

CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ İLE HEYELANLARDAN ETKİLENECEK YOL GÜZERGAHLARININ TESPİTİ

E. K. Şahin *, T. Kavzoğlu

GYTE, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 41400 Gebze-Kocaeli
(e.sahin@gyte.edu.tr, kavzoglu@gyte.edu.tr)

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Çok Kriterli Karar Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Heyelan Duyarlılık Haritası, Karayolu

ÖZET:

Heyelan riski taşıyan alanların tespiti ve ortaya çıkaracağı olumsuz etkilerin giderilmesi farklı disiplinler tarafından üzerinde yoğun çalışılan bir konudur. Heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesinde yeryüzünün farklı karakteristiklerini gösteren veri katmanlarının bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada coğrafi bilgi sistemleri (CBS) söz konusu verilerin toplanması, işlenmesi ve analizine imkân veren bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğu Karadeniz bölgesinde sıkça yaşanan heyelan olayları ciddi can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Bu kayıpları en aza indirmek ve gerekli önlemleri alabilmek için potansiyel heyelan alanlarının yüksek doğrulukla tespiti büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, heyelan olaylarının sıkça yaşandığı Trabzon ili için potansiyel heyelan riski taşıyan alanlar belirlenerek, olası toprak kaymalarından zarar görebilecek ve kullanılamaz durumu gelebilecek yolların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak toplam 7 farklı katmanı/parametreyi (eğim, litoloji, bakı, arazi türü, yükseklik, topoğrafik ıslaklık indeksi, drenaj yoğunluğu) bir arada değerlendirmek için CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) kullanılmıştır. Kullanılan parametreler 0-255 aralığında normalleştirilmiştir. Parametrelerin göreceli önemlilikleri Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile belirlenerek kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. Ayrıca, verilerin birleştirilmesinde Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme metodundan faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler kendi içerisinde önemlilik derecelerine göre sıralandırılabilecek çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere 5 farklı dereceye ayrılarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Üretilen duyarlılık haritası yardımıyla muhtemel heyelanlarda zarar göreceği veya kullanılmaz hale gelebilecek yol güzergâhları tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde; ilgili kurumların (belediye, valilik, kara yolları vb.) önlem alması veya bu güzergâhlara alternatif güzergâhlar üretmesi gelecekteki can ve mal kayıplarını önemli ölçüde azaltacaktır.

1. GİRİŞ

Heyelanlar gerçekleştiği bölgelerde can ve maddi kayıplara yol açan büyük bir doğal affettir. Genel tanımı ile heyelan, yamaç dengesinin bozulması sonucu yer çekimin etkisiyle arazinin bir bölümünün yamaç eğilimi doğrultusunda hareket ederek şekil ve yer değiştirmesidir (Öztürk, 2002). İnsan hayatının güvenliği sağlamak ile birlikte bölge ve ülke ekonomisine yaratacağı olumsuz etkileri önlemek amacıyla olası heyelan alanlarının tespiti önemlidir. Bu nedenle heyelan alanlarının tespiti için heyelan duyarlılık haritaları üretilmektedir. Üretilen bu haritalar yaşanabilecek felaketler öncesinde gerekli tedbirlerin alınmasına olanak sağlayarak, karar vericilerin gerçekleştirecekleri uygulamalar için önemli bir altlık görevi üstlenmektedirler.

Heyelanın gerçekleştiği bölgelerde bulunan insan yapıları meydana gelen toprak hareketi nedeni ile büyük ya da küçük ölçeklerde etkilenmektedirler. Heyelanların etkiledikleri önemli insan yapılarından biri karayollarıdır. Karayollarının inşasında seçilen güzergâh ve mühendislik uygulamalarında ki tercihler meydana gelecek olası heyelanlardan sonra karayollarını belirli derecelerde etkilemektedir. Küçük ya da büyük çaplı heyelanların karayolunu kapsayan bir alanda meydana gelmesi can kayıplarına, karayolunda bozulmalara, ulaşım da aksamalara sebep olmaktadır.

