






Heyelan tetikleyici faktörlerine bağlı mekânsal hassasiyet değerlendirmesi

Spatial sensitivity assessment based on landslide trigger factors

Mehmet Emin Cihangir*^a  Tolga Görüm^b  Hakan Ahmet Nefeslioğlu^c 

^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş.

^b İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.

^c Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 29.03.2018

Kabul/Accepted: 15.05.2018

Anahtar Kelimeler:

Heyelan
 Mekansal hassasiyet
 Tetikleyici faktör
 M-AHP

Keywords:

Landslide
 Spatial sensitivity
 Trigger factor
 M-AHP

***Sorumlu yazar/Corresponding author:**
 (M.E. Cihangir) m.e.cihangir@gmail.com

DOI: 19.17211/tcd.410998

Atf/Citation:

Cihangir, M.E., Görüm, T. ve Nefeslioğlu, H.A. (2018). Heyelan tetikleyici faktörlerine bağlı mekânsal hassasiyet değerlendirmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (70), 133-142.
 DOI:19.17211/tcd.410998.

ÖZ / ABSTRACT

Kelkit Çayı Vadisi heyelan yoğunluğu bakımından Türkiye ortalamasının üzerindedir. Bu vadi yamaçlarının üst kesimlerinde yapısal düzlüklerin bulunduğu alanlarda kış aylarında biriken kar ilkbahar aylarında aniden erimektedir. Eriyen kar, bu düzlüklerin önündeki eğimli yamaçlarda su çıkışlarına neden olmakta ve büyük katastrofik heyelanları tetiklemektedir. Gözlem ve literatür araştırmaları sonucunda bu tetiklenmenin kış aylarında vadideki bazı yamaçlarda karın uzun süre tutunması, ilkbaharda güneş radyasyonuna bağlı eridikten sonra sızması ve akışa geçmesiyle gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu etkinin yüksek olduğu yamaçlarda heyelan hassasiyetinin de yüksek olduğu bilinmektedir. Tetikleyici faktör bakımından yamaç hassasiyetini belirlemek çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla çalışma alanı 3600 fiziki yamaç ünitesine bölümlenmiştir. Bu ünitelerin tutunma, sızma ve akış hassasiyetini belirlemek için, uzman görüşü tarafından etken faktörler ve etki derecelerinin belirlendiği M-AHP yöntemi kullanılmıştır. Tutunma modeli için çok çözümlü vadi taban düzlüğü indeksi, yükselti ve baki, sızma modeli için solar radyasyon, Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNI) ve Hidrolojik Toprak Grubu (HTG), akış modeli için ise eğim, rölyef ve HTG parametreleri kullanılmıştır. Tutunma, sızma ve akış için en yüksek kararın alındığı yamaç üniteleri belirlenerek ana tetikleyici kar erimelerinin mekânsal hassasiyet üzerinde etkisi ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlarda birden fazla modelin çıktısının en yüksek (örn. tutunma-sızma-akış) değerini taşıyan yamaçlarda mekânsal hassasiyetin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu yamaçların özellikle kuzey blokta heyelanların başlangıç bölgelerine karşılık geldiği ortaya çıkmıştır. Heyelana elverişli zemini hazırlayan "tutunma-sızma" yamaçlarının ise eski heyelan içlerine, "sızma-akış" yamaçlarının ise özellikle kuzey yamaçlar olmak üzere heyelanların transfer zonlarına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Kuzey yamaçlarda sızmanın yüksek olmasından kaynaklı su içeriğinin fazla olması bu yamaçlarda heyelanın tektiklenmesine neden olmaktadır. Bunun dışında çalışma alanının güney bloğunda ise "tutunma-akış"ın etkin olduğu yamaçlar bulunmaktadır.

Kelkit Valley has landslide density higher than the Turkey average. Accumulated snow in winter rapidly melt at the spring months and it cause water outlets on high slopes in front of these plateau and this triggers large catastrophic landslides. As a result of observation and literature investigations, it has been determined snow stay on the ground for a long term, after melt in the spring due to solar radiation it being infiltration and finally it passing flow all of which triggers landslide. It is known that landslide sensitivity is high on slopes where this effect is high. The purpose of this study is determine slope sensitivity in terms of trigger factor. For this purpose, the study area is physically divided into 3600 slope units. The M-AHP method was used to for determine the snow adhesion, infiltration, and flow sensitivity of these units, including the factors and the impact levels on this sensitivity via the expert opinion. Multi Resolution Valley Bottom Flatness, altitude and aspect parameters were used for snow adhesion. Topographic Wetness Index (TWI), Hydrologic Soil Group (HSG) and solar radiation parameters were used for the infiltration. Altitude, slope and Hydrologic Soil Group (HSG) parameters were used for the flow. The slope units that the highest decision is determine was made for adhesion, infiltration and flow were determined the spatial sensitivity based on main triggering snowmelt. In the results obtained, it was found that the spatial sensitivity is higher in the slopes having the highest value of the output of more than one model (e.g., snow adhesion-infiltration-flow). It was determined these slopes especially correspond to the starting regions of the northern block landslides. It has been found that the adhesion-infiltration slopes, which prepare convenient ground, correspond to the old-landslide, and infiltration-flow slopes correspond to the transfer zones of the landslides especially the northern block. Due to the high infiltration on the northern slopes, the water content be high and the landslide is triggered on these slopes. Apart from this, the adhesion-flow slopes effect in the southern block of the study area more.

1. Giriş

Heyelanlar; yağış, ani kar erimeleri, deprem ve antropojenik etkiler sonucu tetiklenmektedir (Glade vd., 2000; Larsen & Simon, 1993). Bu tetikleyici faktörlerin büyüklüğü aynı zamanda heyelan dağılım ve büyüklüğü üzerinde etkin bir rol oynamaktadır (Cihangir ve Görüm 2016). Örneğin depremin odak noktasından ve faydan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğu ve büyüklüklerinde belirgin farklılıkların olduğu birden fazla çalışmada ortaya konulmuştur (Owen vd., 2008; Dai vd., 2011; Gorum vd., 2011; Cihangir ve Görüm, 2016). Benzer şekilde yağış ve şiddetli kasırgalar gibi hidro-meteorolojik doğal tetikleyiciler de heyelan dağılım karakteristiği üzerinde etkilidir (Dai ve Lee, 2001; Gorum vd., 2008; Wu vd., 2011; Regmi vd., 2014). Tetikleyici faktörlerin etki dereceleri, yamacı oluşturan materyale, topoğrafik ve hidro-jeolojik koşullara göre farklılıklar oluşturmaktadır. Bu farklılıklar; heyelan büyüklüğü, hızı, hareketi ve tipi üzerinde etkilidir (Crozier, 1997; Dikau ve Schrott, 1999). Tetikleyici faktörün bu etkisi genel olarak heyelanın geliştiği yamacı bütünüyle etkilemektedir.

Çalışmaya konu olan Kelkit Vadisi'nde gelişen büyük heyelanlar üzerinde etkili olan tetikleyici faktörün ani kar erimeleri olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir (Gökçeoğlu vd., 2005; Ulusay vd., 2007; Cihangir ve Görüm, 2016). Bir tetikleyici faktör olarak kar erimeleri; kar yağışının tutunma, erime, sızma ve akışa kadar geçen süreci boyunca heyelan gelişimi üzerinde etkili olmaktadır. Bu süreç üzerinde yamaç eğriselliği, bakı, eğim, engebelilik oranı gibi topoğrafik faktörlerin yanı sıra litoloji, zemin yapısı, tekstürü, toprak örtüsü, toprağın mineral özellikleri de etkili olmaktadır.

Kuzey yarımküre için, tutunma üzerinde kuzeye bakan yamaçlar, güneye bakan yamaçlara göre daha az güneş radyasyonuna maruz kaldığından yağış bu yamaçlarda daha etkili olmaktadır. Ayrıca arz radyasyonunun etkisinin bu yamaçlarda göreceli olarak düşük olması zeminin kurumasını geciktirmekte ve daha nemli kalmasını sağlamaktadır. Bu etkenler kuzeye bakan yamaçlarda karın daha kalın ve yerde tutunma süresinin uzamasına yol açmaktadır. Karın uzun süre yerde kalarak tutunmasını sağlayan bir diğer faktör ise yükseltidir. Yükseltinin fazla olduğu yamaçlarda düşük sıcaklığa bağlı olarak kar tutunma süreleri de uzamaktadır. Kar tutunmasını sıcaklık bakımından etkileyen bakı ve yükselti etkisinin yanında karın bulunduğu zeminin düz olması da karın yayılımını etkilemektedir. Sıcaklığın düşük olduğu düz alanlarda kar harekete geçmediğinden dolayı sürtünmeye bağlı enerji kaybı ve dolayısıyla erime oranı azalacağından düz alanlarda daha uzun tutunabilmektedir. Yerde tutunan kar güneş radyasyonunun şiddetine bağlı olarak eriyen karların yayıldığı alanlarda ve toprağın strüktür ve tekstür yapısına bağlı sızma oranı değişmektedir. Sızma toprağın infiltrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Toprağın infiltrasyonu, zeminin su ve nem tutma özelliğini de değiştirmektedir (Ergene, 1987; Mater, 1998; Cihangir, 2013). Toprak içinde bulunan geçirimsiz tabakalar yer altı su seviyesi değişkenliği üzerinde etkili olmaktadır. Toprağın yapısı ayrıca akış üzerinde de etkili bir faktördür. Toprağın geçirgenliği eriyen kar suyunun akışı ve sızmadan kaynaklı su kaybı üzerinde etkilidir. Bunların dışında toprak, suyun akışı esnasında suya dahil ettiği malzemenin tipi ve yoğunluğuna bağlı olarak suyun akışkan tipini de (Newton ve Newton olmayan akışkanlar (Bingham plastik, Pseudoplastik plastik ve Dilatant)) değiştirmektedir. Farklı akış tipi ise farklı kayma gerilmelerine neden olmaktadır (Takahashi, 1980). Bu nedenle

malzemenin akış hızı değiştikçe oluşturacağı etki de farklı olmaktadır. Akış hızını yamaçların stabilitesi üzerinde etkili olan eğim de her yamaç koşulunda aynı olmadığından, dolayısıyla farklılık göstermektedir. Eğim arttıkça yamaç üzerinde malzemelerin kayma gerilmesi de artmaktadır. Böylece yamaç üzerinde bulunan malzemelerin yerçekimine karşı direnci azalmaktadır (Sassa vd., 2004; Terzaghi, 1936).

