

Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım

Murat ERCANOĞLU^{1,*}, Pınar AVCI¹

¹Jeoloji Müh. Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Geliş Tarihi (Received Date): 25.01.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.07.2024

Öz

Doğal tehlikelerden biri olan heyelanlar nedeniyle, Türkiye’de ve diğer ülkelerde hem can ve mal kayıpları hem de ekonomik ve çevresel kayıplar ortaya çıkabilmektedir. Afet bilinci kavramının, özellikle son yıllarda yaygınlaşması ve gerek, ulusal gerekse uluslararası inisiyatiflerin dikkate aldıkları önlemler ve iyileştirme çalışmaları ile doğal tehlikelerden kaynaklanan zararların, en düşük seviyeye düşürülmesine çalışılmaktadır. Bunlardan, heyelan tehlike ve risk çalışmalarının temel girdi parametrelerinden biri olan heyelan duyarlılık çalışmaları da son derece büyük öneme sahiptir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında parametre seçimi ile bu parametrelerin doğru ve temsil edici bir şekilde kullanılması da önemli bir konudur. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla ve öznel olarak dikkate alınan akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına yönelik olarak yeni bir yaklaşım önerilmesi ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmasının yapılması amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde Frekans Oranı yöntemi temel alınarak, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, arazi kullanımı, litoloji, baki, yamaç eğriselliği ve üç farklı yöntemle oluşturulan akarsulara uzaklık parametreleri dikkate alınmıştır. Akarsulara uzaklık parametresi dışındaki parametreler sabit tutularak, üç farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve performansları iki farklı yöntemle sınanmıştır. Bu çalışmada önerilen şekliyle akarsulara uzaklık parametresinin kullanımının, her iki performans sınama yönteminde de en iyi performansı gösterdiği, sonuç heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yaklaşık olarak %10’luk bir iyileştirmeye yol açtığı belirlenmiştir. Önerilen yöntemin nesnel ve kullanılabilir olduğu sonucuna varılmış olsa da farklı sahalarda uygulanarak performansla yönelik etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Heyelan, heyelan duyarlılığı, akarsulara uzaklık, hazırlayıcı parametreler.

*Murat ERCANOĞLU, murate@hacettepe.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-3496-214X>

Pınar AVCI, pavci@hacettepe.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4158-0107>

A new approach to utilization of distance to stream parameter in landslide susceptibility assessments

Abstract

Due to landslides, one of the natural hazards, both life and property losses, as well as economic and environmental damages, may occur in Turkey and in the other countries. The concept of disaster awareness has become widespread, especially in recent years, and efforts are being performed to minimize the damages caused by natural hazards through the measures and improvement efforts taken by both national and international initiatives. Among these, landslide susceptibility studies, which are one of the basic input parameters of landslide hazard and risk studies, are of great importance. In landslide susceptibility studies, parameter selection and the correct and representative utilization of these parameters are also important issues. Therefore, within the scope of this study, it was aimed to propose a new approach for the use of the distance to streams parameter, which is frequently and subjectively taken into account in landslide susceptibility assessments, and to compare it with the existing methods. In the evaluation of landslide susceptibility performed by the Frequency Ratio method, topographical elevation, slope, land use, lithology, aspect, slope curvature and distance to streams, produced by three different methodologies, were taken into account. By keeping the parameters constant except for the distance to the streams, three different landslide susceptibility maps were produced and their performances were tested with two different methods. It was determined that the use of the distance to streams parameter, as suggested in this study, showed the best performance in both performance testing methods and resulted in an approximately 10% improvement in landslide susceptibility evaluations. Although it has been concluded that the proposed methodology is objective and usable, it is recommended to investigate its effects on performance by applying it in different areas.

Keywords: *Landslide, landslide susceptibility, distance to streams, conditioning parameters.*

1. Giriş

Dünya genelinde birçok ülke, afetler nedeniyle, önemli oranda can ve mal kaybına uğramaktadır. Bu kayıpların azaltılmasına yönelik olarak uluslararası düzeyde özellikle son 30 yıl içinde önemli adımlar atılmıştır. Bu çalışmaların başlangıç noktası kapsamında değerlendirilebilecek ilk girişim, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 1990-2000 yılları arasının “Afetlerin Etkilerinin Azaltılması için 10 Yıl” olarak ilan edilmesi gösterilebilir. İlerleyen zaman diliminde, 2005 yılında düzenlenen Uluslararası Kobe Konferansı’nda, 2005-2015 yıllarının yeni “Afet Risklerinin Azaltılması Onyılı” (Hyogo Çerçeve Eylem Planı), 3. BM Dünya Afet Risklerinin Azaltılması Konferansında da Sendai Afet Risk Azaltılması Çerçevesi kapsamında 2015-2030 yılları arasının, afet risklerinin azaltılarak dirençliliği arttırmayı hedefleyen planlamalar yapılmıştır. Sayısı daha da arttırılabilecek bu tür girişimlerin temel hedefi, deprem, taşkın, heyelan gibi, aslında “doğal tehlike” kavramı içinde değerlendirilen, ancak insan etkisi içerildiğinde “afet”e dönüşen olayların doğurduğu etkilerin en aza indirgenmesidir.

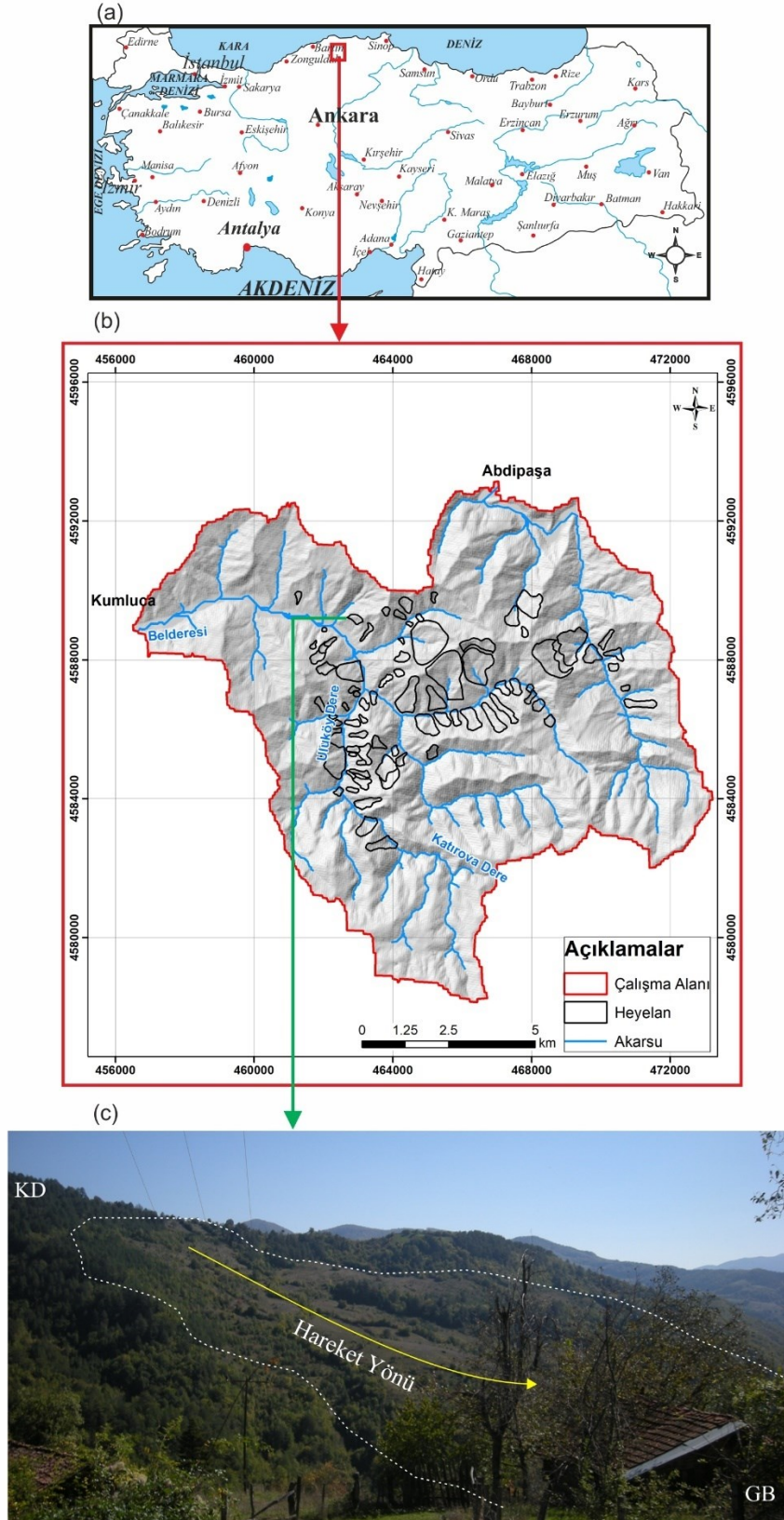
Türkiye’de, depremlerden sonra en çok hasar, zarar ve can kaybına yol açan heyelanlara yönelik olarak yapılan çalışmalar, özellikle son 20-25 yıl içinde önemli oranda ivme kazanmıştır. Bu çalışmalara ilk örnek olarak, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1998 yılında başlatılan ve 2009 yılında ulusal ölçekte tamamlanan “Türkiye Heyelan Envanteri Projesi” gösterilebilir. Daha sonra, 1999 yılında yaşadığımız depremlerden sonra bir “afet bilincinin” oluşmaya başladığı ve afetlerden kaynaklanan zararların azaltılması yönünde önemli adımların atılmaya başlandığı görülmektedir. Gerek konuyla ilgili devlet kurumlarımızın, gerekse bilim insanlarımızın çözüme yönelik katkı koyduğu bu tür çalışmaların yanı sıra, 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun” ile de, ulusal ölçekte afetlere hazırlıklı olma, önlem alma, zararları azaltma gibi hususların gerçekleştirilmesi, kanuni bir zorunluluk halini almıştır. Ayrıca, Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) tarafından, izleyen yıllarda Afet Risk Azaltma Sistemi (ARAS), Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP) gibi son derece önemli projeler hataya geçirilmiştir. Heyelan özelinde dikkate alındığında, hali hazırda devam eden ve/veya hayata geçirilmiş projelerin, özellikle zarar azaltmaya yönelik kazanımlara olumlu etkilerinin olduğu ve/veya olacağı açıktır. Bununla birlikte, bu tür uygulamalarda bazı eksikliklerin olabileceği gerek kullanılan yöntemlerde, gerekse parametrelerde güncellemelerin veya düzenlemelerin yapılması gerekliliği de ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışmada amaç, heyelan tehlike ve risk haritalama çalışmalarının temel girdilerinden biri olan heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, araştırmacılar tarafından sıklıkla dikkate alınan bir parametre olan akarsulara yakınlık parametresinin kullanımına yönelik bir değerlendirme yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, söz konusu parametrenin bilimsel çalışmalarda ne şekilde kullanıldığı yanı sıra, bu çalışma kapsamında yeni ve nesnel bir yöntem de önerilerek, sonuç heyelan duyarlılık haritalarındaki parametrik etki değişimlerinin de ortaya konulması hedeflenmiştir. Önerilen yöntemin, sonuç heyelan duyarlılık performansında önemli oranda bir iyileştirmeye neden olduğu tespit edilmiştir.

