

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı AHS yöntemi ile Erzincan-Sivas Karayolu ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi

Betül Güneş¹, Ali Ümran Kömüşcü^{1*}

¹Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Yenimahalle, 06560, Ankara.

Özet

Heyelanlar Türkiye’de depremde sonra en fazla insan kayıplarına ve ekonomik zarara yol açan afetlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada sık sık heyelanlara maruz kalan Erzincan-Sivas karayolu ve çevresindeki alanda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılarak heyelana karşı duyarlı alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Sahanın heyelana duyarlılığının analizinde eğim, baki, yükseklik, litoloji, fay hatlarına mesafe, akarsuya mesafe, anayola mesafe, yağış ve bitki yoğunluğu (NDVI) gibi faktörler dikkate alınmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre Erzincan-Sivas Karayolu çevresindeki 6,39 ha alanın heyelana karşı çok yüksek duyarlılığa ve 120 ha alanın ise yüksek duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma Erzincan-Sivas karayolu ve yakın çevresinin yüksek duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koyarken, karayolundan uzaklaştıkça duyarlılığın azaldığını göstermiştir. Çalışma sahasının heyelana olan dirençliliğini artırmak için erken uyarı sisteminin önemini vurgulayarak, duyarlılığı yüksek alanlarda belirlenen lokasyonlara uyarı-ikaz sistemi kurulmasını önermektedir.

Anahtar Sözcükler

Heyelan, Erzincan-Sivas Karayolu, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Analysis of Landslides Susceptibility of the Erzincan-Sivas Road and Its Surrounding Region by the AHP Method based on Geographic Information Systems (GIS)

Abstract

Landslides cause the highest human loss and economic damages following the earthquakes in Türkiye. This study aimed to identify areas that are susceptible to landslides in the Erzincan-Sivas highway and its surrounding region which frequently suffer from landslides based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) Method using Geographic Information System (GIS) approach. A number of factors including slope, aspect, elevation, lithology, proximity to fault lines, proximity to rivers, proximity to main roads, precipitation, and vegetation density based on NDVI were considered in assessing the susceptibility of the region to landslides. The findings of the analysis indicate that a nearly 6,39 ha area along the Erzincan-Sivas highway has an extremely high susceptibility to landslides while 120 ha has a high susceptibility to landslides. Furthermore, the susceptibility to landslides is highest along and in the vicinity of the Erzincan-Sivas highway and decreases as it becomes distant from the Erzincan-Sivas highway. The study emphasizes the importance of early warning systems to increase resilience against landslides and proposes setting up an early warning system at the landslide-prone locations in the area.

Keywords

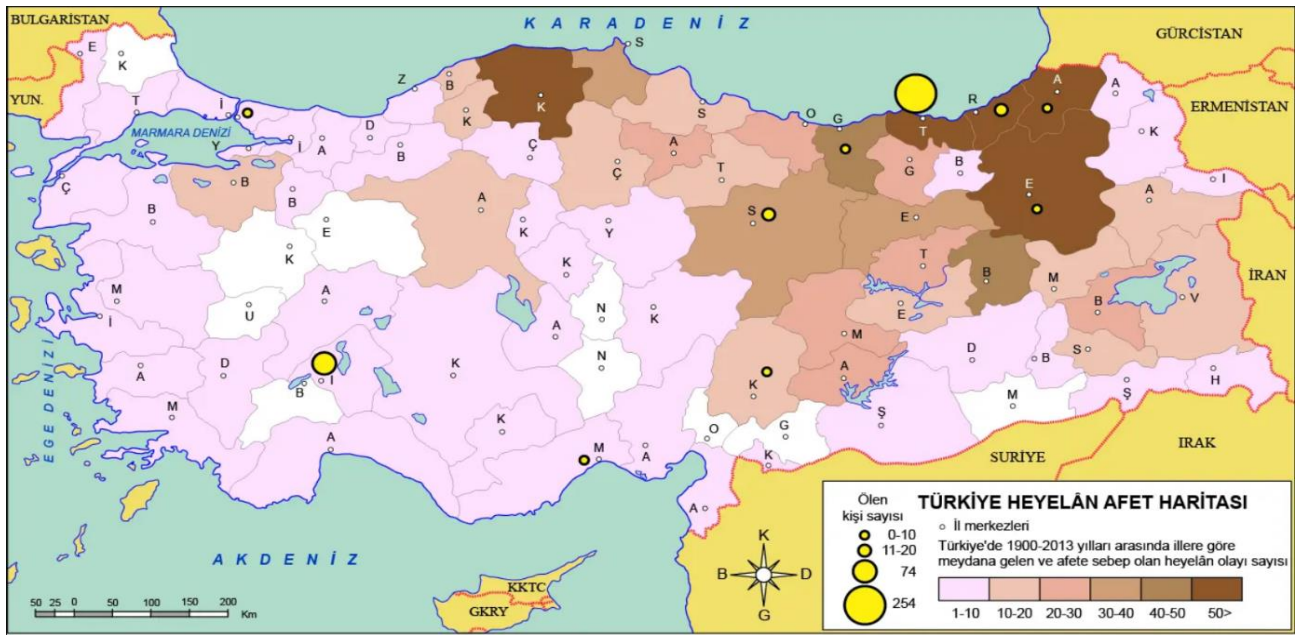
Landslides, Erzincan-Sivas Highway, Geographic Information Systems, Analytic Hierarchy Process (AHP)

1. Giriş

Heyelanlar arazi bozulmalarına, tarım arazilerinin ve yerleşim yerlerinin zarar görmesine neden olan ve sık olarak görülen doğal afetlerin başında yer almaktadır (Ceylan Demirel & Hastaoglu, 2022). Afet. Epidemiyolojileri Araştırma Merkezi (CRED) istatistiklerine göre; heyelanlar küresel ölçekte tüm doğal afetlere dayalı ölümlerin yaklaşık %17’sini oluşturmaktadır (CRED, 2021). Heyelanlar, başta jeolojik ve jeomorfolojik etkenler olmak üzere, meteorolojik faktörler ve insan aktivitelerine bağlı olarak yamaç stabilitesinin bozulmasıyla kendini gösteren kütle hareketleridir (Cruden & Varnes, 1996). Yamaç stabilitesinin bozulması sonucu harekete meyilli duruma gelen toprak ve alttaki kayalar, yerçekiminin de etkisiyle yamaç eğimi doğrultusunda yer değişikliğine uğrar. Arazinin eğim durumu, toprağın suya doygunluğu, litolojik özellikler, bitki örtüsünün zayıflığı, donma ve çözülme olayları, çökmeler ve erozyon gibi toprağın bozulmasına yol açan olaylar heyelanların oluşumuna sebep olan önemli fiziki faktörler arasında yer almaktadır (Öztürk, 2002).

Diğer taraftan, şiddetli ve sürekli yağışlar ve kar erimeleri ana kayanın ya da zeminin üzerindeki toprak örtüsünü su içeriğini ve dolayısı ile ağırlığını artırarak sürtünmeyi azaltır ve bu durumda kayma hareketine zemin hazırlayarak heyelan oluşumu kolaylaşmaktadır. Heyelan oluşumunda, yamaçların alt sınırlarında yol, tünel, baraj ve kanal gibi inşaat çalışmaları ve buna bağlı olarak yamaç eğimlerinde bozulmalar meydana gelmesi, maden ve taş ocaklarındaki suni patlamalar ve sarsıntılar, yamaçlarda ve yamaç eteklerinde yapılan hafriyatlar ve yamaçlardaki bitki örtüsünün tahribi insan kaynaklı faktörler olarak önemli rol oynamaktadır.

Türkiye'nin iklim koşulları ve jeomorfolojik-jeolojik özellikleri kütle hareketlerinin oluşması için uygun şartlar göstermektedir. Afete neden olan heyelanlar dikkate alındığında, özellikle Karadeniz Bölgesi kıyı kuşağı ve Sivas-Erzurum arasındaki bölgenin yüksek heyelan oluşumlarına sahip olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 1). Ayrıca kütle hareketlerine eğilimli yamaçlar üzerindeki bitki örtüsünün tahribi ve yanlış arazi kullanım uygulamaları bu türlü hareketlere hız kazandırmaktadır. Diğer taraftan, Türkiye yüzölçümünün 2/3'ü eğimli ve sarp araziden oluşması, eğimli arazilerde tarım yapılması, ormanlık alanların tahribatı ve meraların aşırı otlatılması kütle hareketlerine zemin hazırlayan diğer önemli faktörlerdir. Genel olarak, şiddetli yağışlar ve kar erimeleri deniz seviyesinden yüksek engebeli topografyalarda litolojik koşulların uygunluğuna bağlı olarak doğal koşullarda meydana gelen ölümcül heyelanların sayısı daha yüksek iken, deniz seviyesinden yüksek olmayan daha az karmaşık topografya koşullarında ise insan faaliyetlerine bağlı olarak meydana gelen ölümcül heyelanların sayısının fazla olduğu tespit edilmiştir (Fidan, 2019).



