

Heyelan Duyarlılığının İncelenmesinde Regresyon Ağaçlarının Kullanımı: Trabzon Örneği

(Assessment of Landslide Susceptibility Using Regression Trees: The Case of Trabzon Province)

Taşkın KAVZOĞLU, Emrehan Kutluğ ŞAHİN, İsmail ÇÖLKESEN

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli
kavzoglu@gyte.edu.tr

ÖZET

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi ve heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi afet planlamaları için kritik bir işlem adıdır. Üretilen haritaların doğruluğu can ve mal kayıplarının azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir. Heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi yeryüzünün farklı özelliklerini gösteren katmanların bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla, günümüze kadar duyarlılık haritalarının doğruluğunun artırılmasına yönelik birçok algoritma geliştirilerek uygulamalarda kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında son yıllarda kullanılan regresyon ağaçları, akış şemalarına benzeyen yapılarıyla birçok regresyon probleminde başarıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada, Trabzon iline ait litoloji, eğim, arazi örtüsü, baki, yükseklik ve yol ağı katmanlarından faydalanılarak regresyon ağaçları yönteminin heyelan risk potansiyelinin analizindeki etkinliği araştırılmıştır. Yöntemin performansı literatürde yaygın olarak kullanılan lojistik regresyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada üretilen sonuçlar, regresyon ağaçları ile üretilen duyarlılık haritasının doğruluğunun lojistik regresyon yöntemiyle üretilene göre %5 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, regresyon ağaçları yönteminin çok değişkenli konumsal verilerin modellenmesinde etkin bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan duyarlılığı, Regresyon Ağacı, Lojistik Regresyon, Risk Analizi, CBS.

ABSTRACT

Producing landslide susceptibility maps and identifying the areas having landslide risk potential is a critical step for disaster planning. The accuracy of the produced thematic maps is important for reducing the losses of life and property. Determination of potential landslide areas requires a combination of various layers describing features of the land surface. For this purpose, many algorithms have been developed and applied in the literature so as to increase the accuracy of landslide susceptibility maps. In recent years, regression trees that have flow chart structures have been used to produce landslide susceptibility maps. They have been recently applied to many regression problems requiring analysis of continuous data. In this study, regression trees were employed for landslide risk assessment of Trabzon province using lithology, slope, land cover, aspect, elevation and road network

data. Performance of the method was compared with that of widely-used logistic regression model. Results produced in this study showed that regression trees produced landslide susceptibility maps with 5% higher accuracy than logistic regression. In conclusion, effectiveness of the regression trees was verified for modeling multivariate spatial data.

Key Words: Landslide susceptibility, Regression Tree, Logistic Regression, Risk Assessment, GIS.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak insanoğlunun çevresel olayları algılama, yorumlama ve analiz yeteneği devamlı gelişmektedir. Eski yerleşim yerleri incelendiğinde, kurulan kentlerin ve ulaşım hatlarının mümkün olduğunca doğal etkilerden uzak ve olabildiğince güvenilir yerlerden seçildiği görülür. Bunun en önemli nedenlerinden biri dönem toplumlarının gerekli teknolojilere ve imkânlarla sahip olamaması ve doğayı yönlendirme güçlerinin olmayışındır. Bu yüzden geçmiş dönem toplulukları, doğal afetlerin yarattığı sonuçlardan korunmasız kalarak oluşan sonuçlara boyun eğmek zorunda kalmıştır. Fakat günümüze kadar gerçekleşen birçok bilimsel gelişme, insanoğlunun çevre üzerindeki hükmünü de güçlendirmiştir. Artık geçmişte önlenemez ve ölümcül görülen doğal afetler, insanlığın geliştirdiği güçlü yapılar ve önceden tahmin sistemleri sayesinde bilinebilen ve karşı koyulabilen güçler olmuştur.

Dünyada gerçekleşen doğal afetler (depremler, heyelanlar, su baskınları, tsunami olayları, volkanik patlamalar, vb.) içinde bulunduğumuz yüzyılda çok sayıda can kayıplarına ve büyük maddi zararlara yol açmıştır. Doğal afetlerin yarattığı olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi amacıyla çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Ülkemizde özellikle Trabzon'u içine alan Doğu Karadeniz bölgesinde görülen heyelan olayları geçmiş yıllardan günümüze kadar coğrafya üzerinde etkili olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Bölgede yaşanan toprak

kaymaları, alt ve üst yapılara zarar vermekte, inşaat faaliyetlerini kısıtlamakta ve büyük ölçekte ekonomik zararlara yol açmaktadır. Ekonomik kayıpların yanında plansız kentleşmenin de varlığı, yerleşim bölgelerinde yıkıma ve bunun sonucunda istenmeyen can kayıplarına sebebiyet vermektedir.

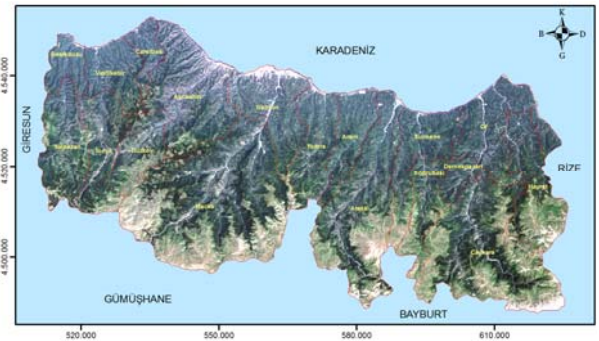
Heyelan duyarlılığının analizi topoğrafik faktörlerin yanında, doğal ve insan kaynaklı birçok faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinde coğrafi bilgi sistemleri tabanlı veri işleme teknikleri ile birlikte istatistiksel, nicel ve sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak farklı veri işleme teknikleri ile heyelan duyarlılık analizlerinin yapılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur (Wang vd., 2005; Yalcin vd., 2011). İstatistiksel çok değişkenli bir metod olan lojistik regresyon yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir (Dai vd., 2002; Bai vd., 2011). Bunun yanında yapay sinir ağları, destek vektör makineleri gibi sezgisel algoritmalar ile duyarlılık haritalarının üretilmesi konusunda araştırmalar bulunmaktadır (Gómez vd., 2005; Yao vd., 2008; Yilmaz, 2010). Karar ağaçları literatürde birçok sınıflandırma ve regresyon probleminin çözümünde kullanılmakta olan bir veri madenciliği tekniğidir (Pal vd., 2003; Kavzoğlu vd., 2010; Boulila vd., 2011). Literatürde kategorik veya belirli sınıflara ait verilerin sınıflandırılmasında kullanılan karar ağacı yapıları sınıflandırma ağacı olarak tanımlanırken sürekli verilerin bulunduğu regresyon problemlerinin çözümünde kullanılan karar ağacı modelleri ise regresyon ağaçları olarak adlandırılmaktadır (Hill vd., 2006). Son yıllarda regresyon ağaçlarının heyelan riski analizi ve risk haritalarının oluşturulmasında kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Saito vd., 2009; Abdallah, 2010; Wan vd., 2010). Birçok farklı teknikte hazırlanan çalışmaların öncelikli amacı elde edilen heyelan duyarlılık haritalarındaki doğruluğu artırmak ve en uygun modeli geliştirilmesinde faydalı olmaktadır. Bu yöndeki çalışmaların artması, afet öncesi yapılacak planlamalarında doğruluğunu da katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmada, Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde sınıflandırma ve regresyon ağacı olarak bilinen CART algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın performansı yaygın olarak kullanılan lojistik regresyon yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve

CBS ortamında analiz edilmiştir. Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluklarının analizinde çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma bölgesi olarak seçilen Trabzon ili Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölümü içerisinde $38^{\circ} 31'$ ve $40^{\circ} 30'$ doğu meridyenleri ile $40^{\circ} 30'$ ve $41^{\circ} 30'$ kuzey paralelleri arasında yer alır. Trabzon ilinin toplam yüz ölçümü 4.685 km^2 olup kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize ve batısında Giresun bulunmaktadır (Şekil 1). İlin genel coğrafi yapısı dar bir sahil şeridinin ardından denize dikey uzanan dağlık bir arazi şeklindedir. Dağların kıyından itibaren yükselmeye başladığı bölgede en çok yağışı kıyı kesimleri alır ve hemen her mevsim yağış görülmektedir. Trabzon ilinin ortalama metrekareye düşen yağış miktarı $830,00$ milimetredir. Bölgenin yüksek yağış almasının yanında, eğimli topoğrafyası ve zemin yapısı bölgede sıklıkla toprak kaymaları ve heyelan olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır. Doğal faktörlerin yanında bilinçsiz yapılaşma, alt ve üst yapı faaliyetleri ve ormanlık alanlarda yapılan tahribatlar bölgede heyelan olayına sebep olan insan kaynaklı faktörlerdendir. Bayrak vd. (2009)'a göre 2005-2008 yılları arasında bölgede oluşan heyelanlardan etkilenen 124 köyde 560 konut hasar görürken 460 bina için kullanılmaz raporu düzenlenmiştir.



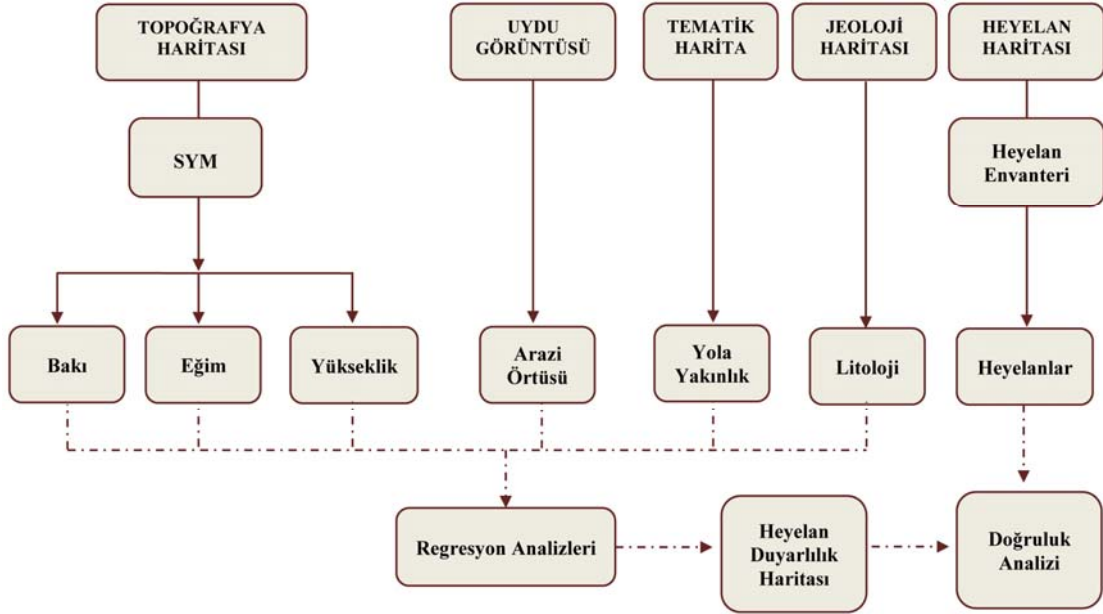
Şekil 1. Çalışma alanı olarak seçilen Trabzon'un il ve ilçe sınırları.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde regresyon ağacı yöntemi kullanılmış ve yöntemin performansı literatürde yaygın olarak kullanılan lojistik regresyon yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

Uygulamada, çalışma alanına ait topoğrafik katmanlar (yükseklik, eğim, bakı), bölgenin litolojik katman haritası, mevcut yol ağından üretilen yola olan yakınlık haritası ve uzaktan algılanmış uydu görüntüsünün sınıflandırılması ile elde edilen bölgeye ait arazi örtüsü ve kullanımına ilişkin tematik haritalar kullanılmıştır. Karar ağacı ve lojistik regresyon yöntemleri ile

regresyon modeli oluşumunda bölgede meydana gelen heyelanlara ait heyelan envanterleri kullanılmıştır. Söz konusu heyelan envanter verileri regresyon sonucu üretilen tematik haritaların doğruluk analizlerinde de kullanılmıştır. Duyarlılık haritasının üretilmesindeki işlem adımları ve iş akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Regresyon analizlerinde kullanılan risk faktörleri ve işlem akış şeması.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılacak faktörlerin seçimi ve bu faktörlerin doğruluğu yapılan çalışmanın en önemli işlem adımdır. Bu nedenle heyelana duyarlı alanların tespiti için heyelan afetiyle doğrudan ilgili altı faktör (litoloji, eğim, arazi örtüsü, yükseklik, bakı ve yola olan uzaklık) dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan eğim, yükseklik, bakı verilerin üretilmesinde 1984 tarihli 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) faydalanılmıştır. SYM'den eğim, yükseklik ve bakı bilgisinin çıkarılması için ArcGIS 9.3.1 yazılımı kullanılmıştır.

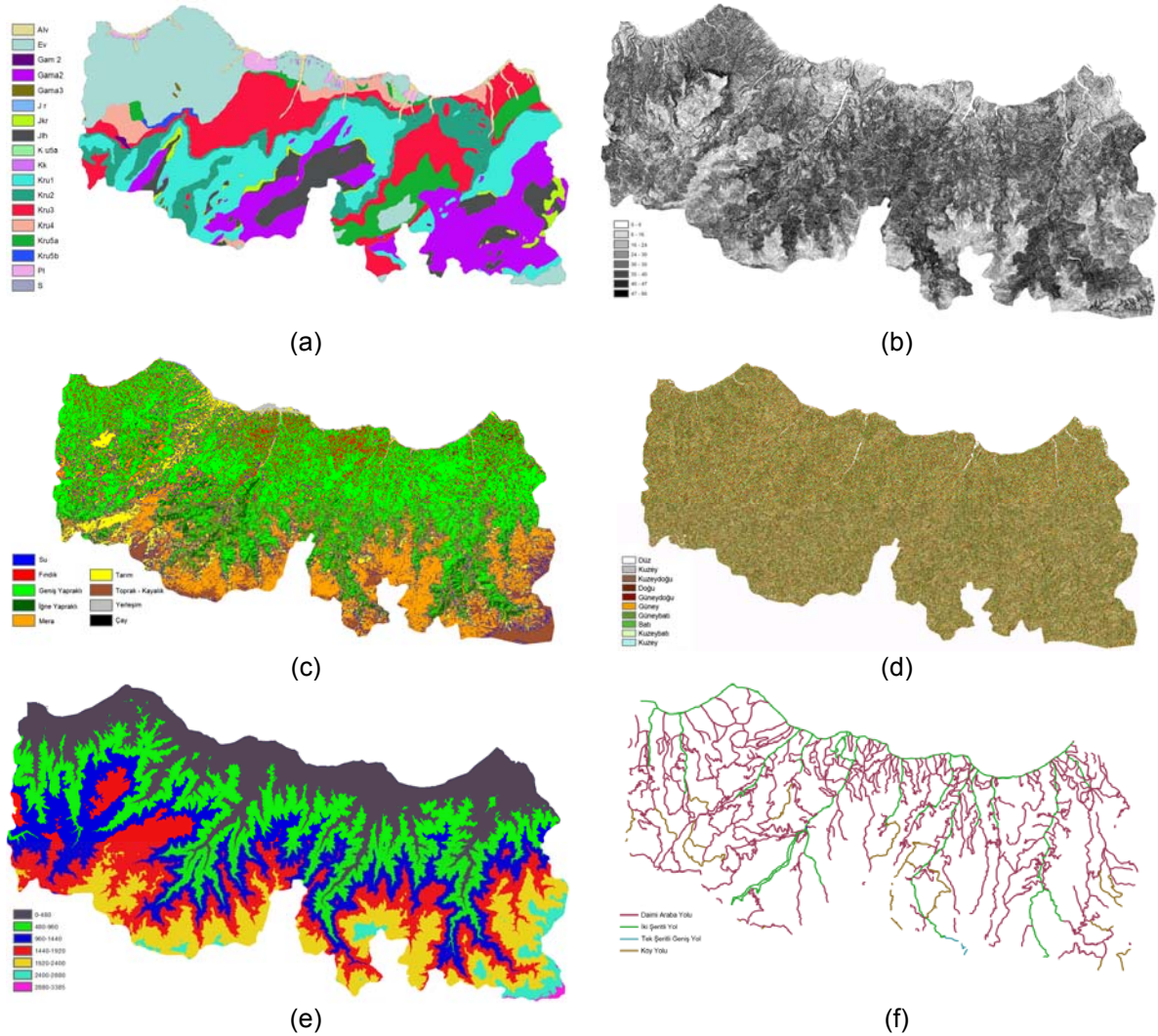
Bölgeye ait zemin özelliklerini gösteren litolojik yapı heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan ana faktörlerdendir. Farklı yapısal özelliklere sahip litolojik birimler, aktif jeomorfolojik süreçler (heyelan, toprak kayması vb.) için farklı duyarlılıklara sahiptir (Carrara vd., 1991; Dai vd., 2001). Trabzon bölgesine ait 1998 yılında üretilen 1/25.000 ölçekli litoloji haritası bölgenin genel toprak yapısını yansıtan 18 ayrı litolojik katman içermektedir (Şekil 3a). Bölgede yaygın olarak 4 tip zemin yapısı mevcuttur.

