

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KARARLI HİDROLOJİK KOŞULLARIN VE SONSUZ ŞEV MODELİNİN
ESAS ALINDIĞI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ
(GÜNEYSU SU TOPLAMA HAVZASI, RİZE)**

Fatma KELEŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KARARLI HİDROLOJİK KOŞULLARIN VE SONSUZ ŞEV MODELİNİN
ESAS ALINDIĞI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ
(GÜNEYSU SU TOPLAMA HAVZASI, RİZE)**

Fatma KELEŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KARARLI HİDROLOJİK KOŞULLARIN VE SONSUZ ŞEV MODELİNİN
ESAS ALINDIĞI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ
(GÜNEYSU SU TOPLAMA HAVZASI, RİZE)**

**Fatma KELEŞ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez
Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
tarafından desteklenmiştir.

OCAK 2018

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KARARLI HİDROLOJİK KOŞULLARIN VE SONSUZ ŞEV MODELİNİN
ESAS ALINDIĞI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ
(GÜNEYSU SU TOPLAMA HAVZASI, RİZE)**

Fatma KELEŞ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez/....../2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU (Danışman)

Doç. Dr. Aykut AKGÜN

Doç. Dr. Bekir Taner SAN

ÖZET

KARARLI HİDROLOJİK KOŞULLARIN VE SONSUZ ŞEV MODELİNİN ESAS ALINDIĞI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİ (GÜNEYSU SU TOPLAMA HAVZASI, RİZE)

Fatma KELEŞ

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Ocak 2018; 109 Sayfa

Bu çalışmanın amacı; kararlı hidrolojik koşulların ve sonsuz şev modelinin esas alındığı heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla; özellikle magmatik kayaların üzerindeki rezidüel seviyeler içerisinde sığ heyelanların sıklıkla izlenmekte olduğu Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Rize İli'nin doğusunda yer alan Güneysu su toplama havzası çalışma sahası olarak seçilmiştir. Tez çalışması dört aşamada gerçekleştirilmiştir; (i) öncelikle konuya ilişkin ulusal ve uluslararası literatür değerlendirilmiştir; (ii) literatür araştırmasının gerçekleştirilmesine müteakiben çalışma sahasının genel özellikleri incelenmiştir; (iii) bununla birlikte Güneysu su toplama havza alanına ait sığ heyelan envanterinin oluşturulmasına yönelik ayrıntılı araştırmalar yürütülmüştür; (iv) Stability Index Mapping (SINMAP) kullanılarak çalışma sahası içerisindeki sığ heyelanlara ilişkin duyarlılık analizinin yapılmasında önem arz eden gerekli mekanik ve hidrolojik özelliklerin tayini amacıyla arazi çalışmaları süresince araştırma çukurlarından örselenmiş ve örselenmemiş örneklemeler yapılmıştır.

Çalışma sahasının genel özellikleri kapsamında sahanın jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları değerlendirilmiştir. Hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışması kapsamında; sığ heyelan envanteri oluşturulup, jeoteknik saha incelemeleri ve jeofizik etütler yapılmıştır. Çalışma sahasından elde edilen örnekler; laboratuvar çalışması kapsamında incelenmiştir. Son aşama olan SINMAP modeli kapsamında ise sığ heyelan envanteri kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama ve kalibrasyona müteakiben heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen analizlerde değerlendirilen rezidüel toprak seviyelerinin %20, %40 ve %75 infiltrasyon kapasitesine sahip olabilecekleri dikkate alınarak 12 farklı model çalışması yapılmıştır. Model çalışmaları sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Modellerin doğru tahmin kapasiteleri ortalama %97.2 olarak hesaplanmıştır. Duraylı alanların farklı rezidüel toprak seviyeleri ve farklı infiltrasyon kapasitelerine bağlı olarak değişimi incelendiğinde; jeolojik malzemenin heyelana karşılık duyarlılığı arttığında infiltrasyon kapasitesindeki değişimin etkisi kaybolmaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Duyarlılık, Güneysu Su Toplana Havzası, Rezidüel Toprak, Sığ Heyelan, SINMAP.

JÜRİ: Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Doç. Dr. Aykut AKGÜN

Doç. Dr. Bekir Taner SAN



ABSTRACT

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSES BASED ON STEADY-STATE HYDROLOGICAL CONDITIONS AND INFINITE SLOPE STABILITY MODEL (GÜNEYSU CATCHMENT AREA, RİZE)

Fatma KELEŞ

Master of Science Thesis, Geological Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

January 2018; 109 Pages

The aim of this study is to carry out landslide susceptibility analyzes based on steady-state hydrological conditions and infinite slope stability model. For this purpose, Güneysu catchment area located to the east of Rize in the Eastern Part of Black Sea Region of Turkey where shallow landslides are frequently observed in residual levels of magmatic rocks due to weathering was selected as the study area. The research was carried out in four stages; (i) firstly the national and international literature on the subject was evaluated; (ii) following the performing of the literature survey, the general characteristics of the study area were examined; (iii) additionally, detailed investigations have been carried out to produce shallow landslide inventory of the Güneysu catchment area; (iv) undisturbed samples were taken from the trail pits during the field studies; these samples were used to determine necessary mechanical and hydrological properties of the soils which are necessary for shallow landslide susceptibility analyses based on Stability Index Mapping (SINMAP).

Geological, geomorphological and climatic conditions of the site were evaluated within the scope of the general characteristics of the study area. In the scope of aerial photo interpretation and field study; shallow landslide inventory, geotechnical site investigations and geophysical surveys were carried out. The samples obtained from the study area were examined within the scope of the laboratory study. In the last phase of the SINMAP model, landslide susceptibility maps were established after verification and calibration process, which was performed by using shallow landslide inventory.

12 different model studies were carried out considering that the residual soil levels evaluated in the analyzes performed may have infiltration capacity of 20%, 40% and 75%. Accuracy evaluations of the landslide susceptibility maps obtained as a result of model studies have been carried out. The correct estimation capacities of the models are calculated as 97.2% on average. When the variation of the stable areas with respect to different residual soil levels and different infiltration capacities is examined, the effect of the change in infiltration capacity is lost when the landslide susceptibility of geological material increases.

KEYWORDS: Susceptibility, Güneysu Catchment Area, Residual Soil, Shallow Landslide, SINMAP

JURY: Assoc. Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Assoc. Prof. Dr. Bekir Taner SAN



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında kararlı hidrolojik koşulların ve sonsuz şev modelinin esas alındığı heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; özellikle magmatik kayaçların üzerindeki ayrıışmış rezidüel seviyeler içerisinde sığ heyelanların sıklıkla izlenmekte olduğu Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Rize İli'nin doğusunda yer alan Güneysu su toplama havzası çalışma sahası olarak seçilmiştir.

Bu çalışma, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğünce desteklenmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen jeofizik etütler ARE Jeoteknik Müh. Müş. İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır. Bununla birlikte, toprak mekaniği deneyleri söz konusu firmanın toprak mekaniğini laboratuvarında yapılmıştır.

Sayın Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU çalışmanın her aşamasında yön gösterici olmuş, tezin şekillenmesi ve sonuca ulaşılmasında bilimsel katkıda bulunmuştur.

Sayın Yrd. Doç. Dr. Tolga GÖRÜM bilimsel katkıda bulunmuştur.

Sayın Doç. Dr. Aykut AKGÜN bilimsel katkıda bulunmuştur.

