

# Analitik Hiyerarşi Süreci ve Frekans Oranı Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Analizinde Karşılaştırılması: Trabzon İli Akçaabat ve Düzköy İlçeleri Örneği

Melek Dalkes<sup>1,\*</sup>, Mehmet Seren Korkmaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Ondokuzmayıs, Samsun.

## Özet

Heyelanlar yaşanan doğal afetler arasında en başta gelenlerdendir. Karadeniz Bölgesi'nde heyelanlar yaygın olarak görülmektedir. Türkiye'de en fazla heyelanın meydana geldiği il Trabzon'dur. Heyelanlar sebebiyle gerçekleşen kayıpları en aza indirmek amacıyla heyelan duyarlılığı yüksek olan sahalarn önceden belirlenmesi için heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Frekans Oranı (FR) yöntemleri kullanılarak, Trabzon ilinin Akçaabat ve Düzköy ilçe sınırları içerisinde, heyelan duyarlılığı yüksek olan sahalarn belirlenmesi için heyelan duyarlılık analizi yapılmış ve heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Heyelan duyarlılık analizi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformlarından ArcGIS for Desktop kullanılmıştır. Kamu kuruluşları ve açık erişimli çevrimiçi kaynaklardan coğrafi veriler temin edilmiştir. Çeşitli CBS araçları ile veriler çalışma alanına ve amacına göre mekânsal olarak düzenlenmiştir. Literatür araştırması sonucunda Heyelan duyarlılığı için eğim, eğim şekli, litoloji, yağış, bakı, topoğrafik nemlilik indeksi (TNI), akarsulara, karayollarına, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı, toprak, yükseklik ve normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) olmak üzere toplam 13 kriterin etkili olduğu belirlenmiştir. AHS yöntemi kullanılarak her bir kriterin heyelan oluşumundaki etkilerinin önem dereceleri ile kriterler arası ağırlıkların belirlenmesi için ikili karşılaştırmalar yapılmış ve üst üste çakıştırma yapılarak AHS yöntemine göre heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Ayrıca AFAD ve MTA'dan temin edilen heyelan envanter kayıtlarından yararlanılarak heyelan meydana gelen sahalarn tüm çalışma sahasındaki etkisi göz önünde bulundurularak FR yöntemine göre heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Her iki yöntemde üretilen haritalar karşılaştırıldığında, çalışma sahasında gözlenen heyelanların yerlerini belirleme açısından FR yönteminin AHS yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğu tespit edilmiştir.

## Anahtar Sözcükler

Trabzon, Heyelan, AHS, Frekans Oranı, CBS, Mekânsal Analiz

## Comparison of Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio Methods in Landslide Susceptibility Analysis: Example of Akçaabat and Düzköy districts of Trabzon province

### Abstract

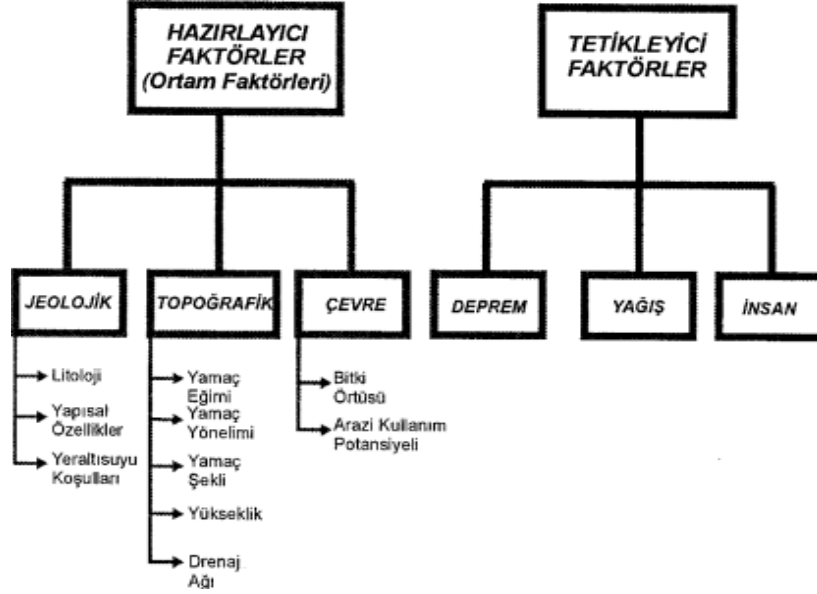
Landslides are one of the leading natural disasters in the Black Sea Region of Türkiye. Trabzon is the province where the most landslides occurred in the country. Landslide susceptibility maps should be prepared in order to predetermine the areas with high landslide susceptibility in order to minimize the losses due to landslides. In this study, landslide susceptibility analysis is performed, and landslide susceptibility maps are produced to reveal the areas with high landslide susceptibility within the boundaries of Akçaabat and Düzköy districts of Trabzon province using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Frequency Ratio (FR) methods. ArcGIS for Desktop, one of the Geographic Information Systems (GIS) platforms, is used for landslide susceptibility analysis. Geographical data are obtained from public institutions and open access online sources. The data are spatially organized according to the study area and purpose by various GIS tools. A total of 13 criteria which are respectively; slope, curvature, lithology, precipitation, aspect, topographic wetness index (TWI), distance to rivers, distance to highways, distance to fault lines, land use, soil type, elevation and normalized difference vegetation index (NDVI) for landslide susceptibility are evaluated as effective to cause landslides as a result of the literature review. Pairwise comparisons are made to determine the importance of the effects of each criterion on landslide formation and the weights between the criteria by using the AHP method. Then a landslide susceptibility map is produced according to the AHP method. In addition, a landslide susceptibility map was produced according to the FR method using the landslide inventory records obtained from responsible institutes of the country. It is noticed that the FR method produced more realistic results than the AHP method in terms of determining the locations of the landslides observed in the study area when the maps produced by both methods are compared.

### Keywords

Trabzon, Landslide, AHP, Frequency Ratio, GIS, Spatial Analysis

## 1. Giriş

Doğal afetler canlıların hayatını doğrudan tehdit eden doğa olaylarıdır (Hasekioğulları 2010). Türkiye'de depremler, heyelanlar, su baskınları, erozyon, kuraklık, kaya ve çığ düşmeleri başlıca doğal afetler arasında yer almaktadır (Ergünay 2007). Küresel iklim değişimi heyelan duyarlılıklarının artmasına neden olmaktadır (Akın 2006). Heyelan; toprak, moloz veya kaya kütesinin yamaç aşağı hareketidir (Çan ve Duman 2016). Heyelanlar ülkemizde başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere, İç Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinde sıkça meydana gelen doğal afetlerdir. Heyelanların oluşumunda etkili olan faktörler genel olarak hazırlayıcı faktörler ve tetikleyici faktörler olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1) (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001) Hazırlayıcı faktörlerin tamamı doğal faktörler iken heyelanları tetikleyici faktörlere bakıldığında insan faktörü de devreye girmektedir. Bazı heyelan olaylarının meydana gelmesinde doğal olmayan etkenler, doğal etkenlere göre daha fazla etkili olmaktadır (Ergünay 2007).



Şekil 1: Heyelan oluşumunda hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001).

1950 – 2019 yılları arasındaki 70 yıllık süreçteki verilere göre; Trabzon ili, 1673 heyelan ile ülkemizde en çok heyelan görülen il olarak kayıtlara geçmiştir. İl genelinde yılda ortalama 24 heyelan meydana gelmektedir (AFAD 2020). 70 yıllık veriler incelendiğinde heyelan olaylarının illere göre dağılımı ile illerin eğim dereceleri arasındaki ilişki de dikkat çekicidir. Marmara Bölgesi'nin Trakya kesimi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi eğimin ve yarıma derecesinin (topografik rölyef) az olduğu bölgelerde heyelan olayları daha az meydana gelirken, özellikle Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz bölümü ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde çok sık heyelan meydana gelmektedir (AFAD 2020).

Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasında ilk aşamada kullanılan en etkin yöntemlerden birisi, yer tespittir. Gerçekleşmiş ve gelecekte olması muhtemel heyelanların mekânsal yayılımının doğru biçimde bilinebilmesi için yer tespiti, hayati öneme sahiptir. Gözlenmiş heyelanlara ait bilgiler, heyelan envanter çalışmaları ile ortaya konulabilirken, gelecekte olması muhtemel heyelanların mekânsal yayılımları, heyelan duyarlılık analizleri ile tespit edilebilmektedir (Çellek vd. 2015).

Heyelan Duyarlılık Analizi ile ilgili bilimsel yazına bakılırsa; farklı çalışma sahalarında farklı yaklaşımlarla çalışmaların yapıldığı görülmektedir. CBS ve uzaktan algılama ürünlerinden yararlanılarak Yongin (G. Kore)'de olasılık (frekans oranı (FR)) ve lojistik regresyon yöntemleri ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır (Lee 2001). Rize ili Ardeşen ilçesinde heyelan duyarlılığında etkili 7 kritere ait haritalar CBS yardımıyla elde edilmiş, bu kriterler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve ilgili saha için heyelan duyarlılık haritası üretilmiş, üretilen harita, bölgede gözlemlenen 56 aktif heyelan alanında kontrol edilmiş ve başarımları ortaya konulmuştur (Yalçın 2007). Gümüşhane ilinde yer alan Kürtün Baraj Gölü Rezervuar sahası inşa edildikten sonra Özkürtün Beldesi için haritalar sayısallaştırılarak, oluşan heyelanlar incelenmiştir (Pehlivan 2008). Bir başka çalışmada; Trabzon ili ve çevresinde meydana gelen heyelanlarda yağış, sıcaklık gibi iklim özelliklerinin rolü incelenmiştir (Bayrak ve Ulukavak 2009). Ayvalık ve yakın çevresi için heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında iki ve çok değişkenli istatistik yöntemleri ile sezgisel yöntemin karşılaştırması yapılmış, Ayvalık ve çevresinde en başarılı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile olduğu belirtilmiştir (Akgün ve Türk 2010). Analitik Hiyerarşi Süreci ile Batı Karadeniz Bölümünde Karabük il sınırlarını kapsayan heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur (Hasekioğulları 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile heyelan duyarlılığı meydana gelmesinde etkili kriterlere ait haritaların Rize ili Çayeli ilçesi için üretilmesi çalışmasında, haritalar üretildikten sonra, mevcut heyelanlarla ilişkilendirilerek frekans oranı değerleri belirlenmesi ve ağırlık değerleri dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Dağ ve Bulut 2012). Heyelan duyarlılığının meydana gelmesinde tetikleyici bir faktör olarak farklı gözlem istasyonlarından alınan şiddetli yağış verileri kullanılarak kritik yağış eşiği belirlenmesi ve bu eşiğe bağlı olarak Trabzon ili için bir “heyelan erken uyarı sistemi” kurulması önerilmiştir (Akçalı ve Arman 2013). Artvin şehir merkezindeki planlı alanlarda mahalle bazında, Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile kullanılarak 5 farklı kriter göz önünde bulundurularak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiş, her mahallede ne kadar bir alanın heyelan olaylarına duyarlı olduğu ortaya konulmuştur (Akıncı vd. 2015). Tek değişkenli istatistiksel analiz yöntemi (*Bivariate statistical analysis method*) ile Bingöl Çayı Havzası için heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır (Avcı 2015). Sinop ve yakın çevresi için Analitik Hiyerarşi Süreci ile kullanılan faktörlerin ağırlık değerlerine göre grid haritalarına dönüştürerek ve karşılaştırma matrisleri ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir (Çellek vd. 2015). 7 farklı mekânsal katmandaki bilgileri kullanarak 2 farklı yapay sinir ağı modelinde 4 farklı Yapay Sinir Ağı eğitim algoritmasını kullanarak Karabük ili Ovacık ilçesi için 8 farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve eldeki 196 heyelan olayı ile karşılaştırılmıştır. Kurgulanan modellerin en başarılısının eşlenik gradyan yöntemi olduğu tespit edilmiştir (Can vd. 2017). Bir başka çalışmada, Batı Karadeniz’de yer alan Zonguldak ili Kozlu ilçesi için Heyelan Duyarlılık Haritası yapmak için Frekans Oranı Yöntemi kullanılmıştır (Arca ve Kutoğlu 2017). Frekans oranı yöntemi ile Bayesian Olasılık yönteminin heyelan duyarlılığını belirlemedeki başarımını tespit etmek için yapılan bir diğer çalışmada, Samsun ili Canik ilçesi için Bayesian Olasılık yönteminin mevcut heyelanları belirlemede frekans oranı yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmüştür (Akıncı vd. 2017). Aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemlerini kullanarak Trabzon ili Ortahisar ilçesi güney kesimindeki heyelanlı alanların zemin özelliklerini inceleyerek jeofiziksel haritaların hazırlanması (Akın 2020) gibi çalışmalar da vardır.

İstatistiksel yöntemler kullanılarak Samsun ilini kapsayan heyelan duyarlılık haritası frekans oranı yöntemi, kanıt ağırlığı yöntemi ve lojistik regresyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Başara 2021). Frekans oranı yöntemi ve Bayesian olasılık metodu kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiş, heyelan duyarlılık haritasında envanter kayıtları göz önünde bulundurulduğunda Bayesian modelin uyumluluk oranının FR yöntemi uyumluluk oranına göre daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur (Kılıçoğlu 2020). Görüldüğü üzere farklı çalışma sahalarında farklı yöntemlerinin ortaya konulduğu heyelan duyarlılık analizi çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmada ise; heyelan duyarlılığının fazla olduğu Trabzon ilinin Akçaabat ve Düzköy ilçeleri için heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır. Akçaabat, Trabzon ilinin kıyıya yakın ve nüfus olarak merkez ilçe sonrasındaki en fazla nüfusa sahip ilçesidir. Düzköy ise, Akçaabat’ın güneyinde denize kıyısı olmayan ve son dönemlerde yaylacılık faaliyetlerinin arttığı bir ilçedir (URL-1 2022). Her ne kadar bazı çalışmalarda, Trabzon ili genelindeki heyelanlar göz önüne alındığında Akçaabat ve Düzköy ilçeleri diğer ilçelere nazaran daha az heyelan görüldüğü ifade edilse de (Bayrak ve Ulukavak 2009), aslında hem Akçaabat hem de Düzköy topografik rölyefin fazla olduğu ve son yıllarda çok sık heyelanların gözlemlendiği ilçeler olduğundan dolayı (AFAD 2020) “çalışma sahası” olarak seçilmiştir.



