

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak Hazırlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim süresince yardımlarıyla bana yol gösteren, tecrübesini, bilgisini aktaran ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. AYKUT AKGÜN'e teşekkür etmeyi borç bilirim.

Tezimin başlangıcından bitimine kadar bana inanan ve yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan, bildiklerini paylaşan, arazi çalışmalarında ve tez düzenleme aşamasında yardımını esirgemeyen kardeşim Jeoloji Mühendisi OĞUZHAN KALAFAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında bana moral ve destek vererek varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Metehan Yaşar KALAFAT  
Trabzon 2021

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Vakfıkebir (Trabzon) İlçesinin Fiziksel Veriye Dayalı Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aykut AKGÜN’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/03/2021

Metehan Yaşar KALAFAT

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	3
1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu.....	3
1.4. Morfoloji.....	4
1.5. Ulaşım ve Yerleşim Durumu .....	4
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
1.7. Önceki Çalışmalar .....	8
1.8. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme .....	10
1.9. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramı .....	11
1.10. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler.....	13
1.10.1. Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler .....	14
1.10.1.1. Jeomorfolojik Analizler.....	14
1.10.1.2. Parametre Haritalarının Kullanılması.....	15
1.10.2. Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler.....	15
1.10.2.1. İstatistiksel Analizler .....	15
1.10.2.1.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler .....	16
1.10.2.1.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler .....	16
1.10.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar .....	17
1.10.2.3. Yapay Zeka Yöntemleri .....	17
1.11. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Ölçekler	17
1.12. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler .....	18

1.12.1.	Yamaç Eğimi .....	18
1.12.2.	Litoloji-Ayrışma .....	18
1.12.3.	Yamaç Yönelimi (Bakı) .....	21
1.12.4.	Arazi Örtüsü .....	21
1.12.5.	Yükseklik.....	22
1.12.6.	Drenaj Ağı .....	22
1.12.7.	Ana Faylara Yakınlık .....	23
1.13.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) .....	23
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
2.1.	Giriş.....	24
2.2.	Arazi ve Büro Çalışmaları .....	25
3.	BULGULAR.....	27
3.1.	Vakıkebir ve Çevresinin Genel Jeolojisi.....	27
3.1.2.	Kabaköy Formasyonu.....	30
3.1.3.	Beşirli Formasyonu .....	31
3.1.4.	Alüvyon .....	32
3.2.	YÖNTEM .....	35
3.2.1.	FR Yöntemi .....	36
3.2.1.1.	Frekans Oranı Yönteminin Çalışma Alanına Uygulanışı .....	36
3.2.2.	Parametre Haritalarının Oluşturulması ve Heyelan Duyarlılık Haritası .	37
3.2.2.1.	Topoğrafik Yükseklik.....	37
3.2.2.2.	Yamaç Eğimi .....	39
3.2.2.3.	Yamaç Yönelimi (Bakı) .....	41
3.2.2.4.	Yamaç Eğriselliği .....	43
3.2.2.5.	Litoloji .....	45
3.2.2.6.	Drenaj Ağlarına Uzaklık .....	47
3.2.2.7.	Topoğrafik Nemlilik İndeksi .....	49
3.2.2.8.	Bağıl Eğim Konumu.....	51
3.2.2.9.	Vadi Derinliği.....	53
3.2.2.10.	Eğim Uzunluğu ve Diklik Faktörü (LS Faktör) .....	55
3.2.2.11.	Yakınsama İndeksi .....	58
3.2.2.12.	Drenaj Ağı Temel Seviyesi .....	61
3.2.3.	FR Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi.....	64

3.2.4.	SINMAP (Stability Index Mapping) Matematiksel Metodu.....	67
3.2.5.	SINMAP (Stability Index Mapping) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi .....	68
3.2.6.	Entropi Endeksi (EE) Yöntemi.....	74
3.2.6.1.	Entropi Endeksi Yönteminde Kullanılan Parametreler .....	75
3.2.7.	Entropi Endeksi Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	80
3.2.8.	Heyelan Duyarlılık Modellerinin Doğrulanması.....	83
4.	SONUÇLAR.....	84
5.	KAYNAKLAR .....	87
6.	EKLER.....	94

## ÖZGEÇMİŞ



## ÖZET

### VAKFIKEBİR (TRABZON) İLÇESİNİN FİZİKSEL VERİYE DAYALI COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ

Metehan Yaşar KALAFAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Aykut AKGÜN  
2021, 91 Sayfa, 8 Sayfa Ek

Ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi'nde heyelanların çok yaygın olarak meydana geldiği bilinmektedir. Bu konunun ayrıntılı olarak incelenerek, insan ve yaşam olanakları üzerinde yarattığı olumsuz etkileri en aza indirmek için kalıcı çözümler üretmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu çalışmada, Vakfıkebir (Trabzon) ilçesinin heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Vakfıkebir ve çevresinin 1:25.000 ölçekli jeoloji haritası MTA Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir.

Bölgede meydana gelen aşırı ve şiddetli yağışlardan dolayı özellikle yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalardan türeyen kalıntı(rezüdiel) toprak zeminlerde çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. İnceleme alanında meydana gelen heyelanlara ait envanter haritası, GoogleEarth çok zamanlı görüntüleme olanağı kullanılarak MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye Ulusal Heyelan Envanter haritasından yararlanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanında yüzeylenen kalıntı toprak zeminlerden alınan numuneler üzerinde yapılmış fiziksel ve mekanik deney verilerinden de yararlanılarak SINMAP (Stability Index Mapping) matematiksel modeli kullanılarak fiziksel veriye dayalı heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Ayrıca yapılan çalışmalarla birlikte olasılıksal yöntemler içerisinde kabul edilen Frekans Oranı (FR) ve Entropi Endeksi (EE) yöntemleri kullanılarak da heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bu duyarlılık haritalarında, çok az duyarlı, az duyarlı, orta duyarlı yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmeleri ve birbirleriyle karşılaştırmaları gerçekleştirilerek yapılan kestirim değerlendirmeleri irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Heyelan Duyarlılık, Coğrafi Bilgi Sistemleri, SINMAP



## SUMMARY

### PHYSICAL DATA AND BASED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF VAKFIKEBİR (TRABZON) DISTRICT

Metehan Yaşar KALAFAT

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geology Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aykut AKGÜN  
2021, 93 Pages, 8 Appendix

It is known that landslides are very common in our country, especially in the Black Sea Region. By examining this issue in detail, it becomes necessary to produce permanent solutions in order to minimize the negative effects on human and life possibilities. In this study, landslide susceptibility analysis of Vakfikebir (Trabzon) district was carried out. 1:25.000 scaled geology map of Vakfikebir and its surroundings was obtained from MTA General Directorate. Due to the excessive and heavy rainfalls in the region, many landslides have occurred on the residual soil soils, especially derived from the highly and completely weathered rocks. Inventory of the study area map landslides, much time has been prepared GoogleEarth prepared by the MTA using benefiting from Turkey's National Landslide Inventory map display options. A landslide susceptibility map based on physical data was produced by using the SINMAP (Stability Index Mapping) mathematical model, using the physical and mechanical test data made on samples taken from the residual soil soils surfaced in the study area.

In addition, with the studies carried out, landslide susceptibility maps were produced using the Frequency Ratio (FR) and Entropy Index (EE) methods, which are accepted as probabilistic methods. In these sensitivity maps, five different sensitivity areas were determined as very low sensitivity, low sensitivity, medium sensitivity, high sensitivity and very high sensitivity. The accuracy evaluations and comparisons of the produced landslide susceptibility maps were examined and the estimation evaluations made were examined.

**Key Words:** Landslide Sensitivity, Geographic Information Systems, SINMAP

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Coğrafik bölgeler meydana gelen ölümcül heyelanlar sonucundaki ölümlerin aylık ve mevsimsel dağılışı (Fidan ve Görüm, 2020) .....	1
Şekil 2. İllere göre ölüm getiren heyelan sayısı (Fidan ve Görüm,2020).....	2
Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresini gösteren yer bulduru haritası (URL-1, 2021) .....	3
Şekil 4. Trabzon iline ait toprak örtüsü haritası (URL-3, 2018).....	5
Şekil 5. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2020) .....	7
Şekil 6. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2020) .....	7
Şekil 7. Heyelan değerlendirme yöntemleri Aleotti ve Chowdury (1999), Ercanoğlu(2003).....	13
Şekil 8. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yararlanılan parametreler (Dağ, 2007).....	20
Şekil 9. İnceleme alanının jeoloji haritası .....	28
Şekil 10. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti .....	29
Şekil 11. Kabaköy formasyonu'na ait bazaltların görünümü .....	30
Şekil 12. Kabaköy Formasyonundaki tüflere ait görünüm.....	31
Şekil 13. Beşirli Formasyonundaki konglemeralara ait görünüm .....	32
Şekil 14. Volkanik breşlerin arazi görünümü.....	33
Şekil 15. Alüvyonlar.....	34
Şekil 16. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı.....	35
Şekil 17. İnceleme alanının yükseklik haritası .....	38
Şekil 18. İnceleme alanının eğim haritası.....	40
Şekil 19. İnceleme alanının yamaç yönelimi (Bakı) haritası .....	42
Şekil 20. İnceleme alanının yamaç eğriselliği haritası .....	44
Şekil 21. İnceleme alanının litoloji haritası .....	46
Şekil 22. İnceleme alanının drenaj ağlarına uzaklık haritası .....	48
Şekil 23. İnceleme alanının TWI haritası .....	50
Şekil 24. İnceleme alanının bağıl eğim konumu haritası.....	52
Şekil 25. İnceleme alanının vadi eğimi haritası.....	54
Şekil 26. İnceleme alanının eğim uzunluğu ve diklik faktörü haritası .....	57
Şekil 27. İnceleme alanının yakınsama indeksi haritası .....	60
Şekil 28. İnceleme alanının drenaj ağı temel seviyesi indeksi haritası .....	63

Şekil 29. FR yöntemine göre heyelan duyarlılık derecelerinin yüzdeler dağılımı .....	65
Şekil 30. İnceleme alanının FR yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	66
Şekil 31. Sonsuz şev stabilite modeli (Pack vd., 2005).....	67
Şekil 32. SINMAP matematiksel modelinde kullanılan heyelanların nokta veri olarak gösterimi .....	71
Şekil 33. SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası.....	72
Şekil 34. Heyelan noktalarının SI sınıfları ile karşılaştırması .....	73
Şekil 35. SI sınıflarının toplam alan ile karşılaştırması.....	74
Şekil 36. EE yöntemine göre heyelan duyarlılık derecelerinin yüzdeler dağılımları.....	81
Şekil 37. Entropi Endeksi Yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	82
Şekil 38. Frekans oranı ve Entropi indeksi modellerinin kestirim performans grafiği (AUC) .....	83

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Trabzon iline ait (1927-2019) yılı sıcaklık ve yağışla ilgili veriler.....	6
Tablo 2. Heyelan çalışmalarında yararlanılan ölçekler (IAEG, 1976).....	17
Tablo 3. Yükseklik parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	39
Tablo 4. Eğim parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	41
Tablo 5. Yamaç yönelimi (Bakı) parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	43
Tablo 6. Yamaç eğriselliği parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	45
Tablo 7. Litoloji parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları.....	47
Tablo 8. Drenaj ağlarına uzaklık parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	49
Tablo 9. TWI parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	51
Tablo 10. Bağlı eğim konumu parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları.....	53
Tablo 11. Vadi derinliği parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları ..	55
Tablo 12. Eğim uzunluğu ve diklik faktörü parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları.....	58
Tablo 13. Yakınsama indeksi parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları.....	61
Tablo 14. Drenaj ağı temel seviyesi parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları .....	64
Tablo 15. Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarına ait alansal oran değerleri .....	65
Tablo 16. SINMAP tarafından benimsenen stabilite sınıfları .....	68
Tablo 17. SINMAP matematiksel modeli için kullanılan girdi parametreleri ve değerleri	70
Tablo 18. SINMAP modelinden edilen SI değerleri ve istatistiksel sonuçları .....	73
Tablo 19. Entropi indeksi yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan parametreler ve üretilen veriler .....	76
Tablo 20. EE yöntemiyle elde edilen duyarlılık sınıflarına ait alansal oran değerleri .....	81

## SEMBOLLER DİZİNİ

Alv	: Alüvyon
AUC	: Area Under the Curve
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEM	: Sayısal Yükseklik Modelleri
EE	: Entropi Endeksi
Ev	: Kabaköy Formasyonu
FR	: Frekans Oranı
FS	: Güvenlik Faktörü
GIS	: Geographical Information Systems Horn
GPS	: Global konum belirleme
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
HDH <sub>EE</sub>	: Nihai Haritadaki Heyelan Duyarlılığı
LS Factor	: Eğim Uzunluğu ve Diklik Faktörü
MRMR	: Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma
M-RMR	: Yeniden Düzenlenmiş Jeomorfolojik Sınıflandırma
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PLB	: Beşirli Formasyonu
RMS	: Jeomorfolojik Amaçlı Sınıflandırma
ROC	: Receiver Operating Characteristic
SI	: Stabilite İndeks
SINMAP	: Stability Index Mapping
SSPC	: Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırması
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TWI	: Topoğrafik Nemlilik İndeksi
UTM	: Urchin Tracking Module
WGS	: Coğrafi Koordinat Sistemi
a	: Birincil Sınıflandırma Yapıldıktan Sonra Sınıfın Kapsadığı Alan
b	: Verilen Sınıfa Ait Olan Heyelanlı Alan
c	: Kohezyon

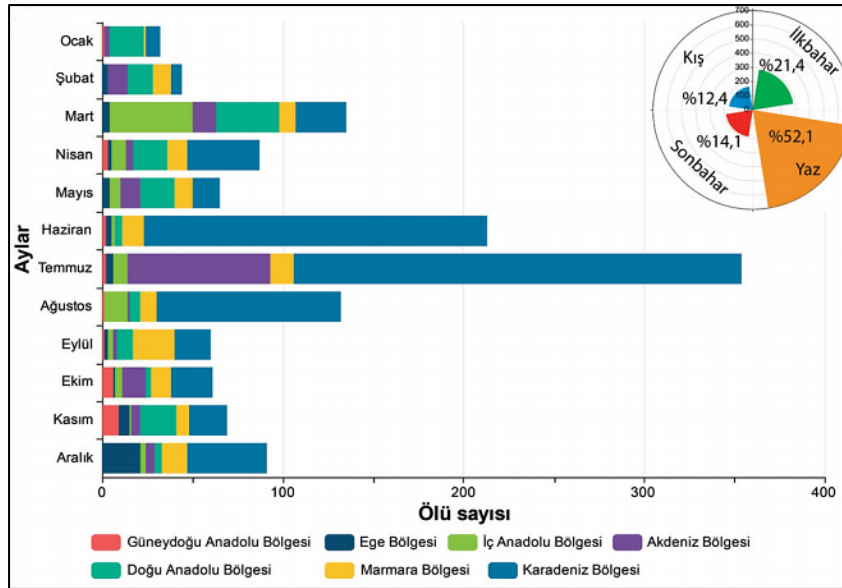
C	: İkincil Sınıflandırma Yapıldıktan Sonra Sınıfın Değeri
Cos	: Kosinüs
D	: Düşey Toprak Derinliği
h	: Toprak Kalınlığı
H <sub>j</sub> ve H <sub>jmax</sub>	: Entropi Değerleri
I <sub>j</sub>	: İlgili Katmanın Katsayısı
İ	: İlgili Katmanın Sınıfları
Max	: Maximum
M <sub>i</sub>	: İlgili Katmanın Sınıf Sayısı
Min	: Minimum
P <sub>ij</sub>	: Olasılık Yoğunluğu
P <sub>j</sub>	: (j = 1,2,...,n) İçin Heyelan Olasılığı
S <sub>j</sub>	: Sınıf Sayısı
T/R	: Transmissivite/Beslenme
W <sub>j</sub>	: İlgili Katmanın Tamamını İfade Eden Ağırlık Değeri
Z	: En Fazla Sınıf Sayısını İçeren Katmanın Sınıf Sayısı
φ	: İçsel Sürtünme

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yeryüzünde meydana gelen birçok doğa olayı insan hayatını ve çevresel süreci olumsuz yönde etkilemektedir. Böyle etki gösterdiği takdirde doğa olayları doğal kaynaklı afet olarak adlandırılmaktadır. Deprem, heyelan, volkanik faaliyetler, fırtına, sel, çığ vb. olaylar başlıca doğal kaynaklı afetlerdendir. Yapılan birçok çalışmada ve bu çalışmalara ilişkin değerlendirmelerde, meydana gelen doğal kaynaklı afetlerle ilgili olarak farklı oranlar söz konusudur. Ne kadar farklı oranlar olursa olsun, depremden sonra hayatı olumsuz yönde etkileyen en önemli doğal afetin heyelanlar olduğu bir gerçektir. Dünyada meydana gelen heyelanlardan dolayı maalesef binlerce insan hayatını kaybetmektedir.

Ülkemizin bulunduğu gerek coğrafik konumu ve morfolojik yapısı gerekse iklim özelliklerinden dolayı meydana gelen doğal afetlerde can kayıplarına ve büyük ekonomik zararlarla sık sık karşılaşmaktadır. 1929–2019 yılları arasında ölümcül heyelanların ve ölümlerin yaz mevsiminde yoğunlaştığı görülmektedir. Karadeniz Bölgesi'ndeki ölümcül heyelan olaylarının %51'i ile ölümlerin %72,5'i, yaz mevsimine karşılık gelen Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir (Fidan ve Görüm, 2020).



Şekil 1. Coğrafik bölgelerdeki ölümcül heyelanlar sonucundaki ölümlerin aylık ve mevsimsel dağılışı (Fidan ve Görüm, 2020)

Ülkemizde, meydana gelme sıklığı ve verdiği zararlar bakımından heyelanlardan en fazla etkilenen bölgelerden birisi Karadeniz Bölgesi'dir (Şekil 2). Karadeniz kıyısında, jeomorfolojik olayların önde gelenleri yamaç hareketleri olarak tanımlanabilir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölümündeki zeminler topoğrafyanın dik oluşu nedeniyle bir süre sonra hareket etmektedir. Bu hareketler yol, tünel patlatmaları, yanlış yerleşim, temel kazısı gibi mühendislik çalışmaları ve en çokta yağış sonucu hızlanmaktadır. Doğu Karadeniz Bölümünde meydana gelen 107 (%27.5) ölümcül heyelan 645 (%48) ölüm meydana getirmiştir. Türkiye'deki 81 ilin 67'sinde 1929 yılından itibaren ölümcül heyelan olayı kayıt altına alınmıştır. Hem olay hem de ölüm frekansının en yüksek olduğu iller 336 ve 191 ölüm ile Trabzon ve Rize'dir. Giresun (19 olay), Artvin (12 olay) (Şekil 2). Nüfus sayısı ile normalize edildiğinde, olay sayıları ve ölü sayılarına bakıldığında Trabzon ve Rize başta olmak üzere Artvin ve Giresun'da yoğunluğun diğer illere kıyasla çok fazla olduğu görülür (Fidan ve Görüm, 2020).



Şekil 2. İllere göre ölüm getiren heyelan sayısı (Fidan ve Görüm,2020)

Karadeniz'in doğusundaki topoğrafik yapının dağlık alanlardan oluşması ve dağların kıyıya paralel uzanıp kıyıda başlamasından dolayı bölgede yerleşim alanları sınırlıdır. Nüfusun artması ve ekonominin büyümesiyle birlikte yerleşim dağ eteklerine doğru yol almaktadır. Bu yol almalarla oluşan yerleşim alanları, genelde doğal ya da insan heyelan duyarlılığı yüksek olan yamaçlardır.

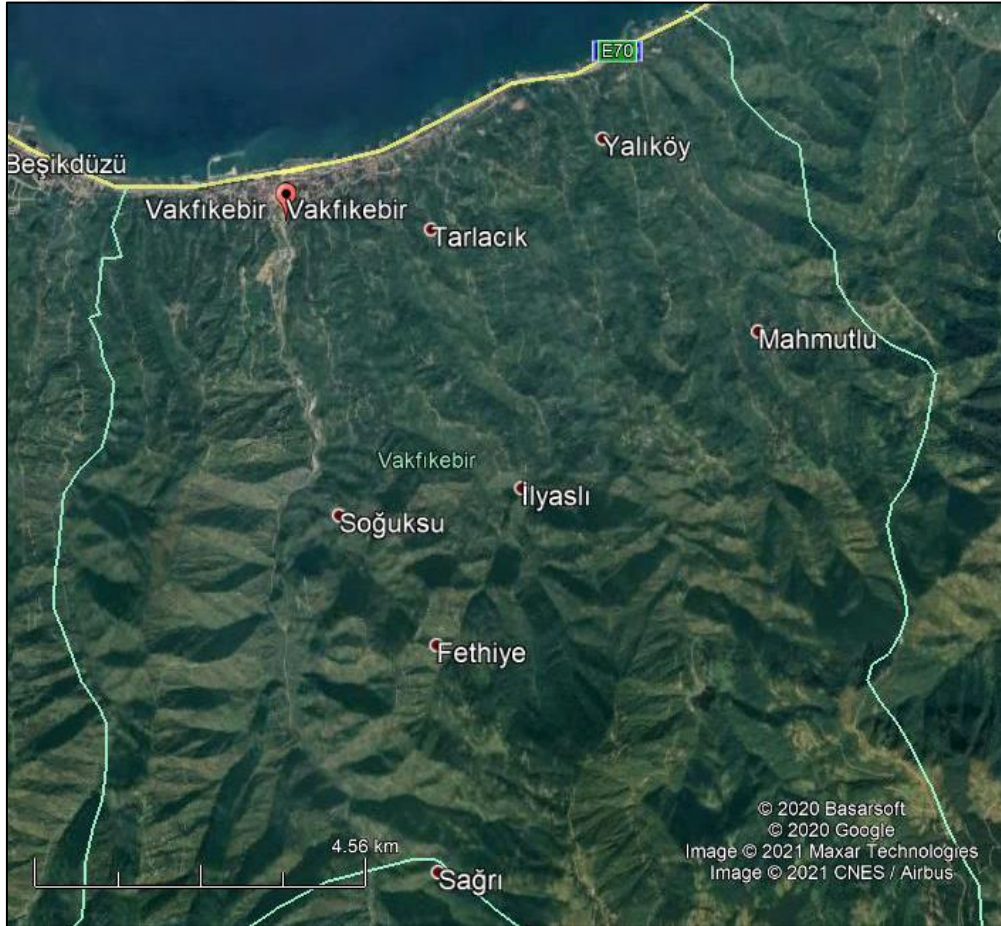


## 1.2. Çalışmanın Amacı

İncelemede, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz bölümünde bulunan, Trabzon İli Vakfıkebir ilçesinde gerçekleşmiş heyelan alanlarının belirlenip heyelan duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır.

## 1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz Bölümü'nde Trabzon iline bağlı Vakfıkebir ilçe merkezi ve çevresinde yer alır. 1:25.000 ölçekli F42-G42 paftasında takriben 143 km<sup>2</sup> lik bölümü içerir (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresini gösteren yer bulduru haritası (URL-1, 2021)

#### 1.4. Morfoloji

Vakfikebir ilçesinin yüzölçümü 143 km<sup>2</sup>'dir ve 34 mahalleden oluşmaktadır. Genel olarak topografya engebeldir. Arazide kuzeyden güneye rakım artar ve bununla birlikte engebeli arazide de fazlaşma görülmektedir. Mahallelerin bazılarında sırtlar serttir. Bu durum ulaşım, yerleşim, ziraat ve hayvancılık sorunları oluşturmakta ve yerleşmeler düzensiz olarak meydana gelmektedir. Arazinin en yüksek bölgesi güneydoğu kısmındadır (1954 m). Deniz kıyısı ise en alçak bölgedir (0 m). Akarsular; güney kuzey doğrultusunda vadiler boyunca yol almaktadırlar. Topraklardan sızan ve açığa çıkan sular ufak derelerde birikir. İlçenin en büyük akarsuyu merkezden başlayıp Karadeniz'e ulaşan Fol ve Kirazlık Deresidir.

İnceleme alanının geniş bir bölümünü sıra ve geçit vermeyen dağlar oluşturmaktadır. İnceleme alanının en önemli yükseltilerinden biri ilçenin güneydoğusundaki Karadağ Yaylasındadır (1954 m).

#### 1.5. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

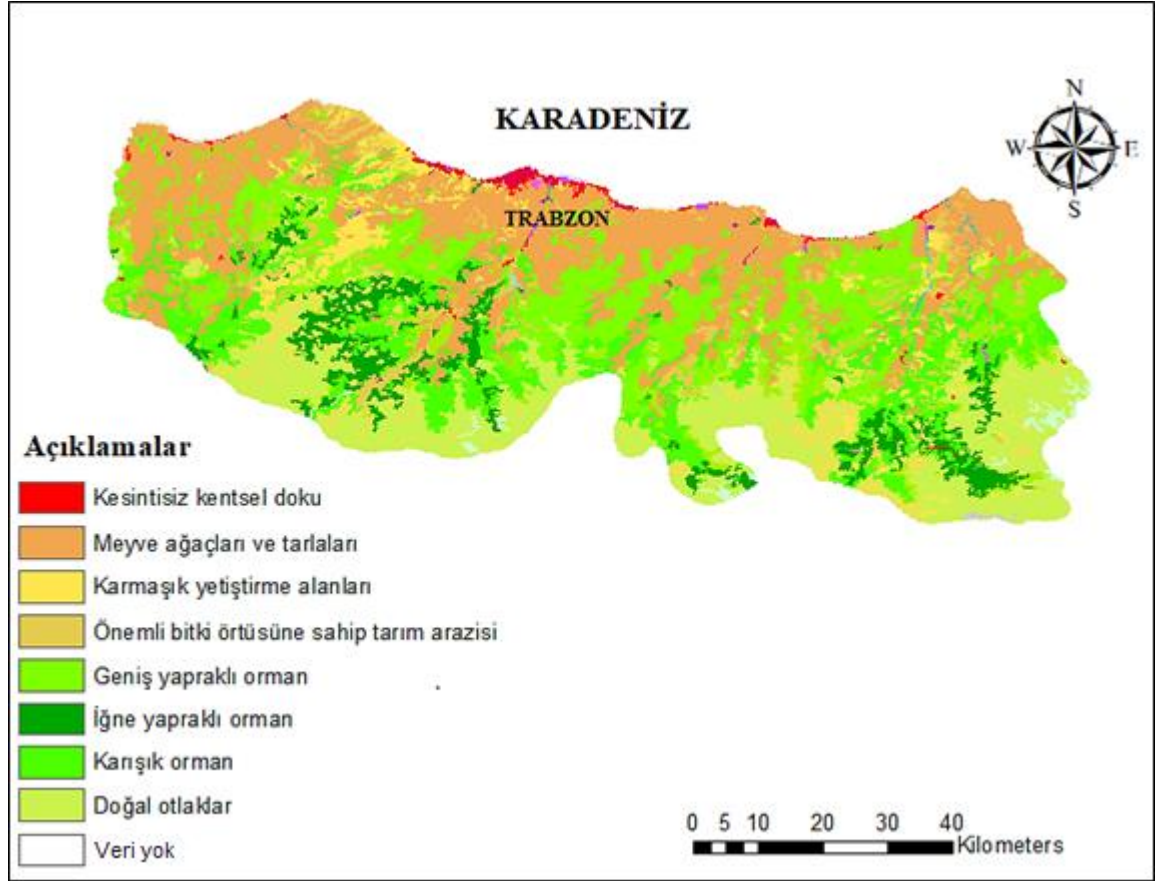
Vakfikebir ilçesine Karadeniz Devlet Sahil yolu ile ulaşılmaktadır. Doğusunda Akçaabat ile Çarşıbaşı, batısında Beşikdüzü, kuzeyinde Karadeniz ve güneyde Düzköy ve Tonya ilçeleri bulunur.

#### 1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

Trabzon ilinde, kıyı bölgeler, Karadeniz ikliminin etkisi altındadır; bu bölgelerde kışlar ılıman, yazlar serin geçerken tüm mevsimlerde genelde yağış görülür. İç kesimlere doğru gidildikçe yükselti artışından dolayı sıcaklık düşer, iklim sertleşir ve bununla birlikte yağışlar da artar. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 14.6°C'dir. Yılın en soğuk ayı Şubat, en sıcak ayı Ağustostur (Tablo 1 ve URL-2, 2019).

İklim koşullarının elverişli olması nedeniyle ilde bolca orman bitki örtüsü yer alır. Ormanda kızılâğaç, kestane, meşe, gürgen, kayın gibi bitki çeşitleri 400 m yükseltiye kadar yoğundur. Yükselti artışıyla beraber tür sayısı azalarak orman yoğunluğu artar. Yerleşim alanları çevresinde ve kıyı kesiminde ormanların alanı daralmış olup doğal dengesi bozulmuştur.

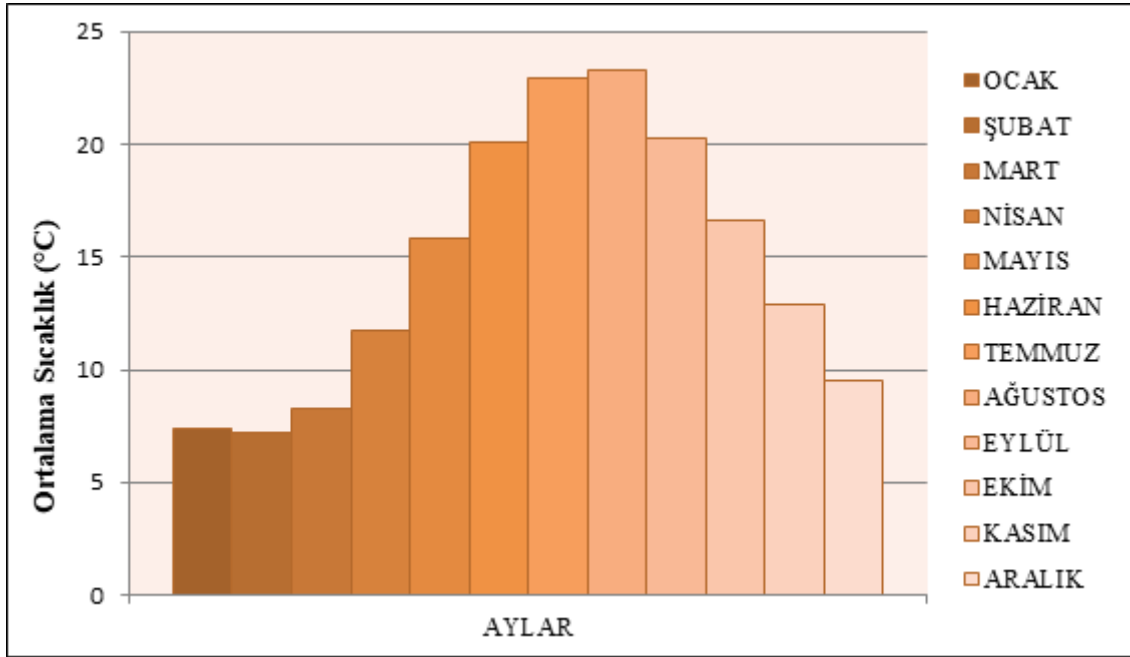
1500 m yükseltiye kadar geniş yapraklı ağaç türleri karışık olarak yükselir. 1500-2000 m yükseltide iğne yapraklı ağaçlar görülür. 2000 m'den yüksekte ağaçlar seyrekleşirken, 2300 m itibariyle çayırlar gözlenir (Şekil 4).