Sayın Keriman KELEŞ çalışmaya maddi ve manevi destek sağlamıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	6
2.1. SINMAP Matematiksel Modeline İlişkin Kuramsal Bilgiler.....	6
2.1.1. Sonsuz şev stabilitesi modeli	7
2.1.2. Topoğrafik nemlilik indeksi	9
2.1.3. Stabilite indeksi tanımı.....	11
2.1.4. Sayısal yükseklik modeli yöntemleri	13
2.1.4.1. Çukur doldurma düzeltmeleri	13
2.1.4.2. Yamaçlar ve akış yönleri	13
2.1.4.3. Özgül havza alanı	14
2.2. Önceki Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE METOT.....	32
3.1. Çalışma Sahasının Genel Özellikleri	32
3.1.1. Jeoloji	32

3.1.1.1. Stratigrafi.....	32
3.1.1.1.1. Kızılkaya formasyonu (rdlp)	34
3.1.1.1.2. Çağlayan formasyonu (balp)	34
3.1.1.1.3. Kaçkar granitoyidi (g).....	35
3.1.1.1.4. Kabaköy formasyonu (ablp).....	36
3.1.1.1.5. Alüvyon	37
3.1.1.2. Tektonik ve depremsellik	37
3.1.1.3. Jeomorfoloji.....	39
3.1.1.4. İklim	40
3.2. Heyelan Envanteri	41
3.3. Arazi Çalışmaları	48
3.3.1. Yer kontrol.....	48
3.3.2. Jeoteknik saha incelemeleri.....	51
3.3.2.1. Araştırma çukuru ve örnekleme.....	51
3.3.3. Jeofizik etütler.....	54
3.3.3.1. Sismik kırılma.....	54
3.3.3.2. Elektrik özdirenç yöntemi	58
3.3.4. Laboratuvar çalışmaları.....	63
3.3.4.1. Toprak zeminlerin indeks ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi.....	63
3.3.4.2. Toprak zeminlerin mekanik ve hidrolojik özelliklerinin belirlenmesi	65
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	68
4.1. Heyelan Duyarlılık Analizleri	68
4.1.1. Rezidüel toprak kalınlığı	68
4.1.2. SINMAP matematiksel modeli.....	69

5. SONUÇLAR.....	96
6. KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kararlı Hidrolojik Koşulların ve Sonsuz Şev Modelinin Esas Alındığı Heyelan Duyarlılık Analizleri (Güneysu Su Toplama Havzası, Rize)” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16/01/2018

Fatma KELEŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Özgöl havza alanı
A	: Yağışın etki ettiği alan
b	: A alanının etki ettiği alan; Rezidüel toprak seviye kalınlığı
C	: Boyutsuz kohezyon sabiti
cm	: Santimetre
Cr	: Kök kohezyonu
Cs	: Toprak kohezyonu
D	: Düşey toprak kalınlığı
Dw	: Toprak katmanı içerisindeki düşey su yüksekliği
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Rezidüel toprak seviye kalınlığı
K	: Hidrolik iletkenlik
kg	: kilogram
km	: kilometre
kN	: kilonewton
kPa	: kilopascal
m	: metre
mm	: milimetre
N	: Newton
Φ	: İçsel sürtünme açısı
π	: Pi sayısı
ρ_s	: Toprağın doğal yoğunluğu
ρ_w	: Suyun yoğunluğu
r	: Yoğunluk oranı
R	: Beslenim
s	: saniye
sa	: saat
T	: Transmisivite
Θ	: Yamaç eğimi
w	: Göreceli nemlilik
x	: Beslenim/İletimlilik oranı

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ablp	: Andezit, Bazalt, Lav ve Piroklastları
AÇ	: Araştırma Çukuru
AUC	: Area Under Curve
balp	: Bazalt, Andezit, Lav ve Piroklastları
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CF	: Certainty Factor
D-B	: Doğu-Batı
D-GD	: Doğu-Güneydoğu

DMİ : Devlet Meteroloji İşleri
DP : Detection Percent
DTM : Digital Terrain Model
Fm : Formasyon
FR : Frequency Ratio
FS : Factor of Safety
g : Granitoyid
GB : Güneybatı
GGB : Güney Güneydoğu
INPE : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
InSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar
ISDR : International Strategy for Disaster Reduction
KD : Kuzeydoğu
kgf : Kilogram Force
KKD : Kuzey Kuzeydoğu
K-G : Kuzey-Güney
LISA : Level I Stability Analysis
Lidar : Light Detection and Ranging
LR : Logistic Regression
M : Magnitüd
Max : Maximum
MF : Miss Factor
Min : Minimum
MTA : Maden Tetkik ve Arama
NOAA: The National Oceanic and Atmospheric Administration
R : Rezistivite
rdlp : Riyodasit, Dasit, Lav ve Piroklastları
S : Sismik
SI : Stability Index
Sınmap: Stability Index Mapping
SPI : Serial Peripheral Interface
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
TIN : Triangulated Irregular Networks
TWI : Topographic Wetness Index
USCS : Unified Soil Classification System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünyadaki doğal afetlerin dağılımı (EM-DAT 2015)	1
Şekil 1.2. Türkiye'deki kütle hareketlerinin dağılımı (Gökçe vd. 2008)	2
Şekil 1.3. Güneysu su toplama havzasına ilişkin yer bulduru haritası	4
Şekil 1.4. Tez çalışmasına ilişkin iş-akış diyagramı.....	5
Şekil 2.1. Şematik sonsuz şev stabilitesi modeli (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)	8
Şekil 2.2. Boyutsuz kohezyon faktörü kavramının gösterimi (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)	9
Şekil 2.3. Özgül havza alanı belirleme (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)	10
Şekil 2.4. Beslenim alanı ve topoğrafik eğimle stabilite indeksinin değişimi (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır).....	12
Şekil 2.5. Akış yönü, blok merkezli bir grid üzerindeki düzlemsel üçgen yüzeylerde en dik eğim olarak tanımlanmıştır (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır).....	14
Şekil 3.1. Güneysu su toplama havzasına ilişkin jeoloji haritası (Güven 1998; Yılmaz vd. 1998'den değiştirilerek alınmıştır)	33
Şekil 3.2. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastların genel görünümü	34
Şekil 3.3. Bazalt, andezit, lav ve piroklastların üzerinde gelişen rezidüel seviyenin genel görünümü	35
Şekil 3.4. a) Kaçkar granitoyidi genel görünümü; b) Kaçkar granitoyidi genel görünümü; birimin üzerinden yük kalkmasına bağlı olarak geliştiği düşünülen yatay eklemler belirgin olarak izlenmektedir	36
Şekil 3.5. Andezit, bazalt, lav ve piroklast olarak tanımlanan birimin üzerinde izlenen rezidüel seviyenin genel görünümü	37
Şekil 3.6. Yaklaşık çalışma sahasını merkez alan 200 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgeye ait sismotektonik harita (Nefeslioğlu 2008).....	38
Şekil 3.7. Yaklaşık çalışma sahasını merkez alan 200 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgede kayıt edilen ($M=3,0$ 'dan büyük) deprem büyüklüklerine ait frekans dağılımı (Nefeslioğlu 2008).....	39

