

TEKİRDAĞ İLİNDE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ VE ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Emre ÖZŞAHİN¹

Öz: Çeşitli faktörlerin denetimi altında meydana gelen heyelanlar, Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de önemli doğal afetlerden biridir. Son yıllarda bu afetin etkisini asgari düzeye indirmek amacıyla duyarlılık haritaları üretilmeye başlanmıştır. Bu uygulama için birçok yöntem geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu yöntemler özellikle CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı olarak tasarlanmıştır. Böylece heyelan oluşumuna neden olan bütün faktörler daha sistemli ve pratik bir şekilde analiz edilebilmektedir. Son zamanlarda heyelan duyarlılık çalışmalarında CBS’ye dayalı sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan en çok tercih edileni AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemini içeren modellerdir. Bu çalışmada CBS tekniklerine dayalı bir şekilde AHS yöntemi kullanılarak Tekirdağ ilinin heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır. Çalışma heyelan oluşma potansiyelinin ve etkisinin yüksek olduğu idari bir ilin sınırı dahilinde yapıldığı için önemlidir. Ayrıca bu tür çalışmaların Türkiye’de yer seçimi ve planlamalar için oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Çalışmada farklı kaynaklardan elde edilen çeşitli türden materyallerden ve CBS temelli AHS yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre Tekirdağ ilinde heyelan oluşma potansiyelinin orta derecede olduğu anlaşılmıştır. Bilhassa il alanının yarısında fazlasının (% 51.5) orta heyelan tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir. Heyelan tehlikesi daha çok eğim değerlerinin yüksek olduğu dağlık ve yamaç arazilerde izlenmektedir. Sonuçta idari sınırlara göre heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında CBS temelli AHP yönteminden yararlanılabileceği tasdik edilmiştir. Bu tür haritalar yer seçimi amaçlı yapılacak planlamalarda kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Doğal Afet, Heyelan, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci), Tekirdağ.

Giriş

Dünya üzerindeki en önemli doğal afetlerden biri olan (Vahidnia ve ark., 2009, s. 176), heyelanlar, neden oldukları can ve ekonomik kayıpların yanında çevresel etkileri de düşünüldüğünde Türkiye’de de oldukça etkili olmaktadır

¹ Yrd. Doç. Dr., Namık Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü.
eozsahin@nku.edu.tr

(Ercanoğlu, 2005, s. 979; Duman ve ark., 2006a, s. 241; Yaman ve ark., 2013, s. 105). Nitekim Türkiye'nin son 42 yıllık geçmişinde tüm doğal afetler içerisinde yaklaşık % 18 paya sahip olan heyelanlar, depremlerden sonra ikinci en önemli doğal afettir (Özşahin, 2013a, s. 6). Bu durum Türkiye açısından heyelanların önemini açık bir şekilde göstermektedir (Das ve ark., 2013, s. 433).

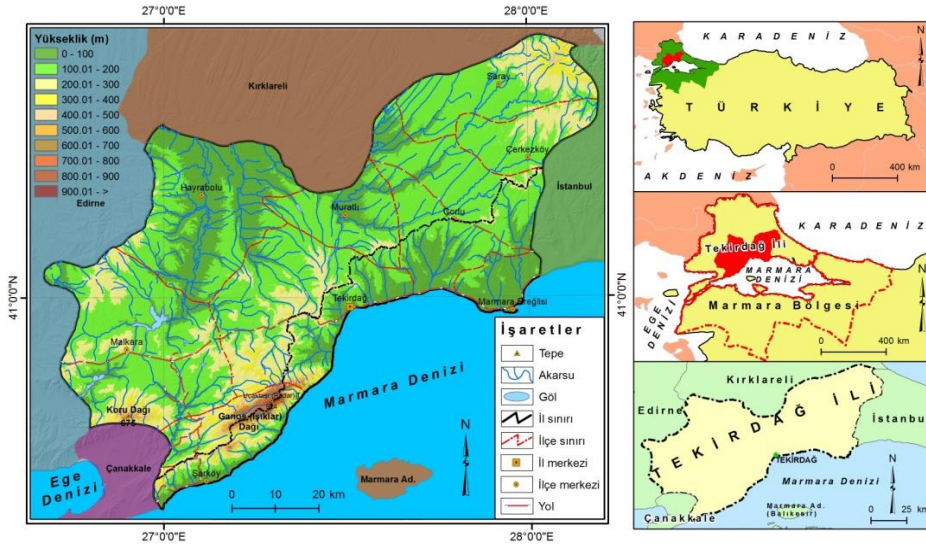
Gerek dünyada gerekse Türkiye'de heyelan tehlikesini değerlendirmek ve duyarlılık haritaları üretmek amacıyla birçok yöntem uygulanmıştır (Fell ve ark., 2008, s. 99). Bu yöntemler özellikle CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı olarak geliştirilmiştir (Magliulo ve ark., 2008, s. 412; Vahidnia ve ark., 2009, s. 176; Neuhäuser ve ark., 2012, s. 511). Böylece heyelan oluşumuna neden olan bütün faktörler daha sistemli ve pratik bir şekilde analiz edilebilmektedir (Sarkar ve ark., 2008, s. 53; Park ve ark., 2013, s. 1; Peng ve ark., 2014, s. 288). Son zamanlarda heyelan duyarlılık çalışmalarında CBS'ye dayalı sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır (Bhatt ve ark., 2013, s. 14). Bu yaklaşımlardan en çok tercih edileni AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemini içeren modellerdir (Ayalew ve Yamagishi, 2005, s. 17; Moradi ve ark., 2012, s. 6715; Akgun, 2012, s. 93). Bu yöntem ve tekniklerle yapılan çalışmalar geleceğe yönelik planlama süreçlerine destek olduğu için (Ercanoğlu ve ark., 2004, s. 5) bilhassa idari ölçekli gerçekleştirilmelerinde büyük fayda sağlamaktadır (Özşahin, 2013b, s. 47).

Bu bağlamda dünyada ve Türkiye'de idari sınırların dikkate alınarak gerçekleştirilen dikkate değer çalışmalar yapılmıştır. Komac (2006) Slovenya'nın merkezi kesiminde Ljubljana'nın batısında yer alan çalışma alanının AHS ve çok değişkenli istatistik yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık modelini geliştirmiştir. Yalcin (2008) Ardeşen örneğinde AHS ve iki değişkenli istatistik kullanarak CBS'ye dayalı heyelan duyarlılık haritalaması yapmıştır. Vahidnia ve ark. (2009) Kuzey İran'ın Mazandaran ili güneyindeki sahanın heyelan duyarlılık analizini CBS'ye dayalı AHS başta olmak üzere farklı sayısal yöntemlerle yapmışlardır. Bhatt ve ark. (2013) Nepal'in Kaski ilçesinde CBS'ye dayalı AHS yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır.