2. Çalışma alanı

Çalışma alanı Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer almakta olup, Bartın şehir merkezinin yaklaşık 22 km güneydoğusunda dağlık bölge özellikleri gösteren 137.0 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1a) Ana yerleşim yerleri, çalışma alanının kuzeyinde bulunan Abdipaşa, kuzeybatıda bulunan Kumluca ve kuzeydoğuda bulunan Ulus ilçeleridir. Ayrıca, çalışma alanında kırsal yaşam hakim olduğundan yerleşim birimleri dağınık bir yayılım sergilemektedir. Çalışma alanı ve çevresi Türkiye'de heyelanların sıklıkla geliştiği ve geçmişte can ve mal kayıplarının önemli oranda olduğu alanlarından biri olarak bilinmektedir. Örneğin, 1985 ve 1998 yıllarında, çalışma alanının sınırları içinde bulunduğu Batı Karadeniz Bölümü, Türkiye Bakanlar Kurulu kararıyla bölgesel afet alanı ilan edilmiştir.

Çalışma alanında, bu çalışma için yapılan saha çalışmalarına ek olarak, MTA ve AFAD kurumlarının veritabanları da kullanılarak, toplam 81 adet heyelan (Şekil 1b ve 1c) haritalanmıştır. Heyelanların ortalama alansal büyüklüğü 145497.3 m² olup en düşük ve en yüksek alansal büyüklükler de sırasıyla 13082 m² ve 981825 m²'dir. Heyelanlar, Varnes [1] sınıflandırmasına göre, dönel toprak kaymaları olarak sınıflandırılmışlardır.



Şekil 1. a) Çalışma alanı yer bulduru haritası, b) Heyelan envanter haritası, c) Abdipaşa GB'sındaki heyelan görünümü.

Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Harita Genel Müdürlüğü'nden 20 m çözünürlükle temin edilmiştir (Şekil 2a). Çalışma alanında topoğrafik yükseklik, 160 m ile 1735 m (deniz seviyesine göre) arasında değişmekte olup, en büyük yükseltiler, çalışma alanının güney ve güneydoğu sınırına yakın kesimdedir. Alanda, en düşük ve en yüksek eğim değerleri sırasıyla 0° ve 62°'dir (Şekil 2b). Hafif eğimli alanlar (10°'nin altında) akarsu yatakları ve çevresinde bulunurken, dik eğimli alanlar, çalışma alanının özellikle güney ve güneydoğu kesimlerinde bulunmaktadır.

Yaklaşık olarak alanın %87.2'sinde eğim 30 dereceden daha az olup, 40 dereceden daha dik eğimlere sahip alanlar ise %0.9'dur. 2006 yılı için Coordination of Information on the Environment (CORINE) [2] tarafından belirlenen arazi kullanımı özelliklerine göre (Şekil 2c), çalışma alanının %15.8 'i geniş yapraklı ormanlarla, %39.3 'ü karışık ormanlarla kaplıdır. Çalışma alanında üçüncü en yaygın arazi kullanım grubunu oluşturan tarım alanları ise, toplam alanın %20.9'unu kaplamaktadır. Heyelan alanlarının ise sırasıyla %39.9'unu tarım alanları, %53'ünü ise ormanlar (karışık ve geniş yapraklı) oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki akarsu kolları dendritik bir drenaj sistemi oluşturmakta olup, Katırova ve Uluköy dereyi oluşturan akarsu kolları birleşerek Belderesine, buradan da drenaj alanının akış aşağısında bulunan Kozcağız dereye boşalmaktadır (Şekil 2d).

Jeolojik olarak, Batı Pontidler tektonik birimi içinde yer alan çalışma alanı, Alt Kretase'den Kuvaterner'e kadar olan 5 farklı litolojiden oluşmaktadır (Kub3, Kus, Kua, Ku ve Qal,) (Şekil 2e). Özellikle, çalışma alanı ve çevresindeki farklı yaşlardaki sedimentar birimler faylar tarafından önemli oranda deforme edilmiş olup, karmaşık jeolojik özellikler ile temsil edilmektedirler [3]. Çalışma alanının %73.6'sında yüzeylenen Ulus Formasyonu (Ku), heyelana en eğimli litolojik birim olup, türbiditik kumtaşı, çamurtaşı ve şist değişimlerini içeren flişel özellikler göstermektedir. Kuvaterner alüvyon birikintileri (Qal), daha eski birimlere uyumsuz bir şekilde en üste gelmiştir. Bunların içinde Ku, heyelan alanlarının %95.7'sini kapsamaktadır. Geç Kretase yaşlı Ulus formasyonu, saha çalışmaları esnasında bozunmaya son derece duyarlı bir birim olarak gözlenmiştir. Ulus formasyonun litolojik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, heyelanların bu birimin bozunma yüzeylerinde oluştuğu gözlemlenmiş olup, bozunma zonu kalınlığı 1-2 m'den başlayıp ve 40 m'ye kadar değişim göstermektedir.

Çalışma alanının bakı ve yamaç eğriselliği haritaları da Şekil 2f ve Şekil 2g'de sunulmuş olup, çalışma alanındaki yamaçların büyük bir kesimi kuzey ve kuzeybatı yönlerine bakmaktadır. Bununla birlikte heyelanların hemen hemen her yönde geliştiği ortaya çıkmıştır. Eğrisellik değerleri negatif ve pozitif değerler arasında değişirken, negatif değerler içbükey yamaçları, pozitif değerler dışbükey yamaçları ve sıfır değeri de düz yamaçları ifade etmektedir. Alan genelinde içbükey, dışbükey ve düz yamaçlar hakim olmakla birlikte heyelanların çoğunlukla içbükey yamaçlarda geliştiği gözlenmiştir.