Şekil 1: Türkiye heyelan afet haritası (<https://www.afad.gov.tr/afet-haritalari>)

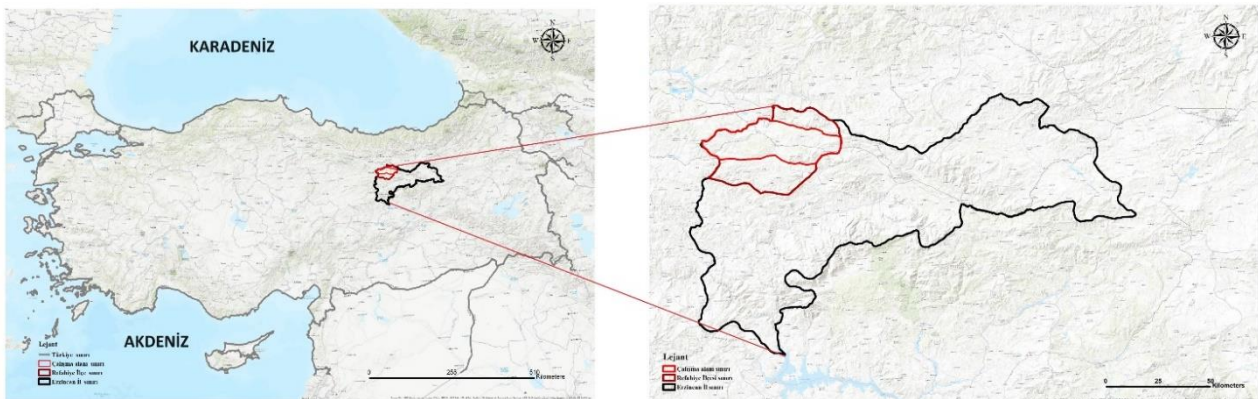
Bir kütle hareketi olarak başlayan heyelan oluşumları, tarım alanları ve yerleşim yerlerine verdikleri zarar ve insan kayıpları ile afete dönüşebilmektedir. Türkiye'de doğal afetlerin sebep olduğu kayıplar dikkate alındığında, kütle hareketleri depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına neden olan afet türüdür (İlçir, 1995; Özşahin, 2015). Görüm ve Fidan (2021) tarafından yapılan bir araştırma, Türkiye'de 1929-2020 yılları arasında meydana gelen 389 heyelan sonucunda 1343 kişinin hayatını kaybettiğini ortaya koymuştur. Bu heyelanların %40'ı meteorolojik ve hidrometeorolojik koşullar ile ilişkilendirilirken, %60'ında ise inşaat ve altyapı çalışmaları gibi insan kaynaklı faktörlerin etkili olduğu ortaya konmuştur. Aynı araştırmaya göre doğal faktörlere bağlı heyelan olaylarının yüzde 65'i Karadeniz Bölgesi'nde meydana gelirken, hidrometeorolojik koşulların daha geniş alanlarda etkili olması nedeniyle insan kaynaklı ölümcül heyelanlara göre daha fazla insan kaybına neden olmuştur. Heyelan ve bununla ilişkili ölüm olaylarının daha yüksek olduğu Doğu Karadeniz Bölgesinde, dağınık yerleşme, yamaçlarda çay plantasyonu ve bu alanlara ulaşmak için yapılmış çok yoğun yol ağlarının heyelan oluşumlarını artırdığı gözlemlenmiştir. Alptekin ve Yakar (2020), Türkiye'nin özellikle Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde sahip olduğu engebeli arazi yapısı nedeniyle heyelana meyilli olduğu ve bu bölgedeki kütle hareketlerinin düzenli aralıklarla izlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Günümüzde heyelana duyarlı alanların tespit edilmesinde en Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamlı olarak kullanılmaktadır (Fidan, 2019). CBS farklı mekânsal verilerin analizine imkân tanıdığı gibi aynı zamanda karar destek sistemi özelliğine sahip bir teknolojidir. Bu teknolojinin kütle hareketlerinin analizinde kullanılması heyelan olabilecek alanları önceden belirlenmesi, modellenmesi ve heyelan sonrası oluşan hasarın belirlenmesi çalışmalarında daha detaylı sonuçların elde edilmesine imkân vermektedir.

Akıncı vd. (2015) tarafından CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak Artvin ilinin bazı mahaller ve köylerinde heyelan duyarlılığının belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada; söz konusu lokasyonlardaki yapıların yaklaşık %68'inin çok yüksek veya yüksek seviyede heyelana duyarlı alanda yer aldığı ortaya konmuştur. Ceylan Demirel ve Hastaoğlu (2022) tarafından, Sivas-Koyulhisar heyelan duyarlılık haritasının yapılmasında CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi (AHP) yöntemi kullanılmış, alanın heyelan duyarlılığının %44,06 yüksek ve %6,31 çok yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Sivas'ın Suşehri ilçesinde yapılan bir başka çalışmada CBS analizleri ile çalışma alanının %22,81'i yüksek ve %23,35'i ise çok yüksek duyarlılığa sahip olduğu tespit edilmiştir (Demir, 2018). Benzer bir çalışmada, CBS ve UA teknikleri kullanılarak Erzurum Uzundere ilçesinin (yaklaşık 840 km²) heyelan duyarlılık analizi yapılmış ve ilçenin %28,1 yüksek ve %4,1 çok yüksek seviyede heyelan duyarlılık sınıfına sahip olduğu tespit edilmiştir (Aleshzadeh & Yavuz, 2019). Özşahin vd. (2013) tarafından yapılan "Camili Biyosfer Rezerv Alanının (Artvin) Heyelan Duyarlılık Analizi" konulu bir çalışmada heyelan tehlikesi ve riskli bulunan alanlar tespit edilerek, heyelanın olumsuz etkilerini azaltmak ve gelecekte heyelan olabilecek potansiyel arazileri belirlemek amacı ile duyarlılık haritaları üretilmiştir. Aykır (2023) tarafından yapılan bir çalışmada Ardahan-Göle karayolunun 8. km'sinde meydana gelen Ardahan-Göle heyelanı incelenerek frekans oranı yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık analizi sonucunda karayolu genişletme faaliyetlerinin heyelanı tetiklediği ortaya konmuştur. Karayolu heyelanları konusunda yakın zamanda yapılan çalışmalardan biride Hepdeniz ve Soyaslan (2024)'a aittir. Çalışmada Isparta-Ağlasun (Burdur) arasındaki karayolunda meydana gelen heyelanlar CBS tabanlı AHS yöntemi ile analiz edilmiş ve güzergâh boyunca kütle hareketlerine eğilimli alanlar belirlenmiştir.

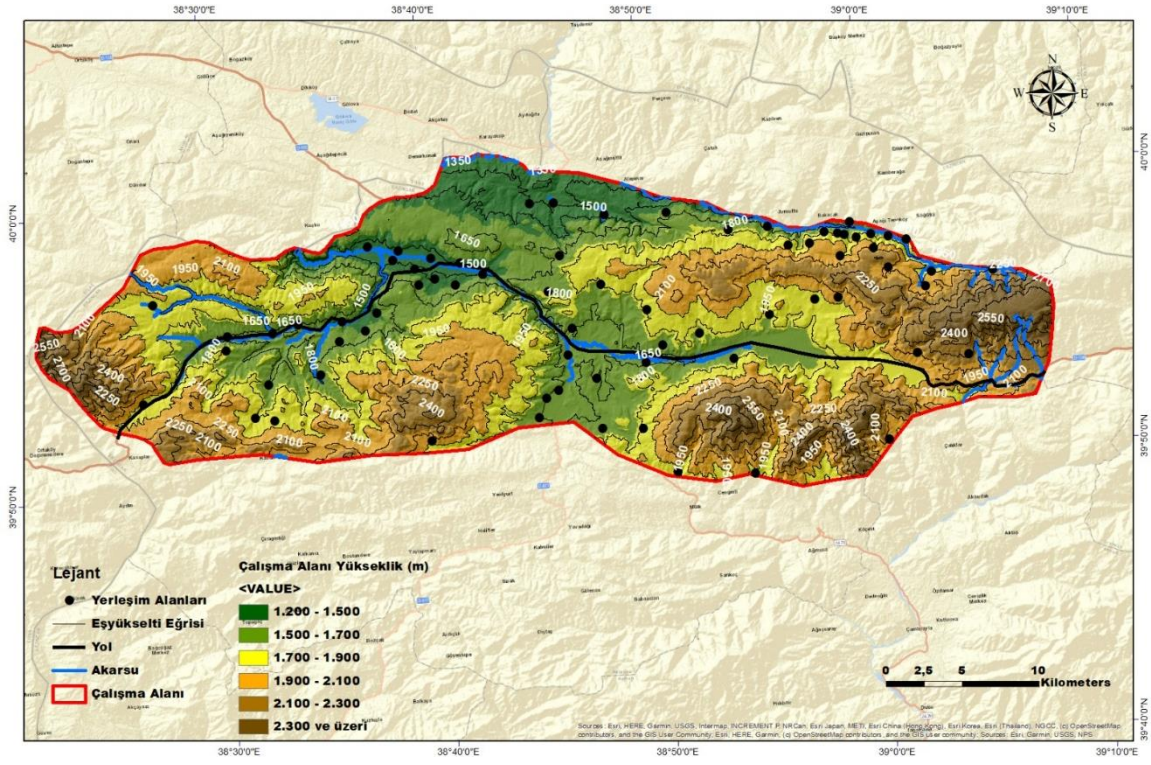
Çalışma alanı ile ilgili yapılan ön araştırmada; Erzincan-Sivas karayolunun belli bölümlerinde heyelan olduğu, özellikle Sakaltutan geçidinin olduğu bölümünde heyelanların yoğunluğunun fazla olması dikkat çekmiştir. Söz konusu yol üzerinde hasarı azaltmaya yönelik herhangi bir uyarı-ikaz sisteminin olmaması problem durum olarak belirlenmiş ve heyelan duyarlılık sınıflarına ait alanlar tespit edilerek, erken uyarı mekanizması ile heyelanlara hazırlıklı olunması hedeflenmiştir. Bu çalışmada; Erzurum-Sivas karayolu çevresindeki alan için heyelan duyarlılığının belirlenmesi, belirlenen risk alanlarına yönelik heyelan erken uyarı-ikaz sisteminin oluşturulması ve UA yöntemlerini ve CBS kullanarak, mekânsal analizler yapabilme kabiliyetinin ortaya konması hedeflenmiştir. Çalışmanın öngörülen sonuçları arasında heyelan duyarlılığının en fazla olduğu alanlara yerleştirilecek olan uyarı-ikaz sistemleri ile heyelana bağlı oluşacak hasarın önlenmesi yer almaktadır. Heyelan duyarlılık analizleri, ülkemizde başta Karadeniz Bölgesi (Görüm, 2006; Şahin, 2012) olmak üzere, Erzurum-Sivas (Demir, 2018; Ceylan Demirel & Hastaoğlu, 2022) arasındaki alanda daha fazla uygulanmış olup, Erzincan-Sivas karayolu üzerinde detaylı bir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Özellikle çalışma alanında heyelan duyarlılığı fazla olan çamurtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşının yaygın olması ve heyelan duyarlılığını artıran Kuzey Anadolu fay hattının bulunması söz konusu alanda heyelan konusunda böyle bir çalışmanın yapılmasını gerekli kılmıştır. En son 2024 yılının Şubat ayında Erzincan'ın Ilıc ilçesinde bir maden sahasında meydana gelen toprak kayması ve heyelanlarda bölgenin insan kaynaklı heyelan olaylarına olan duyarlılığını ortaya koymuştur.