Bu çalışmada da CBS tekniklerine dayalı AHS yöntemi kullanılarak Tekirdağ ilinin heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır. Zira bu tür çalışmalar Türkiye'de yer seçimi ve planlamalar için oldukça önemlidir (Das ve ark., 2013, s. 433). Ayrıca Türkiye Ulusal Afet Arşivi (TUAA) verilerine (1970-2012) göre, Tekirdağ ili 987 heyelan olayının yaşandığı Türkiye'de ölü sayısı bakımından 2890 kişi ile 8. sırada yer aldığı için (Özşahin, 2013a, s. 4) bu çalışmanın önemli olduğu düşünülmektedir.

1. İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

İnceleme alanı, Türkiye'nin kuzeybatı köşesinde yer almakta olup, Türkiye'nin Coğrafi Bölgeleri'ne göre Marmara Bölgesi'nde bulunan Tekirdağ ilidir. İl alanı, kuzeyden Kırklareli, batıdan Edirne, güneybatıdan Çanakkale, doğudan İstanbul illeri ve güneyinden de Marmara Denizi ile çevrelenmiştir. Coğrafi Koordinat Sistemine göre 40° 32' 57" - 41° 34' 04" K enlemleri ile 26° 37' 48" - 28° 11' 53" D boylamları arasındadır (Şekil 1). Yüzölçümü ise 6250.8 km²'dir.



Şekil 1. Tekirdağ ilinin lokasyon haritası

Trakya Havzası'nın güneyinde yer alan il sınırları içerisinde Prekambriyen'den günümüze çeşitli yaş ve türde litolojik birimler bulunur. Tektonik olarak, Kuzey Anadolu Fayı ailesinin batı uzantısında bulunan Tekirdağ, Ganos Fayı'nın kuzeyinde yer almaktadır (Yalıtırak, 1996, s. 138). Jeomorfolojik olarak çeşitli yerçekillerinin görüldüğü il alanında aşınım ve birikim yüzeyi şeklinde gelişmiş platolar (Altın, 2000, s. 56) en geniş sahayı kaplamaktadır. İlin dağlarını güneybatıda yer alan Ganos ve Koru dağları oluşturmaktadır. Nitekim ilin en yüksek noktası (1/25.000 ölçekli haritaya göre) Ganos (Işıklar) Dağı üzerinde yer alan 924 m yükseklikteki Uçaktaşı (Radar) Tepe'dir. İlin ovaları yoğun olarak Ergene havzasında ve kıyı kesiminde bulunmaktadır. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 1975-2010 yılları arasında kapsayan ölçüm sonuçlarına göre Tekirdağ ilinde yıllık ortalama sıcaklık 11.5 (Çerkezköy) - 13.8 (Tekirdağ) °C, yıllık toplam yağış ise 542.3 (Çerkezköy) - 691.1 (Malkara) mm arasındadır. Thornthwaite metoduna göre inceleme alanında iç kesimlerde kurak az nemli, kıyı kesimlerde yarı nemli ve dağlık alanlarda da nemli iklim tipi karakteri görülür (Dönmez, 1990, s. 35). Tekirdağ ilinin en önemli hidrografik değeri ilin kuzeyinde akış gösteren Ergene Nehri'dir. Bunun dışındaki önemli akarsular ise Hayrabolu, Beşiktepe, Çorlu, Işıklar ve Gölcük dereleridir (Gürpınar, 1994, s. 76-78). Tekirdağ ilinde yapılan toprak çalışmalarından (Ekinci, 1990, s. 169) ve arazi etütlerinden elde edilen bilgilere ışığında ilde Toprak Taksonomisine göre Entisol, Alfisol, İnceptisol, Mollisol, Vertisol ve Andisol olmak üzere 6 toprak ordosu yer almaktadır. İlde hakim olan iklim tiplerine bağlı olarak oluşan doğal bitki örtüsü, iç kısımlarda kurak orman, kıyı kesimlerde yarı nemli orman, dağlık alanlarda ise nemli orman şeklindedir (Dönmez, 1990, s. 223). Bölgede hemen hemen her yıl doğal

ortam özelliklerinin bir sonucu olarak heyelan olayları meydana gelmektedir. Bu olaylar sonucunda can kaybından ziyade daha çok maddi kayıplar yaşanmaktadır (Erginal ve Bayrakdar, 2005, s. 43).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

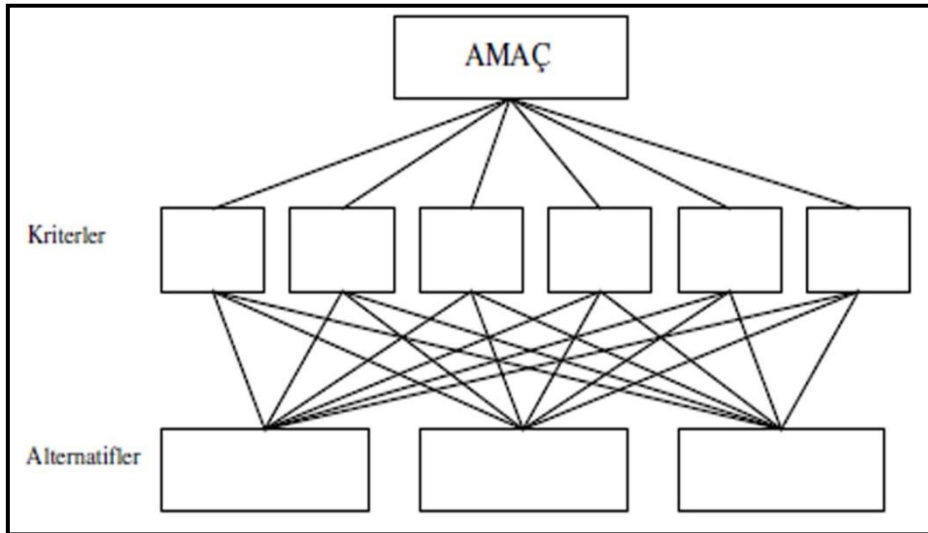
Heyelana neden olan birçok faktör bulunmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001, s. 192; Ayalew ve Yamagishi, 2005, s. 16). Bu faktörlerin daha doğru bir şekilde tespit edilip, değerlendirilebilmesi için bazı verilere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda çalışmamızda değerlendirilen faktörler, hem Duman ve ark. (2006b) tarafından yapılan 1/500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası (İstanbul Paftası), hem de arazi çalışmaları ile toplanan yersel veriler (Yalcin ve Bulut, 2007, s. 205; Yalcin 2008, s. 4) ışığında saptanmıştır. Bu faktörler, litoloji, fay hatlarına mesafe, yerşekilleri, eğim, bakı, eğim şekli, bağlı topografik nemlilik, yağış (mm), akarsulara mesafe, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ)'dür. Bu faktörlere ait haritaların oluşturulmasında çeşitli kaynaklardan elde edilen farklı veri tiplerinden yararlanılmıştır (Tablo 1). Çalışmadaki faktör haritalarının üretilmesinde ve görüntü analizlerinde birçok çalışmada olduğu gibi (Lee, 2005, s. 1480; Moradi ve ark., 2012, s. 6716; Kayastha ve ark., 2013, s. 788) CBS yazılımlarından ArcGIS/ArcMap (Versiyon 10) paket programından faydalanılmıştır.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan veriler ve veri kaynakları

