yapılmıştır (Şekil 3). Çalışma alanına ait yamaç eğimi haritası SYM (Sayısal yükseklik modeli) verisi kullanılarak üretilmiştir. Eğim haritası sınıfları, $<5^0$, 5^0-10^0 , 10^0-15^0 , 15^0-25^0 ve $>25^0$ şeklinde dikkate alınmıştır.

Arazi kullanımı; tarım alanları, ormanlık alanlar, bitki örtüsü, şehir merkezi gibi alanları içeren ve bu alanların heyelan duyarlılığına etkisini ortaya koyan bir parametredir. Arazi kullanımı haritası ArcGIS ortamında Tarım ve Orman Bakanlığına ait Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma Sistemi [7] olan Corine verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Corine verilerinden faydalanılarak alt sınıflar sadeleştirilmiştir. Örneğin, havaalanı olarak adlandırılan alt sınıf şehir yapısı içerisine eklenmiştir. Yine zeytinlik ve meyve bahçeleri gibi sınıflar da tarım alanları sınıfına eklenerek, toplam 6 alt sınıftan oluşan arazi kullanımı haritası üretilmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında deniz seviyesinden olan yükseklik, sıklıkla bir girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik yükseklik parametresi alt sınıfları yine dağılımları göz önünde bulundurularak 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3). Çalışma alanı için topoğrafik yükselti haritası SYM (Sayısal yükseklik modeli) kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanındaki değerler, 0 m ile 522 m arasında değişmektedir.

Bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisi ile ilgili olarak araştırmacılar arasında farklı görüşler mevcuttur. Bitki örtüsünün hem olumlu hem de olumsuz etkileri olduğu düşünülürse, farklı bitki özellikleri de dikkate alınarak bir değerlendirme yapılabilmektedir. NDVI değerleri, aşağıdaki eşitlikten hesaplanır ve -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Negatif değerler çıplak alanları temsil ederken, değer arttıkça sağlıklı bitki örtüsüne doğru geçiş söz konusudur.

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \quad (1)$$

NDVI hesaplaması için Rouse vd. [8] tarafından önerildiği üzere; uydu görüntülerinin yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (R) arasındaki matematiksel ilişkiden yararlanılarak çalışma alanının NDVI haritaları üretilmektedir. Çalışma alanına ait NDVI haritası üretildikten sonra dağılıma uygun şekilde 5 alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 3).

Olası heyelan bölgesindeki akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratarak ve yamacı oluşturan malzemeyi suya doyurarak, olumsuz yönde iki farklı etki yapmaktadır. Çalışma alanında genel topoğrafyanın yumuşak olduğu, topoğrafik yüksekliğin çok fazla olmadığı ve genellikle doğu-batı uzanımlı olarak gözlemlendiğimiz vadilerin yamaç eğimlerinin düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Buna bağlı olarak akarsulara mesafe haritası <400 m, 400-800 m, 800-1200 m ve >1200 m olmak üzere 4 alt sınıfa ayrılmıştır.

Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akış yönü parametresinin kullanılması ile elde edilen akış toplanma değerlerinin yamaç eğimi değerlerine oranı ile belirlenmektedir. Topoğrafik indeks genellikle yüzey akışı veya hidrolojik proseslerdeki topoğrafik etkilerin incelenmesi olarak değerlendirilmektedir [9]. TWI aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi belirlenmektedir.

$$TWI=\ln a/(\tan\beta) \quad (2)$$

Bu eşitlikte a değeri havza alanını ifade ederken, β değeri ise yamaç eğim değerlerini ifade etmektedir. Genellikle TWI değerinin düşük olduğu kesimler yamaçlar, eğimin

yüksek olduğu kesimlerken TWI değerinin yüksek olduğu kesimler ise vadi tabanları ve düzlüklerdir. SYM kullanılarak üretilen TWI haritasında yine dağılıma uygun olarak 5 alt sınıf belirlenmiştir bunlar; <4.5, 4.5-6, 6-8, 8-10, >10 şeklindedir. (Şekil 3).

