

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi

Landslide Susceptibility Analysis by using GIS for Suşehri (Sivas)

Gökhan DEMİR*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 23.03.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 16.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 20.11.2017

Öz

17 Mart 2005 tarihinde meydana gelen can ve mal kayıplarına yol açan Kuzulu (Koyulhisar) heyelanı Kuzey Anadolu Fay Zonuna (KAFZ) yakın bir bölgede meydana gelmiştir. KAFZ aktif bir fay zonudur ve bölgedeki heyelanları tetiklediği düşünülmektedir. Bu etkinin araştırılması ve heyelan zararlarını en aza indirmek amacıyla; heyelan olayının önceden tahmini veya olasılığa dayalı yöntemlerle heyelana duyarlı alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla ilk olarak inceleme alanına ait Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Heyelan envanter verileri, hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları kullanılarak heyelan envanter haritası üretilmiştir. Bu heyelanların %65'i analizde ve %35'i doğrulamada kullanılmak üzere rastgele olarak iki gruba ayrılmıştır. Arazi çalışmaları sonucu heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen, litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü, akarsuya yakınlık, yola yakınlık ve faya yakınlık parametreleri duyarlılık analizinde kullanılmıştır. Analizde iki değişkenli istatistiksel yöntem altyapısı esasına dayandırılmış Frekans Oranı yöntemi kullanılarak, KAFZ'na yakın Sivas ili Suşehri ilçesinin heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Duyarlılık haritası, çok az duyarlıdan çok yüksek duyarlılık sınıfına olmak koşuluyla beş değişik bölgeye ayırılmıştır. Duyarlılık haritasının performansını test etmek ve başarısını değerlendirmek için harita modelde kullanılmayan heyelan lokasyonları ile karşılaştırılmış ve Eğri Altındaki Alan (EAA) değeri 0.672 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç ile heyelan duyarlılık değerlendirmesinin kullanılabilir olduğu görülmüştür. Üretilen harita ile bölgede heyelan olayının meydana gelme olasılığının yüksek olduğu arazilerde yapılacak planlamalarda heyelan olasılığı da dikkate alınarak uygulanacak mühendislik önlemleri ile can ve mal kaybının olmaması sağlanabilir.

Anahtar kelimeler: CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), Frekans oranı, Heyelan Duyarlılık, Kuzey Anadolu Fayı

Abstract

The Kuzulu (Koyulhisar) landslide occurred near the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) on 17 March 2005 resulted loss of life and property. NAFZ is an active fault and is thought to trigger landslides in the region. In order to investigate this effect and minimize landslide damage; prediction of landslide or landslides susceptible areas need to be identified by likelihood methods. Firstly a inventory map for landslide were produced using inventory map of General Directory of Mineral Research, field surveys and aerial photographs. These landslides are randomly divided into two groups that 65% were used in analysis and 35% used for verification. Lithology, aspect, slope gradient, topographical elevation, distance to stream, roads and faults were decided to used in analysis as contributing factors after field studies. Landslide susceptibility map (LSM) of the Suşehri province of Sivas near the NAFZ was created by the Frequency Ratio method. LSM was separated into five classes from very low to very high. For validation of the map and evaluate its success, it was compared with the landslide which was not used in modeling. Consequently the area under curve (AUC) value was determined as 0.622. AUC value showed that the LSM was useable. With LSM, it is possible to avoid the loss of life and property by the engineering measures to be applied considering the possibility of landslide in the plans to be made in the areas where the possibility of landslide event in the region is high.

Keywords: GIS, Frequency ratio(FR), Landslide Susceptibility, North Anatolian Fault Zone

* Gökhan DEMİR; gokhan.demir@omu.edu.tr; Tel: (0362) 312 19 19; orcid.org/0000-0002-3734-1496

1. Giriş

Dünya nüfusunun artması, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler, yerleşim alanlarının bilinçsizce genişlemesine ve doğal afetlerin verdiği zararların artmasına neden olmuştur. Türkiye morfolojik yapısı, coğrafik konumu ve iklim özelliklerinden dolayı doğal afetlerin neden olduğu can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara karşılaşmaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, son 50 yıllık (1961-2011) süre içerisinde heyelanlardan kaynaklanan maddi zararların ülke ekonomisine maliyeti 4.5 milyar TL. dir. Bu rakamlar sadece kaybedilen ve yapılan konutlar için geçerli olup, bu rakamlara yeni yerleşim yerleri belirlemeye yönelik çalışmalar, geçici iskan maliyetleri, arazi çalışma maliyetleri, zaman ve iş gücü kaybı vb. diğer kayıp, gider ve harcamalar dahil edilmemiştir (Demir 2011). Bu rakamlara endüstriyel ve tarımsal üretimlerde meydana gelen zararlar, çevresel ortamda oluşan hasarlar ve diğer dolaylı etkilenme sonucu oluşabilecek zarar ve kayıplar da eklendiği takdirde bu ekonomik maliyetin kat kat arttığı görülecektir.

Heyelanların neden olduğu zararları azaltmak amacıyla; heyelan tehlike boyutlarını, heyelanlardan etkilenen bölgeleri belirlemek ve heyelanların yenilenme olasılığının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Diğer doğa olaylarında (deprem, taşkın vb.) olduğu gibi heyelan olması için de kesin bir zaman dilimi vermek zor olduğundan, heyelan olma olasılığının sınıflandırılarak değerlendirildiği haritalar heyelan duyarlılık haritaları olarak isimlendirilmektedir. Heyelan duyarlılık haritası bir alanda heyelanların mekansal olarak olabilirliğini ifade eden haritalar olarak tanımlanmaktadır (Varnes 1984).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri çok büyük avantajlar sağlamıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak çok karmaşık ve veri hacmi fazla olan verilerin toparlanması, farklı biçimlerde işlenmesi ve analize tabi tutulması gibi işlemler kısa zaman içerisinde yapılabilmektedir. Bu çalışmada da olduğu gibi literatürde farklı alanlarda CBS kullanılarak yapılmış çok sayıda heyelan duyarlılık değerlendirmesi bulunmakta olup, çalışmalara bakıldığında, büyük çoğunluğunun olasılık yaklaşım modelleri kullanılarak yapıldığı görülmektedir (Akgün vd., 2008; Akgün vd., 2011; Akgün 2012; Atkinson ve Massari 2011; Bijukchhen vd., 2013; Brenning, 2005; Clerici vd. 2006; Dahal vd. 2008; Dağ, 2007, 2012; Das vd., 2010; Demir vd., 2013,

2014; Dewitte vd., 2010; Ercanoğlu vd. 2008; Ghosh ve Carranza 2010; Gökçeoğlu vd., 2014; Gorsevski ve Jankowski, 2010; Jaiswal vd., 2010; Kavzoglu vd., 2013; Lee, 2005; Lee ve TuDan, 2005; Lee vd., 2004, 2007; Lee ve Pradhan 2007; Nefeslioglu vd. 2008a,b; Nourani vd., 2014; Oh vd. 2009; Oh ve Pradhan 2011; Özdemir, 2009; Pistocchi vd., 2002; Pradhan vd., 2006, 2010a, b, Pradhan ve Youssef 2010; Saha vd. 2005a, b; Shahabi, 2014; Sterlacchini vd., 2011; van Den Eeckhaut vd., 2006, 2009, 2010; van Westen, 1993, van Westen vd., 2003; Yeon et al. 2010; Yılmaz 2009; Wang, L.-J. vd., 2013; Xu C ve Xu X., 2013; Yalçın, A vd. 2011; Yeon vd., 2010; Yetkil, 2009; Yılmaz, 2009; Zhao vd., 2015; Bourenane vd., 2016; Wang vd., 2015; Wu vd., 2016; Son vd., 2016; Erener vd., 2016; Akgün ve Erkan 2016).