Tutunma, sızma ve akışın yüksek olduğu alanlarda yamaç stabilitesi bozulmakta ve bu yamaçlar heyelan bakımından hassas alanlara dönüşmektedir. Bu etkiyle yamaçların bir kesiminde gerçekleşebilecek bir heyelan yamacı tamamıyla etkileyebilmektedir. Bu sebeple mekânsal hassasiyetin yamaç ünitesi olarak belirlenmesi jeomorfolojik bakımdan daha doğrudur. Ayrıca ikiyüzden fazla literatür çalışmasından elde edilen bilgiye göre tetikleyici faktörlerin ve bu faktörlerin şiddeti üzerinde etkili parametrelerin rastgele seçilmeden, çalışma sahsına özgü seçilerek yapılmasının tehlike ve duyarlılık değerlendirmeleri için önem arz ettiği tespit edilmiştir.

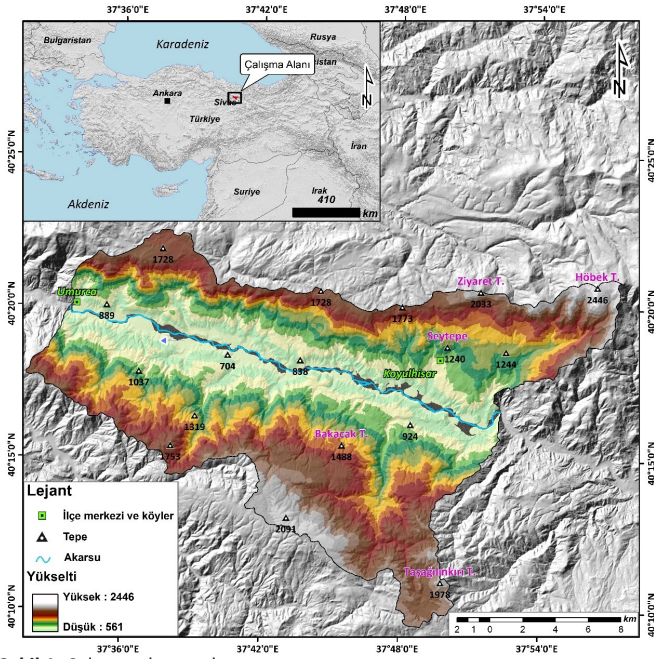
Çalışmada hassasiyet tanım olarak; ilgili tetikleyici mekanizma kapsamında iç ve dış değişikliklere karşı heyelan içeren yamaçların, dolayısıyla pozitif düzeyde hassas olanların, oranını veya derecesini ifade eder. Bu bakımdan hassasiyet tanımı, bir alandaki tetikleyici mekanizmanın dikkate alınmadığı, yalnızca hazırlayıcı koşulların göz önünde bulundurulduğu, heyelanın mekânsal olabilirliğini ifade eden duyarlılıktan farklıdır.

Kar erimesini kapsayan tetikleyici faktör üzerinde etkili olan parametrelerin belirlenmesi ve bunların heyelan gelişimi üzerindeki rolünün mekânsal hassasiyetinin ortaya konulması bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu amaç çerçevesinde, genel olarak kar erimeleri ile tetiklenen ve heyelan olay sayısının ülke ortalamasının çok üzerinde olan Kelkit Vadisi'nin aşağı kesimi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

1.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma alanı sınırları; Tokat ili Reşadiye ilçesine bağlı Umurca köyü, doğuda Sivas ili Koyulhisar ilçesi Yukarıkale köyü arasındadır. Çalışma alanı, 37° 32' 40" - 37° 58' 00" D boylamları ile 40° 22' 20" - 40° 9' 20" K enlemleri arasında, güney ve kuzey sınırları havza sınırı esas alınarak belirlenen bu alan ani kar erimelerine bağlı olarak çok büyük heyelanların gerçekleştiği bir alandır (Şekil 1).

Çalışma alanında yağış genel olarak yağmur tipinde düşmektedir. Yağmur tipinde düşen bu yağışlar en fazla ilkbaharın Nisan, Mayıs aylarında sonra sonbahar ve kış mevsiminin tüm aylarında gerçekleşmektedir. Koyulhisar istasyon verilerine göre havzada yıllık ortalama yağış 405.6 mm'dir. Toplam yağış ortalaması en yüksek Mayıs (61.6 mm), en düşük ise Ağustos (5.6 mm) ayıdır. Elde edilen sonuca göre yıllık toplam yağışın en düşük 27 mm olduğu en yüksek ise 944 mm olduğu görülmüştür. Çalışma alanında kar yağışı özellikle kış aylarında etkilidir. Özellikle vadinin yüksek kesimlerinde etkili olan karın yağdığı gün sayısı en çok Aralık (19 gün) ve Şubat (19 gün) aylarıdır. Kış aylarında yağın kar yamaç bakımının etkisiyle yüksek kesimlerde uzun süre yerde tutunmaktadır. Yaz kuraklığının etkin olduğu çalışma alanında yazlar sıcak geçmektedir. Havzada yıllık ortalama sıcaklık 10.6 °C'dir. Ortalama sıcaklık en yüksek Ağustos (20.5 °C), en düşük ise Ocak (0.8 °C) ayında görülmektedir. Karlı gün sayısı ortalamasının en fazla olduğu Aralık (19 gün) ve



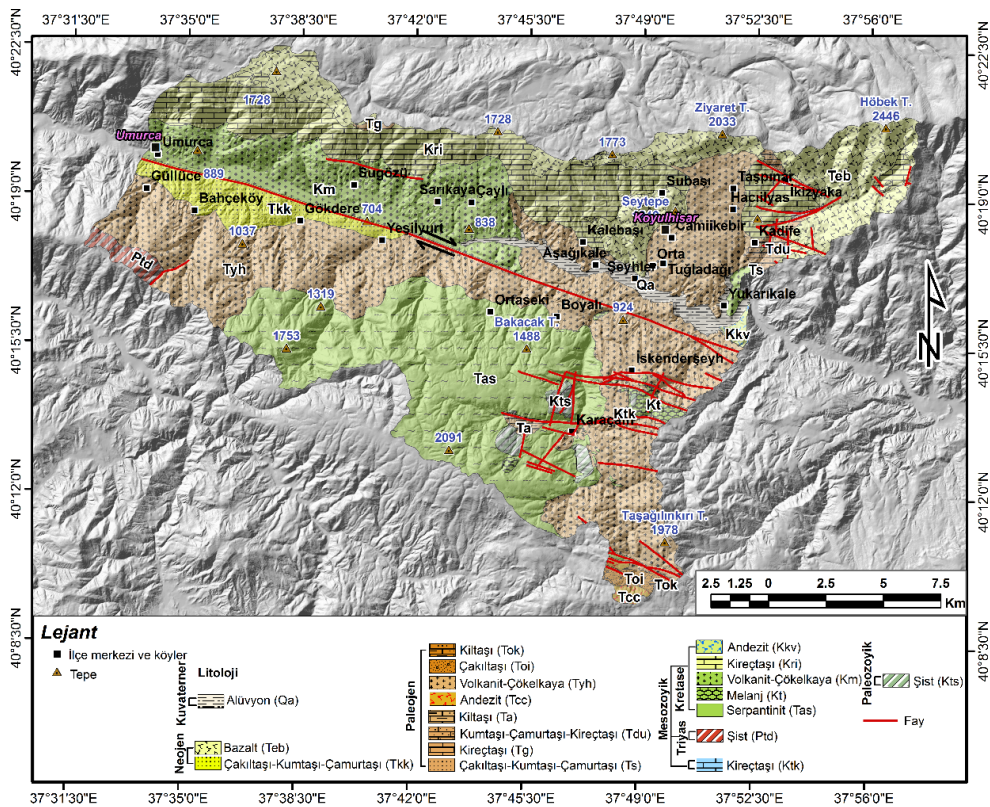
Şekil 1. Çalışma alanının konumu.
Figure 1. Location of the study area.