Zemin türleri alansal kapsam olarak değerlendirildiğinde %19 Eosen ve Volkanik Fasiyen, %17 bazalt andezi, lav ve pir, %16 bazalt ve lav, %16 kaçkar graniti bulunmaktadır. Bu dört zemin türü bölgenin %68'lik kısmını kaplarken diğer %32'lik kısmı lias, kaçkar graniti ve riyolit, dasitik lav ve pirden oluşmaktadır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan en önemli faktörlerden biri olan eğim haritası katmanı duyarlılık haritalarının oluşturulmasında birçok araştırmacı (örn: Ayalew vd., 2004; Gómez vd., 2005; Yeon vd., 2010) tarafından önemli bir veri altlığı olarak analizlerinde kullanmışlardır. Trabzon iline ait SYM yardımıyla üretilen eğim haritası ve derecelerine göre yoğunluk değişimi Şekil 3b'de gösterilmiştir. Çalışma bölgesindeki eğimin 0-86° arasında olduğu görülmektedir. Çalışma alanının %33'lük kısmı 0-20 derecelik eğime sahip alanlardan, %67'li kısmı ise 20°'den büyük eğime sahip alanlardan oluşmaktadır. Bu eğim istatistiği bölgenin heyelan potansiyelini açık şekilde ortaya koymaktadır.

Çalışmada dikkate alınan diğer bir faktör de bölgeye ait arazi örtüsüdür. Arazi örtüsü insan ve doğal etkenlerden kolayca etkilenen ve değişime uğrayan bir özelliğe sahiptir. Arazi örtüsü içerisindeki bitki örtüsü, yağmurlu dönemler sonrası toprak hidrolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kısa dönemli yağış koşullarının toprak hidrolojisi üzerinde çok etkili olmayacağı söylenebilmekle beraber, özellikle uzun yağış alan dönemlerde önemli etkilere yol açabileceği ifade edilmektedir (Yalcin vd., 2011). Böylelikle önemli değişim süreçlerine sahip toprak hidrolojisini içinde barındıran arazi örtüsü katmanı heyelan duyarlılığının analizinde dikkate

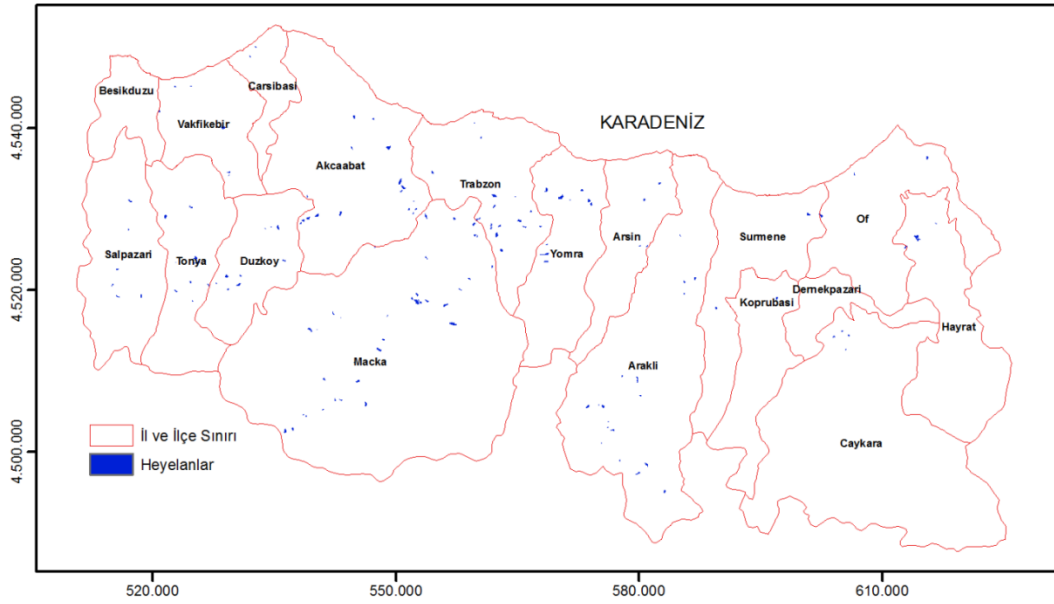
alınmalıdır. Bölgeye ait genel arazi örtüsü ve kullanımını gösteren tematik harita 2001 ve 2002 yıllarında kaydedilen Landsat ETM+ uydu görüntülerinin sınıflandırılması ile elde edilmiştir. 2002 yılından bugüne çalışma bölgesindeki arazi örtüsünde ciddi bir değişikliğin olmadığı kabulü yapılmıştır. Sınıflandırma sonucunda üretilen tematik harita Şekil 3c'den de görüleceği üzere mera, geniş yapraklı ağaç, fındık alanları, tarım alanları, iğne yapraklı ağaçlar, kayalık alanlar, çay, yerleşim alanları ve su olarak 9 farklı arazi örtüsünü göstermektedir.



Şekil 3. Heyelan duyarlılığı belirlemede kullanılan veri katmanları (a: Litoloji, b:Eğim, c: Arazi Örtüsü, d: Bakı, e: Yükseklik, f: Yol ağı)

Trabzon iline ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan diğer bir faktör ise SYM'den üretilen bakı haritasıdır. Bakı ya da topoğrafik yön özellikleri topraktaki nem tutma

oranı ve arazi örtüsü gelişimi üzerinde etkiye sahiptir (Dai vd., 2002). Üretilen bakı haritası Şekil 3d'de gösterildiği üzere düz yüzey ile birlikte 10 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 4. Çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası.

