



BİNGÖL ÇAYI HAVZASI'NIN (BİNGÖL) HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Analysis of Landslide Sensitivity of Bingol Stream Basin (Bingol)

Vedat AVCI*

ÖZET

Bingöl Çayı Havzası Bingöl'ün batısında yer almakta olup, 106 km² alan kaplamaktadır. Havzanın eğim atımlı faylarla parçalanması ve nisbi reliefin yüksek olması eğim değerlerinin artmasına neden olmuştur. Litolojinin aglomera, tuf ve marndan oluştuğu havzada yağış miktarı fazla, bitki örtüsü oldukça seyrek. Havzada geçirimsiz litoloji ve eğim değerlerinin yüksek olması akarsu yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. Doğal koşulların elverişli olması nedeniyle meydana gelen heyelanlar yerleşmeler ve vadi yamaçlarından geçirilen karayolunun çeşitli kesimlerinde ulaşımı etkilemektedir. Bu çalışmada Bingöl Çayı Havzası için heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası litoloji, fay hatlarına uzaklık, eğim, yağış, Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI), akarsu ağlarına uzaklık, yükselti ve bakı parametreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Tek değişkenli istatistik yöntemlerinden biri olan "heyelan duyarlılık analizi" kullanılarak duyarlılık haritası elde edilmiştir. Arazi gözlemleri ve heyelan envanter haritasından yararlanılarak heyelan alanları sayısallaştırılmış, heyelan duyarlılığı için hazırlanan diğer haritalarla karşılaştırılarak parametrelerin ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkları belirlenen parametre haritalar, birleştirilerek duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Elde edilen heyelan duyarlılık haritasında yerleşmelerin büyük bir kısmının duyarlılığın yüksek olduğu alanlarda kaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bingöl Çayı Havzası, Bingöl, Heyelan Duyarlılık Analizi

ABSTRACT

Located in the west of Bingol, Bingol Stream Basin covers an area of 106 km². The basin split by normal fault and high relative relief together have led to an increase in slope values. In the basin where lithology is composed of agglomerate, tuff and marl, the precipitation is high and vegetation is rather poor. Impermeable lithology and high slope values has led to an increase in density of the stream in the basin. Landslides occurred due to favorable natural conditions affect the settlements and the transportation in various parts of the highway passing through sides of valley. This study aims to analyze the landslide sensitivity of Bingol Stream Basin. Landslide sensitivity map has been formed using lithology, the distance to the fault line, slope, rainfall, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), distance from the stream network, elevation and aspect parameters. Sensitivity map has been obtained by using landslide sensitivity analysis, which is one of the Methods of Bivariate Statistics. The landslide areas have been digitized by utilizing field observations and landslide inventory map has been overlaid by the other map prepared for the landslide sensitivity map and the weights of parameters have been determined. Parameter maps, whose weights determined, have been combined to form sensitivity map. It is observed that a major part of the settlement at the sensitivity map obtained remains in areas of high sensitivity.

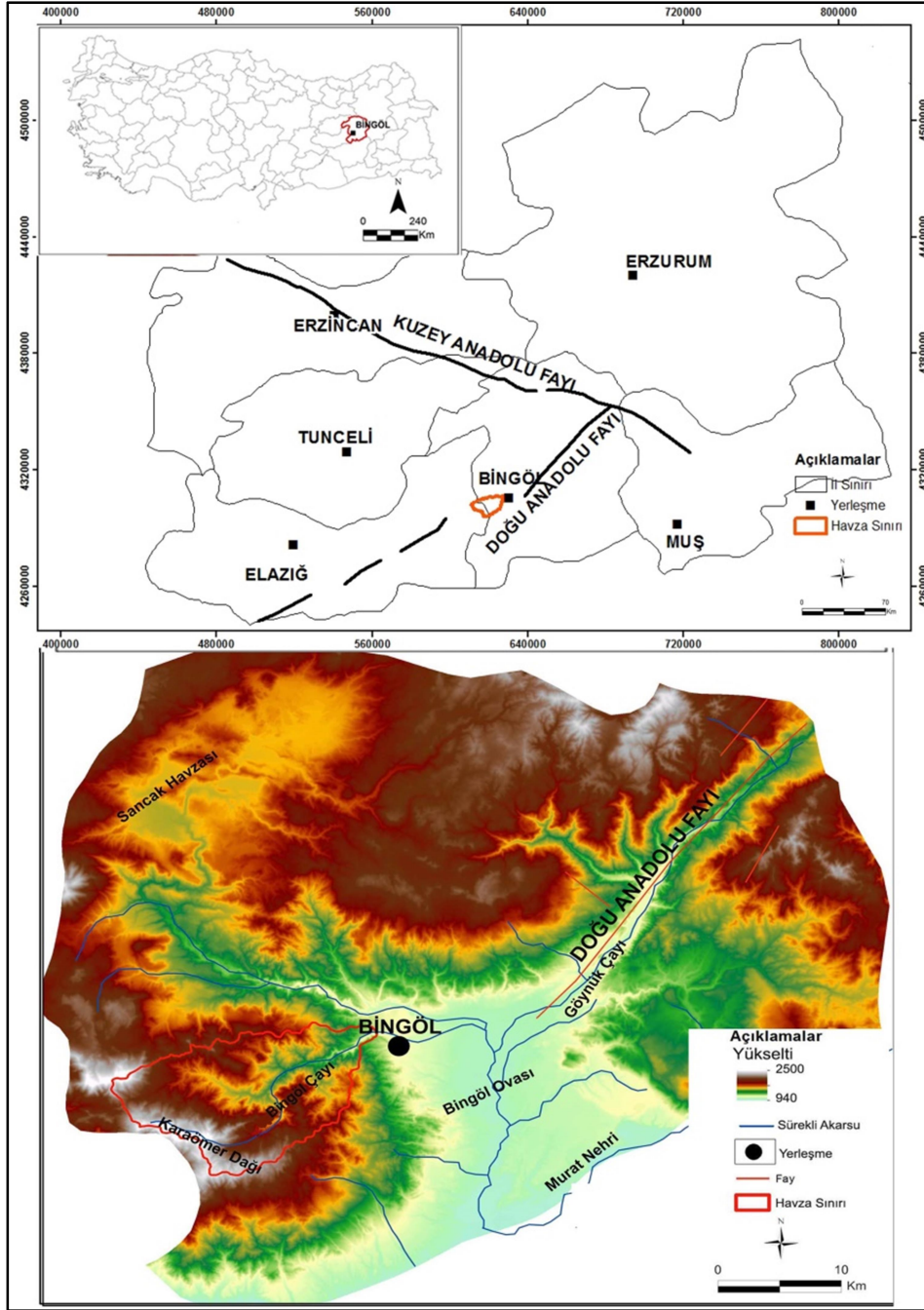
Key Words: Bingol Stream Basin, Bingol, Landslide Sensitivity Analysis

1. GİRİŞ

Kayalardan, döküntü örtüsünden veya topraktan oluşmuş kütlelerin, yerçekimi etkisi altında yerlerinden koparak yer değiştirmesi genel olarak heyelan terimi ile açıklanmaktadır. Bazı heyelanlar büyük bir hızla oluştukları halde, bazıları yavaşça bir şekilde oluşmaktadır. Heyelanlar yeryüzünde çok sık meydana gelen ve çok yaygın olan bir kütle hareketi çeşididir. Büyük heyelanlar aynı zamanda

* Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü – BİNGÖL e-mail: vavci@bingol.edu.tr.

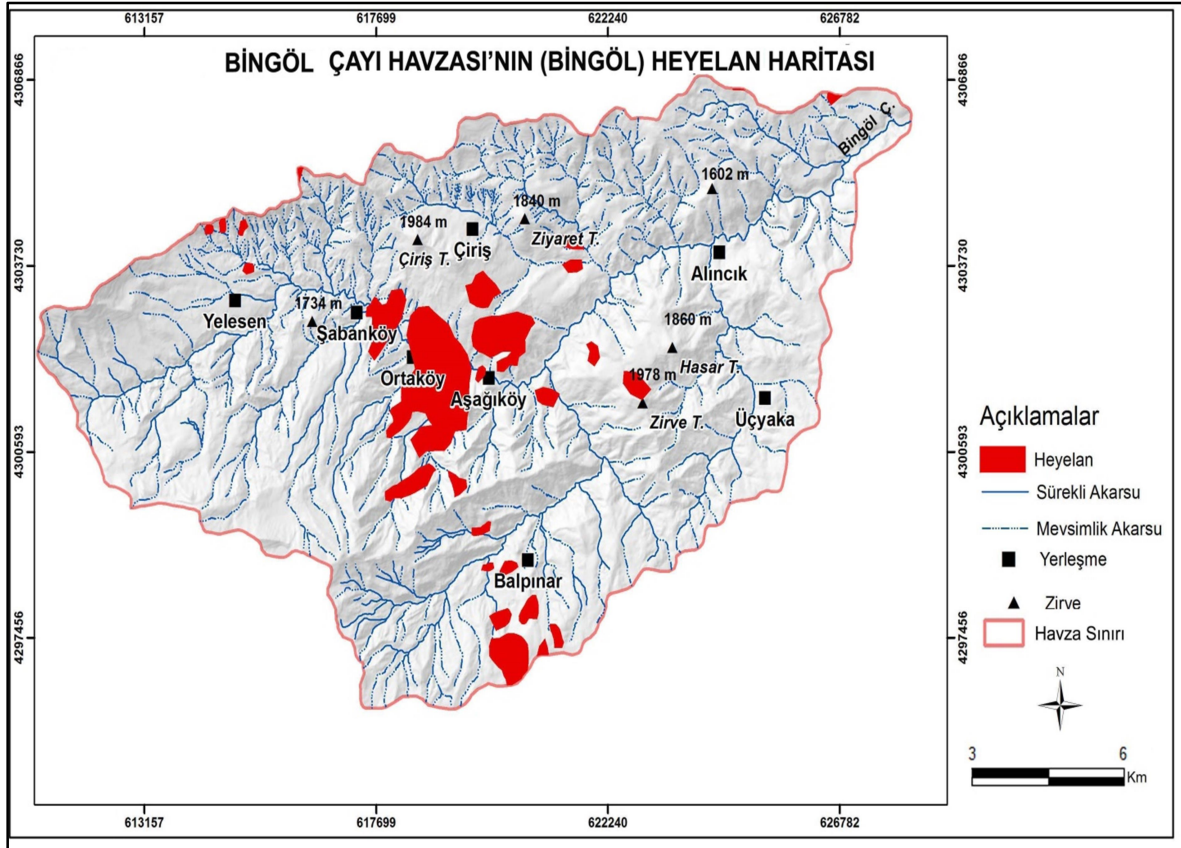
topoğrafyada derin izler bırakırlar (Erinç, 2000). Heyelanlar, deprem, su baskını ve çığ gibi afet boyutunda etkili olabilmektedir. Heyelanlar, jeolojik, jeomorfolojik, klimatolojik, meteorolojik etken ve süreçler ile insanların çeşitli etkinliklerine bağlı olarak yamaç dengesinin (stabilitesinin) bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır (Öztürk, 2002). Bingöl Çayı Havzası Bingöl'ün batısında yer almakta olup, 106 km² alan kaplamaktadır. Güneybatıdan Karaömer Dağı tarafından sınırlandırılan havzanın sularını Bingöl Çayı toplamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) lokasyon haritası