17 Mart 2005 tarihinde meydana gelen Kuzulu (Koyulhisar) heyelanının Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakın olması, diğer tüm faktörlerin yanı sıra bölgenin deprem potansiyelinin heyelan oluşumundaki etkilerinin incelenmesi ve heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasının gerekli olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla bölgede can ve mal kaybının olmaması, yeni yerleşim alanları ve yapılacak yeni yapılaşmalar için uygun yer seçiminin belirlenmesi için heyelan duyarlılık analizi Frekans Oranı yöntemi kullanılarak yapılmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının performans analizi için, analize katılmayan sadece performans analizi için ayrılan heyelanlar kullanılmış, Eğri Altındaki Alan (EAA) - (Lee, 2005) hesaplanmıştır.

2. İnceleme Alanı ve Özellikleri

İnceleme alanı ülkemizin en önemli fay zonlarından olan KAFZ üzerinde yer almakta ve Sivas ili, Suşehri ilçesinin de içinde olduğu, 1/25000 ölçekli Giresun H40-d1 nolu topoğrafik pafta içerisinde kalan yaklaşık 147.33 km² lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) batıda Saroz körfezi ile doğuda Karlıova (Bingöl) arasında yer almaktadır (Şekil 2). Bu noktada ise ülkemizin bir başka önemli aktif fay zonu olan Doğu Anadolu Fay Zonu ile birleşmektedir (Şengör 1979; Şengör vd. 1985; Van Den Eeckhaut, 2010).

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde aletsel dönemde kayıt altına alınan ilk deprem 1939 yılında Erzincan'da oluşmuş, 7.9 büyüklüğündeki bu deprem sonucunda yaklaşık 350 km

uzunluğunda, 1942 yılında ise Erbaa-Niksar yakınlarında olan 7.2 büyüklüğündeki deprem

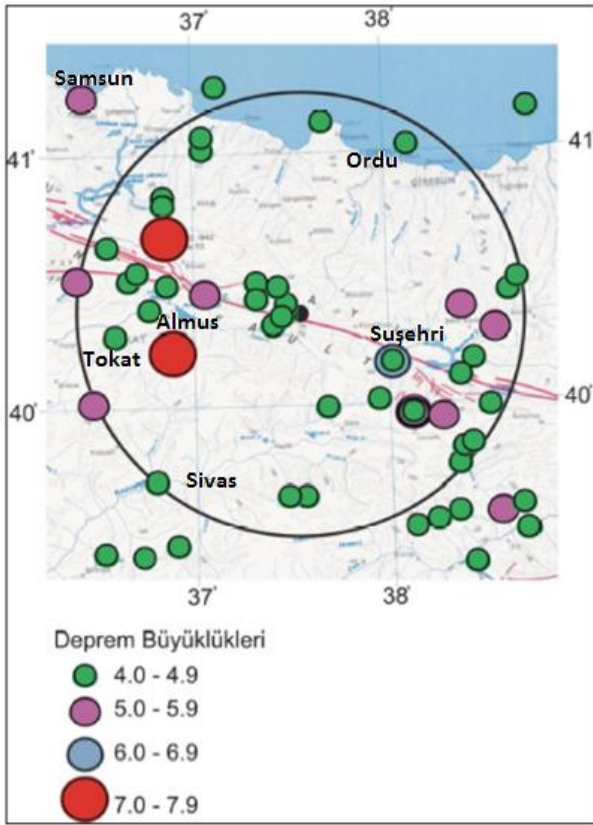
nedeniyle 50 km uzunluğunda yeni bir yüzey kırığı oluşmuştur (Şekil 3).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 2. Kuzey anadolu fay zonunun görünümü (Demir 2011).



Şekil 3. İnceleme alanı ve yakın çevresine ait sismik aktiviteyi gösterir harita (Yetkil,2009).

MTA Genel Müdürlüğü'nce oluşturulan jeoloji haritasına göre, KAFZ'nun kuzeyindeki alanda yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı volkanik ve sedimanter kayalar, Maestrihtiyen yaşlı kireçtaşları ile Pliyosen yaşlı bazalt ve diğer volkanik birimler bulunmaktadır. Alt kotlardaki Üst Kretase yaşlı volkanik ve sedimanter kayalar düşük eğimli bir morfoloji sergilerken, Maestrihtiyen yaşlı kireçtaşları yüksek eğimli bir morfoloji ortaya koymaktadır (Kavzoğlu, 2013). KAFZ, Kelkit vadisi içerisinde geçerek, doğuda Reşadiye-Koyulhisar-Suşehri-Akıncılar-Gölova ve Refahiye bölgeleri üzerinden Erzincan ovasına ulaşmaktadır. KAFZ 'nda kayalar parçalanmış - ezilmiş, yer yer sıcak veya soğuk su kaynakları ortaya çıkmıştır. Bölge Karadeniz Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi iklim koşulları arasında yer almaktadır. Bölge geneli için gerçekleşen en yüksek sıcaklıkların ortalaması 36°C, en düşük sıcaklıkların ortalaması ise -9.2°C olarak hesaplanmıştır (Demir 2011). Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1981-2010 yılları arası verilerine göre bölge yıllık ortalama 429,2 mm yağış almaktadır.

3. Veri ve Yöntem

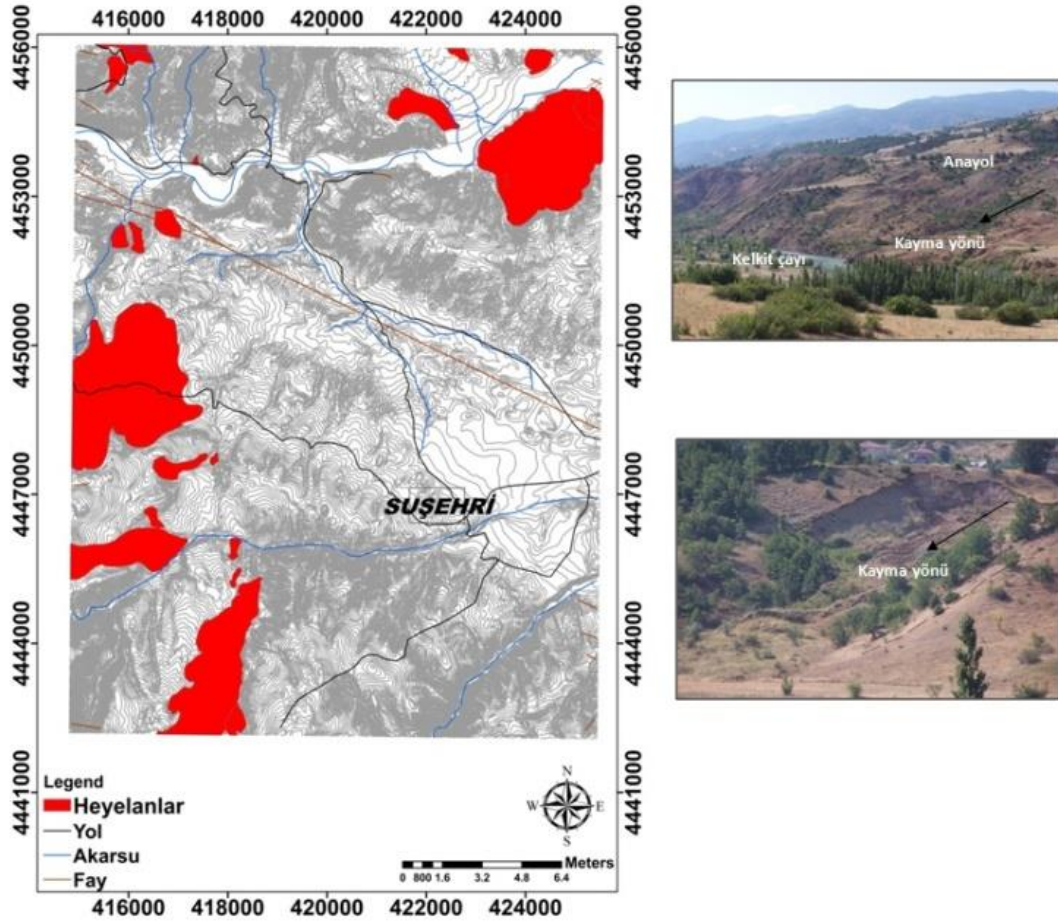
Heyelan duyarlılık haritalarının elde edilmesinde, heyelan envanteri ve bölgede heyelan oluşumunda

etkili olduğu düşünülen hazırlayıcı parametrelerin elde edilmesi çalışmanın en önemli aşamalarını oluşturmaktadır. Heyelan envanteri ve hazırlayıcı parametrelerin kaliteli, güvenilir olması oluşturulmak istenen duyarlılık haritasının doğruluğunu da önemli ölçüde denetlemektedir (Demir 2011). Bu kapsamda inceleme alanına ait heyelan envanter haritası, alanda yapılan çalışmalar sonucu haritalama, hava fotoğrafları ve MTA tarafından hazırlanan Türkiye Heyelan Envanter verileri kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4). Heyelanların toplam alanı yaklaşık 13.99 km² 'dir.

