



Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi
The Journal of International Social Research
Cilt: 9 Sayı: 43 Volume: 9 Issue: 43
Nisan 2016 April 2016
www.sosyalarastirmalar.com Issn: 1307-9581

İNDEKS METODU İLE DARKÖPRÜ DERESİ HAVZASI'NIN (BİNGÖL) HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF DARKÖPRÜ STREAM BASIN (BİNGÖL) BY INDEX METHOD

Vedat AVCİ*

Öz

Bu çalışmada Darköprü Deresi Havzası'nın heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır. Darköprü Deresi, Peri Suyu'nun yan kollarından olup, Özlüce Barajı'nda Peri Suyu'na bağlanmaktadır. Havzada litoloji yaygın olarak volkaniklerden oluşmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) güneyinde yer alan havzada sık sık depremler meydana gelmektedir. Tektonik hatlara bağlı olarak eğim değerleri vadi yamaçlarında 45°'nin üstüne çıkmaktadır. Yağış miktarının 1000 mm'nin üstüne çıktığı havzada kar yağışının miktarı ve kar kalınlığı fazladır. Darköprü Deresi Havzası'nın litolojik, tektonik, jeomorfolojik ve iklim özellikleri nedeniyle yoğun olarak heyelanlar meydana gelmektedir. Bu heyelanlar can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Heyelanlar sonucu yerleşmeler ve karayolları zarar görmektedir. Bu çalışmada indeks metodu kullanılarak havza için heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analizde litoloji, eğim, bakı, yükselti, fay hatlarına uzaklık, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsü parametreleri kullanılmıştır. Duyarlılık analizi için zonal istatistik kullanılarak parametre haritalarının alt sınıflarının piksel sayısı ve bu sınıfların heyelanlı piksel sayısı bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak parametre haritalarının alt sınıflarının ağırlık değeri bulunmuştur. Ağırlık değerleri parametre haritalara işlenmiş, bu haritalar RasterCalculator ile toplanarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Duyarlılık haritasına göre; havzada heyelana çok düşük duyarlı alanların oranı % 3, düşük duyarlı alanların oranı % 39, orta duyarlı alanların oranı % 45, yüksek duyarlı alanların oranı % 13'dür. Havzada yerleşmelerin tamamı orta ve yüksek duyarlı sınıfta yer almaktadır. Bu nedenle havzada heyelanların zararlarını azaltacak çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bingöl, Darköprü Deresi Havzası, İndeks Metodu, Heyelan Duyarlılık, Yerleşme.

Abstract

In this study it has been aimed to analyze landslide susceptibility analysis of Darköprü Stream Basin. Being one of the tributaries of Peri River, Darköprü stream is connected to the river at Özlüce Dam. Lithology generally consists of volcanics in the basin. Earthquakes have frequently occurred in the basin located in the south of North Anatolian Fault Zone (NAFZ). Slope values go over 45° on the sides of valley, depending on tectonic lines. The snowfall and its thickness are much in the basin where precipitation goes over 1000 mm. Landslides have frequently occurred in Darköprü Stream Basin due to its lithological, tectonic, geomorphological and climatic features. These landslides have caused loss of life and property. Settlements and highways have been damaged due to the landslides. In this study landslide susceptibility analysis has been done for the basin, using index method. In this analysis lithology, slope, aspect, elevation, distances to the fault lines and rivers, and vegetation parameters have been used. For susceptibility analysis, the number of pixels of parameter maps' subclasses and these classes' number of pixels with landslide have been determined using zonal statistics. Using these values, the weight values of subclasses of parameter maps have been determined. Weight values have been assigned to the maps, and landslide susceptibility analysis have been obtained overlaying these maps by Raster Calculator. According to the susceptibility map, in the basin very low susceptible areas to the landslide are 3%, low susceptible areas % 39, medium susceptible areas 45 %, and high susceptible areas 13%. All of the settlements in the basin are in the medium and high classes. For this reason, studies to minimize the effects of landslides must be performed in the basin.

Keywords: Bingöl, Darköprü Stream Basin, Landslide Susceptibility, Index Method, Settlement.

1. Giriş

Heyelanlar genel olarak, kütle hareketleri içinde değerlendirilmekte ve bir yamaçtaki kaya, toprak ve moloz türü malzemenin yerçekimi etkisi ile aşağı yönlü hareketi olarak tanımlanmaktadır (Cruden ve Varnes, 1996). Heyelanlar, etkili oldukları yerlerde can ve mal kayıplarına neden olabileceği gibi, ekonomik ve çevresel kayıplara da neden olmaktadır. Heyelanların çevresel etkileri; topoğrafyanın değişimi, yeraltı sistemlerin etkilenmesi, hidrolojik sistemlerin değişmesi ve yüzeydeki bitki örtüsü ve ormanlık alanların yapısının değişmesi şeklinde değerlendirilmektedir (Geertsema vd., 2009). Ülkemiz açısından heyelanlar, can ve mal kayıplarına yol açan doğal afetlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Türkiye jeolojik, topoğrafik ve coğrafi yapısı nedeni ile heyelanların ve diğer doğal afetlerin sıklıkla yaşandığı bir ülkedir. Çünkü Türkiye yüzölçümünün %80'i kütle hareketlerini kolaylaştıran sarp arazilerden oluşmaktadır (Öztürk, 2002). Son 60 yıllık veriler incelendiğinde doğal afetler sonucunda Türkiye'de Gayri Safi Milli Hasıla'nın %3-4 oranında kayba uğradığı belirtilmiştir (Gökçe vd., 2006; Akbulut, 2011).

*Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Bingöl. vavci@bingol.edu.tr

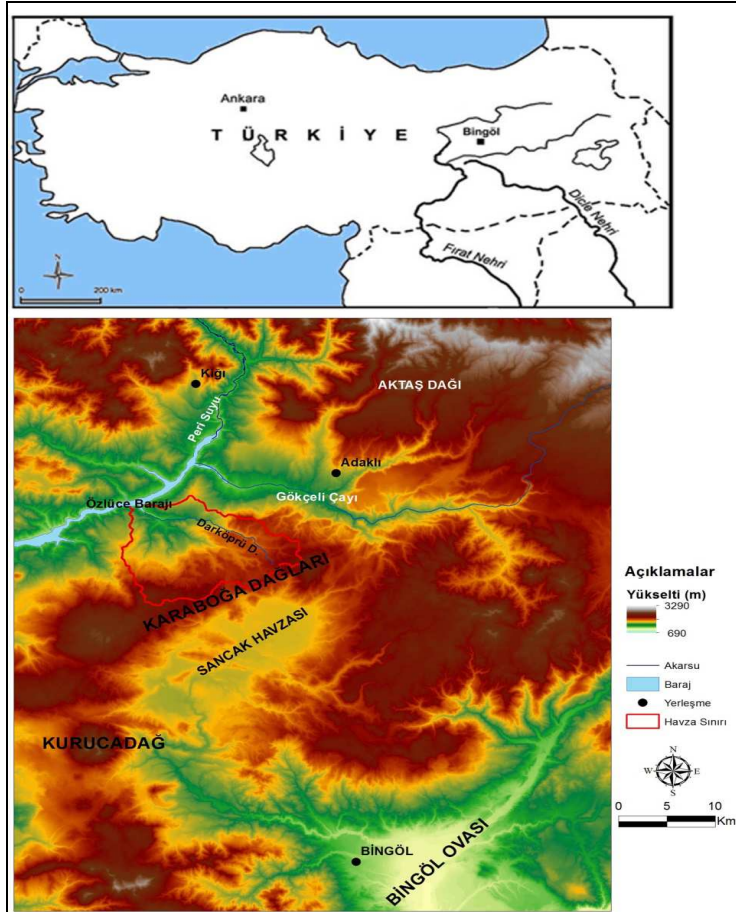
Heyelanların verebileceği zararları azaltmak için heyelan duyarlılık çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarla geçmişte meydana gelen heyelanlardan hareketle gelecekte heyelan olabilecek alanlar tespit edilebilmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmaları heyelan risk yönetiminde önemli araçlardır.

Duyarlılık çalışmalarında uzman görüşüne dayanan nitel (kalitatif) ve istatistiksel algoritmalara dayalı kantitatif yaklaşımlar bulunmaktadır. Kantitatif yöntemler daha önce meydana gelmiş heyelanlarla neden olan faktörler arasındaki matematiksel ilişkiye dayanmaktadır (Aleottive Chowdhury, 1999). Kantitatif yöntemlerle duyarlılık analizlerinde güvenilir sonuçlar elde edilmektedir (Yalçın, 2008)

Bu çalışmada Darköprü Deresi Havzası'nda kantitatif yaklaşımlardan indeks metodu kullanılarak heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Heyelana neden olan faktörler literatür çalışmaları ve arazi gözlemleri ile belirlenmiş ve alt sınıflara ayrılmıştır. Alt sınıfların piksel sayısı ve heyelanlı piksel sayısı zonal istatistik kullanılarak belirlenmiştir. Heyelan duyarlılığı için piksel sayısı ve heyelanlı piksel sayısı kullanılarak alt sınıfların ağırlık değerleri bulunmuştur. Ağırlık değeri bulunan haritalar toplanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