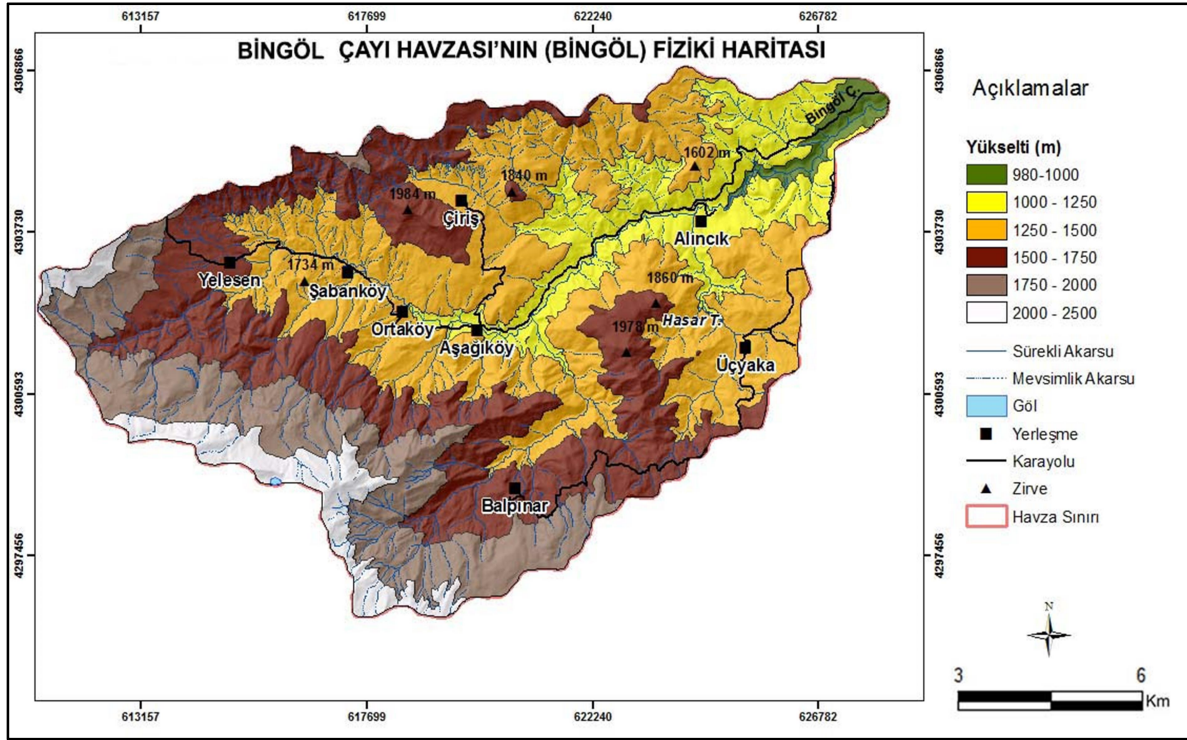
Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) Heyelan Duyarlılık Analizi.

Bingöl Çayı Bingöl Ovası'nda Göynük Çayı ile birleşip Murat Nehri'ne katılmaktadır. Doğu Anadolu Fayı'na çok yakın olan havzada depremler ve buna bağlı olarak kütle hareketleri görülmektedir. Çalışma sahasının içinde bulunduğu Bingöl ilinde 1970-2012 yılları arasında toplam 44 heyelan olayı meydana gelmiş olup, bu açıdan ülkemizde 6. sırada yer almaktadır (TUAA, 2012). Havzada heyelan alanları 5 km² alan kaplamakta olup, bu havzanın 1/20'sine karşılık gelmektedir. Heyelanlar vadi yamaçlarında yoğun olarak görülmektedir. Afet ve Acil Durum Başkanlığı'nın (AFAD) verilerine göre havzada Balpınar, Üçyaka, Aşağıköl, Şabanköy ve Çiriş köylerinde mesken nakillerine yol açan heyelanlar yaşanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bingöl Çayı Havzası'nda (Bingöl) görülen heyelanların dağılışı (MTA Genel Müdürlüğü Heyelan Envanter Haritası Erzurum paftası ve arazi gözlemlerinden yararlanılarak hazırlanmıştır)

Yerleşmeler kurulurken yörenin iklim ve jeomorfolojik özellikleri dikkate alınmadığından, bu tür afetlerin olumsuz etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Heyelanlar köy yollarının zaman zaman kapanmasına neden olmaktadır. Havzada yükselti 1140-2550 m arasında değişmekte, ortalama yükselti 1776 m'yi bulmaktadır. Güneybatıda havzanın eğim atımlı fayla kesilmesi yükselti farkını artırarak Bingöl Çayı'nın yatağına gömülmesine neden olmuştur. Bu gömülme bazı kesimlerde 500 m'yi geçmektedir (Şekil 3, Foto 1).



Şekil 3. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) fiziki haritası



Foto 1. Bingöl Çayı'nın yatağına gömülmesi eğim değerlerinin artmasını sağlamıştır

Ortalama eğimin 22° 'yi bulduğu havzada maksimum eğim değeri 61° 'dir. Havzanın faylarla parçalanması ve yarıntı erozyonun fazla olması eğim değerlerinin ve değişkenliğinin fazla olmasını sağlamıştır (Foto 2). $25-45^{\circ}$ arasında eğime sahip alanlar % 38'lik orana sahiptir.



Foto 2. Bingöl Çayı Havzası'nın kuzeyinde eğim değişkenliği fazladır

Bingöl Çayı Havzası'nın büyük bölümünde litoloji Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik tüf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Volkanikler dışında tortul kayalar da önemli alan kaplamaktadır (Tarhan, 1997; Sümengen, 2011). Havzanın batısında Bingöl Çayı Vadisi'nin yamaçlarında yüzeylenen marnlar heyelanların en fazla görüldüğü litolojidir. Tüf, aglomera, kiltası ve marn heyelana zemin hazırlayan önemli litolojilerdir. Bingöl Çayı Vadisi'nde yüzeyde kumtaşından oluşmuş geçirimli bir yapı, derinde ise tüflerin ayrışması, killi ve marnlı yapı nedeniyle geçirimsiz bir zemin oluşmuştur. Bu yapı nedeniyle çok geniş alanlı heyelanlar görülmektedir.

Schreiber tarafından önerilen (Dönmez, 1990) formül doğrultusunda Spline interpolation yöntemi kullanılarak havza için oluşturulan haritaya göre yağış miktarı 1033-1850 mm arasında değişmekte olup, güneybatıya doğru yükseltiye bağlı olarak bu miktar artmaktadır. Histogram verisi kullanılarak yapılan sınıflandırmaya göre heyelanlar 110-1300 mm ile 1500-1700 mm arasında yağış alan sahalarda artmaktadır. Yağış miktarı fazla olmasına karşın bitki örtüsü oldukça seyrek. 27 Mayıs 2013 tarihine ait Landsat ETM+ uydu görüntüsünden elde edilen Normalize Fark Bitki İndeksine (NDVI) göre, havzanın % 61'nin bitkiden yoksun olduğu görülmüştür. Havzada hayvancılık faaliyetinin ekstansif yöntemlerle yapılması ve yakacak odun temini, Bingöl gibi büyük bir yerleşmenin çalışma alanına yakınlığı seyrek olan bitki örtüsünün tahribini artırmaktadır (Foto 3). Bitki örtüsünün seyrek oluşu üzerinde killi yapının da etkisi bulunmaktadır. Killi toprakların su tutma kapasiteleri yüksektir. Fakat killi topraklar hava dolaşımını ve suyun sızmasını engeller. Bu nedenle killi topraklarda oksijen azlığına karşı duyarlı bitki türleri gelişmez (Efe, 2004). Ancak havzada bitki örtüsünün seyrek oluşu üzerinde beşeri faktörlerin etkisi daha fazladır. Yağışın ve eğimin fazla, zeminin geçirimsiz olması nedeniyle akarsu yoğunluğu artmıştır. Yörenin fiziki ve beşeri özellikleri heyelan oluşumu üzerinde etkili olmaktadır.



Foto 3. Bingöl Çayı Havzası'nın kuzeyinde bitki örtüsünün seyrek olduğu yamaçlarda heyelanlar görülmektedir.

Son yıllarda ülkemizde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama kullanılarak heyelana duyarlı alanların belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış görülmüştür (Yalçın, 2007; Yüksel, 2007; Ekinci, 2011; Kesici ve Sönmez, 2012; Özşahin, 2013; Avcı ve Günek, 2014; Avcı ve Günek, 2015). Yapılan bu çalışmalarla heyelan olabilecek yerler tespit edilebilmektedir. Bingöl Çayı Havzası'nda heyelanlar tarım ve mera alanlarını, yerleşmeleri ve karayollarını etkilemektedir. Doğal ve beşeri koşulların elverişli olması nedeniyle heyelanların etkisi güncel olarak devam etmektedir.

Kırsal alanlarda yatırımlar yapılırken heyelan riskinin dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü heyelan riski dikkate alınmadan yapılan yollar ve kurulan yerleşmeler bu olaydan ciddi zarar görmekte, önemli ekonomik zararlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmayla doğal ve beşeri faktörlerin heyelan oluşumunu kolaylaştırdığı havzada heyelana duyarlı alanların belirlenmesi, yapılacak planlamalarda duyarlılık haritalarının altlık olarak kullanılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada Bingöl Çayı Havzası'ndaki heyelanların coğrafi çevreyi ne şekilde etkilediği, heyelana neden olan faktörlerin etki derecesi ve risk taşıyan sahalarda alınması gereken tedbirler belirlenmeye çalışılmıştır.

2. AMAÇ-YÖNTEM

Bu çalışmada Bingöl Çayı Havzası'nda heyelana duyarlı alanların belirlenmesi, yerleşmelerin ve karayollarının hangi duyarlılık sınıfında olduğu, heyelan oluşumunda etkili olan faktörlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Havzada yerleşmelerin büyük kısmı heyelanlardan etkilenmiş ve bu etki devam etmektedir. Aktif heyelan alanları arazi gözlemleri ve MTA Genel Müdürlüğü'nün Heyelan Envanteri Erzurum paftasından ve arazi gözlemlerinden yararlanılarak sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanına ait topoğrafya haritalarının sayısallaştırılması ile Sayısal Yükselti Modeli (SYM) elde edilmiştir. SYM ArcGIS 10.1 programı Spatial Analiz-Interpolation-Topo to Raster Modülü kullanılarak oluşturulmuştur. SYM'den eğim, bakı, yükselti basamakları haritası, jeoloji haritasından litoloji ve fay hatlarına uzaklık haritaları, topoğrafya haritasından akarsulara uzaklık haritası elde edilmiştir. Schreiber tarafından önerilen (Dönmez, 1990) formül ile en yakın meteoroloji istasyonunun

verileri kullanılarak havza için yağış haritası oluşturulmuş, 27 Mayıs 2013 tarihli Landsat ETM+ uydu görüntüsünden NDVI değerleri çıkarılmıştır.