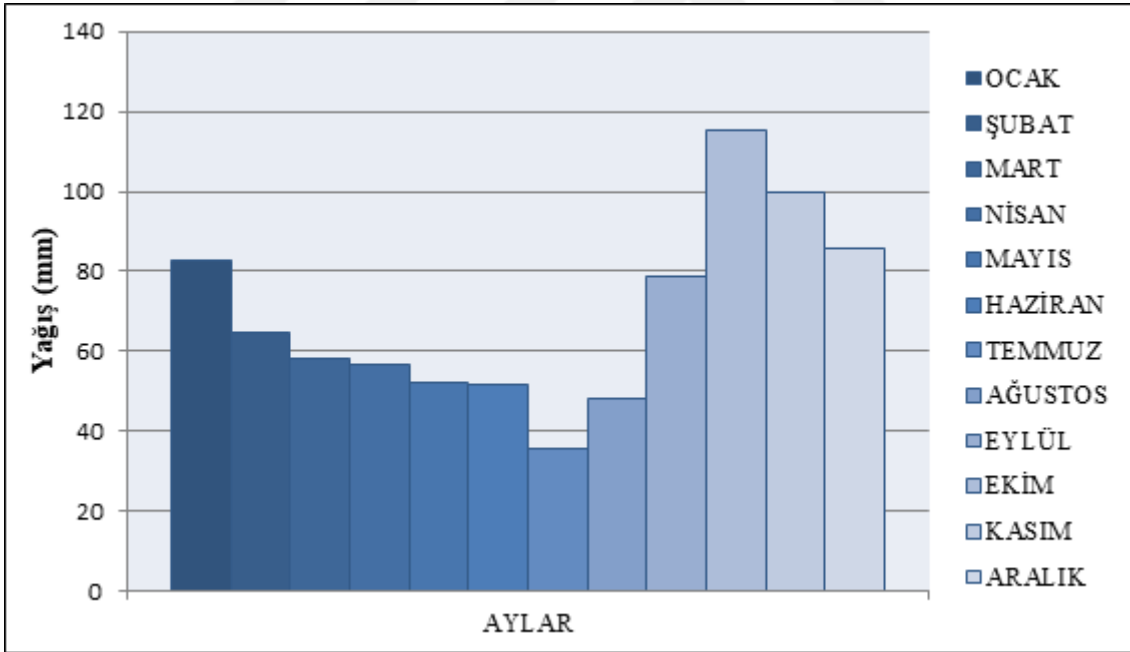
Şekil 4. Trabzon iline ait toprak örtüsü haritası (URL-3, 2018)

Tablo 1. Trabzon iline ait (1927–2020) yılı sıcaklık ve yağışla ilgili veriler

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
<b>Ölçüm Aralığı ( 1927 - 2020)</b>												
<b>Sıcaklık Ortalaması (°C)</b>	7.4	7.3	8.4	11.7	15.9	20.2	23.0	23.4	20.4	16.7	13.0	9.6
<b>En Yüksek Sıcaklık Ortalaması (°C)</b>	10.8	10.8	12.0	15.5	19.2	23.2	26.0	26.6	23.8	20.1	16.5	13.0
<b>En Düşük Sıcaklık Ortalaması (°C)</b>	4.7	4.4	5.4	8.7	12.9	17.0	19.9	20.4	17.4	13.7	10.0	6.7
<b>Güneşlenme Süresi Ortalaması (saat)</b>	2.7	3.3	3.4	4.4	5.6	7.1	5.9	5.6	4.9	4.5	3.6	2.7
<b>Yağışlı Gün Sayısı Ortalaması</b>	13.4	12.7	14.1	13.5	14.4	11.7	9.3	10.0	12.0	13.3	12.4	13.0
<b>Toplam Aylık Ortalama Yağış (mm)</b>	83.1	64.4	59.2	57.0	52.7	52.0	35.4	48.6	78.5	115	98.7	84.6
<b>Ölçüm Aralığı ( 1927 - 2020)</b>												
<b>En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	25.9	30.1	35.2	37.6	38.2	36.7	37.0	38.2	37.9	33.8	32.8	26.4
<b>En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	-7.0	-7.4	-5.8	-2.0	4.2	9.2	11.0	13.5	7.3	3.4	-1.6	-3.3



Şekil 5. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2020)



Şekil 6. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2020)

## 1.7. Önceki Çalışmalar

Önalp (1980) “Doğu Karadeniz Heyelanları Tanımlanması-Analizi Araştırma Raporu” başlıklı çalışmalarında bilhassa ayrışma ve yıpranma olaylarının anlaşılması, heyelan olaylarının ortaya koyulabilmesi için gerekli olduğunu belirtmişleridir. Bununla birlikte yamaçlardaki yeraltı sularının tetkik edilerek gerilme ve basınçlarının ölçülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca heyelan envanter ve ayrışma haritasının üretilmesini önermişlerdir.

Önalp ve diğ. (1987), Karadeniz’in doğusundaki heyelanların oluşum koşullarını incelemiş, türlerini belirlemiş ve bunun sonucunda da Araştırma Raporu sunmuşlardır. Yağışlar ve harfiyatların heyelanların meydana gelmesinde en önemli etken olduğunu belirtmişlerdir.

Tarhan (1991), “Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış” isimli çalışmasında; değişik orijinli kayalarda oluşan 100 civarı kütle hareketini litolojik ve jeoteknik olarak ele almış ve sebeplerini araştırmıştır. Araştırmalar neticesinde, kütle hareketlerinin oluşmasında, alanın morfolojisi, jeolojisi, iklim karakteristikleri ve bunlara ilaveten kayaçların ayrışması, değişik amaçlı kazılar, bitki örtüsünün tahribi ve yapay sarsıntıların etkili olduğunu belirtmiştir.

Güven (1993), yaptığı çalışmada özellikle doğu Pontidlerin kuzey zonunda yüzeyleme veren ve volkanik ağırlıklı olarak temsil edilen Geç Kretase yaşlı birimleri formasyonlara ayırarak bu formasyonları alttan üste doğru bazalt, andezit lav ve piroklastlarından oluşan Çatak formasyonu (Turoniyen–Santoniyen?) dasit lav ve piroklastlarından oluşan ve yoğun masif sülfid cevherleşmeleri içeren Kızılkaya formasyonu (Santoniyen-Kampaniyen), kumtaşı kiltası marn ve kırmızı kireçtaşı ara seviyeleri içeren bazalt-andezit ve piroklastlarından oluşan Çağlayan formasyonu (Kampaniyen Mestriştiyen) ve riyodasit dasit ve piroklastlarından oluşan Çayırbağ formasyonu (Mestriştiyen) olmak üzere dört ana formasyona ayırmış ve adlandırmıştır.

Yılmaz (1995), “Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları” başlıklı araştırmasında; heyelanlara etki gösteren etmenleri; morfolojik süreç, yağışlar, kazılar ve akarsu aşınmaları, kayaçların ayrışmaları, bitki örtüsünün yok edilmesi, zeminin yapısı ve diğer sebepler olarak ortaya koymuştur. Ayrıca aktif veya potansiyel heyelanların önlenmesi için yapılacak ilk işin, bu alanlarda morfoloji göz önüne alınarak yüzey ve yeraltı suyu drenajı olduğunu açıklamış ve gerekli

olan diğerk önlemleri sıralamıştır.

Ceryan (2005), “Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC (Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırması) Yönteminin Bekçiler-Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı” adlı lisansüstü tezindeki kayaç şevleri jeolojik formasyonlara ayırtlanmış ve belirlenen şev kazılarının dayanımlılığının değerlendirilmesi tüm jeolojik birimler için yapılmıştır. Dasitik ve andezitik volkanitlerde tanımlanan jeoteknik birimler için GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) değeri kullanılarak RMS (Jeomorfolojik Amaçlı Sınıflandırma), RMR M-RMR (Yeniden Düzenlenmiş Jeomorfolojik Sınıflandırma) ve MRMR (Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma) puanları tahmin edilmiştir.

Akgün ve Bulut (2007), Trabzon ilinde bulunan Arsin ve Yomra ilçelerinde CBS tabanlı heyelan duyarlılık çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada ayrıntılı arazi çalışmaları vasıtası ile heyelan haritaları oluşturulmuştur. Yörede bakı, eğim, yola ve drenaj ağlarına uzaklık ve litoloji gibi meydana gelen heyelanlarda etken oldukları tahmin edilen parametreler çalışmalarda ortaya koyulmuştur. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası istatistiksel yöntemler olan ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme ve mantıksal regresyon kullanılarak türetilmiştir. Bu sonuçlar iki farklı bakımdan değerlendirmiştir. Bunlar; kullanılan yöntemlerin etkinliği ve heyelanlara neden olan faktörlerin etkinliğidir. Elde edilen sonuçlar, ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme modelinin daha uygun olduğunu 11 göstermiştir. Ayrıca parametreler arasında heyelan duyarlılığına en fazla etkiyi gösteren parametreler litolojik birimlerin ayrışması ile yamaç eğimi parametreleri olduğu görülmüştür.

Ersoy ve Bulut (2008) “Kütle Hareketlerinin Oluşumunda Yağışın Rolü” isimli çalışmalarında, Doğu Karadeniz Bölümü’nde meydana gelen heyelanların büyük çoğunluğunun ani yağışlarla ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Kul ve Ersoy (2011), “Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin İncelenmesi” adlı araştırmalarında; alandaki heyelanların fiziksel ve mekanik yapılarını incelemişler ve oluşabilecek heyelanlar irdelenerek öneriler sunmuşlardır.

Okalp ve Akgun (2016); çalışmalarında son yıllarda teknolojinin gelişmesine bağlı olarak heyelan tabanlı çalışmaların özellikle CBS analizleri kullanılarak daha kolay yapılabildiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada; henüz ülke ölçeğinde bir heyelan duyarlılık haritasının üretilmediği Türkiye’de 1:200.000 ölçekte 500 x 500 m çözünürlüklü SYM ile eğim, litoloji, yerel yükselti, yağış, arazi kullanımı ve sismisite parametreleri ile LSI

(Landslide Susceptibility Index) yöntemi kullanılarak üst ölçek bir duyarlılık haritası oluşturulması amaçlanmıştır. Her bir parametrenin ağırlıklı değeri hesaplanarak haritalar ayrı ayrı üretilmiştir. Buna göre Türkiye'nin % 36.4'ü düşük, % 8.3'ü orta, % 47.5'i yüksek ve % 3.6'sı çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Özellikle ülkenin batı ve orta Karadeniz bölgesinin heyelan potansiyelinin en yüksek bölge olduğu görülmektedir.

### **1.8. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme**

İnsan hayatı ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkileyen doğa olayları doğal kaynaklı afet olarak adlandırılmaktadır. Meydana gelen doğal afetlerden oluşan zararların azaltılması ve bu zararlardan canlı hayatının minimum olarak etki görmesi için heyelanlar üzerinde pek çok çalışma yapılmaktadır.

Heyelanlara yönelik yapılan çalışmaların analizleri yarım asırdır devam etmektedir. Bu konuda yapılan gözlemler geçmiş zamandaki lokal duraysızlık sorunlarının çözümüyle alakalı yapılan araştırmalarla sınırlı olarak kalmıştır.

Planlamada yöreselliğin öneminin fazlaşması sonucu sonraki zamanlarda yapılan heyelan üzerindeki incelemelerde yöresel olarak devam etmeye çalışılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki gelişmelerle birlikte günümüzde ise heyelan değerlendirilmesinde kullanmak için sayısal olarak farklı haritalar türetilerek kullanılmaktadır. Özellikle duyarlılık haritalarının meydana getirilmesiyle ilişkili yapılan araştırma ve çalışmalarda çoğunluk bulunmaktadır (Akgün, 2007; Dağ, 2007).

Karmaşık ortamlarda uygulanan heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının değerlendirmeleri çeşitli sınırlamalar ortaya çıkarmaktadır. Kullanılan yöntemlerin doğasından ve genelleştirmelerden süre gelen sınırlamalar, uygulanan analizler içerisinde bulunan belirsizliklerin temel kaynağını oluşturmaktadır.

Heyelan duyarlılık haritaları birçok belirsizliği içerse de özellikle son on yıl içerisinde, verilerin toplanarak farklı biçimlerde değerlendirilip oluşmasına ortam hazırlayan Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak yaygın şekilde üretilmekte ve bölgesel ölçekte bulunan çalışmaların temelini oluşturmaktadırlar.



Bu haritaların uygulama olarak yaygınlaşmalarına karşın, uygulamacılar arasında gerek kullanılan parametreler gerekse hazırlama yöntemleri olarak, bir fikir birliğine ulaşılamamıştır. Geline bu süreçte bir görüş birliğine varılamamasında, çalışılan alanların büyük olması ve farklı alanlarda farklı parametrelerin kullanılması ayrıca farklı yöntemlerin varlığı da son derece etkindir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

### **1.9. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramı**

Çoğunlukla heyelan değerlendirmelerine yönelik yapılan çalışmalarda, duyarlılık, tehlike ve risk kavramları ile ilgili tanımlamalarda bir karışıklık söz konusudur. Bazı çalışmalarda aynı anlamda kullanılan bu terimler bazen de aksine birbirlerinin yerlerine kullanılmaktadır. Birbiri ile bağlantılı olan duyarlılık, tehlike ve risk kavramları aslında farklı kullanımlara ve tanımlamalara sahiptir.

Heyelan duyarlılığıyla ilgili yapılan çalışmalar, belirli sahadaki alanların, nispi şekilde (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlı vb.) heyelanla ilişkili duyarlık bölümlendirilmesi olarak ortaya koyulabilir. Dai vd. 2002 ise, heyelan duyarlılığını, tetikleyici olan insan, deprem ve yağmur etmenlerinin dışındaki şartlar içerisinde oluşan heyelan ihtimali şeklinde ifade etmektedir. Bu şekilde yapılan gözlemlerde, çalışılan alanlarda heyelanların ortaya çıkmasına etken olabilecek etmenler değerlendirilerek, sonraki zamanlardaki heyelan olayından etkilenebilecek olan duraysız alanlar ortaya koyulmaktadır. Yapılacak bu çalışmalar için, bölgedeki heyelanlara yönelik bir envanter haritası ve heyelan oluşumuna sebep olan faktörlere ait genel kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmalıdır. Heyelanlarla yakın ilişkisi olan, kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki parametrelerin seçilmesi duyarlılık çalışmalarında oldukça önemlidir (Carrara vd. 1991).

Heyelan duyarlılık ile ilgili çalışmalarda hem geçmişte hem de güncel olarak meydana gelmiş heyelanların özelliklerinin belirlenmesi ve bu heyelanların oluşumunda etki gösterebilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Kısaca heyelan oluşumunda etkili olabilecek parametrelere ait haritalar oluşturularak, bu parametrelerin etkileri ağırlık değerleri hesaplanarak belirlenmekte ve bu değerlerin kullanılmasıyla yapılan işlemler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır.

Hartlen ve Viberg (1988) heyelan tehlike haritalarına yönelik çalışmalarda tehlike sınıflarını ortaya koymak için tanımlar sunmuşlardır. Bu tanımlar;

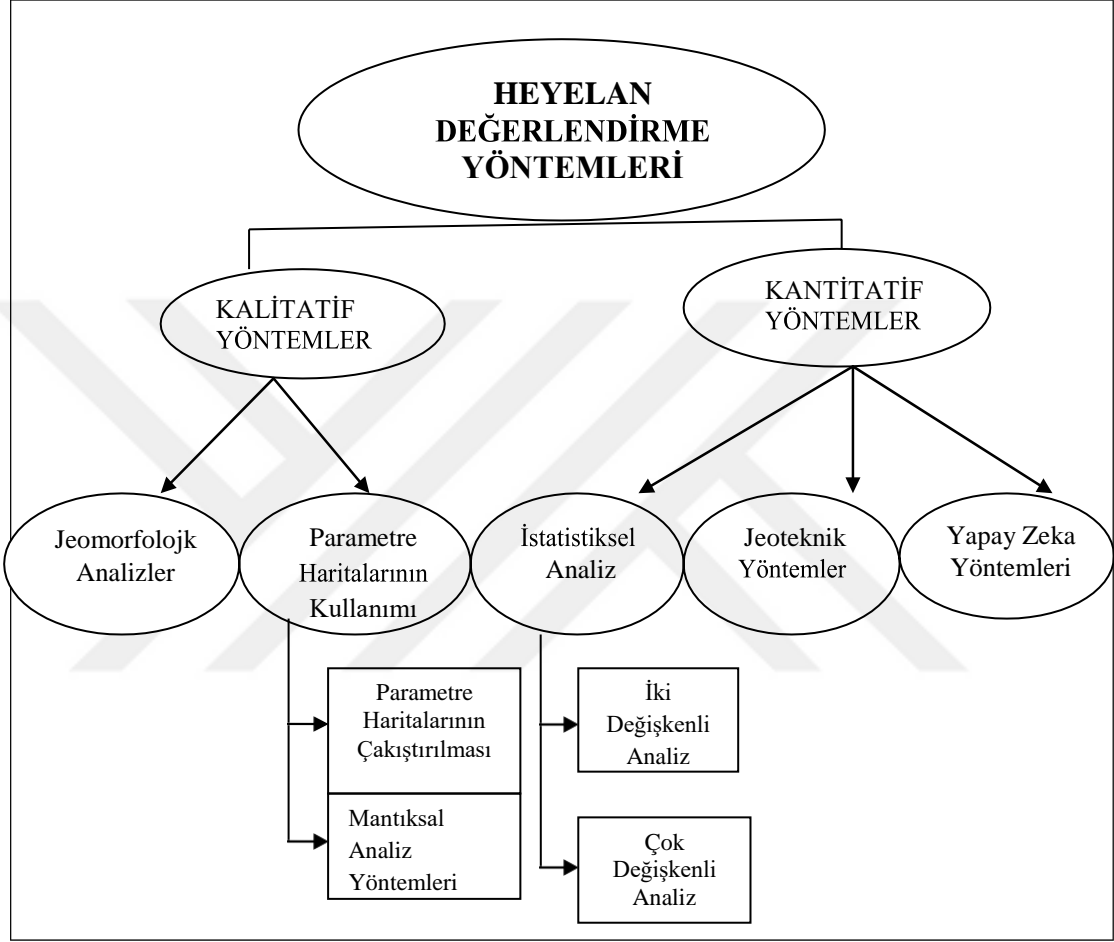
- Göreceli tehlike: Farklı yamaçlar karşılaştırılarak mutlak şekilde ve sayısal değer olmaksızın ortaya koyulan tehlike.
- Mutlak tehlike: İstatistiksel analizlere dayanarak ya da güvenlik sayısına bağlı hesaplamalarla ortaya koyulan tehlike.
- Amprik tehlike: Yamaç açısı ve yamaç yükseltisi gibi parametreden oluşan grafikler sonucu ortaya çıkan eğrilerin yorumlanması sonucu hesaplanır.
- Gözlemlenen tehlike: Yağış ve/veya deformasyon sonuçlarının, önceki ciddi değerler ile mukayese sonucunda ortaya koyulan tehlikedir.

Varnes (1984) risk kavramını, belirli alan ve vakitte meydana gelecek, zararlı olabilecek farklı tehlikelere ilişkili olarak ortaya çıkacak muhtemel can ve mal kaybı, yaralanma ve ekonomik kayıpların niceliğini olasılığı şeklinde belirtmektedir. Bu nedenle heyelan risk çalışmaları, ortaya çıkacak zararın kestirimi, çevresel ve ekonomik kayıpları da ortaya koyan çalışmalardır. Ayrıca duyarlılık ve tehlike çalışmalarına ek olarak heyelanı oluşturan veya tetikleyen parametreler haricinde, çalışma yapılan bölgedeki nüfus, ekonomik hareketlilik gibi konularda da ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu nedenle bu tür haritaların oluşturulmasında, duyarlılık ve tehlike haritalarına nazaran daha çok disiplinler arası çalışmalar gerekmektedir. Çünkü heyelan risk haritalarının hazırlanmasında, sadece yerbilimciler değil, şehir planlamacıları ve sosyal bilimciler gibi meslek gruplarının ortaklaşa çalışma içerisinde olması gerekmektedir. Heyelan risk haritalarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar, duyarlılık ve tehlike haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalara oranla çok daha az sayıdadır. Bu durumun temel nedeni, parametrelere ilişkin sağlıklı verilere ulaşmanın oldukça güç bir işlem olmasıdır (Dağ, 2007).

### 1.10. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler

Şimdiki zamanda yapılan heyelanların incelemelerinde yararlanılan yöntemler, kalitatif (nitel) ve kantitatif (nicel) olarak iki grupta incelenir. (Şekil 7).



Şekil 7. Heyelan değerlendirme yöntemleri Aleotti ve Chowdury (1999), Ercanoğlu (2003)

### 1.10.1. Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler

Kalitatif yöntemler, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesinde bulunan kişilerin direkt olarak saha çalışmalarlarıyla ilişkili, bireysel veri, deneyim ile aktarımlarını temel tutan çalışmalardır. Yöntemlerde değerlendirilecek veriler, kişilerin asıl olarak arazi analizleri boyunca yaptıkları inceleme ve çalışmalarından ortaya çıkmaktadır.

Arazi çalışmaları hava fotoğraflarından elde edilen verilerin yorumlamaları yapılarak desteklenmektedir. Bu yöntemlerle yapılan çalışmalar deneyime dayalı olması nedeniyle aynı zamanda “uzman değerlendirme yaklaşımları” olarak ta bilinmektedir (Dağ, 2007). Kalitatif yöntemler başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

#### 1.10.1.1. Jeomorfolojik Analizler

Bu yöntemde, daha önceden oluşmuş olan heyelanların jeomorfolojik özellikleri göz önünde bulundurularak potansiyel olarak duraysız olabileceği tahmin edilen alanlar belirlenir (Yalçın, 2005). Bu yöntem, esas olarak hava fotoğrafı yorumlamaları ile yapılan arazi çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda yapılan çalışmaları içermektedir. Bu yöntemin dezavantajları şunlardır;

- Kişisel tercihlerle yapılan yamaç duraylılığını kontrol eden faktörlerin seçimi. Böylece bu durum birçok farklı uzman ya da araştırmacı tarafından hazırlanan haritaların karşılaştırılmasını güçleştirmektedir.
- Bu yöntem deneyime dayalı bir yöntem olmasından dolayı kesin olmayan kurallar kullanılır,
- Kullanılan verilerin güncellenememesi,
- Yapılan arazi çalışmalarının çok zaman alması olarak değerlendirilebilir (Leroi, 1996).

Bunca dezavantaja rağmen, birçok faktörün değerlendirildiği göz önünde bulundurulursa, jeomorfolojik analizle çalışma yapılan bir alanda duyarlılık değerlendirmesinin hızlı bir şekilde yapılabilir. Bu analizlerin başka bir avantajı da, diğer yöntemlere nazaran hemen hemen her türlü ölçekte yapılabilir olmasıdır. Özellikle 1980’li yıllarda Jeomorfolojik analiz yöntemleri kullanılarak, duyarlılık haritaları hazırlanmıştır (Kienholz, 1978, Varnes, 1984, Hansen, 1984).

### 1.10.1.2. Parametre Haritalarının Kullanılması

Bu yöntem, heyelanın meydana gelmesinde etkili olduğu düşünölen parametrelerle haritaların oluşturulması ve bunların üst üste çakıştırılması olayına dayanmaktadır. Bu yöntemde, yamaç duraylılığında etkili olan faktörler araştırmacı tarafından belirlenerek haritalanmaktadır. Araştırmacı parametrelerin ağırlık değerlerini belirler ve verileri mantıksal regresyona tabi tutularak geręekleřtirir (Dağ, 2007). Bu yöntemde yapılması gereken işlem adımları şu şekildedir;

- Her bir parametrenin uygun olan alt sınıflara ayrılması
- Her bir alt sınıfa ağırlık değerlerinin atanması
- Her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması
- Oluşturulan ağırlıklı haritaların çakıştırılması
- Duyarlılık sınıflarını gösteren duyarlılık haritasının üretilmesi (Soeters ve Van Westen, 1996).

### 1.10.2. Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler

Kantitatif (niceliksel) yöntemlerde, heyelanı meydana getirebilecek çok sayıdaki parametre göz önünde bulundurularak, değerlendirmeler genellikle bilgisayarla birlikte oluşturulmaktadır. Bu yöntemlerde, çalışma alanında bulunan faktörlerle heyelanların meydana gelmesi sırasındaki bağ, sayısal şekilde meydana çıkarılabilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Kantitatif yöntemler, kalitatif yöntemlerle karşılaştırıldığında çok sayıda matematiksel işlemlerin uygulandığı, jeoteknik yöntemleri, istatistiksel yöntemleri ve özellikle son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan yapay zeka yöntemlerini içermektedir.

#### 1.10.2.1. İstatistiksel Analizler

Kişisel değerlendirmelerden dolayı yamaçların duraylılığını kontrol eden birçok sayıdaki faktöre ağırlık değerlerinin atanması kalitatif yöntemlerle ilgili asıl dezavantajdır. Oluşan bu problemin çözümlü, heyelanların bulunduğu yerlerdeki dağılımı ile faktörler arasında istatistiksel yaklaşımlar oluşturularak sağlanmaktadır.

Bu yöntemde, ilk olarak potansiyel duraysızlıkların nedenlerinin ortaya çıkarılması gereklidir. Bu işlem, geçmişte meydana gelmiş olan heyelanlara neden olan etkenlerin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Çünkü heyelanlar geçmişte hangi nedenlere bağlı olarak meydana geldiyse, gelecekte benzer faktörlerden etkilenecektir (Dağ, 2007).

#### **1.10.2.1.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler**

Bu yöntem, her bir faktörün heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmasıyla oluşmaktadır.

Bu tür analizlerde:

- Heyelan oluşumuna neden olabilecek faktörlerin belirlenmesi, haritalanması ve uygun sınıflar altında toplanması
- Envanter haritasının oluşturulması
- Oluşturulan envanter haritası ile her bir parametre haritasının karşılaştırılması
- Her bir parametre için heyelan yoğunluğunun hesaplanması ve ağırlıklı değerinin belirlenmesi
- Farklı parametre haritalarına ağırlıklı değerlerin aktarılması
- Duyarlılık hesaplamalarıyla birlikte sonuç haritasının hazırlanması gibi bir dizi işlemler gerçekleştirilir (Dağ, 2007).

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi, yerbilimciler tarafından yaygın olarak kullanılmakta ve litoloji, yükseklik, yamaç eğimi, arazi kullanımı, faylara olan uzaklık, drenaj yoğunluğu vb. birçok parametre ele alınmaktadır.

#### **1.10.2.1.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler**

Bu analizin amacı, diğer yapılan istatistiksel uygulamalarla benzerlik gösterip, herhangi bir konuda yapılan çalışmaların sayısal olarak ortaya çıkarılan sonuçlarının özetlenmesi, yorumlanması ve konu hakkında karar verilirken bu sonuçların kullanılmasının sağlanmasıdır (Dağ, 2007).

### 1.10.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar

Heyelanlarla ilgili güvenilir jeoteknik parametrelerin ve çalışılan heyelan alanındaki duraysızlıkları doğru olarak ifade eden duraysızlık modeli ve analiz yönteminin belirlenmesi Jeoteknik Yaklaşımın esasını oluşturmaktadır (Dağ, 2007).

### 1.10.2.3. Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka, düşünme ve yorumlamaya ihtiyaç duyulan işlemlerin, bilgisayar aracılığıyla yapılmasını sağlayacak araştırmaların oluşturulması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesini konu alan bir bilim dalıdır. Bu kavram, düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme davranışlarını programlamayla taklit edilerek problemlerin çözümlenmesi olarak da ifade edilebilir (Dağ, 2007).

## 1.11. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Ölçekler

Heyelan duyarlılık haritaları oluşturulurken gözetilmesi icap eden başka bir konu da yararlanılan ölçeklerdir. Kullanılacak ölçekler seçilirken, çalışılan heyelan alanlarının büyüklükleri dikkatle gözetilmektedir. Bu çalışmalarda orta, büyük ve bölgesel ölçeklerden yararlanılmaktadır (Akgün,2007; Dağ, 2007) (Tablo 2).

Tablo 2. Heyelan çalışmalarında yararlanılan ölçekler (IAEG, 1976)

Ölçek Türü	Ölçek
Ulusal Ölçek	< 1/1.000.000
Bölgesel Ölçek	1/100.000-1/500.000
Orta Ölçek	1/25.000-1/50.000
Büyük Ölçek	1/5.000-1/15.000

## 1.12. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler

İlk etap olarak heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının ortaya çıkarılması çalışmaları yapılır. Heyelan duyarlılık haritaları oluşturulurken, heyelana sebep oluşturacak pek çok değişkenden yararlanılmaktadır (Dağ, 2007) (Şekil 8).

Yararlanılan değişkenlerin benzer özellikleri şöyledir;

- a- Değişkenler heyelanların ortaya çıkmasında etken olmalıdır.
- b- Değişkenlerin hepsi harita oluşturacak özellikte olmalıdır.
- c- Değişkenler incelenen heyelan bölgesinin niteliklerini barındırmalıdır.

### 1.12.1. Yamaç Eğimi

Yamaç veya şevlerin eğimi, heyelanların meydana gelmesinde direkt etki gösterip duraylılık çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Kayma yüzeyindeki normal ve kayma gerilmelerini etkileyen asıl duraylılık faktörü yamaç eğimidir. Kullanılan bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir özellikte olmasından dolayı eğim açısı duyarlılık çalışmalarında oldukça kullanılan bir özellik olmuştur. Bu durum orta derecede eğim değerine sahip (200-450) yamaçlarla olağandır. Böyle yamaçlarda eğimin yükselmesi nedeniyle zeminin kayma gerilmesi artacağından, yamaçların duraylılığına negatif şekilde etki etmektedir. Bakı değerinin 45<sup>0</sup>'den fazla olduğu yüksek eğimli yamaçlar zemin özelliğindeki ayrıışmış malzemeden ziyade, sağlam kayalardan meydana gelmektedir. Bu tür kayalar stabilite bakımından duraylıdır (Santacana vd. 2003). Kayma gerilmeleri daha düşük olması nedeniyle, çok düşük eğim değerine sahip alanlarda bu eğim değerleri heyelan bakımından daha az duyarlıdır (Dai vd., 2001). Ancak buna rağmen düşük eğim değeri bulunan yamaçlarda da heyelanların meydana geldiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Dağ, 2007).

### 1.12.2. Litoloji-Ayrıışma

Heyelanların oluşturduğu litolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık örneklerine oldukça netice göstermektedir. Bu yüzden değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözetilerek gerçekleştirilmelidir.

