



Heyelana neden olan parametreler: Yükseklik örneği

Morphological parameters causing landslides: A case study of elevation

Seda ÇELLEK^{a*}

^aJeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Heyelan, Duyarlılık,
Yükseklik, Parametre.

ÖZ

Heyelan duyarlılık haritalarının geçmişi, bundan yaklaşık 50 yıl önceye dayanmaktadır. Daha sonra bu haritaları tehlike ve risk haritaları takip etmiştir. Hepsinin kaynağını envanter haritaları sağlamaktadır. Literatürde her alana özgü seçilmiş farklı parametreler olmakla beraber üretilmesi ve verinin kolay elde edilmesi nedeniyle tercih edilen parametrelerde mevcuttur. Bu çalışmada ayrıntılı literatür taraması yapılarak, yüksekliğin heyelan üzerindeki etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Kullanılan sınıf aralıkları ve yükseklik değerleri incelenerek, Türkiye'den seçilen paftalara uygulanmıştır. Sonuçlar analiz edilerek hangi yükseklik aralıklarında heyelanların meydana geldiği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada literatür verilerinden faydalanılarak yükseklik parametresinin etkisi sorgulanmaya çalışılmıştır. Literatür ile de kıyaslamak amacıyla seçilen paftaların yükseklik değerleri kıyaslanmaya çalışılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada literatür verileri araştırılarak istatistiksel veri elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise veriler sorgulanmıştır. Bu amaçla, 1967-2019 yılları arasında hazırlanan 1500'e yakın çalışma incelenmiştir. Literatüre göre, parametre üretilmesinin kolay olması ve morfolojik etken olmasından dolayı analizlerde kullanılmıştır.

Geliş Tarihi: 27.06.2019

Kabul Tarihi: 22.10.2019

Keywords:

Landslide, Susceptibility,
Morphology, Elevation,
Parameter.

ABSTRACT

The history of landslide susceptibility maps goes back about 50 years. Hazard and risk maps later followed these maps. Inventory maps provide the source of all these. There are different parameters selected specially for each field in the literature as well as parameters selected because they are easy to produce and obtain data. This study tried to research the effect of elevation on landslides by reviewing the literature in detail. The used class ranges and elevation values were reviewed and applied to map sections selected from Turkey. By analyzing the results, the goal was to determine at which elevation ranges landslides occurred. The study tried to investigate the effect of the parameter of elevation using data from the literature. It works to compare the elevation values for map sections selected to compare with the literature. The study comprises two stages. The first step tried to acquire statistical data by researching the data from the literature. The data were investigated in the second stage. For this purpose, close to 1,500 studies prepared between 1967 and 2019 were reviewed. According to the literature, the parameter of was used in analyses because it is easy to produce and is morphologically effective.

1. Giriş

“Heyelana neden olan en önemli anahtar parametrelerden bir tanesi de yüksekliktir” (Althuwaynee vd., 2016; Hong vd., 2017a, b; Chen vd., 2018, 2019). Yüksekliğin heyelan duyarlılığının bir göstergesi olduğuna dair güçlü kanıtlar vardır. Ayrıca, yükseklik, yamaçların en basit özelliğidir (Kornejady vd., 2017a, b). Bu nedenle, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında, parametre olarak sıkça tercih edilir. Ayrıca tehlike haritaları içinde tercih edilen bir parametredir. Heyelan oluşumunda yüksekliğin önemi birçok araştırmacı tarafından dünya çapında kabul görmüştür (Juang vd., 1992; Pachauri ve Pant 1992; Dai ve Lee, 2001, 2003; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002, 2004; Lee vd., 2002; Çevik ve Topal, 2003; Gomez ve Kavzoğlu, 2005; Gökçeoğlu vd., 2005; Mazman, 2005; Creighton, 2006; Duman vd., 2006; Lee ve Pradhan, 2007; Chen ve Wang, 2007; Dağ, 2007; Caniani vd., 2008; Ercanoğlu vd., 2008; Kamp vd., 2008; Yao vd., 2008; Özdemir, 2009; Akıncı vd., 2010; Balteanu vd., 2010; Bai vd., 2010; Park vd., 2010; Yılmaz, 2010; Oh ve Pradhan, 2011; Rozos vd., 2011; Sezer vd., 2011; Yalçın vd., 2011; Dağ ve Bulut, 2012; Kavzoğlu vd., 2012; Mashari vd., 2012; Pourghasemi vd., 2012a, b, c, d, e; Schicker ve Moon, 2012; Xu ve Xu XW, 2012; Yılmaz vd., 2012; Sabatakakis vd., 2013; Chen vd., 2013, 2015, 2016a,b, 2017, 2018, 2019; Devkota vd., 2013; Liu vd., 2013; Özdemir ve Altural, 2013; Özşahin ve Kaymaz, 2013; Akıncı vd., 2014; Avcı ve Günek, 2014; Chalkias vd., 2014; Conforti vd., 2014; Jaafari vd., 2014; Jebur vd., 2015; Kavzoğlu vd., 2014; Moradi ve Rezaei, 2014; Nourani vd., 2014; Sujatha vd., 2014; Tazik vd., 2014; Umar vd., 2014; Youssef vd., 2014a, b, c; Zhu vd., 2014; Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015; Chen vd., 2015; Dehnavi vd., 2015; Dragicevi vd., 2015; Goetz vd., 2015; Özşahin, 2015; Pradhan ve Kim, 2015; Youssef, 2015; Youssef vd., 2015; Aghdam vd., 2016; Avcı, 2016a, b, c; Balamurugan vd., 2016; Demir, 2016; Liu ve Wu, 2016; Myronidis vd., 2016; Wang vd., 2016; Wu ve Ke, 2016; Wu vd., 2016; Zhang vd., 2016a, b; Chen vd., 2017; Dou vd., 2017; Kornejady vd., 2017a, b; Pawluszek ve Borkowski, 2017; Raja vd., 2017; Wang vd., 2017). Zhang vd. (2017), yüksekliğin, genellikle heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılmasını, farklı yüksekliklerin farklı çevresel faktörlerle ilişkili olmasına bağlamıştır. Bazı araştırmacılar, belirli bir havza içindeki heyelan aktivitesinin belirli kotlarda

gerçekleştiğini bulmuşlardır (Dai vd., 2001; Çevik ve Topal, 2003; Yılmaz vd., 2012). Farklı yükseklik kotlarının heyelan duyarlılığına etkileri de farklı olmaktadır (Çellek, 2013). Jimenez-Peralvarez vd. (2009), çalışmalarında, yüksekliğin literatüre göre (Fernandez vd., 2008) en yaygın kullanılan belirleyici parametre olmadığını ve parametre etkisinin kendi çalışma alanları gibi farklı yükseklik değerlerine sahip dağlık alanlar için belirleyici olduğunu belirtmişlerdir. Yüksekliğin farklı aralıklarda heyelan duyarlılığına etki etmesi, heyelan aktivitesi ile yükselme arasındaki ilişkiyi belirsizleştirmektedir (Dai ve Lee, 2002; Kavzaoğlu ve Çölkesen, 2010; Kavzoğlu vd., 2012; Tazik vd., 2014). Zira herhangi bir bölgede meydana gelen heyelanların hangi yüksekliklerde yer aldığı saptanması, sadece ön fikir verebilecek nitelikte bir veri olarak kabul edilebilir (Özşahin, 2015).

2. Yükseklik (Göreceli Yükseklik-Topoğrafik Yükseklik)

Bu parametre ile çalışma alanındaki azami ve asgari yükseklikler belirlenir (Ramesh ve Anbazhagan, 2015). Yükseklik, bir noktanın deniz seviyesi veya lokal bir referans yerinden olan yükseltisi olarak tanımlanabilir. Duyarlılık haritalarında yükseklik, deniz seviyesinden olan yükseklik değerlerini temel alan “topoğrafik yükseklik” ya da çalışılan alandaki topoğrafya elemanlarının birbirlerine göre yükseklik farklarını temel alan “göreceli yükseklik” şeklinde değerlendirilmektedir. Göreceli yükseklik pek yaygın kullanılmakla beraber, bazı araştırmacılar tarafından dikkate alınmıştır (Ercanoğlu, 2003, Görüm, 2006). Araştırmacılar arasında genel eğilim topoğrafik yüksekliğin kullanılmasıdır (Dağ, 2007; Dağ ve Bulut 2012; Kavzoğlu vd., 2012; Çellek, 2013; Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015). Parametre, Hasekiogulları (2011) tarafından incelenen çalışmaların 51 tanesinde topoğrafik yükseklik olarak, 7 tanesinde göreceli yükseklik olarak, kullanılmıştır. Süzen ve Kaya (2011)’de incelediği çalışmalarda, araştırmacıların % 34,27’si tarafından yüksekliğin, girdi parametre olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Göreceli ve topoğrafik yüksekliğin bir arada kullanılması tekrarlanmaya yol açarak aynı parametrenin iki kere dikkate alınmasına neden olacaktır. Bu nedenle, topoğrafik ve göreceli yükseklik parametrelerinden sadece biri kullanılmaktadır ya da heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde ayrı ayrı kullanılarak analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır (Ercanoğlu, 2003;

Ayalew ve Yamagishi, 2005; Görüm, 2006; Yüksel, 2007)

Göreceli Yükseklik: Çalışılan alandaki topoğrafya elemanlarının birbirlerine göre yükseklik farklarını temel alan yüksekliktir ya da bir noktanın referans alınan bir diğer nokta ile olan yükseklik farkını tanımlar (Carrara vd., 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Anbalagan ve Singh, 1996; Nagarajan vd., 2000; Ercanoğlu, 2003; Görüm, 2006; Yüksel, 2007; Nefeslioğlu vd., 2008; Chauhan vd., 2010; Çellek, 2013; Raja vd., 2017). Diğer bir ifade ile göreceli yükseklik, bir bölgenin en düşük ve en yüksek noktaları arasındaki yükseklik aralığını ifade eder. Genel olarak, göreceli yükseklik farkını tanımlamanın üç yolu vardır. Farklılıklar taban kotunun tanımında yatmaktadır. İlkinde, tüm alanın en küçük mutlak kotu, taban kotu olarak kullanılır; ikincisinde, yükseklik eksi her bir alt havzadaki en küçük yükseklik uygulanır ve üçüncüsü bir evrişim işlemine dayanır (Zhang vd., 2012).

Topoğrafik Yükseklik: Deniz seviyesinden veya lokal bir referans yerinden itibaren olan yükseklik olarak tanımlanmaktadır (Moore vd., 1991; Ercanoğlu, 2003; Tangestani, 2003; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2004; Lan vd., 2004; Süzen ve Doyuran, 2004a; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Gomez ve Kavzoğlu, 2005; Görüm, 2006; Dağ, 2007; Yüksel, 2007; Caniani vd., 2008; Gattinoni, 2009; Hasekioğulları, 2011; Dağ ve Bulut 2012; Kavzoğlu vd., 2012; Çellek, 2013; Nourani vd., 2014; Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015).

3. Yüksekliğin Diğer Parametrelere ve Heyelana Etkisi

Yapılan araştırmalar değerlendirilecek olursa; yükseklik parametresi, duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok kullanılan bir parametre olmakla beraber, heyelanların meydana gelmesine neden olan birçok parametre (morfoloji, toprak tipi, tektonik, toprak kalınlığı, erozyon-ayırışma, arazi örtüsü, yağış vb.) üzerindeki etkisi nedeniyle, parametreyle heyelan (devrilme, kaya düşmeleri, kaya kaymaları, vb.) oluşumu arasındaki ilişki karmaşıktır. Sonuç olarak, yükseklik, diğer parametre varyanslarıyla beraber dolaylı etkisi olan ve tüm sistemi etkileyen bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Zolotraev, 1976; Dai ve Lee 2002; Dai ve Lee 2003; Yüksel, 2007; Rozos vd., 2008; Park vd., 2010; Yılmaz, 2010;

Hasekioğulları, 2011; Yalçın vd., 2011; Çellek, 2013; Pourghasemi, vd., 2013a, b; Moradi ve Rezaei, 2014; Nourani vd., 2014; Kouli vd., 2014; Umar vd., 2014; Youssef vd., 2015; Pradhan ve Kim, 2017). Gritzner vd. (2001), yüksekliğin, yükseklik ile doğrudan bağlantılı olan diğer değişkenler için bir kılavuz gibi değerlendirilebileceğini vurgulamışlardır. Jimenez-Peralvarez, vd., (2009), yükseklik, yağış ve sıcaklık gibi iklim koşullarında önemli değişikliklere neden olacak kadar geniş bir aralığa sahip olmakla beraber, ayrıca değişken bitki örtüsü birimlerini de temsil ettiğini belirtmişlerdir. Aniya, (1985) ise farklı yüksekliklerin farklı iklim ve hava koşullarına maruz kalmasının farklı bitki ve toprak türlerinin oluşmasına neden olmayacağını ifade etmiştir (Pourghasemi vd., 2014). Dai ve Lee (2001) ise çok yüksek kotlarda kayaların donma-çözünme etkisi ile ayrışırken, çok düşük kotlarında alın alüvyon birikimine meyilli olduklarını belirtmişlerdir (Pourghasemi vd., 2014).

Yerçekimi: Göreceli yükseklik, her birim için potansiyel yerçekimi enerjisini gösterir (Zhang vd., 2012). Yükseklik farkı, heyelanın potansiyel yerçekimi enerjisinin bir ölçüsüdür. Genel olarak, artan bir yükseklik farkı, kayma kuvvetindeki bir artışa bağlı olarak artan bir yenilme olasılığına karşılık gelir (Fernandez vd., 2003).

Biyolojik Etmenler: Literatür göre yüksekliğin, heyelanı tetiklemede, biyolojik etmenlerin, biyofiziksel parametrelerin ve doğal-yapay unsurların etkisi bulunmaktadır (Dai ve Lee, 2002; Kavzoğlu vd., 2012; Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015). Bu nedenle yükseklik faktörünün şev durağanlığına ve şev kırılmalarına yol açabilecek, etkileri olduğu ifade edilmektedir (Vivas, 1992; Dai ve Lee, 2002; Ayalew vd., 2005; Hasekioğulları, 2010; Kavzoğlu vd., 2012; Akıncı vd., 2015; Kavzoğlu vd., 2014).

Antropojenik Aktivite: Yüksekliğin antropojenik aktiviteyi etkilediği, onun da heyelanı tetiklediği iyi bilinmektedir. Çalışma alanlarında, yüksek rakımlı pek çok alan ıssızdır (insan faaliyetleri yoktur) yer buzul ve karla kaplıdır ve bu nedenle insan faaliyetlerinden çok az etkilenir, bu nedenle daha az toprak kayması ve düşük hassasiyet vardır. Tam tersi düşük rakımlarda yerleşim, ulaşım ve dolayısıyla insan aktivitesi fazladır (Vivas, 1992; Dai ve Lee, 2002; Ayalew vd., 2005; Hasekioğulları, 2011; Kavzoğlu vd., 2014; Kouli vd., 2014; Yang vd., 2015; Aghdam vd., 2016; Meng vd., 2016; Wang vd., 2017).