Şubat (19 gün) aylarıdır. Maksimum sıcaklıkların ortalaması ise; en yüksek Ağustos (35.4 °C) iken, minimum sıcaklıkların ortalamasının en düşük olduğu ay -11.7 °C ile Şubat'tır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim verilerinden yararlanılmıştır).

Çalışma alanı tektonik birlik olarak Pontid kuşağı-Doğu pontidlerin kuzey zonunda yer almaktadır (Okay, 2008). Bu alan Pontid-Anatolid kuşağını ayıran KAF'ın (Kuzey Anadolu Fay) Koyulhisar segmentini ve buna paralel fayları içermektedir (Toprak, 1989; Duman vd., 2006). KAF, Kelkit Çayı Vadisini kuzey ve güney olarak iki bloğa ayırmaktadır (Seymen, 1975). Litolojik

bakımdan çalışma alanı farklı birimleri içermektedir. Havzadaki bu birimler en yaşlıdan en genç birime doğru; şist (Paleozoik), kireçtaşı (Paleozoik-Mezozoyik), şist (Permien-Triyas), serpanitit (Üst Kretase), kireçtaşı (Maestrihtiyen), volkanit-çökel kaya (Üst Kretase), andezit (Santoniyen-Maestrihtiyen), çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı (Alt Paleosen), kireçtaşı (Paleosen), kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı (Üst Paleosen), kiltası (Alt Eosen-Orta Eosen), andezit (Lütesiyen), volkanit-çökel kaya (Eosen), çakıltaşı (Oligosen-Alt Miyosen), kiltası (Üst Oligosen-Alt Miyosen), çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı (Alt Miyosen), bazalt (Pliyosen) ve Kuvaterner' de oluşmuş alüvyonlardır (Yılmaz vd., 1985; Keçer, 1986; Erdem, 1987).

Çalışma alanındaki birimlere genel olarak bakıldığında; değişik fasiyeste kireçtaşı, volkanik/volcano-tortul ve kırıntılı tortul kayaların yaygın olarak yüzeylendiği görülmektedir. Gevşek dokulu bu kaya birimleri yoğun biçimde ezilmiş, parçalanmış ve altere olmuştur (Gürsoy vd., 2006; Tatar vd., 2005). Volkanit kaya birimleri her iki blokta da yüzeylenmektedir. KAF'ın bulunduğu vadi ve yan yamaçlarında birimler genel olarak yüksek düzeyde deformasyona uğramışlardır (Tatar vd., 2012). Çalışma sahasında KAF'ın kuzeyini oluşturan kuzey blok, Üst Kretase kireçtaşları, Pliyosen bazaltları, Eosen ve Üst Kretase volkanit çökel kayaları gibi litolojik birimlerle temsil edilmektedir (Yılmaz vd., 1985; Keçer, 1986; Erdem, 1987). KAF'ın batısında ve doğusunda, fay zonuna yakın bölümde volkano-sedimenter kayalar ve Kuvaterner alüvyonları mevcuttur (Şekil 2). Kuzey bölüm Kuzulu Mahallesi kuzeydoğusunda yer alan ve aynı zamanda eski bir heyelan bölgesi üzerinde bulunan Sorkun yaylası, kireçtaşlarının egemen olduğu bir temel üzerinde yer yer 45°'ye ulaşan bir eğime sahip yaklaşık 3 km'lik dar bir vadi boyunca, %90'ı andezit bazalt, tuf ve aglomera ve bunlardan meydana gelmiş çakıl taşlarından oluşmaktadır (O Tatar vd., 2005; Gürsoy vd., 2006). Üst Kretase volkanik ve sedimanter birimler düşük eğim-



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojisi (MTA, 2011; Cihangir & Görüm 2016; Yılmaz vd., 1985'den derlenmiştir).

Figure 2. Geology of the study area (compiled from MTA 2011; Cihangir and Gorum 2016 and Yılmaz et al. 1985).

lerde görülürken, Maestrihtiyen kireçtaşları ise rölyef ve eğimin yüksek olduğu alanlarda, KAF'ın etkisiyle kısa mesafelerde değişim göstererek kuzeydoğu yönünde eğimlenmişlerdir. Üst yükseltilerdeki Pliyosen volkanik birimler ise; önemli kalınlığa sahip bir regolit zonu oluşturmaktadır (Duman, 2005). Havzanın güney batısında KAF'a yakın alanda Alt Miyosene ait çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşları bulunmaktadır. Eosen volkanik çökel kayalar havzada güney batıdan kuzey doğuya doğru kesintisiz bir şekilde uzanmaktadır. Havzanın güneyinde ise Üst Kretase yaşlı serpantinli topraklar yoğunluk kazanmaktadır. Bu formasyonlar arasında yer yer havzanın en yaşlı birimleri olan Paleozoyik şistler ile Alt-Orta Eosen yaşlı kilittaşları görülmektedir (Şekil 2).

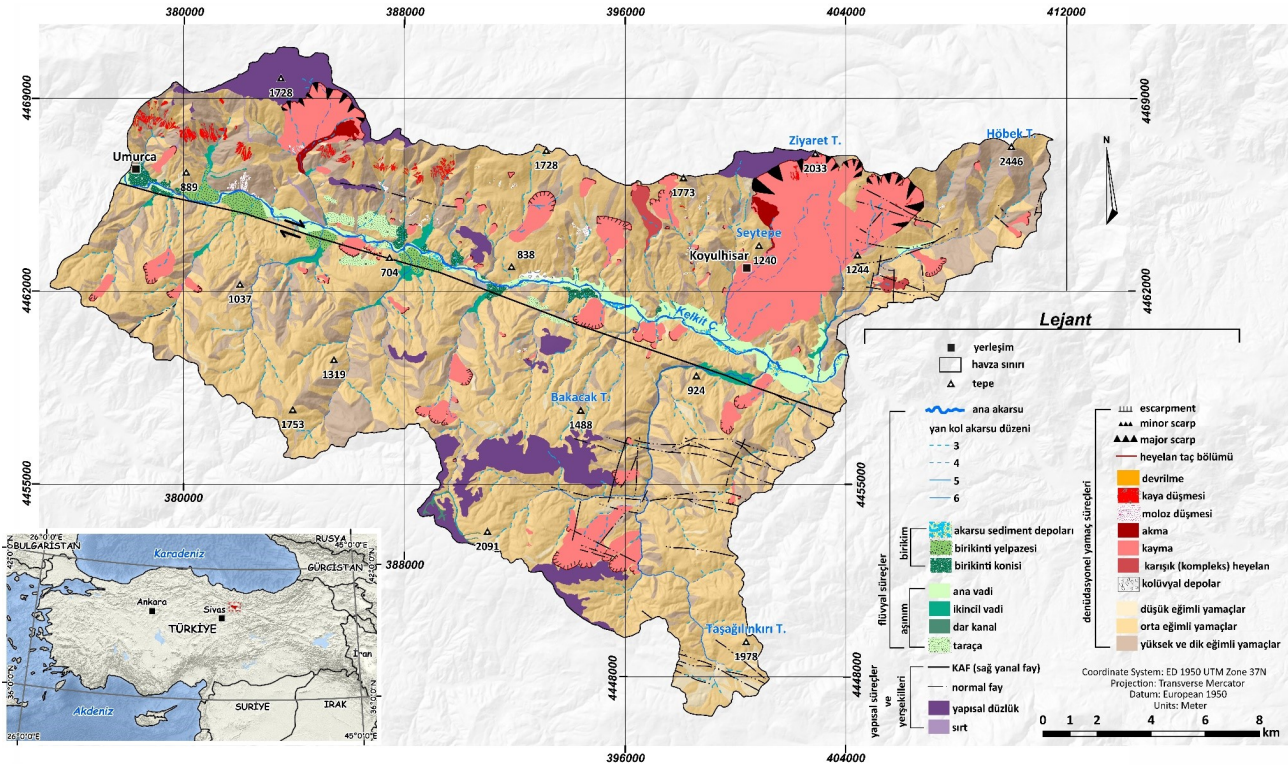
Yeşilirmak'ın yan kollarından biri olan Kelkit Çayının oluşturduğu vadinin aşağı çığırındaki çalışma alanı, jeomorfolojik bakımdan, daha çok tektoniğin etkisiyle şekillenmiştir. Bu tektonik denetim sonucu, Kelkit Çayı'nın derine kazmasının yüksek olduğu derin bir vadi sistemi oluşmuştur. Ayrıca bu tektonik denetim vadinin kuzey ve güney bloğu arasında bir asimetriye neden olmuştur. Bu asimetri sonucu olarak vadinin güneyi kuzeyinden daha eğimlidir. Gevşek ayrışmaya müsait litolojinin bulunması Kelkit Çayı ve kollarının yan ve derine aşındırmasının yüksek olmasına neden olmuştur (Gökçeoğlu vd., 2005; Yıldırım, 2006). Bu aşındırma süreci sonucu vadi yamaçlarında keskin rölyef farkı ve yüksek eğim oluşmaktadır. Ortalama eğimin 18.6° olduğu çalışma alanında, eğim 60° 'ye kadar çıkmaktadır. Taban seviyesini oluşturan çizgisel ve dar kanal eksenine sahip Kelkit Vadisi yüksek eğimlerle temsil edilen ortalama eğimleri 24° yan yamaçlara sahiptir. Çalışma sahasının ortalama yükseltisi 1283 m, minimum yükseltisi 561.4 m, maksimum ise 2446.4 m'dir. Kısaca fay hattının uzandığı doğu-batı doğrultu boyunca derin bir vadi, bunun kuzey ve güney bloğunda ise kısa mesafelerde aniden yükselen bir topoğrafya mevcuttur (Duman vd, 2005).