Heyelanın olmadığı alanlarda duyarlılık tahmini için farklı yöntemler gereklidir. Bu yöntemler, geçmişte meydana gelen tehlikeli olaylardan elde edilen bilgilerle gelecekte oluşabilecek olaylar hakkında yararlı bilgiler elde edilebilir esasına dayanmaktadır (Hansen, 1984). Bu nedenle bu tür olayların ve etkili olduğu düşünülen faktörlerin haritalanması duyarlılık zonlamasında önemlidir. Bu tür haritalar için genelde iki yaklaşım mevcuttur (Yalçın, 2007).

1-Jeomorfoloji tabanlı duyarlılık zonlama çalışmalarının çoğu, arazi çalışmaları esnasında yapılmaktadır. Arazide toplanan veriler (bitki türü, jeolojik yapı, vb.) haritalara aktarılarak buradan duyarlılık değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu çalışma ile haritaların üretildiği yöntem direkt yaklaşım (direct approach) yöntemini oluşturmaktadır.

2-Heyelanın meydana geldiği alanlardaki parametrelerin kombinasyonları hesaplanarak, aynı kombinasyonlara sahip olan ve henüz heyelan olmamış alanlarda heyelanlarla ilgili verilerin elde edildiği yöntem indirekt yöntemi oluşturmaktadır. Bunlar daha çok istatistiksel yöntemlerle yapılmaktadır (Hansen, 1984).

Bu çalışmada Bivariate (Tek değişkenli) İstatistik Analiz (BİA) yöntemlerinden olan "Heyelan Duyarlılık Analizi" kullanılmıştır. Tek değişkenli istatistiksel analiz içinde en basit ve kullanışlı olan bu metot, farklı değişkenlerin heyelanın oluşmasındaki etkisini ortaya koymayı sağlamaktadır (Van Westen, 1993).

Bu çalışma için faktör haritaları sınıflanarak piksel ve uygun alt sınıflar belirlenmiştir. Faktör haritaları ile heyelan haritası çakıştırılmış, zonal istatistikle ağırlık hesaplamaları yapılmıştır (1).

$$D_{area} = 1000 \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)} \quad (\text{Van Westen, 1993}). \quad (1)$$

$$D_{area} = \text{Alansal Yoğunluk } (\%),$$

$Npix(SX_i)$ parametrelerin alt sınıflarındaki heyelana ait piksel sayısı,

$Npix(X_i)$ Parametrelerin alt sınıflarına ait piksel sayısıdır.

Parametrelerin etkisini değerlendirmek için ağırlık değeri atanması gerekmektedir. Bunun için toplam heyelanların piksel sayısının bütün alanın piksel sayısına oranının (%) değeri, bulunan yoğunluktan çıkarılarak elde edilmiştir (2).

$$W_{area} = 1000 \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)} - 1000 \frac{\sum Npix(SX_i)}{\sum Npix(X_i)} \quad (2)$$

Son aşamada faktör haritaların ağırlık değerleri toplanmış ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Heyelan Duyarlılık Haritasında Kullanılan Parametreler ve Ağırlık Değerleri

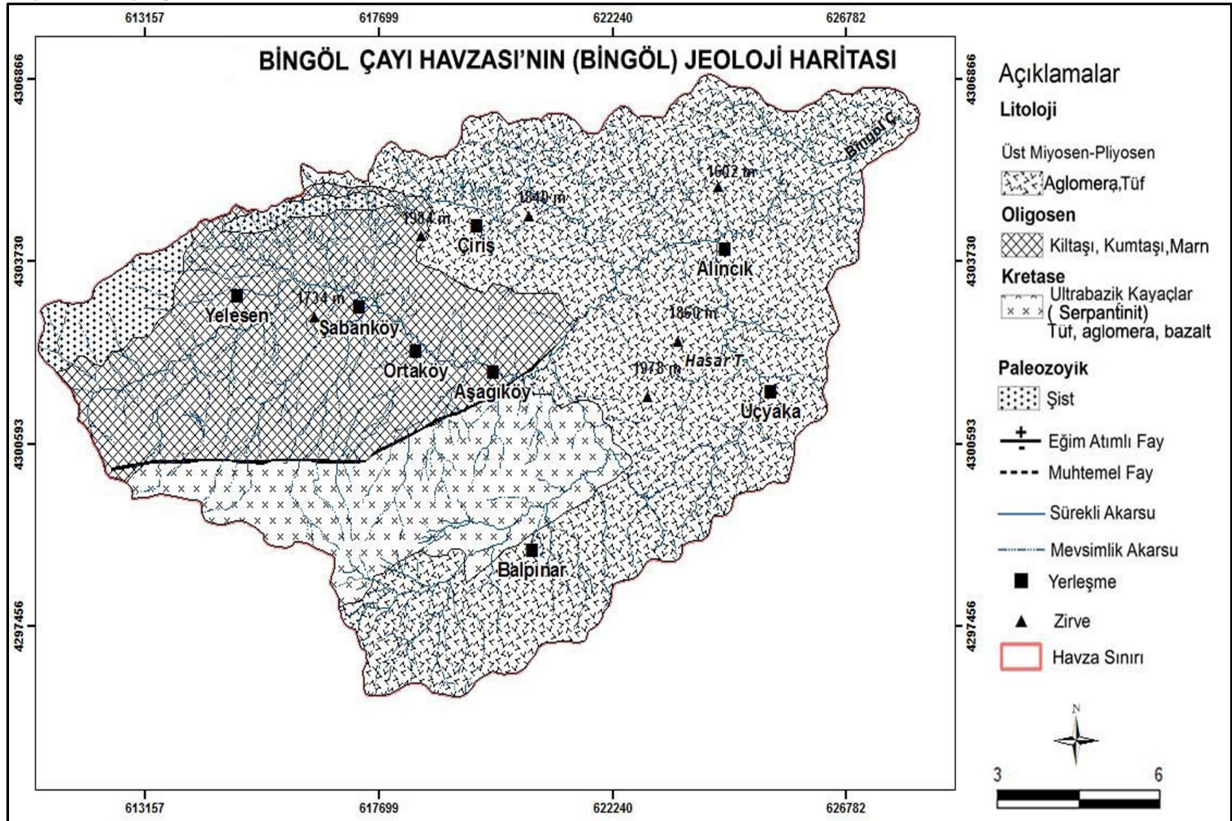
Faktörler	Faktör_Alt Sınıf	$\sum Pix.$	Heyelan Pix. No.	Alt Sınıf Yoğunluğu	Duyarlılık Analizi W_{area}
Litoloji	Ultrabazik Kayaçlar (Serpantinit), Bazalt, Aglomera, Tüf	163831	4556	0,0278	-19,32
	Şist	42524	0	0	-47,12
	Aglomera, Tüf	568786	16250	0,02856	-18,56
	Kumtaşı, Kıltaşı, Mam	292445	29501	0,10087	53,75
Yağış (mm)	1033-1100	65612	349	0,00531	-41,81
	1100-1300	504922	37719	0,0747	27,58
	1300-1500	320202	4684	0,01462	-32,5
	1500-1700	161900	6385	0,03943	-7,69
	1700>	14859	1170	0,07874	31,62
Baki	Düz	22721	1345	0,01518	-31,94
	Kuzey	182264	8117	0,04453	-2,59
	Kuzeydoğu	160502	6125	0,03816	-8,96
	Doğu	151577	5587	0,03685	-10,27
	Güneydoğu	145017	6870	0,04737	0,25
	Güney	110933	6110	0,05507	7,95
	Güneybatı	85641	4910	0,05733	10,21
Batı	78538	3982	0,0507	3,58	
Kuzeybatı	130376	7261	0,05569	8,57	
Eğim (0)	0-2	29803	1803	0,06049	13,37
	2-15	240121	16045	0,06682	19,7
	15-25	390049	18989	0,04868	1,56
	25-45	403388	13372	0,03314	-13,98
	45>	4208	98	0,02328	-14,32
Yükselti (m)	1140-1300	34519	12	0,00034	-46,78
	1300-1500	128661	6119	0,04794	0,82
	1500-1700	298632	29228	0,09787	50,75
	1700-1900	274761	4940	0,01797	-29,15
	1900-2100	172980	4006	0,02315	184,38
	2100-2300	121477	5952	0,04899	1,87
2300>	36539	0	0	-47,12	
Fay Hatlarına Uzaklık (m)	0-100	33361	2843	0,03455	-12,57
	100-250	48248	3339	0,08521	38,09
	250-500	83537	5130	0,0692	22,08
	500-750	87464	6849	0,0614	14,28
	750-1000	92228	7178	0,0783	31,18
1000>	722657	24968	0,07782	30,7	
NDVI	-0,38-0	650850	29008	0,04456	-2,56
	0-0,2	241454	14561	0,0603	13,18
	0,2-0,4	136298	5318	0,03901	-8,11
	0,4-0,61	38893	1420	0,03651	-10,61
Akarsulara Uzaklık (m)	0-100	624260	23564	0,03774	-9,38
	100-250	332401	15525	0,0467	-0,42
	250-500	96554	8819	0,09133	44,21
	500-750	13762	2352	0,1709	123,78
750-100	492	46	0,09349	46,37	

3-BULGULAR VE TARTIŞMA

Bingöl Çayı Havzası için tek değişkenli istatistiksel yöntemlerden “Heyelan Duyarlılık Analizi” kullanılarak yapılan analizde yerleşmelerin yoğun olduğu alanların duyarlılığın yüksek olduğu sahalara karşılık geldiği ve heyelanların yöre için önemli bir sorun olduğu görülmektedir. Bu nedenle öncelikli olarak heyelanların meydana gelmesinde etkili olan faktörler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.1. Heyelan Oluşumunda Litolojik Faktörlerin Etkisi

Jeomorfoloji çalışmalarının bir bileşeni olan heyelan, arazide yüzeyleyen kayaların litolojisi ve ayrışma özellikleri ile ilişkilidir. Litolojik birimler heyelan üzerinde farklı duyarlılık değerlerine sahip oldukları için heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynamaktadır (Pachauri ve Pant, 1992; Dai ve diğ., 2001). Bingöl Çayı Havzası'nda litoloji ultrabazik kayalar (serpantinit), şist, tuf, aglomera, marn, çakıltaşı, kiltası ve kumtaşından oluşmaktadır. Solhan Volkanitleri ürünü olan tuf ve aglomeraların geniş alanlarda yüzeylendiği havzada, litoloji temelde magmatik kayalardan yüzeyde kumtaşı, marn ve kiltasından oluşmaktadır. Birimin bölgedeki kalınlığı 20-30 m arasında değişmektedir (Sümengen, 2011). Solhan Volkanitleri Şaroğlu ve Güner (1981) tarafından adlandırılmış olup, tüfit, bazaltik andezit, aglomera, çakıltaşı gibi kayalardan oluşmaktadır. Havzanın batısında yüzeylenen marn, kumtaşı, kiltası, kumlu kireçtaşı Gevla Çayı Formasyonu ürünü olup, Metin (1972), Sirel ve diğerleri (1975) tarafından tanımlanmıştır. Formasyonun üst seviyelerinde marnlı düzeyler yaygın olup, aralarında killi kireçtaşları tabakaları yer almaktadır (Sümengen, 2011). Bingöl Çayı Havzası'nın güneybatısında Yüksekova Karmaşığı ürünü olan ultrabazik kayalar yüzeylenmektedir. Granit, gabro ve volkano-sedimanter kayalardan oluşan birim Perinçek (1979; 1980) tarafından adlandırılmıştır. Karaömer Dağı çevresinde geniş bir hat boyunca yüzeye çıkmaktadır. Bingöl Çayı Havzası'nın kuzeybatısında sınırlı bir yüzeylenmeye sahip şistler Bitlis Metamorfiteri üyesidir. Gnays, amfibolit, kuvarsit, şist, mermer ve metavolkanitlerden oluşan birim Boray (1976) tarafından Bitlis Metamorfiteri olarak adlandırılmıştır. Havzanın batısında Bingöl Çayı Vadisi'nin yamaçlarında marnlı yapının yüzeylendiği alanlar ile güneyde tüflerin görüldüğü alanlarda heyelanlar yoğunlaşmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) litoloji haritası (MTA Genel Müdürlüğü Elazığ K-44 Paftasından yararlanılarak hazırlanmıştır)

Bingöl Çayı Havzası'nın litolojik özellikleri geçirimsiz bir zemin oluşturarak heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Özellikle ilkbahar mevsiminde yağmur ve kar sularının artması yüzeyden sızmaları artırarak heyelanlara neden olmaktadır. Heyelanlar kiltası, marn, kumtaşı, tuf ve aglomeralar üzerinde yoğunlaşmıştır (Foto 4).