Veri türü	Veri kaynağı	Üretilen veri
Topografya haritaları (Ölçek: 1/25.000)	Harita Genel Komutanlığı	Temel harita verileri (tepe, yerleşme vs.) Akarsulara mesafe
GDEM (Sayısal Yükseklik Modeli)	ERSDAC ve NASA	Eğim Bakı Eğim şekli Bağlı topografik nemlilik
Jeoloji haritası (Ölçek: 1/500.000)	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü	Litoloji Fay hatlarına mesafe
Trakya Yarımadasının Morfotektonik Haritası (Ölçek: 1/100.000)	Altın, 2000	Yerşekilleri
Tekirdağ, Çorlu, Malkara, Çerkezköy meteoroloji istasyonlarının 1975-2010 yılları arasındaki yıllık toplam yağış verileri	Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü	Yağış
Toprak haritası (Ölçek: 1/100.000)	Ekinci, 1990	Toprak
Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma sistemi haritası (Ölçek: 1/25.000)	Orman ve Su İşleri Bakanlığı	Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü (AKAÖ)
Türkiye Heyelan Envanteri Haritası (İstanbul Paftası, Ölçek: 1/500.000)	Duman ve ark., 2006b	Tekirdağ Heyelan Envanter Haritası

2.2. Metot

Çalışmanın amacına bağlı olarak metot olarak CBS tabanlı uygulamaların karar verme sürecinde en sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHS'den yararlanılmıştır. Zira bu yöntem sadeliği, kolay kullanılabilirliği ve anlaşılabilir bir metot olması nedeniyle çok kriterli karar verme yöntemleri arasında sıkça başvurulan bir tekniktir (Aktaş ve ark., 2001, s. 218; Akdeniz ve Turgutlu, 2007, s. 5; Soba ve Bildik, 2013, s. 54). Çalışmamızda AHS, SCB Associates Ltd tarafından geliştirilen AHP Template yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle çalışma amacı belirlenmiş (hedef) ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ortaya konmuştur (Şekil 2). Daha sonra bu kriterler göz önüne alınarak alternatifler tespit edilmiş ve hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur (Dağdeviren ve Eren, 2001, s. 43; Scholl, 2005, s. 763; Toksarı, 2007, s. 173). Bunun akabinde ilk aşamada tespit edilen kriterler ve alternatifler Saaty (1994, s. 26) tarafından ortaya konan önem ölçeğine (Tablo 2) göre kıyaslanmış ve bu ölçek yardımıyla 1 ile 9 arasında derecelendirilmiştir. Bu derecelendirme literatürde bildirilen ölçütlere göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Üç aşamalı AHS modeli (Saaty ve Vargas, 2001, s. 3)

Tablo 2: 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, s. 843

Karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması safhasında ilk aşamada tespit edilen parametreler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu kıyasta karşılaştırma yapılacak hiyerarşi düzeyinde n sayıda eleman bulunduğu n (n-1)/2 adet karşılaştırma yapılmış ve her bir karşılaştırma matris şeklinde düzenlenmiştir (Byun, 2001, s. 290; Arslan, 2010, s. 458). Daha sonra ölçek katsayıları belirlenen kriterlerin ve alternatiflerin AHP Template programı kullanılarak yüzde önem ağırlıkları (Toksarı, 2007, s. 172) tutarlılığı geçerli olacak bir şekilde (Saaty ve Vargas, 2001, s. 9; Kwiesielewicz ve Uden, 2004, s. 713-714; Arslan, 2010, s. 459; Dündar ve Ecer, 2008, s. 200) elde edilmiştir (Tablo 3). Tutarlılığın geçerliliği, tutarlılık indeksi ve oranının hesaplanmasıyla kontrol edilmiştir. A matrisinin tutarlılık oranının hesaplanmasında aşağıdaki işlemler uygulanmıştır (Shrestha ve ark., 2004, s. 187-188).

Tablo 3: Çalışmada değerlendirilen kriter ve alternatiflerin ağırlık değerleri

Kriterler	Sembol	Ağırlık	Alternatifler	Ağırlık
Litoloji	Li	0.283	Alüvyon/Kuvaterner	0.159
			Ayrılmamış karasal kırıntılılar/Üst Miyosen-Pliyosen	0.017
			Bazalt/Üst Miyosen-Pliyosen	0.159
			Karasal kırıntılılar/Üst Miyosen	0.017
			Karasal kireçtaşı/Orta-Üst Miyosen	0.021
			Karasal kırıntılılar/Orta-Üst Miyosen	0.017
			Karasal kırıntılılar/Orta Miyosen	0.017
			Kırıntılılar/Oligosen-Alt Miyosen	0.017
			Kırıntılılar/Üst Eosen	0.017
			Kırıntılılar ve karbonatlar/Orta-Üst Eosen	0.017
			Neritik kireçtaşı/Orta Üst Eosen	0.026
			Ofiyolitik melanj/Üst Kretase	0.040
			Şist/Triyas-Jura	0.159
			Metagranit/Üst Paleozoyik	0.159
Gnays, şist/Prekambriyen	0.159			
Fay hatlarına mesafe (m)	F	0.054	<-60	0.049
			60.01-120	0.064
			120.01-180	0.112
			180.01-240	0.219
			240.01->	0.556
Yerçekilleri	Yr	0.068	Dağ	0.102
			Plato	0.188
			Ova	0.644
			Yamaç	0.066
Eğim (derece)	E	0.103	0-15	0.556
			15.01-25	0.219
			25.01-35	0.112
			35.01-45	0.064
			45.01->	0.049
Bakı	B	0.082	Düz	0.555
			K, KD, KB	0.048
			G, GD, GB	0.218
			D	0.112
			B	0.068
Eğim şekli	Eş	0.076	İç bükey	0.234
			Düz	0.650
			Dış bükey	0.116
Bağıl	BTN	0.036	Kuru	0.650

Topografik nemlilik			Nemli	0.234
			Islak	0.116
Yağış (mm)	Y	0.070	< - 600	0.519
			600.01 - 700	0.213
			700.01 - 800	0.109
			800.01 - 900	0.065
			900.01 - 1000	0.052
			1000.01 - >	0.043
Akarsulara mesafe (m)	A	0.022	< - 50	0.047
			50.01 - 100	0.067
			100.01 - 150	0.111
			150.01 - 200	0.219
			200.01 - >	0.555
Toprak	T	0.030	Entisol	0.519
			Inceptisol	0.213
			Alfisol	0.109
			Mollisol	0.065
			Vertisol	0.052
			Andisol	0.043
Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü	AKAÖ	0.177	Su yüzeyleri	0.328
			Orman alanları	0.200
			Çalılık ve fundalıklar	0.129
			Otlaklar (meralar)	0.055
			Bağlar	0.081
			Bahçeler	0.046
			Yerleşme alanları	0.063
			Maden alanları	0.046
			Ekili-dikili tarım arazileri	0.028
			Çıplak toprak ile taş yüzeyleri	0.024

CR= CI / RI

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

CI: Tutarlılık İndeksi (Consistency Index)

RI: Rastgele İndeks (Random Index)

CR: Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio)

Buna göre tutarlılık oranı (CR) genellikle % 10 veya daha küçükse matrisin tutarlı olduğu kabul edilmektedir (Wind ve Saaty, 1980, s. 646; Saaty ve ark., 2003, s. 174). Ayrıca en büyük öz değer matris boyutuna eşit ise ($\lambda_{\max} = n$) karşılaştırma matrisi tutarlı olarak ifade edilir (Shrestha ve ark., 2004, s. 187; Arslan, 2010, s. 459).