Arazi yüksekliği heyelan riski üzerindeki etkisi tam olarak kesinlik kazanmamış ancak araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir faktördür. Bazı çalışmalarda yüksekliğin farklı aralıklarda heyelan duyarlılığına etki eden bir faktör olduğu ifade edilmektedir (Dai vd., 2002). Yükseklikler arttıkça sıcaklık ve yağışlarda azalmalar görülmekle beraber değişen yükseklik basamaklarında farklı bitki kuşakları oluşmaktadır. Böylelikle topoğrafyadaki değişken yükseklik koşulları biyolojik ve doğal etmenler üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle yükseklik faktörünün şev durağanlığına ve şev kırılmalarına yol açabilecek etkileri olduğu söylenmektedir (Vivas, 1992). Çalışma alanına ait 0-3385 m aralığındaki yükseklik haritası değerlendirilmek amacıyla ile 7 eşit aralığa bölünerek sınıflandırılmış ve çalışmada kullanılmıştır (Şekil 3e).

Doğal topoğrafyayı tahrip eden ve yamaçlardaki durağanlığı etkileyen faktörlerden bir diğeri de mevcut yol ağlarıdır. Eğimli arazi üzerinde yapılan yollar topoğrafya üzerindeki mevcut durağan yük durumunu bozmakta, topoğrafik değişiklikler ile birlikte yük azalmasına sebep olmaktadır. Yol yapımı öncesi dengede olan yamaçlar, yol yapımı sonrasında yamaç gerisinde gerilim artışına sebep olarak çatlakların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Oluşan çatlaklar dışarıdan gelebilecek su girişi gibi negatif etkilere maruz kalarak heyelan olaylarını tetikleyebilmektedirler (Reis vd., 2009). Yol faktörünün heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin araştırılması için 25 metrelik aralıklarla yoldan 0 ile 150 m mesafede tampon bölgeler oluşturulmuş ve analizlerde kullanılmıştır.

Trabzon iline ait yol harita Şekil 3f'de sunulmuştur.

Çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluklarının belirlenmesi ve regresyon modelindeki bağımsız değişken verisi (eğitim verisi) olarak kullanılmak üzere heyelan envanter haritasından faydalanılmıştır. Kullanılan envanter verisi bölgede meydana gelen ve arazide konumları tespit edilen 147 heyelan alanı içermektedir. Heyelan duyarlılığının en iyi şekilde belirlenebilmesi kullanılan envanter haritalarının sahip olduğu veri kalitesi ile doğru orantılıdır. Heyelan sonrasında oluşturulan envanter haritaları genellikle heyelanın gerçekleştiği alanla birlikte heyelan etkisinde kalan bölgeleri de içerisine alacak şekilde düzenlenmiştir. Bu nedenle, envanter haritalarında heyelan riski taşımayan alanlar (yollar, göl ve göletler, su kenarları vb.) çıkartılarak doğruluğu artırılmış bir envanter haritası elde edilmiştir. Bu amaçla çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritasında doğruluğu etkileyebilecek veriler dikkate alınarak heyelan envanter haritası güncellenmiştir (Şekil 4).

a. Lojistik Regresyon Yöntemi

Literatürde yaygın olarak kullanılan üç tür çok değişkenli istatistik analiz yöntemi bulunmaktadır: çoklu regresyon (multiple regression), lojistik regresyon ve diskriminant analizi. Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinde, bilinen bir arazi dilimi için heyelana neden olabilecek faktörler göreceli olarak incelenir ve olayların meydana gelişine sebep olan katkıları araştırılır. Analiz

yöntemleriyle incelenen arazi dilimi, üzerinde heyelanın meydana gelip gelmediği bilgisine bakılarak elde edilen verilere dayandırılır (Akgün, 2007). Çok değişkenli istatistiksel analiz çalışmalarında en büyük sınırlama, yapılan çalışmalarda grid ağının kullanılması nedeni ile işlem süresinin uzun olmasıdır. Yöntemin en önemli avantajı ise büyük oranda nesnel bir yöntem oluşudur (Van Westen vd., 1997).

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde en çok kullanılan çok değişkenli analiz yöntemlerinden biri lojistik regresyon ya da mantıksal regresyon metodudur ve bu çalışmada tercih edilmiştir. Lojistik regresyon analizi, bağımlı bir değişken ile bağımsız birden fazla değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi esasına dayanır. Lojistik regresyon yöntemi aşağıdaki lineer eşitlikle tanımlanmaktadır:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

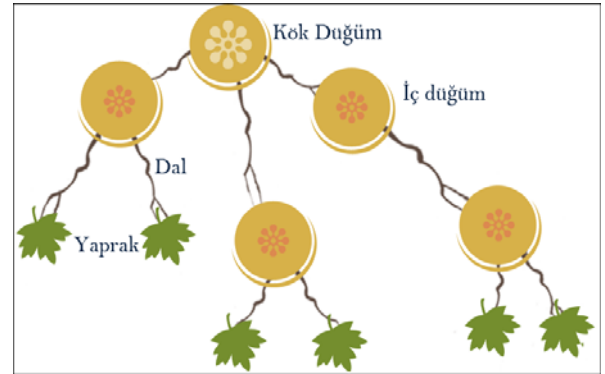
Bu eşitlikteki Y , 0 ve 1 aralığındaki bağımlı değişkeni, b_0 bağımsız değişkenlerin sıfır değerini aldıklarındaki bağımlı değişken değeri ya da sabiti, b_1, \dots, b_n bağımsız değişkenlerin regresyon katsayıları ve x_1, \dots, x_n ise bağımsız değişkenleri göstermektedir. Yapılan çalışmada heyelan envanter haritasındaki mevcut heyelan alanları bağımlı değişkenleri temsil ederken, heyelan olayına sebep olan faktörler ise bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Her bir regresyon katsayısı risk faktörünün sonuca olan katkısının büyüklüğünü ifade etmektedir. Pozitif regresyon katsayısı sonuç olasılığının arttığını ve doğru orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu gösterir. Negatif bir regresyon katsayısı ise sonucun olasılığının azaldığı ve negatif yönde ters orantılı bir ilişkiyi göstermektedir. Artan bir regresyon katsayısı sonuç olasılık üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu gösterirken regresyon katsayısı sıfıra yaklaştığında sonuç olasılık üzerindeki etkisinin az olduğunu gösterir.

b. Regresyon Ağaçları

Karar ağaçları (KA), bir problemi oluşturan veri setlerinin yapısına göre bir ağaç yapısı şeklinde sınıflandırma ve regresyon modelleri oluşturmaktadır. Söz konusu ağaç yapılarının oluşturulmasında kullanılan karar kurallarının anlaşılabilir olması yöntemin kullanımını yaygın hale getirmiştir. KA sınıflandırma ve regresyon probleminin çözümünde çok aşamalı ve ardışık bir yaklaşım ile karmaşık yapıdaki verileri aşamalı bir hale dönüştürerek basit bir karar verme işlemi gerçekleştirilmektedir (Safavian vd., 1991). Karar ağacı yöntemi ile sınıflandırma veya

regresyon işlemi neticesinde tahmin edilecek hedef öznitelikler ayrık verilerden veya belirli kategorilerden oluşuyorsa kullanılan model sınıflandırma ağacı, öznitelik verileri sürekli değişkenlerden oluşuyorsa model regresyon ağacı olarak adlandırılmaktadır (Nefeslioglu vd., 2010).

Basit bir regresyon ağacı yapısında düğüm, dal ve yaprak olarak tanımlanan üç temel eleman söz konusudur (Şekil 5). Söz konusu yapıda her bir öznitelik bir düğüm tarafından temsil edilirken, ağaç yapısının en üst kısmı kök ve en alt kısmı yapraklardan oluşmaktadır. Kök ve yapraklar arasında kalan ve üst düğümler ile alt düğümler arasındaki ilişkiyi sağlayan kısımlar ise dal olarak ifade edilmektedir (Quinlan, 1993). Karar ağacı yapısı oluşturulmasında temel prensip verilere ilişkin bir dizi sorular sorularak karar kurallarının oluşturulmasıdır. Bu işlem için ağaç yapısının temel elemanı olan kök düğümünde sorular sorulmaya başlanır ve ağaç yapısının son elemanı olan yapraklara ulaşıncaya kadar ağacın büyümesi veya dallanması devam eder (Pal vd., 2003).