2. Çalışma Alanı ve Başlıca Coğrafi Özellikleri

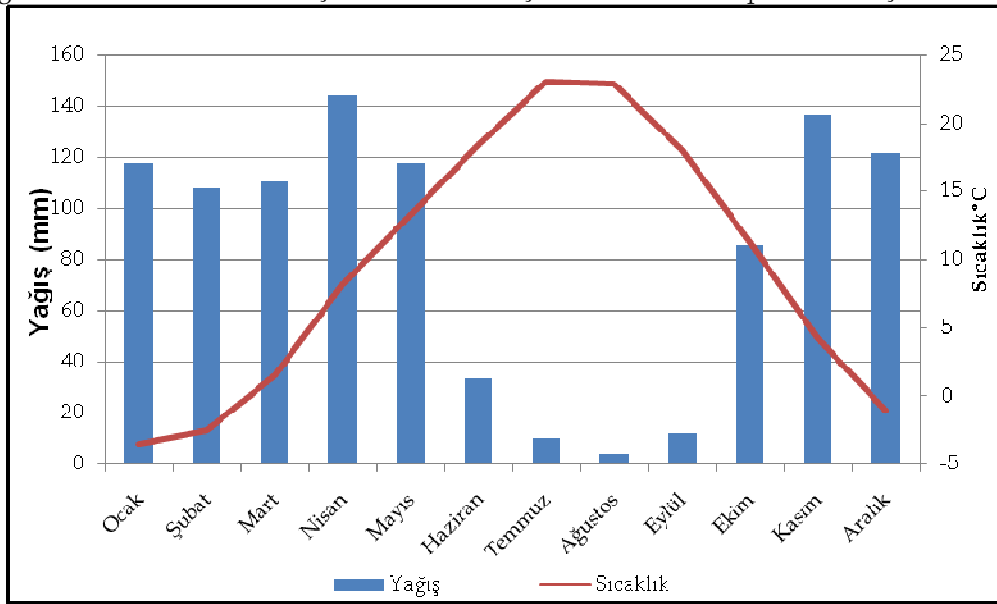
Darköprü Deresi, Bingöl'ün kuzeybatısında yer almaktadır. Peri Suyu'nun yan kollarından olan akarsu, Özlüce Barajı'na bağlanmaktadır. Darköprü Deresi Havzası güneyden Karaboğa Dağları, kuzeyinden ise Özlüce Barajı ile sınırlanmıştır (Şekil 1). Darköprü Deresi Havzası'nda yükselti 1110-2085 m arasında değişmekte, ortalama yükselti değeri 1676 m'yi bulmaktadır. Havza güneyi ile kuzeyi arasında belirgin bir yükselti farkı bulunmaktadır. Bu durum fayla kesilmesinin sonucudur. Eğim değerlerinin 0-61.42° arasında değiştiği havzada, ortalama eğim 12.25°'dir. Akarsu vadilerinde eğim değerleri artmaktadır. Aşırı yağışlardan sonra su seviyesinin artması göçmelere neden olmakta, buna bağlı olarak vadi yamaçlarına kurulan yerleşmeler olumsuz etkilenmektedir. Hasbağlar, Nacaklı vadi yamacına kurulmuş ve heyelanlardan olumsuz etkilenen yerleşmelerdir. Nacaklı köyünde 1985 yılında aşırı yağışlardan sonra meydana gelen göçmeler bir kişinin ölmesine neden olmuştur.



Şekil 1. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) lokasyon haritası

Darköprü Deresi Havzası,Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) güneyinde, tektonik olarak hareketli bir alanda yer almaktadır. Sağ yanal doğrultu atımlı faylar havzadaki tektonik unsurları oluşturmaktadır. Darköprü Deresi Havzası'nda farklı dönemlere ait litolojik birimler yüzeylenmektedir. Oligosen-Alt Miyosen dönemli Mollakulaçdere Formasyonu, Alt Miyosen Adilceva Formasyonu, Üst MiyosenKohkale Tepe Lavı, Hisarbabadağı Lavı, Selçuk İğnimbriti Formasyonu birimleri ve Orta Pliyosen Zırnak Formasyonu birimleri yüzeylenmektedir. Bu birimler yaygın olarak volkaniklerden oluşmaktadır (Tarhan, 1997). Solhan ve Zırnak Formasyonu birimleri olan tuf ve marnlar üzerinde heyelanlar yaygın olarak görülmektedir.

Darköprü Deresi Havzası'nın iklim özellikleri Kiğı Meteoroloji İstasyonu'nun verilerine göre değerlendirildiğinde yıllık ortalama sıcaklığın 9.5°C ve yağış miktarının 1001.3 mm olduğu görülmektedir. Yağış fazlası kış ve ilkbahar dönemine denk gelen karasal iklim özellikleri etkili olmaktadır. Havzada kış yağışları kar şeklinde düşmektedir (Şekil 3). Kar kalınlığı dağlık alanlarda 3-4 m'yi bulmaktadır. Yağış miktarının fazla olmasına bağlı olarak bitki örtüsünü meşe türlerinden oluşan ormanlar ve step türleri oluşturmaktadır.



Şekil 2. Kiğı'da (Bingöl) uzun yıllar sıcaklık ve yağış grafiği

Darköprü Deresi Havzası'nın litolojik, jeomorfolojik ve iklim özellikleri nedeniyle meydana gelen heyelanlar önemli sorunlara yol açmaktadır. Havzada heyelanların toplam alanı 19 km²'dir. Bu heyelanlar yerleşmelere ve karayollarına zarar vermektedir (Tablo 1). Heyelanlar Darköprü Deresi Vadisi'nde yaygın olarak görülmektedir. Hasbağlar ve Nacaklı köylerinde heyelanların etkisi devam etmektedir.

Tablo 1. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) Meydana Gelen Heyelanlar ve Etkileri

Heyelan Tarihi	Etkilenen Yerleşme	Etkilenen Mesken Sayısı	Can Kaybı
1967	Hasbağlar	73	-
1977-1978	Çanakçı	12	-
1967-1968	Kuşçimeni	39	-
1967-1968	Nacaklı	45	-
1985	Nacaklı	-	1

3. Materyal ve Yöntem

Heyelan çalışmalarının en önemli aşamalardan biri, heyelanların özelliklerinin ve dağılımlarının yansıtıldığı güvenilir bir heyelan envanteri ve veri tabanının oluşturulmasıdır (Guzzeti vd., 1999). Heyelan değerlendirmelerinde hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk modellemelerinden önemli unsur, güvenilir heyelan veri tabanıdır (Alkeveli, 2015). Bu çalışmada kullanılan heyelan veri tabanı Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü (MTA) 1/500.000 ölçekli Heyelan Envanter Haritası Erzurum Paftası, arazi gözlemleri ve Google Earth görüntülerinden oluşturulmuştur.

Heyelan oluşma potansiyeli olan alanların zemin özellikleri, jeolojik yapısı, topoğrafik ve meteorolojik etkenlerin heyelanlar üzerindeki etkisi, birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve duyarlılık, tehlike ve risk gibi modellemelerde kullanılmıştır (Guzzeti vd., 1999). Darköprü Deresi Havzası heyelan duyarlılık analizinde

kullanılan parametreler literatür çalışmaları ve arazi gözlemleri ile belirlenmiştir. Bu parametreler litoloji, eğim, bakı, yükselti, fay hatlarına uzaklık, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsüdür.

MTAGenel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ErzincanJ44 ve Muş K45 paftalarının sayısallaştırılması ile jeoloji haritası oluşturulmuştur. Havzaya ait 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritalarının sayısallaştırılması ile Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. SYM, ArcGIS10.1 Programı 3D Analiz-Interpolation-TopoRaster ile oluşturulmuştur. SYM'den eğim, bakı ve yükseklik katmanları oluşturulmuş ve yeniden sınıflandırılmıştır.

Fay hatlarına uzaklık haritası jeoloji haritasından faydalanılarak Spatial Analiz-Distance-EuclideanDistance Modülü ile oluşturulmuştur. Topoğrafya haritasında yer alan akarsular sayısallaştırılarak akarsulara uzaklık haritası oluşturulmuştur.

Havzada bitki örtüsü 10 Haziran 2015 tarihli Landsat 8 OLI-TRS uydu görüntüsünden elde edilen Normalize Fark Bitki İndeksine (NDVI) göre değerlendirilmiştir. NDVI şu formülle oluşturulmuştur: (1)

$$NDVI = \left[\frac{NIR - R}{NIR + R} \right] \quad (1)$$

Formülde NIR, NearInfrared (yakın kızılötesi), R ise Red (Kırmızı) Bantlarıdır. Landsat 8 için NIR 5. Bant, Red 4. Banttır (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php).

Darköprü Deresi Havzası için heyelan duyarlılık analizi indeks metodu ile yapılmıştır. Literatürde indeksi metodu ile yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Yinve Yan 1988; Zezere, 2002; Cevikve Topal 2003; Saha vd., 2005; Sarkar vd., 2003; Bourenane vd., 2015). Bu metot mevcut heyelanların duyarlılık belirlemesi için seçilen her bir parametre içindeki yoğunluğunu esas almaktadır. Bu yoğunluğun parametrelerde standart altına alınabilmesi için, çalışma alanının bütünüyle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Her parametredeki alt sınıfların heyelan duyarlılığındaki ağırlık değeri alt sınıflardaki heyelan yoğunluğunun bütün alandaki heyelan yoğunluğuna bölümünün doğal logaritmasıyla bulunmaktadır (Van Westen, 1997). Buyöntem CBS ortamında aşağıdaki formülle uygulanır:

$$Wi = \ln \frac{Densclas}{Densmap} = \ln \left[\frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}} \right] \quad (2)$$

Formülde yer alan;

Wi: Parametrelere ait alt sınıfların ağırlık değeri

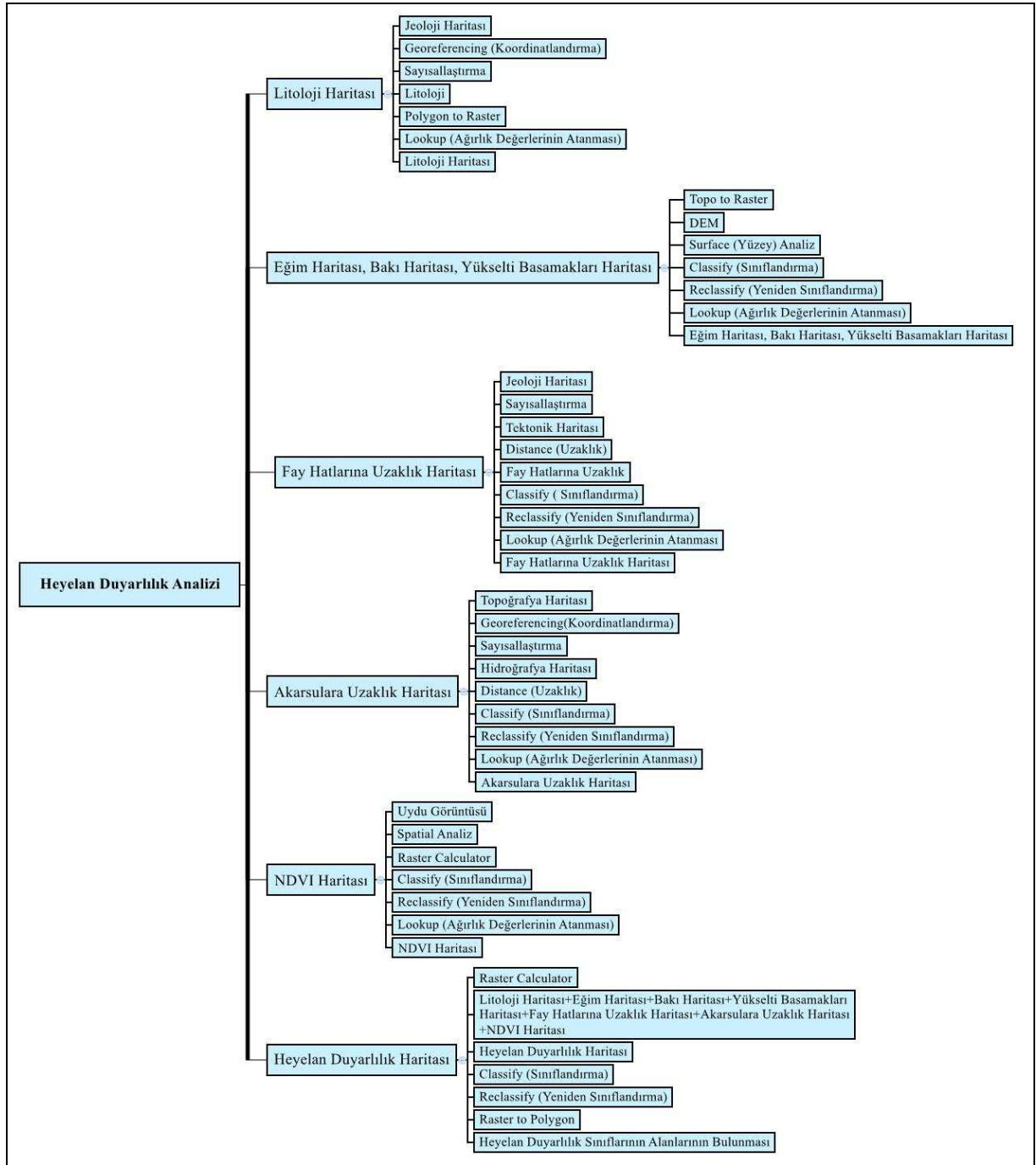
Densclas: Alt sınıflarındaki heyelan yoğunluğu

Densmap: Bütün alandaki heyelan yoğunluğu

Npix(Si): Parametrelerin alt sınıflarındaki heyelana ait piksel sayısı

Npix(Ni): Parametrelerin alt sınıflarına ait piksel sayısıdır.

Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan tüm katmanlar 10 m. grid formatına dönüştürülmüş ve yeniden sınıflandırılmıştır. Heyelan envanter haritası vektör formatından raster formata dönüştürülmüştür. Yeniden sınıflandırılan haritalarla envanter haritası çakıştırılmış ve katmanların piksel sayısı ve heyelanlı piksel sayısı bulunmuştur. Bu veriler formül doğrultusunda kullanılarak parametre haritalarının ağırlık değerleri bulunmuştur (Şekil 3, Tablo 2). Bu değer raster haritaların öz nitelik tablosuna (AttributeTable) işlenmiştir. Ağırlık değeri işlenen haritalar toplanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Sonuç haritası eşit aralıklarla çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı 5 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 3. Heyelan duyarlılık analizinde takip edilen CBS işlem basamakları

Tablo 2. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametrelerin Ağırlık Değerleri

		$Npix (S_i)$	$Npix (N_i)$	$Npix (S_i)$	$Npix (N_i)$	W_i
Litoloji	Zırnak F.	59735	137817	199579	1034327	0.351469095
	Solhan F.	608702	522853	199579	1034327	-0.219419014
	Hisarbabadağı L.	0	86044	199579	1034327	0
	KohkaleTepe L.	6262	44702	199579	1034327	-0.139070872
	Selçukİğnimbriti	2099	50080	199579	1034327	-0.663108862

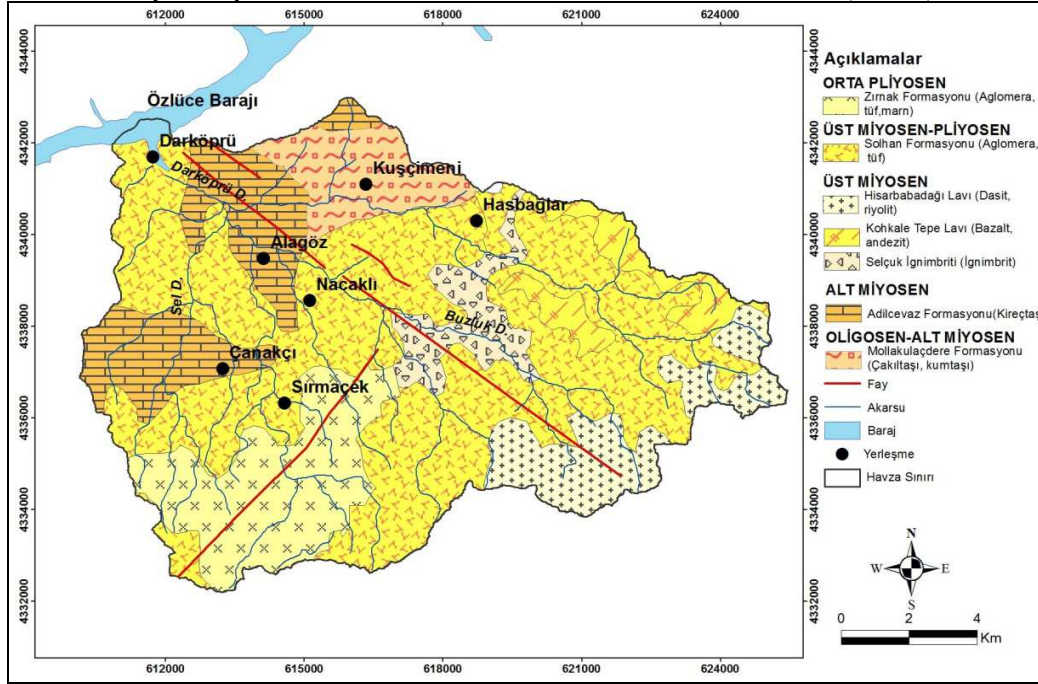
	Adilcevaz F.	37155	128462	199579	1034327	0.175785606
	Mollakulaçdere F.	33456	64369	199579	1034327	0.430340273
Eğim (Derece)	0-5	27697	221507	199579	1034327	-0.188411705
	5-15	88312	461751	199579	1034327	-0.003845105
	15-25	57909	255232	199579	1034327	0.070353961
	25-35	20372	79228	199579	1034327	0.124697994
	35-45	4976	15373	199579	1034327	0.224664764
	45>	313	1236	199579	1034327	0.118068886
Bakı	Düz	12857	87562	199579	1034327	-0.118633009
	Kuzey	83451	481978	199579	1034327	-0.047052651
	Doğu	14104	83310	199579	1034327	-0.056811816
	Güney	65603	262415	199579	1034327	0.112478063
	Batı	23559	119062	199579	1034327	0.010926698
Yükselti Basamakları (m)	1110-1200	6635	13783	199579	1034327	0.39704019
	1200-1400	44267	123749	199579	1034327	0.268081412
	1400-1600	60370	214234	199579	1034327	0.164475799
	1600-1800	44527	318130	199579	1034327	-0.139438171
	1800-2000	39912	340494	199579	1034327	-0.216462953
	2000>	3868	23937	199579	1034327	-0.077040235
Akarsulara Uzaklık (m)	0-50	23985	130744	199579	1034327	-0.21939026
	50-100	21020	114302	199579	1034327	-0.020878098
	100-150	20518	110526	199579	1034327	-0.016786408
	150-200	19903	103875	199579	1034327	-0.003049474
	200-250	19412	95711	199579	1034327	0.021651448
	250-1000	94247	468772	199579	1034327	0.017848891
	1000>	522	10397	199579	1034327	-0.584964522
Fay Hatlarına Uzaklık (m)	0-250	37791	114313	199579	1034327	0.256232251
	250-500	31840	104816	199579	1034327	0.197088496
	500-750	27719	95300	199579	1034327	0.178227677
	750-1000	25002	89953	199579	1034327	0.158502118
	1000>	75227	650537	199579	1034327	-0.208807589
NDVI (Bitki Örtüsü)	<0	4517	6453	199579	1034327	0.578615509
	0-0.1	318	797	199579	1034327	0.315511818
	0.1-0.2	10834	121092	199579	1034327	-0.333783602
	0.2-0.3	48493	340669	199579	1034327	-0.132110544
	0.3-0.4	72577	294921	199579	1034327	0.105636334
	0.4>	62840	270671	199579	1034327	0.080337468

4. Darköprü Deresi Havzası'nda HeyelanOluşumu Üzerinde Etkili Olan Faktörler

Bu bölümde Darköprü Deresi Havzası'nda heyelana neden olan litoloji, eğim, bakı, yükselti basamakları, fay hatlarına uzaklık, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsü faktörleri değerlendirilmiştir.

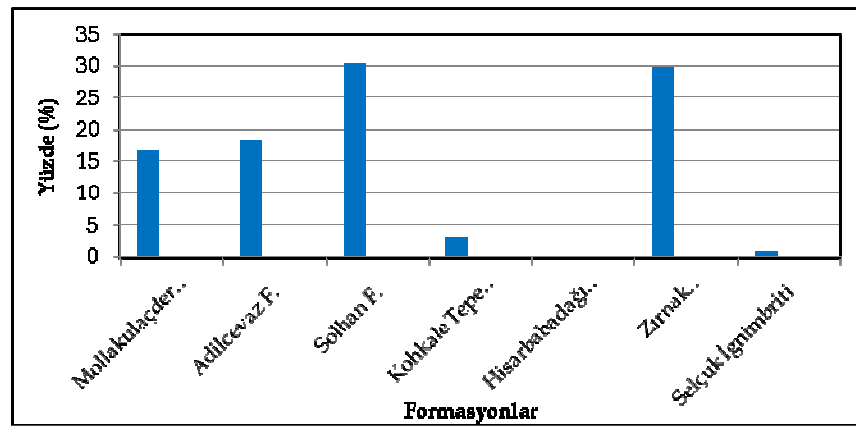
4.1. Litolojinin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Heyelan oluşumuna etki eden faktörlerden ilki litolojidir (Yalçın, 2008; Dai vd., 2001). Litolojinin heyelan oluşumuna etkisi kayaçların heyelana karşı gösterdiği duyarlılık nispetindedir (Özşahin, 2015). Killi formasyonların, fliş, marn ve tuf gibi depoların yaygın olduğu sahalarda heyelanlar çok daha fazla görülür (Erinç, 2000). Çalışma alanının % 50.55'inde litoloji Solhan Formasyonu ürünü olan aglomera ve tüflerden oluşmaktadır. Alt Miyosen Adilcevaz Formasyonu üyesi kireçtaşları çalışma alanının % 12.41'ini, Orta Pliyosen Zırnak Formasyonu üyesi aglomera ve tuf ve marn % 13.32'sini, Oligosen-Alt Miyosen dönemine ait Mollakulaçdere Formasyonu üyesi çakıltaşı ve kumtaşı % 6.22'sini oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) jeoloji haritası

Heyelanların formasyonlara dağılımı değerlendirildiğinde; % 29.93'ü Zırnak Formasyonu, % 30.50'si Solhan Formasyonu, % 16.76'sı Mollakulaçdere Formasyonu birimleri üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 4, Foto 1). Darköprü Deresi Havzası'nda tuf ve marnlar üzerinde heyelanlar yoğun olarak görülmektedir. Bu durum tuf ve marnların kil içeriğine bağlı olarak plastisite sınırına çabuk ulaşması ile alakalıdır. Çünkü killi depolara daha fazla su eklendiği zaman bunlar kısa bir süre sonra likidite sınırını aşarlar (Erinç, 2000). Adilcevaz ve Mollakulaçdere Formasyonu birimlerinin yüzeylendiği alanlarda heyelanların görülmesi üstte geçirimli altta geçirimsiz kayaçların bulunmasına bağlıdır.