Şekil 2: Akçaabat paleoheyelan bölgesi (AFAD 2016)



Şekil 2: Düzköy ilçesi Çayırbağı-Yusuflu karayolu heyelan (30.03.2022) (URL-2 2022)

Literatür çalışmalarına ilave olarak bölge ile ilgili çalışmalar ayrıca irdelendiğinde; Akgün ve Bulut (2007) tarafından yapılan çalışmada; CBS yardımıyla Arsin ve Yomra ilçelerinde kıyıdan uzak ve yüksekliğin fazla olduğu bölgelerde Lojistik Regresyon ve Ağırlıklı Lineer Kombinasyon yöntemleri ile Heyelan Duyarlılığı belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak bu çalışmada heyelan oluşumunda etkili kriterler ortaya konulurken yağış bir kriter olarak alınmamıştır (Akgün ve Bulut 2007). Bununla beraber, bölgesel ölçekte iklim değişkenliğinin önümüzdeki yıllarda ekstrem yağışlarda artışa neden olacağı da öngörülmektedir (Aksu vd. 2022). Bu sebeple yağışın heyelanı tetikleyici bir faktör olarak önemi de artacaktır.

Ayrıca literatürde AHS yönteminde kullanılmak üzere yağış kriterine ait katman üretilirken genellikle başvuru alan “Yıllık Toplam Yağış (mm/yıl)” gözlemleri yerine, heyelanın şiddetli hava olayları sonucu gerçekleşen bir doğal afet olduğundan hareketle “Yılda Günlük En Çok Yağış (mm/gün)” gözlemlerinden yararlanılmıştır. Çünkü uygulamada genellikle yılda günlük en çok yağış verileri, su yapılarının boyutlarının hesaplanması amacıyla yapılan taşkın hidrolojisi çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca frekanslı yağış (5, 10, 50, 100, 500 vb. yıl) verileri kullanıldığında farklı istasyonlardan farklı periyotlarda elde edilen veriler tek bir standart zamana dönüştürülmektedir (Şen 2009). Aynı zamanda heyelan duyarlılığın belirlenmesinde de ekstrem yağış verileri kullanılarak benzer birçok uygulama yapılmıştır. Bu çalışmalar ile ilgili olarak Maturidi vd. (2021)’nin çalışmalarına bakılabilir. Son yıllarda özellikle günlük toplam yağış veya etkili sağanaklardan elde edilen yağış şiddetine bağlı çalışmalar da daha çok yapılmaktadır (Carpena vd. 2021), (Maturidi vd. 2021). Trabzon için ise özel olarak Akçalı tarafından yapılan ve heyelan için yağış eşiğinin; saatlik yağış şiddet-süre eğrilerinden yararlanılarak belirlenmesine dayalı çalışma dikkat çekicidir (Akçalı 2011). Bu çalışmada, ayrıntılarına Bölüm 2.3.8’de değinilecek yağış katmanı da ekstrem yağışların kullanılmasına bir örnek olarak yılda günlük en çok yağış verilerinden üretilecektir.

Çalışma sahasında hem Anolitik Hiyerarşi Süreci (AHS) hem de Frekans oranı (FR) yöntemlerinde kriter haritalarının üretilmesi ve mekânsal çözümleme için CBS yazılımlarından ArcGIS for Desktop ve bu platformun araçları (ArcToolboxes) kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Sahası

Çalışma alanı Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Trabzon ilinin Akçaabat ve Düzköy ilçeleridir (Şekil 3). Çalışma alanının kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Maçka ve Tonya ilçeleri, doğusunda Ortahisar ilçesi, batısında Çarşıbaşı ve Vakfikebir ilçeleri bulunmaktadır. Kıyı bölgelerinde kışlar ılıman, yazlar serin ve tüm mevsimler genelde yağışlı geçmektedir. İç bölgelere doğru gidildikçe yükseklik artar ve iklim sertleşir (Erinç 1996). Tüm mevsimler yağışlı olması sebebiyle bölgede çoğunlukla orman bitki örtüsü yer almaktadır (Türkeş 2021). Jeolojik oluşumu bakımından bölgede; Üst Kretase, konglomera, kumtaşı, marn, kil, tortul ara katkılı volkanik seriler, çakıllı, kumlu, siltli ve killi, Kuaterner yaşlı taraça dolguları ve çakıllı, kumlu, siltli, killi akarsu alüvyonları bulunmaktadır. Bölgenin nemli oluşu ise akarsuların akış hızını ve aşındırma hızını artırmaktadır (Erinç 2001).

#### 2.1.1 Çalışma Alanının Heyelan Envanter Bilgileri

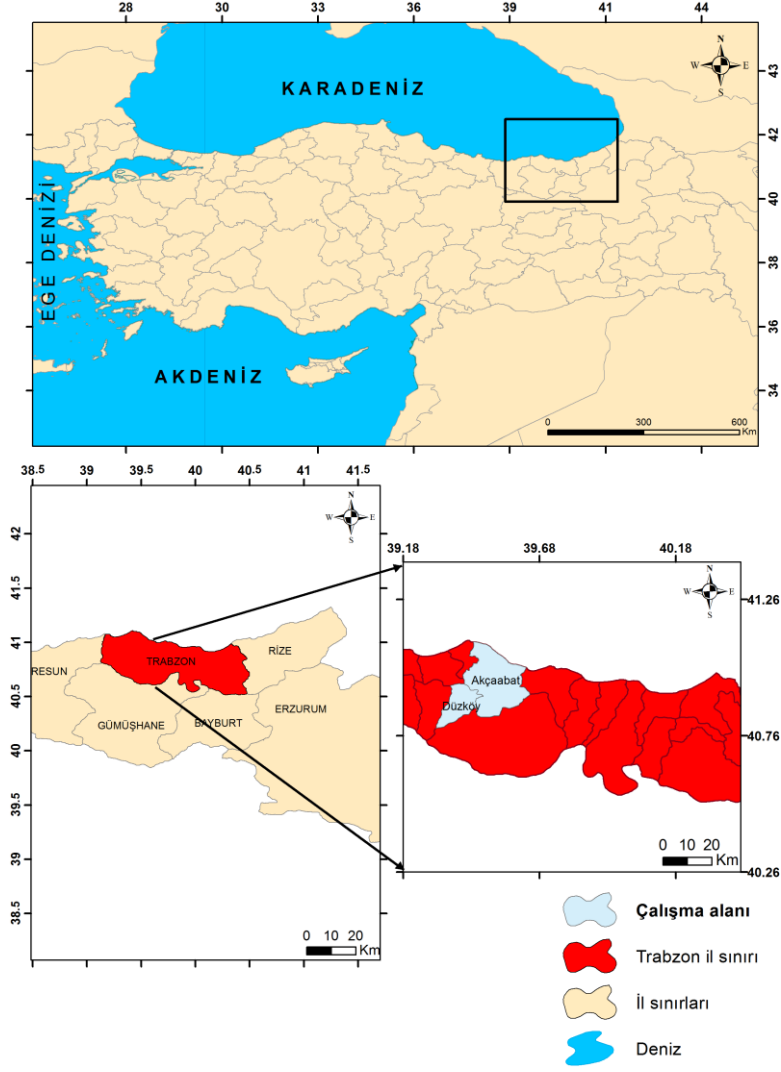
Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar, daha çok akma ve kayma şeklinde gözlemlenmektedir. Bölgede oluşan heyelanların çoğunluğu aşırı yağışlara bağlı olarak aniden meydana gelmektedir (AFAD 2016). Çalışma alanı Heyelan analizi için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)’nden gözlemsel heyelan envanterleri ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)’ndan gözlemsel ve gerçekleşmiş olan heyelan envanter verileri kullanılmıştır (Şekil 4).

### 2.2. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Kriterler

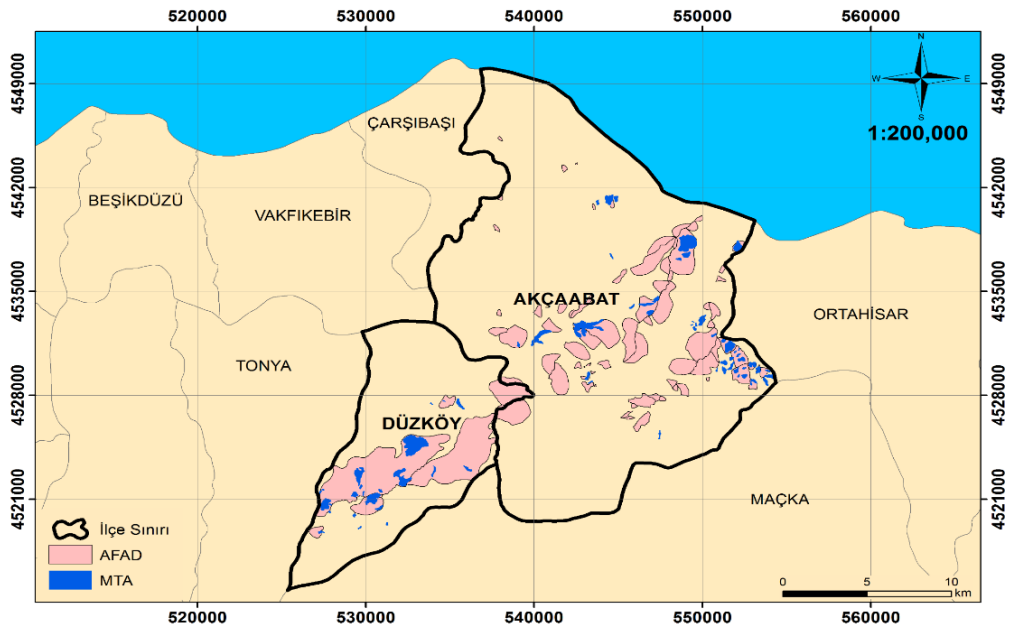
Çalışmanın giriş bölümünde de belirtildiği üzere heyelan duyarlılık değerlendirilmesinde kullanılan kriterler hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler olmak üzere iki sınıfa ayrılır (Şekil 1). Hazırlayıcı faktörler jeolojik, topoğrafik ve çevresel alt başlıklara ayrılırken, tetikleyici faktörler; deprem, yağış ve insan alt başlıklarına ayrılır. Kullanılan bu faktörlerin bir bölgenin heyelan duyarlılığını göreceli olarak sınıflandırılmasında önemli olduğu belirtilmiştir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001).

Çellek vd. (2015)’nin yapmış oldukları çalışmada; 2000-2015 yılları arasında konu ile ilgili yapılan 100 adet araştırma çalışması incelenmiş ve istatistiksel bir değerlendirme yapılarak heyelan duyarlılık analizi için kullanılan kriter sayılarının dağılımı ortaya konulmuştur. Kriter kullanımı arazide gözlenen heyelana neden olan etmenler dikkate alınarak yapılmalıdır (Tetik Biçer 2017). Heyelan Duyarlılık Analizi çalışmalarının büyük bir kısmında; eğim, litoloji, bakı, arazi kullanımı ve akarsuya uzaklık kriterlerinden yararlanılmıştır (Şekil 6).

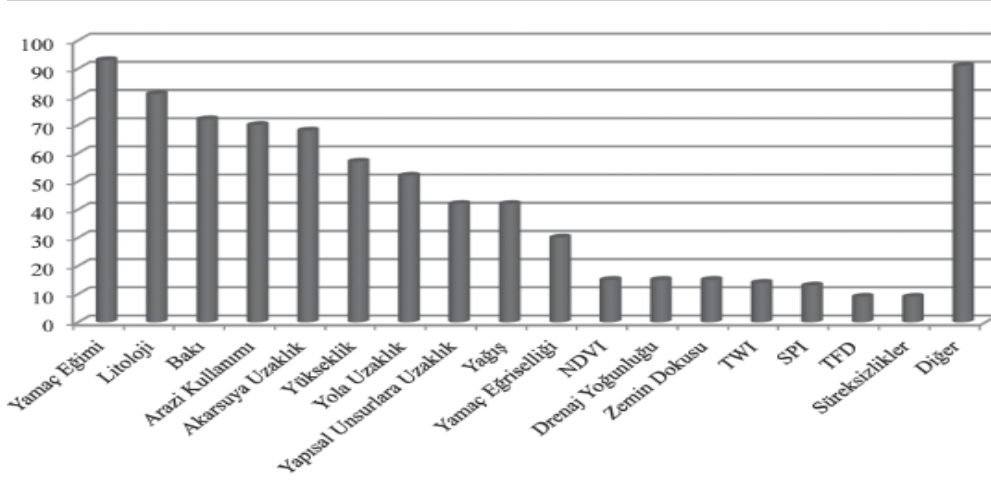
Trabzon ilinin Akçaabat ve Düzköy ilçeleri ile ilgili yapılan bu çalışmada ise, heyelan duyarlılığının belirlenmesinde 13 kriter göz önünde bulundurulmuştur. Bu kriterler sırasıyla; eğim, eğim şekli, litoloji, yağış, bakı, topoğrafik nemlilik (TNI), akarsuya uzaklık, karayoluna uzaklık, arazi kullanımı, toprak yapısı, yükseklik, fay hattına uzaklık ve bitki örtüsü yoğunluğunun bir ifadesi olan normalize edilmiş fark bitki indisi (NDVI)’dir.



Şekil 3: Çalışma alanının yer bulduru (lokasyon) haritası



Şekil 4: Çalışma alanının heyelan envanter haritası



Şekil 5: Kriter sayılarının çalışmalara göre dağılımı (Çellek vd. 2015)

### 2.2.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi

Belirlenen kriterlerin duyarlılık analizindeki etkilerini ortaya koymak için kullanılan yöntemlerden birisi Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi'dir. Analitik Hiyerarşi Süreci ilk olarak Myers and Alpert tarafından 1968 yılında önerilmiş, Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilerek model haline getirilmiştir (Yıldırım ve Önder 2015), (Karakaş 2018). Bir problemin çözümünde birden fazla ölçüt ve niteliksel faktörleri içeren karar verme durumlarına Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi denmektedir (Yıldırım ve Önder 2015). AHS yöntemi de karar verme aşamasında kriterlere ait ikili karşılaştırmalar yaparak kriterlerin ağırlık değerlerini belirleyen bir yöntemdir (Karakaş 2018). AHS'nin çalışma için kullanılmasındaki amaç; heyelan duyarlılık haritası üretilmesinde etkili olan kriterlerin hem kendi içlerinde hem de diğer kriterlere karşı üstünlüklerini subjektif (uzman görüşünü esas alacak şekilde) olarak belirlemektir. Diğer bir deyişle, en başta kriterler için mekânsal olarak elde edilen haritalarda hem kendi alt sınıflarının kendi içlerindeki üstünlük hiyerarşilerini belirlemek, hem de buna bağlı olarak heyelan duyarlılığından kriterlerin kendi aralarında üstünlük hiyerarşilerini bir karar matrisi ile belirlemektir.

Böylelikle bir heyelan duyarlılık haritası üretmek için her bir kriterin ne kadar etkili olacağına dair ağırlıkları analitik olarak tespit edilebilmektedir (Kargın 2021). Bu problemin çözümü için kurulacak hiyerarşi ilişkilerinin temel yaklaşımı olan "Saaty Hiyerarşisi", Tablo 1'de belirtilmiştir.

