Landslide Susceptibility Analysis of Tekirdağ City Using Geographic Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP)

Emre Özşahin *

* Namık Kemal Üniversitesi

E-mail: ozsahine@hotmail.com

Copyright © 2015 Emre Özşahin. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

In Turkey and across the globe, landslides rank among the most frequent natural disasters. Landslides occurring in densely populated residential areas cause considerable environmental and socio-economic damage, additional to life and property loss. This study identified the hazardous regions in the landslide susceptibility analysis of Tekirdag city. The study is remarkable because it was conducted in an urban area with a dense population, where landslides are a common occurrence. The analysis scheme was based on the use of the AHP (Analytical Hierarchy Process) method resting on the GIS (Geographic Information System), using a range of materials obtained from various sources. The research findings revealed a high landslide potential for Tekirdag city, with 49.36 % of the urban area at high or very high risk of landslide. In addition, most of the risky areas were found to be situated on slopes. The study confirmed that landslide susceptibility maps for urban areas can be prepared from AHP and GIS. These kinds of maps are suitably scaled for urban site selection or urban growth.

Keywords: Landslide, GIS (Geographic Information Systems), AHP (Analytic Hierarchy Process), Tekirdag city, Turkey.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Tekirdağ Şehrinin Heyelan Duyarlılık Analizi

ÖZET

Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de en sık karşılaşılan doğal afetlerden birisi heyelandır. Özellikle nüfus yoğunluğunun arttığı yerleşim alanlarında gerçekleşen heyelanlar, oluşturdukları can ve mal kaybının yanı sıra ciddi boyutlarda çevresel ve sosyo-ekonomik yıkımlara da neden olmaktadır. Bu çalışmanın amacı Tekirdağ şehrinin heyelan duyarlılık analizinin yapılmasıdır. Böylece şehir sınırlarındaki tehlikeli yerler tespit edilmiştir. Bu çalışma, heyelanların çok sık bir şekilde yaşandığı yoğun nüfuslu şehrsel bir alanda yapıldığı için kayda değerdir. Çalışma amacı doğrultusunda farklı kaynaklardan elde edilen farklı türde materyallerden ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) temelli AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre Tekirdağ şehrinde heyelan oluşma potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmıştır. Şehrin % 49.36’sının çok yüksek ve yüksek heyelan tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir. Bu sahaların daha çok şehrsel alandaki yamaç araziler üzerinde yayılım gösterdiği görülmüştür. Sonuçta şehrsel alanlarda heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında CBS ve AHS yöntem ve tekniklerinden yararlanılabileceği tasdik

edilmiştir. Bu tür haritalar şehrsel yer seçimi veya şehrsel büyüme kapsamında yapılacak planlamalarda kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci), Tekirdağ şehri, Türkiye.

Giriş

İnsanların doğal çevre ve ekonomik aktiviteleri için en büyük risk faktörlerinden biri olarak değerlendiren heyelanlar, neden oldukları can ve mal kaybının yanında ekonomik zararlar (Varnes, 1984), çevresel etkiler (Schuster ve Fleming, 1986; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996), kültürel ve doğal miras kaybı gibi büyük ölçekli sosyo-ekonomik yıkımlara da neden olur (Dai ve diğerleri, 2002). Özellikle şehrsel alanda yaşanan veya yaşanabilecek heyelanlar, genellikle altyapı ve can kaybı meydana getirir (Cascini ve diğerleri, 2005; Fell ve diğerleri, 2008; Klimes ve Escobar, 2010). Planlama açısından heyelanların oluşturacağı zararların azaltılması için yapılacak çalışmaların en önemlisi duyarlılık haritalarının üretilmesidir (Nefeslioglu ve diğerleri, 2008; Kayastha ve diğerleri, 2013). Bu tür haritalar, geçmişte meydana gelen heyelanların tanımlandığı ve gelecekte böyle olayların oluşum sahaslarının tahmin edilebileceği bilgileri içerir (Varnes, 1984; Yalçın, 2008). Aynı zamanda heyelan duyarlılık haritaları yardımıyla heyelan riski taşıyan alanların belirlenebilmesi afet planlamaları için kritik bir işlem adımıdır (Çellek, 2013).

1970’li yılların başlarından beri birçok bilim insanı heyelan tehlikesini değerlendirme ve duyarlılık haritaları üretmek amacıyla CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tekniklerine dayalı değişik yöntemler geliştirmişlerdir (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Magliulo ve diğerleri, 2008; Vahidnia ve diğerleri, 2009; Neuhäuser ve diğerleri, 2012). Böylece heyelan oluşumuna neden olan bütün faktörler daha sistemli ve pratik bir şekilde analiz edilmektedir (Jager ve Wiecek, 1994; Kumar ve Sinha, 1998; Park ve diğerleri, 2013; Peng ve diğerleri, 2014). Ayrıca elde edilen verinin çeşitlenmesi, detaylandırılması ve hassasiyetinin de iyileştirmesi sağlanabilmektedir (Çellek, 2013). Son zamanlarda heyelan duyarlılığının haritalandırılmasında CBS tekniklerine dayalı sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır (Bhatt ve diğerleri, 2013). Bu yaklaşımlardan en çok tercih edileni ise AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemini içeren modellerdir (Guzetti ve diğerleri, 1999; Barredo ve diğerleri, 2000; Yohsimatsu ve Abe, 2006; Moradi ve diğerleri, 2012).

Komac (2006) Slovenya’da yer alan çalışma alanının AHS ve çok değişkenli istatistik yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık modelini geliştirmiştir. Yalçın (2008) Ardeşen (Türkiye) örneğinde AHS ve iki değişkenli istatistik kullanarak CBS’ye dayalı heyelan duyarlılık haritalaması yapmıştır. Vahidnia ve diğerleri (2009) Kuzey İran’ın Mazandaran ili güneyindeki sahanın heyelan duyarlılık analizini CBS’ye dayalı AHS başta olmak üzere farklı kantitatif metotlarla yapmışlardır. Intarawichian ve Dasananda (2010) Kuzey Tayland’daki Mae Chaem havzası için AHS ve CBS kullanarak heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Bhatt ve diğerleri (2013) Nepal’in Kaski ilçesindeki Rupa havzası için AHS ve CBS kullanarak heyelan duyarlılık zonlaması yapmışlardır. Peng ve diğerleri (2014) CBS ve UA (Uzaktan Algılama) kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmek için yeni bir hybrid modeli önermişlerdir.

Bu çalışmanın amacı Tekirdağ merkez ilçe yerleşim alanının heyelan duyarlılık analizinin yapılmasıdır. Zira günümüzde şehir nüfuslarının giderek artması sonucunda insanların yeni yerleşim alanlarına olan ihtiyaçları da her geçen gün daha da çoğalmaktadır. Bilhassa gelişmiş toplumlarda yeni yerleşim alanlarının seçimi en uygun sahasların tespit edilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bunun için öncelikli olarak tercih edilen sahasların doğal tehlikelere karşı güvenilirlik derecesine dikkat edilmektedir (Yalçın, 2007). Nitekim bu

tür çalışmaların Türkiye’de yer seçimi için de oldukça önemli olduğu bildirilmiştir (Das ve diğerleri, 2013). Çalışma amacı ve ilgili açıklamalar göz önünde bulundurularak bu çalışmada CBS tekniklerine dayalı AHS yönteminden yararlanılmıştır. Bundan önce Tekirdağ ilinde heyelan konusunda bazı çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar ya daha geniş alanları (Özşahin, 2014a) ya da yerleşim alanları dışındaki sahaları (Erginal ve Bayrakdar, 2005) kapsamıştır. Bu çalışma, kullanılan yöntemden ziyade, yoğun nüfuslu şehirselleşen bir alanda yapıldığı için oldukça önemlidir. Zira Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2013 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre 179.239 kişinin yaşadığı şehirselleşen alanda kilometre kareye ~8962 kişi düşmektedir. Ayrıca Tekirdağ ili, Türkiye Ulusal Afet Arşivi (TUAA) verilerine göre, 1970-2012 yılları arasında 987 heyelan olayının yaşandığı Türkiye’de ölü sayısı bakımından 2890 kişi ile 8. sırada yer aldığı için (Özşahin, 2013) bu çalışmanın kayda değer olduğu düşünülmektedir.