Şekil 4. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların jeolojik formasyonlara göre dağılımı

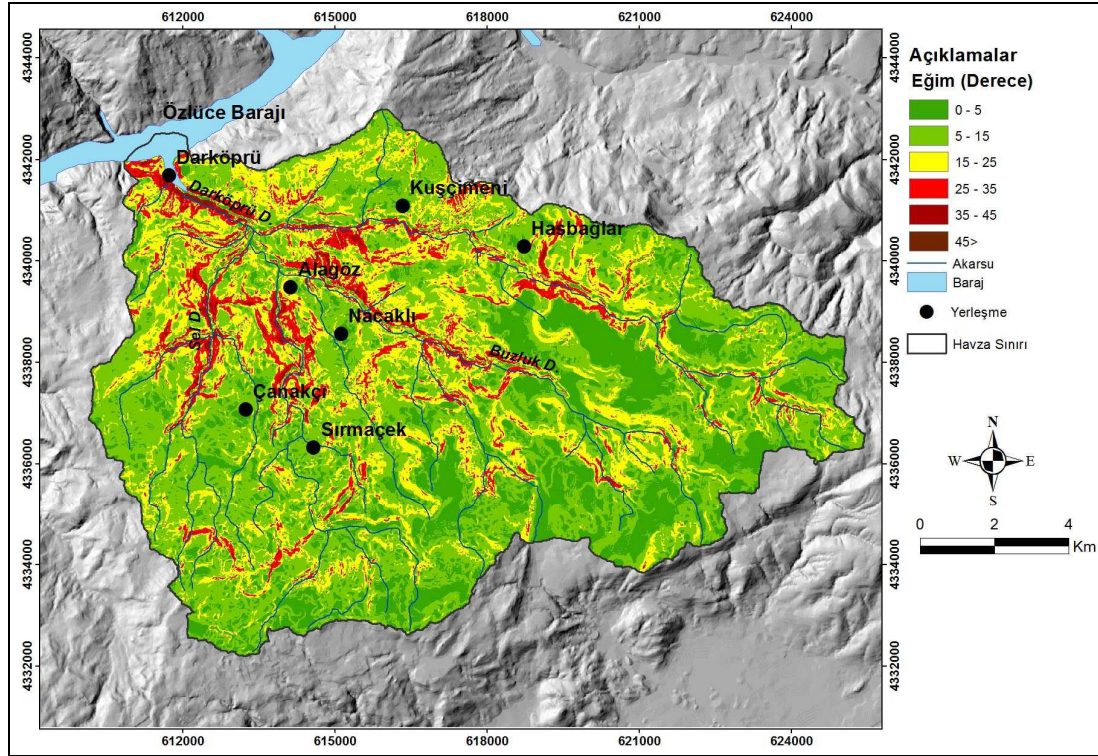


Foto 1. Çanakçı köyünde Solhan Formasyonu üyesi tüfler üzerinde görülen heyelanlar tarım alanlarını etkilemektedir.

4.2. Eğimin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Yamaç eğimi, heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Yamaç eğimi hemen hemen tüm araştırmacılar tarafından duyarlılık çalışmalarında kullanılmıştır (Alkeveli, 2015). Genel olarak yamaç eğimi yüksek olan yerler heyelana daha duyarlıdır.

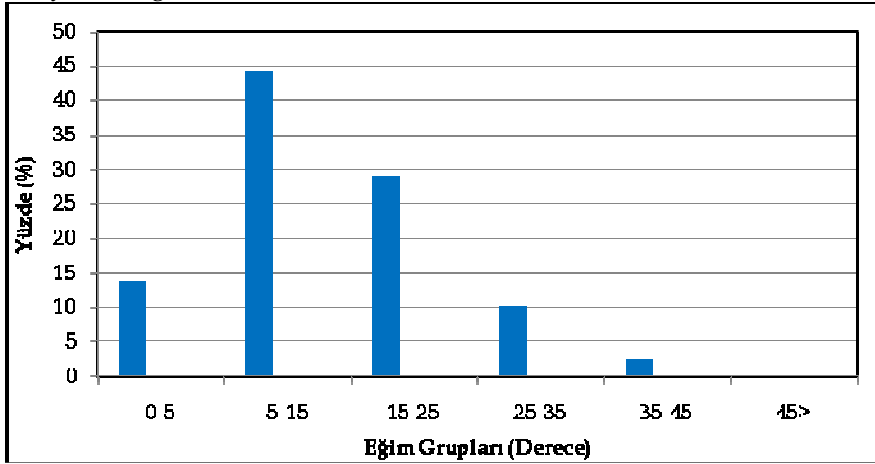
Darköprü Deresi Havzası için eğim haritası SYM'den oluşturulmuş ve yeniden sınıflandırılmıştır. Eğim değerleri 0-61° arasında değişmekte olup, en yüksek değerler Sel Deresi, Buzluk Deresi ve Darköprü Deresi yamaçlarında görülmektedir. Havza güneyinde eğim değerleri genel olarak azalmaktadır (Şekil 5). 0-5° eğim grubu çalışma alanının % 21.41'ini, 5-15° eğim grubu % 44.64'ünü, 15-25° eğim grubu % 24.67'sini 25-35° eğim grubu % 7.65'ini oluşturmaktadır.



Şekil 5. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) eğim haritası

Heyelanlar ile eğim grupları arasındaki ilişki zonal istatistik kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre heyelanların % 44.24'ü 5-15° eğim grubunda, % 29.01'i 15-25° eğim grubunda, % 10.2'si 25-35° eğim grubunda

meydana gelmiştir (Şekil 6).5-15° eğim grubunda heyelanların yoğun olarak görülmesi litolojinin uygun olmasına, yağış ve yer altı suyunun fazla olmasına bağlıdır. Eğim değerlerinin düşük olduğu sahalarda toprak kaymaları şeklinde heyelanlar görülmektedir.



Şekil 6. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların eğim gruplarına dağılımı

Vadi yamaçlarında görülen heyelanlar karayollarının ve meskenlerin zarar görmesine yol açmaktadır (Foto 2).



Foto 2. Hasbağlar-Adaklı karayolu heyelanlardan etkilenmektedir.

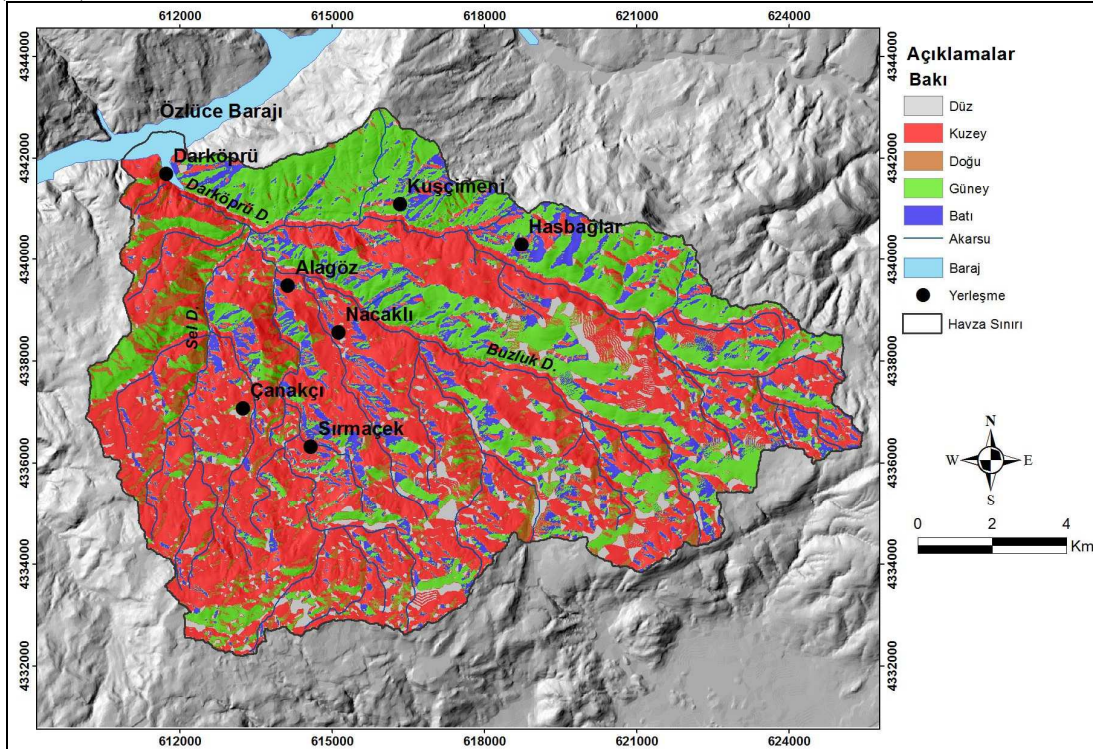
Eğim değerlerinin düşük olduğu alanlarda meydana gelen heyelanlar tarım alanlarına zarar vermektedir. Bu sahalarda litolojinin uygun olması ve su miktarının fazla olmasına bağlı olarak toprak kaymaları meydana gelmektedir (Foto 3).



Foto 3. Nacaklı'da görülen toprak kaymaları tarım alanlarına zarar vermektedir. Heyelan bölgesinde yer alan evlerde çatlaklar oluşmuştur.

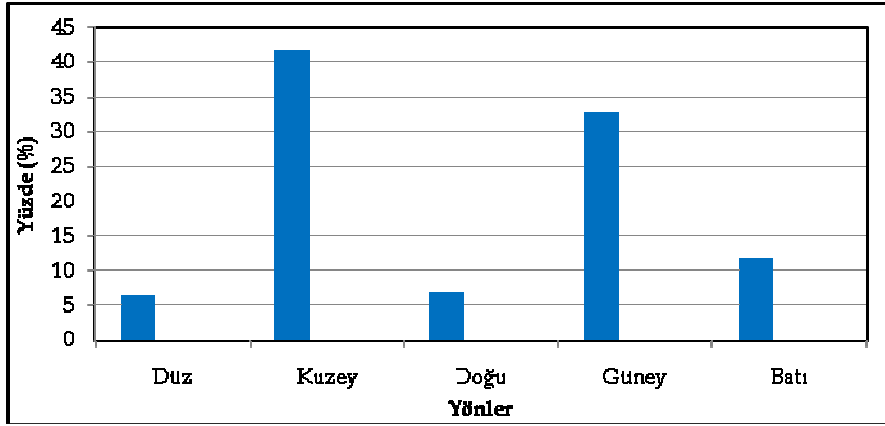
4.3. Bakının Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Bakı, heyelan üzerinde dolaylı olarak etkili olan önemli parametrelerden biridir. Yamacın yönüne göre güneşe dönüklük, yağış ve toprak nemliliği değişmektedir. Buna bağlı olarak yamaçların heyelan duyarlılığı farklıdır. Darköprü Deresi Havzası için SYM kullanılarak bakı haritası oluşturulmuş ve 5 sınıfa ayrılmıştır (Düz, kuzey, doğu, güney, batı). Havzada kuzey yönlü yamaçların oranı % 46.59, güney yönlü yamaçların oranı % 25.37, batı yönlü yamaçların oranı % 11.51, % doğu yönlü yamaçların oranı % 8.05'dir. Düz alanların oranı ise % 8.46'dır (Şekil 7).



