

CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİYLE HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

T. Kavzoğlu¹, E.K. Şahin², İ. Çölkese³

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli.
¹kavzoğlu@gyte.edu.tr, ²e.sahin@gyte.edu.tr, ³icolkesen@gyte.edu.tr

ÖZET

Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesini birinci derecede tehdit eden doğal afetlerin başında heyelan tehlikesi gelmektedir. Bu çalışma da Trabzon ili için potansiyel heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi ve heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. Elde edilecek sonuçların muhtemel can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi noktasında önemli bir altlık olması ön görülmektedir. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde çok kriterli karar analizi tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme yöntemi birlikte kullanılmıştır. Analiz için kullanılacak kriterlerde normalleştirme işlemi yapılmıştır. Kriter ağırlıkları ikili karşılaştırma metodu kullanılarak elde edilmiştir. Karşılaştırma matrisindeki değerlerin değişik şekillerde ele alınması ile farklı ağırlıklar tespit edilerek çeşitli duyarlılık haritaları üretilmiştir. Duyarlılık haritası oluşturulurken, kriter ağırlıkları önemlilik derecelerine göre sırasıyla litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı ve yükseklik faktörlerine atanmıştır. Söz konusu haritalar heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak en iyi sonucu veren heyelan duyarlılık haritası tespit edilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile mevcut heyelan alanları karşılaştırılmış ve toplamda yüksek ve çok yüksek risk alanlarının yaklaşık %78 oranında örtüştüğü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, CBS tabanlı çok kriterli karar analiz yönteminin, risk haritaları üretiminde etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Çok Kriterli Karar Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme, Heyelan

GIS-BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING USING MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS METHOD: THE CASE OF TRABZON PROVINCE

ABSTRACT

The Eastern Black Sea Region of Turkey is under the risk of landslides that threatens the region of first degree natural disaster. The purpose of this study is to determine the potential of landslides risk and to establish susceptibility map for the province of Trabzon. It is expected that results to be produced in this study will be important to prevent from property and human loses. Multi-criteria decision analysis method together with the Analytic Hierarchy Process and the Weighted Linear Combination method were used to produce landslide susceptibility maps. Normalization process was applied to criteria to be used for the analysis. Weights of the factors were obtained by the use of pairwise comparison method. Several landslide susceptibility maps were produced with weight combinations that were obtained via different comparison matrix structures. In the production of criteria weights were ordered with their importance level lithology, slope, land cover, aspect and elevation respectively. These maps were compared to landslide inventory maps and the best map was chosen. Analyses showed that landslide susceptibility map could represent the existing landslides with 78% accuracy when the areas categorized as high and very high risk were considered in comparison. The findings obtained in this study show that GIS based multi-criteria decision analysis is an effective method in the estimation of landslide susceptibility.

Keywords: Multi Criteria Decision Analysis, Geographical Information System, Analytical Hierarchy Process, Weighted Linear Combination, Landslide

1. GİRİŞ

Heyelanlar, yamaç dengesinin bozulması sonucu yer çekiminin etkisiyle arazinin bir bölümünün yamaç eğilimi doğrultusunda hareket ederek şekil ve yer değiştirmesidir (Öztürk, 2002). Arazide oluşan büyük çaplı deformasyonlar, heyelanların etkili olabileceği bölgelerde (yerleşim yerleri, tarım arazileri, kara ve demir yolları) can ve mal kaybına yol açabilirler. Bu kayıpların önüne geçmek için yapılacak altlık çalışmaları oldukça önemlidir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması, heyelan oluşumuna duyarlı sahaların belirlenmesine yarayacak altlık çalışmalarından biridir. Bu haritalar karar verici mercilerin kentsel planlamalar, mühendislik yapıları, alt ve üst yapı projeleri gibi birçok yapı tahsisinde yardımcı olurken; gerekli önlemlerin alınabileceği planlamalar için de altlık görevi görürler. Ayrıca heyelan tehlikesi olmayan atıl haldeki bölgelerin tespiti, bu alanların yerleşim ve tarım alanlarına açılmasını sağlayarak, oluşabilecek ekonomik kayıpların önüne geçmesine olanak verir.

Türkiye’de heyelan riskinin en çok görüldüğü bölge Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi’dir. Trabzon ise bu riskin en çok olduğu illerden biridir. Afet işleri genel müdürlüğü 1958-2000 yılı kayıtları incelendiğinde, bu yıllar arasında Trabzon da 272 heyelan olayının gerçekleştiği ve bu doğal afetlerde 16.500 insanın mağdur olduğu görülmüştür (Ergünay, 2007). Trabzon ili ve çevre bölgesindeki heyelan tehlikesinin temel nedenleri, coğrafi yapı, iklim koşulları ve toprak türüdür. Bölgenin zemin yapısının büyük bir kısmını kaplayan killi katman, yoğun yağış ile birlikte doygunluğa ulaşır, buna bağlı olarak yamaçta bulunan materyalin dengesi bozularak heyelana sebep oluşturan koşullar ortaya çıkar.