Erozyon-Ayrışma-Bozunma-Toprak: Yükseklik, heyelan oluşumunda, erozyon-ayrışma-bozunma süreçlerini, erozyon tipini ve derecesini de kontrol eden bir parametre olarak değerlendirilebilir (Zolotraev, 1976; Pachauri ve Pant, 1992; Vivas, 1992; Dai ve Lee, 2002; Lan vd., 2004; Ayalew vd., 2005; Yüksel, 2007; Rozos vd., 2008; Hasekiogulları, 2011; Rozos, vd., 2010; Rozos vd., 2011; Jaafari vd., 2015a, b; Youssef vd., 2015; Aghdam vd., 2016; Ilia ve Tsangaratos, 2016; Pham vd., 2016; Pham vd., 2017). He vd. (2011) ve Erener ve Lacasse (2007), çalışma sahalarında düşük kotlarda heyelan meydana gelmesini erozyon ve akarsu aşındırmasına bağlamışlardır. Hasekiogulları, (2011) çalışmasında heyelanlı alanlarında ki düşük topoğrafik yüksekliklerin, çoğunlukla bozunma ürünü olan toprak malzemelerden oluştuğunu belirtmiştir. Yamaçların erozyonla dikleştirilmesi, eşik değerin üzerinde bir yükseklik artışına neden olur ve bunu toprak kaymaları takip eder (Raja vd., 2017). Tipik olarak, daha yüksek dağ kotları, düşük kotlardaki alanlardan daha fazla miktarda yağış alır (Coe vd., 2004a, b). Bu, daha yüksek dağ yüksekliklerinde toprak nemini artırır, toprak kuvvetinin azalmasına ve toprak matrisindeki stresin artmasına neden olabilir (Ray ve Jacobs, 2007). Üstelik orta kotlardaki eğimler de ince bir kolivyal örtüsünden dolayı toprak kaymalarına eğilimlidir, çünkü erozyon genellikle bu bölgelerde birikmeye bağlı olarak görülür. Bununla birlikte, toprak kayma sıklığı düşük rakımlarda daha düşüktür, çünkü arazinin kendisi yumuşaktır ve kalın kolivyal veya / veya artık topraklarla kaplıdır ve heyelanı başlatmak için daha yüksek bir tünemiş su tablası gerekecektir (Dai ve Lee, 2002; Opiso vd., 2016). Yükseklik, fiziksel erozyon ve kimyasal ayrışma ile birlikte toprak derinliğini ve gelişimini düzenleyen de bir parametredir (Opiso vd., 2016). Ochoa (1978), yükseliğin Cordillera de Me'rida'daki fiziksel-kimyasal toprak özellikleri üzerindeki etkisiyle ilgili olduğunu belirtmiştir (Opiso vd., 2016). Aniya, (1985) çalışmasında, hava ve iklim koşulları farklı kotlarda büyük farklılıklar gösterdiğini ve bunun da toprak farklılıklarına yansıdığını belirtmiştir (Dou vd., 2017).

Yağış: Yükseklik, heyelan duyarlılık analizleri için sıklıkla iklimlendirme faktörü olarak kullanılır (Wu vd., 2016). Genel olarak konuşursak, yükseklik, yağış/karı etkiler (Koukis ve Ziourkas, 1991; Nagarajan, 2000; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001;

Görcelioglu, 2003; Tangestani, 2004; Görüm, 2006; Rozos vd., 2008; Yüksel, 2007; Hasekiogulları, 2011; Rozos vd., 2011; Tazik vd., 2014; Yang vd., 2015; Dölek ve Avcı, 2016; Balamurugan vd., 2016; Chen vd., 2017). İklim koşulları ise şev stabilitesi üzerinde potansiyel etkiye sahiptir (Kavzoğlu vd., 2014; Meng vd., 2015; Wang vd., 2016). Yang vd., (2015), çalışma alanlarında yüksek rakımlı pek çok bölgenin buzul ve karla kaplı olduğunu, bu alanların deprem ve insan faaliyetlerinden çok az etkilendiğini, bu nedenle daha az toprak kaymasına rastlandığını ve düşük hassasiyet sahip olduğunu belirtmiştir. Yükseklik, biriken yağış miktarını etkilemesi bakımından büyük önem taşımaktadır (Görcelioglu, 2003; Yüksel, 2007; Avcı ve Günek, 2014). Nitekim Yılmaz ve Keskin (2009), yükseltinin azalmasıyla beraber de yağış sularının eğimden dolayı yamaç aşağısında birikeceğini ve bundan dolayı daha yüksek boşluk basıncı oluşturacağını ve düşük yükseltilerde (vadi tabanlarında) daha fazla heyelan riskine neden olabileceğini belirtmişlerdir. Clerici vd. (2006), çalışma alanlarındaki yamaç yenilmelerinin 401-600 m ve 801-1000 m arasındaki birbirinden farklı yüksekliklerde görülmesini yağmur, kar yağışı ve donma çözünme döngüsüne bağlamaktadırlar. Koukis ve Ziourkas (1991), tarafından yapılan çalışmada heyelanlar en fazla 600-1000 m arasında yükseklik değerine sahip alanlarda gözlenmiştir. Araştırmacılar bu durumu, dağlık bölgelerdeki yüksek kesimlerin, daha fazla yağış alması ile ilişkilendirmiştir. Literatürde, çalışma alanlarında sağanakların çoğunlukla alçak yükseltilere yağdığını ve bunda heyelan yükseklik arasında zıt ilişkiye neden olduğunu belirten araştırmacılar mevcuttur (Carrara, 1983; Gallart ve Clotet, 1988; Baeza ve Corominas, 2001; Wang vd., 2017; Chen vd., 2017). “Gruber ve Haeberli, (2007) ise yüksekliğin artmasıyla beraber katı yağış oranının artacağını ve sıcaklığın düşerek yamaçların soğumasına katkıda bulunacağını belirtmişlerdir” (Chen vd., 2017). Göreceli yüksekliği ayrıntılı tanımlamak için, yağış analizlerle bunların heyelanlarla ilişkileri ortaya konmalıdır. Çalışma sahasında yeterince yağış istasyonu olmadığı durumlarda yağış faktörü değerlendirmeye almayarak, morfolojiye göre heyelan dağılımı gösterilebilmekte ve yükselti sınıfına göre heyelan yoğunluğu grafiği çizilebilmektedir. Çoğu zaman, yükseklik verilerinin elde edilmesinin zahmetli bir işlem olması nedeniyle klasik hidrolojik yöntemlerde yüzeysel akış kestiriminde çoğu zaman

yükseklik bilgileri kullanılmamaktadır (Dölek ve Avcı, 2016).

Sıcaklık: Genel olarak konuşursak, yüksekliğin artması tüm sistemi etkiler (Rozos vd., 2008; Rozos vd., 2010). Dolayısıyla, yükseklik, sıcaklığı etkiler (Tazik vd., 2014; Meng vd., 2016). Atmosfer ısısı her 100 m'de 0,5 C° azalmaktadır (Sancar, 2000; Yılmaz, 2009a, b; Kavzoğlu vd., 2012; Avcı ve Günek, 2014; Avcı, 2016a, b, c). Artan kotlarda katı yağış oranı artar ve sıcaklık düşer bu da, yamaçların soğumasına, farklı bitki türlerinin büyümesine ve de heyelana neden olur (Zolotarev, 1976; Vivas, 1992; Nagarajan vd., 2000; Gruber ve Haerberli, 2007; Kavzoğlu vd., 2014; Tazik vd., 2014; Meng vd., 2015; Balamurugan vd., 2016; Wang vd., 2016; Chen vd., 2017; Wang ve Li, 2017; Dou vd., 2017).

Bitki Örtüsü: Yükseklik, bitki örtüsü dağılımı gibi farklı peyzaj süreçlerinin mekânsal değişkenliğini açıklayan topoğrafik özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Böylece heyelan oluşumunda dolaylı bir etki oluşturur (Aniya, 1985; Moore vd., 1991; Vivas, 1992; Dai ve Lee 2003; Tangestani, 2003; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2004; Lan vd., 2004; Süzen ve Doyuran, 2004a, b; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Goméz ve Kavzoğlu, 2005; Gruber ve Haerberli, 2007; Yüksel, 2007; Kamp vd., 2008; Park, 2010; Yılmaz, 2010; Oh ve Pradhan, 2011; Yalçın vd., 2011; Mohammady vd., 2012; Pourghasemi vd., 2012a, b, c; Kavzoğlu vd., 2012; Kavzoğlu vd., 2014; Jaafari vd., 2015a, b; Meng vd., 2015; Meng vd., 2016; Wang vd., 2016; Chen vd., 2017; Ding vd., 2017; Dou vd., 2017). Yükseklikler arttıkça sıcaklık ve yağışlarda azalmalar görülmekle beraber değişen yükseklik basamaklarında farklı bitki kuşakları oluşmaktadır. Böylelikle topoğrafyadaki değişken yükseklik koşulları biyolojik ve doğal etmenler üzerinde etkili olmaktadır (Vivas, 1992; Kavzoğlu vd., 2012). Araştırmacılar, heyelan ve yükseklik arasında net bir ilişki bulunmasa da, orman yoğunluğu ile ilişkili olarak, etkisinin olduğunu düşünmektedirler. Yüksekliğin dünya yüzeyinde ve topoğrafik özelliklerde önemli bir etkisi vardır. Bu özellikler genellikle topoğrafik etkilerden etkilenen bitki örtüsü dağılımı gibi farklı peyzaj işlemlerinin mekânsal değişkenliğini gösterir (Saadatkah vd., 2014; Ding vd., 2017).

Süreksizlik: Yükseklik doğrudan heyelan oluşumuna katkıda bulunmaz, ancak tektonik gibi diğer parametreler de heyelana neden olabilir ve

bu da tüm sistemi etkiler (Zolotarev, 1976; Koukis ve Ziourkas, 1991; Nagarajan vd., 2000; Görüm, 2006; Rozos vd., 2008; Rozos vd., 2010; Rozos vd., 2011; Yang vd., 2015; Dölek ve Avcı, 2016; Ilia ve Tsangaratos, 2016). Araştırmacılar göreceli yüksekliğin ayrıntılı çalışılması ve tanımlanmasını ve bunların sismik etkilerinin de göz önünde bulundurulması, heyelanla ilişkisinin ortaya konulması gerektiğini belirtmişlerdir (Vivas, 1992; Nagarajan, 2000; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Görüm, 2006; Özdemir, 2009; Jaafari vd., 2015a, b; Avcı, 2016a, b, c; Dölek ve Avcı, 2016). Zhang vd. (2012) çalışma alanlarında yüksekliklerin, Yinxiu - Beichuan Fay hattı boyunca uzandığını ve eğim yönünün faylara paralel yönlendirildiğinde heyelanlara karşı artan bir duyarlılığa sahip olduğunu belirlemişlerdir. Sismik açıdan aktif dağlık bölgelerdeki yüksek kesimlerin dik kesimlerde sismik ivmenin yatay birleşiminin daha yüksek etkimesi nedeni ile bu kesimler heyelana karşı daha duyarlıdır. Bu alanlarda sismik analizlerin heyelanla ilişkilendirilmesi yapılmalıdır. Bunun içinde sismografistasyonlarına gereksinim vardır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Dağlık alanların dik kesimlerinde sismik ivmenin yatay bileşeninin, vadilere göre 1,2-1,5 katı yüksek etkisi nedeniyle bu alanların, heyelana daha duyarlı olduğunu belirlenmiştir (Zolotarev, 1976; Nagarajan vd., 2000; Görüm, 2006; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Avcı, 2016a, b, c). Bai, vd. (2013), çalışma alanlarında toprak kaymalarının çoğunluğunun (%84'ün üzerinde) 2100 m'nin altındaki kotlarda depremler tarafından tetiklendiğini belirtmiştir. Bai, vd., (2014), çalışmalarında, depremlerle tetiklenen tüm heyelanların çoğunluğunun (%84,09'un üzerinde) 1.900 m'nin altındaki kotlarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Tanoli vd. (2017) ise çalışma alanlarında depremlerden önce heyelanların %86'sının 1000-3000 m kotlarında meydana geldiğini, depremden sonra ise heyelanların %90'nun 1500-3500 m kotlarında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Bununda kosismik heyelanların, deprem öncesi heyelanlara kıyasla daha yüksek irtifalarda gerçekleştiğinin kanıtı olduğunu belirtmişlerdir.

Jeoloji: Yükseklik, çeşitli jeolojik süreç tarafından kontrol edildiği için heyelan oluşumunda önemli parametrelerden biri olarak kabul edilir (Dai ve Lee, 2001, 2002; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Gorsevski vd. 2012; Pradhan ve Kim, 2014; Jaafari vd., 2014). Heyelan duyarlılığı, yükseklik arttıkça artar, ancak farklı jeoloji seviyelerde artışta farklıdır (Dai ve

Lee, 2001; Zhu vd., 2014; Raja vd., 2017). Bazı araştırmacılar, çok yüksek kotlardaki birimlerin, kayaç türü malzemelerden oluştuğunu ve daha alt kotlardaki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduklarından, heyelanlara karşı daha az duyarlı olduklarını belirtmişlerdir (Caniani vd., 2008). Ercanoğlu (2005), yüksek kotlarda Ulus formasyonuna ait dayanıklı kayaçların 45 dereceden büyük, düşük kotlarda ise daha yumuşak eğime (0-20) sahip olduğunu söylemiştir. Liu vd. (2013), çalışma alanlarında, heyelanların, engebeli ve dağlık alanların orta kısmında meydana geldiğini, Tepedeki kayaların çoğunun yıpranmış ve sert olduğundan, az miktarda toprak kaymasının tepelerin veya dağların tepesinde meydana geldiğini belirtmiştir. Pachauri ve Pant (1992) yüksek alanların heyelana daha fazla duyarlı olduğunu belirtmiş olmalarında rağmen, çalışma alanlarının, yüksek kotlarında dirençli litolojik birimlerden (kireçtaşı) oluştuğunu ifade etmişlerdir. Kouli vd. (2014), yüksekliğin çalışma alanlarında dolaylı olarak heyelana neden olduğunu, yüksek kotlarda meydana gelen heyelanların yapışkan birimlerden oluştuğunu ve birimin yağış gibi olumsuz iklim koşullarından etkilendiğini belirtmişlerdir. Çalışma alanlarında, 700 ila 1.000 m arasında fliş ve filitler-kuvarsitlerden meydana gelen dik morfolojik alanlara, en yüksek puanı vermişlerdir. Çevik ve Topal (2003), çalışma alanlarında 10-150 m aralığındaki heyelanların, birimlerin litolojik karakterlerinden ve yapısal kontrolünden dolayı ağırlıklı olarak (%63,1) meydana geldiğini belirlemişlerdir. Rozos vd. (2010), çalışma alanlarında heyelan yoğunluğunun yükseklik ile doğrudan ilişkili olmayıp, 250-500 m arasında meydana gelen heyelanlarda Pliyo-Pleyistosen sedimanlarının etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Jeomorfoloji: Tangestani (2003), heyelan duyarlılığını artıran jeomorfolojik veya araziye bağlı risk faktörleri arasında yüksekliği de göstermiştir.