Şekil 7. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) bakı haritası

Havzada heyelanların % 41.81'i kuzey yönlü yamaçlarda, % 32.87'si güney yönlü yamaçlarda, % 11.8'i batı yönlü yamaçlarda, % 7.06'sı doğu yönlü yamaçlarda görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8.Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların bakı gruplarına göre dağılımı

Kuzeye bakan yamaçlarda heyelanların daha fazla görülmesi zemin nemliliğinin yüksek oluşuna bağlıdır. Güney yönlü yamaçlarda heyelanların görülmesi yağış miktarının fazla olmasına bağlıdır. Bu yağışların kar şeklinde olması ve kar kalınlığının yüksek oluşu, ilkbahar mevsiminde erimelere bağlı olarak heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır.Çünkü şiddetli veya devamlı yağışlar yahut karların erimesi, kayaların ve döküntünün içine bol miktarda suyun sızmasına imkan verir. Bunun sonucunda plastisite veya likidite sınırlarına erişilir ve heyelanlar meydana gelir (Erinç, 2000).Güney yamaçlara kurulan yerleşmeler bu nedene bağlı olarak meydana gelen heyelanlardan etkilenmektedir (Foto 4).

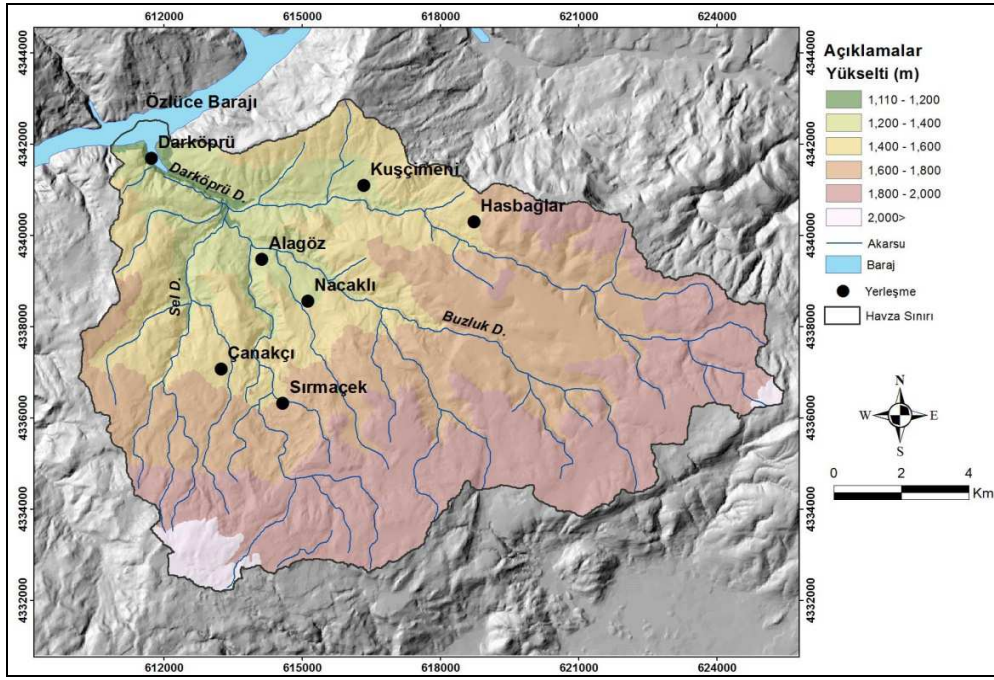


Foto 4. Güneye dönük yamaçlara kurulan Kuşçimeni köyü heyelandan etkilenmektedir.

4.4. Yükseltinin Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

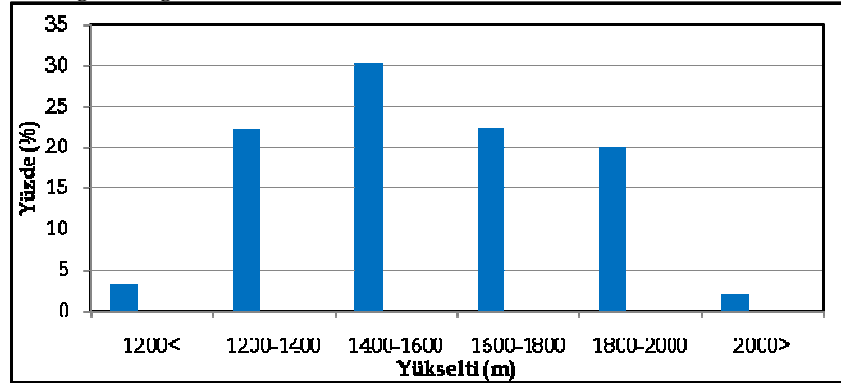
Yükselti heyelan oluşumuna neden olan faktörlerden biri olarak duyarlılık çalışmalarında kullanılmıştır (Kayastha vd., 2012). Araştırmacılar çok yüksek seviyelerdeki birimlerin, kayaç türü malzemelerden oluştuğunu ve daha alt yükseltideki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduklarından, heyelanlara karşı daha az duyarlı olduklarını, orta yükseklikteki kotlarda, yüksek kotlardan gelen malzeme nedeniyle oluşacak toprak örtüsü nedeniyle bu kesimlerin heyelana karşı daha duyarlı olacağını belirtmişlerdir. Çok düşük kotlarda ise yamaç eğiminin az ve kalın örtü malzemesi bulunması nedeniyle, heyelana karşı daha az duyarlı olarak değerlendirmişlerdir (Caniani vd., 2008; Gorsevski ve Jankowski 2008).

Havza için SYM'den yükselti basamakları haritası oluşturulmuş ve 6 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar 1100-1200, 1200-1400, 1400-1600, 1600-1800, 1800-2000, 2000 m'nin üstüdür. Darköprü Deresi Havzası'nda 1400-1600 m yükselti basamağı (% 20.71) ile 1600-1800 m yükselti basamağı (% 30.75) ve 1800-2000 m yükselti basamağı geniş alan kaplamaktadır (% 32.91) (Şekil 9).



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

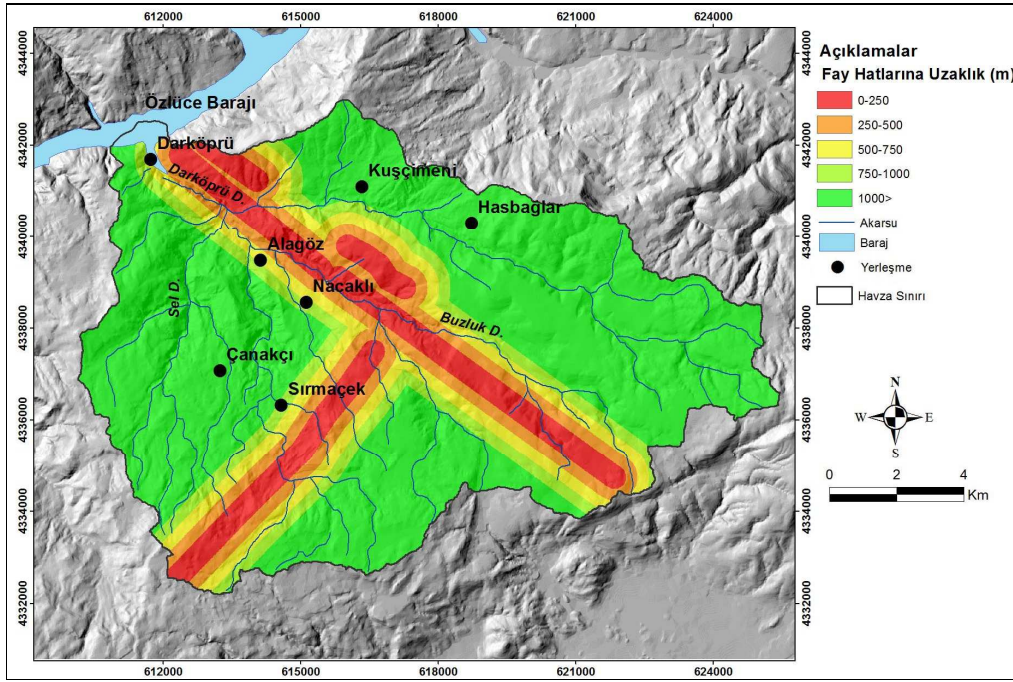
Heyelanların % 22.18'i 1200-1400 m, % 30.24'ü 1400-1600 m arasında, % 22.31'i 1600-1800 m arasında, % 19.99'u 1800-2000 m arasında görülmüştür (Şekil 10). Heyelanların orta yükseklikteki alanlarda daha fazla meydana geldiği görülmektedir. Heyelanların bu yükseltilerde daha fazla görülmesi çözülme sonucu oluşan enkaz malzemenin fazlalığına bağlıdır.