Şekil 5. Düğüm, dal ve yapraklardan oluşan basit bir karar ağacı yapısı.

Ağaç yapısının oluşturulmasındaki en önemli aşama ağaçtaki dallanmanın hangi kriterlere ya da öznitelik değerine göre olacağını belirlemesidir. Literatürde bu problemin çözümü için geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlar vardır. Bunlardan en önemlileri bilgi kazancı ve bilgi kazanç oranı (Quinlan, 1993), Gini indeksi (Breiman vd., 1984), Twoing kuralı (Breiman vd., 1984) ve Ki-Kare olasılık tablo istatistiği (Mingers, 1989) yaklaşımlarıdır. Tek değişkenli karar ağaçlarından ID3 algoritması bilgi kazancı yaklaşımını kullanırken, C4.5 algoritması bölünme bilgisi kavramı ile bilgi kazancıdan yararlanmaktadır. Sınıflandırma ve regresyon ağacı olarak bilinen CART algoritması ise Twoing kuralını kullanmaktadır (Breiman vd., 1984).

CART algoritmasının en önemli özelliği regresyon ağaçları oluşturma yeteneğidir. Regresyon ağaçlarının yapraklarında tahmin edilecek öznitelik değeri kategorik bir sınıf değeri değil süreklilik gösteren bir gerçek sayı değeridir. Bu regresyon probleminin çözümü için CART algoritması tahmin edilecek değerlerin karesel ortalama hatasını minimum yapacak bölünmeleri hesaplayarak ağacın büyümesini ve dallanmasını gerçekleştirir. Her bir yaprakta ulaşılan tahminler düğüm için hesaplanan ağırlıklı ortalamalara bağlı olarak hesaplanır (Rokach vd., 2008).

CART algoritması ile oluşturulan ağaç yapısında ikili dallanmalar söz konusu olup, her bir karar düğümünden itibaren ağacın iki alt dala ayrılması prensibi esas alınmaktadır (Breiman vd., 1984; Lawrence vd., 2001). Diğer bir ifade ile bir düğümde seçme işlemi yapılmasının ardından düğümlerden sadece iki dal ayrılabilir. CART algoritmasında, bir düğümde belirli bir kriter (Twoing kuralı) uygulanarak bölünme işlemi gerçekleştirilir. Bunun için tüm özniteliklere ait değerler göz önüne alınır ve tüm eşleşmelerden sonra iki bölünme elde edilerek seçme işlemi gerçekleştirilir (Özkan, 2008).

Twoing algoritmasında özniteliklerin içerdiği değerler göz önüne alınarak eğitim kümesi aday bölünme olarak adlandırılan iki ayrı dala ayrılır. Bir t düğümünde sağ ($t_{sağ}$) ve sol (t_{sol}) şeklinde kümelerden oluşan iki dal bulunur. Regresyon ağacı oluşturulmasında kullanılacak her bir veri sağ ve sol dala bölünmeye adaydır. Twoing kuralında öncelikle her bir aday için sağ ve sol taraftaki dalda olma olasılıkları hesaplanır. Her bir aday verinin sol taraftaki dala bölünme olasılığı $p_{(sol)}$ ve $P(j/t_{sol})$, sağ taraftaki dala bölünmesi olasılığı ise $p_{(sağ)}$ ve $P(j/t_{sağ})$ şeklinde ifade edilir. Olasılıkların hesaplanmasının ardından t düğümündeki s aday bölünmelerinin uygunluk ölçüsü,

$$\theta(s/t) = 2P_{sol}P_{sağ} \sum_{j=1}^n |P(j/t_{sol}) - P(j/t_{sağ})| \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Bu eşitlikte j özniteliklere ait sınıf değerini göstermektedir. Hesaplama sonucu elde edilen değerler içerisinde en büyük olanı seçilir ve bu değere karşılık ilgili aday bölünme satırı dallanmayı oluşturacak satır olarak belirlenir. Dallanma bu şekilde yapılarak regresyon ağacının ilk ikili dallanması gerçekleştirilir. Ağacın aşağıya doğru ikili dallanmalarını gerçekleştirmek için alt kümelere

söz konusu işlemler tekrar uygulanır (Larose, 2005).

4. UYGULAMA

Çalışma alanına ait litoloji, eğim, arazi örtüsü, yükseklik, bakı ve yola olan uzaklık harita katmanları bir araya getirilerek regresyon analizine esas olacak çok katmanlı bir veri seti oluşturulmuştur. Regresyon ağacı (CART) ve lojistik regresyon yöntemleri ile model oluşturulmasında söz konusu çok katmanlı veri ile birlikte heyelan envanter haritası da kullanılmıştır. Envanter haritası bölgede gerçekleşen 147 adet heyelan alanını ve heyelan riski taşımadığı belirlenen 97 alanı içermektedir. CART algoritması ile regresyon ağaç modeli oluşumunda kullanılmak üzere yazılan bir MATLAB programı yardımıyla eğitim ve test veri setleri hazırlanmıştır. Eğitim verisi olarak toplam 1.500 piksel, test verisi olarak ise toplam 4.000 piksel seçilmiştir. Regresyon ağacı oluşturulması ve duyarlılık haritasının üretilmesi işlemleri MATLAB ortamında yazılmış programlarla gerçekleştirilmiştir. Lojistik regresyon yöntemi ile model oluşumunda mevcut heyelan alanlarının tamamı dikkate alınmıştır. Lojistik regresyon analizi İdrisi Taiga yazılımı içerisindeki "LOGISTICREG" modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Lojistik regresyon yöntemi ile model oluşumunda mevcut heyelan alanları bağımlı değişken olarak tanımlanırken, çalışmada dikkate alınan 6 risk faktörü bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Regresyon modeli oluşturulmasında örneklem oranı %10 (Akgün, 2007) olarak belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilen katsayılar elde edilmiştir. Regresyon denklemindeki katsayılar, ait oldukları bağımsız değişkenlere göre heyelan duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 1'de verilen lojistik regresyon katsayıları için yükseklik faktörü hariç diğer faktörlerin heyelan duyarlılığına pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir. Yükseklik faktörünün sahip olduğu negatif katsayı değeri bu faktörün heyelan duyarlılığı ile ters orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yükseklik değerlerinin artması heyelan duyarlılık azalmasına, yükseklik değerlerinin azalması ise duyarlılık duyarlılığının artmasına yol açmaktadır. Trabzon ilinin yüksek kesimlerinin ormanlık ve kayalık alanlardan oluşmasının bu sonucun oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Envanter haritasındaki heyelan piksellerinin %68'inin eğiminin %20'den

büyük yerlerde olduğu ayrıca analizler sonucu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, çalışma alanının sahip olduğu yol ağının bölge topoğrafyası üzerinde heyelan duyarlılığına etkisi olan önemli bir faktör olduğu görülmektedir. Bu durum mevcut yolların arazinin durağan yapısını etkilediğini ve toprak kaymalarını tetiklediğini işaret etmektedir. Eşitlikteki ağırlık katsayıları incelendiğinde etki derecelerine göre faktörlerin eğim, yükseklik, yol, arazi örtüsü, litoloji ve bakı katmanları olarak sıralandığı görülmektedir. Sonuç olarak, en yüksek katsayı değerine sahip eğim faktörünün heyelan duyarlılık analizine etkisinin en fazla, en düşük katsayı değerine sahip bakı katmanının ise en az olduğu ifade edilebilir. Çalışma bölgesinde oluşmuş heyelanlar için iki ana faktörün heyelan oluşturma etkisi diğerlerine göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Arazinin eğimi arttıkça heyelan olasılığı artmakta, arazi yüksekliği azaldıkça heyelan olasılığının arttığı görülmektedir. Trabzon ilinin yüksek kesimlerinde genellikle orman alanları ve kayalık yapıardan oluşması nedeniyle bu bölgelerde daha az sıklıkla heyelanlar görülmektedir.