Yamacın şeklini ortaya koyan eğrisellik yüzeysel akış ve erozyon süreçlerinin anlaşılmasını sağlayan bir parametre olarak değerlendirilebilir [10]. Eğrisellik yamaçların iç bükey, dış bükey ve düz olma durumunu ortaya koyan bir parametredir. Yamaçlardaki topoğrafik düzensizlikler gerilim dağılımını olumsuz yönde etkilemekte ve duraysızlıkların gelişimine neden olabilmektedir. Çalışma alanının eğrisellik haritası SYM kullanılarak ArcGIS programındaki Curvature komutuyla oluşturulmuştur. Negatif ve pozitif değerlerin temsil ettiği sınıflar 5 alt sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3).

Bakı, yamaçların kuzey ile yaptığı açının azimut cinsinden değeri olarak tanımlanabilir. Bakı ile heyelanlar arasında bir ilişki olmasına rağmen bu parametre ile ilgili bir görüş birliği sağlanamamıştır. Buna rağmen birçok araştırmacı yaptıkları istatistiksel çalışmalar neticesinde heyelanların çoğunlukla belli yönelimdeki yamaçlarda gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır. Bakı haritaları üretilirken kullanılan genel bir sınıflama vardır ve bu çalışmada da bakı haritası bu alt sınıflara ayrılmıştır (Şekil 3).

2.2. AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem, Saaty tarafından 1977 yılında çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilecek bir model olarak geliştirilmiştir. AHP yönteminin temeli probleme etki ettiği düşünülen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesine dayanmaktadır. AHP yönteminde her bir parametre ve bu parametrelerin alt sınıfları için bir hiyerarşik model oluşturulmaktadır. Yöntemde hiyerarşik modelin oluşturulmasında Saaty [11] tarafından önerilen ikili karşılaştırma ölçeği kullanılmaktadır (Tablo 2). Bu ölçek 1 ile 9 arasında değişen değerlerden oluşur. 1 değeri her iki öğrenin birbiri ile eşit derecede katkısı olduğunu gösterirken, 9 en yüksek derecede önemi göstermektedir.

Tablo 2. İkili karşılaştırma ölçeği [11].

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

Kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılırken belirli bir derecede tutarsızlık oluşabilir. Dolayısıyla matrisler oluşturulduktan sonra tutarlılık oranları da hesaplanmalıdır. AHP yönteminde hiyerarşinin tutarlılık derecesi aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır. Eğer tutarlılık oranı 0.1 değerinden yüksek çıkarsa matris gözden geçirilmelidir [12].

$$\text{Tutarlılık oranı} = \frac{\text{Tutarlılık göstergesi}}{\text{Rassallık göstergesi}} \quad (3)$$

$$\text{Tutarlılık oranı} = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4)$$

Eşitlikte λ matrisin nisbi ağırlığını, n ise karşılaştırma matrisindeki boyut sayısını ifade etmektedir.

Çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki ettiği düşünülen parametrelerin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 3). Oluşturulan matriste tutarlılık oranı 0,054 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan matrisle elde edilen ağırlık değerleri ArcGIS ortamında her bir parametre haritasına ayrı ayrı atanmıştır.

Tablo 3. AHP yöntemiyle oluşturulan girdi parametreleri matrisi.

Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
(1) Litoloji	1									0,251
(2) Eğim	1/2	1								0,198
(3) Arazi kullanımı	1/2	1/2	1							0,167
(4) Topoğrafik yükseklik	1/3	1/2	1/2	1						0,117
(5) NDVI	1/3	1/3	1/3	1/2	1					0,086
(6) Akarsulara mesafe	1/3	1/3	1/4	1/3	1/2	1				0,063
(7) TWI	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1			0,054
(8) Eğrisellik	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1		0,039
(9) Bakı	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3	1	0,025
Tutarlılık Oranı = 0,054										

Duyarlılık analizinde kullanılacak olan parametre haritalarının alt sınıfları belirlenmiş ve her bir alt sınıf için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur (Tablo 4). Parametre alt sınıfları için oluşturulan matrislerin tamamında tutarlılık oranı 0.10'un altında çıkmıştır.