AHS yöntemi uygulanırken atılması gereken adımlar; öncelikle çalışma alanı için heyelanı etkileyen kriterler ve belirlenen kriterlerin alt sınıflarının belirlenmesidir. Belirlenen her kriter için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırılan her kriter ile diğer bütün kriterlerle olan ilişkisi ortaya konularak, her bir kriterin bir diğer kriterle göre ağırlık değerleri hesaplanır (Yıldırım ve Önder 2022; Kargın 2021). Çalışma alanı için; Bölüm 2.4'de Tablo 5'de her kriterin ikili karşılaştırma matrisleri ve ağırlık değerleri verilmiştir.

Tablo 1: AHP sürecinde önem derecesi ve hiyerarşisi açıklaması (Saaty ve Vargas 2001)

| Önem Derecesi | Açıklama   |
|---------------|--|
| 1             | Her iki kriterin önemleri; eşit                  |
| 3             | 1. Kriter, 2. Kriterden; biraz daha önemli       |
| 5             | 1. Kriter, 2. Kriterden; daha önemli             |
| 7             | 1. Kriter, 2. Kriterden; çok daha fazla önemli   |
| 9             | 1. Kriter, 2. Kriterden; en kuvvetli öneme sahip |
| 2, 4, 6, 8    | Ara değerler                                     |

Kriterler arası oluşturulan ikili matris (1)'de  $n \times n$  boyutunda oluşturulan bir kare matristir. Denklem (1)'de yer alan  $n$ ; faktör sayısı,  $i, j$ ; faktörleri,  $a_{ij}$ ;  $i$  faktörünün  $j$  faktörüne göre önem derecesini vermektedir. Önem derecelerine göre (Tablo 1) karşılaştırılır, karşılaştırmada  $i = j$  olduğundan köşegen üzerinde yer alan değerler 1'e eşit olur.

$$A = [a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1n} \ a_{21} \ a_{22} \ \dots \ a_{2n} \ \dots \ \dots \ \dots \ a_{n1} \ a_{n2} \ \dots \ a_{nn}] n \times n \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Oluşturulan matrisin köşegen değerlerinin üstünde kalan bölümler için önem derecelerine göre puan verilir. Matrisin puanlama yapılmayan bölümlerinde ise Denklem (2)'deki formül uygulanır.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2)$$

Yapılan işlemlerin ardından kriterlerin ağırlık değerleri için bir  $b$  sütun vektörü oluşturulur. Oluşturulan yeni sütun da Denklem (3)'deki formül kullanılarak hesaplanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3)$$

Hesaplanan işlemlerle yeni bir  $C$  matrisi oluşturulur ve oluşan bu matriste kriterlerin birbirine göre ağırlıkları derecelendirilir. Oluşan  $C$  matrisinin aritmetik ortalaması alınarak Denklem (4)'deki formül ile hesaplanır ve öncelik vektörü olan  $W$  sütun vektörü elde edilir.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \quad (4)$$

Yapılan işlemlerin ardından "Tutarlılık Oranı (CR)" hesaplanır. CR hesabı için temel değer katsayısı ( $\lambda$ ) için, karşılaştırma matrisi ile öncelik vektörü çarpımı yapılır. Yapılan işlemlerle yeni bir sütun oluşur. Oluşan sütunun aritmetik ortalaması alınarak temel değer katsayısı bulunur. Tutarlılık indeksi (CI) için Denklem (5)'deki formül kullanılır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5)$$

Son aşama olarak Tutarlılık Oranı, Denklem (6)'daki formül ile hesaplanır. Denklem (6)'daki RI; rastgele değer indeksidir. Hesaplanan Tutarlılık Oranı %8'e eşit veya daha küçük olması, çalışma alanı için tutarlılığın ve doğruluğun artması demektir (Yıldırım ve Önder 2015) (Kargın 2021).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

## 2.2.2 Frekans Oranı (FR) Yöntemi

Frekans Oranı (FR) Yöntemi, heyelan duyarlılık haritalarında sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir (Fayez vd. 2018). Yöntemin kullanılmasındaki temel amaç, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin yoğunluklarının belirlenmesidir. Öncelikle çalışma sahasında meydana gelmiş heyelanlarla ilgili "heyelan envanter haritası" oluşturulur. Envanterde yer alan heyelanlar ile çalışma alanı için belirlenen kriter haritaları üst üste çakıştırılarak yoğunlukları belirlenir ve kullanılan kriterlerin (parametrelerin) alt sınıflarına ağırlık değerleri atanarak frekans oranı yöntemine göre heyelan duyarlılık haritası elde edilir (Karakaş 2018).

FR yöntemi uygulanırken alt sınıflara ait hesaplamalar Denklem (7)'ye göre yapılır. Denklem (7)'deki FR; frekans oranını,  $N$  çalışma sahasındaki tüm piksel sayısını;  $N_i^p$ , kriter katmanındaki alt sınıfa ait heyelan görülen sahalarla çakışan piksel sayısını,  $N_i^{lp}$  tüm katmanda heyelan görülen piksel sayısını, parametre alt sınıfında heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısına oranını ifade etmektedir (Fayez vd. 2018).

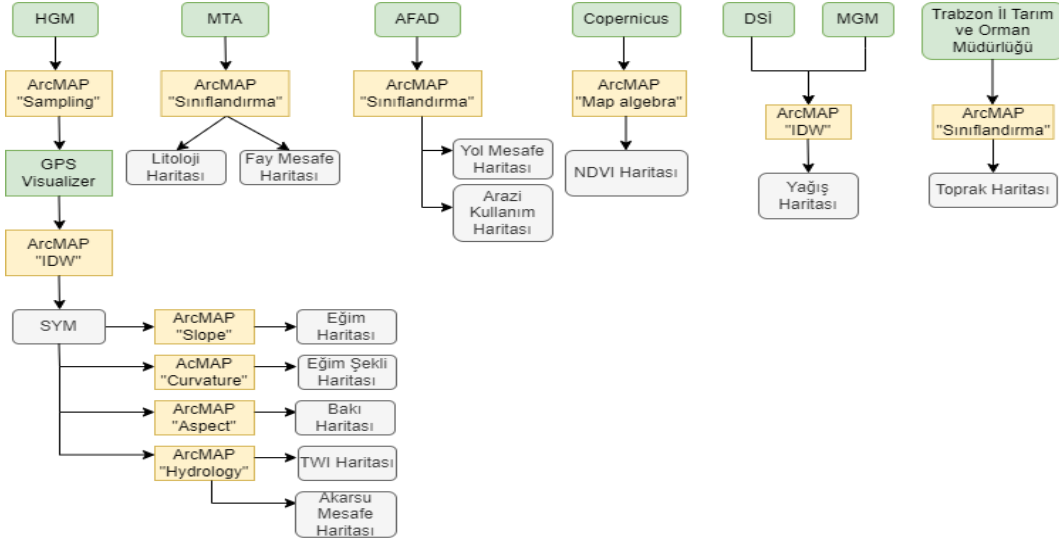
$$FR = \frac{\frac{N_i^p}{N}}{\frac{N_i^{lp}}{N}} \quad (7)$$

Hesaplanan FR değerleri, kullanılan parametrelerin alt sınıflarına atanma işlemi uygulanır ve tüm parametrelerin aritmetik toplamları alınarak Denklem (8)'e göre hesaplanır. Denklem (8)'deki LSI; heyelan duyarlılık indisini (Fayez vd. 2018),  $\sum FR$ ; yeniden oluşturulan parametre haritalarının toplamını ifade etmektedir. Yapılan hesaplamalar ile heyelan duyarlılık haritası elde edilir (Karakaş 2018).

$$LSI = \sum FR \quad (8)$$

### 2.3. Heyelan Duyarlılık Analizi İçin Kriter Katman Haritalarının Üretilmesi

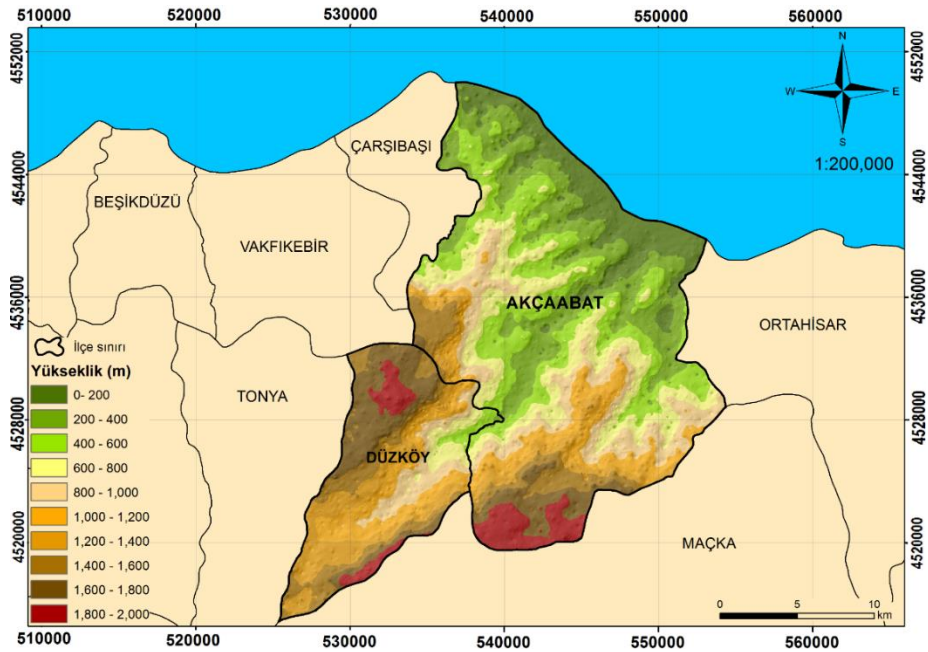
Çalışmada ArcGIS for Desktop, HGM Küre ve Google Earth Pro programları kullanılarak heyelan duyarlılık analizinde değerlendirilmek için kriterlere ait harita katmanları üretilmiştir. Harita katmanlarının hazırlanmasına ilişkin akış şeması Şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 6: Harita katmanlarının hazırlanmasına ilişkin akış şeması

#### 2.3.1 Yükseklik

Yükseklik kriterine ait harita katmanı elde etmek için öncelikle Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'nin üretilmesi gereklidir. SYM'yi elde etmek için Harita Genel Müdürlüğü (HGM)'nün "Küre" uygulamasından, çalışma alanı olan Akçaabat ve Düzköy ilçe sınırları çizilmiştir. İlçe sınırları \*.kml vektör veri formatında kaydedilerek ilgili sınırlar ve çevresinde ArcGIS for Desktop programında "Sampling" aracı kullanılarak poligon sınırları içerisinde 10.000 adet rastgele nokta atılmıştır. Ardından bu noktalar, enlem-boylam-yükseklik öznitelik bilgileriyle 'GPS Visualizer' sitesinden çevrimiçi olarak sunulan bir araç ile \*.gpx veri formatına dönüştürülmüştür. Dönüştürülmüş veriler ArcGIS for Desktop platformunun Spatial Analysis araç kutusunda yer alan ve alansal enterpolasyon amacıyla kullanılan IDW (Inverse Distance Weighted – Ters Mesafe Ağırlıklandırma) aracı ile 5m x 5m yatay çözünürlüklü mekânsal bir veri formatına (\*.geotiff) çevrilmiştir. Böylece çalışma sahasının Sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7: Çalışma alanına ait yükseklik haritası



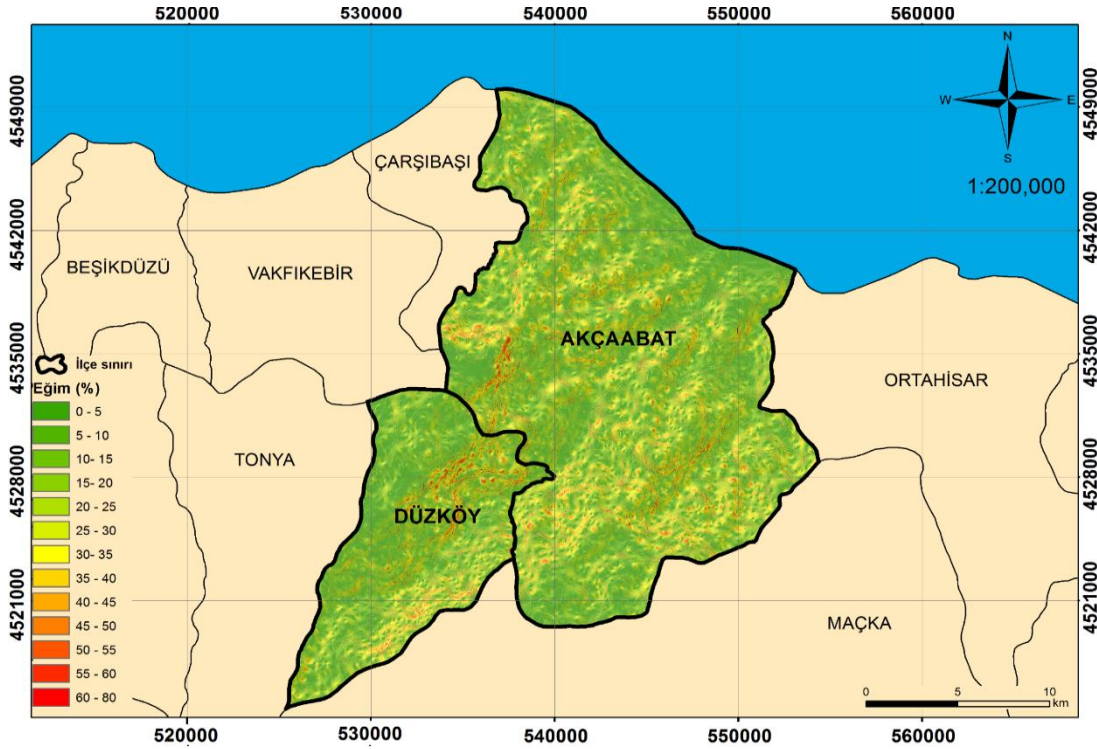
Hazırlanan SYM, yükseklik kriterine ait harita katmanı haricinde, heyelan duyarlılık analizi için kullanılacak bazı kriterlere ait harita katmanlarının üretilmesinde de kullanılmıştır. Bu harita katmanları; eğim haritası, eğim şekli haritası, toprak nemlilik indeksi (TNI) haritası, akarsu uzaklık haritası ve baki haritasıdır.