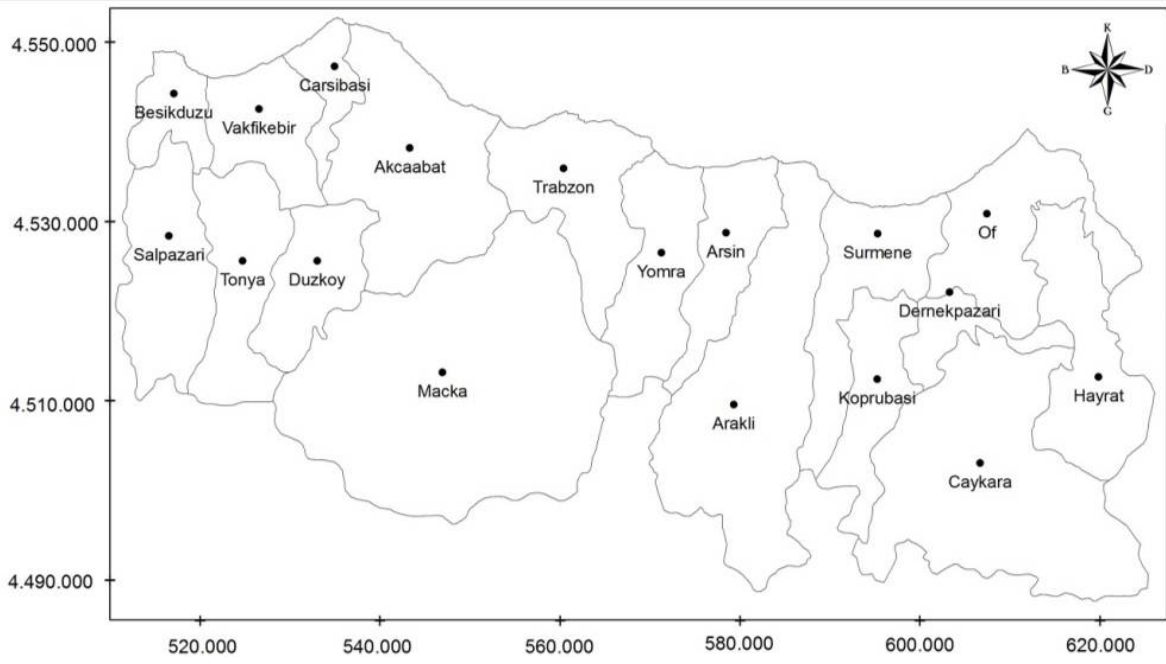
Heyelan değerlendirilmesi, heyelana sebep olan faktörlerin analiz edilmesi ve sorgulanması sürecidir. Bu çalışma kapsamında heyelana duyarlı alanların belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yönteminden faydalanılmıştır. CBS ile ÇKKA metodunun birlikte kullanılması, konumsal verilere ilişkin karar verme sürecinde oluşan problemlerin çözümünde birden fazla alternatife imkan tanırken; birbirinden farklı özelliğe sahip ve bağımsız kriterleri bir arada değerlendirme imkanı da sağlamaktadır. Ayrıca farklı ilgi alanlarına sahip birçok kişinin (karar vericiler, yöneticiler, toprak sahipleri) değerlendirme sürecine katkı sağlamasına olanak tanır (Malcewski, 1999). Bu nedenle, birçok konumsal sorunlara ilişkin problemlerin çözümlenmesinde, verilecek kararların konumsal değerlendirmelerle güçlendirilmesi amacıyla CBS tabanlı çok kriterli karar analizlerine (CBS-ÇKKA) başvurulur (Ayalew et al., 2005, Reis vd., 2009, Boroushaki and Malcewski, 2008, Makropoulos and Butler, 2006). Ayrıca heyelan risk haritalarının üretilmesi için son yıllarda yeni bir çok metod önerilmiştir: Örneğin yapay sinir ağları metodu (Gómez and Kavzoglu, 2005), karar ağacı metodu (Yeon et al., 2010) ve bulanık mantık ile kalman filtre metodu (Gorsevski and Jankowski, 2010).

Heyelan duyarlılık haritasının CBS-ÇKKA yöntemi ile değerlendirilmesinde litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı ve yükseklik katmanları kullanılmıştır. Kullanılan katmanların çalışma içinde en uygun şekilde sıralanması, birbirleriyle karşılaştırılması ve birbirlerinden farklı olan bu kriter yargılarının kümelenendirilerek toplanması amacıyla karar kurallarından (Decision Rules) faydalanılmıştır. Bu çalışma kapsamında analitik hiyerarşi yöntemi ve ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme karar kuralları yöntemlerinden faydalanılarak çok kriterli karar verme analizi yapılmıştır. Bu iki teknik, faktörlerin uygun aralıkta standartlaştırmasına imkan verirken, kriter ağırlıklarının da görece önemliliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir en etkili yöntemlerdir (Drobne and Liseč, 2009). CBS-ÇKKA işlemi sonucunda Trabzon ilinin heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Ayrıca bölgeye ait önceden gerçekleşen heyelan sahalarını gösteren heyelan envanteri ile üretilen risk haritaları karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Trabzon ili 38° 31' ve 40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' ve 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Trabzon ilinin toplam yüz ölçümü 4.664 km² olup kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize ve batısında Giresun bulunmaktadır. İlin genel coğrafi yapısı dar bir sahil şeridinin ardından denize dikey uzanan dağlık bir arazi şeklindedir. Trabzon ili kuzeyinde kutbi hava kütleleriyle, güneyinde tropikal hava kütlelerinin geçiş sahası üzerinde yer alır. Dağların kıyıdağlıktan itibaren yükselmeye başladığı bölgede en çok yağışı kıyı kesimleri alır ve hemen her mevsim yağış görülmektedir. Trabzon ilinin ortalama metrekareye düşen yağış miktarı 830 milimetredir.

Trabzon ilinin jeomorfolojisi tabaka katmanları alttan üste doğru kretase yaşlı, volkanik seriler, konglomera, kumtaşı, marn ve killi kuarterner yaylı taraça dolgular ve kıyı alüvyonları şeklindedir. Çalışma bölgesindeki zemin yapısının su doygunluğu yüksek killi formasyonlardan oluşması ve yıl içinde yüksek yağış alması, bölgenin heyelan riskini artıran önemli etkenlerdir. Ayrıca bölgenin kıyıdağlıktan itibaren sarp yüksekliklerden oluşan topolojik yapısı heyelan riskini tüm bölge üzerinde arttıran başlıca diğer bir husustur.