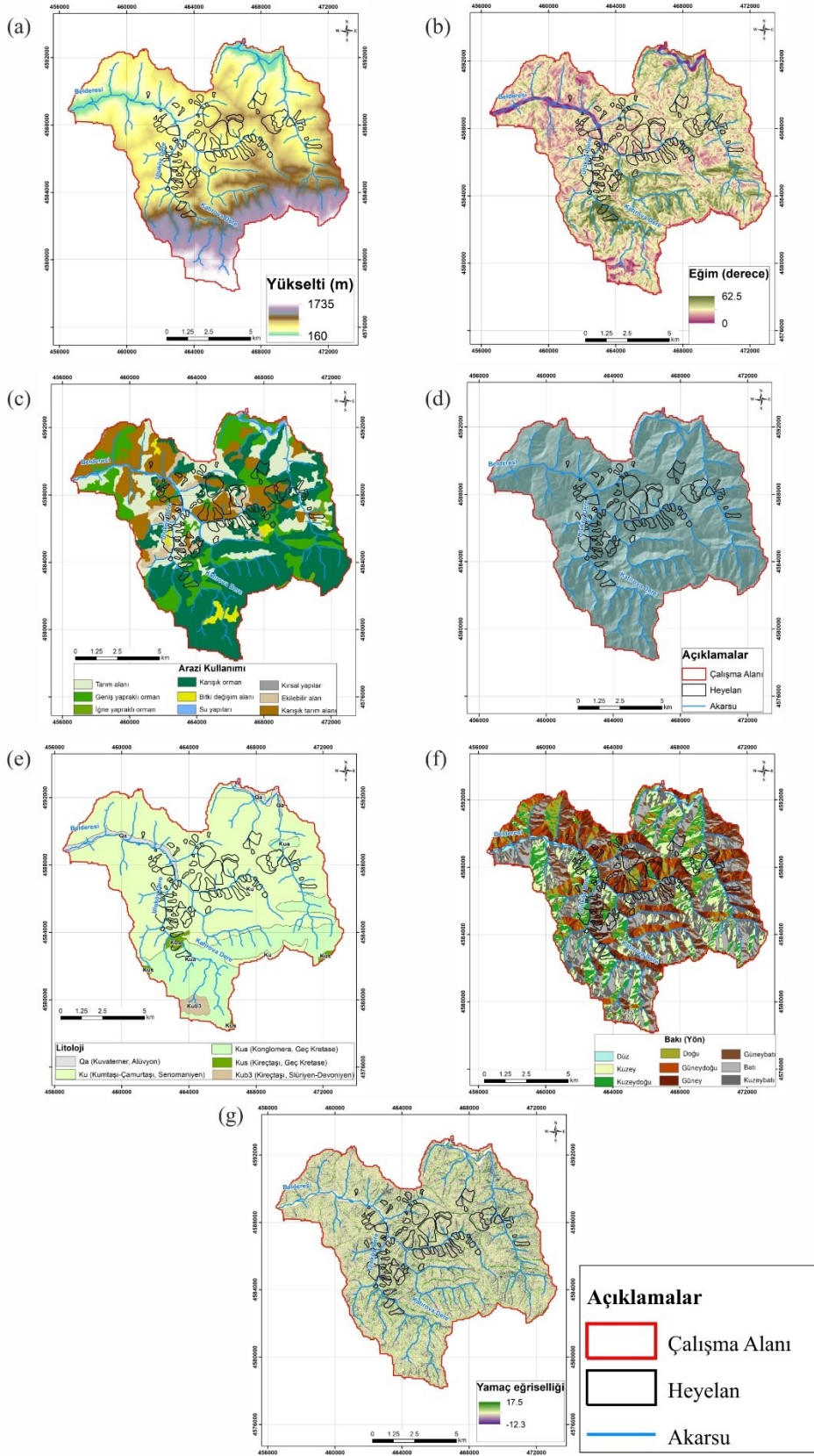
3. Yöntem

Heyelan kavramı, toprak, moloz veya kayaç türü malzemelerin veya bunların karışımının, yerçekimi etkisiyle aşağı yönde hareketi olarak tanımlanmaktadır [4]. Bu kavram, jeolojik, jeomorfolojik ve çevresel özellikler etkisinde gelişebilen bir süreci tanımlamakla birlikte, deprem, aşırı yağış, volkanik aktivite veya insan etkisi ile de tetiklenebilen bir

doğal olayı betimlemektedir. Bir yamaç üzerindeki hareketin türü, büyüklüğü, hızı gibi birçok özellik, harekete geçen jeolojik malzeme, yamacın jeomorfolojik özellikleri ve arazi kullanımını, bitki örtüsü durumu gibi çevresel koşullara da bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Diğer bir deyişle, bir heyelanın meydana gelmesinde birbirinden farklı türde ve özellikte çok sayıda parametre etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu parametrelerin doğru bir şekilde kullanılması ve heyelan oluşumundaki etkilerinin ortaya konulması, son derece önem arz eden bir husustur. Bu aşamada dikkate alınması gereken bir diğer husus da, heyelan envanter ve veri tabanının oluşturulması ile dikkate alınan parametrelerin arasındaki ilişki(ler)in ortaya konulmasıdır. Bunlardan heyelan envanteri ve veri tabanının oluşturulması, heyelan zararlarının azaltılması konusundaki en önemli unsur olup, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının temelini teşkil etmektedir [5].

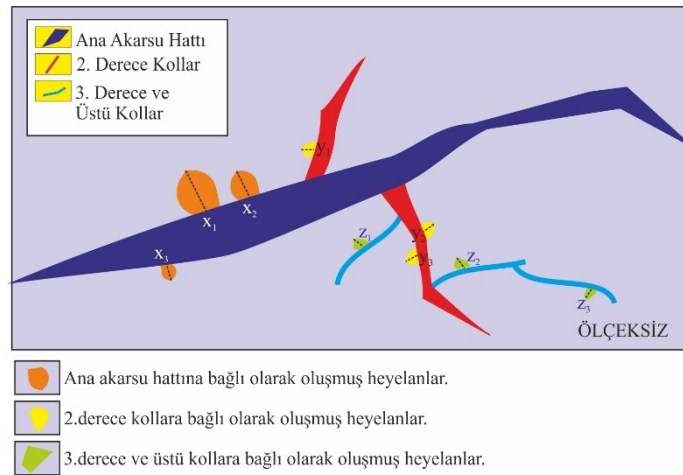
Heyelan değerlendirmelerine yönelik çalışmalar incelendiğinde, günümüzdeki temel analiz yönteminin genelden özele doğru değişim gösterdiği ve sırasıyla duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [6]. Bunlardan, bu çalışmanın da temel konusu olan heyelan duyarlılığı, heyelan oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametrelerin dikkate alınarak, gelecekte heyelan gelişmesi olası alanların göreceli olarak sınıflandırılması şeklinde tanımlanmaktadır ([7], [8] ve [6]).

Heyelan duyarlılığı kavramını da, tehlike ve risk çalışmalarının temel girdilerinden biri olması nedeniyle, bu tür çalışmaların en önemli aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir [9]. Dolayısıyla, özellikle heyelan envanteri ve veri tabanı ile heyelan duyarlılığı arasındaki ilişki(ler)in ortaya konulması, değerlendirme yöntemi ne olursa olsun, büyük önem kazanmaktadır. Diğer bir deyişle, heyelan duyarlılığının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, heyelan envanteri ile dikkate alınan hazırlayıcı parametreler ve bunların güvenilirliğinden doğrudan etkilenmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanına ilişkin özellikler. a) SYM, b) Eğim, c) Arazi kullanımı, d) Drenaj ağı, e) Litoloji, f) Bakı, g) Yamaç eğriselliği.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde çok sayıda ve farklı kökene sahip parametreler kullanılmaktadır. Aleotti ve Chowdhury [8] tarafından jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametreler olarak üç grupta sınıflandırılan bu parametrelerin analizine yönelik birçok çalışma mevcuttur (örn.: [9] ve [10]). Bu çalışmalarda vurgulanan en önemli hususlardan birisi, araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir parametrenin (örn.: yamaç eğimi gibi), heyelan oluşumunda ne derece etkin olduğunun kararının verilmeden, analizlere sokulmaması gerektiğidir. Bu kararın verilmesine yönelik bazı istatistiksel yöntemler (tutarlılık indeksleri, benzerlik ilişki modelleri gibi) bulunuyor olsa da, saha çalışmaları esnasında, araştırmacıların yerinde yapacağı gözlemlerin, daha önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada irdelenen akarsulara uzaklık – bazı çalışmalarda drenaja yakınlık veya drenaja uzaklık adı altında da değerlendirilmektedir- parametresinin, literatürde farklı kullanımlarına rastlanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanım, çalışılan alan veya havzadaki drenaj ağını oluşturan akarsulara belirli uzaklıklarda bir tamponlama (buffer) zonu tanımlanarak, heyelan lokasyonları ile ilişkisinin incelenmesi şeklindedir (örn.: [11]-[21]). Bununla birlikte, bu parametrenin ve diğer çizgisel unsurlara uzaklıkla ilgili parametrelerin (örn.: yapısal unsurlara uzaklık, yollara yakınlık gibi) dikkatli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Zira, bu parametrelerle heyelan oluşumu arasında bir ilişki var ise, ilgili parametrelerin kullanılması ve/veya analizlerde dikkate alınması daha mantıklı sonuçlar üretecektir. Örneğin araştırmacılar, drenaj ağını oluşturan akarsulara 50m, 100m, 250m, 500m gibi tampon zonlar oluşturularak, bu zonlar içindeki heyelan alanı veya sayısı ile ilişkiler kurmakta ve analizlere sokmaktadırlar. Teorik olarak, drenaj ağını oluşturan akarsuların yamaç topuğunu aşındırması veya malzemeyi doygun hale getirmesi olası olmakla birlikte, bu etkinin ne kadar uzaklıkta ve hangi derecede etkin olduğu, tartışmaya açık bir konudur. Örneğin, yapılan zonlama sonucunda, dikkate alınan en uzaktaki zonda heyelan duyarlılığının en yüksek olduğu çalışmalara, literatürde rastlanabilmektedir. Bu duruma farklı bir yaklaşım getiren Ercanoğlu [22], tamponlama uzaklığının belirlenmesinde ana akarsu hattı ve diğer derecedeki kollar ile ilişkili olan heyelanların dikkate alınmasını önermiştir. Söz konusu çalışmada (Şekil 3), heyelanlar ile ana akarsu hattı veya diğer kollara olan uzaklıkların belirlenip, ilgili drenaj ağı elemanları için bir ortalama değer kullanılması önerilmiştir.