### 2.3.2 Eğim

Eğim heyelan oluşumu üzerinde oldukça etkilidir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Eğimin artması ve yamaçta bulunan malzemenin dengesinin bozulması ile kaymalar meydana gelmektedir. Eğim haritası için; SYM, ArcGIS for Desktop’da “slope” aracı ile çalışma alanına göre hazırlanmıştır. Eğim haritasında 13 alt sınıf oluşturulmuştur (Şekil 8). Analizde kullanılan alt kriter ağırlık değerleri için 6 sınıf oluşturulmuştur. Çalışma alanında 10 °- 20 ° eğim aralığı %30.21 oranla çalışma alanı için en yüksek orana sahiptir ve heyelana karşı daha duyarlıdır (Tablo 2). Özellikle kıyı kesimlerden uzaklaştıkça ve dağlık alanlarda eğimin fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8).

Tablo 2: Eğim için alan ve oran değerleri

| Eğim (derece) | Alan (ha) | Oran (%) |
|---------------|-----------|----------|
| 0-10          | 12,623.92 | 25.29    |
| 10-20         | 15,082.93 | 30.21    |
| 20-30         | 11,294.50 | 22.62    |
| 30-40         | 6,753.12  | 13.53    |
| 40-50         | 3,026.78  | 6.06     |
| 50-90         | 1,142.18  | 2.29     |



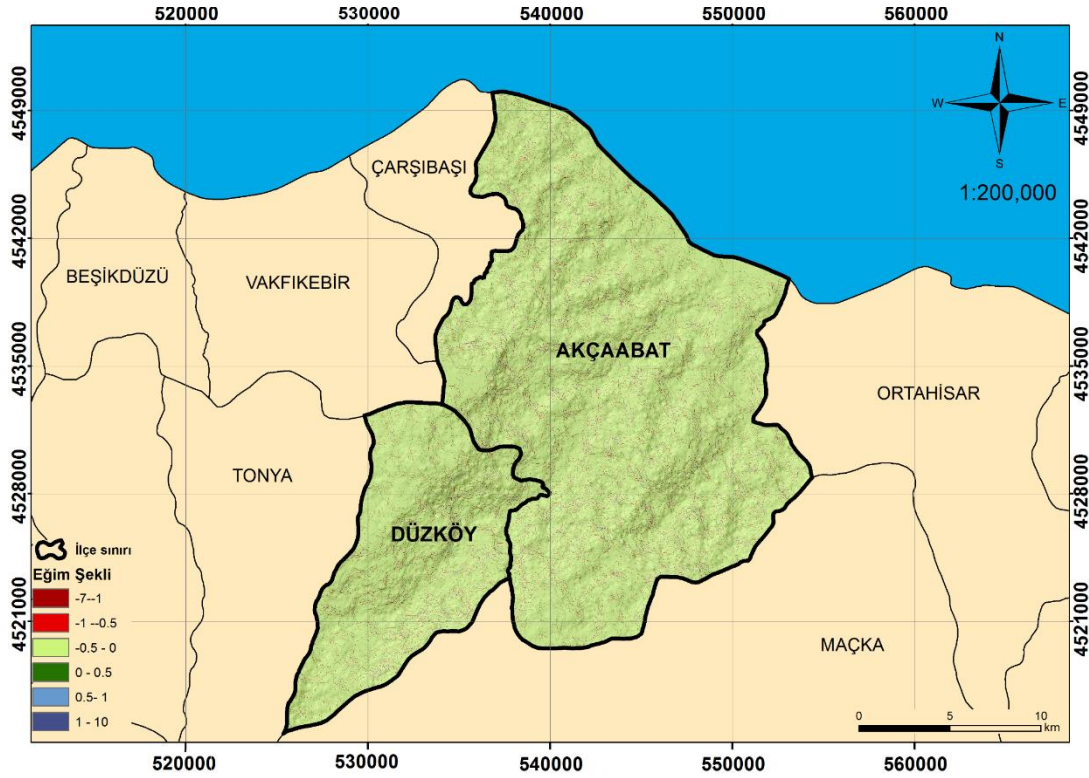
Şekil 8: Çalışma alanına ait eğim haritası

### 2.3.3 Eğim şekli

Jeomorfolojik olarak; yamaçlardaki düzensizlikler “duraysızlıklara” neden olmaktadır. Eğim şeklinde negatif değerler iç bükey yamaç, pozitif değerler ise dış bükey yamaç anlamına gelmektedir. İç bükey yamaçlarda heyelan duyarlılığının artmasının nedeni, yüzey sularının dış bükey yamaçlara göre daha fazla bulunmasıdır (Çellek 2013). Bu çalışmada AFAD (2016)’da Trabzon için yapılan çalışma örnek alınarak “Eğim şekli haritası” üretilmiştir. Eğim şekli haritası, SYM kullanılarak ArcGIS for Desktop’da “Curvature” aracı ile elde edilmiştir (Şekil 9). Çalışma alanı içerisinde düz alanlar fazla bulunmadığı için eğim şekli sınıfları 0.5 aralıklı olarak sınıflandırılmış ve ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Eğim şekli için alan ve oran değerleri

| Eğim şekli  | Alan (Ha) | Oran (%) |
|-------------|-----------|----------|
| (-7)-(-1)   | 282.95    | 0.57     |
| (-1)-(-0.5) | 1,466.23  | 2.94     |
| (-0.5)-(0)  | 45,564.21 | 91.27    |
| (0)-(0.5)   | 1,888.59  | 3.78     |
| (0.5)-(1)   | 608.67    | 1.22     |
| (1)-(10)    | 112.77    | 0.23     |

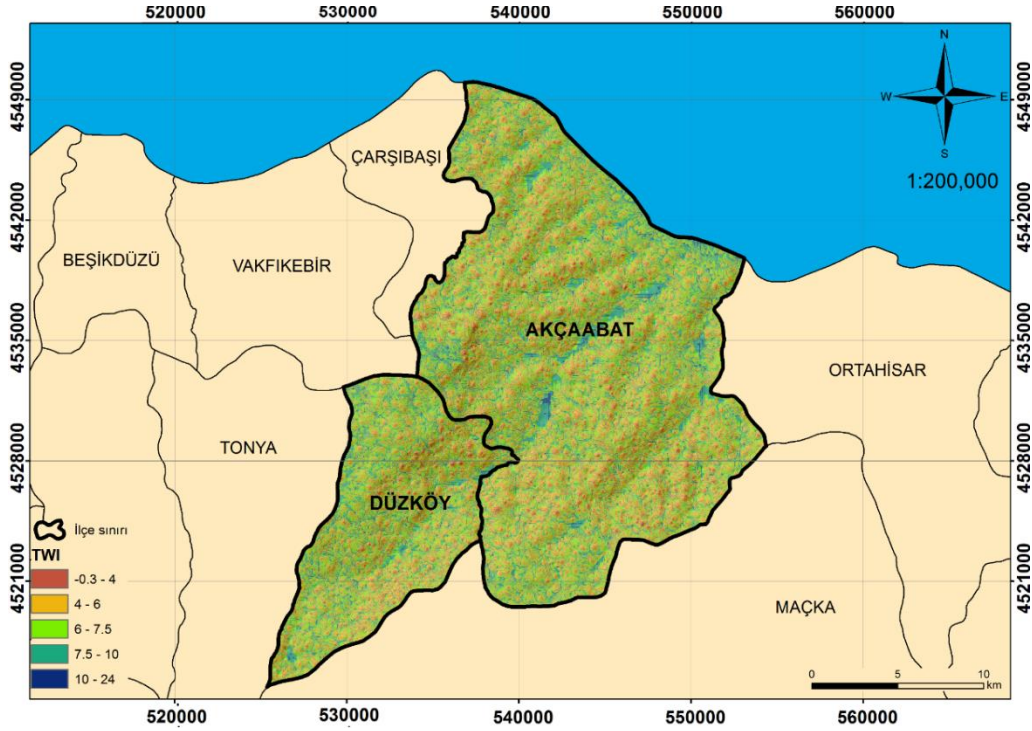


Şekil 9: Çalışma alanına ait eğim şekli haritası

#### 2.3.4 Topografik nemlilik indeksi (TNI)

Topografik Nemlilik İndisi (TNI), topografyanın hidrolojik koşullarının belirlenmesi için kullanılmakta ve suya doymun alanları göstermektedir (Karakas 2018). Çalışma alanını içeren TNI katman haritası için; SYM ve ArcGIS for Desktop'da "Hydrology" araç kutusu kullanılmaktadır. Bu araç kutusu içerisindeki 'Flow Direction' aracı kullanılarak çalışma alanında akarsuların akış yönü belirlenmiştir. Belirlenen akış yönü katmanı kullanılarak 'Flow Accumulation' aracı yardımıyla toplam (cumulative) akış güzergahları belirlenir. TNI hesaplamak için çalışma alanının eğim haritası da gerekmektedir. Raster formatında üretilen ilgili katmanlar 'Map Algebra' aracı kullanılarak hesaplamalar yapılmış (9) ve TNI haritası elde edilmiştir (Şekil 10). Denklem (9)'da gösterilen formülde; "As" değeri su toplayabilme alanını ve "β" değeri yamaç eğimini ifade etmektedir.

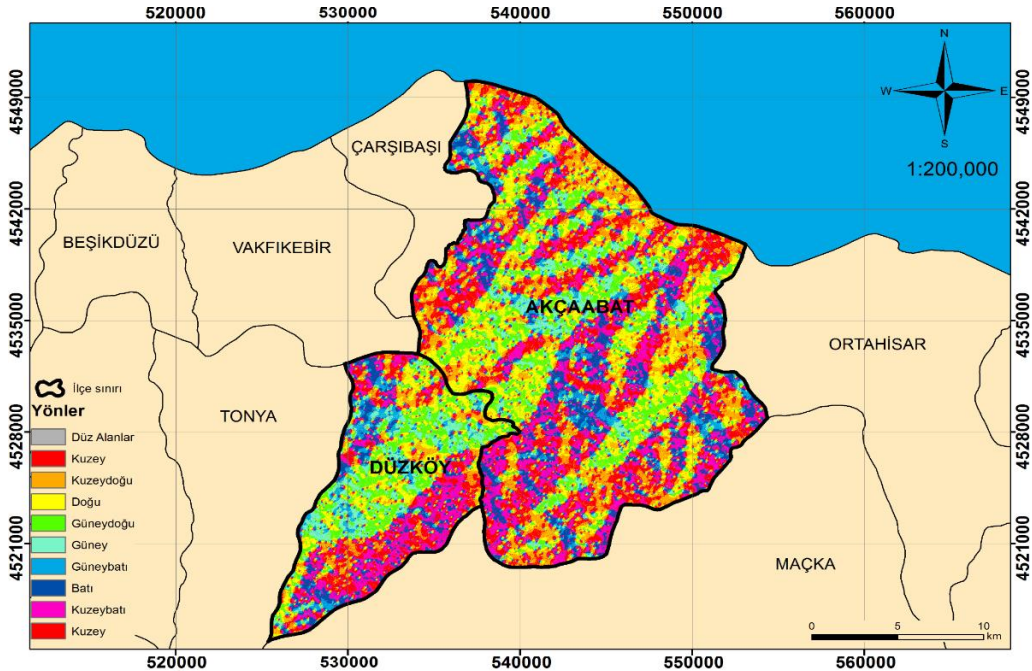
$$TNI = \ln \frac{As}{\tan\beta} \quad (9)$$



Şekil 10: Çalışma alanına ait Topografik Nemlilik İndeksi (TNI) haritası

### 2.3.5 Bakı

Farklı yönlere bakan yamaçların, güneş ışığı ve yağış gibi atmosferik olaylardan etkilenme koşulları farklıdır. Yağışın fazla gerçekleştiği yamaçların heyelan duyarlılığı daha yüksektir ve güneşten gelen ısı enerjisi, terleme ve buharlaşma (evapotranspirasyon) ile su kaybına neden olmaktadır. Bu sebeplerle çalışma alanında bakının belirlenmesi gerekmektedir. Böylece zeminin ne ölçüde nemli veya kuru olduğu incelenebilmektedir. Karadeniz'in genelinde kuzeye bakan yamaçların heyelan duyarlılığı daha yüksektir. Bunun sebebi ise bölgeye kuzeyden gelen yağışların etki etmesi ve kuzeye bakan yamaçların toprak nemliliği yağışlardan sonra uzun bir süre korunmakta olmasıdır (Çellek 2013). Bu durum çalışmada yapılan yağış katmanı haritasında da net bir şekilde görülmektedir. Bakı haritası Sayısal yükseklik modeli (SYM) ile ArcGIS for Desktop'da "Aspect" aracı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 11) .



Şekil 11: Çalışma alanına ait bakı haritası

Bundan sonraki kriterlere ait harita katmanlarından Litoloji haritası ve Fay uzaklık haritasının oluşturulması için; Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) *Yerbilimleri Görüntüleyici ve Çizim Editöründe* ekran görüntüleri alınmıştır. Alınan ekran görüntüleri, ArcGIS for Desktop programında koordinatlandırılmış (rectify) ve koordinatlı harita üzerinde çizimler yapılarak ilgili kriterlere ait katman haritaları elde edilmiştir.

### 2.3.6 Litoloji

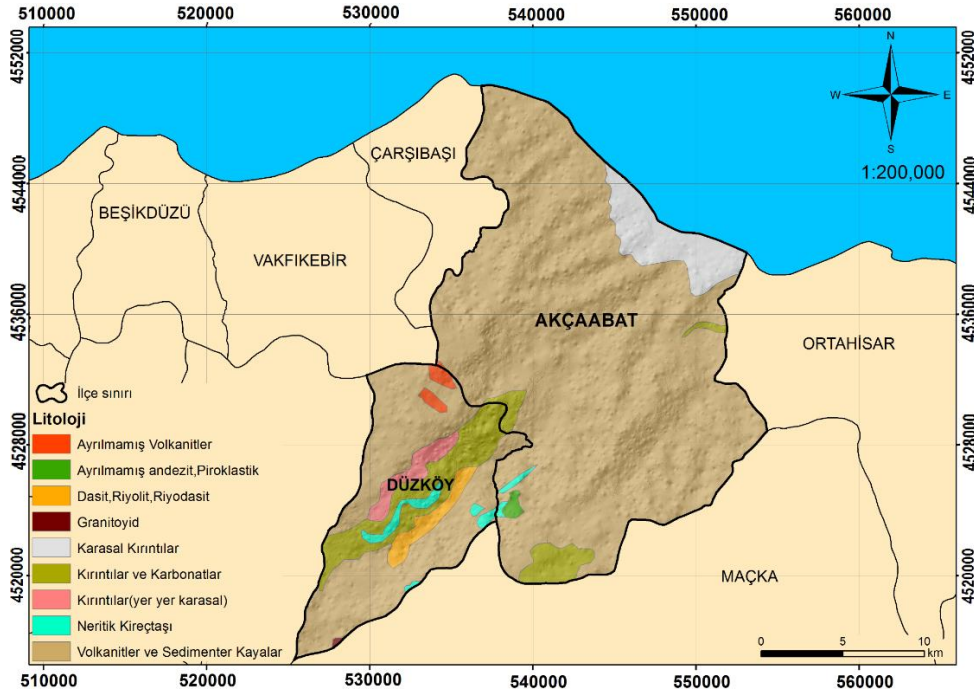
Farklı litolojiye sahip bölgelerin su iletim özellikleri, kayma gerilimleri, kaymaya karşı duyarlılıkları farklı olmakta, farklı duyarlılık değerlerine sahip oldukları için de heyelan duyarlılıkları da farklılaşmaktadır. Litoloji kohezyonu kontrol eden bir kriterdir (Çellek 2013). Çalışma alanının büyük bir kısmı volkanitler ve sedimanter kayalardan oluşmuştur (Şekil 12).