2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Erzincan ili, Refahiye ilçesi idari sınırları içinde yer alan "Sivas-Erzincan karayolu çevresini" kapsamaktadır. Refahiye, 39° 54' 4" Kuzey enlemi ile 38° 46' 7" Doğu boylamı arasında yer alan 174.000 ha alana sahip, yarı kurak karasal iklimin görüldüğü bir ilçedir (Şekil 2). Çalışma alanında ortalama yükseklik 1200 metrenin üzerinde olup, özellikle güneye ve doğuya gidildikçe bu değer 2300 m. ve üzerine çıkmaktadır (Şekil 3).

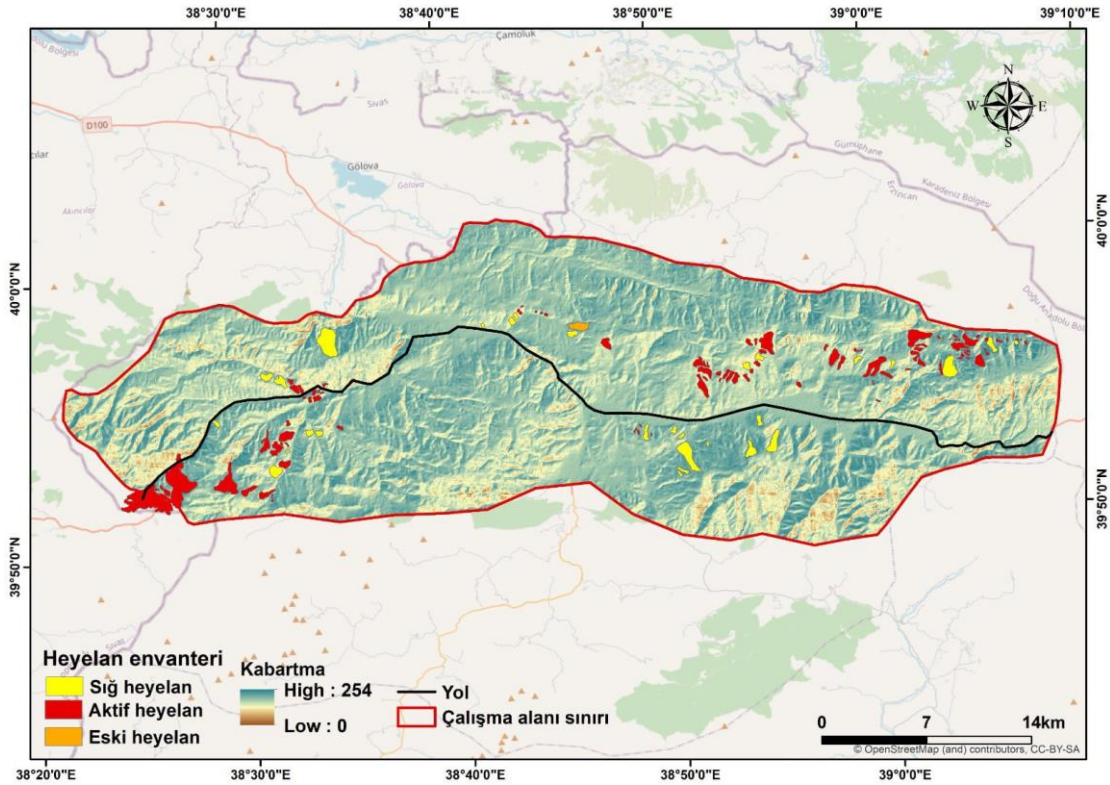


Şekil 2: Çalışma alanını kapsayan Erzincan-Sivas karayolu ve çevresi



Şekil 3: Çalışma alanının yükseklik haritası

Çalışma alanında daha önce meydana gelmiş heyelan alanlarının belirlenmesi ve heyelana neden olan faktörlerin tespit edilmesi, önem arz etmektedir. Bu konuda izlenen yaklaşımlardan biriside, gelecekte oluşma potansiyeli olan heyelanların, geçmişte yaşanan heyelanlarla benzer koşullar altında gerçekleşebileceğidir (Yılmaz, 2009). Bu nedenle çalışma alanında daha önce ve günümüzde meydana gelmiş olan heyelanlar araştırılarak, bölgeye ait heyelan haritaları incelenmiş ve heyelanların alansal dağılımının gösterildiği harita hazırlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Çalışma alanı heyelan envanter haritası

Aktif heyelanların çalışma alanının batısında Erzincan-Sivas karayoluna oldukça yakın alanlarda, doğu bölümünde ise Erzincan-Sivas karayolunun daha kuzeyinde yer aldığı görülmektedir. Erzincan genelinde ve özellikle çalışma alanına ait 2013-2022 yılları arasında meydana gelen heyelanlar, etkileri ve tarihleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: 2013-2022 yılları arası meydana gelen heyelanlar ve etkileri

Yıl	Yıllara Göre Erzincan'da Meydana Gelen Bazı Heyelanlar ve Etkileri (2013-2022)
2013	Erzincan-Erzurum karayolu Erzincan yönünde heyelan nedeniyle ulaşım kapandı (31 Mayıs)
2014	Erzincan-Erzurum karayolunun 100 metrelik bölümü heyelan nedeniyle yok oldu (29 Eylül)
2014	Erzincan'da sağanak yağış sonrası Erzincan-Sivas karayolu Davarlı mevkiinde heyelan nedeniyle yol trafiğe kapandı (21 Temmuz)
2014	Tunceli-Erzincan karayolu heyelan nedeniyle ulaşım kapandı (15 Aralık)
2015	Tunceli-Erzincan karayolu heyelan nedeniyle ulaşım kapandı (29 Mayıs)
2016	Erzincan'ın Refahiye ilçesine bağlı Aşağı Sütü köyünde heyelan meydana geldi, 24 ev boşaltıldı (12 Eylül)
2017	Tunceli-Erzincan karayolunda meydana gelen heyelan nedeniyle düşen kaya parçaları ulaşımı olumsuz yönde etkiledi (8 Aralık)
2018	Erzincan Üzümlü ilçesinde heyelan nedeniyle yük treni raydan çıktı (21 Haziran)
2018	Erzincan Üzümlü ilçesinde Erzincan-Sivas demir yolu heyelan nedeniyle ulaşım kapandı (8 Ağustos)
2019	Erzincan'ın Üzümlü ilçesine bağlı Kureyşlisarıkaya köyünde heyelan meydana geldi (8 Mayıs)
2020	Erzincan'ın Tercan ilçesinde heyelan meydana geldi (10 Temmuz)
2020	Erzincan -Sivas karayolu Sakaltutan geçidinde heyelan meydana geldi (18 Haziran)
2021	Erzincan -Sivas karayolu Sakaltutan geçidinde heyelan meydana geldi (12 Ağustos)
2022	Erzincan -Sivas karayolu Sakaltutan geçidinde heyelan meydana geldi (19 Ağustos)

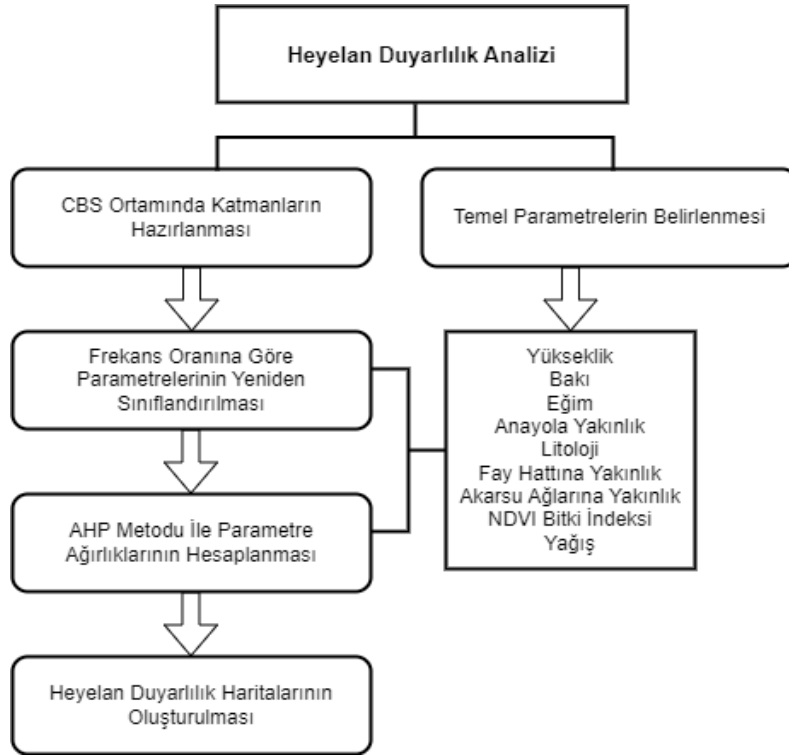
Tablo 1 incelendiğinde, son yıllarda (2020, 2021 ve 2022) Haziran ve Ağustos aylarında çalışma alanında, özellikle Sakaltutan Geçidi’nde heyelanlar meydana geldiği görülmektedir.