$$\text{Ana akarsu hattı için tampon bölge uzunluğu} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n_1 = x_{ort}$$

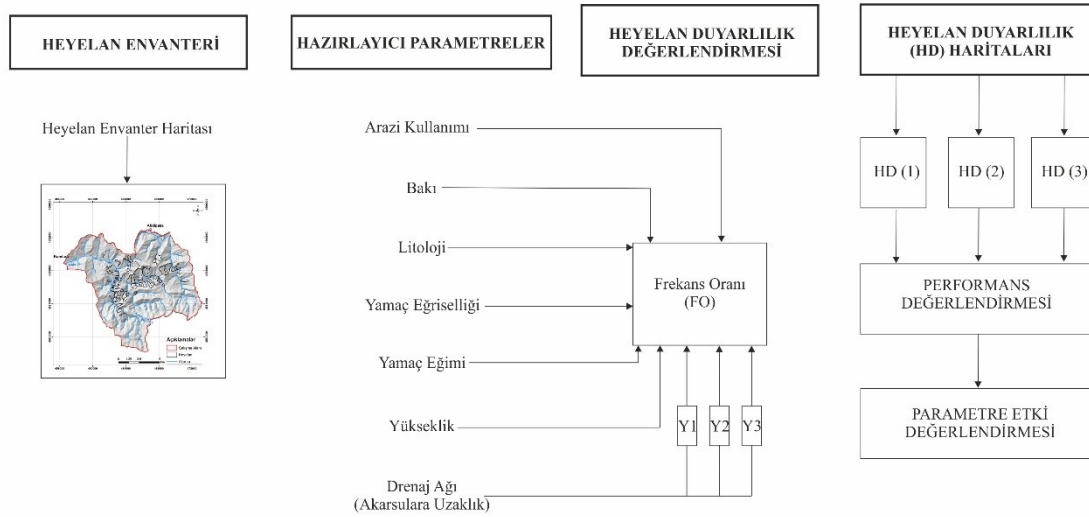
$$\text{2. derece kollar için tampon bölge uzunluğu} = (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) / n_2 = y_{ort}$$

$$\text{3. derece ve üstü kollar için tampon bölge uzunluğu} = (z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_n) / n_3 = z_{ort}$$

Şekil 3. Ercanoğlu (2003)'ün [22] önerdiği yöntem.

Bu çalışmada ise, akarsulara uzaklık parametresinin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşımda, çalışma alanındaki ana akarsu kolları için seçilecek uzaklık değerlerinin, akarsulardan uzaklaştıkça, heyelan etkisinin doğrusal olmayan bir fonksiyonla tanımlanması ile aşılabileceği düşünülmüştür. Böylece, hem tampon bölge uzaklık değeri öznel olarak seçilmemekte hem de drenaj yoğunluğu parametresi ile desteklenerek, söz konusu parametrenin heyelan oluşumundaki etkisinin daha gerçekçi bir şekilde yansıtılması sağlanmış olacaktır. Burada dikkate alınan ve doğrusal olmayan bir fonksiyon ile yapılacak bir değerlendirmede, akarsulardan uzaklaştıkça bu parametrenin heyelan oluşumundaki etkisinin azalacağı, aynı zamanda drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda etkisinin daha da fazla olacağı ilkelerinden yola çıkılarak bir değerlendirme yapılmıştır.

Mevcut ve önerilen yaklaşımların heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin ortaya konulmasına yönelik olarak, bu çalışmada üç yöntem dikkate alınmıştır. Y1 olarak adlandırılan yöntem, genelde araştırmacıların akarsu hatlarından öznel olarak seçtikleri belirli uzaklıkları dikkate aldıkları tampon zonların oluşturulduğu yöntem olup, Y2 olarak adlandırılan yöntem ise Ercanoğlu [22]'nin önerdiği yaklaşımdır. Y3 yöntemi ise, bu çalışmada önerilen yaklaşıma karşılık gelmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma yönteminin iş-akış şeması.

Çalışma alanındaki heyelan duyarlılığının ve akarsulara uzaklık parametresinin sonuçlara etkisinin değerlendirilmesinde toplam 7 parametre ve FO (Frekans Oranı) yöntemi [23] dikkate alınmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirmesinde, hazırlayıcı parametreler olarak (bkz. Şekil 2) CBS ortamında üretilmiş topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, arazi kullanımı, drenaj ağı, litoloji, bakı ve yamaç eğriselliği parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelerden drenaj ağı özellikleri Y1, Y2 ve Y3 yöntemleriyle ayrı ayrı üretilerek heyelan duyarlılık analizlerinde dikkate alınmış, sonuç duyarlılık haritalarındaki değişimler ve parametrik etkileri ortaya konulmuştur. FO yöntemi, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan niceliksel yöntemlerden biri olarak bilinmektedir [9]. Bu yöntem, temelde bir oran değerine dayanmakta olup, aşağıdaki eşitlikle [23] ifade edilmektedir:

$$FO = \frac{Npix1/Npix2}{\Sigma Npix3/\Sigma Npix4} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; FO, frekans oranı değerine, her bir parametre ve alt grupları için $Npix1$, söz konusu alt sınıf için heyelanlı piksel sayısına; $Npix2$, aynı sınıfın tüm alandaki dağılımının piksel sayısına; $Npix3$, heyelan içeren toplam piksel sayısına ve $Npix4$ ise, çalışma alanının toplam piksel sayısına karşılık gelmektedir. Bu yöntemde, hesaplanan FO değeri, heyelanın meydana geldiği alanın toplam alana oranlanarak, değer 1'den büyük olması heyelan yüzdesinin alana göre daha yüksek olduğu ve daha yüksek bir ilişkiye işaret ettiğini, 1'den küçük değerler ise daha düşük bir ilişkinin olduğu anlamına gelmektedir.

Bu aşamada, FO değerlerinin hesaplanabilmesi ve sınaama süreçlerinin (parametrik etki ve duyarlılık performansları) gerçekleştirilebilmesi için, çalışma alanında dikkate alınan hazırlayıcı parametrelerin gerek heyelanlı lokasyonlarda, gerekse tüm çalışma alanındaki dağılımları CBS ortamında ortaya konulmuştur. Daha sonra, söz konusu parametreler ve alt grupları için FO değerleri hesaplanmış, bu değerler [0, 1] aralığında normalize edilerek, Normalleştirilmiş Frekans Oranı (NFO) değerleri elde edilmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur. Çalışma alanı için toplam hücre sayısı 342762 olup, heyelanlı hücre sayısı ise 29488 olarak belirlenmiştir. Tablo 1'den de görüleceği üzere, bu aşamada drenaj özellikleri ile ilgili her hangi bir hesaplama yapılmamış olup, yukarıda değinilen 3 farklı yöntemin uygulanmasından sonra, sonuç duyarlılık haritalarındaki değişimlerin ortaya konulması yönünde bir yol izlenmiştir.