Şekil 3.8. Çalışma sahasının morfolojisini gösterir fotoğraf; İslahiye köyü.....	40
Şekil 3.9. 1971-2000 yılları arasında ölçülmüş, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nce yayımlanan aylık toplam yağış miktarları (mm) (Nefeslioğlu 2008)	41
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan 1995 tarihli 1:15.000 ölçekli renkli kızılötesi stereo hava fotoğraflarının dağılımını gösterir harita	43
Şekil 3.11. Selamet köyü örneğinde kullanılan a) 1995 yılına ait 1:15.000 ölçeğinde renkli kızılötesi stereo hava fotoğrafı; b) 2014 yılına ilişkin yüksek çözünürlüklü WorldView-2 uydu görüntüsü; c) Örneklem alanı için Kothe ve Lehmeir (1993) tarafından geliştirilmiş konverjans indeks kullanılarak üretilen sırt (turuncu renkli alanlar) ve vadi (mavi renkli alanlar) kesimlerini gösterir harita; d) Haritalanmış sığ heyelanların (kırmızı renkli noktalar) topoğrafik düzeltmelerinin yapıldığı 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritası.....	44
Şekil 3.12. Hava fotoğraflarının yorumlanması esnasında heyelanı tanımlayıcı görüntü elemanları; a) Renk ve ton (sarı oklar farklı renk ve tondaki heyelan alanlarını gösterir); b) Şekil bakımından benzeşim gösteren alanların çevre objelerle birlikte ilişkilendirilerek yol olarak sınıflandırıldığını ifade eden görüntü (örnek alan sarı çerçeve içinde ifade edilmiştir); c) Doku ve desen tanımlayıcı görüntü elemanları kullanılarak ayırtlanan iki farklı heyelan kopma zonu (sarı çizgiler kopma zonunu, oklar hareket yönünü ifade eder)	45
Şekil 3.13. Güneysu su toplama havzası içerisinde hava fotoğrafları ve uzaktan algılama görüntüleri yorumlarından üretilen sığ heyelan kopma zonlarına ilişkin envanter	46
Şekil 3.14. Çalışma sahasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; yenilme evin hemen altında gerçekleşmiştir	47
Şekil 3.15. Çalışma sahasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf	47
Şekil 3.16. Çalışma sahasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu.....	48
Şekil 3.17. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu	48
Şekil 3.18. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu	49
Şekil 3.19. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Başköy	49
Şekil 3.20. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu	50

Şekil 3.21. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Islahiye.....	50
Şekil 3.22. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf.....	51
Şekil 3.23. Örnekleme ve jeofizik etüt lokasyonlarını gösterir harita	52
Şekil 3.24. Çalışma sahası içerisinde rezidüel seviyelerde izlenen tipik ayrışma profili; Deere ve Patton (1971)'a göre ayırt edilmiş toprak profili	53
Şekil 3.25. a) Örnekleme için kullanılan ince çeperli tüpe ait görüntü; b) Örneğin tüp içerisine alındıktan sonra topraktan çıkarılmasına ait görüntü	54
Şekil 3.26. Bazalt, andezit, lav ve piroklast (balp) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R6; (b) R13; (c) R15; (d) R16; (e) R19; (f) R20.....	60
Şekil 3.26. Kaçkar granitoyidi (g) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R3; (b) R5; (c) R10; (d) R11; (e) R12; (f) R17; (g) R18	61
Şekil 3.27. Riyodasit, dasit lav ve piroklast (rdlp) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R4; (b) R7; (c) R8; (d) R9; (e) R14.....	62
Şekil 3.28. Andezit, bazalt, lav ve piroklast (ablp) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R1; (b) R2	63
Şekil 4.1. Güneysu su toplama havzası rezidüel toprak kalınlığı haritası	68
Şekil 4.2. Rezidüel topraklara ilişkin tanımlanan USCS zemin sınıflarının frekans dağılımı; (a) g; (b) rdlp; (c) balp; (d) ablp; (e) tüm saha	72
Şekil 4.3. Güneysu su toplama havzasına ait 10 m yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli (SYM)	85
Şekil 4.4. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %20)	86
Şekil 4.5. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %40)	87
Şekil 4.6. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %75)	88

Şekil 4.7. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %20, %40, %75)..... 89

Şekil 4.8. Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 90

Şekil 4.9. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 90

Şekil 4.10. Bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 91

Şekil 4.11. Andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 91

Şekil 4.12. Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 92

Şekil 4.13. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 92

Şekil 4.14. Bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 93

Şekil 4.15. Andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 93

Şekil 4.16. Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 94

Şekil 4.17. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 94

Şekil 4.18. Bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği..... 95

Şekil 4.19. Andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrılan

rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenim alanı (SA) grafiği..... 95



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Stabilité indeks (SI) değerine bağlı olarak tanımlanan duraylılık sınıfları (Pack vd.1998).....	12
Çizelge 2.2. SINMAP modeli için hesaplanması/tanımlanması gereken parametreler	12
Çizelge 2.3. 1998-2016 yılları arasında yapılmış 19 adet çalışma; harita ęęi, SYM yersel çözünürlük, litoloji ve üst ayrışmış, toprak malzemesi, toprak dokusu ve kalınlığı açısından incelenmesi	23
Çizelge 2.4. 1998-2016 yılları arasında yapılmış 19 adet çalışma; fiziksel, mekanik ve hidrolojik parametreler açısından incelenmesi	28
Çizelge 3.1. Güneysu su toplama havzasında gerçekleştirilen sismik kırılma etüdü ölüm noktalarının koordinatları.....	55
Çizelge 3.2. Çalışma alanında kaçkar granitoyidi (g) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız zellikleri.....	56
Çizelge 3.3. Çalışma alanında riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız zellikleri	57
Çizelge 3.4. Çalışma alanında bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız zellikleri	57
Çizelge 3.5. Çalışma alanında andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız zellikleri	58
Çizelge 3.6. Güneysu su toplama havzasında gerçekleştirilen rezistivite etüdü ölüm noktaları	59
Çizelge 3.7. Toprakların indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları	64
Çizelge 3.8. Birimlerin mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları.....	66
Çizelge 3.9. Toprak zemin örneklerine ilişkin permeabilite değerleri	67
Çizelge 4.1. Birimlerin toprak kalınlığı değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler	69
Çizelge 4.2. Rezidüel toprak seviyelerinden alınan örneklerle ilişkin fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler	70
Çizelge 4.3. SINMAP modeli için gerekli olan verilerin hesaplanmasında	

kullanılan parametreler	74
Çizelge 4.4. SINMAP modeli için gerekli olan ve kullanılan girdi parametreleri ve değerleri.....	75
Çizelge 4.5. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı	76
Çizelge 4.6. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı	77
Çizelge 4.7. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	77
Çizelge 4.8. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	78
Çizelge 4.9. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	79
Çizelge 4.10. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	79
Çizelge 4.11. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	80
Çizelge 4.12. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	81
Çizelge 4.13. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	81
Çizelge 4.14. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	82
Çizelge 4.15. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	83

Çizelge 4.16. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağı olarak elde edilen SINMAP modelinde andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı.....	83
Çizelge 4.17. Çalışma kapsamında geręekleştiren modellerin doğruluk değerleri.....	84
Çizelge 5.1. Farklı rezidüel topraklar üzerindeki duraylı alanların (%Alan SI>1) infiltrasyon kapasitelerine bağı olarak değişimi.....	99



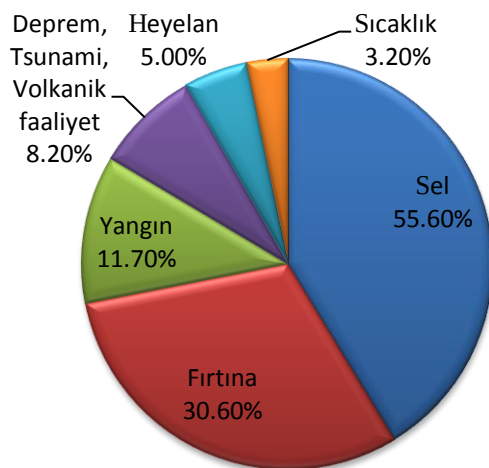
1. GİRİŞ

Heyelan; yerel jeolojik, hidrolojik, jeomorfolojik koşulların ürünü olarak, bitki örtüsü, arazi kullanımı, insan aktiviteleri tarafından etkilenen, yağış, sismik olayların sıklığı ve şiddeti tarafından kontrol edilen, yapay veya doğal şev duraysızlıkları olarak tanımlanmaktadır (Soeters ve Van Westen 1996).