3. Yöntem

Bu çalışmada Erzincan-Sivas karayolu ve çevresindeki bölgede heyelan duyarlılık sınıflarını belirlemek için CBS tabanlı, “Çok Ölçütlü Karar Verme” yöntemlerinden birisi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, heyelana karşı en fazla duyarlı olduğu belirlenen alanları için uyarı-ikaz sistemi geliştirilmesi önerilmektedir.

Çalışmada öncelikle çalışma alanına ait, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) heyelan envanter verilerine dayalı olarak mevcut heyelan durumu incelenmiştir. Ardından, CBS destekli AHP yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde DEM (sayısal yükseklik modeli) kullanılarak eğim, bakı, yükseklik; litoloji, fay alanlarına yakınlık, akarsuya yakınlık, anayola yakınlık, yağış değerleri ve bitki yoğunluğu (NDVI) faktörleri kullanılmıştır. ArcGIS yazılımı kullanılarak, faktörlerin ağırlık değerlerine göre heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

AHP heyelan duyarlılık analizlerinde sık kullanılan CBS tabanlı bir yöntemdir (Ayalew & Yamagishi, 2005; Akgun, 2012). AHP yöntemi, bir problemin çözümünde birden çok kritere bağımlılık olması durumunda, kullanıcılara kriterlerin ağırlıklarını belirlemesine imkân sağlamaktadır. AHP yöntemi hiyerarşik bir model kullanımını esasına göre tasarlanmıştır ve her problem için amaç, kriterler (ölçütler), alt kriterler ve seçeneklerden oluşan bir ayrıştırma süreci söz konusudur (Özcan vd., 2009). Problem, hiyerarşik bir yapı esasına göre dizayn edildikten sonra, hiyerarşiyi oluşturan ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Literatürde AHP yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık analizlerine Kamp vd. (2008); Yalcin (2008); Reis vd. (2009); Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012); Çellek (2013); Park vd. (2013); Kayastha vd., (2013); Althuwaynee vd. (2014); Özşahin (2015) ve Ahmed (2015) gibi çalışmalar örnek olarak verilebilir. AHP yönteminin uygulanmasında ilk aşamada hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur (Şekil 5). Sonraki adım ise ölçütlerin göreceli öneminin saptanması için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasını kapsamaktadır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra sentezleme olarak adlandırılan aşamada ise her ölçütün göreceli önemi hesaplanır. Daha sonra karar verici tarafından verilen ikili karşılaştırma kararlarının tutarlılığını belirlemek için tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranı değerinin 0,1’den küçük olması uzman görüşüne dayalı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ifade ederken, tutarlılık oranının 0,1 değerinden büyük olması ise karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını ifade etmektedir (Hafeez vd., 2002). Yöntemin detayları ve hesaplamaları içeren analizler Saaty ve Niemira (2006); Kuruüzüm ve Atsan (2001); Saaty (2008) ve Tudes (2011) tarafından etraflıca açıklanmıştır.



Şekil 5: AHP ile heyelan duyarlılık analizi aşamaları

Eğim, bakı, litoloji ve arazi örtüsü gibi parametreler heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında sıkça kullanılan parametrelerdir. Bu çalışmada da eğim, litoloji, bakı, yükseklik, faylardan uzaklık, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), akarsuya yakınlık, anayola yakınlık ve yağış verileri kullanılmıştır. AHP yöntemiyle her bir parametreye ait ölçüt ağırlıkları belirlenerek heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. AHP metodu ile heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında [Chen vd. \(2016\)](#) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

$$LSI = \sum_{i=1}^n w_i x u_i \quad (1)$$

Bu eşitlikte LSI = Heyelan Duyarlılık İndeksini, w_i i ölçütünün ağırlığını ve u_i ise Ölçüt i'nin alt sınıf puanlamasıdır. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları ArcGIS 10.1 yazılımı ile üretilmiştir.

4. Heyelan Duyarlılık Sınıflarına Ait Alanların Belirlenmesi

Yapılan çalışmada, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde CBS destekli AHP yöntemi kullanılmıştır. Literatür taraması yapılarak belirlenen faktörlere ait veriler ve ulaşıldıkları kaynaklar tablo 2'de verilmiştir. CBS platformunda heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenebilmesinin ilk aşamasında farklı parametrelere ait tüm verileri ArcGIS Spatial Analyst Tool aracı ile vektör verileri raster veriye çevrilmiştir. Tablo 2'de yer alan DEM ve uydu görüntüleri ise raster verisi formatındadır. Tüm veriler raster formatında ArcMap ile heyelan duyarlılıklarının belirlenmesi için yeniden sınıflandırılmıştır.

Tablo 2: Kullanılan faktörler ve faktörlere ait veri kaynakları

Faktörler	Veri Tipi	Kaynak	Periyod
Yükseklik, eğim ve bakı	SYM (Sayısal Yükseklik Modeli)	U.S. Geological Survey (2024a)	18.12.2022
Litoloji, fay	Vektör veri (çizgi)	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (2024)	-
Akarsu, ana yol	Vektör veri (çizgi)	OpenStreetMap	-
NDVI	Landsat 8 Band 4 ve 5 Uydu görüntüsü (30 metre çözünürlük)	U.S. Geological Survey (2024b)	27-29 Aralık 2022
Yağış	Vektör veri (nokta)	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2024)	2013-2022

2.1. Heyelana Neden Olan Faktörlerin Belirlenmesi

Yapılan çalışmada, literatür taraması yapılarak, konuyla ilgili hangi parametrelerin kullanıldığı tespit edilmiş (Öz & Günek, 2021; Çellek, 2020; Özşahin, 2014; Bulut & Dağ, 2012; Nasery, 2022) ve çalışma alanı da dikkate alınarak literatürde de sıklıkla kullanılan, yükseklik, eğim, bakı, yağış, jeoloji, akarsuya yakınlık, yola yakınlık, fay alanlarına yakınlık, NDVI faktörleri belirlenmiştir.

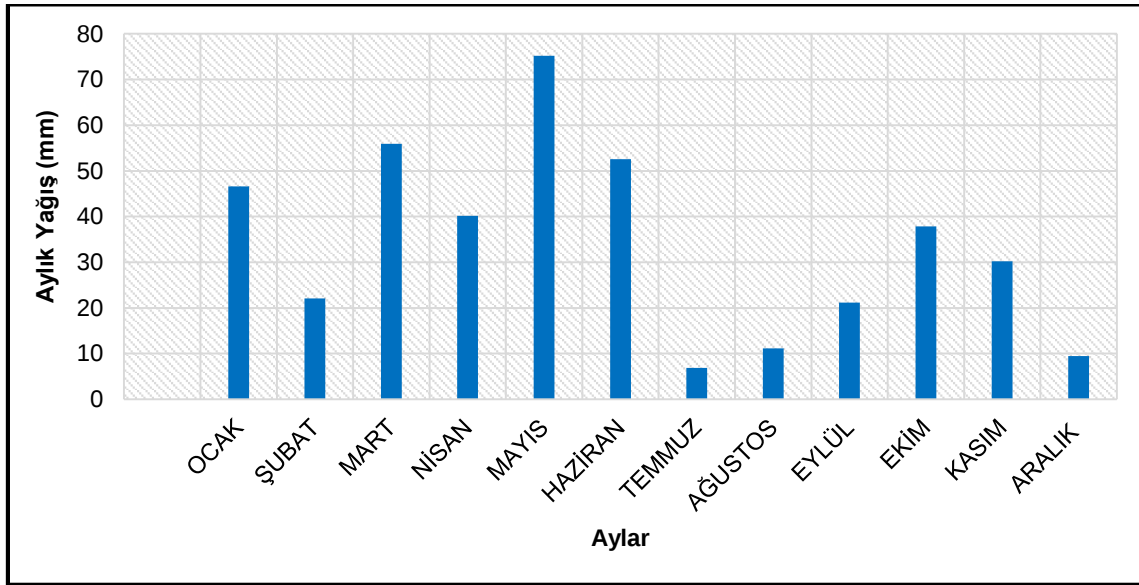
Tablo 3: Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan faktörler, ağırlık değerleri ve duyarlılık sınıfları