Yapılan incelemeler sonucunda literatürde en sık kullanılan ve inceleme alanında etkili olduğu düşünülen litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), akarsuya yakınlık, yola yakınlık ve faya yakınlık parametreleri çalışma kapsamında hazırlayıcı parametre verileri olarak kullanılmıştır. Heyelan envanteri ve parametre haritalarının üretilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi CBS yazılımı olan ArcGIS 9.1'den faydalanılmıştır (Şekil 5).

3.1. Litoloji

Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Suşehri ve civarında heyelanlar birbirinden farklı yaş ve litolojik özellikteki kayalar içinde meydana gelmektedir. İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde, Yukarı Kelkit Çayı bölgesi içinde yer almaktadır. Bu bölge bir bütün olarak çeşitli zamanlarda değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Baykal, 1952; Nebert, 1961; Bergougnan, 1975, 1982; Yılmaz, 1985, Gürsoy, 1995, Tatar vd. 2009, Yılmaz ve Yılmaz 2010, Polat 2011). Bölgede temeli oluşturan Mesozoyik yaşlı birimlerden Pliyosen'e kadar değişik yaş ve özellikte kayalar yüzeylemektedir. Suşehri Havzasını oluşturan düz alanlar ise Kuvaterner yaşlı alüvyal çökellerle kaplıdır. İnceleme alanında temeli oluşturan serpantinleşmiş ultrabazik kayaların üzerine transgresyonla Alt-Orta Eosen yaşlı, daha çok volkanik ara katkılardan oluşan flişler uyumsuz olarak gelir. Bölgeye Üst Eosen-Priyaboniyen'de yerleşmiş olan Köseadağ batoliti, fliş ve bazaltlarla temsil olunan Alt-Orta Eosen yaşlı kayalar içerisinde sokulmuştur.



Şekil 4. İnceleme alanı heyelan envanter haritası

Daha sonra çakıltası, kumtaşı, marn ve jipslerde oluşan Oligosen yaşlı birimler üzerine transgresif olarak Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimler uyumsuz olarak gelir. İnceleme alanındaki en genç birimler ise alüvyonlar ve alüvyon yelpaze çökelleridir. Suşehri Havzasının kenarlarından güneye ve kuzeye doğru gidildikçe daha yaşlı birimler yüzeylenmektedir. Havza kenarlarında, derelerin havza ile birleştiği yerlerde ise fay kontrollü çok sayıda alüvyon yelpazesi gözlenmektedir. Kayaçların kayma direnci parametreleri, gerilmeleri ve su tutma özellikleri içerdikleri litolojik özelliklerine göre değişmektedir. Suşehir ve civarında gelişen heyelanlar birçok farklı kaya biriminde gelişmekle beraber, daha çok Üst Kretase yaşlı fliş özellikli volkano-sedimanter, Orta-Üst Eosen yaşlı volkanik, Oligosen-Alt Miyosen ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı kayaçlarda gözlenmektedir.

Üst Kretase yaşlı fliş özellikli volkano-sedimanter kayaçlar Karayaprak Karışığı olarak adlandırılan (Yılmaz 1985) ve yastık yapılı volkanitler, tuf, aglomera, kireçtaşı, grovak ve ince taneli kırıntılı

kayalardan oluşan bir hamur ile komşu birimlerden türemiş çeşitli kökende bloklardan yapılı heterojen bir kaya türü topluluğu ile temsil edilmektedir. Orta-Üst Eosen yaşlı volkanik kayaçlar bölgede yaygın şekilde yüzeylenmektedir. Bu kayaçların değişik seviyeleri sedimanter kökenli kayaçlardan oluşmaktadır. Orta-Üst Eosen yaşlı kayaçlar, genellikle bir çakıltası düzeyi ile altındaki birimlerin ve yer yer birimleri birbirinden ayıran bindirmelerin üzerinde yer almaktadır. Gazıpınar Kırıntılı Kayaları (Yılmaz, 1985) ve Akıncılar Formasyonu olarak adlandırılan Eosen yaşlı istif genellikle çakıltası ile başlamakta, önce Nummulitesli kireçtaşına, daha sonra kumtaşı, kiltası, şeyl araldanmasına geçmektedir. Bu kırıntılı seviyenin üzerinde ise andezitik ve bazaltik türde volkanik kayaçlar izlenmektedir (Polat 2011). Oligosen-Alt Miyosen yaşlı istif, tümüyle karasal çökellerden oluşan Şebinkarahisar Formasyonu ve kısmen denizel kökenli kayaçlardan oluşan Onarı Formasyonu olarak adlandırılmış olup, bu topluluk genellikle kırmızı renkli çakıltası, kumtaşı, kiltası-kumtaşı, yer yer jips ve sığ denizel kireçtaşından oluşan bir kayaç topluluğu ile temsil edilmektedir. Üst

Miyosen-Pliyosen yaşlı kayalar ise inceleme alanında Kadıköy formasyonu olarak adlandırılmıştır (Yılmaz 1983). Üst Miyosen-Pliyo-Kuvaterner yaşlı tümüyle karasal bir ortamı temsil eden Kadıköy Formasyonu, akarsu ortamının ürünü kalın çakıltası-kumtaşı ardalanımı ile başlar ve üst düzeylere doğru görsel oluşuklara uyumlu olarak geçer. Görsel ortamın ürünleri kiltası-kireçtaşı ardışımıyla temsil edilir. Kadıköy formasyonu inceleme alanında çok geniş bir alanı kaplamaktadır. KAFZ'nun kuzey kesiminde daha yaygın bir yayılım sunduğu gözlenmektedir. Güney kenarda ise Suşehri'nin doğu ve batısına doğru uzanır. İnceleme alanında saptanan alüvyon örtü kalınlıkları 10-20 metre arasında değişmektedir (Demir 2011). Frekans oranı değerlerine bakıldığında Tersiyer (Miyosen) yaşlı kaya birimlerinde değerlerin yüksek olduğu görülmektedir.

3.2. Topoğrafik Yükseklik

Deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Analizlerde yükseklik verisinin kullanılabilmesi için, kesiklilik arzeden bir veriden ziyade, süreklilik gösteren ve yükseklik değerlerinin yüzeylerle ifade edildiği sürekli verilere ihtiyaç vardır. Bu sürekli veri, "Sayısal yükseklik modeli (SYM) olarak bilinmektedir. SYM, duyarlılık değerlendirmesinde kullanılacak yamaç eğimi, yamaç eğim yönü verilerinin de altlığını oluşturmaktadır. Heyelan piksel oranı dikkate alındığında 1226-1353 m arasında değişen yüksekliğin %19.22 ile en yoğun sınıf olduğu ve aynı zamanda frekans oranı değerinin de bu sınıfta yüksek olduğu görülmektedir.

3.3. Yamaç eğimi

Eğim değeri, bir yüzeyin diklik durumunun bir ölçüsü olup yatay düzlemle olan açı değerinin derece olarak ifade edilmesiyle gösterilir (Akgün vd., 2008). Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda direkt etkili olup duraylılık çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl duraylılık faktörüdür. Ayrıca, bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenlerindedir. Heyelanlı piksel oranı (%) değeri dikkate alındığında 5-10° eğim değerine sahip yamaçlarda heyelan yoğunluğu ve frekans oranının yüksek

olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanının KAFZ'na yakın olması, depremin zeminde yarattığı dinamik etkinin düşük eğime sahip yamaçlarda heyelanı tetiklediği düşünülmektedir.