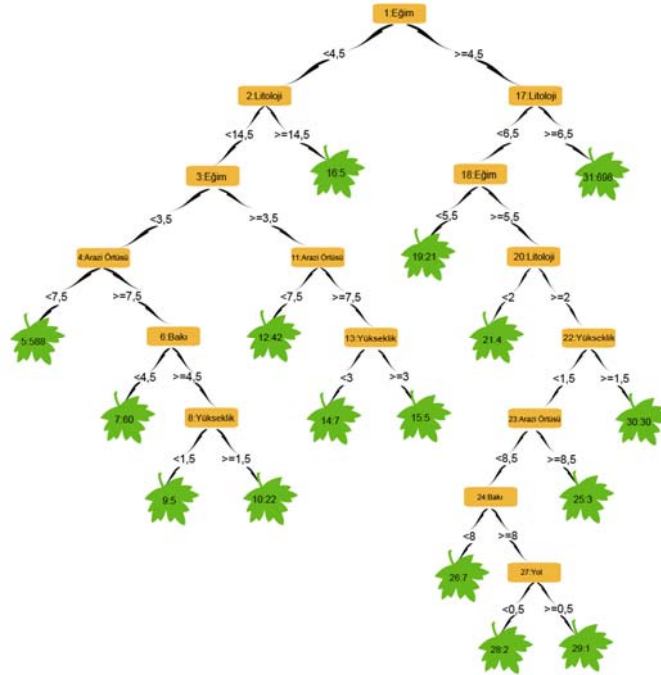
Tablo 1. Altı bağımsız faktör için elde edilen regresyon katsayıları

| Değişkenler | Katsayılar |
|-------------------|-------------|
| Eğim | 0,40191179 |
| Yükseklik | -0,29432174 |
| Yola olan uzaklık | 0,13157007 |
| Arazi örtüsü | 0,09441762 |
| Litoloji | 0,08219081 |
| Bakı | 0,04215397 |
| Sabit | -9,24660804 |

Çalışmada kullanılan lojistik regresyon yönteminin sonuçlarının anlamlılığının yorumlanmasında Relative Operating Characteristic (ROC) olarak bilinen istatistik değeri dikkate alınmıştır. Bu veri, Boolean formatında olan "heyelan var/yok" haritası ile olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC değeri 0,5 ile 1 arasında değişmekte olup 1 değeri mükemmel uyumu, 0,5 ise rastgele bir uyumu işaret etmektedir (Ayalew vd., 2005; Akgün, 2007). Oluşturulan regresyon modeli için hesaplanan ROC değerleri 0,8223'dir. Bu sonuç lojistik regresyon yöntemi ile elde edilen heyelan

duyarlılık haritasının yüksek derecede bir uyuma sahip olduğunu göstermektedir.

Karar ağaçları ile regresyon işlemi için tek değişkenli karar ağacı algoritmalarından CART algoritması kullanılmıştır. Regresyon ağaç modeli oluşturulmasında; dallanmaya esas olacak özneliklerin seçiminde Twoing algoritması, oluşturulan karar ağacının sadeleştirilmesi amacıyla ön budama yöntemi kullanılmıştır. Her bir yapraktaki öznelik değerlerinin minimum toplam ağırlığı 2, regresyon ağaçlarında yapılacak dallanma işleminde kullanılan minimum varyans oranı ise 0,001 olarak belirlenmiştir. Söz konusu parametre değerleri kullanılarak Şekil 6'da gösterilen regresyon ağacı modeli oluşturulmuştur. Şekilde altı heyelan faktörü (eğim, litoloji, arazi örtüsü, bakı, yükseklik ve yol) için elde edilen ağaç regresyon ağacının 15 düğüm ve 16 yapraktan oluştuğu görülmektedir. Şekilde dallar üzerinde bulunan değerler regresyon ağaç yapısının dallanmasında kullanılan eşik değerlerini ifade etmektedir. Oluşturulan ağaç yapısında yapraklar içerisinde bulunan ilk değer düğüm sayısını, ikinci değer ise bu yaprağa düşen piksel sayısını göstermektedir. Twoing algoritması ile eğitim veri seti analiz edildiğinde regresyon ağaç yapısında kök düğüm olarak eğim katmanı belirlenmiştir. Regresyon ağacında kök düğümünden sonra dallanmaya esas olan faktörün litoloji katmanı olduğu görülmektedir. Nitekim kök düğümünden sonra gelen iki düğüm noktası litoloji faktöründen oluşmaktadır. Ağacın diğer kök düğümlerini ise sırasıyla arazi örtüsü, yükseklik ve bakı katmanları oluşturmaktadır. Yola olan uzaklık katmanı ise regresyon ağaç modelinde tek bir düğüm noktasında ve ağacın en alt kısmında etkili olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında regresyon ağaç modeli ile yapılacak heyelan duyarlılık analizinde etki derecesine katmanların eğim, litoloji, arazi örtüsü, yükseklik, bakı ve yola olan uzaklık şeklinde sıralanabileceği ifade edilebilir. Diğer bir ifadeyle oluşturulan regresyon ağacı modeli ile gerçekleştirilecek heyelan duyarlılık analizinde eğim faktörünün en fazla, yola olan uzaklık faktörünün ise en az etkiye sahip olduğu söylenebilir. Oluşturulan regresyon modeli test veri setine uygulandığında kolerasyon katsayısı 0,965; ortalama mutlak hata 0,067 ve karesel ortalama hata 0,130 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan regresyon ağacı modeli

Her iki regresyon modeli tüm veri setine uygulanarak düşük ile yüksek değer aralığında ölçeklenmiş tematik haritalar elde edilmiştir. Lojistik regresyon yöntemi sonrası elde edilen tematik haritadaki (Şekil 7a) heyelan risk dağılımı incelendiğinde düşük ve yüksek risk değerlerinin haritada baskın olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç lojistik regresyon yöntemiyle üretilen haritada piksel dağılımının yeterince sağlanamadığı ve kesin sınırlar içerdiği şeklinde yorumlanabilir. Diğer taraftan regresyon ağaçlarıyla oluşturulan tematik harita (Şekil 7b) incelendiğinde, riskin yüksek ve düşük aralıkta daha iyi bir dağılım sahip olduğu görülmektedir. Şekilde diğer katmanlara oranla eğim ve litoloji katmanlarının ağırlığının daha yüksek olduğu, sonuç haritasındaki alanların görsel analizinden saptanmıştır.

Heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesinden sonraki işlem farklı duyarlılık sınıflarına ayırarak haritanın sınıflandırılması işlemidir. Heyelan duyarlılık ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde sınıflandırma metodu olarak sabit aralıklı sınıflandırma, doğal aralıklı sınıflandırma, eşit dağılımlı sınıflandırma ve standart dağılımlı sınıflandırma tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir (Ayalew vd., 2004; Ayalew vd., 2005; Lee, 2005; Akgun vd., 2007; Das vd., 2010). Bu çalışmada regresyon ağaçlarının heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasındaki performansı ve elde edilen sonuçların lojistik regresyon yöntemi ile objektif

olarak karşılaştırılması amacıyla eşit piksel dağılımlı (quantile) sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Eşit piksel dağılımı prensibinden hareketle tematik haritalar 5 duyarlılık seviyesinde sınıflandırılmıştır.

