

GÖKDERE HAVZASI VE ÇEVRESİNİN (BİNGÖL GÜNEYBATISI) FREKANS ORANI METODUNA GÖRE HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

The Landslide Susceptibility Analysis of the Gökdere Basin and its Surrounding Region (The Southwest of Bingöl) According to the Frequency Ratio Method

Vedat AVCI¹

Özet

Bu çalışmada, Bingöl Havzası'nın güneybatısında yer alan ve Murat Nehri'nin yan kollarından olan Gökdere Havzası ve çevresinin, heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bingöl'ün güneybatısında yer alan Gökdere ve çevresinde litoloji, tektonik, morfoloji ve iklim özellikleri nedeniyle heyelan yoğun olarak görülmektedir. Bahçeli, Suvaran, Gökdere ve Yumaklı köylerinde görülen heyelanlar yerleşme, karayolu ve tarım arazilerini etkilemektedir. Sık yaşanan heyelanlar nedeniyle Gökdere ve Yumaklı yerleşmelerinde yer değiştirmeler ve mesken nakilleri yaşanmıştır. Litolojinin aglomera, tuf, bazalt ve marndan oluştuğu havza ve çevresi, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) içerisinde yer almakta olup, DAF'ın hareketine bağlı olarak depremler meydana gelmektedir. Tektonik hatların ve akarsu aşındırmasının etkisiyle eğim değerleri yüksektir. Kış mevsiminde kar kalınlığının 3-4 m'yi bulduğu inceleme alanında, bitki örtüsü ise oldukça seyrek. Doğal koşulların elverişli olması nedeniyle meydana gelen heyelanlar önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada frekans oranı metodu ile litoloji, fay hatlarına uzaklık, eğim, bakı, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsü faktörleri kullanılarak Gökdere Havzası ve çevresi için heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile her katmanın hücre sayısı ve bu katmanlarda yer alan heyelanlı hücre sayısı bulunmuş, bu veriler kullanılarak heyelan duyarlılık indeksi (LSI) oluşturulmuş ve faktör haritalarının veri tabanlarına işlenmiştir. Faktör haritaları toplanarak duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre yerleşmelerin tamamı, tarım alanları ve karayolları orta ve yüksek riskli sahada yer almaktadır. Tektonik olarak aktif olan sahada heyelanlar kaçınılmazdır. Bu nedenle heyelan duyarlılık haritası dikkate alınarak planlamaların yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bingöl, Gökdere Havzası, frekans oranı, heyelan duyarlılık analizi

Abstract

In this study, it is aimed to do the landslide susceptibility analyses of the Gökdere Basin and its surroundings as one of the tributaries of the Murat River located in the southwest of Bingöl Basin. Landslides are seen intensely in Gökdere which is located in the southwest of Bingöl and its surroundings due to the lithological, tectonic, morphological and climate features. The landslides which are seen in Bahçeli, Suvaran, Gökdere and Bahçeli villages affect the settlement, highway and farm lands. Substitutions and residential transfers are observed due to the frequent landslides in Gökdere and Yumaklı settlements. The basin and its surrounding region consisting of the lithological agglomerate, tuff, basalt and marl are located in the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and earthquakes occur due to the movements of EAFZ. The slope values are high with the effect of tectonic lines and stream erosion. Vegetation is rather sparse in the study area where the snow depth reaches up to 3-4 metres in the winter. Landslides caused by the susceptible natural conditions lead to important economical losses. A landslide susceptibility map is made for Gökdere Basin and its surrounding region using the frequency ratio method, lithology, distance to the fault lines, slope, aspect distance to the streams and vegetation. Cell numbers of each layer and cell numbers with landslide in these layers have been determined by geographical information systems, and using these data landslide susceptibility index (LSI) has been created and assigned to the database of factor maps. A susceptibility map is made by compiling the factor maps. According to the created susceptibility map, all of the settlements, farm lands and highways are located in the medium and high risk area. Landslides are inevitable in the tectonically active area. Therefore, the planning should be made by taking the the landslide susceptibility map into consideration.

Keywords: Bingöl, Gökdere Basin, frequency ratio, landslide susceptibility analysis

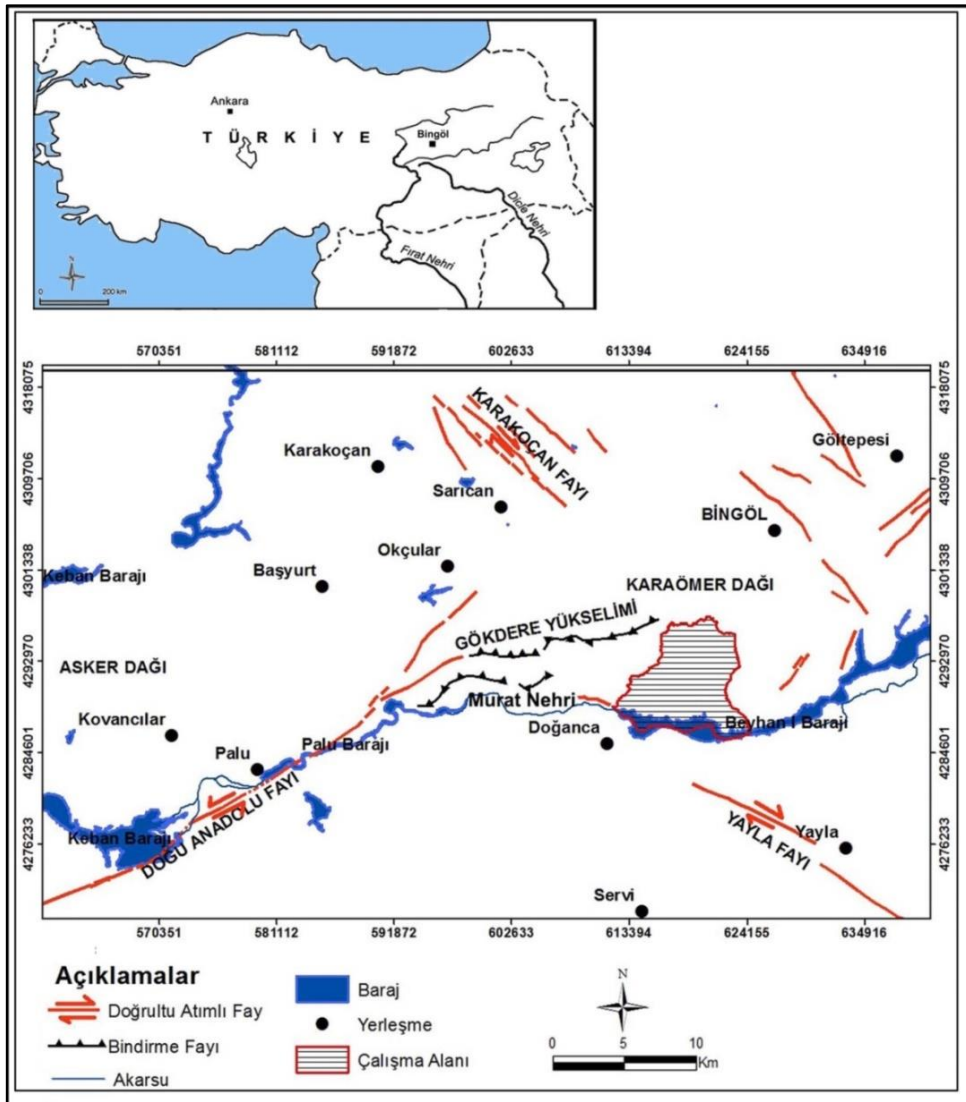
¹ Yrd. Doç. Dr., Bingöl Üniversitesi, Coğrafya Bölümü., vavci@bingol.edu.tr

GİRİŞ

Heyelanlar dünyada doğal afetlerin % 9'unu oluşturmaktadır (Zilman, 1999; Gökçeoğlu, Sönmez, Nefeslioğlu, Duman ve Can, 2005). Bilim ve teknolojideki ilerlemelere rağmen heyelanların ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri devam etmektedir (Guzzetti, Carrara, Cardinali ve Reichenbach, 1999; Crozer ve Glade, 2005).

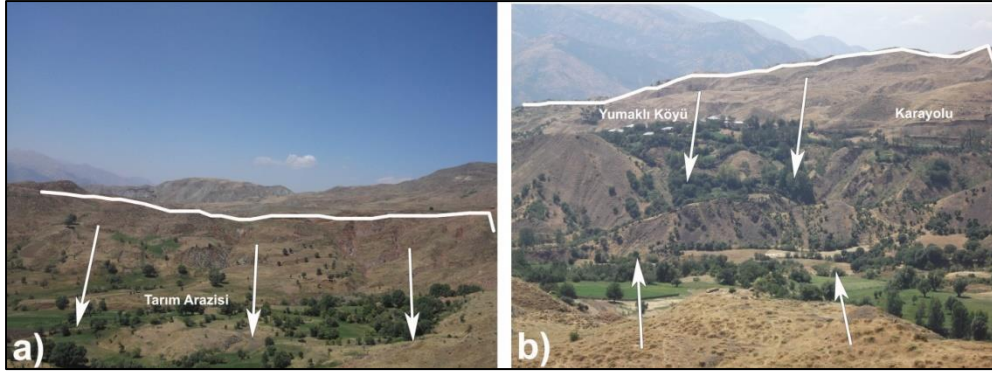
Bu çalışmaya konu olan Gökdere Havzası ve çevresinde heyelanlar yerleşme yerlerinin değiştirilmesine, meskenlerin, tarım alanlarının ve karayollarının zarar görmesine yol açmaktadır. Heyelanların neden olduğu ekonomik, sosyal ve çevresel etkiler sürmektedir.

Gökdere, Murat Nehri'nin yan kollarından olup, Bingöl'ün güneybatısında yer almaktadır. Bu çalışmada Gökdere Havzası ve komşu havzalar ile birlikte 82.6 km² alanda heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır. İnceleme alanının suları güneyde Murat Nehri'ne ve buradan Keban Barajı'na taşınmaktadır. Çalışma alanı kuzeyden Karaömer Dağı ile sınırlandırılmıştır. Güneyinde Murat Nehri üzerinde Beyhan I Barajı yer almaktadır (Şekil 1). Kuzeyde yer alan Karaömer Dağı oldukça engebeli bir yapıya sahiptir. Litolojinin de etkisiyle Karaömer Dağı'nın güneye bakan yamaçlarında yoğun olarak heyelan meydana gelmektedir. Havza ve çevresinde litolojiyi oluşturan volkaniklerin su alınca kolay hareket etmesi ve DAF'a bağlı oluşan depremler kütle hareketlerini kolaylaştırmaktadır. Cephe sistemlerinin etkisiyle bol yağış alan Gökdere ve çevresinde kar kalınlığı yüksek iken, bitki örtüsü oldukça seyrek. Havzanın güneyinde nispeten yoğun olan bitki örtüsü ise tahrip edilmektedir.