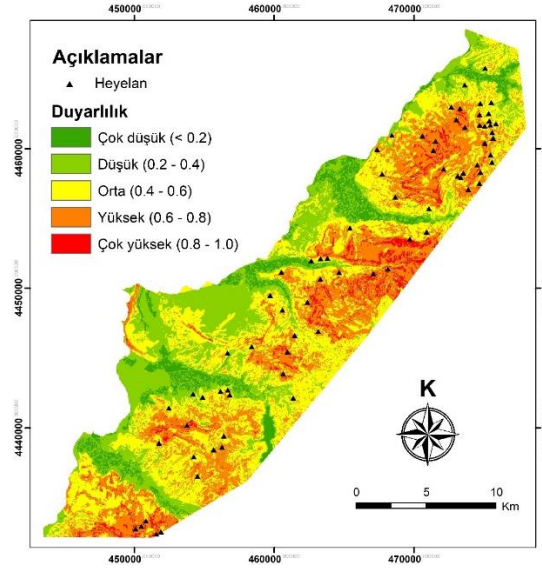
Tablo 4. AHP yöntemiyle oluşturulan girdi parametreleri alt sınıf matrisleri.

Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
Litoloji										
(1) Alüvyon	1									0,032
(2) Volkanik	9	1								0,201
(3) Kumtaşı, çamurtaşı	9	3	1							0,460
(4) Kireçtaşı, kumtaşı	9	2	1/3	1						0,254
(5) Kuvaterner Kumul	2	1/5	1/7	1/5	1					0,054
Tutarlılık Oranı = 0,071										
Eğim (°)										
(1) 0-5	1									0,035
(2) 5-10	5	1								0,146
(3) 10-15	9	3	1							0,418
(4) 15-25	7	2	1/2	1						0,255
(5) >25	5	1	1/3	1/2	1					0,146
Tutarlılık Oranı = 0,013										
Arazi Kullanımı										
(1) Şehir Yapısı	1									0,072
(2) Endüstriyel ve Ticari Alanlar	1/2	1								0,069
(3) Ormanlık Alanlar	5	5	1							0,342
(4) Tarım Alanları	5	5	1/2	1						0,268
(5) Sulak Alanlar	1/3	1/5	1/7	1/7	1					0,030
(6) Çayır-Mera	5	5	1/2	1/2	7	1				0,218
Tutarlılık Oranı = 0,087										
Yükselti (m)										
(1) <50	1									0,037
(2) 50-150	5	1								0,159

Tablo 4. (devamı)

Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
Yükselti (m)										
(3) 150-250	9	3	1							0,439
(4) 250-350	7	2	1/2	1						0,279
(5) >350	3	1/2	1/5	1/4	1					0,087
Tutarlılık Oranı = 0,019										
NDVI										
(1) (-0,15)-0	1									0,037
(2) 0-0,15	3	1								0,071
(3) 0,15-0,25	7	5	1							0,286
(4) 0,25-0,35	9	7	2	1						0,423
(5) >0,35	5	3	1/2	1/2	1					0,183
Tutarlılık Oranı = 0,032										
Akarsulara Mesafe (m)										
(1) 0-400	1									0,180
(2) 400-800	3	1								0,460
(3) 800-1200	2	1/2	1							0,272
(4) >1200	1/3	1/4	1/3	1						0,088
Tutarlılık Oranı = 0,039										
TWI										
(1) 0-4,5	1									0,280
(2) 4,5-6	2	1								0,351
(3) 6-8	1/2	1/2	1							0,185
(4) 8-10	1/3	1/3	1/2	1						0,110
(5) >10	1/4	1/3	1/3	1/2	1					0,075
Tutarlılık Oranı = 0,038										
Eğrisellik										
(1) < (-0,6)	1									0,337
(2) (-0,6)-(-0,2)	1/2	1								0,181
(3) (-0,2)-0,2	1/3	1/2	1							0,087
(4) 0,2-0,6	1/2	1/2	2	1						0,138
(5) >0,6	1/2	2	3	2	1					0,256
Tutarlılık Oranı = 0,032										
Bakı										
(1) Düz	1									0,088
(2) Kuzey	1/2	1								0,081
(3) Kuzeydoğu	2	2	1							0,134
(4) Doğu	3	3	2	1						0,226
(5) Güneydoğu	3	3	2	1/2	1					0,192
(6) Güney	2	2	1/2	1/2	1/2	1				0,115
(7) Güneybatı	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1			0,058
(8) Batı	1/2	1/3	1/3	1/4	1/4	1/3	2	1		0,057
(9) Kuzeybatı	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	0,049
Tutarlılık Oranı = 0,048										