Parametreler	Ağırlık	Sınıflar	Faktör	Duyarlılık Sınıfları
Yükseklik (m)	6%	1200-1500	5	Çok Yüksek Duyarlı
		1500-1800	4	Yüksek Duyarlı
		1800-2100	3	Duyarlı
		2100-2400	2	Az Duyarlı
		2400 ve üzeri	1	Çok Az Duyarlı
Bakı	8%	Kuzey, Kuzeydoğu ve Kuzey batı	5	Çok Yüksek Duyarlı
		Batı, Doğu	4	Yüksek Duyarlı
		Güneydoğu, Güney Batı	3	Duyarlı
		Güney	2	Az Duyarlı
		Düz	1	Çok Az Duyarlı
Eğim (°)	14%	0-10	5	Çok Yüksek Duyarlı
		10-20	4	Yüksek Duyarlı
		20-30	3	Duyarlı
		30-40	2	Az Duyarlı
		40-50	1	Çok Az Duyarlı
Anayola Yakınlık (m)	10%	0-50	5	Çok Yüksek Duyarlı
		50-100	4	Yüksek Duyarlı
		100-150	3	Duyarlı
		150-200	2	Az Duyarlı
		200 ve üzeri	1	Çok Az Duyarlı
Litoloji	15%	Alüvyon	5	Çok Yüksek Duyarlı
		Mesozoik-Trias yaşlı Kireçtaşı-Kumtaşı-Çakıltası,Tersiyer-Neojen Yamaç Molozu	4	Yüksek Duyarlı
		Şist,Ofiyolitik Kayaç	3	Duyarlı
		Volkanik Kayaç	2	Az Duyarlı
		Melanj	1	Çok Az Duyarlı
Fay Hattına Yakınlık (m)	10%	0-100	5	Çok Yüksek Duyarlı
		100-200	4	Yüksek Duyarlı
		200-300	3	Duyarlı
		300-400	2	Az Duyarlı
		400 ve üzeri	1	Çok Az Duyarlı
Akarsuya Yakınlık (m)	10%	0-50	5	Çok Yüksek Duyarlı
		50-100	4	Yüksek Duyarlı
		100-150	3	Duyarlı
		200-250	2	Az Duyarlı
		250 ve üzeri	1	Çok Az Duyarlı
NDVI	13%	(-0,05)-0,07	5	Çok Yüksek Duyarlı
		0,07-0,10	4	Yüksek Duyarlı
		0,10-0,14	3	Duyarlı
		0,14-0,18	2	Az Duyarlı
		0,18-0,41	1	Çok Az Duyarlı
Yağış (mm)	15%	86 ve üzeri	5	Çok Yüksek Duyarlı
		83-86	4	Yüksek Duyarlı
		82-83	3	Duyarlı
		79-82	2	Az Duyarlı
		76-79	1	Çok Az Duyarlı

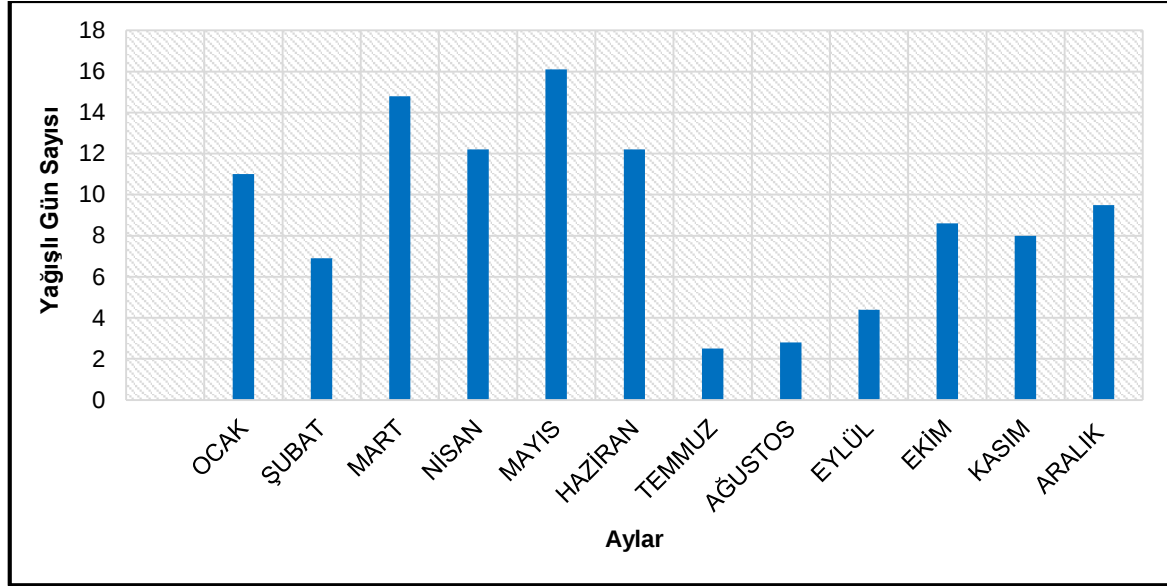
Tablo 3’de çalışmada kullanılan faktörlere, heyelan duyarlılığını oluşturma potansiyeline göre duyarlılık faktörü değerlerine ve duyarlılık sınıflarına yer verilmiştir. Her bir sınıfa 1-5 arasında ağırlık değerleri atanmıştır.

Burada heyelan için çok yüksek duyarlı sınıfa “5”, çok az duyarlı sınıf “1” ile ifade edilmiştir. Sözü edilen sınıflar, ağırlık puanları ve sınıf değerleri literatüre dayanılarak verilmiştir (Öz & Günek, 2021; Nasery, 2022; Hepdeniz & Soyaslan, 2018; Alptekin & Yakar, 2020).

Çalışma alanında kullanılan parametreler ve heyelan üzerindeki etkilerini kısaca değerlendirmek gerekirse; litoloji, heyelan oluşumunu etkileyen önemli faktörlerden biridir ve heyelan duyarlılığının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Farklı litolojik birimleri heyelan süreçleri üzerinde farklı duyarlılıklara sahiptir. Çalışma alanı litolojik olarak ağırlıklı olarak Mesozoik-Trias yaşlı kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve Tersiyer-Neojen yaşlı alüvyal yapıdan meydana gelmiştir. Eğim, heyelan duyarlılık analizlerinin en önemli bileşenlerinden biridir (Özalp vd., 2015). Yapılan çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir (Erener & Düzgün 2010, Akıncı vd., 2015). Yapılan analizlerde çalışma alanının 0-50° arasında eğimli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık analizlerinde bakı da önemli faktörler arasında yer almaktadır (Çevik & Topal 2003; Ercanoğlu & Gokceoglu, 2004). Belli yönelimlere sahip yamaçlarda heyelanların daha sık görülmesinde, alanın morfolojik yapısının, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi faktörler etkili olmaktadır. Çalışma alanının özellikle kuzey, kuzey batı ve kuzey doğu yönlerinin heyelana duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Fay hatlarına yakınlık, heyelan duyarlılığını artıran diğer önemli bir faktördür. Çalışma alanı Kuzey Anadolu fay hattı sınırları içinde yer almaktadır. Yamaçların akarsu ağlarına yakınlığı da stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Akarsular, yamaç ya da şevleri suya doygun hale getirerek yamaç stabilitesini bozmaktadır. Diğer taraftan, yükselti ile heyelanlar arasında bir ilişki söz konusudur (Dağ & Bulut, 2012). Yüksekliğe bağlı olarak yağış, eğim ve toprak koşullarının değişmesi heyelan oluşumlarını dolaylı olarak etkilemektedir (Öz & Günek, 2021). Çalışma alanının yükselti değerleri 1200-2400 m. arasında değişmektedir. Yağış faktörü, diğer faktörlerle birleştiğinde heyelanın oluşumunda önemli bir yer tutmaktadır. Çalışma alanının heyelan duyarlılık analizleri yapılmadan önce bölgenin 2013-2022 yılları arasındaki yağış değerleri incelenerek, Şekil 6 ve Şekil 7’de uzun yıllar ortalama aylık toplam yağış değerleri ve aylık yağışlı gün sayıları ortaya konmuştur.



Şekil 6: Aylık ortalama yağışlar (2013-2022)



Şekil 7. Aylık ortalama yağışlı gün sayısı (2013-2022)

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde en fazla yağışlı gün ortalamasının ve en fazla yağış miktarının Mayıs ayında gerçekleştiği görülmektedir.

Akarsu ağlarının kesişme noktalarında yer alan yamaçlar akarsuların biriktirme ve aşındırma faaliyetlerinden etkilenmektedir. Akarsuların yamaçları topuk kısmına kadar aşındırmaları ve yamaçların suya doygun hale gelmesi heyelan duyarlılığını artırmaktadır (Öz & Günek, 2021). Yola yakınlık yamaç dengesi bozduğu için eğim yönünde hareketi hızlanmakta ve heyelan oluşumunu etkilemektedir (Hepdeniz & Soyaslan, 2018). NDVI faktörü dikkate alındığında; bitki örtüsü olmayan veya seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar heyelana daha duyarlıdır. Genellikle, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda tahribatın azalması ve erozyon etkisinin azalması heyelan duyarlılığını da azaltmaktadır (Nasery, 2022). Çalışma alanımızda da heyelana duyarlı olan alanlarda bitki yoğunluğunu azaldığı belirlenmiştir.