### 2.3.7 Faya uzaklık

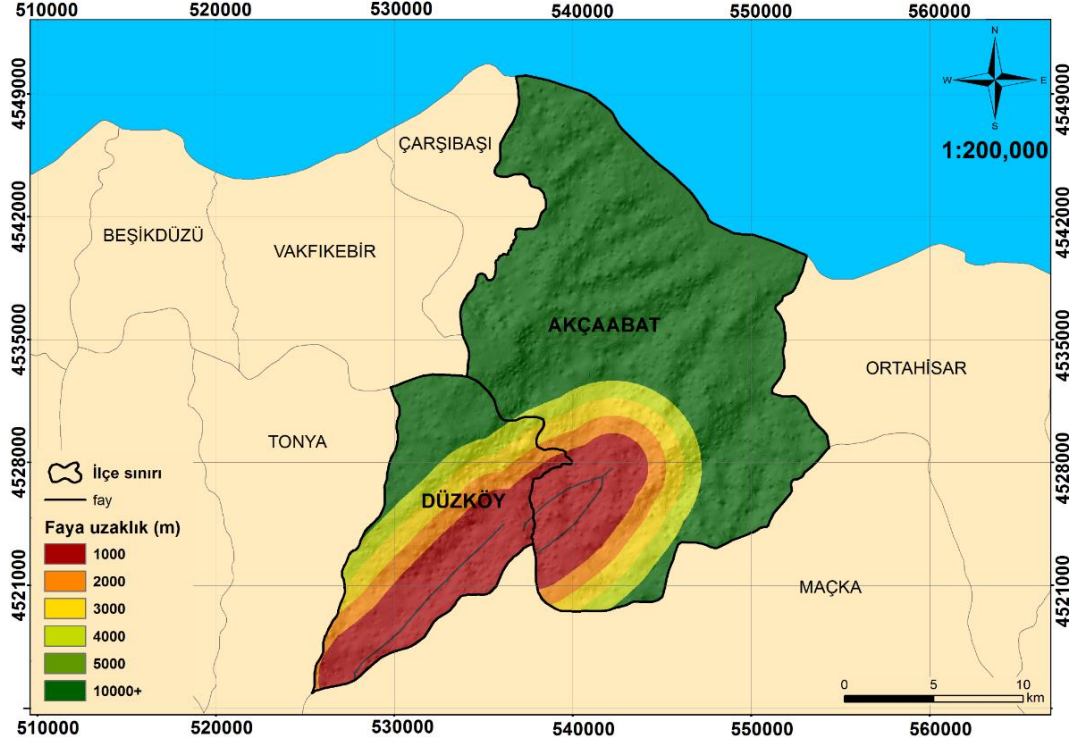
Depremler, denge durumunu geçici olarak bozmaktadır. Fay hatlarına yakınlık heyelanlar için tetikleyici bir faktördür. Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 130 km kuzeyinde yer almaktadır. Her ne kadar Trabzon ili 4. derece deprem bölgesi içerisinde yer aldığından dolayı deprem riski oldukça düşük olsa da çalışma alanının güneyinde Olası Kuvaterner fayı bulunmaktadır (AFAD 2016). MTA'dan alınan ekran görüntüleri kullanılarak, ArcGIS for Desktop programında koordinatlandırma işlemi yapılmış, ardından 'Analysis' araç kutusu içerisinde yer alan "Multiple Ring Buffer" aracı ile çalışma alanı için 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 10000 metre aralıklarla sınıflandırma işlemi yapılarak faya uzaklık haritası elde edilmiştir (Şekil 13).

### 2.3.8 Yağış

Çalışma sahası ve çevresinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen 25 adet Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun (MGİ) gözlem periyotlarındaki "yılda günlük en çok yağış verileri" temin edilmiştir (Tablo 4). Çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı bir yaklaşımla, heyelan oluşumunda daha çok, yılda günlük maksimum yağışın (mm/gün) etkili olduğu kabulü ile yılda günlük maksimum yağış verilerinden Smirnov-Kolmogorov istatistiksel sınama yöntemine göre belirlenen uygun dağılım tipinde hesaplanan farklı frekanslara (tekerrürlere) göre üretilen mekansal yağış haritaları kullanılmıştır. Bu kabulün yapılmasındaki temel gerekçe, son yıllarda iklim değişikliğine bağlı olarak, yağışın yıllık toplam miktarında gözle görülür bir değişiklik olmasa da ekstrem yağışların miktarının artmasıdır (Seneviratne vd. 2021). Özellikle bölgesel ölçekte bu daha da belirgindir (Aksu vd. 2022). Dolayısıyla heyelan duyarlılık analizinde iklimsel kayıtlara dayalı bir araştırma yapılacaksa bunun ekstrem yağışlar üzerinden yapılması daha doğru olacaktır (Maturidi vd. 2021). İstasyonlara ait noktasal yağış gözlem verilerinden mekansal yağış haritalarının oluşturulmasında alansal enterpolasyon yöntemi olarak doğru sonuç verdiği çeşitli çalışmalarla (İlker vd. 2019) ortaya konulan "IDW-Ağırlıklı ters uzaklıklar" yöntemi kullanılmıştır. Yağış haritası katmanını elde etmek için kullanılan MGİ'lere ait bilgiler Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 12: Çalışma alanına ait litoloji haritası



Şekil 13: Çalışma alanına ait fay hatlarına uzaklık haritası

Tablo 4: Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGI) 500 yıl yinelenmeli yılda günlük maksimum yağış verileri(mm/gün)

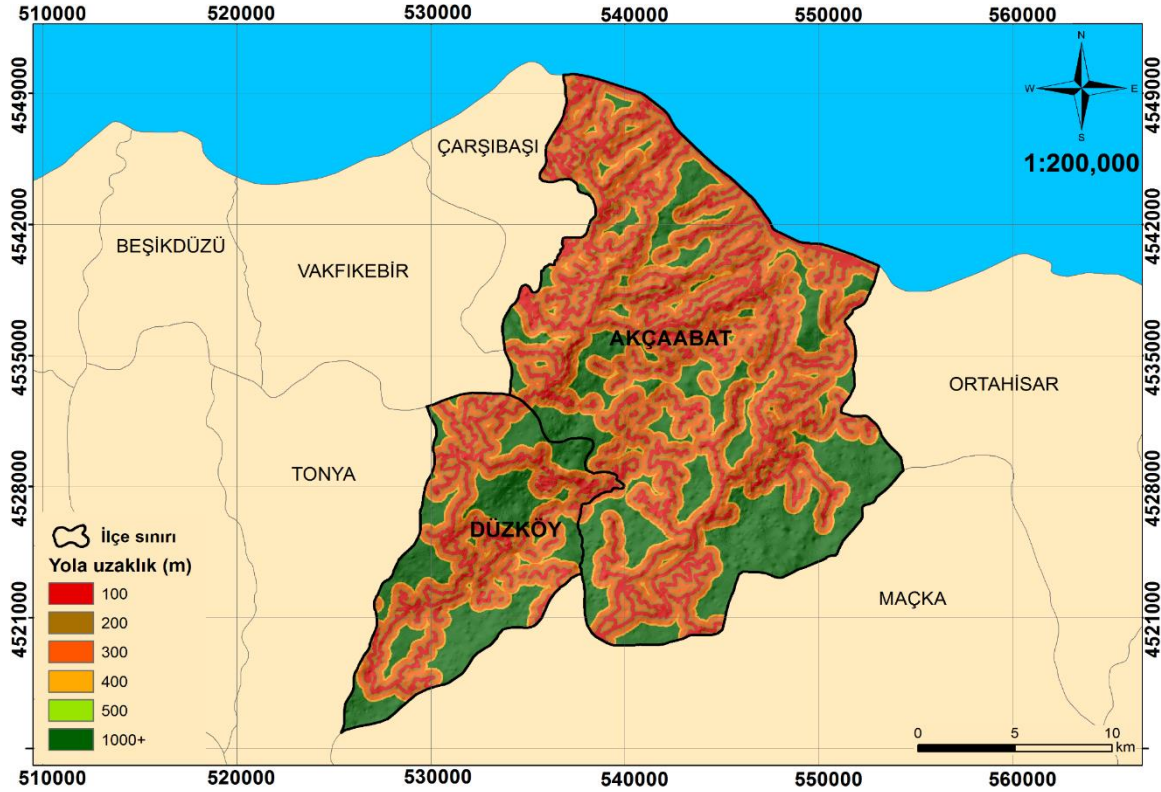
| Sıra No | İşleten Kuruluş | İstasyon Adı    | İstasyon No | Gözlem süresi | 500 yıl frekanslı maksimum yağış (mm/gün) |
|---------|-----------------|-----------------|-------------|---------------|---|
| 1       | MGM             | Akçaabat        | 17626       | 54 yıl        | 126,58                                    |
| 2       | MGM             | Araklı          | 1472        | 31 yıl        | 139,44                                    |
| 3       | MGM             | Arsin           | 1471        | 33 yıl        | 155,47                                    |
| 4       | DSİ             | Çambaşı Yaylası | D22M010     | 26 yıl        | 66,3                                      |
| 5       | MGM             | Çaykara         | 1195        | 38 yıl        | 88,10                                     |
| 6       | MGM             | Düzköy          | 1624        | 23 yıl        | 206,43                                    |
| 7       | MGM             | Görele          | 1979        | 28 yıl        | 277,42                                    |
| 8       | MGM             | Gümüşhane       | 17088       | 79 yıl        | 75,65                                     |
| 9       | DSİ             | Güzelyayla      | D22M017     | 26 yıl        | 89,81                                     |
| 10      | MGM             | İkizdere        | 1187        | 41 yıl        | 163,82                                    |
| 11      | MGM             | Kalkandere      | 1165        | 35 yıl        | 165,64                                    |
| 12      | DSİ             | Kayaıçi         | D22M011     | 26 yıl        | 72,01                                     |
| 13      | MGM             | Keşap           | 1164        | 38 yıl        | 185,96                                    |
| 14      | MGM             | Küçükdere       | 1178        | 25 yıl        | 95,51                                     |
| 15      | MGM             | Kürtün          | 1207        | 26 yıl        | 94  |
| 16      | MGM             | Maçka           | 1626        | 39 yıl        | 95,1                                      |
| 17      | MGM             | Of              | 1475        | 38 yıl        | 213,43                                    |
| 18      | MGM             | Rize            | 17040       | 88 yıl        | 317,04                                    |
| 19      | MGM             | Sürmene         | 1473        | 23 yıl        | 199,61                                    |
| 20      | MGM             | Tirebolu        | 1096        | 46 yıl        | 354,91                                    |
| 21      | MGM             | Tonya           | 1623        | 30 yıl        | 155,08                                    |
| 22      | MGM             | Torul           | 1223        | 35 yıl        | 58,19                                     |
| 23      | MGM             | Trabzon         | 17037       | 80 yıl        | 128,11                                    |
| 24      | MGM             | Uzungöl         | 1962        | 42 yıl        | 83,88                                     |
| 25      | MGM             | Vakfikebir      | 1302        | 46 yıl        | 207,76                                    |



Heyelan duyarlılık analizi için kullanılacak olan, yalnızca çalışma sahasını kapsayan yağış harita katmanı da çalışma sahası olan Akçaabat ve Düzköy ilçe sınırlarından ArcGIS for Desktop yazılımında kırılarak (cropping) üretilmiştir (Şekil 15). Coğrafyanın genelinden farklı olarak, kıyı kesimlerdeki Akçaabat ilçe merkezi ve ilçe genelinde yağışların güneydeki Düzköy'den daha düşük olduğu dikkat çekmektedir. Meteorolojik olarak bu durumun oluşması; “batıdan doğuya doğru hareket eden ve etkili yağış getiren sinoptik alçak basınç sistemlerinin (Erinç 1996; Türkeş 2021), yağışı batıya yöneyli Tirebolu, Görele ve Vakfikebir ve Çarşıbaşı'na bıraktıktan sonra, batısında dağların olduğu, doğuya yöneyli Akçaabat'a düşen yağışın azalması” olarak açıklanabilir.