Foto 4. Bingöl Çayı Havzası'nın kuzeyinde killi yapıya bağlı olarak heyelanlar görülmektedir.

3. 2. İklim Özelliklerinin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

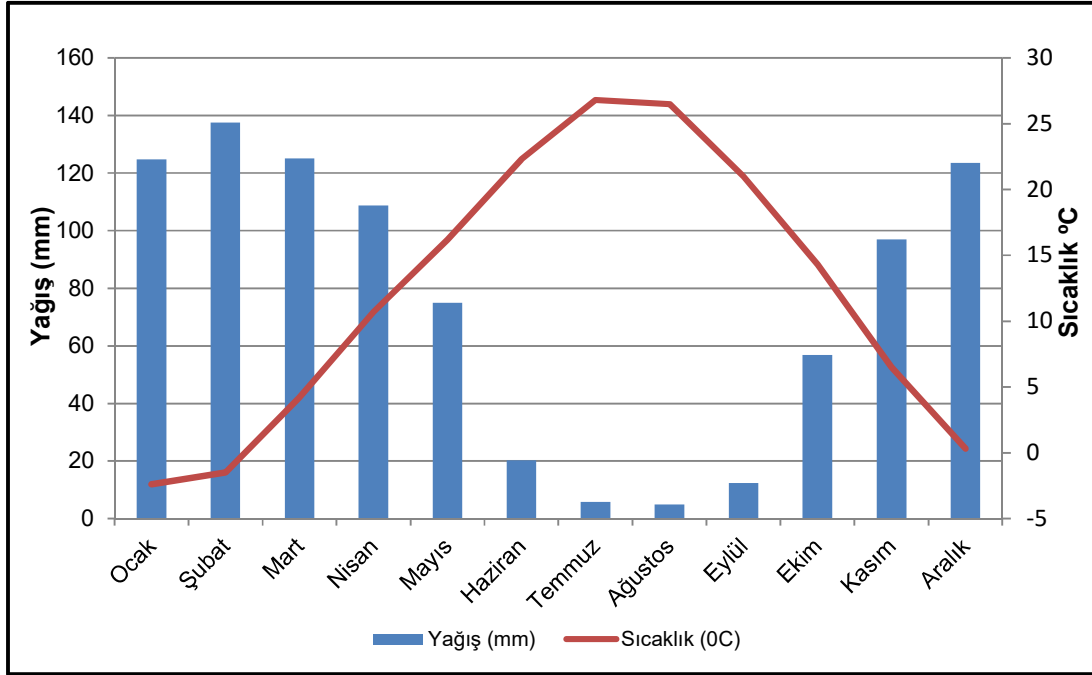
Zemin hareketlerinin temel nedenlerinden biri de sudur. Suyun etkisiyle, zeminde plastisite veya likidite sınırına ulaşılır ve kütle hareketleri meydana gelir. Su ayrıca zeminin denge açısını küçülterek ağırlığı artırır, buna karşı sürtünmeyi azaltarak kayma hareketlerini kolaylaştırır (Erinç, 2000; Ekinci, 2005).

Bingöl Çayı Havzası'nda meteoroloji istasyonu bulunmadığından iklim özellikleri Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nun verilerine göre değerlendirilmiştir. Bu istasyonun verilerine göre uzun yıllar ortalama sıcaklık 12⁰C, yıllık yağış miktarı ise 891 mm'dir.

Bingöl Çayı Havzası'nın güneyinde Güneydoğu Toroslar uzanmaktadır. Güneydoğu Toroslar güneybatıdan yöreye sokulmaya çalışan nemli hava kütlelerinin iç kısımlara geçmesine engel olmaktadır. Bu sahayı geçebilen hava kütleleri ise, ikinci büyük engelle Bingöl civarında karşılaşarak burada yükselip, türbülans hareketlerine uğramaları sonucu, bu sahaya önemli oranda yağış bırakmaktadır (Tonbul, 1990b). Yağış miktarının en fazla olduğu dönem kıştır. Bingöl Ovası ve çevresinin kış mevsiminde bol yağış alması "Akdeniz Tali Cephesi" kuşağına yakın bir sınırdadır bulunması ile alakalıdır (Erinç, 1953; Tonbul, 1990b).

Havzada yükselti farkı ve değişkenliği oldukça fazladır. Buna bağlı olarak iklim elemanlarında önemli farklılıkların olacağı bir gerçektir. Havzada kış yağışları fazla ve kar şeklindedir (Şekil 5).

İlkbahar mevsiminde sıcaklığın aniden yükselmesi, kar erimelerini hızlandırmakta, yöredeki örtü formasyonlarının su içeriğini artırmakta ve heyelan oluşumuna uygun bir ortam sağlamaktadır. Yöredeki heyelan olaylarının çoğunlukla ilkbahar başlarında meydana gelmesi bu etkileri yansıtmaktadır. Bunun yanında sonbahar mevsiminde yağışların artması heyelanların bu dönemde de görülmesini sağlamıştır.



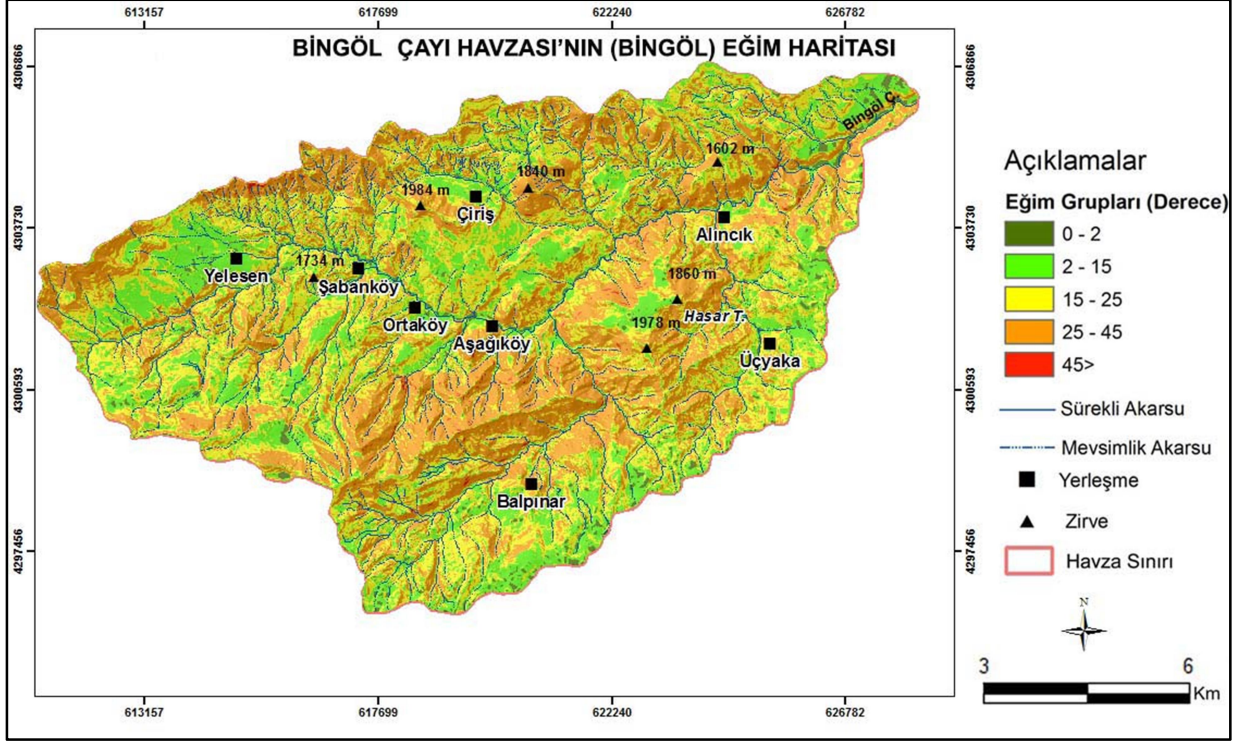
Şekil 5. Bingöl'de uzun yıllar aylık sıcaklık ve yağış ortalamaları (1975-2013, DMİ verileri)

Şubat ayından itibaren sıcaklıklar artmaya başlamakta, kar erimeleri Mayıs sonlarına kadar devam etmektedir. Kar erimelerinin en fazla olduğu Nisan ve Mayıs aylarında heyelanlar görülmektedir.

3.2.1. Yağışın Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Heyelan oluşumu üzerinde etkili olmasından dolayı Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nun verilerine göre Spline tekniği kullanılarak inceleme alanı için yağış dağılışı haritası oluşturulmuştur. Spline tekniği, küçük alanlar için daha düzgün dağılışı sergilemesinden tercih edilmektedir (Vicente-Serrano ve diğ., 2003; Collins ve diğ., 2006). Yağış haritası oluşturulurken Schreiber tarafından önerilen formül kullanılmıştır (Dönmez, 1990). $Ph=Po+54xh$ şeklinde ifade edilen formülde Ph =Yükseltisi bilinen noktanın bulunacak yağış tutarı, Po =Yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapılan istasyonunun yağış tutarı (Toplam yağış), 54 =her 100 m. yükseldikçe yağışın 54 mm. arttığını gösteren katsayı, h =Baz alınan istasyon ile yağış miktarı bulunacak nokta arasında yükselti farkıdır (metre). Bu veriler ve formül Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında çizilen nokta verilerine işlenmiş, yağış miktarının 1033-1850 mm arasında değiştiği ve 1100-1300 mm arasında yağış alan sahaların geniş alan kapladığı görülmüştür (Şekil 6).

atımlı fay tarafından kesilmesi ve aşırı yarılmış topoğrafya eğimin yüksek olmasını ve kısa mesafelerde değişmesini sağlamıştır. Eğimin 25-45⁰ arasında değiştiği sahalar geniş alan kaplamakta olup, eğim atımlı fayın kestiği yamaçlarda ve akarsu vadilerinde eğim değerleri artmaktadır (Şekil 8)



Şekil 8. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) eğim haritası

15-25⁰ ve 25-45⁰ eğim grubunda heyelanların daha yoğun görüldüğü havzada 45⁰ ve üzeri eğime sahip alanlarda heyelanlar azalmaktadır. Şabanköy'ün doğusunda eğimin yüksek ve bitki örtüsünün seyrek olduğu yamaçlarda geniş heyelanlar görülmektedir (Foto 5).