Bir sonraki aşamada, drenaj özellikleri ile ilgili Y1, Y2 ve Y3 yöntemlerinden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, yine FO ve NFO değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Y1 yöntemi olarak anılan ve literatürde sıklıkla kullanılan yöntemde, drenaj ağını oluşturan akarsulardan itibaren belirli uzaklıklar dikkate alınarak, bu uzaklıklar içindeki heyelan sayısı veya heyelanlı piksel sayıları ile ilişkiler dikkate alınmaktadır. Literatürde, bu uzaklıkların ne olacağı konusunda araştırmacılar arasında bir fikir birliği ve/veya standart olmamakla birlikte, 50m, 100m, 250m, 500m gibi uzaklıklar öznal olarak kullanıcılar tarafından seçilmektedir [24]-[27]. Bununla birlikte, akarsuların heyelan oluşumundaki etkisinin hangi uzaklıklara kadar olabileceği konusu da tartışmaya açık bir konudur. Bu çalışmada da, akarsulara uzaklık parametresinin Y1 yöntemiyle değerlendirilmesinde 100m, 250m, 500m, 750m, 1000m ve 1000m'den daha yüksek uzaklıklar olmak üzere gruplandırmalar öznal olarak seçilmiş ve CBS ortamında heyelanlı lokasyonlar ile bu zonlardaki ilişkisi incelenmiştir. Diğer parametreler için hesaplanan FO ve NFO değerlerinin belirlenmesi için, sözü edilen 6 farklı uzaklık sınıfı için hesaplamalar yapılmış ve Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de sunulan ve heyelan duyarlılığının göreceli olarak ifade edildiği FO veya NFO değerleri dikkate alındığında, çalışma alanında 1000m'den daha yüksek uzaklıklarda bu parametrenin heyelan duyarlılığını artırıcı bir etkisinin olmadığı belirlenmekle birlikte, teorik olarak akarsulara yakın olan uzaklık değerleri için, hesaplanan FO değerlerinin daha yüksek olması beklenmeliydi. Ancak, hesaplanan FO değerleri dikkate alındığında, heyelan oluşumu açısından bu parametrik etkinin 250-500 m sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu durum elbette heyelan oluşumunda diğer parametrelerle de etkileşimin bir göstergesi olarak değerlendirilebilmekle birlikte yukarıda yapılan yorumun sadece 'akarsulara uzaklık' parametresi için olduğu da unutulmamalıdır.

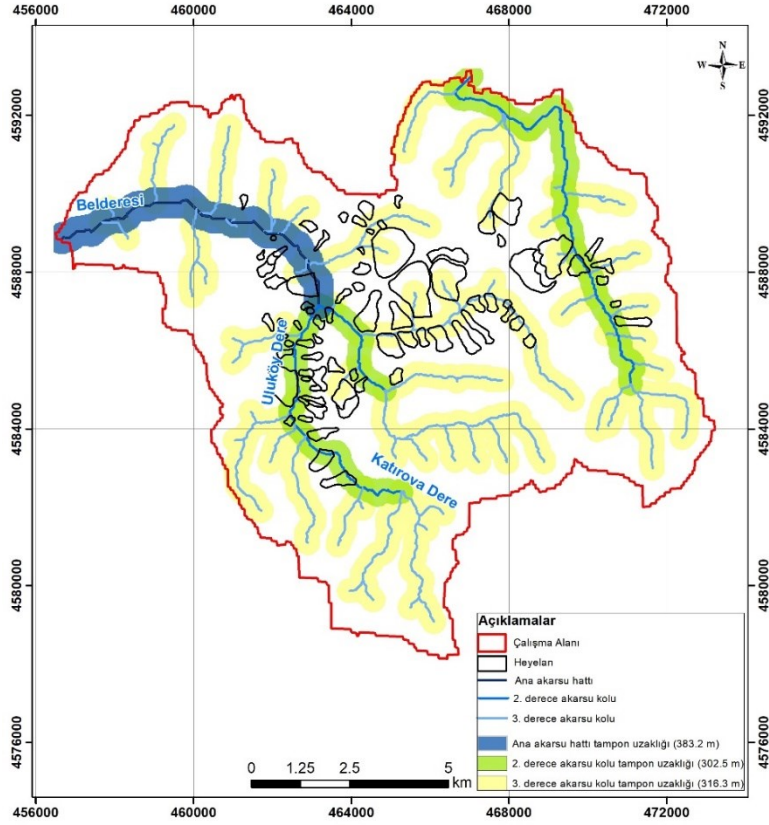
Tablo 1. Dikkate alınan parametreler ve alt grupları için hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Topoğrafik Yükseklik (m)</i>				
160-475	8403	95222	1.026	0.651
475-790	20460	150925	1.576	1.000
790-1105	625	47557	0.153	0.097
1105-1420	0	38906	0.000	0.000
1420<	0	10152	0.000	0.000
<i>Yamaç Eğimi (°)</i>				
0.0-12.5	2859	48716	0.682	0.595
12.5-25.0	18771	190428	1.146	1.000
25.0-37.5	7273	96748	0.874	0.763
37.5-50.0	585	6805	0.999	0.872
50.0<	0	65	0.000	0.000
<i>Arazi Kullanımı</i>				
Doğal bitki örtüsü	9202	71868	1.488	0.560
Geniş orman	2427	54257	0.520	0.196
İğne yapraklı orman	0	2344	0.000	0.000
Karışık orman	6428	132543	0.564	0.212
Bitki değişim alanı	459	5455	0.978	0.368
Su yapıları	191	5242	0.424	0.159
Kırsal yapılar	0	190	0.000	0.000
Sulanmayan ekili alan	2121	11356	2.171	0.817
Sulanmayan tarım alanı	5261	23005	2.658	1.000
Sulanan tarım alanı	3399	36502	1.082	0.407
<i>Litoloji</i>				
Ku	28241	252226	1.301	1.000
Qal	0	8401	0.000	0.000
Kus	606	7901	0.892	0.685
Kua	641	74234	0.100	0.077
<i>Baki</i>				
K	3218	54233	0.690	0.531
KD	3875	45634	0.987	0.760
D	3179	33297	1.110	0.855
GD	3107	29764	1.213	0.935
G	3501	32845	1.239	0.954
GB	3932	35201	1.298	1.000
B	4146	50261	0.959	0.738
KB	4530	57634	0.914	0.704
Düz	0	3893	0.000	0.000
<i>Yamaç Eğriselliği</i>				
<-6.3	2	24	0.969	0.854
-6.3 - -0.35	10249	105048	1.134	1.000
-0.35 - 5.6	19237	237667	0.941	0.830
5.6 – 11.55	0	19	0.000	0.000
11.55<	0	4	0.000	0.000

Tablo 2. Y1 yöntemiyle akarsulara uzaklık parametresine ilişkin hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Akarsulara uzaklık (m) (Y1 Yöntemi)</i>				
0-100	4308	60024	0.834	0.713
100-250	7195	81454	1.027	0.878
250-500	11471	113990	1.170	1.000
500-750	5886	68590	0.997	0.853
750-1000	628	17794	0.410	0.351
1000<	0	910	0.000	0.000

Ercanoğlu [22] tarafından önerilen Y2 yönteminde ise, ana akarsu hattı, 2. derece kollar ile 3 ve daha yüksek derecedeki kollar olmak üzere drenaj özellikleri dikkate alınarak heyelanlarla ilişkilendirilmektedir (bkz. Şekil 3). Ana akarsu hattı ve kollarına ilişkin derecelendirme yapılırken, Strahler [28] tarafından önerildiği şekliyle, bir drenaj ağındaki elemanlara ve bağlantılarına, CBS platformunda sayısal bir sıra atanmaktadır. Bu sıralama, akarsu türlerini, kol sayılarına göre tanımlamak ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemde, çalışma alanı için üretilen ana akarsu hattı ve diğer kollar belirlendikten sonra (Şekil 5), heyelanların en yakın drenaj ağı elemanına olan uzaklıklarının aritmetik ortalamaları alınarak bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu şekilde, çalışma alanındaki ana akarsu hattı, 2. derece, 3. derece ve üstündeki kollar için tampon uzaklıkları, sırasıyla 383.2m, 302.5m ve 316.3 m olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu uzaklıklar içine düşen heyelanlı pikseller ve alansal yayımlar dikkate alınarak, FO yöntemi bu parametre için uygulanmıştır. Bu şekilde izlenen yaklaşımla elde edilen sonuçlar ise, Tablo 3’de sunulmuştur. Tablo 3’den görüleceği üzere, heyelan oluşumunda akarsulara uzaklık parametresinin Y2 yöntemiyle belirlenmesinde en etkin olan drenaj ağı elemanı, 2. derece kollar olarak ortaya çıkmaktadır. Tablo 2’de dikkat çekici bir başka unsur da, “Diğer” olarak adlandırılmış parametrik alt gruba ilişkin ortaya çıkan sonuçtur. Bu grup için, belirlenmiş olan üç farklı uzaklık zonu dışında da, önemli oranda heyelan oluşumlarının var olduğu, dolayısıyla, sözü edilen bu alanlardaki heyelanların drenaj ağı veya elemanlarıyla ilişkili olarak gelişmediği şeklinde bir yorumlama yapılabilir.