### 2.3.9 Yola uzaklık

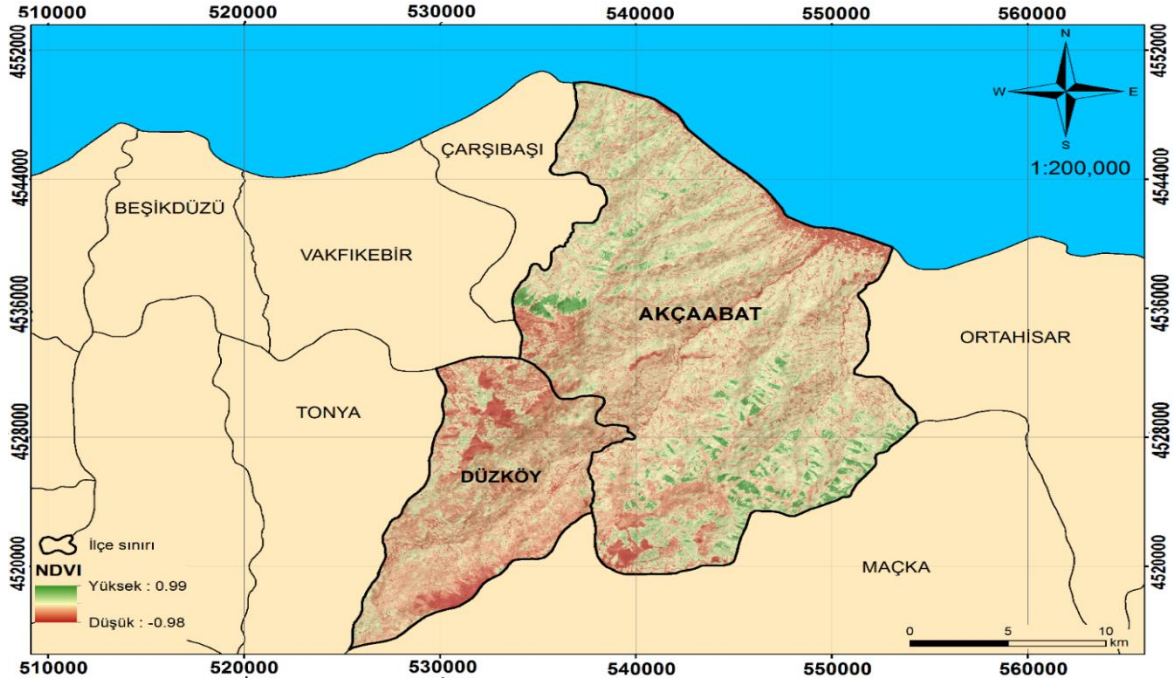
Yol çalışmaları ve yola yakın yerler heyelan duyarlılığını artırmaktadır (Bayrak ve Ulukavak 2009; Akçalı 2011). AFAD'dan temin edilen vektörel yol verileri ile ArcGIS for Desktop'da “Multiple Ring Buffer” aracı ile sınıflandırma 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 metre aralıklarla yapılarak “yola uzaklık haritası” elde edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16: Çalışma alanına ait yola uzaklık haritası

### 2.3.10 Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

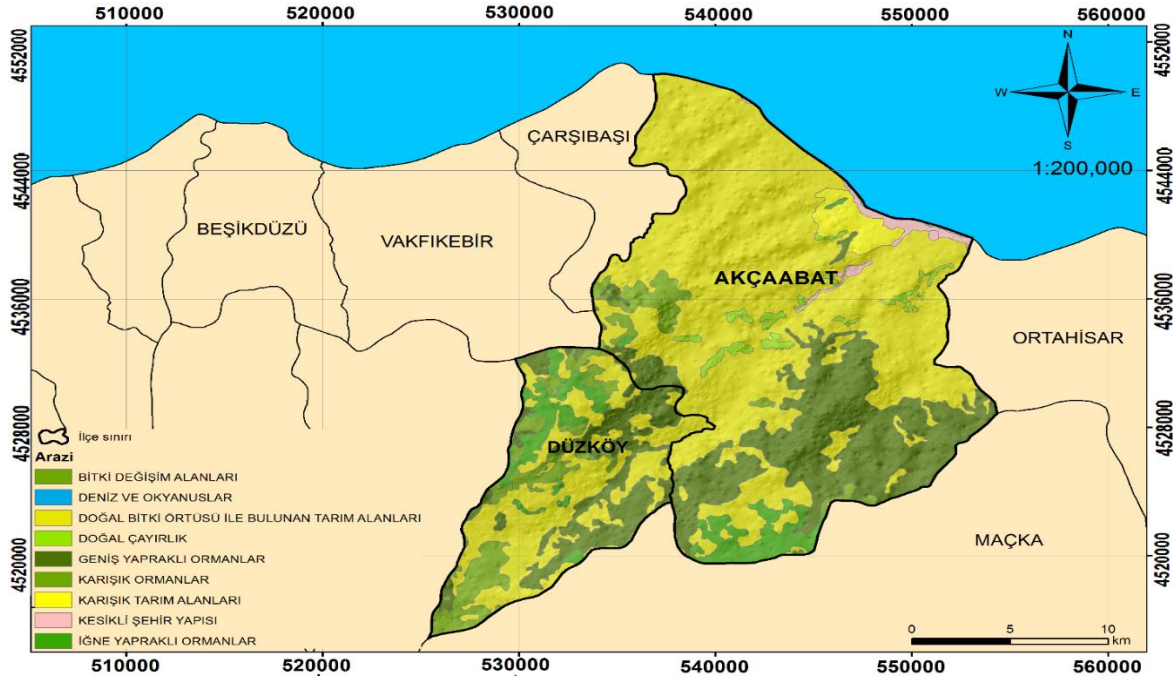
NDVI, bitki örtüsünün yeşillik miktarını belirleyen indistir (Rouse vd. 1974). Bitki örtüsü olmayan veya seyrek olan bölgeler heyelana daha duyarlıdır, bitki örtüsü kaplı olan bölgelerde erozyon etkisi azaldığı için heyelan duyarlılığı azalmaktadır (Avcı 2015). Çalışma sahasındaki bitki örtüsünün yoğunluğunu belirleyecek katmanı elde etmek için üretilen NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) haritası; uydu görüntüsü için Copernicus sitesinden Sentinel 2A uydu görüntüsü indirilmiştir (URL-3 2021). ArcGIS for Desktop programında sınıflandırılarak Map Algebra aracı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 17). NDVI değerleri -1 ile +1 aralığındadır. Şekil 18'de görülen negatif değerler; su, kar, kayalık, toprak örtüsü ve bitki örtüsünden yoksun alanları göstermektedir. Pozitif değerler; bitki yoğunluğu bulunan bölgeleri göstermektedir.



Şekil 17: Çalışma alanına ait NDVI haritası

### 2.3.11 Arazi kullanımı

Bitki örtüsünün yapısı duraylılık üzerindeki etkisi bitki türüne ve dağılımlarına bağlıdır. Bitki örtüsünden yoksun olan alanlarda yağmur suları doğrudan akışa geçerken, bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda sızma sebebiyle akışa geçme azalmaktadır (Bayazit 2011). Bu nedenle bitki örtüsünün yoğunluğu azaldıkça heyelan duyarlılığı artmaktadır. Bazı durumlarda ağaçlar heyelanların meydana gelmesini engelleyememektedir. Bölgede bulunan ağaç kök ve gövdeleri zemin yüzeyinin pürüzlülüğünü ve geçirgenliğini artırarak yüzeyden akan suyun zemin içerisine girişini kolaylaştırır, sızan sular ana kayanın ayrışmasına ve heyelan oluşumuna neden olmaktadır (Çellek 2013). Arazi kullanım haritası; AFAD'dan temin edilen arazi verisi ile ArcGIS for Desktop programında sınıflandırma işlemi yapılarak üretilmiştir (Şekil 18).



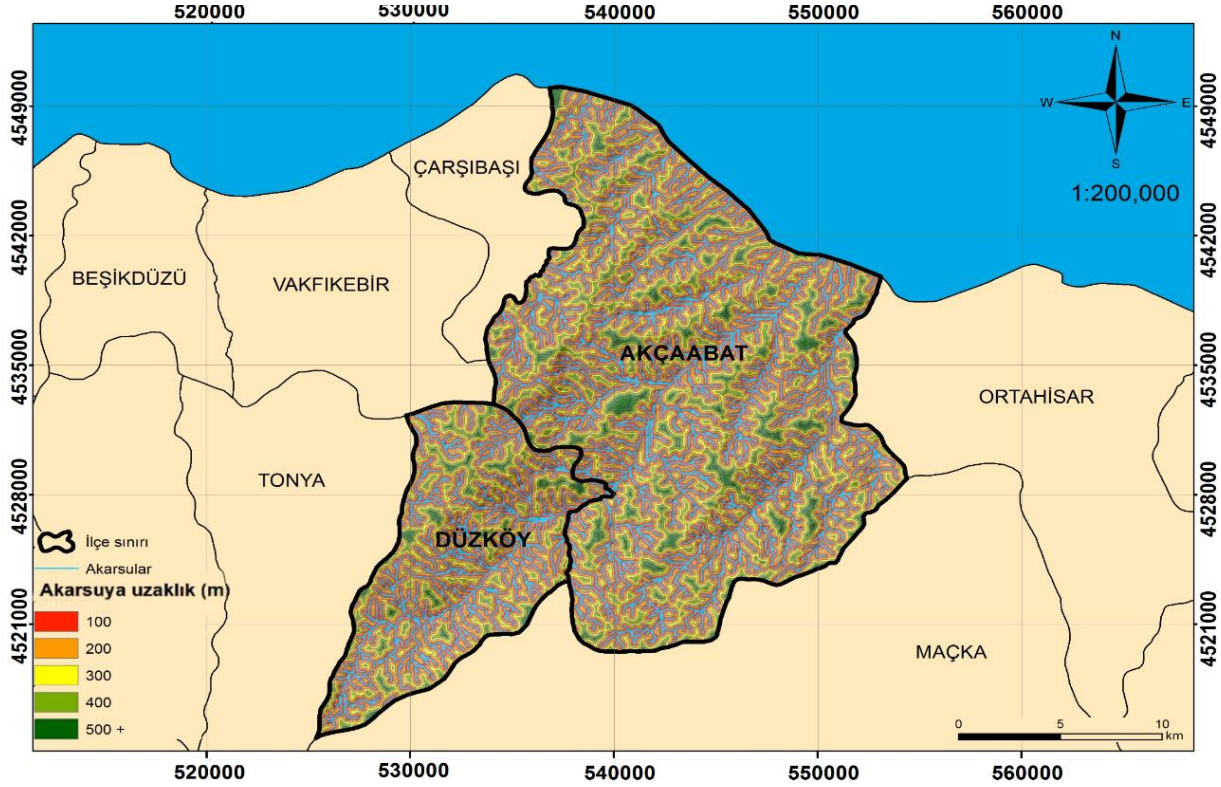
Şekil 18: Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası



### 2.3.12 Akarsuya uzaklık

Yüzeysel suların toplandığı akarsuların vadilerine yakınlığı zemin hareketine sebep olmakta ve suya doygun hale getirerek duyarlılığını arttırmaktadır. Akarsu vadilerinin aşağı kesimlerinin aşınmasına bağlı olarak yamaç dengesi bozulmaktadır (Dağ ve Bulut 2012). Akarsu uzaklık haritası için SYM ile ArcGIS for Desktop’de “Hydrology” araçlarından öncelikle ‘Flow Direction’ aracı kullanılarak çalışma alanının akım yönü belirlenir, belirlenen akım yönü ile ‘Flow Accumulation’ aracı kullanılarak çalışma alanının toplam akım alanları hesaplanmıştır. Toplam akım alanları, ‘Stream Order’ aracı kullanılarak çalışma alanının içindeki akarsular elde edilmiştir.

Akarsuya yakın uzaklık heyelan için daha fazla duyarlılık meydana getirmektedir. Bu nedenle, akarsu uzaklık 100, 200, 300, 400, 500 metre aralıklarla ArcGIS for Desktop’de ‘Multiple Ring Buffer’ aracı ile sınıflandırma işlemi yapılarak akarsu uzaklık haritası elde edilmiştir (Şekil 19).



Şekil 19: Çalışma alanına ait akarsuya uzaklık haritası

### 2.3.13 Toprak

Trabzon İl Tarım ve Orman Müdürlüğü’nden temin edilen toprak verisi ile ArcGIS for Desktop programında sınıflandırma işlemi yapılarak üretilmiştir (Şekil 20).

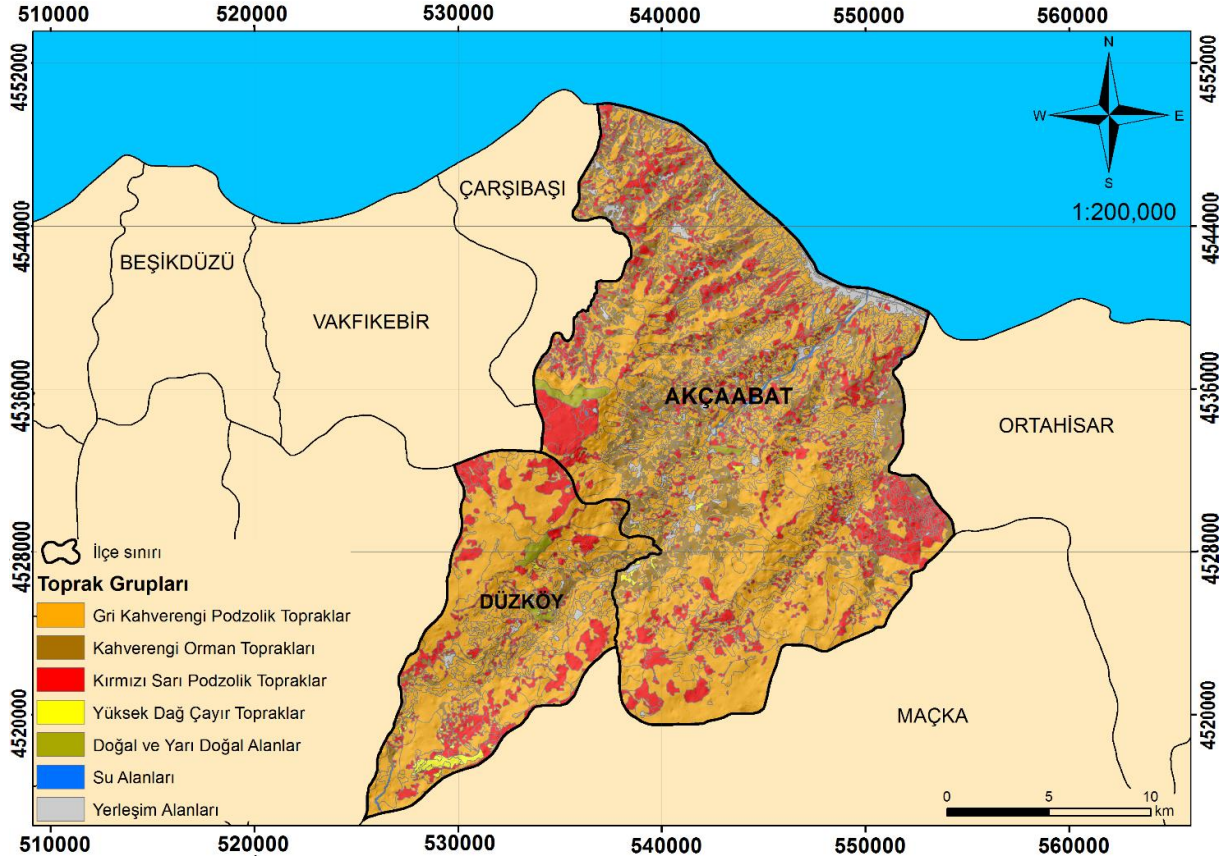
Çalışma alanındaki toprak gruplarından Gri Kahverengi Podzolik Toprak yapısında yüzeyde ince bir organik katman bulunur. Bu katmanın altında açık renkli mineral toprak bulunmaktadır ve alt toprakta kil birikmesi görülmektedir.

Kahverengi Orman Toprakları; yüksek kireç içeriğine sahip ana madde üzerinde oluşmuştur ve aşağı seviyelerde kireç birikmesi görülür. Kireçli topraklar iri taneli ve içerisinde taşlar bulunur, suyu geçirgen yapıda değildir.

Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar; iyi gelişmiş ve asit reaksiyonludur. Doğal bitki örtüsü ormandır, alt toprakta kil daha fazla miktarda bulunmaktadır.

Yüksek Dağ Çayır Topraklar; yüksek rakımlarda ve orman sınırının yukarısında bulunurlar. Doğal bitki örtüsü ot, saz, çiçekli bitkilerdir (URL-4 2011).