Çalışmada Türkiye’de heyelan riskinin en çok görüldüğü doğu Karadeniz bölgesinin Trabzon ili ele alınarak, ildeki karayollarının olası heyelan riskinden ne derecelerde etkilendikleri araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile il genelindeki heyelan durumu gösterilmiş ve karayollarının olası

heyelanlarda hangi güzergâhta ve ne kadar alanda etkilenecekleri irdelenmiştir.

Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) metodundan faydalanılmıştır. Bu işlemin temelinde heyelana sebep olacak faktörlerin (kriterlerin) gerekli matematiksel fonksiyonlar ile düzenlenerek analiz edilmesi ve sorgulanmasıdır. CBS ile birlikte ÇKKA metodunun bir arada kullanımı konumsal verilere ilişkin karar verme sürecinde oluşan problemlerin çözülmesinde birden fazla alternatif ortaya koyarken, kullanılan kriterlerin bir arada farklı ve bağımsız olarak değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. CBS tabanlı ÇKKA metodu ayrıca farklı ilgi alanlarına sahip birçok karar vericilerin değerlendirme sürecine katılmasına da olanak tanır (Malczewski, 1999). Günümüzde risk analizlerinde, en uygun yer belirleme gibi konumsal problemlerin çözümü gerektiren uygulamalarda CBS tabanlı ÇKKA metodu yaygın olarak kullanılmaktadır (Anavberokhai, 2008, Ayalew et al., 2005, Boroushaki and Malczewski, 2008, Makropoulos and Butler, 2006, Phua and Minowa, 2005, Radiarta et al., 2008, Reis vd., 2009). Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında eğim, litoloji, bakı, yükseklik, arazi örtüsü, topoğrafik ıslaklık indeksi, drenaj yoğunluğu faktörlerinden faydalanılmıştır. Faktörlerin birbirleri ile toplanarak tek bir risk haritası üretilmesi için normalleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için tüm veriler 0–255 ölçeğinde standartlaştırılmıştır. Standartlaştırılan verilerin değerlendirilmesinde analitik hiyerarşi yönteminden (AHY) faydalanılarak her bir kriter birbirlerine oranla görece önemlilikleri atanmıştır. İki karşılaştırma yöntemi olarak adlandırılan bu işlemten sonra kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

* Sorumlu yazar, E-mail: e.sahin@gyte.edu.tr, Tel: +90.262.605.3159

Yapılan analizler sonucunda Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen harita üzerine bölgeye ait karayollarını etkileyecek heyelan bölgelerinin tespiti yapılmıştır. Heyelan riskinin en yüksek olduğu bölgeler tüm Trabzon ili için gösterilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Trabzon ilinin yaklaşık yüz ölçümü 4.664 km² olup kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize ve batısında Giresun bulunmaktadır. Trabzon ili 38° 31' ve 40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' ve 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Dağların kıydan itibaren yükselmeye başladığı bölgede en çok yağış kıyı kesimleri alır ve hemen her mevsim yağış görülmektedir. Trabzon ilinde ortalama metrekaresine düşen yağış miktarı 830 milimetredir.



Şekil 1. Çalışma alanı (Trabzon) il sınırları.

3. METOTLAR

Çok kriterli karar verme analizi, karar problemlerinin çözümünde bir dizi alternatif çözümlemesi ve bu alternatiflerin sahip olduğu uyumsuz veriler ile bu verilerin zıt kriterlerinden yararlanılması işlemidir (Malczewski, 1999). Çok kriterli karar analizin çözülmesinde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ve belirlenen kriterlerin görece önemliliklerinin atanması işlemin en önemli ayaklarını oluşturmaktadır. Kriterlerin birbirlerine göre değerlendirilmesi ve ağırlıklandırılması sürecinde Analitik Hiyerarşi Yönteminden (AHY) faydalanılmıştır. AHY karakteristik özelliği, alternatiflerin önemlilik derecelerine göre sıralanmasının yanında karmaşık karar verme problemlerinin analizinde ve çözümlemesinde kullanılmasıdır.