Şekil 5. Y2 yöntemi için önerilen drenaj ağı elemanları ve tamponlama zonları.

Tablo 3. Y2 yöntemiyle akarsulara uzaklık parametresine ilişkin hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Akarsulara uzaklık (Y2 Yöntemi)</i>				
Ana kol	893	17259	0.601	0.422
2. derece kol	4071	33223	1.424	1.000
3. derece ve üstündeki kollar	9658	127461	0.881	0.618
Diğer	14866	164819	1.048	0.736

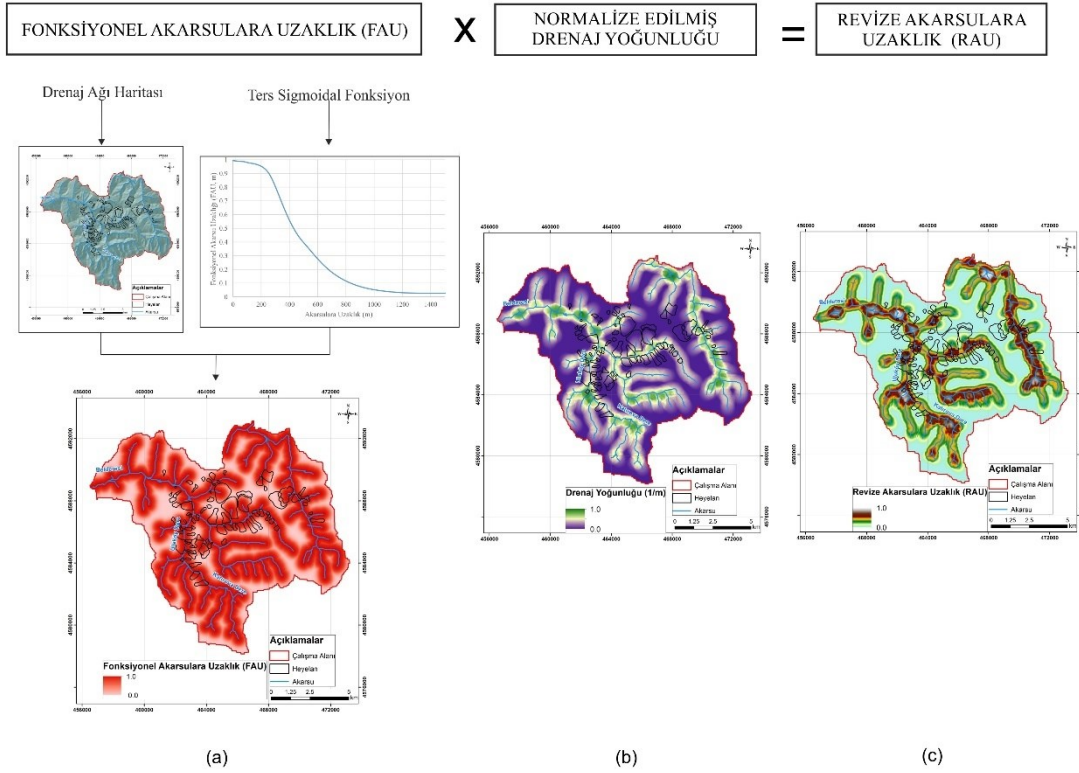
Y3 olarak adlandırılan ve bu çalışmada önerilen yöntemde ise, iki temel ilke dikkate alınmıştır. Bunlardan ilki, heyelan oluşumu ile akarsulara olan uzaklığın doğrusal olmayan bir fonksiyonla ifade edilmesi, diğeri de heyelan oluşumlarıyla drenaj yoğunluğu arasında önemli bir ilişkinin olmasıdır. Buradaki temel gerekçelerden biri, bir heyelan lokasyonunun hemen yakınında bulunan bir drenaj ağı elemanı ile etkileşimi son derece mantıklı görünürken, hangi uzaklıkta bu etkinin sonlanacağı konusundaki belirsizliktir. Teorik olarak, özellikle uzaklık değeri arttıkça bu etkinin azalması beklenirken, aslında söz konusu drenaj ağı elemanı ile ilgili olmayan ve yüzlerce metre uzakta başka heyelan(lar)ın meydana gelmiş olması, bu parametrenin heyelan oluşumları ile ilişkilendirilmesinde yanlış ve gerçekçi olmayan sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, özellikle uzaklığa ilişkin bir etkinin sağlıklı bir şekilde ortaya konulabilmesi için, doğrusal olmayan ters sigmoidal bir fonksiyondan (Şekil 6), yararlanılmasının faydalı olacağı düşünülmüştür. Ayrıca, akarsulara uzaklık parametresindeki değerler birkaç metreden, kilometreler mertebesine (çalışma alanının büyüklüğü de dikkate

alındığında) erişebilebileceği için, bu fonksiyon ile akarsulara uzaklık değerlerinin doğrusal olmayan bir şekilde etkiyeceği haliyle modellenmiştir. Önerilen yaklaşımdaki diğer bir gerekçe ise, drenaj ağını oluşturan elemanların yoğunluğunun (drenaj yoğunluğunun) da dikkate alınarak, sadece uzaklığın değil, bu parametrenin de etkisinin heyelanlarla ilişkilendirilmesine dayanmaktadır. Zira, drenaj yoğunluğu heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde doğrudan bir girdi parametresi olarak sıklıkla dikkate alınmakla birlikte [9], bu çalışmada önerilen yaklaşımda dikkate alınmasındaki temel neden, bu parametrenin, bir havzanın fizyografik, hidrolojik ve jeolojik özellikleri ile doğrudan ilişkili olmasından ve bu özellikleri konumsal olarak yansıtabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır [29]. Ayrıca, drenaj yoğunluğunun heyelan oluşumunda, yüzey akışı, geçirimsizlik, infiltrasyon gibi özelliklerle ilişkili olması açısından etkin bir parametre olduğu da bilinmektedir ([30] ve [31]). Sözü edilen bu iki temel girdi parametresiyle, Y3 yöntemi çalışma alanının drenaj ağı elemanları ve özellikleri dikkate alınarak uygulanmıştır. Bunun için öncelikle, çalışma alanının drenaj ağı haritasından itibaren (Şekil 6), drenaj ağını oluşturan akarsulara uzaklık haritası, aşağıda verilen ters sigmoidal fonksiyon eşitliği yardımıyla CBS ortamında elde edilmiştir:

$$f = \left(\frac{1-c}{1+e^{a\left(\frac{2r}{D}-1\right)}} \right) + c \quad (2)$$

Eşitlikteki f , sigmoidal fonksiyonu; r , akarsulara uzaklık değerlerini; e , Euler sayısını, a , c ve D değerleri de, fonksiyona şeklini veren sabit katsayılarıdır. Diğer parametrelere ait NFO değerleri $[0, 1]$ aralığında ifade edildiği ve Y3 yöntemine ilişkin hesaplamalarda aynı değer aralıklarında heyelan duyarlılık analizlerine sokulabilmesi için, Fonksiyonel Akarsu Uzaklığı (FAU) olarak adlandırılan tanımlama, akarsulara uzaklık parametresi için yapılmıştır (Şekil 6a). Bu aşamadan sonra, çalışma alanının yine drenaj ağı elemanları dikkate alınarak, çizgisel yoğunluk (line density) modülü kullanılarak, yine $[0, 1]$ aralığında normalize edilmiş ve drenaj yoğunluğu haritası oluşturulmuştur (Şekil 6b). Bir sonraki aşamada ise, drenaj ağı elemanlarına ilişkin bu iki harita aritmetiksel olarak çarpılarak, Y3 yöntemiyle elde edilen ve RAU (Revize Akarsulara Uzaklık) olarak adlandırılan parametre elde edilmiştir (Şekil 6c).

Heyelan duyarlılık analizleri için, Y1 ve Y2 yöntemlerine benzer şekilde, RAU parametresi dikkate alınarak hesaplanan FO değerleri de Tablo 4'de sunulmaktadır. Tablo 4 incelendiğinde ve yukarıda değinilen teorik altyapı ile karşılaştırıldığında, akarsulara yakın olan ve drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda FO değerlerinin, dolayısıyla NFO değerlerinin de, yüksek değerler sunmasının, akarsulara uzaklık parametresinin bu çalışmada önerildiği haliyle heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılabilir olduğu şeklinde bir yorumlama yapılabilmektedir. Bu yaklaşımın heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde nasıl, ne yönde ve ne kadar etkisinin olduğuna ise, bir sonraki bölümde ayrıntılarıyla değinilmiştir.



