



**KARABÜK BÖLGESİNİN
FR VE AHP YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK
HARİTALARININ ÜRETİLMESİ**

Veysel Emre KARAKAŞ

**Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı
Prof. Dr. Ekrem KALKAN
2018
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARABÜK BÖLGESİNİN FR VE AHP YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK CBS TABANLI HEYELAN
DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ**

**Veysel Emre KARAKAŞ
14043610002**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2018**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU



**KARABÜK BÖLGESİNİN FR VE AHP YÖNTEMLERİ KULLANILARAK CBS
TABANLI HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ**

Prof. Dr. Ekrem KALKAN danışmanlığında, Veysel Emre KARAKAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 14.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı – Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ekrem KALKAN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Necmi YARBAŞI

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şevki ÖZTÜRK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 18.12.2018 tarih ve 50.13 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARABÜK BÖLGESİNİN FR VE AHP YÖNTEMLERİ KULLANILARAK CBS TABANLI HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ

Veysel Emre KARAKAŞ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN

Son yıllarda, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte heyelan duyarlılık haritalarının ve bu amaçla kullanılan sayısal haritaların, yapılan risk analizlerindeki önemi de artmıştır.

Bu tez çalışmasında, Karabük ve çevresinin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Heyelanların oluşumuna etki eden hazırlayıcı parametrelerin seçimine ve bu çalışma için belirlenen parametrelere değinilmiştir. Heyelan duyarlılık değerlendirmesi kapsamında; yükseklik, eğim, bakı, litoloji, drenaj ağlarına uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç plan ve profil eğrisellikleri ile NDVI olmak üzere 11 adet hazırlayıcı parametre belirlenmiştir. Belirlenen hazırlayıcı parametreler bölgenin heyelan envanteri ile birlikte değerlendirilmiş, FR (Frekans Oranı) ve AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemleri kullanılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen haritaların performans değerlendirmesi ROC analizi ile yapılmış olup, yöntemlerin AUC değerleri FR için 0,84 ve AHP için de 0,80 olarak hesaplanmıştır.

2018, 106 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karabük, heyelan, heyelan duyarlılığı, FR, AHP

ABSTRACT

Master Thesis

PRODUCTION OF GIS-BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING OF KARABUK REGION USING FR AND AHP METHODS

Veysel Emre KARAKAŞ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering
Department of Applied Geology

Supervisor: Prof. Dr. Ekrem KALKAN

In recent years, with the development of remote sensing technologies and geographic information systems, landslide susceptibility assessment studies and the importance of digital maps used in risk analyses have increased.

In this study, it is aimed to evaluate landslide susceptibility assessment around the city of Karabük. Selection of preparatory parameters affecting landslides and the parameters specified for this study were explained. Totally 11 preparatory parameters such as topographical elevation, slope, aspect, lithology, distance to drainage, distance to roads, land-use, topographical wetness index, plan curvature, profil curvature and normalized difference vegetation index (NDVI) were determined within the scope of landslide susceptibility assessment. The determined preparatory parameters were evaluated together with the landslide inventory map and landslide susceptibility maps were produced for the study area with FR (Frequency Ratio) and AHP (Analytical Hierarchy Process) methods. Performances of the produced maps were evaluated by ROC (Relative Operating Characteristics) method, and the AUC (Area Under Curve) values were calculated for FR 0,84 and 0,80 for AHP.

2018, 106 pages

Keywords: Karabük, landslide, landslide susceptibility, FR, AHP

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında, bilgi, görüş ve tecrübelerini paylaşarak özellikle tez çalışmasının sonuçlanmasında ve yazımında değerli vaktini esirgemeyerek katkı sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem KALKAN'a,

Değerli görüş ve eleştirileri ile tez çalışmasının son halini almasında katkı sağlayan jüri üyelerim Sayın Dr. Öğr. Üyesi Necmi YARBAŞI ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şevki ÖZTÜRK'e,

Arazi çalışmalarındaki değerli katkılarından dolayı Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü ekiplerine,

Çalışma esnasında katkılarını esirgemeyen Atatürk Üniversitesi Oltu Yer Bilimleri Fakültesi kıymetli çalışanlarından; Arş. Gör. Elif AĞIRMAN AKTÜRK'e, Arş. Gör. Şerife BOĞAZKESEN'e ve Arş. Gör. Banu YAYLALI'ya,

Tezin uygulama aşamasındaki değerli destekleri için Orman Mühendisi Sayın Ümit KABALCI'ya,

Bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek, eğitim hayatım boyunca yanımda olan anne ve babama,

Tez çalışmamın her adımında yanımda olan, akademik bilgi ve birikimi ile katkı sağlayan ve hayatıma mutluluk veren sevgili eşim Gizem KARAKAŞ'a ve O'nun eğitim hayatı boyunca hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili ailesine,

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Veysel Emre KARAKAŞ

Kasım, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Genel jeoloji	18
3.1.1.1. Stratigrafi.....	19
3.1.1.2. Yapısal jeoloji.....	26
3.1.2. Heyelan kavramı ve sınıflaması	27
3.1.3. Heyelan envanteri	30
3.2. Yöntem	31
3.2.1. Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntemler	32
3.2.2. FR yöntemi	34
3.2.3. AHP yöntemi	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	43
4.1. İnceleme Alanının Heyelan Envanterine İlişkin Bilgiler	43
4.2. Heyelan Duyarlılık Değerlendirme Parametreleri.....	48
4.3. Parametrelerin Üretilmesi.....	51
4.3.1. Topoğrafik yükseklik	53
4.3.2. Yamaç eğimi.....	56
4.3.3. Bakı	59
4.3.4. Litoloji	62
4.3.5. Drenaj ağlarına uzaklık	65

4.3.6. Yollara uzaklık	68
4.3.7. Arazi kullanımı.....	71
4.3.8. TWI	75
4.3.9. Yamaç plan ve profil eğriselliği	78
4.3.10. NDVI.....	83
4.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi	86
4.4.1. FR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi	86
4.4.2. AHP yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi	94
4.4.3. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirmesi	97
5. SONUÇ	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	107

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	santigrat derece
km ²	kilometrekare
mm	milimetre
m/sn	metre/saniye
λ	AHP Temel Değeri

Kısaltmalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
ARM	Association Rule Mining (İlişkisel Kural Madenciliği)
AUC	Area Under Curve (Eğri Altındaki Alan)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CF	Certainty Factor (Keskinlik Faktörü)
CI	Consistency Index (Tutarlılık Göstergesi)
CNF	Clearwater National Forest (Temiz Su Ulusal Ormanı)
CORİNE	Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu Projesi)
CR	Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)
CTI	Compound Topographic Index (Bileşik Topoğrafik İndeks)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEM	Digital Elevation Model (Dijital Yükseklik Modeli)
FP	False Positive (Yanlış Pozitif)
FR	Frequency Ratio (Frekans Oranı)
LHZI	Heyelan Tehlike Bölgesi İndeksi
LR	Lojistik Regresyon (Logistic Regression)

LSI	Landslide Susceptibility Index (Heyelan Duyarlılık İndeksi)
MCDA	Multi-Criteria Decision Analys (Çok Kriterli Karar Verme Analizi)
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi)
NFR	Normalized Frequency Ratio (Normalize Edilmiş Frekans Oranı)
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OSMF	Open Street Map Foundation (Open Street Map Vakfı)
OWA	Ordered Weighted Avarage (Sıralı Ağırlıklı Ortalama)
Rij	Relation Value Or Strength Of Relation (Benzerlik İlişki Katsayısı)
ROC	Relative Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği)
SYM	Sayısal Yüksekli Modeli
TIN	Triangulated Irregular Network (Düzensiz Üçgen Ağları)
TP	True Positive (Doğru Pozitif)
TWI	Topographic Wetness Index (Topoğrafik Nemlilik İndeksi)
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction (Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Azaltma Stratejisi)
UTM	Universal Transverse Mercator (Evrensel Merkatör Projeksiyonu)
Wf	Weight Factor (Ağırlık Faktörü)
WGS84	World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)
Wi	Weighted Statistical Index (Ağırlıklı İstatistiksel İndeks Değeri)
WLC	Weighted Linear Combination (Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. a) Afet olay sayısının afet türlerine göre dağılımı, b) Toplam afetzede sayısının afet türlerine göre dağılımı (Gökçe vd 2008).....	3
Şekil 1.2. İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	6
Şekil 1.3. Karabük İli 1927 – 2017 ölçüm periyodu aralığında aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)	8
Şekil 3.1. Batı karadeniz bölgesinin tektonik unsurları (Tüysüz vd 2004).....	19
Şekil 3.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	20
Şekil 3.3. Heyelan bölümlerini tanımlamakta yaygın olarak kullanılan terminoloji, rotasyonel kayma örneği (https://pubs.usgs.gov ve https://www.afad.gov.tr).	27
Şekil 3.4. Heyelan sınıflamalarında kullanılan heyelan türlerinin genelleştirilmiş şematik gösterimi (http://pubs.usgs.gov ve https://www.afad.gov.tr).	29
Şekil 3.5. Tez çalışmasında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde uygulanacak iş akış şeması.	32
Şekil 3.6. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Aleotti and Chowdhury 1999).	33
Şekil 3.7. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Ayalew et al. 2005).	33
Şekil 3.8. Basit bir karar hiyerarşisi modeli (Bhushan and Rai 2004).....	37
Şekil 4.1. İnceleme alanının heyelan envanter haritası (MTA).	44
Şekil 4.2. AFAD heyelan envanterindeki 548 heyelanın, türlerine göre dağılımları	45
Şekil 4.3. Karabük il merkezinin kuzeyinde oluşan çoklu akmalara ilişkin örnekler.....	45
Şekil 4.4. Cumayanı beldesi kuzey doğusunda oluşan dairesel toprak kaymaları.....	46
Şekil 4.5. İnceleme alanında gözlemlenen dairesel toprak kayması.....	46
Şekil 4.6. İnceleme alanında gözlemlenen karmaşık türde meydana gelen heyelan	47
Şekil 4.7. Heyelana neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler (Çellek 2013).	49
Şekil 4.8. 1990 - 2016 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler (Tetik Biçer 2017).....	50
Şekil 4.9. İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli	54

Şekil 4.10. Yükseklik alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi	55
Şekil 4.11. İnceleme alanının yamaç eğim haritası.....	57
Şekil 4.12. Yamaç eğimi alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi	58
Şekil 4.13. İnceleme alanının bakı haritası	60
Şekil 4.14. Bakı alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi	61
Şekil 4.15. İnceleme alanının litoloji sınırlarını gösterir harita	63
Şekil 4.16. Litoloji alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi.....	64
Şekil 4.17. İnceleme alanının drenaj ağlarından uzaklık sınırlarını gösterir harita	66
Şekil 4.18. Drenaj ağlarına uzaklık alt sınıfları ile heyelan yoğunluk ilişkisi	67
Şekil 4.19. İnceleme alanı yollara uzaklık haritası	69
Şekil 4.20. Yollara uzaklık alt sınıfları ile heyelan yoğunluk ilişkisi.....	70
Şekil 4.21. İnceleme alanı arazi kullanım haritası	73
Şekil 4.22. Arazi kullanım alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi	74
Şekil 4.23. İnceleme alanı TWI haritası.....	76
Şekil 4.24. TWI alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi.	77
Şekil 4.25. Yamaç plan ve profil eğrisellikleri şematik gösterimi.....	78
Şekil 4.26. İnceleme alanı yamaç plan eğriselliği haritası.....	79
Şekil 4.27. İnceleme alanı yamaç profil eğriselliği haritası.....	80
Şekil 4.28. Yamaç plan eğriselliği alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi	81
Şekil 4.29. Yamaç profil eğriselliği alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi	82
Şekil 4.30. İnceleme alanı NDVI haritası	84
Şekil 4.31. NDVI alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi.....	85
Şekil 4.32. İnceleme alanının FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	88
Şekil 4.33. İnceleme alanının AHP yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	96
Şekil 4.34. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının ROC analiz sonuçları.	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Afet türüne göre afet olay sayısı ve afetzede sayılarının dağılımı (Gökçe vd 2008).....	2
Çizelge 1.2. Karabük İline ait 1950 – 2017 yılları arasında gerçekleşen ortalama meteorolojik değerler (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2018).....	8
Çizelge 3.1. Varnes (1978) heyelan sınıflaması	28
Çizelge 3.2. AHP yönteminde önem dereceleri (Saaty 1977 ve Saaty 2008’ den).	38
Çizelge 3.3. Rastgele Değer İndeksi Tablosu (Kwiesielewicz and Uden 2004).	42
Çizelge 4.1. Üretilen parametrelere ilişkin veri türleri ve veri kaynakları.	52
Çizelge 4.2. Yükseklik alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi	55
Çizelge 4.3. Yamaç eğimi alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi	58
Çizelge 4.4. Bakı alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi	61
Çizelge 4.5. Litoloji alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi	64
Çizelge 4.6. Drenaj ağlarına uzaklık alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi	67
Çizelge 4.7. Yollara uzaklık alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi.....	70
Çizelge 4.8. Arazi kullanımı alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi.....	74
Çizelge 4.9. TWI alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi	77
Çizelge 4.10. Yamaç plan eğriselliği alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi.	81
Çizelge 4.11. Yamaç profil eğriselliği alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi.	82
Çizelge 4.12. NDVI alt sınıflarının heyelan yoğunluk ilişkisi	85
Çizelge 4.13. Parametre alt sınıfları için hesaplanan FR, NFR ve heyelan yoğunluk değerleri.....	89
Çizelge 4.14. AHP yöntemi için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi.	95
Çizelge 4.15. Parametrelere ilişkin AHP uygulaması ile hesaplanan ağırlık değerleri. .	95

1. GİRİŞ

Afet olarak tanımlanan doğa olayları, çoğu zaman öngörülemeyen zamanlarda meydana gelen, can kayıpları ve yaralanmaların yaşanmasının yanı sıra psikolojik olarak da insan üzerinde derin etkiler bırakan ve ayrıca ekonomik olarak büyük kayıplara neden olan olaylar şeklinde tanımlanabilir.

Doğal afetler ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle son yarım asırda, doğal afetlerin sayısında önemli derece artış olduğu ifade edilebilir. Bu duruma neden olan temel etmenler; nüfus yoğunluğundaki hızlı artış, doğal afetler açısından risk oluşturabilecek alanlarda kentsel veya kırsal yerleşimin artması ile yoksulluk olarak değerlendirilmektedir (Aleotti and Chowdhury 1999). Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu durumlar çok daha etkilidir. Küresel olarak da çok sayıda vakanın yaşandığı heyelanlar için de bu durumlar geçerlidir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de her yıl çeşitli doğal afetler meydana gelmekte ve birçok insan bundan etkilenmektedir. Türkiye’de yaşanan doğal afetler üzerinde, ülkemizin içerisinde bulunduğu jeolojik, jeomorfolojik, hidrolojik ve meteorolojik koşulların önemli etkileri olduğu bir gerçektir. Ülkemizde yaşanan doğal afetler nedeniyle, ekonomik anlamda kayıpların yanı sıra ölüm ve yaralanmalar da yaşanmaktadır. Bu durumu gösteren bir değerlendirme, Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Söz konusu çizelgede belirtilen “Etkili nakil”, haneleri kullanılamaz hale gelmiş ya da gelmesi muhtemel, 7269 sayılı Afetler Kanununa göre “Genel Hayata Etkili” bulunmuş afet olaylarındaki afetzede sayısını belirtmektedir. “İlave nakil” terimi, asıl afet olayından sonraki tarihlerde, bazen itirazlar sonucu yapılan etütler ile ilave edilen afetzede sayısını belirtmektedir. “Etkisiz nakil” terimi, “Genel Hayata Etkili” bulunmamış afet olaylarındaki afetzede sayısını (dolayısıyla mağduriyetlerini kendi imkanlarıyla gidermesi gereken hak sahibi olamayacak afetzedeleri) belirtir. “Nakil iptali” terimi ise, herhangi bir afetten dolayı afetzede olmuş ancak ilerleyen yıllarda afetin etkinliğini

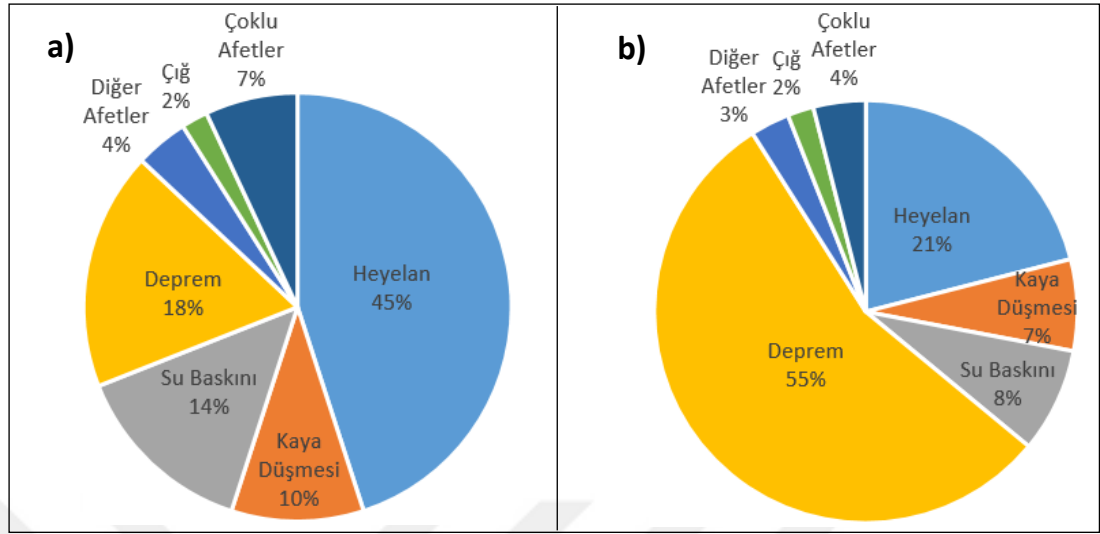
kendiliğinden ya da alınan önlemlerle yitirmesi sonucu iptaline karar verilen afetzede sayısını belirtmektedir (Gökçe vd 2008).

Gökçe vd (2008) tarafından Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) veri tabanına göre yapılan ve genel afet durumunu özetleyen çalışmada ülkemizde en çok hasar verici etkiye sahip afet türlerinin, deprem, heyelan ve taşkın olarak ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Yaşanan toplam doğal afet sayısı ile oluşan heyelan sayısı incelendiğinde, diğer afetler içerisinde heyelan oranının % 45 olduğu görülmekte ve ayrıca heyelanların, etkilenen toplam afetzede sayısı bakımından % 21 ile depremlerden sonra en çok zarar veren doğal afet olduğu görülmektedir (Şekil 1.1).

Çizelge 1.1. Afet türüne göre afet olay sayısı ve afetzede sayılarının dağılımı (Gökçe vd 2008).

Afetzede						Etkilenen Toplam Afetzede Sayısı
Afet Türü	Afet Olay Sayısı	Etkili Nakil	İlave Nakil	Etkisiz Nakil	Nakil İptali	
Heyelan	13.494	65.759	2.622	3.998	13.034	59.345
Kaya Düşmesi	2.956	19.699	935	2.442	3.654	19.422
Taşkın	4.067	29.020	506	1.197	8.566	22.157
Deprem	5.318	157.794	45	637	235	158.241
Diğer Afetler	1.175	11.309	8	85	2.165	9.237
Çığ	731	4.409	181	336	542	4384
Çoklu Afetler	2.024	17.221	629	838	6.478	12.210
Tasnif Edilmemişler	42	0	0	0	0	0
Toplam	29.807	305.211	4.926	9.533	34.674	284.996

Afet türüne göre, afet olay sayısı ve afetzede sayılarının dağılımı incelendiğinde, Ülkemizde 1950–2008 yılları arasında 13.493 heyelan meydana gelmiş iken bu süre boyunca bu heyelanlardan etkilenmiş konut sayısı yaklaşık 65.000’dir. Sözü edilen tarih aralığında heyelanlardan kaynaklı maddi zarar ise 5 milyar TL’dir (Gökçe vd 2008). Bu bilgiler neticesinde ülkemizde meydana gelen heyelanlar sonucunda, can kayıplarının yaşanması ile yaralanmaların yanı sıra oluşan ekonomik, sosyal ve çevresel zararların son derece önemli etkilerinin olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.1. a) Afet olay sayısının afet türlerine göre dağılımı, b) Toplam afetzede sayısının afet türlerine göre dağılımı (Gökçe vd 2008).

Heyelanların yaşanmasında etkili olan süreçler çoğu zaman insan tarafından kontrol edilememektedir. Ancak bu süreçlerin varlığının ve oluşumlarının incelenmesi heyelan ile mücadele edilmesi açısından oldukça önemlidir.

Ülkemiz coğrafyasının heyelan riskleri açısından hassas bir durumda bulunduğu göz önüne alındığında, yaşam alanlarında heyelan tehlikesinin önlenmesi ve zararlarının azaltılması adına çalışmalar yapmak elzemdir. Bu çalışmalar, planlama ve uygulama süreçleri yönetiminde bölgenin heyelan duyarlılığının ortaya çıkarılması ve risk yönetimini içerecek bir şekilde oluşturulması olarak özetlenebilir. Bu kapsamda, heyelan tehlikesine maruz kalan alanlarda yapılacak incelemelerde, tüm tehlike ve risklerin belirlenmesi gerektirmektedir. Bunun yanı sıra güvenilir bir heyelan envanteri ve bunun ile ilişkili veri tabanı oluşturulması heyelanlarla ilgili çalışmaların en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır (Guzetti et al. 1999). Bu kapsamda kurumsal olarak, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yürütülen Türkiye Heyelan Envanteri Haritalama Projesi ve AFAD tarafından yapılan Afet Tehlike Değerlendirmesi çalışmaları, ülkemizde heyelanlar üzerine gerçekleştiren en önemli projelerdendir. Ayrıca, akademik anlamda üniversitelerimizde de konu hakkında ciddi bilimsel çalışmalar yürütülmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Heyelanlar, birçok ülkenin sosyoekonomik koşullarını tehdit eden ve etkileyen ciddi jeolojik tehlikelerden biridir (Schuster 1996). Ülkemizde de heyelanların neden olduğu olumsuz etkilerden korunmak, artan nüfus ile birlikte yerleşim alanlarının gelişmesi ve yeni yerleşim alanlarının belirlenmesi için her türlü doğal afete karşı tehlike ve risk analizlerinin yapılması gerekmektedir. Heyelanlar için de bu durum geçerlidir. Yapılacak değerlendirmeler neticesinde yapılaşmanın sağlanması, özellikle heyelan aktivitesinin yoğun olduğu bölgelerde can ve mal kayıplarını önüne geçecektir. Bu kapsamda heyelanların oluşturdukları riskler ve verdiği zararlar dikkate alındığında oluşabilecek zararların azaltılması adına envanter, heyelan duyarlılık, olası tehlike ve risk değerlendirme çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır.

Heyelan duyarlılık analizlerinde temel dayanak, “geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır” ve “geçmişte meydana gelen heyelanların oluştuğu koşulları sağlayan alanlar, potansiyel duraysız alanlardır” ilkeleridir (Varnes 1984; Carrara et al. 1991; Van Westen et al. 1997).

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisinde ve yazılım sektöründeki gelişmeler neticesinde, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanımı artmış ve daha verimli hale gelmiştir. Bu durum yüksek boyutlardaki verilerin işlenmesine, depolanmasına ve istatistiksel analizler ile değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Bu çalışmanın genel kapsamı, heyelan duyarlılık çalışmalarının temelini oluşturan ve yukarıda bahsi geçen temel ilkeler çerçevesinde, CBS’nin kullanımı ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapmaktır.

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda, heyelan yoğunluğunun fazla olduğu Batı Karadeniz Bölgesi içerisinde yer alan Karabük ili ve dolayının heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi sonucu heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, heyelanın oluşumunda hazırlayıcı faktörler olarak kabul edilen parametreler seçilerek inceleme alanı için tematik haritalar oluşturulmuştur. Parametrelerin seçimi hususunda yapılan literatür araştırmasında, herhangi bir fikir birliği sağlanamadığı görülmüştür. Daha çok çalışılan sahada oluşan heyelanların hangi koşullar altında oluştuğunun ortaya çıkarılması ve parametrelerin etki derecelerinin belirlenmesi ile parametrelerin belirlendiği görülmüştür. Bu kapsamda, yükseklik, eğim, bakı, litoloji, drenaj ağlarına uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), yamaç plan ve profil eğrisellikleri ile NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) parametreleri belirlenmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılacak yöntemin seçiminde de araştırmacılar arasında bir fikir birliği sağlanamadığı görülmüştür. Bölgenin heyelan envanteri temel alınarak, belirlenen parametrelerin heyelan oluşumu üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Ortaya çıkan veriler ile heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan FR (Frekans Oranı) yöntemi ile uzman görüşünün de analizlere dahil edilebildiği AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi seçilerek inceleme alanının heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

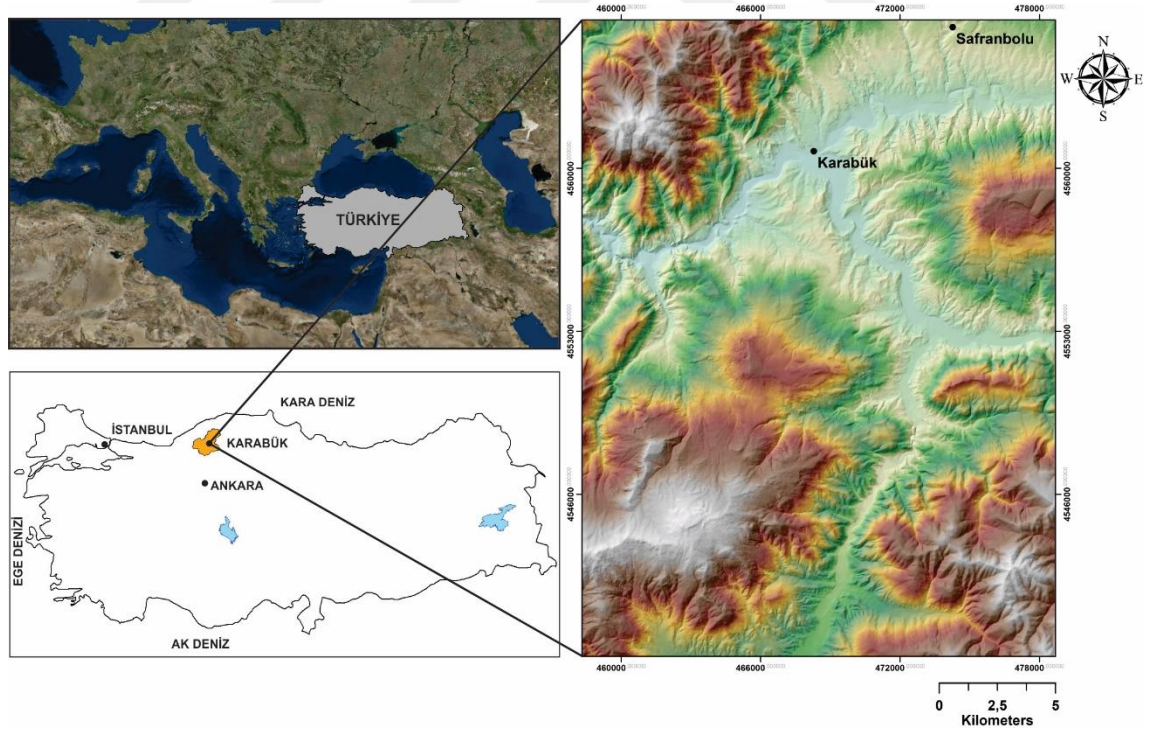
Son olarak, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluklarının belirlenmesi amacı ile performans testleri yapılmış ve her iki yöntem ile üretilen haritaların performansları kıyaslanmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı, Batı Karadeniz Bölgesinde bulunmakta olup, Karabük il sınırları içerisinde Zonguldak F29-d1, F29-d2, F29-d3 ve F29-d4 1/25.000 ölçekli topoğrafik paftaları içerisinde, 36 ncı UTM zonunun K4538877-4566630 ile D458108-479054 koordinatları arasında yer almakta ve yaklaşık olarak 570 km²’ lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.2).

Çalışma alanının kuzeyinde Karabük il ve Safranbolu ilçe merkezleri yer almakta, diğer önemli yerleşim merkezleri ise güneyde Kayı, doğuda Tepe ile Bannar ve batısında Salmanlar köyleridir. Karabük il merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 280 m. olup çalışma alanında bulunan önemli yükseklikler Çakmak T. (985 m), Akyar T. (1145 m), Sivri T. (1545 m), Çanakçı T. (1555 m) ve Çal Dağ (1680 m)'dir. Çalışma alanındaki en önemli akarsu yaklaşık D-B doğrultulu Yenice Nehri'dir. Bunun yanı sıra Filyos, Soğanlı, Açar ve Eskipazar çayları çalışma alanı içerisinde yer alan diğer önemli akarsulardır.

İnceleme alanındaki ulaşım, yerleşim merkezlerini birbirine bağlayan ana yollar ve çok sayıda köy yollarından oluşmakta, çalışma alanının güneyinden İstanbul'u Karadeniz'e bağlayan karayolu geçmekte, doğusunda Kastamonu, kuzeybatısında Bartın ile Zonguldak, güneyinde ise Gerede ve Kızılcahamam üzerinden Ankara iline ulaşım sağlanabilmektedir.



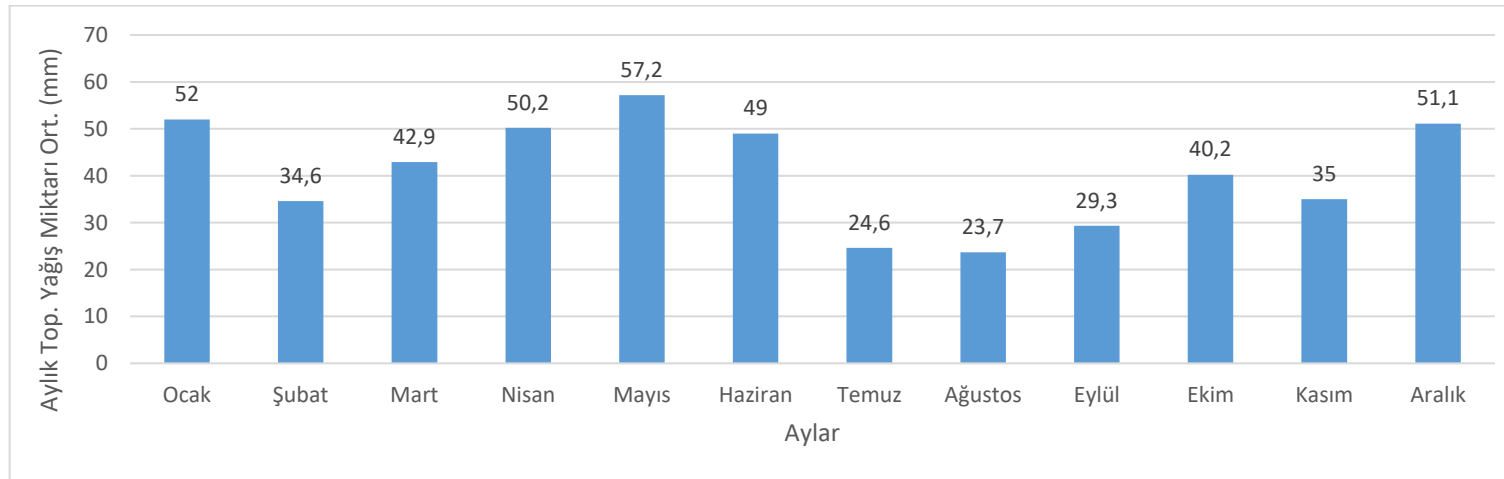
Şekil 1.2. İnceleme alanı yer bulduru haritası

Ilıman iklim kuşağında yer alan Karabük ili Karadeniz ile İç Anadolu Bölgesi sınırı dolaylarında kalmaktadır. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 13,4°C olup Ocak ayı sıcaklık ortalaması 2,9°C, Temmuz ayı sıcaklık ortalaması 24°C' dir. Ortalama yağışlı gün sayısı 119 gün/yıl'dır. Yıllık ortalama yağış miktarı 489,8 mm olup ilkbahar ve yaz aylarında sağanak yağışlar görülmektedir. Karabük iline ait meteorolojik verileri içeren bilgiler Çizelge 1.2. de verilmiştir. Ayrıca, Karabük ili 1927 – 2017 ölçüm periyodu aralığında aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm) Şekil 1.3'de sunulmuştur.

Bitki örtüsünü genellikle Karadeniz bitki topluluğu olan meşe, ardıç, kayın ve gürgen ağaçları oluşturmaktadır (Yergök vd 1987). Yıllık rüzgar gülü potansiyeli incelendiğinde, hakim rüzgar yönünün güneybatı olduğu, batı ve kuzeyden de fazla rüzgar görülmektedir. Yıllık ortalama rüzgar hızı ise 0,8 m/sn.'dir (Karabük İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü 2018).

Çizelge 1.2. Karabük iline ait 1950 – 2017 yılları arasında gerçekleşen ortalama meteorolojik değerler (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2018).