Şekil 10. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların yükselti basamaklarına dağılımı

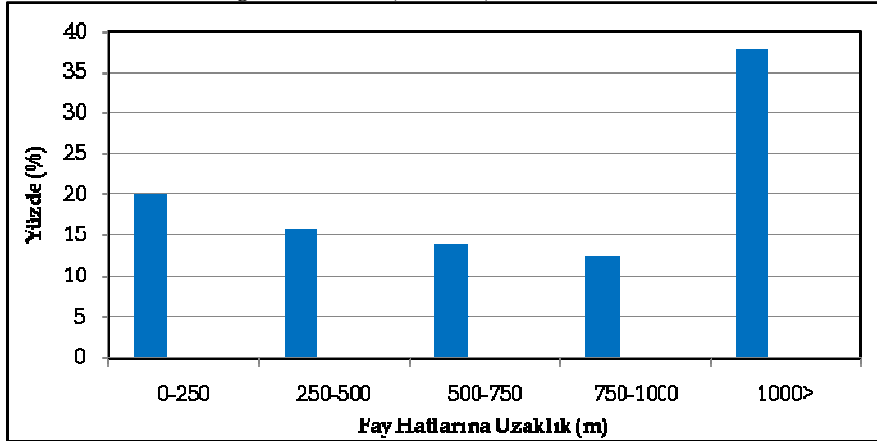
4.5. Fay Hatlarına Uzaklığın Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Fay hatları, heyelanları tetikleyen önemli jeolojik faktörlerdendir (Paulsen vd. 1998; Stephen, 1998). Yapısal unsurlara uzaklık parametresinin heyelanlar üzerindeki etkisi ile ilgili görüş birliği olup, yapısal unsurlara uzaklık ile heyelan sıklığı arasında ters orantılı bir ilişki olduğu savunulmaktadır. Araştırmacılar genel olarak, fay, kıvrım eksenine, kırık/çatlak sistemleri gibi çizgisel unsurlara yakın alanlarda, heyelan oluşumunun daha fazla olacağı görüşünü savunmaktadır (Çellek, 2013). Darköprü Deresi Havzası sağ yanal doğrultu atımlı fay tarafından KB-GD doğrultusunda kesilmiştir. Fay hatları dikkate alınarak 0-250, 250-500, 500-750, 750-1000 ve 1000 m ve üzeri olarak fay hatlarına uzaklık haritası oluşturulmuştur. Bu haritaya göre havzada fay hatlarına 0-250 m uzaklıkta olan alanların oranı % 11.05, 250-500 m uzaklıkta olan alanların oranı % 10.13, 500-750 m uzaklıkta olan alanların oranı % 9.21, 750-1000 m uzaklıkta olan alanların oranı % 8.69'dur. Havzanın % 60.96'sı fay hatlarına 1000 m'den daha fazla uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) fay hatlarına uzaklık haritası

Heyelanların % 19.93'ü fay hatlarına 0-250 m uzaklıkta, % 15.95'i 250-500 m uzaklıkta, % 13.88'i 500-750 m uzaklıkta, % 12.52'si 750-1000 m uzaklıkta olan alanlarda görülmüştür. Heyelanların % 37.69'u fay hatlarına 1000 m'den daha uzak olan alanlarda görülmüştür (Şekil 12).



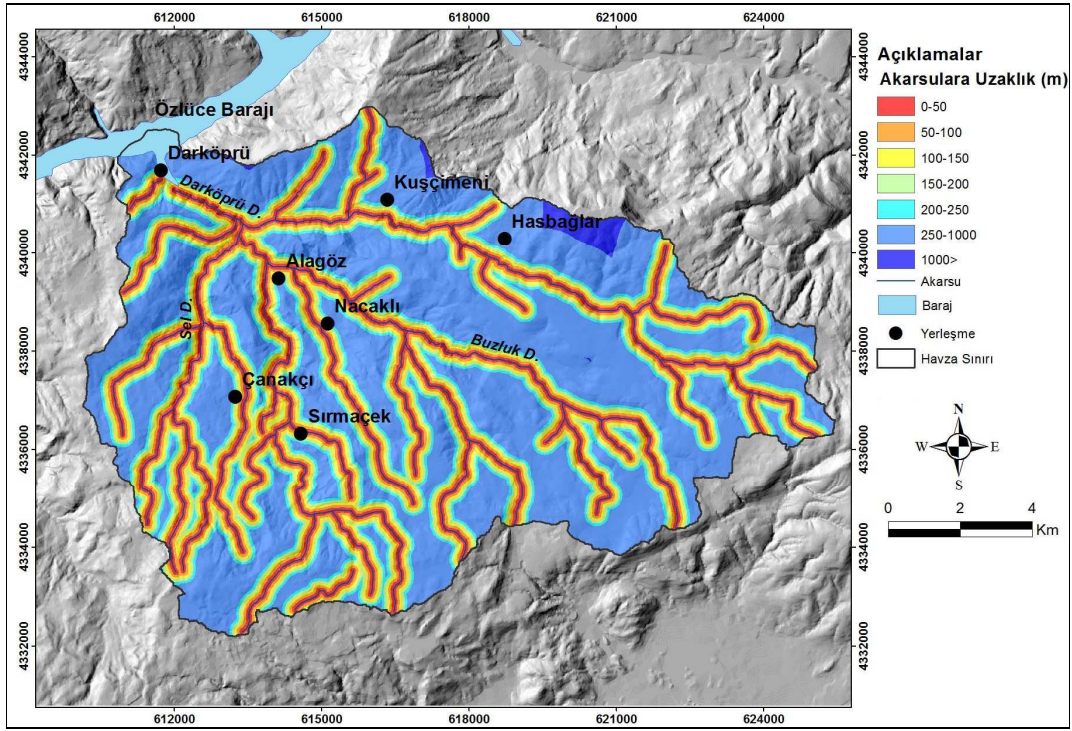
Şekil 12. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların fay hatlarına uzaklık gruplarına dağılımı

Havza ve çevresinde depremler heyelanları tetiklemektedir. Çünkü sismik veya volkanik sarsıntılardan sonra meydana gelen ani değişikliklerin neden olduğu basınç değişiklikleri tiksotropiye neden olmaktadır. Bu durumda killi depolar bir darbe veya sarsıntıya uğradığı zaman, aniden sıvı haline geçerek yamaçtan aşağıya doğru harekete başlar (Erinç, 2000). Hasbağlar ve Nacaklı köylerinde 1966-1967 yıllarında depremlerden sonra heyelan meydana gelmiş ve meskenler zarar görmüştür.

4.6. Akarsulara Uzaklığın Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

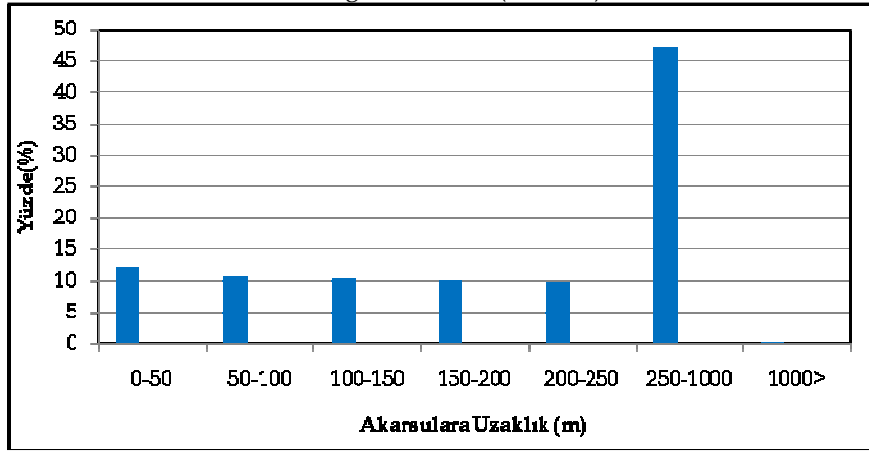
Akarsular yamaç topuğunu aşındırarak heyelanların oluşma olasılığını artırmakta ve heyelan duyarlılık harita ve modellerinde tercih edilmektedir (Süzen ve Doyuran, 2004). Komac(2006), herhangi bir alandaki drenaj ağına yakınlık değerinin artması ile yeraltısuyu ve yüzey sularının etkilerinin artacağı ve bu nedenle yüzeyin aşınarak heyelanlara karşı daha duyarlı hale geleceğini belirtmiştir.

Darköprü Deresi Havzası için arazi gözlemleri ile heyelanların meydana geldiği aralıklar dikkate alınarak akarsulara uzaklık 7 sınıfa ayrılmıştır. Bunlar, 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-1000 ve 1000 m ve üzeridir. Havzada akarsulara 0-50 m uzaklıkta olan alanların oranı % 12.64, 50-100 m uzaklıkta olan alanların oranı % 11.05, 100-150 m uzaklıkta olan alanların oranı % 10.68, 150-200 m uzaklıkta olan alanların oranı % 10.04'dür. Akarsulara 200 m'den daha fazla uzaklıkta olan sahaların oranı % 55 civarındadır (Şekil 13).



Şekil 13. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) akarsulara uzaklık haritası

Heyelanların akarsulara uzaklık gruplarına dağılımı değerlendirildiğinde; % 12.01'i akarsulara 0-50 m, % 10.53'ü 50-100 m, % 10.28'si 100-150 m, % 9.97'si 150-200 m uzaklıkta görülmüştür. Heyelanların % 47.22'si akarsulara 200 m'den daha uzak olan alanlarda görülmüştür (Şekil 14).



Şekil 14. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların akarsulara uzaklık gruplarına göre dağılımı

Havzada akarsulara yakın olan sahalarda akarsuların aşındırma nedeniyle vadi yamaçlarında meydana getirdiği eğim artışı, yana aşındırma ile yamaç stabilitesinin bozulması (Foto 5) ve yamaçların alt kısmının suya doygun hale gelmesi ile heyelanlar görülmektedir (Foto 6).



Foto 5. Nacaklı köyünde Buzluk Deresi'nin neden olduğu göçmeler yerleşme için tehlike oluşturmaktadır