Bu ve benzeri çalışmaların artması çevresel etkilerin minimize edilmesinde ve gelecekteki durumlarının ortaya konmasında son derece gereklidir. Ayrıca geleceğe yönelik yapılacak planlamalara destek olması bakımından da önem taşır. Bu çalışma Tekirdağ şehrine ait heyelan duyarlılık analizinin ve haritasının yapıldığı ilk çalışma olması nedeniyle bir başvuru kaynağı niteliğindedir. Bu çalışmadan elde edilen bulguların ve sonuçların konu hakkında ileride oluşturulabilecek kuramsal çalışmalara ve hipotezlerin geliştirilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

2. İnceleme Alanının Konumu ve Başlıca Coğrafi Özellikleri

Türkiye'nin en eski yerleşim merkezlerinden biri olarak değerlendirilen (Özşahin, 2015) Tekirdağ şehri, Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde yer almakta olup, idari olarak Tekirdağ ilinin merkez ilçe yerleşim birimini oluşturur (Şekil 1). Coğrafi Koordinat Sistemine göre 40° 56' 16"-41° 01' 47" kuzey (K) enlemleri ile 27° 26' 07"-27° 42' 25" doğu (D) (UTM Zon 37K-WGS84) boylamları arasında bulunur (Şekil 1). Doğu batı istikametinde uzanan şehir alanı 81.18 km²'dir.

Şekil 1. İnceleme alanının lokasyon haritası

Trakya Havzası'nın güneyinde yer alan inceleme alanında, Orta-Üst Oligosen'den günümüze kadar çeşitli yaş ve türde jeolojik birimler bulunmaktadır. İnceleme alanı tektonik olarak, Kuzey Anadolu Fay Zonunun batı uzantısında bulunan Ganos Fayı'nın kuzeyinde konumlanmaktadır (Yaltırak, 1996).

Tekirdağ şehri ana yerçekli olarak plato, elemanter yerçekilleri olarak da yamaç, heyelan, denizel taraça, alüvyal vadi tabanı ve delta gibi jeomorfolojik birimler üzerinde yayılım

göstermektedir. İnceleme alanındaki plato sahası bazı yerlerde şehrin içinde bazı yerlerde ise şehrin dışında bir yayılım sergilemektedir. Pliyosen yaşında olduğu bildirilen bu aşınım yüzeyi 100 m'den itibaren gözlenebilmektedir. İnceleme alanındaki elemanter yerçekillerinden ilki yamaçlardır. Eğim değerlerinin % 10'nun üzerinde olduğu bu araziler, platolar ve denizel taraçalar ile alüvyal vadi tabanları ve deltalar arasında geçişi sağlamaktadır. Ayrıca bu arazilerin Marmara Denizi'ne doğru olan kesimlerinde falezli yüksek kıyılar hâkimdir (Özşahin, 2014b).

İnceleme alanında çeşitli yükselti basamaklarında denizel taraçalar bulunur (Ardel, 1957). Bu taraçalar, Marmara Denizi çanağında meydana gelen seviye değişimlerinin etkisiyle ortaya çıkmışlardır. Ayrıca bu süreçte Kuzey Anadolu Fayının da büyük etkisi olmuştur (Altın, 2000). Bu nedenle inceleme alanındaki denizel taraçalar Marmara Denizi'ne doğru eğimlenmişler ve akarsular tarafından yarılarak parçalı bir görünüm kazanmışlardır. İnceleme alanındaki diğer bir yerşekli ise alüvyal vadi tabanlarıdır. Bu araziler ana akarsu yataklarında, kıyidan 1-8 km kadar içeriye sokulmuş bir şekilde yayılım göstermektedir. İnceleme alanındaki alüvyal vadi tabanlarının denize ulaştığı kesimde tipik görüntüsünden uzak olmasına rağmen küt şekilli küçük deltalar gelişmiş olup, bu oluşumların görüldüğü kıyılar, alçak kıyı karakterindedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Tekirdağ Meteoroloji İstasyonu'nun 1975-2010 yılları arasını kapsayan ölçüm sonuçlarına göre inceleme alanında yıllık ortalama sıcaklık 13.79 °C, yıllık toplam yağış ise 582.9 mm'dir. Buna göre Akdeniz iklimi etki alanında yer almasına rağmen yaz kuraklığının Akdeniz iklimindeki kadar hissedilmediği inceleme alanında, Yarı Nemli Marmara (Geçiş) iklimi egemendir (Koçman, 1993). Ayrıca Thornthwaite metoduna göre inceleme alanı, kurak yarı nemli ikinci dereceden mezotermal kış mevsiminde orta derecede su fazlası olan iklim sınıfı (C1 B'2 w b'3) içerisinde bulunur (Günay, 2007). Toprak Taksonomisine göre inceleme alanında Entisol, Alfisol, İnceptisol ve Mollisol olmak üzere 4 toprak ordosu bulunmaktadır (Ekinci, 1990). Türkiye bitki coğrafyası ve flora bölgelerine göre Holarktik Flora Âleminin Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde kalan inceleme alanında insan etkisinin yoğun olarak hissedildiği sahalar antropojen step sahası karakteri kazanmıştır (Dönmez, 1990).

Yörede hemen hemen her yıl doğal ortam özelliklerinin bir sonucu olarak heyelan olayları meydana gelmektedir. Bu olaylar sonucunda can kaybından ziyade daha çok maddi kayıp yaşanmaktadır (Erginal ve Bayrakdar, 2005; Foto 1; 2). Gerçekten de gerek arazi çalışmaları, gerek Kayran (2006) tarafından hazırlanan Tekirdağ Belediyesi Kent ve Mücavir Alanının Revizyon İmar Planı Yerleşime Uygunluk Amaçlı Etüt Raporun ekinde sunulan 1/12.000 ölçekli jeoloji haritası, gerekse Duman ve diğerleri (2006) tarafından yapılan 1/500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası (İstanbul Paftası)'nda gösterilen heyelan sahaları bu yörede ciddi oranda heyelan etkinliğinin olduğuna işaret etmektedir. Zira hem Erginal ve Bayrakdar (2005), hem de Özşahin (2014a) bölgede heyelan oluşma potansiyelinin yüksek olduğunu bildirilmişlerdir.