VERİLER	AYLAR												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	2,9	4,7	8	12,8	17,4	21	24	23,7	19,5	14,1	8,2	4,2	13,4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7,4	10,4	14,8	20,3	25,5	29	32,3	32,5	28,3	21,9	14,4	8,8	20,5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0,5	0,4	2,7	6,8	10,7	13,8	16,5	16,4	12,7	8,7	3,7	0,9	7,7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,1	10,7	11,6	11,8	11,7	8,9	5,3	4,7	5,8	8,2	9,4	11,7	111,9
Aylık Top. Yağış Miktarı Ort. (mm)	52	34,6	42,9	50,2	57,2	49	24,6	23,7	29,3	40,2	35	51,1	489,8
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22,1	24,8	32,5	34,9	38,8	40,5	43,4	44,1	40,8	37,2	27	23,2	44,1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-15,1	-14,2	-9,2	-5,8	0,1	4,6	8,9	8,9	3,4	-3,1	-6,4	-12	-15,1



Şekil 1.3. Karabük ili 1927 – 2017 ölçüm periyodu aralığında aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez çalışmasının bu bölümünde literatür incelenerek daha çok güncel araştırmalara yer verilmesi adına, 2005-2018 yıllarını kapsayan dönemde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından heyelan duyarlılık değerlendirmesi çalışmalarında, kullanılan yöntemlere ve analizlerde yer alan parametrelere değinilmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine ilişkin yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Ercanoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada, Kumluca - Ulus (Bartın) bölgesinin yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Alanda kapsamlı saha çalışması ve heyelan envanter haritasını oluşturmak için hava fotoğrafı yorumlarının kullanılması ile toplam 317 toprak kayması tespit edilmiş ve haritalanmıştır. Bu çalışmada eğim, bakı, yükseklik, yamaç geometrisi, TWI ve NDVI girdi parametreleri olarak seçilmiştir. İlk aşamada, tüm veriler $[0, 1]$ aralığında normalleştirilmiş ve İstatistiksel İndeks değerleri (W_i) kullanılarak ağırlıklar belirlenmiştir. Daha sonra, heyelan duyarlılık analizleri bir Yapay Sinir Ağları Yöntemi (ANN) kullanılarak yapılmıştır. Son olarak, ortaya çıkan haritanın performansı ve uygulanan metodoloji, (rij) performans göstergelerine göre tartışılmıştır. Heyelanların %87,2'lik kısmı konumsal olarak heyelana duyarlı olarak sınıflandırılmış, 0,85'lik rij değeri ile mevcut heyelanlar ile yüksek bir benzerlik gösterdiği ifade edilmiştir. Yapılan değerlendirmede ANN yönteminin yüksek doğruluk değerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Gorsevksi vd (2006) tarafından yapılan çalışmada, ABD'nin kuzeybatısında bulunan Idaho eyaletinin kuzeyindeki Rocky Dağları'nın Batı yamaçlarında yer alan CNF (Temiz Su Ulusal Ormanı) için yol ile ilişkisi bakımından heyelanların incelenmesi amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritaları AHP tabanlı bulanık mantık kullanarak üretilmiştir. Çalışmada, yükseklik, eğim, profil eğriselliği, tanjant eğriselliği, ıslaklık indeksi ve bileşik topoğrafik indeks (CTI) girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Metodoloji olarak, bulanık mantık yaklaşımı ile heyelana neden olan değişkenler standartlaştırılmış, ardından AHP yönteminin ikili karşılaştırmalar yaklaşımı ile değişkenlerin göreceli ağırlıkları tespit edilmiştir. Hesaplanan değişkenlerin ağırlıkları ile

WLC (Weighted Linear Combination) ve OWA (Ordered Weighted Avarage) fonksiyonları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar, bulanık mantık ve AHP ile farklı bölgelere özgü üretilen heyelan duyarlılık haritalarında iyi bir performans ortaya çıktığını ifade etmişlerdir.

Komac (2006) tarafından yapılan çalışmada, merkez Slovenya'nın heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde 24 adet istatistiksel değişken hesaplanmıştır. Arazi kullanımı ve bitki örtüsü verileri için LANDSAT-5 uydusundan elde edilen multispektral yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntülerin bantları Ana Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) yöntemi kullanılarak birleştirilmiş ve kontrolsüz sınıflandırma ile sınıflandırılmıştır. Çok değişkenli istatistiksel analiz kullanılarak heyelan dağılımı ve faktörler arasındaki ilişki test edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda eğim, arazi tipi, litoloji ve arazi pürüzlülüğünün heyelan duyarlılığında önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu istatistiksel sonuçlar AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Tahmin hatalarına göre sonuçlar %4.3'ten %73'e kadar farklılık göstermektedir. Bu yüzden çalışmanın performansının, belirlenen parametrelere atanan ağırlık değerlerine göre değiştiği ifade edilmiştir.

Nefeslioğlu vd (2008) tarafından yapılan çalışmada, ülkemiz kuzeydoğusunda yer alan ve uzun yıllar heyelana maruz kalan İspir yerleşim merkezinin uygulama alanı olarak seçilmiş ve farklı örneklem stratejileri uygulanarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çalışmada, Lojistik Regresyon (LR) analizi ve geri yayılım yapay sinir ağları teknikleri kullanılmıştır ve farklı algoritmalar kullanılarak oluşturulan modellerin doğruluk ve hassasiyet değerleri üzerinde değişimler araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda geri yayılım yapay sinir algoritmalarının, verinin heyelan kütesinden alındığı örneklemelere tepki verdiği ortaya çıkmıştır. Modellerin genelleme kapasiteleri göz önüne alındığında, bu tepkilerin, eğri altındaki alan değerleri iyi olmasına rağmen kesin olmayan sonuçlara neden olduğu ifade edilmiştir. Örneklemeye dayalı sonuçlarda ise, daha gerçekçi duyarlılık değerlendirmeleri elde edilmiştir. Heyelan duyarlılık değerlerin

konumsal dağılımı göz önüne alındığında yapay sinir ağları algoritmaları kullanılarak üretilen haritalarda daha iyimser sonuçlar alındığı belirtilmiştir.

Ercanoğlu vd (2008), tarafından, Batı Karadeniz Bölgesi, Bartın İlinin 35 km güneydoğusunda yapılan araştırmada, Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflandırma sistemine göre rotasyonel kayma, akma ve düzlemsel kayma olmak üzere 3 tür heyelanın varlığından söz edilmiş ve heyelan envanterinde yer alan 317 adet heyelan baz alınarak 7 uzman görüşüne dayalı AHP tekniği kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar, harita oluşturulurken daha önce aynı bölgede Ercanoğlu (2005) tarafından yapay sinir ağları ANN kullanılarak üretilen duyarlılık haritası ile kullanılan farklı teknikleri karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada eğim, bakı, yükselti, topoğrafya, TWI ve NDVI olmak üzere 6 adet girdi parametresi kullanılmıştır. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda, çalışma alanını %52,6 oranında çok yüksek heyelana duyarlı olarak sınıflamışlardır. Ayrıca, Ercanoğlu (2005) tarafından üretilen heyelan duyarlılık haritasında bulunan rij (relation value or strength of relation) değerinin 0,85 iken bu çalışmada söz konusu değer ortalama 0,89 olduğu ifade edilmekle birlikte bu çalışmada kullanılan yöntemin de benzer sonuçlar verdiği bilgisine yer vermişlerdir.

Pradhan and Lee (2010) tarafından yapılan çalışmada, Malezya’da yer alan Klang vadisi için heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada yapay sinir ağları yöntemi kullanılmış ve heyelan envanterinde yer alan 398 adet heyelan verisinin 318’ini analiz verisi, 80’ini de sınaama verisi olarak analizde değerlendirmişlerdir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının performans analizinin %91 oranında mevcut heyelanlar ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Hasekioğulları (2010), yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Batı Karadeniz Bölgesi Karabük İl sınırları içerisinde seçilen yaklaşık 567 km²’lik çalışma alanının heyelan envanteri hazırlanmış ve 101 adet heyelan haritalamıştır. Bu çalışmada; yamaç eğimi, bakı, yamaç eğriselliği, topoğrafik yükseklik, bitki örtüsü, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık, sırtlara uzaklık, akış gücü

indeksi, sediman taşıma kapasitesi indeksi ve TWI olmak üzere toplam 13 adet parametre seçilmiş ve AHP yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacı, benzerlik ilişki modeli temelinde bir yaklaşım dikkate alarak, kullanılan verileri AHP'ye uyarlamış ve sonucunda heyelan duyarlılık haritaları üretmiştir. Üretilen haritalar içerisinde en yüksek performansın klasik AHP ile elde edilmesine karşın, önerilen yaklaşımla da yüksek performanslar elde edildiği vurgulanmıştır.

Yalçın vd (2011) tarafından yapılan çalışmada, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amacıyla frekans oranı, analitik hiyerarşi süreci, iki değişkenli istatistikler ve LR yöntemleri CBS tabanlı karşılaştırılmıştır. Litoloji, eğim, bakı, yükseklik, yollara ve akarsulara olan mesafe gibi parametreler kullanılarak analizler yapılmıştır. Beş yöntemin sonuçları 50 aktif heyelan bölgesini içeren heyelan aktivite haritası kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışma sonucunda daha doğru sonuçlar veren yöntemler belirlenmiştir. Doğrulama sürecinde, iki değişkenli istatistik yöntemlerinden olan ağırlık faktörü (Wf) yönteminin %93'lük sonuçla, FR modeli, AHP, Wi ve LR modelinden daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Akgün (2012) tarafından yapılan çalışmada, İzmir ili ve çevresindeki heyelan duyarlılığını haritalamak için lojistik regresyon, Çok Kriterli Karar Verme Analizi (ÇKKV) ve olasılık oranı modellerinin kullanımı karşılaştırılmıştır. Çalışmada litoloji, eğim yönü, faylar, drenaj ağları ve yollar gibi parametreler kullanılmıştır. Modelleme ve doğrulamadan önce, gözlemlenen heyelanlar eğitim ve doğrulama aşamaları olarak iki gruba ayrılmıştır. Modellerin doğruluğu, gözlemlenen heyelanların bir doğrulama setine uydurulmasıyla ölçülmüştür. Doğrulama işlemi için Area Under Curve (Eğri Altındaki Alan, AUC) yaklaşımı uygulanmıştır. Lojistik regresyon, olasılık oranı ve ÇKKV için elde edilen AUC değerleri sırasıyla 0,810, 0,764 ve 0,710 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerlere göre kullanılan diğer heyelan duyarlılık haritalama yöntemleri arasında lojistik regresyon, en yüksek doğruluk değerine sahip yöntem olarak belirlenmiştir.

Akgün vd (2012) tarafından yapılan çalışmada, Mamdani bulanık mantık sisteminin uygulanması için MATLAB yazılımında kullanımının basit olduğu ifade edilen

MamLand programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu program ile Sinop ili ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Çalışmada topoğrafik, jeolojik ve çevresel özelliklerini karakterize eden 7 koşul parametresi bulanık çıkarım sistemine dahil edilmiştir. Veri üretim aşamasını tamamladıktan sonra, veriler, Mamdani tipi bulanık mantık sistemi kullanılarak işlenmiştir. Bu sistemde, sadece heyelan koşul verileri değerlendirilmiş ve heyelan envanter verileri değerlendirme yaklaşımına dahil edilmemiştir. Sonuçta, çalışma alanı için heyelan duyarlılık derecelerini gösteren bir algoritma geliştirilmiştir. Bu dereceler daha sonra bir CBS ortamına aktararak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş ve üretilen haritanın performansı Relative Operating Characteristic (ROC) analizi ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda AUC değeri 0,855 olarak bulunmuştur. Bu sonuç heyelan duyarlılık haritasının başarılı olduğunu göstermektedir.

Kıvanç (2013) yapmış olduğu doktora tez çalışmasında Türkiye'nin heyelan duyarlılığının ulusal ölçekte yapılmasını amaçlamıştır. Kalitatif ve yarı-kantitatif teknikler kullanılarak 1:500.000 ve 1:2.000.000 olmak üzere iki farklı ölçek, 90 m ve 500 m olmak üzere iki farklı hücresel çözünürlük için tüm Türkiye'yi kapsayan heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar oluşturulurken Türkiye 26 ana havzaya ayrılarak AHP uygulamasına dahil edilen parametreler her bir havza için ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Haritaların oluşturulmasında eğim, local relief (yükseklik değişimi), litoloji, arazi örtüsü, deprem, TWI, bakı, arazi şekli, eğrisellik, yağış olmak üzere 10 parametre belirlemiş ve bu parametreler, 8 ve 10 faktörlü AHP yaklaşımıyla farklı su havzalarına uygulanmıştır. Heyelan duyarlılık çalışmasında yarı-kantitatif modellemenin, sezgisel modellemeye göre bu çalışmada daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Yarı- kantitatif modellemede baskın olan faktörler eğrilik, arazi şekli ve deprem olarak verilmiştir. 90 m çözünürlüklü sayısal arazi modelinden üretilmiş TWI verisinin 12 ile 13 değerleri içeren alanlarda heyelanların daha sık geliştiği görülmüştür. Bulunan sonuçlara göre Amasya, Sakarya, Muş, Çankırı ve Bartın illerinin ülkemizin heyelana en fazla duyarlı illeri olduğu ifade edilmiştir.

Rahaman et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Tamil Nadu'da bulunan Kallar havzasının Coonoor and Ooty bölgesinin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Gerekli tematik haritaların hazırlanmasında 10 adet faktör belirlenmiş olup bunlar; yükseklik, eğim, bakı, yola uzaklık, çizgisellik, akış, toprak, yağış, arazi kullanımı ve NDVI parametreleridir. Bu veriler 25 m x 25 m grid hücre formatında üretilmişlerdir. Faktörlerin ağırlıkları AHP ile tanımlanmış ve Heyelan Tehlike Bölgesi İndeksi (LHZI) kullanılarak, AHP tabanlı çok ölçütlü karar verme analizi yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar haritanın üretilmesinde ArcGIS yazılımından faydalanmışlar ve sonuç olarak elde edilen duyarlılık haritasına göre yüksek ve çok yüksek tehlike bölgelerin toplamının çalışma alanının % 51,75'ini, orta ve düşük tehlikeli alanların ise % 48,25'ini oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Shahabi vd (2014) tarafından yapılan çalışmada, logistik regresyon (LR), AHP ve FR yöntemleriyle elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırılması yapılmıştır. İran'ın Zab havzasında yapılan çalışmada eğim, bakı, arazi örtüsü, litoloji, yağış, yollara uzaklık ve faylar olmak üzere 8 faktör kullanılmıştır. Yapılan analizin daha hassas ve hızlı olması için tüm konumsal ve tanımlayıcı bilgiler CBS ortamına aktarılmıştır. Arazi kullanımı için Landsat ETM + ve SPOT 5 uydularından alınan uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan üç yöntem, ilgili heyelan yoğunluk indeksi (R-indeksi) ve ROC eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir. ROC eğrisinin altında kalan alan incelendiğinde LR için 0,891, AHP için 0,8115 ve FR için 0,8634 sonuçları bulunmuştur. Heyelan duyarlılık haritaları yorumlandığında yağış, eğim ve litolojinin heyelan oluşumu ve dağılımındaki etkisinin büyük olduğu gözlemlenmiştir. Her üç yöntem ile elde edilen haritaların doğruluğunun tatmin edici düzeyde olduğu ifade edilmiştir.

Akıncı vd (2015), tarafından Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Artvin İl merkezinde yapılan çalışmada AHP yöntemi kullanılarak 5 adet girdi parametresinin ağırlıkları hesaplanmıştır. Litoloji, yükseklik, eğim, bakı ve akarsuya yakınlık parametreleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritası sonucunda araştırmacılar tarafından yapılan değerlendirmede çalışma alanının %15'inin

çok yüksek, %25,52'sinin yüksek, %28,95'inin orta, %18,77'sinin düşük ve %11,76'sının ise çok düşük derecede heyelana duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Dağdelenler vd (2015) tarafından yapılan çalışmada, heyelan duyarlılık haritaları iki farklı örnekleme stratejisi olan çekirdek hücre (seed cell) örnekleme stratejisi ve heyelan alanı kullanılarak üretilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak Gelibolu Yarımadası'nın doğusu seçilmiştir. Çekirdek hücre örnekleme stratejisi için farklı tampon (buffer) mesafeleri ve farklı mekansal çözünürlükler dikkate alınarak farklı rastgele örneklemler hazırlanmıştır. Hassaslık analizleri heyelan alanı (tükenme ve birikim bölgeleri) kullanılarak gerçekleştirilmiş, örnekler ve çekirdek hücreleri, farklı çözünürlüklere göre farklı tampon bölgelerinden elde edilmiştir. Her iki örnekleme stratejisinin heyelan duyarlılık haritalarının mekansal performansı, ROC eğrisi altındaki alan kullanılarak değerlendirilmiştir. ROC eğrisinin altında kalan alan incelendiğinde her iki örnekleme stratejisi için 0,7 ve 0,8 sonuçları bulunmuştur. Farklı rastgele örneklemlerden ve farklı çözünürlüklerden elde edilen sonuçlar, orta ölçekli toprak kayması duyarlılık haritalarının değerlendirilmesinde çekirdek hücreleri üretmek için kullanılan uygun tampon mesafesinin yaklaşık 50 m olması gerektiğini göstermiştir.

Erener vd (2016) tarafından yapılan çalışmada, LR, CBS tabanlı Multi-Criteria Decision Analys (MCDA) ve ilişki kuralı madenciliği (ARM) yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının performansları değerlendirilmiştir. LR yöntemi istatistiksel, MCDA sezgisel ve ARM veri madenciliği yöntemlerindendir. Yoğun heyelan alanına sahip olan Artvin İlinin Şavşat ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde litoloji, arazi kullanımı/örtüsü, eğim, bakı, toprak tipi, drenaj ağlarına olan uzaklık, faylara ve yollara olan mesafe gibi parametreler kullanılmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi piksel tabanlı ölçümlerle yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ilişki kuralı madenciliği yönteminin daha yüksek kalite yüzdesi (%60,17) sağladığı görülürken, hasar tespiti yüzdesi olarak LR analizi yönteminin (%87,45) daha yüksek olduğu görülmüştür.

Chen vd (2016) tarafından yapılan çalışmada Çin de yer alan Baoji şehri için heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılmış ve yöntem olarak CBS tabanlı AHP ve CF (Certainty Factor) seçilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde yükseklik, eğim, bakı, jeomorfoloji, litoloji, faya uzaklık, plan eğriselliği, nehirlerle uzaklık ve yağış olmak üzere toplam 9 adet parametre girdi olarak kullanılmıştır. 79 adet heyelan, hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları ile heyelan envanterine işlenmiştir. AHP ve CF yöntemleri ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirilmesi yapılmış, AHP modeli için % 77,80 ve CF modeli için % 81,43 oranlarında AUC değeri bulunmuştur.

Akgün (2018) tarafından yapılan çalışmada, Trabzon ilinin Tonya ilçesinde bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi (FuzzyART-BURT) ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Literatürde daha önce kullanılmayan bu teori küme sınıflandırıcı olan bir yöntemdir. Çalışmada yükseklik, litoloji, topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, yamaç eğimi ve yönelimi olmak üzere 6 faktör kullanılmıştır. Çalışma alanında daha önceden oluşan ve geçmişteki olaylar hakkında bilgi veren heyelan envanter haritası, bağımlı değişken veri olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen 6 faktör kullanılarak frekans oranı değerleri hesaplanmış ve duyarlılık sınıfları bu faktörlerden ayırt edilen alt sınıflar ile belirlenmiştir. Duyarlılık sınıfları BURT yönteminin eğitim sınıfları olarak kullanılmıştır. BURT yöntemi ile eğitilen her bir parametreden duyarlılık haritası üretilmiş, tüm duyarlılık haritası bir araya toplanarak çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının doğruluk analizi için ROC eğrisi altında kalan alan kullanılmıştır. 0,72 olarak bulunan değer, heyelan duyarlılık haritasının başarılı bir sonuç verdiğini göstermektedir.

Taalab vd (2018) tarafından yapılan çalışmada, çok sayıda heyelan tipine duyarlı büyük, heterojen bir bölge için heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik bir veri madenciliği yaklaşımı sunulmaktadır. İtalya'nın Piedmont kentinde yapılan çalışmada, hem duyarlılık haritaları hem de sınıflandırma haritaları üretmek için topluluk öğrenme yöntemi Rastgele Orman (Random Forest) algoritması kullanılmıştır. Çalışmada sayısal yükseklik modeli, eğim, bakı, arazi kullanımı, profil eğriliği, TWI, toprak sınıflaması, yollara uzaklık, nehirlerle uzaklık, ortalama yıllık yağış ve litoloji gibi faktörlerden

yararlanılmıştır. Bu haritalar, büyük miktarda bilgi içeren ve yorumlanması kolay olan oldukça hassas (% 85'in üzerinde bir sınıflandırma doğruluğu) heyelan duyarlılık haritası vermek üzere birleştirilmiştir. Heyelan duyarlılığının haritalandırılmasında kullanılan bu yeni Rastgele Orman yöntemi ile çoklu duyarlılık değerlendirmeleri gerektirmeden geniş heterojen bir bölge için son derece hassas duyarlılık haritaları üretebilmektedir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışması kapsamında, inceleme alanının jeolojik, stratigrafik ve yapısal özelliklerine ilişkin bilgiler bu başlık altında değerlendirilmiştir. Ayrıca heyelan kavramı ve heyelan envanteri ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir.

3.1.1. Genel jeoloji

Türkiye'nin jeolojik anlamda ana tektonik birliklerinden biri olan Batı Karadeniz Bölgesi Ketin (1966) tarafından Pontidler olarak tanımlanmıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda, Pontidler'den ayrılarak Batı Pontid (Şengör ve Yılmaz 1981), İstanbul Napı (Şengör vd 1984) ve İstanbul – Zonguldak Zonu (Yiğitbaş vd 1999) olarak adlandırılmıştır.

Tüysüz vd (2004) tarafından yapılan çalışmada Batı Karadeniz bölgesinin tektonik unsurları değerlendirilmiş (Şekil 3.1), inceleme alanının da içerisinde yer alan Ulus havzasının Kretase yaşlı türbiditik nitelikli havza içi çökellerinden oluştuğu ifade edilmiştir. Safranbolu havzası ise Ulus havzasının doğusunda yer alan, üzerinde Paleosen-Eosen çökellerinin olduğu ve en üstte de Neojen karasal kırıntılılarının bulunduğu birliktir.

Blumenthal (1948) tarafından yapılan çalışmada Karabük-Safranbolu havzasının bir senklinal olduğu ve kuzeybatı kenarının tektonizmaya mağruz kaldığı ifade edilmiştir. Havzanın temeli, Eosen öncesi yaşlı fliş ve metamorfitlelerden oluşurken, havzanın iç kısımlarında Eosen yaşlı Nummilites'li kireçtaşları ve kırıntılı kayalar yer almaktadır (ODTÜ, 1986).



Şekil 3.1. Batı karadeniz bölgesinin tektonik unsurları (Tüysüz vd 2004).

Karabük ili ve dolayları, Üst Mesozoyik, Alt Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Üst Mesozoyik yaşlı kayalar, genelde fliş fasiyesinde olup, Tersiyer Havzası'nın temelini oluşturur. Havzanın içinde ise, egemen olarak Alt Lütesiyen yaşlı ince klastikler (silttaşı, marn, kiltası), Nummulites'li kumlu kireçtaşları ve Kuvaterner yaşlı akarsu tortulları bulunur (Yergök vd 1987).

3.1.1.1. Stratigrafi

İnceleme alanında farklı jeolojik zamanlarda çökelmiş 8 adet formasyon 3 adet üyeden söz etmek mümkündür. Bu jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru; Ulus Formasyonu (Ku), Sunduk Üyesi (Kus), Ahmetusta Üyesi (Kua), Abant Formasyonu (KTab), Safranbolu Formasyonu (Tes), Karabük Formasyonu (Teka), Çerçen Üyesi (Tekaç), Soğanlı Formasyonu (Teso), Akçapınar Formasyonu (Tea), Örencik Formasyonu (Tplö) ve Alüvyon (Qal) olarak tanımlanmıştır (Aksay ve Timur 2002).

Çalışma alanında yer alan kaya birimlerine ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit Şekil 3.2'de sunulmuştur.

Formasyonu olarak tanımlanmış, daha sonra Akyol vd (1974) tarafından yapılan çalışmada Ulus Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim, genellikle kumlu kireçtaşı ara tabakalı, grimsi yeşil, gri ve siyah renkli kumtaşı, şeyl, marn ve konglomeralardan oluşur. Yer yer bol kireçtaşı, daha az oranda mermer, granit, volkanit ve metamorfik kaya blokları kapsar. Kumtaşları tabaka altı yapıları, derecelenme, paralel ve konvolüt laminalanma gösterir. Birimin kütle akma mekanizmalarıyla veya gravite ile yer değiştirme yoluyla yamaç-yamaçaltı ortamlara yerleşen ve kireçtaşı megabreşleri veya olistolitleri denilen ara seviyeleri Sunduk üyesi olarak; polijenik konglomeradan ibaret, daha yaşlı birimlerden çakıllar taşıyan bölümü ise Ahmetusta üyesi olarak ayırtlanmıştır (Aksay ve Timur 2002).

Ahmetusta Üyesi (Kua), farklı kökenli konglomeralardan oluşan birim Saner vd (1980) tarafından Ahmetusta konglemara ve Kirge üyesi olarak adlandırılmıştır. Bunun yanı sıra Aksay ve Timur (2002) bu birimi Ulus Formasyonu içerisinde Ahmetusta Üyesi olarak tanımlamışlardır.

Birim nadir olarak kiltası kumtaşı ara seviyelerinden meydana gelmektedir. Bu seviyeler daha sonra deformasyona uğramaları nedeniyle yer yer yapraklanma kazanmıştır (Yergök vd 1987). Bünyesinde bulunan çakıllar genellikle iyi yuvarlanmış olup, kötü boylanma göstermektedir. Konglomeralar genellikle çok tür bileşenli olup, yer yer tek tür bileşenli (Jura, Devoniyen kireçtaşları gibi) olanları da vardır. Çimento, karbonat veya silistir. Stratigrafik konumuna göre Alt Kretase yaşlı kabul edilen birim, yamaçta gelişmiş moloz akma çökelleridir (Aksay ve Timur 2002).

Sunduk Üyesi (Kus), Ulus formasyonu içerisine taşınarak çökelen bu birim gri, bej renkli orta-kalın katmanlı ve masif görünümlü kireçtaşlarından oluşmaktadır. Aksay ve Timur (2002) tarafından yapılan çalışmada ilk defa Sunduk Üyesi olarak adlandırılmıştır. İnaltı Formasyonundan türediği ifade edilen birimin kütle hareketi yoluyla veya bloklar halinde taşındığı düşünülmektedir. Yerinde çökelmiş kaya türlerinde ve konglomera,

olistostromal konglomera gibi kayaçlarının içerisinde fosil aranması ve tanımlanması şeklinde bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bununla birlikte İnaltı Formasyonu ile eş zamanlı olarak çökelmiş kısımlarında yaşı ile ilgili oldukça fazla veri vardır. Birim, stratigrafik konumu da değerlendirilerek araştırmacılar tarafından Alt Kretase yaşıta kabul edilmiştir.

Abant Formasyonu (Ktab), inceleme alanında çok az yayılma sahip olan bu formasyon bloklu konglomera, kumtaşı, kıltaşı, marn gibi çökellerden oluşur. Aksay ve Timur (2002) tarafından yapılan çalışma ile ilk kez adlandırılmıştır. Sarımsı gri, kahverengi, kırmızı, mor, yeşilimsi gri ve açık ile koyu gri renklerde kırıntılı ve karbonat türü kayaçları ihtiva etmesinin yanı sıra granit gabro amfibolit gibi volkanik ve metamorfik kayaçlar da gözlenir. Birim içerisinde kaymaya/akmaya bağlı olarak oluşmuş olistostrom düzeyler, fliş istifi ve karasal sığ denizel istifler bulunur. Göncüoğlu vd (1986) tarafından yapılan çalışmada bu formasyon içerisinde bulunan fosiller üzerinden Maasrihtiyen yaşı elde edilmiştir (Aksay ve Timur 2002).

Safranbolu Formasyonu (Tes), inceleme alanında Safranbolu İlçe merkezi dolaylarında geniş yayılım gösteren birim kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Aksay ve Timur (2002) tarafından gerçekleştirilen incelemede Safranbolu Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu birim ilk kez Saner vd (1980) tarafından Safranbolu kireçtaşı olarak belirtilmiştir. Birim birçok yerde oldukça düşük açılı bir şekilde diğer birimleri örtmektedir (Yergök vd 1987).

Birim alt kısmında konglomera- kumtaşı seviyesi başlayarak karbonatlı kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve en üstte de kireçtaşı ile sonlanır. Genellikle orta-kalın tabakalanma gösteren birim sarımsı, beyaz, gri pembe renklidir. Arazide yumrulu yapısı ile gözlenmektedir. Birim içerisinde bol miktarda Nummulites ve Alveolina fosilleri bulunur. Formasyon içerisinde bulunan fosiller dikkate alındığında Alt-Orta Eosen yaşındadır.

Karabük Formasyonu (Teka), Karabük ve çevresinde tipik şekilde yüzeylenen birim alt kısmında marnlı tabakalar ile başlar üste doğru kıltaşı ve kumtaşı ardalanması ile devam eder. Birim ilk defa Saner vd (1981) tarafından yapılan çalışmada adlandırılmıştır.

Birim genel olarak gri ve yeşil renkli olup orta-kalın tabakalanma gösterir. Kumtaşları gevşek çimentolu, kolay ayrılan, gözenekli, yarı yuvarlak-yuvarlak taneli, iyi boylanmalıdır. En üst kesimlerde kumtaşları çakıllıdır. Kumtaşlarında paralel ve çapraz laminalanma, tabaka alt yapıları diğer bir adı ile akıntı izleri ve canlı eşeleme izleri yaygın olarak görülür. Kumtaşı tabakaları üste doğru silttaşlarına ve kıltaşlarına doğru geçer. Birim içerisinde yer yer Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından türemiş çeşitli boyutlarda olistolitler izlenir. Formasyonun üst kesimlerinde ince kömür ara seviyeleri de bulunur (Aksay ve Timur 2002).

Çerçen Üyesi (Tekaç), konglomera, kumtaşı, şeyl ardalanması olarak tanımlanan birim ilk defa Saner vd (1981) tarafından yapılan çalışmada Çerçen Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Daha sonra Aksay ve Timur (2002) tarafından yapılan çalışmada Çerçen Üyesi olarak ayrırtlanmıştır.

Kırmızı, yer yer yeşil renkli konglomera, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan Çerçen Üyesi'nin içerdiği konglomera ve kumtaşları polijenik elemanlıdır. Taneler kireçtaşı, granit, radyolarit, ve kuvarsit kökenlidir. Üye çoğunlukla az tutturulmuştur ve bu kesimlerde sık sık heyelanlar meydana gelmiştir. Kumlu ve çakıllı seviyeler, kötü boylanmalı olup, taneler iyi yuvarlanmıştır. Merceksi kanal çökelleri, büyük ölçekli çapraz tabakalanma ve paralel laminalanma birim içerisinde yaygın olarak gözlenir.

Çerçen Üyesi, Karabük Formasyonunun üst kesimlerinde tedrici geçişli olarak yer alır. Soğanlı Formasyonu birimi üzerinde uyumlu olarak bulunur. Üye kırmızı rengi, kaya türü özellikleri ve içerisinde gözlenen birincil sedimanter yapıları ile akarsu ortamını karakterize etmektedir (Aksay ve Timur 2002).

Saner vd (1981) tarafından yapılan çalışmada birim içerisinde yer alan *Nummulites globulus* LEYMERIE, *Nummulites pinfoldi* DAVIES, *Nummulites uronensis* A. HEIM gibi fosillerin tespiti sonucu birime Alt-Orta Eosen yaşını vermişlerdir. Ayrıca Yergök vd (1987) tarafından yapılan çalışmada da araştırmacılar, birim içerisinde bulunan fosillere göre Orta Eosen yaşını vermişlerdir.

Soğanlı Formasyonu (Teso), kireçtaşlarından oluşan bu birim Soğanlı Çayı'nın kıyı yamaçlarında tip kesit verir. Birim Saner vd (1980) tarafından Soğanlı kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Ancak Aksay ve Timur (2002) tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar tarafından Soğanlı Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

Soğanlı Formasyonu tamamen kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Beyaz, açık gri, sarımsı renkli olup masif orta-kalın tabakalanmalıdır. Kireçtaşı tabakalarının arasında marn ara seviyeleri izlenir. Bazı seviyelerde sarımsı boz renkli silttaşı ve kiltası ara tabakaları kapsar. Kireçtaşları içerisinde bol eklem sistemi ve derin karst yapıları gelişmiştir. Bol *Nummulites* ve *Alveolina* fosilleri içeren formasyona incelenen fosillerin özellikleri ve tiplerine göre Orta Eosen (Lütesiyen) yaşı verilmiştir. Birimin litolojik özellikleri ve fosil içeriğine göre sığ shelf ortamında çökeldiği söylenebilir (Aksay ve Timur 2002).

Akçapınar Formasyonu (Tea), inceleme alanında az miktarda yayılım gösteren Akçapınar Formasyonu killi kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve çört bantlarından oluşur. Birim ilk olarak Saner vd (1980) tarafından adlandırılmış olup, benzer içerikte olan istif Barkurt vd (1990) tarafından ise Şıhlar Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim ağırlıklı olarak killi kireçtaşı olmak üzere, dolomitik kireçtaşı, kiltası, çamurtaşı ve marn gibi kaya türlerinden oluşur. Bölgedeki diğer karbonatlı istiflerden, sileksit bant ve yumruları taşıması ve ayrıca jips ara katları kapsamı nedeniyle kolayca ayırt edilebilmektedir. Beyaz, sarımsı gri ve bej renklerinde görünmektedir. Belirgin ince tabakalı olup yer yer laminalıdır. Formasyon içerisinde fosil tespit edilememiş olup,

stratigrafik konumuna dayanarak Orta Eosen yaşı verilmiştir. Formasyonun litolojik özellikleri, birincil sedimanter yapıları ve geometrisi göz önüne alındığında evaporitik şartların egemen olduğu lagün-gelgit düzlüğü ortamlarında çöktüğü söylenebilir (Aksay ve Timur 2002).

Örencik Formasyonu (Tplö), konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanmasından oluşan birim, Karabük İl merkezinin güneyinde yüzeilenmektedir. Aydın vd (1987) tarafından yapılan çalışmada Örencik Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Kırmızı, sarımsı kırmızı, kahverengi konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması ile temsil edilir. Konglomeralar, aşınmalı tabanlı, kötü boylanmalı olup çakılları yuvarlak-az yuvarlaktır. Birim genelde çok az tutturulmuş olup, orta-kalın tabakalanma gösterir. Yer yer tabakalanması belirsizdir. Üste doğru kumtaşlarına ve çamurtaşlarına derecelenme gösterir. Kumtaşlarında sarımsı kırmızı renk hakim olup tabakalarında paralel ve çapraz laminalar sıkça gözlenir (Aksay ve Timur 2002).

Örencik Formasyonu kendinden yaşlı tüm birimler üzerinde aşıl uyumsuz olarak yer alır. Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Pliyosen olarak belirlenmiştir. Kaya türü özellikleri akarsu ortamında çöktüğünü göstermektedir (Aksay ve Timur 2002).

Alüvyon (Qal), inceleme alanında Soğanlı, Araç, Filyos çayları, Yenice nehri ve diğer akarsu yataklarında yaygın olarak görülen alüvyon oluşumları başlıca kil, kum, çakıl ve çamur çökellerinden oluşmaktadır.

İnceleme alanında yer alan menderesli nehir niteliğindeki akarsuların yatakları boyunca oldukça geniş (0,5-1 km) taşkın ovaları gelişmiş olup, bu kesimler de yine çakıl, kum ve kilden oluşmaktadır. Bunların toplam kalınlığı 5-20 m arasında değişir. Diğer taraftan, Filyos çayının kuzey yamacında ve Değirmenci fayına asılı olarak yığılmış talus olarak adlandırılan yamaç döküntüleri de diğer bir alüvyon türünü oluşturmaktadır (Koçyiğit 1987).