3.4. Yamaç Eğim Yönü

Yamaç eğim yönü (baki), adından da anlaşılacağı üzere yamaçların hangi coğrafi yöne doğru geliştiklerini ifade eden bir veri türüdür. Yamaç eğim yönü (baki), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıkça kullanılan önemli bir parametredir. İnceleme alanında gözlenen mevcut heyelanların belli yönelime sahip yamaçlarda yoğunlaşması bu parametrenin değerlendirme kapsamına alınmasını zorunlu kılmıştır. İnceleme alanı içerisindeki heyelanlı alanların %48.65'i kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğu yönüne bakan yamaçlarda olduğu görülmektedir. Frekans oranı değerlerindeki bu yönlere bakan yamaçlarda yüksek olduğu görülmektedir.

3.5. Akarsuya Yakınlık

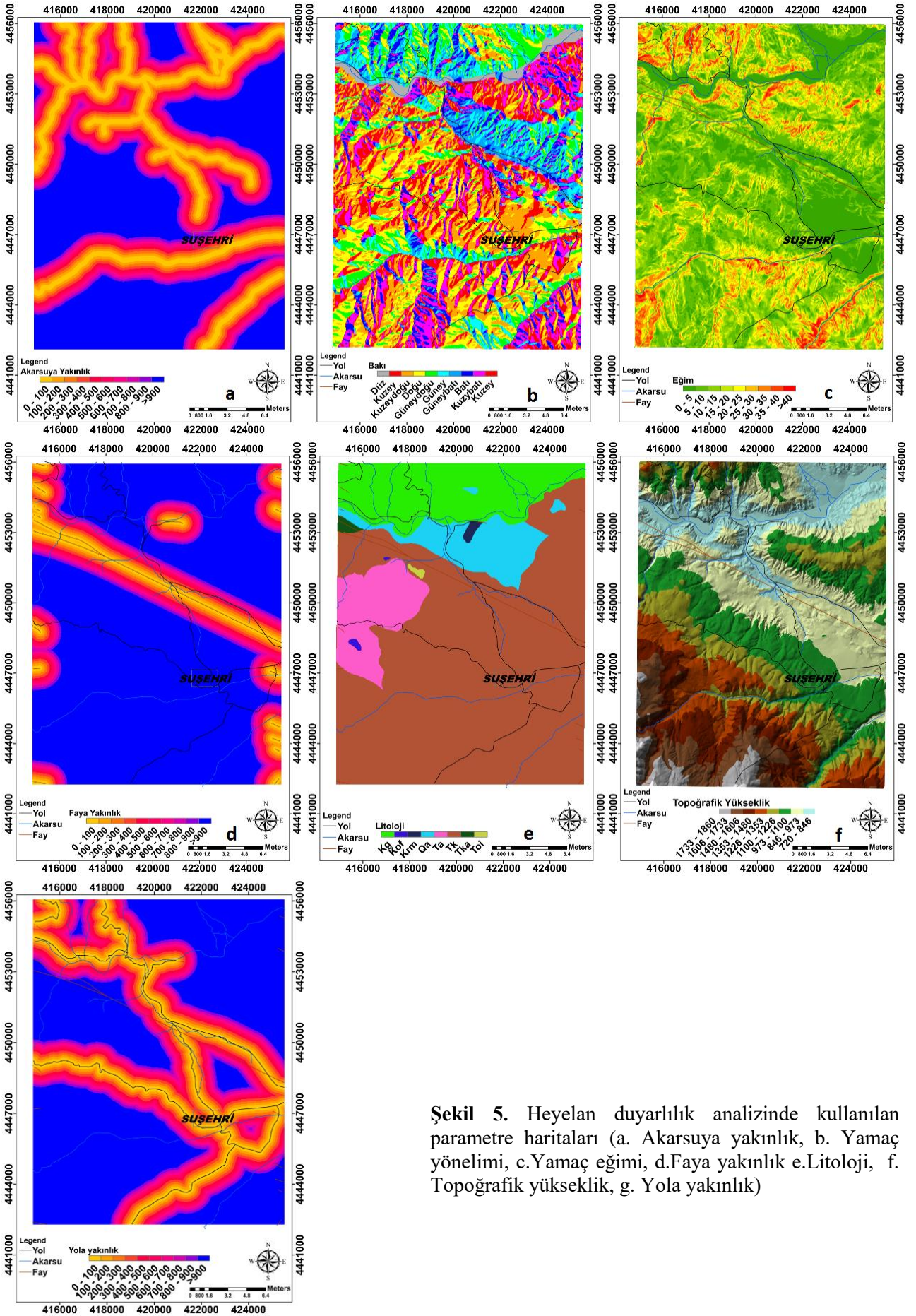
Yamaçların bölgede bulunan Kelkit Çayına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir parametredir. Akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamacı oluşturan zeminin kayma direncini azaltarak yamaçların stabilitesini (duraylılığını) bozmaktadır. Frekans oranı değerine bakıldığında akarsuya 900 m'den daha uzak yamaçlarda yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun, sınıfın piksel sayısının fazla olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

3.6. Yola Yakınlık

Yollar inşa edilirken oluşturulan yarma şevleri ile şev açısı çoğu zaman artırılmakta ve böylece yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Yamaç önündeki bu kayıp ve eğimin artması gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu durum heyelanı tetiklemektedir. Frekans oranı değeri ile ilgili değerlendirme bu parametre içinde akarsuya yakınlıkta olduğu gibidir.

3.7. Faya Yakınlık

Depremler, yarattıkları sismik ivmeyle heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden birisidir.



Şekil 5. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametre haritaları (a. Akarsuya yakınlık, b. Yamaç yönelimi, c.Yamaç eğimi, d.Faya yakınlık e.Litoloji, f. Topoğrafik yükseklik, g. Yola yakınlık)

Depremler, odaktan itibaren yüzlerce kilometre uzaklıktaki zeminlerde de heyelan, sıvılaşma, yanal yayılma gibi çeşitli duraysızlıklara neden olabilmektedir(Kavzoğlu vd., 2013). İnceleme alanının Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde olması fay parametresinin duyarlılık analizinde dikkate alınmasını zorunlu kılmıştır. Yakınlık parametrelerinde 900m ‘den büyük tampon zonunun alan içerisindeki yüzdesinin çok büyük olması bu sınıfa düşen heyelan yüzdesinin fazla olmasına neden olmaktadır. Ancak faya yakınlık parametresinde faya 600-700m yakın sınıfın yüksek frekans oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak Faya yakınlık parametre alt sınıflarının frekans oranı değerlerine bakıldığında tüm sınıfların 1’e yakın olması bölgede meydana gelen depremlerin heyelanlar üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

4. Yöntem

4.1. Frekans Oranı

Yapılan çalışmalarda daha önce meydana gelmiş heyelanın oluşumunda etkin olduğu düşünülen faktörlerin, yeni heyelanların meydana gelmesinde de etkin olabileceği düşünülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, olmuş heyelanlar

ile bu heyelanlara neden olan faktörler arasındaki ilişki belirlenebilir ve bu ilişki kullanılarak heyelan olmamış bölgelerde, heyelan olma olasılığı ortaya konulabilir. Bu çalışma kapsamında bu ilişkinin belirlenmesi amacıyla İki Değişkenli İstatistik Değerlendirmesi “Frekans Oranı Yöntemi” kullanılmıştır. Frekans oranı yöntemi ile benzer çalışmalarda kullanılan diğer tüm yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Frekans oranı, bir olayın meydana gelme olasılığının meydana gelmeme olasılığına oranı şeklinde ifade edilmektedir (Demir vd, 2015). Frekans oranının belirlenebilmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$FR = PLO/PIF \quad (1)$$

Burada PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir (Tablo 1). Eğer frekans oranı 1’den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1’den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır. (Demir, 2011).