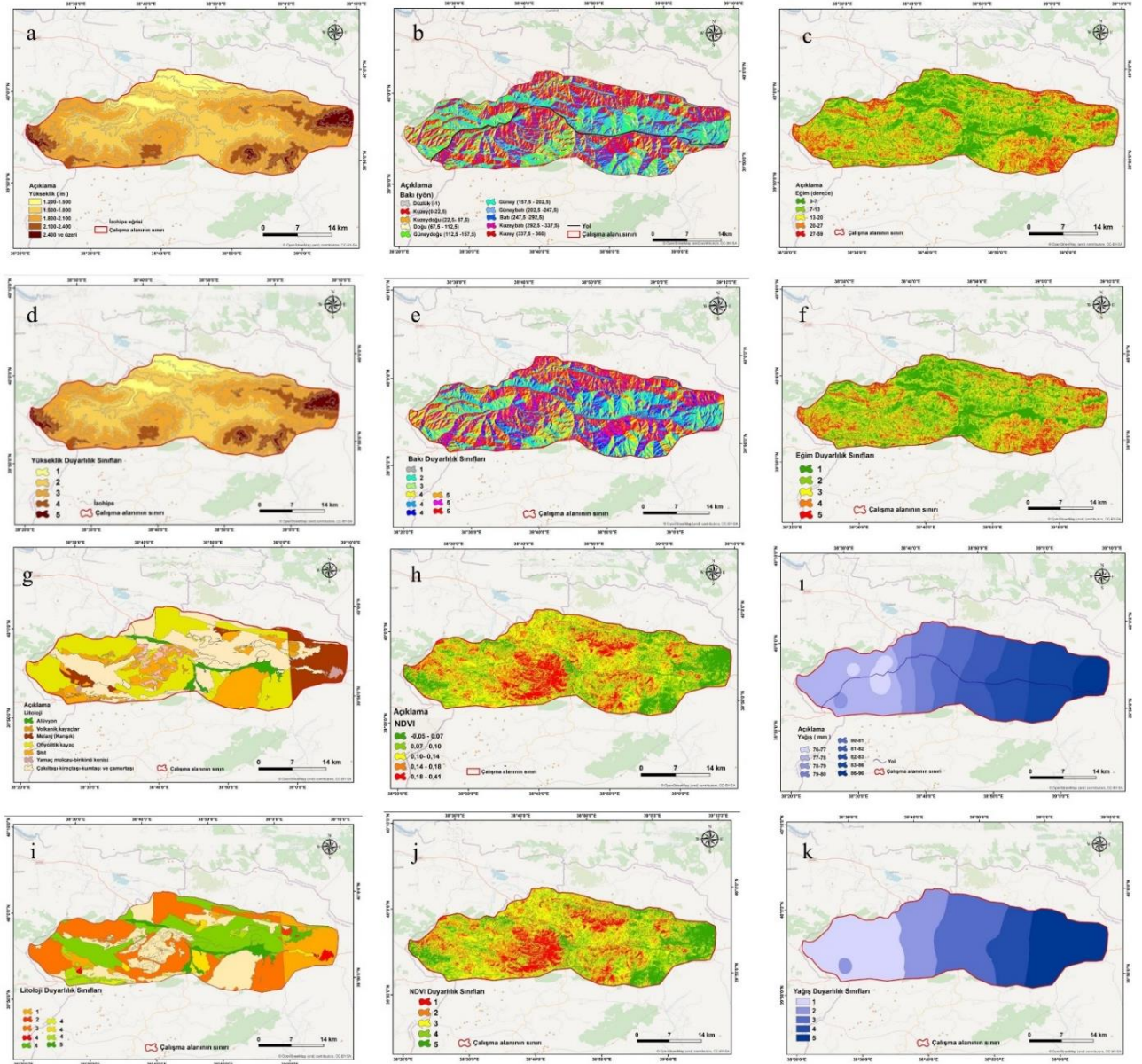
2.2. Çalışma Alanı Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Belirlenmesi

Çalışma alanında heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenebilmesi için, öncelikle kullanılan verilerin raster formatında düzenlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle DEM verisinden elde edilen eğim, bakı ve yükselti verileri dışındaki diğer veriler raster veriye çevrilmiştir. NDVI analizi yapmak, için 30 m çözünürlüklü Landsat uydu görüntülerinden bant-5 ve bant-4 verileri, birbirlerine oranlanarak, çalışma alanındaki bitki yoğunluğu belirlenmiştir. Bütün faktörlere ait veriler ArcMap kullanılarak yeniden sınıflandırılmış ve bu faktörlere ait heyelan duyarlılık sınıflarına ait alanlar belirlenmiştir. Tablo 4’de her faktöre ait heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıfların toplam alan içerisindeki oranları verilmiştir.

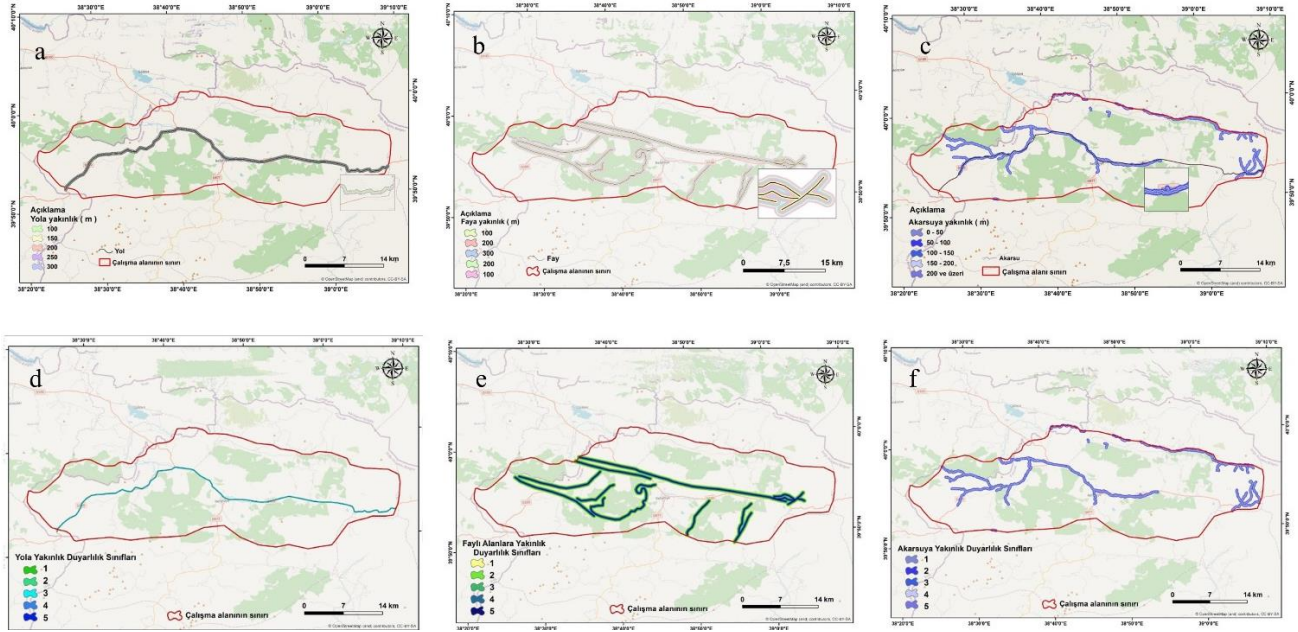
Tablo 4: Heyelan duyarlılık sınıfları ve bu sınıfların toplam alan içerisindeki oranları

Duyarlılık Sınıfları (%)	Kriterler							
	Yükseklik	Eğim	Bakı	Litoloji	NDVI	Akarsu	Yol	Fay
Çok Yüksek Duyarlı	7.24	6.37	8.51	4.63	10.03	1.72	0.38	3.29
Yüksek Duyarlı	30.00	15.75	24.19	40.03	21.39	1.60	0.38	3.30
Duyarlı	24.49	25.04	24.08	40.03	32.27	1.66	0.38	3.27
Az Duyarlı	29.97	30.33	21.02	13.42	23.15	1.63	0.37	3.10
Çok Az Duyarlı	0.72	22.48	22.17	1.89	13.14	1.62	0.38	3.10

Tablo 4 incelendiğinde çok yüksek duyarlı alanların; yükseklik faktörüne göre; %7,24; eğime faktörüne göre %6,37; bakı faktörüne göre % 8,51; yağış faktörüne göre %61,67; litoloji faktörüne göre %4,63; NDVI faktörüne göre %10,03; akarsuya yakınlık faktörüne göre %1,72; yola yakınlığa göre %0,38; faya alanlara yakınlığa göre %3,29’luk bir alan kapladığı belirlenmiştir. Bütün faktörlere ve ait heyelan duyarlılık sınıflarını gösteren haritalar Şekil 8’de ve 9’da verilmiştir.