Foto 1. Tekirdağ şehrinin Hürriyet mahallesindeki heyelan sahası

Foto 2. Tekirdağ şehri yakın çevresinde görülen heyelanlar

3. Materyal ve Yöntem

3. 1. Materyal

Heyelana neden olan faktörlerin daha doğru bir şekilde tespit edilip, değerlendirilebilmesi için arazi çalışmalarıyla toplanan yersel verilere ihtiyaç vardır (Yalçın, 2008). Bu sayede, güncel veya daha önce meydana gelmiş heyelanların özellikleri belirlenerek, heyelan oluşumunda etkin olabilecek faktörlerin bir arada değerlendirilmesiyle daha sonraki zamanlarda heyelan olayının gelişebileceği potansiyel alanlar tespit edilebilmektedir. Araziden toplanan yersel verilerin ayrıntısı oranında heyelan duyarlılık haritalarının hassasiyet derecesi de artmaktadır. CBS tekniklerine dayalı yaklaşımlarla heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan değişkenler heyelan incelemesinin yapıldığı yerin özelliklerine ve araştırmacıya göre farklılıklar göstermekle birlikte genellikle heyelanlarla ilişkili olarak kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki faktörlerin seçilmesi oldukça önemlidir (Çellek, 2013). Böylece heyelan oluşumuna neden olabileceği düşünülen faktörlere ait haritalar oluşturularak, bu faktörlerin etkileri hesaplanan ağırlık değerleri ile belirlenmekte ve bu değerlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen işlemler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır (Dağ, 2007; Delikanlı, 2010; Aksoy, 2011).

Bu çalışmada değerlendirilen faktörler, başta ilgili literatür olmak üzere hem heyelan envanter haritalarından (Kayran, 2006; Duman ve diğerleri, 2006) belirlenen fosil heyelan sahaları, hem de arazi çalışmaları ile toplanan yersel veriler ışığında saptanmıştır. Bilhassa çalışmanın yersel veri toplama aşamasında araziye çıkılıp güncel veya daha önce meydana gelmiş heyelan sahaları gezilmiş ve ilgili alanların duyarlılıkları heyelana neden olan faktörler ışığında değerlendirilmiştir. Sonuçta inceleme alanında heyelan duyarlılığı üzerinde litoloji, fay hatlarına mesafe, yerçekilleri, eğim, bakı, yağış, akarsulara mesafe, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) gibi faktörlerin etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu faktörlerin seçiminde farklı ölçeklerde üretilen heyelan çalışmalarında en sık şekilde yararlanılan faktörler olmasına dikkat edilmiştir. Böylece yakın çevrede yapılan benzer çalışmalarda da aynı faktörler kullanılarak karşılaştırmalar yapılabilir. Tespit edilen faktörlere ait haritaların oluşturulmasında çeşitli kaynaklardan elde edilen farklı veri tiplerinden yararlanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan materyaller

Veri türü	Veri kaynağı	Üretilen veri
Topografya haritaları (Ölçek: 1/25.000)	Harita Genel Komutanlığı, 1997	Temel harita verileri (tepe, akarsu vs.) Yerçekilleri Eğim Bakı Akarsulara mesafe
Jeoloji haritası (Ölçek: 1/12.000)	Kayran, 2006	Litoloji Fay hatlarına mesafe Heyelan alanları
Tekirdağ Meteoroloji İstasyonunun 1975-2010 yılları arasındaki toplam yıllık yağış istatistikleri	T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2014	Yağış
Toprak haritası (Ölçek: 1/800.000)	Ekinci, 1990	Toprak
Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma sistemi haritası (Ölçek: 1/25.000)	Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013	Arazi kullanımı ve arazi örtüsü
Tekirdağ Şehir Planı (Sayısal, Ölçek: 1/25.000)	Süleymanpaşa Belediyesi, 2013	Şehirsels Alan Mahalle Sınırları
Türkiye Heyelan Envanteri Haritası (İstanbul Paftası, Ölçek: 1/500.000)	Duman vd., 2006	Tekirdağ Heyelan Envanter Haritası

Bu kadar değişken ve farklı ölçeklerde elde edilmiş veriler, 1/25.000 ölçekli topografya haritası temel alınarak aynı ölçeğe sabitlenmiş ve kullanılabilir hale getirilmiştir. Zira literatürde lokal (Rapolla ve diğerleri, 2012) veya orta ölçek (Çellek, 2013) şeklinde tabir edilen ilgili ölçek değeri, daha çok yerleşim alanlarının planlanmasına yönelik çalışmalarda, kentleşme için uygun alanların seçimi ya da altyapı inşaatı için uygun güzergahların seçiminde yararlanılmaktadır (Dağ, 2007; Yüksel, 2007). Çalışmadaki faktör haritalarının üretilmesinde ve görüntü analizlerinde birçok çalışmada olduğu gibi CBS yazılımlarından ArcGIS/ArcMap 10.3 paket programından faydalanılmıştır.

3. 2. Metot

Çalışmada yöntem olarak CBS destekli AHS metodu kullanılmıştır. Çalışma esnasında AHS'nin uygulanması, iki değişkenli istatistiksel yöntem altyapısı esasına dayandırılmıştır. Bunun için öncelikle mevcut heyelan sahaları ve heyelana neden olan faktörler arasında ilişki kurularak heyelan yoğunluğu karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda faktörlerin inceleme alanındaki yüzdelik değerleri (a) ile bu faktörlere bağlı olarak elde edilen heyelanlı alanların yüzdelik değerleri (b) hesaplanmıştır (Tablo 2). Ulaşılan sonuçlara istinaden her bir alternatifin frekans oranı (b/a) tespit edilmiştir (Tablo 2). Daha sonra bu tespit oranları göz önünde bulundurularak SCB Associates Ltd. tarafından geliştirilen AHP Template (Microsoft Excel versiyonu) yazılımıyla AHS uygulanmıştır.

Tablo 2. Çalışmada değerlendirilen kriter ve alternatiflerin ağırlık değerleri

Kriterler	Sembol	Alternatifler	Toplam Alan Yüzdesi (a)	Heyelan Alanı Yüzdesi (b)	Frekans Oranı (b/a)	AHS Alternatif Ağırlık Değerleri	AHS Kriter Ağırlık Değerleri
Litoloji	Li	Kiltaş (Orta-Üst Oligosen)	13.84	30.18	2.18	0.555	0.335
		Kumtaş (Orta-Üst Oligosen)	6.11	9.55	1.56	0.219	
		Silttaş (Orta-Üst Oligosen)	42.55	57.73	1.36	0.111	
		Çamurtaş, miltaş (Orta-Üst Miyosen)	15.74	2.34	0.15	0.067	
		Çakıltaş, kumtaş, çamurtaş (Üst Miyosen-Pliyosen)	2.88	0.00	0.00	0.00	
		Alüvyon (Kuvaterner)	18.88	0.19	0.01	0.047	
Fay hatlarına mesafe (m)	F	0-1000	5.45	9.04	1.66	0.555	0.034
		1000.01 - 2000	8.90	2.65	0.30	0.047	
		2000.01 - 3000	5.59	5.44	0.97	0.111	
		3000.01 - 4000	3.80	2.44	0.64	0.067	
		4000.01->	76.25	80.44	1.05	0.219	
Yerşekilleri	Yr	Plato	13.36	0.06	0.00	0.116	0.090
		Ova	18.74	0.00	0.00	0.00	
		Yamaç	56.64	95.78	1.69	0.650	
		Taraça	11.26	4.16	0.37	0.234	
Eğim (%)	E	< - 5	1.54	4.03	2.62	0.650	0.204
		5.01 - 15	30.15	30.55	1.01	0.116	
		15.01 - >	59.22	65.41	1.10	0.234	
Bakı (Yönler)	B	K, KD, KB	10.63	14.23	1.34	0.219	0.060
		G, GD, GB	13.30	51.64	3.88	0.555	
		D	47.94	26.50	0.55	0.111	
		B	17.86	6.09	0.34	0.067	
		Düz	13.38	1.54	0.12	0.047	
Yağış (mm)	Y	< - 582.9	7.52	78.62	10.45	0.850	0.090
		582.9 - 636.9	72.56	21.38	0.29	0.150	
		636.9 - 690.9	26.01	0.00	0.00	0.00	
Akarsulara mesafe (m)	A	< - 50	1.43	7.47	5.22	0.220	0.044
		50.01 - 100	6.88	10.34	1.50	0.112	
		100.01 - 150	6.39	6.50	1.02	0.074	
		150.01 - 200	6.14	4.52	0.74	0.046	
		200.01 - >	5.95	71.17	11.97	0.548	
Toprak	T	Alfisol	25.14	33.49	1.33	0.225	0.028
		Entisol	18.04	12.13	0.67	0.069	
		Mollisol	0.35	0.00	0.00	0.00	
		İnceptisol	13.63	18.83	1.38	0.593	
		Alfisol-İnceptisol	42.84	35.56	0.83	0.112	
Arazi kullanımı ve arazi örtüsü	AKAÖ	Orman alanları	0.68	0.15	0.21	0.116	0.115
		Tarım alanları	77.03	62.09	0.81	0.234	
		Yerleşim alanları ve ulaşım güzergâhları	22.29	37.77	1.69	0.650	