Drenaj: Her bölgenin yükseklik değişikliği, kütle hareketi oluşumundaki etkili faktörlerden biridir. Bu faktör, akış yönü ve drenaj yoğunluğu oranını da kontrol eder (Abedini vd., 2017). Erenner ve Lacasse (2007), çalışma sahalarında heyelanların 0 dan 15 m ye kadar olan düşük kotlarda, yüksek kolerasyon göstermesinin, nehre yakınlık ve erozyondan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, He vd. (2011) çalışma sahalarında düşük kotlarda meydana gelen heyelanların akarsular tarafından aşındırma

ve erozyona karşı daha savunmasız olduklarından meydana geldiğini belirtmiştir.

4. Yükseklik Sınıfları

Literatürde yüksekliğin artması ile heyelanın artacağı yönünde araştırmalar mevcuttur. Bir başka ifade ile heyelanların yüksek rakımlı yerlerde daha fazla olma eğilimi gösterdiği belirtilmektedir (Koukis ve Ziourkas, 1991; Pachauri ve Pant, 1992; Pachauri vd., 1998; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Gritzner vd., 2001; Ercanoğlu vd., 2004; Gökçeoğlu vd., 2005; Görüm, 2006; Lee ve Pradhan, 2007; Caniani vd., 2008; Akıncı vd., 2010; 2011; Özdemir, 2009; Özşahin ve Kaymaz, 2013; Pradhan ve Kim, 2014, 2015; Özşahin, 2015; Avcı, 2016 b; Dölek ve Avcı, 2016; Wu ve Ke, 2016). Aynı şekilde yükseklik arttıkça heyelan yoğunluğunun azaldığı ve heyelanların düşük ve orta kotlarda meydana geldiği yönünde çalışmalarda mevcuttur (Yüksel, 2007).

Yüksek Kotlar: Literatürde, çok yüksek kotlarda heyelanlara sık rastlanılmadığını savunan araştırmalar mevcuttur. Araştırmacılar bunu çok yüksek kotlardaki birimlerin, kayaç türü malzemelerden oluşmasına ve daha alt kotlardaki ayrılmış kayaçlara göre çok yüksek kesme dayanımına sahip olmasına bağlamaktadırlar (Dai ve Lee, 2001; Ercanoğlu, 2003; Görüm, 2006; Dağ, 2007; Yüksel, 2007; Caniani vd., 2008; Dragicevic vd., 2015; Avcı, 2016a, b, c; Abedini vd., 2017; Pradhan ve Kim, 2017). Bunun aksine, literatürde, yüksek kotların diğer parametreler ile beraber heyelana neden olduğunu savunan görüşlerde mevcuttur. Bu görüşün ise iki temel nedeni vardır. Bunlardan ilki, yüksek kesimlerin daha çok yağış almasıdır (Nagarajan, 2000; Görüm, 2006). Tipik olarak, daha yüksek dağ kotları, düşük kotlardaki alanlardan daha fazla miktarda yağış almaktadır (Coe vd., 2004a, b). Bu, daha yüksek dağ yüksekliklerinde toprak nemini artırır, toprak kuvvetinin azalmasına ve toprak matrisindeki stresi artırmasına neden olabilir (Ray ve Jacobs, 2007; Opiso vd., 2016). İkinci neden ise, bunlar, vadilere oranla daha dik olan kesimlerde sismik ivmelerin yatay birleşenlerinin 1,2 ve 1,5 kat daha fazla etkimesidir (Nagarajan, 2000; Görüm, 2006). Her iki durum farklı şekillerde heyelana da neden olmaktadır. Pradhan ve Kim (2017), yüksek rakımlı alanların, yamaçlarda kalan toprak örtüsünün varlığı nedeniyle heyelan oluşturma olasılığının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Kavzoğlu vd. (2012)

çalışmalarında, yaptıkları literatür incelemesine göre; 600-1000 m alanlarda meydana gelen heyelanları, bu kesimlerin yüksek yağış almasına bağlarken, bazı çalışmaların ise >600 m'de meydana gelme nedeni olarak yoğun ormanlık alanlar ile ilişkilendirmişlerdir. Clerici vd. (2006) çalışma alanlarındaki heyelanların daha çok yüksek kotlara sahip alanlarda görülmesini bu alanlarda daha fazla yağmur, kar yağışının olması ve donma çözünme döngüsüne bağlamaktadırlar. Bai vd. (2013) çalışma alanında, tüm heyelanların yalnızca %7,06'sının 2400 m'den daha yüksek kotlarda gerçekleştiğini belirtmiştir. Bai vd. (2014) çalışmalarında tüm depremlerle tetiklenen heyelanların yalnızca %3,04'ünün 2.500 m'nin üzerindeki kotlarda gerçekleştiğini belirtmiştir. Diğer taraftan Bai vd. (2013), çalışma alanlarında toprak kaymalarının çoğunluğunun (%84'ün üzerinde) 2100 m'nin altındaki kotlarda ise Bai vd. (2014) çalışmalarında, tüm heyelanların çoğunluğunun (%84,09'un üzerinde) 1.900 m'nin altındaki kotlarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Tanoli vd. (2017) ise depremlere bağlı heyelanların %90'nın 1500 ve 3500 m kotlar arasında gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Orta Kotlar: Orta yüksekliklerdeki alanlar, daha yüksek alanlardan gelen malzeme, ayrışma ve erozyon dolayısıyla birikmeye bağlı oluşacak toprak örtüsü nedeniyle, heyelanlara karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir (Dai ve Lee, 2001; 2002; Ercanoğlu, 2003; Lan vd., 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Görüm, 2006; Dağ, 2007; Yüksel, 2007; Gorsevski ve Jankowski, 2008; Hasekioğulları, 2011; Kavzoğlu vd., 2012; Çellek, 2013; Elkadiri vd., 2014; Wang vd., 2015; Dragicevic vd., 2015; Avcı, 2016a, b, c; Opiso, vd., 2016; Abedini vd., 2017; Pradhan ve Kim, 2017). Yüksel'in (2007), çalışmasında, orta yükseklikteki alanların, daha düşük ve daha yüksek kesimlere göre heyelana daha duyarlı olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde Liu vd. (2013)'da çalışmalarında heyelanların, engebeli ve dağlık alanların orta kısmında meydana geldiğini, tepedeki kayaların çoğunun yıpranmış ve sert olduğundan, az miktarda toprak kaymasının tepelerin veya dağların üst kotlarında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

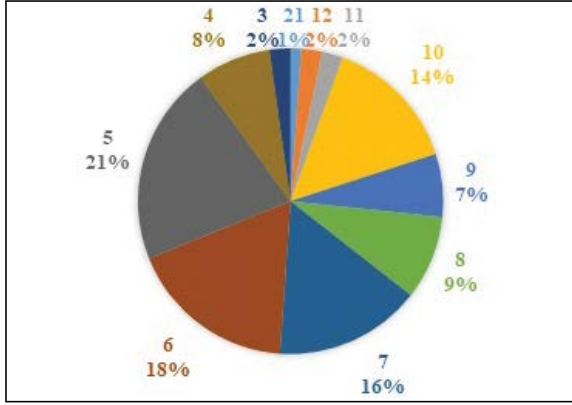
Düşük Kotlar: Genel olarak düşük kotlar, yamaç eğiminin az ve kalın örtü malzemesi içermesi nedeniyle, heyelanlara karşı daha az duyarlı olarak değerlendirilmektedirler. Çünkü arazinin kendisi yumuşaktır, düşük yükseltiler düşük eğimlere sahiptir.

Bu nedenle kalın alüvyon veya artık topraklarla kaplıdır ve su tablası heyelanı başlatmak için yükselmediği sürece heyelan olma ihtimali daha düşüktür (Dai ve Lee, 2001; 2002; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu, 2003; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Chau ve Chan, 2005; Görüm, 2006; Dağ, 2007; Caniani vd., 2008; Kavzoğlu vd., 2012; Çellek, 2013; Dragicevic vd., 2015; Avcı, 2016a, b, c; Opiso, vd., 2016; Abedini vd., 2017). Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002), çalışma alanlarında, heyelanların daha düşük topoğrafik yüksekliklerde meydana gelmesini, çalışma alanındaki yüksek bölgelerin, duyarlı birimlerden oluşması ve bu bölgelerin yoğun bitki örtüsü ile kaplı olmasıyla açıklarken, Çevik ve Topal (2003), bu durumu, çalışma alanını oluşturan birimlerin litolojik karakterine ve yapısal kontrole bağlamışlardır. Chau ve Chan (2005) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) ise bu yüksekliklerde nüfusun fazla olması nedeniyle, yol yarmalarının büyük bölümünün bu bölgelerde olmasına bağlamaktadırlar (Hasekioğulları, 2011). Erenner ve Lacasse (2007), çalışma sahalarında heyelanların 0 dan 15 m ye kadar olan düşük kotlarda, yüksek kolerasyon göstermesinin, nehre yakınlık ve erozyondan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Zhuang vd. (2015), çalışma alanlarını üç bölgeye ayırmışlardır. Heyelanların, büyük çoğunluğunun Qin Dağı'nda 50–90 m (%45,18), Li Dağı'nda 10–70 m (%87,30) ve Loess Tablelve'da 10–30 m (%44,90) yüksekliklerinde meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, heyelan frekanslarının Qin ve Li Dağları'ndaki yükseklik farkıyla orantılı olarak arttığını, ancak frekansın 60 m'yi geçen yükseklik farklarında düşmeye başladığını ortaya koymuşlardır. Bunun nedeni ise, bu değeri aşan yükseklik farklarına sahip olan arazinin, genellikle teraslı ekim için kullanılmasını göstermişlerdir.

5. Sınıf Aralıkları

Çalışma alanlarında tercih edilen sınıf aralıkları değişiklik göstermektedir. Çoğu çalışma literatür bazlı sınıflama kullanırken çok az çalışmada sınıf aralıklarının özgün seçildiğini belirlenmiştir. Özşahin (2015), çalışma alanında heyelan duyarlılığını etkileyen yükseklik değerlerini literatürde yapılan sınıf aralıklarını dikkate alarak hazırlamıştır. Myronidis vd. (2016) çalışmalarında, sınıf aralıklarını Chen ve Wang (2007) ve Sabatakakis vd. (2013)'a göre adapte etmişlerdir. Pourghasemi ve Kerle (2016) çalışmalarında literatürden faydalanmış (Lee ve Pradhan, 2007; Pourtaghi vd., 2014) ve

eşit sınıf aralıkları kullanmışlardır. Pourghasemi ve Rossi (2017)'de çalışmalarında eşit sınıf aralıklarının literatürden faydalanarak seçmişlerdir (Pourtaghi vd., 2014; Pourghasemi ve Beheshtirad, 2015). Seçilen 90 çalışma incelenerek değerlendirme için seçilen sınıf aralık sayıları belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1- 90 çalışmaya ait sınıf aralık sayılarının % dağılımı.

Çalışmalarda, tercih edilen sınıf aralık sayıları en fazla 21 en az ise 3'tür. 19 çalışmada 5 sınıf, 16 çalışmada, 6 sınıf, 14 çalışmada 7 sınıf ve 13 çalışmada 10 sınıf aralığı tercih edilmiştir. Diğerleri kadar olmamakla beraber, sırayla, 8, 4 ve 9 sınıf aralıkları da tercih edilmiştir. En az tercih edilen

aralıklar ise 12, 11 ve 3'tür. Sadece bir yayında 21 sınıf aralığı seçilirken, 13 sınıf aralığı hiç bir araştırmacı tarafından seçilmemiştir.

Buna göre çalışmalarda tercih edilen sınıflamalar da değişiklik göstermektedir. Değerlendirilen 58 çalışmadaki sınıf aralıkları ise çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde ise değişken sınıf aralıkları dikkat çekmektedir. Çoğu araştırmacı eşit sınıf aralığı tercih ederken (Balamurugan vd., 2016; Chen vd., 2016a, b; Chen vd., 2017; Demir, 2016; Leonardi vd., 2016; Peng vd., 2014; Pradhan ve Kim, 2017; Pradhan vd., 2014; Rozos vd., 2010; Shrestha vd., 2017; Umar vd., 2014; Wang vd., 2015; Wu ve Ke, 2016; Zhang vd., 2016a, b). While most researchers chose equal class ranges (Aghdam vd., 2016; Acharya ve Pathak, 2017; Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015; Amirahmadi vd., 2017; Ataol ve Yeşilyurt, 2014; Avcı, 2016a, b, c; Chen vd., 2017; Chen, vd., 2016a b; Çellek vd., 2015; Dağ ve Bulut, 2012; Dou vd., 2017; Eker vd., 2012; Fenghuan vd., 2010; Hasekioğulları, 2011; Ilia ve Tsangaratos, 2016; Kornejady vd., 2015; Lee ve Pradhan 2007; Liu ve Wu, 2016; Moradi ve Rezaei, 2014; Pourtaghi vd., 2014; Raja vd., 2017; Sadr vd., 2014; Tazik vd., 2014; Tsangaratos ve Ilia, 2016; Wang ve Li, 2017; Wang vd., 2016; Wu vd.,

Çizelge 1- Literatürde bazı araştırmacılar tarafından kullanılan sınıf aralıkları (metre).

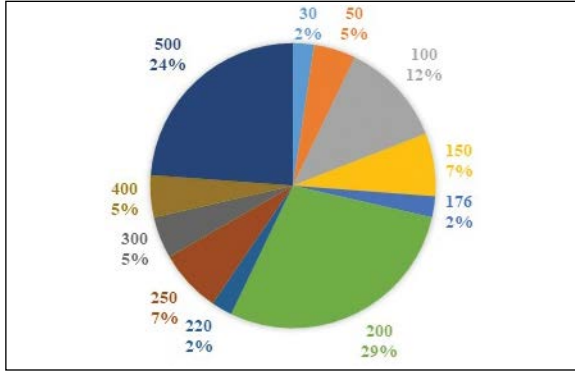
Yazar ve Yılı	Sınıf (metre)	Aralık
Aghdam vd., 2016	<200, 200-400, 400-600, 600-800, 800-1000, 1000-1200, 1200-1400, 1400-1600, 1600-1800, 1800-2000, 2000-2200, 2200-2400, 2400-2600, 2600-2800, 2800-3000, 3000-3200, 3200-3400, 3400-3600, 3600-3800, 3800-4000, >4000	200
Acharya ve Pathak, 2017	<800, 800-1200, 1200-1600, 1600-2000, 2000-2400, 2400-2800, >2800	200
Akıncı vd., 2015	180-250, 250-500, 500-750, 750-1000, 1000-1278	250
Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015	0-100, 100-200, 200-300, 300-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800, 800-900, 900-1300	100
Amirahmadi vd., 2017	0-559,7, 559,7-1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000-3500, 3500-4000, 4000-4500, 4500-5597	500
Ataol ve Yeşilyurt, 2014	<800, 800-1000, 1000-1200, 1200-1400, >1400	200
Avcı, 2016a	1140-1300, 1300-1500, 1500-1700, 1700-1900, 1900-2100, 2100-2300, >2300	200
Avcı, 2016b	1150-1200, 1200-1400, 1400-1600, 1600-1800, 1800-2000, 2000-2200, 2200-2400, 2400-2600, >2600	200
Balamurugan vd., 2016	819-1086, 1086-1340, 1340-1630, 1630-1953, 1953-2452	yok
Chen vd., 2016a	80-330, 330-620, 620-1000, 1000-2000	yok
Chen vd., 2017	561-800, 800-1050, 1050-1300, 1300-1550, 1550-1800, 1800-2074	250
Chen vd., 2018	632-1284, 1284-1773, 1773-2206, 2206-2680, 2680-3940	yok
Chen, vd., 2016b	720-850, 850-1000, 1000-1150, 1150-1300, 1300-1560	150
Çellek vd., 2015	0-100, 100-200, 200-300, 300-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800, 800-900, 900-1000, 1000-1100	100
Dağ ve Bulut, 2012	0-100, 100-200, 200-300, 300-400, >400	100
Demir, 2016	500-750, 750-950, 950-1200, 1200-1450, 1450-1700	yok

Çizelge 1- Devamı.