Şekil 1. Çalışma Alanı: Trabzon ili

3. METOTLAR

Çok kriterli karar verme analizi, karar problemlerinin çözümünde bir dizi alternatif çözümlemesi ile uyumsuz verilerden ve bu verilere sahip zıt kriterlerden yararlanılması işlemidir (Malczewski, 1999). Bu analizlerin çözümünde en çok tercih edilen yöntemlerin başında Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) ve Sıralandırılmış Ağırlıklı Ortalama (SAO) yöntemleri gelmektedir (Ayalew et al. 2004, Zhao et al., 2008, Malczewski et al., 2003). Çalışma kapsamında AHY ile uyumlu olarak geliştirilen ADB yöntemi kullanılmıştır. AHY sadece alternatiflerin önemlilik derecelerine göre sıralanmasında değil ayrıca kompleks karar verme problemlerinin analizinde ve çözümlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu metot ile analiz işlemleri yapılırken tüm kriterleri, fonksiyonları ve nesnelere içerecek şekilde hiyerarşik bir çatı altında çalışılır (Yager and Kelman, 1999).

Analitik hiyerarşi yönteminde, belirsizlik koşulları altında çok sayıda alternatif birbirleri ile karşılaştırılarak seçilebilirken aynı zamanda analiz sürecinde karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak çok kriterli karar işlemi gerçekleştirilebilir. Bu yöntem ile alternatif setlerin puanlama (sıralandırma) işlemi kriterlerin normalleştirilmesiyle yapılır (Borouhaki and Malczewski, 2008). Kriterlerin normalleştirilmesi işlemi ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme yönteminden faydalanılır.

Karar verme süreci içinde AHY kapsamında uygulanan bir diğer aşama ikili karşılaştırma metodudur. İkili karşılaştırma yöntemi 1970'lerde AHY metodunu öne süren Thomas Saaty tarafından kriter ağırlıklarının hesaplanması için geliştirilmiştir. Kriter ağırlıklarının hesaplanması, kriterlerin birbirleriyle olan görece önemliliklerinin belirlenmesine yarayan teorik bir yaklaşımdır. Yöntem içinde ağırlıklar, doğrudan atama ile değil; olası tüm kriter çiftlerinin karşılaştırılması ile öz vektörlerden üretilmiş "en uygun" ağırlık kümesinin oluşturulması ile elde edilir (Saaty, 1994). Bu tekniğin avantajı, görece önemliliklerin yardımcı kaynaklardan, regresyon çıktılarından ve uzman kişi ve kişilerden faydalanılarak elde edilmesine olanak tanınmasıdır.

İkili karşılaştırma yönteminde kriter çiftlerinin (K_1 ve K_2) karşılaştırılmasında iki soru sorulur: (1) Hangi kriter daha önemlidir (K_1 veya K_2)? (2) Önemli olan kriterin kendinden daha az önemli olan kritere göre önem derecesi ne kadardır? Bu sorunun cevabı "yaklaşık aynı" veya "çok daha önemli" yahut 1-9 aralığındaki (Tablo 1) değere göre önemliliğinin belirlenmesi ile verilir. Bu iki sorunun cevabının üretilmesi için i kadar satır ve j kadar kolona sahip A kare matrisi kullanılır. A matrisinde her faktör eşit öneme sahip olduğu için aynı faktörlerin karşılaştırılmasında kare matrisin çaprazı 1 değerlerini alır. Eğer K_i (satır elemanı) ve K_j (sütun elemanı) eşit önemlilikte ise a_{ij} (A matrisi içerisindeki satır i ve sütun j 'nin keşimi) 1'e eşit olur. Eğer K_i faktörü K_j faktöründen daha önemli ise,

a_{ij} değeri 1’den büyük olacak tam tersi durumda ise küçük olacaktır. A matrisinin görünümü aşağıdaki gibidir (Nyerges and Jankowski, 2010).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & & & \\ a_{12} & & & & \\ \dots & & 1 & & \\ \dots & & & & 1 \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

A kare ve karşılaştırma matrisi içinde a_{ij} değerleri temel olarak 1-9 kadar derecelendirilmiş değerlerden oluşmaktadır. Bu değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. İkili karşılaştırma ölçeği

Değer	Tanımlama
1	eşit önemlilikte
2	biraz daha önemli
3	zayıf daha fazla önemli
4	zayıf orta derecede önemli
5	orta derece önemli
6	orta kuvvetli derecede önemli
7	çok kuvvetli derecede önemli
8	çok fazla derecede önemli
9	son derecede önemli

Karşılaştırma matrisinin elde edilmesinde sonraki işlem, her bir matris öğeleri için oluşturulan tercihlerin özetlenmiş görece önemliliklerinden kriter ağırlıklarının belirlenmesidir. Kriter ağırlıklarının elde edilmesinde izlenen aşamalar şunlardır: I) İkili karşılaştırma matrisi sütunundaki her bir eleman toplanır, II) her bir eleman toplam değere bölünür, III) her satır elemanı için normalleştirilmiş ortalama değerler hesap edilir (Borouhaki and Malczewski, 2008).

Karşılaştırma matrisinin çok yönlü değerlendirmeye imkan vermesi, görece önemliliğe sahip kriterlerin belirlenmesine olanak sağlarken, oranlamaların geliştirilmesinde tutarlılık derecelerinin belirlenmesini de mümkün kılar (Saaty, 1977). Tutarlılık oranı rastgele oluşturulan matris derecelendirmesindeki olabilirliği tanımlar. Saaty tarafından önerilen maksimum tutarlılık oranı 0.10’dur. Bu oranın üstünde bir değer elde edilirse, değerlendirme tekrar yapılmalıdır. Böyle durumlarda tutarlılık oranı yargılarının tekrar gözden geçirilmesi gerekebilir. Bu işlemin başarısız olması durumunda, problemin daha doğru bir biçimde tekrar kurulması ve sürecin yeniden ele alınması gereklidir (Drobne and Lisec, 2009). Tutarlılık oranı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

RI rastgele indeks değeri, CI ise tutarlılık ayırma ölçütü sağlayan tutarlılık indeks değerleridir. CI değeri şu şekilde elde edilir;

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3)$$

Burada λ tutarlılık vektör ortalaması ve n ise kriter sayısıdır.