Çalışma sahasının kuzey bloğunda, yüksek yamaçların üst kısımlarında Maestrihtiyen kireçtaşlarının yüzeylendiği ve içerisinde değişik boyutlarda karstik çukurların bulunduğu yapısal bir düzlük bulunmaktadır. Güney blokta ise; engebeli topoğrafya su bölüm hattını oluşturan keskin sırt ve tepelerle çevrilidir. Her iki blokta da çalışma alanı egemen olarak yamaç süreçlerine bağlı kütle hareketleri ve flüvyal süreçler tarafından şekillenmektedir (Şekil 3).

1.2. Problemin Tanımı

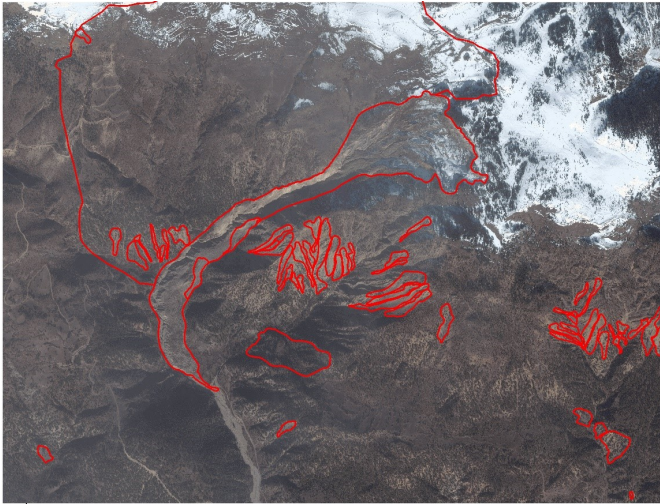
Çalışma alanında geçmişte afet niteliğinde pek çok heyelan meydana gelmiştir (Gökçe vd., 2008). Koyulhisar ilçesinin kuzeybatı kesiminde 19 Ağustos 1998 tarihindeki ve 20 Haziran 2000 yılındaki heyelan bunlardan bazılarıdır. Ayrıca 20 Haziran 2000 yılında gerçekleşen heyelan üzerinde 250-300 m boyunda oluşan çatlamlar 21 Haziran 2000 sabah saatlerinde yeniden hareketlenerek bir kaç evin yıkılmasına da sebep olmuştur (Yılmaz, 2009). 2005 yılı Nisan ayında çalışma alanının batı kesiminde Kuzulu Mahallesi'nin kuzeydoğusunda eski bir heyelan bölgesi üzerinde Sugözü heyelanı meydana gelmiştir (Gürsoy vd., 2005). Sorkun yaylasının 1500 ile 1650 metre kotları arasında güneye doğru boşalan doğal su kaynaklarının bulunduğu alanda oluşan heyelan 15 kişinin hayatına, 21 evin yıkılmasına ve 375 hayvanın telef olmasına neden olmuştur (MTA, 2005). Bu çok büyük heyelanlar eski heyelan topoğrafyaları bazı kısımlarında heyelanların yeniden aktivite olmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışma sahasındaki çok büyük heyelanları ani kar erimeleri tetiklenmektedir (Şekil 4). Sugözü'nde gelişen heyelanın, daha önce alanda var olan eski bir heyelanın gövdesinde yer aldığı ve 2005 yılının bahar döneminde ani kar erimelerine bağlı olarak geliştiği bilinmektedir. Çalışma sahasında, gelişen birçok heyelan (ör. Aklan heyelanı (Koyulhisar yerleşiminin kuzeyi))



Şekil 3. Çalışma alanının jeomorfoloji haritası.
Figure 3. Geomorphology of the study area.

benzer mekanizmayla tetiklenmiştir (Yılmaz, 2009). Özellikle Mart ve Nisan aylarında ani kar erimelerinin gerçekleştiği ve bunların bazı heyelanları tetiklediği saha çalışmaları sırasında yerel idare sorumluları ve yöre halkı ile yapılan görüşmelerde de belirtilmiştir (Cihangir ve Gorum, 2016). Çalışma sahasındaki heyelanların ana tetikleyicisi ani kar erimleri, yamaçlara göre farklılıklar göstermektedir. Bu tetikleyici faktör yamaçların mekânsal hassasiyeti üzerinde etkilidir. Bu nedenle yamaçların, ne derecede kar tutunma, karın erimesiyle sızma ve eridimeden sonra akış özelliğine sahip olduğunun bilinmesi mekânsal hassasiyetin heyelan oluşumu üzerinde etkisini ortaya koymaktadır. Bir yamacın tutunma, sızma ve akış özelliğini morfolojik faktörlere bağlı değiştirmek, bu durum ise mekânsal hassasiyet yoğunluğu üzerinde etkilidir. Bu faktörlerin kullanımı arazi çalışmaları, çalışma alanına ilişkin literatür araştırmalar (heyelan kayıt tarihi, etki mesafesi, iklim koşulları vb.) ve morfometrik analiz sonucu çıktılarıyla belirlenmesi, yapılacak analiz sonuçlarının doğruluğunu artmasına katkı sağlamaktadır. Çalışma sahasının hangi jeomorfolojik süreçten geçtiğini ve heyelana neden olan faktörleri belirleyebilen bir uzmanın tetikleyici faktörlerin belirlenmesinde dahil olması, seçilen yöntemde uzman görüşüne açık olmasını zorunlu kılmaktadır. Fakat uzman görüşünün tamamıyla modele müdahalesi örneğin faktörlerin birbirine göre karşılaştırması esnasında uzmanın subjektif değerlendirmesi ve karar vermedeki hassasiyeti sonucu büyük oranda etkilemektedir. Bu yüzden mekânsal hassasiyetin belirlenmesinde faktörlerin birbirine göre karşılaştırmasında uzmanın dahil olmadığı sadece parametre ve etki derecelerinde dahil olarak uzmanın sınırlı oranda müdahil olacağı bir yöntem tercih edilmiştir. Bu bakımdan çalışmada Modifiye Analitik Hiyerarşi Süreci (Nefeslioğlu vd., 2013) çalışmada kullanılan yöntem olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Ani kar erimleri ile tetiklenen Sugözü heyelanı.
Figure 4. Sugozi landslides triggered by rapid snowmelt.

2. Veri ve Yöntem

AHP (İng. Modified Analytical Hierarchy Process) her aşamada çözümlenme süreci takip ve kalibre edilebilen uzman görüşüne dayalı bir yöntemdir (Saaty, 1980). AHP karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda; kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahmin etme yöntemi olarak ta açıklanabilir (Saaty, 1980; Nefeslioğlu vd., 2013). Bu sebeple bu çalışmaya uygun olarak AHP yönteminin öznel değerlendirmeden kaynaklanan belirsizliği gidermek için Nefeslioğlu vd.,'nin (2013) önerdiği M-AHP

(İng. Modified Analytical Hierarchy Process) yöntemi uygulanmıştır (Saaty, 1980; Nefeslioğlu vd., 2013)

Nefeslioğlu vd.,'nin (2013) önerdiği M-AHP ile AHP arasında iki fark bulunmaktadır. Bunlardan ilki M-AHP'de ikili karşılaştırma matrisleri, bir uzman tarafından oluşturulmasıdır. Uzman sadece ilgili parametrelerin sistem içerisinde alabileceği en büyük puanları tanımlamaktadır. Uzman, çalışılan alanın ilgili parametrenin anlık puanını ifade etmektedir. İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilmiş parametre puan fark matrisinin oluşturulmasına Nefeslioğlu vd., (2013) tarafından önerilen önem değerleri çizelgesinden itibaren doldurulmaktadır. Bu aşamada parametreler en büyük parametre puanı üzerinden normalleştirilmektedir (Nefeslioğlu vd., 2013).

Yöntemin ikinci farkı ise; her bir parametrenin karar noktaları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada her bir parametre kendi en büyük puanı üzerinden normalleştirilmektedir. Buna bağlı olarak [0 ve 1] aralığında normalleştirilmiş bir sayı doğrusu üzerinde her bir parametrenin karar noktalarına olan doğrusal mesafeleri değerlendirilmektedir. Bu mesafelere bağlı olarak önem değerlerinin çıkarılmasında Nefeslioğlu vd., (2013) tarafından önerilen önem değerleri çizelgesi kullanılmaktadır.

Kelkit Çayı Vadisinde karın tutunma alanları, erimeye başlamasından itibaren sızma alanları ve eridikten sonra akışa geçtiği alanlar için M-AHP yöntemi ile modeller oluşturulmuştur. Tutunma modeli için; Çok çözünürlüklü vadi taban düzlüğü indeksi (İng. Multi Resolution Index of Valley Bottom Flatness: MRVBF), yükselti ve bakı parametreleri kullanılmıştır. Sızma modeli için; solar radyasyon, Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNI) ve Hidrolojik Toprak Grubu (HTG) parametreleri kullanılmıştır. Akış modeli için ise eğim, rölyef ve HTG parametreleri kullanılmıştır. Hidrolojik Toprak Grubu 1/25 binlik toprak haritalarının Büyük Toprak gruplarının (BTG) Toprak Özellikleri Kombinasyonunu (TÖK), Diğer Toprak Özellikleri (Tuzlu, Alkali, Taşlı ve Drenaj durumu vb.) incelenerek elde edilmiştir (Özer, 1990).