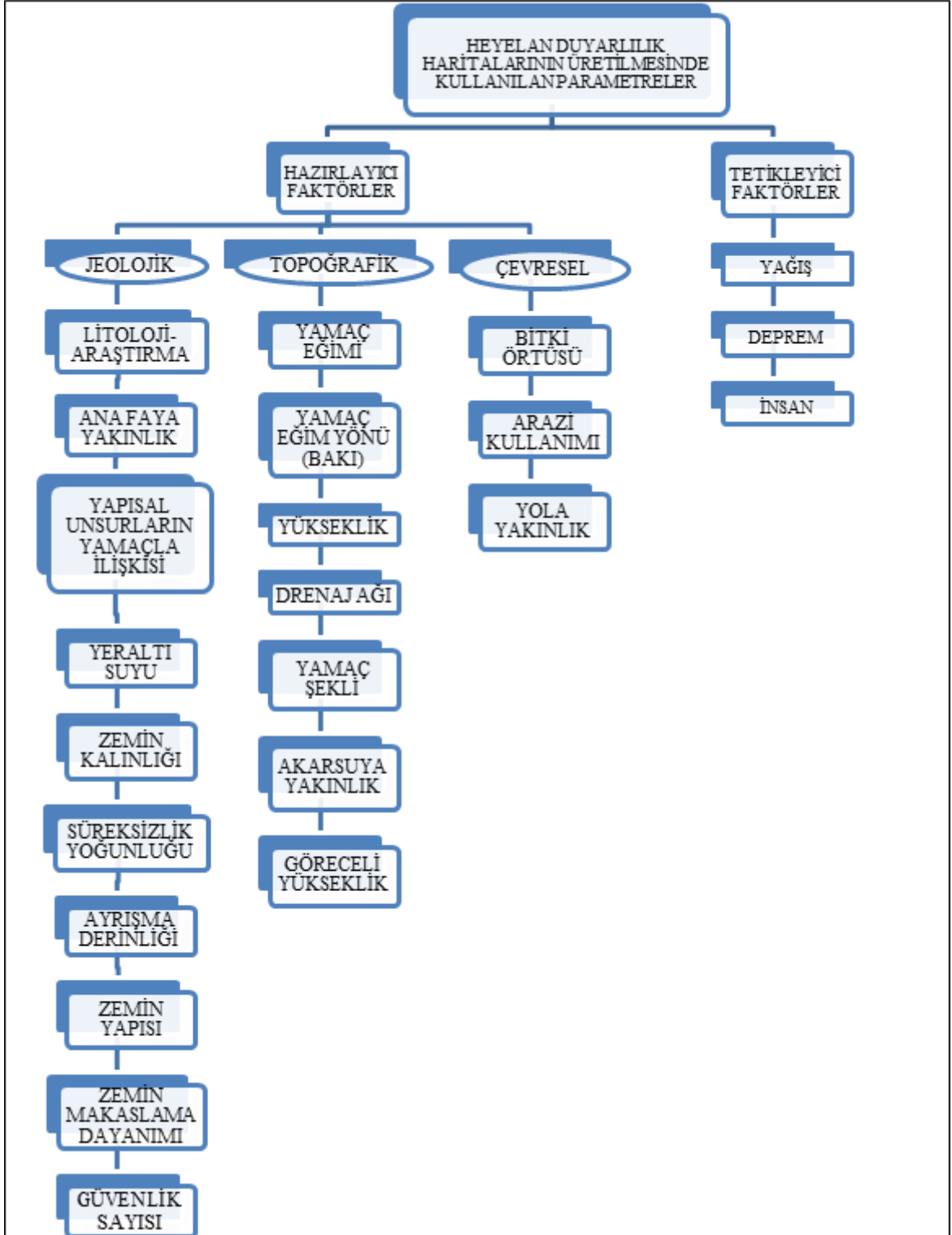


Litoloji yamaç veya şevlerin duraylılığına etki eden önemli etkenlerden biridir. Bunun nedeni aynı olmayan litolojik formasyonların kayma gerilmeleri ve su iletme şekilleri farklılık göstermektedir. Bu yüzden bu farklı formasyonların kayma sırasında gösterdiği duyarlılık ta aynı olmayacaktır.

Ayrışma jeolojik olarak ele alınan başka bir önemli faktördür. Bunun nedeni her ne kadar litolojik olarak birim aynı olsa da farklı ayrışma derecelerine maruz kaldığında farklı duyarlılık göstermektedir. Bu nedenle kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak ayrışma durumu da dikkatle incelenmeli ve değerlendirilmelidir.

Zemini meydana getiren gereçlerin tane boyunda büyüme meydana geldikçe, taneler arası boşlukta fazlalaşmaktadır. Taneler arası boşluğun artması yüksek yağışın bulunduğu bir zamanda zeminin daha çok su tutmasına ve kayma ihtimalinin yükselmesine ortam oluşturmaktadır.

Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, heyelan duyarlılık haritaları oluşturulurken, analiz yapılan alandaki gerek jeoloji gerekse de ayrışma özellikleri incelikte ele alınmalı, arazinin gözlemi ve arazi analizleri çok ayrıntılı şekilde değerlendirilmelidir (Dağ, 2007).



Şekil 8. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yararlanılan parametreler (Dağ, 2007)

### 1.12.3. Yamaç Yönelimi (Bakı)

Yamaç yönelimi, yüzdeki fark etmeksizin her bir noktadaki teğet düzleminin gösterdiği yön ile açıklanır ve arazi yüzeyinin yönünü gösterir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında yapılan çalışmalarda yamaç yönelimi (bakı), oldukça kullanılmakta olup önemli bir parametredir. Araştırmacılar yaptıkları pek çok çalışmada ve istatistiksel değerlendirmelerde heyelanların belli bir yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunluk gösterdiğini bulmuşlardır (Van Westen ve Bonilla, 1990; Koukis ve Ziourkas, 1991; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Guzetti vd. , 1999).

Özellikle sahanın genel morfolojik yapısı, bölgenin yağış eğilimi, bölgenin güneş ışıklarının çok etki etmesine benzer meteorolojik faaliyetler heyelanların belli bir yönelime sahip yamaçlarda yoğunluk göstermesinde rol oynamaktadır. Fazla yağış düşen yamaçlar, farkı etmenlerden sebeple (topoğrafik meyil, geçirgenlik, zeminin cinsi, nem, boşlukluluk ve organik madde yapısı, yağışın ve bitki örtüsünü ortaya çıktığı sezon) daha az yağmur düşen yamaçlarla karşılaştırıldığında doygunluk seviyesine hızlı çıkmaktadır. Zeminin içinde meydana gelen boşluk suyu basınçları, böyle şekilli yamaçları heyelan açısından daha çok duyarlı özelliğe kavuşturmaktadır. Bu yüzden bu parametrenin çalışmasında, fazla yağış gözlenen yamaçlar daha duyarlı şekilde ifade edilmektedir (Dağ, 2007).

### 1.12.4. Arazi Örtüsü

Araştırmacılar yapılan literatür çalışmalarında heyelan incelemeleri ile ilişkili konularda, bitki örtüsünü veya arazi kullanım kapasitesini parametre olarak değerlendirmektedir. Aslına bakarsak iki parametre de aynı özellikleri (iskan bölgeleri, ormanlık alanlar, ziraat sahaları, seyrek ve fazla bitki örtüsü barındıran sahalar vb.) incelemektedir. Bu nedenle parametreler bu çalışmada ortak olarak sayılıp, arazi örtüsü konusu içinde ele alınmıştır.

Bitkiler herhangi yamacın duraylılığını pozitif ya da negatif olarak etkiler. Bilhassa yamaç duraylılığını büyük ve güçlü kök sistemleri olan bitki örtüsü olumlu yönde etkilemektedir. Yaprakları sayesinde ağaç veya bitkilerin suyu emerek buharlaştırması, yağışın süzülmesini azaltmaktadır. Ağaç ve bitkiler kökleriyle, zemin boşluklarındaki suyu azaltır ve terlemeyle buharlaştırır. Fakat, gövde ve kökler zeminin geçirgenliğini artırarak, yüzey sularının zemin içerisine girmesini kolay hale getirmektedir. Bununla birlikte

kuruma çatlakları, zemindeki nem oranı azaldığında zemine ulaşan yağış sularının ve boşluk suyu basıncının yükselmesine etki edebilir. Tüm süreçler yamaçların duraylılığına zıt olarak sonuç göstermektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Toprak örtüsünün yoğunlaştığı ağaçlık alanlar, seyrek bulunan alanlara ve yerleşim alanlarına kıyasla heyelanlardan daha az etkilenmektedir. Fakat Lee ve Min, (2001) tarafından değerlendirme farklıdır. İki araştırmacı yaptıkları inceleme sonucunda aksine ormanlık bölgelerde yerleşim bölgelerine göre daha çok heyelan oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Sebebini ise yerleşim bölgelerinin düz, ormanlık alanların daha eğimli olmasına ve heyelanların sıklıkla eğimi çok olan arazilerde oluşmasıyla ilişkilendirmişlerdir (Dağ, 2007).

#### **1.12.5. Yükseklik**

Deniz seviyesinden alınan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında oldukça kullanılmaktadır. Genelleyecek olursak çok az yükseklikler (0-150 m), eğim azlığından ve kalın bir örtü malzemesi bulunması nedeniyle, heyelanlar karşısında daha az duyarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Orta seviyedeki bölgeler (150-400 m) ise, daha yüksek sahalardan düşen malzeme ve ayrışma nedeniyle meydana gelecek toprak örtüsüyle, heyelanlara karşı daha duyarlı olarak nitelendirilmektedirler. Çok yükseklikteki bölgeler ise (> 400 m), malzeme olarak kayaç türünden meydana geldiği ve daha düşük seviyelerdeki malzemelere oranla daha çok dayanıma sahip olduklarından dolayı, heyelanlara karşı daha az duyarlılık gösterdikleri saptanmaktadır (Dağ, 2007).

#### **1.12.6. Drenaj Ağı**

Duraylılık açısından önemli bir faktör de yamaçların drenaj ağına yakınlığıdır. Çünkü akarsular, yamaç topuğunda meydana getirdiği erozyonla veya yamacı meydana getiren malzemenin akarsu seviyesinden aşağı ki kısmını suya doymuş şekle eritirerek, yamaçların duraylılığını değiştirmektedir (Dağ, 2007).

### 1.12.7. Ana Faylara Yakınlık

Ana faylara yakınlık, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında, öncelikle sismik faaliyet bakımından önde gelen bölgelerdeki incelemelerde oldukça yararlanılan parametredir. Birçok araştırmacı harita oluşturulan bölgedeki ana fayları yapısal etmen şeklinde değerlendirerek, ana faylara yakınlığı dikkatle incelemiştir.

Heyelanlarda fay hatlarından uzağa gidildikçe, düşüşün meydana geldiğini fakat, faylara daha yakındaki alanlarda heyelanların daha çok görüldüğünü bildirmişlerdir (Gupta ve Joshi 1990). Faylara olan mesafenin yakınlığı neticesinde kayalarda parçalanma oluşacağı ve bu durumun devamında da yamaçların duraylılığı negatif olarak etkileneceği ortaya koyulmuştur (Dağ, 2007).

### 1.13. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri, konuma dayalı gözlemlerle oluşturulan grafik ve grafik bulunmayan verilerin elde edilmesi, muhafaza edilmesi, yapılanması ve kullanacak kişilere sunulmasını kapsam içerisinde meydana getiren bir bilgi ağıdır (Yomralıoğlu, 2000).

Konumsal veriler Coğrafi Bilgi Sistemlerinde, birçok yöntemle elde edilmektedir.

Bunlar şu şekildedir;

- Uzaktan algılama yöntemi
- Fotoğrametik yöntem
- Global konum belirleme (GPS)
- Bulunan dataların incelenmesi ve veri transferi
- Haritaların sayısallaştırılması
- Scan sistemleri yardımıyla kendiliğinden sayısallaştırma

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan verilerin özellikleri bakımından bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Farklı konumsal veri modelleri, bu farklılıkların başında gelmektedir. Belli bir plana göre verinin mantıksal organizasyonu veri modeli olarak bilinmektedir. Çeşitli yöntemlerle elde edilen konuş veri modelleri CBS’de, vektörel ve hücrel veri modelleri şeklinde ikiye ayrılır.

Vektörel data modelleri; harita şeklinde olan coğrafik verilerdir. Bu modellerde noktalar; çok küçük boyutlu sabit bölgelerin biçimlerini, çizgiler; devamlılık ve saha özelliği meydana getiren çok ufak formatlı coğrafik öğeleri ve poligonlar ise; bağdaşık yapıda olan coğrafik unsurları göstermektedir. Vektörel veri modelleri sayısallaştırma işlemi ile elde edilebilir. Vektörel veri modellerinin avantajları gerçek olayın veri yapısına direkt olarak yansması, veri yapısının bütünlük içinde olması ve güncelleme işlemlerinin olağan olması şeklinde sıralanabilir. Dezavantajları ise veri yapılarının karmaşık olması, poligon özelliğine gösteren vektör ve raster şekillerinin üst üste binmesi olarak ifade edilebilir (Dağ, 2007).

Hücrel (raster) data modelleri; coğrafik hususların bulunduğu rastgele bir görüntü tümünün piksellerle açıklandığı data şeklidir. Hücrel verinin gösterimi, değişik hususların ayrılması, yan yana olan piksellerin farklı renk değerleri veya tonlamasıyla meydana gelir. Veri yapısının basit olması ve uydu görüntüleri ile haritaların bağdaştırılmasının kolay olması bu veri modelinin avantajları arasında sayılabilir. Fakat grafik verilerin çok geniş hacimsel alanlar gerektirmesi, objeler arası bağlantı yapılmasının ve ağ yapılandırmasının oldukça güç olması ve raster haritaların görünümünün hassas çizilmiş haritalara göre çok daha kötü olması dezavantaj olarak sayılabilir (Yomralıoğlu, 2000)

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

İnceleme alanında genel jeolojisi için alanın 1:25.000 ölçekli haritası MTA Genel Müdürlüğü'nden alınarak kullanılmıştır ve tez çalışmasında bu haritadaki kaya birimleri göz önünde bulundurulmuştur. Trabzon ilinin Vakfikebir ilçesinde meydana gelen heyelan alanlarını belirlenmiştir ve çalışılan alanın heyelan duraylılık analizi yapılmıştır.

### **2.2. Arazi ve Büro Çalışmaları**

Vakfikebir ilçesinde gözlenen heyelanları tespit etmek için saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Alanın 1:25.000 ölçeğe sahip genel jeoloji haritası MTA Genel Müdürlüğü aracılığıyla temin edilmiştir. İlk olarak analiz içi sayısal yükseklik haritası temin edilmiştir. NASA aracılığıyla ulaşılabilen (URL-4,2020) ALOS Palsar uydu ortamıyla elde edilen ve çözünürlüğü 12.5 m olan SYM girdisinden yararlanılmıştır. Trabzon, Vakfikebir ilçesinde meydana gelen toplam 127 adet heyelan Google Earth ortamında çizilerek çalışılmak için belirlenmiştir. Çizilen bu heyelan verileri 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerine ArcGIS yazımıyla çakıştırılmıştır. Ayrıca MTA Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan Yerbilimleri Portalı'ndaki girdilerin tekrardan sayısallaştırılmasıyla oluşturulmuş veriler de tıp ki çizilen heyelanlar gibi topoğrafik harita üzerine çakıştırılarak veri tabanına işlenmiştir.

Heyelan duyarlılık analizi için ilk yöntem olarak SINMAP (Stability Index Mapping) yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamında, projede ihtiyaç olan mekanik ve hidrolojik parametrelerin bulunması açısından, arazide örselenmiş ve örselenmemiş örneklemelerden yararlanılarak yapılmış laboratuvar verileri temin edilerek kullanılmıştır. Laboratuvar verilerinden yararlanılarak kohezyon(c), içsel sürtünme ( $\phi$ ) açısı, birim hacim ağırlık ve transmissivite/Beslenme (T/R) verileri hesaplanmıştır. SINMAP matematiksel modelinin oluşturulmasında 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritadan üretilen raster veri formatındaki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) değerlendirilmiştir (Şekil 31).

Bu sonuçta model içerisinde türetilen ikincil topoğrafik veriler üretilmektedir. Böylelikle ortaya koyulan verilerin üretilmesiyle Vakfıkebir ilçesi drenaj alanı içerisinde her bir grid hücresi için Stabilitate İndeks (SI) değeri hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında belirli değer aralıkları alınarak SINMAP uygulamasında heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Tablo 18).

Heyelan duyarlılık analizi için ikinci çalışma olarak Frekans Oranı yönteminden yararlanılmıştır. Tüm raster ve vektör şekilli haritalar WGS 1984 UTM 37 N koordinat sistemine tanımlanmıştır. Bu nedenle oluşturulan duyarlılık haritası aynı projeksiyon sisteminde bulunur ve piksel boyutu 12.5x12.5 m olarak tanımlanmıştır. Toplam piksel sayısı çalışma alanındaki ilçe sınırının tamamı olarak alınmıştır. Değerlendirilen 127 tane vektör tabanlı poligon biçimindeki heyelanların CBS ortamında toplanması ile heyelanlı piksel sayıları hesaplanmıştır. Daha sonra bu şekilde ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası, on iki adet harita CBS ortamında toplanmasıyla üretilmiştir ve beş eşit sınıfa ayrılmıştır.

Heyelan duyarlılık analizi için üçüncü bir yöntem olarak EE (entropi endeksi) yöntemi kullanılmıştır. Entropi endeksi yönteminde heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla tüm haritaların koordinatı WGS 1984 UTM 37 N sistemine tanımlanmıştır. Tüm haritaların piksel boyutu 12.5x12.5 m'dir. Çalışma alanında kullanılacak olan parametre haritaları CBS ortamında hazırlandıktan sonra, çalışma alanında daha önce meydana gelmiş olan heyelanlar ile bu parametreler arasındaki ilişki belirlenmiştir. Böylelikle heyelan envanter haritası, her parametreye ait haritayla birlikte ArcGIS aracılığıyla oluşturularak heyelanlı ve heyelansız piksel verileri elde edilmiştir.



### 3. BULGULAR

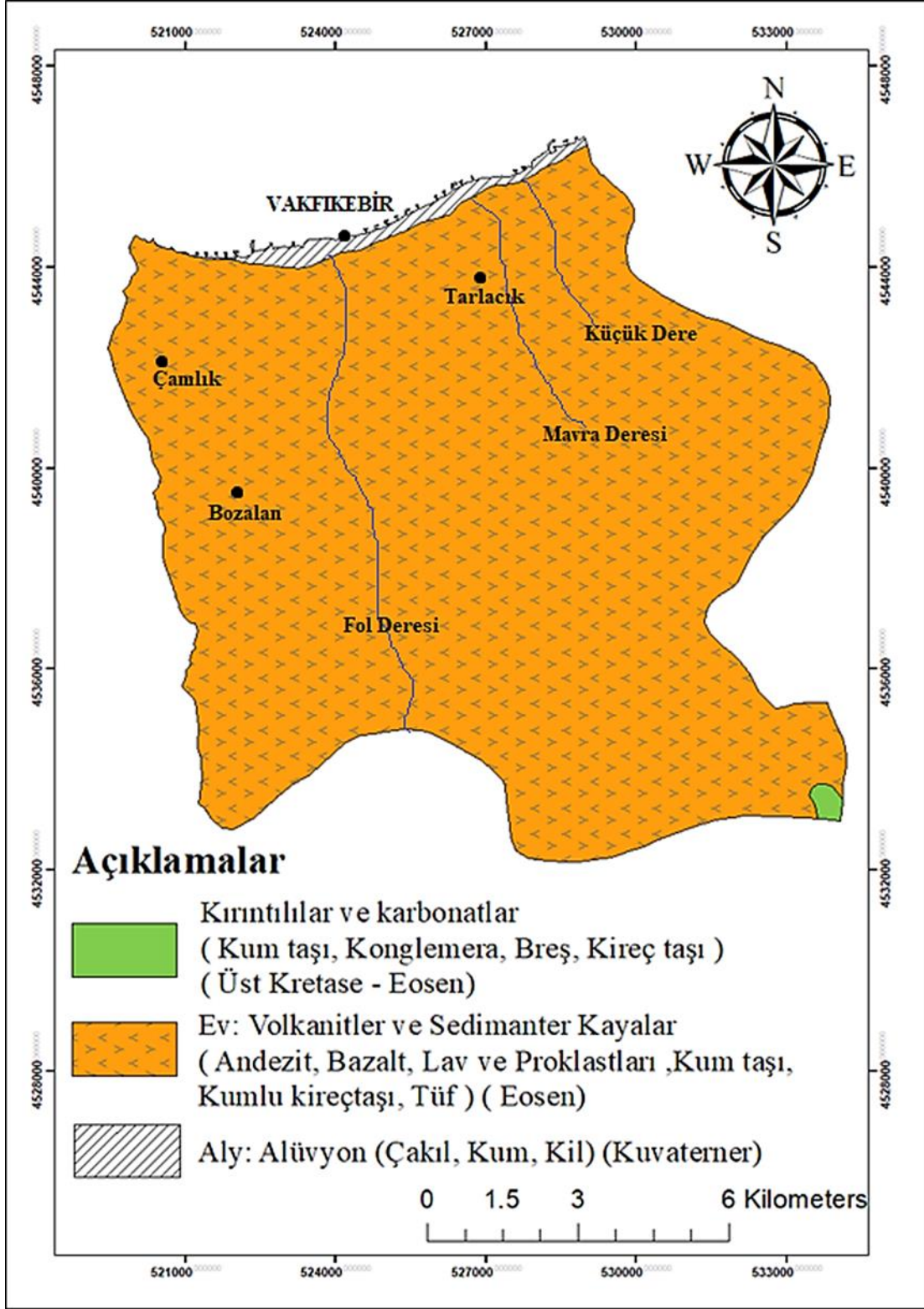
#### 3.1. Vakfıkebir ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Doğu Türkiye, jeoloji ve tektonik özellikleri açısından beş ana tektonik birliğe ayrılmıştır. Bu tektonik birlikler, Rodop-Pontid Parçası, Doğu Anadolu Eklenir Prizması, Bitlis-Pötürge Masifi, Erzurum-Kars Platosu ve Kuzeybatı İran parçasıdır. (Şengör ve diğ., 2003). Doğu Karadeniz Bölgesi, bu tektonik birliklerden Rodop-Pontid parçasında bulunup, Mesozoyik döneme Senozoyik döneme ait volkanik ve sedimanter kayalar bulunur.







Yapılan çalışmalara göre inceleme alanında yayılım gösteren birimlerin büyük bir çoğunluğunu Senozoyik döneme ait Alt-Orta Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonun (Ev) ait andezit, bazalt, lav ve proklastik kökenli kayaların oluşturduğu görülmüştür. Orta kısımda ise Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonun (PLB) ait kötü katmanlı gevşek çimentolu konglomara ve breşler gözlemlenmiştir. Denize yakın bölgelerde ise alüvyonlar (Alv) yüzeylenir. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait dikme kesit Şekil 10'da jeoloji haritası Şekil 9'da verilmiştir.

İnceleme alanında yüzeylenen litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru şöyledir;

- Kabaköy Formasyonu (Eosen)
- Beşirli Formasyonu (Pliyo – Kuvaterner)
- Alüvyon ve yamaç döküntüleri (Kuvaterner)



Şekil 9. İnceleme alanının jeoloji haritası

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
SENOZOYİK	TERSİYER	KUMA		Aly	v		Aly: Çakıl, Kum, Kil	
		PLİYOSEN	BEŞİRLİ	PLC	150		PIÇ: Konglomera	
				PLB	75		PIB: Kumtaşı, Kil taşı, Konglomera, Bazalt, Aglomera	
		EOSEN	KABAKÖY	Ev	800		Y <sub>3</sub> : Kaçkar Granodiyoriti II. Ev: Andezit Bazalt lav ve piroklastlar (Kumtaşı, Kumlu Kireçtaşı, Tüf)	
MESOZOYİK	JÜRA KRETASE	ÜST KRETASE - PALEOSEN						
		ÇAYIRB AĞ	KAĞLAYAN	KAÇKAR GRANODİYORİTİ				
		KRU 5a	KRU 5b					
		KRU 4b						
		ÇATAK	KIZILKAYA	MESCİTLİ				
		KRU 1	KRU 2	KRU 3				
		1000	500	800				
					600			
	ÜST JÜRA - ALT	BERDİGA		JKR	200		JKr: Resifal Kireçtaşı, Kumlu Kireç taşı, Çörtlü Kireçtaşı (Kuzey Zonu)	
LİYAS-DOGGER	HAMUR-KESEN			JLH	500		Jlh: Bazalt Andezit, Dasitik lav ve piroklastları (Kırmızı renkli Kumtaşı, Kireçtaşı)	

Şekil 10. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti

### 3.1.2. Kabaköy Formasyonu

Kabaköy Formasyonu (Ev) Güven (1993), volkano-tortul özellik gösteren bu birimi “Kabaköy Formasyonu” olarak adlandırmıştır. Çalışma alanında görülen kayalar, Kabaköy Formasyonu’na benzer özellik göstermesinden dolayı aynı isim altında incelenmişlerdir. Bu katman kumlu kireç taşı, kum taşı ve marn ara seviyelerini de barındıran gri renkli andezit özellikli lav, piroklastları ile gri rekli yeşilimsi çok miktarda ojit ve hombilen içeren bazalt lav ve piroklastlarından meydana gelir. Ayrıca lavlarda kısım kısım yastık lavlı yapılar ve çatlaklar görülmektedir. Kabaköy katmanı üst kretase devrinde birçok birimin üstüne aşınma uyumsuzluğu ile gelir ve katmanda zaman zaman heyelanlar görülmektedir. Arazi dolgunluğu 30-100 cm boyutunda değişmekte olup, Kabaköy Formasyonu’nun yaşı, fosil içeriklerine göre Alt-Orta Eosen olarak saptanmıştır (Güven, 1993).



Şekil 11. Kabaköy formasyonu’na ait bazaltların görünümü



Şekil 12. Kabaköy Formasyonundaki tüflere ait görünüm

### 3.1.3. Beşirli Formasyonu

Trabzon kıyı şeridinde uzanan kaba taneli çakıltaşı ve kumtaşları Güven (1993) tarafından Beşirli Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Genel olarak gevşek çimentolu, iri taneli konglomera, az oranda da kumtaşı ve kil taşı seviyelerinden oluşan Beşirli formasyonu malzemesini tümüyle Kabaköy Formasyonun'dan alınmıştır (Güven, 1993). Vakfikebir ilçesinin kıyı bölgesinde görülen birim çoklukla andezit ve bazalt aglomeralardan meydana gelmiştir. Kıyı bölgesinden güney kısım doğrultusunda zaman zaman kumlu-siltli düzeyler, ince ögeli konglomeralar, aglomeratik düzeylerle üst üste binmesi şeklinde görülmektedir. Tabakalarda kısım kısım önceki ve olağan heyelanlar tespit edilmiştir. Arazi dolgunluğu çoğunlukla 60-100 cm boyutunda farklılaşmaktadır. Formasyon çoğunlukla kötü katmanlı gevşek çimentolu özelliğine sahip polijenik heterojen

konglomera ile breşten meydana gelmiştir. Bünyesinde kısım kısım büyük taneli kum taşlarıyla birlikte kalın ve kötü tabakalı kumlu kireç taşları görülür. Birimin kalınlığı 250 m dir. Yaşı ise miyosen birimleri yüzeyinde uyumsuzlukla gelmesi sebebiyle bağlı olarak pliyosen belirlenmiştir. Yaşını saptayacak herhangi bir veri bulunmayan formasyonun, Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunuşu ve kumlu-killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içermesi göz önünde tutularak, Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993). Birimin kalınlığı Güven, (1993) tarafından yaklaşık 50 – 75 m olarak belirtilmiştir.



Şekil 13. Beşirli Formasyonundaki konglemeralara ait görünüm

#### 3.1.4. Alüvyon

Fol Deresi ve Kirazlık Deresi vadilerinde görülen Kuvaterner yaşlı alüvyonlar; blok, çakıl, kum, kil, ve silt boyutundaki öğelerden meydana gelmiştir. Tümü taşkın bölgesinde bulunmaktadır. Kazıları oldukça rahattır. Üstlerindeki arazi örtüsü kalınlığı ise 60 cm ile 1 m boyutunda farklılaşmaktadır. Fol Deresinde alüvyonun eni; 100-250 m. Boyutu ise 4 km.dir. Kalınlığı; 17-30 m. arasında belirlenmiştir.



Şekil 14. Volkanik breşlerin arazi görünümü



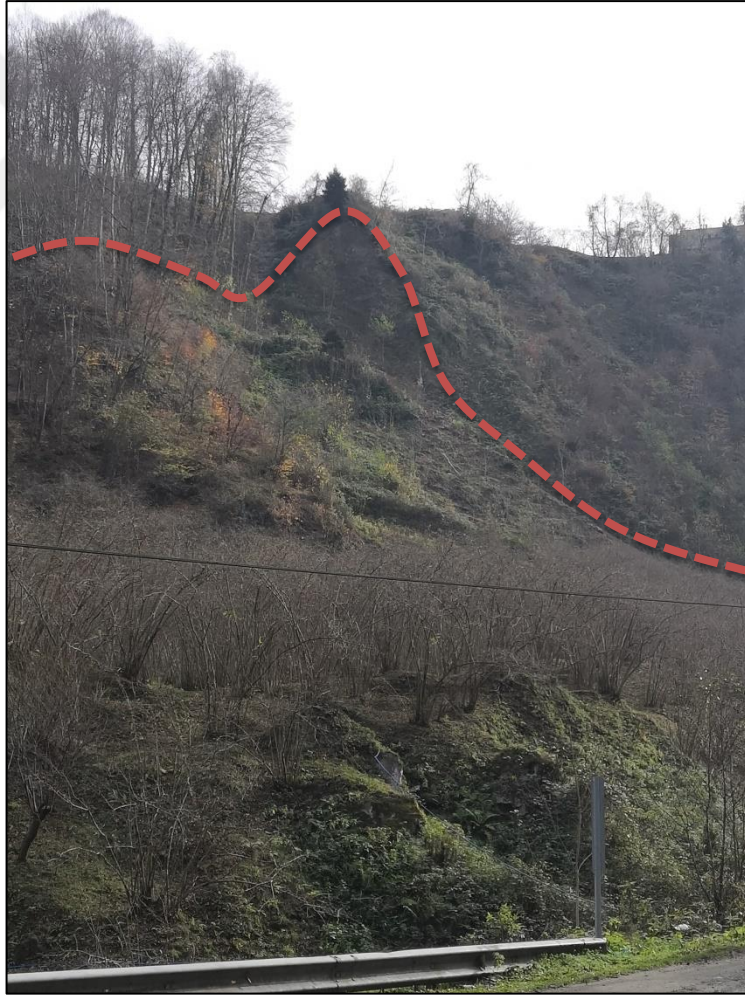
Şekil 15. Alüvyonlar



### 3.2. Yöntem

Geçmiş zamanda heyelanların meydana gelmesine neden olan etmenler gelecek zamanda olabilecek heyelanların ortaya çıkmasına ışık tutacaktır (Chung ve Fabbri 1999). Bu yaklaşıma bakılarak, bu heyelanların oluşmasını sağlayan faktörler ve bu heyelanlar arasındaki ilişki, bu faktörlerin heyelan olmamış alanlardaki ilişkisinden ayırt edilir (Lee vd, 2004).

Heyelan duyarlılık çalışmalarında, “meydana gelebilecek heyelanlar, geçmişte meydana gelen heyelanları oluşturan aynı faktörler sebebiyle meydana gelecektir “varsayımı kabul edilmektedir (Yılmaz, 2009). Bu yüzden, bu ilişkiyi ortaya koymak için frekans oranı yöntemi kullanılmaktadır (Erener vd, 2010).



