

CBS Tabanlı AHP Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Sivas Koyulhisar Heyelan Duyarlılık Haritalarının Güvenilirliğinin Araştırılması

Şeyma CEYLAN DEMİREL¹, Kemal Özgür HASTAOĞLU²

Öz

Heyelanlar, en etkili doğal afetlerden olup can ve mal kaybına yol açmaktadır. Son yıllarda özellikle bu kayıpları azaltmak amacıyla çeşitli yöntemlerle duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çalışma kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı, Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada veri kümesi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının gerçek deformasyon alanlarını yansıtmakta ne kadar başarılı olduğunun araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanında heyelana neden olan parametreler değerlendirilmiş ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Değerlendirmelerde bölgeye ait eğim, litoloji, bakı, topografik yükseklik, faylardan uzaklık, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, plan ve profil eğriselliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi, akarsu gücü indeksi parametreleri dikkate alınmıştır. Sonuç haritasının doğruluk değerlendirmesi için Sivas/Koyulhisar heyelan sahasına ait heyelan verisi kullanılmıştır. Sonuçların doğruluk ölçümü ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi ile sağlanmıştır. Eğri Altındaki Alan (EAA) değeri 0,73 olarak elde edilmiştir ve bu değer orta düzeyde bir doğrulama değerine karşılık gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: AHP, CBS, Heyelan Duyarlılık, ROC Analizi, EAA

Investigation of the Reliability of Sivas Koyulhisar Landslide Susceptibility Maps Created Using GIS Based AHP Method

Abstract

Landslides are one of the most effective natural disasters, and they lead to loss of life and property. In recent years, susceptibility maps have been produced by various methods to reduce especially these losses. In this study, Geographic Information Systems (GIS) based Analytic Hierarchy Process (AHP), one of Multi-Criteria Decision Making Methods, was used. The main purpose of this study was to research how successful the landslide Susceptibility Maps (LSM) produced using datasets are in reflecting the real deformation areas. In line with this purpose, the parameters causing landslides were evaluated, and landslide susceptibility map was produced. The parameters of lithology, slope, elevation, aspect, distance to faults, topographic wetness index, profile curvature, normalized difference vegetation index, plan curvature, sediment carrying capacity index, stream power index of the region were taken into account using the AHP method in evaluations. Landslide data of Sivas/Koyulhisar landslide area were used to validate the resulting map. The accuracy

¹ Arş.Gör., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 58140, Sivas
E-posta/e-mail: seymaceylan@cumhuriyet.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5151-4429

² Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas
İlgili yazar e-posta/ Corresponding author e-mail: khastaoglu@cumhuriyet.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5077-5889

measurement of the results was provided by the ROC (Receiver Operating Characteristic) . AUC (Area under Curve) value was obtained as 0.73 and this value corresponds to a moderate validation value.

Keywords: AHP, GIS, Landslide Susceptibility, ROC Analysis, AUC

1. GİRİŞ

Doğal afet, insan yaşamını olumsuz bir şekilde etkileyen ve tüm canlılar ve çevre üzerinde kayıplar yaratan doğal olaylar olarak tanımlanabilir. Türkiye'nin mevcut jeolojik durumu, topoğrafik yapısı ve iklim özellikleri sebebiyle doğal afetlerle karşı karşıya kalması kaçınılmaz bir gerçektir. Ülkemizde yaşanan doğal afetlerin başında deprem, heyelan, sel gelmektedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan Koyulhisar ilçesinde bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik yapısından dolayı heyelan ve çığ benzeri afetler sıklıkla yaşanmaktadır. Bölgede karasal iklimin hakim olması ve gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları sebebiyle kayalar fiziksel aşınmaya maruz kalmaktadır. Kayaların süreksizlik hatlarında birikmiş su içeriğinin, donma çözünmesi sonucunda fiziksel ayrışmaya neden olması kaya kütlelerinin harekete başlamasına etki ederek bölgede kaya düşmesi olaylarının da görülmesine neden olmaktadır (URL 1).

Koyulhisar ilçesinde 19 Ağustos 1998 tarihinde yaklaşık hacmi 400.000 m³ boyutunda 15 km² 'lik bir alanı kaplayan heyelan gerçekleşmiştir (Yılmaz, 2009). Meydana gelen heyelan Koyulhisar'ın 2 km uzaklığında bulunan Aklan Çayı'nı 24 saat içinde tamamen moloz ile doldurmuştur (Yılmaz, 2009). Koyulhisar'ın kuzeyinde bulunan Seytepede hareket durduktan sonra yeni çatlakların başlamasıyla ana gerilim çatlakları zamanla 150 m uzunluğuna ve 1-1,5 m genişliğine ulaşmıştır. 20 Haziran 2000 tarihinde meydana gelen 250-300 m eğim üzerinde çatlamlar, önceki kaymanın üzerinde izler oluşturarak 21 Haziran 2000 tarihinde yeniden hareketlenme sonucu bir kaç evin yıkılmasına sebep olmuştur (Yılmaz, 2009).

Geçmişte meydana gelen heyelanların en önemlisi Sugözü heyelanıdır. 17 Mart 2005 tarihinde Koyulhisar Sugözü köyü'nün Kuzulu Mahallesi'nin bulunduğu yerin üst kotlarında büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelan sonucunda 15 kişi toprak altında kalarak yaşamını yitirmiştir. Heyelan sırasında bu can kayıplarının yanı sıra, köy camisi ile 21 ev toprak altında kalarak tamamen tahrip olmuş ve 375 adet hayvan telef olmuştur (Gökçeoğlu vd. 2005).

Heyelanların yol açtığı zararları en aza indirmek amacıyla heyelan duyarlılık, risk ve tehlike analizlerinin yapılması önem arz etmektedir. Heyelan oluşumuna karşı eğilimi ifade eden heyelan duyarlılık, gelecekte hangi olası alanlarda heyelanın meydana geleceğini gösteren ve heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerin değerlendirilmesiyle oluşturulmaktadır (Varnes, 1984; Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Çalışmada sık sık heyelanların yaşandığı Sivas ili Koyulhisar ilçesi ele alınarak, bölgeye ait heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır. Koyulhisar merkezi ve yakın çevresini kapsayan alanda öncelikle heyelan durumu gösterilmiştir. Daha sonra Frekans Oranı Yöntemi ve AHP yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Son dönemlerde, heyelan duyarlılık analizlerinde çokça kullanılan AHP ve ağırlıklı doğrusal kombinasyon modelleri CBS tabanlı sezgisel yaklaşımlar olarak geliştirilmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Akgun, 2012). Uzman görüşüne dayalı yöntemlerden biri olan AHP, karmaşık problemlerin analizinde gösterdiği basitlik, esneklik ve rahat yorumlanması aynı zamanda nitel ve nicel ölçümlerin birlikte değerlendirilebilmesi özelliğinden dolayı yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Tüdeş, 2011). AHP yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizine yönelik, Kamp vd., (2008), Yalcin (2008), Reis vd., (2009), Hasekiogulları ve Ercanoglu (2012),

bölgede kış aylarından sonra eriyen kar sularının yeraltı su seviyesinde oluşturduğu artış sonucu yamaç sabitliğinin etkilenmesi heyelanları tetikleyen önemli sebeplerden birisi olarak gösterilmektedir (Sendir ve Yılmaz, 2001; Hastaoglu vd., 2015).