Heyelan bir yamaç boyunca geliştiğinden model bir yamacın tutunma, sızma ve akış değerini verecek şekilde uygulanmıştır. Bunun için ilk olarak çalışma alanı, SYM ve akarsu düzenlerine bağlı olarak elde edilen düzenli fiziksel olmak üzere 3660 tane yamaç ünitesine bölünmüştür. Bu yamaç ünitelerine tutunma, sızma, akış modellerini ayrı ayrı etkileyen parametrelerin ortalama değer bilgileri taşınmıştır. Daha sonra bu parametreler önem derecelerine göre sıralanarak puan atamaları yapılmıştır (Tablo 1). Sonraki aşamada, her bir model için 3660 tane olmak üzere toplamda 10980 M-AHP analizi yapılmıştır.

Her bir modelde her bir yamaç ünitesinin düşük, orta ve yüksek karar bilgilerini aldığı puanlar girilmiştir. Karar noktaları içinde (düşük, orta, yüksek) en yüksek değeri alan karar noktası genel kararı yansıtmaktadır. Daha sonra tutunma, sızma ve akış için her bir yamaç ünitesinin aldığı en yüksek karar noktaları yamaç ünitelerine taşınmıştır. Sonuç olarak ana tetikleyici kar erimelerinin mekânsal hassasiyeti ortaya konulmuştur (Şekil 5).

10980 analizin her bir aşamasını gösterimi zor olacağından bir modelin bir yamaç ünitesi için analiz örneği aşamaları gösterimi verilmiştir. Tutunma modelinde yükselti "9", MRVBF "7", Bakı "5" değerini alan bir yamaç ünitesi M-AHP sürecinde:

İlk olarak parametre puan fark matrisi ve normalize edilmiş puan fark matrisi oluşturulmaktadır (Normalleştirme en yük-

Tablo 1. Kar tutunma, sızma ve akış modeli için belirlenen parametre ve parametre puanları.

Table 1. Parameter and parameter scores for keep snow, melting, infiltration and flow model.

	Parametre	Parametrelerin sınıflandırması	Parametrelerin alabileceği puan
Tutunma parametreleri	Çok çözünlürlüklü vadi taban düzlüğü indeksi (MRVBF)	0.000001-0.1	1
		0.1-0.15	3
		0.15-0.5	5
		0.5-1.0	7
		1-2.5	9
	Yükselti (m)	800	1
		1000	2
		1250	3
		1500	5
		1650	7
1850		7	
2000		9	
2450	9		
Bakı	North	5	
	Northeast	5	
	East	2	
	Southeast	1	
	South	1	
	Southwest	1	
	West	3	
	Northwest	5	
	Sızma parametreleri	TNI	4.7-5.5
5.5-6.0			3
6.0-7.0			7
7.0-11.14			9
HTG		A	9
		B	8
		C	2
		D	1
Solar radyasyon		128138-200666	1
		200666-235325	3
	235325-269984	5	
	269984 - 283000	7	
	283000-319098	9	
Akış parametreleri	Rölyef	48.5-203.3	1
		203.3-312.4	2
		312.4-421,6	3
		421,6-485.1	7
		485.1-841.2	9
	Eğim (°)	0-14.6	1
		14.6-20.9	3
		20.9-27.3	5
		27.3-32.8	7
		32.8-49.7	9
HTG	A	1	
	B	2	
	C	5	
	D	7	

sek parametre puanı üzerinden yapılmaktadır) (Tablo 2).

Tablo 2. Puan fark matrisi (a) ve normalize edilmiş puan fark matrisi (b).

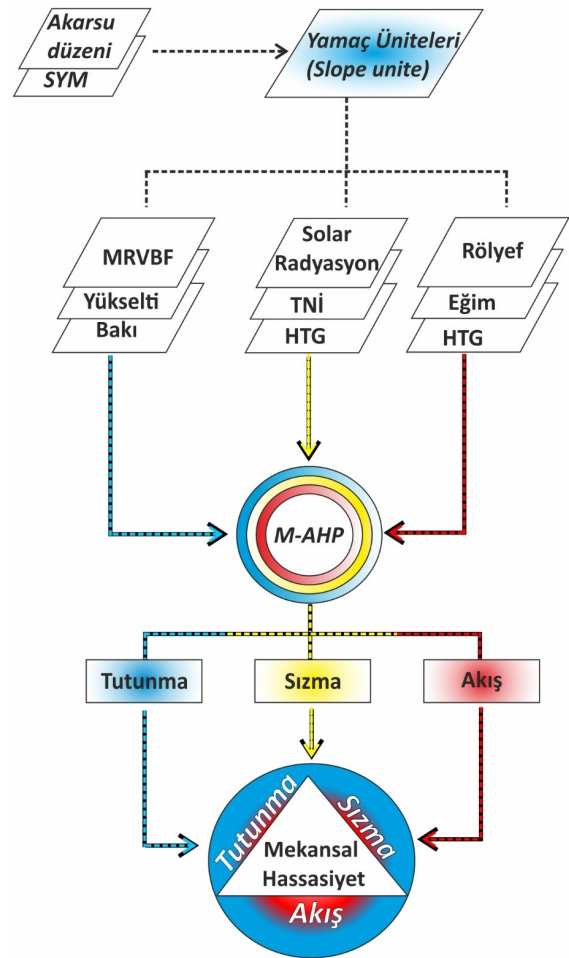
Table 2. The factor score difference matrix (a) The normalised factor score difference matrix (b).

A				B			
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
C1	0	-2	2	C1	0.00	-0.22	0.22
C2		0	4	C2		0.00	0.44
C3			0	C3			0.00

Tablo 3. Önem değerleri çizelgesi (Saaty 1980'den modifiye edilmiştir).

Table 3. The modified importance value scale(modified after Saaty,1980).

Normalleştirilmiş parametre puan farkı										
	0	0.000-0.125	0.125-0.250	0.250-0.375	0.375-0.500	0.500-0.625	0.625-0.750	0.750-0.875	0.875-1.000	
Önem değeri	> 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	< 0	1	0.5	0.333	0.25	0.2	0.167	0.143	0.125	0.111



Şekil 5. Mekânsal hassasiyet değerlendirmesine ilişkin iş akış diyagramı.
Figure 5. Flowchart for assessment spatial sensitivity.

Daha sonra önem değerleri çizelgesi (Tablo 3) ve faktörler arası karşılaştırma matrisi ("A" matrisi) belirlenmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Karşılaştırma matrisi (A).

Table 4. The factor comparison matrix; the matrix (A).

	"A" Matrisi			W	"D" Vektörü	"E" Vektörü
	C1	C2	C3			
C1	1.00	0.33	3.00	0.26	0.79	3.03
C2	3.00	1.00	5.00	0.63	0.95	3.07
C3	0.33	0.20	1.00	0.11	0.32	3.01

Bir sonraki aşamada faktörlerin % önem dağılımları belirlenmektedir ("C" Matrisi ve "W" Öncelik Vektörü) (Tablo 5).

Tablo 5. Yüzdelerik önem dağılımları.

Table 5. Percent distribution of importance.

	C Matrisi			W
	C1	C2	C3	
C1	0.23	0.22	0.33	0.26
C2	0.69	0.65	0.56	0.63
C3	0.08	0.13	0.11	0.11

Daha sonraki aşamalarda faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığın

ölçülmesi sağlanmaktadır. Her bir "A" matrisi satırının her bir öncelik vektörü "W" değerleri çarpımının toplamı "D" vektörünü oluşturmaktadır. "D" vektörünün öncelik vektörüne "W" oranı ile "E" elde edilmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. "D" ve "E" vektörü.

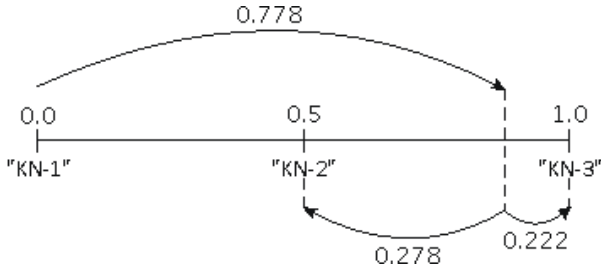
Table 6. Respectively, vector D and E

"A" Matrisi			W	"D" Vektörü	"E" Vektörü	
C1	C2	C3				
C1	1.00	0.33	3.00	0.26	0.79	3.03
C2	3.00	1.00	5.00	0.63	0.95	3.07
C3	0.33	0.20	1.00	0.11	0.32	3.01

Buna göre "E" vektörünün ortalaması ile elde edilen $\lambda = 3.04$, ($\lambda - n$ tane E vektörü) / (n tane E vektörü - 1) ile elde edilen $C1 = 0.02$ ve $C1$ 'nin Random göstergeye (RI) oranıyla elde edilen $CR = 0.03$ 'tür. Bu duruma göre $CR < 0.1$ den küçük olduğu için matris tutarlıdır.