AHS uygulaması için öncelikle amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ve alternatifler sıralanarak, hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur (Scholl ve diğerleri, 2005; Ying ve diğerleri, 2007). Karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin belirlenmesi safhasında ilk

aşamada tespit edilen faktörler Saaty (1980) tarafından ortaya konan önem ölçeğine (Tablo 3) göre kıyaslanmış ve bu ölçek yardımıyla 1 ile 9 arasında derecelendirilmiştir (Saaty, 1994). Daha sonra ölçek katsayıları belirlenen kriterlerin ve alternatiflerin yüzde önem ağırlıkları tutarlılığı geçerli olacak bir şekilde elde edilmiştir (Tablo 2). Tutarlılığın geçerliliği, tutarlılık indeksi ve oranının hesaplanmasıyla kontrol edilmiştir. A matrisinin tutarlılık oranının hesaplanmasında aşağıdaki işlemler uygulanmıştır (Shrestha ve diğerleri, 2004).

$$CR = CI / RI$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Burada; CR: Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio), CI: Tutarlılık İndeksi (Consistency Index), RI: Rastgele İndeks (Random Index) değerlerini simgelemektedir.

Tablo 3. Önem ölçeği

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önem
3	Orta derecede önemli olması
5	Kuvvetli düzeyde önemli
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli
9	Son derece önemli
2, 4, 6, 8	İki faaliyet arasında kalan ara değerler

Kaynak: Saaty, 1986

Buna göre tutarlılık oranı (CR) genellikle % 10 veya daha küçükse matrisin tutarlı olduğu kabul edilmektedir (Wind ve Saaty, 1980; Saaty ve diğerleri, 2003). Ayrıca en büyük öz değer matris boyutuna eşit ise ($\lambda_{\max} = n$) karşılaştırma matrisi tutarlı olarak ifade edilir (Shrestha ve diğerleri, 2004; Arslan, 2010). Yöntemin son aşamasında ise elde edilen ağırlık değerleri vektör veri formatındaki alternatif etkenlerin haritalarına işlenmiştir. Daha sonra bu vektör haritaları aşağıdaki formüle göre analiz edilmiş ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir.

$$HDA = (Li \times 0.335) + (F \times 0.034) + (Yr \times 0.090) + (E \times 0.204) + (B \times 0.060) + (Y \times 0.090) + (A \times 0.044) + (T \times 0.028) + (AKAÖ \times 0.115)$$

Burada: HDA (Heyelan Duyarlılık Analizi) hedef, Li (Litoloji), F (Fay hatlarına mesafe), Yr (Yerçekilleri), E (Eğim), B (Bakı), Y (Yağış), A (Akarsulara mesafe), T (Toprak) ve AKAÖ (Arazi kullanımı ve arazi örtüsü) ise kriterlerdir.

Çalışmada yapılan analizler sonucunda elde edilen haritalarının hepsi 10x10 m çözünürlüğünde raster tabanlı grid haritalar şeklinde üretilmiştir. Ayrıca analiz sonuçlarının derecelendirilmesi eşit aralıklı olacak şekilde heyelan duyarlılık analizlerinde genellikle tercih edilen (Australian Geomechanics Society, 2007; Bhatt ve diğerleri, 2013; Das ve diğerleri, 2013) duyarlılık derecelendirmesi dikkate alınarak; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş seviyeye göre sınıflandırılmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Tekirdağ şehrinde heyelan oluşumunda rol oynayan temel faktörler vardır. Bu faktörler litoloji, fay hatlarına mesafe, yerçekilleri, eğim, bakı, yağış, akarsulara mesafe, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsüdür. Aslında burada seçilen faktörler Çellek (2013) tarafından heyelan duyarlılığı konusunda yapılmış 293 çalışmanın detaylı bir şekilde incelenmesi sonucunda tespit edilmiş olan literatürde en çok kullanılan faktörlerdir. Bunların dışında en sık kullanılan diğer faktörler ise inceleme alanındaki heyelanların oluşumunda yoğun bir etki göstermediği için göz ardı edilmiştir.

4. 1. Litoloji

Litoloji, heyelan oluşumunda belirleyici özelliklerdendir (Dai ve diğerleri, 2001; Yalçın, 2008). Bu birimlerin heyelan oluşumuna etkisi Kayran (2006) tarafından ISRM (1981)'ye göre yapılan tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deney sonuçlarının direnç ayrımı dikkate alınarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında en yaşlı ve en geniş sahada yer alan istif, Orta-Üst Oligosen'e ait Danişmen Formasyonu'dur. Bu formasyon genel özelliği ve litostratigrafik konumu dikkate alınarak kıltaşı, kumtaşı ve siltaşı şeklinde üç ayrı birim olarak incelenmiştir (Kayran, 2006; Şekil 2). Kıltaşı ve siltaşı çok zayıf, kumtaşı ise orta dirençli bir özellik gösterir (Kayran, 2006). Danişmen Formasyonu, düşük açılı bir uyumsuzlukla Orta-Üst Miyosen'e ait Ergene Formasyonu tarafından örtülmektedir. Çamurtaşı ve miltasından oluşan bu birim, inceleme alanının yüksek kesimlerinde ve sırtlarda yayılış gösterir (Şekil 2). Esas olarak örgülü veya menderesli akarsu çökelleri ile temsil edilen Ergene Formasyonu, çok katı ve sert bir karaktere sahiptir (Kayran, 2006). Bu istifin üzerine Üst Miyosen-Pliyosen'e ait Trakya Formasyonu yerleşmiştir. Çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan bu formasyon, genellikle sert bir karaktere sahiptir (Kayran, 2006). İnceleme alanında tüm birimleri açıl uyumsuzlukla Kuvaterner'e ait alüvyonlar ve Holosen kıyı çökelleri örtmektedir. Bu istifler orta katı bir karakterdedir (Kayran, 2006; Şekil 2).

Şekil 2. Tekirdağ şehrinin litolojik birimler haritası

Heyelan envanterine göre inceleme alanında yaşanmış heyelanlar daha çok Danişmen Formasyonunda meydana gelmiştir. Bilhassa bu formasyona ait kıltaşı ve siltaşı litolojilerinin hâkim olduğu sahalarda yaşanmış heyelanların alansal yüzdesi ve frekans oranı daha yüksektir (Tablo 2). Nitekim gerek Erginal ve Bayrakdar (2005), gerekse Özşahin (2014a) yörede meydana gelen heyelanların büyük bölümünün ilgili formasyonda yaşandığını bildirmişlerdir. Bu durum killi birimlerin heyelan oluşumuna elverişli şartlar ortaya koyduğundan ileri gelmektedir (Haliloğlu, 1997). Buna mukabil inceleme alanında meydana gelmiş heyelanlar daha çok ilgili litolojilerin kontak noktasında yayılış gösterir. Gerçekten de Ekinci (2011) kıltaşı, siltaşı ve bunların karışımından oluşan ortamları kohezyonlu olarak nitelendirmiş ve bu sahalarda kayma direncinin bazen sıfıra yönelecek kadar düşük olması nedeniyle heyelan oluşma potansiyelinin çok yüksek olduğunun altını çizmiştir. AHS sonuçlarına göre inceleme alanındaki litolojik birimler, % 8 tutarlılık oranına sahiptir.