Çalışma alanının büyük bölümünde litoloji Koyulhisar Formasyonunda en genç birimi oluşturan Pliyo-Kuvaterner yaşlı oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeralardan oluşmaktadır. Toprak (1988) tarafından tanımlanan Düdenyaylası Formasyonu ise Orta-üst Paleosen yaşlı birim altta sarı renkli orta tabakalı kumlu kireçtaşı ile başlar ve gri renkli marn, siltli-kireçtaşı, silttaşı şeklinde ardalanmalı olarak devam eder (Toprak, 1988) Pliyosen yaşlı Dumanlıca Formasyonunda ise birim andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşmaktadır (Terzioğlu 1986). Toprak (1988) tarafından tanımlanan Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale Formasyonunda ise birim alt seviyelerinde aglomera, bazaltik lav akıntılarının ardalanması ile başlar ve aglomera, tüf ardalanması ile devam eder, üst kesimlerinde ise aglomera kumtaşı ardalanması ve bazaltik lav akıntılarında oluşur. Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişen birim ise, çakıl, kum ve siltlerden oluşmaktadır (Uysal vd., 1995).

2.2. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Karar verme problemlerinde kullanılan Analitik hiyerarşi yöntemi, Saaty tarafından 1970'li yıllarda geliştirilmiş olup, ölçme ve karar verme amacıyla kullanılan matematiksel teoridir (Saaty ve Niemira, 2006). AHP, birçok ölçütü barındıran problemlerde hem niceliksel hem de niteliksel faktörlerle uğraşmada esneklik gösterir (Banai-Kashani, 1989).

AHP'de ilk adım öncelikle ayrıştırma sürecidir. Problemin daha kolay analiz edilmesi için amaç, ölçütler, alt ölçütler, alternatifler olmak üzere probleme ait hiyerarşi kurulur. Bu nedenle çalışmanın amacı ve ölçütleri belirlenerek hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur (Şekil 2). İkinci adım ise ölçütlerin göreceli önemini saptanması için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasıdır. Ölçütler arası $n \times n$ boyutlu olan ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Kuruüzüm ve Atsan, 2001; Saaty, 2008). Bu aşamada AHP ile ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmak için Saaty tarafından geliştirilen 1-9 ölçeği kullanılır. Örneğin, bu ölçeğe göre iki ölçüt eşit olarak tercih ediliyorsa 1 değeri, iki ölçütten biri diğerine göre daha önemliyse 3 değeri, çok önemli ise 5 değeri, çok güçlü bir öneme sahipse 7 değeri, mutlak bir üstünlüğe sahipse 9 değeri kullanılır. 2, 4, 6 ve 8 ise kullanılabilecek ara değerlerdir.

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra sentezleme olarak adlandırılan aşamada ise her ölçüte ait öncelik vektörü yani göreceli önemi hesaplanır. Bu aşama, en büyük özdeğer ve özvektör hesabı ve normalize edilme aşamalarını içermektedir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). Daha sonra karar verici tarafından verilen ikili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını tespit etmek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır. Elde edilen tutarlılık oranı değerinin 0,1'den küçük olması uzman görüşüne dayalı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. Tutarlılık oranının 0,1 değerinden büyük olduğu durumlarda ise karar vericinin karşılaştırmalardaki tutarsızlığını gösterir (Hafeez vd., 2002). Bu durumda karşılaştırma matrisinin yeniden oluşturulması gerekmektedir.

Tutarlılık oranı hesaplanırken, öncelikle oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi ile öncelik vektörü çarpılır. Elde edilen her bir değer ile öncelik vektörünün karşılıklı değerleri bölünerek hesaplanan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak maksimum özdeğer olarak adlandırılan λ_{max} değeri hesaplanır. Daha sonra Tablo 1'de verilen Rastgele İndeks değeri de yerine yazılarak eşitlik [1] ve [2]'e göre tutarlılık oranı hesaplanır (Tüdeş, 2011).

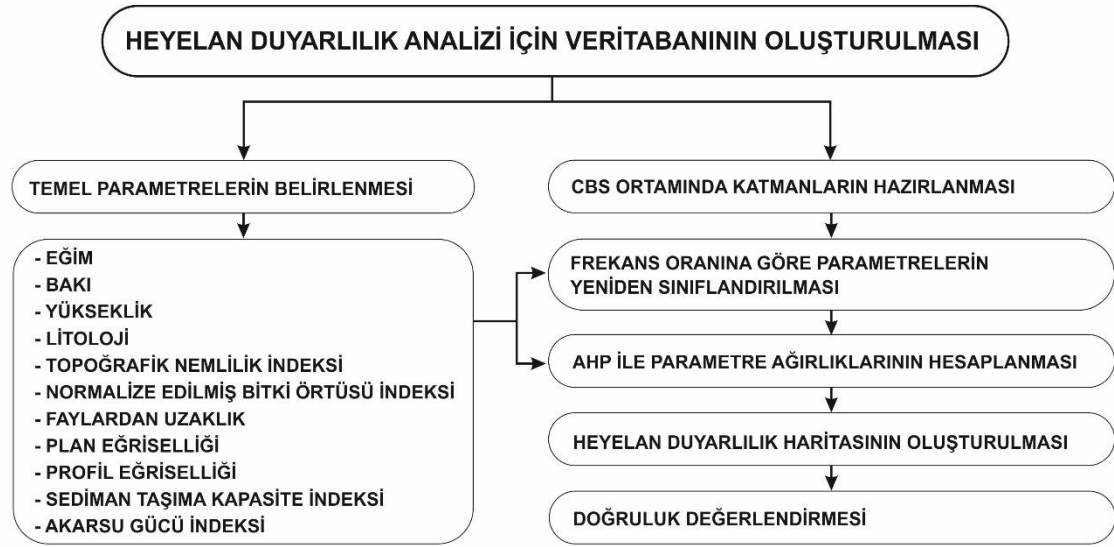
Tablo 1. Random gösterge değerleri (Macharis vd., 2004).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

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

$$CR = CI / RI \quad [2]$$

Eşitlik [1] ve [2]'de yer alan CR: Tutarlılık oranı, CI: Tutarlılık indeksi, RI: Random gösterge değeridir.