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 = $(Li \times 0.283) + (F \times 0.054) + (Yr \times 0.068) + (E \times 0.103) + (B \times 0.082) + (Eş \times 0.076) + (BTN \times 0.036) + (Y \times 0.070) + (A \times 0.022) + (T \times 0.030) + (AKAÖ \times 0.177)$

Burada: HDA (Heyelan Duyarlılık Analizi) hedef, Li (Litoloji), F (Fay hatlarına mesafe), Yr (Yerşekilleri), E (Eğim), B (Bakı), Eş (Eğim şekli), BTN (Bağlı Topografik Nemlilik), 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 Çok düşük, Düşük, Orta, Yüksek ve Çok yüksek olmak üzere Bhatt ve ark. (2013) tarafından kullanılmış olan beş seviyeye göre sınıflandırılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Heyelan Duyarlılık Analizinde Etkili Olan Faktörler

3.1.1. Litoloji

Litoloji, heyelan oluşumunda belirleyici özelliklerdendir (Dai ve ark., 2001, s. 384; Yalcin, 2008, s. 5). Bu birimlerin heyelan oluşumuna etkisi Çan ve ark. (2013) tarafından Türkiye için yapılan ayırım dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre heyelana en fazla duyarlı litoloji grupları ayrılmamış karasal kırıntılılar (Üst Miyosen-Pliyosen), karasal kırıntılılar (Üst Miyosen/Orta-Üst Miyosen/ Orta Miyosen), karasal kireçtaşı (Orta-Üst Miyosen), kırıntılılar (Oligosen-Alt Miyosen/Üst Eosen), kırıntılılar ve karbonatlar (Orta-Üst Eosen)'dir. AHS sonuçlarına göre litolojik birimler, % 2 tutarlılık oranına sahiptir.

3.1.2. Fay hatlarına mesafe (m)

Faylardan uzaklıkta heyelan oluşumunda etkili bir faktördür (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996, s. 160; Luzi ve Pergalani, 1999, s. 59; Temesgen ve ark., 2001, s. 670; Çevik ve Topal, 2003, s. 954; Lee, 2005, s. 1481). İnceleme alanının 8-10 km güneyinden Kuzey Anadolu Fayı geçmektedir. Bunun yanında Tekirdağ il alanı içinde küçük ölçekli yerel faylarda mevcuttur. Bu faktörün etkisi Çan ve ark. (2013) tarafından Türkiye için yapılan ayırım dikkate alınarak tespit edilmiştir. Zira Türkiye'deki heyelanların yarısından fazlası aktif faylar çevresinde 60 km genişliğindeki kuşaklar içerisinde gözlenmektedir (Çan ve ark., 2013, s. 4). Bu kriterin tutarlılık oranı % 8'dir.

3.1.3. Yerşekilleri

Jeomorfolojik özelliklerin bilhassa da yerşekillerinin heyelan tehlike zonlamasında çok önemli olduğu bildirilmektedir (Varnes, 1984, s. 13; Guzzetti ve ark., 1999, s. 192; van Westen ve ark., 2003, s. 404; Duman ve ark., 2006a, s. 246; Neuhäuser ve ark., 2012, s. 516). Çeşitli türden yerşekillerinin görüldüğü inceleme alanında heyelanlar özellikle yamaç arazilerde daha fazla oluşmaktadır. Yerşekilleri kriteri, AHS sonuçlarına göre % 8 tutarlılık oranı gösterir.

3.1.4. Eğim

Topografya'nın eğim durumu da heyelan oluşumunu denetleyen ve kontrol eden ana parametrelerden birisidir (Gritzer ve ark., 2001, s. 160; Lee ve Min, 2001, s. 1100; Conoscenti ve ark., 2008, s. 333; Yalcin, 2008, s. 5). Bu parametrenin etkisi Bijukchhen ve ark. (2013, s. 2732) ile Kayastha ve ark. (2012, s. 483; 2013, s. 789) tarafından açıklanan eğim sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir. İnceleme alanında eğim değerleri arttıkça heyelan oluşma

olasılığı da artmaktadır. AHS sonuçlarına göre eğim, % 7 tutarlılık oranına sahiptir.

3.1.5. Bakı

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında bakı durumu da etkili bir faktördür (Nagarajan ve ark., 2000, s. 280; Bhatt ve ark., 2013, s. 18; Kayastha ve ark., 2013, s. 789). Günlenme, fön rüzgârları, yağış (doygunluk derecesi) gibi bakı ile ilişkili parametreler kütle hareketlerinin oluşumunu kontrol edebilir (Dai ve Lee, 2002, s. 221; Çevik ve Topal, 2003, s. 953; Yalcin, 2008, s. 6). Bu bakımdan inceleme alanındaki ana yönler göre heyelan tehlikesi nemliliğin daha yüksek olduğu kuzeye ve batıya bakan yönlerde görülmektedir. Bakı kriteri, AHS sonuçlarına göre % 7 tutarlılık oranı gösterir.

3.1.6. Eğim şekli

Topografya'nın eğim şekli de heyelanların ortaya çıkmasında etkili rol oynamaktadır (Lee ve Min, 2001, s. 1101; Nefeslioglu ve ark., 2008, s. 409; Vahidnia ve ark., 2009, s. 178; Kayastha ve ark., 2013, s. 789; Peng ve ark., 2014, s. 294). Çünkü yamaçların içbükey ve dışbükey olma özelliği hem mikroklimatik şartları hem de toprak özelliklerini etkilemesi açısından önemlidir. Örneğin dışbükey yamaçlarda eğim içbükey yamaçlara göre daha fazladır. Bu nedenle suyun hızlı hareketi nedeniyle dışbükey yamaçlarda toprak nemi göreceli olarak düşüktür (Mater, 2004, s. 45). CBS yazılımı ile yapılan analizlerde pozitif değerler dışbükey yerçekillerini, negatif değerler içbükey yerçekillerini ve sıfıra yakın değerler ise düz alanları göstermektedir (Zeverbergen ve Thorne, 1987, s. 49; Moore ve ark., 1991, s. 8). Yamaçların düz, içbükey ve dışbükey özellikleri ortaya konarken "plan eğrilik derecesi" kullanılmıştır. Sonucun sınıflandırılması sırasında +0,1 kritik değer olarak alınmıştır (Tağıl, 2006, s. 6). Bu faktör % 4 tutarlılık oranı sunmaktadır.