3.1 Analitik Hiyerarşi Yöntemi

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). Karar verme süreci içerisinde gerçekleştirilen uygulamalardan biri ikili karşılaştırma işlemidir. Thomas Saaty tarafından geliştirilen analitik

hiyerarşi yöntemi; kriter ağırlıklarının hesaplanması, kriterlerin birbirleriyle olan görece önemliliklerinin belirlenmesine yarar. Yöntem içinde ağırlıklar, doğrudan atama ile değil olası tüm kriter çiftlerinin karşılaştırılması ile öz vektörlerden üretilmiş “en uygun” ağırlık kümesinin oluşturulması ile edilir (Saaty, 1994). Bu yöntem sayesinde elde edilecek kriter ağırlıklarının önemlilik derecelerinin belirlenmesinde yardımcı kaynaklardan, uzman kişi ve kişilerden faydalanılabilir.

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 1'den küçük olacaktır. A matrisinin görünümü aşağıdaki gibidir (Nyerges and Jankowski, 2010).

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

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 çok yönlü değerlendirmeye imkân vermesi, görece önemliliğe sahip kriterlerin belirlenmesine olanak sağlarken, oranlamaların geliştirilmesinde tutarlılık derecelerinin belirlenmesini de mümkün kılar (Saaty, 1977). Tutarlılık oranı rastgele oluşturulan matris derecelendirmesindeki olasılığı 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.

3.2 Kriterlerin Normalleştirilmesi

Kriterlerin toplanmasından önceki işlem her bir kriterin normalleştirilmesi işlemidir. Çalışmada kullanılan kriterlerin normalleştirilmesine yardımcı olması ve işlem için ön bilgi sağlaması amacı ile her bir kriter heyelan envanteri haritası ile karşılaştırılarak frekans değerlerine bakılmıştır. Böylelikle hangi faktörlerin 0-255 aralığında ne kadar heyelan riskine duyarlı oldukları görülmektedir. Buradaki 0-255 aralığında 255'e yaklaştıkça yüksek duyarlılık, 0'a yaklaştıkça düşük duyarlılık sonucunu vermektedir.

3.3 Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme

AHY ile faktör ağırlıklarının bulunmasından sonra her bir kriter için standartlaştırma yapılmıştır. Standartlaştırma işleminden sonraki aşama, kriterlerin birbirleriyle birleştirilmesi (toplama) ve sonuç heyelan duyarlılık haritasının üretilmesidir. Bu aşamada ağırlıklı doğrusal birleştirme (ADB) metodu kullanılmaktadır. Bu metodu kullanmaktaki amaç, her bir faktörün sahip olduğu öznelilik değerlerinin normalleştirilmesinden sonra 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 vermektedir.

$$e_i = \sum_{j=1}^n w_j \square r_{ij} \quad i = 1, \dots, m \quad (5)$$

4. HEYELAN FAKTÖRLERİNİN ANALİZİ

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan faktörlerin/kriterlerin karar analizi işlemleri için uygun şekilde seçilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada 7 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler eğim, litoloji, arazi örtüsü, bakı, yükseklik, topoğrafik ıslaklık indeksi ve drenaj yoğunluğudur. Eğim, bakı, yükseklik, topoğrafik ıslaklık indeksi ve drenaj yoğunluğu haritaları sayısal yükseklik modelinden elde edilmiştir. Litoloji haritası 10m çözünürlükte ve 18 ayrı toprak yapısına dair öznelilik bulunmaktadır. Trabzon iline ait litoloji haritasına bakarak bölgede baskın 4 tip toprak yapısının olduğunu söylenebilir. Bu yapılar eosen ve volkanik fasiyen formasyonu, bazalt andezi, lav ve pir formasyonu, bazalt ve lav formasyonu ile kaçkar granitidir. Bu dört toprak türü %68 lik