AHP yöntemiyle oluşturulan matrisler sonucunda her bir parametre ve alt sınıfları için ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlık değerleri ArcGIS ortamında girdi haritalarına ve alt sınıflarına atanmıştır. Heyelan duyarlılık haritasını üretebilmek için ArcGIS programına ait Weighted Sum modülü kullanılmıştır. Bunun sonucunda, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve genel sınıflamaya uygun olarak 5 sınıf oluşturulmuş, “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” duyarlılık sınıfları olarak dikkate alınmış ve Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Elde edilen duyarlılık haritasına göre çalışma alanının %7,22'si çok düşük, %24,18'i düşük, %36,97'si orta, %27,92'si yüksek ve %3,71'i çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir.

2.3. Model performans analizi

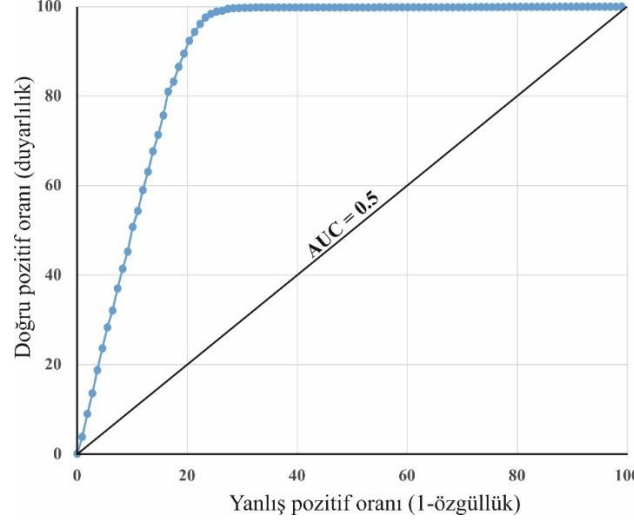
Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu ve uygunluğu farklı performans analizleri ile değerlendirilebilir. Üretilen duyarlılık haritasının heyelanlı alanların tahminini ne oranda yapabildiği bu tür analizlerle ortaya konmaktadır. Bu çalışmada AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk analizi için ROC (Receiver Operating Characteristics) eğrisi kullanılmıştır. ROC eğrisi belirlenen eşik değerleri için düşey ekseninde doğru pozitiflik (duyarlılık) yatay ekseninde ise yanlış pozitiflik oranı (1-özgüllük) değerlerinin yer aldığı bir eğridir. ROC eğrisindeki bu değerler pozitif ve negatif gözlemlerin ayrımını yaparak modelin doğruluğunu tespit etmektedir [13].

ROC eğrisinde (0,0) ve (1,1) noktalarını birleştiren çizgi referans çizgisi olarak kabul edilir ve bu çizgi altında kalan alanın değeri 0.5'tir. ROC eğrisi altında kalan alan olarak tanımlanan AUC değeri performans analizinin sonucunu temsil etmektedir. Eğri altında kalan alan AUC 1'e yakın değerler aldığıda ideal bir modele 0.5'e yakın değerler aldığıda ise doğruluğunun oldukça düşük olduğu bir modele işaret etmektedir (Tablo 5) [14].

Tablo 5. AUC değerleri ile model performansı [14].

AUC (Eğri altında kalan alan)	Model Performansı
0,9-1	Mükemmel
0,8-0,9	Çok iyi
0,7-0,8	İyi
0,6-,07	Ortalama
0,5-0,6	Yetersiz

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0.893 olarak bulunmuştur (Şekil 5). Bu değer modelin doğruluğunun, Tablo 5'e göre yapılan sınıflamada "çok iyi" grubunda olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. AHP yönteminin ROC eğrisi.

3. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada Güzelyalı-Lapseki arasındaki bölgede heyelan potansiyeli olan alanların ortaya konulması amacıyla, AHP yöntemiyle bölgenin heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Arazi gözlemleri sonucunda bölgede heyelan oluşumuna etki ettiği düşünülen 9 adet girdi parametresi belirlenmiş olup bunlar; litoloji, eğim, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), akarsulara mesafe, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), eğrisellik ve bakı parametreleridir.

AHP yöntemiyle oluşturulan matrise göre parametre ağırlıkları; litoloji için 0,251, eğim için 0,198, arazi kullanımı için 0,167, topoğrafik yükseklik için 0,117, NDVI için 0,086, akarsulara mesafe için 0,063, TWI için 0,054, eğrisellik için 0,039, bakı için 0,025 şeklindedir. Bu sonuçlara göre, bölgedeki heyelanların meydana gelmesinde en etkin parametreler litoloji, eğim ve arazi kullanımı olarak belirlenmiştir.

Üretilen duyarlılık haritası 0-1 aralığında normalize edilerek genel sınıflamaya uygun şekilde 5 sınıfa ayrılmıştır. Duyarlılık haritasındaki sınıflar; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklindedir. Buna göre çalışma alanının %7,22'si çok düşük, %24,18'i düşük, %36,97'si orta, %27,92'si yüksek ve %3,71'i çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir.

Heyelan duyarlılık analizinin doğruluğunu ispatlamak için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık analizinin AUC değeri 0.893 olarak hesaplanmıştır. Bu değere göre modelin heyelan duyarlılığı tahminindeki performansı "çok iyi" sınıfında olup, elde edilen haritanın tatminkar sonuçlar ürettiği şeklinde bir yorum yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen duyarlılık haritası söz konusu yerleşim alanlarının planlanmasında temel altlık olarak kullanılabilir. Ayrıca bu alan içinde gelişebilecek heyelanlardan etkilenecek yerleşim alanları ve tarım sahaları da bulunduğu için heyelan tehlike ve risk haritalarının da ivedilikle hazırlanması, karar vericilere sunulması ve hayata geçirilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Cruden, D. M. and Varnes, D. J., Landslide types and process. **In Landslides: Investigation and Mitigation**, (1996).
- [2] Varnes, D. J., Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. **In UNESCO Press**. <https://doi.org/10.1007/BF02594720>, (1984).
- [3] Aleotti, P. and Chowdhury, R., Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. **In Bulletin of Engineering Geology and the Environment**. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>, (1999).
- [4] Çanakkale İl Afet Risk Azaltma Raporu (İRAP), Çanakkale İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, (2021).
- [5] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/>, (2022).
- [6] Dönmez, M., Akçay, A.E., Duru, M., Ilgar, A., Pehlivan, Ş., 1/100 000 Ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Çanakkale h-17 paftası. Rapor No: 101, (2008)
- [7] Tarım ve Orman Bakanlığı, Corine projesi arazi kullanımı sınıflandırması. <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/>, (2022)
- [8] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W., Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 301–317. Greenbelt, MD: NASA, (1974).
- [9] Alkeveli, T., Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem stratejileri ve bazı karar verme ağaçları algoritmalarının kullanımı üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, (2015).
- [10] Rejith, R. G., Anirudhan, S. and Sundararajan, M., Delineation of groundwater potential zones in hard rock terrain using integrated remote sensing, GIS and MCDM techniques: A case study from vamanapuram river basin, Kerala, India. **In GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science**. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00025-0>, (2019)
- [11] Saaty T.L., The analytic hierarchy process: planning, priority setting, **Resource Allocation**, McGraw-Hill Comp., New York, USA, (1980).
- [12] Yalçın A., Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve cbs'nin kullanımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(3), 1-14, (2007).
- [13] Begueria, S., Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management, **Natural Hazards**, 37, 315-329, (2006).
- [14] Fawcett, T., An introduction to ROC analysis, **Pattern Recognition Letters**, 27, 8, 861-874, (2006)