3.1.7. Bağlı topografik nemlilik

Topografya'daki nemlilik indeksi de heyelan oluşumunu etkilemektedir (Conoscenti ve ark., 2008, s. 333; Nefeslioglu ve ark., 2008, s. 409; Das ve ark., 2013, s. 445). Topografyanın yüzey akış modeline bağlı olarak ne kadar ıslak olduğunu gösteren bağlı topografik nemlilik indeksi de (Parker, 1982, s. 160), arazinin kuru, nemli ve ıslak olup olmadığı hakkında bilgi verir (Tağıl, 2006, s. 6). Buna göre arazinin ıslaklık derecesinin arttığı bölgeler heyelan oluşumu bakımından daha aktiftir. Bağlı topografik nemlilik inceleme alanının akış yönü ve akış yoğunluğu değerleri kullanılarak, " $(([FA]+1) / ([E]+1)).\text{Log}$ " formülüne göre hesaplanmıştır. Burada akış yoğunluğu (FA) belirli bir hücreden ne kadar su kütlelerinin aktığını, eğim (E) ise ne kadar hızlı suyun aktığını belirtmektedir (Grayson ve ark., 1992, s. 2663; Mitasova, 1996, s. 7). Yüksek pozitif değerler daha nemli, düşük negatif değerler ise daha kuru olan yerleri göstermektedir. AHS sonuçlarına göre eğim, % 4 tutarlılık oranına sahiptir.

3.1.8. Yağış (mm)

Yıllık ortalama yağış, heyelan tehlike analizi için önemli bir faktör olarak kabul edilir (Moradi ve ark., 2012, s. 6718; Kayastha ve ark., 2013, s. 790). İnceleme alanı için bu faktörün etkisi Schreiber (1904) tarafından önerilen her 100

metre’de 54 mm yağışın artması ilkesi göz önünde bulundurularak geliştirilen formül yardımıyla (Fraedrich, 2010, s. 575) oluşturulan yağış haritasına belirlenmiştir. AHS sonuçlarına göre bu faktör, % 4 tutarlılık oranına sahiptir.

3.1.9. Akarsulara mesafe (m)

Akarsulara mesafe yamaçlardaki materyalin doygunluk derecesini ve yamacın durağanlığını kontrol eden önemli bir parametredir (van Westen ve ark., 2003, s. 408; Çevik ve Topal, 2003, s. 954; Yalcin, 2008, s. 6; Kayastha ve ark., 2013, s. 790). Akarsular yamaç erozyonu veya malzemenin alt kısmını nemlendirmek suretiyle yamaç stabilitesini olumsuz bir şekilde etkileyerek heyelan tehlikesini arttırmaktadırlar (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996, s. 157; Dai ve ark., 2001, s. 387; Saha ve ark., 2002, s. 363; Çevik ve Topal, 2003, s. 954; Yalcin ve Bulut, 2007, s. 216). İnceleme alanında akarsulardan uzaklık faktörünün etkisi Yalcin (2008, s. 6) tarafından belirtilen beş farklı buffer alanı oluşturularak elde edilmiştir. Heyelan tehlikesi en fazla ilk 150 m buffer zonunda görülmektedir. Bu kriterin tutarlılık oranı % 8’dir.

3.1.10. Toprak

Topraklarda tane büyüklüğü, dizilişi ve türlerine göre heyelan oluşumunda etkin rol oynamaktadırlar (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996, s. 152; Nagarajan ve ark., 2000, s. 278; Lee ve Min, 2001, s. 1103; Fell ve ark., 2008, s. 104; Ekinci, 2011, s. 112). Bu bakımdan inceleme alanındaki topraklara duyarlılık değerleri Kitutu ve ark. (2009, s. 614) tarafından belirtilen toprak tekstür sınıflarına göre atanmıştır. Entisoller yakın bir geçmişe ait alüvyal materyaller üzerinde oluştuklarından ve inceleme alanında daha çok vadi tabanlarında yer aldıkları için çok düşük duyarlılıktadır. Andisoller volkanik materyal üzerinde gelişmiş oldukları için kil içerikleri azdır ve bu yüzden düşük duyarlıdırlar. İnceptisoller gelişimlerinin başlangıç aşamasında ve daha çok killi ana materyal üzerinde oluştuklarından dolayı orta duyarlı bir karakterdedir. Alfisoller bünye olarak genellikle killi özellikte oldukları için orta duyarlılıktadır. Mollisoller ise zengin humus ve kil içeriğine sahip oldukları için yüksek duyarlılık gösterir. Vertisoller ise bünyelerinde bol miktarda kil bulunduğu için çok yüksek duyarlılıktadır (Dinç ve ark., 1995, s. 76-81; Efe, 2010, s. 189-193; Atalay, 2011, s. 272-294). AHS sonuçlarına göre bu faktör, % 7 tutarlılık oranına sahiptir.

3.1.11. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü (AKAÖ)

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) özellikleri heyelan oluşumunda çok önemli belirleyici parametrelerdendir (van Westen ve ark., 2003, s. 408; Çevik ve Topal, 2003, s. 953; Komac, 2006, s. 23; Intarawichian ve Dasananda, 2010, s. 280; Kayastha ve ark., 2013, s. 798). Bu parametreye göre orman alanlarında heyelan tehlikesi, tarım alanlarına veya orman alanlarının tahribata uğrağı yerlere göre daha azdır (Bhatt ve ark., 2013, s. 18). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü, AHS sonuçlarına göre % 4 tutarlılık oranı gösterir.

Tartışma ve Sonuç

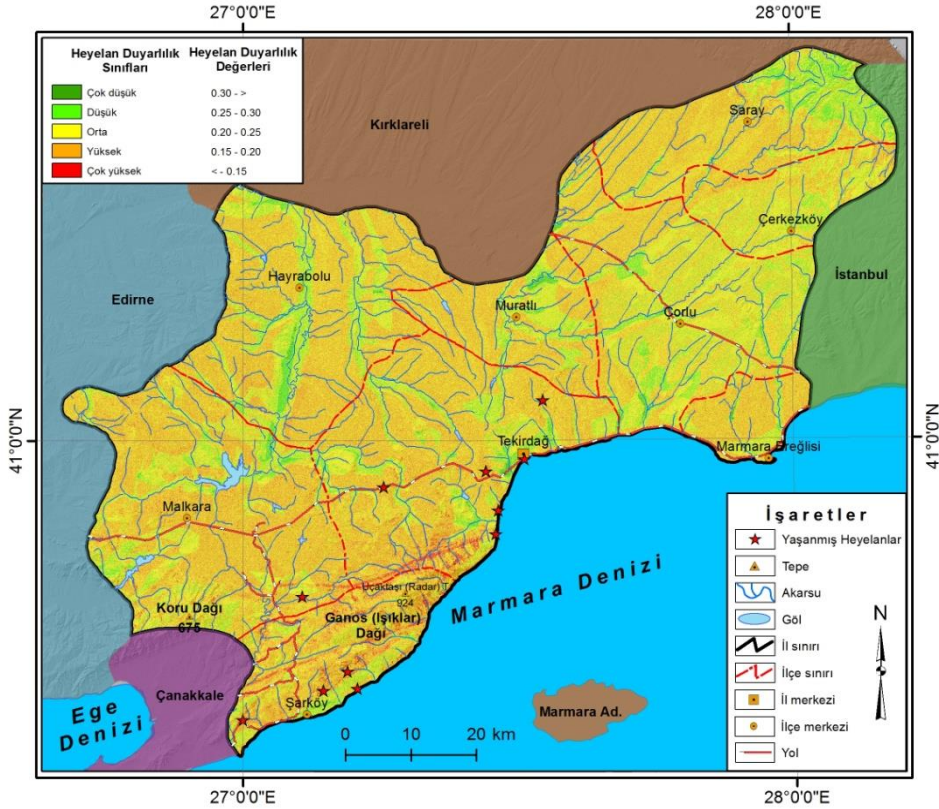
CBS temelli AHS yöntemine göre heyelan duyarlılık analizinin yapıldığı bu çalışma sonucunda, Tekirdağ il alanının % 51.5 (3217.1 km²)’inin orta heyelan tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu sahalar daha çok il