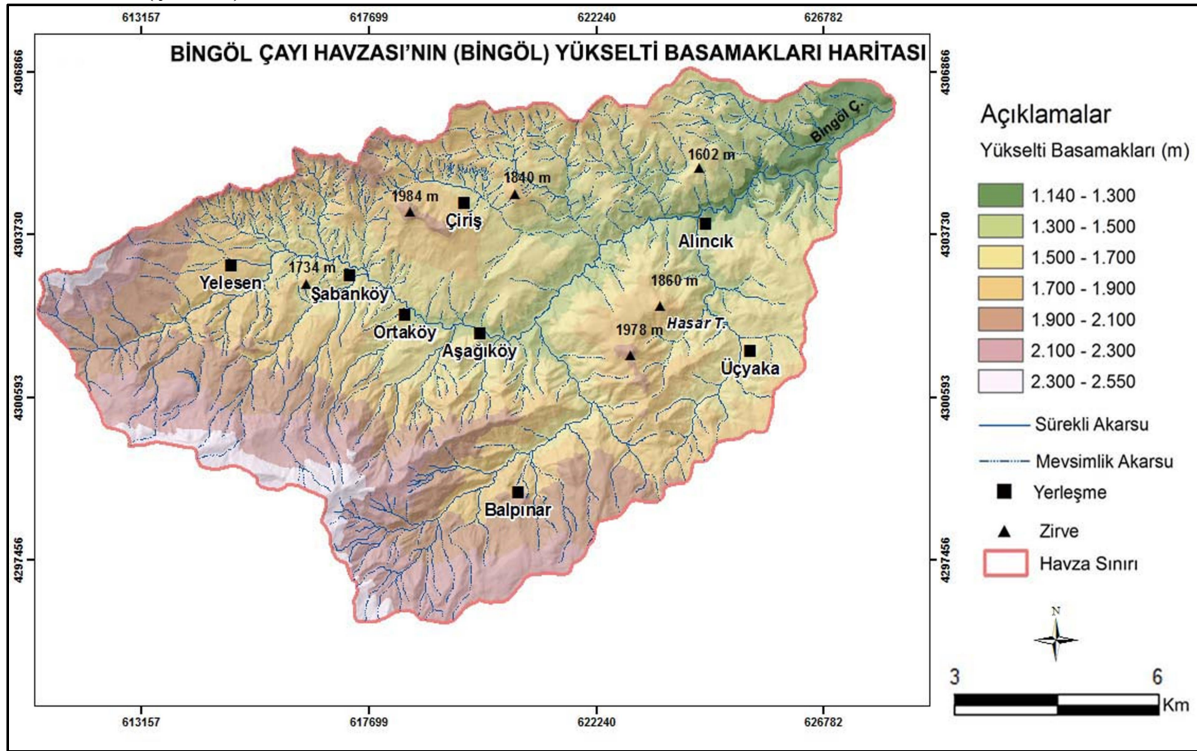


Foto 5. Bingöl Çayı Havzası'nda Şabanköy'ün doğusunda görülen heyelanlar

Eğim değerlerinin 45^0 'nin üzerine çıktığı yamaçlarda daha çok kaya düşmeleri görülmektedir. Eğimin $0-2^0$ arasında değiştiği sahalarda bile heyelanlar görülmektedir. Bu durum litolojik koşulların elverişli olmasından kaynaklanmaktadır. Eğim değerlerinin 45^0 'nin üstüne çıktığı Çiriş köyünde 1981 yılında meydana gelen heyelandan dolayı 24 konutun nakledilmesine karar verilmiştir. Burada çığ, taşkın ve kaya düşmesi gibi afetler de etkili olmaktadır.

3.3.2. Yükseltinin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Topoğrafik yükseklik, heyelan oluşumunda doğrudan etkin olan bir parametre olmamakla birlikte, bozunma, bitki örtüsü ve yağış gibi bir çok parametrenin etkisini dolaylı olarak yansıtmaktadır (Yüksel, 2007). Zolotraev (1976), topoğrafik açıdan yüksek olan alanların daha fazla yağış alması ve dağlık alanların dik kesimlerinde sismik ivmenin yatay bileşeninin, vadilere göre 1.2-1.5 katı yüksek etkisi nedeniyle bu alanların, heyelana daha duyarlı olduğunu belirtmiştir. Havzada 1500-1700 m yükselti basamağı fazla alan kaplamakta olup, dağlık alanlara geçişte heyelanlar bu alanlarda artmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) yükselti basamakları haritası

Bingöl Çayı Havzası'nda 1140-1300 ve 1300-1500 m yükseltileri arasında heyelanlar az görülmektedir. Bingöl Ovası'na geçişi sağlayan bu sahalarda eğim ve engebenin azalması heyelanların daha az görülmesini sağlamıştır. 1500-1700 m yükseltileri arasında heyelanlar daha fazla görülmekte olup, bu sahalarda vadi yamaçlarına karşılık gelmektedir. Bingöl Çayı Havzası'nda 2000 m'den sonra yüksek düzlük alanlara geçilmektedir. Bu yükseltiden sonraki alanların plato karakteri göstermesi nedeniyle heyelanlar azalmaktadır.

3.4. Tektonik Yapı ve Fayların Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

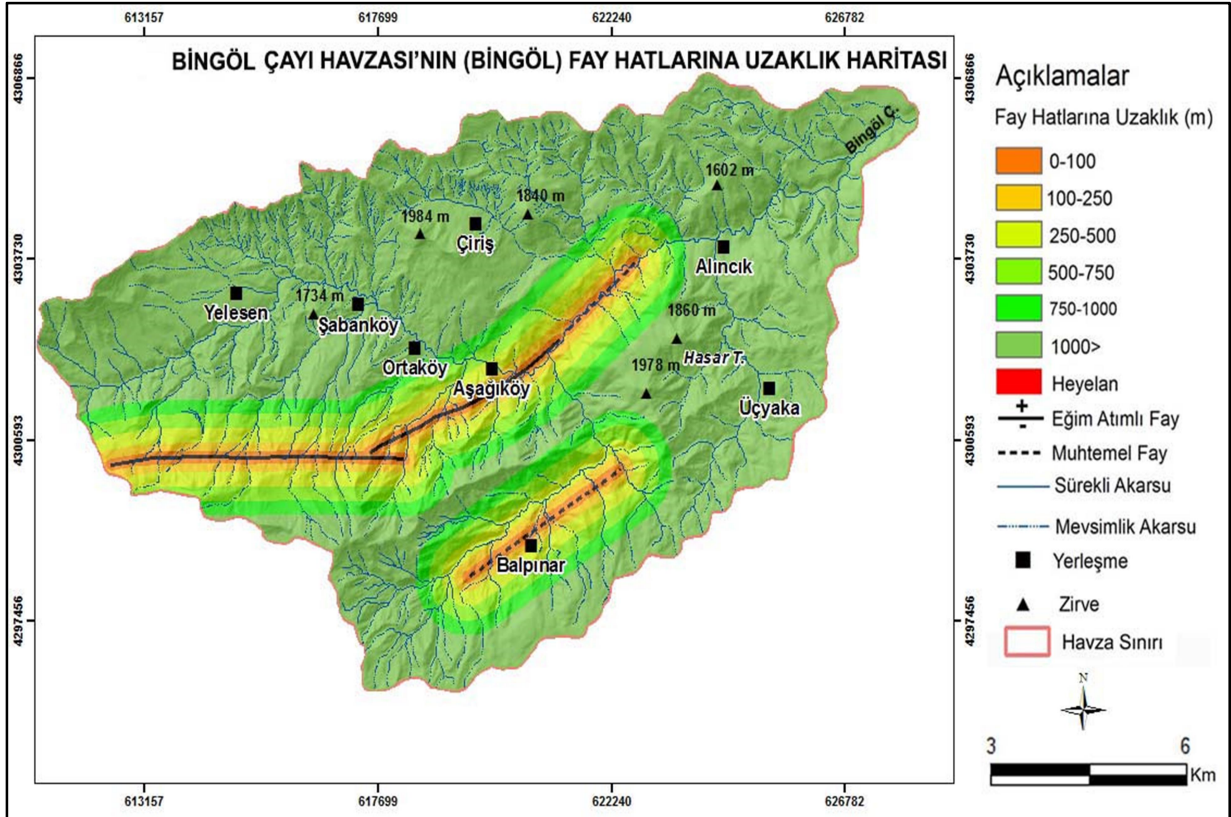
Heyelan olaylarını meydana getiren sebeplerden patlamalar, depremler, çeşitli makinaların hasıl ettiği titreşimler bir yamaç üzerindeki serbest duran materyalin denge durumunu geçici olarak bozmağa

yeterlidir. İri taneli ve kumlu unsurların bulunduğu sahalarda sarsıntılar, taneler arasındaki bağın bozulmasına sebep olabilirler ve neticede kütlelerin birliğinde ya da dahili sürtünmede bir azalma olur ve kayma olayı meydana gelir (Sür, 1972).

Depremler yağış gibi heyelanları tetikleyici bir rol oynamaktadır. Heyelan duyarlılığı ile ilgili bazı çalışmalarda sismik tehlike göstergesi heyelan üzerinde tetikleyici bir unsur olarak kullanılmıştır (Mora ve Varhson, 1994; Özşahin, 2013).

Fay hatlarının oluşturduğu diklikler boyunca depreme bağlı çok sayıda zemin hareketi meydana gelmektedir (Gemitzi ve diğ., 2010 ; Rozos ve diğ., 2010). Gökçeoğlu ve Aksoy (1996), Kuzey Anadolu Fayı'na yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan bir bölgede, heyelanların yaklaşık % 88'inin fay zonuna 250 m'den daha yakın mesafedeki alanlarda oluştuğunu saptamışlardır. Liu ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada da, heyelanların faylara 250 m'den yakın alanlarda yoğunlaştığı tespit edilerek bu değere göre zonlama yapılmış ve zonlamanın içinde kalan alanlar, heyelan duyarlılığı açısından göreceli olarak yüksek, dışında kalan alanlar ise düşük olarak tanımlanmıştır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde bu parametrenin kullanılması fayların, kayaçların parçalanmasına neden olabileceği ve faylara yakın olan alanlarda malzemenin dayanımının azalarak, heyelan duyarlılığının artabileceği temeline dayanmaktadır (Yüksel, 2007).

Doğu Anadolu Fayı'nın havzanın kuzeydoğusundan geçmesi yörenin tektonik açıdan hareketli olmasını sağlamıştır (Duman ve Emre, 2013; Emre ve diğ., 2012). Buna bağlı olarak çalışma alanı ve çevresinde sık sık depremler meydana gelmektedir. Çalışma alanında aktif faylara 1000 m'den daha uzakta olan alanların oranı % 50'den fazladır (Şekil 10). Bingöl Çayı Havzası'nda heyelanların % 50'si aktif faylara 1000 m'den daha az uzaklığa sahip alanlarda görülmektedir.