3.1.1.2. Yapısal jeoloji

Çalışma alanında gözlenen yapısal unsurlar doğu – batı uzanımlı olup Tersiyer ve sonrasında oluşmuşlardır. Havzada yer alan antiklinal yapıların daha dar olduğu bunun yanı sıra senklinallerin ise daha belirgin oldukları gözlenir. Bölgede yer alan kıvrımların konumları ve yönelimleri sahada K-G yönlü bir sıkışma olduğunu gösterir (Saner vd 1980). Bu etkin sıkışmaya bağlı olarak çalışma alanının güneyinde Ulus formasyonu D-B doğrultulu, güneye eğimli bir ters fayla Tersiyer yaşlı çökeller üzerine itilmiştir. Buna bağlı olarak Tersiyer çökelleri kıvrımlanmış, deformasyona uğramış ve kuzeye doğru bir biri üzerine ekatlanmıştır. Tersiyer havzasının kuzey sınırında özellikle Karabük civarında sıkışmaya bağlı olarak Tersiyer kayalar, kuzey kanadı güneye devrik bir senklinal oluşturmuştur. Bunu devrik kanadı kesen ve kuzey bloğu yükselmiş, güney bloğu düşmüş KD – GB doğrultulu bir düşey atımlı fayın oluşumu izlemiştir. Bahsi geçen tektonik yapılara bağlı olarak Karabük – Safranbolu Tersiyer Havzasının güneybatı kısmı devrik kıvrımlar ve faylarla daralırken, kuzeydoğu kısmı daha geniş kalmıştır (Aksay ve Timur 2002).

İnceleme alanında Orta Eosen’de gerçekleşen sıkışmaya bağlı deformasyonlar sonucu kıvrımlar ile birlikte ters fay oluşumu da gözlenmektedir. Karabük- Safranbolu Tersiyer Havzasının güney kesimini sınırlayan ve Karagöl Fayı olarak bilinen ters fay yine Ulus Formasyonunun Tersiyer birimlerini Karabük Havzası üzerine itmiştir. Karabük Tersiyer havzasında Rahmanlar ve Mangaoğlu dolayında Safranbolu Formasyonunda 90°’ye varan eğimler ve devrilmeler, Karabük Havzasının KD-GB alanını sınırlayan ters bir fayın varlığını gerektirir. Ama Karabük Havzasındaki Paleozoyik ve Mesozoyik birimleri kuzeyden güneye doğru iten bu ters fay örtü altında kalmaktadır (Koçyiğit 1987).

Karabük İl merkezinin kuzeybatısından geçen ve havzayı çizgisel olarak sınırlayan Karabük Fayı ise KD-GB uzanımlıdır. Yüzeyde yaklaşık 60 km izlenebilen fayın kuzey kısmında Kretase yaşlı Ulus formasyonu yükselmiştir. (Saner vd 1980). Güney kısmında yer alan Tersiyer havzası çökelleri ise daha alçak bir konumda kalmışlardır.

Çizelge 3.1’de yer alan Vernes (1978) sınıflaması temel alınarak heyelan çeşitlerinin hareket türlerine göre WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamaları aşağıda açıklanmıştır. Hareket türlerine ilişkin şematik gösterim Şekil 3.4.’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Vernes (1978) heyelan sınıflaması

Hareket Türü		Malzeme Türü		
		Kaya	Toprak	
			İri Taneli	İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma	Dairesel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
	Ötelenmeli			
Yayılma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
		Derin Krip	Krip	
Karmaşık		En az iki veya daha fazla hareket türünün bir arada gelişmesi		

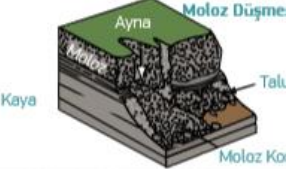
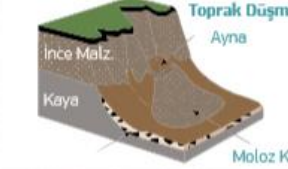
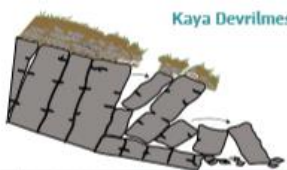
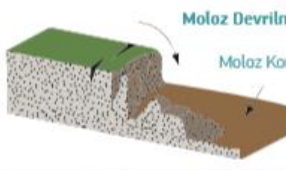
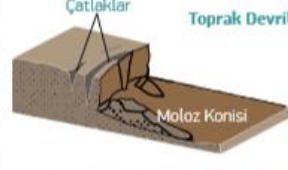
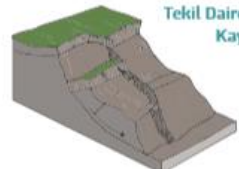
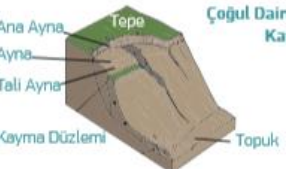
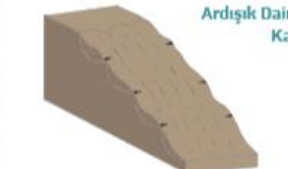
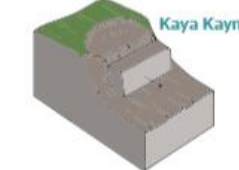
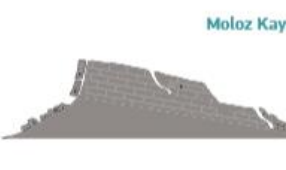
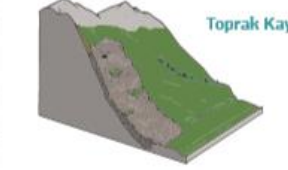
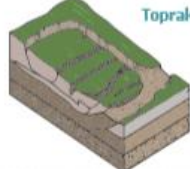
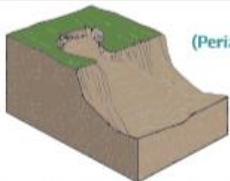
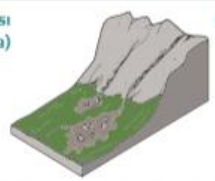
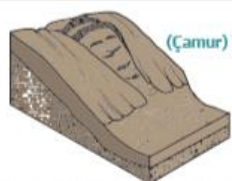
Düşme, toprak ya da kaya bloklarının, dik bir yamaç boyunca herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın ana kütleden ayrılmasıdır. Bu duraysızlık sırasında, bloklar serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde hareket ederler.

Devrilme, toprak ya da kaya kütlelerinin ağırlık merkezinin üzerindeki bir nokta veya eksen boyunca şevden ileri doğru rotasyonel (dönel) hareketidir.

Kayma, toprak ve kaya kütlelerinin bir veya birden çok yüzey üzerinde makaslama deformasyonu sonucu meydana gelen hareketidir.

Yanal Yayılma, kohezyonlu topraklar veya kaya kütlelerinin altında bulunan daha yumuşak bir zemin üzerinde genişlemesidir. Yenilme yüzeyi en büyük makaslama gerilmesinin geliştiği yüzey olmayıp, sıvılaşma veya yumuşak zeminlerin akması sonucunda gerçekleşebilir.

Akma, birden fazla sayıda makaslama yüzeyi boyunca gelişen ve çoğunlukla serbest yüzeyler boyunca yer değiştirerek yayılan hareket türüdür. Hareket eden kütlede hızın dağılımı, viskoz bir sıvıdaki dağılıma benzemektedir.

Düşme				
Devrilme				
Kayma	Dönel			
	Ötelenmeli (Düzlemsel)			
Yanal Yayılma				
Akma				
				
Karmaşık				

Şekil 3.4. Heyelan sınıflamalarında kullanılan heyelan türlerinin genelleştirilmiş şematik gösterimi (<http://pubs.usgs.gov> ve <https://www.afad.gov.tr>).

3.1.3. Heyelan envanteri

Heyelan envanteri, bölgede yer alan heyelanların; türü, fiziksel özellikleri, konumu ve etkinlik durumu gibi nitelikleri bakımından bilgileri içeren, çoğunlukla harita ve bununla ilişkili bir veri tabanından oluşan veri topluluğu olarak ifade edilir (Fell et al. 2008). Bununla birlikte heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi, konumsal ve zamansal tehlike ve risk analizleri için temel altlık görevi görmektedir.

İnsanlığın karşılaştığı önemli doğal afetlerden biri olan heyelanlar ile ilgili ayrıntılı bir heyelan envanterinin ve haritalamasının oluşturulması, gerçekleştirilecek her türlü çalışmanın, analizin ve değerlendirmenin, başlangıç aşamasında dikkate alınması gereken bir husustur (Aleotti and Chowdhury 1999; Guzzetti et al. 2000).

Heyelan envanter haritaları, tehlike ve risk analizleri açısından son derece önemli veriler içermektedir. Dünyanın birçok ülkesinde yerel ölçekten, ulusal ölçeğe kadar farklı boyutlarda ve değişik yöntemler ile heyelan envanter haritaları üretilmekte ve heyelanlara ilişkin öznitelikler veri tabanlarında saklanmaktadır. Ülkemizde, özellikle son çeyrek asırdır heyelan envanteri oluşturulmasına ilişkin çalışmalar artmıştır. Özellikle üniversiteler ve kamu kurumlarının bu konu ile ilgili gerçekleştirmiş olduğu önemli çalışmalar mevcuttur. Örneğin MTA ve AFAD bu konuda önemli çalışmalar yapmış önemli kamu kurumlarındandır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında, heyelan yeri, türü, boyutları, aktivitesi ve etkileri ile oluşma zamanı ve varsa, tetikleyici parametreler gibi özelliklerin belirtilmesi gerekmektedir (Guzzetti et al. 2000; Galli et al. 2008; Guzzetti et al. 2012).

Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında literatürde kabul görmüş birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında sıklıkla kullanılanlar aşağıda özetlenmiştir (Soeters and Van Westen 1996; Lee and Lee 2006).

- Topoğrafik harita ve Sayısal Yüksekli Modeli (SYM) analizleri
- Hava fotoğrafı yorumlamaları
- Saha çalışmaları / yerinde jeomorfolojik analizler
- Basılı veya sayısal harita arşivleri
- LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamaları

3.2. Yöntem

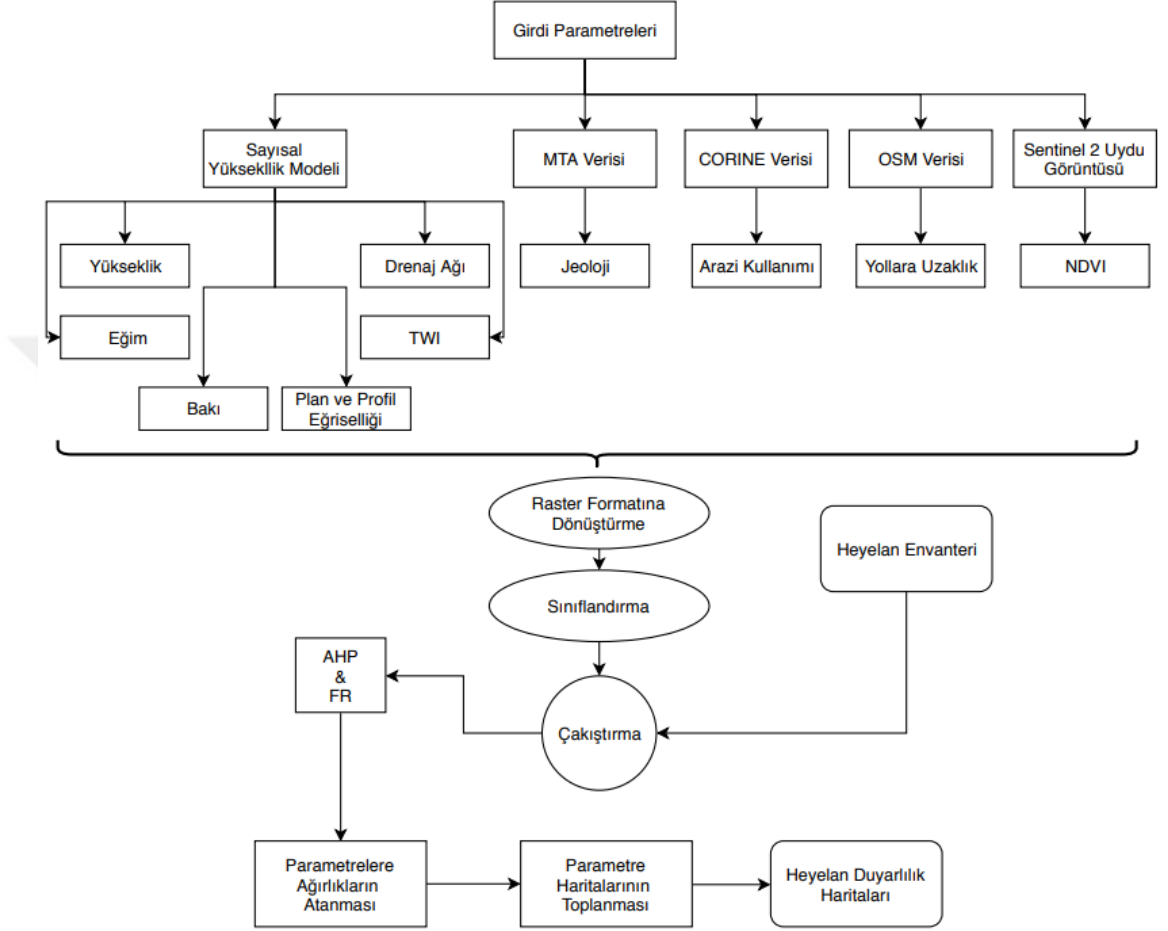
Heyelan duyarlılığı; bir bölge içerisindeki alanların heyelana karşı olan hassasiyetleri olarak değerlendirilebilir. Aktivitesi devam eden veya potansiyel olarak oluşabilecek heyelanların konumsal dağılımının ve sınıflamasının nitel veya nicel yöntemlerle değerlendirilmesidir. Genel anlamda bir bölge içerisindeki alanları; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek gibi sınıflara ayrılarak, bu alanların heyelan oluşumuna karşı potansiyelinin ortaya konulmasıdır (UNISDR, 2009).

Heyelan duyarlılık haritası; halen aktif veya daha önce oluşmuş heyelanların hangi şartlar altında oluştuklarının belirlenmesi ile gelecekte meydana gelebilecek potansiyel duraysız alanların (konumsal olabilirliklerinin) ifade edildiği haritadır (Ott and Longnecker 2001). Heyelan tehlike ve risk analizleri için temel altlık olarak kullanılan heyelan duyarlılık haritaları özellikle yerleşim yeri planları, arazi kullanımı, çevresel etki, ulaşım ve ulaştırma gibi alanlarda yapılacak projeler için çok önemli bilgiler sunmaktadır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde "geçmiş, günümüzün ve geleceğin anahtarıdır" ilkesi benimsenmiştir (Carrara et al. 1995). Ayrıca, "heyelanlar hangi alanlarda oluşacak?", "heyelanlar nasıl ve hangi koşullar altında oluşacak?" sorularına cevap verir nitelikte olmalıdır (Aleotti and Chowdhury 1999).

Tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık değerlendirmesi amacıyla heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemlere ilişkin bilgilere değinilmiştir. İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde uygulanacak olan FR ve

AHP yöntemleri ele alınmıştır. Ayrıca tez aşamasında yapılan heyelana duyarlılık haritasının üretilmesine ilişkin iş akış şeması aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.5).

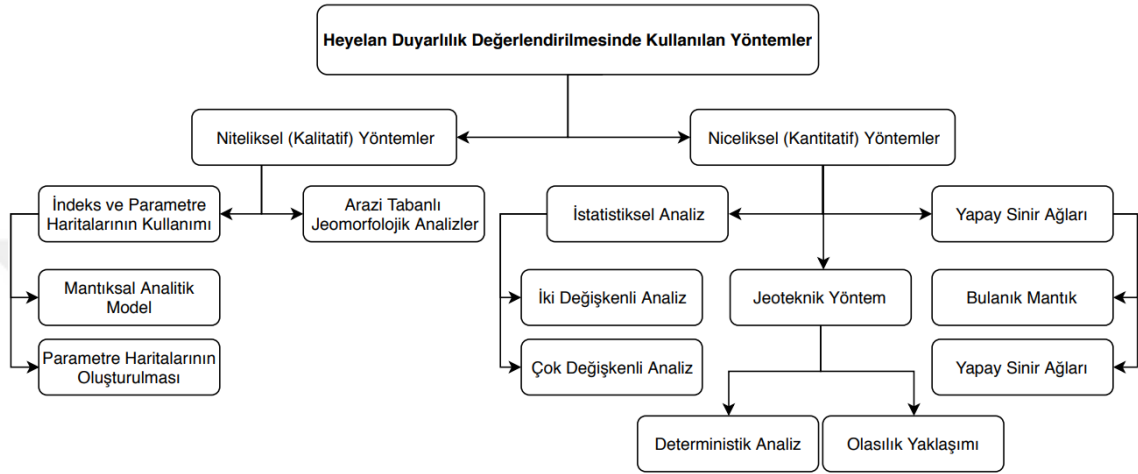


Şekil 3.5. Tez çalışmasında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde uygulanacak iş akış şeması.

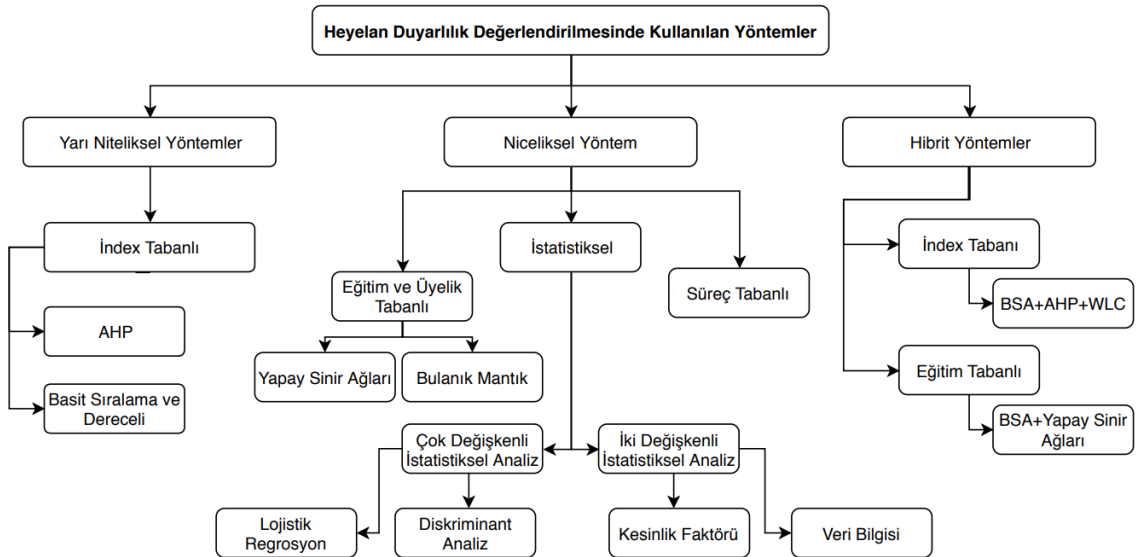
3.2.1. Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntemler

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde birçok çalışma mevcut olup, bu çalışmaların yapılmasında farklı yöntemlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu haritaların üretilmesinde nitel ve nicel yöntemler olmak üzere, genellikle iki yaklaşımın olduğu görülmüştür. Nitel yöntemler genellikle saha çalışmalarını içeren, saha ve gelişen heyelanlar hakkında bilgi ve deneyim sahibi olmayı gerektiren yöntemleri içerirken; nicel yöntemler ise daha çok istatistiksel, matematiksel ve yazılım tabanlıdır. Nicel yöntemler

heyelanın oluşumuna sebebiyet veren parametrelerin analizinin yapıldığı yöntemlerdir. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, risk haritalarının üretilmesinde farklı yöntemler uygulamak mümkündür. Bu konu hakkında değişik tarihlerde farklı araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.6, Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Aleotti and Chowdhury1999).



Şekil 3.7. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Ayalew et al. 2005).

Genel olarak niteliksel ve niceliksel yöntemler şeklinde ayrılan yöntemlere ek olarak hibrit yöntemler de kullanılmaktadır (Ayalew et al. 2005). Yapılan çalışmalar

incelendiğinde, heyelan envanter haritalarının bu yöntemlerin uygulanmasında temel girdi olarak kullanıldıkları görülmüştür. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda eğitim ve üyelik tabanlı (yapay sinir ağları, bulanık mantık vb.) yöntemlerin uygulandığı görülmüştür. Ayrıca birçok çalışmada temel olarak uygulanan istatistiksel yöntemlerden olan FR yönteminin de sıklıkla uygulandığı anlaşılmaktadır.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında temel yaklaşım, belirlenen bir bölgede yer alan heyelanların hangi şartlar altında oluştuğunun saptanması, gelecekte de benzer durumlarda hangi alanlarda heyelanların meydana gelebileceğinin araştırılmasıdır. Bu durum genel olarak heyelan oluşumuna etki eden jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametrelerin belirlenmesi ve mevcut heyelan envanteri ile analizlerin yukarıda sözü edilen yöntemler kullanılarak yapılması şeklindedir.

Duyarlılık haritaları üretilmesinde, parametrelerin belirlenmesinde ve uygulanacak yöntemlere dair herhangi bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bununla birlikte sözü edilen yöntemlerin seçiminde uzman bilgisinin yanı sıra uygulamadaki avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulmaktadır. Ayrıca literatürde, aynı incelleme sahası için birden fazla yöntemin aynı anda kullanıldığı ve sonuçlarının karşılaştırıldığı görülmüştür. Tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla AHP ve FR yöntemleri seçilmiş ve altta yer alan başlıklarda bu yöntemlere ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

3.2.2. FR yöntemi

FR yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Lee and Dan 2005; Lee and Sambath 2006; Lee and Pradhan 2007; Akgün et al. 2008; Yılmaz 2009; Jadda et al. 2009; Erener and Düzgün 2010). Uygulanması kolay ve anlaşılır olan bu yöntemin temel amacı heyelan oluşumunda etkin olan girdi parametrelerinin yoğunluklarının belirlenmesidir. Yöntem uygulanırken; çalışma alanı belirlendikten sonra o bölge için heyelanların meydana gelmesinde etkin olan

parametreler seçilir, haritalanır ve sınıflandırılır. Bölgede yer alan heyelanlara ilişkin heyelan envanter haritası oluşturulur. Mevcut heyelanlar ile belirlenen parametre haritaları karşılaştırılarak yoğunluklar belirlenir ve parametrelerin alt sınıflarına ağırlıklar atanır. Ağırlıkların atanması ile oluşan yeniden sınıflandırılmış parametre haritaları toplanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulur. Tüm bu işlemler, CBS tabanlı uygulamalar yardımıyla genellikle piksel tabanlı, grid hücre yapısı içeren veriler ile gerçekleştirilmektedir.

FR yöntemi heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde nicel bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Ancak yöntem, uygulanırken girdi parametrelerin sınıflandırılması aşamasında uzman görüşünün etkin olması sebebiyle öznel içeriktedir (Leroi 1996).

FR yöntemi uygulanırken belirlenen girdi parametrelerine ilişkin belirlenen alt sınıflara ait hesaplamalar yapılarak, Eşitlik 3.1’de verilen formül kullanılmaktadır.

$$FR = \frac{a}{b}$$

Eşitlik 3.1

Eşitlikte yer alan;

FR = frekans oranını,

a = parametre alt grubunda heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısına oranını,

b = parametre alt grubunda dikkate alınan alandaki piksel sayısının, dikkate alınan alandaki toplam piksel sayısına oranını ifade etmektedir.

Parametre alt gruplarına ait FR oranı ne kadar büyükse, heyelan oluşumu ile verilen faktörün özneliği arasındaki ilişki o kadar güçlüdür (Lee and Talib 2005).

Belirlenen girdi parametrelerinin her birinin alt grupları için hesaplanan FR değerlerine ait NFR (normalize edilmiş FR değeri) hesaplanarak bu değer parametre alt gruplarına atanma işlemi yapılmaktadır. Daha sonra, atanan NFR değerleri ile yeniden sınıflandırılan

tüm parametreler aritmetik toplamaları alınarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulması aşaması tamamlanmaktadır (Eşitlik 3.2).

$$LSI = \sum FR$$

Eşitlik 3.2.

Eşitlikte yer alan;

LSI = heyelan duyarlılığı (landslide susceptibility index),

$\sum FR$ = belirlenen parametrelerin her birinin alt gruplarına atanan NFR değerleri ile yeniden sınıflandırılarak oluşturulan parametre haritaların toplamını ifade etmektedir.

3.2.3. AHP yöntemi

Belirli amaca yönelik bir problemin çözümünde birden fazla ölçüt ve niteliksel faktörleri içeren karar verme durumları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) başlığı altında incelenmektedir (Timor 2011). AHP de çok kriterli karar verme problemlerinin çözümüne yönelik, karar verme aşamasında kriterlere ait ikili karşılaştırmalar yaparak, kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesinde de uzman görüşünün kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlanabilir.

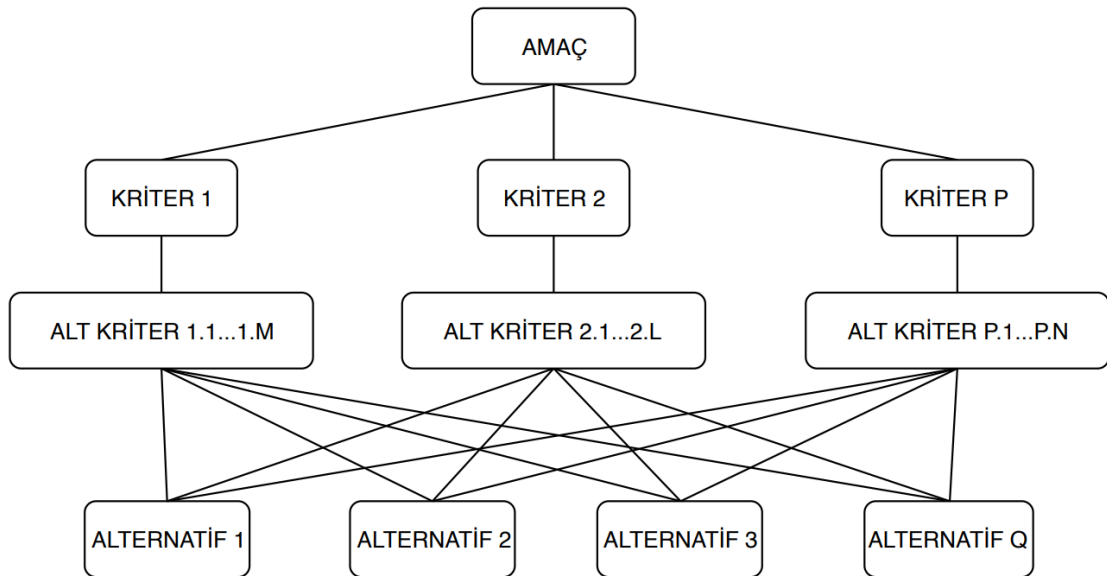
Geniş bir kullanım alanına sahip olan AHP, sosyal bilimler, idari ve iktisadi bilimler ve mühendislik bilimleri gibi birçok alanda karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik kullanılmaktadır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde de sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan AHP ilk olarak Myers and Alpert (1968) tarafından önerilmiş, daha sonra Saaty (1977) tarafından geliştirilerek bir model haline getirilmiştir.

AHP'nin uygulanmasında gerçekleştirilmesi gereken temel adımlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Saaty 2008).

- Problem tanımlanmalı, problemin çözümüne etki eden kriterler belirlenmelidir.

- Amaca ulaşmada ya da problemin çözümünde kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenmeli, bu veriler birbiri ilişkilendirilerek öncelikler öne çıkarılmalı ve karar hiyerarşisi kurulmalıdır.
- Kurulan hiyerarşide parametrelerin her biri için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmalıdır.
- Karşılaştırmalar ile her bir parametrenin, diğer bütün parametrelere olan ilişkisi ortaya konularak, her bir parametrenin, bir diğeri ile ağırlık oran değerleri belirlenmelidir.

Belirtilen adımlar neticesinde, problemin çözümüne yönelik kurulacak hiyerarşi ve alt üst ölçüt ilişkisine ait örnek Şekil 3.8.'de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Basit bir karar hiyerarşisi modeli (Bhushan and Rai 2004)

AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında, ilgili uzmanlar veya karar vericiler tarafından belirlenen parametreler, Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş niteliksel önem dereceleri ölçeğinden yararlanılarak, karşılaştırılmaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. AHP yönteminde önem dereceleri (Saaty 1977 ve Saaty 2008' den).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemde	Her iki kriter de amaca eşit katkıdır
3	Orta Önemde	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir
5	Güçlü Önemde	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter diğerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Çok Güçlü Önemde	Bir kriter diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilmiştir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son Derece Önemli	Bir kriter diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2, 4, 6, 8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler	Kriterlerin karşılaştırılmasında hangi değer belirlenmesi noktasında tereddütler varsa, sayısal değerlerin ortasındaki bir değer verilir.

Yöntemin uygulanmasında aşağıda verilen adımlarda yer alan matematiksel ifadelerden faydalanılır.

i. Parametreler arası oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir ve Eşitlik 3.3'de verilen formül ile ifade edilmektedir. Matriste yer alan parametreler Çizelge 3.2'de verilen önem ölçeğine göre birbirleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırmada ($i = j$ olacağından dolayı) köşegen üzerinde yer alan elemanlar 1 değerini alırlar.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = [a_{ij}]_{n \times n} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eşitlik 3.3.}$$

Eşitlikte yer alan;

n = faktör sayısını,

i, j = faktörleri,

a_{ij} = i faktörünün j faktörüne göre önem derecesini göstermektedir.

ii. Matrisin köşegen değerlerinin sadece altında ya da sadece üzerinde kalan bölümler için puanlama yapılıp, puanlama yapılmayan bölümler için ise Eşitlik 3.4'deki formülü kullanmak yeterli olacaktır.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \text{Eşitlik 3.4.}$$

iii. İkili karşılaştırma matrisini oluşturan tüm parametrelerin matrisin sütunlarını oluşturan elemanlardan faydalanılarak, parametrelerin sistem içindeki ağırlıklarını belirlemek için, Eşitlik 3.5'de verilen n adet ve n bileşenli bir B sütun vektörü oluşturulması gerekmektedir.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{1n} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 3.5.}$$

iv. B sütun vektörünün hesaplanmasında amaç, A Matrisi için normalize edilmiş matris değerlerini elde etmektir. Bu işlem adımı Eşitlik 3.6'da yer alan formül kullanılmaktadır. Bu işlem A matrisinin tüm elemanları için uygulanır ve Eşitlik 3.7'de verilen normalize edilmiş C matrisi oluşturulur.

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad \text{Eşitlik 3.6.}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

Eşitlik 3.7.

v. C matrisi oluşturulduktan sonra faktörlerin birbirlerine göre ağırlıklarını, diğer bir ifade ile yüzde önem derecelerini belirlemek amacıyla, Eşitlik 3.8 kullanılarak, C matrisini oluşturan satır elemanlarının aritmetik ortalaması alınarak “Öncelik Vektörü” olarak ifade edilen, [W] sütun vektörü elde edilir (Eşitlik 3.9).

$$W_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} / n$$

Eşitlik 3.8.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$$

Eşitlik 3.9.

vi. Yukarıda verilen işlem adımlarından sonra “Tutarlılık Oranı (CR, Consistency Ratio)” hesabı yapılmalıdır. Bunun için; (n) faktör sayısı kullanılarak “(λ) Temel Değer” olarak adlandırılan bir katsayının hesaplanması gerekmektedir. λ’nın hesaplanması için, [A] karşılaştırma matrisi ile [W] öncelik vektörünün matris çarpımından [D] sütun vektörü elde edilmelidir (Eşitlik 3.10).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 3.10.}$$

Elde edilen [D] sütun vektörünün her bir elemanı [W] sütun vektöründe karşılığında yer alan elemana bölünür çıkan sonuçların aritmetik ortalaması alınarak (λ) Temel Değeri hesaplanır.

Tutarlılık Oranı hesaplanmasında temel bir katsayı olan bu değer AHP yöntemi için önemli bir parametredir (Saaty 1991).

vii. Tutarlılık Göstergesi veya Tutarlılık İndeksi olarak adlandırılan (CI) hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad \text{Eşitlik 3.11.}$$

viii. Son aşama olarak; Tutarlılık Oranını Eşitlik 3.12’de verilen formül kullanılarak hesaplanır. Formülde ifade edilen RI: “Rasgele Değer İndeksi (Randomness Index)” olarak adlandırılan ve parametre sayısına göre değişen standart düzeltme değerini ifade eder. Bu değere ait Rastgele Değer İndeksi Tablosu Çizelge 3.3’de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Eşitlik 3.12.}$$

Çizelge 3.3. Rastgele Değer İndeksi Tablosu (Kwiesielewicz and Uden 2004).