Şekil 1: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) lokasyon haritası

Jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşullarının elverişli olması nedeniyle meydana gelen heyelanlar önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1: Gökdere Havzası ve çevresinde heyelanlar tarım alanlarını (a-Gökdere köyü kuzeybatısı) ve karayollarını (b-Yumaklı köyü) etkilemektedir.

İncelenen alanda aktif heyelan alanları 11 km² alan kaplamaktadır. Aktif ve pasif heyelanların toplam alanı 16,5 km²'dir. Bu havza ve çevresinin % 20'sine karşılık gelmektedir. Bu durum heyelanların önemli bir sorun olduğunu göstermektedir. Havzada yer alan Gökdere köyü 1971 yılında meydana gelen Bingöl depremi ve neden olduğu heyelanlar sebebiyle yer değiştirmiştir (Fotoğraf 2). İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nün raporlarına göre Gökdere köyünde 1965 yılında meydana gelen heyelan 1 evin ve köy camisinin zarar görmesine neden olmuş, köyün büyük bir bölümü bu olaydan etkilenmemiştir. Ancak 22 Mayıs 1971 yılında meydana gelen Bingöl depreminin de etkisiyle heyelan olayı yaşanmış bunun sonucunda köyün tamamının aktif heyelana maruz kalması nedeniyle nakline karar verilmiştir. Köyün Haciali ve Miyalan Mahallesi nakledilmiştir. Deprem ve heyelan nedeniyle 123 hane zarar görmüştür.

Gökdere köyünde 1988 yılında meydana gelen heyelanlar nedeniyle de 20 konutun nakledilmesine karar verilmiştir. Nakledilen Gökdere köyünün yeni yerinde de benzer sorunlar görülmektedir. Köyün kuzeyinde tarım alanlarını etkileyen geniş boyutlu heyelanlar görülmektedir. Heyelanların yerleşmeyi etkileme olasılığı yüksektir. Bu durum yer seçiminde jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerin dikkate alınmadığını göstermektedir.



Fotoğraf 2: Gökdere köyü 1971 Bingöl depremi ve heyelan nedeniyle yer değiştirmiştir.

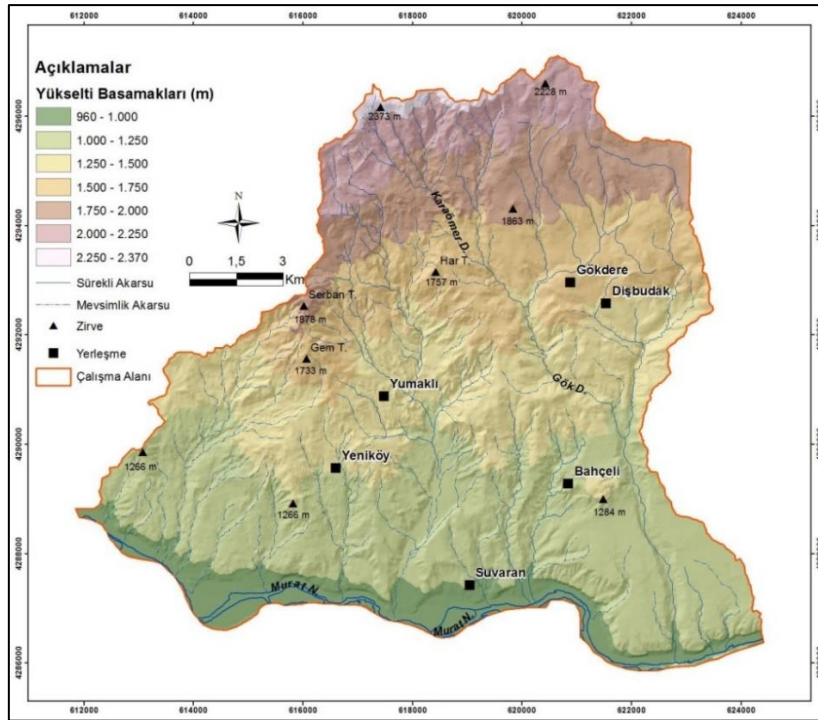
Gökdere Havzası ve çevresinin yer aldığı Murat Nehri Vadisi'nde kütle hareketleri önemli sorunlara yol açmaktadır. DAF'ın vadiden geçmesi sahanın tektonik olarak aktif olmasını sağlamıştır. Bu durum kütle hareketlerini kolaylaştırmaktadır. Atalay (1974-1977) Muş-Palu arasında Murat Vadisi boyunca aktif halde kütle hareketlerinin (heyelan, yamaç depolarının sürünmesi, kaya ve blok akıntıları) görüldüğünü, bu kütle hareketlerinin Elazığ-Muş demiryolunun bozulmasına ve hatta tren kazalarının meydana gelmesine sebep olduğunu belirtmektedir. Özdemir ve Tonbul (1990) Murat Nehri Vadisi'nde Palu yakınlarında DAF'ın zayıf bir zon oluşturması, vadi yamaçlarında kıltaşı, marn gibi instabil kayaların yüzeylenmesi, Murat Nehri'nin içbükey yamaçları alttan oyması ve kuvvetli yamaç eğiminin heyelanlara yol açtığını belirtmektedir. 8 Mart 2010 Elazığ-Başyurt depreminde inceleme alanında yer alan Bahçeli ve Suvaran köyleri arasında heyelanlar meydana

gelmiştir (Emre, Duman, Özalp ve Elmacı, 2010). Sunkar (2011) Bingöl-Palu arasında heyelanların yoğun olarak görüldüğünü ve yerleşmelerin bir bölümünün eski heyelanlar üzerinde kurulduğunu belirtmektedir. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanterine göre inceleme alanı heyelan açısından oldukça riskli konumdadır (Gökçe, Özden ve Demir, 2008). MTA tarafından hazırlanmış olan heyelan envanter haritasına göre Gökdere ve çevresinde aktif ve paleo heyelanlar geniş yer tutmaktadır. Sahanın tektonik olarak aktif olduğu düşünüldüğünde bu durum jeomorfolojinin önemini ortaya koymaktadır (Duman, Olgun, Çan, Nefeslioğlu, Hamzaçebi, Elmacı, Durmaz ve Çörekçioğlu, 2009).

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri kullanılarak Gökdere Havzası ve çevresi için heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Yapılacak analizlerle yerleşmelerin, tarım alanlarının ve karayollarının heyelan açısından riskli konumda olup olmadığı ve alınacak önlemler belirlenecektir.

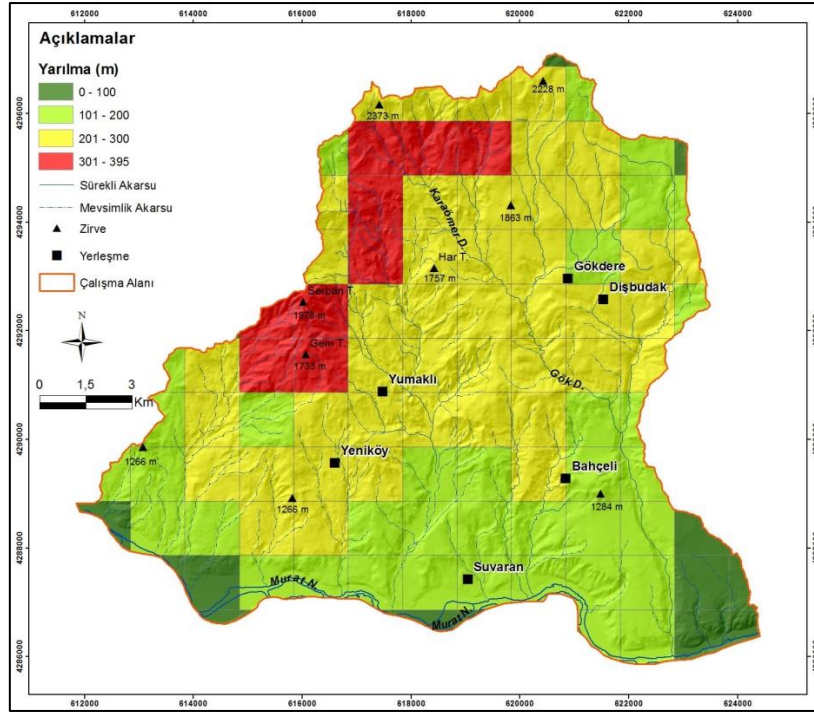
GÖKDERE HAVZASI VE ÇEVRESİNİN BAŞLICA COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma Gökdere ve komşu akarsu havzalarını kapsamaktadır. Kuzeyden Karaömer Dağı’nın uzantıları, güneyden Palu ve Beyhan Barajları ile sınırlandırılan inceleme sahası 82,6 km² alan kaplamaktadır. İnceleme alanının en yüksek noktaları kuzeyde yer almaktadır. Karaömer Dağı’nın uzantıları olan bu zirvelerde yükselti 2373 m’yi bulmaktadır. Gem Tepe (1733 m), Har Tepe (1757 m), Serban Tepe (1878 m) diğer yükseltileri oluşturmaktadır. Gökdere Havzası ve çevresi tektonik ve akarsu aşındırmasının etkisiyle oldukça engebelerdir. İncelenen alanda yükselti 960-2373 m arasında değişmekte, ortalama yükselti 1406 m’ye ulaşmaktadır. Araştırma alanının kuzeyi ile güneyi arasında belirgin yükselti farkı dikkati çekmektedir (Şekil 2). Bu durum tektonik hatlara bağlıdır. Ortalama eğimin 15° olduğu havza ve çevresinde eğim değerleri 0-56° arasında değişmektedir. Kuzeyde ve batıda vadi yamaçlarında eğim değerleri yükselmektedir.