Toprak gruplarında içerisinde kil içeren ve suya doygun hale gelmiş topraklar heyelan duyarlılığını arttırmaktadır.



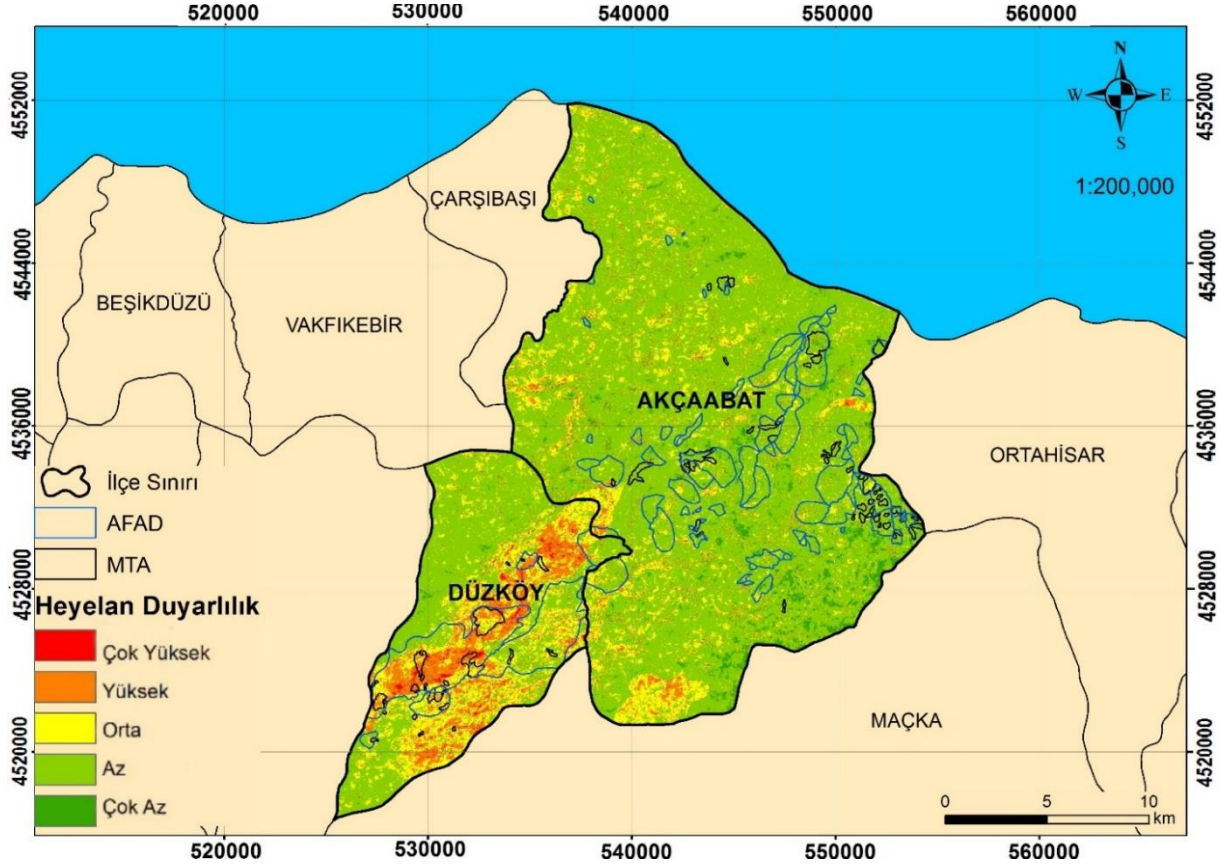
Şekil 20: Çalışma alanına ait toprak grupları haritası

## 2.4. Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Kriterlere ait üretilen tüm harita katmanları; AHS yöntemi kullanılarak hem kriterlerin kendi içlerinde hem de kriterlerin aralarında önem derecelerine göre hiyerarşik olarak sınıflandırılmıştır. Bunun için (Kargin 2021) tarafından paylaşılan *MS Excel Çalışma sayfası* kullanılmıştır. Böylece her kriterde hem alt hem de üst ağırlık değerleri bulunmuştur. Heyelan duyarlılığı açısından sıralama; eğim, eğim şekli, litoloji, yağış, bakı, TNI, akarsu uzaklık, yol uzaklık, arazi kullanımı, toprak, yükseklik, fay uzaklık ve NDVI olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Son olarak kriterlerin hesaplanan ağırlıklı etkileri, ArcGIS for Desktop programında ‘Weighted Sum’ aracı kullanılarak AHS yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 21).

Tablo 5: AHS Yöntemi Heyelan duyarlılığı için kriterler arası ikili karşılaştırma matrisleri ve ağırlık değerleri

| KRİTER            | Eğim | Eğim Şekli | Litoloji | Yağış | Bakı | TNI | Akarsuya Uzaklık | Yola Uzaklık | Arazi Kullanımı | Toprak | Yükseklik | Fay Hattına Uzaklık | NDVI | Ağırlık |
|-------------------|------|------------|----------|-------|------|-----|------------------|--------------|-----------------|--------|-----------|---------------------|------|---------|
| Eğim              | 1    | 2          | 3        | 4     | 5    | 5   | 6                | 7            | 7               | 7      | 8         | 9                   | 9    | 0,248   |
| Eğim Şekli        | 1/2  | 1          | 2        | 3     | 4    | 4   | 5                | 6            | 6               | 6      | 7         | 8                   | 8    | 0,185   |
| Litoloji          | 1/3  | 1/2        | 1        | 2     | 3    | 3   | 4                | 5            | 5               | 5      | 6         | 7                   | 7    | 0,136   |
| Yağış             | 1/4  | 1/3        | 1/2      | 1     | 2    | 2   | 3                | 4            | 4               | 4      | 5         | 6                   | 6    | 0,099   |
| Bakı              | 1/5  | 1/4        | 1/3      | 1/2   | 1    | 1   | 2                | 3            | 3               | 3      | 4         | 5                   | 5    | 0,069   |
| TNI               | 1/5  | 1/4        | 1/3      | 1/2   | 1    | 1   | 2                | 3            | 3               | 3      | 4         | 5                   | 5    | 0,069   |
| Akarsuya Uzaklık  | 1/6  | 1/5        | 1/4      | 1/3   | 1/2  | 1/2 | 1                | 2            | 2               | 2      | 3         | 4                   | 4    | 0,048   |
| Yola Uzaklık      | 1/7  | 1/6        | 1/5      | 1/4   | 1/3  | 1/3 | 1/2              | 1            | 1               | 1      | 2         | 3                   | 3    | 0,032   |
| Arazi Kullanımı   | 1/7  | 1/6        | 1/5      | 1/4   | 1/3  | 1/3 | 1/2              | 1            | 1               | 1      | 2         | 3                   | 3    | 0,032   |
| Toprak            | 1/7  | 1/6        | 1/5      | 1/4   | 1/3  | 1/3 | 1/2              | 1            | 1               | 1      | 2         | 3                   | 3    | 0,032   |
| Yükseklik         | 1/8  | 1/7        | 1/6      | 1/5   | 1/4  | 1/4 | 1/3              | 1/2          | 1/2             | 1/2    | 1         | 2                   | 2    | 0,021   |
| Fay hattı Uzaklık | 1/9  | 1/8        | 1/7      | 1/6   | 1/5  | 1/5 | 1/4              | 1/3          | 1/3             | 1/3    | 1/2       | 1                   | 1    | 0,015   |
| NDVI              | 1/9  | 1/8        | 1/7      | 1/6   | 1/5  | 1/5 | 1/4              | 1/3          | 1/3             | 1/3    | 1/2       | 1                   | 1    | 0,015   |



Şekil 21: Çalışma alanında heyelan envanter verileri ve AHS Yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırması

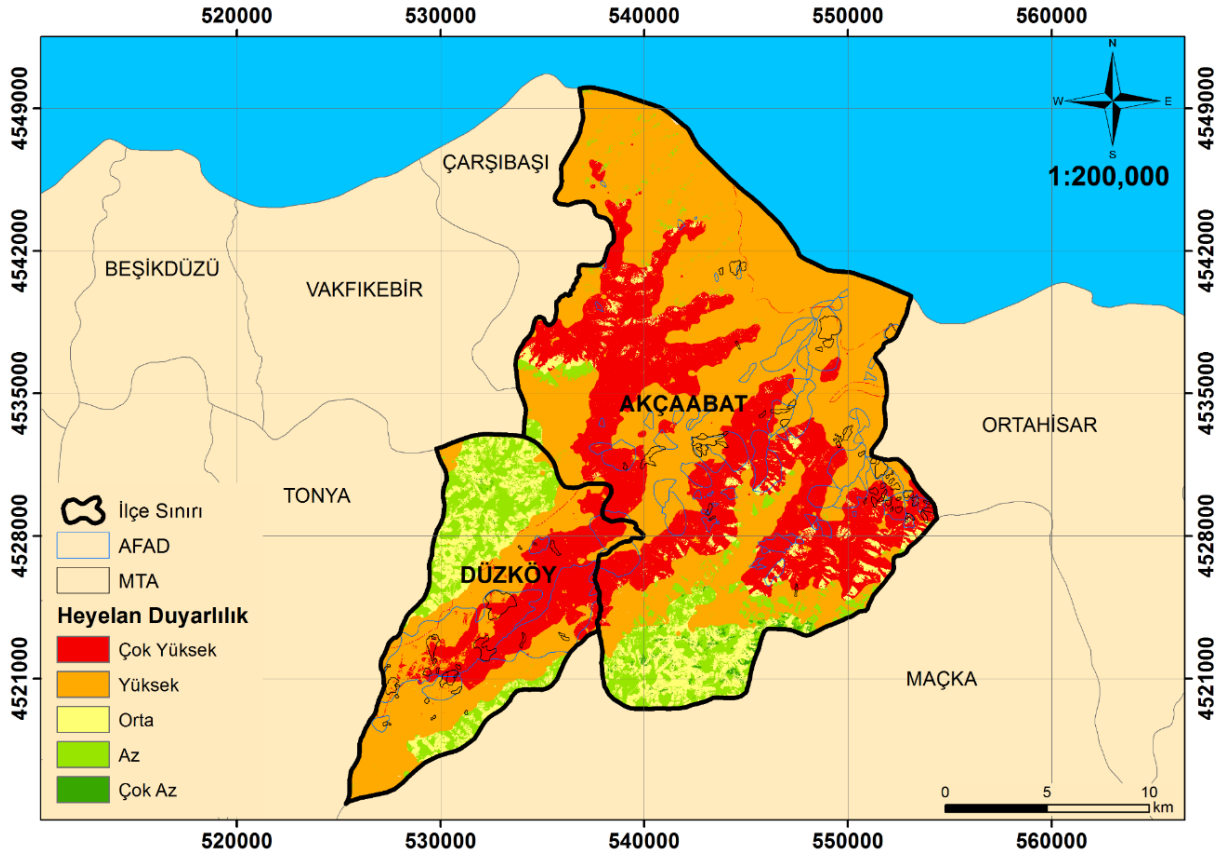
AHS yönteminde de, FR yönteminde de duyarlılıklar; “çok yüksek, yüksek, orta, az ve çok az” olarak 5’e ayrılmıştır. AHS yöntemi ile hazırlanan heyelan duyarlılık haritasının çalışma alanı için duyarlılık bölgeleri Şekil 20’de görülmektedir. AHS ile yapılan duyarlılık haritasında, tüm çalışma sahasını kapsayacak mekânsal ölçekte heyelan duyarlılığının derecesi, alansal ve yüzdesel dağılımı, Tablo 6’da belirtilmiştir.

Tablo 6: AHS Yöntemi ile heyelan duyarlılık alan hektar ve yüzde değerleri

| Duyarlılık Sınıfları | Duyarlılık Derecesi | Alan (Hektar) | Alan (%) |
|----------------------|---------------------|---------------|----------|
| Çok Yüksek           | 1                   | 641.07        | 1.29     |
| Yüksek               | 2                   | 3,693.33      | 7.42     |
| Orta                 | 3                   | 8,607.06      | 17.29    |
| Az                   | 4                   | 35,091.90     | 70.48    |
| Çok Az               | 5                   | 1,753.74      | 3.52     |
| Toplam               |                     | 49,787.10     | 100      |

## 2.5. Frekans Oranı Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Analizi

Heyelan duyarlılığı açısından AHS yönteminde olduğu gibi kriterler sırasıyla; eğim, eğim şekli, litoloji, yağış, bakı, TNI, akarsu uzaklık, yol uzaklık, arazi kullanımı, toprak, yükseklik, fay uzaklık ve NDVI olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Son olarak kriterlerin hesaplanan ağırlıklı etkileri, ArcGIS for Desktop programında ‘Weighted Overlay’ aracı kullanılarak FR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 22). FR yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılık haritasındaki (Şekil 22), tüm çalışma sahasını kapsayacak mekânsal ölçekte heyelan duyarlılığının derecesi, alansal ve yüzdesel dağılımı Tablo 7’de verilmiştir.



Şekil 22: Çalışma alanının heyelan envanter verileri ve Frekans Oranı (FR) Yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırması

Tablo 7: FR Yöntemi ile heyelan duyarlılık alan hektar ve yüzde değerleri

| Duyarlılık Sınıfları | Duyarlılık Derecesi | Alan (Hektar) | Alan (%) |
|----------------------|---------------------|---------------|----------|
| Çok Yüksek           | 1                   | 14,988.46     | 30.14    |
| Yüksek               | 2                   | 25,776.88     | 51.83    |
| Orta                 | 3                   | 4,155.82      | 8.36     |
| Az                   | 4                   | 4,613.70      | 9.28     |
| Çok az               | 5                   | 200.04        | 0.40     |
| Toplam               |                     | 49,734.89     | 100.00   |

### 3. Tartışma

Heyelanlar can ve mal kaybına neden olan önemli doğal afetlerdir. Heyelanların neden olduğu zararları azaltmak için duyarlı bölgelerin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Etkin planlama ve yönetim, heyelanların neden olduğu kayıpları azaltabilir. Yapılan heyelan duyarlılık analizleri ile heyelanlar için duyarlı alanlar belirlenebilir ve duyarlı alanlar için kapsamlı çözümlerle heyelanların neden olduğu zararlar azaltılabilir. Heyelan duyarlılığının belirlenmesi için çok farklı yaklaşımlar geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Bu çalışmada; heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında en yaygın kullanılanlarından olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemine göre yüksek riskli çıkan alanlar ile gerçekleşen heyelanların uyumunun düşük olduğu görülmüştür. Aslında birçok çalışmada heyelan duyarlılığını belirlemek için ortaya atılan kriter sayısı ve kriterlerin ağırlıklandırılması farklıdır. Ancak yine de bölgesel ölçekte etkisi olduğu düşünülen kriterler (eğim, eğim şekli, akarsuya yakınlık, yola yakınlık vb.) bu çalışmada da öncelikli olarak değerlendirilmiş ve ağırlıklandırılmıştır. Ayrıca bölgesel olarak hazırlanan AFAD raporunda da heyelan oluşumunu tetikleyen faktörler sıralanmıştır (AFAD 2016). Buna rağmen mekansal olarak AHS yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasında gözlemlerle uyumun düşük çıkması (Tablo 6) yöntemin heyelan duyarlılığında kullanılmak için çok uygun olmadığını göstermiştir. Zaten literatürde de bu savı destekleyecek çalışmalar mevcuttur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001).