kısmı kapsarken diğer %32'lik kısmı lias, Kaçkar graniti ve riyolit, dasitik lav ve pirden oluşmaktadır. Oluşturulan eğim haritasında en düşük eğim derecesi 0 ve en yüksek eğim derecesi 86'dır. Oluşturulan eğim haritası 8 farklı sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Arazi örtüsü haritasının oluşturulmasında 2001 yıllarına ait LANDSAT ETM+ uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Oluşturulan Tematik harita 8 sınıf içermektedir (mera, geniş yapraklı ağaç, fındık alanları, tarım alanları, kozalaklı ağaçlar, taşlık alanlar, yeşil çay ve yerleşim alanları). Topoğrafik ıslaklık indeksi (TII), yüzey akış modeline bağlı olarak üretilmektedir ve bir alanın bağlı nemliliğine bakarak ne kadar ıslak olduğunu gösterir. Eğime bağlı olarak yamaçlardaki su muhtevasının artma ihtimalinin ve dolayısıyla suya doygun, kaymaya karşı duyarlı hale gelen zeminlerin belirlenmesinde bir değerlendirme parametresi olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik nemlilik indeksinin özellikle heyelan duyarlılığı ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Gokceoglu et al., 2005, Gómez and Kavzoglu, 2005). Topoğrafik nemlilik indeksi, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

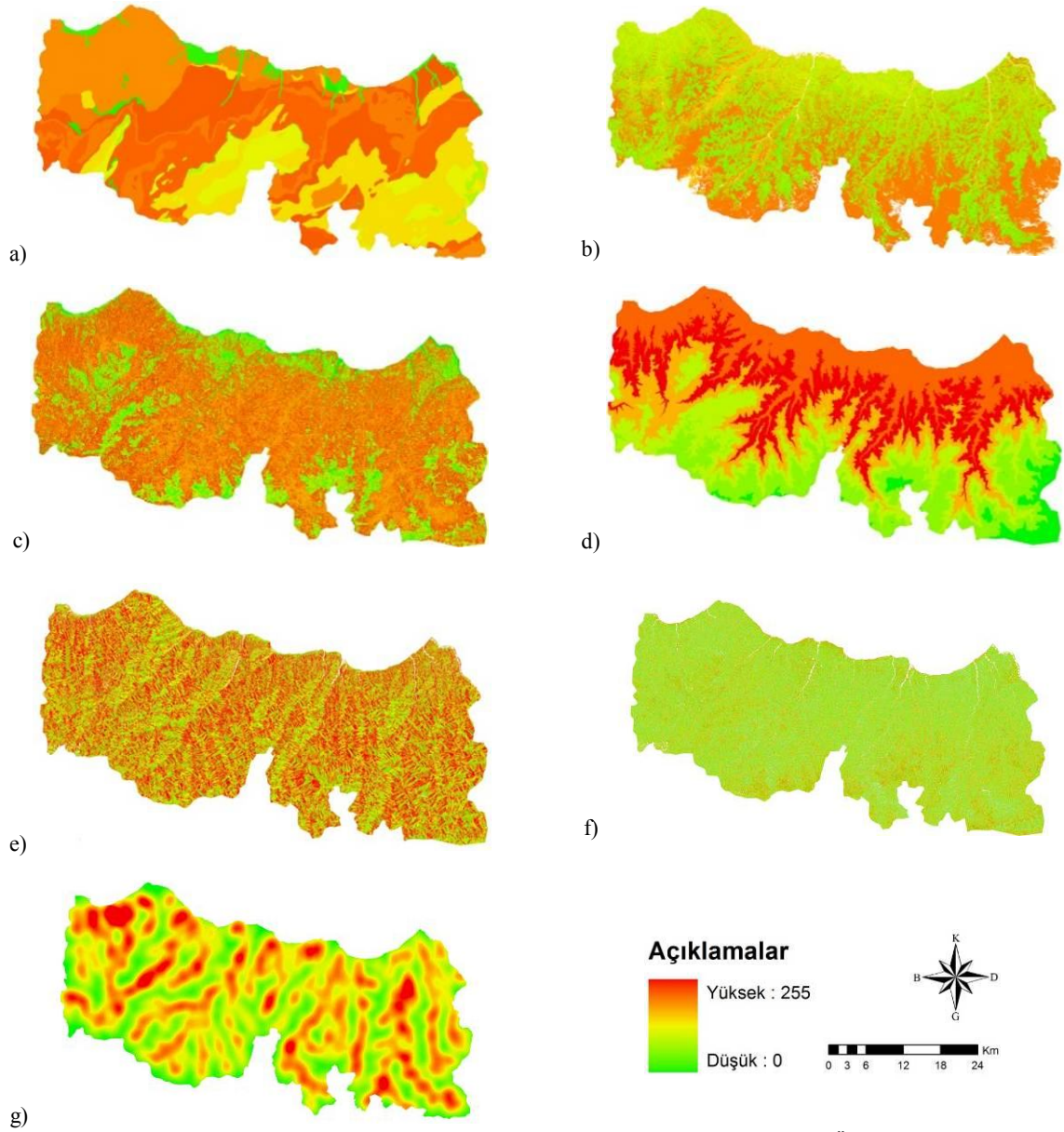
$$TWI = \ln(A_s / \tan \beta) \quad (6)$$