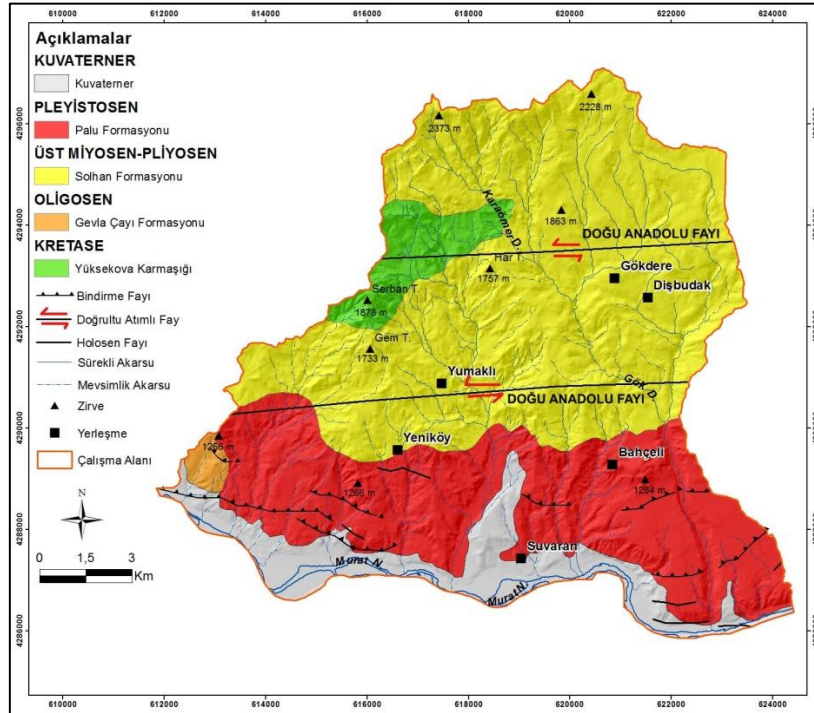
Şekil 2: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) fiziki haritası

Gökdere Havzası ve çevresinin sularını toplayan akarsuların vadileri oldukça derindir. Vadi derinliği kuzeybatıda 400 m’ye ulaşmaktadır (Şekil 3). Eğimli vadi yamaçlarında yüzeylenen kayaların su alınca kolayca hareket etmesi heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) yarıma derecesi haritası

Gökdere Havzası ve çevresinde, Oligosen yaşlı Gevla Çayı Formasyonu birimleri ve Kratase yaşlı Yüksekova Karmaşığı ürünleri sınırlı bir yayılışa sahiptir (Sümengen, 2011). Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Solhan Formasyonu en yaygın birimi oluşturmaktadır. Birimi oluşturan aglomera ve tüfler havzanın kuzeyinde geniş bir yayılış alanına sahiptir. Bu saha aynı zamanda heyelanların güncel olarak devam ettiği bir alana karşılık gelmektedir. Havzanın güneyinde Pleyistosen yaşlı Palu Formasyonu birimleri yüzeylenmektedir. Formasyon konglomera, çakıtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Güneyde Murat Nehri Vadisi'nde Kuvaterner birimleri yüzeylenmektedir. Kuvaterner birimlerini alüvyonlar oluşturmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) jeoloji haritası (MTA Genel Müdürlüğü 1:100.000 ölçekli Elaziğ K44 Paftası ve 1:250000 ölçekli Diri Fay Haritası Elaziğ paftasından yararlanılarak çizilmiştir).

Gökdere Havzası ve çevresi tektonik açıdan DAF ile Gökdere Yükselimi arasında kalmaktadır. DAF, Arap-Afrika levhası ile Avrasya levhası arasındaki kıta-kıta çarpışması sonucu ortaya çıkmış bir transform faydır. Karlıova-Antakya arasında KD-GB doğrultusunda, toplam 580 km uzunluğunda ve sol yanal atımlıdır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şengör, Görür ve Şaroğlu, 1985;). DAF, uzunlukları 45-145 km arasında değişen 6 ana yapısal bölümden oluşmaktadır. Bunlar kuzeydoğudan güneybatıya doğru Karlıova-Bingöl, Palu-Hazar Gölü, Hazar Gölü-Sincik, Çelikhan-Erkenek, Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya bölümleridir. Fayın bu bölümleri aralı-aşmalı açılmalı ve sıkışmalı sıçrama veya bükümlerle birbirinden ayrılmaktadır. Karlıova-Bingöl ve Palu-Hazar Gölü bölümleri arasında Gökdere yükselimi, Hazar Gölü-Sincik ve Çelikhan-Erkenek bölümleri arasında Sincik yükselimi, fayın ana bölümleri arasında sıkışmalı sıçramalardan gelişmiş morfolitik yapılar (Şaroğlu, Emre ve Boray, 1987; Şaroğlu, Emre ve Kuşçu, 1992; Herece, 2008).

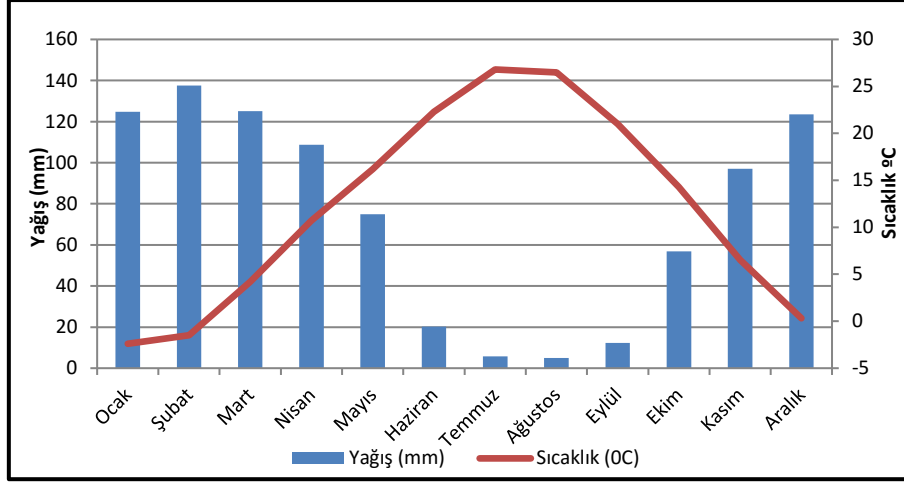
Bu yapılardan Gökdere yükselimi inceleme alanının güneyinden geçmektedir. Palu bölütünün Göynük bölütüne (DAF) doğru sağa sekmesi iki bölüt arasındaki bölgenin yükselmesine neden olmaktadır. Gökdere yükselimi olarak adlandırılan bu bölge batıda Beyhanlı köyü kuzeyinden doğuda Ormanardı köyüne kadar 30 km uzunluğunda 15 km genişliğinde bir alanı kapsamaktadır. Gökdere sıkışma bölgesinin yükselmesi, vadi tabanları ile alüvyon yelpazelerindeki derine kazılmalar, erken Pleyistosen yaşlı çökellerin günümüzde kazandıkları yükseklikler Palu-Bingöl arasındaki bölgenin Kuvaterner'de yükselmekte olduğunu göstermektedir (Herece, 2008).

Havzanın kuzeyinde DAF'a bağlı olarak oluşmuş fay diklikleri, fay basamakları yaygın olarak görülmektedir (Fotoğraf 3). DAF'a bağlı olarak inceleme alanında büyük kütle hareketleri görülmektedir. DAF inceleme alanında yarılmaların fazla olmasını sağlamıştır. Yarıma miktarı kuzeybatıda 400 m'yi bulurken, güneyde 100-200 m arasındadır. Bu değer incelenen alanın büyük bölümünde 200-300 m arasında değişmektedir.



Fotoğraf 3: Gökdere köyünün kuzeyinde DAF'a bağlı olarak fay diklikleri oluşmuştur.

Sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulan bakı haritasına göre güney yönlü yamaçlar fazla alan kaplamaktadır. Güneyden gelen hava kütleleri Karaömer Dağı boyunca yükselip, güneye dönük yamaçların bol yağış almasını sağlamıştır. Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nun (1177 m) verilerine göre yağış miktarı 891 mm'dir. Kuzeyde yükseltilerin 2400 m'yi bulduğu dikkate alındığında yağış miktarının oldukça fazla olacağı kaçınılmazdır. Kış ve ilkbahar en yağışlı dönemlere karşılık gelmektedir (Şekil 5). Kış yağışlarının büyük bir bölümü kar şeklindedir. Gökdere ve çevresinde bitki örtüsü tahribata bağlı olarak çok seyrek. Geçmişten günümüze kadar bu tahribat devam etmektedir. Havzanın batısına ve Murat Nehri kıyısına doğru bitki örtüsü sıklaşmaktadır.



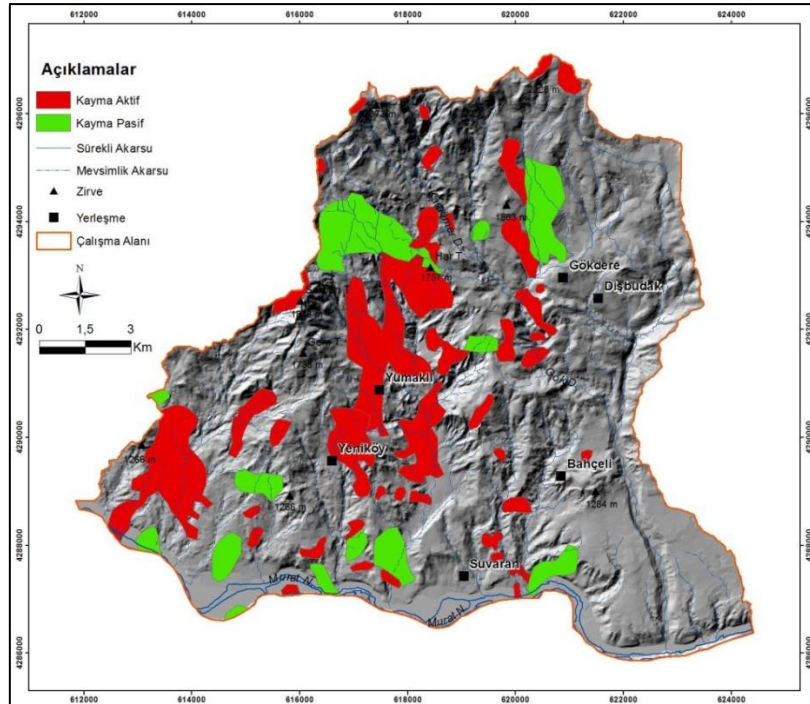
Şekil 5: Bingöl'ün aylık ortalama sıcaklık ve yağış grafiği (1975-2013, DMİ verileri)

Gökdere Havzası ve çevresinde heyelanların ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. İlkbahar mevsiminde yağış miktarının artması ve kış mevsiminde kalınlığı 3-4 m'yi bulan karın erimesi heyelanların bu dönemde yoğun olarak görülmesini sağlamıştır. Heyelanların sonbahar mevsiminde de görülmesi yağışın artmasına bağlıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Heyelan duyarlılık çalışmalarında öncelikle çalışılan alanın litolojik-tektonik özellikleri ile eğim-bakı gibi fiziksel özelliklerinin ve bitki örtüsünün bilinmesi gerekmektedir. Çalışma alanına ait MTA Genel Müdürlüğü 1:100.000 ölçekli jeoloji haritaları Elazığ K44 ve 1:250.000 ölçekli diri fay haritası Elazığ paftaları ile arazi çalışmalarından yararlanılarak litoloji ve tektonik haritaları, tektonik haritasından fay hatlarına uzaklık haritası oluşturulmuştur. Bu işlem için ArcGIS 10.1 Spatial Analiz-Distance-Euclidean Distance Modülü kullanılmıştır.