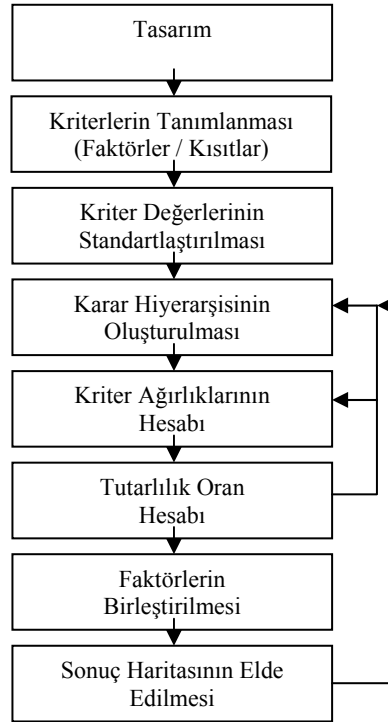
AHY ile ikili karşılaştırma matrisi elemanlarının elde edilmesi ve faktör ağırlıklarının bulunmasından sonraki aşama, kriterlerin birbirleriyle birleştirilmesi ve sonuç haritasının üretilmesidir. Bu aşamada ağırlıklı doğrusal birleştirme (ADB) metodu kullanılır. Bu metodu kullanılmadaki amaç, her bir faktörün sahip olduğu öznel değerlerinin normalleştirilmesi ve normalleştirilmiş her bir kriterin

birbirleri ile toplanarak uygunluk endeksinin oluşturulmasıdır. Her bir alternatifin normalleştirilmiş toplam puanı, o alternatifin değeri ile kendisine atanmış önemlilik puanının çarpımıyla ve sonra bu tüm sonuçların toplamıyla elde edilir. Puan tüm alternatifler için hesaplanır ve en yüksek puana sahip olan alternatif seçilir. Aşağıdaki eşitlik uygunluk endeksinin oluşturulmasını göstermektedir. Eşitlikte m karar seçeneğini ve n ise kriter sayısını göstermektedir.

$$e_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Sonuç olarak CBS tabanlı AHY ve ADB metodun birleşimiyle oluşturulan çok kriterli karar verme analizi aşağıdaki adımlardan meydana gelir (Şekil 2) (Malczewski, 1999).

1. Harita katmanları (değerlendirme kriterlerinin) ve uygun alternatif dizilerin belirlenmesi,
2. Her harita katmanının standartlaştırılması,
3. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve ağırlıkların (görece önemlilikler) mevcut kriter haritaları ile doğrudan değerlendirilmesi,
4. Ağırlıklandırılan harita katmanlarının standartlaştırma işlemi ve standartlaştırılmış harita katmanlarına karşılık gelen ağırlıklar ile çarpımı,
5. Standartlaştırılmış ağırlıklı harita katmanlarının üzerine ekleme operatörlerini kullanarak her alternatif için genel değerlendirme puanının elde edilmesi,
6. Performans sonuç değerlerine göre alternatiflerin sıralandırılması; sıralanmış alternatiflerden en yüksek puanı alan alternatifin en iyi olan alternatif şeklinde seçimi.



Şekil 2. AHY ve ADB yöntemleri için akış diyagramı

4. HEYELAN ANALİZ FAKTÖRLERİ

ÇKKA işlemlerinde en önemli noktalardan biri belirlenen kriterlerin/faktörlerin karar analizi işlemi için uygun şekilde seçilmesidir. Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için eğim, litoloji, yükseklik, arazi örtüsü ve bakı faktörleri belirlenmiştir. Analiz sonucunda oluşan heyelana duyarlı alanların doğruluğunun saptanması amacıyla mevcut heyelan envanteri haritasından faydalanılmıştır. Heyelan envanter haritasına ait veriler heyelanın meydana gelmesinden sonra bölgeden elde edilen verilerden oluşmaktadır. Bu durum mevcut heyelan bölgelerinden toplanan verilerin yanında heyelan oluşumuna neden olmayan verilerin de analize dahil olmasına neden

olmaktadır. Bu sorun göz önünde bulundurularak heyelan envanteri haritasından kararı etkileyebilecek veriler (yollar, göl ve göletler, su kenarları vb.) temizlenerek envanter haritası güncellenmiştir.

4.1. Eğim

Eğim verisinin elde edilmesi amacıyla öncelikle bölgeye ait 5m aralıklı eş yükseklik eğrilerine sahip topografik haritadan, ARCGIS 9.3 yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerinde elde edilen eğim haritasının en düşük eğim derecesi 0 ve en yüksek eğim derecesi 86°'dir. Oluşturulan eğim haritası risk alanlarının tespiti ve analizi için 8 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3a).

4.2. Litoloji

Trabzon ilinin 10m çözünürlüğe sahip litoloji haritası bu çalışma için temin edilmiştir. Bu haritada 18 ayrı zemin yapısına dair öznelik bulunmaktadır. Bölgede baskın olarak 4 tip zemin yapısı mevcuttur. Toprak formasyonları alansal kapsam olarak değerlendirildiğinde %19 Eosen ve Volkanik Fasiyen, %17 bazalt andezi, lav ve pir, %16 bazalt ve lav, %16 kaçkar granitidir. Bu dört toprak türü bölgenin %68'lik kısmını kaplarken diğer %32'lik kısmı lias, Kaçkar graniti ve riyolit, dasitik lav ve pirden oluşmaktadır.