Şekil 2. AHP ile heyelan duyarlılık analizi aşamaları

2.3. Metodoloji

Çalışma alanının heyelan duyarlılık analizi için ölçüt haritalarının üretilmesinde ArcGIS 10.1 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanına ait analiz için eğim, litoloji, baki, yükseklik, faylardan uzaklık, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, plan eğriselliği, profil eğriselliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi, akarsu gücü indeksi gibi veriler kullanılmıştır. Yöntem olarak ise Frekans Oranı ve AHP yönteminden yararlanılmıştır. Öncelikle üretilen ölçüt haritaları ve arazi çalışmaları ile üretilen heyelan envanter haritası birlikte değerlendirilerek ölçütlere ait alt ölçütlerin heyelanlarla olan ilişkisi ortaya konulmuştur. Alt ölçüt puanlaması yapılırken frekans oranı değerleri dikkate alınmıştır. Frekans oranının yüksek olduğu değerler heyelan duyarlılığının yüksek olduğunu ifade ettiğinden dolayı, frekans oranı değerlerine göre 1 ve 5 değerleri arasında, 1 değeri çok düşük duyarlılığı 5 değeri ise çok yüksek duyarlılığı gösterecek şekilde yeniden sınıflandırmıştır. Daha sonra AHP yöntemiyle ölçüt ağırlıkları belirlenerek heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

2.4. Veri Kümesi

Heyelanların meydana gelmesinde ve çalışma alanının heyelana olan eğilimi hakkında önemli veriler sunan litolojik yapı etkin bir parametredir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Çalışma kapsamında, Demirel (2016) tarafından bölgeye ait 1/25000 ölçekli H39-b4 topoğrafik harita kullanılarak arazi çalışmaları ile birlikte litoloji birimleri tanımlanan ve topoğrafik harita üzerine

işlenerek sınırları çizilen jeoloji haritası kullanılmıştır. Çalışma alanında 5 farklı formasyon bulunmaktadır ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeralardan oluşan Koyulhisar formasyonu heyelanlı piksel yüzdesi bakımından %53 ile en fazla orana sahiptir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli bir yapısal unsur olan faylar ve faylara uzaklık verisi ise birçok araştırmacı tarafından dikkate alınmıştır. Çalışma alanının tektonik olarak aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) yakın bir bölgede yer alması nedeni ile bölgedeki kayalar genellikle kırık ve çatlaklı olup süreksizlikler içermektedir. Çalışma alanı için faylara 250 m aralıklarla tampon (buffer) analizi uygulanarak faylara uzaklık haritası elde edilmiştir.

En yaygın kullanılan parametrelerden biri olan eğim verisi ise Sayısal Yükseklik Modelinden üretilerek 10° aralıklarla 6 sınıfa ayrılmıştır. Çalışma sahasına ait üretilen eğim verisi ile heyelanlar karşılaştırılarak arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Bu verilere göre heyelanlı alanların en fazla yüzdeye sahip olduğu aralık %45 ile 10-20° eğim aralığıdır.

Sayısal Yükseklik Modelinden üretilen yükseklik sınıfları ise 150 m aralıklarla sınıflandırılmıştır. Yükseklik verilerine göre çalışma sahasındaki minimum yükseklik değeri 631 m, maksimum yükseklik değeri 1835 m'dir. 1350-1500 m yükseklik aralığında %27 ile heyelanlı piksel yüzdesi bakımından en yüksek orana sahiptir.

Heyelan duyarlılığı için kullanılan diğer parametre ise bakı verisidir. Her bir yamaçta farklı olan ve 0-360° arasında oluşturulan bakı verisi ana ve ara coğrafi yönleri (Kuzey, Güney, Kuzeybatı vb.) kapsayacak şekilde sınıflara ayrılmıştır. Özellikle güney bakılarının heyelan yoğunluğu daha fazladır. Güneydoğu bakısı %21 güney bakısı % 37 ve güneybatı bakısı % 21 olmak üzere bu üç bakı heyelanlı piksel yüzdesinin yaklaşık % 79'unu kapsamaktadırlar.

Çalışma alanının bitki örtüsü dağılışı NDVI değerleriyle ile ortaya konulmuştur. 2006 tarihli yakın kızılötesi bandına sahip Quickbird uydu görüntüsü ile ArcGIS Image Analysis menüsü kullanılarak NDVI değerleri elde edilmiştir. NDVI verisi -1 ile +1 arasında değişim gösteren değerlere sahiptir. Su, bulut, kar ve bitki örtüsünden yoksun alanlar negatif değerlere sahipken, kayalık ve toprak örtüsü 0'a yakın değer göstermektedir. Yüksek değerler ise bitkilerin yoğunluk kazandığı alanları göstermektedir (URL 2). Çalışma alanında 0,6-0,99 değer aralığı % 1,9 ile heyelanlı bölgeler bakımından en az dağılıma sahiptir.

Topografik nemlilik indeksi, sahadaki jeolojik birimlerin doygunluğu, suya doygun bölgelerin konumlarını ve boyutlarını belirten göstergelerden birisidir (Gokceoglu vd., 2005, Akıncı vd., 2014). SYM verisi kullanılarak çalışma alanına ilişkin topografik nemlilik indeksi haritası elde edilmiştir.