alandaki eğim değerlerinin yüksek olduğu plato sahaları üzerinde yayılış göstermektedir (Şekil 3). Heyelan tehlikesinin yüksek ve çok yüksek olduğu alanlar ise sırasıyla % 39.0 ve % 1.0 oranındadır (Tablo 4). İlde eğim değerlerinin yüksek olduğu dağlık ve yamaç araziler üzerinde bu sahalar izlenmektedir (Şekil 3). Heyelan tehlikesinin düşük ve çok düşük olduğu alanlar ise sırasıyla % 8.2 ve % 0.3 oranındadır (Tablo 4). Bu sahalara da ilde eğim değerlerinin azaldığı ova ve vadi tabanlarında rastlanmaktadır (Şekil 3).

Tablo 4: Heyelan duyarlılık sınıflarının ve değerlerinin alansal dağılışı

Heyelan Sınıfları	Duyarlılık	Heyelan Değerleri	ALAN	
			km ²	%
Çok düşük		0.30 - >	16.3	0.3
Düşük		0.25 - 0.30	513.0	8.2
Orta		0.20 - 0.25	3217.1	51.5
Yüksek		0.15 - 0.20	2440.1	39.0
Çok yüksek		< - 0.15	64.3	1.0
TOPLAM			6250.8	100.0

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar Duman ve ark. (2006b) tarafından yapılan 1/500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası (İstanbul Paftası)'ndaki bulgularla (Yaşanmış heyelanlar) uyumaktadır (Şekil 3). Buna mukabil Erginal ve Bayrakdar (2005) tarafından da bölgede heyelan oluşma potansiyelinin yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine (2013) göre, toplamda 874.475 kişinin yaşadığı (ADNKS, 2014) Tekirdağ ili için heyelan afeti hakkında daha kapsamlı çalışmaların ve planlamaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca elde edilen sonuç, benzer şekilde Samsun (Akinci ve ark., 2011), Trabzon (Filiz ve Avcı, 2013), Hatay (Özşahin, 2013b), Bolu (Kumtepe ve ark., 2009) ve Sinop (Özdemir, 2005) örneklerinde yapılan çalışma sonuçlarıyla da örtüşmektedir.



Şekil 3. Heyelan duyarlılık sınıflarının ve değerlerinin dağılışı haritası ve yaşanmış heyelan lokasyonları

Analiz sonuçlarına göre Tekirdağ ilinde heyelan oluşumunu etkileyen en belirgin parametreler eğim, litoloji ve arazi kullanımı'dır. Zira heyelan duyarlılığında Gökçeoğlu ve Aksoy (1996) Mengen'de yaptıkları çalışma sonunda litolojinin yanında eğimin de, Çevik ve Topal (2003) ise Hendek'te yaptıkları çalışma sonucunda heyelan duyarlılığında litolojinin önemli olduğunu açıklamışlardır.

Çalışmada gerçekleştirilen analiz sonucunda üretilen heyelan duyarlılık haritası önemli bir karar destek mekanizmasıdır. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) özellikle bölgesel ölçekte hazırlanacak heyelan duyarlılık haritalarında kullanılacak parametrelerin değerlendirilmesinde izlenecek yöntemlerde, sağlıklı bir heyelan veri tabanı kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Ercanoğlu ve ark. (2004) benzer çalışmaların gelecekte yapılacak heyelan duyarlılık haritalarının için sayısal bir temel sağlamada yardımcı olacağını altını çizmiştir. Ercanoğlu (2005) bu tür haritaların şehirselleşme ve planlamalar gibi gelecek çalışmalar için bilgi ve ekonomik yararlar sağlayacağını bildirmiştir. Duman ve ark. (2006a) bu haritaların yer seçimi ve planlama süreçlerinde karar vericilere yardımcı olacağını tespit etmiştir. Nefeslioğlu ve ark. (2008) heyelan duyarlılık haritalarının koruma ve zarar azaltma amaçlı

önlemlerin planlanması için kullanılabilceğini teyit etmişlerdir. Erener ve Düzgün (2012) bu tür çalışma sonuçlarının gelecek çalışmalar için kılavuzluk yaptığını ifade etmiştir. Özşahin (2013b) farklı türde heyelan duyarlılık modellerinin Türkiye illeri için kullanılabilceğini açıklamıştır.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında CBS temelli AHS yönteminin sağlıklı ve kullanılabilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Süzen ve Doyuran (2004) CBS teknikleriyle gerçekleştirilen çalışmaların uygulanabilir sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Komac (2006) benzer yöntem ve teknikler kullanılarak hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Yalcin ve Bulut (2007) CBS tekniklerine dayalı AHS yöntemiyle gerçekleştirilen heyelan duyarlılık haritalama sonuçlarının yer seçiminde güvenli alanların tespit edilmesi ve planlanmasında doğru ve pratik bilgiler verdiğini belirtmiştir. Yalcin (2008) AHS yönteminin diğer bazı yöntemlere göre çok daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ileri sürmüştür. Vahidnia ve ark. (2009) AHS'nin farklı yöntemlerle korelasyonu sonucunda doğru ve kullanılabilir veriler üretildiğini açıklamıştır. Akgun (2012) CBS teknikleriyle gerçekleştirilen çalışmaların arazi kullanım planlamalarına ve heyelanlarla ilişkili tehlikeleri azaltmakta kullanılabilceğini açıklamıştır. Bhatt ve ark. (2013) AHS ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının tamamen kullanılabilceği vurgulamıştır.