4. 2. Fay hatlarına mesafe

Fay hatlarına mesafe heyelan oluşumunda etkili bir faktördür (Gupta ve Joshi, 1990; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Temesgen ve diğerleri, 2001; Lee, 2005). Zira eğim değerlerinin yüksek olduğu fay düzlemleri, heyelan oluşumu oldukça müsait bir karakter gösterir (Ekinci,

2011). Bu nedenle inceleme alanındaki faya yakın sahaların frekans oranı daha yüksektir (Tablo 2).

İnceleme alanının 8-10 km güneyinden Kuzey Anadolu Fayı geçmektedir. Bunun yanında Tekirdağ şehir alanı içinde GB-KD uzanımlı bir zon şeklinde eğim atımlı yerel bir fay da mevcuttur (Şekil 3a). Bu fayla ilgili fayın deprem etkinliği veya kinematığı konusunda herhangi bir bilgi bulunmasa da, 2000-2011 yılları arasında bölgede meydana gelen depremlerin dağılışına baktığımızda söz konusu fayın hala etkin olduğu anlaşılmaktadır (Kalafat, 2011; Şekil 3b). Şehirsel alandaki faylardan uzaklık bu fayın etkisine göre değerlendirilmiştir. Faylardan uzaklık Vahidnia ve diğerleri (2009) tarafından yapılan ayırım dikkate alınarak 1000 m olarak sınıflandırılmıştır. AHS sonuçlarına göre bu kriterin tutarlılık oranı % 8'dir.

4. 3. Yerşekilleri

Jeomorfolojik özelliklerin bilhassa da yerşekillerinin heyelan duyarlılığında çok önemli olduğu bildirilmektedir (Varnes, 1984). Çünkü jeomorfolojik birimlerin heyelan oluşumuna tepkisi farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Aslında bu tepkiye yön verende genel olarak yüzeylerin eğim şartlarıdır.

Şekil 3. (a) Tekirdağ şehrinin fay hatlarına mesafe haritası, (b) Tekirdağ şehri ve yakın çevresinde 2000-2011 yılları arasında meydana gelen depremlerin haritası (Kalafat, 2011)

İnceleme alanında yerşekli olarak, aşınım ve birikim yüzeyleri şeklinde gelişmiş platolar, çeşitli yükselti seviyelerinde yer alan denizel taraçalar, delta veya alüvyal vadi tabanları şeklinde gelişmiş ovalar ve yamaçlar mevcuttur. Bu yerşekilleri üzerinde heyelanlar bilhassa yamaç arazilerde daha fazla oluşmaktadır (Şekil 4). Zira heyelan zonlarının bir çizgisellik sunması da bu durumu desteklemektedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde yamaçların heyelan oluşumuna oldukça yatkın olduğu söylenebilir. Gerçekten de inceleme alanındaki yerşekillerinin heyelan alanı yüzdeleri ve frekans oranları değerlendirildiğinde ilgili durumun mahiyeti daha net bir şekilde anlaşılmaktadır (Tablo 2). Yerşekilleri kriteri, AHS sonuçlarına göre % 4 tutarlılık oranı gösterir.

Şekil 4. Tekirdağ şehrinin yerçekimleri haritası

4. 4. Eğim

Topografyanın eğim durumu da heyelan oluşumunu denetleyen ve kontrol eden ana faktörlerden birisidir (Gritzer ve diğerleri, 2001; Lee ve Min, 2001; Yalçın, 2008). Zira eğim arttıkça yerçekimi kuvveti artacağı için heyelan oluşma potansiyeli de yükselir. Nitekim Ekinci (2011) eğimli topografyada, su ile doymun killi tabakaların yaygın olduğu sahalarda heyelan olaylarının her zaman meydana gelebileceğini zikretmiştir.

İnceleme alanında eğim faktörünün etkisi Varnes (1984) tarafından açıklanan eğim sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir. Bu sahada eğim değerlerinin % 15'in üzerinde olan alanlar heyelan duyarlılığının yüksek olduğu sahalardır (Şekil 5). Hakikaten eğim değerlerinin frekans oranları da bu durumu göz önüne sermektedir (Tablo 2). AHS sonuçlarına göre eğim, % 4 tutarlılık oranına sahiptir.

Şekil 5. Tekirdağ şehrinin eğim haritası

4. 5. Bakı

Bakı, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında etkili bir faktördür (Guzzetti ve diğerleri, 1999; Nagarajan ve diğerleri, 2000). Günlenme (ayırışma/çözünme), fön rüzgârları,

yağış (doygunluk derecesi) gibi bakıyla ilişkili faktörler heyelan oluşumunu kontrol edebilir (Dai ve diğerleri, 2001; Cevik ve Topal, 2003; Suzen ve Doyuran, 2004; Komac, 2006; Yalçın, 2008).

İnceleme alanındaki bakı sınıfları içerisinde heyelan alanı yüzdeleri ve frekans oranı en yüksek G yönüdür (Tablo 2; Şekil 6). Söz konusu yönelme genel olarak inceleme alanının içinde bulunduğu su bölümü sahasının ilgili istikamette yani Marmara Denizi'ne doğru bakmasından kaynaklanmaktadır. Zira jeolojik ve jeomorfolojik gelişim döngüsü esnasında bu sahada Marmara Denizi'ne doğru bir çarpılma hadisesi vuku bulmuştur (Okay ve diğerleri, 2002). Bu durum sahadaki tabakaların genel eğim şartlarıyla da desteklenmektedir. Böylece heyelan akmaları da ilgili istikamette gerçekleşmektedir. Açıklanan durumlar inceleme alanında G yönde heyelan duyarlılığını arttırmıştır (Şekil 6). Bakı kriteri, AHS sonuçlarına göre % 8 tutarlılık oranı gösterir.

4. 6. Yağış

Yıllık ortalama yağış, heyelan duyarlılık analizi için önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir (Kayastha ve diğerleri, 2013). Çünkü yağışlar, yeraltı suyu düzeninin değişmesine, yamaç malzemesinin kısmen ya da tamamen doymuş hale gelmesine, dolayısıyla boşluk suyu basıncının artmasına ve içsel sürtünmenin azalmasına sebep olur (Ekinci, 2011).

İnceleme alanı için yağış faktörünün etkisi Tekirdağ Meteoroloji İstasyonunun (4 m) 1975-2010 yıllarına ait iklim verileri kullanılarak tespit edilmiştir. Yağış haritası Schreiber (1904) tarafından önerilen her 100 metre'de 54 mm yağışın artması ilkesi göz önünde bulundurularak geliştirilen formül yardımıyla (Fraedrich, 2010) oluşturulmuştur (Şekil 7). AHS sonuçlarına göre bu faktör % 4 tutarlılık oranına sahiptir.