4.3. Arazi Örtüsü

Çalışma bölgesine ait arazi örtüsü katmanı için 2001 ve 2002 yıllarına ait LANDSAT ETM+ uydu görüntüleri kullanılarak tematik harita üretilmiştir. Tematik harita 8 sınıf içermektedir (mera, geniş yapraklı ağaç, fındık alanları, tarım alanları, kozalaklı ağaçlar, taşlık alanlar, yeşil çay ve yerleşim alanları). Bölgenin arazi örtüsünü gösteren veriler heyelan duyarlılığı tespitinde eğim ve litoloji verisi kadar önem arz etmektedir. Arazi örtüsü içerisindeki bitki türü ve ekilen tarım ürünlerinin, topraktaki ayrışma düzeyine ve heyelan duyarlılığına olan etkisine bakılmıştır.

4.4. Yükseklik

Yükseklik faktörü, heyelan riski üzerindeki etkisi tam olarak kesinlik kazanmamış, araştırmaya açık bir konudur. Bununla birlikte bazı çalışmalarda yüksekliğin farklı aralıklarda heyelan duyarlılığına etki eden bir faktör olduğu ifade edilmektedir (Dai and Lee, 2002). Ayrıca yüksekliğin biyolojik etmenlere ve doğal-yapay unsurlara etki ettiği bilinmektedir. Bu nedenle yükseklik faktörünün şev durağanlığına ve şev kırılmalarına yol açabilecek etkileri olduğu söylenebilir (Vivas, 1992). Çalışmada bölgenin sayısal yükseklik modelinden 0-3385m aralığında 7 eşit zona bölünerek yükseklik haritası oluşturulmuştur.

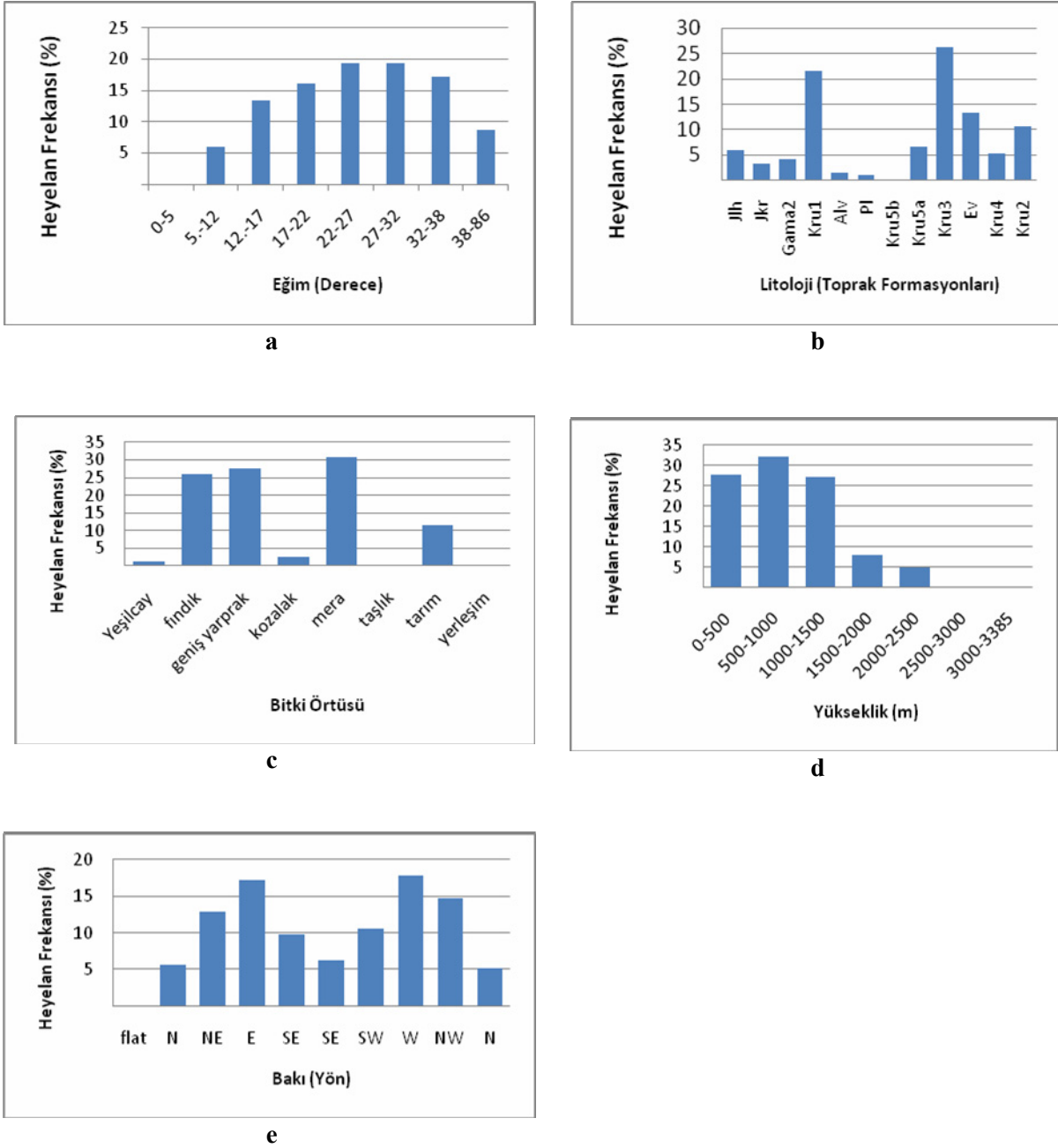
4.5. Bakı

Bakı yönü, topraktaki nem tutma oranı ve arazi örtüsü gelişimi gibi etkilere neden olduğu için toprak dayanımı ve heyelan duyarlılığı üzerinde etki oluşturur (Dai and Lee, 2001). Topolojik durumun yağış miktarı, rüzgar etkisi, güneş ışığına maruz kalma durumu, nemlilik, arazi örtüsü gelişimi gibi bir çok faktörde etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle çalışmada -1 ve 360 derece aralığında 10 sınıfı kapsayacak şekilde bakı haritası oluşturulmuştur (Şekil 3e). Oluşturulan haritada -1° kısım düzlük bölgeleri (deniz, göl, vs), 0°-360° aralığı ise 22,5°'lik aralıklarda 9 coğrafi yönü (Kuzey, Kuzey Doğu, Doğu vb) kapsamaktadır.