Faktörlerin 3 karar noktasındaki % önem dağılımlarının bulunması "G" karşılaştırma matrislerinin ve S sütun vektörlerinin oluşturulmaktadır (Bu aşamada her bir parametre kendi maksimum puanı üzerinden normalleştirilir): [0, 1] aralığında normalleştirilmiş bir sayı doğrusu üzerinde her bir parametrenin karar noktalarına olan doğrusal mesafeleri değerlendirilmektedir (Nefeslioglu vd., 2013).

Kar tutunması (C1; Normalize Parametre Puanı=0.778) parametresine ilişkin 3 Karar Noktası (KN) için örnek çözümlemesi gösterilmiştir. Bunu C2 ve C3 içinde belirlenmesi gerekmektedir (Nefeslioglu vd., 2013) (Şeki 6, Tablo 7).



Şekil 6. Karar Noktası (KN) belirlenmesi (Kaynak: Nefeslioglu vd., 2013).

Figure 6. Determination of Decision Point (DS) (Source: Nefeslioglu et al., 2013).

- $KN-1 > KN-3$: $0.222 - 0.778 = -0.556$
- $KN-2 > KN-3$: $0.222 - 0.278 = -0.056$
- $KN-1 > KN-2$: $0.278 - 0.778 = -0.500$

Tablo 7. "C1" parametresi karar noktalarının belirlenmesi ve sonuç dağılımı.

Table 7. Determination of "C1" parameter decision points and distribution of results.

C1 = 0.778	KN-1	KN-2	KN-3	S1
KN-1	1.00	0.20	0.17	0.082
KN-2	5.00	1.00	0.50	0.343
KN-3	6.00	2.00	1.00	0.575

"C1" parametresi için belirlenen (Tablo 7) KN-1, KN-2 ve KN-3 karar noktaları "C2" ve "C3" içinde belirlenmektedir. Her bir parametrenin her bir karar noktası her bir öncelik vektörü "W" değerleri çarpımının toplamı o karar noktasının sonuç dağılımını vermektedir (Tablo 8). Karar noktalarındaki yüksek sonuç değeri, yamaç ünitesinin nihai sonucunu oluşturmaktadır (Ne-

feslioglu vd., 2013).

"C1", "C2" ve "C3" karar noktaları belirlendikten sonra sonuç dağılımı elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Karar noktalarındaki sonuç dağılımı (Kırmızı ile belirtilen kısım nihai karardır).

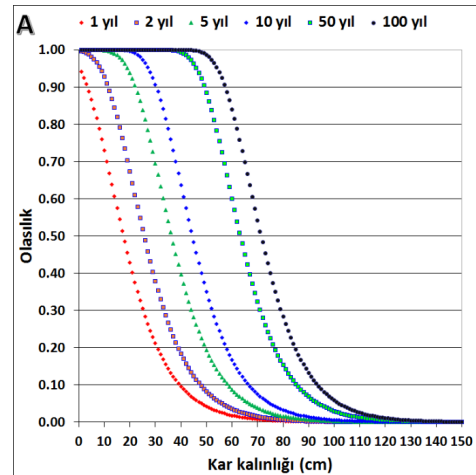
Table 8. Result distribution at decision points (Red is the final result).

Karar matrisi (K Matrisi)			W	"L" Vektörü	Kar tutunma alanları
C1	C2	C3			
KN-1	0.08	0.6	0.6	0.26	KN-1 0.07 DÜŞÜK
KN-2	0.34	0.22	0.22	0.63	KN-2 0.25 ORTA
KN-3	0.57	0.72	0.72	0.11	KN-3 0.68 YÜKSEK

Bu işlem çalışma sahasında 3 model (tutunma, sızma, akış) 3660 yamaç ünitesi için 10980 defa uygulanmıştır. Her modelin düşük, orta ve yüksek kararı aldığı değerlere sınıflandırılmıştır.

3. Bulgular

Bu anlamda yağış ve karın 1, 5, 10, 50 ve 100 yıllık Gumbel dağılımına göre dönüş periyodları ortaya konulmuştur. Kar kalınlığında ise; 40 cm kar kalınlığı 1 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığı %10, 5 yıl içerisinde %40, 10 yıl içerisinde %70, 50 yıl içerisinde gelme olasılığı ise %100'dür (Şekil 7).

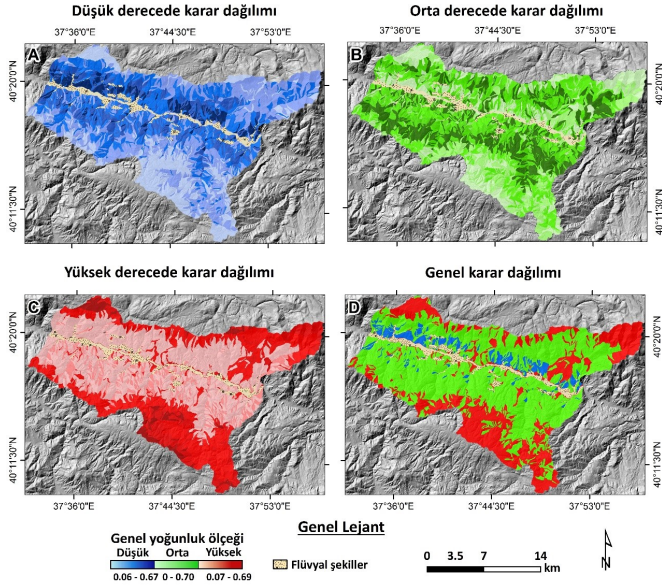


Şekil 7. Analitik çözüme bağlı 1, 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık Gumbel olasılık dağılımı modeli: Yıllık maksimum kar kalınlığı.

Figure 7. Gumbel probability distribution model of 1, 2, 5, 10, 50 and 100 years depending on analytical solution: Annual maximum snow thickness.

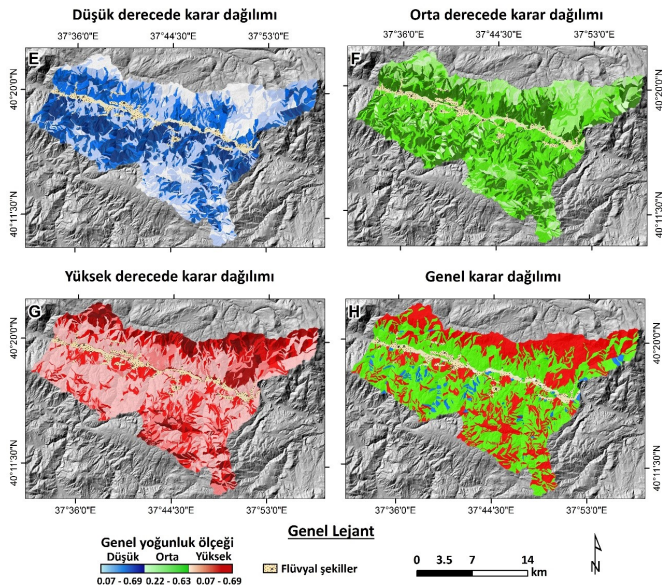
Kar tutunması M-AHP modelinde; düşük karar dağılımında, çalışma alanının ana vadi tabanına yakın yamaçlarının düşük derecede tutunma özelliğine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 8(a)). Kuzey ve güney bloğun orta kesimleri orta derecede tutunma özelliği daha yoğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8(b)). İki blokta da havza sınırına yakın bölgelerde yüksek derecede karar dağılımı yoğunlaşmaktadır. Yüksek kararın en yüksek değerleri ise kuzey yamaçların gerisindeki düzlük alanlarda görülmektedir (Şekil 8(c)). Tutunma için en yüksek karar değerinin sonuç olarak alındığı genel karar dağılımında ise; kuzey yamaçların gerisindeki düzlükler, güney blokta güneydoğu yamaçlar ağırlıklı olmak üzere yamaçların havza sınırına yakın bölgeleri yüksek tutunma özelliğine sahiptir. Bunun yanında Koyulhisar eski-heyelanının birikim zonu da yüksek derecede tutunma özelliğine sahiptir. Havzada en yaygın olan orta derecede tu-

tunma alanları iki blokta da orta kesimlerde yaygındır. Çalışma alanında en az yaygın olan düşük dereceli tutunma özelliğine sahip yamaçlar ise kuzey yamaçlar ağırlıkta olmak üzere düşük yükseltideki yüksek eğimli yamaçlarda görülmektedir (Şekil 8(d)).



Şekil 8. Kar tutunmasına ilişkin M-AHP sonuçlarına göre karar dağılımı.
Figure 8. Decision distribution depend on the results of M-AHP on snow keeping.

Sızma modelinde; düşük karar dağılımı daha çok havzanın güney bloğunun güneybatısında ve kuzey bloğun batı kesimindeki alçak yamaçlarda yoğunlaşmaktadır (Şekil 9(e)). Orta derece sızmaların karar dağılımında ise güney yamaçlar kuzeye göre daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 9(f)). Yüksek derece karar dağılımı çıktılarında ise en yoğun sızma alanlarını, kuzey bloğun havza sınırlarına yakın bölgeleri oluşturmaktadır. Bu alanların bir kısmı karstik düzlükleri oluşturmaktadır (Şekil 9(g)).