Dou vd., 2017	<1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, > 3000m	500
Eker vd., 2012	<300, 300-600, 600-900, 900-1200, >1200	300
Fenghuan, vd., 2010	500- 1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000-3500, 3500-4000, >4000	500
Hasekioğulları, 2011	0-250, 250-500, 500-750, 750- 1000, 1000-1250, 1250-1500, 1500-1750	250
Ilia ve Tsangaratos, 2016	<220, 221-440, 441-660, 661-880, 881-1100,> 1101	220
Kornejady vd., 2014	<1000, 1000-1200, 1200-1400, 1400-1614	200
Lee ve Pradhan, 2015	<100, 100-500, 500-1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, >3000	500
Leonardi vd., 2016	0-150, 151-300, 301-600, >601	yok
Liu ve Wu, 2016	> 2400, 2200-2400, 2000-2200, 1800-2000, 1600-1800, 1400-1600, <1400	200
Moradi ve Rezaei, 2014	<1400, 1400-1600, 1600-1800, 1800-2000, 2000-2500, 2500-3000, >3000	200
Nourani vd., 2014	<1300, 1300-1700, 1700-2100, 2100, 2500, 2500-2900	400
Padrones vd., 2017	0-176, 176-352, 352-528, 528-704, 704-880, 880-1056, 1056-1232, 1232-1408, 1408-1584, 1584-1760	176
Peng vd., 2014	80-330, 330-620, 620-1000, 1000-2000	yok
Pham vd., 2015	0 - 600, 600 - 750, 750 - 900, 900 - 1050, 1050 - 1200, 1200 - 1350, 1350 - 1500, 1500 - 1650, 1650 - 1800, > 1800	150
Pham vd., 2016	<600, 600-750, 750-900, 900-1050, 1050- 1200, 1200-1350, 1350-1500, 1500-1650, 1650-1800, >1800	150
Pham vd., 2017	0-700, 700-900, 900-1100, 1100-1300, 1300-1500, 1500-1700, 1700-1900, > 1900 m	200
Pourghasemi ve Kerle, 2016	<100, 100-500, 500-1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, >3000	500
Pourghasemi ve Rossi, 2017	<500, 500-1000, 1000-1500, 1500-2000, >2000	500
Pourghasemi vd., 2014	<1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000-3500, >3500	500
Pourtaghi vd., 2014	<100, 100-500, 500-1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000 m	500
Pradhan ve Kim, 2017	<75, 75-100, 100-150, 150-200, 200-250, >250	yok
Pradhan vd., 2014	0-20, 20-25, 25-35, 35-65, 65-115, 115-252, 252-465, 465-705, 705-950, 950-2,000	yok
Raja vd., 2017	<50, 50-100, 100-150, 150-200, >200	50
Rozos vd., 2010	<250, 250-500, 501-800, 801-1,200, >1.200	yok
Saadatkah vd., 2014	0-50, 50-100, 100-200, 200-300, >300	yok
Sadr vd., 2014	0-100, 100-200, 200-300, 300-425	100
Shrestha vd., 2017	<1281, 1281-1755, 1755-2254, 2254-3302, 3302-3850, 3850-4424, 4424- 4973, 4973-5621, 5621-6968, > 6968	yok
Simon vd., 2017	<30, 30-60, 60-90, >90	30
Tazik vd., 2014	500-1000, 1000-1500, 1500-2000, >2000	500
Tsangaratos ve Ilia, 2016	<400, 401-600, 601-800, >801	200
Umar vd., 2014	0-9.01, 9.01-18.02, 18.02-45.07, 45.07-90.14, 90.14-135.21, 135.21-198.31, 198.31-297.45, 297.46-458.73, 468.73-748.18, 748.18-2298.62	yok
Wang vd., 2015	20-850, 850-1000, 1000-1150, 1150-1300, 1300-1560	yok
Wang ve Li, 2017	<900, 900-1300, 1300-1700, 1700-2100, 2100-2500 ve> 2500	400
Wang vd., 2016	<150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-350, 350-400, 400-450, 450-500, 500-550, >550	50
Wu vd., 2016	<1400, 1400-1600, 1600-1800, 1800-2000, 2000-2200, 2200-2400, > 2400	200
Wu ve Ke, 2016	720-850, 851-1000, 1001-1150, 1151-1300 ve 1301-1560	yok
Xu vd., 2013	<1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000-3500, 3500-4000, 4000-4500, 4500-5000, 5000-5500, >5500	500
Xu vd., 2016a	2207-2300, 2300-2400, 2400-2500, 2500-2600, 2600-2700, 2700-2800, 2800-2900, 2900-3000, 3000-3100, 3100-3200, 3200-3340	100
Zare vd., 2014	<300, 300-600, 600-900, 900-1200, 1200-1500, 1500-1800, 2100-2400, 2400-2700, 3000- 3300, >3300	300
Zhang vd., 2016a	0-50, 50-200, 200-350, 350-500, >500 m	yok
Zhang vd., 2016b	<1000, 1000-1600, 1600-2200, 2200-2880 ve >2800	yok
Zhao vd., 2014	60-80, 800-1000, 1000-1200, 1200- 1400, 1400-1600 m, 1600-1800, 1800- 2060	200

2016; Xu vd., 2013; Xu vd., 2016a, b; Zare vd., 2014; Zhao vd., 2014).

Eşit sınıf aralığı kullanan 42 yayın incelendiğinde sınıf aralığı seçim dağılımı belirlenmiştir (Şekil 2). Buna göre en çok tercih edilen aralık değerleri 200 m (%29) ve 500 m' dir (%24). Daha az olarak ise sırayla, 100 m (%12), 150 m (%7), 50 m, 300 m, 400 m (%5) tercih edilmiştir. En az tercih edilen aralık değerleri 30 m, 176 m ve 220 m (%2) olmuştur. 350 m ve 450 m gibi ara değerler ise tercih edilmemiştir.



Şekil 2- Tercih edilen sınıf aralıkları dağılımları.

6. Materyal ve Yöntem

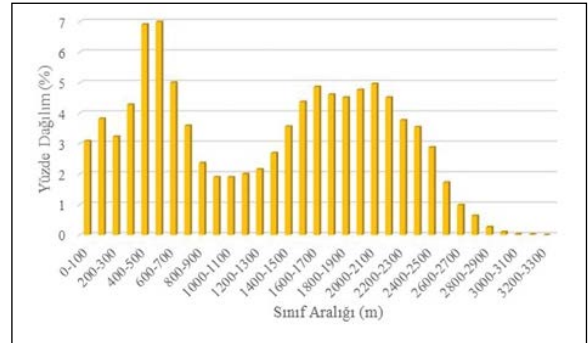
Araştırmacıların tam bir fikir birliğine varamamış olmalarına rağmen yüksekliğin heyelan oluşumu üzerinde etkisi olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışma ile parametrenin heyelan üzerindeki etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, 1967-2017 yılları arasında hazırlanan 1500'e yakın çalışma incelenmiştir. Literatüre göre, yükseklik parametresi, heyelan oluşumuna etkisi, üretilmesinin kolay olması ve morfolojik etken olmasından dolayı analizlerde kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde farklı kotlarda heyelanlara rastlanıldığı tespit edilmiştir. Herhangi bir kotun farklı bir parametrenin etkisinde kalarak heyelanı tetiklediği tespit edilmiştir.

Literatür verileri ile kıyaslamak amacıyla, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli, 2945 heyelan paftasından 64 tanesi seçilmiş ve hücre boyutu 28 piksele ayarlanarak sayısallaştırılmıştır. Yükseklik haritalarının oluşturulması için, Harita Genel Komutanlığı'ndan, seçilen heyelan bölgelerine ait eş yükseklik eğrilerininin 10 m'de bir geçtiği 1/25.000 ölçekli sayısallaştırılmış topoğrafik haritalar temin

edilmiştir. ArcGIS 10,4 yazılımı kullanılarak sayısal konturların öz nitelikleri ile TIN (Triangulated Irregular Network) modeli ve sayısal yükseklik modelleri üçgensel ağlar şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen TIN modellerinden itibaren (TIN to Raster) uzantısı ile sayısal yükseklik modeli (SYM) elde edilmiştir. Bu model, çalışmalarda topoğrafik veri olarak kullanılan diğer verilere de altlık teşkil etmesi açısından son derece önemlidir. Böylelikle, diğer ikincil topoğrafik verilerden yükseklik parametresinin elde edilmesi daha kolay biçimde sağlanmıştır ve raster veri formatına dönüştürülmüştür. Yükseklik sınıfları arazi koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Arazi şartlarına göre bu aralık mesafeleri artırılıp, azaltılabilmektedir. Literatürden de faydalanılarak, yükseklik için 50 m ve 100 m aralıklar ile seçilen sınıf aralıkları seçilmiştir. Seçilen 50 paftaya ait envanter haritaları sayısallaştırılarak, yükseklik haritaları ile çakıştırılmıştır. Sınıf aralıkları seçilerek, "reclassify" ve "raster to polygon" ile sonuç haritaları üretilmiştir. Hazırlanan haritalar analiz edilerek heyelanların hangi yükseklik değerlerinde meydana geldiği tespit edilmiş ve literatürdeki karşılıkları ile de kıyaslanmıştır.

7. Bulgular

Seçilen paftalar, 100 m aralıkla sınıflandırılmış ve toplamda 32 aralık elde edilmiştir. Sonuçlar yüzde dağılımı olarak şekil 3'te verilmiştir.

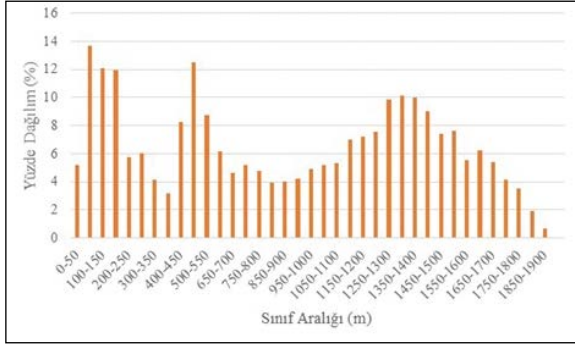


Şekil 3- Analiz edilen paftaların 100 m sınıf aralığına göre %'de dağılımları.

Yaklaşık 50 paftanın analizi sonucu, alanların farklı yükseklik değerlerine sahip olmasından dolayı, aralık değerleri 0 ile 3300 m arasında değerlendirilmiştir. Sınıf aralıkları arasında büyük farklılıklar olmamakla beraber, 500-700 m arasında heyelanların yaklaşık %20'sinin meydana geldiği

belirlenmiştir. En az değerlere ise 2600 m'den yüksek alanlarda rastlanılmıştır.

Sınıf aralıkları her alana özgü olduğundan sabit bir değer vermede aralık değerlerinin arttığı görülmüştür. Seçilen 10 pafta ise 50 m aralıkla sınıflandırılabilir değerlere sahiptir. Şekil 4'de analiz değerleri görülmektedir.



Şekil 4- Analiz edilen paftaların 50 m sınıf aralığına göre %'de dağılımları.

%14 ile 50-100 metre sınıf aralığı en çok heyelan görülen alanlardır. Onu %12 ile 100-150 m aralığı ve

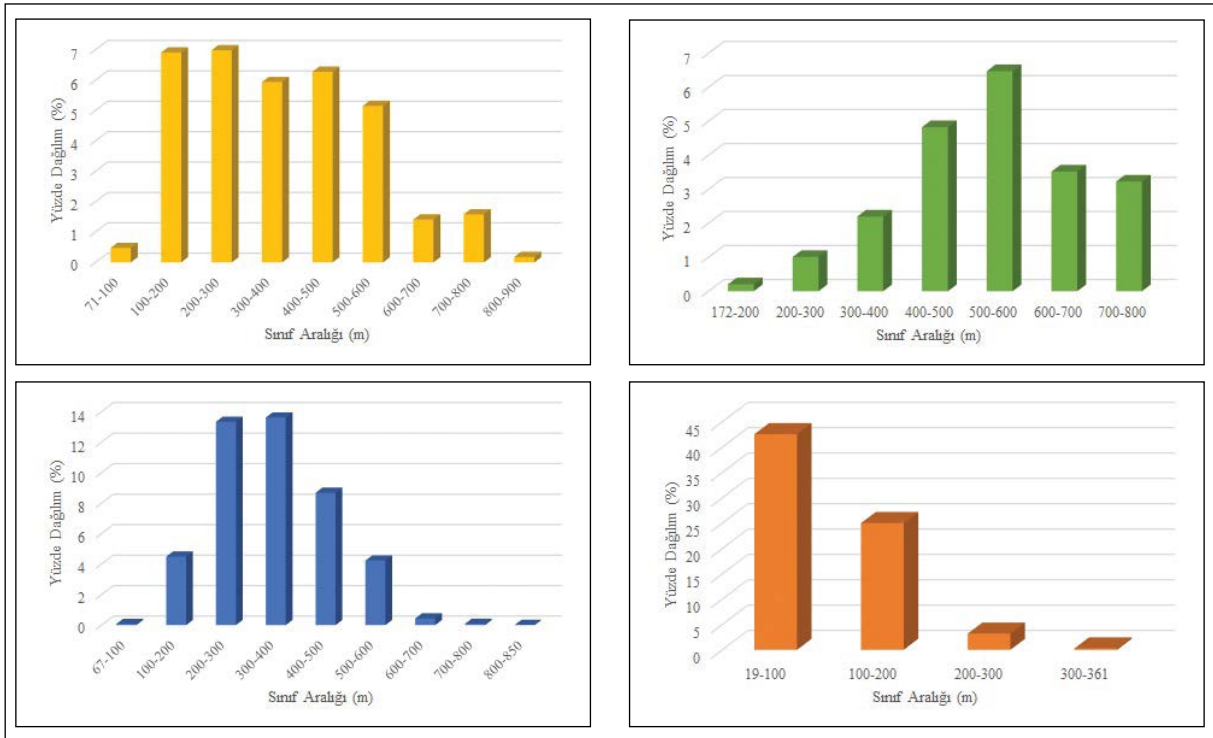
450-500 m sınıf aralığı takip etmektedir. En düşük değerlere ise 1900 m'den sonra rastlanılmaktadır. Bunun nedeni ise kısa aralıklara imkân veren yüksekliklerin nispeten düşük yükseklik değerlerine sahip olmasıdır.

Son olarak her alan için yükseklik dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Bunun nedeni her alanın kendine özgü yükseklik değerleri olmasından genellemeye gidilemeyeceği fakat dağılımın arazilere göre nasıl değiştiğinin incelenmesidir (Şekil 5).