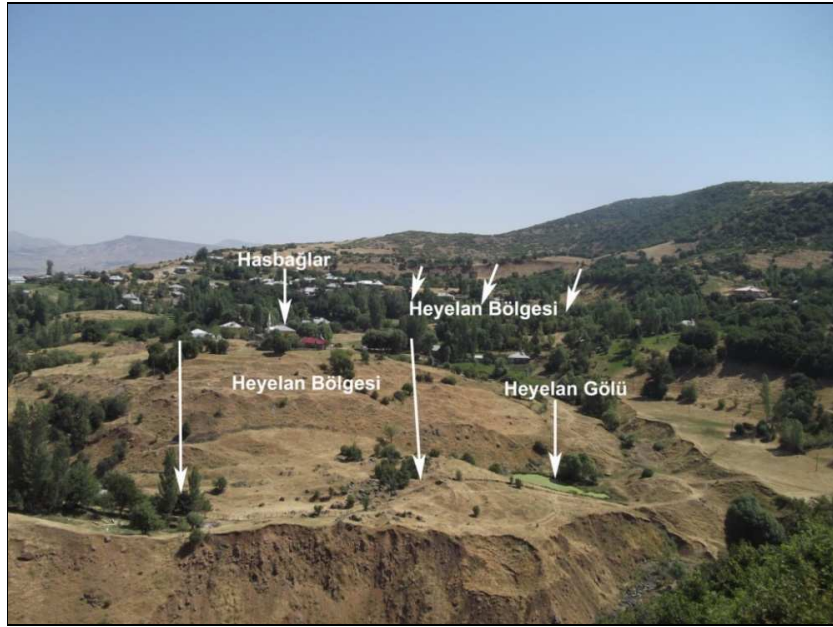
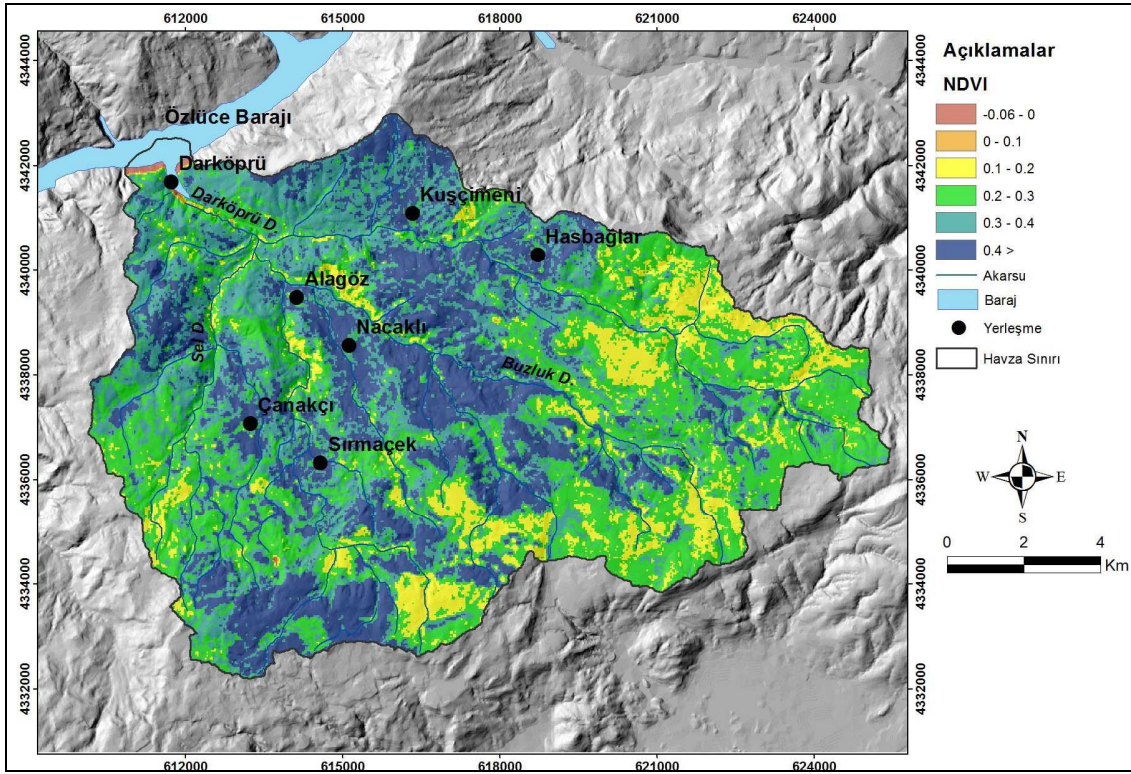


Foto 6. Hasbağlar köyünde heyelan yerleşmeyi ve tarım alanlarını etkilemektedir.

4.7. Bitki Örtüsünün (NDVI) Heyelan Oluşumu Üzerindeki Etkisi

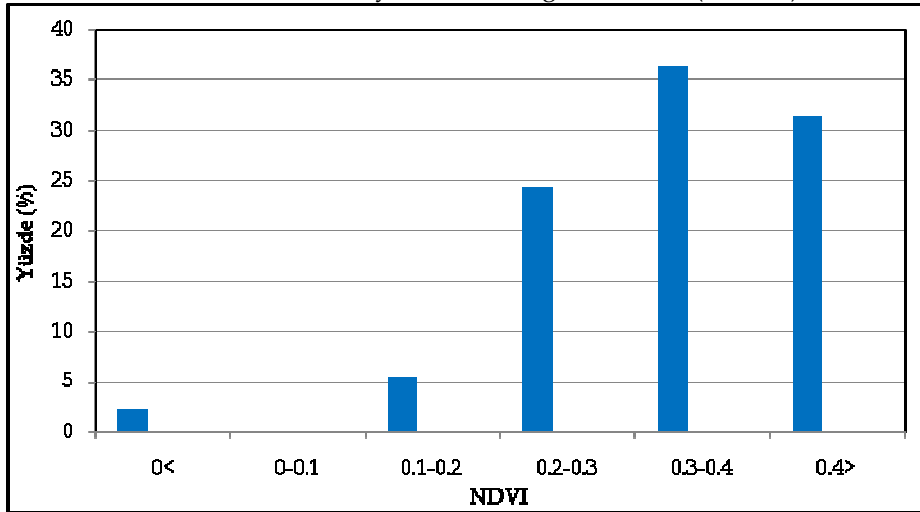
Bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsü ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir. Bitki örtüsü yoğunluğu azaldıkça heyelan olma olasılığı artmaktadır (Çellek, 2013).

Çalışma alanında bitki örtüsü orman ve step türlerinden oluşmaktadır. Orman yoğunluğu havzanın orta bölümünde daha fazladır. Bitki örtüsü havzaya ait Landsat 8 OLI-TRS görüntüsünden elde edilen NDVI'ya göre değerlendirilmiştir. NDVI değerleri -0.06 ile 0.61 arasında değişmektedir. Bu değerler kullanılarak -0.06-0, 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4 ve 0.4> olarak 6 sınıf oluşturulmuştur. NDVI değerlerinin 0.1-0.2 arasında olduğu sahalar havza alanının % 0.5'ini, 0.2-0.3 arasında olduğu sahalar % 32.93'ü, 0.3-0.4 arasında olduğu sahalar % 28.51, 0.4> üzerinde olduğu sahalar % 26.16'sını oluşturmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) NDVI haritası

Heyelanların % 5.42'si NDVI değerlerinin 0.1-0.2 arasında olduğu alanlarda, % 24.29'u 0.2-0.3 arasında, % 36.36'sı 0.3-0.4 arasında, % 31.48'i 0.4>'den büyük alanlarda görülmüştür (Şekil 16).



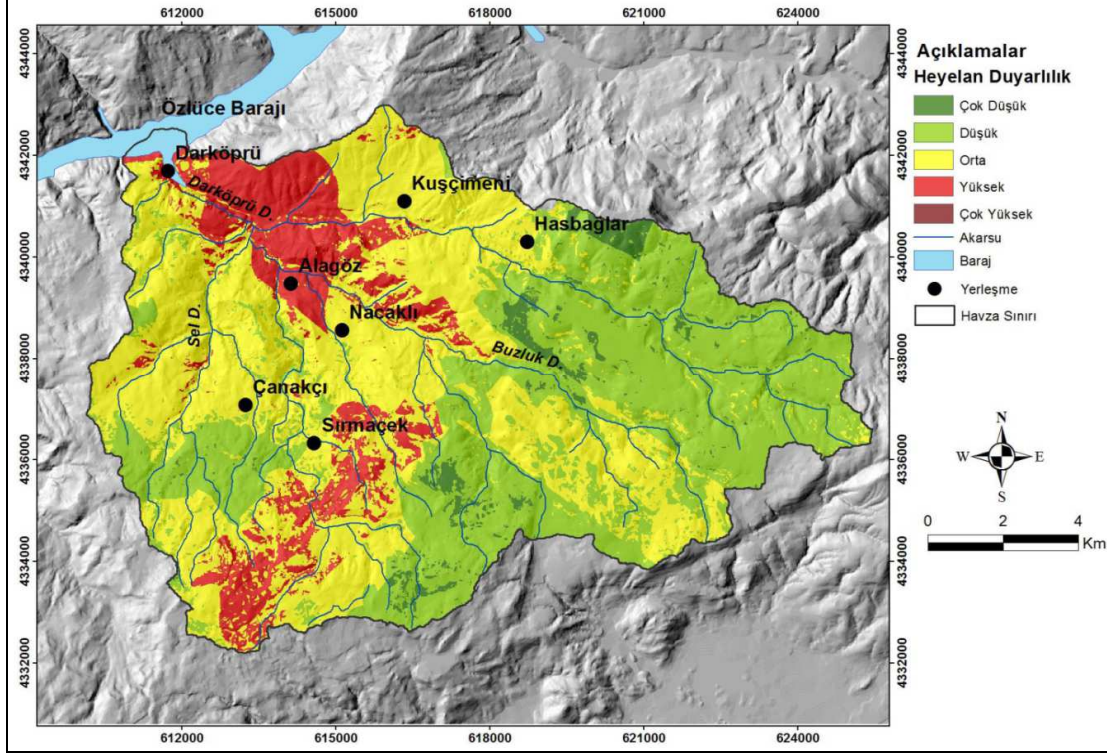
Şekil 16. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelanların NDVI gruplarına dağılımı

Havzada bitki yoğunluğu arttıkça heyelanların da arttığı görülmektedir. Bu durum litolojik koşulların uygun olması ve akarsu aşındırmasına bağlıdır. Zira bitki örtüsünün yoğun olduğu akarsu vadilerinde litoloji tüf ve marndan oluşmaktadır. Aşındırma sonucu eğim değerlerinin artması, yamaç dengesinin bozulması ve suya doygunluk bu litolojinin kaymasını kolaylaştırmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

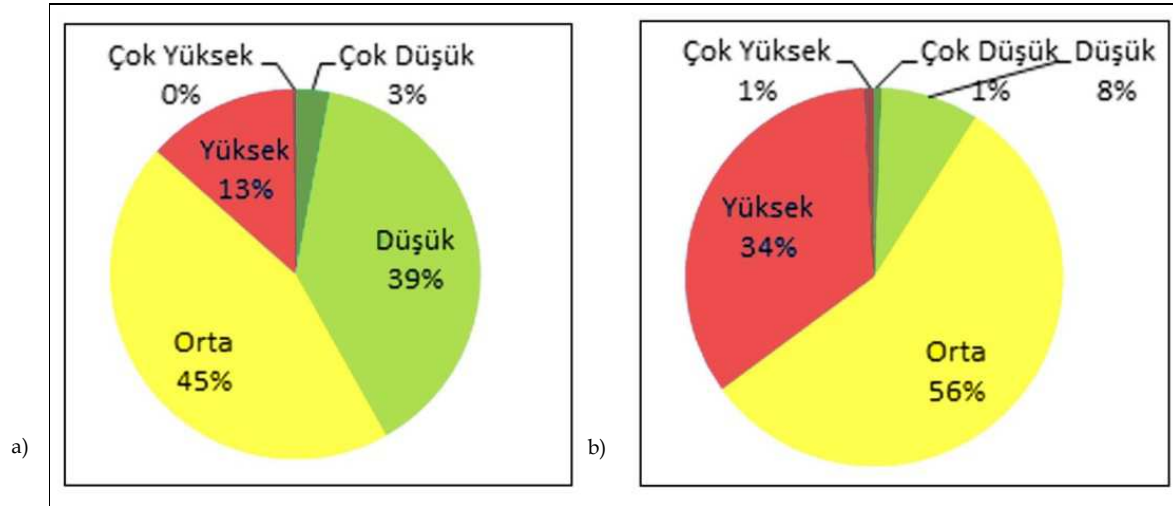
Darköprü Deresi Havzası için heyelan duyarlılık analizinin yapıldığı bu çalışmada indeks metodu kullanılmıştır. Duyarlılık analizinde kullanılan parametreler arazi gözlemleri ve bu konuda yapılan çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu parametreler litoloji, eğim, bakı, yükselti, fay hatlarına uzaklık, akarsulara uzaklık ve bitki örtüsüdür. Çalışma alanına ait heyelan envanter haritası raster formata dönüştürülmüş ve yeniden sınıflandırılmış parametre haritaları ile karşılaştırılmıştır. Bu işlem ile alt grupların piksel sayısı ve heyelanlı piksel sayısı bulunmuştur. Bu veriler kullanılarak parametrelerin alt sınıflarının ağırlık değeri

bulunmuştur. Ağırlık değerleri bulunan parametre haritaları toplanarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Bu haritada en düşük değer -1.88, en yüksek değer ise 1.89'dur. Sonuç haritası eşit aralıklarla 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar çok düşük duyarlı, düşük duyarlı, orta duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlıdır. Eğim değerleri yüksek, fay hatlarına yakın olan ve güneye bakan yamaçlarda heyelan duyarlılığının yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 17).