Faktör Sayısı (n)	Rastgele Değer İndeksi (RI)
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59

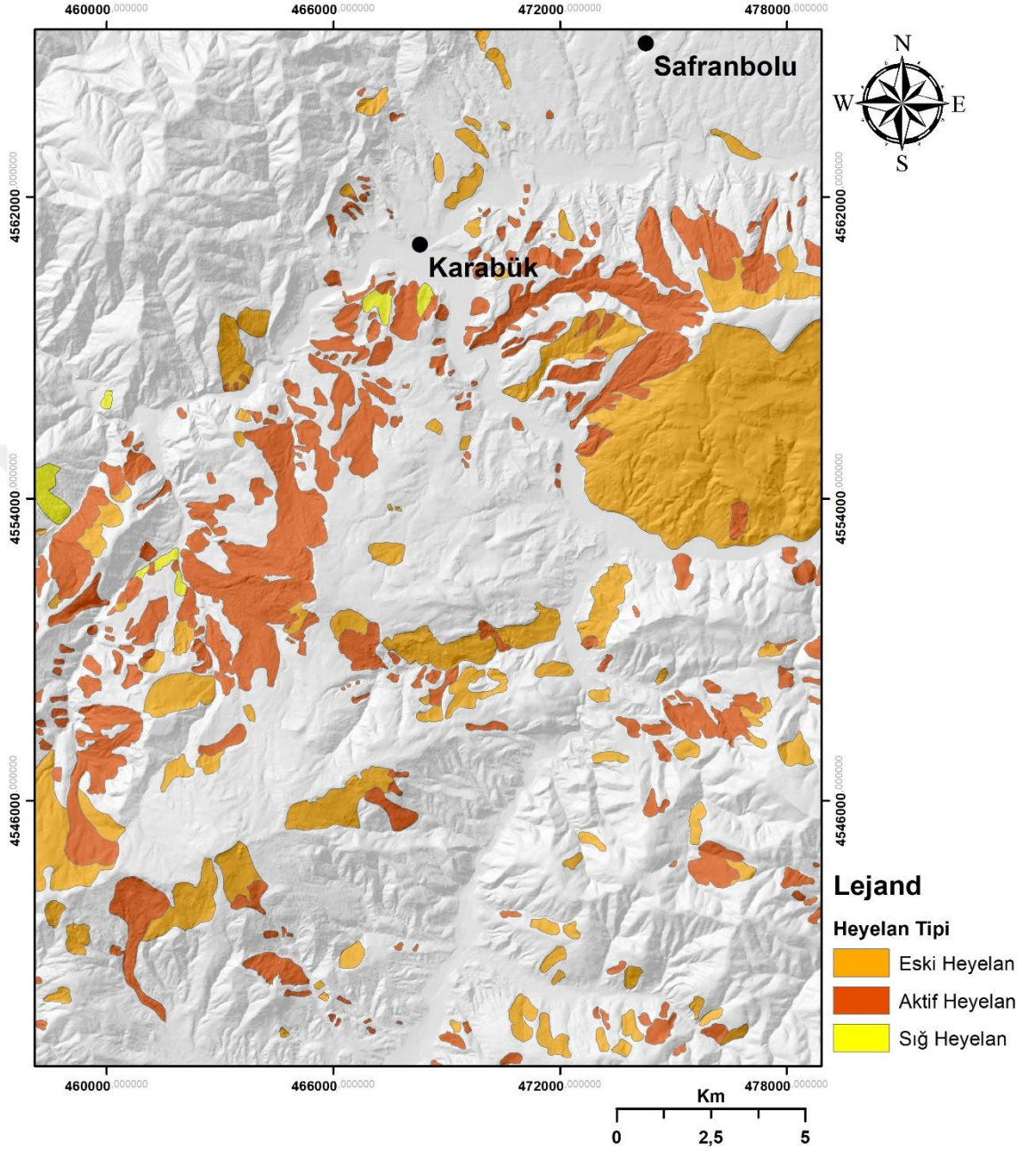
Tutarlılık oranının 0,10 değerinden küçük olması ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında, karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir. Eğer bu belirtilen değerden büyük ise, karar vericiler değerlendirmelerini tekrar gözden geçirmelidir. (Saaty and Vargas 2000)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, Karabük il merkezini de içine alan bölgenin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bu bölümde inceleme alanının heyelan envanterine ilişkin bilgiler verilmiş ve bölgede meydana gelen heyelanlar ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir. Heyelanların oluşumuna etki eden hazırlayıcı parametrelerin seçimi ve bu çalışma için belirlenen girdi parametreleri (jeolojik, topoğrafik ve çevresel etmenler) ele alınmıştır. Jeolojik unsur olarak litolojiye ilişkin parametreye, topoğrafik unsurlar olarak; yükseklik, eğim, bakı, drenaj ağları, yamaç plan ve profil eğrisellikleri ile TWI parametrelerine, çevresel unsurlar olarak; arazi kullanımı, yollara uzaklık ve NDVI parametrelerine yer verilmiştir. Bu parametrelerin seçimi ve analizlerde girdi parametresi olarak değerlendirilmesi hakkında bilgiler sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda FR ve AHP yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş, haritaların doğruluk performans değerlendirilmesi yapılmış ve ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. İnceleme Alanının Heyelan Envanteri

Tez çalışması için temin edilen inceleme alanının heyelan envanteri MTA tarafından üretilmiş olup, başvuruya esas olmak üzere CBS ortamında, vektör veri formatında alınmıştır (Şekil 4.1). Söz konusu veri, heyelan duyarlılık değerlendirmesinin yapılabilmesi için raster formatına dönüştürülmüştür. Envanter içerisinde yer alan 276 adet aktif heyelan, 93 adet eski heyelan ve 7 adet sığ heyelan olmak üzere toplam 376 adet heyelan sınıflandırılmıştır. Analizlerin yapılmasında toplam 276 adet aktif heyelan verisinden 207 adedi kullanılmış, geriye kalan ve konumsal dağılım olarak rastgele belirlenen, toplam aktif heyelanların 1/5'ini oluşturan 69 adet heyelan ise sınama verisi olarak bırakılmış, analizlere sokulmamıştır.

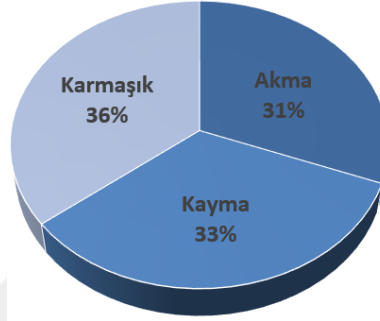


Şekil 4.1. İnceleme alanının heyelan envanter haritası (MTA).

İnceleme alanının heyelan envanterine ilişkin bir diğer çalışma Karabük AFAD (2016) tarafından yapılmıştır. Sözü edilen çalışmada Karabük İl sınırları içerisinde yer alan bölgenin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla sahada gözlemlenen her bir heyelanın, envanter formu doldurularak haritalanması yapılmıştır. Daha önce Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı (2006) tarafından bir çalışma yapılmış ve 217 adet heyelan belirlenerek envantere kaydı yapılmıştır. Bu çalışma belirtilen çalışmanın devamı

niteliğinde olup, arazi gözlemleri ile belirlenen 548 heyelan kayma, akma ve karmaşık türde olmak üzere envantere kaydedilmiştir. Tespit edilen heyelan türlerinin heyelan envanter içerisindeki dağılımı Şekil 4.2’de sunulmuştur.

Heyelan Envanter Dağılımı

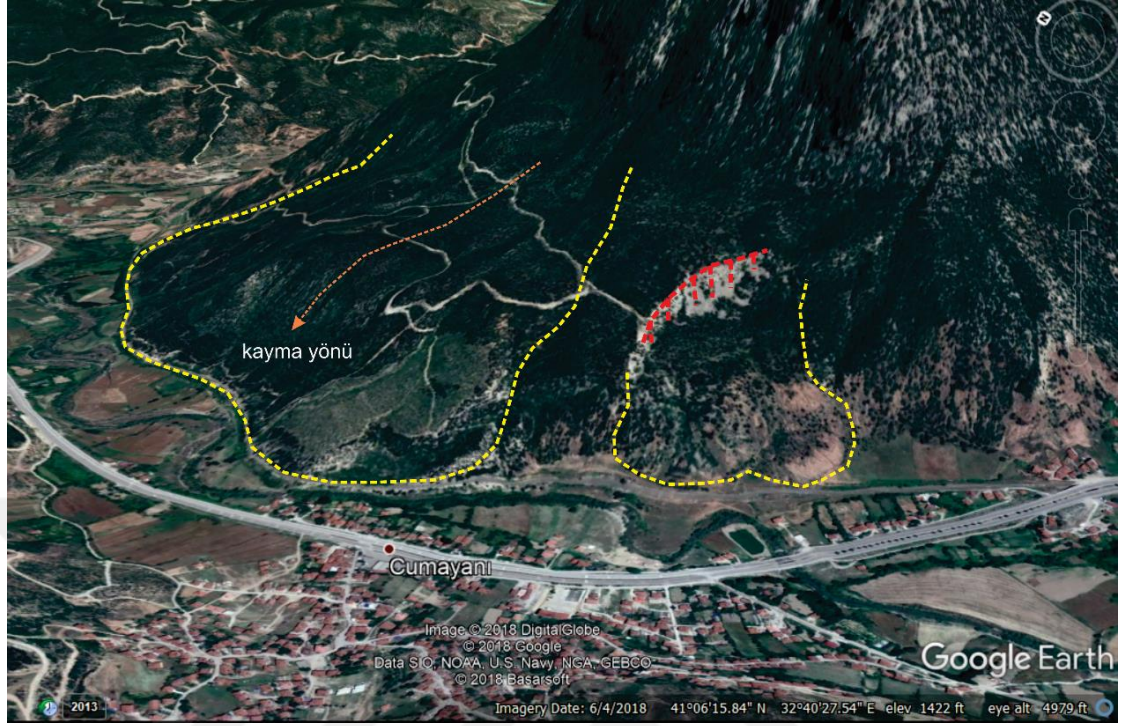


Şekil 4.2. AFAD heyelan envanterinde yer alan 548 heyelanın, türlerine göre dağılımları.

İnceleme alanında yer alan heyelanların geniş alanlarda yayılım göstermesi nedeniyle, heyelanların daha iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. İlgili görüntülere ait örnekler aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).



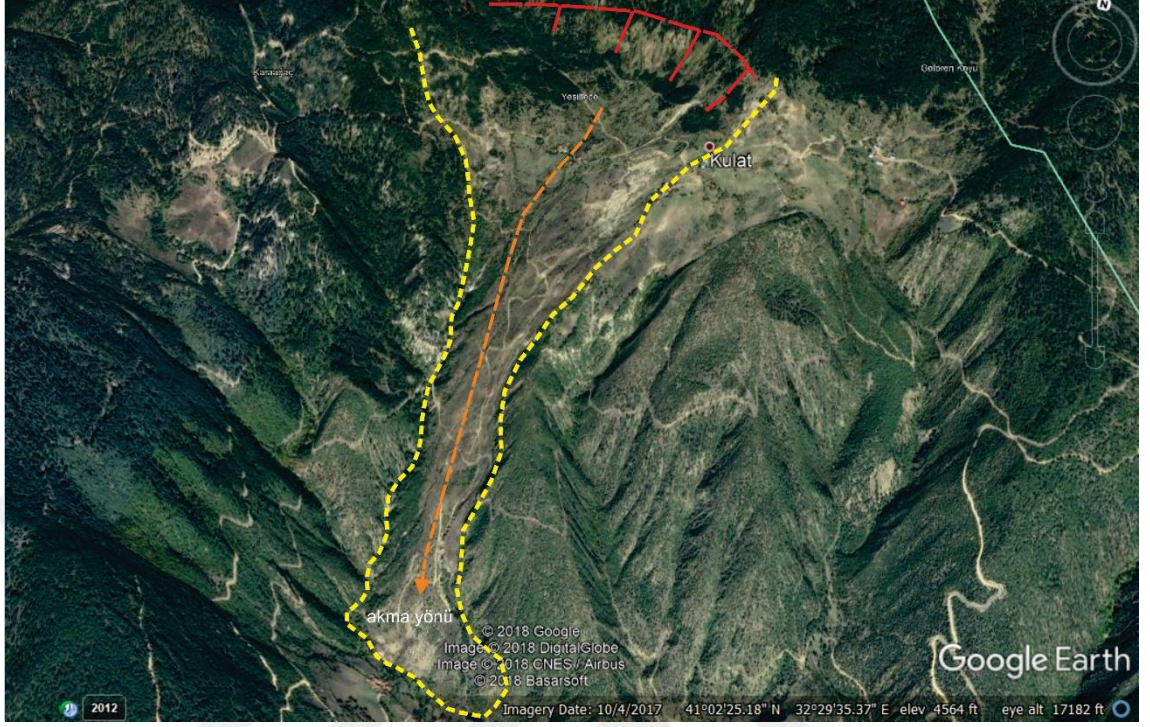
Şekil 4.3. Karabük İl merkezinin kuzeyinde gözlemlenen çoklu akmalara ilişkin örnekler.



Şekil 4.4. Cumayani beldesinin kuzeydoğusunda gözlemlenen dairesel toprak kaymaları.



Şekil 4.5. İnceleme alanında gözlemlenen dairesel toprak kayması



Şekil 4.6. İnceleme alanında gözlemlenen karmaşık türde meydana gelen heyelan

İnceleme alanının içerisinde yer alan Karabük, heyelanların sıklıkla meydana geldiği bir ilimizdir. Bölgenin özellikle jeolojik ve topoğrafik özellikleri heyelan oluşuma neden olan bir yapıdadır.

Afet İşleri Genel Müdürlüğüne 1950-2000 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde heyelanların, Üst Kratase fliş tipi birimlerinde ve Karabük Tersiyer havzasında yüzeyleyen Eosen flişleri ve bölge güneyinde yüzeyleyen Olistostrom tipi birimlerde, uygun meteorolojik şartlarda oluştuğu söylenebilir. Bölgede kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniğine bağlı yoğun kıvrımlanma ve ters faylarla şekillenen aşırı tektonik yapı, heyelan oluşumunda önemli etkiye sahiptir. Yamaç topuklarının akarsular ve yollar tarafından aşındırılması da heyelan gelişimi yönünde önemli topoğrafik ve çevresel nedenler olarak gözlenmektedir (Temiz 2006).

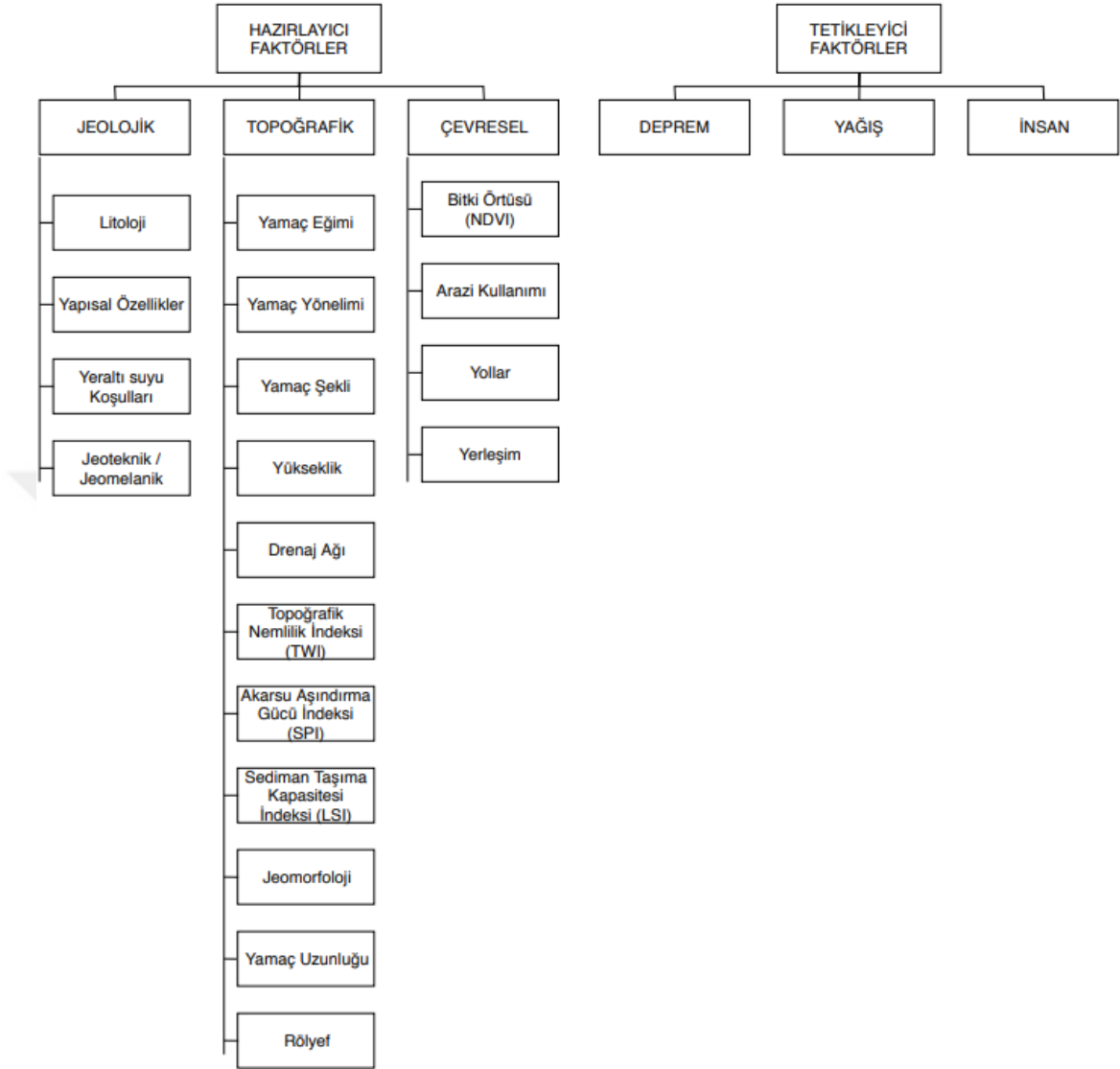
Bölgede jeolojik ve topoğrafik etmenler ile oluşan heyelanlar meteorolojik ve sismik etkiler ile de tetiklenebilmektedir. Örneğin 1985 yılında oluşan bölgesel heyelanlar ani

kar erimelerine bağlı gelişirken, 1998 yılında meydana gelenler ise aşırı yağış ve sel etkisiyle tetiklenmiştir. Bu nedenle meteorolojik etkenlerin önde gelen heyelan tetikleyici unsurlar olduğu söylenebilir. Bunun yanı sıra 1944 Gerede depremi sırasında sismik aktivite neticesince Karabük merkezde ve Eskipazar'da (Hocaköy) heyelanlar meydana gelmiştir (Temiz 2006).

Bölgede kayma, akma ve karışık (birden fazla türde) olmak üzere farklı türlerden heyelanlar meydana gelmektedir. Yer yer, jeolojik yapının karmaşıklığı sebebiyle heyelanlar, kaya düşmesi ve yamaç topuklarında da akma bileşenlerine sahip olması nedeniyle karışık türde özellikler de gösterebilmektedir. Karabük il merkezindeki mahallelerde (Atatürk ve Yeşil Mahalle gibi) marn üzerindeki siltli ve kumlu birimlerin tabaka yüzeyleri boyunca aktıkları görölmektedir. Düzlemsel kaymalara da özellikle Soğanlı Çayı vadisi boyunca rastlamak mümkündür. Dairesel kaymalar ise genelde Yenice ilçesinde Çengeller, Nodullar, Döngeller, Satuk, Tır, Akmanlar, Ömerler ve Manavarlar; Ovacuma ilçesinde Tintin; Eskipazar ilçesinde Doğancılar köyü sınırlarında görölmektedir (Temiz 2006).

4.2. Heyelan Duyarlılık Değerlendirme Parametreleri

Literatür incelendiğinde, heyelan duyarlılık değerlendirilmelerinde kullanılan ve heyelanların oluşumuna etki eden parametreler genel olarak iki sınıfta toplanmıştır. Bunlar; hazırlayıcı parametreler ile tetikleyici parametreler olarak ifade edilmiştir. Hazırlayıcı parametreler jeolojik, topografik ve çevresel alt başlıklara ayrılırken, tetikleyici parametreler; yağış, deprem ve insan alt başlıklarında değerlendirilmiştir (şekil 4.7).

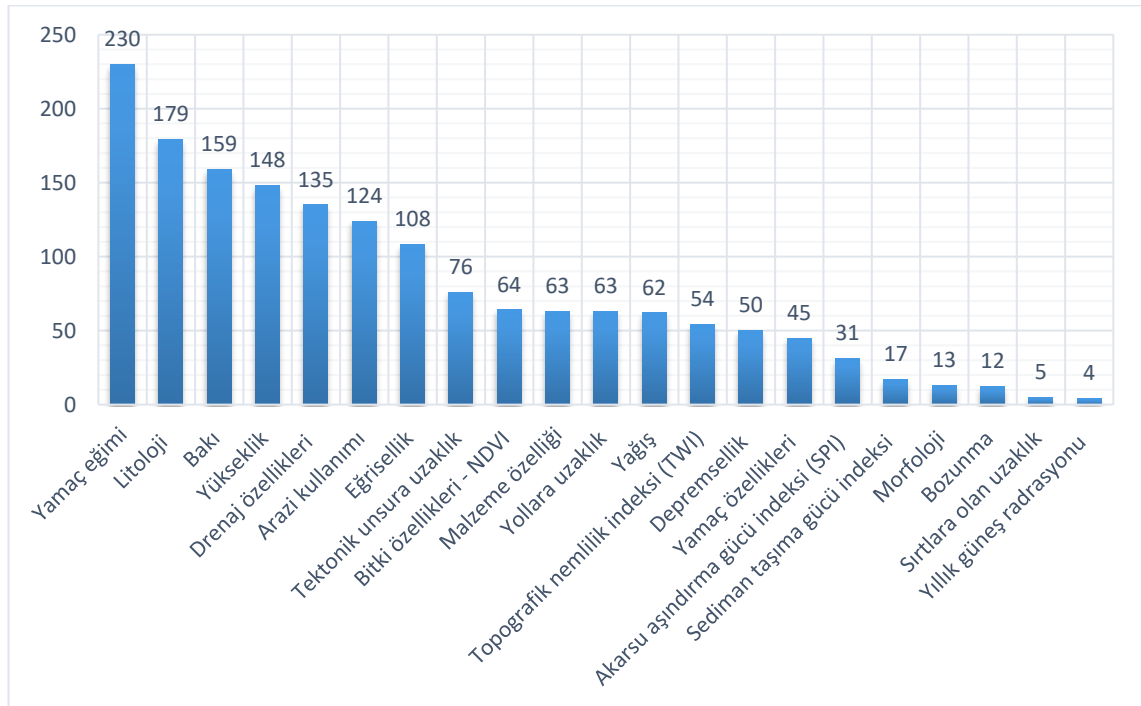


Şekil 4.7. Heyelana neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler (Çellek 2013).

Heyelanların aktivitesinde ve değerlendirilmesinde son derece önemli bir rol oynayan hazırlayıcı parametreler, bir bölgenin heyelan duyarlılığında göreceli olarak sınıflandırılmasında büyük öneme sahiptir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Ayrıca bu parametreler heyelan çalışmalarının ön değerlendirmesinde, tehlike ve risk analizlerinin ortaya konmasında kullanılması zorunlu parametreler olarak belirlenmektedir (Ercanoğlu 2005).

Literatür incelendiğinde, heyelanın hazırlayıcı faktörlerin belirlenmesinde, belirli bir yöntem bulunmamaktadır (Ayalew and Yamagishi 2005). Bir bölgede meydana gelen heyelanlar için belirlenen bir parametre, heyelan oluşumunda önemli bir hazırlayıcı faktör olabilir fakat aynı parametre başka bir bölge için etken olmayabilir (Chen et al. 2014). Bu konu hakkında var olan belirsizlik üzerine, ülkemizde de çeşitli tarihlerde yapılan birçok araştırma mevcuttur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001; Ercanoğlu 2003; Akgün 2007; Dağ 2007; Nefeslioğlu vd 2008; Hasekioğulları 2010; Çellek 2013; Tetik Biçer 2017). Bu araştırmalar incelendiğinde; daha önce heyelan duyarlılık üzerine yapılmış araştırmalar üzerinden parametrelerin kullanım oranları ve sıklıkları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Örneğin, bu konuda en uzun dönem aralığını kapsayan çalışma olması nedeniyle Tetik Biçer (2017) tarafından yapılan araştırma ele alınmıştır. Bu çalışmada, 1990-2016 yılları arasında heyelan duyarlılık analizi, tehlike ve risk değerlendirmesi amacıyla yapılan 266 çalışmaya ilişkin kullanılan parametreler değerlendirilmiş ve bu parametrelere ilişkin kullanım oranları ve sayıları paylaşılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. 1990 - 2016 yılları arasında heyelan duyarlılık çalışması kapsamında hazırlanan makalelerde kullanılan parametreler (Tetik Biçer 2017).

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde parametrelerin belirlenmesine ilişkin çalışmalar genel olarak incelendiğinde; son 30 yılı aşkın süre içerisinde bilgisayar ve uydu sistemlerindeki teknolojilerin gelişmesi ile birlikte CBS'nin kullanımı hızla artmış, buna paralel olarak heyelan duyarlılık çalışmaları daha fazla uygulanabilir hale gelmiştir. Ayrıca, analizlerde kullanılan parametrelerin hem çeşitliliği hem de niteliklerinde artış gözlemlenmiştir. Heyelanın hazırlayıcıları ve tetikleyicileri bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceğinden parametrelerin seçimi konusunda literatürde bir standart bulunmamaktadır.

Parametreler, çalışılan bölgenin özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenebilmektedir. Bununla birlikte literatürde, heyelana en fazla etki eden parametrelerin yamaç eğimi ve litolojinin olduğu ifade edilebilir. Ayrıca, sırasıyla; bakı, topoğrafik yükseklik, drenaj özellikleri, arazi kullanımı ve eğrisellik, tektonik unsura uzaklık ve bitki özellikleri de heyelan değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan parametrelerdir (Tetik Biçer 2017).

İnceleme alanı için yapılacak heyelan duyarlılık değerlendirmesinde; literatürde yer alan önceki çalışmalar, saha çalışması, uydu görüntüleri, sismik aktivite ve yağış verileri heyelan envanteri parametrelerin seçimi aşamasında bir bütün olarak ele alınmıştır. Yapılan inceleme sonucunda inceleme sahası için yapılacak heyelan duyarlılık değerlendirmesinde başta litoloji ve eğim parametreleri olmak üzere, yükseklik, bakı, drenaj ağları, TWI, arazi kullanımı, yollara uzaklık, yamaç plan ve profil eğrisellikleri ile NDVI parametreleri heyelan duyarlılık değerlendirmesi için belirlenmiştir.

4.3. Parametrelerin Üretilmesi

İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması kapsamında gerçekleştirilecek analizlerde, belirlenen parametrelerin üretilmesine ilişkin veri türleri ve temin edilen kaynakları Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Üretilen parametrelere ilişkin veri türleri ve veri kaynakları.

Veri Türü	Veri Kaynağı	Üretilen Parametre
Yükseklik (SYM)	Harita Genel Komutanlığı	Yükseklik
		Eğim
		Bakı
		Drenaj Ağı
		TWI
		Yamaç Plan/Profil Eğr.
Jeoloji (Formasyon)	MTA	Litoloji
Yol	OpenStreetMap	Yollara Uzaklık
Arazi Kullanımı	CORİNE	Arazi Kullanımı
Uydu Görüntüsü	Sentinel 2 Uydusu	NDVI

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında genellikle piksel tabanlı bir yaklaşım söz konusudur. Bu kapsamda çalışmada kullanılan veriler CBS ortamında raster veri formatında üretilmiş, farklı formatta olan veriler ise yine aynı ortamda raster formatına dönüştürülmüştür.

Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli, 10 m kontur aralıklı 1:25.000 ölçekli sayısal kontur haritasından elde edilmiştir. Hazırlanan diğer parametreler de bu kapsamda 10x10 m en küçük piksel birimi olacak şekilde üretilmişlerdir. Oluşturulan sayısal yükseklik modeli ve türev haritalarında, analizlerde kullanılan diğer haritalarda ve heyelan duyarlılık haritalarında, projeksiyon sistemi olarak Universal Transver Merkatör (UTM) WGS 1984 datumu kullanılmıştır (WGS_1984_UTM_Zone_36N).

Belirtilen parametrelerin heyelan oluşumuna etkisinin araştırılmasında; parametreler uzman görüşüne dayalı olarak alt sınıflara ayrılmış ve her bir alt sınıf için heyelan envanteri kullanılarak heyelan yoğunluğu hesabı yapılmıştır. Heyelan yoğunluğu hesabı yapılırken şu adımlar uygulanmıştır; parametre alt sınıflarında meydana gelen heyelanlara ait piksel sayısının, her bir parametrenin heyelanlı toplam piksel sayısına

oranı (B), % mertebesinde hesaplanmıştır. Daha sonra parametre alt sınıflarının her birine karşılık gelen piksel sayısının, o parametrenin toplam alan içerisindeki piksel sayısına oranı (A), % mertebesinde hesaplanmıştır. Elde edilen B/A oranlarının toplamı 1'e normalize edilerek her bir parametre alt sınıfı için heyelan yoğunluğu değerleri elde edilmiştir.

İnceleme alanı için, Çizelge 4.1'de belirtilen parametrelerin üretilmesine, bu parametrelere ait genel bilgilere alt başlıklarda yer verilmiştir.

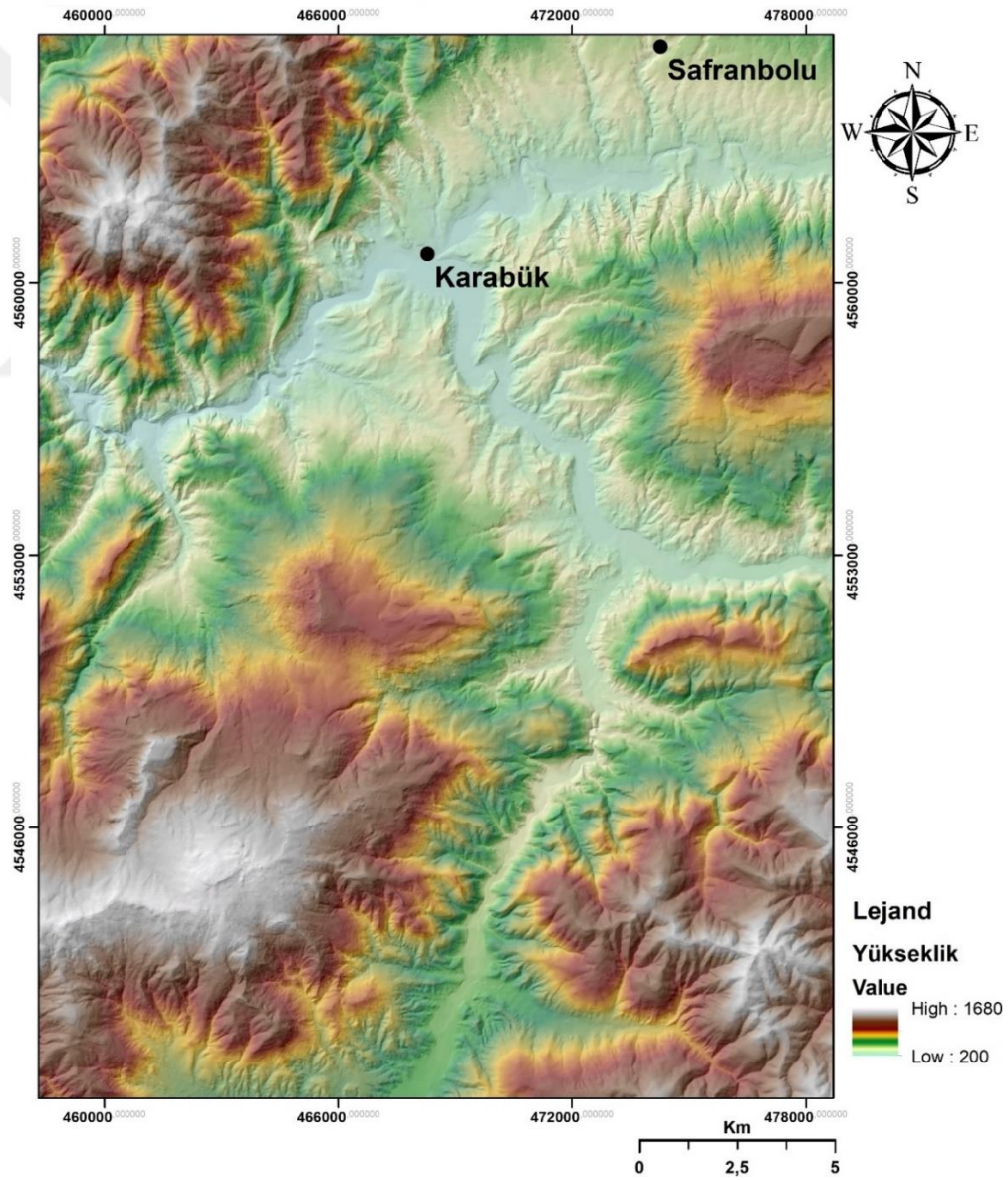
4.3.1. Topoğrafik yükseklik

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan topoğrafik yükseklik parametresi bir noktanın deniz seviyesinden yüksekliği olarak ifade edilmektedir. Heyelanların oluşumunda, göreceli olarak daha yüksek kotlardaki bölgeler, daha düşük kotlardaki bölgelere göre heyelana karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Bunun sebebi yüksek kesimlerde yer alan yamaçların daha fazla yağış alması ve sismik aktivitelerin daha yüksek oranda etkili olması olarak açıklanmaktadır.

Çalışma alanının topoğrafik yükseklik haritası, Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal yükseklik konturlarından üretilmiştir. Bu aşamada Arcgis 10.2 yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik konturları ile TIN (Triangulated Irregular Network) modeli üçgensel ağlar şeklinde oluşturulmuş, daha sonra TIN verisinin raster formatına çevrilmesi ile DEM (Digital Elevation Model, Sayısal Yükseklik Modeli) üretilmiştir (Şekil 4.9). Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), 200m yükseklik aralıkları ile yeniden sınıflandırılmıştır. İnceleme alanında en düşük seviyenin 200 m, en yüksek seviyenin 1680 m, ortalama yüksekliğin ise 743 m olduğu görülmüştür.