Şekil 10. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) fay hatlarına uzaklık haritası

1 Mayıs 2013 Bingöl Depremi'nde havzaya yakın sahalarda kütle hareketleri görülmüştür. Göynük Vadisi, Bingöl kuzeyindeki dağ eteğinde bulunan İçpınar, Göltepe ve Çiçekdere köylerinde deprem hasarı üzerinde heyelan tetiklenmeleri önemli rol oynamıştır (Emre ve diğ., 2003). Depremin heyelanları tetikleyebileceği düşünüldüğünde havzada bu durumun görülebileceği dikkate alınmalıdır.

3.5. Heyelan Oluşumu Üzerinde Bitki Örtüsünün Etkisi

Bitki örtüsü olmayan veya seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar heyelana daha duyarlıdırlar. Genellikle, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda bozunma ve erozyon etkisinin azalması, heyelan duyarlılığını azaltmaktadır (Mulder ve Van Asch, 1988; Anbalagan, 1992).

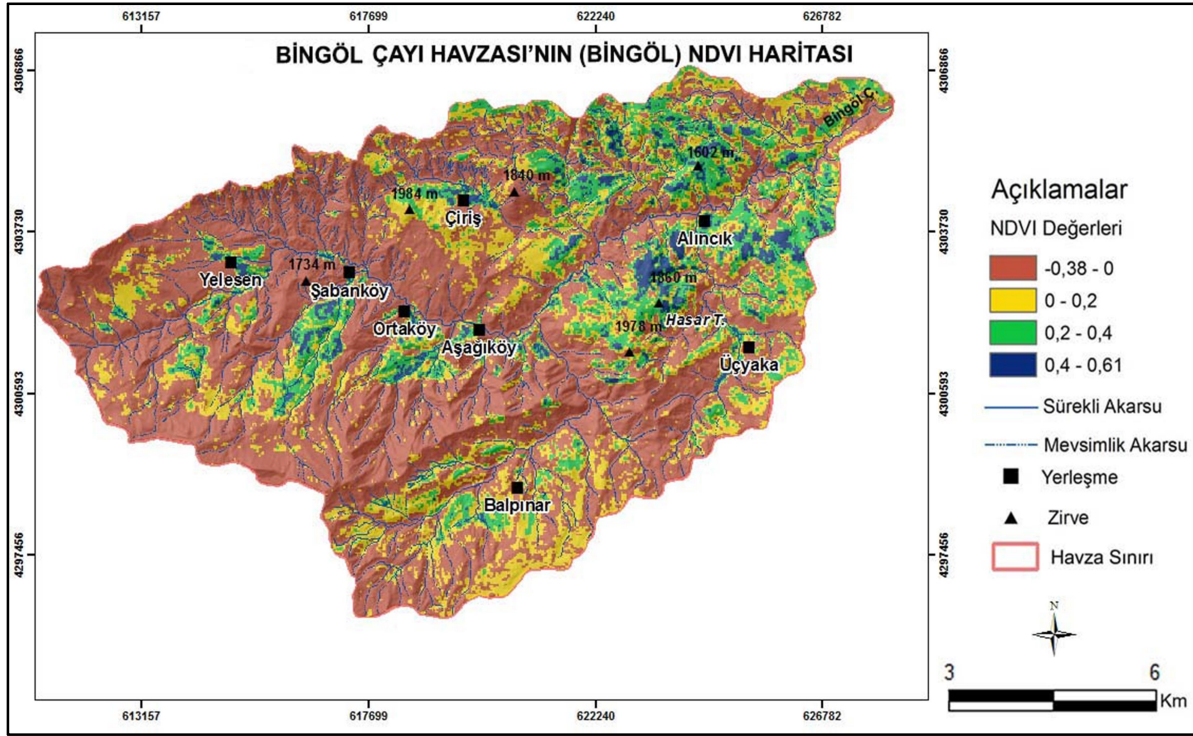
Bingöl Çayı Havzası'nda bitki örtüsünün dağılışı NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değerleriyle ortaya konulmuştur. NDVI, bitki örtüsünün yeşillik miktarını belirleyen indislerden biridir (Sellers, 1985; Melesse ve Jordan., 2003; Wang ve diğ., 2004). Ayrıca, güneşten ve bakış açısından kaynaklanan değişik aydınlanma özellikleri ve gölge etkisini önemli derece ortadan kaldırmaktadır (Holben ve Frasher, 1984; Shultz ve diğ., 2000; Sotomayor, 2002). NDVI, yakın kızılötesi ve kırmızı bandların fark ve toplamının oranlanmasıyla elde edilir (Rouse ve diğ., 1973). Step türlerinin bitki örtüsünü oluşturduğu havzada seyrek olan orman tahribi de artmaktadır.

Zeminin bitki ile kaplılığını değerlendirebilmek amacıyla 27 Mayıs 2013 tarihli Landsat Uydu görüntüsünden NDVI çıkarılmıştır (3).

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \text{ (Arcgis Desktop Help).} \quad (3)$$

NDVI sonuç değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir. Bu değerlerden bitkilerin yoğunluk kazandığı alanlar 0.1- 0.6 arasında bitkinin yoğunluğu ve yeşilliğine göre değişirken, bulut, su, kar gibi arazi örtüleri ve bitki örtüsünden tamamen yoksun alanlar negatif değerlere sahiptir. Kayalık ve toprak örtüsü ise iki bantta da aynı yansıma değerlerine sahip olduğundan 0'a yakın bir değer göstermektedir (Melesse ve diğ., 2003; Pettorelli ve diğ., 2006).

NDVI analizlerine göre havzanın büyük bir kısmı bitki örtüsünden yoksundur (Şekil 11). NDVI değerlerinin 0'ın altında olduğu sahalarda % 50'den daha fazla alan kaplanmaktadır.



Şekil 11. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) NDVI haritası

Havzada bitki örtüsünü oluşturan step türleri heyelanı önleyici bir özelliğe sahip değildir. Küçükbaş hayvancılığın özellikle keçi besiciliğinin yaygın olduğu havzada, kış mevsimi sert ve uzun geçmektedir (Foto 6). Yakacak odun ihtiyacı ve yaprak kesimi orman tahribatını artırmaktadır.



Foto 6. Bingöl Çayı Havzası'nda keçi besiciliğinin yaygın olması orman tahribatını artırmaktadır.

Havzadaki heyelanların % 50'den fazlası bitki örtüsünden yoksun alanlarda görülmektedir. Bingöl Çayı Vadisi'nin kuzeybatı yamaçlarına karşılık gelen bu sahalar düz ve az eğimli olduğu için yerleşmeye uygundur. Ancak heyelanlar yerleşmeleri olumsuz etkilemektedir. Havzanın kuzeydoğusunda orman alanları artmakta, bu nedenle bu sahalarda heyelanlar daha az görülmektedir.

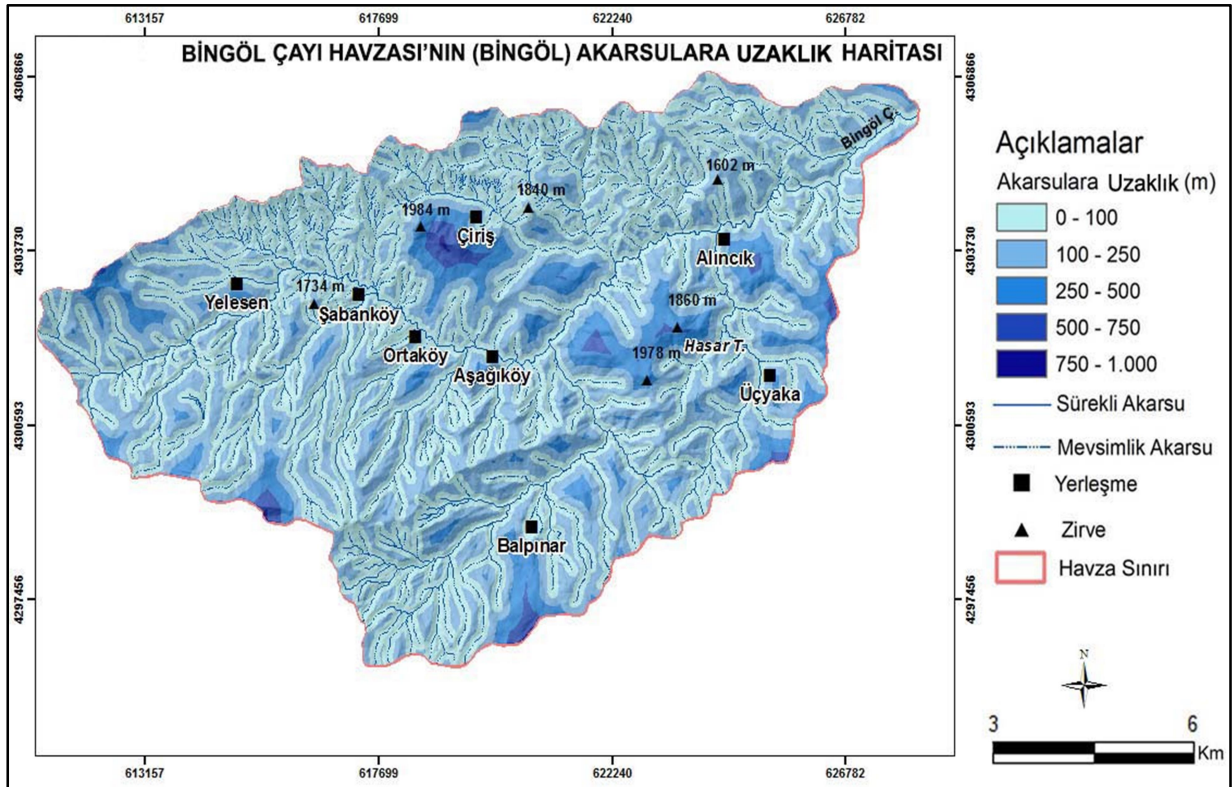
3.6. Akarsuların Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Yüzey sularının toplanma alanları olan akarsu vadilerine yakınlık zemin hareketlerine duyarlılığı arttırmaktadır. Bu durumun meydana gelmesinde, akarsuların vadilerinin aşağı kesimlerini aşındırmasına bağlı olarak yamacın dengesini bozması etkili olmaktadır. Dengesi bozulan yamaçtaki süreksizlik yüzeylerinin yerçekiminin etkisine karşı direnemeyerek çökmesi zemin hareketlerini kolaylaştırmaktadır. Diğer bir etmen ise yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirmesi sonucu derine sızma olayının kolay gerçekleşmesi dolayısıyla, yamacın suya daha kolay doygun hale gelmesidir (Saha ve diğ., 2002; Yalçın ve Bulut, 2007; Dağ ve Bulut, 2012).

$$\text{Bingöl Çayı Havzası'nda drenaj yoğunluğu} \quad Dd = \frac{YL}{A} \text{ formülünden} \quad (4)$$