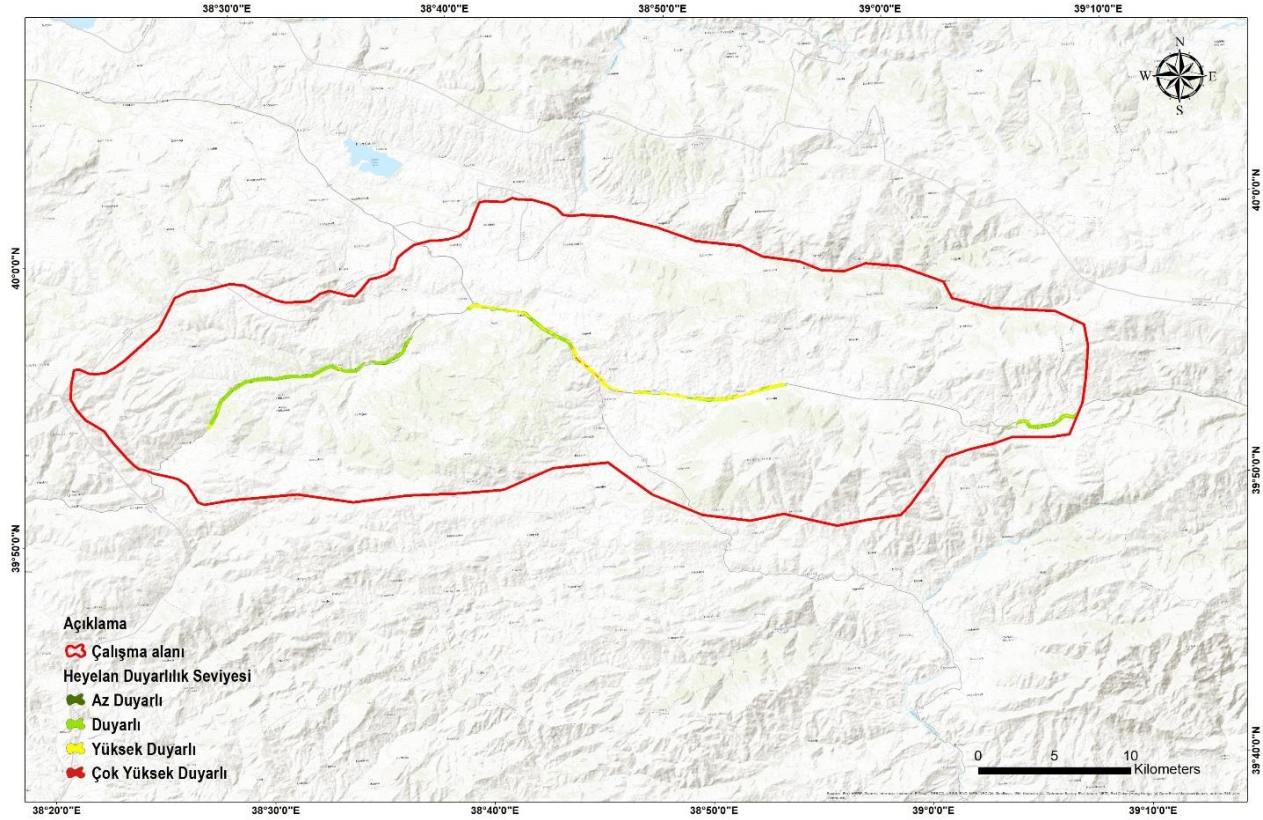
Şekil 8: a) Yükselti faktörü, b) bakı faktörü, c) eğim faktörü, d) yükselti heyelan duyarlılık sınıfları, e) bakı faktörü duyarlılık sınıfları, f) eğim faktörü duyarlılık sınıfları, g) litoloji faktörü, h) NDVI faktörü, i) yağış faktörü, j) litoloji faktörü duyarlılık sınıfları, k) NDVI uyarlılık sınıfları, l) yağış faktörü duyarlılık sınıfları



Şekil 9: a) Yola yakınlık faktörü, b) faya yakınlık faktörü, c) akarsuya yakınlık faktörü, d) yola yakınlık duyarlılık sınıfları, e) faylı alanlara yakınlık duyarlılık sınıfları, f) akarsuya yakınlık duyarlılık sınıfları

2.3. Erzincan-Sivas yolu heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesi

Çalışma alanına ait veriler, raster veriye çevrilerek önem derecelerine göre yeniden sınıflandırma işlemi yapılan eğim, bakı, yükselti, yağış, akarsu, yol, fay, litoloji ve NDVI verilerine ArcGIS yazılımının Spatial Analyst Tools aracı kullanılarak ağırlık yüzdeleri atanmış ve heyelan duyarlılık sınıfları haritası oluşturulmuştur (Şekil 10).



Şekil 10: Çalışma alanı heyelan duyarlılık haritası

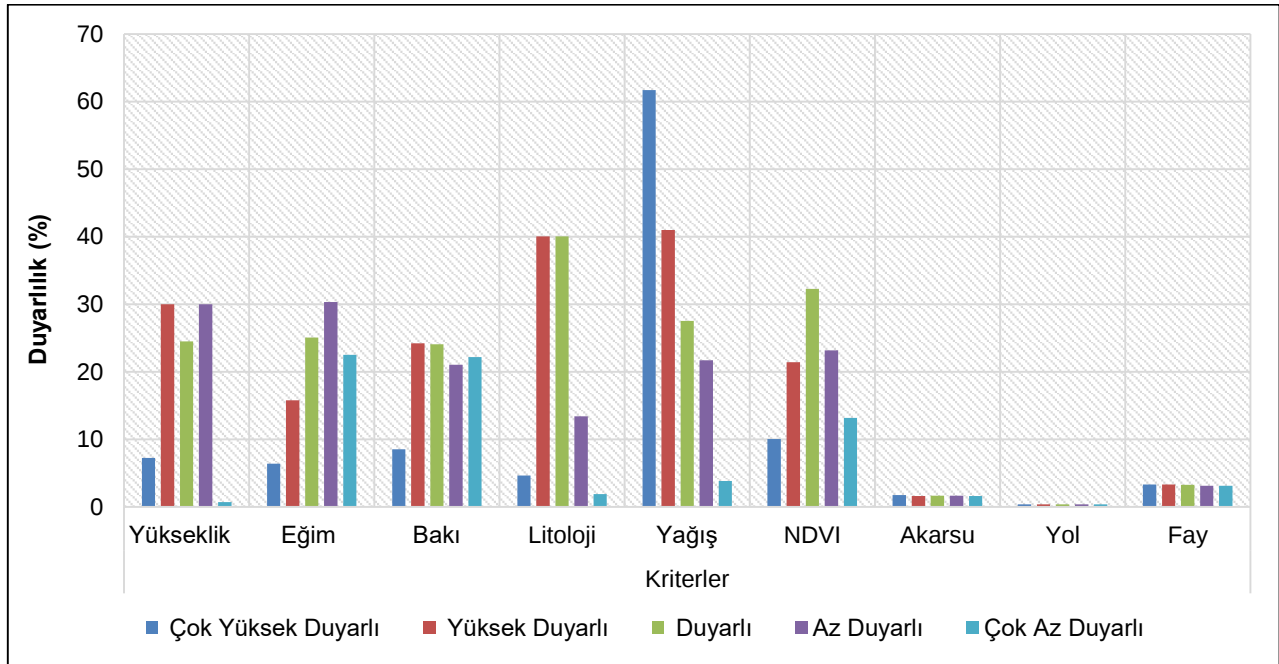
Şekil 8 incelendiğinde, harita üzerinde ayrıntılı olarak gösterilen alanlarda heyelan duyarlılığının arttığı görülmektedir. Tablo 5’de heyelan duyarlılık haritasına ait duyarlılık sınıflarının hektar değerleri ve % olarak toplam alana göre kapladığı alansal değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Heyelan duyarlılık sınıfları ve toplam alana göre oransal değerleri

Duyarlılık Sınıfları	Alan (ha)	%
Çok Yüksek Duyarlı	6.80	0.08
Yüksek Duyarlı	119.97	0.12
Duyarlı	271.26	0.28
Az Duyarlı	26.79	0.06
Çok Az Duyarlı	93258.79	99.54

Tablo 5 incelendiğinde, çalışma alanında duyarlılığı çok yüksek olan alanın 6,8 ha olduğu, toplam alana göre %0,08 oranda bir alan kapladığı, yüksek duyarlılığa sahip 119,97 ha alanın ise % 0,12’lik bir değere karşılık geldiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen bulgulara göre; çok yüksek duyarlı alanlar, yağış faktöründe (%61,67); yüksek duyarlı yerler yağış (% 40,97) ve litoloji faktöründe (%40,03); duyarlı yerler litoloji (% 40,03), NDVI faktöründe (% 32,27), az duyarlı yerler eğim (% 29,97) ve yükseklik faktöründe (% 30,33); çok az duyarlı yerler ise eğim (% 22,48) ve bakı faktöründe (%22,17) oranında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11: Duyarlılık sınıflarına göre faktörlerin dağılımı

3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma özellikle CBS teknolojilerinin, veri dönüşümü, mekânsal analiz ve sınıflandırma teknikleri gibi imkânlar sağlayarak heyelan vb. gibi afet analizlerinde önemli bir yere sahip olduğu ve ortaya konan analiz sonuçlarının afet yönetimi karar destek sürecine kayda değer ölçüde katkılar sağlayabileceğini ortaya konmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar göre; heyelan duyarlılığı üzerinde sırasıyla; yağış, litoloji, bitki yoğunluğu (NDVI) ve eğim faktörlerinin diğer faktörlere göre daha fazla etkili olduğu tespit edilmiştir. Benzer bulgulara diğer çalışmalarda da ulaşılmıştır. [Ataol ve Yeşilyurt \(2014\)](#) yılında yapılan Çankırı-Ankara karayolu boyunca heyelan risk alanlarının belirlenmesinde litolojik yapının daha etkili olduğu tespit edilmiştir. [Ceylan Demirel ve Hastaoğlu \(2022\)](#) tarafından yapılan Sivas Koyulhisar yöresine ait heyelan duyarlılık analizi yapılan çalışmada eğim parametresinin yüksek duyarlılığa neden olduğu tespit edilmiştir. [Balaban \(2019\)](#)’nın Gölpazarı İlçesi (Bilecik) ve çevresinin heyelan duyarlılığı açısından değerlendirmesini amaçlayarak hazırladığı heyelan duyarlılık analizinde, eğim ve litoloji parametrelerinin önem derecesinin diğerlerine göre fazla olduğunu ortaya koymuştur.