“Heyelanlar için fiziksel bir tanım yapılacak olursa; söz konusu doğa olayı, jeolojik malzemenin yerçekimi etkisi altında eğim aşağı ve dışarı doğru hareketi olarak tanımlanabilir (Cruden ve Varnes 1996)”. Siddle ve Ochiai (2006)’ya göre heyelanlar, doğal kayalardan, toprağa, yapay dolgudan veya bu malzemelerin kombinasyonlarından oluşan eğim oluşturan malzemelerin aşağıya ve dışa doğru hareketiyle sonuçlanan süreç olarak tanımlanırken De Blasio (2011)’e göre bir toprak kayması, yerçekimi hareketinin neden olduğu kaya, parçacık ya da toprak hareketi olarak ifade edilmektedir.

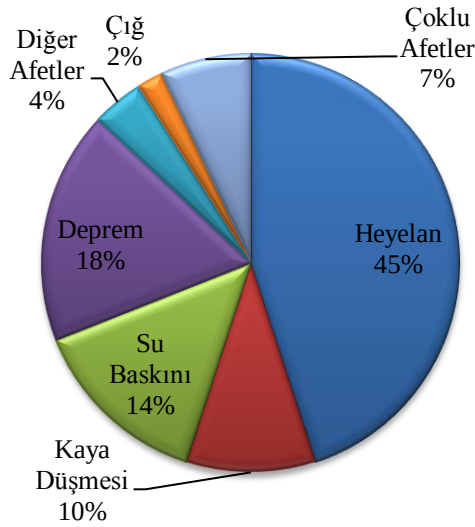
Dünyanın pek çok yerinde doğal afetler nedeniyle can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Türkiye’de ise yaşanan doğal afetler dikkate alındığında içinde bulunduğumuz jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel özelliklerin büyük bir etkisi vardır. Artan maddi ve manevi kayıplara ek olarak, çarpık kentleşme ve nüfus artışı meydana gelen kayıplarda etkindir.

Dünyada kütle hareketlerinden kaynaklanan ekonomik kayıplar 4 milyar US dolara ulaşmış ve yılda yaklaşık 1000’e yakın insan söz konusu afet nedeni ile hayatını kaybetmektedir (Alexander 1995; Singhroy 2005). Heyelanlar, diğer doğal afetler ile karşılaştırıldığında heyelan kaynaklı ölümlü kayıpların oranı %1,3 olarak verilmektedir (EM-DAT 2015). 1991-2005 yılları arasında heyelan, diğer doğal afetlerin dağılımı ile karşılaştırıldığında %5’lik bir orana karşılık gelmektedir (ISDR 2010). 2005-2014 yılları arasında ise heyelan oranının değişmediği görülmektedir (EM-DAT 2015) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Dünyadaki doğal afetlerin dağılımı (EM-DAT 2015)

Türkiye için verilen istatistiklerde dünya için verilen değerlerin yaklaşık 10 katına ulaşılmaktadır. Türkiye’de, 1950-2008 yılları arasında yapısal kayıplar dikkate alındığında heyelanlar %45’lik (Şekil 1.2) bir oranla birinci önemli doğal tehlikeyi oluşturmaktadır (Gökçe vd. 2008). Heyelan olay sayılarını, %18’lik oranla depremler, %14’lük oranla sel ve su baskınları izlemektedir. Meydana gelen hasarlar incelendiğinde, yerleşim birimlerindeki zarar gören/görmesi muhtemel yapılar en çok %55’lik oranla depremlerden, %21’lik oranla heyelanlardan zarar görmüştür. Ülkemizde, 1950-2008 yılları arasında, en çok heyelan olayı gözlenen iller; Trabzon (1123), Rize (1049), Kastamonu (613) ve Erzurum (573)’dur. Trabzon (4106) yapı ile heyelanlardan en çok zarar gören ilimizdir (Demir 2016).



Şekil 1.2. Türkiye'deki kütle hareketlerinin dağılımı (Gökçe vd. 2008)

Son çalışmalar, heyelan afetine bağlı olarak gelişen ölümlü kayıpların az gelişmiş ülkelerde yoğun olarak görüldüğünü ortaya koymuştur. Bunun en önemli nedeni, söz konusu ülkelerde heyelan afetinin anlaşılmasına yönelik yapılması gereken araştırmaların/yatırımların kaynak yokluğu nedeniyle yapılamaması gösterilmektedir (Petley 2012).

Heyelan kaynaklı kayıpların indirgenmesi için yapılması gerekenler ise; çalışma sahasındaki heyelanların başlangıç konumlarının dağılım bilgisi ile bunları kontrol eden çevresel faktörlerin anlaşılması için heyelan envanter haritası oluşturulmalıdır (Duman vd. 2005). Envanter haritasının doğrulanması ve kalibrasyonu ile heyelanların mekansal olabilirliğine bağlı olarak heyelan duyarlılık haritası yapılmalıdır (Fell vd. 2008). Heyelanların zaman ile şiddet olasılığını belirleyip, tehlike değerlendirmesi yapılarak heyelan tehlike risk haritalamaları oluşturulmalıdır (Corominas ve Maya 2008). Planlamada geçilen her bir süreçte belirsizlikler artacaktır (Van Westen vd. 2006). Yapılan haritalamalarda sonuç olarak heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalamasına ilişkin karmaşık süreçler değerlendirilmeli ve yaratıcı yaklaşımlar geliştirilmelidir.

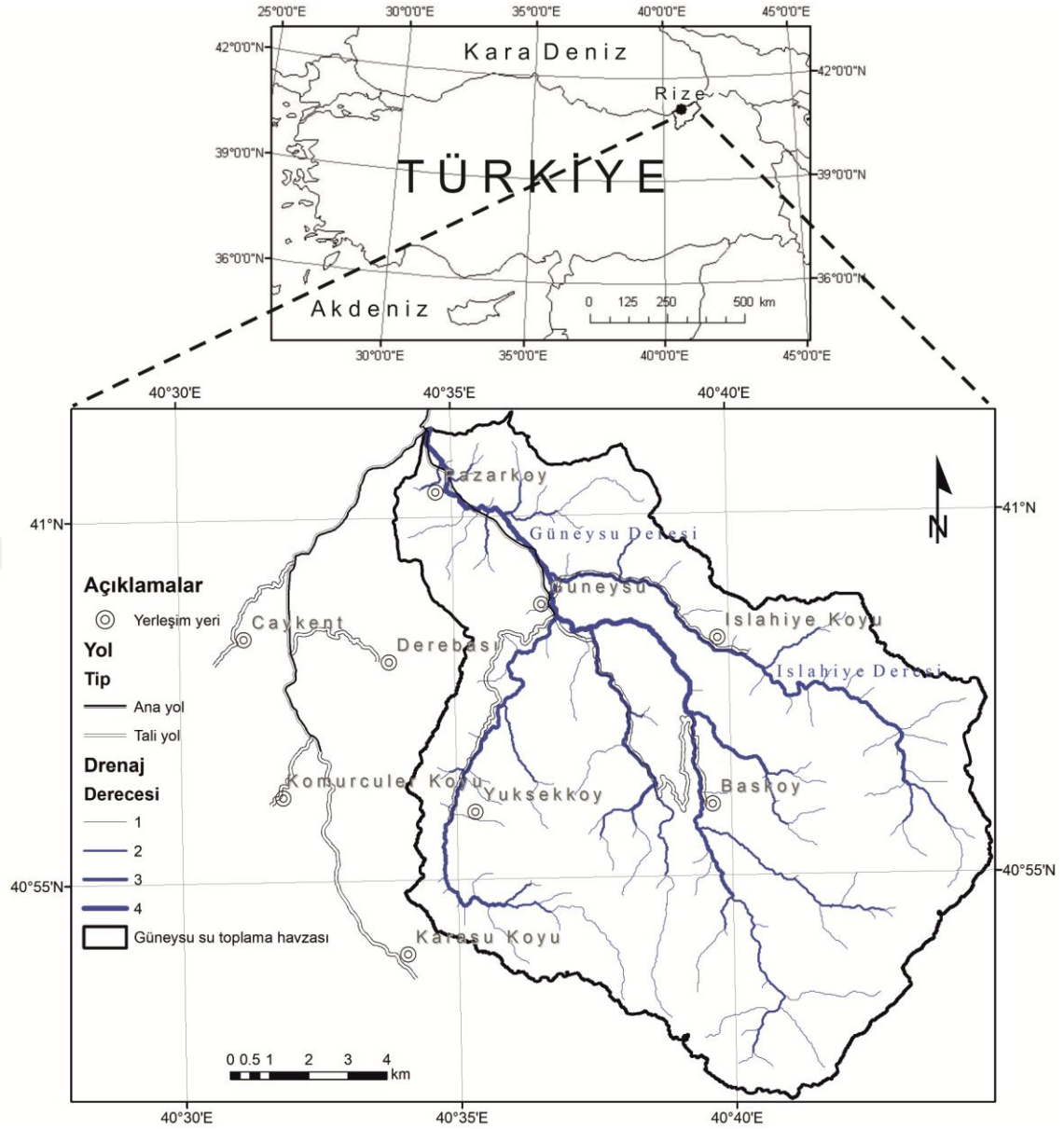
Heyelan duyarlılık haritalama teknikleri en genel hali ile (i) uzman değerlendirmeler; (ii) istatistik ve veri madenciliği teknikleri ve (iii) fiziksel modeller