Bu çalışmada heyelan envanter haritası Erzurum paftasında Gökdere ve çevresine ait heyelan verileri ile arazi çalışmaları ve uydu görüntüleri birlikte değerlendirilerek güncel heyelan envanter haritası oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) heyelan envanter haritası (Duman ve ark., (2009) ile arazi gözlemleri ve uydu görüntüsüne göre hazırlanmıştır).

Eşyüksekti eğrileri kullanılarak 10x10 m çözünürlükte sayısal yükselti modeli oluşturulmuştur. Bu işlem için ArcGIS 10.1 Programı-Spatial Analiz-Interpolation-Topo to Raster modülü kullanılmış, bu modelden eğim, bakı haritaları üretilmiştir.

Topoğrafya haritası üzerinde mevsimlik ve sürekli akarsular sayısallaştırılmış, ArcGIS 10.1 Spatial Analiz-Distance-Euclidean Distance Modülü ile akarsulara uzaklık haritası oluşturulmuştur.

Çalışma alanına ait 29 Mayıs 2013 tarihli Landsat ETM+ uydu görüntüsünden bitki örtüsünü değerlendirmek için Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) haritası oluşturulmuştur (1).

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (1)$$

Bu çalışmada kullanılan frekans oranı metodu, mevcut heyelanların konumu ile heyelanı etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaktadır. Frekans oranı metodu bir olasılık modeline sahip olup, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmemeye olasılığına oranı olarak tanımlanabilir. Yeterli veri ile kullanıldığında heyelan duyarlılık analizinde iyi sonuç veren, uygulaması kolay bir olasılık modelidir. Bu nedenle lojistik regresyon, yapay sinir ağları metotları ile birlikte heyelan duyarlılığında sıkça kullanılan metotlardandır (Yılmaz, 2009; Eren ve Lacasse, 2007; Akıncı, Doğan, Kılıçoğlu ve Keçeci, 2010). Bu metod kullanıcı tercihlerinden doğabilecek subjektifliği ortadan kaldırmaktadır. Oldukça kolay uygulanması ve doğru sonuçlar vermesi bu yöntemin literatürde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Yöntem uygulanırken heyelan duyarlılık analizi için tüm katmanların mevcut heyelan alanlarını içeren kısımları hesaplanmış, her sınıfta grid verisi olarak heyelanlı alanlar da aynı çözünürlükte elde edilmiştir. Eğim, bakı, NDVI, fay hatlarına ve akarsulara uzaklık katmanları yeniden sınıflandırılmış, jeoloji katmanı da litolojik birimler halinde sınıflandırılmıştır.

Her bir katmanın alt sınıflarının frekans oranını bulmak için $FR = \frac{PLO}{PIF}$ (2) formülü kullanılmıştır. PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir. Bunların birbirlerine oranı da frekans oranını vermektedir (Wang, Sawada, Moriguchi, 2013; Lepore, Kamal, Shanahan ve Bras, 2012; Regmi, Giardino ve Vitek, 2010). Her katman için hesaplanan frekans oranı CBS ortamında ilgili katmana atanmış, tüm katmanlar üst üste çakıştırılarak 10x10 m hassasiyetinde heyelan duyarlılık indeksi (LSI-Landslide Susceptibility Index) oluşturulmuştur (Tablo 1). Heyelan duyarlılık indeksi (haritası) literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak (Gaprindashvili, Guo, Daorueang, Xin ve Rahimy, 2014; Sivakami ve Sundaram, 2014; Avci, 2015) 3 sınıfa ayrılmıştır (düşük, orta ve yüksek duyarlılık). Sonuç haritası histogram verisi kullanılarak eşit aralıklarla sınıflandırılmıştır.

Tablo 1: Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan katmanlar ve frekans oranı değerleri

Faktörler	Faktör_Alt Sınıf	Heyelan Pix. No.	PLO (%)	PIF (%)	Frekans Oranı (LSI)	
Formasyon	Kuvaterner	3644	3,23	89015	10,76	0,30
	Pleyistosen	33025	29,35	246740	29,83	0,98
	Solhan Formasyonu	69666	61,92	445727	53,90	1,14
	Gevlaçayı Formasyonu	1769	1,57	7140	0,86	1,82
	Yüksekova Karmaşığı	4394	3,90	38273	4,62	0,84
Fay Hatlarına Uzaklık	0-100	9526	8,46	73294	8,86	0,97
	100-250	15510	13,78	106885	12,92	1,06
	250-500	26287	23,36	166061	20,08	1,16
	500-750	22282	19,80	143586	17,36	1,14
	750-1000	15909	14,14	108573	13,13	1,07
	1000>	22984	20,43	228496	27,63	0,73
Eğim (0)	0-5	11262	10,01	136679	16,52	0,60
	5-15	44360	39,43	305686	36,96	1,06
	15-25	38751	34,44	256795	31,05	1,10
	25-45	18005	16,00	127047	15,36	1,04
	45>	120	0,10	688	0,08	1,25
Bakı	Düz	4819	4,28	61930	7,48	0,57
	Kuzey	1629	1,44	15442	1,86	0,77
	Kuzeydoğu	5919	5,26	32918	3,98	1,32
	Doğu	13492	11,99	89868	10,86	1,10
	Güneydoğu	24925	22,15	173982	21,04	1,05
	Güney	27068	24,06	198278	23,97	1,00
	Güneybatı	19385	17,23	144756	17,50	0,98
	Batı	11667	10,37	76656	9,27	1,11
Akarsulara Uzaklık (m)	Kuzeybatı	3594	3,19	33065	3,99	0,79
	0-100	61786	54,92	423169	51,17	1,07
	100-250	42317	37,61	304819	36,86	1,02
	250-500	7842	6,97	91183	11,02	0,63
	500-750	553	0,49	7679	0,92	0,53
750>	0	0	45	0,005	0	
NDVI	-0,58-0	36192	32,17	248828	30,09	1,06
	0-0,2	38973	34,64	279486	33,79	1,02
	0,2-0,4	29218	25,97	215900	26,10	0,99
	0,4>	8115	7,21	82681	9,99	0,72

BULGULAR

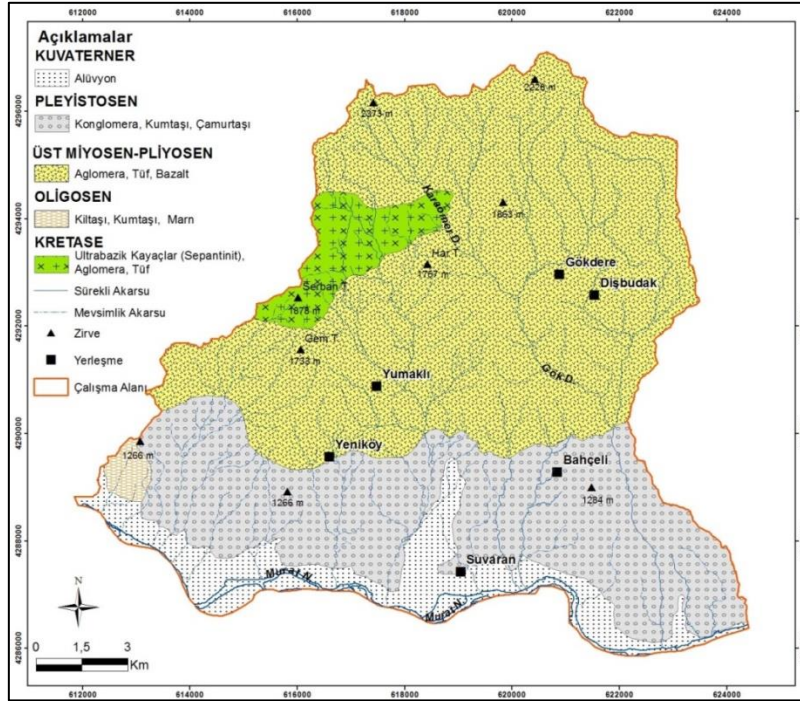
Frekans oranı metodu kullanılarak Gökdere Havzası ve çevresi için oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre, yerleşmelerin tamamının orta ve yüksek duyarlılık sınıfında olduğu görülmektedir. Bu bölümde heyelanlara neden olan faktörler ayrı başlıklar halinde değerlendirilecektir.

Jeolojik Özelliklerin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Gökdere Havzası ve çevresinde litolojik ve tektonik özellikler heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Litolojinin aglomera, tuf, bazalt ve marndan oluştuğu inceleme alanı tektonik olarak DAF Zonu içerisinde kalmaktadır. DAF, vadi yamaçlarında eğim değerlerinin yükselmesine neden olmuştur. DAF'a bağlı olarak meydana gelen depremler heyelanları tetiklemektedir. Bu bölümde havza ve çevresinin litolojik ve tektonik özellikleri ayrı başlıklar halinde değerlendirilecektir.