Şekil 16. Çalışma alanında tespit edilen heyelan alanı

### 3.2.1. FR Yöntemi

Frekans oranı, bir olayın meydana gelme olasılığının meydana gelmeme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Lee ve Dan 2005; Lee ve Sambath 2006; Lee ve Pradhan 2007; Akgün vd. 2008; Yılmaz 2009; Erener ve Düzgün 2010). Metot, geçmişte oluşan heyelan konumları ile göz önüne alınan heyelana etki eden her faktörün korelasyonunu araştırmak için kullanılmıştır. Bu sebeptendir ki her bir heyelanı etkileyen faktörler kendi aralarında kategorilere ayrılmış ve her ayrı faktörün her ayrı kategorisindeki frekans oranı değeri CBS fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır.

Şayet bulunan frekans oranı değerleri 1'den büyükse, heyelan meydana gelme olasılığı yüksek, tam tersi şekilde, 1'den ne kadar küçük olursa bu olasılık da o kadar düşük olur.

#### 3.2.1.1. Frekans Oranı Yönteminin Çalışma Alanına Uygulanışı

İlk olarak analiz için SYM verisi elde edilmiştir. Bu işlemle birlikte daha sonraki aşamalarda ArcGIS yazılımından faydalanılmıştır.

SYM haritası temininden sonra çalışmada kullanılan; yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç eğriliği, yükseklik, yakınsama indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, eğim uzunluğu ve diklik faktörü, drenaj ağı temel seviyesi, drenaj ağlarına uzaklık, vadi derinliği, bağıl eğim konumu parametre haritaları üretilmiştir. Litoloji haritasının üretilmesi için MTA Genel Müdürlüğü'nden alınan litoloji verileri kullanılmıştır. Her litolojik birime farklı olacak şekilde alınan litoloji verisine 1'den başlayarak değerler atanmıştır. Bu değerler verilirken benzer olduğu saptanan litolojik formasyonlara aynı değer verilerek birleştirme yapılmıştır. Elde edilen bu vektör veri, SYM ile aynı koordinat sisteminde 12.5x12.5 m piksel boyutlarında, raster formatına dönüştürülmüştür (polygon to raster).

Heyelan bulunan alanlardaki parametre alt gruplarının piksel sayılarını bulmak için heyelan alanlarına karşılık gelen değerler okutulmuştur. Daha sonra, tüm parametrelerin her bir alt grubu için frekans değerleri, Excel ile formüle edilerek saptanmıştır. Tüm bu alt gruplar için Fr değerleri hesaplandıktan sonra bu değerleri virgülden kurtarmak için, tüm Fr değerleri en büyük Fr değerine bölünerek yüz ile çarpılmıştır.

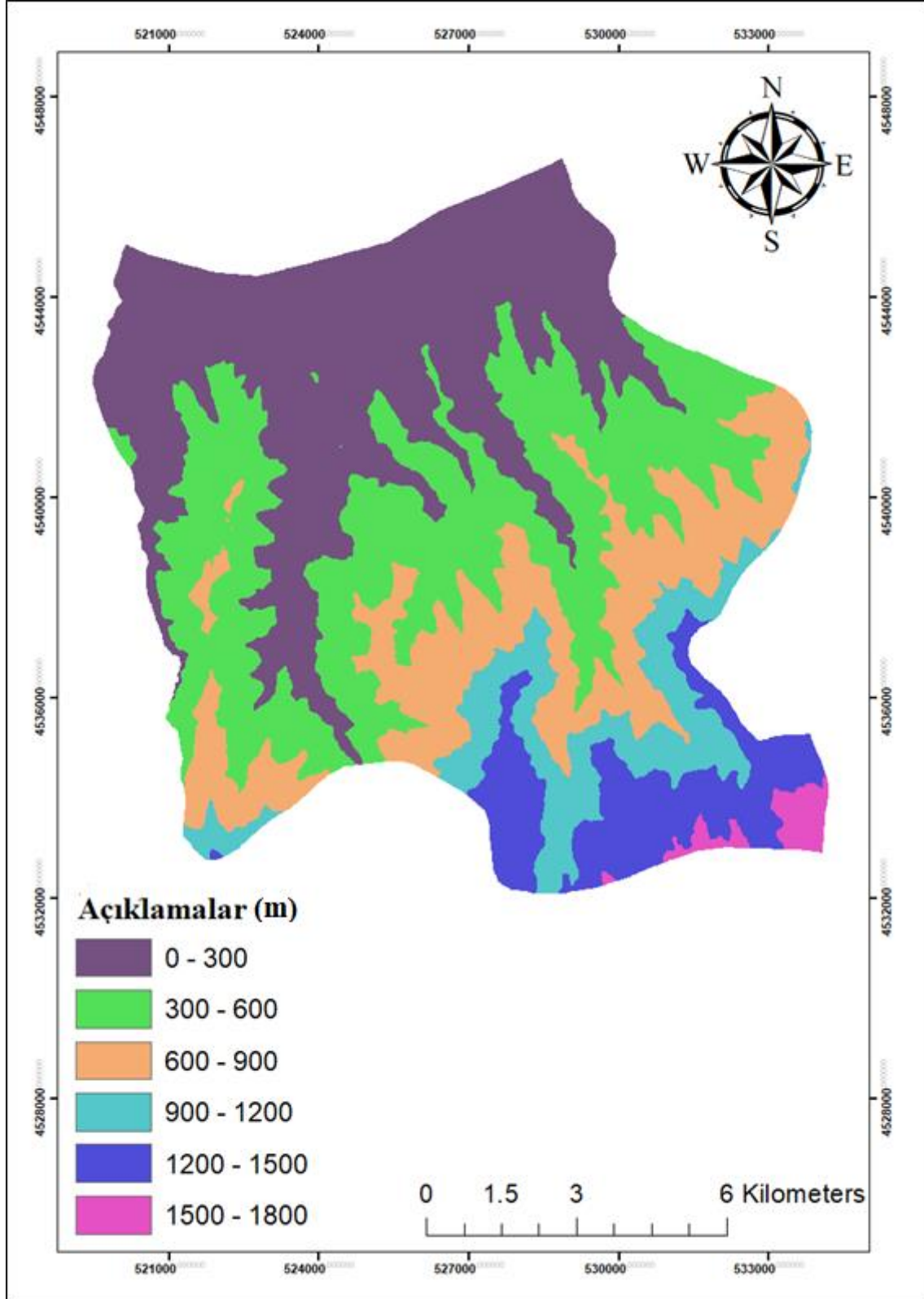
Sonuçta, frekans oranı değerleri hesaplanmış ve sınıflara ayrılmış on iki parametre haritası, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için ArcGIS yazılımı ortamında birbirleriyle çakıştırılmıştır ve en düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır.

### **3.2.2. Parametre Haritalarının Oluşturulması ve Heyelan Duyarlılık Haritası**

#### **3.2.2.1. Topoğrafik Yükseklik**

Çalışma alanına ait yükseklik haritası Şekil 17’de verilmiştir. Çalışma alanındaki maksimum yükseklik 1954 m’dir. Topoğrafik yükseklik haritası 300 m aralıklarla sınıflandırılmıştır. Heyelan ile yükseklik ilişkileri gözlemlenmiştir. Heyelan verilerinin yükseklik dağılımına göz atıldığında; en fazla tespit edilen heyelan yükseklikleri 0-300 m’ler arasındaki yükseklikler olup, en az yükseklik değerleri ise 1500 m üzeri olarak belirlenmiştir. Heyelanlı bölgelerin yüksekliğe ait frekans dağılımı oranları tespit edilen bu veriyi doğrulamaktadır (Tablo 3).

ArcGIS yazılımında heyelanlı piksel sayıları belirlenmiştir. En yüksek frekans değerine 100 değeri verilmiştir ve diğer frekans değerleri de bu veriye bağlı olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).



Şekil 17. İnceleme alanının yükseklik haritası

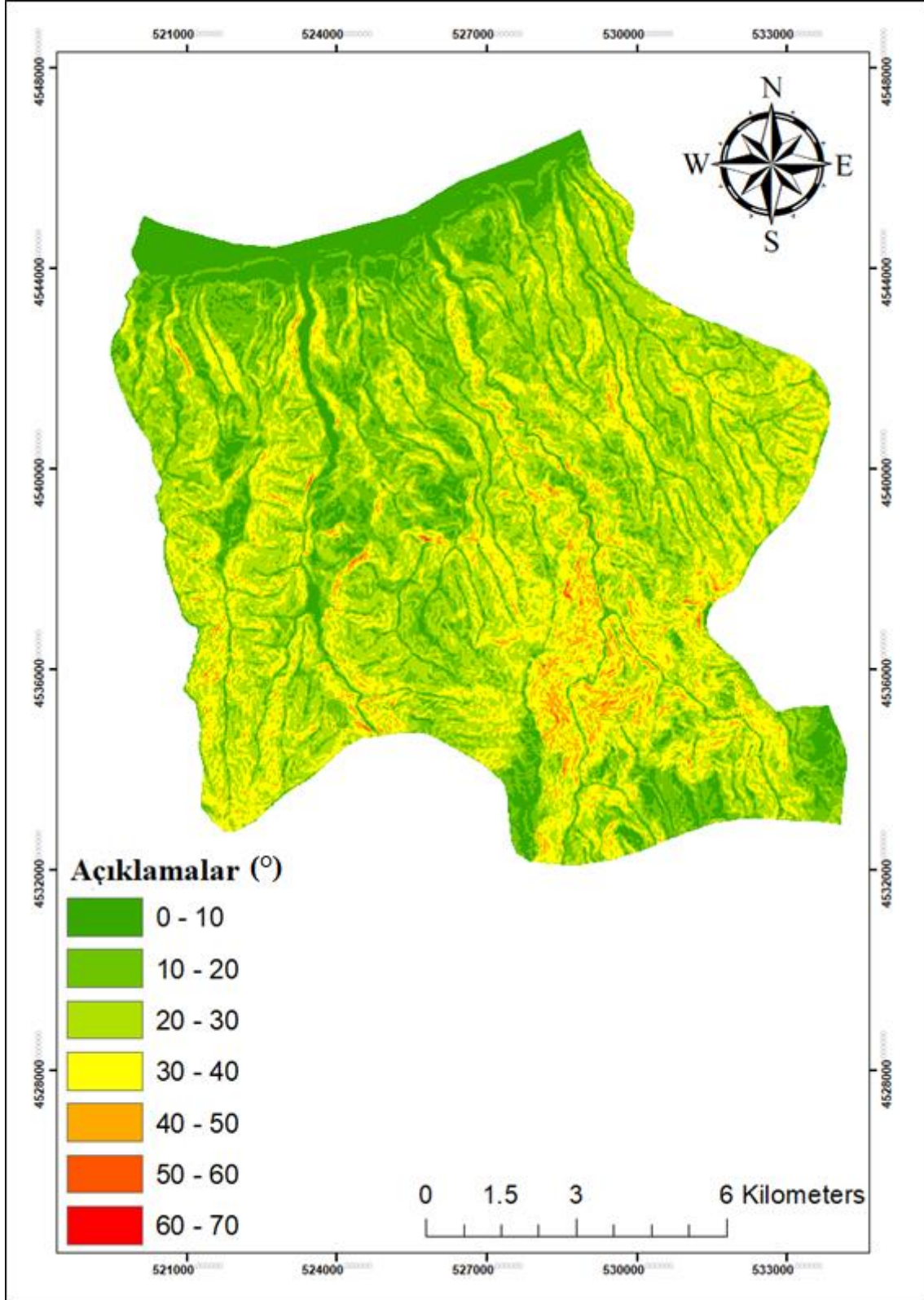
Tablo 3. Yükseklik parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
SYM Yükseklik (m)	0 - 300	308847	33.523	14605	62.170	0.047	0.546	54.688	54
	300 - 600	284044	30.831	7989	34.007	0.028	0.325	32.527	32
	600 - 900	157313	17.075	38	0.161	0.000	0.002	0.279	0
	900 - 1200	79455	8.624	720	3.064	0.009	0.104	10.479	10
	1200 - 1500	79942	8.677	140	0.595	0.001	0.020	2.025	2
	1500 - 1800	11674	1.267	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		921275		23492		0.086	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.546	0.546	0.089	6.134

### 3.2.2.2. Yamaç Eğimi

Eğim açısı heyelanların meydana gelmesinde önemli rol oynayan faktörlerden biridir. SYM'den itibaren CBS ortamında raster veri formatından üretilmiştir. Duyarlı alanların analiz edilebilmesi için yamaç eğimi 10 derece aralıklarla yedi sınıfa ayrılmış. Çalışma alanına ait eğim haritası Şekil 18'de verilmiştir. Heyelan verilerinin yamaç eğimi değerlerine bakıldığında; heyelanların 10-20 derece eğim aralığında yoğunlaştığı görülmüştür (Tablo 4). Topoğrafik yükseklikte olduğu gibi heyelanlı piksel sayıları Arcgis yazılımında saydırılıp hesaplanmıştır. Aynı şekilde en yüksek frekans değerine 100 değeri verilmiştir ve diğer frekans değerleri de bu veriye bağlı olarak hesaplanmıştır (Tablo 4)



Şekil 18. İnceleme alanının eğim haritası

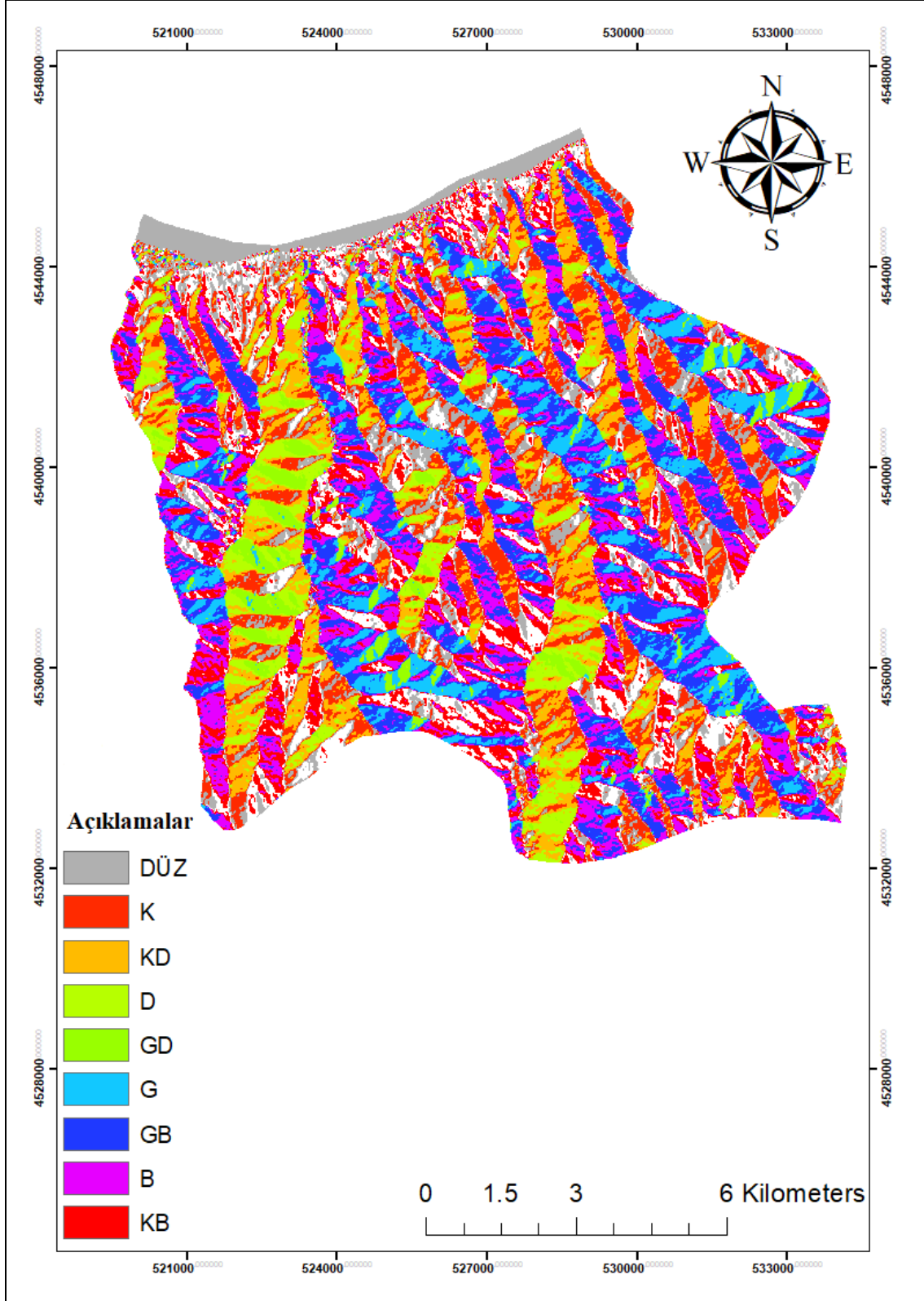
Tablo 4. Eğim parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Eğim (°)	0 - 10	117458	12.749	4338	0.184	0.036	0.223	22.378	22
	10 - 20	214933	23.329	9482	0.403	0.044	0.267	26.731	26
	20 - 30	347368	37.705	6471	0.275	0.018	0.112	11.287	11
	30 - 40	214316	23.262	2690	0.114	0.012	0.076	7.605	7
	40 - 50	26249	2.849	479	0.0203	0.018	0.110	11.057	11
	50 - 60	926	0.1005	32	0.0013	0.034	0.209	20.939	20
	60 - 70	25	0.0027	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		921275		23492		0.165	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.267	0.267	0.089	2.146

### 3.2.2.3. Yamaç Yönelimi (Bakı)

Yamaç yönelimi haritası CBS tabanında oluşturulmuştur. Çalışma alanına ait yamaç yönelimi haritası şekil 19'da verilmiştir. Yamaç yönelimi cinsinden heyelanlı piksel sayılarının dağılımına bakıldığında tüm yamaçlarda heyelanların bulunduğu tespit edilmiş olup bu heyelanların doğu ve güneydoğu ile güneybatı ve kuzeybatı yönlerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Bu durum heyelanlı bölgelerin bakıya ait frekans oranlarında da gözlenmektedir (Tablo 5). 0-22,5 (°) başlangıcı, 337,5-360 (°) bitişi kuzeyi belirttiğinden CBS ortamında bu pikseller tek kuzeyde oluşturulmuştur. Bakı haritası üretilmiş ve frekans verileri hesaplanmıştır (Tablo 5).



Şekil 19. İnceleme alanının yamaç yönelimi (Bakı) haritası



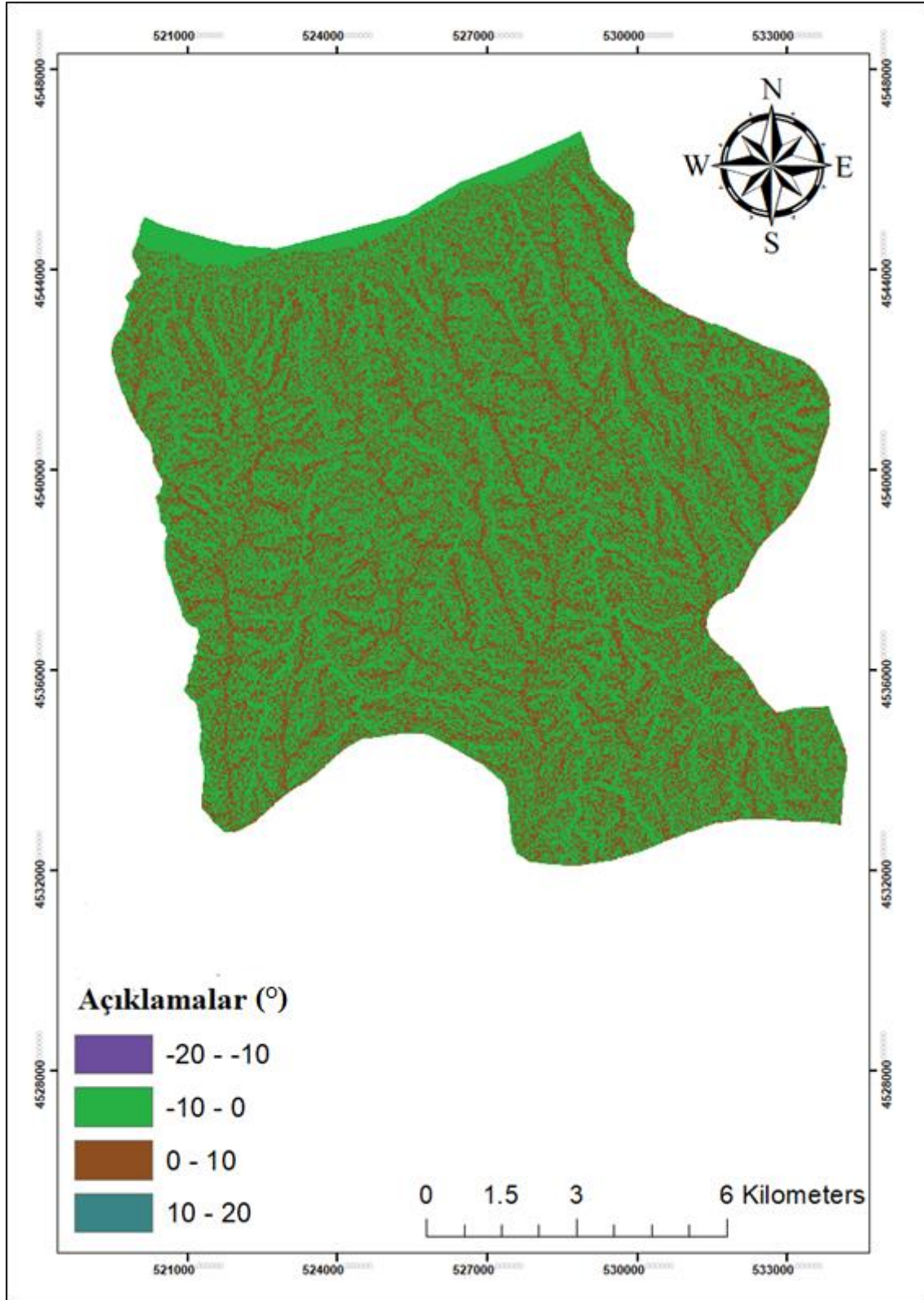
Tablo 5. Yamaç yönelimi (Bakı) parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Bakı (°)	Düz(-1)	93765	10.177	1588	6.759	0.016	0.065	6.513	6
	K(0-22.5)	113764	12.348	1614	6.870	0.014	0.054	5.456	5
	KD(22.5-67.5)	105946	11.499	1417	6.031	0.013	0.051	5.143	5
	D(67.5-112.5)	57801	6.274	1752	7.457	0.030	0.116	11.657	11
	GD(112.5-157.5)	28885	3.135	975	4.150	0.033	0.129	12.982	12
	G(157.5-202.5)	71803	7.793	1646	7.0066	0.022	0.088	8.816	8
	GB(202.5-247.5)	129270	14.031	4281	18.223	0.033	0.127	12.736	12
	B(247.5-292.5)	122132	13.256	3778	16.082	0.030	0.118	11.897	11
	KB(292.5-337.5)	106073	11.513	3877	16.503	0.036	0.140	14.057	14
<b>Toplam</b>		829439		20928		0.232			

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0.051	0.14	0.089	0.089	1

#### 3.2.2.4. Yamaç Eğriselliği

Yamaç eğriselliği haritası CBS tabanında oluşturulmuştur ve dört sınıfa ayrılmıştır. Eğrisellik haritası Şekil 20'de verilmiştir. Bu harita incelendiğinde heyelanların -10-0 ve 0-10 derece değerindeki dışbükey ve içbükey yamaçlarda arttığı görülmüştür (Tablo 6). Önceki parametrelerde olduğu şekilde eğrisellik haritası üretilmiş ve frekans verileri hesaplanmıştır (Tablo 6).



Şekil 20. İnceleme alanının yamaç eğriselliği haritası

Tablo 6. Yamaç eğriselliği parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

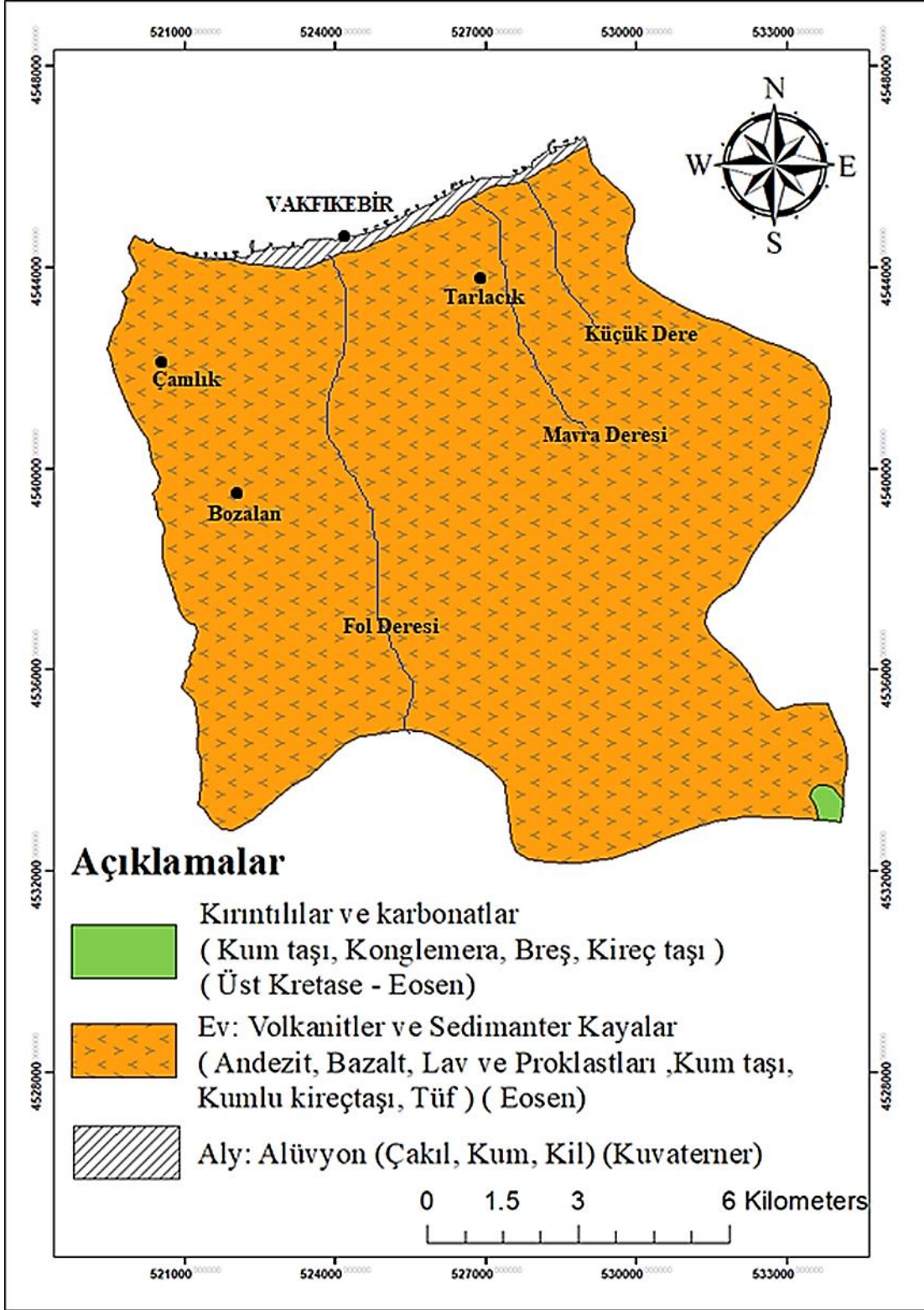
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Eğrisellik (°)	-20 - -10 (1)	5	0.0005	0	0	0	0	0	0
	-10 - 0	566852	61.529	14505	61.744	0.025	0.502	50.226	50
	0 - 10	354413	38.469	8987	38.255	0.025	0.497	49.773	49
	10 - 20 (4)	5	0.0005	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		921275		23492		0.050	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.5	0.5	0.089	5.617

### 3.2.2.5. Litoloji

Heyelan oluşumunu etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir ve heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli role sahiptir. Çünkü birbirinden farklı litolojik birimler, heyelanlar gibi aktif yeryüzü süreçleri için farklı duyarlılıklara sahiptir. Yeryüzü süreçleri, belirli oranda litolojiye ve litolojiyi oluşturan ana malzemelerin ayrışma özelliklerine bağlıdır.

Çalışma alanına ait litoloji haritası Şekil 21’de verilmiştir. Çalışma alanımızın bulunduğu Vakfıkebir ilçesinde heyelanların volkanitler ve sedimanter kayalar birimlerinin bulunduğu alanlarda yoğunlaştığı gözlemlenmiştir (Tablo 7 ve Şekil 21). Volkanitler ve sedimanter birimleri ile bu birimlerin ayrışmasından meydana gelen rezidüel zeminlerde heyelanların oluştuğu görülmektedir. Bölgenin meteorolojik ve topoğrafik özellikleri heyelanların oluşumunda önemli role sahiptir. Bölgede bulunan eğimli yamaçlarda akma, düşme, sığ kayma gibi zemin hareketleri yoğun olarak görülmektedir.