Çalışmadan elde edilen analiz sonuçları, Erzincan-Sivas Karayolu ve çevresindeki 6,39 ha alanın heyelana karşı çok yüksek duyarlılığa ve 120 ha alanın ise yüksek duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma Erzincan-Sivas karayolu ve yakın çevresi heyelana karşı yüksek duyarlılık gösterirken, karayolundan uzaklaştıkça duyarlılık azalmaktadır. Tüm bulgular dikkate alındığında; çalışma alanında kurulması önerilen erken heyelan mekanizmasının vereceği uyarılar ile heyelan riskini fazla olduğu alanlarda ilgili kurumlar gerekli önlemleri alarak can ve mal kaybı en aza indirgenebilir. Çalışmanın sonucunda özellikle yağış verileri de dikkate alındığında Refahiye ilçesi için heyelan erken uyarı sistemi kurulması, heyelan kaynaklı can ve mal kayıplarının azaltılması açısından önemlidir. 2013-2022 yılları verileri kullanarak elde edilen heyelan yağış eşikleri yeni verilere göre güncellenmelidir. Heyelana hassas yamaçlardaki malzemenin sertleştirilmesiyle zeminin iç direnci artırılabilir. Heyelana duyarlılığı yüksek bölgelerde yapılacak her türlü planlamada detaylı saha incelemesi yapılmalıdır. Heyelan oluşumuna uygun litolojik birimlerin bulunduğu alanlarda yamaçların daha da yatıklaştırılarak yamaç yükünün azaltılabilir ve taraçalandırılabilir. Bölge genelinde heyelanların olumsuz etkilerini azaltmak ve bölgenin heyelanlara karşı dirençliliğini artırma faaliyetlerine katkısı olması açısından heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmalıdır. Bu haritaların üretilmesi, potansiyel kütle hareketlerinin olabileceği alanların dikkate alınarak uygun yerleşim planlarının hazırlanması ve heyelanın sebep olacağı can ve mal kayıplarının azaltılabilmesi yönünden oldukça önemlidir. Duyarlılık haritasının oluşturulmasında uygun parametre seçimi ve bu parametrelere ait verilerin ve heyelan envanter verisinin doğruluğu da oldukça önemlidir. Duyarlılık parametrelerine ait verilerin konumsal doğruluğu ve çözünürlüklerinin yüksek olması duyarlılık haritalarının doğruluğunu önemli ölçüde etkimektedir. Çözünürlüğü daha yüksek sayısal yükseklik modellerin kullanılması ve insansız hava araçları ile yüksek hassasiyetli Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) oluşturulması bu tür heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması için gerekli parametrelere ait verilerin elde edilmesinde büyük önem arz etmektedir. İleriye dönük yapılacak heyelan duyarlılığı çalışmalarında, heyelan oluşumlarına etki edebilecek diğer parametrelerin de dikkate alınması ile daha yüksek doğrulukta duyarlılık haritaları üretilmesi mümkün olabilecektir. Heyelan duyarlılık haritaları potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesinde önemli olmakla beraber, bu haritalara dayalı olarak oluşturulacak erken uyarı sistemleri ile şiddetli yağış ve toprak nemi değişimleri izlenerek, heyelan oluşumları daha önceden tespit edilerek gerekli uyarı ve ikazlar yayınlanması olası heyelan zararlarının etkilerini en aza indirecektir. Diğer taraftan, bu çalışma Erzincan-Sivas karayolu güzergâhında bundan sonraki süreçte yapılacak projelendirme işlemlerinde heyelan tehlike ve risklerin azaltılması ve sürdürülebilir kullanım sağlaması açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Ahmed, B. (2015). Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh. *Landslides*, 12(6), 1077–1095.
- 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.
- Akinci, H., Yavuz Özalp, A., & Temuçin Kılıçer, S. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri ve AHP yöntemi kullanılarak planlı alanlarda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi: Artvin örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1–2), 40–53. <https://doi.org/10.21324/dacd.20952>
- Aleshzadeh, A., & Yavuz, E. V. (2019, 23–25 Ekim). *Shannon entropisine dayanarak Uzundere heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması* [Bildiri Sunumu]. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17–21.
- Althuwaynee, F. O., Pradhan, B., Park, H., & 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.
- Ataol, M., & Yeşilyurt, S. (2014). Çankırı-Ankara karayolu boyunca (Akyurt-Çankırı arası) heyelan risk bölgelerinin belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 29, 51–69.
- 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.
- Aykır, D. (2023). Yol boyu heyelanlarına bir örnek: Ardahan - Göle heyelanı. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 11, 52–70. <https://doi.org/10.46453/jader.1288368>
- Balaban, B. (2019). *Gölpazarı (Bilecik) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizleri* [Yüksek lisans tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bulut, F., & Dağ, S. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli, Rize, KD Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35–62.
- Ceylan Demirel, Ş., & Hastaoglu, K. Ö. (2022). CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak oluşturulan Sivas Koyulhisar heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğinin araştırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 715–730. <https://doi.org/10.35341/afet.1071728>
- Chen, W., Li W., Chai, H., Hou, E., Li, X., & Ding, X. (2016). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China. *Environmental Earth Sciences*, 75, Article 63. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4795-7>
- CRED. (2021). *Disasters in numbers*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). https://cred.be/sites/default/files/2021_EMDAT_report.pdf
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. In A.K. Turner & R.L. Schuster (Eds.), *Landslides investigation and mitigation* (pp. 36-75). Transportation Research Board, US National Research Council.

- Çeltek, S. (2020). Heyelana neden olan parametreler: yükseklik örneği. *MTA Dergisi*, 162, 199–227.
- Çevik, E., & Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949–962.
- Dağ, S., & Bulut, F. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35–62.
- Demir, G. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri ile Suşehri (Sivas) heyelan duyarlılık analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 96–112.
- Ercanoğlu, M., & Gökçeoğlu, C. (2004). Batı Karadeniz Bölgesi, Türkiye'de heyelan eğilimli bir alanın heyelan duyarlılık haritasını üretmek için bulanık ilişkilerin kullanımı. *Mühendislik Jeolojisi*, 75, 229–250. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.06.001>
- 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.
- Fidan, S. (2019). *Türkiye'deki ölüme sebep olan heyelanların coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Görüm, T. (2006). *Coğrafi bilgi sistemi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Melen Boğazı ve yakın çevresi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Görüm, T., & Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides*, 18, 1691–1705. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01580-7>
- Hafeez, K., Zhang, Y. B., & Malak, N. (2002). Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 76, 39–51.
- Hasekioğlu, G. D., & Ercanoğlu, M. (2012). A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: A case study at Yenice (Karabük, NW Turkey). *Natural Hazards*, 63, 1157–1179.
- Hepdeniz, K., & Soyaslan, İ. (2018). CBS ve frekans oranı yöntemi kullanılarak Isparta-Burdur dağ yolu heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 179–186.
- Hepdeniz, K., & Soyaslan, İ. (2024). Examination of the highway between Isparta-Ağlasun (Burdur) in terms of mass movement susceptibility using geographic information systems. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 10(2), 117–125. <https://doi.org/10.22399/ijcesen.305>
- Ildır, B. (1995, 25–26 Ekim). *Türkiye'de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar* [Bildiri Sunumu]. 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sakarya, Türkiye.
- 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. <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.
- Kuruüzüm, A., & Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 1(1), 83–105.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2024). *Heyelan Haritaları*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/heyelan-haritalari>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). *2013-2022 Aylık yağış verileri*. <https://mgm.gov.tr/site/urunler.aspx?u=tum>
- Nasery, S. (2022). *CBS, uzaktan algılama ve çok kriterli karar verme analizi tekniklerini kullanarak optimum yüksek hızlı tren güzergâhı seçimi* [Doktora tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Öz, T., & Günek, H. (2021). Solaklı Havzası'nın (Trabzon) heyelan duyarlılığı ve yerleşim yeri risk analizi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 44, 396–412.
- Özalp, M., Dehşet, F., Turgut, B., Yıldırım, S., & İnanlı, E. (2015). Tahrip edilmiş eğimli arazilerde teraslama ve ağaçlandırma çalışmalarının toprak özelliklerini iyileştirmedeki rolü. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1–2), 74–88.
- Özcan, O., Musaoğlu, N., & Şeker, D. Z. (2009, 11–15 Mayıs). *Taşkın Alanlarının CBS ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Belirlenmesi ve Risk Yönetimi; Sakarya Havzası Örneği* [Bildiri Sunumu]. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Camili (Macahel) biyosfer rezerv alanının (Artvin, KD Türkiye) heyelan duyarlılık analizi. *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 8(3), 471–493.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Camili (Macahel) Biyosfer Rezerv Alanının (Artvin, Kd Türkiye) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Turkish Studies International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 8, 471–493.
- Özşahin, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde Kütle Hareketleri Duyarlılığının Değerlendirmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), 19–35.
- Özşahin, E. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla heyelan duyarlılık analizi: Ganos Dağı örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 47–63.
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35–50.
- 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, 1443–1464.
- Reis, S., Nisanci, R., & Yomralıoğlu, T. (2009). İl bazlı bir mekansal veri tabanının tasarlanması ve geliştirilmesi: Trabzon, Türkiye'deki potansiyel çevresel sorunların analizi. *Environmental Engineering Science*, 26, 123–130.
- Saaty, T. L., & Niemira, M. P. (2006). A framework for making a better decision. *Research Review*, 13(1), 1–4.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Şahin, K. E. (2012). *CBS tabanlı çok kriterli karar verme analizi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi* [Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Tudes, Ş. (2011). Proposal of the analytical model on the evaluation of the geological thresholds in planning: Case study Portsmouth (England). *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(2), 273–288.
- U.S. Geological Survey. (2024a). *Earth Explorer*. U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- U.S. Geological Survey. (2024b). *Landsat normalized difference vegetation index*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>

- 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. <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, 297–306. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0185-2>