Litolojik Özelliklerin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

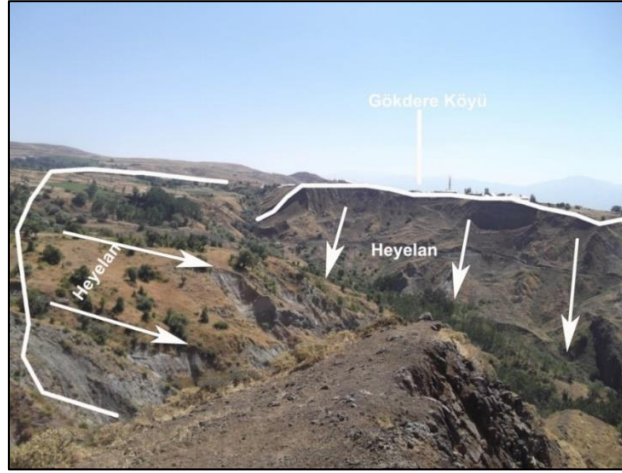
Gökdere Havzası'nın batısında Kretase'de oluşan Yüksekova Karmaşığı ürünü olan ultrabazik kayalar yüzeylenmektedir. Granit, gabro ve volkano-sedimanter kayalardan oluşan birim Perinçek (1979; 1980) tarafından adlandırılmıştır. Gökdere Havzası'nda Üst Miyosen-Pliyosen'de oluşan Solhan Formasyonu ürünü olan aglomera, tuf ve bazaltlar geniş bir yüzeylenme alanına sahiptir. Aglomera, tuf ve bazaltlar havzanın yarısından fazla bir alan kaplamaktadır (Şekil 7).



Şekil 7: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) litoloji haritası (MTA Genel Müdürlüğü 1:100000 ölçekli Elazığ K 44 Paftası ve 1:250000 ölçekli Diri Fay Haritası Elazığ paftasından (Duman, T. Y., vd. 2012) yararlanılarak çizilmiştir).

Vadi yamaçlarında yüze çıkan tüfler eğim değerlerinin de yüksek olması nedeniyle heyelana uygun bir ortam oluşturmaktadır. Heyelanların % 62'si bu formasyonu oluşturan litoloji üzerinde meydana gelmiştir. Havzanın batısında sınırlı bir alanda yüzeylenen marn, kumtaşı, kiltası, kumlu kireçtaşı Gevla Çayı Formasyonu ürünü olup, Metin (1972), Sirel, Metin ve Sözeri (1975) tarafından tanımlanmıştır. Formasyonun üst seviyelerinde marnlı düzeyler yaygındır (Sümengen, 2011). Havzanın batısında sınırlı bir alan kaplayan Gevla Çayı Formasyonu üyesi olan marnlar üzerinde heyelanlar görülmektedir. Çalışma sahasında geniş alan kaplamadığından mevcut heyelanların sadece % 3'ü bu formasyonu oluşturan litoloji üzerinde meydana gelmiştir. Ancak bu formasyonu oluşturan marnlar aynı zamanda duyarlılığın en fazla olduğu alana karşılık gelmektedir. Formasyonu oluşturan kayalar Karaömer Deresi'nin güneybatısında yüze çıkmaktadır. Güneyde litolojiyi Palu Formasyonu üyeleri olan çamurtaşı ve kumtaşı oluşturmaktadır. Bu birim yelpaze ve akarsu çökellerinden oluşmaktadır (Kerey ve Türkmen, 1991). Mevcut heyelanların % 30'u bu birim üzerinde görülmektedir. Murat Nehri Vadisi'nde Kuvaterner yaşlı alüvyonlar litolojiyi oluşturmaktadır (Harita 6). Bu birimler akarsu yataklarında, çöküntü alanlarında ve ovalarda birikmiş çakıl, kum ve çamur birikintilerinden oluşmaktadır (Sümengen, 2011). Gökdere köyü kuzeyinde 2012 yılı ilkbahar mevsiminde litolojik yapı, yağış ve kar erimelerine bağlı olarak meydana gelen heyelan, tarım alanlarını etkilemiştir (Fotoğraf 4). Bu sahadan Gökdere köyünün içme suyu şebekesi geçmektedir.

Heyelanların içme suyu şebekesine zarar verme olasılığı yüksektir. İnceleme alanının kuzeyinde 1971 Bingöl depreminden bu yana büyük boyutlara varan heyelanlar görülmektedir. Bu heyelanlar tarım alanlarını etkilemektedir.



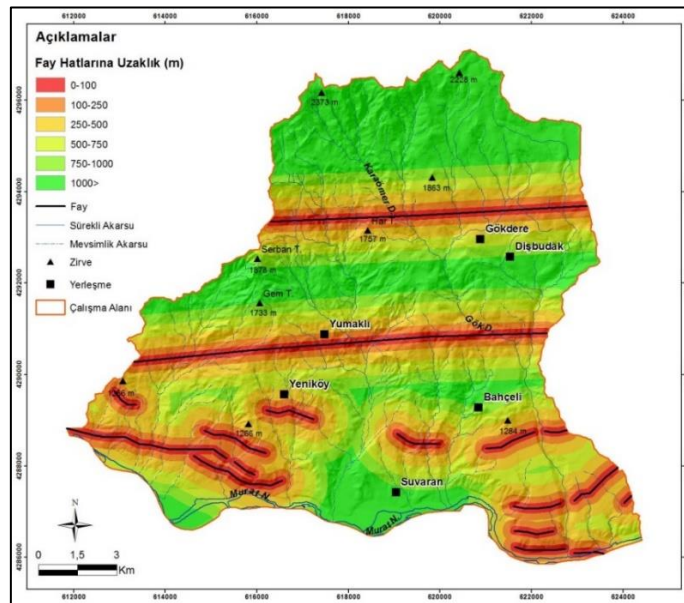
Fotoğraf 4: Gökdere köyü kuzeyinde tüflü yapıda geniş alanlı heyelanlar gelişmiştir.

Havzada litoloji, eğim ile birlikte heyelan oluşumunda etkisi fazla olan bir faktördür. Litolojinin tüflerden oluştuğu inceleme alanının kuzeyinde heyelanlar fazla ve duyarlılık yüksektir. Dik yamaçlarda yer alan aglomera ve tüfler sellenme ile parçalandıkları için denge açılarını kaybetmişlerdir. Tüflerin kil bakımından zengin olması kısa süre içinde likitide sınırına ulaşmasını sağlamakta ve heyelanlara neden olmaktadır. Ayrıca aglomera depolarının kolaylıkla çözülmesi hem yamaçların dengesinin bozulmasına hem de çözülen bu malzemenin Murat Vadisi'ne doğru akmasına neden olmaktadır (Atalay, 1974-1977). Buna karşın litolojinin alüvyonlardan oluştuğu güneyde, eğim değerlerinin de azalması heyelanların azalmasını sağlamaktadır.

Tektonik Özelliklerin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Gökdere Havzası ve çevresinde en önemli yapısal unsurlar DAF ve Gökdere Yükselimi'dir. DAF, Karaömer Deresi ve Gökdere'nin ötelenmesine neden olmuş, kuzeyde fay diklikleri oluşmuştur. DAF'ın meydana getirdiği diklikler heyelanların görülmesini kolaylaştırmaktadır. İnceleme alanının % 42'si fay hatlarına 0-500 m uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 8).

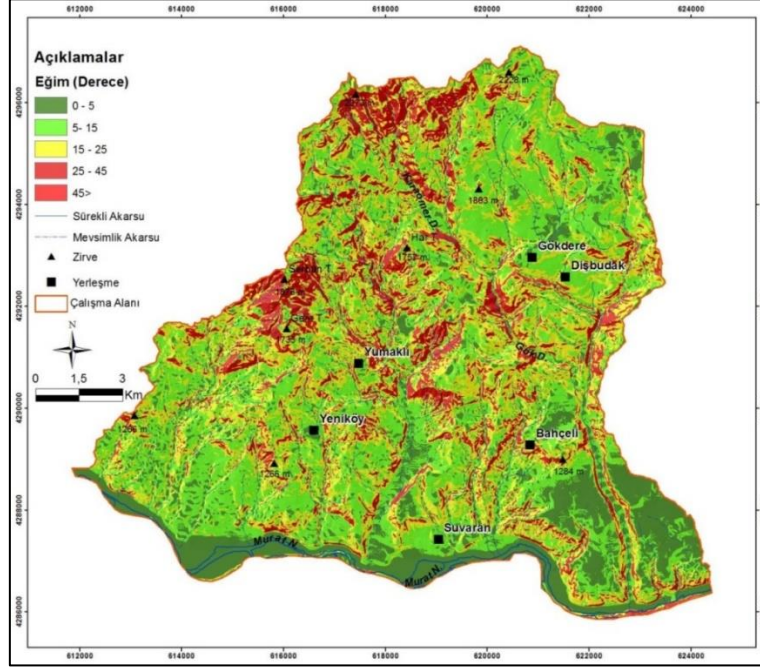
Yerleşmelerin tamamı fay hatlarına oldukça yakın konumdadır. Buna bağlı olarak meydana gelen heyelanlar yerleşmeleri etkilemektedir. Mevcut heyelanların % 45'i fay hatlarına 0-500 m uzaklıkta olan sahalarda meydana gelmiştir (Tablo 1). DAF aynı zamanda havza ve çevresinde depremlere neden olarak heyelanları tetiklemektedir. Havza ve çevresinde büyük heyelanların depremlerden sonra görülmesi bu durumu kanıtlamaktadır.