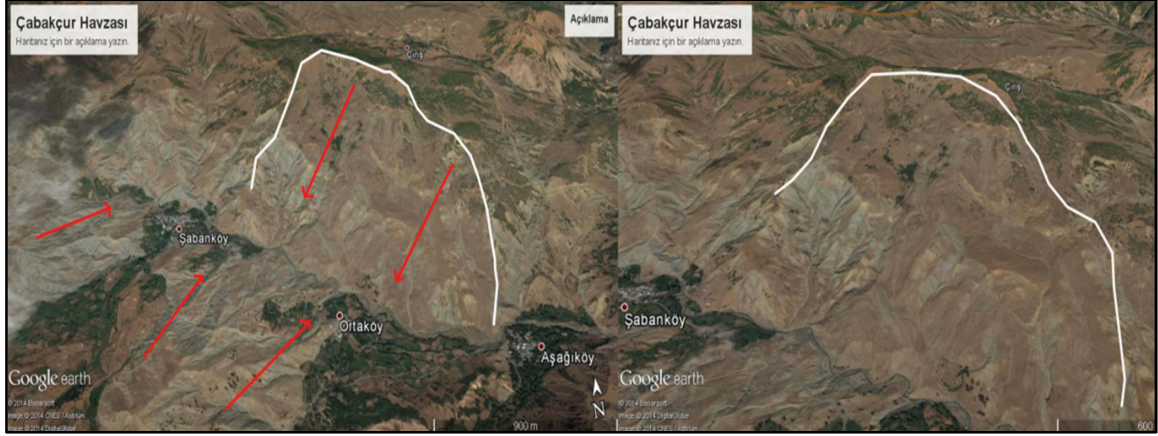
$$Dd = \frac{363,2}{106,7} = 3,4 \text{ olarak bulunmuştur. Bu değer oldukça yüksektir. Litolojik özelliklere, eğimin}$$

yüksek ve bitki örtüsünün seyrek olmasına bağlı olarak drenaj yoğunluğu yüksek çıkmıştır. Bingöl Çayı Havzası'nda akarsu ağlarına 0-100 m arasında uzaklığa sahip alanlar % 50'den fazla bir orana sahiptir (Şekil 12).



Şekil 12. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) akarsulara uzaklık haritası

Havzadaki aktif heyelan alanlarının tamamına yakını Aşağıköy, Ortaköy ve Şabanköy'ün kurulu olduğu Bingöl Çayı Vadisi'nde akarsuya 0-100 m ve 100-250 m uzaklıkta olan sahalarda görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Bingöl Çayı Vadisi'nde görülen heyelanlar Şabanköy, Ortaköy ve Aşağıköy yerleşmelerini etkilemektedir (Google Earth görüntüsünden alınmıştır-02/12/2014 tarihli erişim).

Havzanın sularını drene eden Bingöl Çayı derine doğru gömülmüş, vadisinin dik yamaçlarında büyük boyutlara ulaşan heyelanlar görülmektedir. Vadide görülen heyelanlar Erinç'in (2000) sınıflandırmasına göre "yamaçların alt kısmının akarsular tarafından oyulması" sonucu oluşan göçme tipi heyelan sınıfına girmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

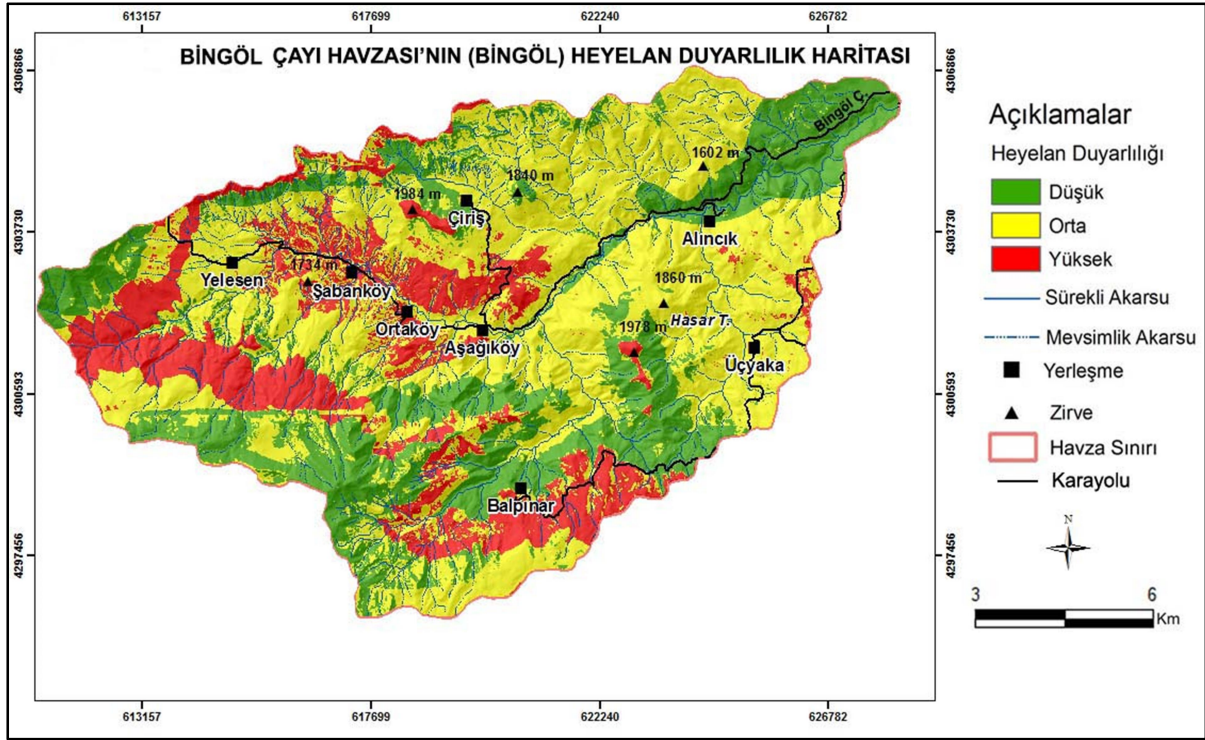
Bingöl Çayı Havzası için yapılan heyelan duyarlılık analizlerinde duyarlılığın düşük ve orta olduğu alanların oranı % 50'den fazladır. Ancak yerleşmelerin büyük bir kısmının duyarlılığın yüksek olduğu sahalara kurulduğu görülmektedir. Topoğrafyanın engebeli olması nedeniyle yerleşmeleri birbirine bağlayan yollar vadi yamaçlarından geçirilmiş olup, bu sahalarda da duyarlılığın yüksek olduğu görülmektedir.

Heyelan duyarlılık haritasına göre;

Havzanın kuzey doğusu ile güneybatısı arasında heyelan duyarlılığı açısından belirgin fark bulunmaktadır. Kuzeydoğuya doğru Bingöl Ovası'na geçişte heyelan duyarlılığı azalmaktadır. Bu durum yağış ve eğimin azalması, bitki örtüsünün nispeten yoğunlaşması ile ilgilidir. Havzanın kuzeybatısında duyarlılığın artmasında akarsulara uzaklık, fay hatlarına uzaklık, bakı ve yağış özellikleri etkili olmuştur.

Fay hatlarına ve akarsulara uzaklık, bakı heyelan oluşumunda etkisi en fazla olan parametrelerdendir. Önemli tektonik hatlara yakın olması nedeniyle havza ve çevresinde tektonik aktivite oldukça yüksektir. Buna bağlı olarak zaman zaman depremler meydana gelmektedir. İlkbahar mevsiminde yağışın ve kar erimelerinin artması zeminde sıvılaşmaya yol açmakta, meydana gelecek depremlerden sonra heyelan görülme olasılığı artmaktadır.

Vadi yamaçları boyunca heyelan duyarlılığının arttığı dikkat çekmektedir (Şekil 14). Bu durum akarsuyun alttan aşındırmasıyla eğim değerlerinin yükselmesine ve zeminin suya doygun hale gelmesine bağlıdır. Vadi yamaçlarında duyarlılığın yüksek olması üzerinde litolojinin geçirimsiz olmasının da etkisi büyüktür.



Şekil 14. Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) heyelan duyarlılık haritası

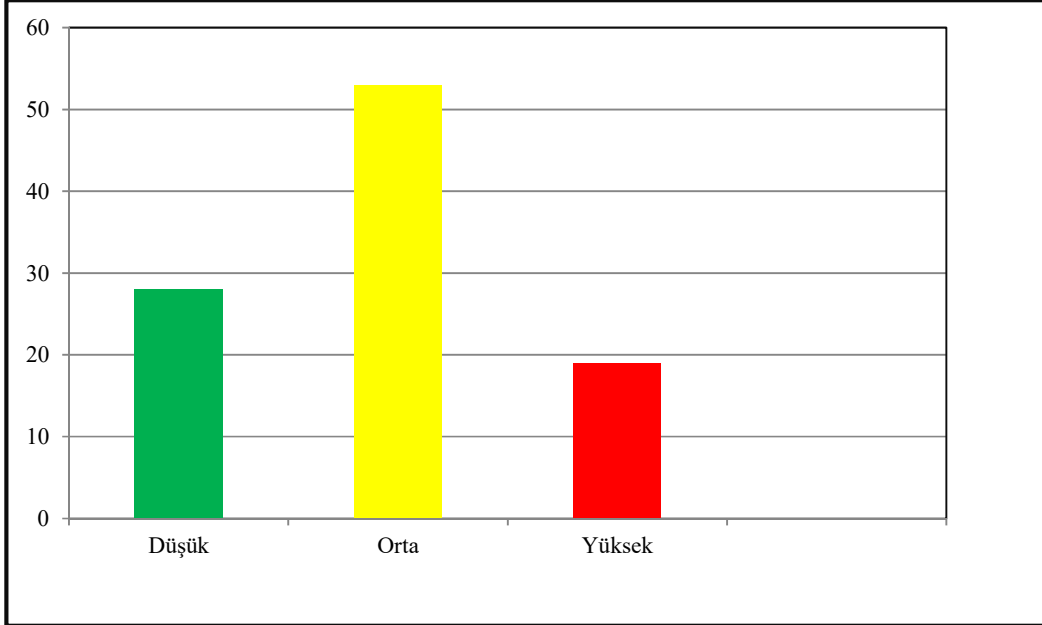
Bakımın heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisi sıcaklık ve yağış miktarı ile ilgilidir. Kuzeye bakan yamaçlarda sıcaklığın düşük olmasına bağlı olarak zemin nemliliğinin yüksek oluşu duyarlılık üzerinde etkilidir. Güneye bakan yamaçlarda ise yağış miktarının fazla olması duyarlılığın yüksek olmasını sağlamıştır.

Sahada eğimin fazla olması nedeniyle yollar vadi yamaçlarını takip etmekte meydana gelen heyelanlar ulaşımı aksatmaktadır. 2006 yılında Aşağıköy-Ortaköy-Şabanköy-Yelesen köyleri arasında bağlantıyı sağlayan grup köy yolunda meydana gelen heyelan yolun kullanılmasını uzun süre engellemiştir. Yelesen köy yolunda heyelan nedeniyle sürekli bozulmalar yaşanmaktadır. Aşağıköy-Yelesen arasında karayolu heyelan duyarlılığı orta ve yüksek olan sahadan geçirilmiştir. Çiriş-Aşağıköy arasında da benzer bir durum söz konusudur. Balpınar-Üçyaka arasında karayolunun büyük bir kısmı duyarlılığın yüksek olduğu alandan geçirilmiştir. Heyelan duyarlılığın arttığı havzanın batısında mera alanları bulunmaktadır. Heyelanlar mera alanlarında zarara neden olmaktadır (Foto 7).