İnceleme alanına ait topoğrafik yükseklik parametresinin, alt sınıflarında belirlenen yükseklik seviyeleri ile heyelan yoğunluğu arasındaki ilişki Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

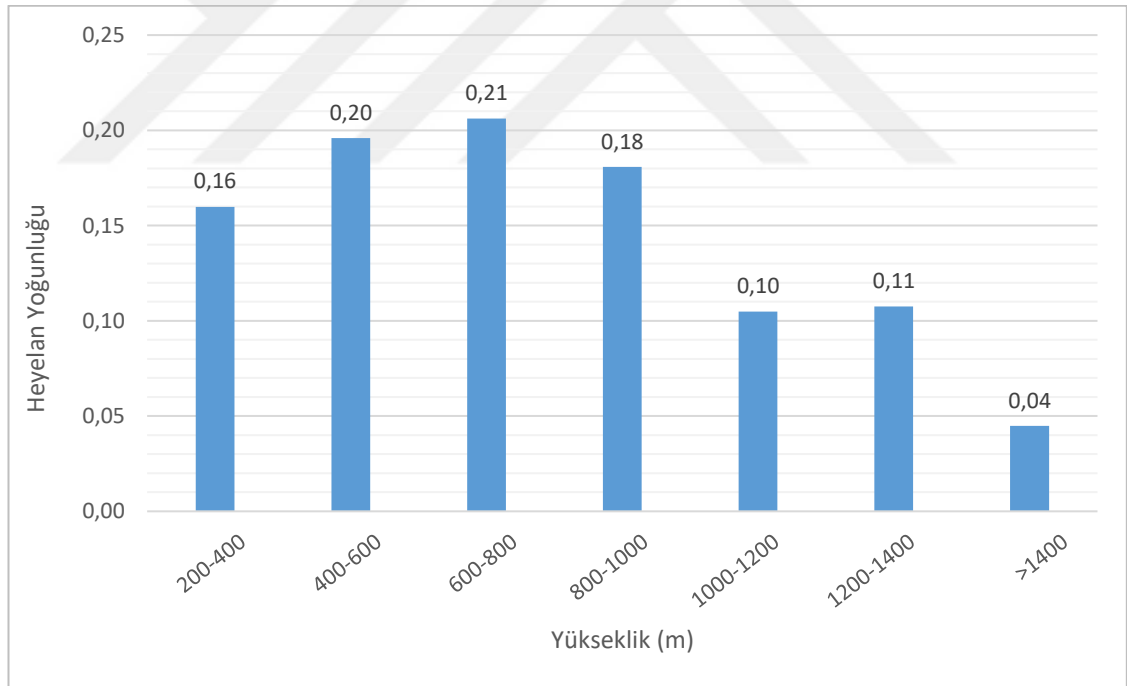
İnceleme alanı için, heyelan oluşumunda en etkili yükseklik alt sınıfın %21 heyelan yoğunluğu ile 600-800 m yükseklik alt sınıfı olduğu belirlenmiştir. Heyelan yoğunluğunun en sık gözlemlendiği 2 nci alt sınıf 400-600 m yükseklik alt sınıfı olup, bu sınıfa karşılık gelen alanlarda heyelan yoğunluğunun %20 oranında olduğu görülmüştür. Heyelanların en sık gözlemlendiği 3 üncü alt sınıfın da %18 heyelan yoğunluğu ile 800-1000 m aralığı olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanında 1400 m'den yüksek bölgelerde heyelan yoğunluğunun %4 oranında olduğu görülmüş olup, bu yükseklikten itibaren heyelanların oluşumunun azaldığı ifade edilebilir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli

Çizelge 4.2. Yükseklik alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Yükseklik (m)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
200-400	891666	15,35	71028	14,65	0,95	0,16
400-600	1387998	23,90	135565	27,96	1,17	0,20
600-800	1235318	21,27	126894	26,17	1,23	0,21
800-1000	936311	16,12	84360	17,40	1,08	0,18
1000-1200	723357	12,45	37813	7,80	0,63	0,10
1200-1400	482439	8,31	25873	5,34	0,64	0,11
>1400	151277	2,60	3379	0,70	0,27	0,04
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	5,97	1,00



Şekil 4.10. Yükseklik alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

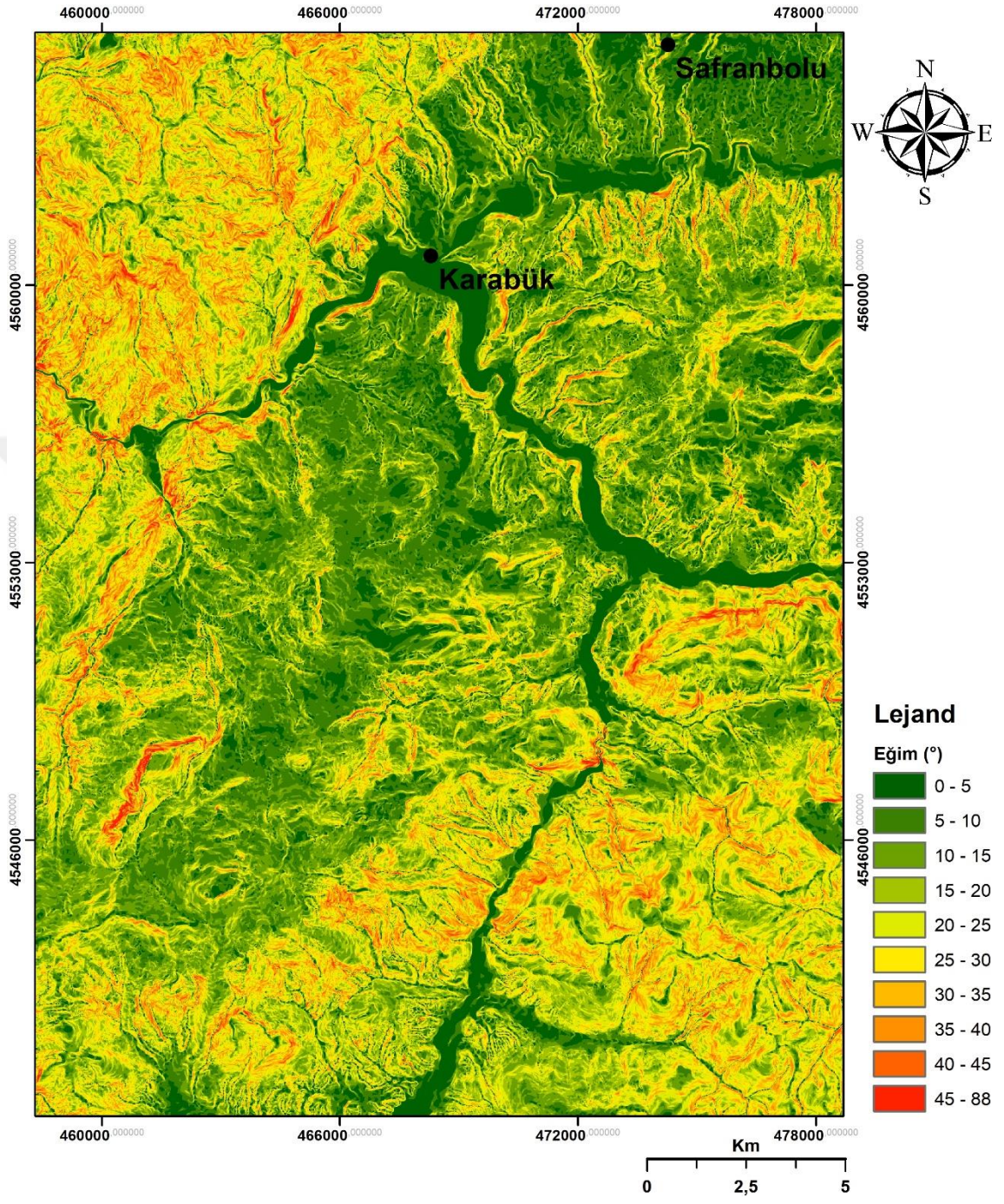
4.3.2. Yamaç eğimi

Eğim parametresi, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde en çok kullanılan faktör olarak ifade edilebilir. Yamaç eğimi, topografik dikliğin azalma yönünde yükseklik değerlerindeki değişim miktarının bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir (Gallant and Wilson 2000). Yamaç eğimi, yerçekimine bağlı olarak malzemenin taşınmasına ve aşınmasına doğrudan etki etmekte ve dolayısıyla erozyon potansiyeli, zemin yapısı ve yamaç yüzeyi gibi özellikleri de önemli derecede etkilemektedir. Bunun yanı sıra hidrolojik süreçler ile yer altı ve yüzey sularını kontrol etmektedir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde eğim parametresine ilişkin genel eğilim, eğim değerleri arttıkça heyelana karşı duyarlılığın da artması şeklindedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, bu değerlendirmenin heyelanların meydana geldiği yamaçlardaki en küçük ve en büyük eğim derecelerinin bulunduğu aralık için kabul edilebilir bir değerlendirme olduğudur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001).

Sayısal yükseklik modelinin birincil türevlerinden biri olarak ifade edilen yamaç eğimi parametresi Arcgis 10.2 yazılımı kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 4.11). Üretilen eğim haritasında değerler; 0-5°, 5°-10°, 10°-15°, 15°-20°, 20°-25°, 25°-30°, 30°-35°, 35°-40° ve >45° olmak üzere 10 alt sınıf olarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki heyelanlar incelendiğinde, 10°-15° eğim aralığında olan bölgede heyelan yoğunluğunun %23, 5°-10° eğim aralığında olan bölgede heyelan yoğunluğunun %19 ve 15°-20° eğim aralığında olan bölgede de heyelan yoğunluğunun %18 olduğu ifade edilebilir (Çizelge 4.3, Şekil 4.12).

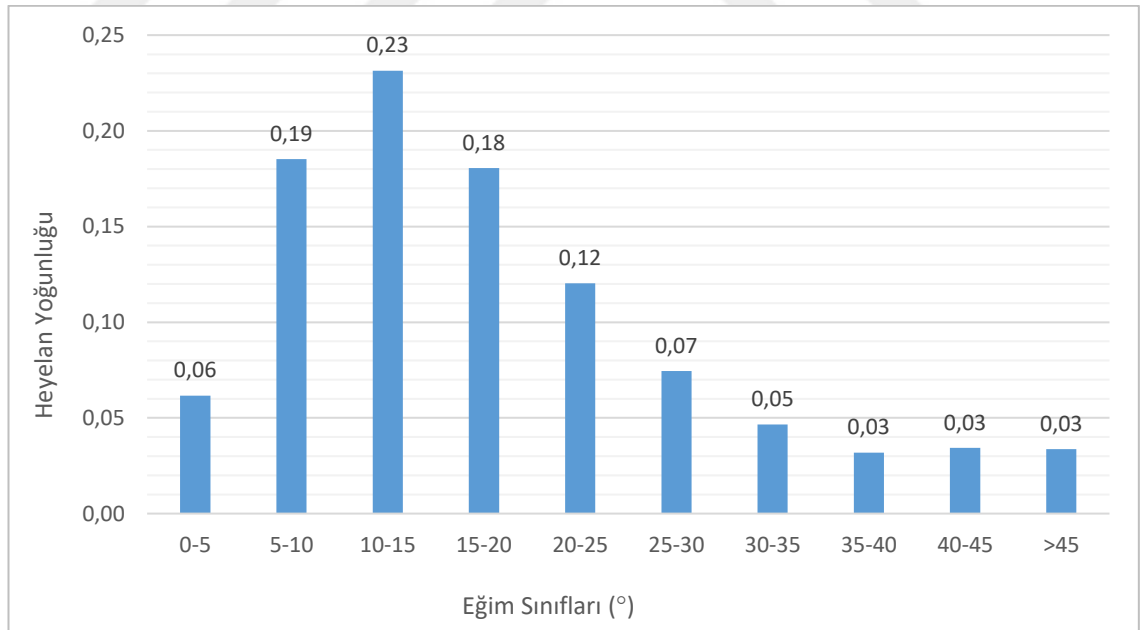
Heyelan yoğunluğu büyük ölçüde 5°-20° eğim aralığında yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla bu eğim derecelerinde yer alan alanların heyelana karşı daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.11. İnceleme alanının yamaç eğim haritası

Çizelge 4.3. Yamaç eğimi alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Yamaç Eğimi (°)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
0-5	604637	10,41	22627	4,67	0,45	0,06
5-10	927364	15,97	104208	21,49	1,35	0,19
10-15	1042291	17,94	146361	30,18	1,68	0,23
15-20	923311	15,90	101129	20,86	1,31	0,18
20-25	815948	14,05	59542	12,28	0,87	0,12
25-30	687113	11,83	31066	6,41	0,54	0,07
30-35	472433	8,13	13354	2,75	0,34	0,05
35-40	230915	3,98	4464	0,92	0,23	0,03
40-45	76638	1,32	1595	0,33	0,25	0,03
>45	27716	0,48	566	0,12	0,24	0,03
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	7,27	1,00



Şekil 4.12. Yamaç eğimi alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

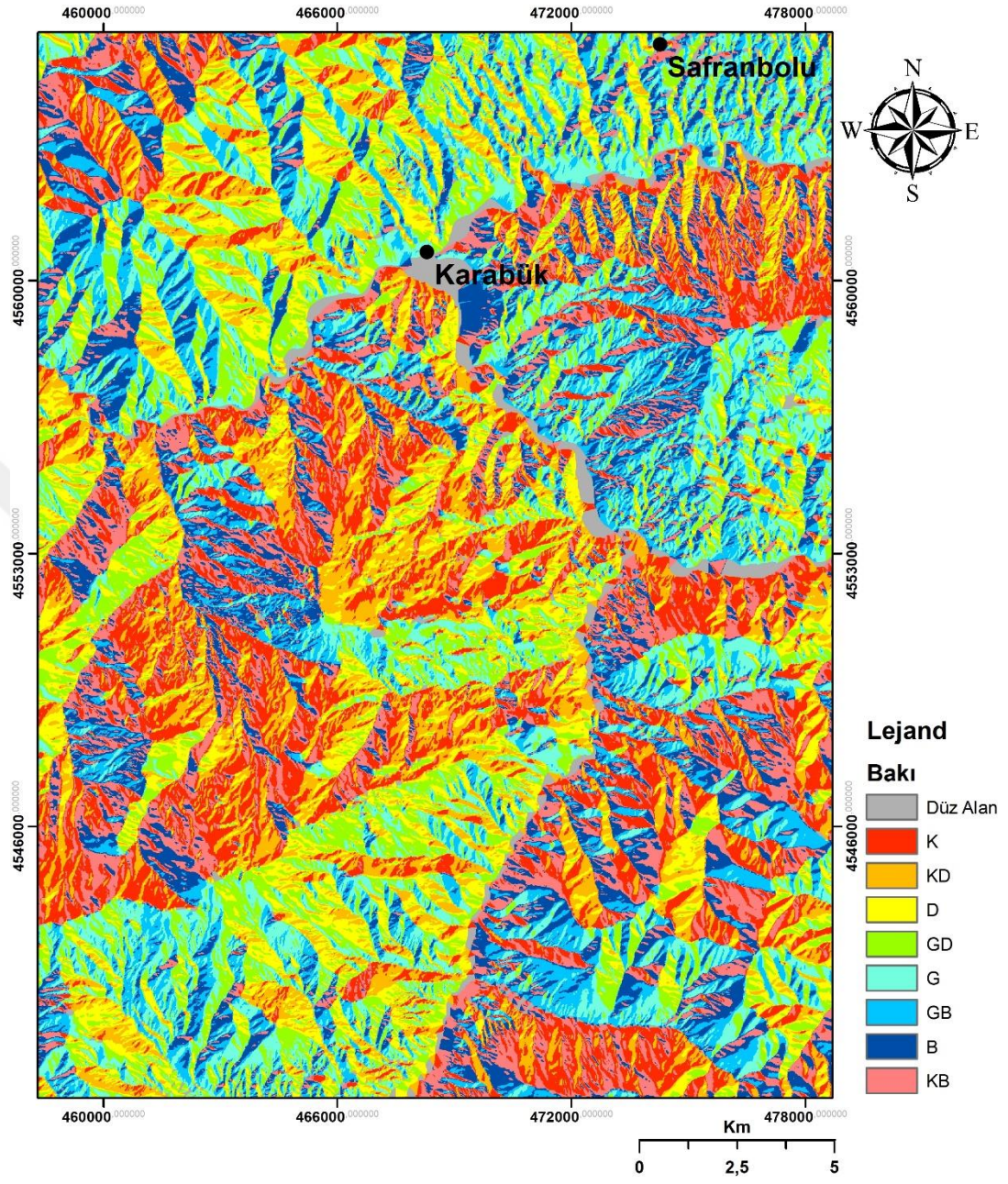
4.3.3. Bakı

Bakı, arazi yüzeyinin yönünün ifade edilmesinde kullanılan bir parametredir. Yamacın eğim yönünün kuzey ile yaptığı açının azimut cinsinden ölçülmesidir ve 0° ile 360° derece arasında değerler alabilmektedir. Bunun yanı sıra eğim haritası oluşturulurken ana ve ara coğrafik yönler esas alınarak da gösterim yapılabilmektedir.

Heyelanın oluşumu açısından bakı parametresi üzerinde çalışmalar yapılıyor olmasına rağmen, bu faktörünün heyelanın oluşumunda doğrudan etkisi olduğu hakkında genel bir görüş bulunmamaktadır (Carrara et al. 1991). Bunun yanı sıra bu parametre heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde araştırmacılar tarafından dikkate alınmaktadır. Bunun nedeni yamacın su muhtevasının ve bitki örtüsünün bakı tarafından denetlenmesi düşüncesidir. Farklı yönlere bakan yamaçlarda; atmosferik olaylara karşı etkilenme süreçleri de farklılık göstermektedir. Bunun sonucunda yamaçların; güneş ışığı alma süreleri, yağışlardan etkilenme durumları, malzemenin ayrışması ve aşınmasına etki eden donma ve çözülme olayları bakı parametresi ile ilişkilendirilebilir (Dai and Lee 2002).

Çalışma alanına ait bakı haritasının üretilmesinde SYM kullanılarak Arcgis 10.2 yazılımından faydalanılmıştır. Üretilen harita heyelan duyarlılık analizleri için coğrafi yönler temel alınarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 4.13).

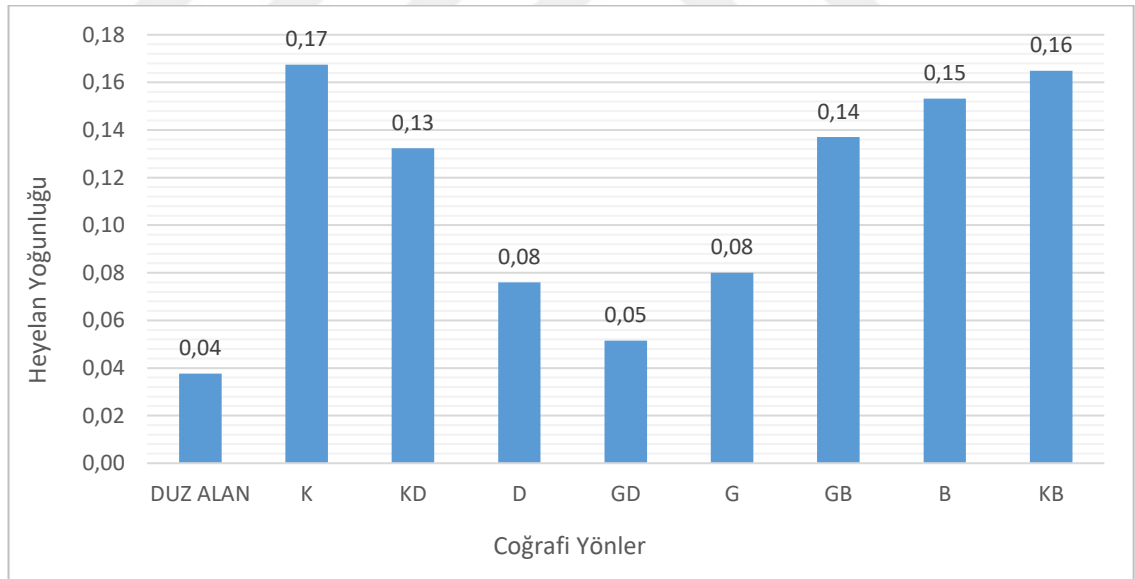
Bakı haritasının üretilmesi ve heyelan envanteri ile ilişkilendirilmesi sonucunda, Kuzey yönü hakim yamaçlarda heyelanların daha yüksek oranında meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4.14). Bunun yanı sıra kuzeybatı ve Batı yönü hakim yamaçlarda da diğer yönlere göre heyelan yoğunluğu daha fazladır (Çizelge 4.4).



Şekil 4.13. İnceleme alanının bakı haritası

Çizelge 4.4. Bakı alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Bakı	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
DUZ ALAN	188207	3,24	4993	1,03	0,32	0,04
K	807619	13,90	95384	19,67	1,41	0,17
KD	711611	12,25	66428	13,70	1,12	0,13
D	675884	11,64	36204	7,47	0,64	0,08
GD	703896	12,12	25590	5,28	0,44	0,05
G	703721	12,12	39679	8,18	0,68	0,08
GB	626929	10,79	60581	12,49	1,16	0,14
B	673956	11,60	72769	15,01	1,29	0,15
KB	716543	12,34	83284	17,18	1,39	0,16
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	8,45	1,00



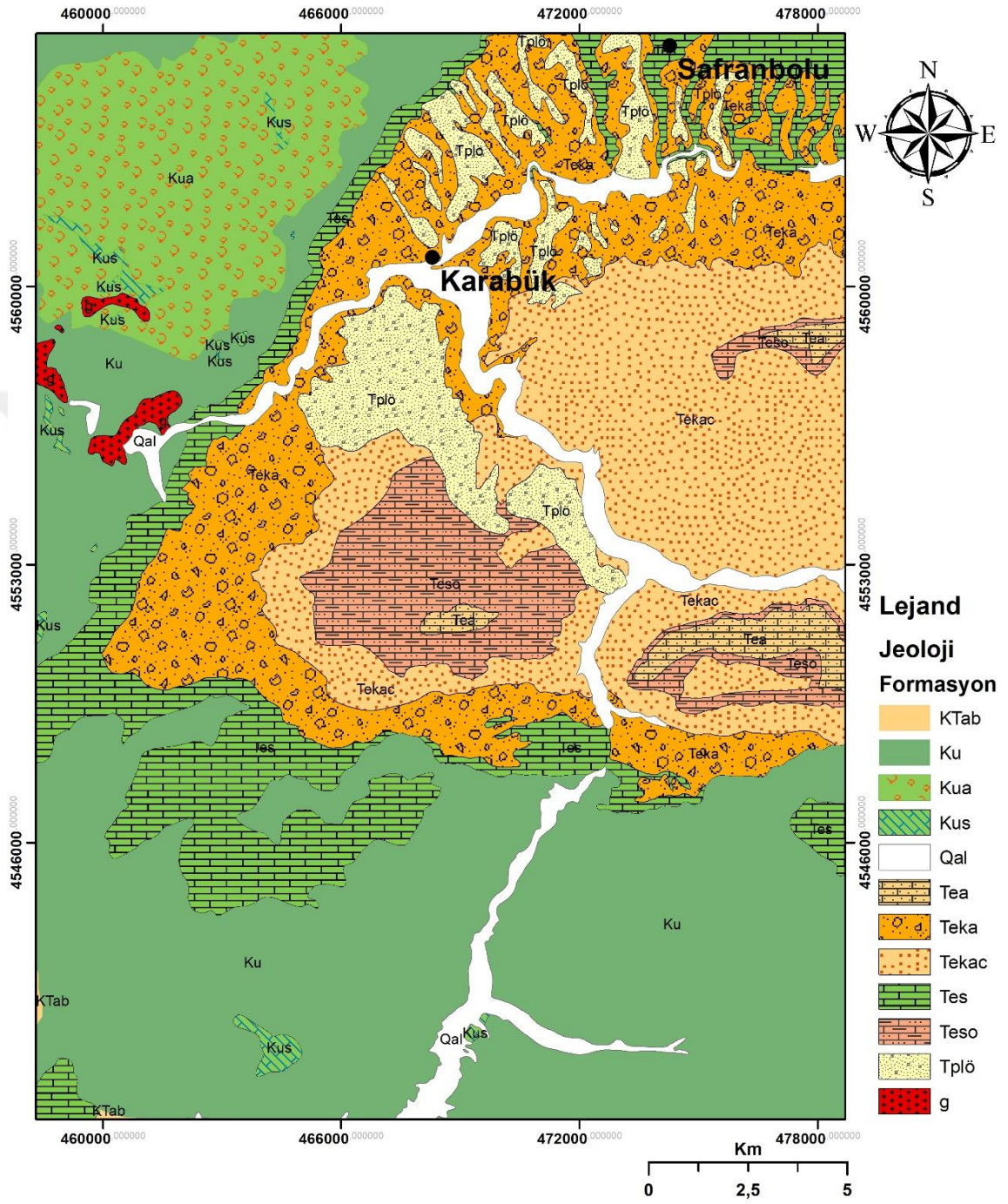
Şekil 4.14. Bakı alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

4.3.4. Litoloji

Litoloji, yamacı oluşturan birimlerin; geçirimsizlik, kohezyon, bozunma ve kayma gerilimleri gibi özelliklerini kontrol eden bir parametredir (Çellek 2013). Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde çok sık kullanılan bu parametre için bazı araştırmacılar, arazide yapılan ve doğrudan saha gözlemlerini içeren nitel değerlendirmeleri kullanmış, bir kısım araştırmacı da istatistiksel değerlendirmeler ile birlikte veya sadece malzemenin jeomekanik özelliklerini değerlendirerek nicel bir değerlendirme yapmışlardır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Bu çalışma kapsamında istatistiksel analizler yardımıyla litoloji parametresi çalışma sahası içerisinde yer alan formasyon sınırları içerisinde heyelanların yoğunluklarının hesaplanması şeklinde kullanılmıştır. Buradaki amaç hangi formasyonların litolojik özellikleri açısından heyelan oluşumunda etkin olduklarının saptanmasıdır.

Heyelan ile litoloji ilişkisinin ortaya konulması amacıyla MTA tarafından hazırlanan jeoloji haritası temin edilmiş ve bu veri Arcgis 10.2 yazılımı aracılığıyla istatistiksel analizlerin yapılması amacıyla raster veri formatında saklanarak formasyonlar sınıflandırılmıştır (Şekil 4.15).

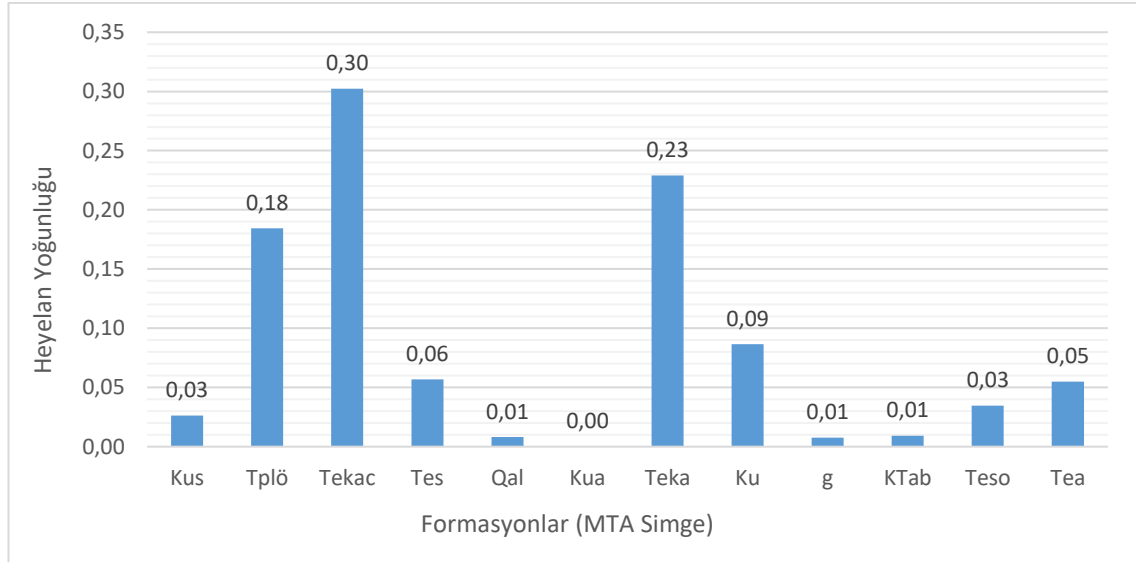
Çalışma bölgesinde 12 adet birim yer almaktadır, bu birimlerin heyelanların meydana gelmesindeki etkileri değerlendirildiğinde; heyelan yoğunluğunun %30 oranında Karabük formasyonunun Çerçen üyesinde (Tekaç) geliştiği gözlenmiştir. Bu birim konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve çamurtaşı araldanmasından oluşması ve bünyesindeki malzemelerin çok az tutturulmuş olmasından dolayı heyelanların yaşandığı tespit edilmiştir. Bölgede yer alan heyelanlar %23 yoğunluk oranında Karabük formasyonunun (Teka) kapladığı alanda meydana gelmiştir. Birim bünyesinde yer alan kumtaşlarının gevşek çimentolu, kolay ayrılan ve gözenekli bir yapıda olması heyelanların oluşumuna sebebiyet vermektedir. Heyelan yoğunluğunun Örencik formasyonu (Tplö) için %18 oranında hesaplanmasında, birimin genelde çok az tutturulmuş olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.16, Çizelge 4.5). Heyelanların duyarlılık analizlerinde litolojinin değerlendirilmesi büyük öneme sahiptir.



Şekil 4.15. İnceleme alanının litoloji sınırlarını gösterir harita

Çizelge 4.5. Litoloji alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Litoloji (MTA Simge)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Kus	36073	0,62	622	0,13	0,21	0,03
Tplö	308029	5,30	37393	7,71	1,45	0,18
Tekac	850684	14,65	169301	34,91	2,38	0,30
Tes	605926	10,43	22619	4,66	0,45	0,06
Qal	251043	4,32	1336	0,28	0,06	0,01
Kua	503640	8,67	0	0,00	0,00	0,00
Teka	870018	14,98	131222	27,06	1,81	0,23
Ku	1978572	34,06	112868	23,28	0,68	0,09
g	28962	0,50	147	0,03	0,06	0,01
KTab	12329	0,21	75	0,02	0,07	0,01
Teso	285009	4,91	6504	1,34	0,27	0,03
Tea	78081	1,34	2825	0,58	0,43	0,05
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	7,89	1,00



Şekil 4.16. Litoloji alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

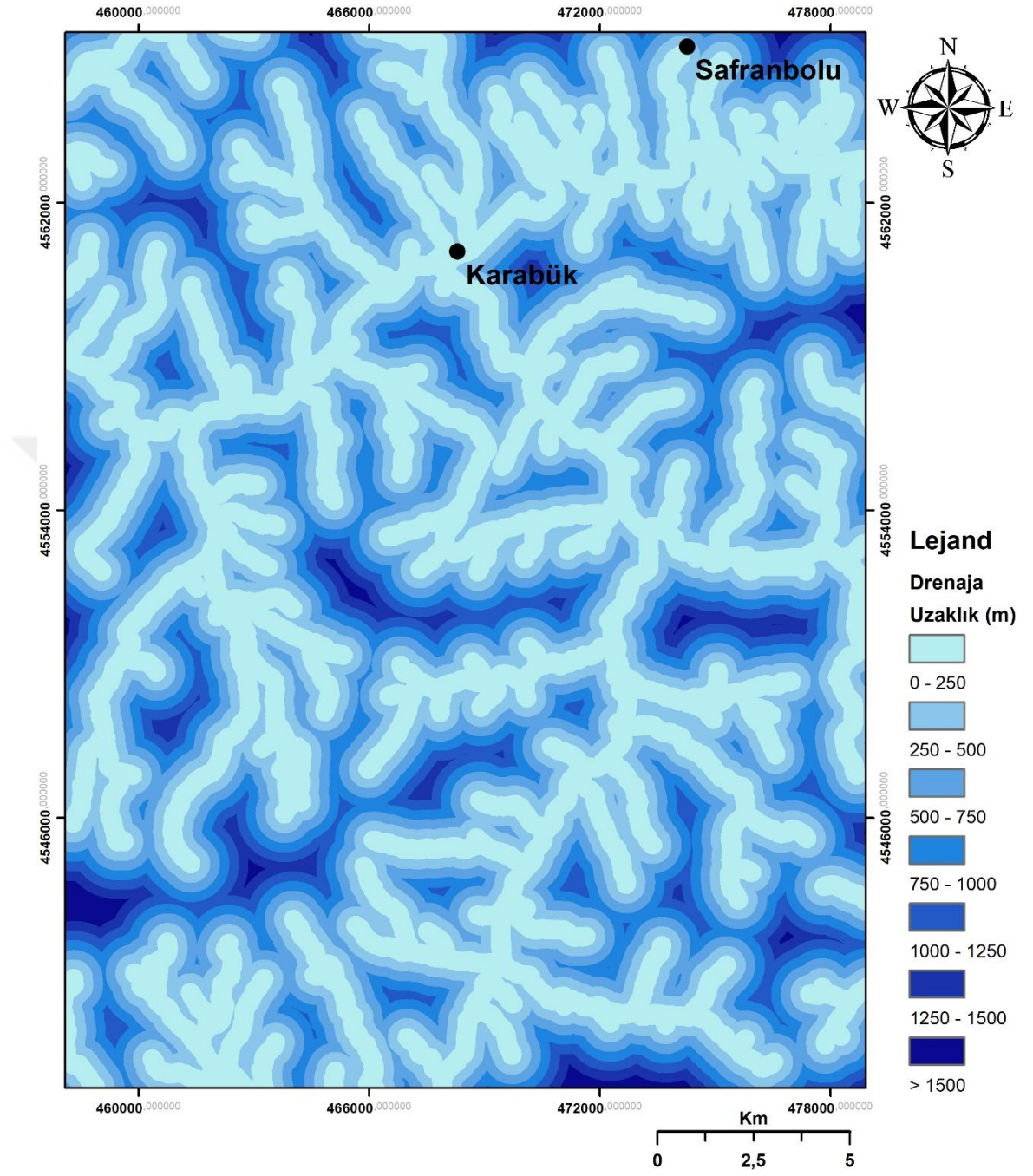
4.3.5. Drenaj ağılarına uzaklık

Heyelan duyarlılık çalışmalarında araştırmacılar tarafından tercih edilen drenaj ağılarına uzaklık parametresi literatürde akarsuya yakınlık olarak da yer almaktadır. Yapılan araştırmalarda, drenaj ağılarına olan uzaklık arttıkça heyelan duyarlılığının azaldığı, drenaj ağılarına olan mesafe düştükçe de heyelan duyarlılığının arttığı şeklinde genel bir görüş bulunmaktadır.

Akarsuyun ya da mevsimsel olarak akış sağlanan drenaj ağılarının hem yamaç topuğunu aşındırılması hem de yamaçlardaki malzemenin suya doymuş hale gelmesinden dolayı heyelan oluşumu açısından, olumsuz etkisi söz konusudur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001).

Drenaj ağılarının belirlenmesi amacıyla Arcgis 10.2 yazılımında yer alan hidroloji aracı kullanılarak SYM'den drenaj ağı haritası üretilmiştir (Şekil 4.17). Üretilen drenaj ağılarına yakınlık haritası 0 - 250 m, 250 - 500 m, 500 - 750 m, 750 - 1000 m, 1000 - 1250 m, 1250 - 1500 m ve 1500 m'den büyük olmak üzere 7 alt sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 5.6). Çalışma alanında yer alan heyelanlar ile drenaj ağı ilişkisi incelenerek heyelanların yoğunlukları hesaplanmıştır (Çizelge 4.6, Şekil 4.18).