5. FAKTÖR ANALİZLERİ

Sayısal CBS veritabanında çok kriterli karar analizinin geliştirmesindeki ilk adım faktörlerin/kriterlerin özneliklerinin standartlaştırmasıdır. Mevcut verilerdeki her kriter kendi öznelik değerlerine sahiptir ve diğer kriter değerleri ile farklı ve uyumsuz yapıdadırlar. Bu nedenle karar kuralları (AHP ve ADB) ile faktörlerin toplanması işlemlerinde önce normalleştirilme işlemlerinin yapılması gereklidir. Aşağıda verilen şekillerde çalışmada kullanılan her bir faktörün heyelan envanter haritasından faydalanılarak oluşturulmuş frekans değerleri gösterilmiştir (Şekil 3). Böylelikle hangi faktörün hangi aralıkta heyelan durumuna ne kadar duyarlı olduğu görülmektedir. Elde edilen değerler ışığında faktörlerin sahip oldukları öz değerleri 0-255 değer aralığında puanlanarak normalleştirilmiştir. Örneğin eğim kriteri için 0°-5° aralığına 0 puan, 5°-12° aralığına 50 puan ve 12°-17° aralığına ise 100 puan gibi değerler atanarak normalleştirme işlemi tüm kriterlere

uygulanmıştır. Ayrıca normalleştirme işleminde frekans değerlerinin yanında uzman görüşlerinden ve literatürlerden de (Ayalew et al., 2005, Akgun, 2007, Dai and Lee, 2002) faydalanılmıştır.