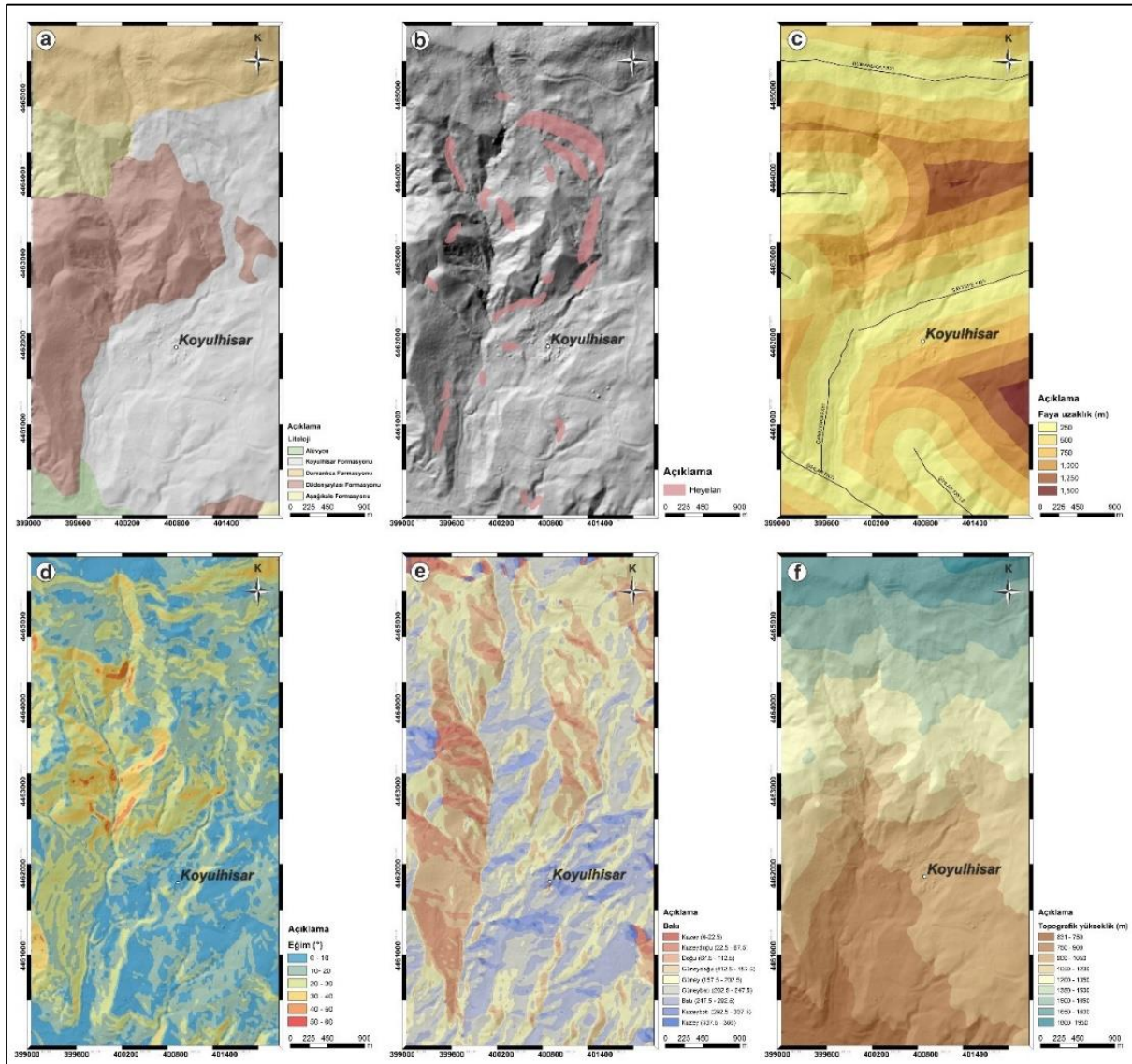
Plan eğriselliği konverjans (birleşen) veya diverjans (ayrılan) alanlarını belirleyerek yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. Profil eğriselliği haritasında ise akış yönüne doğru eğim değişim oranını ifade eder (Wilson ve Gallant, 2000; Delikanlı, 2010). Çalışmada SYM haritası kullanılarak üretilen plan eğriselliği haritası değerlerinin heyelanlı piksel yüzdeleri düz %18, içbükey %41, dışbükey sınıfı ise %39 olarak bulunmuştur. Profil eğriselliği verisi için heyelanlı piksel değerleri ise içbükey sınıfı %41, dışbükey sınıfı %38, düz sınıfı ise %20 olarak bulunmuştur.

Akarsuyun belirli bir noktadaki aşındırma potansiyelinin ölçüsünü belirlemek için akarsu eğimi ve beslenme alanına bağlı olarak belirlenen ve Moore ve Burch (1986 a, b) tarafından geliştirilen Akarsu aşındırma gücü indeksi Moore vd., (1991) tarafından akış halindeki suyun erozyon gücünün ifadesi olarak tanımlanmaktadır. Akarsu gücü indeksi değerlerinin yüksek olduğu

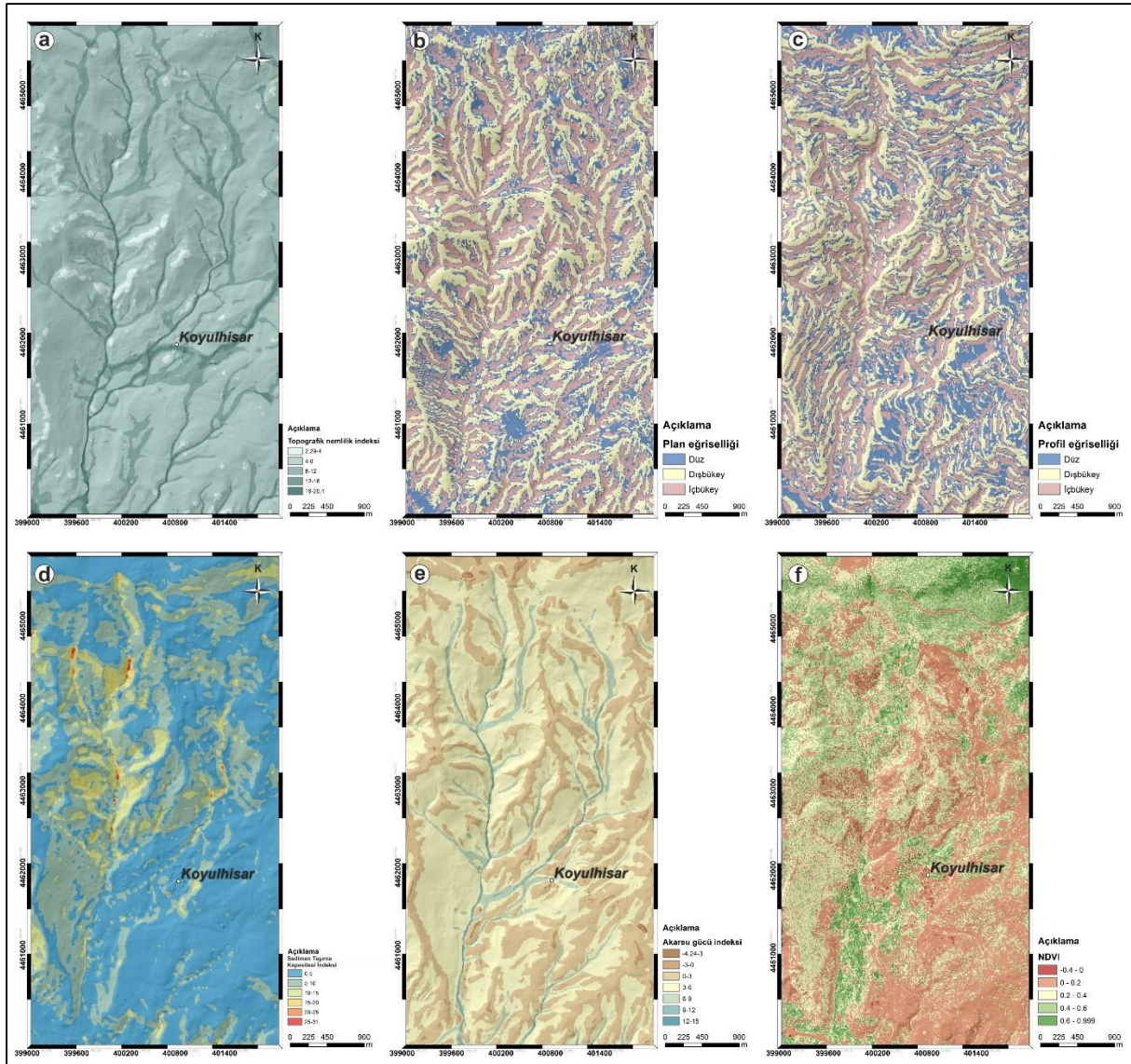
bölgeler büyük erozyon potansiyeline sahip olduğu için sedimentleri alıp götürecektir potansiyel enerjiyi yani sediment kaynağı olabilecek yerleri de göstermektedir (Kakembo vd., 2009; Güney, 2018).