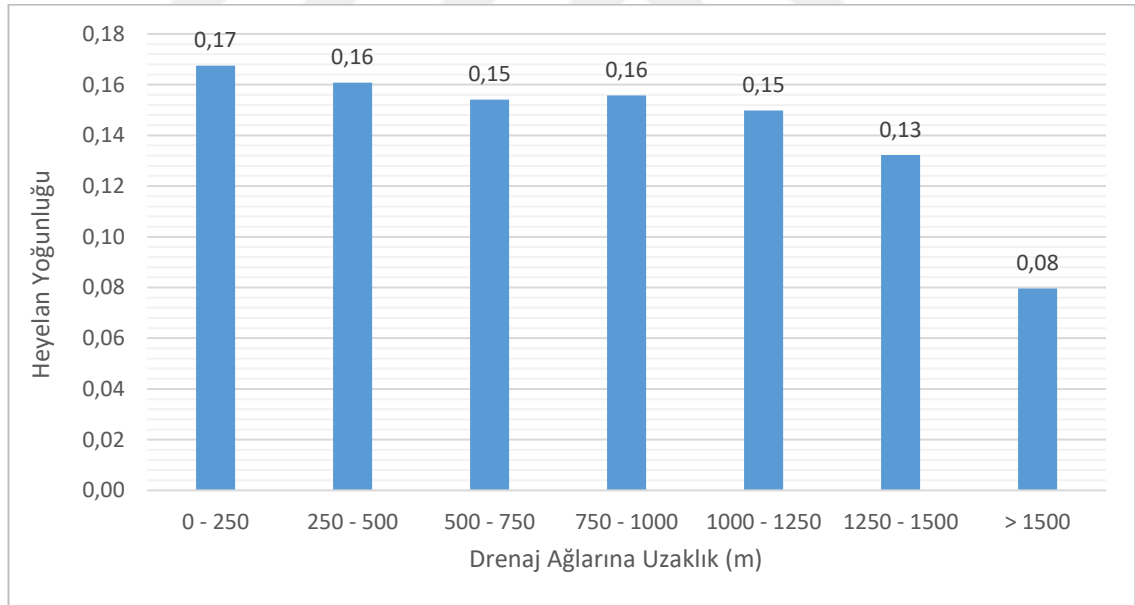
İnceleme alanında heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu alt sınıfın 0 - 250 m aralığı olduğu tespit edilmiştir. Drenaj ağılarına olan mesafe arttıkça heyelanların yoğunluklarının azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. İnceleme alanının drenaj ağlarından uzaklık sınırlarını gösterir harita

Çizelge 4.6. Drenaj ağlarına uzaklık alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Drenaj Ağlarına Uzaklık (m)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
0 - 250	1886468	32,48	165760	34,18	1,05	0,17
250 - 500	1504541	25,90	126883	26,17	1,01	0,16
500 - 750	1146966	19,75	92741	19,13	0,97	0,15
750 - 1000	740330	12,75	60499	12,48	0,98	0,16
1000 - 1250	357926	6,16	28131	5,80	0,94	0,15
1250 - 1500	134358	2,31	9320	1,92	0,83	0,13
> 1500	37777	0,65	1578	0,33	0,50	0,08
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	6,28	1,00



Şekil 4.18. Drenaj ağlarına uzaklık alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

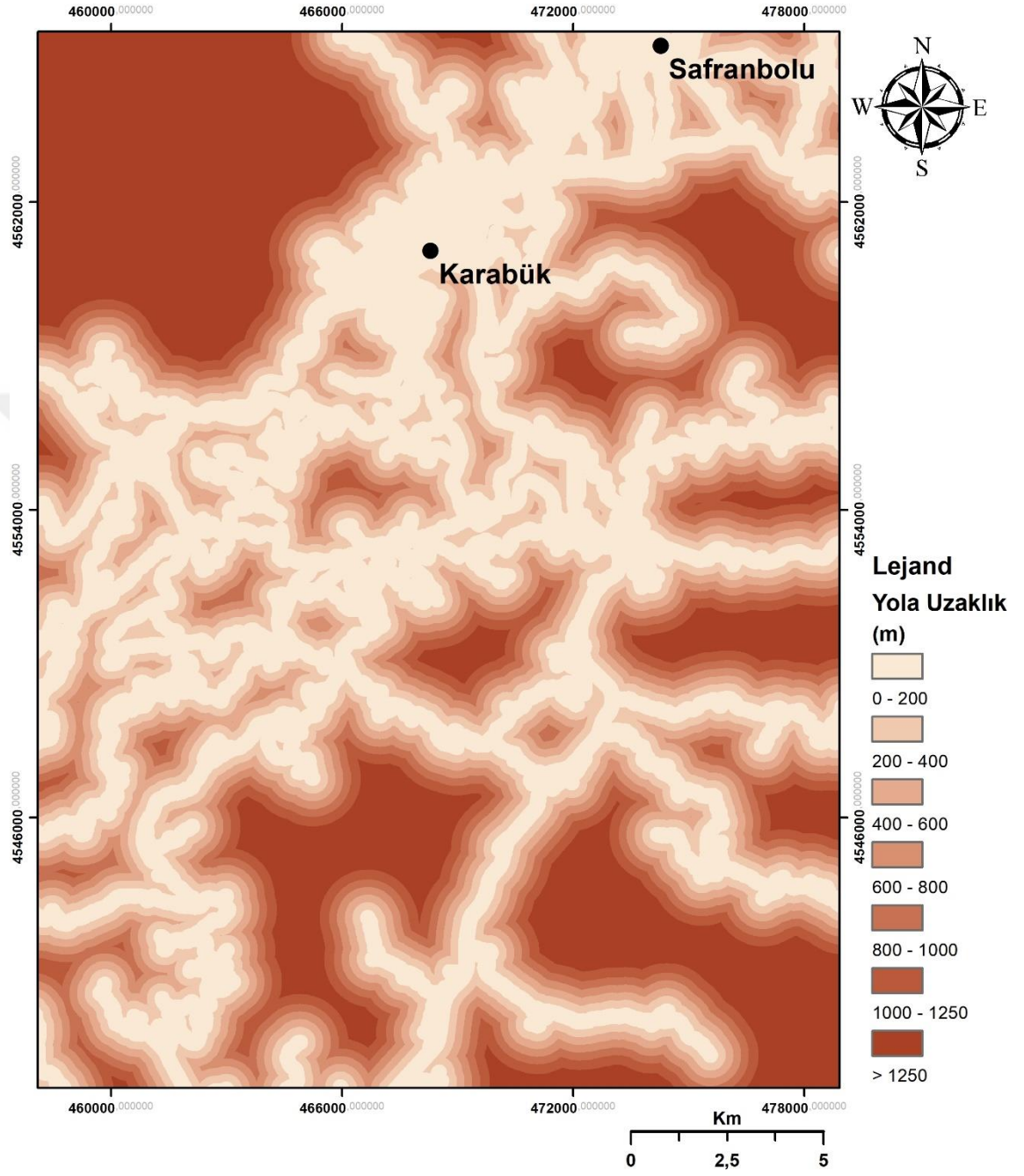
4.3.6. Yollara uzaklık

Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan yollara uzaklık parametresinin heyelan oluşumuna etkisi; yamaçlarda yol yapımının, yamacın stabilitesinin bozulmasına sebebiyet vermesi şeklinde açıklanmaktadır.

Yol yapımı kazılarında, yamaç topuğunda yükün azalması ve topografyanın değişmesi yamaç gerisinde gerilme artışlarına ve gerilme çatlaklarının oluşmasına neden olmakta, yamaçtan alınan malzeme ile şevin eğimi artmakta ve yamacın dengesi bozulmaktadır. (Çellek 2013).

Çalışma kapsamında yol verisi, OpenStreetMap Foundation (OSMF) tarafından açık veritabanı lisansı kapsamında lisanslanan açık bir veri olan OpenStreetMap'den temin edilmiştir. Alınan veri ile inceleme alanının yol haritası üretilmiş, yollara uzaklık haritasında 7 farklı tampon bölgesi oluşturulmuş ve bu bölgeler; 0–200 m, 200–400 m, 400–600 m, 600–800 m, 800–1000 m, 1000–1250 m ve 1250 m'den büyük olarak belirlenmiştir (Şekil 4.19).

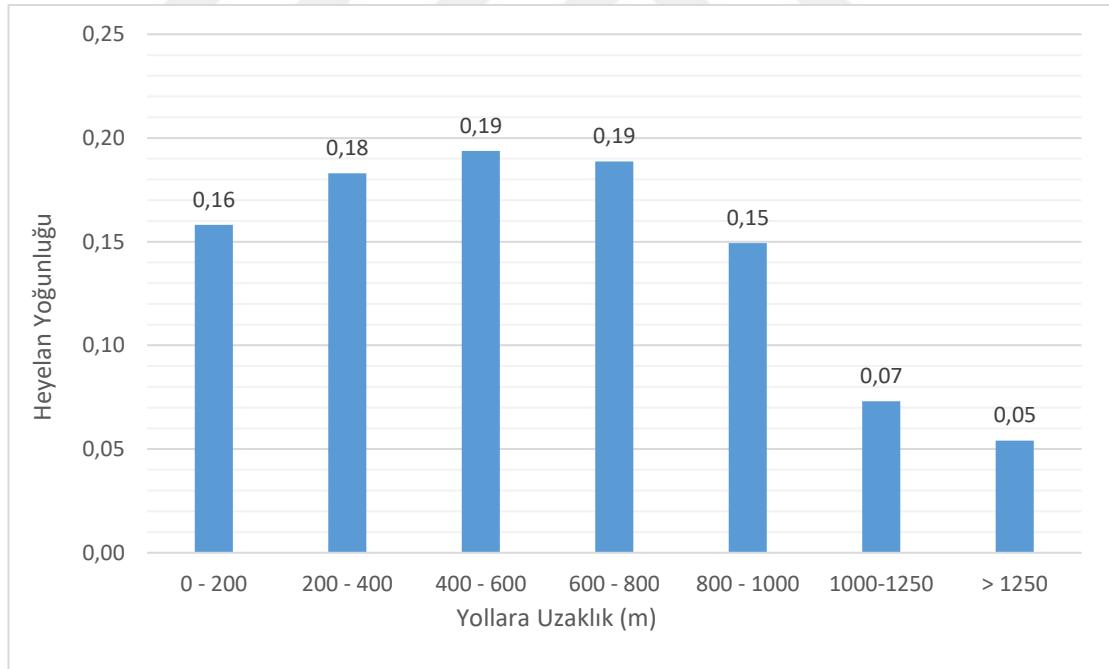
İnceleme alanı için, yol verisi ile heyelan envaterinin ilişkilendirilmesi sonucunda, heyelan yoğunluğunun %19 oranında en çok 400–600 m ile 600–800 m aralığında yer alan tampon bölgelerde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.20). 800–1000 m aralığında kalan alanlarda %15 oranında heyelan yoğunluğundan söz etmek mümkündür. 1000-1250 m aralığında yer alan tampon bölgelerde %7 heyelan yoğunluğu tespit edilmiştir. İnceleme alanında yer alan yollara 1250 m'den uzak bölgelerde heyelan aktivitesinin azaldığı ifade edilebilir.



Şekil 4.19. Çalışma alanının yollara uzaklık haritası

Çizelge 4.7. Yollara uzaklık alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Yollara Uzaklık Uzaklık (m)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
0 - 200	1682243	28,96	156899	32,36	1,12	0,16
200 - 400	932054	16,05	100647	20,76	1,29	0,18
400 - 600	678903	11,69	77608	16,00	1,37	0,19
600 - 800	525468	9,05	58492	12,06	1,33	0,19
800 - 1000	416462	7,17	36712	7,57	1,06	0,15
1000-1250	383641	6,60	16557	3,41	0,52	0,07
> 1250	1189595	20,48	37997	7,84	0,38	0,05
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	7,07	1,00



Şekil 4.20. Yollara uzaklık alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

4.3.7. Arazi kullanımı

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde tercih edilen arazi kullanımı parametresi, arazinin heyelanların aktivitesindeki etkisinin araştırılmasında kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde, farklı çalışma alanları için yapılan araştırmalarda heyelanların oluşumunda arazi türlerinin etkisinin değiştiği görülmektedir. Mehrotra et al. (1992), tarafından yapılan çalışmada heyelanların büyük bölümünün tarım alanlarında veya bitki örtüsünün olmadığı kesimlerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Lee and Min (2001), incelemelerinde yerleşim ve tarım alanlarının düz bölgelerde yer almasından dolayı heyelanların ormanlık alanlarda meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Bundan dolayı inceleme bölgesi arazi sınıfları açısından değerlendirilmiş ve bu kapsamda analizler yapılmıştır.

Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası; Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırmasına göre üretilmiş CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) verisinden üretilmiştir. Üretilen veri Arcgis 10.2 yazılımı kullanılarak sınıflandırılmış ve raster veri formatında saklanmıştır (Şekil 4.21).

Bu projede, arazi örtüsü/kullanımı sınıflama birimlerine göre 5 ana sınıf ve 44 alt sınıf yer almaktadır. Aynı zamanda bu veriler için inceleme sahası içinde yer alan sınıflar; sulanmayan ekilebilir alanlar, karışık tarım alanları, şehir dokusu, ormanlar, doğal çayırırlıklar, seyrek bitki alanları ve su yolları olmak üzere toplam 7 sınıfta değerlendirilmiştir. Bu sınıflara ait CORINE veri tabanında belirtilen açıklamalar aşağıdaki paragraflarda sunulmuştur (<http://corine.ormansu.gov.tr>);

Sulanmayan ekilebilir alanlar; tahıllar, baklagiller, yem ürünleri, köklü (toprak altı) ürün tarlaları ile nadasa bırakılmış tarlalar ile çiçek, meyve ağaçları ve sebzeler (ister açık arazide ister plastik/cam serada yetiştirilsin) bu sınıfa dahildir. Aynı zamanda, aromatik

bitkiler, ilaç sanayiinde kullanılan bitkiler ve mutfakta kullanılan bitkiler dahil ancak kalıcı meralar hariçtir.

Karışık tarım alanları; sürekli ürünlerle aynı parseldeki senelik ürün tarlaları, orman ağaçları altında yapılan senelik ekin tarımı alanları, çayırların ve/veya senelik ekin yapılan yan yana tarlalar, ekinlerin ve meraların doğal bitki örtüsü ile iç içe geçtiği peyzaj alanları bu sınıfta değerlendirilmektedir.

Şehir dokusu; ağırlıklı olarak idari/kamu/halk tarafından kullanılan konutlar, bu binalar tarafından kullanılan alanlar ve bu alanların ilgili ek kullanım üniteleri (servis yolları, otoparklar) bu sınıfta değerlendirilmektedir.

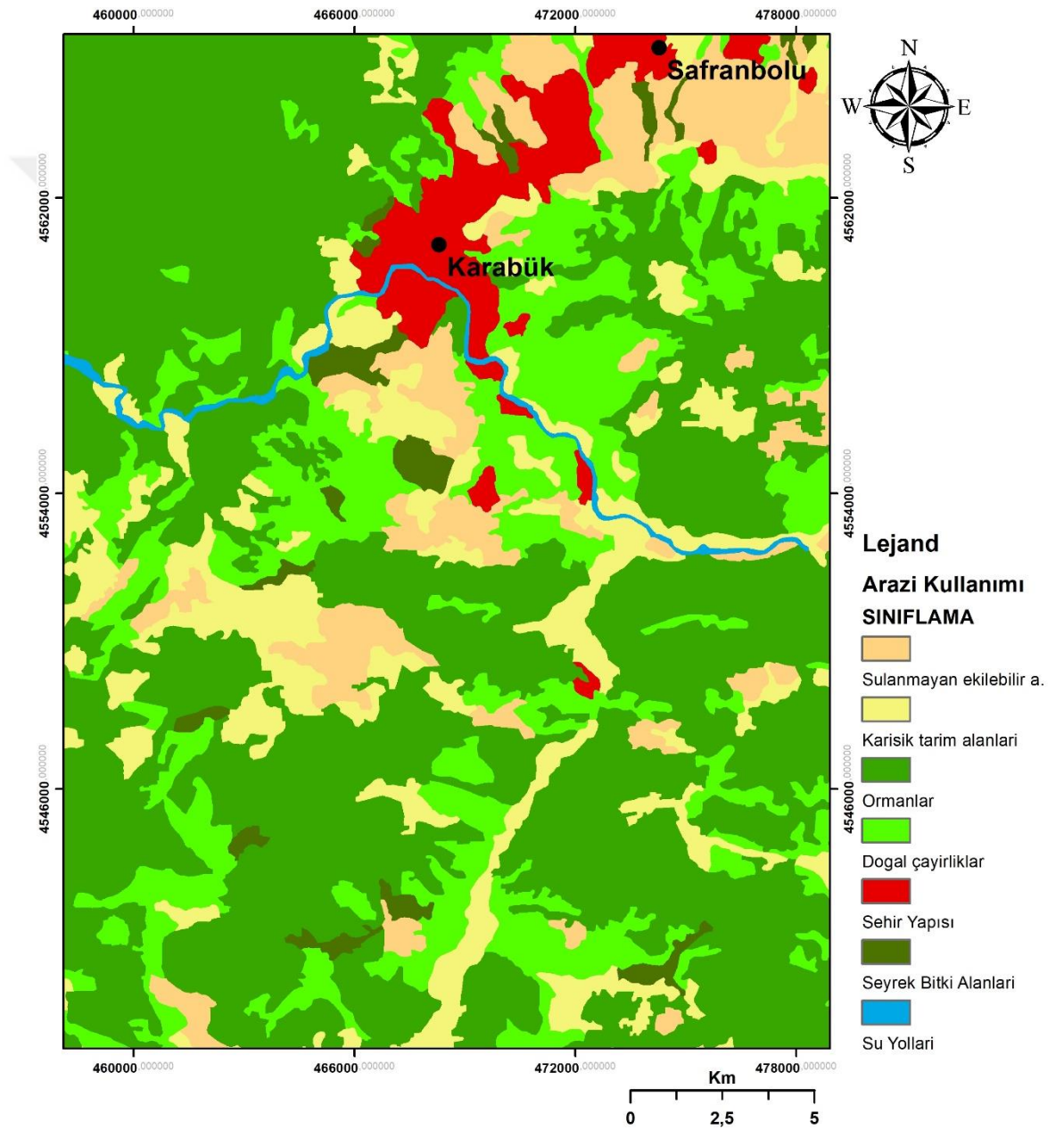
Ormanlar; ormanlar ve yerel veya egzotik iğne yapraklılar ile yaprak döken ve kereste veya diğer orman endüstrisi ürünleri için kullanılan ağaçlıklarla kaplı alanlar bu sınıfa dahildir.

Doğal çayırliklar; düşük verimli çayırlar olup sert ve engebeli yüzeylerde yer alırlar. Genellikle kayalık ve fundalık alanları kapsarlar. Otsu bitki örtüsü yüksekliği en çok 150 cm olup, yüzeyin en az %50'sini kaplarlar.

Seyrek bitki alanları; step, tundra ve verimsiz topraklı alanlardır. Yüksek rakımda, dağınık, odunsu ve yarı odunsu bitki örtüsüne sahip olup, yüzeydeki bitki örtüsü oranının %10-%50 arasında olduğu, dik yamaçlardaki stabil olmayan taş veya kaya örtüsü olarak tanımlanmaktadır.

Su yolları; drenaj kanalları olarak kullanılan kanallar dahil doğal veya yapay su yolları olup, bu su yollarında minimum genişlik 100 m olmalıdır.

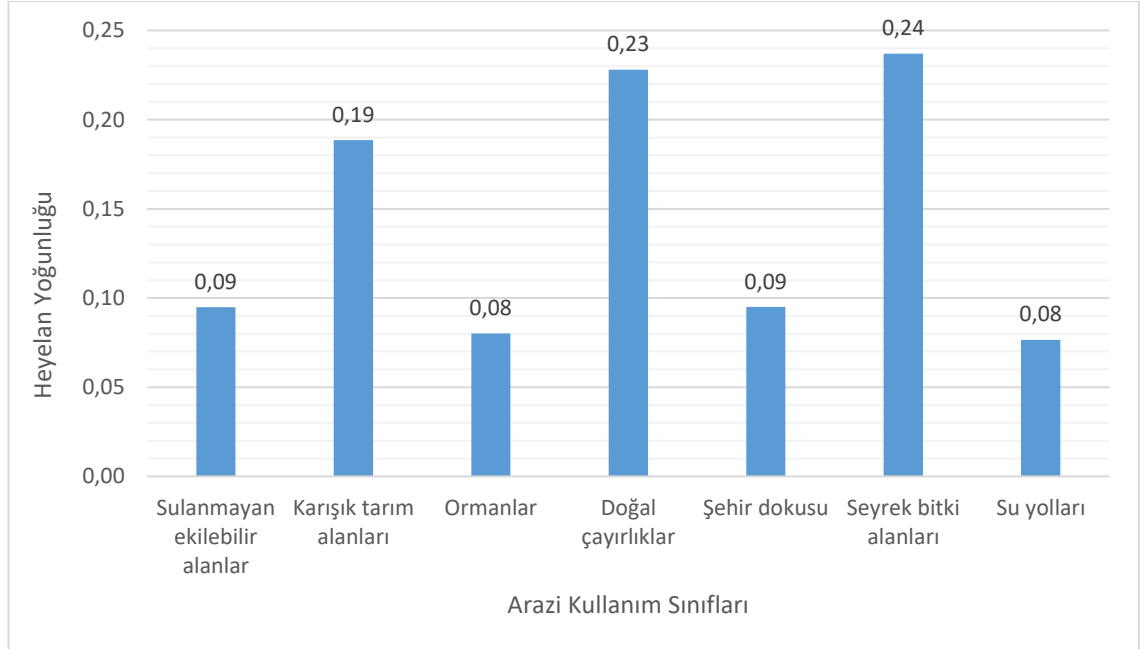
Çalışma alanına ait arazi kullanım verisi ile heyelanların aktivitesi birlikte değerlendirildiğinde; heyelanların en çok, %24 heyelan yoğunluğu ile seyrek bitki alanlarında, %23 heyelan yoğunluğu ile doğal çayırliklarda ve %19 heyelan yoğunluğunda karışık tarım alanlarında meydana geldiği görülmüştür (Çizelge 4.8, Şekil 4.22).



Şekil 4.21. İnceleme alanının arazi kullanım haritası

Çizelge 4.8. Arazi kullanım alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Arazi Kullanımı	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Sulanmayan ekilebilir alanlar	482503	8,31	30327	6,25	0,75	0,09
Karışık tarım alanları	717880	12,36	89746	18,51	1,50	0,19
Ormanlar	3123379	53,77	166024	34,24	0,64	0,08
Doğal çayırliklar	1079621	18,59	163288	33,67	1,81	0,23
Şehir dokusu	251385	4,33	15833	3,27	0,75	0,09
Seyrek bitki alanları	111815	1,93	17571	3,62	1,88	0,24
Su yolları	41783	0,72	2123	0,44	0,61	0,08
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	7,94	1,00



Şekil 4.22. Arazi kullanım alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

4.3.8. TWI

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde topografyanın hidrolojik koşulların belirlenmesi için kullanılan topoğrafik nemlilik indeksi, havza alanındaki suya doymun alanların konumlarını ve boyutlarını ifade eder. Bu yaklaşım ilk kez Beven ve Kirkby (1979) tarafından ortaya atılmıştır. Bazı araştırmalarda CTI olarak da adlandırılan topoğrafik nemlilik indeksinin hesaplaması için önerilen formül (Moore et al. 1991; Gökçeoğlu et al. 2005), Eşitlik 4.1.'de verilmiştir.

$$TWI = \ln\left(\frac{As}{Tan\beta}\right)$$

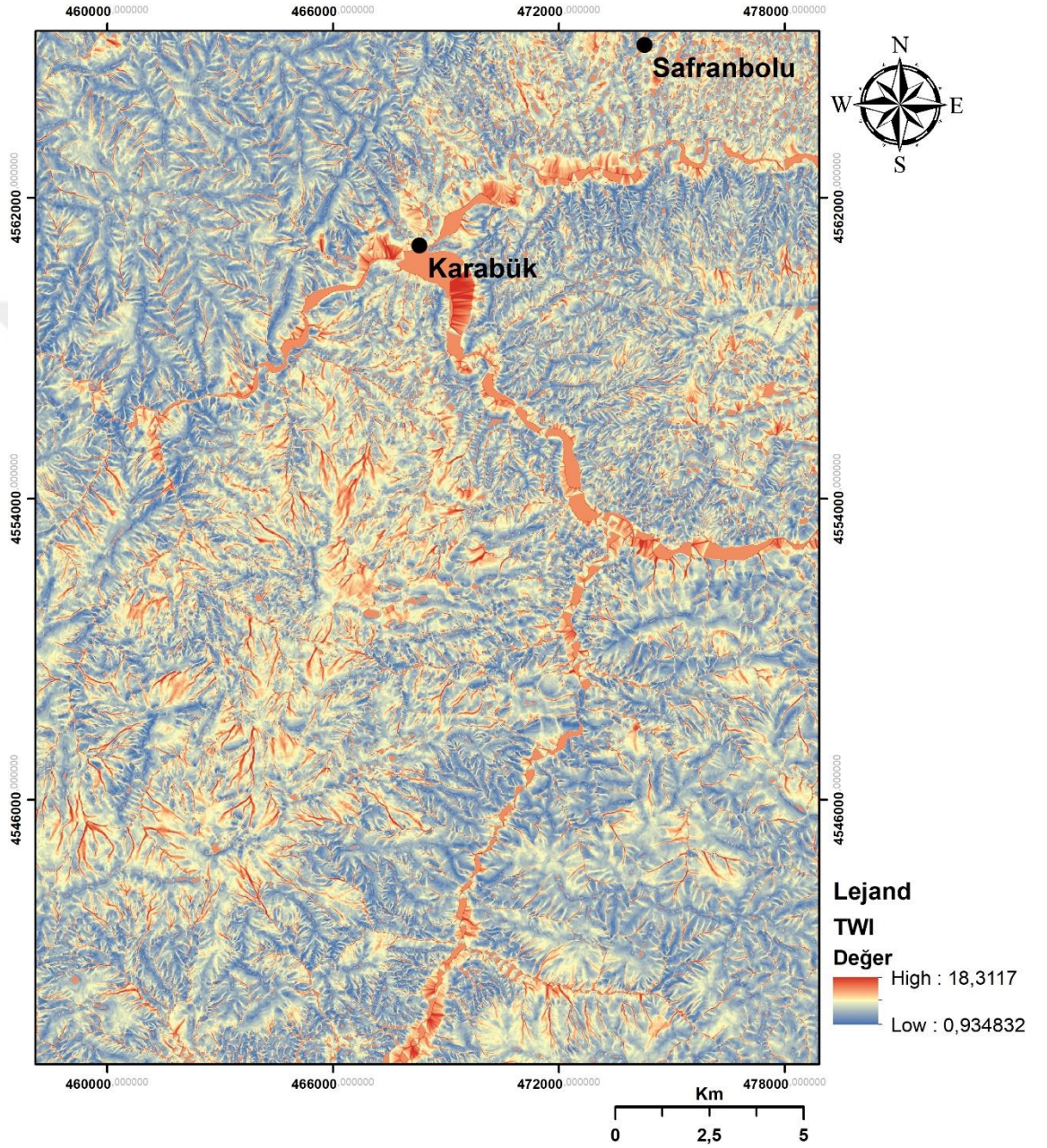
Eşitlik 4.1.

Eşitlikte belirtilen As değeri su toplayabilme alanını, β ise yamaç eğimini ifade etmektedir.

İnceleme alanının TWI değerlerini gösterir hartita, Saga 6.3. yazılımında yer alan hidroloji aracı ile SYM ve gradyan cinsinden eğim haritası kullanılarak üretilmiştir. Daha sonra üretilen harita <5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, >13 olmak üzere 10 sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 4.23). Üretilen haritada değerlerin 0,93 ile 18,31 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler sabit bir ölçek dahilinde olmayıp, her havza için değişiklik gösterebilmektedir.

Çalışma alanında gelişen heyelanlar ile TWI verisi ilişkilendirildiğinde, 5 indeks değerinden küçük değerlere karşılık gelen alanlarda heyelan varlığına rastlanılmamıştır. 5 ile 11 TWI değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. 10-11 indeks değerinde yer alan bölgelerin, heyelan yoğunluğunun %16 olduğu ve en yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlar olduğu tespit edilmiştir. 11-12 indeks aralığına karşılık gelen alanlarda %10, 12-13 indeks aralığına karşılık gelen alanlarda %15, 13 indeks değerinden büyük

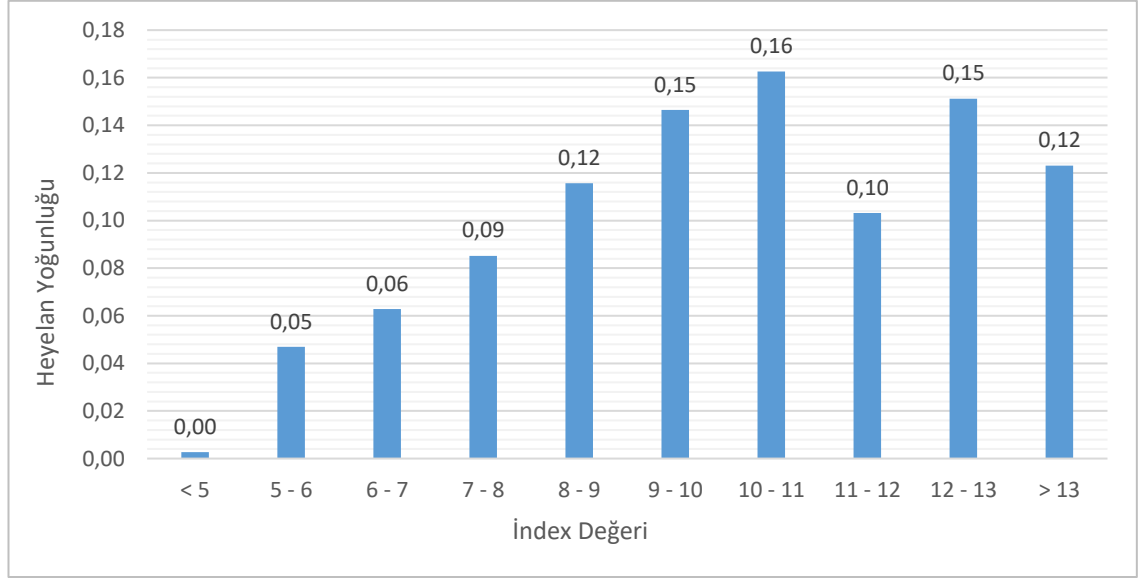
değerlere karşılık gelen alanlarda ise %12 oranında heyelan yoğunluğu olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.9, Şekil 4.24).



Şekil 4.23. İnceleme alanının TWI haritası

Çizelge 4.9. TWI alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları TWI (İndeks değerleri)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
< 5	1461	0,03	3	0,00	0,02	0,00
5 - 6	24794	0,43	889	0,18	0,43	0,05
6 - 7	549598	9,46	26394	5,44	0,58	0,06
7 - 8	1735950	29,89	112967	23,30	0,78	0,09
8 - 9	1620012	27,89	143247	29,54	1,06	0,12
9 - 10	891934	15,36	99794	20,58	1,34	0,15
10 - 11	442337	7,62	54969	11,34	1,49	0,16
11 - 12	413539	7,12	32600	6,72	0,94	0,10
12 - 13	90289	1,55	10432	2,15	1,38	0,15
> 13	38452	0,66	3617	0,75	1,13	0,12
	5808366	100,00	484912	100,00	9,15	1,00



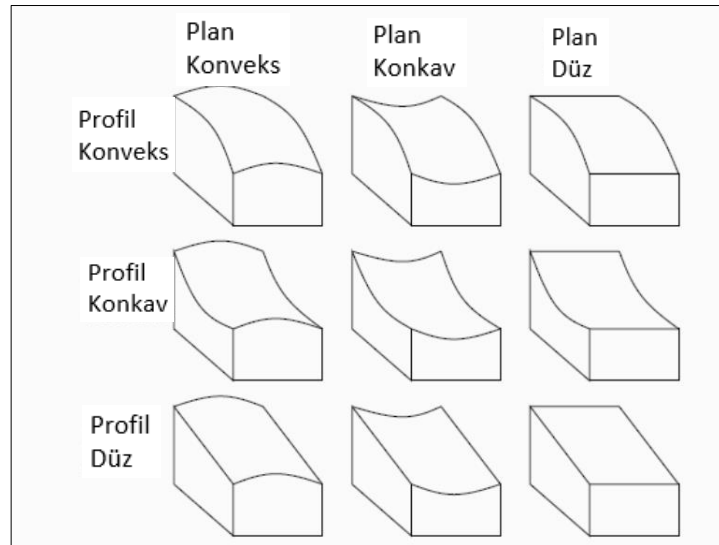
Şekil 4.24. TWI alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

4.3.9. Yamaç plan ve profil eğriselliği

Eğrisellik, heyelan duyarlılık çalışmalarında yamacın geometrisi ile ilgili özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır ve yamaçların morfolojisini ifade eden bir parametre olarak tanımlanmaktadır. Literatür incelendiğinde eğrisellik parametresi genel olarak plan eğriselliği ve profil eğriselliği olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Plan eğriselliği, yamacın yönelimine diğer bir ifade ile maksimum eğim yönüne dik yönde gelişen eğriseliktir. Yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. Yamaç plan eğriselliği değerlerinin negatif olması akışın toplandığını, değerlerin pozitif olması akışın dağıldığını belirtir (Wilson and Gallant 2002).