Elde edilen bulgular özellikle il alanında yapılacak planlamalarda kullanılabilir. Kayastha ve ark. (2013) heyelan duyarlılık çalışmalarının özellikle afet yönetim planlamalarında kullanılabilceğini ve risk haritalarının hazırlanmasında büyük yarar sağladığını açıklamıştır. Klimes ve Escobar (2010) heyelan duyarlılık haritalarının gelecekteki arazi kullanım planlaması için bir rehber olacağını belirtmiştir. Das ve ark. (2013) heyelan duyarlılık haritalarının geleceğe yönelik planlamalar için önemli olduğunun altını çizmiştir.

Sonuç olarak özellikle heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında CBS temelli AHS yönteminden yararlanılabileceği anlaşılmıştır. Bu tür haritaların yer seçimi ve planlamalarda kullanılabilceği vurgulanmıştır. Benzer yöntem ve teknikler kullanılarak idari sınırlar dahilinde yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu tür çalışmaların diğer doğal afetler içinde hazırlanması oldukça mühim bir husustur.

KAYNAKÇA

Akdeniz, H. A. ve Turgutlu, T. (2007). Türkiye'de Perakende Sektöründe Analitik Hiyerarşik Süreç Yaklaşımıyla Tedarikçi Performans Değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (1), 1-17.

Akgun, A. (2012). A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. *Landslides*, 9, 93-106.

Akinci, H., Doğan, S., Kiliçoğlu, C. ve Temiz, M. S. (2011). Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) City Center by using

- frequency ratio method. *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (5), 1015-1025.
- Aktaş, R., Kısa, T., Doğanay, M. ve Tarım, A. (2001). *Karar Analizleri*. Ankara: KHO Basımevi.
- Altın, B. N. (2000). Trakya'da Yerçekillerinin Neotektonik Dönem Jeomorfolojik Gelişimleri. Prof. Dr. Suna Doğaner (Ed.). 28. *Coğrafya Meslek Haftası (Edirne) Bildiriler, Geçmişte, Günümüzde ve Gelecekte Trakya*. İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu Coğrafya Meslek Haftaları Serisi: 2, 10-12 Haziran 1998, 53-71.
- 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*, 15 (2), 455-477.
- Atalay, İ. (2011). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırması ve Coğrafyası*. 5. Baskı, İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Ayalew, L. ve Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65, 15-31.
- Bhatt, B. P., Awasthi, K. D., Heyojoo, B. P., Silwal, T. ve Kafle, G. (2013). Using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process in Landslide Hazard Zonation. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1 (2), 14-22.
- Bijukchhen, S. M., Kayastha, P. ve Dhital, M. R. (2013). A comparative evaluation of heuristic and bivariate statistical modelling for landslide susceptibility mappings in Ghurmi-Dhad Khola, east Nepal. *Arab J Geosci*, 6 (8), 2727-2743.
- Byun, D. H. (2001). The AHS Approach For Selecting an Automobile Purchase Model. *Information & Management*, 38, 289-297.
- Conoscenti, C., Di Maggio, C. ve Rotigliano, E. (2008). GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). *Geomorphology*, 94, 325-339.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya Gülmez, F., Elmacı, H., Hamzaçebi, S. ve Emre, Ö. (2013). Türkiye Heyelan Veri Tabanı [Bildiri]. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013 11-13 Kasım 2013*, (ss. 1-6), Ankara: TMMOB.
- Çevik, E. ve Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949-962.
- Dağdeviren, M. ve Eren, T. (2001). Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 41-52.

- Dai, F. C. ve Lee, C. F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42, 213-228.
- Dai, F. C., Lee, C. F., Li, J. ve Xu, Z. W. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 43 (3), 381-391.
- Das, H. O., Sonmez, H., Gokceoglu, C. ve Nefeslioglu, H. A. (2013). Influence of seismic acceleration on landslide susceptibility maps: a case study from NE Turkey (the Kelkit Valley). *Landslides*, 10, 433-454.
- Diñç, U., Şenol, S., Kapur, S., Cangir, C. ve Atalay, İ. (1995). *Türkiye Toprakları*, (51). Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Dönmez, Y. (1990). *Trakya'nın Bitki Coğrafyası*. Genişletilmiş İkinci Baskı, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 3601, Coğrafya Enstitüsü Yayınları No: 51.
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A. ve Sonmez, H. (2006a). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 241-256
- Duman, T. Y., Nefeslioglu, H.A., Çan, T., Ateş, Ş., Durmaz, S., Olgun, Ş., Hamzaçebi S. ve Keçer, M. (2006b). *Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1:500.000 ölçekli İstanbul Paftası*. Ankara: MTA Özel Yayınlar Serisi-6.
- Dündar, S. ve Ecer, F. (2008). Öğrencilerin GSM Operatörü Tercihinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemiyle Belirlenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F. Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 15 (1), 195-205.
- Efe, R. (2010). *Biyocoğrafya*. 2. Basım, Bursa: MKM Yayıncılık.
- Ekinci, D. (2011). *Zonguldak-Hisarönü Arasındaki Karadeniz Akaçlama Havzasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi*. İstanbul: Titiz Yayınları.
- Ekinci, 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.
- Ercanoglu, M. (2005). Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards Earth Syst Sci.*, 5, 979-992.
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C. ve Van ASCH, Th. W. J. (2004). Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques. *Natural Hazards*, 32, 1-23.
- Erener, A. ve Düzgün, H. S. B. (2012). Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method? *Environmental Earth Sci.*, 66, 859-877.
- Erginal, A. E. ve Bayrakdar, C. (2005). Karayolu Heyelanlarına bir örnek: İncik Heyelanı (Tekirdağ). *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 14, 43-53.

- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. Z. ve JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slope (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Eng. Geol.*, 102, 85-98.
- Filiz, M. ve Avcı, H. (2013). Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar ve heyelanların bölgeye etkileri. *SDU International Technologic Science*, 5 (3), 31-38.
- Fraedrich, K. (2010). A Parsimonious Stochastic Water Reservoir: Schreiber's 1904 Equation. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 575-578.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H. (1996). Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Grayson, R. B., Moore, I. D. ve McMahon, T. A. (1992). Physically based hydrologic modeling: 1. A terrain-based model for investigative purposes. *Water Resources Research*, 28 (10), 2639-2658.
- Gritzer, M. L., Marcus, W. A., Aspinall, R. ve Custer, S. G. (2001). Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes, Payetti River, Idaho. *Geomorphology*, 37, 149-165.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. ve Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Gürpınar, E. (1994). *Bir Çevresel Analiz Örneği Trakya*. İstanbul: Der Yayınları.
- Intarawichian, N. ve Dasananda, S. (2010). Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping in Lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand. *Suranaree J. Sci. Technol.*, 17 (3), 277-292.
- Kayastha, P., Dhital, M. R. ve De Smedt, F. (2012). Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed, Nepal. *Nat Hazards*, 63 (2), 479-498.
- Kayastha, P., Dhital, M. R. ve De Smedt, F. (2013). Evaluation of the consistency of landslide susceptibility mapping: a case study from the Kankai watershed in East Nepal. *Landslides*, 10, 785-799.
- Kitutu, M. G., Muwanga, A., Poesen, J. ve Deckers, J. A. (2009). Influence of soil properties on landslide occurrences in Bududa district, Eastern Uganda. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (7), 611-620.
- Klimes, J. ve Escobar, V. R. (2010). A landslide susceptibility assessment in urban areas based on existing data: an example from the Iguana Valley, Medellin City, Colombia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 2067-2079.

- Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74 (1-4), 17-28.
- Kumtepe, P., Nurlu, Y., Cengiz, T. ve Sütçü, E. (2009). Bolu çevresinin heyelan duyarlılık analizi [Bildiri]. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım 2009*, 1-8. İzmir: TMMOB Yayınları.
- Kwiesielewicz, M. ve Uden, E. V. (2004). Inconsistent and Contradictory Judgements In Pairwise Comparison Method In The AHP. *Computers & Operations Research*, 31, 713-719.
- 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*, 26 (7), 1477-1491.
- Lee, S. ve Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.
- Luzi, L. ve Pergalani, F. (1999). Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: the 'Oltre Po Pavese' Case History (Regione Lombardia – Italy). *Natural Hazards*, 20, 57-82.
- Magliulo, P., Di Lisio, A., Russo, F. ve Zelano, A. (2008). Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy. *Natural Hazards*, 47, 411-435.
- Mater, B. (2004). *Toprak Coğrafyası*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Mitasova, H., Hofieka, J., Zlocha, M. ve Iverson, L. R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographic Information Systems*, 10, 629-641.
- Moore, I. D., Grayson, R. B. ve Landson, A. R. (1991). Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Moradi, M., Bazyar, M. H. ve Mohammadi, Z. (2012). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran. *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2 (7), 6715-6723.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M. V. (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 275-287.
- Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y. ve Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94 (3-4), 401-418.
- Neuhäuser, B., Damm, B. ve Terhorst, B. (2012). GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the Weights-of-Evidence model. *Landslides*, 9, 511-528.
- Özdemir, N. (2005). Sinop ilinde etkili bir doğal afet türü: Heyelan. *D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5, 67-106.

- Özşahin, E. (2013a). Türkiye’de Yaşanmış (1970-2012) Doğal Afetler Üzerine Bir Değerlendirme [Bildiri]. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 25-27 Eylül 2013, 1-8, Hatay.
- Özşahin, E. (2013b). CBS Kullanılarak Hatay İli Heyelan Duyarlılık Analizi. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 47-59.
- Park, H. J., Lee, J. H. ve Woo, I. (2013). Assessment of rainfall-induced shallow landslide susceptibility using a GIS-based probabilistic approach. *Engineering Geology*, 161, 1-15.
- Parker, A. J. (1982). The topographic relative moisture index: an approach to soil moisture assessment in mountain terrain. *Physical Geography*, 3 (2), 160-168.
- Peng, L., Niu, R., Huang, B., Wu, X., Zhao, Y. ve Ye, R. (2014). Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 204, 287-301.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32 (7), 841-855.
- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24, 19-43.
- Saaty, T. L. ve Vargas, L. G. (2001). *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G. ve Dellman, K. (2003) The Allocation of Instangible Resources: The Analytic Hierarchy Process and Linear Programming. *Socio-Economic Planning Sciences*, 37, 169-189.
- Saha, A. K., Gupta, R. P. ve Arora, M. K. (2002). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (2), 357-369.
- Sarkar, S., Kanungo, D. P., Patra, A. K. ve Kumar, P. (2008). GIS based spatial data analysis for landslide susceptibility mapping. *Journal of Mountain Science*, 5 (1), 52-62.
- Scholl, A., Manthey, L., Helm, R. ve Steiner, M. (2005). Solving Multiattribute Design Problems with Analytic Hierarchy Process and Conjoint Analysis: An Empirical Comparison. *European Journal of Operational Research*, 164, 760-777.
- Schreiber, P. (1904). Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. *Meteor. Z.*, 21, 441-452.
- Shrestha, R. K., Alavalapati, J. R. R. ve Kalmbacher, R. S. (2004). Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: an application of SWOT-AHP Method. *Agricultural Systems*, 81, 85-199.
- Soba, M. ve Bildik, T. (2013). İlçelerde Fakülte Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci Metodu İle Belirlenmesi. *KAU IIBF Dergisi*, 4 (5), 51-63.

- Süzen, M. L. ve Doyuran, V. (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Tağıl, Ş. (2006). Kazdağı Milli Parkı'nda Arazi Örtüsü Organizasyonunu Kontrol Eden Jeomorfometrik Faktörler: Bir CBS Yaklaşımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4 (2), 1-11.
- Temesgen, B., Mohammed, M. U. ve 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*, 26, 665-675.
- Toksarı, M. (2007). Analitik Hiyerarşi Prosesi Yaklaşımı Kullanılarak Mobilya Sektörü için Ege Bölgesi'nde Hedef Pazarın Belirlenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F. Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 14 (1), 171-180.
- TUİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2014). 2013 Yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS). Erişim Tarihi: 09.04.2014, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A. ve Hosseinali, F. (2009). Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS. *International Journal of Civil Engineering*, 7, 176-189.
- Van Westen, C. J., Rengers, N. ve Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30 (3), 399-419.
- Varnes, J. D. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. France: United Nations Educational.
- Wind, Y. ve Saaty, T. L. (1980). Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 26 (7), 641- 658.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1-12.
- Yalcin, A. ve Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41, 201-226.
- Yaltrak, C. (1996). Ganos Fay Sistemi'nin Tektonik Tarihi. *TPJD Bülteni*, 8 (1), 137-156.
- Yaman, B., Köse, N. ve Akkemik, Ü. (2013). Changes in stem growth rates and root wood anatomy of oriental beech after a landslide event in Hanyeri, Bartın, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 105-109.
- Zeuberger, L. W. ve Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 47-56.

USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS IN LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS IN TEKİRDAĞ PROVINCE

Abstract: Being under the control of various factors, landslides are one of the important natural disasters in Turkey, as in the entire world. In recent years, susceptibility maps have started to be produced in order to minimize the effect of this disaster. Many methods have been developed and used for that. They have been designed based on Geographic Information Systems (GIS) in particular. In this way, all factors leading to the occurrence of landslides may be analyzed more systematically and practically. Intuitive approaches based on GIS have been employed in landslide susceptibility studies recently. The most preferred ones are the models involving the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The present study aimed at making the landslide susceptibility analysis of Tekirdağ province through the AHP method based on GIS techniques. The significance of the study is that it has been carried out within the borders of an administrative province where there are a high landslide occurrence potential and effect. In addition, it is considered that these kinds of studies are very important for site selection and relevant planning works in Turkey. Various kinds of materials obtained from different sources and the GIS based AHP method are employed in the present study. In the light of the research findings, it is understood that there is a medium landslide occurrence potential in Tekirdağ province. It is determined that more than half of the urban area (51.5 %) is under medium landslide hazard. Landslide hazard is mostly observed in mountainous and sloping lands. In conclusion, it is confirmed that the GIS based AHP method could be used for preparing landslide susceptibility maps in accordance with administrative borders. These kinds of maps could be used in site selection planning works.

Keywords: Natural hazards, Landslide, Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Tekirdağ.