Tablo 1. Frekans oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri

Parametreler	Sınıf	Piksel sayısı	Piksel Oranı (PIF) (%)	Heyelanlı piksel sayısı	Heyelanlı piksel oranı(PLO) (%)	Frekans Oranı (FR)
Topoğrafik Yükseklik (m)	720-846	31010	13.155	3112	13.897	1.056
	846-973	35998	15.271	3100	13.844	0.907
	973-1100	47645	20.212	2033	9.079	0.449
	1100-1226	37362	15.850	1992	8.896	0.561
	1226-1353	23902	10.140	4304	19.220	1.896
	1353-1480	20444	8.673	3090	13.799	1.591
	1480-1606	16727	7.096	2575	11.499	1.620
	1606-1733	14797	6.277	2038	9.101	1.450
	1733-1860	7837	3.325	149	0.665	0.200
Eğim (°)	0-5	55043	23.351	4086	18.247	0.781
	5-10	43381	18.403	7026	31.376	1.705
	10-15	39425	16.725	5600	25.008	1.495
	15-20	29681	12.592	2868	12.808	1.017
	20-25	23120	9.808	1407	6.283	0.641
	25-30	18207	7.724	706	3.153	0.408
	30-35	13148	5.578	380	1.697	0.304
	35-40	8004	3.396	174	0.777	0.229
	>40	5713	2.424	146	0.652	0.269
Yamaç yönelimi	Düz	31201	13.236	2528	11.289	0.853
	Kuzey	18925	8.029	2662	11.888	1.481
	Kuzeydoğu	38241	16.223	4452	19.881	1.226
	Doğu	33716	14.303	3267	14.589	1.020
	Güneydoğu	23251	9.864	1084	4.841	0.491
	Güney	17115	7.261	211	0.942	0.130
	Güneybatı	13982	5.932	309	1.380	0.233
	Batı	17392	7.378	1328	5.930	0.804
Kuzeybatı	25244	10.709	3783	16.894	1.577	

Tablo 1'in devamı

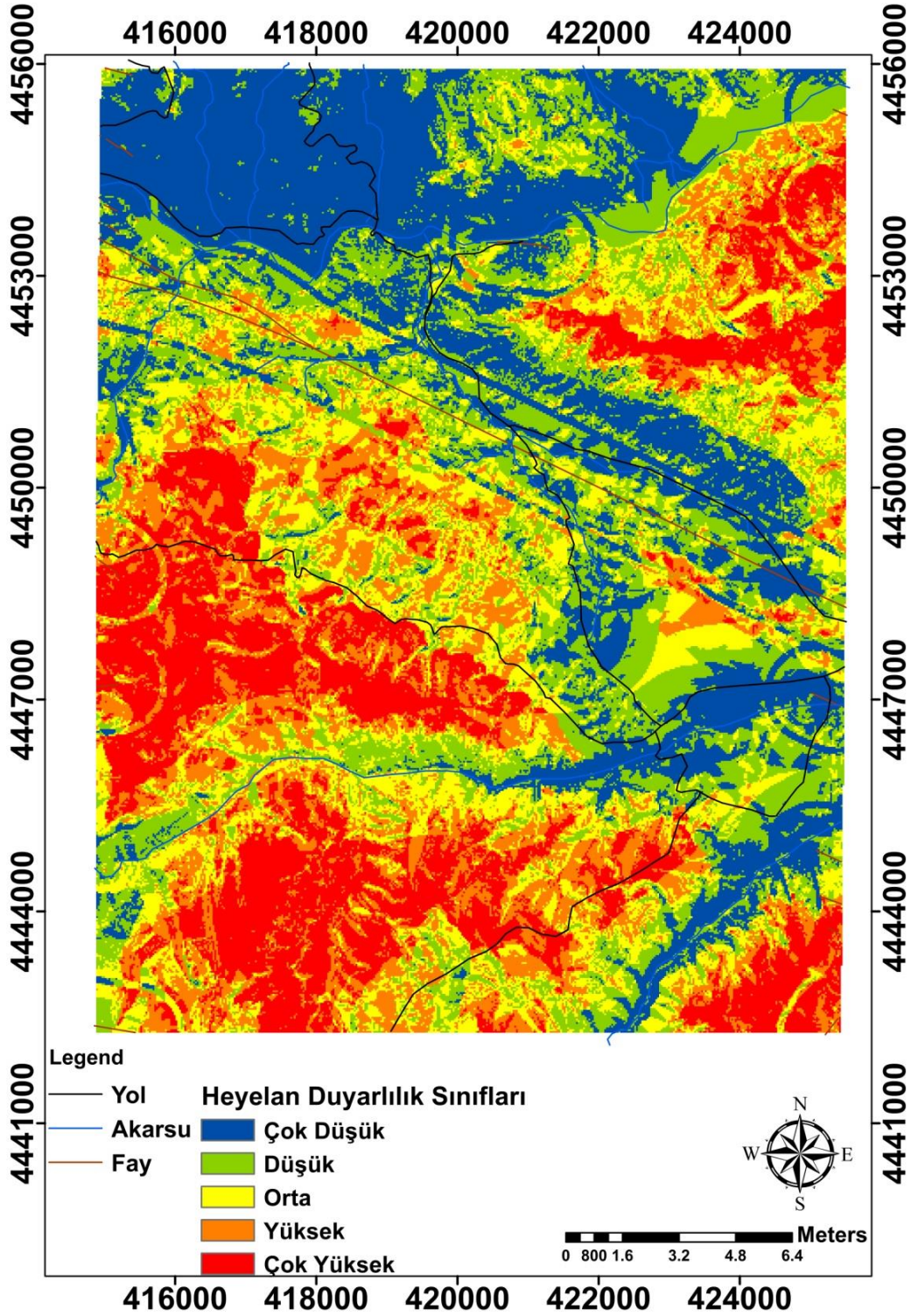
Parametreler	Sınıf	Piksel sayısı	Piksel Oranı (PIF) (%)	Heyelanlı piksel sayısı	Heyelanlı piksel oranı(PLO) (%)	Frekans Oranı (FR)
Akarsuya yakınlık (m)	0-100	21397	9.077	342	1.527	0.168
	100-200	18394	7.803	540	2.411	0.309
	200-300	16855	7.150	607	2.711	0.379
	300-400	16377	6.948	636	2.840	0.409
	400-500	15261	6.474	718	3.206	0.495
	500-600	13749	5.833	934	4.171	0.715
	600-700	13392	5.681	1096	4.894	0.861
	700-800	12457	5.285	1103	4.926	0.932
	800-900	11099	4.709	948	4.233	0.899
	>900	96741	41.040	15469	69.080	1.683
Yola yakınlık (m)	0-100	17685	7.502	983	1.527	0.168
	100-200	15206	6.451	855	3.818	0.592
	200-300	14058	5.964	891	3.979	0.667
	300-400	13817	5.862	895	3.997	0.682
	400-500	12636	5.361	848	3.787	0.706
	500-600	11133	4.723	718	3.206	0.679
	600-700	10799	4.581	697	3.113	0.679
	700-800	9996	4.241	644	2.876	0.678
	800-900	9214	3.909	607	2.711	0.693
	>900	121178	51.407	15255	68.124	1.325
Faya yakınlık (m)	0-100	7776	3.299	569	2.541	0.770
	100-200	7002	2.970	507	2.264	0.762
	200-300	7109	3.016	542	2.420	0.803
	300-400	7579	3.215	752	3.358	1.044
	400-500	7857	3.333	931	4.158	1.247
	500-600	7875	3.341	1055	4.711	1.410
	600-700	8182	3.471	1196	5.341	1.539
	700-800	8083	3.429	1057	4.720	1.377
	800-900	7951	3.373	800	3.573	1.059
	>900	166308	70.553	14984	66.914	0.948
Litoloji	Tk	156637	66.450	12910	57.652	0.868
	Kof	315	0.134	167	0.746	5.581
	Kg	38070	16.150	730	3.260	0.202
	Qa	18975	8.050	582	2.599	0.323
	Krm	617	0.262	0	0.000	0.000
	Tka	755	0.320	0	0.000	0.000
	Ta	19990	8.480	8004	35.743	4.215
	Toi	363	0.154	0	0.000	0.000

Belirlenen bu frekans oranı değerleri ilgili oldukları alt parametre sınıflarına heyelan oluşumunda ağırlık değeri olarak atanmış ve frekans oranlarına göre parametre haritaları ArcGIS yazılımında yeniden sınıflandırılarak oluşturulmuştur. Bu haritalar yazılımda üst üste çakıştırılmak suretiyle heyelan duyarlılık indeksi haritası üretilmiştir. Bu harita, inceleme alanına ait heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi için yazılım kullanılarak eşit aralıklara bölünerek, çok düşük duyarlılık sınıfından, çok yüksek duyarlılık sınıfı aralığında beş sınıfa ayrılmış ve heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 6).