olarak sınıflandırılabilir (Corominas vd. 2014). Gerçekleşmiş heyelan olay bilgisinde uzman görüşüne dayalı modellerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır; buna karşılık söz konusu veri olmadan istatistik ve veri madenciliği tekniklerine bağlı bir model gerçekleştirimi yapılamamaktadır (Sezer vd. 2017). Diğer taraftan; fiziksel modellerin başlıca sınırlaması ise mekanik ve hidrolojik parametrelerde ölçeğe bağlı olarak yapılan aşırı basitleştirmelerdir. Ölçeğin kabalaşmasına müteakiben söz konusu parametrelerde belirsizlik artmakta; buna karşılık daha küçük alanlarda daha büyük ölçeklerde ise mekanik ve hidrolojik parametrelere ilişkin belirsizlikler indirgenmekte ve söz konusu modeller gerçekleştirilebilir hale gelmektedir. Belki de bu nedenledir ki; gerek uluslararası gerekse özellikle ulusal literatürde heyelan duyarlılığının değerlendirilmesine ilişkin fiziksel modellerin gerçekleştirimini yapan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Söz konusu modellerin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde esas olarak heyelan fiziğini dikkate alması önem arz etmektedir.

Sığ heyelanlar meydana geldikten sonra arazide izleri kaybolabilmektedir. Bu durum özellikle söz konusu hareketlerin izlendiği sahalarda heyelan bilgisini modelin bağımlı değişkeni olarak değerlendiren çalışmaların yapılmasını oldukça güç hale getirmektedir; bu tür sahalarda eksiksiz tam bir envanter (arşiv envanteri) hazırlamak mümkün olmamaktadır. Bu durumda bu sahalarda ya uzman görüşüne dayalı ya da fiziksel modelleri esas alan yaklaşımların uygulanması daha uygun olacaktır. Uzman görüşün tahmin performansı düşük çıkmaktadır. Diğer taraftan eğer çalışma sahası çok büyük değilse ve eğer yeterli veri üretimi gerçekleştirilebiliyorsa yukarıda ifade edilen sahalarda fiziksel modeli esas alan yaklaşımların değerlendirilmesi gerekir.

Fiziksel modeli esas alan yaklaşımlar Türkiye’de neredeyse hiç çalışılmamıştır; bu konuda yapılmış sadece bir kaç araştırma bulunmaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy 1996; Akgün ve Erkan 2016). Diğer taraftan; dünyada ise özellikle veri sınırlaması nedeniyle gerçekleştirilen araştırmaların sayısı sınırlıdır. Bu araştırmalar söz konusu bu tez çalışmasının önceki çalışmalar bölümünde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

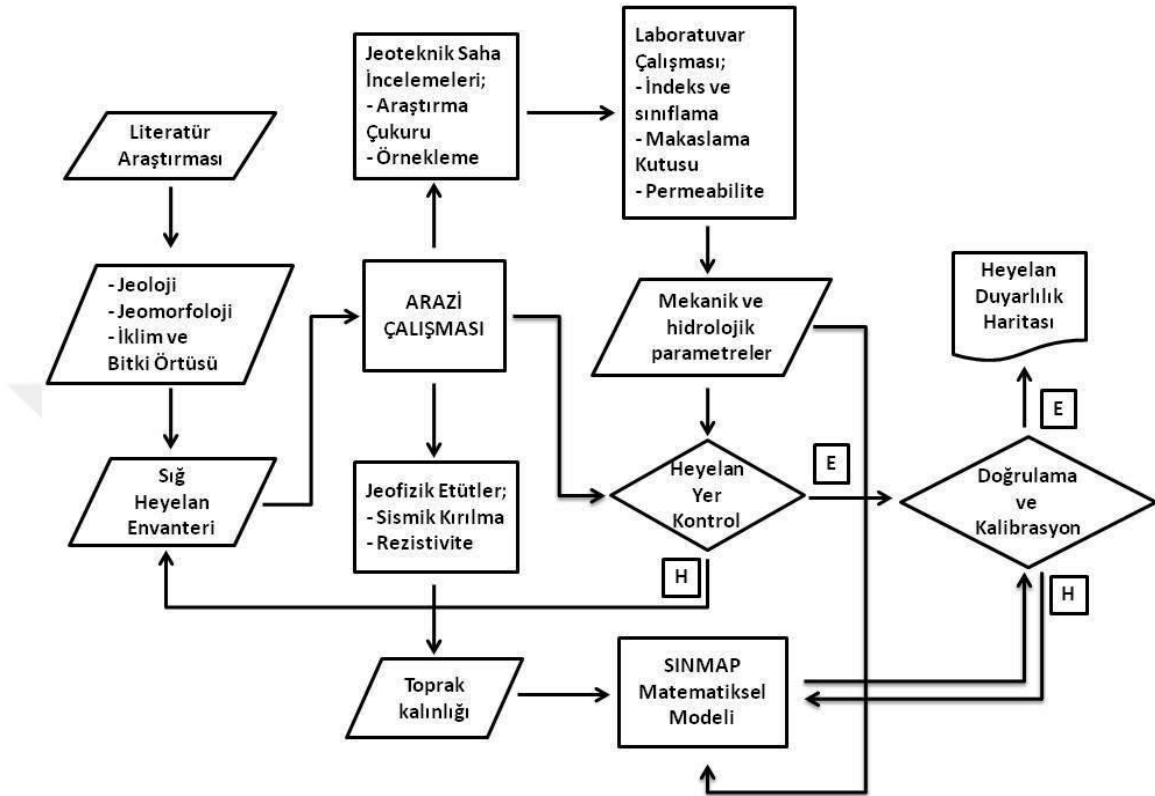
Bu çalışmanın temel amacı; kararlı hidrolojik koşulların ve sonsuz yamaç modelinin esas alındığı heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla; özellikle magmatik kayaların üzerindeki ayrışma sonucu gelişmiş rezidüel seviyeler içerisinde sığ heyelanların sıklıkla izlenmekte olduğu Doğu Karadeniz Bölgesi’nde, Rize İli’nin doğusunda yer alan Güneysu su toplama havzası çalışma sahası olarak seçilmiştir. Çalışma sahasına ilişkin yer bulduru haritası Şekil 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.3. Güneysu su toplama havzasına ilişkin yer bulduru haritası