Şekil 21. İnceleme alanının litoloji haritası

Tablo 7. Litoloji parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

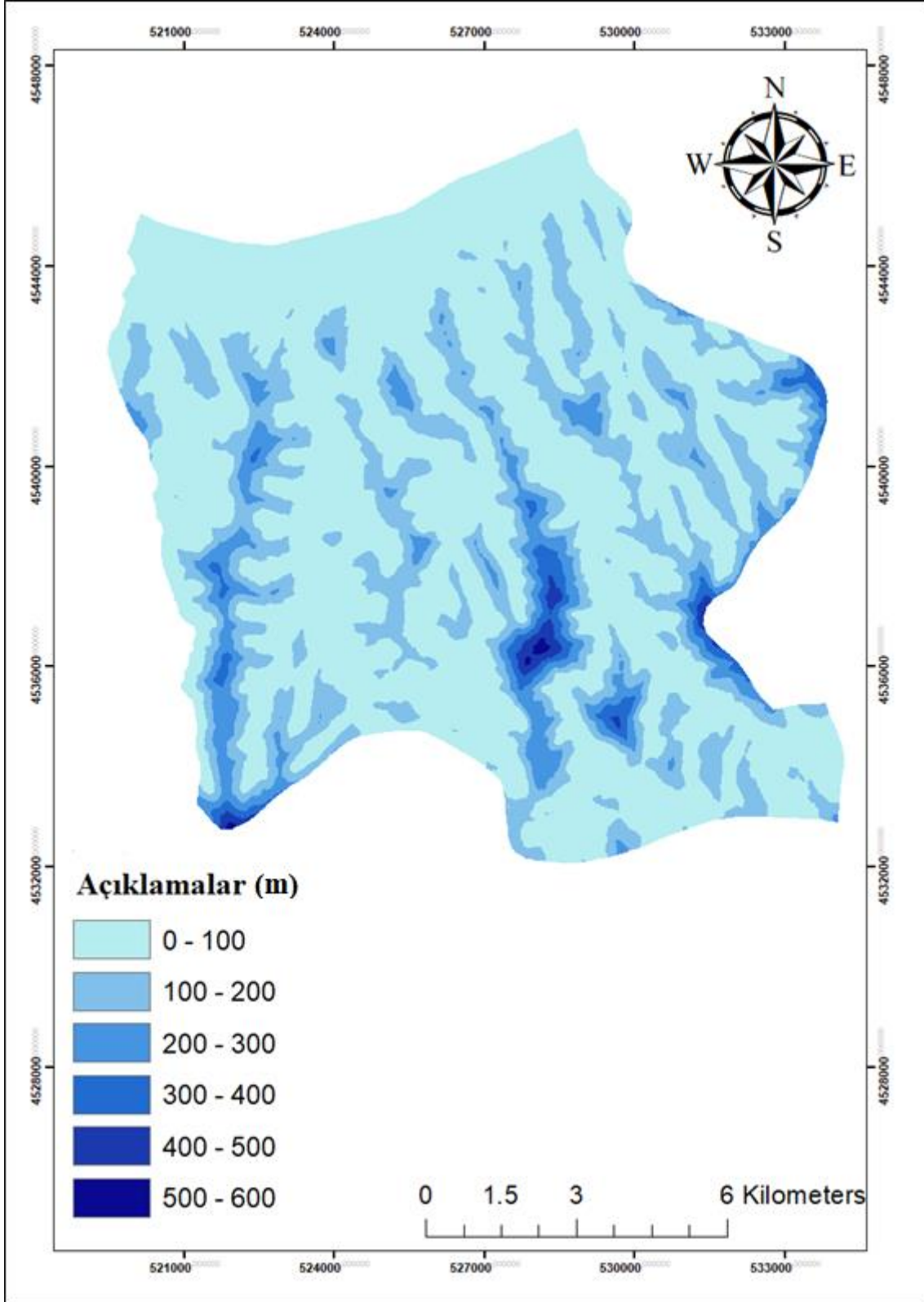
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
<b>Litoloji</b>	Alüvyon	13843	1.529	0	0	0	0	0	0
	Volkanitler ve Sedimanter Kayaçlar	889067	98.213	3670625	100	4.128	1	100	100
	Kırıntılılar ve Karbonatlar	2332	0.257	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		905242		3670625		4.128	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	1	1	0.089	11.235

### 3.2.2.6. Drenaj Ağlarına Uzaklık

Drenaj ağlarına uzaklık literatürde akarsuya yakınlık olarak da yer almaktadır. Drenaj ağlarına olan uzaklık arttıkça heyelan duyarlılığının azaldığı, drenaj ağlarına olan uzaklık azaldıkça da heyelan duyarlılığının arttığı yapılan çalışmalar sonucu gözlemlenmiştir. Akarsuların ve mevsimsel yağışlarla akış sağlanan drenaj ağlarının yamaç topuğunu aşındırılması ve yamaçlardaki malzemenin suya doymuş hale gelmesi heyelan oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Drenaj ağlarına uzaklık haritası altı sınıfa ayrılmıştır (Tablo 8).

Çalışma alanında bulunan heyelanlar ile drenaj ağları arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak heyelanların yoğunlukları belirlenmiştir (Tablo 8 ve Şekil 22). Heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu alt sınıfın 0 - 100 m aralığı olduğu saptanmıştır.



Şekil 22. İnceleme alanının drenaj ağlarına uzaklık haritası

Tablo 8. Drenaj ağlarına uzaklık parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

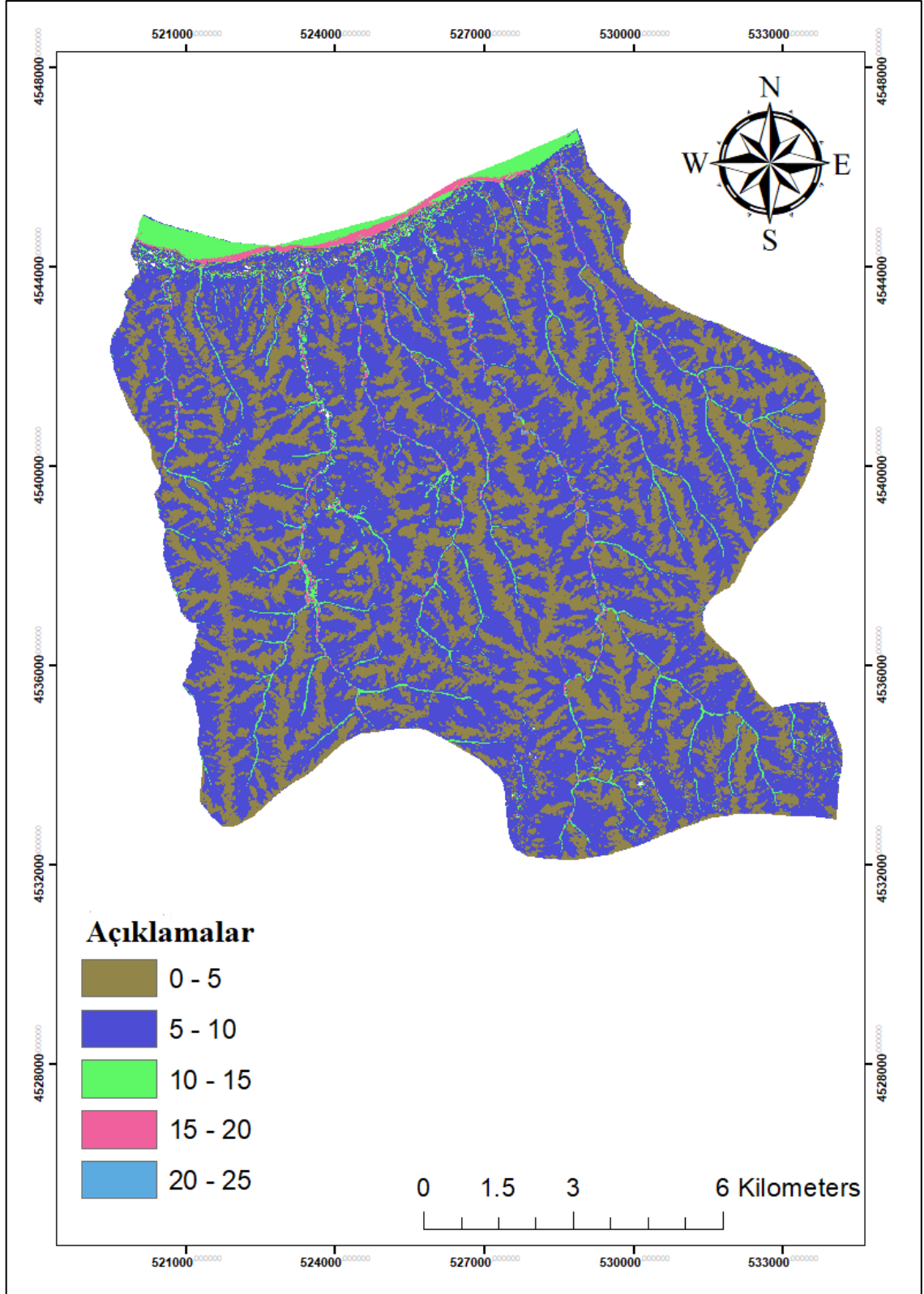
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Drenaj Ağlarına Uzaklık (m)	0 - 100	608196	66.016	20246	86.182	0.033	0.639	63.933	63
	100 - 200	228516	24.804	2969	12.638	0.012	0.249	24.953	24
	200 - 300	61882	6.716	247	1.051	0.003	0.076	7.665	7
	300 - 400	16717	1.814	30	0.127	0.0017	0.034	3.446	3
	400 - 500	5240	0.568	0	0	0	0	0	0
	500 - 600	724	0.0785	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		921275		23492		0.052	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.639	0.639	0.089	7.179

### 3.2.2.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

Havza alanındaki suya doymun alanların konumlarını ve boyutlarını Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) ifade eder. İnceleme alanının TWI değerlerini gösteren harita, Saga yazılımındaki hidroloji aracı ile gradyan cinsinden eğim haritası kullanılarak SYM ile üretilmiştir. Üretilen harita beş sınıfa ayrılarak sınıflandırılmıştır (Şekil 23). Üretilen TWI haritasında değerlerin 2.11 ile 22.74 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler her havza için değişken olup sabit bir ölçekte değildir.

TWI verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 20 ile 25 TWI değer aralığında her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Ancak en düşük yoğunluk ise 0 ile 5 TWI değer aralığında gözlemlenmiştir (Tablo 9 ve Şekil 23).



Şekil 23. İnceleme alanının TWI haritası



Tablo 9. TWI parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

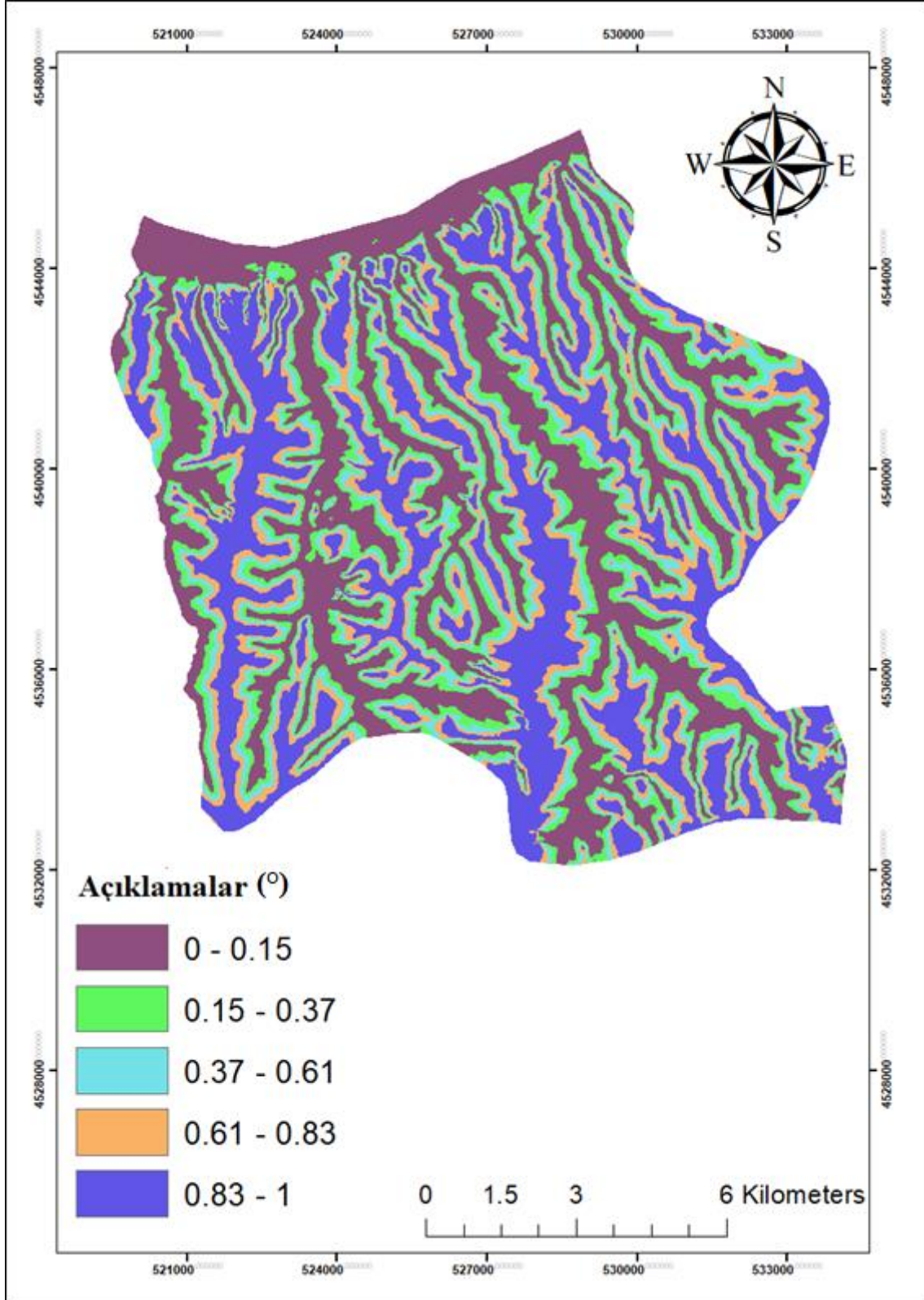
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
TWI	0 - 5	330599	35.924	5848	24.911	0.017	0.119	11.965	11
	5 - 10	535607	58.202	16250	69.222	0.030	0.205	20.522	20
	10 - 15	42154	4.580	1110	4.728	0.026	0.178	17.811	17
	15 - 20	10974	1.192	218	0.928	0.019	0.134	13.437	13
	20 - 25	914	0.099	49	0.208	0.053	0.362	36.263	36
<b>Toplam</b>		920248		23475		0.147	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0.119	0.362	0.243	0.089	2.730

### 3.2.2.8. Bağlı Eğim Konumu

Bağlı eğim konumu, akarsuyun alta yol aldığı vadi ile üste doğru aktığı sırtın yüksekliğine ilişkin akarsuyun yüksekliği şeklinde hesaplanır. Vadi tabanı (0)'dan sırt üstü (100)'e değişen oran şeklinde verilir.

Çalışma alanının bağlı eğim konumu haritası altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 24). Bağlı eğim konumu verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisine göre, 0 ile 0.15 (°) arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. Ancak en düşük yoğunluk ise 0.83 ile 1 (°) değer aralığında gözlemlenmiştir (Tablo 10 ve Şekil 24).



Şekil 24. İnceleme alanının bağıl eğim konumu haritası

Tablo 10. Bağıl eğim konumu parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

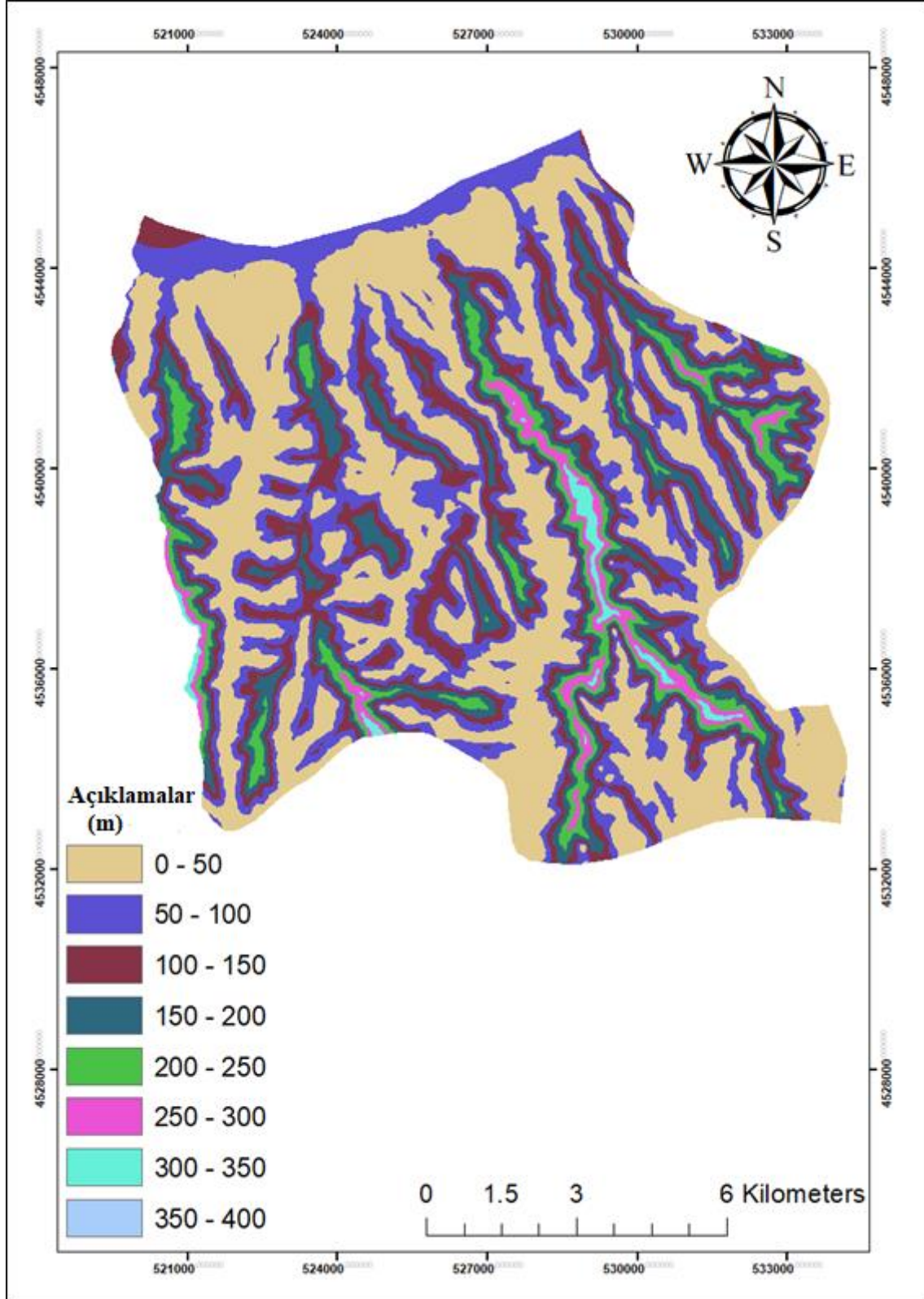
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Bağıl Eğim Konumu(°)	0 - 0.15	281512	30.556	10327	43.959	0.036	0.293	29.389	29
	0.15 - 0.37	133935	14.538	4112	17.503	0.030	0.245	24.596	24
	0.37 - 0.61	124566	13.521	3002	12.778	0.024	0.193	19.307	19
	0.61 - 0.83	134098	14.555	2595	11.046	0.019	0.155	15.503	15
	0.83 - 1	247159	26.828	3456	14.711	0.013	0.112	11.202	11
<b>Toplam</b>		921270		23492		0.124	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0.112	0.293	0.181	0.089	2.033

### 3.2.2.9. Vadi Derinliği

Vadiler, akarsuların oluşturduğu aşınma ile birlikte yanlamasına veya derinlemesine gelebilir. Özellikle dağ veya tepelerle çevrelenirler. Vadi derinliği, yükseklik ile ilişkili bir sırt seviyesi olarak hesaplanır.

İnceleme alanının vadi derinliği konumu değerlerini gösteren harita sekiz sınıfa ayrılarak sınıflandırılmıştır (Şekil 25). Vadi derinliği verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 50 ile 100 m arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır (Tablo 11 ve Şekil 25).



Şekil 25. İnceleme alanının vadi derinliği haritası

Tablo 11. Vadi derinliği parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Vadi Derinliği (m)	0 - 50	378213	41.053	7704	32.794	0.020	0.149	14.970	14
	50 - 100	228894	24.845	8914	37.944	0.038	0.286	28.621	25
	100 - 150	154687	16.790	4993	21.254	0.032	0.237	23.722	23
	150 - 200	87261	9.471	1284	5.465	0.014	0.108	10.814	10
	200 - 250	43580	4.730	216	0.919	0.004	0.036	3.642	3
	250 - 300	21202	2.301	304	1.294	0.014	0.105	10.537	10
	300 - 350	7358	0.798	77	0.327	0.010	0.076	7.691	7
	350 - 400	80	0.0086	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		921275		23492		0.136	1		

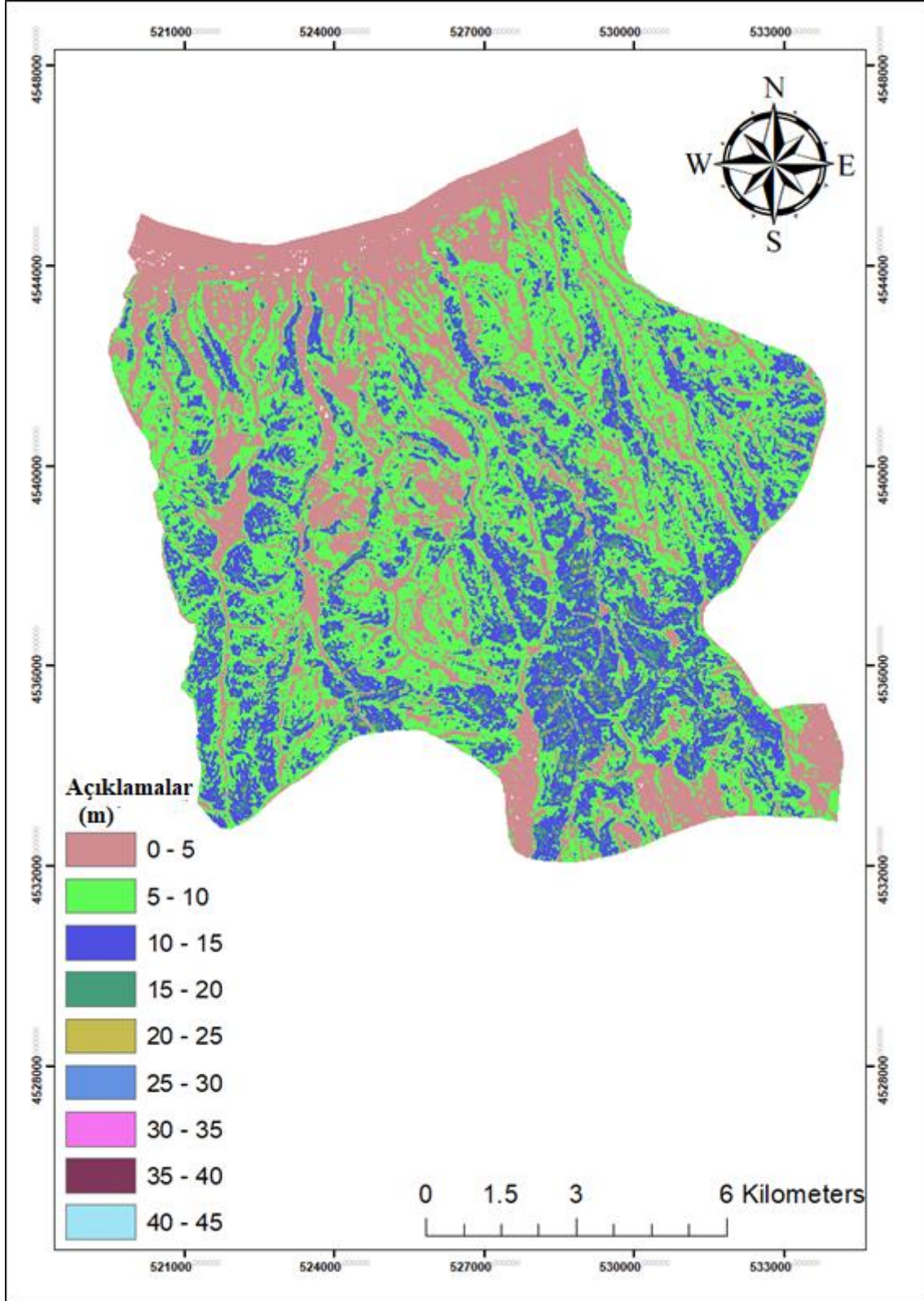
Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.286	0.286	0.089	3.213

### 3.2.2.10. Eğim Uzunluğu ve Diklik Faktörü (LS Faktör)

Erozyon risk tahmininde en çok kullanılan parametre eğim uzunluğu ve diklik faktörü (LS Faktör) dür. Toprak kaybı üzerinde en büyük etkiye birleşik eğim uzunluğu ve eğim açısı sahiptir. S faktörü, eğim dikliğinin etkisini ölçmekle beraber L faktörü ise eğim uzunluğunun etkisini tanımlar. Birleşik LS faktörü ise topografyanın toprak erozyonu üzerindeki etkisini tanımlar. Eğim uzunluğu, karada başlayan akış noktasından, eğimin yeterince azaldığı çökeltmenin meydana geldiği noktaya veya yüzey akışının girdiği bir kanala olan noktaya kadarki mesafe olarak tanımlanır. Eğim dikliği ise özellikle yüzde olarak ifade edilen segment veya saha eğimidir. Eğim uzunluğu ve eğim dikliği, toprak parçacıklarının yağmur damlası faktörüyle veya yüzey akışı sayesinde yerinden çıktıktan sonraki taşınmasında büyük rol oynar.

Çalışma alanının LS Faktörü haritası dokuz sınıfa ayrılmıştır (Şekil 26). LS Faktörü verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 0 ile 5 m arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır (Tablo 12 ve Şekil 26).





Şekil 26. İnceleme alanının eğim uzunluğu ve diklik faktörü haritası

Tablo 12. Eğim uzunluğu ve diklik faktörü parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
LS Faktör (m)	0 - 5	264613	28.754	10682	45.503	0.040	0.445	44.509	44
	5 - 10	412351	44.808	9488	40.417	0.023	0.253	25.370	25
	10 - 15	211548	22.988	2989	12.732	0.014	0.155	15.578	15
	15 - 20	27379	2.975	309	1.316	0.011	0.124	12.443	12
	20 - 25	3680	0.399	7	0.029	0.0019	0.020	2.0973	2
	25 - 30	581	0.0631	0	0	0	0	0	0
	30 - 35	84	0.0091	0	0	0	0	0	0
	35 - 40	11	0.0011	0	0	0	0	0	0
	40 - 45	1	0.00010	0	0	0	0	0	0
	<b>Toplam</b>		920248		23475		0.090	1	

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.445	0.445	0.089	5

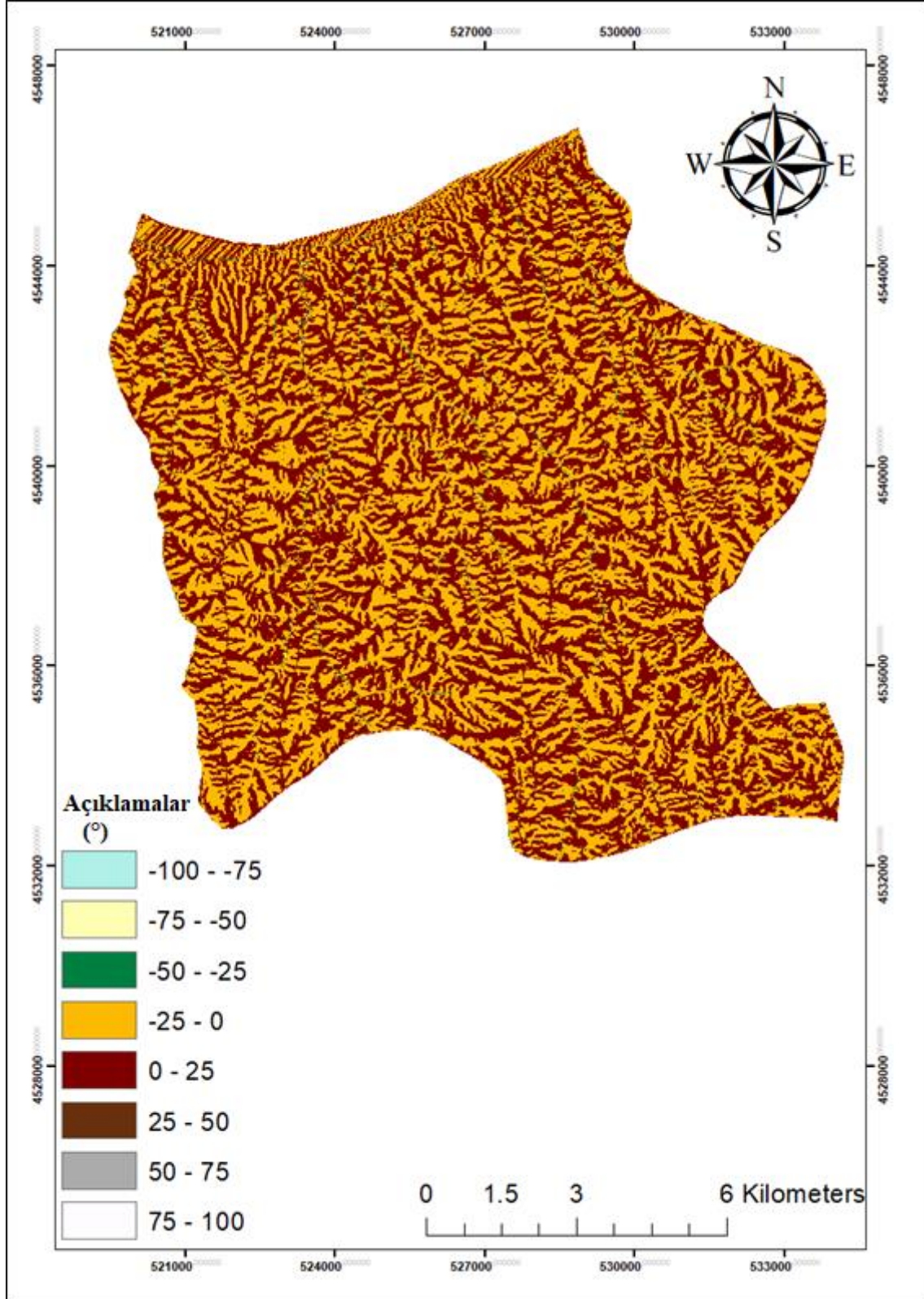
### 3.2.2.11. Yakınsama İndeksi

Yakınsama indeksi, yüzeyin yapısını yakınsak alanlar (kanallar) ve ıraksak alanlar (sırtlar) olacak şekilde ortaya koyan bir arazi parametresidir. Bu parametre etrafını çevreleyen hücrelerin yön yönünün teorik matris yönü ile uyumunu ifade eder. Yakınsama indeksi, ideal olan zirveyi eksi 90 dereceyi gösteren gerçek açı ile maksimum olan ıraksak yön matrisi arasındaki oluşan ortalama görünüş farkıdır. Yakınsama indeksi, özellikle tepeleri, kanal sistemlerini ve vadi tanıma yönünden analiz için çok yararlıdır.



Çalışma alanının yakınsama haritası sekiz sınıfa ayrılmıştır (Şekil 27). Yakınsama indeksi verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, -100 ile -75 (°) arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğunun arttığı bilgisine ulaşılmıştır (Tablo 13 ve Şekil 27).