Sediman Taşıma Kapasitesi İndeksi, Moore ve Burch (1986 a, b) tarafından geliştirilmiş olup, akarsuyun belirli bir noktadaki aşındırma potansiyelinin ölçüsünü belirlemek için akarsu eğimi ve beslenme alanına bağlı olarak belirlenir (Delikanlı, 2010). Wilson ve Gallant'a (2000) göre, sediman taşıma kapasitesi indeksi haritasında elde edilen küçük değerler daha çok havza sınırlarında gözlenirken büyük değerler ise yamaç eğiminin yüksek olduğu yamaçlarda ve geniş toplama havzasına sahip olan yerleri göstermektedir (Altural, 2012).

Çalışma kapsamında her bir ölçütün frekans oranının belirlenmesi ve üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirmesi kısmında gerekli olan heyelan konumlarının saptanması için Yılmaz (2009) tarafından Koyulhisar'da yapılan heyelan duyarlılık çalışması dikkate alınarak ve saha çalışmaları sonucu heyelan konumları belirlenmiştir. Her bir ölçüte ait haritalar Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir.



Şekil 3a. a. Litoloji haritası b. Heyelan lokasyon haritası c. Faya uzaklık haritası d. Eğim haritası e. Bakı haritası f. Topografik yükseklik haritası



Şekil 3b. a. Topografik nemlilik indeksi haritası b. Plan eğriselliği haritası, c. Profil eğriselliği haritası, d. Sediman taşıma kapasitesi indeksi haritası, e. Akarsu gücü indeksi haritası, f. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi

2.5. Frekans Oranı

Heyelanları tahmin etmek amacıyla, geçmişte heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerin, gelecekteki heyelanların da aynı faktörlerden dolayı oluşacağı varsayımı kabul görmektedir (Chung ve Fabbri, 1999). Frekans oranı hesaplamaları sonucu elde edilen değerler 1 değerinden büyük ise, heyelan ve heyelana sebep olan ölçüt arasındaki ilişki o kadar fazla, 1 değerinden ne kadar küçük olursa aralarındaki ilişki o kadar düşük olacaktır (Erener ve Düzgün, 2010; Arca ve Kutoğlu, 2017). Çalışma alanına ait heyelanlar referans alınarak heyelan duyarlılık analizi için değerlendirilen her ölçütün alt sınıflarındaki heyelanlı hücre sayıları belirlenerek heyelanlar ve üretilen veriler arasındaki ilişki incelenmiştir (Tablo 2). Frekans oranı hesabı için eşitlik [3] kullanılmıştır.

$$FR = A/B \quad [3]$$

A, heyelanı etkileyen her bir ölçüte ait alt ölçütlerinin heyelan varlığı yüzdesi, B heyelanı etkileyen faktörlerin her bir kategorisinin yüzdesidir (Demir, 2016). Çalışma alanı için heyelanı etkileyen

her bir ölçütün frekans oranları hesaplanmıştır. Rastgele seçilen heyelan piksellerinin yarısı frekans oranı hesabı için diğer yarısı ise sonuç haritasının doğrulanması için kullanılmıştır.

Tablo 2. Ölçüt ağırlıkları ve frekans oranı değerleri

Ölçütler	AHP Ağırlık değeri	Alt ölçütler	Heyelanlı piksel sayısı (%)	Toplam alanın yüzdesi (%)	Frekans Oranı (FO)	Alt ölçüt Puanı
Eğim (°)	0,24	0 - 10	11,0	24,34	0,45	2
		10 - 20	45,0	42,80	1,05	4
		20 - 30	38,2	25,28	1,51	5
		30 - 40	5,8	6,87	0,85	3
		40 - 50	0,0	0,70	0,06	1
		50 - 60	0,0	0,00	0,00	1
Bakı	0,02	Kuzey	0,00	0,39	0,00	1
		Kuzeydoğu	0,26	1,68	0,15	1
		Doğu	10,60	7,53	1,41	5
		Güneydoğu	21,89	18,07	1,21	4
		Güney	37,51	27,54	1,36	5
		Güneybatı	21,16	24,59	0,86	3
		Batı	8,56	15,87	0,54	2
		Kuzeybatı	0,02	3,84	0,01	1
Kuzey	0,00	0,48	0,00	1		
Yükseklik	0,07	631-750	0,77	4,58	0,17	1
		750-900	13,24	16,84	0,79	3
		900-1050	11,85	21,47	0,55	2
		1050-1200	18,99	14,06	1,35	4
		1200-1350	17,17	14,04	1,22	4
		1350-1500	27,40	9,77	2,80	5
		1500-1650	10,58	10,33	1,02	4
		1650-1800	0,00	8,12	0,00	1
		1800-1950	0,00	0,78	0,00	1
Litoloji	0,17	Aşağıkale formasyonu	6,416	5,931	1,082	4
		Düdenyaylası formasyonu	38,305	29,656	1,292	5
		Dumanlıca formasyonu	1,695	17,026	0,100	2
		Alüvyon	0,000	2,330	0,000	1
		Koyulhisar formasyonu	53,584	45,057	1,189	5
Topografik nemlilik indeksi	0,11	2,29-4	1,137	3,686	0,309	2
		4- 8	81,738	80,259	1,018	4
		8- 12	15,107	13,535	1,116	5
		12- 16	1,996	2,386	0,836	3
		16 -20,4	0,021	0,134	0,160	1
NDVI	0,04	(-0,45) - 0	0,236	0,387	0,6093	2
		0 - 0,2	48,219	40,253	1,1979	5
		0,2 - 0,4	34,571	33,006	1,0474	4
		0,4 - 0,6	15,000	20,955	0,7158	3
		0,6-0,99	1,974	5,398	0,3657	1
Faylardan Uzaklık (m)	0,16	0 - 250	25,536	30,611	0,834	3
		250 - 500	25,579	30,767	0,831	3
		500 - 750	25,429	21,832	1,165	4
		750 - 1000	17,597	10,749	1,637	5
		1000 - 1250	5,858	5,311	1,103	4

CBS Tabanlı AHP Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Sivas Koyulhisar Heyelan Duyarlılık Haritalarının Güvenilirliğinin Araştırılması