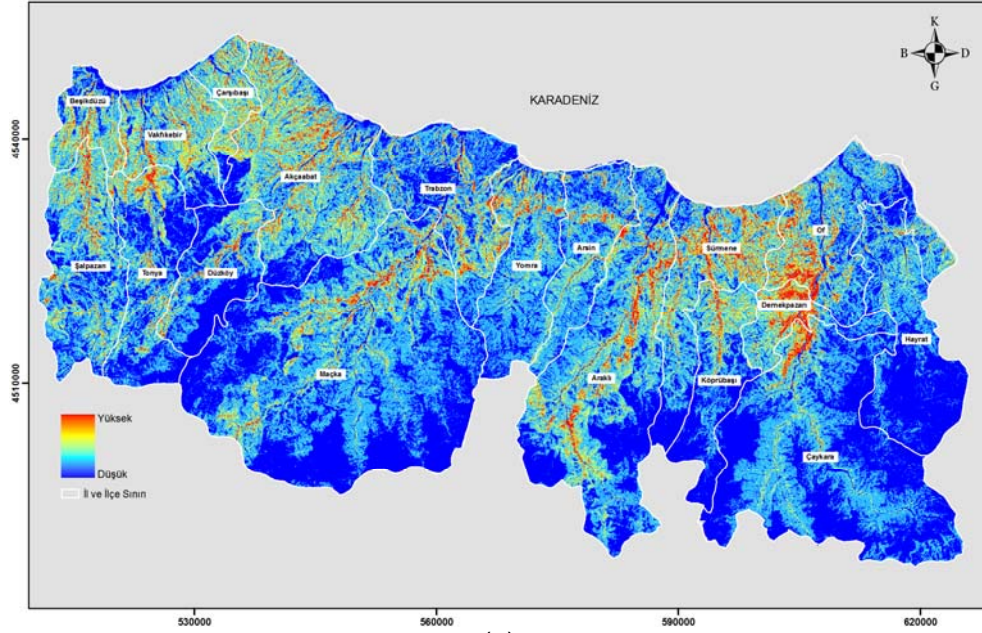
Regresyon sonucu elde edilen tematik haritaların doğruluk analizleri mevcut heyelan envanter verileri kullanarak yapılmıştır. Söz konusu envanter haritası sınıflandırılmış tematik haritalarla karşılaştırılarak her bir sınıf duyarlılığı için frekans değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Heyelan duyarlılık haritaları ile heyelan envanter haritasının karşılaştırılması sonucu elde edilen doğruluk frekansları

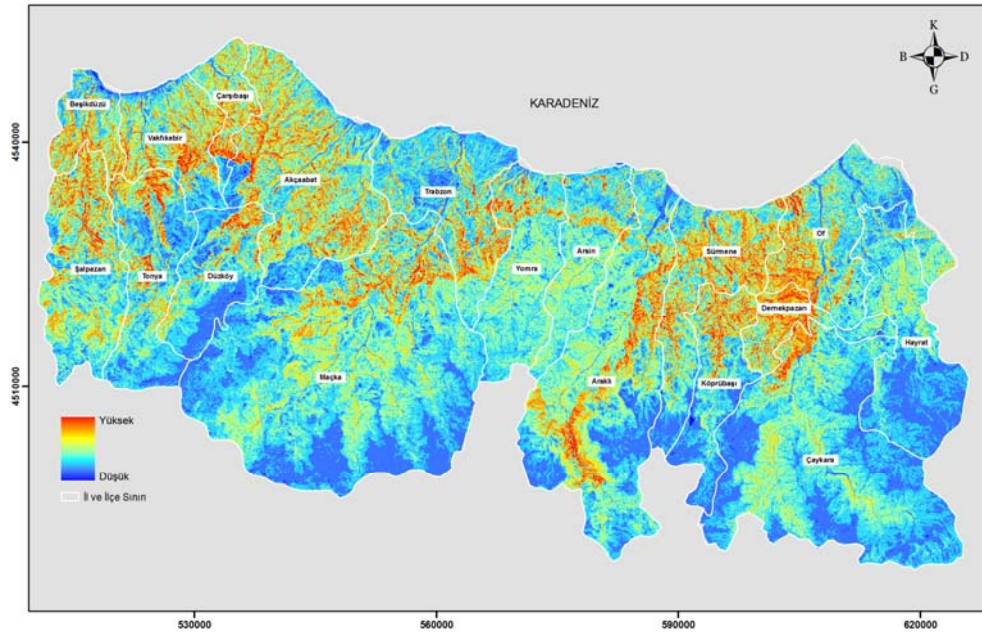
| Heyelan Duyarlılık Seviyeleri | Lojistik Regresyon | Regresyon Ağacı |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| | Envanter alan (%) | Envanter alan (%) |
| 1 | 2,34 | 2,68 |
| 2 | 9,94 | 9,68 |
| 3 | 19,84 | 14,93 |
| 4 | 27,76 | 38,33 |
| 5 | 40,12 | 34,38 |
| 4+5 | 67,88 | 72,71 |

Tablo 2 incelendiğinde lojistik regresyon ve regresyon ağaçları yöntemlerinin birinci ve ikinci duyarlılık seviye alan karşılıklarının yaklaşık aynı olduğu görülmektedir. Metotların üçüncü, dördüncü ve beşinci duyarlılık seviyelerinde ise farklı oransal karşılıklar olduğu görülmüştür. Yüksek heyelan riski taşıyan alanların dördüncü ve beşinci duyarlılık seviyeleri tarafından temsil edildiği düşünülerek değerlendirme yapılmıştır. Bu durumda lojistik regresyon metodu sonuçlarıyla üretilen haritadaki dördüncü ve

beşinci sınıf değerlerinin toplamının heyelan envanter haritasındaki karşılığı %67,88 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, regresyon ağaçları ile hesaplanan frekans değerlerinde dördüncü seviye %38,33 ve beşinci seviye duyarlılık %34,38 olarak hesaplanmıştır. Regresyon ağaçları yöntemi için hesaplanan frekans değerleri göz önüne alındığında (Seviye 4+Seviye 5) tematik harita doğruluğu %72,71 olarak hesaplanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) Lojistik regresyon yöntemi sonrası oluşturulan heyelan duyarlılık haritası, (b) Regresyon ağacı yöntemi sonrası oluşturulan heyelan duyarlılık haritası

Her iki yöntem ile hesaplanan tematik harita doğrulukları karşılaştırıldığında regresyon ağacı yönteminin lojistik regresyon yöntemine göre %4,83 daha doğru sonuç ürettiği görülmüştür. Lojistik regresyon metodunun orta derecede riskli gördüğü (3 nolu duyarlılık seviyesi) alanların daha fazla heyelan alanına (%19,84) tekabül ettiği görülmektedir. Tek sınıf olarak değerlendirildiğinde ve en yüksek risk ele alındığında lojistik regresyon metodu başarılı görünmektedir. Ancak literatür de olduğu gibi yüksek ve çok yüksek riskli alanlar doğruluk değerlendirmelerinde dikkate alınmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Heyelan duyarlılık haritalarının doğru ve güncel olarak üretilmesi afet planlaması başta olmak üzere heyelan kaynaklı maddi ve manevi kayıpların önlenmesi amacıyla gerçekleştirilen planlama faaliyetleri açısından son derece önemlidir. Söz konusu haritaların üretilmesi işlemi, etki eden tüm faktörlerin bir arada değerlendirilmesini ve analizini gerektirmektedir. Son yıllarda farklı yapı ve özellikteki veri setlerinin bir arada değerlendirilmesinde ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde veri madenciliği teknikleri kullanılmaktadır. Karmaşık problemleri aşamalı bir hale getirerek çözebilme kabiliyetine sahip karar ağaçları söz konusu veri madenciliği yöntemleri arasında önemli bir kullanıma sahiptir.