Grafikler incelendiğinde genel durum, giderek yükselen değerler pik noktasına ulaştıktan sonra tekrar kademeli olarak azalmaktadır. Tüm alanlarda düzenli bir yükselişten sonra düşüş göstermiştir. Yani genelleme yapılacak olursa, çalışma alanlarının ortalama yükseklik değerlerinde heyelanlar meydana gelmiştir.

8. Sonuçlar ve Tartışmalar

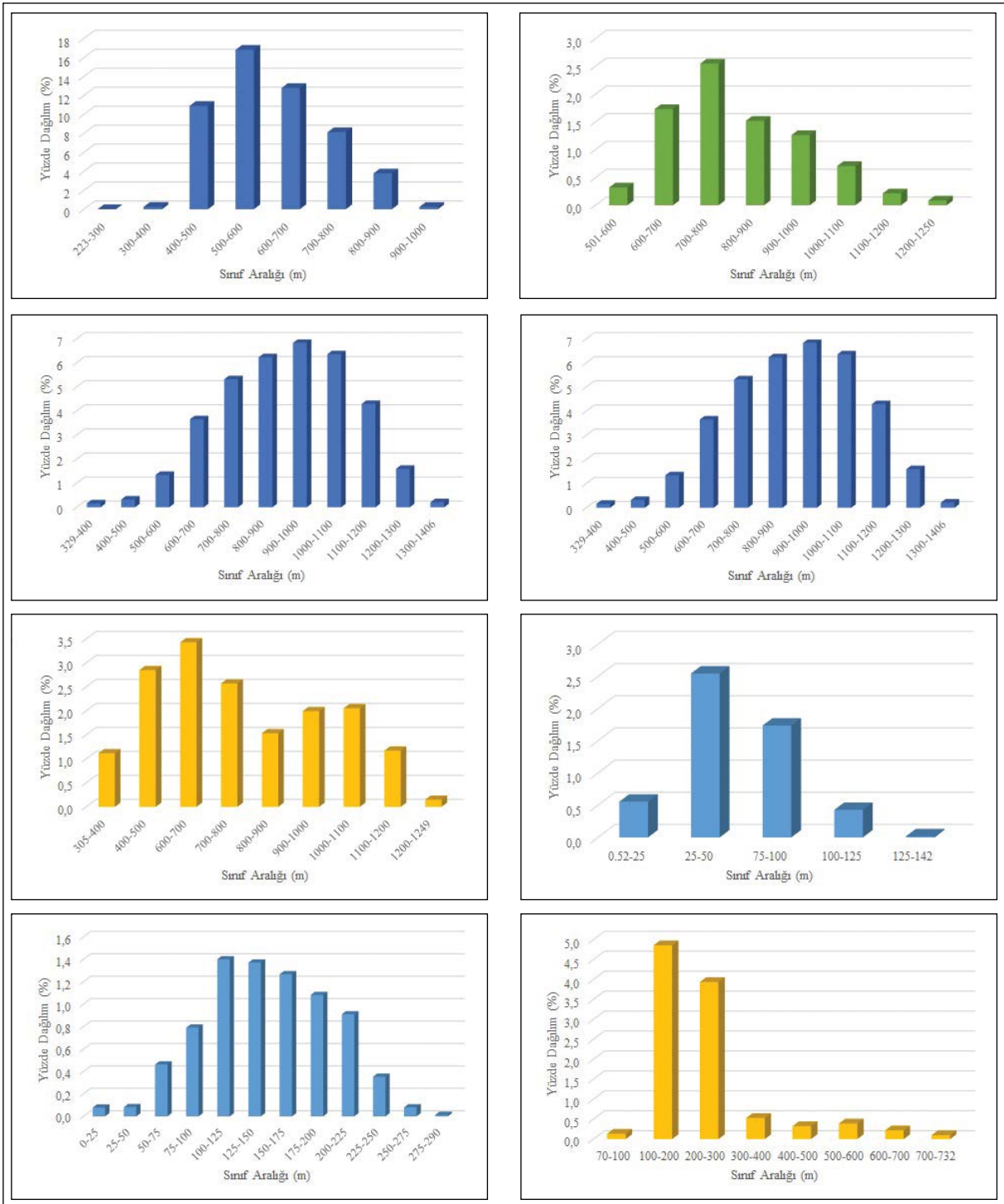
Yükseklik değerleri göreceli ve topoğrafik olmak üzere literatürde iki şekilde kullanılmaktadır. Fakat



Şekil 5- Çalışmada kullanılan paftalara ait yükseklik sınıf aralığı- heyelanlı alan dağılımı (km²).



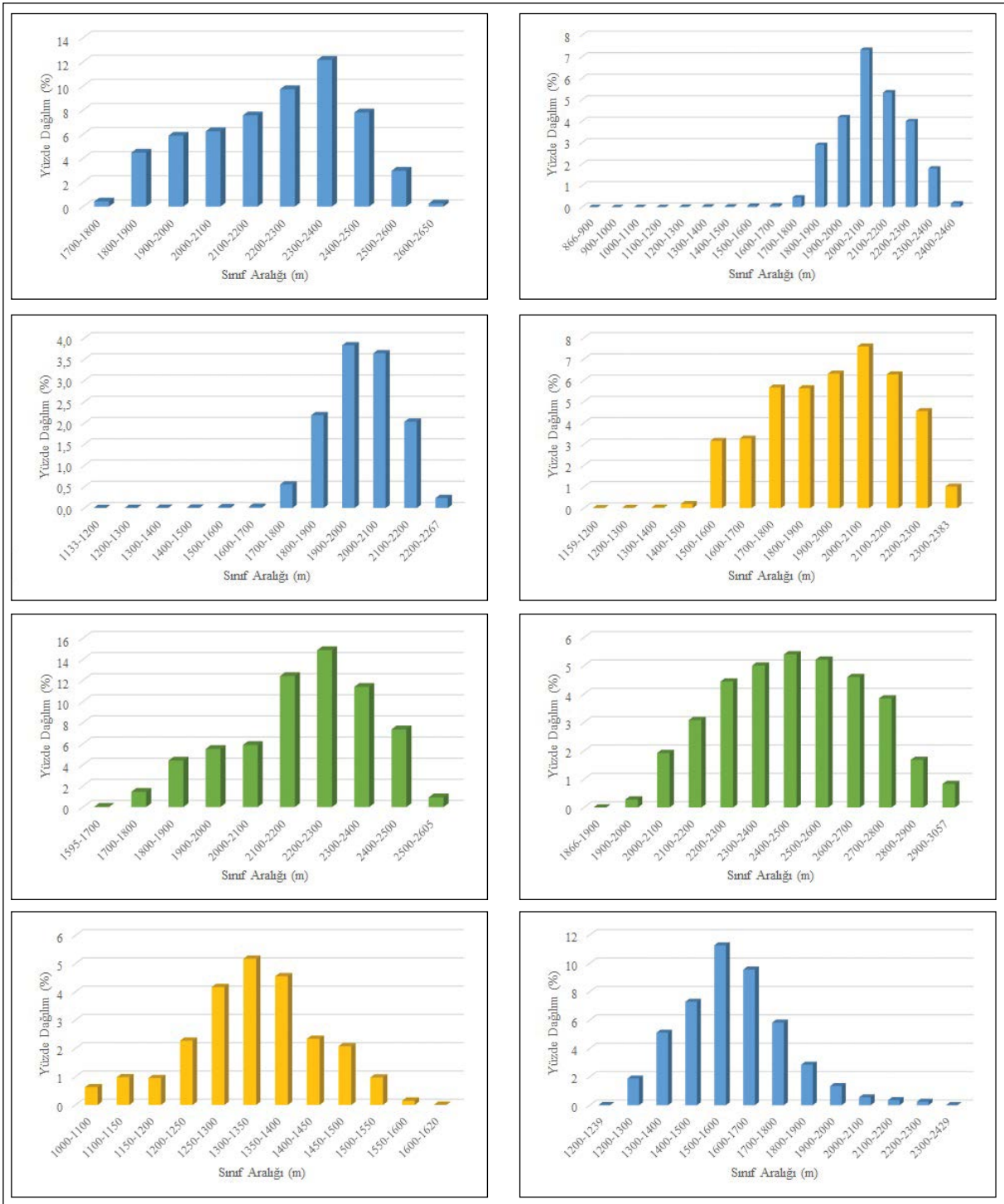
Şekil 5- Devamı.



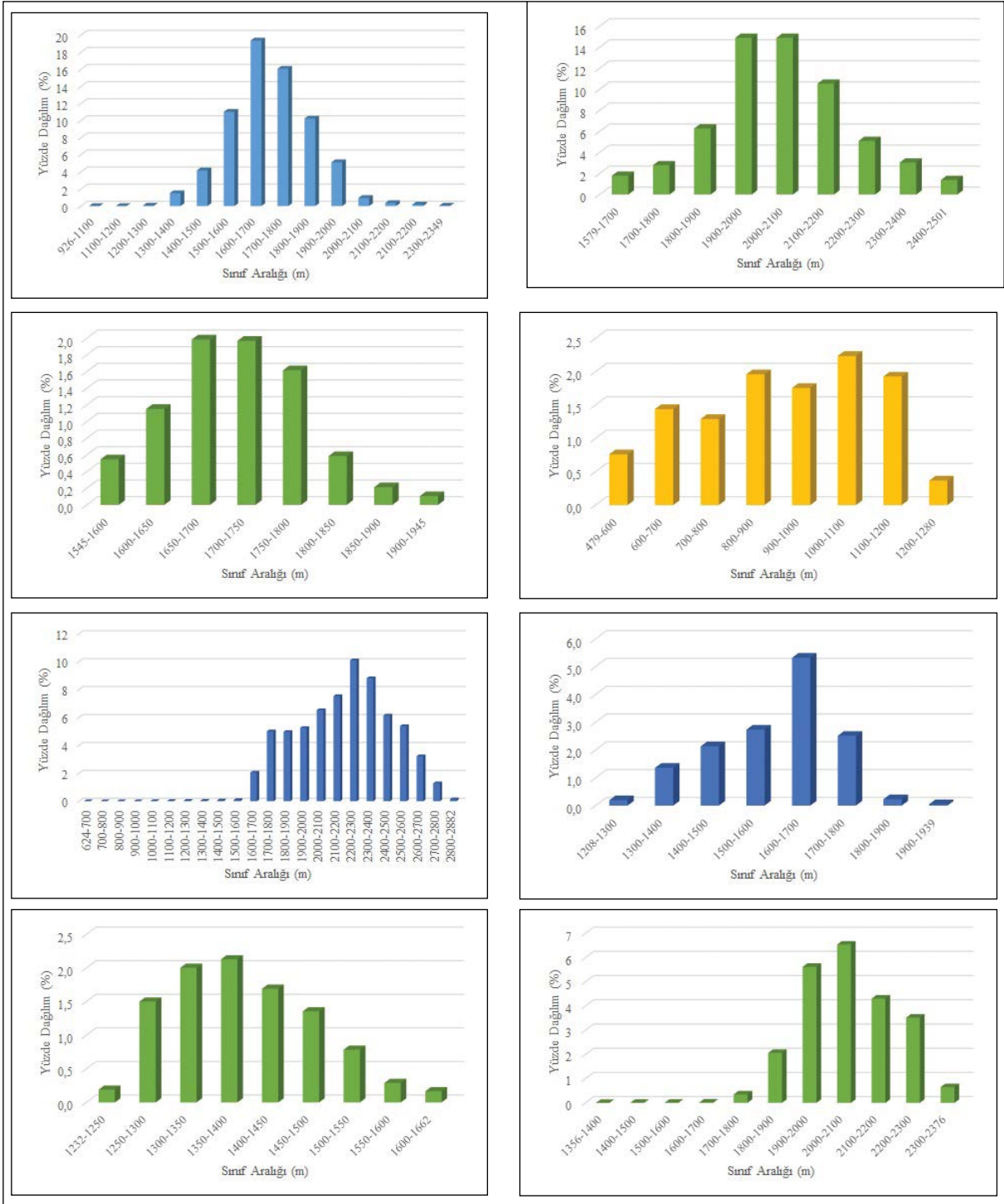
Şekil 5- Devamı.



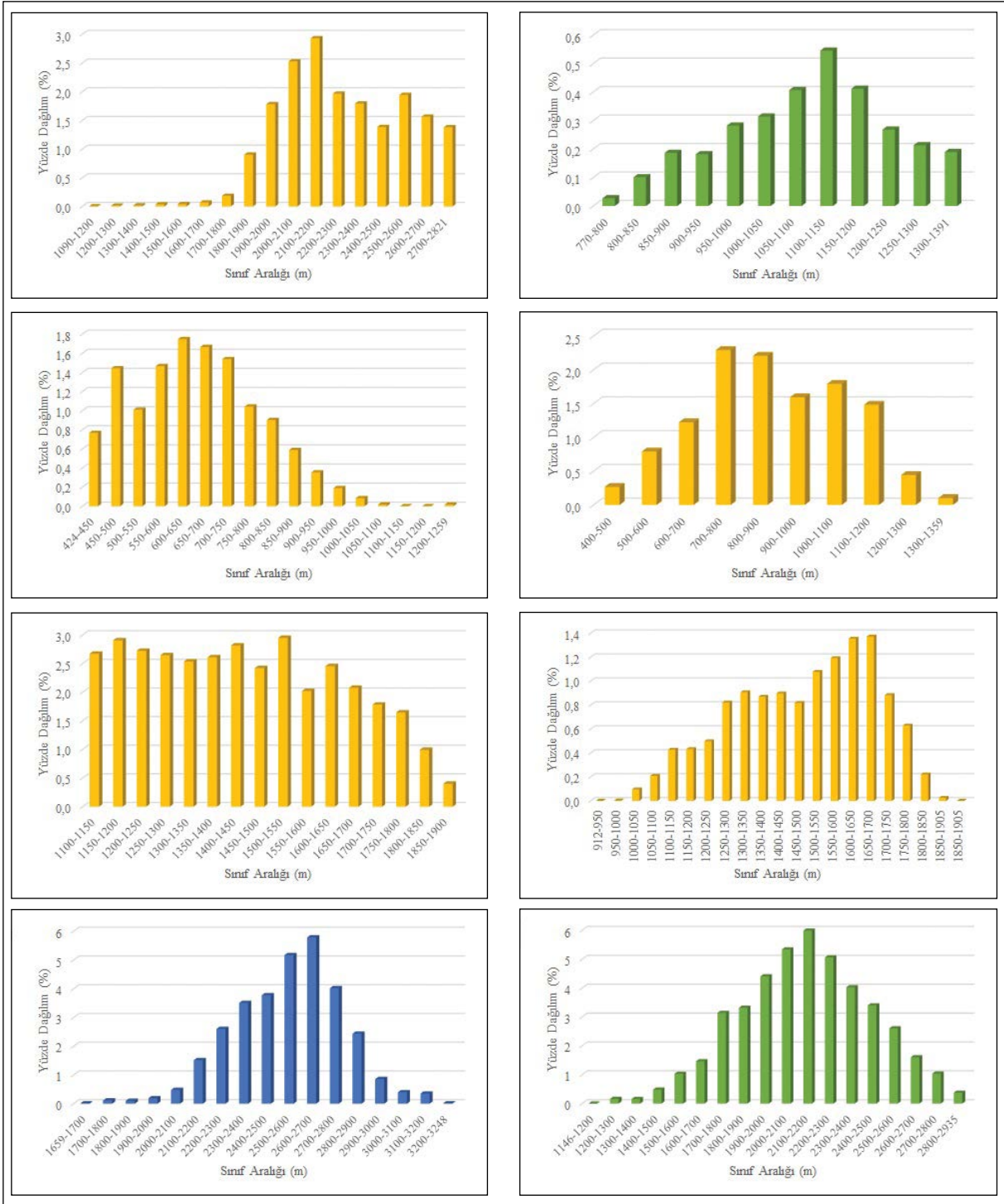
Şekil 5- Devamı.