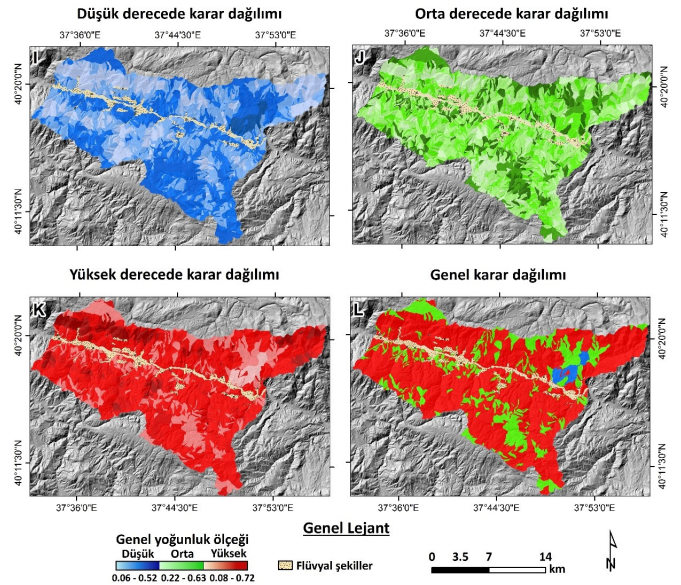
Şekil 9. Sızma alanlarına ilişkin M-AHP sonuçlarının karar dağılımı.
Figure 9. Decision distribution depend on the results of M-AHP on infiltration.

Sızmaların genel karar dağılımına göre kuzey bloğun büyük bir kısmı yüksek sızma alanlarına sahiptir. Güney blokta yer yer yüksek derecede sızmaların olduğu alanlar da bulunmaktadır.

Orta derecede sızma alanları güney blokta daha fazladır. Kuzey blokta ise ana vadiye yakın yamaçlarda görülmektedir. En az karar dağılımının olduğu düşük karar dağılımına sahip yamaçlar, Kuzey blokta en azdır. Güney blokta yamaçlarda da düşük de- gerde sızma alanları tespit edilmiştir (Şekil 9(h)).

Akış modelinde ise; akışın en düşük olduğu alanlar, Kuzey blokta Koyulhisar eski heyelanının birikim zonu ve yüksek yamaçların gerisindeki düzlüklerdir. Güney blokta ise bloğun güneydoğu kesiminde düşük derecede akışa sahip alanlar yaygındır (Şekil 10(i)). Akışın orta düzeyde olduğu alanlar genellikle her iki bloğun doğu kesiminde olmak üzere yer yer yüksek yamaçlardaki yapısal düzlüklerde görülmektedir (Şekil 10(j)). Akışın en yüksek olduğu alanlar ise kuzey blok başta olmak üzere iki bloğun orta kesiminde bir hat boyunca görülmektedir (Şekil 10(k)).

Akış modelinde genel karar dağılımına baktığımızda havzada yüksek akışa sahip yamaçlar daha fazla görülmektedir. Orta derece akışa sahip yamaçlar havza kuzey batısındaki düzlüklerde Koyulhisar eski heyelanının transfer zonunda ve güney bloğun güneydoğusunda görülmektedir (Şekil 10(l)).

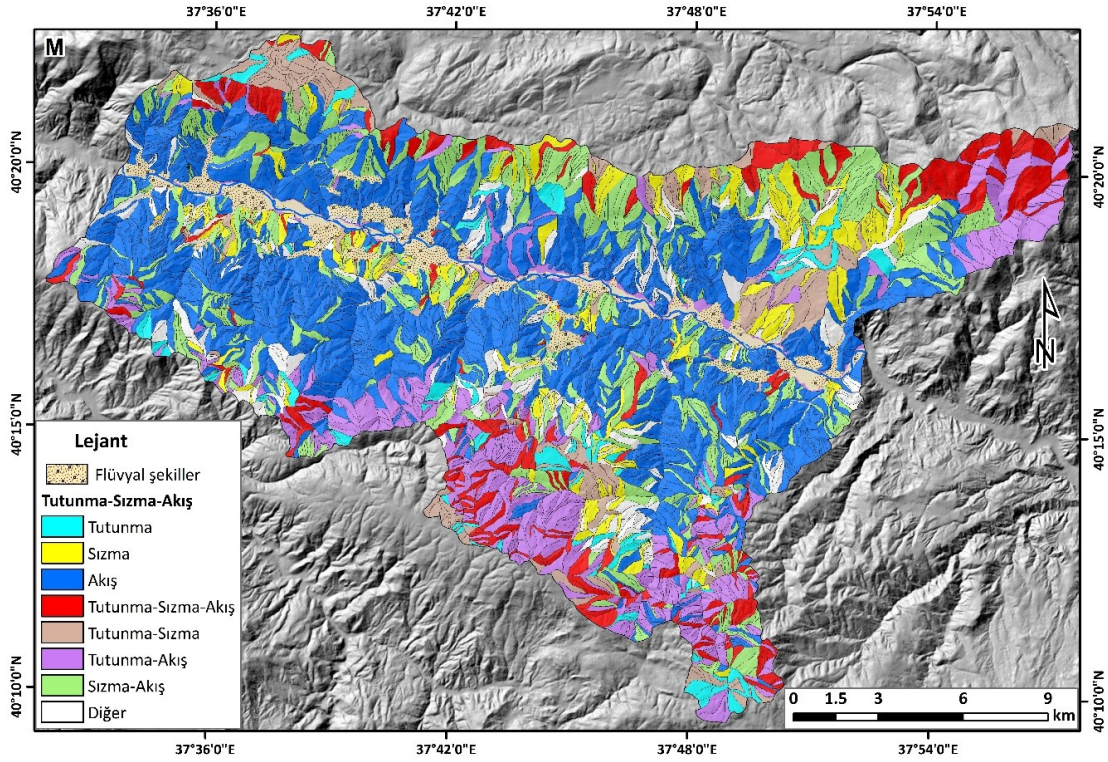


Şekil 10. Akış alanlarına ilişkin M-AHP sonuçlarının karar dağılımı.
Figure 10. Decision distribution depend on the results of M-AHP on flow.

Her bir modelin genel karar değerler bilgileri yamaç ünitelerine taşınarak üç modelin de en yüksek değere sahip tutunma-sızma-akış alanlarının belirlenmesi ile tetikleyici faktöre ilişkin mekânsal hassasiyet elde edilmiştir. Bir yamaç ünitesinin her üç modelde en yüksek kararın ortak kesişimine oluşturduğu alanlar mekânsal hassasiyetin yüksek olduğu alanları ifade etmektedir. Bu yamaçlar çalışma alanında özellikle kuzey blokta heyelanların başlangıç bölgelerine karşılık gelmektedir (Şekil 11).

4. Tartışma ve Sonuçlar

Kelkit Çayı Vadisi yükseklik farklarının oluşmasına sebep bölgesel yükselimin olduğu (Zabcı vd. 2011) akarsuyun yatağını derinleştirmesi havzada belirgin rölyef farklılığının temel nedenidir (Cihangir ve Görüm 2016). Bu rölyef ve yükselim farkları Kelkit Vadisinin yamaçlarında heyelanların gelişmesine ve bu heyelanların sürekli gençleşmesine neden olmaktadır (Cihangir & Görüm 2016). Bu heyelanların topuklarında akarsu



Şekil 11. Tutunma, sızma ve akış modellerinin kesişimi ile elde edilen mekânsal hassasiyet alanları.

Figure 11. Spatial sensitivity areas obtained by intersection of snow keeping, infiltration and flow models.

aşındırmasıyla heyelanların yeniden aktif hale gelerek iç içe birçok heyelanı meydana getirdiği hem geçmiş dönemlere ait hava fotoğraflarında hem de farklı dönemlerde gerçekleştirdiğimiz saha çalışmaları ile gözlenmiştir (Cihangir ve Görüm 2016). Bu heyelanlardan katastrofik etkiye sahip büyük anakaya heyelanları ani kar erimeleri ile tetiklenmektedir. Bu alanda meydana gelen Sugözü heyelanı buna örnek verilebilir. Gökçeoğlu vd. (2005) tarafından Sugözü heyelanının oluşum ve mekanizmasının tanımlandığı çalışmada, Sugözü'nde gelişen heyelanın daha önce alanda var olan eski bir heyelanın gövdesinde yer aldığı ve 2005 yılının bahar döneminde ani kar erimelerine bağlı olarak geliştiği ifade edilmiştir. Alanda gelişen birçok heyelanın (ör. Aklan heyelanı (Koyulhisar yerleşmesinin kuzeyi)) benzer mekanizmayla tetiklendiği bilinmektedir (Yılmaz, 2009).