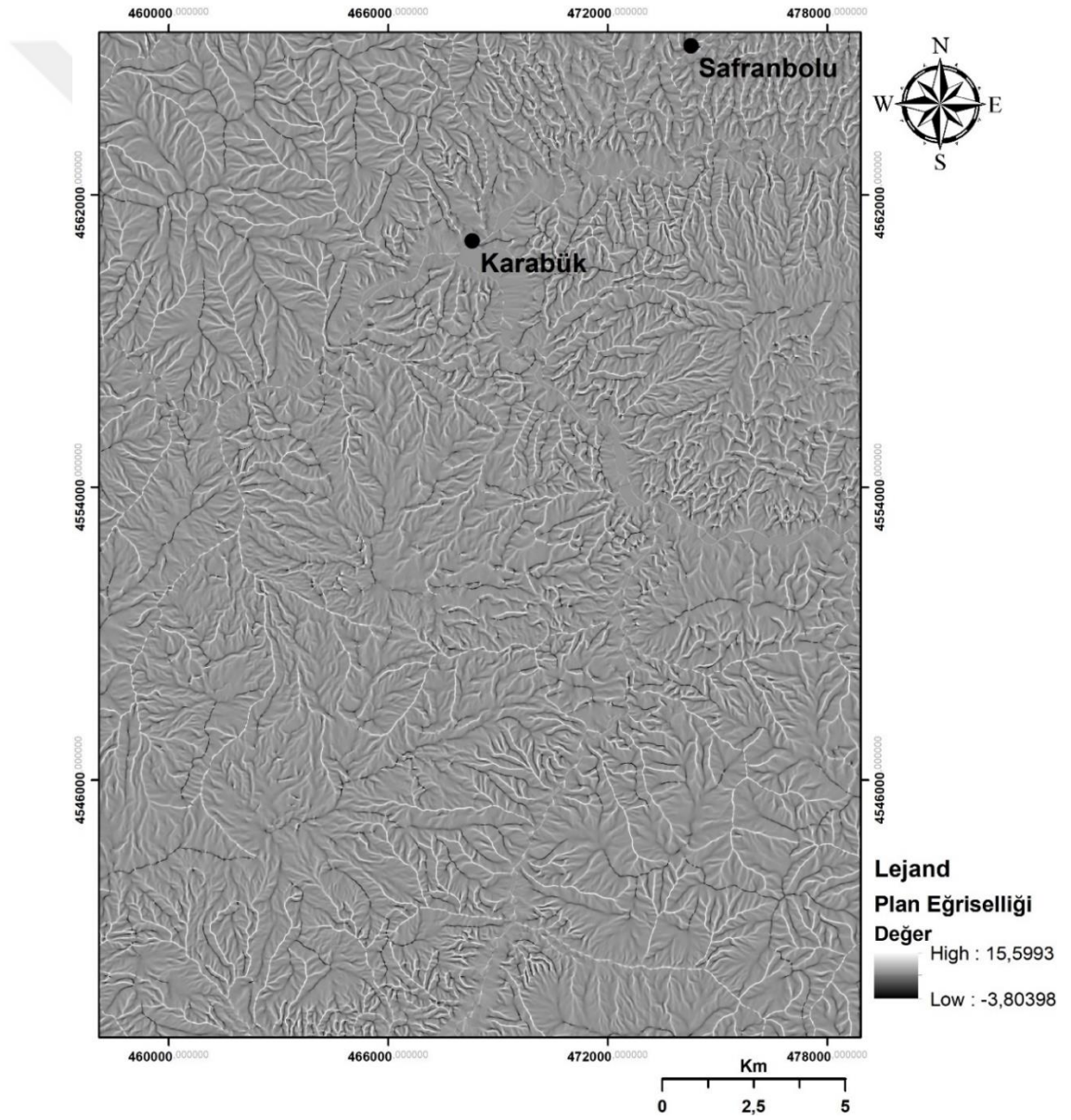
Profil eğriselliği, yamacın yönelimine paralel yönde gelişen eğriseliktir. Her iki eğriselikte de pozitif değerler yamaç yüzeyinin konveks (dış bükey, tepe) olduğunu, negatif değerler yüzeyin konkav (iç bükey, çukur) olduğunu ve sıfır değeri ise yüzeyin doğrusal olduğunu gösterir (Lee et al. 2004). Şekil 4.25.'de yamaç plan ve profil eğriseliklerinin şematik gösterimi sunulmaktadır (Kreveld 1997).



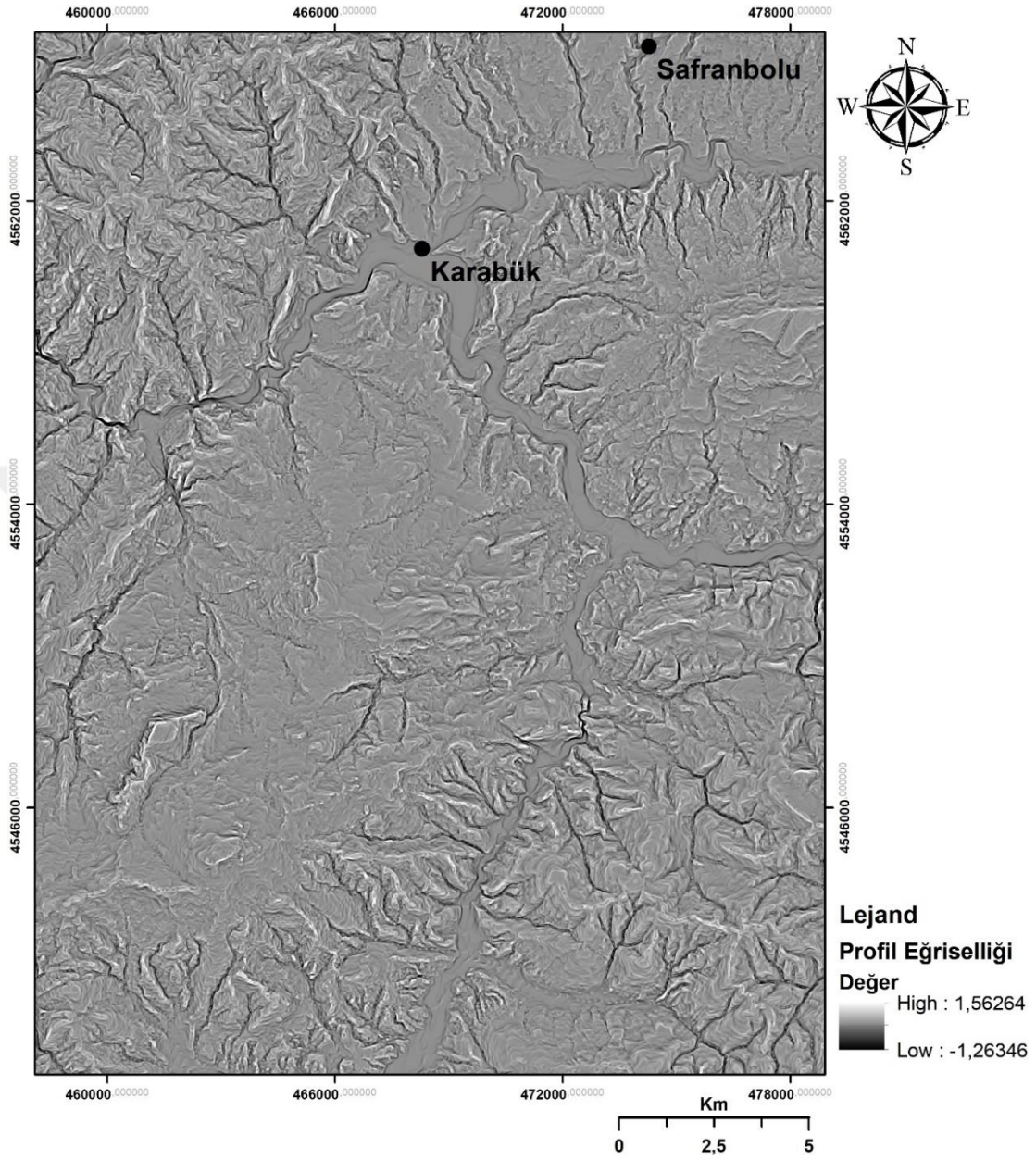
Şekil 4.25. Yamaç plan ve profil eğriselikleri şematik gösterimi

Komac (2006) tarafından yapılan incelemede genel olarak içbükey yamaçlarda dairesel kaymaların, dışbükey yamaçlarda ise akma türündeki heyelanların meydana geleceğini ifade etmiştir.

İnceleme alanının Şekil 4.26.'da yer alan yamaç plan eğriselliği ve Şekil 4.27.'de yer alan yamaç profil eğriselliği haritaları Saga 6.3 yazılımında yer alan yüzey analizi aracı ile üretilmiştir.



Şekil 4.26. İnceleme alanının yamaç plan eğriselliği haritası



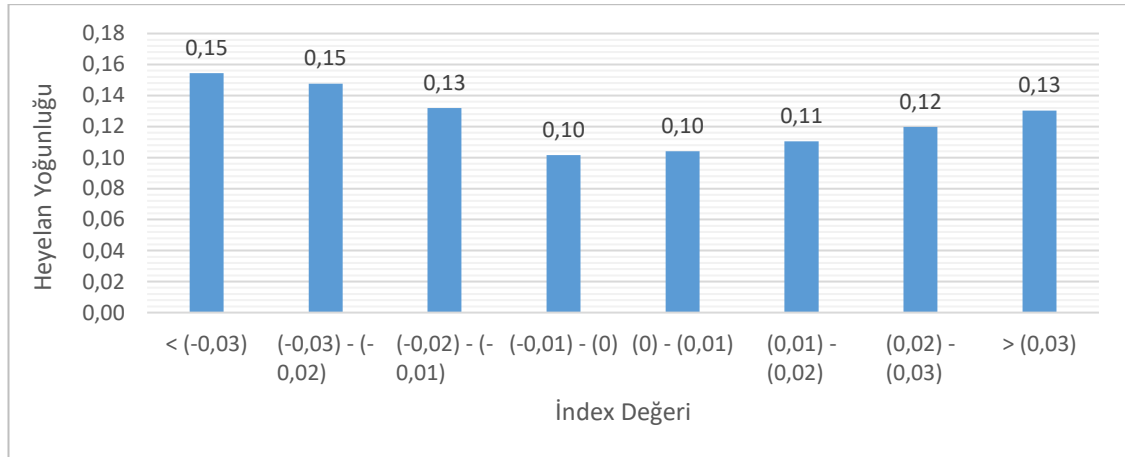
Şekil 4.27. İnceleme alanının yamaç profil eğriselliği haritası

Yamaç plan eğriselliği haritasında yer alan değerler -3,80 ile 15,59 arasında değişmektedir. Üretilen harita (-0,03)'den küçük, (-0,03)-(-0,02), (-0,02)-(-0,01), (-0,01)-(0), (0)-(-0,01), (0,01)-(0,02), (0,02)-(0,03) ve (0,03)'den büyük olmak üzere 8 alt sınıfta yeniden sınıflandırılmıştır. Heyelanların en çok geliştiği yamaç plan eğriselliği değerleri %15 heyelan yoğunluğu ile (-0,03)'den küçük değerler ile (-0,03)-(-0,02) arasındaki değerlere karşılık gelen bölgelerdedir. Bu değerlere sahip alanlardaki yamaç plan

eğrisellikleri negatif (iç bükey) eğrisellik durumunda olduğundan dolayı, konkav yamaçların heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğu söylenebilir (Çizelge 4.10, Şekil 4.28).

Çizelge 4.10. Yamaç plan eğriselliği alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Plan Eğriselliği (değerler)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
< (-0,03)	475962	8,19	53233	10,98	1,34	0,15
(-0,03)-(-0,02)	256026	4,41	27352	5,64	1,28	0,15
(-0,02)-(-0,01)	459805	7,92	43928	9,06	1,14	0,13
(-0,01)-(0)	1713053	29,49	125941	25,97	0,88	0,10
(0)-(0,01)	1486063	25,58	111943	23,09	0,90	0,10
(0,01)-(0,02)	604571	10,41	48375	9,98	0,96	0,11
(0,02)-(0,03)	335309	5,77	29068	5,99	1,04	0,12
> (0,03)	477577	8,22	45072	9,29	1,13	0,13
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	8,67	1,00



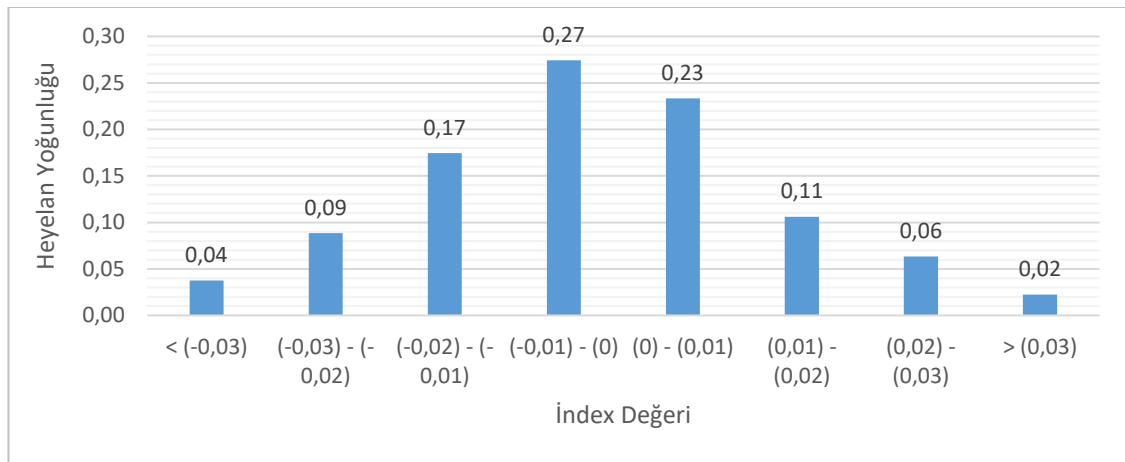
Şekil 4.28. Yamaç plan eğriselliği alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi

Yamaç profil eğriselik haritasında, en küçük değer -1,26 en büyük değerin de 1,56 olduğu görülmüştür. Üretilen harita (-0,03)' den küçük, (-0,03)-(-0,02), (-0,02)-(-0,01), (-0,01)-(0), (0)-(0,01), (0,01)-(0,02), (0,02)-(0,03) ve (0,03)'den büyük olmak üzere 8 alt

sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmış ve heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilmiştir. Yapılan analizde %27 oranında en yüksek heyelan yoğunluk değerinin (-0,01)-(0) aralığına karşılık gelen yamaçlarda olduğu tespit edilmiştir. Buradaki genel eğilim 0 ve 0 yakın değer aralığında daha çok negatif değerlere karşılık gelen yamaçlarda heyelan aktivitelerin daha sık yaşandığı yönündedir. Profil eğriselliği açısından negatif eğilim gösteren yamaçların heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğu söylenebilir (Çizelge 4.11, Şekil 4.29).

Çizelge 4.11. Yamaç profil eğriselliği alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları Profil Eğriselliği (değerler)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
< (-0,03)	23325	0,40	310	0,06	0,16	0,04
(-0,03)-(-0,02)	74481	1,28	2329	0,48	0,37	0,09
(-0,02)-(-0,01)	342219	5,89	21140	4,36	0,74	0,17
(-0,01)-(0)	2443189	42,06	237293	48,94	1,16	0,27
(0)-(0,01)	2548320	43,87	210672	43,45	0,99	0,23
(0,01)-(0,02)	322154	5,55	12098	2,49	0,45	0,11
(0,02)-(0,03)	44014	0,76	985	0,20	0,27	0,06
> (0,03)	10664	0,18	85	0,02	0,10	0,02
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	4,24	1,00



Şekil 4.29. Yamaç profil eğriselliği alt sınıfları ile heyelan yoğunluğu ilişkisi.

4.3.10. NDVI

Bitki örtüsü özellikleri, heyelan oluşumuna etkisinin belirlenmesi amacıyla, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde bir girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde bitki örtüsü özelliğinin heyelan oluşumunda olumlu ve olumsuz yönde etkilerinden söz etmek mümkündür. Lee et al. (2002) çalışmalarında, bitkilerin köklerinin suyu tutarak boşluk suyu basıncının azalmasına katkı sağladığını ifade etmiş, yaşlı ve geniş gövdeli ağaçların bulunduğu bölgelerde heyelan riskinin daha az olduğunu belirtmişlerdir. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), araştırmalarında, bitkilerin zemindeki suyu emerek ortamdaki uzaklaştırmasının yamaçların dengesini olumlu yönde etkilediğini, diğer taraftan bitkinin köklerinin zeminde yayılması ile yüzey suyunun zemin içerisine doğrudan girmesini kolaylaştırmasının ise yamaçlarda heyelan oluşumuna neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Bitki örtüsü yoğunluğunun tespiti amacıyla Sentinel-2B uydu verileri (URL: <https://glovis.usgs.gov>) temin edilmiş, Saga 6.3 yazılımında yer alan eğim tabanlı bitki indeksi aracı kullanılarak NDVI haritası üretilmiştir (Şekil 4.30). İnceleme alanının NDVI haritası üretilirken, Rouse et al. (1974) tarafından önerilen ve Eşitlik 4.2.'de verilen formül kullanılmıştır.

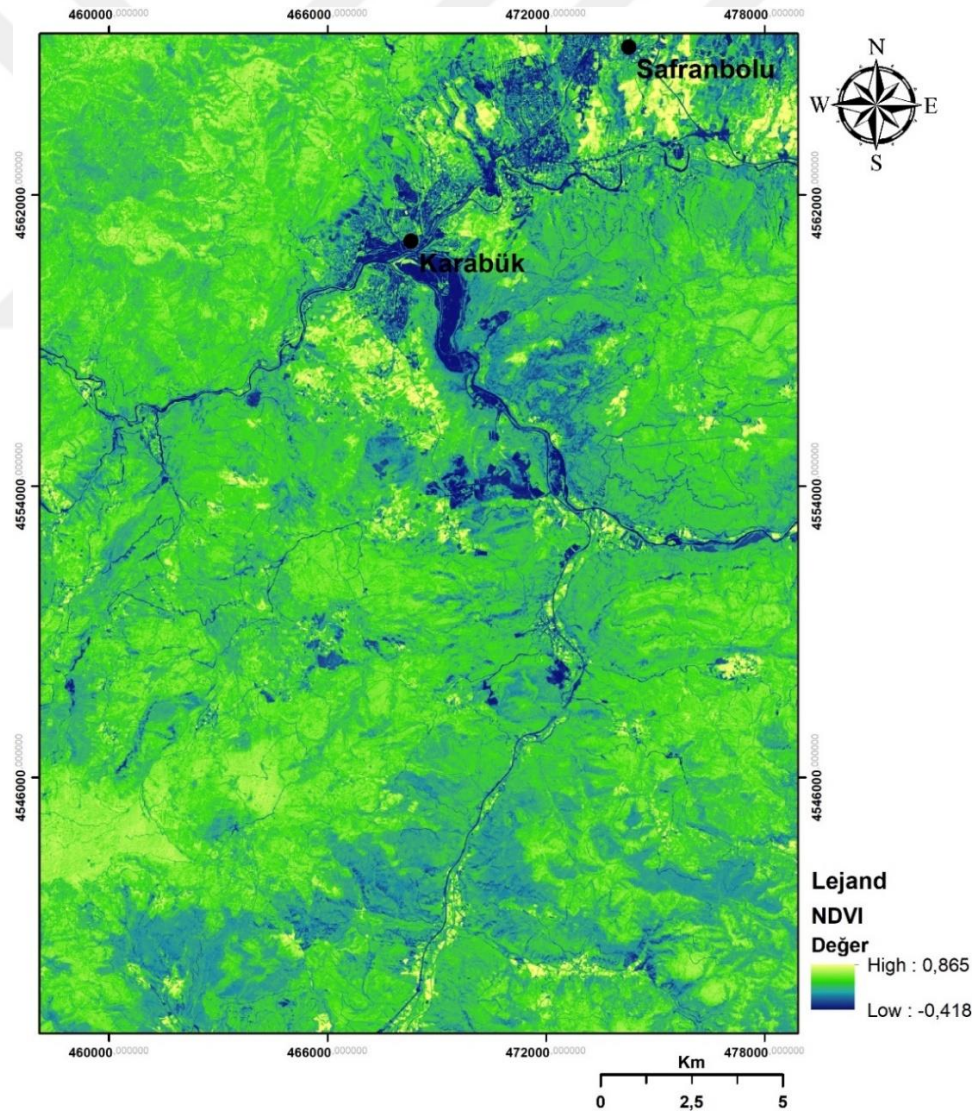
$$NDVI = \left[\frac{NIR - R}{NIR + R} \right] \quad \text{Eşitlik 4.2.}$$

Eşitlikte yer alan *NIR*, Sentinel-2B uydusu için 8'inci bant olan yakın kızılötesi bant görüntüsünü, *R* ise yine aynı uydu için 4'üncü bant olan kırmızı bant görüntüsünü ifade etmektedir. Değerlendirmede kullanılan uydu görüntüsü 10m/piksel çözünürlükte olup 7 Nisan 2018 tarihinde elde edilmiştir.

NDVI değer aralığı -1 ile 1 arasında değişmektedir. NDVI'nın (-1)'e yaklaşan negatif değerleri su ile kaplı alanlara karşılık gelirken, (-0,1) ile 0,1 değer aralığı genellikle kaya

veya kum ile kaplı çorak araziye ya da kar ile kaplı alanları temsil eder. Yaklaşık 0,2 ile 0,4 arasındaki düşük, pozitif değerler çalı ve otlakları, 1'e yaklaşan yüksek değerler yoğun bitki örtüsü ile kaplı ılıman veya tropik yağmur ormanlarını ifade eder (NCAR, 2018).

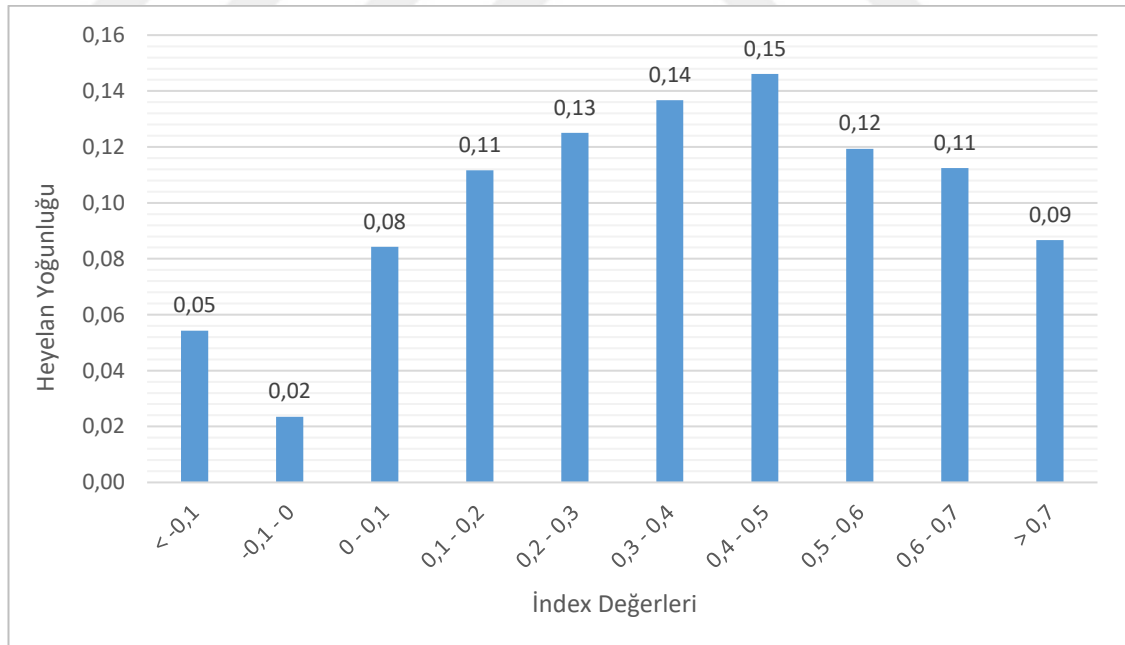
Çalışma alanının üretilen NDVI haritası Çizelge 4.12'de görüldüğü üzere 10 alt sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır. Bölgede yer alan heyelanlar ile NDVI parametresi ilişkilendirilmiş ve heyelanların, en yoğun 0,4–0,5 NDVI değer aralığına karşılık gelen alanlarda meydana geldiği görülmüştür. Bu analizde, heyelan oluşumundaki genel eğilimin 0,2-0,5 değer aralığında yoğunlaştığı ifade edilebilir (Çizelge 4.12, Şekil 4.31).



Şekil 4.30. İnceleme alanının NDVI haritası

Çizelge 4.12. NDVI alt sınıflarının heyelan yoğunluğu ilişkisi

Parametre Alt Sınıfları NDVI (değerler)	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (A)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (B)	B/A	Heyelan Yoğunluğu
< -0,1	7973	0,14	280	0,06	0,42	0,05
-0,1 - 0	7556	0,13	115	0,02	0,18	0,02
0 - 0,1	97619	1,68	5324	1,10	0,65	0,08
0,1 - 0,2	180980	3,12	13085	2,70	0,87	0,11
0,2 - 0,3	384530	6,62	31119	6,42	0,97	0,13
0,3 - 0,4	1068431	18,39	94555	19,50	1,06	0,14
0,4 - 0,5	1781131	30,66	168504	34,75	1,13	0,15
0,5 - 0,6	1695389	29,19	130959	27,01	0,93	0,12
0,6 - 0,7	488562	8,41	35572	7,34	0,87	0,11
> 0,7	96195	1,66	5399	1,11	0,67	0,09
Toplam:	5808366	100,00	484912	100,00	7,75	1,00



Şekil 4.31. NDVI değerleri ile heyelan yoğunluk ilişkisi

4.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

Tez çalışmasının bu aşamasında, önceki başlıklarda açıklanan heyelanların hazırlayıcı parametreleri ile bölgenin heyelan envanteri temel alınarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine ilişkin bilgiler verilmiştir. Bu amaç doğrultusunda Bölüm 3’de açıklanan FR ve AHP yöntemleri kullanılarak CBS ortamında konumsal ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir yöntem ile ayrı ayrı üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performansları test edilmiş ve ortaya çıkan sonuçlar kıyaslanmıştır.

4.4.1. FR yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi

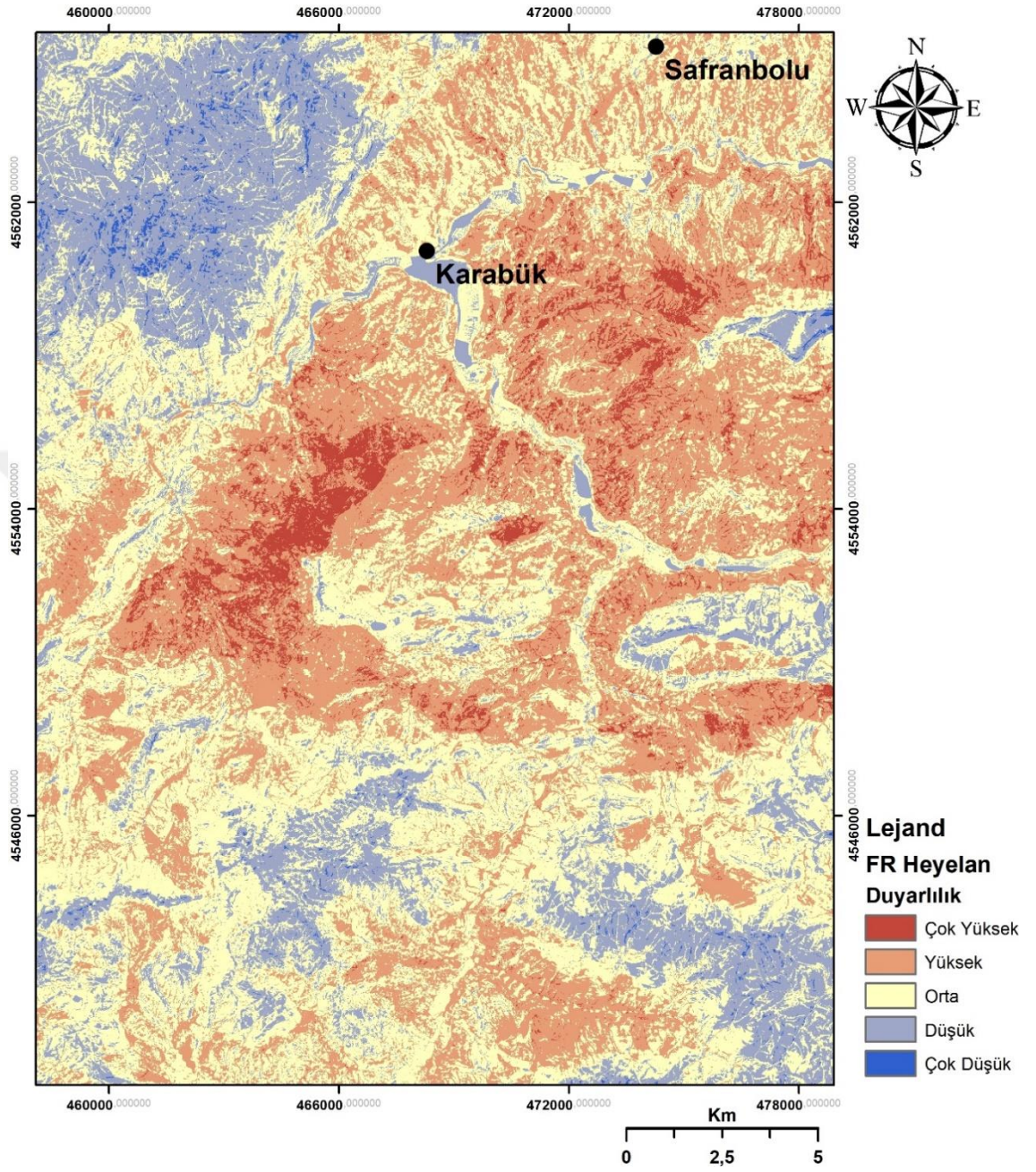
Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin temelinde, geçmişte meydana gelen heyelanları oluşturan faktörlerin, benzer koşullar altında gelecekte de yeni heyelanların oluşumuna neden olabilmesi varsayımı vardır (Carrara et al. 1995; Lee et al. 2004; Varnes 1984). Bu kapsamda, heyelan oluşumuna etki eden parametrelerin mekansal ve sayısal analizlerinin yapılması neticesinde, heyelanların oluşumundaki etki düzeylerinin belirlenerek, heyelanlar ile her bir parametre arasındaki ilişkiyi belirlemek gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan FR yöntemi seçilmiştir.

Bu yöntemin uygulanması, basit matematiksel hesaplamalar içerdiğinden dolayı son derece basittir. İstatistiksel bir yaklaşım olan FR, bir olayın gerçekleşme olasılığının, gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak ifade edilmektedir (Lee et al. 2004; Yılmaz 2009; Erener and Düzgün 2010).

FR yöntemi ve uygulamasında kullanılan formüller Bölüm 3’de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bundan dolayı bu aşamada, yöntemin çalışma alanı için uygulanma sırasında işlem adımlarına değinilmiştir.

Öncelikle, belirlenen her bir parametreye ilişkin alt sınıflar oluşturulmuştur. Parametrelerin alt sınıflarının toplam alan içerisinde yer alan piksel sayıları ile heyelanlı alanlara karşılık gelen piksel sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler yüzdesel olarak oranlanarak, parametrelerin alt sınıflarının her biri için frekans oranları bulunmuştur (Çizelge 4.13). FR değerinin 1'den büyük olması, dikkate alınan alt sınıfın analizi yapılan olayla yüksek ilişkili olduğunu, 1'den küçük olması ilişkinin daha zayıf olduğunu göstermektedir (Lee and Pradhan 2007). Bundan sonra yapılacak işlemlerin daha kolay gerçekleştirilmesi için hesaplanan FR değerleri normalleştirilerek NFR değerleri bulunmuş ve NFR değerleri 100 ile çarpılarak tam sayı haline dönüştürülmüştür. $NFR \times 100$ değerleri her bir parametre haritası için ilgili alt gruplara atanarak bu haritalar yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden sınıflandırılan parametre haritalarının aritmetiksel toplamaları elde edilerek, çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere eşit aralıklarla 5 sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 4.32).

FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasında, inceleme alanının %4'ü çok yüksek, %34'ü yüksek, %43'ü orta, %18'i düşük, %1'i çok düşük heyelanlı sınıfta yer aldığı görülmüştür.



Şekil 4.32. İnceleme alanının FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Çizelge 4.13. Parametre alt sınıfları için hesaplanan FR, NFR ve heyelan yoğunluk değerleri.