Tez çalışması dört aşamada gerçekleştirilmiştir; (i) öncelikle konuya ilişkin ulusal ve uluslararası literatür değerlendirilmiştir; (ii) literatür araştırmasının gerçekleştirilmesine müteakiben çalışma sahasının genel özellikleri incelenmiştir; (iii) bununla birlikte Güneysu su toplama havza alanına ait sığ heyelan envanterinin oluşturulmasına yönelik ayrıntılı araştırmalar yürütülmüştür; (iv) SINMAP matematiksel modeli kullanılarak çalışma sahası içerisindeki sığ heyelanlara ilişkin duyarlılık analizinin yapılmasında önem arz eden gerekli mekanik ve hidrolojik özelliklerinin tayini amacıyla arazi çalışmaları süresinde araştırma çukurlarından örselenmiş ve örselenmemiş örneklemeler alınmıştır. Çalışma sahasının genel özellikleri kapsamında sahanın jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları değerlendirilmiştir. Hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışması kapsamında; sığ heyelan envanteri oluşturulup, jeoteknik saha incelemeleri ve jeofizik etütler yapılmıştır. Çalışma

sahasından elde edilen örnekler; laboratuvar çalışması kapsamında incelenmiştir. Son aşama olan SINMAP modeli kapsamında ise sığ heyelan envanteri kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama ve kalibrasyona müteakiben heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Tez çalışmasına ilişkin iş-akış diyagramı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Tez çalışmasına ilişkin iş-akış diyagramı

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. SINMAP Matematiksel Modeline İlişkin Kuramsal Bilgiler

SINMAP matematiksel modeline ilişkin kuramsal temeller Pack vd. (2005)'den özetlenmiştir. SINMAP teorisi ilk olarak British Columbia'daki (Kanada) ormancılık sektöründe ihtiyaç duyulan yamaç stabilitesi uygulamalarına çözüm üretmek amacıyla ortaya atılmıştır (Pack vd. 1998). Teori, dünyanın diğer birçok bölgesinde görülen sığ kayma derinliğine sahip heyelanlara da uygulanır niteliktedir.

Literatürde yamaç duraysızlığı ve heyelan tehlikelerini değerlendirmede birçok yaklaşım bulunmaktadır. En yaygın kullanılanları; (i) heyelanlara duyarlı bölgeleri belirlemek için bir kontrol listesi kullanarak alanı incelemek; (ii) heyelan envanter analizlerinden potansiyel duraysızlığın tahmini; (iii) yamaç duraysızlığı gözlenen bölgeleri karakterize eden faktörlerin çok değişkenli analizi; (iv) eğim, litoloji, arazi şekli veya jeolojik yapısı gibi kriterlere bağlı olan stabilitenin derecelendirilmesi; (v) stokastik hidrolojik benzetim modeli ile yamaç stabilitesi modellerine dayalı yenilme olasılığı analizi.

Bunların her biri temel uygulamalar için son derece değerli görülmektedir. Ancak hiçbirisi, ağırlıklı olarak yüzey topoğrafyasının etkin olduğu moloz akmaları ve sığ heyelanları kontrol eden önemli parametreleri; artan zemin doygunluğu, artan boşluk suyu basıncı ve kayma mukavemetinin azalması ve sığ yüzey altı akımlarını dikkate almamaktadır (Montgomery ve Dietrich 1994). Sayısal yükseklik modeli (SYM) verilerinin ulaşılabilirliği, yamaç duraysızlığı ve heyelan oluşumu ile ilişkili topoğrafik özellikleri belirlemek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerinden yararlanılan yöntemlerin gelişimine olanak sağlamaktadır. CBS teknolojisi, duraysızlık modellerinin SYM ölçeğinde haritalanmasına izin vermektedir. Bu kapsamda konuya ilişkin kayda değer katkılar Montgomery ve Dietrich (1994); Wu ve Sidle (1995)'a aittir. Montgomery ve Dietrich (1994), özgül havza alanı ve eğime bağlı olarak gelişen yamaç stabilite sınıflarını tanımlamak için kontur tabanlı kararlı hidrolojik koşulları ve sonsuz yamaç stabilite modelini (kohezyonsuz topraklar için basitleştirilmiş) birleştirmektedir. Wu ve Sidle (1995) kohezyon ve değişken kök kuvvetini değerlendiren sonsuz şev stabilitesi modeliyle, hidrolojinin dinamik modelini birleştiren daha kapsamlı bir model sunar.

SINMAP yaklaşımı, Montgomery ve Dietrich (1994)'in birleştirmiş olduğu sonsuz yamaç stabilite modeliyle kararlı hidrolojik kavramı ile benzerlik göstermektedir. Yine de birkaç farklılıktan söz etmek mümkündür: (i) kontur tabanlıdan ziyade grid tabanlı SYM yöntemi Tarboton (1997)'in çalışmasını takiben kullanılır. Bu seçim esas olarak uygunluk nedenlidir. Grid tabanlı SYM'ler daha yaygındır ve analizi daha kolaydır. (ii) Kohezyon (c), sonsuz yamaç stabilite modelinde korunur. Bu, Wu ve Sidle (1995) tarafından modellenen zemin kohezyonu veya kök kuvvetini açıklamak için kullanılabilir veya kohezyonsuz durumları değerlendirmek isteyen kullanıcı tarafından sınırlandırılabilir. (iii) Değişken, üniform olasılıksal dağılımın kullanımı ve kesin olmayan değişkenlerdeki alt ve üst sınırlar boyunca belirsizlikle bir araya getirilir. Bu, U.S. Orman Servisi için Hammond vd. (1992) tarafından geliştirilen Level I Stability

Analizinin (LISA) olasılıksal yaklaşımıyla benzerdir. Bu yüzden SINMAP yaklaşımı arazi stabilite haritalanmasındaki değişkenlerin tahminiyle ilişkili gerçek belirsizliği yansıtmaktadır. Parametrelere ilişkin alt ve üst sınır değerlerinin birbirine eşit alınması ve kohezyon değerinin sıfır alınması durumunda model deterministik duruma (Montgomery ve Dietrich 1994) indirgenmektedir. Hidrolojik nemlilik parametresinin belirsizlik aralığı, belirli bir aralıkta değişim gösteren; Wu ve Sidle (1995) tarafından kullanılan fırtına verisinin dinamik olarak değerlendirilmesine imkân vermektedir; bu durumda meteorolojik veri ve analizine ihtiyaç duyulmamaktadır.

SINMAP yaklaşımı, sığ yeraltısuyu akışı tarafından kontrol edilen sığ düzlemsel yenilme durumu için uygulanmaktadır. Yaklaşım, derin yüzeyli toprak akması ve dairesel kaymalara uygulanmamaktadır. Teoriyi uygulamak için gerekli olan veriler, hem konum hem de zamanda önemli derecede değişebilen zemin ve iklim özellikleri içermektedir. Söz konusu teori, sayısal olarak hassas girdi verisi gerektirmez ve bu belirsizliği temsil eden değer oranlarını kabul etmektedir. Analizlerle elde edilen stabilite indeks değeri tam olarak sayısal biçimde (deterministik) yorumlamayı gerektirmez; göreceli tehlike anlamında değerlendirilmektedir. Çıktının doğruluğu, SYM veri girişi doğruluğuna önemli derecede bağlıdır. Ayrıca çıktının doğruluğu, bilinen heyelan başlangıç bölgelerinin doğru konumlandırılmasına önemli derecede bağlıdır. Bu yüzden çıktının doğruluğu, doğru SYM ve heyelan envanter verilerinin elde edilmesine ihtiyaç duymaktadır.