Şekil 6. Y3 akış şeması, a) Çalışmada önerilen fonksiyonel akarsulara uzaklık parametresi (FAU), b) Normalize edilmiş drenaj yoğunluğu, c) Çalışmada önerilen revize akarsulara uzaklık parametresi (RAU).

Tablo 4. Y3 yöntemiyle akarsulara uzaklık parametresine ilişkin hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Revize Akarsulara Uzaklık (RAU) (Y3 Yöntemi)</i>				
0.0-0.2	1189	55890	0.247	0.167
0.2-0.4	3257	51613	0.734	0.494
0.4-0.6	4917	61124	0.935	0.630
0.6-0.8	5064	56123	1.049	0.707
0.8-1.0	15061	118012	1.483	1.000

4. Sonuçlar ve tartışma

Çalışmanın son aşamasında, FO yöntemi kullanılarak Tablo 1’de hesaplanmış olan NFO değerleri ile Y1, Y2 ve Y3 yöntemlerine ilişkin hesaplanan akarsulara uzaklık parametrik değerleri, CBS ortamında bir araya getirilmiştir. Tüm parametreler için, parametrik alt gruplara ilişkin hesaplanan ve Tablo 2 ile Tablo 4 arasında sunulmuş olan NFO değerleri atanarak, heyelan duyarlılığının ifade edildiği parametre haritaları elde edilmiştir. Y1, Y2 ve Y3 yöntemleriyle elde edilen NFO değerleri, Tablo 1’de sunulan 6 adet hazırlayıcı parametre sabit tutularak, CBS platformunda Eş. 3’de verilen eşitlik kullanılarak ayrı ayrı dikkate alınmıştır:

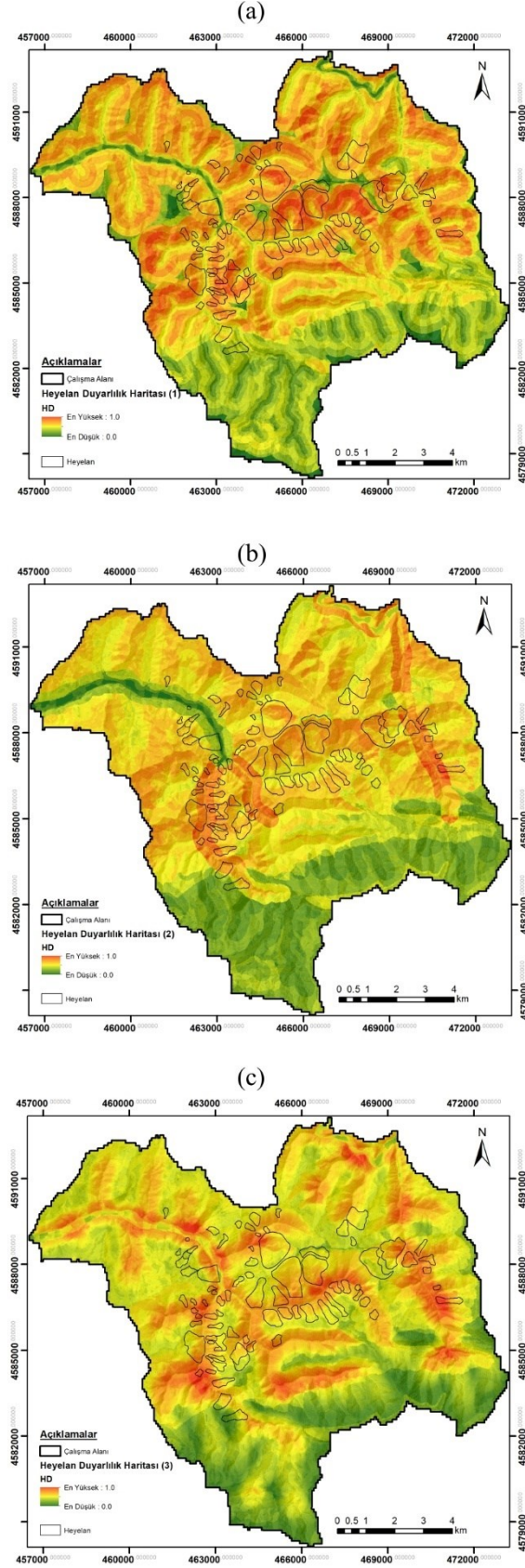
$$HD = NFO_1 + NFO_2 + NFO_3 + \dots + NFO_n \quad (3)$$

Bu eşitlikte HD, heyelan duyarlılık değerini; NFO ise her bir parametre ve alt grubu için hesaplanmış normalize frekans oranı değerine karşılık gelmektedir. Bu şekilde izlenen bir yaklaşımla, Tablo 1'deki ilk 6 parametre sabit tutularak, akarsulara uzaklık parametresi için dikkate alınan üç farklı yöntemle elde edilen değerler ayrı ayrı analizlere tabi tutulduğu için, üç farklı heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 7). Buradaki temel amaç, dikkate alınan üç farklı akarsulara uzaklık parametresine ilişkin değerlendirme yönteminin, sonuç heyelan duyarlılık haritalarındaki değişimlerinin ve performanslarının sınanmasına yöneliktir.

Performans değerlendirmeleri için ilk aşamada, her bir üretilen heyelan duyarlılık haritasının, literatürde [9] sıklıkla dikkate alınan ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrileri altında kalan AUC (Area Under Curve) değerleri hesaplanmıştır. ROC eğrisinin altında kalan alanın hesaplanmasında, doğrulama ve çapraz doğrulama veri setleri kullanılmaktadır. ROC eğrisinin oluşturulmasında, X ekseninde FPR (Yanlış Pozitif Oranı) ve Y ekseninde ise TPR (Gerçek Pozitif Oranı) ile hesaplama yapılabildiği gibi, heyelan duyarlılık değeri ve kümülatif alansal özellikleri de kullanılabilir. Bu çalışmada, Eş. 4'de verilen AUC formülü [32] ile eğri altında kalan alanın hesaplanmasında, elde edilen heyelan duyarlılık değerlerinin çalışma alanındaki yüzdesine (x eksen) karşılık, heyelan oluşumlarının kümülatif yüzdesi (y eksen) dikkate alınmıştır:

$$AUC = \sum_{i=0}^n (x_i - x_{i-1})y_i - \left[\frac{(x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{2} \right] \quad (4)$$

Bu eşitlikte x_i alansal heyelan duyarlılık yüzdesine karşılık gelirken, y_i ise heyelanlı alan değerlerini ifade etmektedir. Bu eşitlik kullanılarak, sırasıyla HD1 haritası için $AUC_{HD1}=0.706$, HD2 haritası için $AUC_{HD2}=0.724$ ve HD3 haritası için de $AUC_{HD3}=0.811$ değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere göre en yüksek performans, bu çalışmada önerilen Y3 yönteminin dikkate alındığı şekliyle uygulanan heyelan duyarlılık haritasından elde edilmiştir. AUC'nin alabileceği değerlere göre, 0.9-1.0 (mükemmel), 0.8-0.9 (iyi), 0.7-0.8 (orta), 0.6-0.7 (zayıf) ve 0.5-0.6 (başarısız) olarak sınıflandırılmaktadır [33]. Bu sınıflandırmaya göre de, tüm heyelan duyarlılık haritaları için tatminkar sonuçlar elde edildiği yorumu yapılabilir de, HD3 haritasının "iyi", HD1 ve HD2 haritalarının da "orta" düzeyde bir performans sergiledikleri ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda, bu çalışmada önerilen Y3 yönteminin, oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının performansında yaklaşık % 10'luk bir oranda iyileştirmeye yol açtığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Çalışma alanına ilişkin heyelan duyarlılık haritaları. a) Y1 ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası, b) Y2 ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası, c) Y3 ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Performans değerlendirmeleri için dikkate alınan bir başka yöntem de, RMSE (Root Mean Square Error) adı verilen boyutsuz istatistiksel indisin hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu değer, tahmin edilen parametre değeri ile gerçek parametre değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamının, örneklem büyüklüğüne bölümünün karekökü şeklinde ifade edilmektedir. RMSE değeri, Eş. 5’de verildiği şekliyle hesaplanabilmektedir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_p)^2}{N}} \quad (5)$$

Bu eşitlikte N, toplam örneklem sayısına; y_i , gerçek değere; y_p ise tahmin edilen değere karşılık gelmektedir. Bu eşitliğe göre, RMSE değerinin 0’a yakın olması, göreceli olarak daha iyi bir performans ifade etmektedir. Üretilen heyelan duyarlılık haritaları için, heyelanlı olan (gerçek değer=1) ve heyelanlı olmayan (gerçek değer=0) alanlardan eşit sayıda ve rasgele olmak üzere, 1000, 5000 ve 10000 adet nokta seçilerek, bu noktadaki heyelan duyarlılık değerlerinin (tahmin edilen değer) değişimleri incelenmiştir (Tablo 5). Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının RMSE performans değerleri incelendiğinde ise, her üç örneklem sayısı için en yüksek performansın, bu çalışmada önerilen Y3 yönteminin dikkate alındığı HD3 heyelan duyarlılık haritasından elde edildiği ortaya çıkmıştır. Diğer heyelan duyarlılık haritaları olan HD1 ve HD2 için ise, AUC değerlerinde olduğu gibi benzer RMSE değerleri ve performans özellikleri elde edilmiştir.