		1250 – 1500	0,000	0,730	0,000	1
Plan eğriselliği	0,03	Düz	18,841	25,016	0,753	1
		İçbükey	41,674	35,370	1,178	5
		Dışbükey	39,485	39,613	0,997	3
Profil eğriselliği	0,03	Düz	20,601	27,274	0,755	1
		İçbükey	41,266	35,644	1,158	5
		Dışbükey	38,133	37,082	1,028	3
Sediman taşıma kapasitesi indeksi	0,05	0 - 5	37,424	54,466	0,687	2
		5 -10	48,197	37,321	1,291	3
		10 -15	12,124	7,422	1,633	3
		15 -20	2,0171	0,635	3,174	5
		20 -25	0,236	0,112	2,096	4
		25 -31	0	0,041	0	1
Akarsu gücü indeksi	0,09	-4,34 -3	0	0,058	0	1
		-3 - 0	0,643	1,366	0,471	2
		0 - 3	23,583	36,344	0,648	3
		3 - 6	62,296	55,443	1,123	4
		6 - 9	11,652	5,880	1,981	5
		9 - 12	1,824	0,903	2,018	5
		12 - 15	0	0,003	0	1

2.6. AHP Yöntemiyle Ölçütlere Ait Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıklar

Heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan ölçütler ve karşılaştırma matrisi Tablo 3'de verilmiştir. İkili karşılaştırma matrisi, uzman görüşünün devreye girdiği aşama olduğundan dolayı, Sendir ve Yılmaz (2001) ve Hastaoglu vd'de (2015) belirtildiği gibi çalışma alanında yer alan kayaların litolojik yapısı ve faylanmaya bağlı olarak kayaların kırık, çatlak gibi süreksizler içermesi, yağış ve eğimin heyelanların oluşmasında önemli bir etken olduğu belirtildiğinden dolayı puanlama kısmında bu görüşler dikkate alınarak ve faktörlerin ağırlıkları literatür araştırmaları (Yalçın, 2007; Reis vd., 2009; Akgun, 2012; Çellek, 2013; Feizizadeh ve Blaschke, 2013; Özşahin, 2014) doğrultusunda belirlenerek heyelan duyarlılık modeli üretilmiştir (Şekil 4).

Tablo 3. Ölçütlere ait ikili karşılaştırma matrisi

Ölçütler	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	Ağırlıklar
(1) Eğim (°)	1	8	2	3	6	3	7	5	4	7	3	0,24
(2) Bakı		1	1/7	1/6	1/3	1/7	1/2	1/4	1/5	1/2	1/5	0,02
(3) Litoloji			1	2	5	2	6	4	3	6	2	0,17
(4) Topografik nemlilik indeksi				1	4	1/3	5	3	2	5	2	0,11
(5) NDVI					1	1/5	2	1/2	1/3	2	1/3	0,04
(6) Faylardan uzaklık						1	6	4	3	6	3	0,16
(7) Plan eğriselliği							1	1/3	1/4	1	1/4	0,03
(8) Sediman taşıma kapasitesi indeksi								1	1/2	3	1/2	0,05
(9) Yükseklik									1	4	1/2	0,07
(10) Profil Eğriselliği										1	1/4	0,03
(11) Akarsu gücü indeksi											1	0,09
Tutarlılık Oranı:												
0,04												

Son aşamada ise AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması aşamasında eşitlik [4]'de verilen formül kullanılarak sonuç haritaları elde edilir (Chen vd., 2017).

$$LSI = \sum_{i=1}^n w_i x_{ui} \quad [4]$$

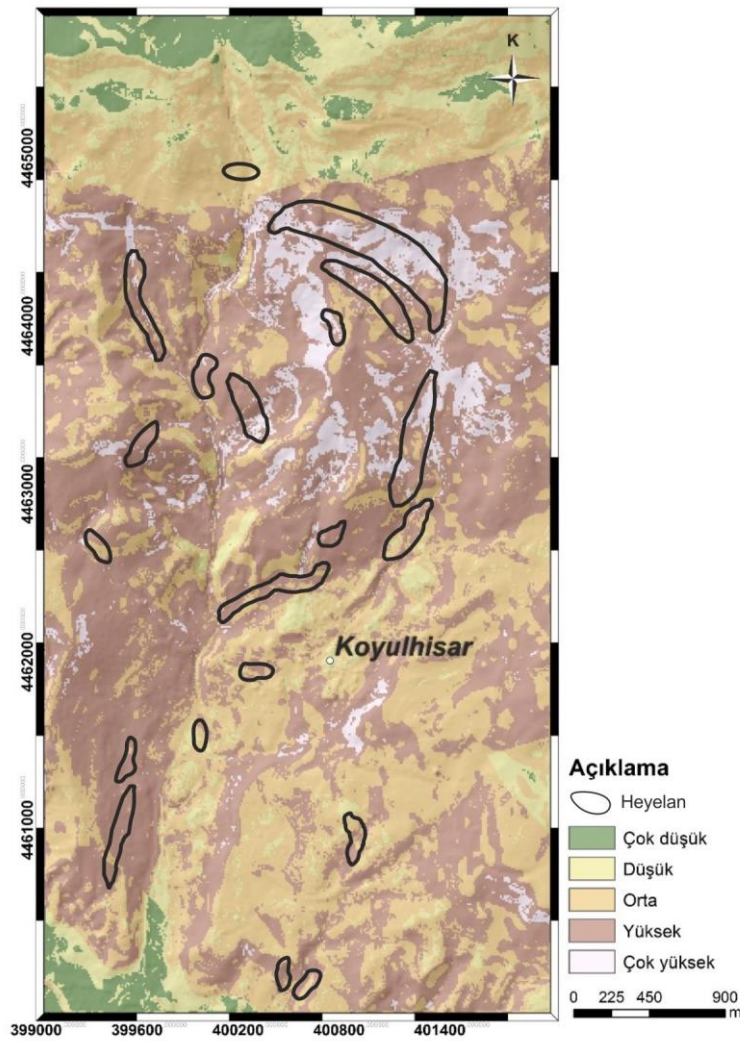
Burada:

LSI: Heyelan duyarlılık indeksi

w_i : i ölçütünün ağırlığı

u_i : Ölçüt i 'nin alt sınıf puanlamasıdır.

Burada yapılan hesaplama, Çok Ölçütlü Değerlendirme'de (Eastman vd., 1995; Dai vd., 2001) tarafından Lineer Ağırlık Kombinasyonu olarak tanımlanan faktörlerin ağırlıkları ile alt ölçüt ağırlıklarının çarpımının toplamı işlemidir (Yalçın, 2007).