Eşitlikteki A_s değeri akış toplama modelinden elde edilen verileri (m^2/m), β ise derece olarak eğim değerini ifade etmektedir. Diğer bir hidroloji analizi ise drenaj yoğunluğu analizidir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu bölgeler düşük olan bölgelere oranla yamaç malzemelerinin stabilizesini olumsuz yönde etkileyerek heyelan duyarlılığına etkisi olan bir faktördür. Drenaj yoğunluğu, birim alana düşen akarsu uzunluğu olarak tanımlanmaktadır (Bayazit, 1982). Drenaj yoğunluğunun hesaplanmasında alt havza alanları ile birlikte toplam su yolları uzunluğuna ait bilgileri içeren drenaj ağları kullanılmaktadır. Drenaj yoğunluk hesabı aşağıda gösterilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$D_y = \sum L / A \quad (7)$$

Verilen eşitlikte D_y drenaj yoğunluğu, L akarsu uzunluğu, A ise havza alanını ifade etmektedir. Bakı yönü, topraktaki nem tutma oranı ve arazi örtüsü gelişimi gibi etkilere neden olmaktadır böylelikle toprak dayanımı ve heyelan duyarlılığı üzerinde bakımın etkisi olduğu söylenebilir (Dai and Lee, 2002). Bakı haritası çalışmada -1 ve 360 derece aralığında 10 sınıfı kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Haritadaki -1 derecelik kısım düz bölgeleri (deniz, göl, vs.), 0° -360° aralığı ise 22,5° 'lik aralıklarda 9 coğrafi yönü kapsamaktadır. 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 (örn. Dai and Lee, 2002).

Çalışmanın amacına uygun olan faktörlerin belirlenmesinden sonraki aşama kriterlerin normalleştirilmesidir. Çalışmada kriterlerin normalleştirilmesinden önce her bir kriter heyelan envanter haritasıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu her bir kriter için frekans değerleri elde edilmiştir. Bu frekans değerleri, normalleştirilmede işleminde yardımcı olmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Normalleştirme sonrası oluşan veri katmanları (a: Litoloji, b:Eğim, c: Arazi Örtüsü, d:,Yükseklik, e: Bakı , f: Topoğrafik Islaklık İndeksi, g: Drenaj Yoğunluğu)