Şekil 27. İnceleme alanının yakınsama indeksi haritası

Tablo 13. Yakınsama indeksi parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Yakınsanma İndeksi (°)	-100 - -75	25	0.0027	2	8.513	0.080	0.305	30.543	30
	-75 - -50	912	0.098	36	0.0015	0.039	0.150	15.071	15
	-50 - -25	6579	0.714	169	0.0071	0.025	0.098	9.807	9
	-25 - 0	442172	47.995	10829	0.460	0.024	0.093	9.350	9
	0 - 25	466355	50.6201	12376	0.526	0.026	0.101	10.132	10
	25 - 50	4573	0.496	69	0.0029	0.015	0.057	5.760	5
	50 - 75	603	0.065	9	0.00038	0.014	0.056	5.698	5
	75 - 100	56	0.0060	2	8.513	0.035	0.136	13.635	13
	<b>Toplam</b>		921275		23492		0.261	1	

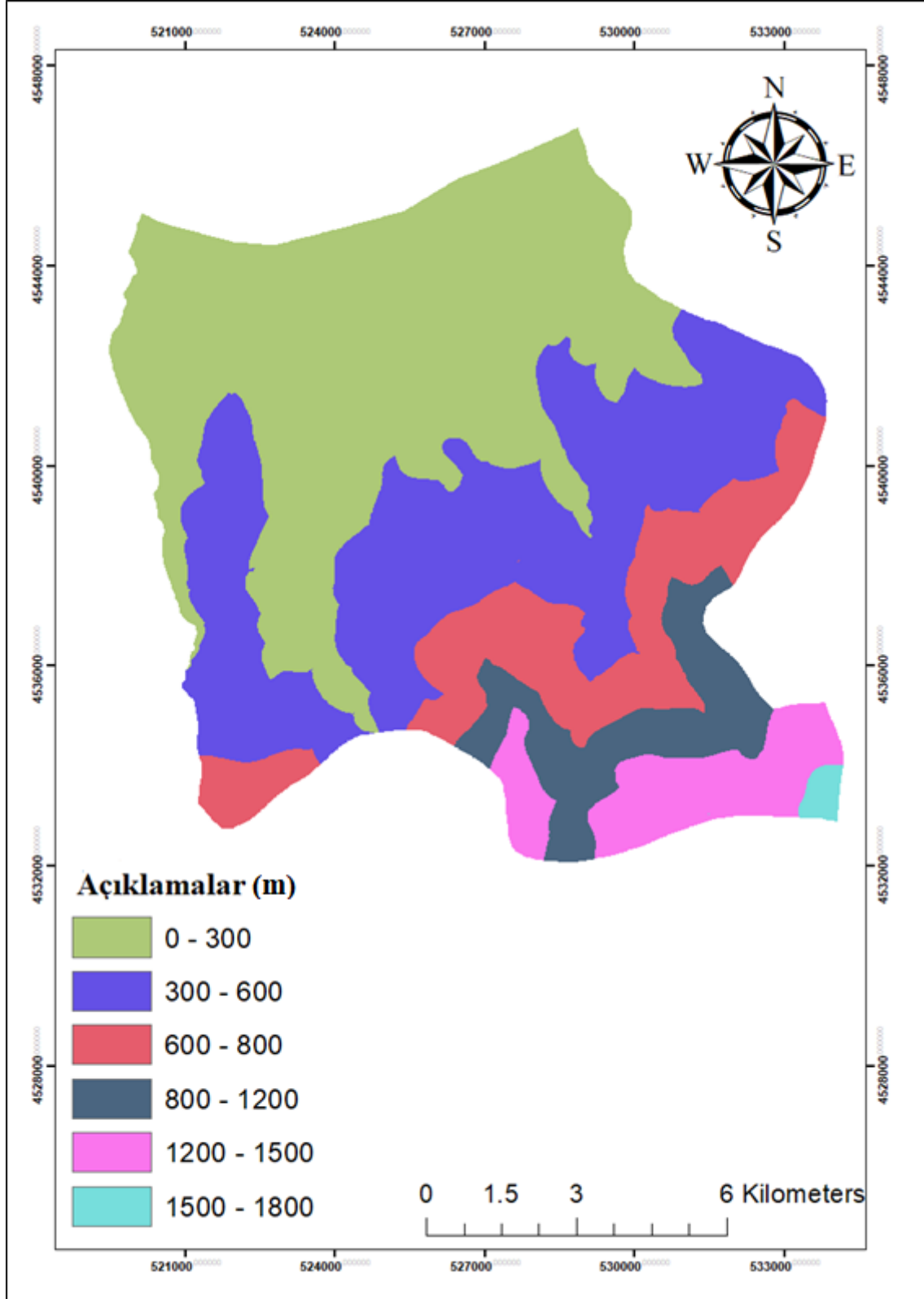
Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0.056	0.15	0.094	0.089	1.056

### 3.2.2.12. Drenaj Ağı Temel Seviyesi

Drenaj ağı temel seviyesi, alt kesiminde bulunan akışın ne olursa olsun yolunu aşındıramayacağı sınırlayıcı temel seviyesidir. Okyanuslara boşalan akarsular için taban seviyesi deniz seviyesidir. Yerel taban seviyeleri akarsuyun dirençli bir kaya kütleleriyle karşı karşıya geldiği, doğal ya da yapay yollarla oluşan bir barajın daha çok kanal erozyonunu önlediği veya gelen akışın bir göle boşaldığı yerlerde oluşabilir. Erozyon, özellikle doğal olan bir barajda ve su üst taraftan akabiliyorsa barajın akış aşağısında oluşur. Bununla birlikte barajın akış yukarısında, hemen akıntının hızı düşürülür ve bu yüzden tortu birikimi meydana gelir.

Çalışma alanının drenaj ağı temel seviyesi haritası altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 28). Drenaj ağı temel seviye verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 0 ile 300 m arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. Diğer taraftan 1200 m den sonra heyelan yoğunluğunun görülmediği gözlemlenmiştir (Tablo 14 ve Şekil 28).





Şekil 28. İnceleme alanının drenaj ağı temel seviyesi indeksi haritası

Tablo 14. Drenaj ağı temel seviyesi parametresine ilişkin frekans oranı ve heyelanlı piksel sayıları

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Drenaj Ağı Temel Seviyesi (m)	0-300	390678	42.406	19738	84.020	0.050	0.687	68.780	68
	300-600	279764	30.367	2876	12.242	0.010	0.139	13.995	13
	600-900	116998	12.699	36	0.153	0.0003	0.0041	0.418	0
	900-1200	68207	7.403	842	3.584	0.012	0.168	16.805	16
	1200-1500	60848	6.604	0	0	0	0	0	0
	1500-1800	4780	0.518	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>		921275		23492		0.073	1		

Min RF	Max Rf	Max Min RF	(Max - Min) Min RF	PR
0	0.687	0.687	0.089	7.719

### 3.2.3. FR Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Heyelan duyarlılık analizi için Frekans Oranı yönteminden yararlanılmıştır. Tüm raster ve vektör şekilli haritalar WGS 1984 UTM 37 N koordinat sistemine tanımlanmıştır. Bu nedenle oluşturulan duyarlılık haritası aynı projeksiyon sisteminde bulunur ve piksel boyutu 12.5x12.5 m olarak tanımlanmıştır.

Analizde kullanılan on iki adet parametre yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç eğriselliği, yükseklik, yakınsama indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, eğim uzunluğu ve diklik faktörü, drenaj ağı temel seviyesi, drenaj ağlarına uzaklık, vadi derinliği, bağlı eğim konumu ile analiz işlemleri tamamlanmıştır. Tüm analizler sonucunda kullanılan parametrelerin elde edilen heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak ise, Eşitlik 1 e göre hesaplama yapılarak heyelan

duyarlılık haritası elde edilmiştir.

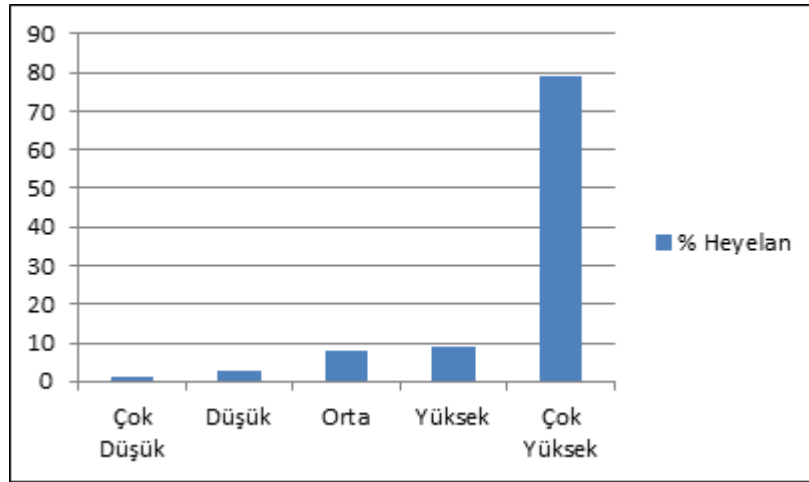
$$HDH_{EE} = \text{Yükseklik} \times 6.134 + \text{Eğim} \times 2.146 + \text{Bakı} \times 1 + \text{Eğrisellik} \times 5.617 + \text{Litoloji} \times 11.235 + \text{TWI} \times 2.730 + \text{Yakınsama İndeksi} \times 1.056 + \text{LS faktörü} \times 5 + \text{Drenaj ağlarına uzaklık} \times 7.179 + \text{Drenaj ağı temel seviyesi} \times 7.719 + \text{Bağıl eğim konumu} \times 2.033 + \text{Vadi derinliği} \times 3.213 \quad (1)$$

Toplam piksel sayısı çalışma alanındaki ilçe sınırının tamamı olarak alınmıştır. Değerlendirilen 127 tane vektör tabanlı poligon biçimindeki heyelanların CBS ortamında toplanması ile heyelanlı piksel sayıları hesaplanmıştır. Daha sonra bu şekilde frekans değerleri hesaplanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası on iki adet harita CBS ortamında toplanmasıyla üretilmiştir ve beş eşit sınıfa ayrılmıştır (Şekil 30).

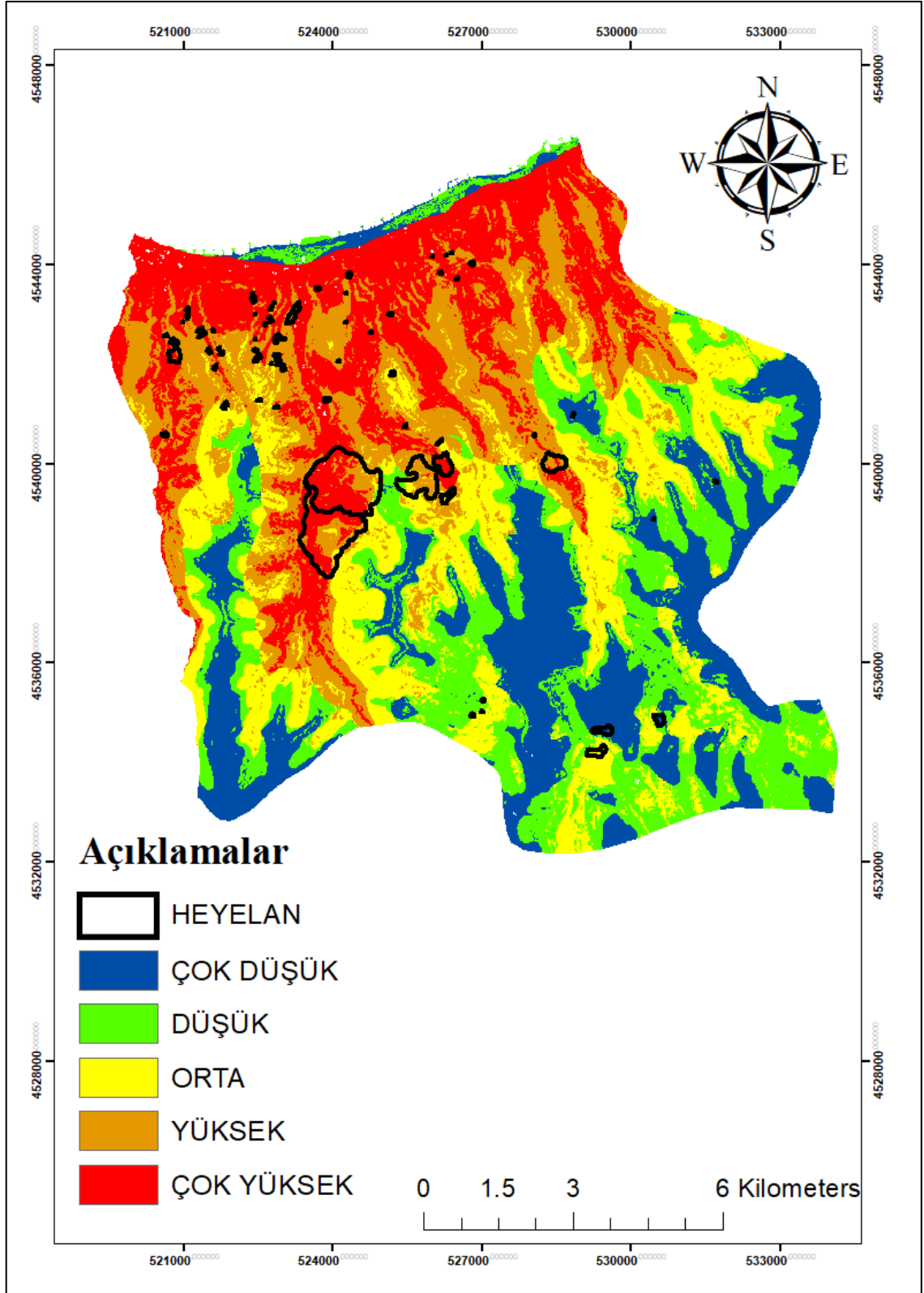
Elde edilen duyarlılık sınıflarını oransal dağılımları ise; çok düşük %1, düşük %3, orta %7, yüksek %8 ve çok yüksek %79 dur (Tablo 15 ve Şekil 29).

Tablo 15. Heyelan duyarlılık sınıflarının FR yöntemine göre alansal oran verileri

Derece	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Toplam
% Heyelan	1.33	2.90	7.86	8.88	79.00	100



Şekil 29. Heyelan duyarlılık sınıflarının FR yöntemine göre yüzde dağılımı



Şekil 30. İnceleme alanının FR yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası



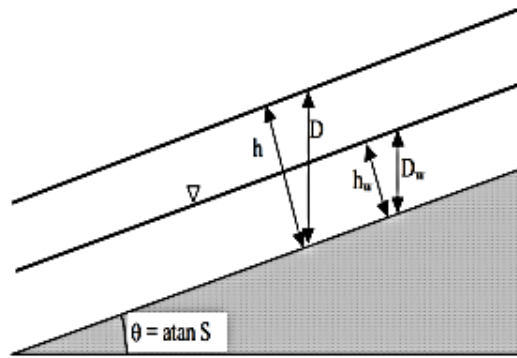
### 3.2.4. SINMAP (Stability Index Mapping) Matematiksel Modeli

SINMAP yöntemi Tarboton (1997) tarafından ilk kez tanımlanmıştır. Bu yöntem, yer çekiminde bulunan dengesizleştirici bileşenleri dengeleyen, sonsuz eğim kararlılığı modeline ve kenar etkilerini ihmal eden zemin yüzeyine paralel bir yenileme düzleminde bulunan sürtünme ve kohezyon bileşenlerini geri yükleyen modele dayanmaktadır. SINMAP, bir Güvenlik Faktörü (FS) olarak arazi stabilite sınıflandırmasını, topografik eğim ve havza alanı girdilerinden ve malzeme özelliklerini ve iklimi (esas olarak bir hidrolojik ıslaklık parametresi) esas alan bir eşitliğe dayanır.

SINMAP duraylılık indeks değerlerinin hesaplanmasında ise kararlı olan hidrolojik koşullar (O'Loughlin, 1986; Beven ve Kirkby, 1979) ve sonsuz şev modeli (Hammond vd., 1992) ilkeleri birlikte değerlendirilmektedir.

Stabilite İndeksi, bir ölçü ortaya koyan Güvenlik Faktörüdür. İstikrarsızlık için gerekli olan istikrarsızlaştırıcı faktörlerin büyüklüğüdür. Örnek olarak yol drenajına bağlı olarak artan ıslaklık, toprak borusu etkilerinden veya yerel yüklemekten dolayı gözenek basınçlarının yerel olarak artması verilebilir.

Sonsuz şev stabilite modeli şematik olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 31). Bu modelde; Toprak kalınlığı,  $h$  [m] ve düşey toprak derinliği,  $D$  [m] olup aşağıdaki gibi ilişkilidir,  $h = D \cos \theta$ . (2)



Şekil 31. Sonsuz şev stabilite modeli (Pack vd., 2005)

Genel anlamda SINMAP matematiksel modeli; toprağın yoğunluk oranını sabit tutmakta, bunun aksine toprağın makaslama dayanım parametrelerinin; kohezyon, içsel sürtünme açısının ve iletimlilik/beslenme oranının, tanımlanan alt ve üst sınır değerler arasında aynı şekilde olan olasılık dağılım modeline göre değişimine olanak sağlamaktadır

(Paulin ve Bursik, 2009). Bu sonuçta SINMAP; ilk olarak modelin çalışıldığı araziye heyelan duyarlılık sınıfları bakımından, altı alt duyarlılık sınıfına ayırmaktadır (Tablo 16). Bu sistemin geliştirici kişileri; bu alt sınıfların hesaplanan SI değerlerinden gözetilerek özne olarak tanımlandığını; sınıf geçiş aralıklarının kullanıcıya bağlı olarak tekrardan tanımlanabileceğini ifade etmektedirler (Pack vd., 1998). Ana özellikleri yukarıda verilen SINMAP yönteminde girdi verisi olarak aşağıda Tablo 18’de verilen verilerin girilmesiyle çalışma alanına ait duyarlılık haritası elde edilmektedir.

SINMAP’ın işleyişi, sağlanacak kalibrasyon için alan bilgisine dayanmaktadır. Sonuç olarak, modelin sonucu büyük olasılıkla heyelanların doğru konumlandırılmasına bağlıdır (Meisina ve Scarabelli, 2007).

Tablo 16 .SINMAP tarafından benimsenen stabilite sınıfları

Duraylılık İndeksi	Sınıf	Duraylılık İfadesi
$SI > 1.5$	1	Duraylı
$1.5 > SI > 1.25$	2	Orta duraylı
$1.25 > SI > 1.0$	3	Kısmen duraysız
$1.0 > SI > 0.5$	4	Alt eşik değer
$0.5 > SI > 0.0$	5	Üst eşik değer
$0.0 = SI$	6	Doğal veya yapay desteklenmiş

### 3.2.5. SINMAP (Stability Index Mapping) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

SINMAP matematiksel modeli ile bir heyelan duyarlılık analizi üretmek için üç ana veri setine ihtiyaç vardır. Bunlar: 1) Grid formatındaki sayısal yükseklik modeli (SYM); 2) Rezidüel olan toprak birimine ait hidrolojik ve mekanik özellikler ve 3) nokta vektör veri formatındaki heyelan envanter verisinden oluşmaktadır. Toprak birimlerine ait hidrolojik ve mekanik parametreler olarak; kohezyon, içsel sürtünme açısı, Birim hacim ağırlık ve transmissivite (T)/beslenme (R) değerleri mutlak gerekli olan verileri oluşturmaktadır. Heyelan envanter verisi ise oluşturulacak modelin kalibrasyonu açısından son derece önemlidir.

Bu bilgiler kapsamında, projede ihtiyaç olan ve yukarıda sözü edilen mekanik ve hidrolojik parametrelerin bulunması açısından, arazide örselenmiş ve örselenmemiş örneklemelerden yararlanılarak yapılmış laboratuvar verileri temin edilerek kullanılmıştır. Laboratuvarda

gerçekleştirilen incelemeler sonucunda toprakların fiziksel ve indeks özelliklerine ilişkin veriler Ek 1 de verilmiştir. Bu veriler kapsamında boyutsuz kohezyonu sabitinin en düşük değeri; en düşük toprak kohezyonu değeri; 0.12 kgf/cm<sup>2</sup>; 109836.22 N/m<sup>2</sup>, en yüksek toprak kalınlığı; 10 m ve en yüksek doğal toprak yoğunluğu; 1800 kg/m<sup>3</sup> değerleri dikkate alınarak 0.07 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde boyutsuz kohezyon sabitinin en yüksek değeri; en yüksek toprak kohezyonu değeri; 0.27 kgf/cm<sup>2</sup>; 26478.37 N/m<sup>2</sup>, en düşük toprak kalınlığı; 4 m ve en düşük doğal toprak yoğunluğu; 1770 kg/m<sup>3</sup> değerleri dikkate alınarak 0.4 olarak bulunmuştur.

T/R oranının hesaplanması için en düşük ve en yüksek toprak kalınlıkları ve yine en düşük ve en yüksek permeabilite değerleri dikkate alınarak en düşük permeabilite 1.51×10<sup>-7</sup> cm/sn olarak, en yüksek permeabilite değeri ise 1.21×10<sup>-5</sup> cm/sn olarak izlenmektedir.

$$T = K \times b \quad (3)$$

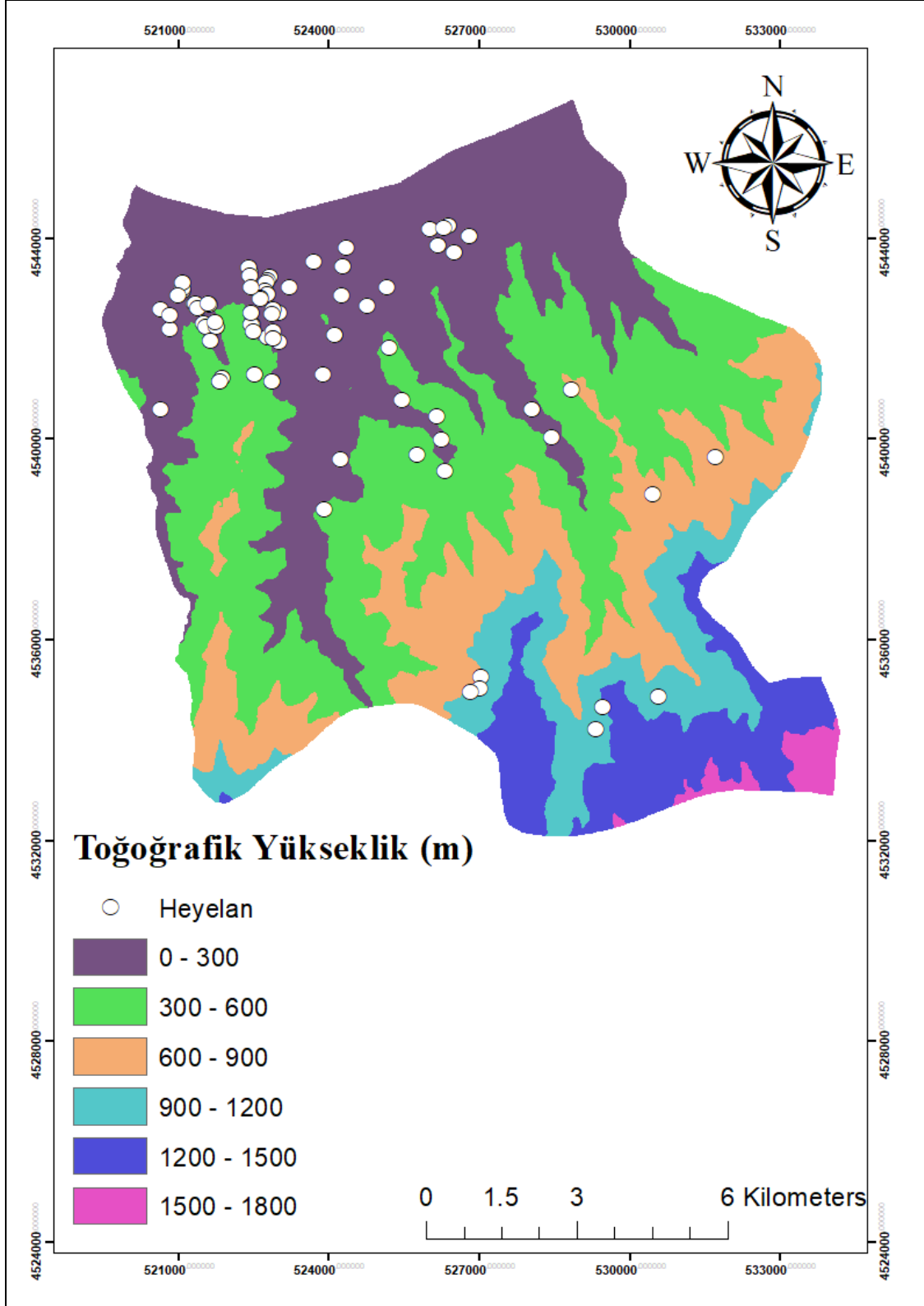
Bu eşitlikte; K, permeabilite (m/s) ve b, toprak kalınlığı (m) olarak verilmektedir

Bu amaçla en düşük T değerinin hesaplanması için; en düşük permeabilite değeri; 1.51×10<sup>-7</sup> m/sn, en düşük toprak kalınlığı değeri; 4 m dikkate alınarak ve yukarıda verilen eşitlik 3 kullanılarak bu veriler kapsamında 6.04×10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup> /sn olarak hesaplanmaktadır. Aynı şekilde en yüksek T değerinin hesaplanması için; en yüksek rezidüel toprak kalınlığı değeri; 10 m ve en yüksek permeabilite değeri; 1.21×10<sup>-5</sup> m/sn değeri dikkate alınarak bu veriler kapsamında 1.21×10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup> /sn olarak hesaplanmaktadır. “R” ifadesi beslenme anlamına gelmektedir ve doğrudan yağış olarak alınmaktadır. R değeri için yağış olan 100 mm/gün değeri esas alınmıştır. Bu veriler kapsamında; gerekli dönüşümlerin yapılmasıyla beslenme miktarı (R) 10.5×10<sup>-7</sup> m/sn olarak hesaplanmaktadır. Meisina ve Scarabelli (2007) tarafından önerilen yaklaşımla havza içerisindeki söz konusu kritik beslenimin yaklaşık %40'ına izin verilmiştir. Bu nedenle beslenme miktarı (R) 4.2×10<sup>-7</sup> m/sn olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak; T ve R değerleri dikkate alındığında en düşük T/R değeri 1,438 m ve en yüksek T/R değeri ise 288.095 m olarak hesaplanmaktadır. (Tablo 17).

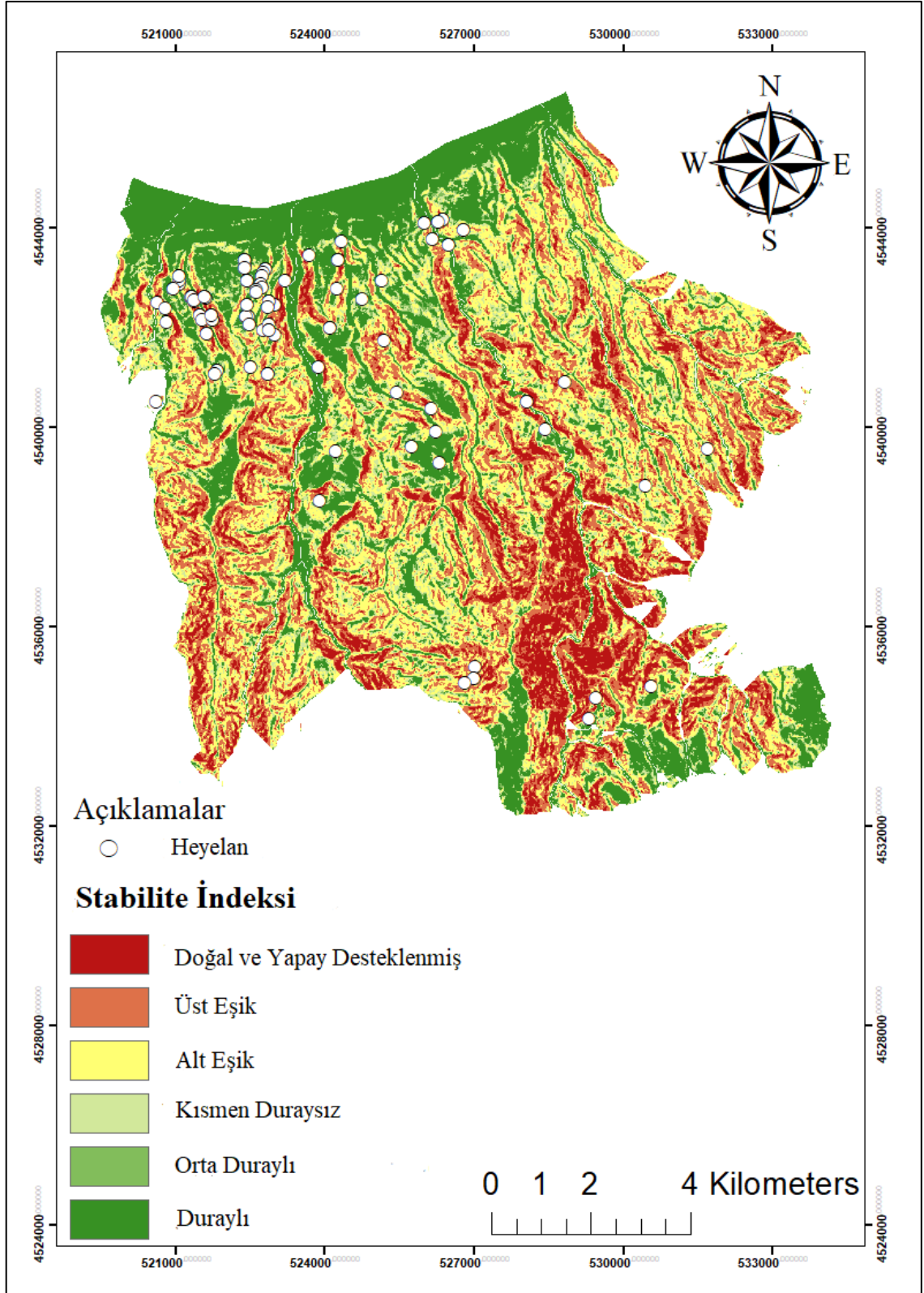
Tablo 17. SINMAP matematiksel modeli için kullanılan girdi parametreleri ve değerleri

Parametreler	Veriler
$\varphi$ 'min (°)	13
$\varphi$ 'max (°)	25
Cmin	0.07
Cmax	0.4
T/Rmin (m)	1.438
T/Rmax (m)	288.095

SINMAP matematiksel modelinin oluşturulmasında 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritadan üretilen raster veri formatındaki Sayısal Yükseklik Modeli değerlendirilmiştir (Şekil 32). Bu sonuçta model içerisinde türetilen ikincil topoğrafik veriler üretilmektedir. Bunlar; boşlukları doldurulmuş veya bir başka ifadeyle düzeltilmiş SYM, akış yönü, yamaç eğimi ve sınırlayıcı alan raster verileri olarak sıralanmaktadır. (Akgün ve Erkan, 2016). Böylece ortaya koyulan verilerin üretilmesiyle Vakfikebir ilçesi drenaj alanı içerisinde her bir grid hücresi için Stabilitate İndeks değeri hesaplanmıştır. Söz konusu SI değerlerinin dağılımı, bu değerlerden itibaren belirlenen, geçiş aralıkları Pack vd. (1998) tarafından tanımlanan duyarlılık sınıfları ve bu sınıflar içerisinde gözlenen heyelanların dağılımı Tablo 18’de verilmiştir. Stabilitate indeksi değerlerinin mekânsal olarak haritalanması sonucu elde edilen Vakfikebir ilçesi heyelan duyarlılık haritası Şekil 33’te sunulmuştur.