Bu çalışmada Trabzon ili heyelan duyarlılık haritası bölgeye ait 6 farklı faktör dikkate alınarak regresyon ağacı yöntemiyle üretilmiştir. Regresyon ağacı ile oluşturulan tematik haritanın doğruluğu heyelan envanterleri kullanılarak incelenmiş ve yüksek ve çok yüksek duyarlılık aralığında yaklaşık %73 olarak hesaplanmıştır. Yöntemin performansının karşılaştırılması amacıyla literatürde yaygın bir kullanımı olan lojistik regresyon yöntemi kullanılmıştır. Lojistik regresyon yöntemi ile oluşturulan duyarlılık haritasının doğruluğu envanter verisi dikkate alındığında yüksek ve çok yüksek duyarlılık aralığı için yaklaşık %68 olduğu görülmüştür. Çalışma alanı için elde edilen sonuçlar regresyon ağacı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının lojistik regresyon yöntemi ile üretilen haritadan %5 daha doğru sonuçlar ürettiğini dolayısıyla 185 km²'lik bir alanın doğru sınıflandırıldığını göstermektedir. Elde edilen duyarlılık haritaları incelendiğinde Trabzon ili için heyelan riski yüksek bölgelerin şehrin Kuzey-Batı ve Kuzey-Doğu kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla birlikte şehrin Güney ve

Güney-Doğu kesimlerinde ise heyelan riski düşük alanlar görülmektedir. Heyelan duyarlılığının belirlenmesinde dikkate alınan risk faktörleri göz önüne alınarak tematik haritalar değerlendirildiğinde bölgede eğimin yüksek, yol ağının sık ve yüksekliğin düşük olduğu bölgelerde heyelan riskinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Tematik haritalarda yüksekliğin arttığı, ormanlık ve kayalık arazi örtüsüne sahip düşük eğimli bölgelerde heyelan riskinin azaldığı görülmektedir.

Tematik haritalar karşılaştırıldığında lojistik regresyon yöntemi ile elde edilen haritada eğim ve yükseklik faktörlerinin duyarlılık analizine etkisinin diğer faktörlere göre daha fazla olduğu, dolayısıyla elde edilen harita eğim ve yükseklik ağırlıklı bir duyarlılık elde edildiği görülmektedir. Diğer taraftan regresyon ağacı yöntemi ile elde edilen tematik haritada eğim faktörünün yanında, litoloji, yükseklik ve yola olan uzaklık katmanlarının duyarlılık analizinde etkili olduğu görülmüştür. Dolayısıyla regresyon ağacı ile elde edilen tematik haritanın çalışmada dikkate alınan faktörlerin tamamını dikkate alarak duyarlılık haritası ürettiğini, lojistik regresyon yöntemiyle üretilen haritada ise eğim ve yükseklik ağırlıklı bir duyarlılık analizi gerçekleştirdiği ifade edilebilir. Çalışma sonucunda, regresyon ağaçlarının heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi gibi karmaşık veri yapılarının analizinde uygulanabilir ve yüksek doğrulukta sonuçlar üreten bir yöntem olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abdallah, C., 2010, **Spatial Distribution of Block Falls Using Volumetric GIS-Decision-Tree Models**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12, 393-403.
- Akgün, A., 2007, **Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi**, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Akgun, A., Bulut, F., 2007, **GIS-based Landslide Susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region**, Environmental Geology, 51, 1377-1387.

- Ayalew, L., 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.
- 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, 73-81.
- Bai, S.B., Lu, G.N., Wang, J.A., Zhou, P.G., Ding, L.A., 2011, **GIS-based Rare Events Logistic Regression for Landslide-Susceptibility Mapping of Lianyungang, China**, *Environmental Earth Sciences*, 62, 139-149.
- Bayrak T., Ulukavak M., 2009, **Trabzon Heyelanları**, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 20-30.
- Boulila, W., Farah, I.R., Ettabaa, K.S., Solaiman, B., Ben Ghezala, H., 2011, **A Data Mining Based Approach to Predict Spatiotemporal Changes in Satellite Images**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 386-395.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984, **Classification and Regression Trees**, Monterey, CA: Wadsworth.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991, **GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating**, *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 427-445.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001, **Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong**, *Environmental Geology*, 43, 381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F., 2002, **Landslide Characteristics and Slope Instability Modeling Using GIS, Lantau Island, Hong Kong**, *Geomorphology*, 42, 213-228.
- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A., Hack, R., 2010, **Landslide Susceptibility Assessment Using Logistic Regression and Its Comparison with A Rock Mass Classification System, Along A Road Section in the Northern Himalayas (India)**, *Geomorphology*, 114, 627-637.
- Gomez, H., Kavzoglu, T., 2005, **Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela**, *Engineering Geology*, 78, 11-27.
- Hill, T., Lewicki, P., 2006, **Statistics Methods and Applications. A Comprehensive Reference for Science, Industry and Data Mining**, StatSoft, Tulsa, OK.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., 2010, **Karar Ağaçları ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği**, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 36-45.
- Larose, D.T., 2005, **Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining**, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lawrence, R.L., Wright, A., 2001, **Rule-Based Classification Systems Using Classification and Regression Tree (CART) Analysis**, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, 1137-1142.
- 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, 1477-1491.
- Mingers, J., 1989, **An Empirical Comparison of Pruning Methods for Decision Tree Induction**, *Machine Learning*, 4, 227-243.
- Nefeslioglu, H.A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A.S., Duman, T.Y., 2010, **Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey**, *Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2010/901095.

- Özkan, Y., 2008, **Veri Madenciliği Yöntemleri**, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Pal, M., Mather, P.M., 2003, **An Assessment of the Effectiveness of Decision Tree Methods for Land Cover Classification**, Remote Sensing of Environment, 86, 554-565.
- Quinlan, J. R., 1993, **C4.5: Programs for Machine Learning**, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekerçin, S., 2009, **CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği**, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2009), Ankara.
- Rokach, L., Maimon, O., 2008, **Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications**, Series in Machine Perception and Artificial Intelligence, World Scientific Publishing, Singapore.
- Safavian, S.R., Landgrebe, D., 1991, **A Survey of Decision Tree Classifier Methodology**, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 21, 660-674.
- Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H., 2009, **Comparison of Landslide Susceptibility Based on A Decision-Tree Model and Actual Landslide Occurrence: The Akaishi Mountains, Japan**, Geomorphology, 109, 108-121.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J., Soeters, R., 1997, **Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation**, Geologische Rundschau, 86, 404-414.
- Vivas, L. 1992, **Los Andes Venezolanos**, Academia Nacional de la Historia, Caracas.
- Wan, S., Lei, T.C., Chou, T.Y., 2010, **A Novel Data Mining Technique of Analysis and Classification for Landslide Problems**, Natural Hazards, 52, 211-230.
- Wang, H.B., Liu, G.J., Xu, W.Y., Wang, G.H., 2005, **GIS-based Landslide Hazard Assessment: An Overview**, Progress in Physical Geography, 29, 548-567.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu, T., 2011, **A GIS-based Comparative Study of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics and Logistics Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping in Trabzon, NE Turkey**, CATENA, 85, 274-287.
- Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C., 2008, **Landslide Susceptibility Mapping Based on Support Vector Machine: A Case Study on Natural Slopes of Hong Kong, China**, Geomorphology, 101, 572-582.
- Yeon, Y.K., Ryu, K.H., 2010, **Landslide Susceptibility Mapping in Injae, Korea, Using A Decision Tree**, Engineering Geology, 116, 274-283.
- Yilmaz, I., 2010, **Comparison of Landslide Susceptibility Mapping Methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine**, Environmental Earth Sciences, 61, 821-836.