Şekil 6. Tekirdağ şehrinin bakı (yönler) haritası

Şekil 7. Tekirdağ şehrinin yıllık yağış dağılışı haritası

4. 7. Akarsulara mesafe

Akarsulara mesafe yamaçlardaki materyalin doygunluk derecesini ve yamacın durağanlığını kontrol eden önemli bir faktördür (Yalçın, 2008). Akarsular yamaç erozyonu veya malzemenin alt kısmını nemlendirmek suretiyle yamaç stabilitesini olumsuz bir şekilde etkileyerek heyelan tehlikesini arttırmaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Dai ve diğerleri, 2001; Saha ve diğerleri, 2002; Cevik ve Topal, 2003; Yalçın, 2005).

İnceleme alanında akarsulara mesafe faktörünün etkisi Yalçın (2008) tarafından belirtilen beş farklı buffer alanı oluşturularak elde edilmiştir. Heyelan duyarlılığı en fazla ilk 150 m buffer zonunda görülmektedir (Şekil 8). Bu kriterin tutarlılık oranı % 8'dir.

4. 8. Toprak

Toprak türleri tane büyüklüğü ve dizilişine göre heyelan oluşumunda etkin rol oynamaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Ekinci, 2011). Bu bakımdan inceleme alanındaki toprakların duyarlılık değerleri heyelanlı alanların frekans yüzdeleri göz önünde tutularak Kitutu ve diğerleri (2009) tarafından belirtilen toprak tekstür sınıflarına göre atanmıştır (Şekil 9).

Şekil 8. Tekirdağ şehrinin akarsulara mesafe haritası

Şekil 9. Tekirdağ şehrinin akarsulara toprak haritası (Toprak Taksonomisine göre)

İnceleme alanında heyelan oluşma potansiyeli en yüksek İnceptisol ordosuna ait topraklardır. Zira İnceptisoller gelişimlerinin başlangıç aşamasında olup, daha çok killi ana materyal üzerinde oluşmuşlardır (Efe, 2010; Atalay, 2011; Şekil 9). Bunun yanı sıra heyelan oluşumuna elverişli bir diğer toprak ordosu ise Alfisoller'dir. Bu toprak türü bünye olarak genellikle killi özellikte olduğu için heyelan oluşumuna yatkındır. Her iki toprak ordosunun da inceleme alanında bazı sahalarda karışık yapıda olduğu için heyelan duyarlılığı düşmüştür. Gerçekten de inceleme alanında yaşanmış heyelanların toprak sınıflandırmasına göre frekans yüzdeleri her iki toprak ordosunda en yüksek, karışık oldukları kategoride ise daha düşük değerdedir. Bunun yanında inceleme alanında yer alan Entisoller yakın bir geçmişe ait alüvyal materyaller üzerinde oluştuklarından ve Mollisoller de zengin humus içeriğine sahip oldukları için heyelan oluşumuna pek elverişli değildir (Efe, 2010; Atalay, 2011; Şekil 9). AHS sonuçlarına göre bu faktör, % 6 tutarlılık oranına sahiptir.

4. 9. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü özellikleri heyelan oluşumunda önde gelen belirleyici faktörlerdendir (van Westen ve diğerleri, 2003; Komac, 2006; Intarawichian ve Dasananda, 2010; Kayastha ve diğerleri, 2013). Bu bakımdan değerlendirildiğinde inceleme alanındaki yerleşim alanlarında bilhassa ulaşım güzergâhlarında heyelan duyarlılığı daha yüksektir (Şekil 10). Zira insan etkisinin artmasına bağlı olarak heyelan oluşumunun da arttığı bildirilmiştir. Aynı zamanda birçok heyelanın ulaşım hatları üzerinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Şekil 10. Tekirdağ şehrinin arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası

Diğer yandan bitki örtüsünün yoğunluğunun ve kapalılık oranının artmasına bağlı olarak heyelan oluşma potansiyelinin de azaldığına dikkat çekilmiştir (Ekinci, 2011). Nitekim Bhatt ve diğerleri (2013) orman alanlarında heyelan duyarlılığının tarım alanlarına veya orman alanlarının tahribata uğrağı yerlere göre daha az olduğunu tespit etmiştir. Gerçekten de inceleme alanındaki yaşanmış heyelanların frekans oranları ilgili tespitin tutarlılığını göstermektedir (Tablo 2; Şekil 10). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü kriteri, AHS sonuçlarına göre % 4 tutarlılık oranı gösterir.

5. Analiz ve Tartışma

Yarı kantitatif yaklaşımlardan olan CBS temelli AHS yöntemine göre heyelan duyarlılık analizinin yapıldığı bu çalışma sonucunda, Tekirdağ şehrinde heyelan oluşma potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmıştır (Tablo 4). Şehirsel alanının yaklaşık yarısının (Yüksek - % 35.76 ve Çok yüksek - % 13.6) heyelana duyarlı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu sahalarda daha çok şehirsel alandaki yamaç araziler üzerinde yayılım göstermektedir (Şekil 11). Heyelan duyarlılığının düşük ve çok düşük olduğu alanlar ise sırasıyla % 8.2 ve % 7.7 oranındadır (Tablo 4). Bu sahalarda ise şehir alanının kuzeyinde eğim değerlerinin azaldığı plato sahalarda izlenmektedir (Şekil 11). Ortalama heyelan duyarlılığı ise % 34.9 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu duyarlılık sınıfına şehir alanındaki akarsu vadilerinin tabanlarında ve eğim değerlerinin azaldığı yamaç arazilerde rastlanmaktadır (Şekil 11).

Tablo 4. Tekirdağ şehrinde heyelan duyarlılık sınıfları ve değerlerinin alansal dağılışı

Heyelan Duyarlılık Sınıfları	Heyelan Duyarlılık Değerleri	ALAN	
		ha	%
Çok düşük	0.09-0.165	621.3	7.7
Düşük	0.165-0.209	663.5	8.2
Orta	0.209-0.281	2833.6	34.9
Yüksek	0.281-0.399	2895.8	35.7
Çok yüksek	0.399-0.593	1104.6	13.6
TOPLAM		8118.8	100.0

Şekil 11. Tekirdağ şehrinde heyelan duyarlılık sınıflarının dağılışı haritası

Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar, inceleme alanı dahilinde yapılmış heyelan envanter çalışmalarındaki bulgularla uyusmaktadır. Elde edilen bulgular özellikle şehrsel alanda yapılacak planlamalarda kullanılabilir. Kayastha ve diğerleri (2013) heyelan duyarlılık analizi çalışmalarının özellikle afet yönetim planlamalarında kullanılabileceğini ve risk haritalarının hazırlanmasında büyük yarar sağladığını açıklamışlardır. Klimes ve Escobar (2010) heyelan duyarlılık haritalarının gelecekteki arazi kullanım planlaması için bir rehber olacağını belirtmişlerdir. Das ve diğerleri (2013) heyelan duyarlılık haritalarının geleceğe yönelik planlamalar için önemli olduğunun altını çizmişlerdir.

Heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında CBS temelli AHS yönteminin sağlıklı ve kullanılabilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Komac (2006) benzer yöntem ve teknikler kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Yalçın (2007) CBS destekli AHS yöntemiyle yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarının mevcut heyelan değerleriyle uyumlu sonuçlar verdiğini tespit etmiş ve geliştirilen modellemenin başarılı olduğuna kanaat getirmiştir. Vahidnia ve diğerleri (2009) AHS'nin farklı yöntemlerle korelasyonu sonucunda doğru ve kullanılabilir veriler üretildiğini açıklamışlardır. Yalçın (2008) AHS yönteminin diğer bazı yöntemlere göre çok daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Bhatt ve diğerleri (2013) AHS ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının tamamen kullanılabileceği vurgulamışlardır.