Şekil 17. Darköprü Deresi Havzası'nın (Bingöl) heyelan duyarlılık haritası

Havzada heyelana çok düşük duyarlı alanların oranı % 3, düşük duyarlı alanların oranı % 39, orta duyarlı alanların oranı % 45, yüksek duyarlı alanların oranı % 13'dür. Buna göre havza alanının % 58'inde heyelan duyarlılığı orta ve üzerinde çıkmıştır. Duyarlılık analiziyle ortaya konan gelecekte heyelanların meydana gelebileceği alanların doğrulaması mümkün değildir (Guzzetti vd., 1999; Chung ve Fabri, 2005). Fakat, heyelan duyarlılık analizi sonuçlarının güvenilirliğini ölçmek amacıyla bazı görüşler öne sürülmüştür (Yin ve Yan, 1988; Carrara ve Guzzetti., 1995; Irigaray vd., 1996; Zezere, 2002). Darköprü Deresi Havzası için üretilen heyelan duyarlılık sınıflarının doğrulamasında duyarlılık analizinde kullanılan heyelan verileri referans alınmıştır (Zezere vd., 2004). Bu analizde mevcut heyelanlar ile duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Buna göre heyelanların % 56'sı orta duyarlı, % 34'ü yüksek duyarlı, % 1'i çok yüksek duyarlı sınıfta görülmüştür. Çok düşük ve düşük duyarlı sınıfta görülen heyelanların oranı ise sadece % 9'dur (Şekil 18).



Şekil 18. Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) heyelan duyarlılığının oransal dağılışı (a). Heyelan envanter haritası ile heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırılmasına göre mevcut heyelanların duyarlılık gruplarına göre dağılışı (b).

Bu çalışmada heyelan duyarlılığı üzerinde eğim, fay hatlarına uzaklık ve bitki örtüsünün (NDVI) etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Eğim değerleri yükseldikçe heyelan duyarlılığı artmaktadır. Eğim değerlerinin arttığı akarsu vadileri duyarlılığın arttığı alanlara karşılık gelmektedir. Fay hatlarına uzaklık ile heyelan duyarlılığı arasında anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Fay hatlarından uzaklaştıkça heyelan duyarlılığının azaldığı görülmüştür. Bitki örtüsünün seyrek olduğu alanlarda heyelan duyarlılığı artmaktadır (Tablo 2).

Analiz sonuçlarına göre havzadaki tüm yerleşmeler orta ve yüksek duyarlı sınıfta yer almaktadır. Geçmiş dönemlerde heyelanların meydana geldiği Sırmaçek, Hasbağlar ve Nacaklı yerleşmelerinde bu olayların tekrarlanma olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle bu yerleşmelerin heyelan açısından izlemeye alınması, Nacaklı köyünde göçmelere neden olan Buzluk Deresi'nin ıslah edilmesi ve Hasbağlar köyünde yeraltı suyunun drene edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- AKBULUT, İ (2011). "Heyelan Nedir ? Türkiye'deki Heyelanlar" ,*Mavi Gezegen*, 16, 15-20.
- ALEOTTI P, CHOWDHURY, R (1999) "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives", *Bull Eng Geol Environ*, 58, 21-44.
- ALKEVLİ, T (2015). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem Stratejileri ve Bazı Karar Verme Ağaçları Algoritmalarının Kullanım Üzerine Bir Araştırma, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- BOURENANE, H, BOUHADAD, Y, SAİD GUETTOUCHE, M, BRAHAM, M (2015). "GIS-based landslide susceptibility zonation using bivariates statistical and expert approaches in the city of Constantine (Northeast Algeria)", *Bull Eng Geol Environ*, 74, 337-355.
- CANIANI, D, PASCALE, S, SDAO, F, SOLE, A (2008). "Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza", *Natural Hazards*, 45, 55-72.
- CARRARA, A, GUZZETTI, F (1995). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht The Netherlands, 353 pp.
- CHUNG, C, FABRI, A (2005). "Systematic Procedures of Landslide Hazard Mapping for Risk Assessment Using Spatial Prediction Models", edited by Glade, T., Anderson, M. G., and Crozier, M. J., *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley & Sons Ltd., London.
- CRUDEN, D. M, VARNES, D. J (1996). "Landslide types and processes". In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) *Investigation and Mitigation Transp Res Board, Spec Rep*, 247.
- ÇELLEK, S (2013). Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇEVİK, E, TOPAL, T (2003). "GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey)", *Environ Geol*, 44, 949-962.
- DAI, F. C, Lee, C. F, LI, J, XU, Z. W (2001). "Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong", *Environmental Geology*, 43 (3), 381-391.
- ERCANOĞLU, M, GÖKÇEOĞLU, C (2001). "Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler", *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- ERİNÇ, S (2000). *Jeomorfoloji I*, İstanbul: DER Yayınevi.
- GEERTSEMA, M, HIGHLAND, L, VAUEGOİS, L (2009). "Environmental impact of landslides". In K. Sassa, P. Canuti (eds.), *Landslides - Disaster Risk Reduction*, p. 585-604.
- GOMEZ, H, KAVZAOĞLU, T (2005). "Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela", *Engineering Geology*, V. 78, 1-2, p. 11-27.
- GORSEVSKİ, P, GESSLER, P, FOLTZ, R B (2000). "Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and GIS", *4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling*, Alberta, Canada, 9 pp.

- GÖKÇE, O, DEMİR, A, ÖZDEN, Ş (2006).“Türkiye’de Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulanması (Afet Envanteri 1950-2005)”, *In Proc. of 1st National Landslide Symposium of Turkey*, Branch Office of JMO in Trabzon, 24-40.
- GUZZETTI F, CARRARA, A, CARDINALI, M, REICHENBACH, P (1999).“Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development”, *Geomorphology*, 31,181-216.
- IRIGARAY, C, CHACON, J, Fernandez, T (1996).“Methodology for the Analysis of Landslide Determinant Factors by Means of a GIS: Application to the Colmenar Area (Malaga, Spain)”, edited by Chacón, J., Irigaray, C., and Fernández, T., *Landslides*, Balkema, Rotterdam, 163-172.
- KOMAC, M, RIBIĆIĆ, M (2006).“Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1 : 250,000”, *Geologija*, 49 (2), 295-309.
- KAYASTHA, P, DHITAL, M R, DE SMEDT, F (2012). “Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed, Nepal”, *Nat Hazards*, 63 (2), 479-498.
- ÖZŞAHİN, E (2015).“Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ)”, *Harita Teknolojileri Dergisi*, 7 (1), 47-63.
- ÖZTÜRK, K (2002).“Heyelanlar ve Türkiye’ye Etkileri”, *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, (2), 35-50.
- PAULSEN, S, KRAUTER, E, HANİSCH, J (1998).“Glissements de terrain dans la ville de Constantine (Algérie)”, *Rapport final Inst Fe de rGe osc Res Nat Hanovre*.
- PACHAURİ, A.K,PANT, M (1992). “Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes”, *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- PACHAURİ, A.K, GUPTA, P.V, CHANDER, R (1998). “Landslide Zoning in a Part of the Garhwal Himalayas”, *Environmental Geology*, 36, 325-334.
- SAHA A. K, GUPTA, R. P, SARKAR, I, ARORA, M. K, CSAPLOVICS, E (2005).“An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation with a case study in the Himalayas”, *Landslides*, 2, 61-69.
- SARKAR, S, ROY, A. K, MARTHA, T. R (2013).“Landslide Susceptibility Assessment using Information Value Method in Parts of the Darjeeling Himalayas”, *Journal Geological Society of India*, 82,351-362.
- SÜMENGİN, M (2011).*1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Muş K45 Paftası*, Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- SÜZEN, M.L, DOYURAN, V (2004)“Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyucatchment, Turkey”, *Engineering Geology*, 71 (3-4), 303-321.
- STEPHEN, G. V (1998).“Les glissements de terrain dans la ville de Constantine, Algérie: géologie, géotechnique et travaux de correction potentielle”. *Rapport d’expertise Commission géologique du Canada*.
- TARHAN, N (2007).*1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Erzincan J 44 paftası*, Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü.
- VAN WESTEN, C J (1997).*Statistical landslide hazard analysis, ILWIS 2.1 for Windows Application Guide*. ITC Publication, Enschede, 73-84.
- YALÇIN, A (2007). “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS’nin Kullanımı”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3),1-14.
- YALÇIN, A (2008). “GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations”, *Catena*, 72, 1-12.
- YIN, K.L, YAN, T.Z (1988). “Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks”, In: Bonnard C. 8.Ed., *Proc. 5th Int. Sym. On Landslides*, Lausanne, Balkema, Rotterdam, pp.1269-1272.
- ZEZERE, J.L (2002). “Landslide Susceptibility Assessment Considering Landslide Typology, A Case Study in The Area North of Lisbon (Portugal)”, *Natural Hazards and Earth System Science, European Geophysical Society*, 2, 73-82.
- ZEZERE, J. L, REIS, E, GERCIA, R, OLIVEIRA, S, RODRIGUES, M. L, VIEIRA, G, FERRIRE, A. B (2004). “Integration of Spatial and Temporal Data for Definition of Different Landslide Hazard Scenarios in The Area North of Lisbon (Portugal)”, *Natural Hazard and Earth System Science*, 4, p.133-146.

İnternet kaynakları

http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php