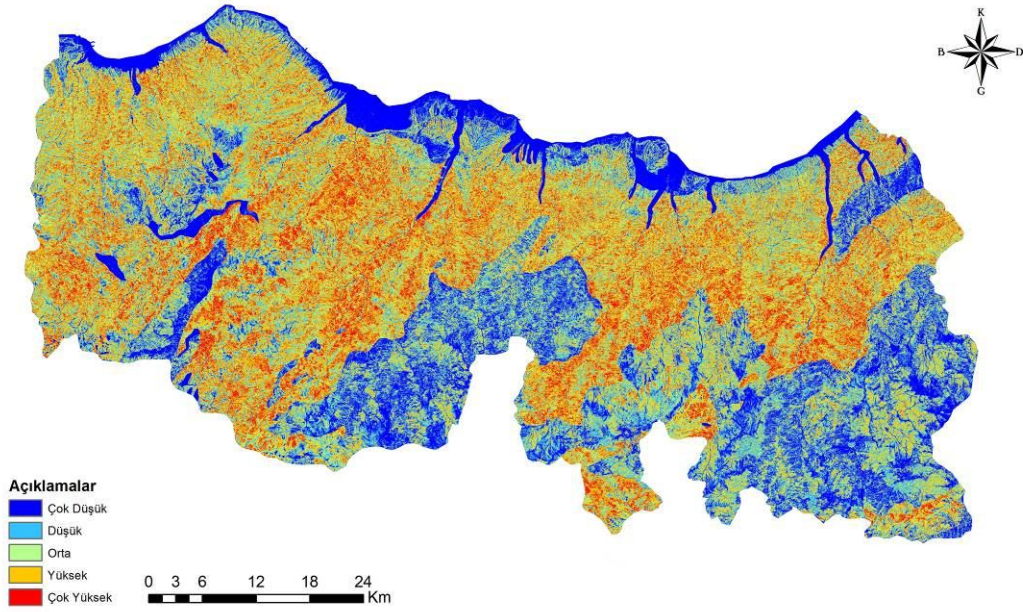
Her bir kriterin birbirlerine olan görece önemliliklerinin belirlenmesi için Tablo 2’de görüldüğü gibi ikili karşılaştırma metodu uygulanmıştır. Tablo 2 de verilen kriterlerin birbirlerine göre oranlanan kıyas değerleri karar vericilerin değerlendirmeleri sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu her bir kritere ait ağırlık değerleri

bulunarak, tutarlılık oranı incelenmiş ve 0.07 olarak tespit edilmiştir. Bu değer en yüksek değer kabul edilen 0.1’in altında çıktığı için tekrar ikili karşılaştırma yapılmamıştır. Elde edilen ağırlıklardan sonra ağırlıklı doğrusal birleştirme karar kuralı uygulanarak kriterler toplanmış ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 3).

Tablo 2. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıkları

	Eğim	Litoloji	T.I.I.	Drenaj Yoğunluğu	Arazi Örtüsü	Bakı	Yükseklik	Ağırlıklar
Eğim	1							0.2302
Litoloji	3	1						0.3521
T.I.I.*	0.33	0.50	1					0.0967
Drenaj Yoğunluğu	0.33	0.25	0.50	1				0.0784
Arazi Örtüsü	0.33	0.25	4	2	1			0.1508
Bakı	0.25	0.20	0.50	0.50	0.3333	1		0.0527
Yükseklik	0.20	0.17	0.50	0.3333	0.3333	0.50	1	0.0392

*Topoğrafik Islaklık İndeksi



Şekil 3. Heyelan duyarlılık haritası

Analiz sonucunda çok düşük heyelan duyarlılığı % 8,13, düşük duyarlılık %13,07, orta duyarlılık %18,68, yüksek duyarlılık 43,44 ve çok yüksek duyarlılık %16,66 oranında bulunmuştur. Çok yüksek ve yüksek duyarlılık derecelerinin toplamında %60,10 ve bu değere orta derece eklendiğinde %78,78 değerinde doğruluk sonuçlarına varılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi yönteminin risk haritalarının hazırlanmasında oldukça güçlü bir yöntem olduğu söylenebilmektedir.