Şekil 8: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) fay hatlarına uzaklık haritası

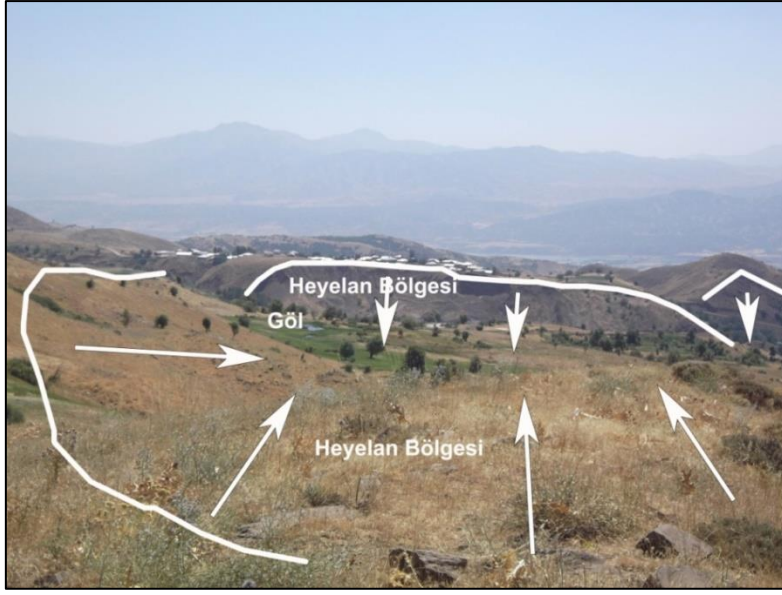
Eğimin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Genelde eğim değerlerinin arttığı alanlarda diğer koşulların da elverişli olması halinde heyelanlar artmaktadır. Gökdere Havzası ve çevresi için eğim haritası sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuş ve eğitim yeniden sınıflandırılmıştır. Eğim değerleri 0-56° arasında değişmekte, ortalama eğim 15°'yi bulmaktadır. Eğim haritasına göre havzada 5-15° ve 15-25° arasında eğime sahip sahalara geniş alan kaplamaktadır. 25-45° arasında eğime sahip sahalara % 15'lik bir orana sahiptir. Güneyi dışında akarsu vadileri eğimin arttığı sahalara karşılık gelmektedir. Güneyde Murat Nehri Vadisi'nin genişlediği alanlarda eğim azalmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) eğim haritası

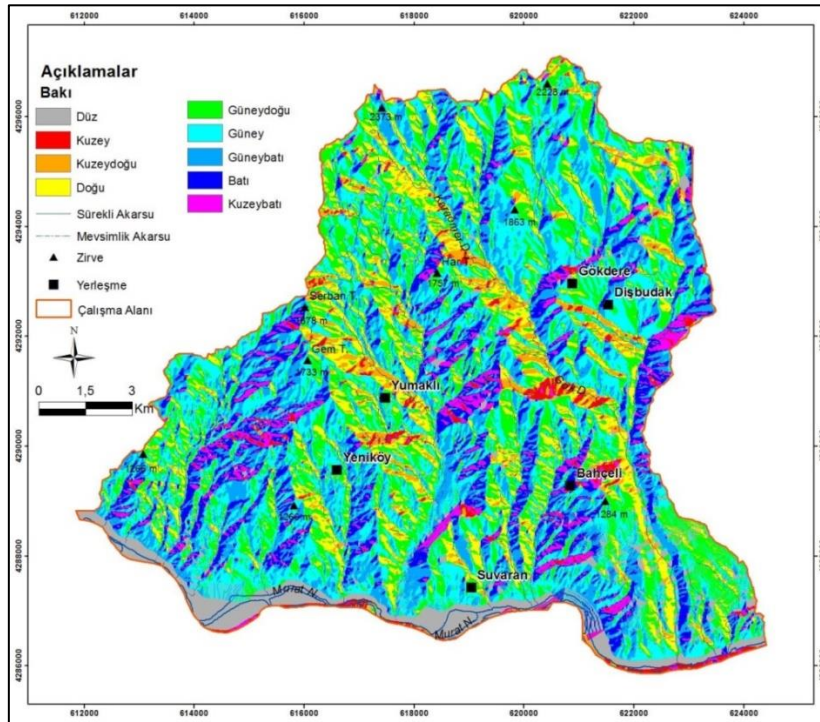
Eğimin yüksek olmasında tektonik ve akarsu aşındırması etkili olmuştur. DAF'ın bir zon şeklinde uzanması yükselti ve eğim farkına neden olmuştur. DAF'a bağlı olarak oluşan fay basamaklarının akarsularca yarılmaları engebeli bir topoğrafyanın oluşmasına neden olmuştur. Havzada heyelanların 5-15° ve 15-25° eğim gruplarında daha fazla meydana geldiği görülmektedir. Bu iki eğim grubunda görülen heyelanların alanı heyelanların toplam alanının yaklaşık % 74'ünü oluşturmaktadır. 45°> eğime sahip alanlarda heyelanların sadece % 0.1'i görülmektedir (Tablo 1). Gökdere Havzası ve çevresinde eğim ile heyelan arasında paralellik bulunmaktadır. Eğim değerlerinin yükseldiği sahalarda heyelanlar artmaktadır. Vadi yamaçlarında kurulan Gökdere köyü eğim değerlerinin yüksek olması nedeniyle kuzeyinden heyelan tehlikesi altındadır (Fotoğraf 5). İnceleme alanının kuzeyinde heyelanlar sonucu göller oluşmuştur. Göllerin yüzeyden gideğini bulunmamaktadır. Bu göllerde biriken suların sızması kütle hareketlerinin devam etmesini sağlamaktadır. Çünkü yeraltı suyu üzerinde yer alan geçirimsiz tabakaya tesir eder, onun plastisitesini artırır ve hareketini kolaylaştırır (Sür, 1972).



Fotoğraf 5: Gökdere köyünün kuzeyinde eğim değerlerinin arttığı yamaçlarda heyelanlar görülmektedir.

Bakının Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

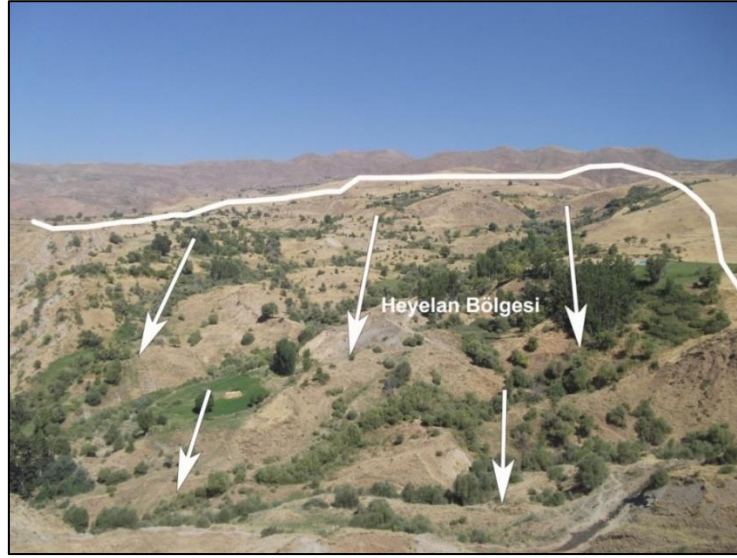
Sayısal yükselti modelinden elde edilen baki haritasına göre güney yönlü yamaçların fazla alan kapladığı görülmektedir. Güneye bakan yamaçlar havza alanının % 63'ünü oluşturmaktadır (Şekil 10). Bu durum havzanın B-D yönünde fayla kesilmesinin sonucudur. Hava kütlelerine açık olması nedeniyle güney yönlü yamaçlar bol yağış almaktadır. Kış mevsiminde kar şeklinde düşen yağışların ilkbaharda erimesi heyelanların yoğun olarak bu dönemde meydana gelmesine neden olmaktadır.



Şekil 10: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) baki haritası

Gökdere Havzası'nda heyelanların % 22,15 güneydoğu yönlü yamaçlarda, % 24,06'sı güney yamaçlarda, % 17,23'si güneybatı yamaçlarda görülmektedir. Bu durum yağış miktarının fazla olmasına bağlıdır. Bunun yanında kuzeydoğu yönlü yamaçlarda da frekans oranı yüksek çıkmıştır. Bu durum sıcaklıkların düşük olmasına bağlıdır. Havza ve çevresinde güney yönlü yamaçlar sıcaklık koşullarının elverişli olması nedeniyle tarım alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu yamaçların bol

miktarda yağış alması su problemini ortadan kaldırmaktadır. Ancak güney yönlü yamaçlarda yer alan tarım arazileri heyelanlardan etkilenmektedir (Fotoğraf 6)

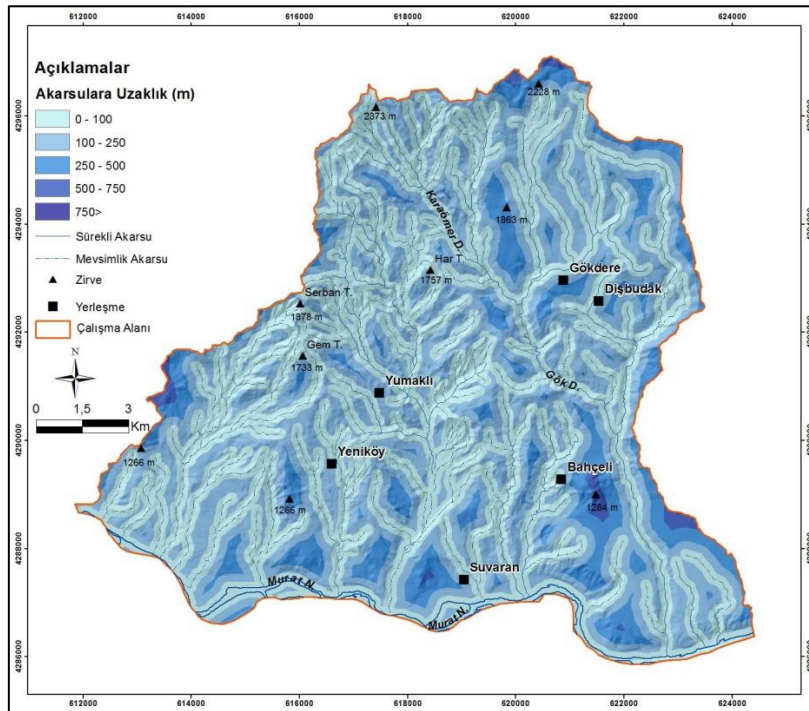


Fotoğraf 6: Gökdere Havzası ve çevresinde güneye bakan yamaçlarda kar erimelerine ve yağış miktarına bağlı olarak heyelanlar meydana gelmektedir.