6. Sonuç

Bu çalışma sonucunda Tekirdağ şehrinde heyelan oluşma potansiyelinin yüksek (% 35.76) ve çok yüksek (% 13.6) olduğu anlaşılmış ve şehrin yaklaşık yarısının heyelan tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir. Bu sahaların daha çok şehrsel alandaki yamaç araziler üzerinde yayılım gösterdiği görülmüştür. Ortalama heyelan duyarlılığı ise % 34.9 olarak hesaplanmıştır. Bu duyarlılık sınıfına şehir alanındaki akarsu vadilerinin tabanlarında ve eğim değerlerinin azaldığı yamaç arazilerde rastlanmaktadır. Çalışma sonucunda, bilhassa şehrsel alanlarda heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında CBS temelli AHS yönteminden yararlanılabileceği anlaşılmıştır. Bu tür haritalar şehrsel yer seçimi veya şehrsel büyüme kapsamında yapılacak planlamalarda kullanılabilir. İlgili yöntemlerin kullanımında heyelan envanter haritalarındaki verilerden istifade edilmesi ulaşılan sonuçların doğruluğunu artırmaktadır. Heyelan türünden doğal afetlerin günümüz teknolojilerinden yararlanılarak jeomorfolojik bir bakış açısıyla değerlendirilmesi bu tür problemlerin ortaya çıkmadan

önlenmesine büyük destek sağlamaktadır. Aksi takdirde meydana gelen doğal afetlerin sadece olduğu mekânı değil aynı zamanda domino etkisi yaparak tüm dünyayı etkileyebilecek potansiyellere sahip olduğu unutulmamalıdır.

REFERENCES

- AKSOY, G. (2011). Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ALEOTTI, P., CHOWDHURY, R. (1999). "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, V. 58, p. 21-44.
- ALTIN, B. N. (2000). "Trakya'da Yerçekillerinin Neotektonik Dönem Jeomorfolojik Gelişimleri", 28. Coğrafya Meslek Haftası (10-12 Haziran 1998, Edirne) Bildiriler, Geçmişte, Günümüzde ve Gelecekte Trakya, Editör: Prof. Dr. Suna Doğaner, s.: 53-71, İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu Coğrafya Meslek Haftaları Serisi: 2.
- ARDEL, A. (1957). "Trakya'nın Jeomorfolojisi", Türk Coğrafya Dergisi, S. 17, s. 152-158.
- ARSLAN, E. T. (2010). "Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemiyle Strateji Seçimi: Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesinde Bir Uygulama", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, C. 15, S. 2, s. 455-477.
- ATALAY, İ. (2011). Toprak Oluşumu, Sınıflandırması ve Coğrafyası, İzmir: Meta Yayınları.
- AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY (2007). "Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning", Journal and News of the Australian Geomechanics Society, V. 42, N. 1, s. 12-36.
- BARREDO, J. I., BENAVIDES, A., HERVAS, J., VAN WESTEN, C. J. (2000). "Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, V. 2, p. 9-23.
- BHATT, B. P., AWASTHI, K. D., HEYOJOO, B. P., SILWAL, T., KAFLE, G. (2013). "Using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process in Landslide Hazard Zonation", Applied Ecology and Environmental Sciences, V. 1 (2), p. 14-22.
- CASCINI, L., BONNARD, CH., COROMINAS, J., JIBSON, R., MONTERO-OLARTE, J. (2005). "Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development", In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.), Landslide Risk Management, p. 199-235, London: Taylor and Francis.
- CEVİK, E., TOPAL, T. (2003). "GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey)", Environmental Geology, V. 44, p. 949-962.
- ÇELLEK, S. (2013). Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DAĞ, S. (2007). Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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, V. 43 (3), p. 381-391.
- DAI, F. C., LEE, C. F., NGAI, Y. Y. (2002). "Landslide risk assessment and management: an overview", Engineering Geology, V. 64 (1), p. 65-87.

- DAS, H. O., SONMEZ, H., GOKCEOGLU, C., NEFESLIOGLU, H. A. (2013). "Influence of seismic acceleration on landslide susceptibility maps: a case study from NE Turkey (the Kelkit Valley)", *Landslides*, V. 10, p. 433-454.
- DELİKANLI, M. (2010). Coğrafi Bilgi Sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) Bölgesinin Heyelan Duyarlılık İncelemesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DÖNMEZ, Y. (1990). Trakya'nın Bitki Coğrafyası, Genişletilmiş ikinci baskı, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 3601, Coğrafya Enstitüsü Yayınları No: 51.
- DUMAN, T. Y., NEFESLIOĞLU, H.A., ÇAN, T., ATEŞ, Ş., DURMAZ, S., OLGUN, Ş., HAMZAÇEBİ S. VE KEÇER, M. (2006). Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1:500.000 ölçekli İstanbul Paftası, Ankara: MTA Özel Yayınlar Serisi-6.
- EFE, R. (2010). Biyocoğrafya, Bursa: MKM Yayıncılık.
- EKİNCİ, D. (2011). Zonguldak-Hisarönü Arasındaki Karadeniz Akaçlama Havzasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi, İstanbul: Titiz Yayıncılık.
- EKİNCİ, H. (1990). Türkiye Genel Toprak Haritasının Toprak Taksonomisine Göre Düzenlenebilir Olanaklarının Tekirdağ Bölgesi Örneğinde Araştırılması, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı.
- ERGİNAL, A. E., BAYRAKDAR, C. (2005). "Karayolu Heyelanlarına bir örnek: İncik Heyelanı (Tekirdağ)", İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, S. 14, s. 43-53.
- FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E., SAVAGE, W. Z., JTC-1 JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPE (2008). "Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning", *Engineering Geology*, V. 102, p. 85-98.
- FRAEDRICH, K. (2010). "A Parsimonious Stochastic Water Reservoir: Schreiber's 1904 Equation, *Journal of Hydrometeorology*", V. 11, p. 575-578.
- GÖKÇEOĞLU, C., AKSOY, H. (1996). "Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques", *Engineering Geology*, V. 44, p. 147-161.
- GRITZER, M. L., MARCUS, W. A., ASPINALL, R., CUSTER, S. G. (2001). "Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes, Payetti River, Idaho", *Geomorphology*, V. 37, p. 149-165.
- GUPTA, R. P., JOSHI, B. C. (1990). "Landslide hazard zoning using the GIS approach: A case study from the Ramganga Catchment, Himalayas", *Engineering Geology*, V. 28, p. 119-131.
- GUZZETTI, F., CARRARRA, A., CARDINALI, M., REICHENBACH, P. (1999). "Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy", *Geomorphology*, V. 31 (1-4), p. 181-216.
- GÜNAY, A. (2007). Tekirdağ'ın İklim Özellikleri, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı.
- HALİLOĞLU, S. B. (1997). Heyelan Analizinde Kullanılan Yöntemler ve Sayısal Çözümleri, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- INTARAWICHIAN, N., DASANANDA, S. (2010). "Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping in Lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand", *Suranaree Journal of Science and Technology*, V. 17(3), p. 277-292.
- ISRM (1981). Rock Characterization testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, In: Edited by E.T. Brown, Pergamon Press, Oxford-England.