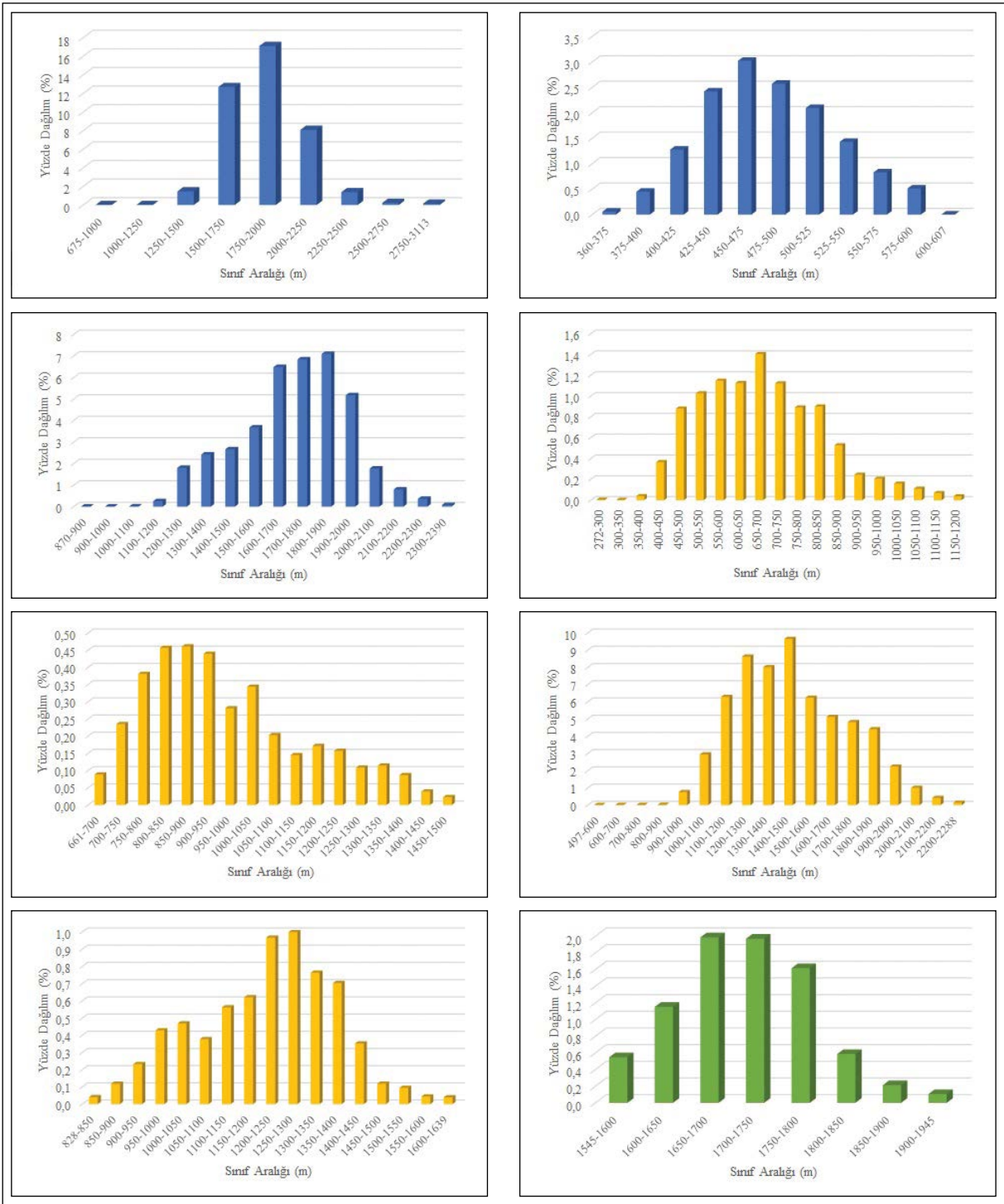
Şekil 5- Devamı.



Şekil 5- Devamı.



Şekil 5- Devamı.



Şekil 5- Devamı.

topoğrafik yükseklik daha çok tercih edilmektedir. Duyarlılık haritalarında parametre olarak tercih edilmesinin en önemli nedeni ise kolay ulaşılabilir ve üretilebilir olmasıdır.

Parametre tek olarak değerlendirildiğinde etkili olmasa da diğer parametrelere etkisinden dolayı dolaylı bir etki söz konusudur. Parametrenin etkisi tüm sistemi de etkilemektedir. En çok etkilenen parametreler ise, yağış, depremsellik, sıcaklık, bitki örtüsü ve insan etkisidir.

Heyelanın meydana geldiği belirli bir yükseklik aralığı yoktur. Her alan kendine has özelliklere sahiptir. Depremselliği olan bir alanda yüksekliğin artması heyelan oluşma şiddetini de arttırmaktadır. Yükseklikle beraber iklim koşulları ve bitki örtüsünün değişmesi de aynı etkinin sonuçlarıdır. Kimi araziler daha düşük kotlardan oluşurken kimileri ise daha yüksek kotlara sahiptir.

Literatürde çok farklı sınıflarda oluşmuş heyelanlar mevcuttur. Her alanın kendine özgü yükseklik değerleri vardır. Bu nedenle yükseklik sınıfları seçilen alanın karakterini yansıtmalıdır. Aynı alanlar için sınıf aralığını belirlemek, farklı alan benzer parametrelerin (iklim, arazi, antropolojik etken ve sıcaklık gibi) etkilerinin birlikte nasıl değerlendirileceği hakkında fikir vermesi açısından literatürden yardım alınabilir.

Literatürde çoğu çalışma, yüksekliğin artması ile heyelan yoğunluğunun da arttığını savunmaktadır. Bunun tam tersi belirli kotlardan sonra heyelan görülemeyeceğini savunan çalışmalarda mevcuttur. Buna ek olarak düşük ve orta yükseklikteki kotların da heyelana daha duyarlı olduğunu savunan çalışmalarda mevcuttur. Literatüre göre bazı çalışmalar, heyelanların belirli kotlarda yoğunlaştığını söylerken, farklı yükseklik kotlarının heyelan duyarlılığına etkilerinin de farklı olduğunu savunan çalışmalar mevcuttur.

Seçilen pafta analizlerinde de görülmüştür ki her alan kendine has karakteristik yükseklik değerlerine sahiptir. Yani heyelanlar kendi çalışma alanlarının yükseklik değerlerine göre değişim göstermektedir. Yani bir alana göre diğer alanda çok yüksek kotlarda heyelan olabileceği gibi düşük kotlarda da heyelanlar meydana gelebilmektedir. Analiz sonuçları göstermiştir ki herhangi bir çalışma alanında heyelan yoğunlukları kademeli olarak artmakta ve belirli bir kot noktasında pik değerine ulaşmaktadır. Daha sonra heyelan yoğunluğu kademeli olarak azalmaktadır.

Yani belirli bir yükseklik değerinde heyelan meydana geleceği öngörülemezken, herhangi bir alan için alanın kendi kot değerlerinde ortalama değerlerde heyelan pik yapmaktadır. Diğer değişkenlere göre de bu pik noktası bazen alanda iki veya üç defa daha gözlenmektedir.

Sonuç olarak her alan için belirleyici bir parametre olmamakla beraber, yüksekliğin etkisi, eğer çalışma alanı farklı yükseklik değerlerine sahip dağlık alanlardan oluşuyorsa belirleyicidir. Ayrıca, aynı sistem içinde yer aldığı parametre değişkenlerine göre de etki değeri değişmektedir. Bir alan için heyelanlar da alanın ortalama yükseklik değerlerinde beklenmelidir. Belirli bir yükseklik değerinde olmasa bile çalışma alanlarının belirli yükseklik değerlerinde (alanların orta kotlarında) heyelanların meydana geldiği belirlenmiştir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, MMF.A4.18.017 numaralı BAP projesi kapsamında hazırlanmıştır.

Değinilen Belgeler

- Abedini, M., Ghasemyan, B., Mogaddam, M.H. 2017. Landslide susceptibility mapping in Bijar City, NW Province of Iran: A comparative study by logistic regression and AHP models. *Environ Earth Science* 292- 308.
- Acharya, S., Pathak, D. 2017. Landslide hazard assessment between Besi Sahar and Tal area in Marsyangdi River Basin, West Nepal. *Int. Journal of Advances in Remote Sensing and GIS* 29-38.
- Aghdam, I.N., Varzandeh, M.H.M., Pradhan, B. 2016. Landslide susceptibility mapping using an Ensemble Statistical Index (Wi) and adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Model at Alborz Mountains (Iran). *Environ Earth Sci* 1-20.
- Akıncı, H., Kılıçoğlu, C. 2015. Production of landslide susceptibility map of Atakum (Samsun) district. *MÜHJEO'2015: National Engineering Geology Symposium*, 3-5 September 2015, Trabzon.
- Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C., Keçeci, S.B. 2010. Production of landslide susceptibility map of Samsun province center. *Electronic Journal of Map Technologies* 13-27.
- Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu C. 2011. Production of landslide susceptibility map of Samsun City Center by using frequency ratio method. *TMMOB*

- Surveying Engineers, 13th Turkey Scientific and Technical Conference 18-22 April 2011, Ankara.
- Akıncı, H., Özalp-Yavuz, A., Özalp, M., Temuçin-Kılıçer, S., Kılıçoğlu, C., Everan, E. 2014. Production of landslide susceptibility maps using bayesian probability theorem. 5. Remote Sensing-GIS Symposium (Uzal-GIS), 14-17 Oct., 2014, İstanbul.
- Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Lee, S. 2016. A novel integrated model for assessing landslide susceptibility mapping using CHAID and AHP pair-wise comparison. *International Journal of Remote Sensing* 37-40.
- Amirahmadi, A., Shiran, M., Zanganeh, Asadi, M., Keramati, F. 2017. Landslide susceptibility zonation using the fuzzy algebraic operators in GIS. *Iran. J. Mater Environ Sci* 50-59.
- Anbalagan, R. 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology* 269-277.
- Anbalagan, R., Singh, B. 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains-a case study from Kumaun Himalaya, India. *Engineering Geology* 237-246.
- Aniya, M. 1985. Landslide-susceptibility mapping in Amahata River Basin, Japan. *Annals of the Association of American Geographers* 102-114.
- Ataol, M., Yeşilyurt, S. 2014. Identification of landslide risk zones along the Çankırı-Ankara (between Akyurt and Çankırı) state road. *Istanbul University Faculty of Letters Department of Geography* 51-69.
- Avcı, V. 2016a. Analysis of landslide susceptibility of Manav Stream Basin (Bingöl). *The Journal of International Social Research* 42-49.
- Avcı, V. 2016b. Landslide susceptibility analysis of Esence Stream Basin (Bingöl) by weight- of- evidence method. *International Journal of Social Science* 287-310.
- Avcı, V. 2016c. The landslide susceptibility analysis of the Gökdere Basin and its surrounding region (The Southwest of Bingöl) according to the frequency ratio method. *Marmara Geographical Review* 160-177.
- Avcı, V., Günek, H. 2014. The distribution of active landslides in Karlıova Basin and surrounding (Bingöl) according to lithology, elevation, slope, inspection and NDVI Parts. *International Journal of Social Science* 445-464.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology* 432-445.
- Baeza, C., Corominas, J. 2001. Assessment of shallow landslides susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms* 251-1263.
- Bai, S.B., Wang, J., Lü, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S., Xu, S.N. 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China. *Geomorphology* 23-31.
- Bai, S.B., Xu, Q., Jian, W., Zhou, P. 2013. Pre-conditioning factors and susceptibility assessments of Wenchuan Earthquake landslide at the Zhouqu Segment of Bailongjiang Basin. *China Journal of the Geological Society of India* 82-95.
- Bai, S.B., Wang, J., Thiebes, B., Cheng, C., Chang, Z.Y. 2014. Susceptibility assessments of the Wenchuan earthquake-triggered landslides in Longnan using logistic regression. *Environmental Earth Sciences* 731-743.
- Balamurugan, G., Ramesh, V., Touthang, M. 2016. Landslide susceptibility zonation mapping using frequency ratio and fuzzy gamma operator models in part of NH-39, Manipur, India. *Nat Hazards* 465-488.
- Balteanu, D., Chendes, V., Sima, M., Enciu, P. 2010. A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania. *Geomorphology* 102-112.
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., Sole, A. 2008. Neural networks and landslide susceptibility: A case study of the urban area of Potenza. *Natural Hazards* 55-72.
- Carrara, A. 1983. Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology* 403-426.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P. 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms* 427-445.
- Chalkias, C., Ferentinou, M., Polykretis, C. 2014. GIS-based landslide susceptibility mapping on the Peloponnese Peninsula, Greece *Geosciences* 176-190.
- Chau, K. T., Chan, J. E. 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island. *Landslides* 280-290.
- Chauhan, S., Sharma, M., Arora, M.K., Gupta, N. K. 2010. Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural

- network. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 340-350.
- Chen, C.W., Saito, H., Oguchi, T. 2015. Rainfall intensity–duration conditions for mass movements in Taiwan, *Progress in. Earth and Planetary Science* 1–13.
- Chen, S.C., Chang, C.C., Chan, H.C., Huang, L.M., Lin, L.L. 2013. Modeling typhoon event-induced landslides using GIS-based logistic regression: A case study of Alishan Forestry Railway, Taiwan. *Math. Prob. Eng.* URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2013/728304/>.
- Chen, W., Chai, H., Sun, X., Wang, Q., Ding, X., Hong, H. 2016a. A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arab J Geosci* 204-215.
- Chen, W., Wang, J., Xie, X., Hong, H., Trung Van N., Bui, D. T., Wang, G., Li, X. 2016b. Spatial prediction of landslide susceptibility using integrated frequency ratio with entropy and support vector machines by different kernel functions. *Environ Earth Sci* 1344-1350.
- Chen, W., Pourghasemi, H. R., Kornejady, A., Zhang, N. 2017. Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning techniques. *Geoderma* 314–327.
- Chen, W., Pourghasemi, H. R., Kornejady, A., Xie, X. 2018. GIS-based landslide susceptibility evaluation using certainty factor and index of entropy ensembled with alternating decision tree models, In book: *Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques. Advances in Natural and Technological Hazards Research* 48-57.
- Chen, W., Sun, Z., Han, J. 2019. Landslide susceptibility modeling using integrated ensemble weights of evidence with logistic regression and random forest models. *Applied Sciences* 17-29.
- Chen, Z., Wang, J. 2007. Landslide hazard mapping using logistic regression model in Mackenzie Valley, Canada. *Natural Hazards* 75-89.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P. 2006. A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environmental Geology* 941-961.
- Coe, J.A., Michael, J.A., Crovelli, R.A., Savage, W.Z., Laprade, W.T., Nashem, W.D. 2004a. Probabilistic assessment of precipitation triggered landslides using historical records of landslide occurrence, Seattle, Washington. *Environ Eng Geosc* 103–122.
- Coe, J.A., Godt, J.W., Baum, R.L., Bucknam, R.C., Michael, J.A., 2004b. Landslide susceptibility from topography in Guatemala, In: Lacerda WA et al. (ed) *Landslides, evaluation and stabilization. Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro*, 69–79.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., Sdao, F. 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria Italy). *Catena* 236-250.
- Creighton, R. 2006. A Report of the Irish Landslides Working Group. *Geological Survey of Ireland* 100-109.
- Çellek, S. 2013. Landslide susceptibility analysis of Sinop-Gerze region. Doctora Thesis, KTU, Trabzon (yayımlanmamış).
- Çellek, S., Bulut, F., Ersoy, H. 2015. Utilization and Application of AHP Method in Landslide Susceptibility Mapping Production (Sinop and its Surroundings), Research Article. *Journal of Geological Engineering* 59-90.
- Çevik, E., Topal, T. 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology* 949-962.
- Dağ, S. 2007. Landslide Susceptibility Analysis of Çayeli (Rize) and its Surrounding by Statistical Methods. Doctorate Thesis, KTU, Trabzon, (yayımlanmamış).
- Dağ, S., Bulut, F. 2012. Preparation of GIS-based landslide susceptibility maps: Çayeli (Rize, NE Turkey) Research Article. *Journal of Geological Engineering* 35-62.
- Dai, F.C., Lee, C.F. 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: A case study. *Can Geotech J* 911–923.
- Dai, F.C., Lee, C.F. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 213–228.
- Dai, F.C., Lee, C.F. 2003. A spatiotemporal probabilistic modelling of storm induced shallow landsliding using aerial photographs and logistic regression. *Earth Surf Process Landforms* 527–545.
- Dehnavi, A., Aghdam, I.N., Pradhan, B., Varzandeh, M.H.M. 2015. A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena* 122–148.
- Demir, G. 2016. Landslide susceptibility assessment of the 1 part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Nat. Hazards Earth Syst Sci* 327-340.

- Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I.C., Dhital, M.R., Althuwaynee, O.F. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Nat. Hazards* 135–165.
- Ding, Q., Chen, W., Hong, H. 2017. Application of frequency ratio, weights of evidence and evidential belief function models in landslide susceptibility mapping. Geocarto International. URL:https://www.researchgate.net/publication/298425978_Application_of_frequency_ratio_weights_of_evidence_and_evidential_belief_function_models_in_ landslide_susceptibility_mapping
- Dou, J., Yamagishi, H., Xu, Y., Zhu, Z., Yunus, A.P. 2017. Characteristics of the torrential rainfall-induced shallow landslides by typhoon bilis, in July 2006, using remote sensing and GIS. In book: GIS Landslide Publisher: Springer Japan, URL:https://www.researchgate.net/publication/317041333_Characteristics_of_the_Torrential_RainfallInduced_Shallow_Landslides_by_Typhoon_Bilis_in_July_2006_Using_Remote_Sensing_and_GIS
- Dölek, İ., Avcı, V. 2016. Determination of areas with landslide susceptibility in Arguvan district (Malatya province) and its surrounding by multicriteria decision analysis method (MDAM). *The Journal of Academic Social Science* 106-129.
- Dragicevi, C.S., Lai, T., Balram, S. 2015. GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments. *Habitat International* 114–125.
- Duman, T.Y., Çan, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Sönmez, H. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Çekmece Area (İstanbul, Turkey). *Environmental Geology* 241-256.
- Eker, A.M., Dikmen, M., Cambazoğlu, S., Akgün, H. 2012. Application of artificial neural network and logistic regression methods to landslide susceptibility mapping and comparison of the results for the Ulus district, Bartın. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 163-173.
- Elkadiri, R., Sultan, M., Youssef, A.M., Elbayoumi, T., Chase, R., Bulki, A.B., Al-Katheeri, M.M. 2014. A remote sensing-based approach for debris-flow susceptibility assessment using artificial neural networks and logistic regression modeling. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 4818–4835.
- Ercanoğlu, M. 2003. Production of landslide susceptibility maps by fuzzy logic and statistical methods: Western Black Sea Region (Kumluca-Yenice). Doctora Thesis, Hacettepe University, Ankara, (yayımlanmamış).
- Ercanoğlu, M. 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards Earth System Science* 979–992.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology* 720–730.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology* 229–250.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, Th. W.J. 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards* 1–23.
- Ercanoğlu, M., Kasmer, O., Temiz, N. 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 565–578.
- Erener, A., Lacasse, S., 2007. Landslide Susceptibility Mapping Using GIS. TMMOB Chamber of Survey and Cadastre Engineers National Geographic Information Systems Congress, KTÜ, Trabzon.
- Fenghuan, S., Peng, C., Jianqiang, Z., Lingzhi, X., 2010. Susceptibility assessment of landslides caused by the Wenchuan earthquake using a logistic regression model. *Journal of Mountain Science* 234-245.
- Fernandez, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chacon, J. 2003. Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS. Application to the contraviesa area (Granada, Spain). *Nat. Hazards* 297–308.
- Fernandez, T., Jimenez, J., Fernandez, P., El Hamdouni, R., Cardenal, F.J., Delgado, J., Irigaray, C., Chacon, J. 2008. Automatic detection of landslide features with remote sensing techniques in the Betic Cordilleras (Granada, Southern Spain). *Int Soc Photogramme*, 351-356.
- Gallart, F., Clotet, N. 1988. Some aspects of the geomorphic processes triggered by an extreme rainfall event: The November 1982 flood in The Eastern Pyrenees. *Catena* 79–95.
- Gattinoni, P. 2009. Parametrical landslide modeling for the hydrogeological susceptibility assessment: from the Crati Valley to the Cavallerizzo landslide

- (Southern Italy). *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards* 161-178.
- Goetz, J.N., Brenning, A., Petschko, H., Leopold, P. 2015. Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. *Comput. Geosci.* 1–11.
- Gomez, H., Kavzoğlu, T. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology* 11–27.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P. 2008. Discerning landslide susceptibility using rough sets. *Computers, Environment and Urban Systems* 53-65.
- Gorsevski, P.V., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D., Frizado, J.P. 2012. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management* 287-296.
- Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. 2001. Uncertainties on the parameters employed in preparation of landslide susceptibility maps. *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 189-206.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., Çan, T. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide–susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology* 65–83.
- Görçelioğlu, E. 2003. Flood and avalanche control. Istanbul University Publication Faculty of Forestry Publication, 473-490.
- Görüm, T. 2006. Landslide susceptibility analysis with geographic information systems and statistical methods: Melen Gorge and near vicinity. Istanbul University, Master Thesis, Istanbul (yayımlanmamış).
- Gritzner, M.L., Marcus, W.A., Aspinall, R., Custer, S.G. 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes. Payette River, Idaho, *Geomorphology* 149-165.
- Gruber, S., Haeberli, W. 2007. Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *J Geophys Res* 112-130, URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006JF000547>
- Hasekioğulları, G.D. 2011. Assessment of parameter effects in producing landslide susceptibility maps. Master Thesis, Hacettepe University, Ankara (yayımlanmamış).
- He, S., Li, D., Wu, Luo, Y. 2011. Study on the rainfall and aftershock threshold for debris flow of post-earthquake. *J. Mountain Sci* 750–756.
- Hong, H., Chen, W., Xu, C., Youssef, A.M., Pradhan, B., Tien, Bui, D. 2017a. Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor, and index of entropy. *Geocarto Int* 139–154.
- Hong, H., Iliä, I., Tsangaratos, P., Chen, W., Xu, C. 2017b. A hybrid fuzzy weight of evidence method in landslide susceptibility analysis on the Wuyuan area, China. *Geomorphology* 1–16.
- Iliä, I., Tsangaratos, P. 2016. Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map. *Landslides* 379–397.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., Sattarian, A. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *Int J Environ Sci Technol* 909–926.
- Jaafari, A., Najafi, A., Rezaeian, J., Sattarian, A. 2015a. Modeling erosion and sediment delivery from unpaved roads in the north mountainous forest of Iran. *International Journal on Geomathematics* 343–350.
- Jaafari, A., Najafi, A., Rezaeian, J., Sattarian, A., Ghajar, I. 2015b. Planning road networks in landslide-prone areas: A case study from the northern forests of Iran. *Land Use Policy* 198–208.
- Jebur, M.N., Pradhan, B., Tehrany, M.S. 2015. Manifestation of LiDAR derived parameters in spatial prediction of landslides using a novel ensemble evidential belief functions and support vector machine models in GIS. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* 674-689.
- Jimenez-Peralvarez, J.D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chacon, J. 2009. Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS. *Nat Hazards*, 571 – 590.
- Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C. 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *Journal of Geotechnical Engineering ASCE* 475–494.
- Kamp, U., Growley, B.J., Khattak, G.A., Owen, L.A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology* 631–642.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ. 2010. Classification of Satellite Images Using Decision Trees: Kocaeli Case. *Electronic Journal of Map Technologies* 36-45.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Şahin, E.K. 2012. Investigation of the Effects of Factors Used in Production of Landslide Susceptibility Maps: A Case Study in Düzköy. IV. Remote Sensing and Geographic Information Systems Symposium (UZAL-GIS), Oct., 2012, Zonguldak.

- Kavzoğlu, T., Şahin, E.K., Çölkesen, İ. 2014. Factor Selection based on Chi-Square Test in Landslide Sensitivity Analysis. V. Remote Sensing and Geographical Information Systems Symposium (UZAL-GIS), 14-17 Oct.,2014, İstanbul.
- Kornejady, A., Heidari, K., Nakhavali, M. 2015. Assessment of landslide susceptibility, semi-quantitative risk and management in the Ilam dam basin, Ilam, Iran *Environ Resour Res* 85–109.
- Kornejady, A., Ownegh, M., Bahremand, A. 2017a. Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena* 144–162.
- Kornejady, A., Ownegh, M., Rahmati, O., Bahremand, A. 2017b. Landslide susceptibility assessment using three bivariate models considering the new topohydrological factor: HAND. *Geocarto Int* 1155–1185.
- Koukis, G., Ziourkas, C. 1991. Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis. *Bulletin of International Association of Engineering Geologists* 47-60.
- Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., Rozos, D., Vallianatos, F. 2014. Landslide susceptibility mapping by comparing the WLC and WofE multicriteria methods in the West Crete Island, Greece. *Environ Earth Sci*.
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., Li, R.H., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China *Eng Geol* 109–128.
- Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides* 33–41.
- Lee, S., Choi, J., Min, K. 2002. Landslide susceptibility analysis and verification using the bayesian probability model. *Environmental Geology* 120-131.
- Leonardi, G., Palamara, R., Cirianna, F. 2016. Landslide Susceptibility mapping using a fuzzy approach procedia engineering, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, WMCAUS, 380–387.
- Liu, C., Li, W., Wu, H. 2013. Susceptibility evaluation and mapping of China's landslides based on multi-source data. *Natural Hazards* 1477–1495.
- Liu, S., Wu, Y. 2016. Landslide susceptibility mapping in the Gangu County, China using artificial neural network and Gis. *Bund* 7614-7628.
- Mashari, S., Solaimani, K., Omidvar, E. 2012. Landslide susceptibility mapping using multiple regression and gis tools in Tajan Basin, north of Iran. URL:https://www.researchgate.net/publication/311921212_Landslide_Susceptibility_Mapping_Using_Multiple_Regression_and_GIS_Tools_in_Tajan_Basin_North_of_Iran
- Mazman, T. 2005. Landslide susceptibility assessment in Kumluca (SE Bartın) watershed by georaphic information systems and statistical analysis methods. Master Thesis, Çukurova University, Adana (yayımlanmamış).
- Meng, Q., Miao, F., Zhen, J., Wang, X., Wang, A., Peng, Y., Fan, Q. 2015. GIS-based landslide susceptibility mapping with logistic regression, analytical hierarchy process, and combined fuzzy and support vector machine methods: A case study from Wolong Giant Panda Natural Reserve, China *Bull Eng Geol Environ*.
- Meng, X., Pei, X., Liu, Q., Zhang, X., Hu, Y. 2016. GIS-based environmental assessment from three aspects of geology, ecology and society along the road from Dujiangyan to Wenchuan, Mt Res 110–120.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights of evidence models. *J Asian Earth Sci* 221-230.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes* 23-30.
- Moradi, S., Rezaei, M. 2014. A GIS-based comparative study of the analytic hierarchy process, bivariate statistics and frequency ratio methods for landslide susceptibility mapping in part of the Tehran metropolis, Iran *J Geope* 45-61.
- Myronidis, D., Papageorgiou, C., Theophanous, S. 2016. Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). *Nat. Hazards* 245–263.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod, Kumar, R., Mukherjee, A., Khire, M.V. 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 275–287.
- Nefeslioğlu, H., Gökceoğlu, C., Sönmez, H. 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology* 171-191.
- Nourani, V., Pradhan, B., Ghaffari, H., Sharifi, S.S. 2014. Landslide susceptibility mapping at Zonouz Plain,