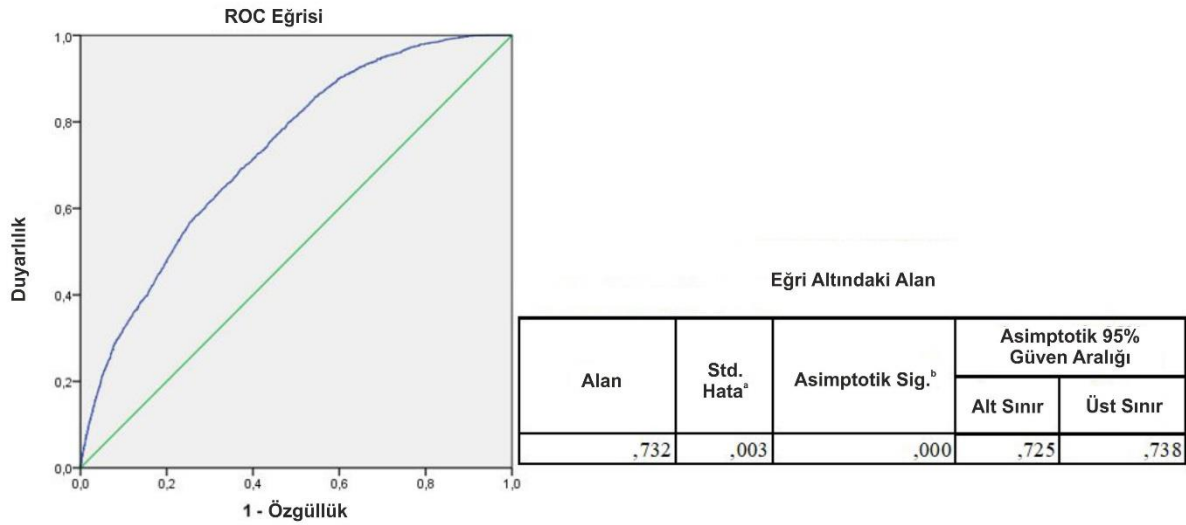


Şekil 4. Çalışma alanına ait üretilen heyelan duyarlılık haritası

3. HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ

Çalışmanın doğruluk değerlendirmesi aşamasında ROC analizi kullanılmıştır. ROC yöntemi, eğri altında kalan alan olarak adlandırılan ve Doğru Pozitif ve Yanlış Pozitif olarak sınıflandırılan alanlardaki oransal karşılaştırmalar sonucunda elde edilen eğrinin altında kalan alan değerinin

hesaplanması temeline dayanmaktadır. Günümüzde veri madenciliği, finans, tıp, psikoloji gibi birçok alanda kullanılan ROC eğrisi özellikle doğal afet analizleri için de yaygın olarak kullanılmakta olup (Park vd., 2013; Ahmed, 2015; Koyuncu, 2015; Myronidis vd., 2016) gibi çalışmalar örnek olarak verilebilir. ROC eğrisi altında kalan hangi alan değerleri için, 0,90-1,00 = Olağanüstü, 0,90-0,80 = Mükemmel, 0,80-0,70 = Orta, 0,70-0,60 = Zayıf, 0,60-0,50 = Kötü ayrım şeklinde belirtilebilir (Koyucu, 2015). Üretilen heyelan duyarlılık haritasını doğrulama aşamasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi adına lisanslı SPSS istatistik programı kullanılmıştır (Şekil 5). Heyelan duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirilmesi için kullanılan veri seti rastgele seçilen heyelan piksellerinin yarısı analiz için diğer yarısı ise sonuç haritasının doğrulanması için kullanılmıştır. Eğri Altındaki Alan değeri 0,732 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Heyelan duyarlılık modeli doğrulama sonuçları

4. SONUÇ

Bu çalışma ile Koyulhisar ilçesine ait heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi aşamasında AHP ve Frekans Oranı Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında heyelanı etkileyen eğim, litoloji, bakı, topografik yükseklik, faylardan uzaklık, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, plan ve profil eğriselliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi, akarsu gücü indeksi parametreleri değerlendirmeye alınmıştır. Oluşturulan sonuç haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olacak şekilde eşit aralıklarla sınıflandırılmıştır. Alanın % 4,45'i çok düşük, % 10,24'ü düşük, % 34,95'i orta, % 44,06 yüksek ve % 6,31 çok yüksek duyarlı olarak tespit edilmiştir. AHP ile belirlenen ağırlık değerlerine göre eğim, litoloji ve faylardan uzaklık etkisi en fazla olan parametrelerden olup, çalışma alanına ait üretilen heyelan duyarlılık haritası incelendiğinde, eğimin 10-30° arasında değiştiği alanlar geniş alan kaplamakla birlikte heyelan envanteriyle de uyumlu olarak bu alanlarda heyelan duyarlılığının yüksek olduğu görülmektedir. Alanın Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda yer alması, litolojik koşulların elverişli olması ve litolojik birimlerin kırıklar ve süreksizlikler içermesi gibi nedenler, çalışma alanının büyük oranda yüksek duyarlı çıkmasını doğrulamaktadır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirmesi aşamasında ise mevcut heyelan verisi kullanılmıştır. Çalışmanın doğruluk değerlendirmesi için ROC analizi eğri altındaki değer hesaplanarak 0,732 değeri elde edilmiştir. Bu değer orta düzeyde bir doğrulama değerine karşılık gelmektedir. Sonuç olarak 11 kriteri göz önünde bulunduran CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak elde edilen Heyelan Duyarlılık haritasının mevcut heyelan verisi ile orta düzeyde uyum sağladığı belirlenmiştir.

Üretilen heyelan duyarlılık haritaları sayesinde afet açısından riskli alanlar dikkate alınarak yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak yapılan bu analizler, doğal afet açısından riskli alanların belirlenmesini zaman ve maliyet açısından da daha ekonomik hale getireceği öngörülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından CUBAP M 468 nolu proje ve TÜBİTAK 111Y111 nolu projeler ile desteklenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında ArcGIS 10.1 ve Netcad 7.6 yazılımları kullanılmıştır

KAYNAKLAR

Ahmed, B. (2015). Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh. *Landslides*, 12(6), 1077-1095. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0521-x>.

Akgun, A. (2012). A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. *Landslides*, 9(1), 93-106. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0283-7>.

Akıncı, H., Özalp Yavuz, A., Özalp, M., Temuçin Kılıçer, S., Kılıçoğlu, C., Erevan, E., 14-17 Ekim 2014. Bayes olasılık teoremi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), İstanbul.

Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s100640050066>.

Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H. J., Lee, J. H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114, 21-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.011>.

Altural, T. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemiyle Akşehir (Konya) Çevresinin Heyelan Duyarlılık İncelenmesi. Unpublished master's thesis). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

Arca, D., Kutoğlu, H.Ş., (2017). Frekans oranı metodu ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs, Ankara.

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(1-2), 15-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>.

Banai-Kashani, R. (1989). A new method for site suitability analysis: The analytic hierarchy process. *Environmental management*, 13(6), 685-693. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01868308>.