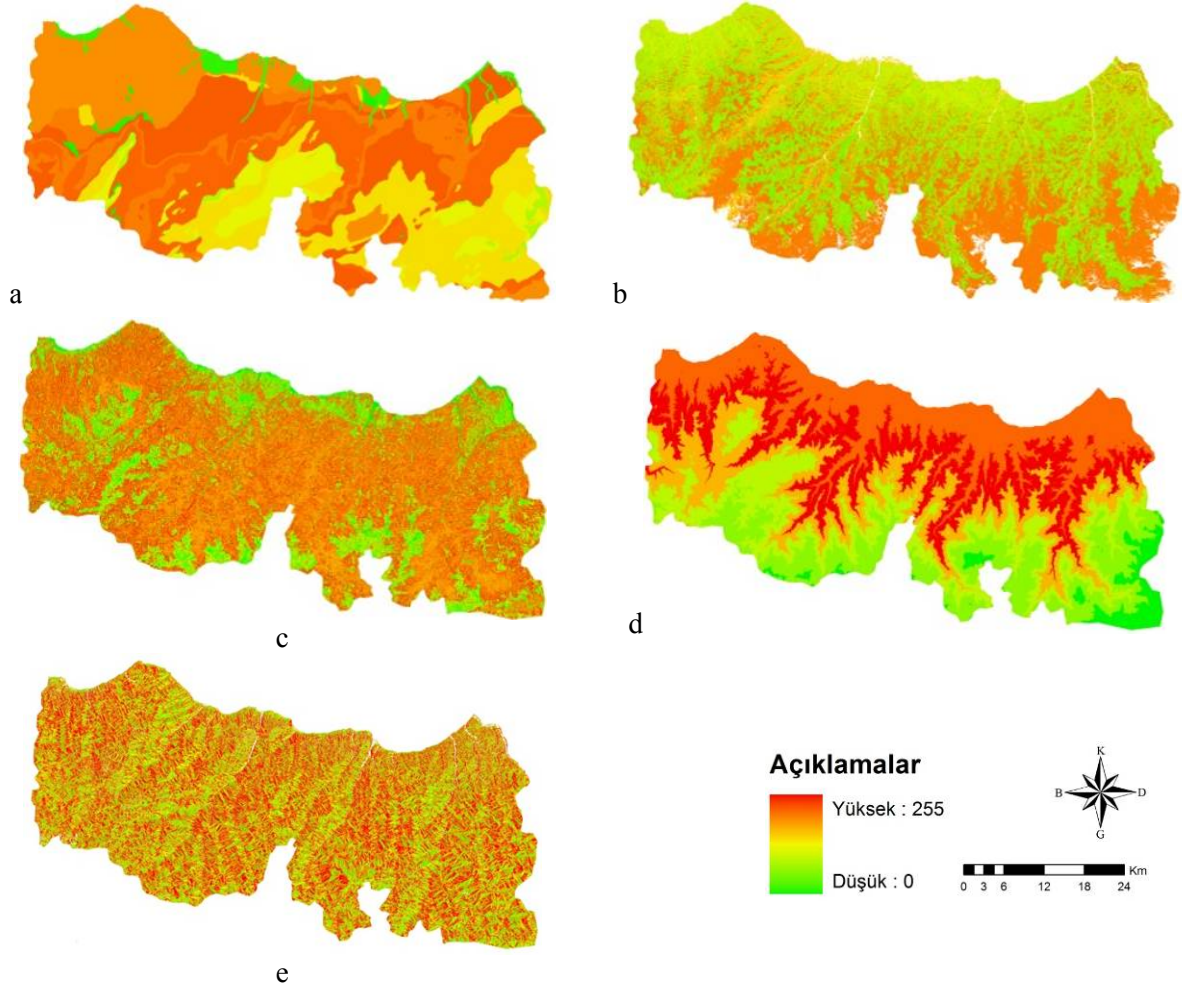


Şekil 3. Heyelan alanları ile kriter katmanlarının frekans parametreleri

Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, kullanılacak faktörlerin öz değerlerinin hangi aralıklarda analize etkisi olduğu tespit edilmelidir. Bu nedenle çalışma kapsamında mevcut heyelan envanteri haritası kullanılarak her bir faktör için heyelan bölgelerine düşen frekans değerleri hesaplanmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere tüm faktörlerin frekans değerleri incelenerek yüzdesel olarak verilmiştir. Şekil 1a'da eğim faktörü incelenmiştir ve araziye ait 0-86 derecelik eğim aralığında en yüksek 22-27 ve 27-32 derecelik aralıklarda heyelan riskinin olduğu görülmüştür. 0-5 ve 38-86 aralıklarında ise heyelan olaylarının görülmediği veya çok daha az görüldüğü tespit edilmiştir. Böylelikle eldeki değerlere bakarak heyelan riskinin en çok 22 ve 32 derecelik eğim aralığında olduğunu görülmektedir. Şekil 1b'de incelenen litoloji faktörünün Kru1 ve Kru3 formasyonlarında heyelan frekansının en yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 1c'de ise geniş yaprak ve mera alanlarının heyelan riski için en yüksek alanlar olduğu görülmektedir. Diğer bir faktör olan yükseklik değişkenine (Şekil 1d) bakıldığında ise 0-1500m aralığının heyelan riski bakımından yüksek frekans

değerlerine sahip olduğu görülürken, 2500m yükseklikten sonra heyelan riskinin yaşanmadığı gözlenmektedir. En son olarak Şekil 1e’de baki verisinin heyelan frekans değerlerini incelediğimizde doğu ve batı yamaçlarının heyelan riskine en çok duyarlı olan yönler olduğu saptanmıştır.

Heyelan envanteri haritasından faydalanılarak oluşturulan heyelan frekansı değerlerinden sonra, uzman görüşleri ve literatürlerden elde edilen bilgiler ışığında faktörlerin standartlaştırma işlemine geçilmiştir. Her faktör en düşük değer 0 ve en yüksek değer 255 olacak şekilde bu aralıkta normalleştirilmiştir. Faktörlerin normalleştirilmesi sonrası oluşan katmanlar Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Normalleştirme işlemi sonrası oluşan veri katmanları
(a) Litoloji, (b) Eğim, (c) Arazi Örtüsü, (d) Yükseklik, (e) Baki

Faktörlerin normalleştirilmesi sonrası her bir faktörün birbirlerine olan göreceli önemini tespiti amacıyla ikili karşılaştırma metodu uygulanmıştır. Metotta kullanılan kıyaslama değerleri karar vericiler tarafından seçilmektedir. Çalışma kapsamında bu değerlerin belirlenmesinde ayrıca literatürden ve uzman görüşlerinden (Jeoloji Mühendisleri, çalışma bölgesine ait bilgiye sahip kişiler vb.) faydalanılmıştır. Karşılaştırma matrisi sonrası her bir kriterin ağırlığı hesaplanarak gösterilmiştir (Şekil 3). Elde edilen sonuçlardan sonra en yüksek ağırlığa sahip kriterler sırasıyla litoloji, eğim, arazi örtüsü, baki ve yükseklik olarak belirlenmiştir. Tutarlılık oranı ise 0.08 olarak bulunmuştur. Bu oran en yüksek değer olarak kabul edilen 0.10’nun altındadır (Saaty, 1977). Böylece ikili karşılaştırma metodunun tekrarına gerek kalmamıştır. Elde edilen sonuçlardan sonra ADB metodu kullanılarak tüm kriterler toplanıp heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 4).