Ani kar erimesinin tetiklediği Kelkit Çayı Vadisinde kar yağışının etkin olduğu ve yüksek kar kalınlığının dönüşüm periyodunun kısa dönemde meydana geldiği görülmüştür. Yüksek kar kalınlığı, çalışma sahasının kuzey bloğunda, yüksek yamaçların gerisinden Maestrihtiyen kireçtaşlarının yüzeylendiği ve içerisinde değişik boyutlarda karstik çukurların bulunduğu yapısal bir düzlük alanda bulunmaktadır. Bu düzlük alanlarda Aralık, Ocak ve Şubat dönemlerinde biriken karlar, Mart ve Nisan aylarında Güneş arz radyasyonunun şiddetine bağlı olarak aniden erimmektedir. Bu durum arazi gözlemleri, uydu görüntüleri, yerel idare sorumluları ve yöre halkı ile yapılan görüşmelerde de belirtilmiştir (Cihangir ve Görüm 2016).

Bu düzlük alanlarda eriyen karların suları, toprak geçirgenliğine bağlı olarak sızdığı ve hemen önündeki Kelkit Çayı Vadisi yönündeki yamaçlarda, özellikle geçirimsiz kesimlerde birçok çıkış bulunduğu tespit edilmiştir. Zeminin aşırı doymun hale geldiği bu yamaçlarda çok büyük heyelanlar heyelanların tetiklendiği tespit edilmiştir.

Kar tutunmasının, sızmasının ve akışının yüksek olduğu yamaçlar mekânsal hassasiyetin en yüksek olduğu alanlar olduğu or-

taya konulmuştur. Bu yamaçların vadinin kuzey bloğunda heyelanların başlangıç bölgelerine karşılık geldiği görülmüştür. Heyelana elverişli zemin oluşturan tutunma-sızma yamaçlarının da eski heyelan içlerine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Sızma-akış yamaçları ise özellikle kuzey yamaçlar olmak üzere heyelanların transfer zonlarında daha yaygın olduğu görülmüştür. Bu yamaçlarda sızmanın yüksek olması su içeriğinin heyelan tipi ve hareketinin hızı üzerinde de etkili olmaktadır. Çalışma alanının güney bloğunun güneydoğusunda ise tutunma-akış yamaçları etkili olduğu tespit edilmiştir.

Mekânsal hassasiyet dağılımında tek bir modelin çıktısını taşıyan (örn. sadece sızma) yamaçlarda bulunmaktadır. Bunlardan ziyade birden fazla modelin yüksek karar çıktısını (örn. tutunma-sızma-akış) taşıyan yamaçların mekânsal hassasiyeti daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma ile; (1) Heyelanların büyük çoğunluğu kar erimeleri ile tetiklenen Kelkit Çayı Vadisinde bu etki yamaçtan yamaca farklılık gösterdiği, (2) Genel olarak vadiye kar kalınlığının yüksek düzlüklerde daha fazla ve yerde kalma süreleri daha uzun olduğu, (3) Tutunmanın yüksek olduğu alanların yamacı heyelana duyarlı hale getirdiği, (4) Sızma değerlerinin yüksek olduğu alanlar heyelanın ilksel başlangıcına ve gelişimine ortam hazırladığı, (5) Akışın yüksek olduğu alanlar ise harekete geçen heyelanın transferini hızlandırarak toplam heyelan hızını ve karakterini etkilediği, (6) Bu ana etkenlerin yüksek değere sahip olduğu yamaçların kar erimesine bağlı gelişen ve gelişebilecek heyelanlanma oranını arttırdığı ve bu bakımdan hassas alanların daha çok vadinin kuzeyinde yaygın olduğu ortaya konulmuştur.

Kaynakça

Cihangir, M. E. (2013). Alaplı Çayı Sel ve Taşkın Analizi. *İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, (Basılmamış yüksek lisans tezi),

- İstanbul.
- Cihangir, M. E. ve Görüm, T. (2016). Kelkit vadisinin aşağı çığırında gelişmiş heyelanların dağılım deseni ve oluşumlarını kontrol eden faktörler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 19-28.
- Crozier, M. J. (1997). The climate-landslide couple: a southern hemisphere perspective. *Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the Holocene*. Gustav Fischer Verlag, 333-354.
- Dai, F. and Lee, C. (2001). Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. *Engineering Geology*, 59(3-4), 253-266.
- Dai, F., Xu, C., Yao, X., Xu, L., Tu, X. and Gong, Q. (2011). Spatial distribution of landslides triggered by the 2008 Ms 8.0 Wenchuan earthquake, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(4), 883-895.
- Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2016). Koyulhisar ve Suşehri İstasyon Verileri.
- Dikau, R. and Schrott, L. (1999). The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC): main objectives and results. *Geomorphology*, 30(1), 1-12.
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., Sonmez, H., (2006). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51(2), 241-256.
- Duman T.Y., Nefeslioğlu H., Gökçeoğlu C., ve Sönmez H. (2005). 17/03/2005 Kuzulu (Sivas-Koyulhisar) heyelanı. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi*, Hacettepe Üniversitesi.
- Erdem, F. (1987). Kelkit Havzasında Sediment Erozyon İlişkileri. *Jeomorfoloji Dergisi*, 15, 65-73, Ankara.
- Ergene, A. (1987). *Toprak biliminin esasları*. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Glade, T., Crozier, M., Smith, P. (2000). Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical "Antecedent Daily Rainfall Model. *Pure and Applied Geophysics*, 157(6-8), 1059-1079.
- Gürsoy, H., Tatar, O., Mesci, L., ve Koçbulut F. (2005). Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde gelişen 17 Mart 2005 Kuzulu Mahallesi Heyelanının (Sugözü Köyü – Koyulhisar, Sivas) jeolojik, jeomorfolojik özellikleri ve mevcut risk durumu. *ATAG-9: Aktif Tektonik Araştırma Grubu 9. Toplantısı*, 22-24 Eylül.
- Gürsoy, H., Tatar, O., Koçbulut, F., Mesci, B.L., Akpınar, Z., Tunçer D., ve Yaman, S. (2006). Kuzulu (Sugözü-Koyulhisar, Sivas) heyelan bölgesinin temel jeolojik özellikleri: heyelan sahasında gözlenen tektonik yapıların heyelanın gelişiminde rolü var mı?. *ATAG10 - Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı*, s. 44-45, Sivas.
- Gökçeoğlu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., Can, T., (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81(1), 65-83.
- Gorum, T., Fan, X., van Westen, C. J., Huang, R. Q., Xu, Q., Tang, C., Wang, G. (2011). Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake. *Geomorphology*, 133(3-4), 152-167.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A. (2008). Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards*, 46(3), 323-351.
- Gökçe, O., Özden, Ş., ve Demir, A. (2008). Türkiye'de afetlerin mekânsal ve istatistiksel dağılımı. *T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı*, Ankara.
- Keçer, M. v. T., K. (1986). Kuzey Anadolu Fayına Bağlı Olarak Neotektonik Dönemde Oluşan Suşehri Havzası'nın Evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 14, 57-63, Ankara.
- Larsen, M. C. and Simon, A. (1993). A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment. *Puerto Rico. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 75(1-2), 13-23.
- Mater, B. (1998). *Toprak coğrafyası*. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E. A., Gokceoglu, C. and Ayas, Z., (2013). A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. *Computers & Geosciences*, 59, 1-8.
- Okay, A. I. (2008). Geology of Turkey: a synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Owen, L. A., Kamp, U., Khattak, G. A., Harp, E. L., Keefer, D. K. and Bauer, M. A. (2008). Landslides triggered by the 8 October 2005 Kashmir earthquake. *Geomorphology*, 94(1-2), 1-9.
- Özer, Z. (1990). *Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber)*. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları (s 714).
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. and Vitek, J. D. (2014). Characteristics of landslides in western Colorado, USA. *Landslides*, 11(4), 589-603.
- Saaty, T. (1980). *Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill Company". New York.
- Sassa, K., Fukuoka, H., Wang, G. and Ishikawa, N. (2004). Undrained dynamic-loading ring-shear apparatus and its application to landslide dynamics. *Landslides*, 1(1), 7-19.
- Seymen, İ. (1975). Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu fay zonunun tektonik özelliği. Doktora tezi, *İTÜ Maden Fak.*
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., and Polat, A. (2012). Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518, 55-62.
- Takahashi, T. (1980). Debris flow on prismatic open channel. *Journal of the Hydraulics Division*, 106(3), 381-396.
- Terzaghi, K. V. (1936). The shearing resistance of saturated soils and the angle between the planes of shear. *In First international conference on soil Mechanics*, 1936 (Vol. 1, pp. 54-59).
- Toprak, V. (1989). Tectonic and stratigraphic characteristics of the Koyulhisar segment of the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey). PhD thesis, *Middle East Technical University*, Ankara.
- Ulusay, R., Aydan, Ö. and Kılıç, R. (2007). Geotechnical assessment of the 2005 Kuzulu landslide (Turkey). *Engineering geology*, 89(1-2), 112-128.
- Wu, C.-H., Chen, S.-C. and Chou, H.-T. (2011). Geomorphologic characteristics of catastrophic landslides during typhoon Morakot in the Kaoping Watershed, Taiwan. *Engineering Geology*, 123(1-2), 13-21.
- Yıldırım, A. (2006). Koyulhisar-Kuzulu (Sivas) Heyelanının Jeomorfolojik Etüdü. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 11(15).
- Yılmaz, A., Oral, A., ve Bilgiç, T. (1985). Yukarı Kelkit çayı yöresi ve güneyinin temel jeoloji özellikleri ve sonuçları. *MTA raporu* 112s.
- Yılmaz, İ. (2009). A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 297-306.