Kuzeye bakan yamaçlarda sıcaklıkların düşük olması zemin nemliliğinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu durum kuzey yönlü yamaçlarda heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

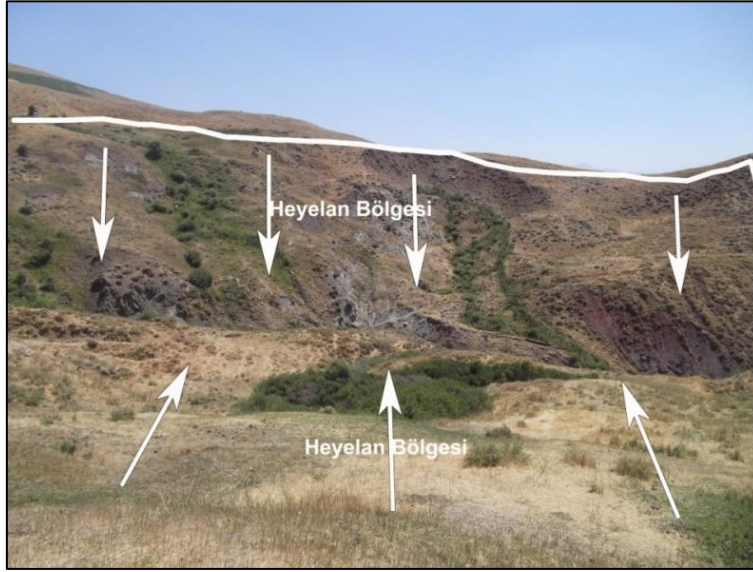
Akarsuya Uzaklığın Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Gökdere Havzası ve çevresinde akarsu sıklığı oldukça fazladır. Buna bağlı olarak çalışılan alanının yaklaşık % 51'i akarsulara 0-100 m uzaklıkta bulunmaktadır. Çalışılan alanın % 88'i akarsulara 0-250 m uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 11). Akarsu vadilerinde heyelanların sık olarak görüldüğü dikkate alındığında havzada akarsulara uzaklığın heyelan oluşumunda eğim ve litoloji ile birlikte önemli bir faktör olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 11: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) akarsulara uzaklık haritası

Havza ve çevresinde bitki örtüsünün de seyrek olması sel olaylarının meydana gelmesini kolaylaştırmaktadır. Sellenme ile yamaçların altının oyulmasına bağlı olarak vadi yamaçlarında heyelanlar görülmektedir. Heyelanların % 57' si akarsulara 0-100 m , % 37'si 100-250 m uzaklıkta görülmüştür. Heyelanlar vadi yamaçlarında yoğun olarak görülmektedir (Fotoğraf 7). Bu heyelanlar Erinc'in (2000) sınıflandırmasına göre "göçme tipi" heyelan sınıfına girmektedir.

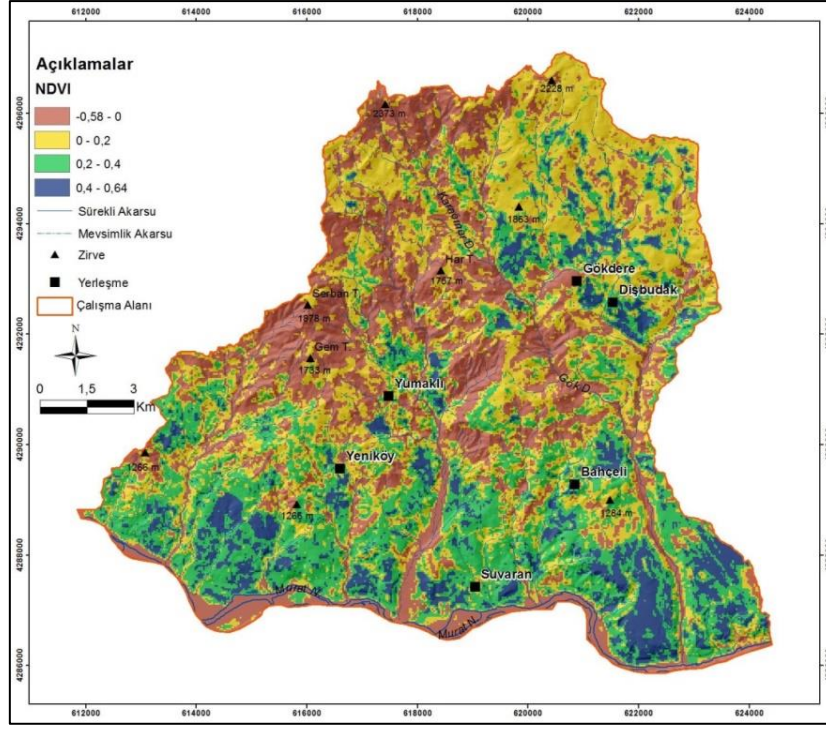


Fotoğraf 7: İnceleme alanının kuzeyinde vadi yamaçlarında görülen göçme tipi heyelanlar.

Oldukça engebeli olan havza ve çevresinde vadi yamaçları tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Heyelanlar her yıl tarım arazilerinin zarar görmesine neden olmaktadır.

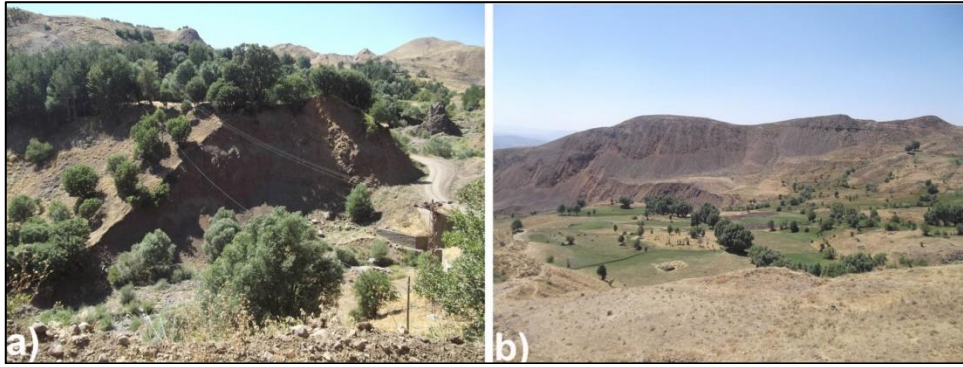
Bitki Örtüsünün Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Gökdere Havzası ve çevresinde doğal bitki örtüsünü oluşturan meşeler kısmen ya da tamamen tahrip edilmiştir. Bu nedenle incelenen alanın büyük bir kısmı bitki örtüsünden yoksundur. 29 Mayıs 2013 tarihli Landsat ETM+ uydu görüntüsünde elde edilen NDVI değerlerine göre havzanın % 30'undan fazlası bitki örtüsünden yoksundur. Bitki örtüsünün nispeten yoğun olduğu alanlar Gökdere ve Dışbudak köyleri arasında ve güneyde Murat Nehri Vadisi'nin kuzeyine karşılık gelmektedir (Şekil 12). Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda da heyelanlar görülmektedir. Bu durum inceleme alanının tektonik olarak aktif olmasına bağlıdır. Çünkü DAF Zonu'nda yer alan sahada sık sık depremler meydana gelmektedir. Bu durum yamaç depolarının hareketini kolaylaştırmaktadır.



Şekil 12: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) NDVI haritası

Bitki örtüsünün tahribi eğimli yamaçların hidrolojik dengesini bozmaktadır. Zeminin suya doymun olduğu dönemlerde düşen şiddetli yağışların büyük bir kısmı yüzeysel akışa geçerek, ani sellerin oluşmasına ve yamaç depoları gibi kohezyonu düşük depoların şiddetle aşınmasına, taşınmasına ve parçalanmasına sebep olmaktadır. Böylece seller tarafından yarılan kohezyonu düşük depolar, yamaçlar boyunca tedricen akmaya başlamaktadır (Atalay, 1974-1977). Gökdere ve çevresinde bu durum belirgin olarak görülmektedir. Karaömer ve Gökdere Vadileri'nde eğimli yamaçlar boyunca kaymalar görülmektedir. Nitekim 1996 yılında meydana sel nedeniyle Gökdere ve Karaömer Deresi Vadisi'nde kütle hareketleri görülmüştür. Bunun yanında günlük sıcaklık farkları sonucunda vadi yamaçlarında yer alan çatlaklı kayaların çözülmesi akımların görülmesini sağlamıştır (Fotoğraf 8).



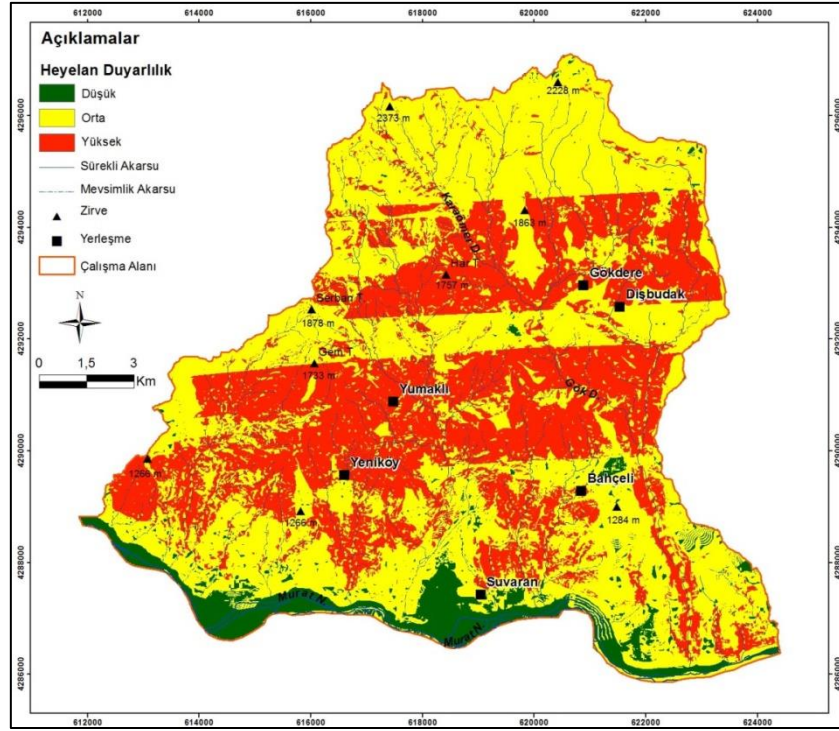
Fotoğraf 8: Gökdere Havzası ve çevresinde seller Yumaklı köyü doğusunda (a) ve sıcaklık farkları Gökdere köyü kuzeybatısında (b) akımlara neden olmaktadır.

Heyelanların % 32'si NDVI değerlerinin negatif olduğu alanlarda, % 34'ü 0-0,2 arasında, % 25'i 0,2-0,4, % 7'si 0,4'den büyük olduğu alanlarda görülmektedir. Gökdere Havzası ve çevresinde heyelanların bitki örtüsünün seyrek olduğu alanlarda yoğunlaştığı dikkate alındığında havza kuzeyi için ağaçlandırma çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada Gökdere Havzası ve çevresinin heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan faktörler ayrıntılı arazi çalışmaları ile belirlenmiştir. Duyarlılık analizinde kullanılan faktörler Coğrafi Bilgi Sistemleri ile alt sınıflara ayrılmış, her sınıftaki heyelan yüzdesi bulunarak duyarlılık haritası üretilmiştir.