- Iran using genetic programming and comparison with frequency ratio, logistic regression and artificial neural network models. *Nat Hazards* 523–547.
- Ochoa, G. 1978. La influencia de la altitud sobre algunas propiedades fisico-químicas de los suelos de los Andes venezolanos. *Revista Geografica* 56–72.
- Oh, H.J., Pradhan, B. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers&Geosciences* 1264-1276.
- Opiso, E.M., Puno, G.R., Albuero, J.L.P., Detalla, A.L. 2016. Landslide susceptibility mapping using GIS and FR method along the Cagayan de Oro-Bukidnon-Davao City route corridor, Philippines. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2506–2512.
- Özdemir, A. 2009. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS. *Environ Geol* 1675–1686.
- Özdemir, A., Altural, T. 2013. A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *J Asian Earth Sci* 180–197.
- Özşahin, E. 2015. Landslide susceptibility analysis by geographical information systems: the case of Ganos Mount (Tekirdağ). *Electronic Journal of Map Technologies* 47-63.
- Özşahin, E., Kaymaz, Ç.K. 2013. Landslide susceptibility analysis of camili (Macahel) Biosphere Reserve Area (Artvin, NE Turkey). *Turkish Studies - International Periodical for The Languages, Literature And History Of Turkish Or Turkic*, 471-493.
- Pachauri, A.K., Pant, M. 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology* 81-100.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V., Chander, R. 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Env Geol* 325-334.
- Padrones, J. T., Ramos, N.T., Dimalanta, C.B., Queaño, K.L., Faustino-Eslava, D.V., Yumul, G.P. Jr., Watanabe, K. 2017. Landslide Susceptibility mapping in a geologically complex terrane: A case study from northwest Mindoro, Philippines Manila. *Journal of Science* 25–44.
- Park, S., Jeon, S., Choi, C. 2010. Mapping urban growth probability in South Korea: Comparison of frequency ratio, analytic hierarchy process, and logistic regression models and use of the environmental conservation value assessment. *Landscape and Ecological Engineering*.
- Pawluszek, K., Borkowski, A. 2017. Impact of DEM-derived factors and analytical hierarchy process on landslide susceptibility mapping in the region of Rożnów Lake, Poland. *Natural Hazards* 919–952.
- Peng, L., Niu, R., Huang, B., Wu, X., Zhao, Y., Ye, R. 2014. Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China. *Geomorphology* 287–301.
- Pham, B.T., Tien, Bui, D., Indra, P., Dholakia, M. 2015. Landslide susceptibility assessment at a part of Uttarakhand Himalaya, India using GIS-based statistical approach of frequency ratio method. *Int J Eng Res Technol* 338–344.
- Pham, B.T., Bui, D.T., Dholakia, M., Prakash, I., Pham, H.V. 2016. A comparative study of least square support vector machines and multiclass alternating decision trees for spatial prediction of rainfall-induced landslides in a tropical cyclones area. *Geotech Geol Eng* 1–18.
- Pham, B.T., Bui, D.T., Prakash, I., Dholakia, M.B. 2017. Hybrid integration of multilayer perceptron neural networks and machine learning ensembles for landslide susceptibility assessment at Himalayan area (India) using GIS. *Catena* 52–63.
- Pourghasemi, H.R., Beheshtirad, M. 2015. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto Int* 662–685.
- Pourghasemi, H.R., Kerle, N. 2016. Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran province, Iran. *Environmental Earth Sciences* 185.
- Pourghasemi, H.R., Rossi, M. 2017. Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. *Theor Appl Climatol* 609–633.
- Pourghasemi, H.R., Gökçeoğlu, C., Pradhan, B., Deylami, Moezzi, K. 2012a. Landslide susceptibility mapping using a spatial multicriteria evaluation model at Haraz Watershed Iran, In: Pradhan B, Buchroithner M (eds) *Terrigenous mass movements*, Springer Berlin, 23–49.
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C. 2012b. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed Iran. *Nat Hazards* URL:https://www.researchgate.net/publication/230875072_Application_of_fuzzy_logic_and_analytical_hierarchy_process_AHP

- to_landslide_susceptibility_mapping_at_Haraz_watershed_Iran
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B. 2012c. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena* 97, 71–84.
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C. 2012d. Remote sensing data derived parameters and its use in landslide susceptibility assessment using Shannon's entropy and GIS. *AEROTECH IV–2012, Appl Mech Mater*, 486–491.
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C., Mohammadi, M., Moradi, H.R. 2012e. Application of weights-of-evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Arab J Geosci* 2351–2365.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Aghda, S.F. 2013a. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat Hazards* 749–779.
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C., Mohammadi, M., Moradi, H.R., 2013b. Application of weights-of-evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Arab J Geosci* 2351.
- Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., Rossi, M. 2014. Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests, Golestan province, Iran. *Environ Earth* 1515–1533.
- Pradhan, A.M.S., Kim, Y.T. 2014. Relative effect method of landslide susceptibility zonation in weathered granite soil: a case study in Deokjeok-ri Creek, South Korea. *Natural Hazards* 1189–1217.
- Pradhan, A.M.S, Kim, Y.T. 2015. Application and comparison of shallow landslide susceptibility models in weathered granite soil under extreme rainfall events. *Environ. Earth Sci* 5761–5771.
- Pradhan, A.M.S., Kim, Y.T. 2017. Spatial data analysis and application of evidential belief functions to shallow landslide susceptibility mapping at Mt. Umyeon, Seoul, Korea. *Bull Eng Geol Environ* 1263–1279.
- Pradhan B, Abokharima, M.H., Jebur, M.N., Tehrani, M.S. 2014. Land subsidence susceptibility mapping at Kinta Valley (Malaysia) using the evidential belief function model in GIS. *Nat Hazards* 112.
- Raja, N. B., Çiçek, I., Türkoğlu, N., Aydın, O., Kawasaki, A. 2017. Landslide susceptibility mapping of the Sera River Basin using logistic regression model. *Natural Hazards* 1323-1346.
- Ramesh, V., Anbazhagan, S. 2015. Landslide susceptibility mapping along Kolli hills Ghat road section (India) using frequency ratio, relative effect and fuzzy logic models. *Environ Earth Sci* 8009–8021.
- Ray, R.L., Jacobs, J.M. 2007. Relationships among remotely sensed soil moisture, precipitation and landslide events. *Natural Hazards* 211–222.
- Rozos, D.E.L., Skias, P.S., Tsangaratos, P. 2008. An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. *Landslides* 261-270.
- Rozos, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D. 2010. Landslide susceptibility mapping of the northeastern part of Achaia Prefecture using Analytical Hierarchical Process and GIS techniques. *Bulletin of the geological society of Greece, Proceeding of the 12th International Congress, Patras may, XLIII*, 1637-1646.
- Rozos, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D. 2011. Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: A case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus Greece. *Environ Earth Sci* 49–63.
- Sabatidakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S. 2013. Landslide susceptibility zonation in Greece. *Natural Hazards* 523–543.
- Saadatkahi, N., Kassimi, A., Lee, M. L. 2014. Qualitative and quantitative landslide susceptibility assessments in Hulu Kelang area, Malaysia. *EJGE*, 545-563. URL: <http://www.ejge.com/2014/Ppr2014.047mar.pdf>
- Sadr, M. P., Abbas, M., Bashir, S.S. 2014. Landslide susceptibility mapping of Komroud sub-basin using fuzzy logic approach. *Geodyn Res Int Bull* 14–27.
- Sancar, C. 2000. Economy-ecology sensitive planning model and GIS for determination of urban development areas and planning. Phd Thesis, KTU, Trabzon (yayımlanmamış).
- Schicker, R., Moon, V. 2012. Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale. *Geomorphology* 40-57.
- Sezer, E.A., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C. 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Applications* 8208-8219.
- Shrestha, S., Kang, T.S., Suwal, M. 2017. An Ensemble model for co-seismic landslide susceptibility using gis and 29 random forest method. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 365.

- Simon, N. de Róiste M., Crozier, M., Rafek, A.G. 2017. Representing Landslides as Polygon (Areal) or Points? How Different Data Types Influence the Accuracy of Landslide Susceptibility Maps, *Sains Malaysiana*, 27-34.
- Sujatha, E.R., Kumaravel, P., Rajamanickam, G.V. 2014. Assessing landslide susceptibility using Bayesian probability-based weight of evidence model. *Bull Engg Geol Environ* 147–161.
- Süzen, M.L., Doyuran, V. 2004a. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology* 303-321.
- Süzen, M.L., Doyuran, V. 2004b. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: Multivariate Versus Bivariate. *Environmental Geology* 665-679.
- Süzen, M.L., Kaya, B.Ş. 2011. Evaluation of environmental parameters in logistic regression models for landslide susceptibility mapping. *Int J Digit Earth* 1–18.
- Tangestani, M.H. 2003. Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS, Kakan catchment area, Iran. *Map India Conference*. URL: file:///C:/Users/Dekan/Downloads/Landslide susceptibility_mapping_using_thefuzzyg.pdf
- Tangestani, M. H. 2004. Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma approach in a GIS, Kakan catchment area, southwest Iran. *Australian Journal of Earth Sciences* 439–450.
- Tanoli, J. I., Ningsheng, C., Regmi, A. D., Jun, L. 2017. Spatial distribution analysis and susceptibility mapping of landslides triggered before and after Mw7.8 Gorkha earthquake along Upper Bhote Koshi, Nepal. *Arabian Journal of Geosciences* 10-13.
- Tazik, E., Jahantab, Z., Bakhtiari, M., Rezae, A., Alavipanah, S. K. 2014. Landslide susceptibility mapping by combining the three methods Fuzzy Logic, Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Dozain Basin. *International Conference on Geospatial Information Research (GI Research)* 15-17 November 2014, Tehran, Iran.
- Tsangaratos, P., Ilia, I. 2016. Comparison of a logistic regression and Naïve Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: the influence of models complexity and training dataset size. *Catena* 164–179.
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Neamah, Jebur, M., Shafapour, Tehrani, M. 2014. Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera province, Indonesia. *Catena* 124–135.
- Vivas, L. 1992. *Los Andes Venezolanos*, Academia Nacional de la Historia, Caracas.
- Wan, S., Lei, T. C., Chou, T.Y. 2012. A landslide expert system: image classification through integration of data mining approaches for multi-category analysis. *International Journal of Geographical Information Science* 747-770.
- Wang, H. Q., He, J., Liu, Y., Sun, S. 2016. Application of analytic hierarchy process model for landslide susceptibility mapping in the Gangu County, Gansu Province, China. *Environ Earth Sci* 422.
- Wang, L., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., Zhang, J. 2015. Landslide susceptibility mapping in Mizunami city, Japan: a comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models. *Geomorphology* 271–282.
- Wang, Y., Zhao, B., Li, J. 2017. Mechanism of the catastrophic June 2017 landslide at Xinmo Village, Songping River, Sichuan Province, China. *Landslides* 333–345.
- Wu, Y., Ke, Y. 2016. Landslide susceptibility zonation using GIS and evidential belief function model. *Arabian Journal of Geosciences* 697.
- Wu, Y., Li, W., Liu, P., Bai, H., Wang, Q., He, J., Liu, Y., Sun, S. 2016. Application of analytic hierarchy process model for landslide susceptibility mapping in the Gangu County, Gansu Province, China. *Environ Earth Sci* 422.
- Xu, C., Xu, X.W. 2012. Spatial prediction models for seismic landslides based on support vector machine and varied kernel functions: a case study of the 14 April 2010 Yushu earthquake in China. *Chin J Geophys* 666–679.
- Xu, C., Xu, X.W. 2013. Controlling parameter analyses and hazard mapping for earthquake triggered-landslides: an example from a square region in Beichuan County, Sichuan Province, China. *Arab J Geosci* 3827–3839.
- Xu, C., Xu, X., Shen, L., Yao, Q., Tan, X., Kang, W., Ma, S., Wu, X., Cai, J., Gao, M., Li, K. 2016a. Optimized volume models of earthquake-triggered landslides. *Scientific Reports* 6, 29797.
- Xu, C., Xu, X., Tian, Y., Shen, L., Yao, Q., Huang, X., Ma, J., Chen, X., Ma, S. 2016b. Two comparable earthquakes produced greatly different coseismic landslides: The 2015 Gorkha, Nepal and 2008 Wenchuan, China events. *Journal of Earth Science* 1008-1015.

- Yalçın, A., Reis, S., Aydınoğlu, A.C., Yomralıoğlu, T. 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena* 274-287.
- Yang, Z.H., Lan, H.X., Gao, X., Li, L.P., Meng, Y.S., Wu, Y.M. 2015. Urgent landslide susceptibility assessment in the 2013 Lushan earthquake-impacted area, Sichuan Province, China. *Nat Hazards* 2467–2487.
- Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C. 2008. Landslide susceptibility mapping based on Support Vector Machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology* 572-582.
- Yılmaz, Ç., Topal, T., Süzen, M.L. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). *Environmental Earth Sciences* 2161-2178.
- Yılmaz, I. 2009a. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bull Eng Geol Environ* 297–306.
- Yılmaz, I. 2009b. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). *Comput Geosci* 1125–1138.
- Yılmaz, I. 2010. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine. *Environ Earth Sci* 821–836.
- Yılmaz, I., Keskin, İ. 2009. GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Şebinkarahisar, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 459-471.
- Youssef, A.M. 2015. Landslide susceptibility delineation in the Ar-Rayth Area, Jizan, Kingdom of Saudi Arabia, by using analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic regression models. *Environ Earth Sci* 8499–8518.
- Youssef, A.M., Al-Kathery, M., Pradhan, B. 2014a. Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher Area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Geosci J* 113–134.
- Youssef, A. M., Al-Kathery, M., Pradhan, B., Elsahly, T. 2014b. Debris flow impact assessment along the Al-Raith Road, Kingdom of Saudi Arabia, using remote sensing data and field investigations. *Geomat Nat Hazards Risk* 7-20.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., Jebur, M. N., El-Harbi, H. M., 2014c. Landslide susceptibility mapping using ensemble bivariate and multivariate statistical models in Fayfa area, Saudi Arabia. *Environ Earth Sci* 73-80.
- Youssef, A.M., Al-Kathery, M., Pradhan, B. 2015. Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher Area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Geosci J* 113–134.
- Yüksel, N. 2007. Usage of statistical techniques and artificial neural networks in producing landslide susceptibility maps based on geographical information systems: Kumluca-Ulus (Bartın) region. Phd Thesis, Hacettepe University, Ankara (yayımlanmamış).
- Zare, M., Jouri, M.H., Salarian, T., Askarizadeh, D., Miarrostami, S. 2014. Comparing of bivariate statistic, AHP and combination methods to predict the landslide hazard in northern aspect of Alborz Mt. (Iran). *Intl J Agri Crop Sci* 543-554.
- Zhang, J., Yin, K., Wang, J., Liu, L., Huang, F. 2016a. Evaluation of landslide susceptibility for Wanzhou district of three Gorges reservoir. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering* 35.
- Zhang, J. Q., Liu, R. K., Deng, W., Khanal, N. R., Gurung, D. R., Sri, Ramachandra, Murthy, M., Wahid, S. 2016b. Characteristics of landslide in Koshi River Basin, Central Himalaya. *Journal of Mountain Science* 1711–1722.
- Zhang, K., Wu, X., Niu, R., Yang, K., Zhao, L. 2017. The Assessment of landslide susceptibility mapping using random forest and decision tree methods in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Environ Earth Sci* 405.
- Zhang, M.S., Dong, Y., Sun, P.P. 2012. Impact of reservoir impoundment-caused groundwater level changes on regional slope stability: a case study in the Loess Plateau of Western China. *Environ Earth Sci* 1715–1725.
- Zhao, W., Li, A., Deng, W. 2014. Surface energy fluxes estimation over the South Asia subcontinent through assimilating MODIS/TERRA satellite data with In Situ observations and GLDAS product by SEBS model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 3704–3712.
- Zhu, H. H., Shi, B., Yan, J. F., Zhang, J., Zhang, C. C., Wang, B. J. 2014. Fiber Bragg grating-based performance monitoring of a slope model subjected to seepage. *Smart Mater Struct* 23, 095027. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/23/9/095027>

Zhuang, J., Peng, C., Wang, G., Chen, X., Iqbal, J., Guo, X. 2015. Rainfall thresholds for the occurrence of debris flows in the Jiangjia Gully, Yunnan Province, China. *Engineering Geology*, 195. URL:https://www.researchgate.net/publication/281746840_Rainfall_thresholds_for_the_occurrence_of_debris_flows_in_the_Jiangjia_Gully_Yunnan_Province_China

Zolotraev, W.H. 1976. Present day problems in the engineering geological investigation of landslides, falls and mudflows in mountainous folded regions. In: Hutchinson JN (ed) *Geological factors and mechanism involved in the development of landslides, falls and mudflows*. UNESCO, Paris, 5-34.