Frekans Oranı (FR) yöntemine göre elde edilen heyelan duyarlılık haritası ile heyelanların gözlemlendiği sahaların olduğu envanter haritası karşılaştırıldığında ise; yüksek riskli ve riskli çıkan alanların mevcut heyelanların gözlemlendiği yerler ile daha çok örtüştüğü tespit edilmiştir (Tablo 7). Frekans Oranı (FR) yöntemi genel olarak bir istatistiksel modelleme yöntemidir. Yöntemin başarımını artırmak için gözlem verisinin olması gerekmektedir. Burada benzer şekilde gözlem verilerinin fazla olduğu durumlarda başarımı yüksek olan yapay sinir ağları (veya ileri seviyesi olan derin sinir ağları) yöntemleri ile heyelan duyarlılık analizi çalışmaları yapılarak kurgulanan modellerin birbirine üstünlüğü daha açık bir şekilde ortaya konulabilir. Bu konularda ayrıntılı uygulama örnekleri olarak [Can vd. \(2017\)](#), [Kılıçoğlu \(2020\)](#) ile [Habumuğisha vd. \(2022\)](#)'nin çalışmalarına bakılabilir.

Heyelanları tetikleyen insan kaynaklı nedenler bulunmaktadır. Bunlar; heyelana elverişli bir bölgede yapılan yol, tünel ve baraj inşaatlarıdır. Bu çalışmalar zeminin kayma riskini arttıracığı için heyelan duyarlılığı artmaktadır.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, çalışma alanında özellikle eğimli ve suya doymun bölgelerde heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Yağış miktarının fazla olduğu kuzey yamaçlarda özellikle zeminin nemli olması ile heyelan duyarlılığı da artmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi için genel olarak yağış miktarının fazla olduğu yerler kıyıya yakın kuzey kesimlerdir. Ancak yapmış olduğumuz çalışmada Düzköy ilçesi, Akçaabat ilçesine göre daha fazla yağış almaktadır. Bunun sebebi ise batıdan doğuya doğru hareket eden ve Karadeniz'in üzerinden geçerek neme doymunluğu artan ve karayla temas ettiği yerde etkili yağış getiren alçak basınç sistemleridir. Toprak grupları incelendiğinde toprak yapısındaki kil ve nem oranı heyelan duyarlılığını arttırmaktadır. Elde edilen duyarlılık haritaları incelendiğinde Düzköy ilçesinin Çayırbağı, Alazlı, Çalköy, Yeni ve Tepecik mahallelerinde, Akçaabat ilçesinin Helvacı, Özdemirci, Çınarlık, Meydankaya, Bozdoğan ve Demirtaş mahallelerinde de heyelan duyarlılığının yüksek olduğu görülmektedir.

Çalışma alanı için MTA'nın gözlemsel heyelan envanterleri ve AFAD'ın hem gözlemsel hem de gerçekleşmiş olan heyelan envanterleri (Şekil 4) çalışma alanı için hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarında da (Şekil 21 ve Şekil 22) gösterilmiştir. Gözlemsel ve gerçekleşmiş heyelanlar ile çalışmada uygulanan yöntemlere göre üretilen heyelan duyarlılıkları da bu haritalarda karşılaştırılmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, AHS yöntemi ve FR yöntemi kullanılarak Trabzon ilinin Akçaabat ve Düzköy ilçeleri için heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Yapılan duyarlılık analizinde; eğim, eğim şekli, litoloji, yağış, bakı, Topoğrafik nemlilik (TNI), akarsu uzaklık, yol uzaklık, arazi kullanımı, toprak, yükseklik, fay uzaklık ve bitki örtüsü (NDVI) kriterleri kullanılmıştır.

AHS uygulama adımlarından ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması ile kriterlerin ağırlık değerleri belirlenmiş ve çalışma alanı için heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Çalışma alanı için heyelan duyarlılığına göre kriterler sıralanmıştır. Bu kriterler arasında en etkin kriter; eğim, ikinci sırada ise, eğim şekli kriteri yer almıştır. Mevcut çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada yağış kriteri katmanı için, 500 yıl yinelenmeli günlük maksimum yağışların mekansal dağılımı esas alınmıştır. Trabzon ili, 4. derece deprem bölgesinde olduğu için fay hattına uzaklığın heyelan duyarlılığı açısından etkisinin düşük olduğu görülmüştür.

AHS yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılık haritasında heyelan duyarlılığının az olduğu bölgeler, genellikle yamaç eğiminin ani değişiklik gözlenmediği yani düşük eğimli alanlar ve sert kayalık alanlardır. Eğimli, suya doymun alanlar, yamaçlardaki düzensizlik, akarsu ve vadilere yakın alanlarda ise heyelan duyarlılığının arttığı görülmektedir.

Frekans Oranı (FR) yöntemi, mevcuttaki heyelan envanter verisinin kullanılması ile alt sınıflarda görülme sıklığına bağlı olarak her bir kriter için heyelanın en çok görüldüğü noktaları tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada da FR yöntemine göre her bir kriter ve alt sınıfları için yapılan analiz sonucunda FR yöntemine göre kriter ağırlıkları hesaplanmış ve bu kriter ağırlıklarına göre heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir.

AHS yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık haritasında [AFAD \(2016\)](#) ve MTA heyelan envanter verileri yapılan çalışmanın doğruluğunu anlayabilmek için karşılaştırma işlemi yapılmıştır. [AFAD \(2016\)](#) heyelan envanter verilerine göre duyarlılığı çok yüksek alanların oranı %2.45, yüksek alanların oranı ise %15.13 olarak, MTA heyelan envanter verilerine göre çok yüksek duyarlı alanların oranı %2.29, yüksek duyarlı alanların oranı %18.55 olarak doğruluk oranları hesaplanmıştır.

FR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasında yapılan karşılaştırmada [AFAD \(2016\)](#) heyelan envanter verilerine göre heyelan duyarlılığı çok yüksek alanların oranı %47.76, yüksek alanların oranı %51.03 olarak, MTA heyelan envanter verilerine göre yüksek duyarlı alanların oranı %37.02, yüksek duyarlı alanların oranı %62.25 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan doğruluk oranları çalışma alanı için gerçekleşmiş ve gözlemlenmiş heyelan verileri ile çalışma sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritalarında FR yönteminin AHS yöntemine göre heyelana duyarlı alanların belirlenmesinde tutarlılık oranının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, AHS yöntemi ve FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının çalışma alanının heyelan envanteri ile karşılaştırılması sonucu FR yönteminin AHS yöntemine göre gözlemlerle elde edilen envanter kayıtları ile daha çok örtüştüğü ortaya konulmuştur.

Son olarak, heyelana duyarlılığın çok yüksek veya yüksek olduğu yerlerde muhtemel kayıpların önüne geçmek için bu bölgeler yerleşime açılmamalı, yamaçların doğal yapısı bozulmadan, şiddetli yağışlar için drenaj kanalları yapılmalıdır.

Ağaç dikimi heyelan duyarlılığını azaltmak ile birlikte eğimin fazla olduğu ormanlık alanlarda da heyelan duyarlılığı meydana gelebilmektedir Eğimin çok fazla olduğu yerlerde ayrıca kaya düşmeleri görülmektedir. Kaya düşmelerinden korunmak için hendekler ve kayaç tutma çitleri kullanılmalıdır.

## Kaynaklar

- AFAD, (2016), *Trabzon İli Heyelan Duyarlılık Analiz Raporu*, Trabzon, ss.12-25.
- AFAD, (2020), *Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e\\_Kutuphane/Kurumsal-Raporlar/Afet\\_Istatistikleri\\_2020\\_web.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Kurumsal-Raporlar/Afet_Istatistikleri_2020_web.pdf), [Erişim 10 Aralık 2021].
- Akçalı E., (2011), *Heyelan-Yağış İlişkinin Modellenmesi ve Analizi; Trabzon ili Örneği*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Akçalı E., Arman H., (2013), *Yağış Eşiği Bazlı Heyelan Erken Uyarı Sistem Önerisi: Trabzon İli Örneği*, İMO Teknik Dergi, 24(116), 6307-6312.
- Akgün, A., Bulut, F., (2007), *GIS-Based Landslide Susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region*, Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akgün A., Türk N., (2010), *İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 34(2), 85-112.
- Akın G., (2006), *Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları*, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 46(2), 29-43.
- Akın Ö., (2020), *Trabzon-Ortahisar İlçesi Güneyindeki Heyelanlı Alanların Zemin Özelliklerinin Aktif ve Pasif Yüzey Dalgası Yöntemleriyle İncelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akıncı 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), 40-53.
- Akıncı H., Doğan S., Kılıçoğlu C., (2017), *Landslide Susceptibility Mapping of Canik (Samsun) district using Bayesian Probability and Frequency Ratio Models*, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(3), 283-299.
- Aksu H., Çetin M., Aksoy H., Yaldız S. G., Yıldırım I., Keklik G., (2022), *Spatial and temporal characterization of standard duration-maximum precipitation over Black Sea Region in Turkey*, Natural Hazards, 111(3), 2379-2405.
- Arca D., Kutoğlu Ş. H., (2017), *Frekans Oranı Metodu ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi*, TMMOB Harita Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs, Ankara.
- Avcı V., (2015), *Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) Heyelan Duyarlılık Analizi*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 25(2), 1-26.
- Başara A.C., (2021), *İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve Konumsal Hassasiyetlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Bayazit M., (2011), *Hidroloji*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 220ss.
- Bayrak T., Ulukavak M., (2009), *Trabzon Heyelanları*, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1(2), 20-30.
- Can A., Dağdelenler G., Ercanoğlu M., Sönmez H., (2017), *Landslide susceptibility mapping at Ovacık-Karabük (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78, 89–102.
- Carpena R., Tovar-Pescador J., Sánchez-Gómez M., Calero J., Mellado I., Moya F., Fernández T., (2021), *Rainfall-induced landslides and erosion processes in the road network of the Jaén Province (Southern Spain)*, Hydrology, 8(3), 100-126.
- Çan T., Duman T. Y., (2016), *Heyelan Risk Değerlendirmelerinde Gerekli Bilgi Altyapısı*, 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, 27 - 29 Nisan, Ankara, ss.5-6.
- Çellek S., (2013), *Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Çellek S., Bulut F., Ersoy H., (2015), *AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi)*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 39(2), 59-90.
- 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.
- Ergünay O., (2007), *Türkiye'nin Afet Profili*, TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık, İMO Kongre ve Kültür Merkezi, Ankara, ss.1-14.
- Erinç S., (1996), *Klimatoloji ve Metodları*, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 538ss.
- Erinç S., (2001), *Jeomorfoloji Cilt I*, Der Yayınları, İstanbul, 624ss.
- Fayez L., Pazhman D., Pham B. T., Dholakia M. B., Prakash I., Solanki H. A., Khalid M., (2018), *Application of Frequency Ratio Model for the Development of Landslide Susceptibility Mapping at Part of Uttarakhand State, India*, International Journal of Applied Engineering Research, 13(9), 6846-6854.
- Gökçeoğlu C., Ercanoğlu M., (2001), *Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler*, Yerbilimleri Dergisi, 22(23), 189-206.
- Habumugisha J. M., Chen N., Rahman M., Islam M. M., Ahmad H., Elbeltagi A., Sharma G., Liza S. N., Dewan A., (2022), *Landslide Susceptibility Mapping with Deep Learning Algorithms*, Sustainability, 14(3), 1734. doi: 10.3390/su14031734.
- Hasekioğulları G., (2010), *Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- İlker A., Terzi Ö., Şener E., (2019), *Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği*, Teknik Dergi, 30(3), 9213-9219.
- Karakaş V. E., (2018), *Karabük Bölgesinin FR ve AHP Yöntemleri Kullanılarak CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği, Erzurum.
- Kargın A., (2021), *AHP ile Heyelan Duyarlılık Analizi ArcGIS*, UDEMY Online Eğitim Platformu, [https://www.udemy.com/course/heyelan\\_duyar/](https://www.udemy.com/course/heyelan_duyar/), [Erişim 10 Aralık 2021].

- Kılıçoğlu C., (2020), *Frekans oranı metodu ve Bayesyen olasılık modeli kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(1), 138-154.
- Lee S., (2001), *Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea*, Environmental Earth Sciences, 40(9), 1095-1113.
- Maturidi A. M., Kasim N., Abu Taib K., Wan Azahar W. N. A., (2021), *Rainfall-Induced Landslide Thresholds Development by Considering Different Rainfall Parameters: A Review*, Journal of Ecological Engineering, 22(10), 85-97.
- Pehlivan M., (2008), *Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Trabzon.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., (1974), *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, Washington DC, ss.309-317.
- Saaty T.L., Vargas L.G., (2001), *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Springer Science+Business Media, New York, NY, USA, 345ss.
- Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, (2021), *Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate*, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change'in İçinde, (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.1513–1766.
- Şen Z., (2009), *İklim Değişikliği İçerikli Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 252ss.
- Türkeş M., (2021), *Genel Klimatoloji-Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri*, Kriter Yayınevi, İstanbul, 534ss.
- URL-1, (2022), *Trabzon Yaylaları*, Trabzon İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, <https://trabzon.ktb.gov.tr/TR-57698/yaylalarimiz.html>, [Erişim 10 Ağustos 2022].
- URL-2, (2022), *Trabzon Düzköy'de Heyelan! Facianın eşliğinden dönüldü - Canlı*, <https://www.61medya.com/haber/13293325/trabzon-duzkoyde-heyelan-facianin-esiginden-donuldu-canli>, [Erişim 15 Ağustos 2022].
- URL-3, (2021), *Copernicus Open Access Hub*, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, [Erişim 20 Aralık 2021].
- URL-4, (2011), *Toprak çeşitleri nelerdir*, [https://www.tarimziraat.com/faydali\\_bilgiler/toprak/408-toprak\\_cesitleri\\_nelerdir.html](https://www.tarimziraat.com/faydali_bilgiler/toprak/408-toprak_cesitleri_nelerdir.html), [Erişim 18 Aralık 2021].
- Yıldırım B.F., Önder E., (2015), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, Dora Basım, Bursa, 338ss.
- Yalçın A., (2007), *Heyelan Duyarlılık Haritalarının üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı*, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(3), 1-14.