Şekil 32. SINMAP matematiksel modelinde kullanılan heyelanların nokta veri olarak gösterimi

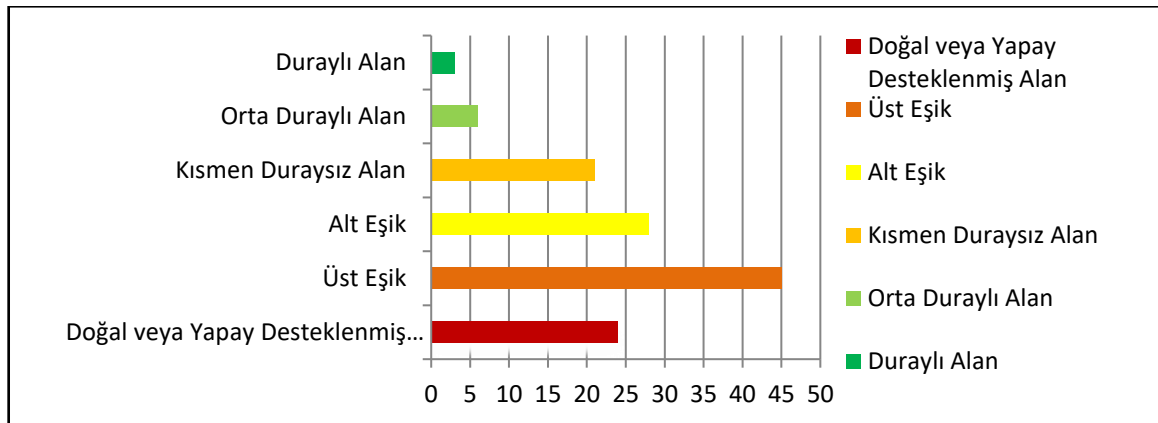


Şekil 33. SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası

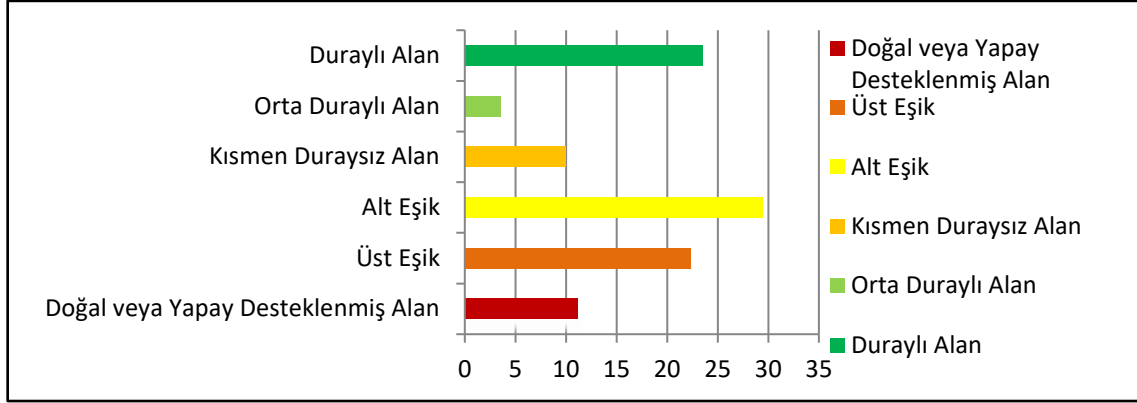
Tablo 18’da sunulan çıktılar dikkate alındığında, Vakfikebir İlçesinin sadece %23.52’lik kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %22.35’lik kısmı ise yüksek derecede duraysız olarak kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %29.41’lik kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Bu model sonucuna göre; Vakfikebir ilçesi drenaj alanının yaklaşık %11.2’lik kısmı doğal veya yapay desteklenmiş olarak gözlemlenmektedir (Şekil 35, Tablo 18). SINMAP matematiksel modeli ışığında, 127 adet heyelan noktası kullanılmıştır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmalarıyla birlikte; % 35.4’ünün (45 adet) üst eşik değer sınıfında, % 22’sinin (28 adet) alt eşik değer sınıfında ve % 18.8’inin ise (24 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 34, Tablo 18).

Tablo 18. SINMAP modelinden edilen SI değerleri ve istatistiksel sonuçları

	% Stabilite Sınıfı	Heyelan Sayıları	Yüzde (%)	
Doğal veya Yapay Desteklenmiş	11.2	24	0.188	% 18.8 i kararsız bir alanda gerçekleşti
Yüksek Derecede Kararsız Alan (Üst Eşik)	22.35	45	0.354	Olayların %35.4’ü Yüksek derecede kararsız bir alanda meydana geldi
Düşük Derecede Kararsız Alan (Alt Eşik)	29.41	28	0.220	Olayların %22 si Düşük derecede kararsız bir alanda meydana geldi
Kısmen duraysız	10	21	0.165	Olayların %16.5 i yarı kararlı alanda meydana geldi
Orta Duraylı Alan	3.52	6	0.047	Olayların %0.47’ si orta düzeyde kararlı alanda meydana geldi
Duraylı Alan	23.52	3	0.023	Olayların %2.3’ ü kararlı alanda meydana geldi
		127	1	



Şekil 34. Heyelan noktalarının SI sınıfları ile karşılaştırması



Şekil 35. SI sınıflarının toplam alan ile karşılaştırması

### 3.2.6. Entropi Endeksi (EE) Yöntemi

Entropi genel tanım olarak, modelin dengesizliğini, belirsizliğini ve dayanıksızlığını ortaya koyar. Boltzmann ilkesine göre entropi miktarı ile düzensizlik bağlantılıdır ve termodinamik süreci gösterir (Yufeng ve Fengxiang, 2009). Entropi endeksi bir ortamdaki düzensizlik boyutunun derecesini ortaya koyarken heyelan entropisi ise, farklı parametrelerin heyelanın meydana gelmesini harekete geçirdiğini ifade eder. Sonuç olarak bakılırsa, entropi değeri modelin nesnel ağırlığını belirlemek için tercih edilebilir (Yang vd. 2010) ve aşağıdaki eşitlikler kullanılır (Bednarik vd., 2010; Constantin vd., 2011):

$$P_{ij}=b/a \quad (4)$$

$$(P_{ij})=P_{ij}/\Sigma P_{ij} \quad (5)$$

$$H_j=-\Sigma(P_{ij})\log_2(P_{ij}); j = 1,2,\dots,n \quad (6)$$

$$H_{jmax}=\log_2 S_j \quad (7)$$

$$I_j=(H_{jmax}-H_j)/ H_{jmax} ; I = (0,1); j = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$W_j=I_j \times P_j \quad (9)$$

$$HDH_{EE}=\Sigma(z/m_i) \times C \times W_j \quad (10)$$

Bu denklemlerde,

a; ilk sınıflandırmadan sonraki sınıfın içerdiği alan



$b_j$ ; temsil edilen sınıfın heyelanlı alanı

$(P_{ij})$ ; olasılık yoğunluğunu

$H_j$  ve  $H_{jmax}$ ; entropi değerlerini

$S_j$ ; sınıf sayısını,  $I_j$ ; ilişkili katmanın katsayısını

$W_j$ ; ilişkili katmanın tümünü temsil eden ağırlık değerini

$P_j$ ; ( $j = 1,2,\dots,n$ ) için heyelan olasılığını,  $i$ ; ilişkili katmanın sınıflarını

$z$ ; maksimum sınıf sayısını bulduran katmanın sınıf sayısını

$m_i$ ; ilişkili katmanın sınıf sayısını

$C$ ; ikincil sınıflandırma oluşturulduktan itibaren sınıfın değerini

$HDH_{EE}$ ; nihai haritadaki heyelan duyarlılığını temsil eder.

### **3.2.6.1. Entropi Endeksi Yönteminde Kullanılan Parametreler**

Entropi endeksi yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında toplam on iki farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerden ArcGIS yazılımı ile; bakı, yamaç eğriselliği ve yamaç eğimi haritaları oluşturulmuştur. Geriye kalan parametreler SAGA CBS yazılımı aracılığıyla oluşturulmuştur. Jeoloji haritası için ise Trabzon MTA Genel Müdürlüğü'nden alınmış olan litoloji verileri kullanılmıştır. Alınan bu litoloji verisinde, litolojik formasyonlara birbirlerinden farklı 0'dan başlayarak artan değerler atanarak litoloji parametresi elde edilmiştir. Tüm üretilen parametreler ve bunlardan oluşturulan veriler Tablo 19' de gösterilmiştir.

Tablo 19. Entropi endeksi yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının yararlanılan parametreler ve oluşturulan veriler

Parametre	Sınıf	FR	EE			
			Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
SYM Yükseklik (m)	0 - 300	0.047	0.546	0.143	0.426	0.112
	300 - 600	0.028	0.325	0.158		
	600 - 900	0.00024	0.0027	0.007		
	900 - 1200	0.0090	0.104	0.102		
	1200 - 1500	0.0017	0.020	0.034		
	1500 - 1800	0	0	0		
	<b>Toplam</b>		0.086	1		
<b>Parametre</b>	<b>Sınıf</b>	<b>FR</b>	<b>Pij</b>	<b>Ej</b>	<b>1-Ej</b>	<b>Wj (Yüzde)</b>
Yamaç Yönelimi (Bakı)	DÜZ	0.016	0.072	0.082	0.026	0.0069
	K (0-22.5)	0.014	0.061	0.074		
	KD (22.5-67.5)	0.013	0.057	0.071		
	E (67.5-112.5)	0.030	0.130	0.115		
	GD (112.5-157.5)	0.033	0.145	0.121		
	G (157.5-202.5)	0.022	0.098	0.099		
	GB(202.5-247.5)	0.033	0.142	0.120		
	B (247.5-292.5)	0.030	0.133	0.116		
	KB (292.5-337.5)	0.036	0.157	0.126		
	<b>Toplam</b>		0.232	1		
<b>Parametre</b>	<b>Sınıf</b>	<b>FR</b>	<b>Pij</b>	<b>Ej</b>	<b>1-Ej</b>	<b>Wj (Yüzde)</b>
Eğim (Derece)	0 - 10	0.036	0.223	0.145	0.125	0.033
	10 - 20	0.044	0.267	0.153		
	20 - 30	0.018	0.112	0.106		
	30 - 40	0.012	0.076	0.085		
	40 - 50	0.018	0.110	0.105		
	50 - 60	0.034	0.209	0.142		
	60 - 70	0	0	0		
<b>Toplam</b>		0.165	1	0.874		

Tablo 19' un devamı

Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Yamaç Eğriselliği (°)</b>	-20 - -10	0	0	0	0.500	0.131
	-10 - 0	0.025	0.502	0.150		
	0 - 10	0.025	0.497	0.150		
	10 - 20	0	0	0		
<b>Toplam</b>		0.050	1	0.499		
Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Yakınsama İndeksi (°)</b>	-100 - -75	0.08	0.305	0.157	0.072	0.019
	-75 - - 50	0.039	0.150	0.123		
	-50 - -25	0.025	0.098	0.098		
	-25 - 0	0.024	0.093	0.096		
	0 - 25	0.026	0.101	0.100		
	25 - 50	0.015	0.057	0.071		
	50 - 75	0.014	0.056	0.070		
	75 - 100	0.035	0.136	0.117		
	<b>Toplam</b>		0.261	1		
Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Topoğrafik Nemlilik İndeksi</b>	0 - 5	0.017	0.119	0.110	0.053	0.013
	5 - 10	0.030	0.205	0.141		
	10 - 15	0.026	0.178	0.133		
	15 - 20	0.019	0.134	0.117		
	20 - 25	0.053	0.362	0.159		
<b>Toplam</b>		0.147	1	0.946		

Tablo 19' un devamı

Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>LS Faktörü (m)</b>	0 - 5	0.040	0.445	0.156	0.390	0.102
	5 - 10	0.023	0.253	0.151		
	10 - 15	0.014	0.155	0.125		
	15 - 20	0.011	0.124	0.112		
	20 - 25	0.0019	0.020	0.035		
	25 - 30	0	0	0		
	30 - 35	0	0	0		
	35 - 40	0	0	0		
	40 - 45	0	0	0		
	<b>Toplam</b>		0.090	1		
Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Drenaj Ağı Temel Seviyesi (m)</b>	0 - 300	0.050	0.687	0.111	0.522	0.137
	300 - 600	0.010	0.139	0.119		
	600 - 900	0.0003	0.0041	0.009		
	900 - 1200	0.0123	0.168	0.130		
	1200 - 1500	0	0	0		
	1500 - 1800	0	0	0		
	<b>Toplam</b>		0.073	1		
Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Drenaj Ağlarına Uzaklık (m)</b>	0 - 100	0.033	0.639	0.124	0.472	0.124
	100 - 200	0.012	0.249	0.150		
	200 - 300	0.0039	0.076	0.085		
	300 - 400	0.0017	0.034	0.050		
	400 - 500	0	0	0		
	500 - 600	0	0	0		
	<b>Toplam</b>		0.052	1		
Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Vadi Derinliği (m)</b>	0 - 50	0.020	0.149	0.123	0.144	0.037
	50 - 100	0.038	0.286	0.155		
	100 - 150	0.032	0.237	0.148		
	150 - 200	0.014	0.108	0.104		
	200 - 250	0.004	0.036	0.052		
	250 - 300	0.014338	0.105378	0.10298		
	300 -350	0.010465	0.07691	0.08568		
	350 - 400	0	0	0		
	<b>Toplam</b>		0.136	1		

Tablo 19' un devamı

Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Bağlı Eğim Konumu (°)</b>	0 - 0.15	0.0366	0.293	0.156	0.032804	0.0086
	0.15 - 0.37	0.0307	0.245	0.149		
	0.37 - 0.61	0.0241	0.193	0.137		
	0.61 - 0.83	0.019	0.155	0.125		
	0.83 - 1	0.013	0.112	0.106		
	<b>Toplam</b>		0.124	1		
Parametre	Sınıf	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
<b>Litoloji</b>	Alüvyon	0	0	0	0.048	0.262
	Volkanitler ve Sedimanter Kayaçlar	4.128	1	0.5		
	Kırıntılılar ve Karbonatlar	0	0	0		
	<b>Toplam</b>		4.128	1		

### 3.2.7. Entropi Endeksi Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Entropi endeksi yönteminde heyelan duyarlılık haritası oluşturulması için tüm raster ve vektör şekilli haritalar WGS 1984 UTM 37 N sistemine tanımlanmıştır.

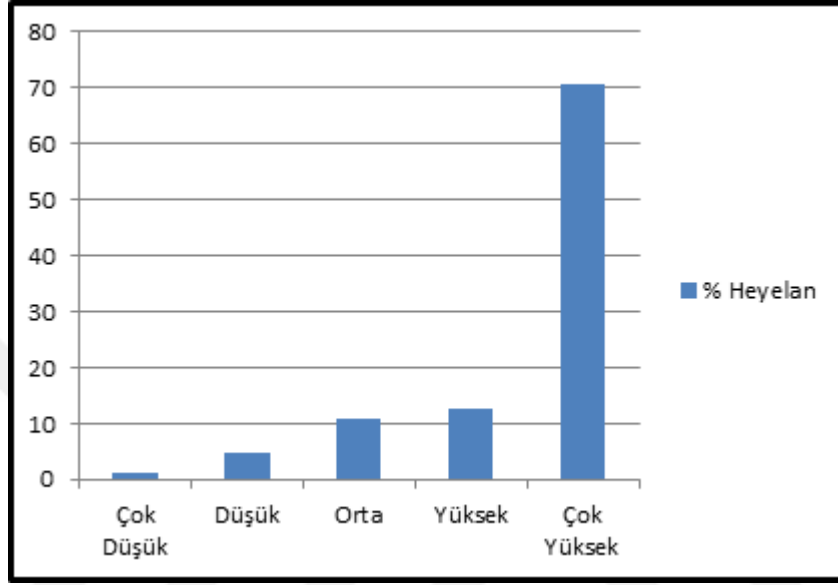
Çalışma alanında kullanılan parametre haritaları CBS ortamında hazırlandıktan sonra, alanda daha önce meydana gelmiş olan heyelanlar ile bu parametreler arasındaki konumsal ilişkiler belirlenmiştir. ArcGIS yazılımında tüm parametrenin tüm alt sınıfları için heyelan gözlenen ve gözlenmeyen piksel verileri elde edilmiştir. Son olarak ise, ağırlık oranları ilişkili parametrelere endekslenerek inceleme alanının heyelan duyarlılık sınıfları belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık verisi Eşitlik 11 ile hesaplanmıştır (Şekil 37).

$$\text{HDH}_{EE} = \text{Yükseklik} \times 0.112 + \text{Eğim} \times 0.033 + \text{Bakı} \times 0.006 + \text{Eğrisellik} \times 0.131 + \text{Litoloji} \times 0.262 + \text{TWI} \times 0.013 + \text{Yakınsama İndeksi} \times 0.019 + \text{LS faktörü} \times 0.102 + \text{Drenaj ağlarına uzaklık} \times 0.124 + \text{Drenaj ağı temel seviyesi} \times 0.137 + \text{Bağıl eğim konumu} \times 0.008 + \text{Vadi derinliği} \times 0.037 \quad (11)$$

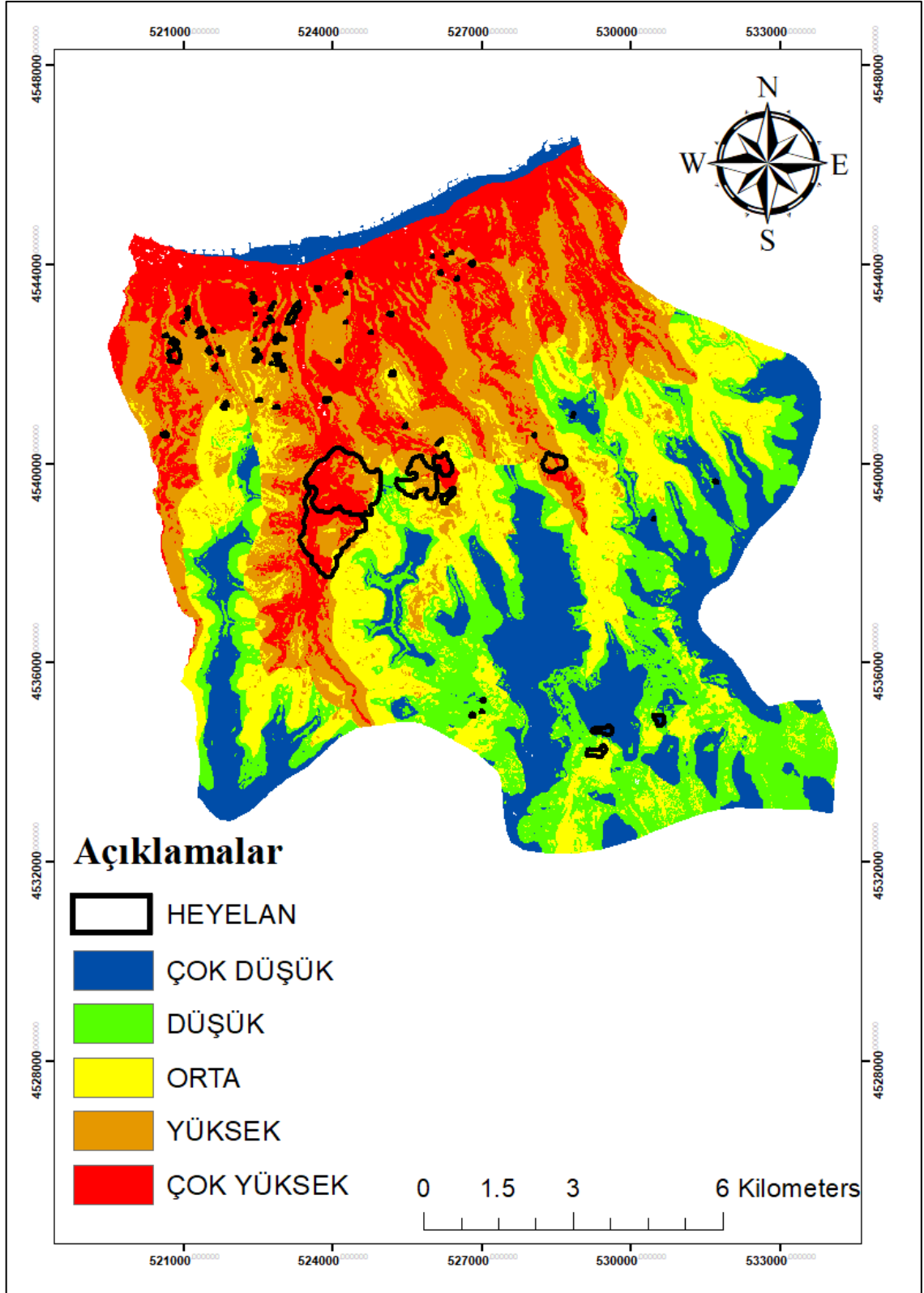
İnceleme alanında yapılan çalışmalar sonucunda 1:25.000 ölçekli (WGS 1984 UTM 37 N) Trabzon İli, Vakfıkebir İlçesi'nin üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre (Şekil 38) alansal oran verileri; çok düşük % 1, düşük % 4, orta % 10, yüksek % 12, çok yüksek % 70 dir (Tablo 20 ve Şekil 36).

Tablo 20. Heyelan duyarlılık sınıflarının EE yöntemine göre alansal oran verileri

Derece	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Toplam
% Heyelan	1.12	4.65	10.76	12.81	70.63	100



Şekil 36. Heyelan duyarlılık sınıflarının EE yöntemine göre yüzde dağılımı

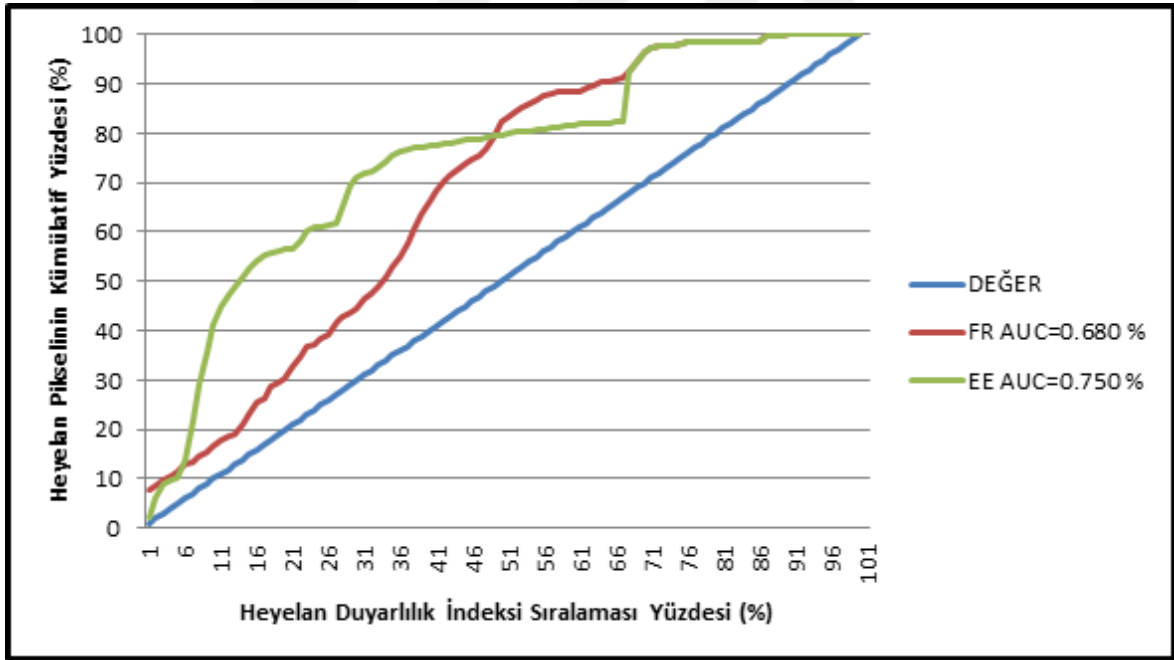


Şekil 37. Entropi endeksi yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası



### 3.2.8. Heyelan Duyarlılık Modellerinin Doğrulanması

Frekans oranı ve entropi endeksi modelleri kullanılarak elde edilen heyelan duyarlılık haritaları, ROC eğrileri altında kalan alanlar karşılaştırılarak doğrulanma yapılmıştır. Bu aşamada tüm piksellerin indeks değerlerinin çoktan aza doğru giden sırada düzenlenmesiyle her bir modelin sıralaması oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık indeksi x eksenini ve % 1'lik aralık ile verilen heyelan oluşumunun kümülatif yüzdesi ise y eksenini ifade etmektedir (Şekil 39). Bu doğrulanmada genel olarak AUC değerinin 1 olması, %100 başarıyı, 0.5 (%50) olması ise, sonuçların performansının yeterli olmadığını ortaya koymaktadır (Fawcett,2006). Analiz sonucuna bakılacak olursa; FR yöntemi ile oluşturulan AUC değeri 0,68, EE yöntemi ile oluşturulan AUC değeri ise 0,75 olarak elde edilmiştir. İki yöntem performans olarak karşılaştırıldığında EE yönteminin FR'ye göre doğruluk derecesi daha fazladır (Şekil 38).



Şekil 38. FR ve EE yöntemlerinin kestirim performans grafiği (AUC)

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmayla birlikte ulaşılan sonuçlar ve elde edilen çıktılar aşağıda sunulmuştur.

1. İnceleme alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan alınan heyelan envanter verisi üzerine Google Earth aracının çok zamanlı görüntüleme ara yüzü yardımıyla görsel yorumlama yaklaşımı kullanılarak çizilen yeni heyelan verileri ile birlikte toplam 127 adet heyelan lokasyonu belirlenmiştir.

2. Vakfıkebir ilçesi için oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarında yamaç eğimi, bakı, yamaç eğriselliği, yükseklik, yakınsama indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, eğim uzunluğu ve diklik faktörü, drenaj ağı temel seviyesi, drenaj ağlarına uzaklık, vadi derinliği, bağlı eğim konumu faktörlerinin etkili olduğu görülmüştür.

3. Bu parametreler incelendiğinde; heyelan lokasyonlarının yükseklik dağılımına göz atıldığında; en fazla heyelanın 0-300 m'ler arasındaki yüksekliklerde oluştuğu, en az heyelanın ise 1500 m üzeri yüksekliklerde geliştiği anlaşılmıştır. Heyelan lokasyonlarının yamaç eğimi ile ilişkisi incelendiğinde; heyelanların 10-20 derece eğim aralığında yoğunlaştığı görülmüştür. Yamaç yönelimi cinsinden heyelanlı piksel sayılarının dağılımına bakıldığında tüm yamaçlarda heyelanların bulunduğu tespit edilmiş olup bu heyelanların doğu ve güneydoğu ile güneybatı ve kuzeybatı yönlerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Yamaç eğriselliği haritası incelendiğinde heyelanların -10-0 (°) değer aralıklı dışbükey, 0-10 (°) değer aralıklı içbükey yamaçlarda yoğunlaştığı görülmüştür. Heyelanların gelişim gösterdiği litolojik birimler değerlendirildiğinde volkanit ve sedimanter kaya birimlerinin bulunduğu alanlarda olay sıklığının arttığı gözlemlenmiştir. Söz konusu birimlerin ayrışmasından meydana gelen rezidüel zeminlerde alandaki heyelanların oluştuğu görülmektedir. Bölgenin meteorolojik ve topoğrafik özellikleri heyelanların oluşumunda önemli role sahiptir. Bölgede bulunan eğimli yamaçlarda akma, düşme, sığ kayma gibi zemin hareketleri yoğun olarak görülmektedir. Çalışma alanında bulunan heyelanlar ile drenaj ağları arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak heyelanların yoğunlukları belirlenmiştir. Heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu alt sınıfı

0 - 100 m aralığı olduğu saptanmıştır ve bununla birlikte yapılan çalışmalarda drenaj ağlarına olan mesafe arttıkça heyelanların yoğunluklarının azaldığı tespit edilmiştir. Topoğrafik nemlilik indeksi verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 20 ile 25 TWI değer aralığında her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Ancak en düşük yoğunluk ise 0 ile 5 TWI değer aralığında gözlemlenmiştir. Bağlı eğim konumu verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisine göre, 0 ile 0.15 (°) arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. Ancak en düşük yoğunluk ise 0.83 ile 1 (°) değer aralığında gözlemlenmiştir. Vadi derinliği verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 50 ile 100 m arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. LS Faktörü verisine göre 0 ile 5 m arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. Yakınsama indeksi verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, -100 ile -75 (°) arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. Drenaj ağı temel seviye verisi ile çalışma alanında oluşan heyelanların ilişkisi incelendiğinde, 0 ile 300 m arasındaki değerlerde heyelan yoğunluğu artmıştır. Diğer taraftan 1200 m den sonra heyelan yoğunluğunun görülmediği gözlemlenmiştir. Tüm analizler sonucunda kullanılan parametrelerin elde edilen Heyelan Duyarlılık Haritasının oluşturulmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

4. Heyelan duyarlılık analizi için Frekans Oranı yönteminden yararlanılmıştır. Değerlendirilen 127 tane vektör tabanlı poligon biçimindeki heyelanların CBS ortamında toplanması ile heyelanlı piksel sayıları hesaplanmıştır. Daha sonra bu şekilde frekans değerleri hesaplanmıştır ve Vakfikebir ilçesi heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Duyarlılık sınıflarının oransal dağılımları ise; çok düşük %1, düşük %3, orta %7, yüksek %8, çok yüksek %79 şeklindedir.

5. Heyelan duyarlılık analizi için bir başka yöntem olarak SINMAP matematiksel yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamında, projede ihtiyaç olan mekanik ve hidrolojik parametrelerin bulunması açısından, arazide örselenmiş ve örselenmemiş örneklemelerden yararlanılarak yapılmış laboratuvar verileri temin edilerek kullanılmıştır. Laboratuvar verilerinden yararlanılarak kohezyon, içsel sürtünme açısı, birim hacim ağırlık ve transmissivite/Beslenme verileri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ile  $\phi'_{min,max}(\text{°})=13, 25$   $C_{min,max}=0.07, 0.4$ ,  $T/R_{min,max}(\text{m})=1.438, 288,095$  olarak hesaplanmıştır. SINMAP matematiksel modelinin oluşturulmasında 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritadan üretilen raster veri formatındaki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) değerlendirilmiştir. Bu sonuçta model içerisinde türetilen ikincil topoğrafik veriler üretilmektedir. Böylece ortaya

koyulan verilerin üretilmesiyle Vakfıkebir ilçesi drenaj alanı içerisinde her bir grid hücresi için Stabilité İndeksi değeri hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında belirli değer aralıkları alınarak SINMAP uygulamasında heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Yapılan stabilite ile alan karşılaştırılması sonucu Vakfıkebir İlçesinin sadece %23.52'lik kısmı heyelan açısından duraylı olmuştur. Alanın %22.35'lik kısmı ise yüksek derecede duraysız olarak kabul edilen “Üst eşik değeri” sınıfında, %29.41'lik kısmı ise “Alt eşik değeri” sınıfında tanımlanmaktadır. Bu model sonucuna göre; Vakfıkebir ilçesi drenaj alanının yaklaşık %11.2'lik kısmı doğal veya yapay desteklenmiş olarak gözlemlenmektedir. Heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılması sonucunda ise; % 35.4'ünün (45 adet) üst eşik değeri sınıfında, % 22'sinin (28 adet) alt eşik değeri sınıfında ve % 18.8'inin ise (24 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde bulunduğu gözlemlenmiştir.

6. Heyelan duyarlılık analizi için bir diğer yöntem olarak entropi endeksi yöntemi kullanılmıştır. Entropi endeksi yöntemine göre Vakfıkebir İlçesi'nin Vakfıkebir İlçesi'nin üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre alansal oran verileri; çok düşük % 1, düşük % 4, orta % 10, yüksek % 12, çok yüksek % 70 dir.

7. Heyelan Duyarlılık Analizi Modellerinin Doğrulanması için AUC Yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucuna bakacak olursak; FR yöntemi ile oluşturulan AUC değeri 0,68, EE yöntemi ile oluşturulan AUC değeri ise 0,75 olarak elde edilmiştir. İki yöntem performans olarak karşılaştırıldığında EE yönteminin FR'ye göre doğruluk derecesi daha fazladır.

## 5. KAYNAKLAR

- Akgün, A. and Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S. and 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.
- Aleotti, P. and Chowdhury, R., 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. Bull. Engineering Geology Env., 58, 21-44
- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M. and Marschalko, M., 2010. Landslide susceptibility assessment of the Kral'ovany–Liptovský Mikuláš railway case study. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 35, 3-5, 162-171.
- Bell, T. H., Reinhardt, J. and Hammond, R. L., 1992. Multiple foliation development during thrusting and synchronous formation of vertical shear zones. Journal of structural geology, 14, 7, 791-805.
- Beven, K. J., and Kirkby, M. J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrological Sciences Journal, 24, 1, 43-69.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth surface processes and landforms, 16, 5, 427-445.
- Ceryan, N., 2005. Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC Yönteminin Bekçiler-Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 163.
- Chung, C. J., F. and Fabbri, A. G., 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. Photogrammetric engineering and remote sensing, 65, 12, 1389-1399.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 241.