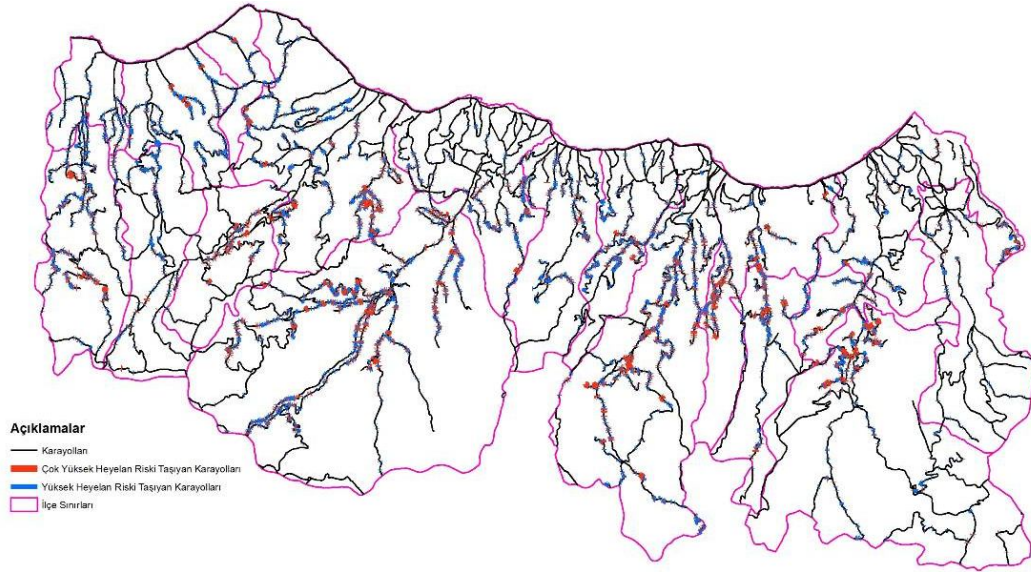
4.1 Olası Risk İçeren Karayolu Güzergâhının Tespiti

CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi metodu ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası sonrası Trabzon ilinde mevcut olan karayolları verisi kullanılarak olası heyelan olaylarının etkisi konumsal analizlerle tespiti yapılmıştır. Öncelikli olarak yapılan konumsal analiz ile mevcut karayolu verisinden 10 metrelik tampon bölge oluşturmuştur. Elde edilen tampon bölge 5 dereceye ayrılmış (Çok Riskli, Riskli, Orta Riskli, Az Riskli ve Çok Az Riskli) ve böylece risk sahaları belirlenmiştir. Daha sonra bu tampon bölge heyelan duyarlılık haritasından seçilip çıkarılmıştır. Çıkarılan karayolu güzergâhı içerisinde çok yüksek risk ve yüksek risk taşıyan alanların etkisinde bulunan karayolu güzergâhların tespitinin yapılabilmesi için söz konusu alanların dışındaki risk sahaları analiz dışında bırakılmıştır. Yapılan bir diğer konumsal analiz ise mevcut eğim verisini kullanarak sadece 30 dereceden yüksek alanların etkisinde olan ve olası heyelan riski taşıyan karayolu güzergâhının tespitidir (Sidle et al., 2010; Nettleton et al., 2005). Bu konumsal analiz sürecinde hem karayolunun en yüksek derecede etkilenecek sahalardan belirlenmesinde hem de karayolunun tek veya iki taraflı eğime sahip şevli alanlardan gelebilecek heyelan riskinin tespitine imkân tanınmış olacaktır. Yapılan CBS tabanlı ÇKKA sonucunda 2681,640 km²'lik karayolunun 115,71 km²'sin çok yüksek risk, 376,13 km²'si ise yüksek risk taşıyan heyelan sahaları üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Çok yüksek risk taşıyan

karayollarının 22,13km²'lik kısmı “İki Şeritli yol”, 89,24km²'si “Daimi araç yolu” ve 4,35km²'si “Tek Şerit” yollardır. Yüksek risk taşıyan karayollarının 67km²'lik kısmı “İki Şeritli yol”, 293,66 km²'si “Daimi araç yolu” ve 15,47 km²'si ise “Tek Şerit” yollar türüne girmektedir. Ayrıca Trabzon ilçelerindeki olası çok yüksek ve yüksek risk altındaki karayollarının ilçelere göre dağılımını hesap edilmiştir (Tablo 3). Sonuç olarak Trabzon ilindeki toplam karayolunun %18,34'lük kısmının çok yüksek ve yüksek derecede olası heyelan risk tehlikesiyle karşı karşıya olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 3. İlçelere göre olası heyelan riski altındaki karayollarının dağılımı