Gökdere Havzası ve çevresi için litoloji, eğim, fay hatlarına uzaklık, bakı, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsü faktörleri kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasına göre yerleşmelerin tamamı heyelan duyarlılığının orta ve yüksek olduğu sınıfta yer almaktadır. Heyelan duyarlılığında sırasıyla eğim, litoloji, fay hatlarına ve akarsulara uzaklık, bitki örtüsü ve bakı faktörleri etkili olmuştur. Havzanın kuzeyi ile güneyi arasında duyarlılık açısından belirgin farklar bulunmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13: Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) heyelan duyarlılık haritası

Heyelan duyarlılığı yüksek olan sahalarda eğim değerleri yüksek, litoloji tuf ve marndan oluşmaktadır. Bu sahalarda aynı zamanda bitki örtüsü açısından fakirdir. Eğim değerlerinin yükselmesi heyelan duyarlılığının artmasını sağlamıştır. Eğimli vadi yamaçları duyarlılığın yüksek olduğu alanlara karşılık gelmektedir. Vadi yamaçlarına kurulan yerleşmeler meydana gelebilecek göçmelerden olumsuz etkilenemeyecektir. Gökdere köyü bu yerleşmelerin başında gelmektedir.

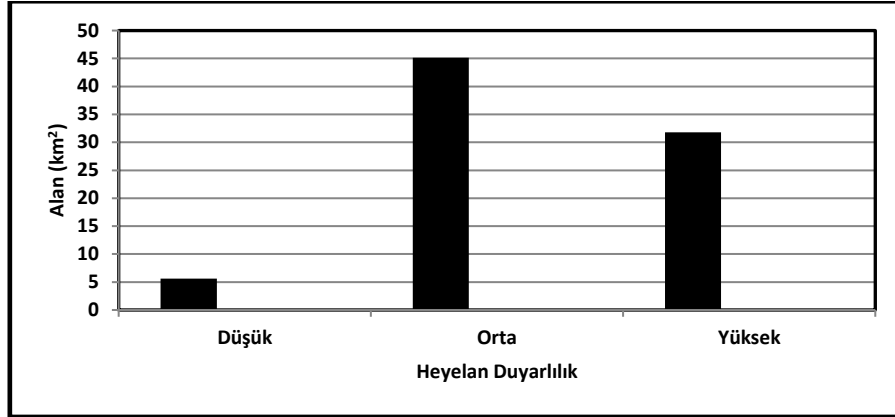
Tuf ve marnlı yapı heyelana zemin hazırlayan en önemli litolojilerdir. Buna karşın alüvyal malzemenin yaygın olduğu güneyde duyarlılık düşüktür. Murat Nehri Vadisi'nin genişlediği bu sahalarda risk düşüktür. DAF Zonu içerisinde yer alan Gökdere Havzası ve çevresinde fay hatlarına uzaklık heyelanların oluşmasında etkisi olan bir faktördür. Tektonik yapılar heyelan oluşumunu kolaylaştıran şartların oluşmasını sağlamıştır. Eğim değerlerinin yüksek olması buna örnektir. Tektonik yapı aynı zamanda heyelan açısından tetikleyici unsurdur. Heyelan duyarlılığının fay hatlarına yakın sahalarda yükseldiği dikkati çekmektedir.

İncelenen alanın büyük bir kısmı akarsulara 0-250 uzaklıkta bulunmaktadır. Bu akarsuların kaynak kısmı ile ağız kısımları arasında belirgin bir yükselti farkı bulunmaktadır. Buna bağlı olarak akarsu vadileri derin olup, eğim değerleri yüksektir. Bu durum heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Akarsulara 0-100 m uzaklıkta olan alanlarda duyarlılık yüksektir.

Havzanın bitki örtüsü açısından fakir olması heyelana zemin oluşturan bir diğer durumdur. Bitki örtüsünün seyrek olduğu havzanın kuzeyinde duyarlılık yüksekken, bitki örtüsünün nispeten yoğunlaştığı havzanın güneyinde duyarlılık düşmektedir.

Havza ve çevresinde güneye bakan yamaçlar geniş alan kaplamaktadır. Buna bağlı olarak yağış miktarı bu yamaçlarda artmaktadır. Bu durum heyelan duyarlılığının güney yönlü yamaçlarda yüksek olmasını sağlamıştır. Bunun yanında kuzeydoğu yönlü yamaçlarda da frekans oranı yüksektir. Bu durum sıcaklıkların düşük olmasına bağlı olarak zemin

nemliliğinin yüksek olmasının sonucudur. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre heyelana düşük duyarlı alanlar % 7, orta duyarlı alanlar % 55, yüksek duyarlı alanlar % 38'lük orana sahiptir (Şekil 14).



Şekil 14: Gökdere Havzası ve çevresinde (Bingöl Güneybatısı) heyelan duyarlılığının alansal dağılışı

Heyelanlar ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde görülmektedir. Bu durum kar erimeleri ve yağış miktarının artmasının sonucudur. Havzada yer alan Gökdere, Suvaran ve Yumaklı köylerinde heyelanlar nedeniyle mesken nakilleri olmuştur. Heyelan tehlikesi günümüzde de devam etmektedir. Havzanın en büyük yerleşmesi olan Gökdere köyünde bu durum belirgindir. Köyün kuzeyinde yer alan meskenler göçme nedeniyle risk altındadır. Köy yollarında heyelanlar zaman zaman ulaşımı aksatmaktadır. Gökdere ile Yumaklı arasında karayolu çeşitli kesimlerinde heyelanlardan etkilenmekte ve tarım alanları zarar görmektedir. Havza ve çevresinin tektonik özellikleri de dikkate alındığında heyelanların sık meydana geleceği dikkate alınmalıdır. Bu çalışmayla oluşturulan duyarlılık haritasının yapılacak planlama çalışmalarında dikkate alınması gerekmektedir.

Kaynakça

- Akinci, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C. & Keçeci, S. B. (2010). Samsun İl Merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 13-27.
- Atalay, İ. (1974-1977). Muş-Palu arasındaki Murat Nehri Vadisi boyunca oluşan kütle hareketleri. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 20-21, 263-276.
- Arpat, E. & Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 78, 44-50.
- Avcı, V. (2015). Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) heyelan duyarlılık analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 1-26.
- Crozier, M. J. & Glade, T. (2005). *Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach*. USA: John & Willey.
- Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Hamzaçebi, S., Elmacı, H., Durmaz, S. & Çörekçioğlu, Ş. (2009). *1/500000 Ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası Erzurum Paftası*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Elmacı, H. & Olgun, Ş. (2012) *1:250.000 Ölçekli Diri Fay Haritası Serisi Elazığ (NJ-37-7) Paftası*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü.
- Emre, Ö., Duman, T., Özalp, S. & Elmacı, H. (2010). *8 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi Değerlendirme Raporu*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Erener A. & Lacasse S. (2007). Heyelan duyarlılık haritalamasında CBS kullanımı. *Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi Bildiriler Kitabı içinde*. Trabzon: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.
- Eriç, S. (2000). *Jeomorfoloji I*. İstanbul: Der Yayınları.
- Gaprindashvili, G., Guo, J., Daorueang, P., Xin, T. & Rahimy, P. (2014). A new statistic approach towards landslide hazard risk assessment. *International Journal of Geosciences*, 5, 38-49.
- Gökçe, O., Özden, Ş. & Demir, A. (2008). *Türkiye'de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri*. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüd ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, 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, 65-83.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Herece, E. (2008). *Doğu Anadolu Fayı Atlası*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü.

- Kerey, E. & Türkmen, İ. (1991). Palu Formasyonu'nun (Pliyosen-Kuvaterner) sedimantolojik özellikleri, Elazığ Doğusu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 34(1).
- Lepore, C., Kamal, S. A., Shanahan, P. & Bras, R. L. (2012). Rainfall-induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico. *Environmental Earth Sciences*, 66.
- Metin, S. (1972). *Elazığ-K44-a3 ve a4 Paftalarının Jeolojisi*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Özdemir, M. A. & Tonbul, S. (1990). Kovancılar Ovası ve Palu çevresinin (Elazığ Doğusu) uygulamalı jeomorfoloji bakımından incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 209-232.
- Perinçek, D. (1979). *Interrelations of the Arab and Anatolian Plates*. Guide Book B Geocom I.
- Perinçek, D. (1980). Bitlis metamorfitlelerinde volkanitli triyas. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23(2).
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. & Vitek, J. D. (2010). Assessing susceptibility to landslides: using models to understand observed changes in slopes. *Geomorphology*, 122, 25-38.
- Sirel, E., Metin, S. & Sözeri, B. (1975). Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'in stratigrafisi ve mikropalaeontolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18.
- Sivakami, C. & Sundaram, A. (2014). Landslide susceptibility zone using frequency ratio model, remote sensing and GIS—A Case study of western Ghats, India (Part of Kodaikanal Taluk). *Journal of Environment and Earth Science*, 4(22), 54-61.
- Sunkar, M. (2011). 8 Mart 2010 Kovancılar-Okçular (Elazığ) depremi; yapı malzemesi ve yapı tarzının can ve mal kayıpları üzerindeki etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 56, 23-37.
- Sümengen, M. (2011). *1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Elazığ K44 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Sür, Ö. (1972). Heyelan olaylarına sebep olan faktörler ve bunların Türkiye'de etkili olduğu alanlar. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 5-6.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Boray, A. (1987). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü
- Şaroğlu, F., Emre, E. & Kuşçu, İ. (1992). The East Anatolian Fault zone of Turkey. *Annales Tectonicae*, 6.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, strike-slip faulting and basin formation. In (Ed. K.T. Biddle & N. Christie-Blick), *Society of economic paleontologists and mineralogists special publication*.
- Wang, L. J., Sawada, K. & Moriguchi, S. (2013). Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy. *Computer and Geosciences*, 57, 81-92.
- Yılmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*, 35, 1125-1138.
- Zillman, J. (1999). Report by the director of meteorology on the Bureau of Meteorology's Forecasting and Warning Performance for the Sydney Hailstorm of 14 April 1999; Bureau of Meteorology: Melbourne, Australia Available. Retrieved April 28 2014, from http://www.bom.gov.au/inside/services_policy/storms/sydney_hail/hail_report.shtml.