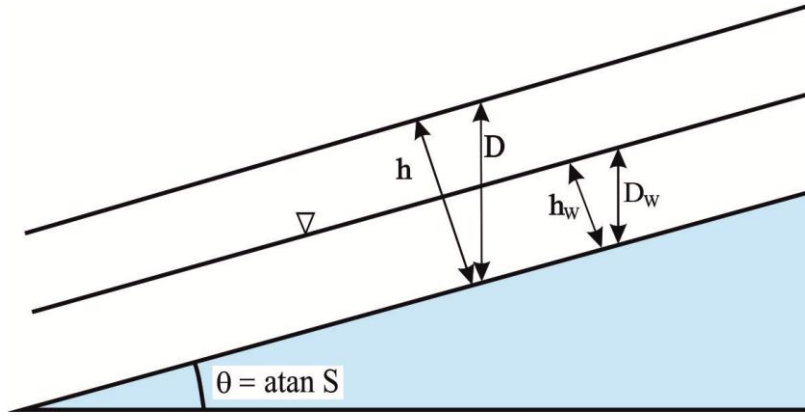
SINMAP, orman planlama ve yönetimi, orman mühendisliği ve diğer doğal afet çalışmaları için kullanılabilir. Analizde kullanılan arazi kontrolü, heyelan envanter verileri ve SYM verilerinin doğruluğuna bağlı olan SINMAP, hem orta ölçek sayılabilecek düzeydeki haritalama çalışmalarında (1/20.000 ölçekli) hem de detaylı haritalama çalışmalarında (1/20.000'den 1/5.000'e değişen ölçekli) faydalı bir araç olarak kullanılabilir.

2.1.1. Sonsuz şev stabilitesi modeli

Sonsuz şev stabilitesi için güvenlik faktörü (FS) Denklem 2.1'deki gibi verilmektedir (Hammond vd. 1992):

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \tan \phi}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (2.1)$$

Burada C_r ve C_s sırasıyla kök direnci ve toprak kohezyonudur (N/m^2). D düşey toprak kalınlığı (m), D_w toprak katmanı içerisindeki düşey su yüksekliği (m), ρ_s toprağın doğal yoğunluğu (kg/m^3), g yerçekimi ivmesi ($9,81 m/s^2$), ρ_w suyun yoğunluğu (kg/m^3), θ yamaç eğimi ve ϕ içsel sürtünme açısını göstermektedir. Şekil 2.1, denklem (2.1) 'deki varsayılan geometriyi göstermektedir.



Şekil 2.1. Şematik sonsuz şev stabilitesi modeli (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)

Hidrolojik modelde, düşey ölçülen toprak derinliğine göre toprak kalınlığı (h) yorumlanmaktadır (Denklem 2.2).

$$h = D \cos \theta \quad (2.2)$$

SINMAP modeli içerisinde, Denklem 2.1'deki güvenlik faktörü (FS) değeri, Denklem 2.3'deki güvenlik faktörü değerine indirgenmektedir.

$$FS = \frac{C + \cos \theta [1 - wr] \tan \phi}{\sin \theta} \quad (2.3)$$

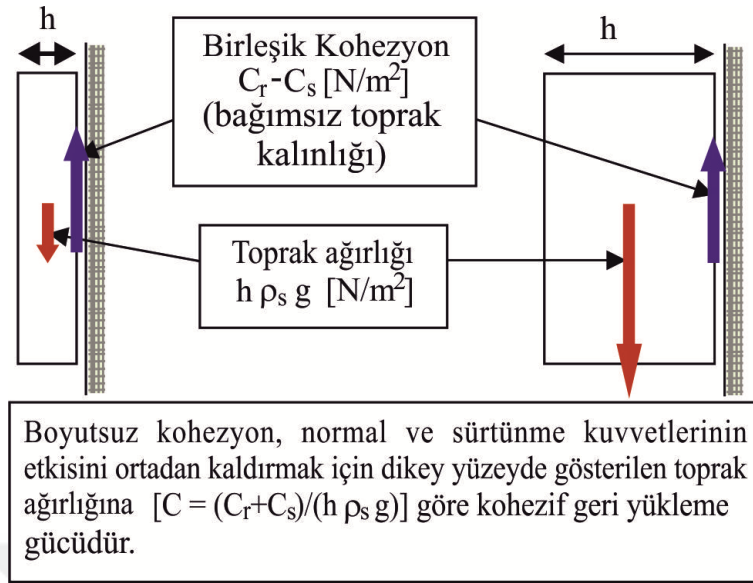
Burada C boyutsuz kohezyon sabiti, w bağıl nemlilik, r yoğunluk oranı değerini ifade etmektedir. C , w ve r değerlerine ait bağıntılar Denklem 2.4, Denklem 2.5 ve Denklem 2.6'da verilmiştir.

$$C = (C_r + C_s) / h \rho_s g \quad (2.4)$$

$$w = D_w / D = h_w / h \quad (2.5)$$

$$r = \rho_w / \rho_s \quad (2.6)$$

Denklem (2.3) sonsuz şev stabilitesinin boyutsuz bir şeklidir. Kohezyonun; boyutsuz kohezyon (C) faktörü halinde toprak yoğunluğu ve kalınlığı (Denklem 2.4) ile birleştirmektedir (toprak ve kök özelliklerinden dolayı). Toprak kalınlığı doğal mukavemetin bir göstergesidir (Şekil 2.2). Boyutsuz kohezyon değerinin düşmesi ile FS düşer. Denklem (2.3)'ün payındaki ikinci terim, toprağın içsel sürtünmesine bağlı olarak stabilitenin katkısını (sürtünme açısı ϕ veya sürtünme katsayısı, $\tan \phi$) belirtmektedir. Artan gözenek suyu basıncına bağlı olarak toprak matriksi tarafından taşınan normal kuvvetlerdeki azalmalar nemliliği arttırmaktadır.



Şekil 2.2. Boyutsuz kohezyon faktörü kavramının gösterimi (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)

Pratik olarak model, her bir grid noktasında eğim ve nemlilik değerlerini hesaplamaya çalışır, ancak diğer parametrelerin daha büyük alanlar üzerinde sabit (veya sabit olasılık dağılımlarına sahip olduğu) olduğu varsayılmaktadır.

2.1.2. Topoğrafik nemlilik indeksi

Birim kontur uzunluğu [m²/m] başına yamaç alanı olarak tanımlanan özgül havza alanı 'a'nın ortaya çıkışı, hidrolojideki son en önemli gelişmelerden biri olmuştur (Beven ve Kirkby 1979). Bu gelişmeler, arazi gözlemlerine bağlı olarak yakınsak alanlarda suya doymun veya yüksek toprak neminin mevcut olduğu durumlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

TOPMODEL'de (ve diğer benzer topoğrafik temelli nemlilik indeksi modellerinde) aşağıdaki varsayımları yaparız:

(1) Sığ yanal yüzeyaltı akışı topoğrafik eğimi izlemektedir. Bu kabul; özgül havza alanı olarak da ifade edilen, herhangi bir noktada akışı destekleyen beslenme alanının yüzey topoğrafyasından tanımlanmasını sağlar.

(2) Her bir noktadaki yanal akış (discharge) ile kararlı koşullarda beslenme R [m/sa] (recharge) dengededir.