Tablo 5. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının RMSE performans değerlendirmesi.

Nokta Sayısı*	RMSE		
	HD1	HD2	HD3
1000	0.544	0.504	0.478
5000	0.537	0.498	0.483
10000	0.538	0.501	0.480

*: Nokta sayıları, eşit oranda 0 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, bu çalışmada önerilen yöntemin, akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına ilişkin hem performansı arttırıcı yönde bir etkisinin olduğu hem de gerek kategorik gerekse sürekli veri gruplarıyla uyumlu bir şekilde kullanılabilir olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle AUC değerlerindeki yaklaşık % 10’luk bir performans iyileştirmesi, bir adet parametrenin sonuç heyelan duyarlılık performansının yükseltmesine ilişkin olarak, dikkat çekici bir durumdur. Zira, rakamsal olarak % 10 değeri küçük bir değer olarak görülebilecek olmakla birlikte, sadece bir parametrenin etkisinin ve/veya daha temsil edici kullanılmasının bile, son derece önemli değişimlere yol açabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada önerildiği şekliyle, önerilen yöntemin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sadece akarsulara uzaklık parametresi için değil, diğer “uzaklık” içerikli (örn.: yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık gibi) tüm çizgisel unsurlara ilişkin parametreler için de uygulanabilir olduğu söylenebilir. Ancak, bu tür kullanımların, başka sahalarda uygulanması ve özellikle heyelan oluşumlarıyla ilgili varsa bu tür parametrelerin dikkate alınması gereğinin de altının çizilmesi gerekmektedir.

Y1 yöntemi, literatürde her ne kadar en sıklıkla kullanılan yöntem olsa da performans değerlendirmeleri dikkate alındığında, bu çalışmada en düşük performansı sunan yöntem

olarak ortaya çıkmıştır. Y1 yönteminin uygulanmasında, akarsulara uzaklık değerlerinin veya tampon zonların hangi büyüklükte olacağı konusu tartışmaya açık ve öznel bir konudur. Bu nedenle, bu uzaklıkların farklı değerlerinin dikkate alınmasının, sonuç duyarlılık değişimlerine etkisi, farklı bir çalışma konusudur. Diğer bir deyişle, Y1 yönteminde dikkate alınan uzaklık değerleri, sadece bu değerler gözetilerek değerlendirilmelidir. Y2 yönteminde ise, ana akarsu hattı boyunca az sayıda heyelan gelişmiş olmasının, performansı düşürücü bir etkisinin olduğu yönünde bir yorumlama yapılmıştır. Bununla birlikte, 2. derece drenaj elemanları boyunca heyelan sayısının daha fazla olması nedeniyle, heyelan duyarlılığının bu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmış, bu durum da söz konusu Y2 yönteminin bir sınırlaması olarak yorumlanmıştır. Sonuç olarak, Y3 yönteminin farklı alanlarda da uygulanarak, sonuç heyelan duyarlılığına etkisinin araştırılması gerekmektedir. Önerilen yöntem, bu çalışmadaki performans değerlendirmeleri açısından uygulanabilir ve nesnel olarak değerlendirilse de farklı çalışmalarda benzer performans iyileştirmelerine yol açması koşuluyla kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Varnes, D.J., Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33, (1978).
- [2] CORINE (2006) CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (14.09.2022).
- [3] Yergök, A. F., Akman, Ü., İplikçi, E., Karabalık, N., Keskin N, Mengi, H., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H., Çetinkaya, A., Batı Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi, 250, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (1987).
- [4] Cruden, D.M., Varnes, D.J., Landslide Types and Processes, Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247, 36-75, (1996).
- [5] Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A., Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy, **Environmental Management**. 25, 3, 247–363, (2000).
- [6] Van Westen, C. J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. **Engineering Geology** 102, 112–131, (2008).
- [7] Varnes, D.J., **Landslide hazard zonation-a review of principles and practice**, 63, UNESCO Press, Paris, (1984).
- [8] Aleotti, P. and Chowdhury, R.N., Landslide hazard assessments: summary review and new perspectives, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 58, 21-44, (1999).
- [9] Lima, P., Steger, S., Glade, T., Murillo-Garcia, F.G., Literature review and bibliometric analysis on data-driven assessment of landslide susceptibility, **Journal of Mountain Science** 19, 6, 1670-1698, (2022).
- [10] Hasekiogullari, G. D., Ercanoglu, M., A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). **Natural Hazards** 63,1157–1179, (2012).
- [11] Komac, M., A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia, **Geomorphology**, 74, 17-28, (2006).

- [12] Yalçın, A., GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, **Catena**, 72, 1-12, (2008).
- [13] Ercanoğlu, M., Temiz, A., F., Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey), **Environmental Earth Science**, 64, 949-964, (2011).
- [14] Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O. B., Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models, **Catena**, 96, 28-40, (2012).
- [15] Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, **Natural Hazards**, 63, 965-996, (2012).
- [16] Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nisancı, R., Bayrak, T., Erduran, M., Sancar, C., Ekercin, S., Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey), **Environmental Earth Science**, 66, 2063-2073, (2012).
- [17] Demir, G., Aytekin, M., Akgün, A., İkizler, S. B., Tatar, O., A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood frequency ratio and analytic hierarchy process methods, **Natural Hazards**, 65, 1481-1506, (2013).
- [18] Feizizadeh, B., Blaschke, T., GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran, **Natural Hazards**, 65, 2105-2128, (2013).
- [19] Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, **Environmental Geology**, 54, 1127-1143, (2008).
- [20] Dağ, S., Bulut F., Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, 36(1), 35-62, (2012).
- [21] Aydoğan, E., Dağ, S., İstatistiksel Yöntemlerle Yukarı Karasu Havzası'nın Kuzeydoğu Bölümünün (Erzurum) Heyelan Duyarlılık Analizi, **Turkish Journal of Remote Sensing and GIS**, 4(1), 64-82, (2023).
- [22] Ercanoğlu, M., Bulanık mantık ve istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi: Batı Karadeniz bölgesi (Kumluca güneyi-Yenice kuzeyi), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
- [23] Lee, S., Talib, J. A., Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, **Environmental Geology**, 47, 982-990, (2005)
- [24] Çevik, E., Topal, T., GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey), **Environmental Geology** 44, 949-962, (2003).
- [25] Yalçın, A., GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, **Catena**, 72, 1-12, (2008).
- [26] Nandi, A., Shakoor, A., A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, **Engineering Geology**, 110, 11-20, (2009).
- [27] Yılmaz, I., Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey), **Computers&Geoscience**, 35, 1125-1138, (2009).

- [28] Strahler, A. N., Quantitative analysis of watershed geomorphology, **Transactions of the American Geophysical Union** 38, 913–920, (1957).
- [29] Gregory, K. J., Walling, D. E., The variation of drainage density within a catchment, **Hydrological Sciences Journal**, 13, 2, 61-68, (2010).
- [30] Mandal, B., Mandal, S., Assessment of mountain slope instability in the Lish River basin of Eastern Darjeeling Himalaya using frequency ratio model (FRM), **Modeling Earth Systems and Environment**, 2, 121, (2016).
- [31] Sonker, I., Tripathi, J. N., Singh, A. K., Landslide susceptibility zonation using geospatial technique and analytical hierarchy process in Sikkim Himalaya, **Quaternary Science Advances**, 4, 1, 100039, (2021).
- [32] Pimiento, E., Shallow landslide susceptibility: modelling and validation, MSc Thesis, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Lund, (2010).
- [33] DeLong, E. R., DeLong, D. M., Clarke-Pearson, D.L., Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach **Biometrics**, 44,837-845, (1988).