Foto 7. Bingöl Çayı Havzası'nın batısında heyelanlar mera alanlarını etkilemektedir

Kırsal alanlarda yatırımlar yapılırken doğal çevre koşulları dikkate alınmadığından önemli ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Karşılaşılan sorunlara üretilen çözümler geçici olmakta, çalışmaların tekrarlanması gerekmektedir. Havzanın % 50'sinden daha fazla bir alanda heyelan duyarlılığı orta derecededir (Şekil 15). Heyelan duyarlılığının yüksek olduğu vadi yamaçlarına yerleşmeler kurulmuştur. Çiriş köyünde 1981 yılında meydana gelen heyelan konutların zarar görmesine neden olmuştur.



Şekil 15. Bingöl Çayı Havzası'nda (Bingöl) heyelan duyarlılığının oransal dağılışı

Heyelan haritası ile duyarlılık haritası karşılaştırıldığında; heyelanların azaldığı havzanın batısında duyarlılık artmaktadır. Bu sahada eğimin az ve bitki örtüsünün nispeten seyrek olması heyelanların az

görülmesine neden olmuştur. Heyelan duyarlılığının yüksek olması ise bakı etkisine bağlı olarak yağış miktarının fazla olmasına bağlıdır.

Bu çalışmayla oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının yerleşim alanları, yollar ve tarım-mera alanları üzerinde tehlike oluşturan sahalarda gerekli önlemlerin alınmasında ve yeni alt ve üst yapı tesislerinin belirlenmesinde altlık olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

AVCI, V. ve GÜNEK, H., 2014, "Göynük Vadisi'nde Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi", Turkish Studies-International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic.

AVCI, V. ve GÜNEK, H., 2015, "Karlıova Havzası ve çevresinin (Bingöl) Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması", Turkish Studies-International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, N:10/2

ANBALAGAN, R., 1992, "Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain". Eng. Geol., 32, Sayfa:269-277.

BORAY, A., 1976, "Bitlis Metamorfileri (masifi) üzerine", Türkiye Jeoloji Kurumu, Yeryuvarı ve İnsan, Cilt:1, Sayı: 1.

CARRARA, A., 1983, "Multivariate methods for landslide hazard evaluation", Math. Geol., 15 (3), 403-426.

COLLINS, F. C. ve BOLSTAD, P.V., 2006, "A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation", www.ncgia.ucsb.edu., Erişim, 16.05.2015

DAI, C. F., LEE, C. F., LI, J. ve XU, Z. W., 2001, "Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong", Environmental Geology, V: 40, I: 3, pp: 381-391.

DÖNMEZ, Y., 1990, Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayın.3248, İstanbul.

DUMAN, T. ve EMRE, Ö., 2013, "The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics", Geological Society, Special Publications v.372, London.

EFE, R., 2004, Biyocoğrafya, Çantay Kitabevi, İstanbul.

EKİNCİ, D., 2005, "Karadeniz Ereğlisi'nin Zemin Hareketleri Duyarlılık Sahalarının Sınıflandırılması ve Yüksek Riskli Yerleşmelerin Zemin Stabilitate Analizi", İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi Sayı:13,Sayfa:121-137.

EKİNCİ, D., 2011, Zonguldak-Hisarönü Arasındaki Karadeniz Akaçlama Havzasının Zemin hareketleri Duyarlılık Analizi, Çantay Kitabevi, İstanbul.

EMRE, Ö., HERECE, E., DOĞAN, A., PARLAK, O., ÖZAKSOY, V., ÇIPLAK, R. ve ÖZALP, S., 2003, 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Değerlendirme Raporu, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Rapor No:10585, Ankara.

EMRE, Ö., DUMAN, T. Y. ve OLGUN, Ş., 2012, 1/250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Elazığ Paftası, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü, Ankara.

ERİNÇ, S., 1953, Doğu Anadolu Coğrafyası, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No:15, İstanbul.

ERİNÇ, S., 2000. Jeomorfoloji I. İstanbul: Der Yayınları

FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E., ve SAVAGE, W. Z., 2008, "Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for landuse planning", *Engineering Geology* (102), 85-98.

GEMITZI, A., FALALAKIS, G., ESKIOGLOU, P., PETALAs, C., 2010, "Evaluating Landslide Susceptibility Using Environmental Factors, Fuzzy Membership Functions and GIS", *Global NEST Journal*, Vol 12, No: 4.

GÖKÇEOĞLU, C. ve AKSOY, H., 1996, "Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques", *Eng. Geol.*, 44, 147-161

GÖKÇEOĞLU, C. ve ERCANOĞLU, M., 2001, "Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler", *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi* 23, 189-206.

HANSEN, A., 1984, *Landslide Hazard Analysis*, In: *Slope Instability*, Brunsden, D., and Prior, D. B., (Editors), Wiley&Sons, New York.

HOLBEN, B. N. ve FRASER, R. S., 1984, "Red and Near Infrared Response to Off Nadir Viewing", *International Journal of Remote Sensing*, 5, 145-160

KESİCİ, Ö. ve SÖNMEZ, M. E., 2012, "30 Ocak 2010 Tepecik Köyü Heyelanı", *Doğu Coğrafya Dergisi*, S: 27, s: 207-232

LİU, J. G., MASON, P. J., CLERICI, N., CHEN, S., DAVIS, A., MIAO, F., DENG, H. ve LIANG, L., 2004, "Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui-Badong", *Geomorphology*, 61, 171-187.

MELESSE, A. M. ve JORDAN, J. M., 2003, "Spatially Distributed Watershed Mapping and Modelling: Thermal Maps and Vegetation Indices to Enhance Land Cover and Surface Microclimate Mapping: Part 1", *Journal of Spatial Hydrology*, Vol.3, No.2.

METİN, S., 1972, *Elazığ-K44-a3 ve a4 paftalarının jeolojisi*. Maden Tetkik Arama Enstitüsü Jeoloji Etütleri Dairesi Rapor No: 16.

MORA, S. ve VAHRSON, W., 1994, "Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination", *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*. 31 (1): 49-58

MULDER, H. F. H. M. ve VAN ASCH, T. W. J., 1988, "A stochastic approach to landslide hazard determination in a forested area", In: *Proc. V Int. Symp. Landslides*, Laussane, 2, 1207-1210

NEULAND, H., 1976, "A prediction model of landslips", *Catena*, 3, 215-230.

ÖZDEMİR, H., 2007, *Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.

ÖZŞAHİN, E., 2013, "CBS Kullanılarak Hatay İli Heyelan Duyarlılık Analizi", *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi* Sayı: 4(1).

ÖZTÜRK, K., 2002, "Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri", *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt: 22, Sayı: 2, Sayfa: 35-50.

PACHAURI, A. K. ve PANT, M., 1992, "Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes", *Engineering Geology*, 32, 81-100.

PERİNÇEK, D., 1979, *Interrelations of the Arab and Anatolian Plates*. Guide Book B Geocom I.

PERİNÇEK, D., 1980, "Bitlis Metamorfitlerinde Volkanitli Triyas", *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Cilt, 23, Sayı: 2.

Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) Heyelan Duyarlılık Analizi.

PETEROLLI, N., VIK, J. O., AYSTERUD, A., GAILLARD, J. M., TUCKER, C. J. ve STENSTEH, N. C., 2006, "Using the Satellite-derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change", Trends in Ecology and Evolution, Inpress, 495.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. ve DEERING, D. W., 1973, "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS", Proceedings of the 3rd ERTS Symposium NASA SP-351, Vol. 1pp, 48-62.

ROZOS, D., BATHRELLOS, G. D. ve SKILLODIMOU, H. D., 2010, "Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece

SAHA, A. K., GUPTA, P. R. ve ARORA, M. K., 2002, "GIS-Based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas", International Journal of Remote Sensing, V: 23, I: 2, pp.: 357-369.

SCHULTZ, G. A. ve ENGMAN, E. T., 2000, "Remote Sensing in Hydrology and Water Management", Springer-Verlag, Berlin

SELLERS, P. J., 1985, "Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration", Int.J.Remote Sensing, 6, 1335-1372

ŞİREL, E., METİN, S. ve SÖZERİ, B., 1975, "Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'in stratigrafisi ve mikropalaeontolojisi", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt, 18.

SMITH, K. ve PETLEY, D. N., 2008, Environmental Hazards (Assessing Risk and Disaster), 5. Edition, Routledge; USA

SOTOMAYOR, A. I. T., 2002, A Spatial Analysis of Different Forest Cover Types Using GIS and Remote Sensing Techniques; A Case study in Shivapuri Area, Nepal, Master of Science Thesis, ITC, Netherland

SÜMENGİN, M., 2011, 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Elazığ K44 Paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

SÜR, Ö., 1972, Heyelan Olaylarına sebep olan faktörler ve bunların Türkiye'de etkili bulunduğu alanlar, Coğrafya Araştırmaları Dergisi, Sayı:1-2, Ankara.

ŞAROĞLU, F. ve GÜNER, Y., 1981, "Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Öğeler; Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni

TÜRKİYE ULUSAL AFET ARŞİVİ., 2012, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

TARHAN, N., 1997, 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Erzurum G 31 ve G 32 Paftaları, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

TONBUL, S., 1990a, "Bingöl Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojisi ve Gelişimi", Coğrafya Araştırmaları Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2, Sayfa: 329-352, Ankara.

TONBUL, S., 1990b, Bingöl Ovası ve çevresinin iklimi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt 4 Sayı:1, Elazığ.

VAN WESTEN, C. J., 1993, "Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation", ITC Publication Number 15, The Netherlands.

VICENTRE-SERRANO, S. M., SAZ-SANCHES, M.A. ve CUADRAT, J. M., 2003, "Comparative Analysis of Interpolation Methods in the Middle Ebro Valley (Spain): Application to Annual Precipitation and Temperature", Climate Research 24, 161-180

WANG, Q. ve TENHUNEN, J. D., 2004, "Vegetation Mapping with Multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT)", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6, 17-31.

WIECZOREK, G. F., GORI, P. L., JAGER, S., KAPPEL, W. M. ve NEGUSSEY, D., 1996, "Assessment and management of landslide hazards near Tully Valley landslide, Syracuse, New York, USA. Proc. VII Int. Symp. Landslides, Trondheim, June 1996, 1, 411-416

F.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi 2015-25/2

YALÇIN, A., 2005, Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon.

YÜKSEL, N., 2007, Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulmasında İstatistiksel Yöntemlerin ve Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Yayınlanmamış Doktora Tezi.

ZOLOTRAEV, W. H., 1976, Present day problems in the engineering geological investigation of landslides, falls and mudflows in mountainous folded regions. In: Hutchinson JN (ed) Geological factors and mechanism involved in the development of landslides, falls and mudflows, vol 1, UNESCO, Paris, 5-34.