	Çok Yüksek Riskli Karayolları (km)	Yüksek Riskli Karayolları (km)
Akçaabat	12,43	40,59
Araklı	17,94	52,2
Arsin	4,18	19,02
Beşikdüzü	1,27	2,48
Çarşıbaşı	0,6	2,45
Çaykara	5,82	18,37
Dernekpazarı	4,74	12,19
Düzköy	4,65	7,17
Hayrat	1,39	6,48
Köprübaşı	7,49	20,57
Maçka	23,42	66,57
Of	3,45	13,58
Şalpazarı	7,57	25,1
Sürmene	7,32	18,5
Tonya	2,35	18,07
Trabzon	4,75	17,33
Vakfikebir	2,54	17,68
Yomra	3,78	17,79



Şekil 4. Trabzon İlinde olası en yüksek heyelan riskine maruz kalabilecek karayolları

5. SONUÇ

Çalışma kapsamında CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi metodu ile Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. ÇKKA ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun belirlenmesi amacıyla 169 adet farklı heyelan alanına sahip heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmış ve doğruluk analizi yapılmıştır. Böylelikle oluşturulan heyelan duyarlılık haritası %78,78 doğrulukla oluşturulduğu görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesinden sonra tüm ildeki karayollarının hangi sahalarda ne derecede etkilendiği belirlenmiştir. Analizler sonucunda bölgedeki karayollarının % 18,34 kısmına gelen 491,84 km'lik yolun olası çok yüksek ve yüksek riskli heyelan sahası içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Trabzon'un 18 ilçesindeki karayollarının olası heyelan riskine ne oranla maruz kaldığı analiz edilmiştir. Analizler sonucunda Maçka, Araklı ve Akçaabat ilçelerin olası heyelan riskinden en çok etkilenen ilçeler ve Hayrat, Beşikdüzü ile Çarşıbaşı ilçelerinin ise en az etkilenecek ilçeler olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışma, olası heyelan riskinden etkilenecek karayolu güzergâhlarının tespitine yardımcı olacaktır. Ayrıca yapılan analizler mevcut karayolları dışında alternatif yol güzergâhlarının belirlenmesine imkan tanıyarak yapılacak mühendislik çalışmalarına altlık olabilecektir.

KAYNAKLAR

Anavberokhai, I. O., 2008. Introducing GIS and Multi-criteria analysis in road path planning process in Nigeria A case study of Lokoja, Kogi State. Ph.D. Thesis, Univesity of Gavle.

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), pp. 432-445.

Bayazıt, M., 1982. Hidroloji, İTÜ kütüphanesi, Sayı: 1229, Üçüncü baskı, Teknik Üniversite matbaası, İstanbul.

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), pp. 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), pp. 213-228.

Drobne, S., Lisec, A., 2009. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. *Informatica (Slovenia)*, 33(4), pp. 459-474.

Eastman J.R., 2003. IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing. Clark Laboratories, Clark University, Worcester, pp. 328.

Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81, pp. 65-83.

Gómez, H., Kavzoglu, T., 2005. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78, pp. 11-27.

Malczewski J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, Toronto.

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), pp. 69-84.

Nettleton, M., Martin, S., Hencher, S., Moore, R., 2005. Scottish Road Network Landslides Study "Debris Flow Types And Mechanisms", The Scottish Executive. <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/55971/0015327.pdf> (accessed 01 Jan. 2011).

Nyerges, T.L., Jankowski, P., 2010. *Regional and Urban GIS*. The Guilford Press, New York, London.

Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (2), s.35-50.

Phua, M. H., Minowa, M., 2005. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4), pp. 207-222.

Radiarta, I.N., Saitoh S.I., Miyazono, A., 2008. GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, Southwestern Hokkaido, Japan. *Aquaculture*, 284(1-4), pp. 127-135.

Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C. ve Ekerin, S., 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.

Ross, T., 1995. *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill, New York.

Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical psychology*, 15, pp. 231-281.

Saaty, T.L., 1994. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, November-December, pp. 19-43.

Sidle, R., Furuichi T., Kono, Y., 2010. "Unprecedented rates of landslide and surface erosion along a newly constructed road in Yunnan, China. *Natural Hazards*, pp. 1-14.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*. 12(2), pp. 94-102.