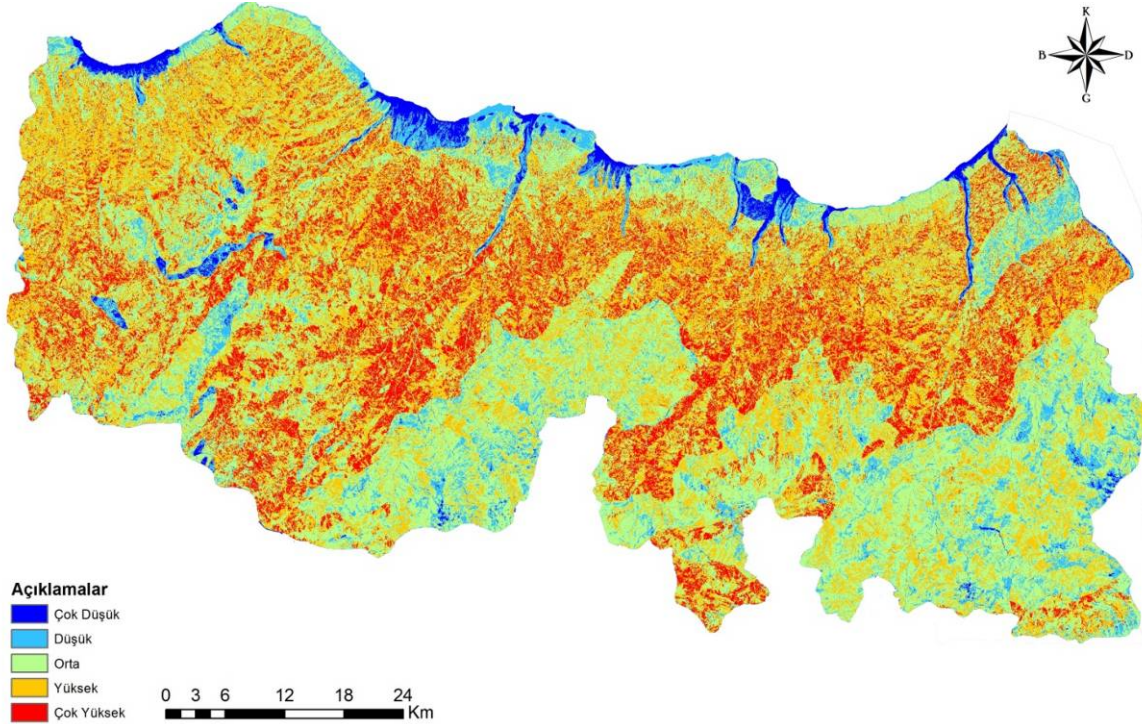
6. SONUÇ

Konumsal karar verme problemlerinde CBS’nin kullanımı problemlerin çözümünde pek çok alternatifin sürece dahil edilmesine ve böylelikle farklı stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada da heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla CBS ile bütünlük çok kriterli karar verme analizi uygulanmıştır. ÇKKA işlemi için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) metodlarından faydalanılmıştır. Bu iki yöntemin bir arada kullanılması ile Trabzon iline ait 5 kriterin standartlaştırılması, ağırlıklandırılması ve tüm katmanların birleştirilmesi sonucu heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Elde edilen heyelan duyarlılık haritasındaki olası risk alanları ile heyelan envanteri haritasındaki mevcut heyelan alanları karşılaştırılarak duyarlılık doğruluğu derecesi tespit edilmiştir.

Tablo 2. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları

	Litoloji	Eğim	Arazi Örtüsü	Bakı	Yükseklik	Ağırlıklar
Litoloji	1					0.3752
Eğim	0.333	1				0.2400
Arazi Örtüsü	0.50	0.50	1			0.2216
Bakı	0.333	0.333	0.20	1		0.0898
Yükseklik	0.333	0.333	0.333	0.50	1	0.0734
CR: 0.08					Toplam:	1



Şekil 5. Çok kriterli karar analizi sonrası oluşan heyelan duyarlılık haritası

Yapılan analizler sonucunda çok düşük heyelan duyarlılığı %0.36, düşük duyarlılık % 3.95, orta duyarlılık %18.66, yüksek duyarlılık %42.68 ve çok yüksek duyarlılık %34.35 oranında bulunmuştur. Sonuç olarak çok yüksek ve yüksek duyarlılık dereceleri toplamında %77.33 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Ayrıca yakın zamanda yaşanmış heyelan olayları da incelenmiş, heyelan tehlikesinin yaşandığı bölgeler ile üretilen harita karşılaştırılmıştır. Örnek vermek gerekirse 21 Kasım 2009 yılında Düzköy ilçesi Çiğdemli köyünde, 07 Haziran 2010 yılında Tonya Karaağaç'ta, 10 Şubat 2007'de Vakfıkebir ilçesi Ballıköy mevkinde ve son olarak 15 Temmuz 2010 yılında Of Çaykara-Uzungöl yolu üzerinde heyelanlar meydana gelmiştir. Bu heyelan alanlarının üretilen haritada çok yüksek risk alanlarında olduğu görülmektedir. Ayrıca Of'a bağlı Esenköy, Sarıbey, Yemişalan, Sefaköy, Ağaçaş, Fındıkoba, Çukurova, Uluğağaç, Pınaraltı, Aşağı Kışlacık köylerinde de muhtelif heyelan olayları yaşanmıştır. Bu bölgeler de üretilen Heyelan duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek risk alanları içersine girmektedir (Şekil 5). Yapılan çalışma ile elde

edilen sonuçlar doğrultusunda coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çok kriterli karar analizi yönteminin risk haritalarının hazırlanmasında oldukça güçlü bir yöntem olduğu söylenebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N.**, 2004, Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan, *Landslides*, 1(1), 73-81.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T.**, 2005, Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, *Engineering Geology*, 81(4), 432-445.
- Borouhaki, S., Malczewski, J.**, 2008, Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS, *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.
- Dai, F.C., Lee, C.F.**, 2002, Landslide characteristics and, slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228.
- Drobne, S., Lisec, A.**, 2009, Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging, *Informatica (Slovenia)*, 33(4), 459-474.
- Gorsevski, P. V. and Jankowski P.**, 2010, An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets and Kalman filter, *Computers & Geosciences*, 36(8), 1005-1020.
- Gómez, H., Kavzoglu, T.**, 2005, Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, *Engineering Geology*, 78, 11-27.
- Ergünay, O.**, 2007, Türkiye'nin Afet Profili, *TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Kongre ve Kültür Merkezi*, 2-14, Ankara.
- Makropoulos, C. K., Butler, D.**, 2006, Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making, *Environmental Modelling & Software*, 21(1), 69-84.
- Malczewski J.**, 1999, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, (John Wiley and Sons, Toronto).
- Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D., Healy, M.A.**, 2003, GIS - multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies, *Environment and Planning, A* 35(10): 1769-1784.
- Nyerges, T.L., Jankowski, P.**, 2010, *Regional and Urban GIS*, The Guilford Press, New York, London.
- Reis, S., Yalçın, Atasoy, A., Nisançı, M., Bayrak, M., Sancar, T., Ekercin, S.C.**, 2009, CBS ve Uzaktan Algılama ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu (TUFUAB)*, 4-6 Şubat, Ankara
- Saaty, T.L.**, 1977, A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical psychology*, 15, 231-281.
- Saaty, T.L.**, 1994, How to Make a Decision:The Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, November-December, 19-43.
- Öztürk, K.**, 2002, Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 35-50.
- Vivas, L.**, 1992, Los Andes Venezolanos, *Academia Nacional de la Historia*, Caracas.
- Yager, R.R., Kelman, A.**, 1999, An extension of the Analytical Hierarchy Process using OWA operators, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Applications in Engineering and Technology*, 7 (4), v.401-417.
- Yeon, Y.-K., Han, J.-G., Ryu, K.-H.**, 2010, Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree, *Engineering Geology*.
- Zhao, Q. S., Huang, Q.Y., Guo, J.M., Zhu, H.G.**, 2008, Integrated risk assessment of hazardous chemical installations using GIS and AHP, *2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 1-31, 10633-10637.