Heyelan duyarlılık haritasının %23.59'u çok düşük duyarlılık sınıfında, %22.61'i az, %18.70'i orta ve %17.3'ü ise yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir.

5. Duyarlılık Haritası Doğruluk Değerlendirmesi ve Sonuçlar

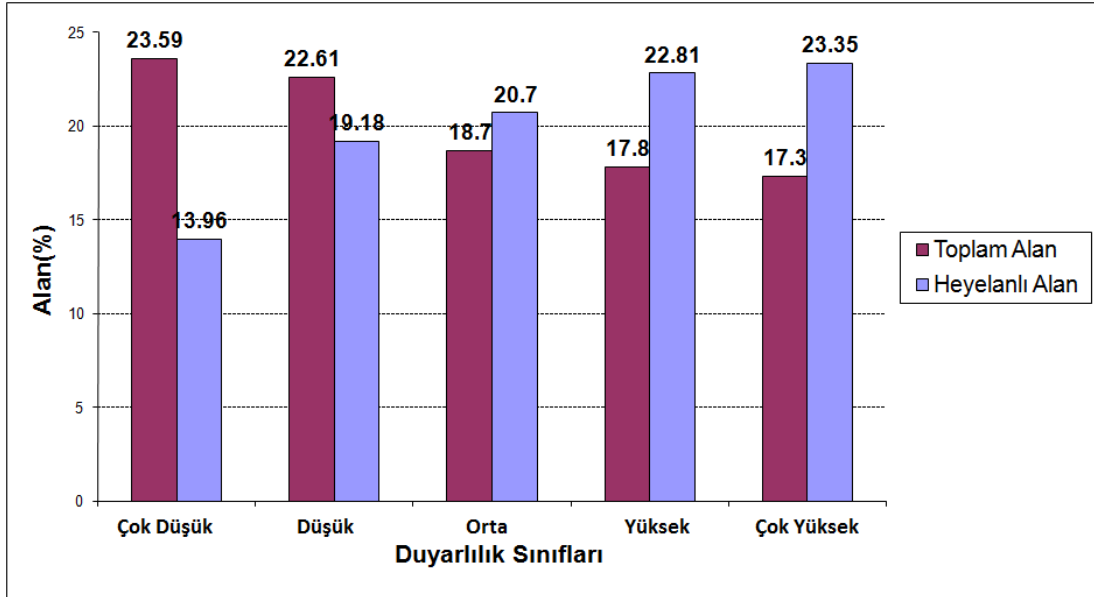
Elde edilen duyarlılık haritasının doğruluğunun belirlenebilmesi için modellemeye yani analize katılmayan toplam heyelanların %35'i ile heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Performansı yüksek haritalarda, yüksek veya çok yüksek duyarlı sınıfta yer alan alanların inceleme alanı içerisinde yüzdelerinin minimum olması beklenirken, bu sınıflardaki heyelan yüzde oranlarının yüksek olması beklenmektedir (Dağ, 2007, 2011). Doğruluk değerlendirmesinde kullanılan heyelanların % 13.96'sı çok düşük, %19.18'i düşük, %20.70'si orta, %22.81'i yüksek ve %23.35'i ise çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır (Şekil 7).



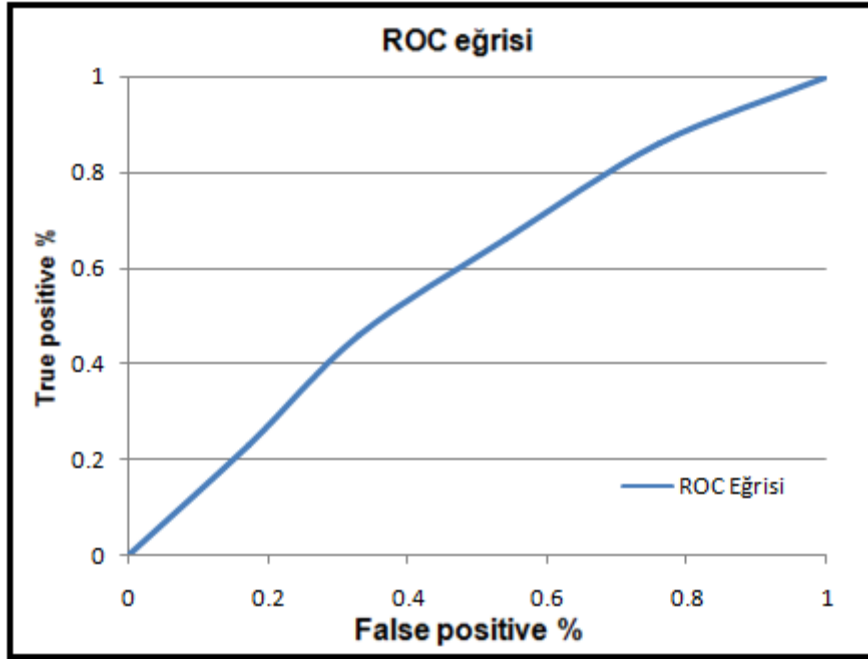
Şekil 6. Frekans oranı yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası

Diğer bir test ve başarı değerlendirmesi için Eğri Altındaki Alan yöntemi kullanılmıştır. EAA yönteminde bu alana ilişkin değer 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değer 1 olması uyumun mükemmel olduğunu, 0.5 olması ise rastgele bir uyum olduğunu göstermektedir (Demir 2011). EAA yönteminde ROC (Relative Operating

Characteristic) eğrisi çizilmiş ve bunun için, heyelan duyarlılık haritalarının her bir sınıfına düşen toplam ve heyelanlı piksellerden yararlanılmıştır. EAA değerlendirmesinden elde edilen değeri heyelan duyarlılık haritası için 0.672 olarak bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 7. Duyarlılık sınıfları ve Heyelanların duyarlılık sınıflarındaki alanların yüzdeleri



Şekil 8. ROC eğrisi

Bu değer, frekans oranı yöntemi kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasının kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Frekans oranı yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde araştırmacılar tarafından sıkça kullanılan ve diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçların elde edildiği bir yöntemdir. Frekans oranı değerlerine göre eğim derecesi az, daha çok kuzeye bakan yamaçlar, hemen hemen tüm fay yakınlık değerleri, Alibaba formasyonu, 1226-1353m arası topografik yüksekliğe sahip yamaçlar ile heyelanlar arasındaki ilişkinin yüksek olduğu

görülmüştür. Yamaç eğimi az ($20^\circ <$) olan yamaçlarda heyelanlı piksellerin fazla olması ve frekans oranı değerlerine göre heyelanların ilişkisinin bu çalışmada eğim derecesi az yamaçlarla daha fazla olmasının öncelikle litoloji ve zemin durumuyla ilişkilendirilebileceği ve sonrasında depremin bu yamaçlarda meydana getirdiği dinamik etkiyle ilgili olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda faya yakın veya uzak (>900) yamaçların heyelanla ilişkisine bakıldığında ise frekans oranı değerlerinin tüm yakınlık sınıflarında 1'e yakın ve üstünde olduğu