- JAGER, S., WIECZOREK, G. F. (1994). Landslide Susceptibility in the Tully Valley Area, Finger Lakes Region, New York: U.S. Geological Survey Open-File Report 94-615.
- KALAFAT, D. (2011). Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, s. 1-11, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ-Ankara: Türkiye Deprem Mühendisliği Derneği.
- KAYASTHA, P., DHITAL, M. R., DE SMEDT, F. (2013). "Evaluation of the consistency of landslide susceptibility mapping: a case study from the Kankai watershed in East Nepal", Landslides, V. 10, p. 785-799.
- KAYRAN, H. (2006). Tekirdağ Belediyesi Kent ve Mücavir Alanının Revizyon İmar Planı Yerleşime Uygunluk Amaçlı Etüt Raporu, Çağır Mühendislik Müşavirlik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Tekirdağ: Tekirdağ Belediyesi.
- KITUTU, M. G., MUWANGA, A., POESEN, J., DECKERS, J. A. (2009). "Influence of soil properties on landslide occurrences in Bududa district, Eastern Uganda", African Journal of Agricultural Research, V. 4 (7), p. 611-620.
- KLIMES, J., ESCOBAR, V. R. (2010). "A landslide susceptibility assessment in urban areas based on existing data: an example from the Iguana Valley, Medellin City, Colombia", Natural Hazards and Earth System Sciences, V. 10, p. 2067-2079.
- KOÇMAN, A. (1993). Türkiye İklimi, İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü.
- KOMAC, M. (2006). "A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia", Geomorphology, V. 74 (1-4), p. 17-28.
- KUMAR, P., SINHA, U. N. (1998). "Landslide Hazard Zonation in Joshimath Jelam Area, Garhwal Himalaya U. P., India", 8th International IAEG Congress, Rotterdam: Balkema Press.
- LEE, S. (2005). "Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data", International Journal of Remote Sensing, V. 26 (7), p. 1477-1491.
- LEE, S., MIN, K. (2001). "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea", Environmental Geology, V. 40, p. 1095-1113.
- MAGLIULO, P., DI LISIO, A., RUSSO, F., ZELANO, A. (2008). "Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy", Springer Science Natural Hazards, V. 47, p. 411-435.
- MORADI, M., BAZYAR, M. H., MOHANNADI, Z. (2012). "GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran", Journal of Basic and Applied Scientific Research, V. 2 (7), p. 6715-6723.
- NAGARAJAN, R., ROY, A., VINOD KUMAR, R., MUKHERJEE, A., KHIRI, M. V. (2000). "Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, V. 58, p. 275-287.
- NEFESLİOĞLU, H. A., DUMAN, T. Y., DURMAZ, S. (2008). "Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey)", Geomorphology, V. 94 (3-4), p. 401-418.
- NEUHÄUSER, B., DAMM, B., TERHORST, B. (2012). "GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the Weights-of-Evidence model", Landslides, V. 9, p. 511-528.

- OKAY, A., OKAY, N., YIKILMAZ, B. (2002). Marmara Denizi Kuzey Sahil Kesimlerinin Kuzey Anadolu Fayı'ndaki Etkinliğe Bağlı Olarak Yükselmesinin Araştırılması, Ankara: TÜBİTAK Proje No: YDABÇAG-100Y079.
- ÖZŞAHİN, E. (2013). "Türkiye'de Yaşanmış (1970-2012) Doğal Afetler Üzerine Bir Değerlendirme", s. 1-8, MKÜ-Hatay: 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül 2013.
- ÖZŞAHİN, E. (2014a). "Tekirdağ İlinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanarak Heyelan Duyarlılık Analizi", HUMANITAS, S. 3, s. 167-186.
- ÖZŞAHİN, E. (2014b). "CBS Kullanılarak Şehir ve Jeomorfoloji Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Tekirdağ Şehri Örneği", İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, S. 6, s. 93-122.
- ÖZŞAHİN, E. (2015). "Tekirdağ'da Kentsel Gelişim ve Jeomorfolojik Birimler Arasındaki İlişkinin Zamansal Değişimi", Turkish Studies-International Periodical For the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, V. 10/1, p. 579-602.
- PARK, H. J., LEE, J. H., WOO, I. (2013). "Assessment of rainfall-induced shallow landslide susceptibility using a GIS-based probabilistic approach", Engineering Geology, V. 161, p. 1-15.
- PENG, L., NIU, R., HUANG, B., WU, X., ZHAO, Y., YE, R. (2014). "Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China", Geomorphology, V. 2004, p. 287-301
- RAPOLLA, A., NOCERA, S. D., MATANO, F., PAOLETTI, V., TARALLO, D. (2012). "Susceptibility Regional Zonation of Earthquake-Induced Landslides in Campania, Southern Italy", Natural Hazards, V. 61, p. 115-126.
- SAATY, R. W. (1986). "The analytic hierarchy process-what it is and how it is used", Mathematical Modelling, V. 9, p. 161-176.
- SAATY, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, New York: McGrawHill.
- SAATY, T. L. (1994). "How to make a decision: the analytic hierarchy process", Interfaces, V. 24, p. 19-43.
- SAATY, T. L., VARGAS, L. G., DELLMAN, K. (2003). "The Allocation of Intangible Resources: The Analytic Hierarchy Process and Linear Programming", Socio-Economic Planning Sciences, V. 37, p. 169-189.
- SAHA, A. K., GUPTA, R. P., ARORA, M. K. (2002). "GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas", International Journal of Remote Sensing, V. 23 (2), p. 357-369.
- SCHOLL, A., MANTHEY, L., HELM, R., STEINER, M. (2005). "Solving Multiattribute Design Problems with Analytic Hierarchy Process and Conjoint Analysis: An Empirical Comparison", European Journal of Operational Research, V. 164, p. 760-777.
- SCHREIBER, P. (1904). "Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa", Meteor. Z., V. 21, s. 441-452.
- SCHUSTER, L. R., FLEMING, W. R. (1986). "Economic Losses and Fatalities Due To Landslides", Bulletin of Association of Engineering Geologists, V. 23, p. 11-28.
- SHRESTHA, R. K., ALAVALAPATI, J. R. R., KALMBACHER, R. S. (2004). "Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: an application of SWOT-AHP Method", Agricultural Systems, V. 81, p. 85-199.
- SUZEN, M. L., DOYURAN, V. (2004). "Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey", Engineering Geology, V. 71, p. 303-321.

- TEMESGEN, B., MOHAMMED, M. U., KORME, T. (2001). "Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular references to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia", *Physics and Chemistry of the Earth*, V. 26, p. 665-675.
- VAHIDNIA, M. H., ALESHEIKH, A. A., ALIMOHAMMADI, A., HOSSEINALI, F. (2009). "Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS", *International Journal of Civil Engineering*, V. 7, p. 176-189.
- VAN WESTEN, C. J., RENGERS, N., SOETERS, R. (2003). "Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment", *Natural Hazards*, V. 30 (3), p. 399-419.
- VARNES, J. D. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, France: United Nations Educational.
- WIND, Y., SAATY, T. L. (1980). "Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, V. 26 (7), p. 641- 658.
- YALÇIN, A. (2005). *Ardeşen (Rize) yöresinin heyelan duyarlılığı açısından incelenmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- YALÇIN, A. (2007). "Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, C. 22, S. 3, s. 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*, V. 72, p. 1-12.
- YALTIRAK, C. (1996). "Ganos Fay Sistemi'nin Tektonik Tarihi", *TPJD Bülteni*, S. 8 (1), s. 137-156.
- YING, X., ZENG, G. M., CHEN, G. Q., TANG, L., WANG, K. L., HUANG, D. Y. (2007). "Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality-A case study of Hunan Province, China", *Ecological Modelling*, V. 209 (2-4), p. 97-109.
- YOHSIMATSU, H., ABE, S. (2006). "A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method", *Landslides*, V. 3, p. 149-158.
- YÜKSEL, N. (2007). *Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında istatistiksel yöntemlerin ve yapay sinir ağlarının kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) Bölgesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.