- Dai, F., C. and Lee, C., F., 2001. Terrain-Based Mapping of Landslide Susceptibility Using a Geographical Information System: A Case Study, Can. Geotech. J., 38, 911-923.
- Dai, F., C., Lee., C., F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview. Engineering Geology, 64, 65-87.
- Ercanoğlu, M., 2003. Production of landslide susceptibility maps using fuzzy log and statistical methods: West Black Sea region (South of Kumlace–North of Yenice), Geological Engineering Dept. Hacettepe University. Ph. D. thesis, 203.
- 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, 1, 55–68.
- Ergünay, O., 1999. A Perspective of Disaster in Turkey: Issues and Prospects, Urban Settlements and Natural Disasters. Proceedings of UIA Region II Workshop. Chamber of Architects of Turkey.
- Ersoy, H., Bulut, F., Ersoy, A. F. and Berkün, M., 2008. Municipal solid waste management and practices in coastal cities of the Eastern Black Sea: a case study of Trabzon City, NE Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, 3, 321-333.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis. Pattern recognition letters, 27, 8, 861-874.
- Franklin, J., A., 1976. Rock quality in relation to the quarrying and performance of rock construction materials: 7F, 18R. PROC. 2ND INT. CONGRESS, IAEG, SAO PAULO, PAPER IV-PC-2, VI, 1974, 11P. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts 13, 2, 19.
- Fidan, S. and Gorum, T., 2020. Temporal trends and controlling factors of fatal landslides in Turkey. In EGU General Assembly Conference Abstracts 890.
- Gökçeoglu, C. and Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Engineering Geology, 44, 1-4, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere ilişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 201-219.
- Gupta, R., P. and Joshi, B., C., 1990. Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach- A Case Study From the Ramganga Catchment, Himalayas, Engineering Geology, 28, 119-131.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology, 31, 1-4, 181-216.

- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu, M.T.A. Genel Müd., Ankara.
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis in Slope Stability, John Wiley and Sons, New York, 23-35.
- Hartlen, J. and Viberg, L., G., 1988. General Report: Evaluation of Landslide Hazard, Proceeding 5th International Symposium on Landslides, lausanne, Switzerland, 2, 1037-1057, 720-730.
- Kienholz, H., 1978. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Gürindelwald, Switzerland, scale 1/10000, Arc. and Alp. Res., 10, 169-184.
- Koukis, G. and Ziourkas, C., 1991. Slope instability phenomena in Greece: a statistical analysis. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 43, 1, 47-60.
- Kul, B. ve Ersoy, H., 2011. Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin İncelenmesi, 64. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 83-84, Ankara.
- 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 Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides* 4, 33–41.
- 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 Min, K., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, Env. Geol., 40, 1095-1113.
- Lee, S. and Choi, J., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. *International Journal of Geographical Information Science*, 18, 8, 789-814.
- Leroi, E., 1996. Landslide Hazard-Risk Maps at Different Scales: Objectives, Tools and Developments. Proc. VII. Int. Symp. Landslides, Trondheim, 1, 35-52.
- Meisina, C. and Scarabelli, S., 2007. A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils. *Geomorphology*, 87, 3, 207-223.
- Nastasescu, Constantin, and Freddy Van Oystaeyen. Graded ring theory. Elsevier, 2011.
- Okalp, K. and Akgün, H., 2016. National level landslide susceptibility assessment of Turkey utilizing public domain dataset. *Environmental Earth Sciences*, 75, 9, 847.

- O'loughlin, E., M., 1986. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research*, 22, 5, 794-804.
- Önalp, A., Tarhan, F. ve Sevinç, N., 1987. Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, Dengeli Yamaç Tasarımı. TUBİTAK, MAG: 585, Ankara.
- Önalp, A., 1980, Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, Araştırma Raporu, TUBİTAK, M-441.
- Pack, D. W., Hoffman, A., S., Pun, S. and Stayton, P. S., 2005. Design and development of polymers for gene delivery. *Nature reviews Drug discovery*, 4, 7, 581-593.
- Pack, R., T., Tarboton, D. G., and Goodwin, C. N., 1998. The SINMAP approach to terrain stability mapping.
- Paulin, G., L. and Bursik, M., 2009. Logisnet: a tool for multimethod, multiple soil layers slope stability analysis. *Computers and geosciences*, 35, 5, 1007-1016.
- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Altlık Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A., D. ve Marturia, J., 2003. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain), *Natural Hazards*, 30, 281-295.
- Shannon, C., E., 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27, 3, 379-423.
- Soeters, R. and Van Westen, C., J., 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: investigation and mitigation*, 247, 129-177.
- Şengör A., M., C., Özeren S., Zor E. ve Genç T., 2003. Doğu Anadolu Litosfer Mekanığına Yeni Bir Yaklaşım, Kuvaterner Çalıştayı 4, İ.T.Ü Avrasya Yerbilimleri Çalıştayı. 101- 110.
- Tarboton, D., G., 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water resources research*, 33, 2, 309-319.
- Tarhan, F., 1991. Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 38-64.
- URL-1, [www.google.com/intl/tr/earth/](http://www.google.com/intl/tr/earth/) 29 Ocak 2021.
- URL-2, [www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TRABZON](http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TRABZON) 9 Aralık 2020.
- URL-3, [www.land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018](http://www.land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018) 1 Ocak 2018.
- URL-4, [www.alaska.edu/alaska/](http://www.alaska.edu/alaska/) 1 Ocak 2020.



- Van Westen, C., J. and Alzate Bonilla, J. B., 1990. Mountain hazard analysis using a PC-based GIS. In International congress international association of engineering geology. 6, 265-271.
- Varnes, D., J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yang, X., S. and Deb, S., 2010. Engineering optimisation by cuckoo search. *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 1, 4, 330-343.
- Yılmaz, B., S., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları, MTA. Raporu, Ankara.
- 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). *Computers and Geosciences*, 35, 6, 1125-1138.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul.
- Yufeng, S. and Fengxiang, J., 2009. Landslide stability analysis based on generalized information entropy. In 2009 international conference on environmental science and information application technology 2, 83-85.

## **6. EKLER**

### **EK 1- LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI**



PROJE ADI		CUMHURİYET MAH. ADA NO:189, PARSEL NO:20 VAKFIKEBİR / TRABZON									
Lab Geliş Tarihi / D. Başlama Tarihi		06.12.2017 / 06.12.2017					Rapor Tarihi 21.12.2017				
Rapor No		0818-2017									
NUMUNENİN	Kuyu - Çukuru No		SK-1	SK-2	SK-2						
	Numune No		ORSELENMİŞ	ORSELENMİŞ	ORSELENMİŞ						
	Derinlik		6.00	3.00	6.00						
	Alındığı Yer	X	-	-	-						
		Y	-	-	-						
KM		-	-	-							
Cinsi		-	-	-							
DENE BOYUTU / DAĞILIMI	Blok %		0.0	0.0	0.0						
	Çakıl %		0.0	0.0	0.0						
	kum %		4.2	3.6	7.1						
	Kil+Sil %		95.8	96.4	92.9						
	Hidrometre %	Analiz	%KİL	-	-	-					
		%SİL	-	-	-						
Kıvam Limitleri	Likit Limit %		44.6	43.2	41.6						
	Plastik Limit %		26.2	26.1	25.0						
	Plastisite İndeksi %		18.3	17.1	16.6						
Zemin Sınıfı	AASHTO		A-7-6 (20)- Kili zemin	A-7-6 (19)- Kili zemin	A-7-6 (17)- Kili zemin						
	USCS		CL - Düşük plastisiteli kil	CL - Düşük plastisiteli kil	CL - Düşük plastisiteli kil						
Doğal Su İçerği (W <sub>n</sub> ) %			15.8	21.9	24.2						
Özgül Ağırlık G <sub>s</sub>			2.64	2.62	2.62						
SERBEST BASINÇ DENEYİ ( q <sub>u</sub> / kg / cm <sup>2</sup> )			-	-	-						
KESME KUTUSU DENEYİ *	Tipi		-	-	-						
	c kPa		11.7	26.4	19.6						
	φ°		13	25	21						
KONSOLIDASYON	m <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> / kg)		-	-	-						
	Serbest şişme %		-	-	-						
	Şişme Basıncı kg/cm <sup>2</sup>		-	-	-						
Boşluk Oranı e <sub>s</sub>			-	-	-						
Doğal Birim Hacim Ağırlık γ <sub>v</sub>	t / m <sup>3</sup>		1.77	1.80	1.76						
Porozite n %			-	-	-						
Kuru Birim Hacim Ağırlık t / m <sup>3</sup>			1.53	1.48	1.43						
PROCTOR	Standart	X	Mak. Kuru Ağırlık ( g/cm <sup>3</sup> )	-	-	-					
	Modifiye		Mak. Kuru Ağırlık ( g/cm <sup>3</sup> )	-	-	-					
	Vibrasyonlu		Mak. Kuru Ağırlık ( g/cm <sup>3</sup> )	-	-	-					
PROCTOR	Standart	X	Optimum su içerği %	-	-	-					
	Modifiye		Optimum su içerği %	-	-	-					
	Vibrasyonlu		Optimum su içerği %	-	-	-					
CBR	Su İçerği	SUYA YATIRILMADAN ÖNCE	-	-	-						
		SUYA YATIRILDIKTAN SONRA	-	-	-						
	Su İçerği	SUYA YATIRILMADAN ÖNCE	-	-	-						
		SUYA YATIRILDIKTAN SONRA	-	-	-						
	Yağ	% CBR2,50	-	-	-						
		% CBR5,00	-	-	-						
Kuru	% CBR2,50	-	-	-							
	% CBR5,00	-	-	-							
Şişme (Sürüş) = - 4,7 - - - - - kg / %											

NOT: -Numuneler laboratuvarımız tarafında alınmıştır. Numunenin temsili cisme özelliklerinden laboratuvarımız tarafında yapılan deneyler sadece deneye tabii tutulan numunelerle ilgili. Numunenin alındığı yere ait diğer muhtemel deneyler laboratuvarımız tarafından yapılmamıştır. \* İşareti deneyler akreditasyon kapsamında değildir. Laboratuvarımız Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15/09/2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Şahittir.

Deney Sorumlusu

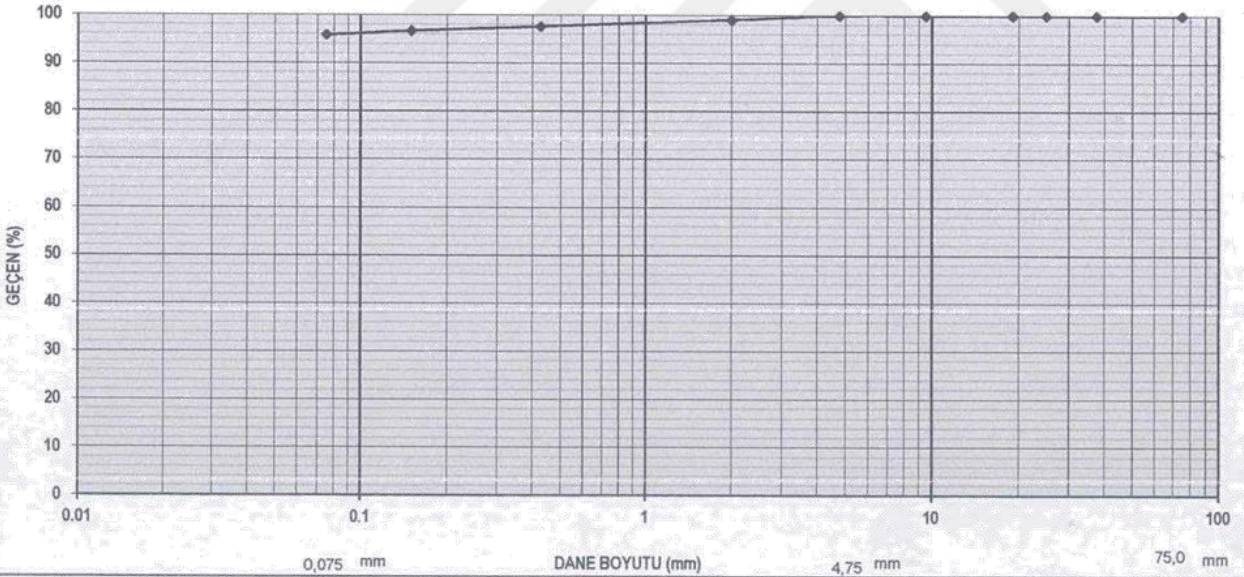


Yaşar ÖZTÜRK

 Denetçi Mühendis  
 Belge No:

Deneyi Talep Eden					
Proje Adı	CUMHURİYET MAH., ADA NO:169, PARSEL NO:20 VAKFIKEBİR / TRABZON				
Çukur / Sondaj No	SK-1	Lab.geliş.Tar.	06.12.2017	Deney Başlama Tarihi	06.12.2017
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Rapor Tarihi	21.12.2017	Numune Bilgileri	
Derinlik(m)	6.00	DENEY STAND. TS 1900-1 / Mart 2006 Madde 5.1.6.1 Deney 6 (A)	Toplam Ağırlık (g)		1134.00
Rapor / Lab No	0818-2017 / 2017-0818		Eleme Yöntemi		Islak
BRN					

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Ağırlık (g)	Toplam Kalan Ağırlık (g)	Kalan (%)	Geçen %
75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
37.500	0.0	0.0	0.0	100.0
25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
2.000	10.2	10.2	0.9	99.1
0.425	16.3	26.5	2.3	97.7
0.150	10.9	37.4	3.3	96.7
0.075	10.0	47.4	4.2	95.8



Kil - Silt (%)	Kum (%)		Çakıl (%)	Blok(%)
95.8	4.2		0.0	0.0
LL:	44.6	PL:	26.2	PI
				18.3

Numuneler laboratuvarımız tarafından alınmıştır. Numunelerin temsili olma özelliğinden laboratuvar sorumlu değildir. Deney sonuçları sadece deneye tabi tutulan numunelerle ilgilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deney raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz. Bu raporun mülkiyeti olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15/08/2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

Deney Yapan  
Kerem KEŞKİN



Onaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis



ANADOLU MERKEZ LABORATUVAR  
T.C. ADET LİMİTED ŞİRKETİ

ANADOLU MERKEZ LABORATUVARI

DOKÜMANIN ADI

LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU  
Atterberg Limits Tests



T.C.  
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK  
BAKANLIĞI

Döküman No	Z-FR-009	Yayın Tarihi	16.11.2015	Rev. Tar.	---	Revizyon No	--	Sayfa No	1/1
Deneysel Talep Eden	-								
Proje Adı	CUMHURİYET MAH., ADA NO:169, PARSEL NO:20 VAKFIKEBİR / TRABZON								
Çukur / Kuyu No	SK-1	Rapor No	0818-2017						
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Laboratuvar No	2017-0818						
Derinlik (m)	6.00	BRN							
Deneysel Stand.	TS 1900-1 / Mart 2006 ,Madde 5.1.2.2 Deneysel 2(B), Madde 5.1.2.3 Deneysel 2(C), Madde 5.1.3 Deneysel 3					Numune Giriş Tarihi	06.12.2017		
		Deneysel Başlama Tarihi	08.12.2017			Rapor Tarihi	21.12.2017		

Deneysel No	LİKİT LİMİT ( Liquid limit)					PLASTİK LİMİT				TEK NOKTA	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2
Darbe Adedi						-	-	-	-	24	23
Kap No.						6	7			4	5
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)						44.3	43.2			48.2	49.1
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)						41.2	40.3			42.7	43.0
Boş Kap Ağırlığı (g)						29.6	29.1			30.5	29.3
Kuru Numune Ağırlığı (g)						11.6	11.2			12.2	13.7
Su Ağırlığı (g)						3.1	2.9			5.5	6.1
SU İÇERİĞİ, w, (%)						26.6	25.8			45.2	44.6

DENEY SONUÇLARI/Results

LİKİT LİMİT	44.6
PLASTİK LİMİT	26.2
PLASTİSİDE İNDİSİ	18.3

Not: \*Numuneler laboratuvarımız tarafından alınmıştır. Numunelerin temsili olma özelliğinden laboratuvar sorumlu değildir. Deneysel sonuçları sadece deneysel tabii tutulan numunelerle ilişkilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deneysel raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kimsen veya tamamen çoğaltılamaz. Bu raporun mühürlü olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15/08/2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

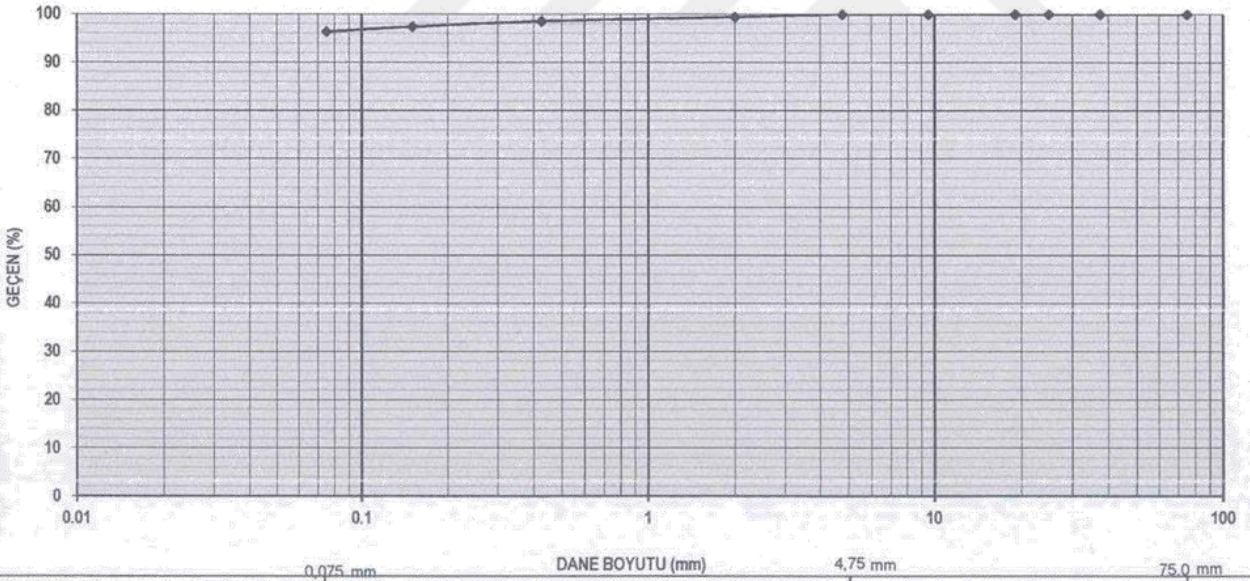
Deneysel Yapan  
Kerem KESKİN



Onaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis

Deneysel Talep Eden	-				
Proje Adı	CUMHURİYET MAH., ADA NO:169, PARSEL NO:20 VAKIFKEBİR / TRABZON				
Çukur / Sondaj No	SK-2	Lab.geliş.Tar.	06.04.2017	Deneysel Başlama Tarihi	06.04.2017
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Rapor Tarihi	21.12.2017	Numune Bilgileri	
Derinlik(m)	3.00	DENEY STAND. TS 1900-1 / Mart 2006 Madde 5.1.6.1 Deneysel 6 (A)		Toplam Ağırlık (g)	987.60
Rapor / Lab No	0818-2017 / 2017-0818			Eleme Yöntemi	Islak
BRN					

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Ağırlık (g)	Toplam Kalan Ağırlık (g)	Kalan (%)	Geçen %
75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
37.500	0.0	0.0	0.0	100.0
25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
2.000	5.6	5.6	0.6	99.4
0.425	8.7	14.3	1.4	98.6
0.150	11.2	25.5	2.6	97.4
0.075	9.9	35.4	3.6	96.4



Kil - Silt (%)	Kum (%)		Çakıl (%)	Blok(%)
96.4	3.6		0.0	0.0
LL:	43.2	PL:	26.1	PI
				17.1

Numuneler laboratuvarımız tarafından alınmamıştır. Numunelerin temsili olma özelliğinden laboratuvar sorumlu değildir. Deneysel sonuçları sadece deneysel tabii tutulan numunelerle ilgilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deneysel raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz. Bu raporun mühürlü olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15/08/2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

Deneysel Yapan  
Kerem KFSKİN



Onaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis

**ANADOLU MERKEZ LABORATUVARI**

DOKÜMANIN ADI

**LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU**  
Atterberg Limits TestsT.C.  
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK  
BAKANLIĞI

Döküman No	Z-FR-009	Yayın Tarihi	16.11.2015	Rev. Tar.	----	Revizyon No	--	Sayfa No	1/1	
Deneysel Talep Eden	-									
Proje Adı	CUMHURİYET MAH.,ADA NO:169,PARSEL NO:20 VAKFIKEBİR / TRABZON									
Çukur / Kuyu No	SK-2	Rapor No	0818-2017							
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Laboratuvar No	2017-0818							
Derinlik (m)	3.00	BRN								
Deney Stand.	TS 1900-1 / Mart 2006 ,Madde 5.1.2.2 Deney 2(B), Madde 5.1.2.3 Deney 2(C),Madde 5.1.3 Deney 3					Numune Giriş Tarihi	06.04.2017			
						Deney Başlama Tarihi	08.04.2017			
						Rapor Tarihi	21.12.2017			

Deney No	LİKİT LİMİT ( Liquid limit)					PLASTİK LİMİT				TEK NOKTA	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2
Darbe Adedi						-	-	-	-	23	22
Kap No.						10	11			8	9
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)						42.8	44.1			43.6	42.1
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)						40.1	41.0			39.0	38.0
Boş Kap Ağırlığı (g)						29.8	29.1			28.5	28.6
Kuru Numune Ağırlığı (g)						10.3	11.9			10.5	9.4
Su Ağırlığı (g)						2.7	3.1			4.6	4.1
SU İÇERİĞİ, w, (%)						26.3	26.0			43.8	43.8

**DENEY SONUÇLAR/Results**

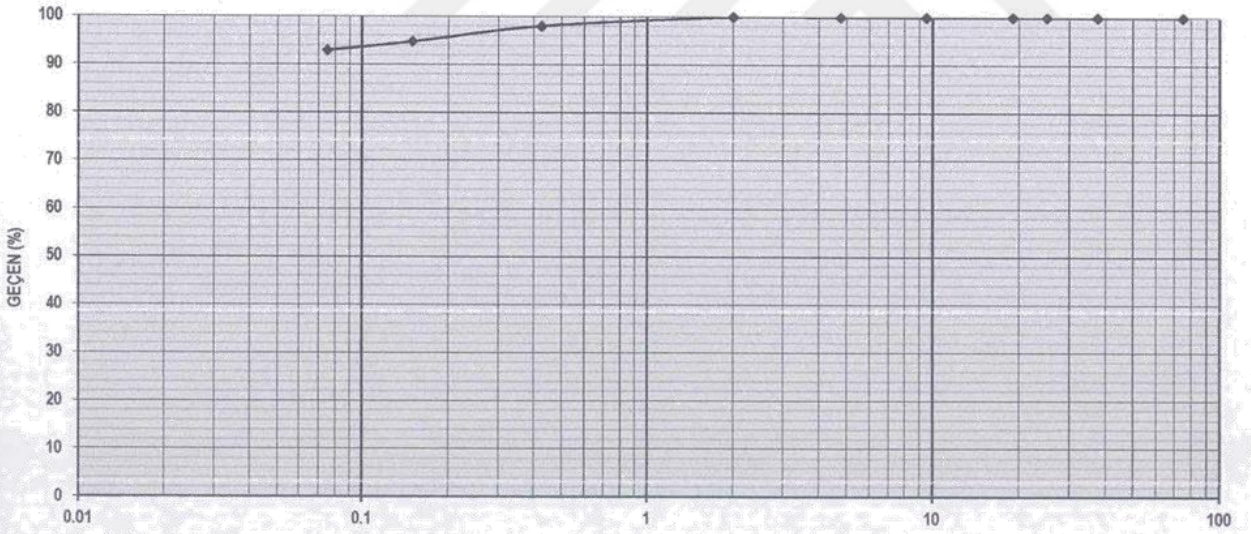
LİKİT LİMİTİ	43.2
PLASTİK LİMİT	26.1
PLASTİSİDE İNDİSİ	17.1

Not: \*Numuneler laboratuvarımız tarafından alınmamıştır. Numunelerin temsili olma özelliğinden laboratuvar sorumlu değildir. Deney sonuçları sadece deneye tabi tutulan numunelerle ilgilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deney raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz. Bu raporun mühürlü olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15/08/2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

Deney Yapan  
Kerem KESKİNOnaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis

Deneyi Talep Eden	-				
Proje Adı	CUMHURİYET MAH., ADA NO:169, PARSEL NO:20 VAKFIKEBİR / TRABZON				
Çukur / Sondaj No	SK-2	Lab.geliş.Tar.	06.04.2017	Deney Başlama Tarihi	06.04.2017
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Rapor Tarihi	21.12.2017	Numune Bilgileri	
Derinlik(m)	6.00	DENEY STAND. TS 1900-1 / Mart 2006 Madde 5.1.6.1 Deney 6 (A)		Toplam Ağırlık (g)	883.20
Rapor / Lab No	0818-2017 / 2017-0818			Eleme Yöntemi	Islak
BRN					

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Ağırlık (g)	Toplam Kalan Ağırlık (g)	Kalan (%)	Geçen %
75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
37.500	0.0	0.0	0.0	100.0
25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
2.000	0.0	0.0	0.0	100.0
0.425	17.2	17.2	1.9	98.1
0.150	28.8	46.0	5.2	94.8
0.075	16.3	62.3	7.1	92.9



Kil - Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	Blok (%)
92.9	7.1	0.0	0.0
LL:	41.6	PL:	25.0
		PI	16.6

Numuneler laboratuvarımız tarafından alınmıştır. Numunelerin temsili olma özelliğinden laboratuvar sorumlu değildir. Deney sonuçları sadece deneye tabi tutulan numunelerle ilgilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deney raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz. Bu raporun mühürlü olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15/09/2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

Deney Yapan  
Kerem KESKİN



Onaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis





ANADOLU MERKEZ LABORATUVAR  
TİCARİET LİMİTED ŞİRKETİ

ANADOLU MERKEZ LABORATUVARI

DOKÜMANIN ADI

LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU

Atterberg Limits Tests



T.C.  
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK  
BAKANLIĞI

Döküman No	Z-FR-009	Yayın Tarihi	16.11.2015	Rev. Tar.	----	Revizyon No	--	Sayfa No	1/1	
Deneyi Talep Eden	-									
Proje Adı	CUMHURİYET MAH.,ADA NO:169,PARSEL NO:20 VAKİKEBİR / TRABZON									
Çukur / Kuyu No	SK-2	Rapor No	0818-2017							
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Laboratuvar No	2017-0818							
Derinlik (m)	6.00	BRN								
Deney Stand.	TS 1900-1 / Mart 2006 ,Madde 5.1.2.2 Deney 2(B), Madde 5.1.2.3 Deney 2(C),Madde 5.1.3 Deney 3					Numune Giriş Tarihi	06.04.2017			
						Deney Başlama Tarihi	08.04.2017			
						Rapor Tarihi	21.12.2017			

Deney No	LİKİT LİMİT ( Liquid limit)					PLASTİK LİMİT				TEK NOKTA	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2
Darbe Adedi						-	-	-	-	22	21
Kap No.						16	17			14	15
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)						41.2	44.0			36.2	43.5
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)						38.5	41.0			32.2	39.2
Boş Kap Ağırlığı (g)						28.0	28.7			22.6	29.2
Kuru Numune Ağırlığı (g)						10.5	12.4			9.6	10.0
Su Ağırlığı (g)						2.7	3.0			4.0	4.3
SU İÇERİĞİ, w, (%)						25.8	24.3			41.8	42.9

DENEY SONUÇLAR/Results

Likit Limiti	41.6
PLASTİK LİMİT	25.0
PLASTİSİDE İNDİSİ	16.6

Not: \*Numuneler laboratuvarımız tarafından alınmıştır.Numunelerin temsil edici olma özelliğinden laboratuvar sorumlu değildir. Deney sonuçları sadece deneye tabi tutulan numunelerle ilgilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deney raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz.Bu raporun mühürlü olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15.08.2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

Deney Yapan  
Kerem KESKİN

Onaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis





ANADOLU MERKEZ LABORATUVAR  
TİCARİET LİMİTED ŞİRKETİ

ANADOLU MERKEZ LABORATUVARI

DOKÜMANIN ADI

LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU  
Atterberg Limits Tests



T.C.  
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK  
BAKANLIĞI

Döküman No	Z-FR-009	Yayın Tarihi	16.11.2015	Rev. Tar.	----	Revizyon No	--	Sayfa No	1/1	
Deneysel Talep Eden	-									
Proje Adı	CUMHURİYET MAH.,ADA NO:169,PARSEL NO:20 VAKFIKEBİR / TRABZON									
Çukur / Kuyu No	SK-2	Rapor No	0818-2017							
Numune Cinsi	ÖRSELENMİŞ	Laboratuvar No	2017-0818							
Derinlik (m)	6.00	BRN								
Deney Stand.	TS 1900-1 / Mart 2006 ,Madde 5.1.2.2 Deney 2(B), Madde 5.1.2.3 Deney 2(C),Madde 5.1.3 Deney 3					Numune Giriş Tarihi	06.04.2017			
						Deney Başlama Tarihi	08.04.2017			
						Rapor Tarihi	21.12.2017			

Deney No	LİKİT LİMİT ( Liquid limit)					PLASTİK LİMİT				TEK NOKTA	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2
Darbe Adedi						-	-	-	-	22	21
Kap No.						16	17			14	15
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)						41.2	44.0			36.2	43.5
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)						38.5	41.0			32.2	39.2
Boş Kap Ağırlığı (g)						28.0	28.7			22.6	29.2
Kuru Numune Ağırlığı (g)						10.5	12.4			9.6	10.0
Su Ağırlığı (g)						2.7	3.0			4.0	4.3
SU İÇERİĞİ, w, (%)						25.8	24.3			41.8	42.9

DENEY SONUÇLAR/Results

Likit Limiti	41.6
PLASTİK LİMİT	25.0
PLASTİSİDE İNDİSİ	16.6

Not: \*Numuneler laboratuvarımıza tarafımızdan alınmıştır.Numunelerin tenelli olma şüphesinden laboratuvar sorumlu değildir. Deney sonuçları sadece deneye tabi tutulan numunelerle ilgilidir. Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır. Bu deney raporu, ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kopya veya tamamen çoğaltılamaz.Bu raporun mühürlü olan aslı geçerlidir. Laboratuvarımız; Çevre Ve Şehircilik Bakanlığının 15.08.2016 tarih ve 554 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

Deney Yapan  
Kerem KESKİN

Onaylayan  
Yaşar ÖZTÜRK  
Denetçi Mühendis



## ÖZGEÇMİŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. okuduğu bölümden ayrılarak Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine devam etti. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden onur öğrencisi olarak mezun oldu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisansa başladı. , İyi derecede İngilizce bilmektedir.