görülmektedir. Bu da faya belli yakınlıkta olan yamaçların depremin yarattığı dinamik etkiden litolojik birimlerin özellikleri ve zeminlerin kendi sahip olduğu zemin büyütmesi değeri de dikkate alındığında farklı oranlarda etkilendikleri düşünülmektedir. Bu çalışma depremin yarattığı dinamik etkinin heyelanlar üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Tabiki heyelanların oluşumunu tek bir nedene bağlamak mümkün değildir. Heyelan gelişimi, nedenden sonuca kadar sürekli olaylar dizisidir. Çoğunlukla birçok nedenin aynı zamanda mevcut olduğu ve en sonunda hangi nedenin denge bozulmasını meydana getirdiğinin karar verilmesinin güç ve yanlış olduğu, çoğu kez son etkenin dengesi esasen bozulma sınırına gelmiş olan toprak kütlelerini harekete geçirmek için bir tetikleyici olduğu ve sadece son etkeni neden olarak kabul etmenin yanlış olacağı düşünülmektedir. Bölgenin KAFZ yakın olması diğer tüm etkilerin yanında yamacın dengesini bozan son etkenin depremin olabileceği gözardı edilmemelidir. Bunun hangi büyüklüklerdeki depremlerin olabileceği de bölge için yeni bir çalışma konusu olabilir. Heyelana duyarlı alanların tesbiti sonrasında bu alanlarda alınacak tüm tedbirler Kuzulu (Koyulhisar) heyelanı ve diğer heyelanlar sonrası yaşanan can ve mal kayıplarının azaltılmasını hatta önlenmesini sağlayacaktır. Bölgede bu ve benzer çalışmaların, özellikle il ve ilçe merkezli çalışmaların daha fazla yapılması, bu anlamda konuyla ilgili bilim dallarının birlikte çalışması ve sonrasında yapılacak planlamalara altlık oluşturacak benzer değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Heyelan duyarlılığı yüksek bölgelerde yapılacak her türlü planlamada detaylı saha incelemesi yapılmalı, zemin etüt çalışmalarına ek olarak geoteknik değerlendirmeler sonucu gerekli önlemler mutlaka alınmalıdır.

6. Kaynaklar

- Akgün A, Kincal C, Pradhan ., 2012. Application of remote sensing data and GIS for landslide risk assessment as an environmental threat to Izmir city (west Turkey), *Env mon and ass*, 184: 9, 5453-5470.
- Akgün A, Sezer EA, Nefeslioglu HA, Gökçeoğlu C, Pradhan B., 2011. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, *Comp Geo*, 38, 1. 23-34.
- Akgün A., Erkan O., 2016. Landslide susceptibility mapping by geographical information system-based multivariate statistical and deterministic models: in an artificial reservoir area at Northern Turkey, *Arab J Geosci*, 9: 165, DOI 10.1007/s12517-015-2142-7
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood–frequency ratio and weighted linear combination models, *Environ. Geol.* 54, 1127–1143.
- Atkinson PM, Massari R., 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the central apennines, Italy, *Geomorphology*.doi:10.1016/j.geomorph.2011.02.001.
- Baykal, F., 1952. Recherchesgeologiques la region de Kelkit-Şiran (Nord-East de L’Anatolie): Rev.Fac.Sc.Üniv.İst., Ser. B.T.17, fas, 4, 325-340.
- Bednarik M, Yilmaz I, Marschalko M., 2012. Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec-Sared landslide area in south-west Slovakia, *Nat Hazards* 64(1), 547–575.
- Bergougnan, H., 1975. Presence de troisunitescharrie'es a la borduresuddesPontides dans le Haut-Kelkit. Ages et sensdemises en place: *C.R. Ac. Sci.*, 280, 2199-2201, Paris.
- Bergougnan, H., 1982, Remnants of a Pre-Late Jurassic ocean in northernTurkey: Fragments of Permian - TriassicPaleo-Tethys? Discussion. *GeologicalSociety of AmericaBulletin*, 93, 929- 932.
- Bijukchhen SM, Kayastha P, Dhital MR., 2013. A comparative evaluation of heuristic and bivariate statistical modelling for landslide susceptibility mappings in Ghurmi–Dhad Khola, east Nepal, *Arab J Geosci*, 6, 2727–2743.
- Bourenane H., Guettouche M. S., Bouhadad Y., Braham M.,2016. Landslide hazard mapping in the Constantine city, Northeast Algeria using frequency ratio, weighting factor, logistic regression, weights of evidence, and analytical hierarchy process methods, *Arab J Geosci*, 9: 154, DOI 10.1007/s12517-015-2222-8.

- Brenning, A., 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(6), 853–862.
- Bui DT, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB., 2011. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro fuzzy inference system and GIS, J.Comp Geosci, 45, 199-211.
- Clerici A, Perego S, Tellini C and Vescovi P., 2006. A GIS-Based Automated Procedure for Landslide Susceptibility Mapping by the Conditional Analysis Method: The Baganza Valley Case Study (Italian Northern Apennines), EnvGeo, 50, 941-961.
- Dağ, S., 2007, Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.
- Dağ, S., Bulut, F., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye) Jeoloji Mühendisliği Dergisi,36, 1.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,1, 2, 151-176.
- Dahal RK, Hasegawa S, Nonomura A, Yamanaka M, Takuro M, Nishino K.,2008. GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping, Environ Geol, 54:311-324.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Zhang, X.H., 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study, Engineering Geology, 61, 257–271.
- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A. and Hack, R., 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India), Geomorphology, 114, 4, 627–637.
- Demir G, Aytekin M, Akgün A, İkizler SB, Tatar O., 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods, Nat Haz, 65, 1481–1506.
- Demir G, Aytekin M, Akgün A., 2015. Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye (Tokat, Turkey), Arab J Geosci, DOI 10.1007/s12517-014-1332-z.
- Demir, G., 2011. Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın Cbs Tabanlı
- Devkota KC, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu IC, Dhital MR, Althuwaynee OF., 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya, Nat Hazards, 65:135–165.
- Dewitte O, Chung C, Cornet Y, Daoudi M, Demoulin A., 2010. Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: a likelihood ratio-based approach in W Belgium, Geomorphology, 122, 153–166.
- Ercanoğlu M, Kasmer O, Temiz N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping, Bull Eng Geol Environ, 67:565–578.
- Erener A., Mutlu A., Düzgün H.Ş., 2016. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM), Engineering Geology, 203, 45–55.
- Ghosh S, Carranza EJM., 2010. Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rocksliding in Darjeeling Himalaya, India, Geomorphology, 122:1–24.
- Gorsevski PV, Jankowski P., 2010. An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets

- and Kalman fitler, Comput Geosci, 36:1005–1020.
- Gökçeoğlu C, Sönmez H, Nefeslioğlu HA, Duman TY and Can T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity, Eng Geol 81, 65-83.
- Gökçeoğlu C., Nefeslioğlu A.H., Türer D., Akgün A., Ayaş Z., Temimhan M., 2014. Determination Of Coastal Border Line: An Integrated Approach For A Part Of Antalya Coast (Turkey), Arab J Geosci, 1-10.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., Bostanci, H.T., ve Gokceoglu, C., 2017. Discontinuity controlled slope failure zoning for a granitoid complex: A fuzzy approach. Rock Mechanics and Engineering, Volume 5: Surface and Underground Projects, CRC Press Taylor & Francis Group, eBook ISBN: 978-1-317-48188-1, Pages 1–25.
- Gürsoy, H., 1995, The main tectonic structures of the Kelkit (Gümüşhane) region and their relationship with the regional tectonic structures, Edited by A. Erler, T. Ercan, E. Bingöl, S. Örcen, Proceedings of the International Symposium of the Geology of the Black Sea Region, p. 292-299, 7-11 September 1992, Ankara
- Kavzoğlu T, Sahin EK, Çölkesen I., 2013. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression, Landslides, doi:10.1007/s10346-013-0391-7.
- Lee S, Pradhan B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, Landslides, 4:33–41.
- Lee S., 2005. Application of Logistic Regression Model and Its Validation for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Remote Sensing Data, Int. J. Remote Sensing 26, 1477-1491.
- Lee, S., TuDan, N., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides, Environmental Geology, 48, 778–787.
- Nandi A, Shakoor A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, Eng Geol, 110:11–20.
- Nebert, K., 1961. Kelkit çayı ve Kızılırmak giriş sahalarının jeolojik yapısı, M.T.A. Enst. Yay. Ankara.
- Nefeslioglu H, Duman TY, Durmaz S., 2008b. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of turkey), Geomorphology, 94(3–4):401–418.
- Nefeslioglu H, Gokceoglu C, Sonmez H., 2008a. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, Eng Geol, 97(3/4):171–191.
- Nourani V, Pradhan B, Ghaffari H, Sharifi S S., 2014. Landslide susceptibility mapping at Zonouz Plain, Iran using genetic programming and comparison with frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, Nat Hazards, 71:523–547 DOI 10.1007/s11069-013-0932-3.
- Oh HJ, Lee S, Chotikasathien W, Kim CH, Kwon JH., 2009. Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand, Environ Geol, 57:641–651.
- Oh H-J, Pradhan B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, Comp. Geosc., 37(9):1264-1276.
- Ozdemir A., 2009. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS, Environ Geol, 57:1675–1686.
- Pistocchi, A., Luzi, L., Napolitano, P., 2002. The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods, Environmental Geology, 41, 765–775.
- Polat, A. (2011). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Suşehri Havzası'ndaki Bölümünün Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri.