NO	Parametreler	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (B)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (A)	FR (A / B)	NFR	NFR*100	Heyelan Yoğunluğu
1	Yükseklik (m)	200-400	891666	15,35	71028	14,65	0,95	0,78	78	0,16
		400-600	1387998	23,90	135565	27,96	1,17	0,95	95	0,20
		600-800	1235318	21,27	126894	26,17	1,23	1,00	100	0,21
		800-1000	936311	16,12	84360	17,40	1,08	0,88	88	0,18
		1000-1200	723357	12,45	37813	7,80	0,63	0,51	51	0,10
		1200-1400	482439	8,31	25873	5,34	0,64	0,52	52	0,11
		>1400	151277	2,60	3379	0,70	0,27	0,22	22	0,04
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	5,97			1,00
2	Eğim (°)	0-5	604637	10,41	22627	4,67	0,45	0,27	27	0,06
		5-10	927364	15,97	104208	21,49	1,35	0,80	80	0,19
		10-15	1042291	17,94	146361	30,18	1,68	1,00	100	0,23
		15-20	923311	15,90	101129	20,86	1,31	0,78	78	0,18
		20-25	815948	14,05	59542	12,28	0,87	0,52	52	0,12
		25-30	687113	11,83	31066	6,41	0,54	0,32	32	0,07
		30-35	472433	8,13	13354	2,75	0,34	0,20	20	0,05
		35-40	230915	3,98	4464	0,92	0,23	0,14	14	0,03
		40-45	76638	1,32	1595	0,33	0,25	0,15	15	0,03
		>45	27716	0,48	566	0,12	0,24	0,15	15	0,03
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	7,27			1,00

Çizelge 4.13. (devam)

NO	Parametreler	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (B)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (A)	FR (A / B)	NFR	NFR*100	Heyelan Yoğunluğu
3	Bakı	DUZ ALAN	188207	3,24	4993	1,03	0,32	0,22	22	0,04
		K	807619	13,90	95384	19,67	1,41	1,00	100	0,17
		KD	711611	12,25	66428	13,70	1,12	0,79	79	0,13
		D	675884	11,64	36204	7,47	0,64	0,45	45	0,08
		GD	703896	12,12	25590	5,28	0,44	0,31	31	0,05
		G	703721	12,12	39679	8,18	0,68	0,48	48	0,08
		GB	626929	10,79	60581	12,49	1,16	0,82	82	0,14
		B	673956	11,60	72769	15,01	1,29	0,91	91	0,15
		KB	716543	12,34	83284	17,18	1,39	0,98	98	0,16
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	8,45			1,00
4	Jeoloji (Formasyon MTA Simge)	Kus	36073	0,62	622	0,13	0,21	0,09	9	0,03
		Tplö	308029	5,30	37393	7,71	1,45	0,61	61	0,18
		Tekac	850684	14,65	169301	34,91	2,38	1,00	100	0,30
		Tes	605926	10,43	22619	4,66	0,45	0,19	19	0,06
		Qal	251043	4,32	1336	0,28	0,06	0,03	3	0,01
		Kua	503640	8,67	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00
		Teka	870018	14,98	131222	27,06	1,81	0,76	76	0,23
		Ku	1978572	34,06	112868	23,28	0,68	0,29	29	0,09
		g	28962	0,50	147	0,03	0,06	0,03	3	0,01
		KTab	12329	0,21	75	0,02	0,07	0,03	3	0,01
		Teso	285009	4,91	6504	1,34	0,27	0,11	11	0,03
		Tea	78081	1,34	2825	0,58	0,43	0,18	18	0,05
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	7,89			1,00

Çizelge 4.13. (devam)

NO	Parametreler	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (B)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (A)	FR (A / B)	NFR	NFR*100	Heyelan Yoğunluğu
5	Drenaj Ağlarına Uzaklık (m)	0 - 250	1886468	32,48	165760	34,18	1,05	1,00	100	0,17
		250 - 500	1504541	25,90	126883	26,17	1,01	0,96	96	0,16
		500 - 750	1146966	19,75	92741	19,13	0,97	0,92	92	0,15
		750 - 1000	740330	12,75	60499	12,48	0,98	0,93	93	0,16
		1000 - 1250	357926	6,16	28131	5,80	0,94	0,89	89	0,15
		1250 - 1500	134358	2,31	9320	1,92	0,83	0,79	79	0,13
		> 1500	37777	0,65	1578	0,33	0,50	0,48	48	0,08
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	6,28			1,00
6	Yollara Uzaklık (m)	0 - 200	1682243	28,96	156899	32,36	1,12	0,82	82	0,16
		200 - 400	932054	16,05	100647	20,76	1,29	0,94	94	0,18
		400 - 600	678903	11,69	77608	16,00	1,37	1,00	100	0,19
		600 - 800	525468	9,05	58492	12,06	1,33	0,97	97	0,19
		800 - 1000	416462	7,17	36712	7,57	1,06	0,77	77	0,15
		1000-1250	383641	6,60	16557	3,41	0,52	0,38	38	0,07
		> 1250	1189595	20,48	37997	7,84	0,38	0,28	28	0,05
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	7,07			1,00
7	Arazi Kullanımı (CORINE)	Sulanmayan Ekilebilir A.	482503	8,31	30327	6,25	0,75	0,40	40	0,09
		Karışık Tarım Alanları	717880	12,36	89746	18,51	1,50	0,80	80	0,19
		Ormanlar	3123379	53,77	166024	34,24	0,64	0,34	34	0,08
		Doğal Çayırliklar	1079621	18,59	163288	33,67	1,81	0,96	96	0,23
		Şehir Dokusu	251385	4,33	15833	3,27	0,75	0,40	40	0,09
		Seyrek Bitki Alanları	111815	1,93	17571	3,62	1,88	1,00	100	0,24
		Su Yolları	41783	0,72	2123	0,44	0,61	0,32	32	0,08
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	7,94			1,00

Çizelge 4.13. (devam)

NO	Parametreler	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (B)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (A)	FR (A / B)	NFR	NFR*100	Heyelan Yoğunluğu
8	TWI	< 5	1461	0,03	3	0,00	0,02	0,02	2	0,00
		5 - 6	24794	0,43	889	0,18	0,43	0,29	29	0,05
		6 - 7	549598	9,46	26394	5,44	0,58	0,39	39	0,06
		7 - 8	1735950	29,89	112967	23,30	0,78	0,52	52	0,09
		8 - 9	1620012	27,89	143247	29,54	1,06	0,71	71	0,12
		9 - 10	891934	15,36	99794	20,58	1,34	0,90	90	0,15
		10 - 11	442337	7,62	54969	11,34	1,49	1,00	100	0,16
		11 - 12	413539	7,12	32600	6,72	0,94	0,63	63	0,10
		12 - 13	90289	1,55	10432	2,15	1,38	0,93	93	0,15
		> 13	38452	0,66	3617	0,75	1,13	0,76	76	0,12
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	9,15			1,00
9	Yamaç Plan Eğriselliği	< (-0,03)	475962	8,19	53233	10,98	1,34	1,00	100	0,15
		(-0,03) - (-0,02)	256026	4,41	27352	5,64	1,28	0,96	96	0,15
		(-0,02) - (-0,01)	459805	7,92	43928	9,06	1,14	0,85	85	0,13
		(-0,01) - (0)	1713053	29,49	125941	25,97	0,88	0,66	66	0,10
		(0) - (0,01)	1486063	25,58	111943	23,09	0,90	0,67	67	0,10
		(0,01) - (0,02)	604571	10,41	48375	9,98	0,96	0,72	72	0,11
		(0,02) - (0,03)	335309	5,77	29068	5,99	1,04	0,78	78	0,12
		> (0,03)	477577	8,22	45072	9,29	1,13	0,84	84	0,13
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	8,67			1,00

Çizelge 4.13. (devam)

NO	Parametreler	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki % (B)	Seçili Heyelanlı Bölge İçerisindeki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki % (A)	FR (A / B)	NFR	NFR*100	Heyelan Yoğunluğu
10	Yamaç Profil Eğriselliği	< (-0,03)	23325	0,40	310	0,06	0,16	0,14	14	0,04
		(-0,03) - (-0,02)	74481	1,28	2329	0,48	0,37	0,32	32	0,09
		(-0,02) - (-0,01)	342219	5,89	21140	4,36	0,74	0,64	64	0,17
		(-0,01) - (0)	2443189	42,06	237293	48,94	1,16	1,00	100	0,27
		(0) - (0,01)	2548320	43,87	210672	43,45	0,99	0,85	85	0,23
		(0,01) - (0,02)	322154	5,55	12098	2,49	0,45	0,39	39	0,11
		(0,02) - (0,03)	44014	0,76	985	0,20	0,27	0,23	23	0,06
		> (0,03)	10664	0,18	85	0,02	0,10	0,08	8	0,02
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	4,24			1,00
11	NDVI	< -0,1	7973	0,14	280	0,06	0,42	0,37	37	0,05
		-0,1 - 0	7556	0,13	115	0,02	0,18	0,16	16	0,02
		0 - 0,1	97619	1,68	5324	1,10	0,65	0,58	58	0,08
		0,1 - 0,2	180980	3,12	13085	2,70	0,87	0,76	76	0,11
		0,2 - 0,3	384530	6,62	31119	6,42	0,97	0,86	86	0,13
		0,3 - 0,4	1068431	18,39	94555	19,50	1,06	0,94	94	0,14
		0,4 - 0,5	1781131	30,66	168504	34,75	1,13	1,00	100	0,15
		0,5 - 0,6	1695389	29,19	130959	27,01	0,93	0,82	82	0,12
		0,6 - 0,7	488562	8,41	35572	7,34	0,87	0,77	77	0,11
		> 0,7	96195	1,66	5399	1,11	0,67	0,59	59	0,09
		TOPLAM:	5808366	100,00	484912	100,00	7,75			1,00

4.4.2. AHP yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi

İnceleme alanı için diğer bir heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemi olarak AHP uygulanmış olup, değerlendirmede uygulanan adımlar aşağıda sunulmuştur.

Öncelikle heyelanların meydana gelmesinde hazırlayıcı rol oynayan parametrelerin birbirine olan üstünlüklerinin belirlenmesi amacıyla her bir parametre diğer parametreler ile karşılaştırılarak puanlanmış ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Bu matrisin oluşturulmasında; inceleme alanı için hesaplanan FR değerlerinden, saha gözlemleri ile uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Yapılan değerlendirme neticesinde, SCB Associates Ltd. tarafından geliştirilen AHP Microsoft Excel Template yazılımı ile AHP yöntemi uygulanmıştır.

Analizlerde kullanılmak üzere, farklı uzman görüşlerine dayalı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve performansı en yüksek olan, diğer bir deyişle tutarlılık oranı (CR) değerinin en düşük olduğu matris seçilmiştir (Çizelge 4.14).

AHP uygulamasında ikili karşılaştırma matrisi için CR değeri 0.07 olarak bulunmuştur. Literatürde, bu değerin 0,1'den küçük olması durumunda oluşturulan matrisin tutarlı olduğu ifade edilmektedir (Saaty 1991). Bundan dolayı parametrelerin yeniden karşılaştırılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması ile 11 adet parametre için ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.15). Parametrelerin hesaplanan ağırlık değerlerine göre, heyelan oluşumunda en etkili faktörün %23,7 oranı ile litoloji, ardından %19,6 oranı ile yamaç eğimi olduğu belirlenmiştir. Parametrelere ait hesaplanan ağırlık değerleri tez kapsamında seçilen çalışma alanı için etkin yüzde oranlarını ifade etmektedir. Söz konusu ağırlık değerleri başka bölgeler ve çalışmalar için farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 4.14. AHP yöntemi için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi.

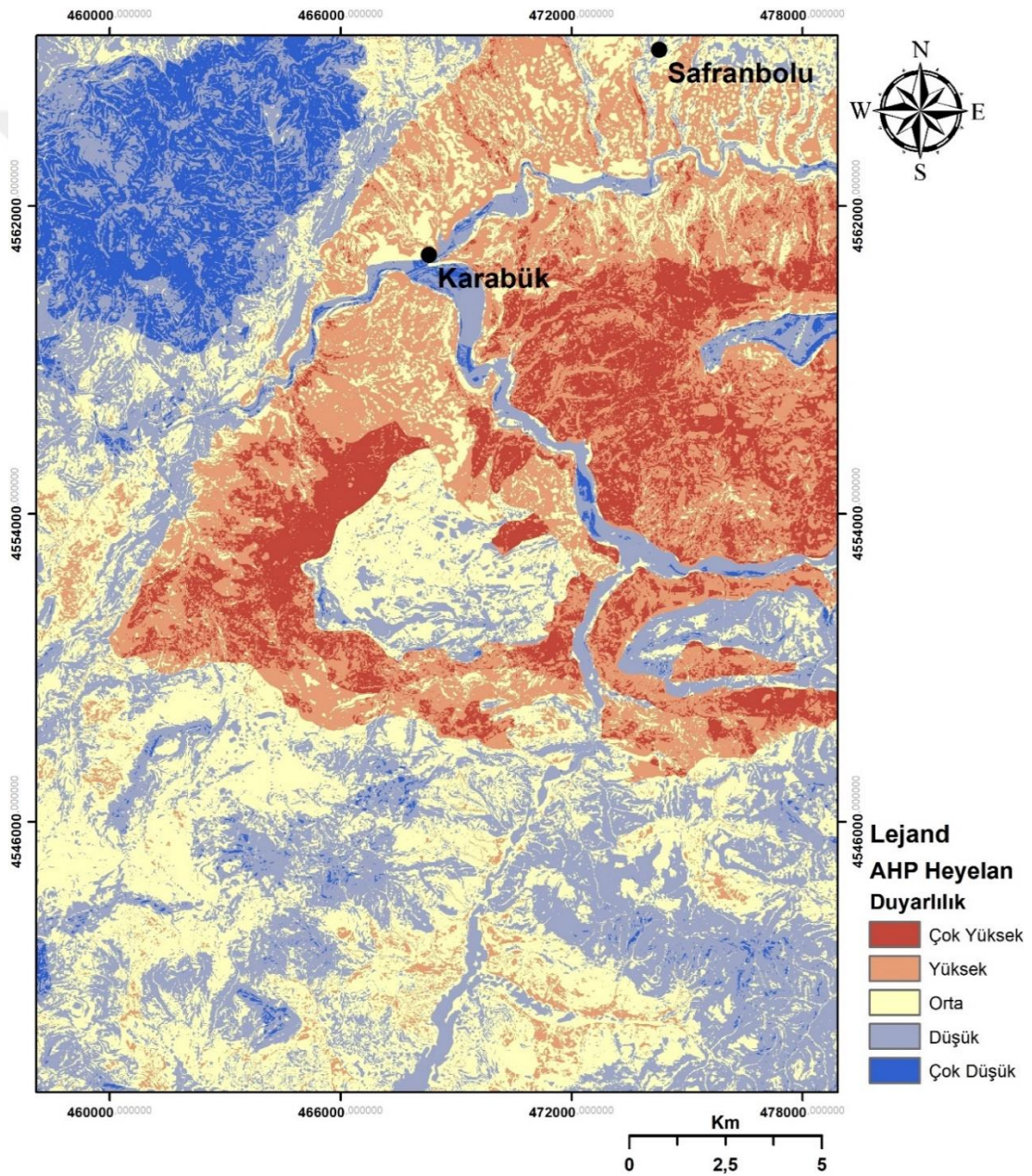
Parametreler	Yükselti	Eğim	Bakı	Jeoloji (Formasyon)	Drenaj Ağlarına U.	Yollara Uzaklık	Arazi Kullanımı	TWI	Plan Eğriselliği	Profil Eğriselliği	NDVI
Yükselti	1										
Eğim	3	1									
Bakı	1/3	1/4	1								
Jeoloji (For.)	3	2	5	1							
Drenaj A. U.	1/4	1/5	1/3	1/5	1						
Yollara U.	1/3	1/4	2	1/4	3	1					
Arazi Kul.	1/2	1/3	3	1/4	4	3	1				
TWI	1/2	1/4	2	1/3	4	2	2	1			
Plan Eğr.	1/5	1/5	1/3	1/6	1/3	1/3	1/5	1/4	1		
Profil Eğr.	1/6	1/6	1/4	1/7	1/4	1/4	1/6	1/5	1/2	1	
NDVI	1/3	1/4	1/2	1/5	3	1/2	1/4	1/3	2	3	1

Çizelge 4.15. Parametrelere ilişkin AHP uygulaması hesaplanan ağırlık değerleri.

Parametre	Ağırlık Değeri (%)
Yükselti	12,4
Eğim	19,6
Bakı	5,6
Jeoloji (Formasyon)	23,7
Drenaj Ağlarına U.	3,6
Yollara Uzaklık	6,3
Arazi Kullanımı	10,3
TWI	9,7
Plan Eğriselliği	2,5
Profil Eğriselliği	1,8
NDVI	4,4

Arcgis 10.2 yazılımı kullanılarak, Çizelge 4.14.'de verilen parametrelerin alt sınıflarına ait heyelan yoğunluk değerleri, ilgili parametre haritalarının alt sınıflarına atanarak tüm parametre haritaları yeniden sınıflandırılmıştır. AHP yöntemi ile elde edilen ağırlık değerleri, yeniden sınıflandırılan parametre haritaları ile çarpılmış ve tüm veri seti üst

üste toplanarak, inceleme alanına ait heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 4.22). Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere eşit aralıklarda 5 sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 4.33). AHP yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasında, inceleme alanının %9'u çok yüksek, %22'si yüksek, %33'ü orta, %30'u düşük, %6'sı çok düşük heyelanlı sınıfta yer almaktadır.



Şekil 4.33. İnceleme alanının AHP yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.

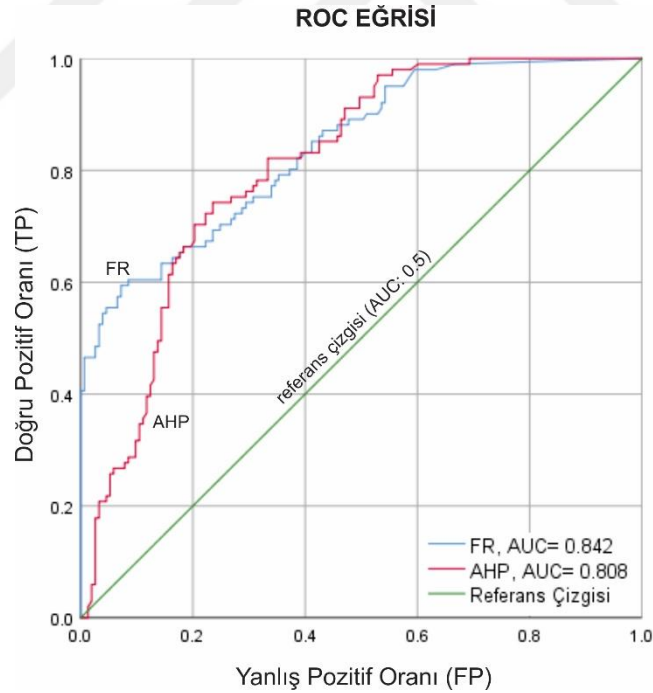
4.4.3. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirilmesi

Heyelan duyarlılık analizleri sonucunda üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluklarının ölçülmesi ve bunun sayısal bir ifade ile gösterilmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında FR ve AHP yöntemleri uygulanarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının konumsal doğruluklarının test edilmesi ve başarısının değerlendirilmesi amacıyla iki yöntem ele alınmıştır.

Yöntemlerden ilki doğru sınıflandırma yüzde oranlarının tespitine ilişkin yaklaşımdır. Bu yöntemin uygulanmasında, analizlere dahil edilmeyen ve test verisi olarak ayrılan heyelanlar ile üretilen heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır. İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarına ait toplam alanlar ve her bir sınıfa karşılık gelen test heyelanlarının dağılımları belirlenerek, yüzdeleri hesaplanmıştır. FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık sınıfları ile sınaama verisi heyelanlar ilişkilendirildiğinde; çok düşük heyelan duyarlılığı %0,00, düşük duyarlılık % 1,24, orta duyarlılık %20,55, yüksek duyarlılık %64,40 ve çok yüksek duyarlılık %13,80 oranında bulunmuştur. Yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfları toplamında %78,20 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Aynı analizler AHP yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası için yapılmış; çok düşük heyelan duyarlılığı %0,03, düşük duyarlılık % 5,08, orta duyarlılık %22,02, yüksek duyarlılık %45,01 ve çok yüksek duyarlılık %27,86 oranında bulunmuştur. Yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfları toplamında %72,87 oranında doğruluk derecesinin yakalandığı görülmektedir. Sonuç olarak, FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının daha iyi olduğu görülmüştür.

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi amacıyla uygulanan diğer yöntem ROC analizidir. Temel olarak bu yöntemin işlevi, bölgenin heyelan envanterinde yer alan mevcut heyelanlar ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma, heyelan olmayan alanlarda heyelan varlığı gösteren piksellerin, diğer bir ifadeyle “yanlış pozitif (false positive, FP)” değerleri ile heyelanların var olduğu alanlarda heyelan varlığı gösteren piksellerin, diğer

bir ifadeyle “doğru pozitif (true positive, TP)” değerlerinin oranlanması ile yapılmaktadır (Hasekioğulları 2010). FP ile TP değerlerinin oranlanması ile elde edilen ROC eğrisinin altında kalan alan (AUC) hesaplanmaktadır. AUC değeri 0,5 ile 1 arasında değişmekte olup, 1’e yakın değerler yapılan analizin doğruluğunun yüksek olduğunu ifade eder. 0,5’den küçük değerler ise yapılan analizin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ifade eder (Akgün ve Türk 2010). ROC eğrilerinin oluşturulmasında IBM SPSS Statistics programı kullanılmıştır. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları 255 sınıfa ayrılarak test verisi ile karşılaştırılmıştır. Her bir sınıfa ait heyelan varlık ve yokluk değerleri hesaplanmış ve elde edilen veriler ile ROC analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda; FR yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası için hesaplanan AUC değeri 0,842, AHP yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası için hesaplanan AUC değeri ise 0,808 olarak hesaplanmıştır. FR yönteminin performansının AHP’ye göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının ROC analiz sonuçları.

5. SONUÇ

Tez çalışmasında Batı Karadeniz Bölgesi Karabük İl sınırları içerisinde yer alan bölgenin heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılmış ve heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. İnceleme alanı için, heyelan oluşumunda hazırlayıcı rol oynayan; yükseklik, eğim, bakı, litoloji, drenaj ağlarına uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı, TWI, yamaç plan ve profil eğrisellikleri ile NDVI parametreleri değerlendirilerek heyelan oluşumundaki etkileri belirlenmiştir.

Heyelanların oluşumunda tetikleyici faktör olan yağış verisinin bir girdi parametresi olarak kullanılması düşünülmüş ancak yeterli konumsal yağış verisi elde edilemediğinden bu parametre değerlendirmeye alınmamıştır.

Depremlerin, heyelan oluşumunda tetikleyici bir unsur olması sebebiyle, deprem verisi girdi parametresi olarak değerlendirilmiştir. Ancak bölgedeki heyelanların konumsal dağılımları incelendiğinde, aktif fay verileri dahil olmak üzere, heyelan envanterindeki heyelanların hangilerinin deprem etkisi ile meydana geldiği belirlenemediğinden bu parametre analizlerde kullanılmamıştır.

Heyelanın hazırlayıcı parametreleri ile inceleme alanının heyelan envanteri birlikte değerlendirilmiş ve parametreler alt sınıflarına ayrılarak her bir alt sınıf için heyelan yoğunluğu hesabı yapılmıştır.

FR yöntemi ile girdi parametrelerine ait frekans oranları hesaplanması neticesinde; topoğrafik yükseklik açısından 400-800 m yükseklik değerlerinde, yamaç eğiminin 10-15° olduğu alanlarda, bakı parametresi açısından kuzey ve kuzeybatı yönelimli yamaçlarda, litoloji için Karabük formasyonu ve aynı formasyonun üyesi olarak tanımlanan Çerçen üyesinin yüzeylendiği bölgelerde, drenaj ağlarına uzaklık için 0-250 m aralığında yer alan tampon bölgelerde, yollara uzaklık için 400-800 m aralığında yer alan tampon bölgelerde, arazi kullanımı olarak seyrek bitki alanları ile doğal

çayırliklarda, TWI için 10-11 değer aralığına karşılık gelen alanlarda, yamaç plan ve profil eğrisellik değerleri için negatif eğrilik gösteren yamaçlarda ve NDVI için 0,4-0,5 indeks değerlerine karşılık gelen yamaçlarda heyelan yoğunluğunun yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir.

AHP uygulama adımlarından ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması ile parametrelerin ağırlık değerleri belirlenmiştir. Buna göre heyelanların oluşumunda parametreler için ağırlık değerleri; yükseklik 0,124, eğim 0,196, bakı 0,056, litoloji 0,237, drenaj ağlarına uzaklık 0,036, yollara uzaklık 0,063, arazi kullanımı 0,103, TWI 0,097, yamaç plan eğriselliği 0,025, yamaç profil eğriselliği 0,018 ve NDVI 0,044 olarak hesaplanmıştır. Değerlere bakıldığında, inceleme alanı için heyelanların meydana gelmesinde en etkin parametrenin litoloji olduğu, ikinci sırada ise eğim parametresinin yer aldığı görülmüştür. Bu parametreleri önem sırasına göre; yükseklik, arazi kullanımı, TWI, yollara uzaklık, bakı, NDVI, drenaj ağlarına uzaklık, yamaç plan eğriselliği ve yamaç profil eğriselliği parametreleri takip etmektedir.

Heyelan duyarlılık değerlendirilmelerinde kullanılan FR ve AHP yöntemleri ile üretilen haritaların ROC analizi ile performansları değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda FR yöntemi için hesaplanan AUC değerinin 0,84 ve AHP yöntemi için hesaplanan AUC değerinin ise 0,80 olduğu görülmüştür.

Haritaların performansları, doğru sınıflandırma yüzde oranlarının tespitine ilişkin yaklaşım ile değerlendirildiğinde; ayrılan sınama heyelanlarına karşılık gelen alanlarının yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının toplamı, FR yöntemi için %78,20 ve AHP yöntemi için %72,87 olduğu belirlenmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk analizi sonuçları karşılaştırıldığında; ROC analizi sonucunda FR yönteminin AHP yöntemine göre %4, doğru sınıflandırma yüzde oranlarının tespitine ilişkin yaklaşım ile değerlendirildiğinde yaklaşık %5,3 daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akgün, A., 2007. Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127–1143.
- Akgün, A. ve 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.
- Akgün, 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, 93–106.
- Akgün, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Pradhan, B., 2012. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, *Computers & Geosciences*, Volume 38, Issue 1, 2012, Pages 23-34.
- Akgün, A., 2018. Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Tonya (Trabzon) Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10.
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., Özalp, M., Kılıçer, S. T., 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*.
- Akyol, Z., Arpat, E., Erdoğan, B., Göger, E., Güner, Y., Garoğlu, F., Şentürk, G., Tütüncü, K. ve Uysal, İ., 1974. 1:50000 ölçekli Türkiye Jeolojisi Haritası Serisi. MTA yayınları.
- Aksay, A. ve Timur, E., 2002. 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Zonguldak – F 29 Paftası MTA Jeolojik Etütler Dairesi 20s, Ankara.
- Aleotti, P., and Chowdhury R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bulletin of Engineering Geology of the Environment*, 58, 21–44.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 2005, 65, 15–31.
- Ayalew L, Yamagishi H, Marui H and Kanno, T., 2005. Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications, *Engineering Geology*, 81:432– 445.
- Aydın, M., Serdar, H.S. Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokügras, R., Demir, O., Özçelik, Y., 1987. Çamdag (Sakarya)-Sünnicedag (Bolu) Yöresinin Jeolojisi. *TJK Bülteni*, 30 (1), 1-14.
- Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, S., Örçen, S., Can, B., Dager, Z., Bigi, C., Karabıyıkoglu, M., Süer, T., 1990. Kastamonu-Araç ve Güneynin Jeolojisi. MTA Rap. No: 9070 (yayımlanmamış).
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J., 1979. A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology *Hydrological Sciences Bulletin* Vol. 24, No. 1, p 43-69.
- Bhushan, N. and Rai, K., 2004. The Analytic Hierarchy Process. In: Roy R. (eds) *Strategic Decision Making. Decision Engineering*. Springer, London.
- Blumenthal, M.M., 1948. Bolu civarı ile Aşağı Kızılırmak Mecrası arasındaki Kuzey Anadolu Silsilelerinin jeolojisi : Maden Tetkik ve Arama Enst, Seri B, No. 13, 265s.

- Brunsdan, D. 1984. Mudslides. In *Slope Instability* (eds D. Brunsdan and D.B. Prior), Wiley, Chichester, pp. 363-418.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf. Proc. & Landf.*, 16, 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.
- Chen, W., Li, W.P., Hou, E.K., Zhao, Z., Deng, N.D., Bai, H.Y., Wang, D.Z., 2014. Landslide susceptibility mapping based on GIS and information value model for the Chencang District of Baoji, China. *Arab. J. Geosci.* 2014, 7, 4499–4511.
- Chen, W., Li, W.P., Chai, H., Hou, E., Li, X. and 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 Science*, 75:63, 2016.
- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association for Engineering Geology*, 43: 27-29.
- Çellek, S., 2013. Sinop Gebze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Dağdelenler, G., Nefeslioğlu, H., Gökçeoğlu, C., 2015. Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 75. 10.1007/s10064-015-0759-0.
- Dai, F. C. and Lee, C. F., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42, 213–228.
- Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2006. Karabük İlinin Tehlike ve Riskinin Belirlenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2006, Rapor No: 5606-1.
- Dikau, R., Brunsdan, D., Schrott, L. and Ibsen, M.L., (Eds.) 1996. *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. Wiley & Sons, Chichester.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi-Yenice Kuzeyi), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ercanoğlu, M., 2005. Landslide Susceptibility Assessment of SE Bartın (West Black Sea Region, Turkey) by Artificial Neural Networks, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 979-992.
- Ercanoğlu, M., Kaşmer, Ö. and Temiz, N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 67, no. 4, 565–578.
- Erener, A. and 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* 7:55–68.
- Erener, A., Mutlu, A. and Düzgün, H. S., 2016. comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM), *Engineering Geology*, Volume 203, 2016, Pages 45-55.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi E. and Savage, W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Eng. Geol.*, 102: 85-98.

- Gallant, J. C. and Wilson, J. P., 2000. Primary topographic attributes. In J. P. Wilson and J. C. Gallant (eds) *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: John Wiley and Sons, pp. 51–86.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 2008. Comparing landslide inventory maps, *Geomorphology* 94, 268–289.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P., Gessler P.E., 2006. An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, *Control and Cybernetics*, 35:1.
- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi*, 23, 189–206.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslidesusceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81, 65–83.
- Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Ürgün, B.M., Aksay, A., ve Kuşçu, G., 1986. Armutlu Yarımadası’nın doğu kesiminin jeolojisi. MTA Rapor, No. 7786 43p.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development. *Geomorphology*, 31, 181–216.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. and Carrara, A., 2000. Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy, *Environmental Management.*, vol. 25, no. 3, 247–363.
- Guzzetti, F., Mondini A.C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M. and Chang K.T., 2012. Landslide inventory maps: new tools for and old problem. *Earth-Science Reviews* 112, 42–66.
- Hasekiogulları, G.D., 2010. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Jadda, M., Shafri, H.Z.M., Mansor, S.B., Sharifikia, M., Pirasteh, S., 2009. Landslide susceptibility evaluation and factor effect analysis using probabilistic-frequency ratio model. *Eur J Sci Res* 33:654–668.
- Karabük AFAD, 2016. Karabük İl Merkezi ve Diğer İlçeler Heyelan Duyarlılık Analizi Raporu, Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü İl Afet Tehlike Haritalarını Hazırlama Komisyonu, Arşiv No:2016/6.
- Karabük İl Kültür Turizm Müdürlüğü, 2018. <http://karabukkultur.gov.tr/TR,63702,11.07.2018>.
- Ketin, İ. ve Gümüş, Ö., 1963. Sinop-Ayancık arasında bölgeye dahil sahaların jeolojisi. TPAO Rap. No: 288, 37 s.
- Ketin, İ. 1966. Anadolunun tektonik birlikleri, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, Ankara, 66, 20–34.
- Kıvanç, O., 2013. Landslide Susceptibility Assessment Of Turkey Using Qualitative And Semi-Quantitative Methods, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koçyiğit, A., 1987. Karabük-Safranbolu Tersiyer havzası kuzey kenarının stratigrafisi ve niteliği, c.30, s.61–69, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Şubat Sayısı, Ankara.
- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geological Survey of Slovenia*, 74, 17–28.
- Kreveld, M.V., 1997. Digital elevation models and TIN algorithms, *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems*, 37–78, Springer Berlin Heidelberg.

- Kwiesielewicz, M. and Uden, E.V., 2004. "Inconsistent And Contradictory Judgements in Pairwise Comparison Method in The AHP", *Computers&Operations Research*, 31(5), s.713-719.
- Lee, S. and Min, K., 2001. Statistical Analysis Of Landslide Susceptibility At Yongin, Korea *Environ. Geol.*, 40, 1095–1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2002. Landslide Susceptibility Analysis and Verification Using the Bayesian Probability Model, *Environmental Geology*, 43,120–131.
- Lee, S., Choi, J., Min, K., 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 25, Issue 11, 2037-2052.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S., Park, H.J., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, 71, 289-302.
- Lee, S. and Dan, N.T., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: Focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environ Geol* 48(6):778–787.
- Lee, S. and Talib, J.A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, *Environmental Geology*, 47:982–990.
- Lee, S. and Lee, M.J., 2006. Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide-susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea, *Advances in Space Research*, 38, 2261-2271.
- Lee, S. and Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the damrei romel area, cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environ Geol* 50:847–855.
- Lee, S. and Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides* 4:33–41.
- Leroi, E., 1996. Landslide hazard-risk maps at different scales: objectives, tools and developments. *Proc. 7th Int. Symp on Landslides*, Trondheim, 1, June 1996, 1, 35.
- Mehrotra, G.S., Sarkar, S. ve Dharmaraju, R., 1992. Landslide Hazard Assessment in Rishikesh-Tehri Area, Garhwal Himalaya, India, *Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides*, 1001–1007.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2018. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KARABUK>, 11.07.2018.
- Moore, L.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Myers, J.H. and Alpert, M.I., 1968. Determinant buying attitudes: meaning and measurement. *J Mark*, 32, 13–20.
- NCARS, 2018. National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 15 Mar 2018. "The Climate Data Guide: NDVI: Normalized-difference-vegetation index: NOAA AVHRR."
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, *Engineering Geology*, Volume 97, Issues 3–4, 2008, Pages 171-191.
- ODTÜ Jeoloji-Jeofizik Araştırma Merkezi, 1986. Karabük Yerleşim Alanı Jeolojik Etüdü (Proje Kod: 86-03-09-01-02), 35 s., Ankara.
- Ott, R.L. and Longnecker, M., 2001. An introduction to statistical methods and data analysis, 5th edn. Duxbury Press, USA.
- Pradhan, B. and Lee S., 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, *Environmental Modelling Software*, 25:747–759, 2010.

- Rahaman, S. A., Aruchamy, S., Rajagopal, J., 2014. Geospatial Approach on Landslide Hazard Zonation Mapping Using Multicriteria Decision Analysis: A Study on Coonoor and Ooty, Part of Kallar Watershed, The Nilgiris, Tamil Nadu. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL. 1417-1422.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Saaty, T.L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15: 57-68.
- Saaty, T.L., 1991. "Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process." *Behaviormetrika*, 29, 1-9.
- Saaty, T.L. and Vargas, L.G., 2000. "Models, Methods, Concepts&Applications of the Analytic Hierarchy Process", Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London.
- Saaty, T.L. 2008. 'Decision making with the analytic hierarchy process', *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp.83-98.
- Saner, S., Siyako, M., Aksoy, Z., Bürkan, K., Demir, O., 1981. Zonguldak dolayının jeolojisi, TPAO Rap.
- Saner, S., Taner, I., Aksoy, Z., Siyako, M., Bürkan, K., 1980. Karabük Safranbolu Bölgesinin Jeolojisi, Türkiye 5. Petrol Kongresi, s:111-122.
- Schuster, R.L., 1996. Socio- economic significance of Landslides. In: Turner, A.K, and Schuster, R.L (Eds.) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Report 247, Transportation Research Board, NRC, National Academy Press, Washington DC, pp. 12-35.
- Shahabi, H., Khezri, S., Baharin A., Mazlan H., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytica hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, *CATENA*, Volume 115, 2014, Pages 55-70.
- Sooeters, R. and Van Westen C.J., 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), *Landslides, investigation and mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., pp 129-177.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey, A plate tectonic approach: *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., and Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3, 693-707.
- Taalab, K., Cheng, T., Zhang, Y., 2018. Mapping landslide susceptibility and types using Random Forest. *Big Earth Data*. 1-20. 10.1080/20964471.2018.1472392.
- Temiz, A., 2006. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanması: Karabük Örneği, *Mühendislik Jeolojisinde Uygulamalar Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2006, sf. 45-54.
- Tetik Biçer, Ç., 2017. Heyelan risk haritalaması üzerine yarı sayısal bir değerlendirme, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Timor, M., 2011. *Analitik Hiyerarşi Prosesi*, İstanbul, Türkmen Kitabevi.
- Tüysüz, O., Aksay, A. ve Yiğitbaş, E., 2004. Batı Karadeniz bölgesi litostratigrafi birimleri. *Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-1*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları. Ankara.
- UNISDR, 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction, UNISDR-20-Geneva.

- Van Westen, C.J., Rengers, N, Terlien, M.T.J., Soeters, R., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geol Rundsch* 86(2):404–414.
- Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices, Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 p, Paris.
- Wilson, J. and Gallant, J., 2000. Digital Terrain Analysis in Terrain Analysis: Principles and Applications. *Terrain analysis: principles and applications*, 479. 1-27.
- WP/WLI, 1993. (International Geotechnical Societies=UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), Multilingual Landslide Glossary. BiTech Publishers Ltd.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey CATENA, Volume 85, Issue 3, 2011, Pages 274-287.
- Yergök, A. F., Ünal A., İplikçi, Ü., Karabalık, N., Keskin, İ., Mengi, H., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H. ve Çetinkaya, A., 1987. Batı Karadeniz Bölgesi Jeolojisi. MTA Rapor No:8273, sayfa:237.
- Yılmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison : A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Comput Geosci* 35:1125–1138.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A. and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. *Geological Journal* n:34, pp: 55-74.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Ankara ilinde doğdu. İlköğretim ve lise hayatını Ankara’da tamamlayarak 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen bir kamu kurumunda görev yapmakta olup, evli ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.