Chen, W., Han, H., Huang, B., Huang, Q., & Fu, X. (2017). Variable-weighted linear combination model for landslide susceptibility mapping: case study in the Shennongjia Forestry District, China. *19SPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 347. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6110347>.

Chung, C. J. F., Fabbri, A. G. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 65(12), 1389-1399.

Çellek, S. (2013). Sinop-Gerze yöresinin heyelan duyarlılık analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Trabzon, Doktora Tezi, 271s.

Dai, F. C., Lee, C. F., Li, J. X. Z. W., & Xu, Z. W. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental geology*, 40(3), 381-391. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540000163>.

Delikanlı, M. (2010). Coğrafi bilgi sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) bölgesinin heyelan duyarlılık incelemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Konya, Yüksek Lisans Tezi, 110s.

Demir, G. (2016). Landslide susceptibility assessment of the part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-17. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2016-327>, 2016.

Demirel, M., Tatar, O., Koçbulut, F. (2016). Kuzey anadolu fay zonu üzerinde Koyulhisar (Sivas) ve yakın çevresindeki fayların kinematik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni/Geological Bulletin of Turkey*, 59(3), 357-370. DOI: <https://doi.org/10.25288/tjb.298132>.

Eastman, J. R., Weigen, J., Kyem, P., Toledano, J. (1995). Raster procedures for multiobjective land-use planning. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, 539-547.

Erener, A., Düzgün, H. S. B. (2010). Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway). *Landslides*, 7(1), 55-68. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0188-x>.

Feizizadeh, B., Blaschke, T. (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural hazards*, 65(3), 2105-2128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0463-3>.

Gökçeoğlu, C. Duman, T. Sönmez, H. Nefeslioğlu, H. (2005). 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) heyelanı. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 0(20), 17 - 28.

Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 22(23), 189-206.

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(1), 65-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.011>.

Güney, Y. (2018). Frekans oranı yönteminin erozyon duyarlılık analizinde kullanımı: Selendi Çayı Havzası (Manisa) örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 73-85.

Hafeez, K., Zhang, Y., Malak, N. (2002). Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. *International journal of production economics*, 76(1), 39-51. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00141-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00141-4).

Hasekioğulları, G. D., Ercanoğlu, M. (2012). A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards*, 63(2), 1157-1179. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0218-1>.

Hastaoglu, K. O. (2016). Comparing the results of PSInSAR and GNSS on slow motion landslides, Koyulhisar, Turkey. *Geomatics, natural hazards and risk*, 7(2), 786-803. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.978822>.

Hastaoglu K.Ö., Türk T., Koçbulut F., Şanlı Balık F., Poyraz F., Yılmaz I., Şanlı D.U., Demirel M., Kuçka R.A., Nebipaşagil F., Ceylan Ş., (2015). GNSS ve PS-InSAR yöntemleri kullanılarak heyelanların izlenmesi ve afet bilgi sistemi tabanlı risk analizlerinin gerçekleştirilmesi: Koyulhisar (Sivas) heyelanları (Sonuç Raporu). *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu*, 198s.

Kakembo, V., Xanga, W. W., & Rowntree, K. (2009). Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of communal areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa. *Geomorphology*, 110(3-4), 188-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.04.006>.

Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., & Owen, L. A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101(4), 631-642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.03.003>.

Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F. (2013). Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.003>.

Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U., Calligaris, C. (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11-24.

Koyuncu, M.S. (2015). Psikolojik ölçeklerde ROC analizi yöntemiyle standart belirleme. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi,122 s.

Kuruüzüm, A., Atsan, N., (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1(1), 83-105.

Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., & Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European journal of operational research*, 153(2), 307-317. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00153-X).
Mandal, S. ve Mondal, S. (2019). Statistical approaches for landslide susceptibility assessment and prediction, springer international publishing, Cham, 193 s.

Moore, I. D., Burch, G. J. (1986a). Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. *Water Resources Research*, 22(8), 1350-1360. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR022i008p01350>.

Moore, I. D., Burch, G. J. (1986b). Modelling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1624-1630.

Moore, I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>.

Myronidis, D., Papageorgiou, C., Theophanous, S. (2016). Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards*, 81(1), 245-263. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2075-1>.

Özşahin, E. (2014). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak Antakya (Hatay) şehri'nde kütle hareketleri duyarlılığının değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), 19-35.

Özşahin, E. (2015) Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak Tekirdağ şehrinin heyelan duyarlılık analizi. *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, vol. 1, pp. 50-71.

Park, S., Choi, C., Kim, B., Kim, J. (2013). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environmental earth sciences*, 68(5), 1443-1464. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1842-5>.

Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekercin, S. (2009). CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu*, Ankara.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.

Saaty, T.L., Niemira, M.P. (2006). A framework for making a better decision how to make more effective site selection, store closing and other real estate decisions. *Research Review*, 13(1), 1-4.

Sendir, H., Yılmaz I. (2001). Koyulhisar heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A:Yer Bilimleri*, 18 (1), 47-54.

Sendir, H., Yılmaz, I. (2002). Structural, geomorphological and geomechanical aspects of the Koyulhisar landslides in the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey). *Environmental geology*, 42(1), 52-60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0528-9>.

Sivakami, C., & Sundaram, A. (2014). Landslide susceptibility zone using frequency ratio model, Remote sensing & GIS-a case study of Western Ghats, India (part of Kodaikanal taluk). *Journal of Environment and Earth Science*, 4(22), 54-61.

Terzioğlu, N. (1986). Reşadiye-Gölköy ve Koyulhisar arasındaki tersiyer kuvaterner yaşlı volkanitlerinin genel stratigrafik özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Yerbilimleri*, 3/1, 3-13.

Toprak, V. (1988). Neotectonic characteristics of the North Anatolian fault zone between Koyulhisar and Suşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Appl. Sci*, 21, 155-166.

Tüdeş, Ş. (2011). Planlamada jeolojik eşiklerin değerlendirilmesine ilişkin analitik bir model önerisi-Portsmouth (İngiltere) örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 273-288.

Uysal vd. (1995). Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama, Rapor No: 9838*.

URL 1, <https://sivas.afad.gov.tr/il-planlari> (Son Erişim: 01.10.2022)

URL 2, <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>> (Son Erişim: 20.04.2018)

Üzel, N., Öztürk, D. (2021). Van ili heyelan duyarlılığının frekans oranı yöntemiyle analizi. *Uludağ üniversitesi mühendislik fakültesi dergisi*, 26 (3) , 865-884 . doi: 10.17482/uumfd.969246.

Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice (No. 3).

Wilson, J. P., Gallant, J. C. (2000). Digital terrain analysis. *Terrain analysis: Principles and applications*, 6(12), 1-27.

Yalçın, A. (2007). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS'nin Kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi dergisi*, 23 (3), 2-14.

Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *catena*, 72(1), 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.003>.

Yılmaz, I. (2009). A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 297-306. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0185-2>.