- C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 256 s.
- Pourghasemi HR, Goli Jirandeh A, Pradhan B, Xu C, Gokceoglu C., 2013. Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS, J Earth Syst Sci, 122(2):349–369.
- Pourghasemi HR, Pradhan B, Gokceoglu C, Deylami Moezzi K., 2012. A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS, Geomat Natl Hazards Risk, doi:10.1080/19475705.2012.662915.
- Pourghasemi HR, Pradhan B, Gokceoglu C, Mohammadi M, Moradi HR., 2012. Application of weights-of evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, Arab J Geosci., doi:10.1007/s12517-012-0532-7.
- Pradhan B and Youssef AM., 2010. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models, Arab J Geosci, 3:319–326.
- Pradhan B, Singh RP, Buchroithner MF., 2006. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data, Adv Space Res, 37:698–709.
- Pradhan B., 2010a. Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches, J Ind Soc Rem Sens, 38(2):301–320.
- Pradhan B., 2010b. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, Advncs Space Res, 45(10):1244–1256.
- Pradhan B., 2011. Manifestation of an advanced fuzzy logic model coupled with Geo-information techniques to landslide susceptibility mapping and their comparison with logistic regression modeling, Environmental and Ecological Statistics, 18: 3. 471-493.
- Pradhan B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS, Computers & Geosciences, 51, 350-365.
- Regmi AD, Yoshida K, Pradhan B, Pourghasemi HR, Khumamoto T, Akgun A., 2013. Application of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models, and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya, Arab J Geosci, doi:10.1007/s12517-012-0807-z.
- Saha AK, Gupta RP, Sarkar I, Arora MK, Csaplovics E., 2005a. An approach for GIS—based statistical landslide susceptibility zonation-with a case study in the Himalayas, Landslides, 2:61–69.
- Saha AK, Gupta RP, Sarkar I, Arora MK, Csaplovics E., 2005b. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Int J Remote Sens, 23(2):357–369.
- Shahabi H, Khezri S, Ahmad B B, Hashim M., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, Catena, 115, 55–70.
- Son J., Suh J., Park H.D., 2016. GIS-based landslide susceptibility assessment in Seoul, South Korea, applying the radius of influence to frequency ratio analysis, Environ Earth Sci, 75:310, DOI 10.1007/s12665-015-5149-1.
- Sterlacchini S, Ballabio C, Blahut J, Masetti M, Sorichetta A., 2011. Spatial agreement of predicted patterns in landslide susceptibility maps, Geomorphology, 125:51–61.
- 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. In Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Soc. Econ. Paleontol. Miner. Spec. Publ. 37 (in honor of J.C. Crowell), ed. KT Biddle, N Christie-Blick, pp. 227–64
- Şengör, A.M.C. (1979). The North Anatolian Transform Fault: its tectonic significance. J. Geol. Soc. London, 136:269–82.

- Tatar, O., Gürsoy, H., Altunel, E., Akyüz, H.S., Topal, T., Şahin, M., Kavak, K.Ş., Çakır, Z., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Mesci, B.L., Dikmen, Ü., Türk, T., Poyraz, F., Hastaoğlu, K.Ö., Zabcı, C., Karabacak, V., Akın, M., Akpınar, Z., Polat, A., Gürsoy, Ö., Demir, G., Ayazlı, İ.E., Yalçın, Ç., Yavaşoğlu, H., Karaman, H. ve Erden, T. (2009). Aktif Fay Zonları ve Doğal Afetler: Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, Cilt 1 (Neotektonik, Paleosismoloji, GPS, Heyelan Duyarlılık ve Radar Interferometri), DPT Proje No 2006K-120220, 868 s
- Tatar, O., Türk, T., Gürsoy, H., Hastaoğlu, K., Ayazlı, E., Poyraz, E., Gürsoy, Ö., Zabcı, C., Demir, G., Dikmen, Ü., Akın, M., Mesci, L., Koçbulut, F., Kavak, K.Ş., Sezen T.F. ve Polat, A., 2007. Kelkit vadisi afet bilgi sistemi (kabis) altyapısının oluşturulması, Ulusal coğrafi bilgi sistemleri kongresi, K.T.Ü, Trabzon, s.102.
- Tien Bui D, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB., 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam) : a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models, *Catena*, 96, 28-40.
- Van Den Eeckhaut M, Marre A, Poesen J., 2010. Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France), *Geomorphology*, 115:141–155.
- Van Den Eeckhaut M, Reichenbach P, Guzzetti F, Rossi M, Poesen J., 2009. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium, *Nat Hazard Earth Sys*, 9:507–521.
- Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium), *Geomorphology*, 76, 392–410.
- Van Westen CJ, Rengers N, Soeters R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, *Nat Hazards*, 30:399–419.
- Van Westen, C.J., 1993. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geological Hazard Mitigation, *ITC-Journal*, 4, 393-399.
- Wang L. J., Guo M., Sawada K., Lin J., Zhang J., 2016. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network, *Geosciences Journal*, Vol. 20, No. 1, p. 117-136, DOI 10.1007/s12303-015-0026-1.
- Wang, L.-J., Sawada, K., Moriguchi, S., 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy.” , *Comput. Geosci.* 57, 81–92.
- Wu Y., Li W., Liu P., Bai H., Wang Q., He J., Liu Y., Sun S., 2016. Application of analytic hierarchy process model for landslide susceptibility mapping in the Gangu County, Gansu Province, China, *Environ Earth Sci*, 75:422, DOI 10.1007/s12665-015-5194-9
- Xu C, Xu X, 2013. Controlling parameter analyses and hazard mapping for earthquake-triggered landslides: an example from a square region in Beichuan County, Sichuan Province, China, *Arab J Geosci*, 6:3827–3839.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A., Yomralioglu, T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, *Catena*, 85, 274–287.
- Yeon Y-K, Han J-G, Ryu KH., 2010. Landslide susceptibility mapping in Inje, Korea, using a decision tree, *Eng Geol*, 116:274–283.
- Yetkil, V., 2009, Gölova (Sivas) Güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri,” Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 74 s.
- Yılmaz, A., 1983, Tokat (Dumanlıdağı) ile Sivas (Çeltekdağı) dolaylarının temel jeoloji

özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu:
MTA. Dergisi 99-100, 1-18.

Yılmaz, A., 1985, Yukarı Kelkit Çayı ile Munzur Dağları arasının temel jeolojik özellikleri ve yapısal evrimi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 28, 79-92.

Yılmaz, A., Yılmaz, H., 2010. Kuzey Anadolu Fayı' nın Suşehri ile Gölova (Agvanis) arasındaki bölgede atımı. Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi, 27 (2), 89-96.

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), Comput Geosci, 35:1125–1138.

Zhao C., Chen W., Wang Q., Wu Y., and Yang B. 2015. A comparative study of statistical index and certainty factor models in landslide susceptibility mapping: a case study for the Shangzhou District, Shaanxi Province, China, Arab J Geosci, 8:9079–9088, DOI 10.1007/s12517-015-1891-7.