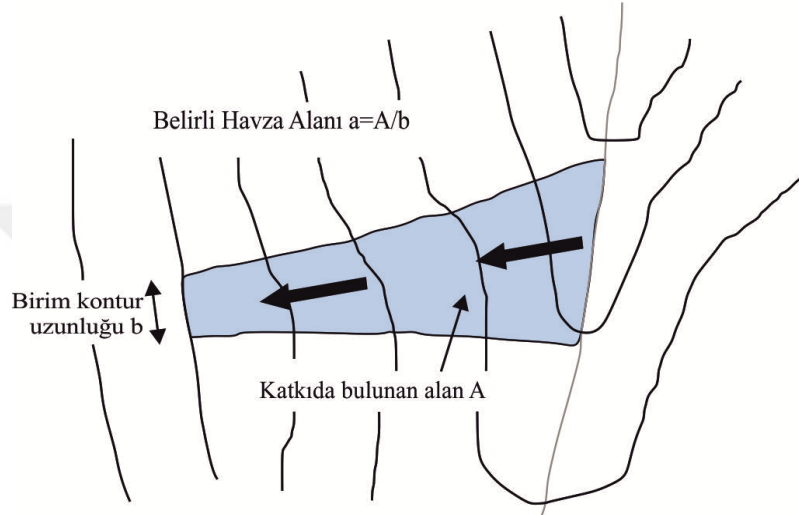
Bu iki kabulün yapılması; birim kontur uzunluğunda gelişen yanal akışın (q , m²/sa) aşağıda verilen Denklem 2.7 ile hesaplanmasına imkan vermektedir:

$$q = Ra \quad (2.7)$$

(3) Her bir noktadaki yanal akış kapasitesi $T \sin \theta$ 'dır. 'T' toprak iletkenliği [m^2/sa]; Hidrolik iletkenlik K [$m/saat$] ile toprak kalınlığının h [m] çarpımına eşittir (Denklem 2.8).

$$T = Kh \quad (2.8)$$

Varsayım (3), genel bir TOPMODEL (Beven ve Kirkby 1979) ile karşılaştırıldığında farklılık içerir; bu yaklaşımda hidrolik iletkenliğin derinlik ile azalmadığı kabul edilmektedir.



Şekil 2.3. Özgül havza alanı belirleme (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)

Bunun yerine, nispeten geçirimsiz bir anakayanın üzerinde kalan bir toprak örtüsünün üniform iletkenliği varsayılmaktadır. SINMAP stabilite indeks değerlerinin hesaplanmasında kararlı hidrolojik koşullar (O'Loughlin 1986; Beven ve Kirkby 1979) ve sonsuz yamaç modeli (Hammond vd. 1992) kavramları bir arada değerlendirilmektedir. Hidrolojik model, zemin doygunluğunun konumsal dağılımını haritalamak için nemlilik (w) değerini (Denklem 2.9) kullanmaktadır (Pack vd. 1998).

$$w = \frac{Ra}{T \sin \theta} \quad (2.9)$$

Burada; "R" beslenme; yağış miktarı olarak alınmaktadır; bu değer ön görülen infiltrasyon oranı kadar indirgenebilir (m/sn). "a" özgül havza alanı (A/b , m^{-1}); $a=A/b$; "A" yağışın etki ettiği alan (m^2), "b" A alanının alt birim uzunluğu (m) olarak verilmektedir (Şekil 2.3). Burada sığ yüzeyaltı akışının söz konusu parametreler ile temsil edilebildiği kabulü yapılmaktadır. "T" toprağa ait iletkenlik (transmissivite) değeri (m^2/sa) ve θ yersel yamaç eğimi (derece) değeridir. Tek bir parametre olarak ele alınan R/T oranı hidrolojik ve iklim faktörlerini birleştirmektedir.

2.1.3. Stabilité indeksi tanımı

Esas olarak; Denklem 2.3 ve 2.9'un bir arada değerlendirilmesine müteakiben SINMAP'de stabilité indeksi (SI) Denklem 2.10'da hesaplanmaktadır:

$$SI = \frac{[C + \cos \theta \left[1 - \left(\frac{Ra}{T \sin \theta} \right) r \right] \tan \theta}{\sin \theta} \quad (2.10)$$

SINMAP matematiksel modeli genel anlamda; toprağın yoğunluk oranını sabit tutmakta, buna karşılık toprağın makaslama dayanım parametrelerinin; kohezyon ve içsel sürtünme açısının ve iletimlilik/beslenme (T/R) oranının, tanımlanan alt ve üst sınır değerler arasında üniform olasılık dağılım modeline göre değişimine izin vermektedir (Paulin ve Bursik 2009). Üniform dağılımlar için $R/T = x$, $\tan \phi = t$ tanımı yapılırsa; alt ve üst sınır değerlerini gösterir bağıntılar Denklem 2.11'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} C &\sim U(C_1, C_2) \\ x &\sim U(x_1, x_2) \\ t &\sim U(t_1, t_2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

$c=c_1$, $x=x_2$ ve $t=t_1$ olduğunda en kötü durumdaki olasılığı tanımlar. Bu durum Denklem 2.12'de verilmiştir.

$$SI = FS_{\min} = \frac{C_1 + \cos \theta \left[1 - \min \left(x_2 \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] t_1}{\sin \theta} \quad (2.12)$$

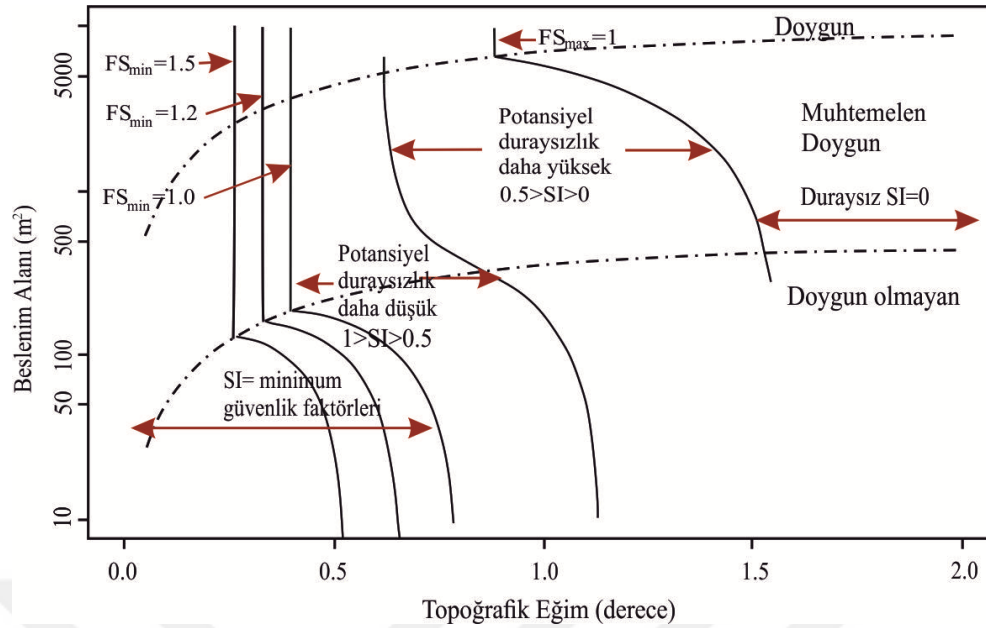
Eğer $FS_{\min} < 1$ ise $SI = \text{Prob}(FS > 1)$ yani $(0 < SI < 1)$ olur. Eğer $FS_{\min} > 1$ ise $SI > 1$ elde edilir.

$c=c_2$, $x=x_1$ ve $t=t_2$ olduğunda en iyi durumdaki olasılığı tanımlar. Bu durum Denklem 2.13'de verilmiştir.

$$FS_{\max} = \frac{C_2 + \cos \theta \left[1 - \min \left(x_1 \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] t_2}{\sin \theta} \quad (2.13)$$

Eğer $FS_{\max} < 1$ ise $SI = \text{Prob}(FS > 1) = 0$ yani $SI = 0$ elde edilir.

Stabilité indeksini anlamak için bir görselleştirme Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Beslenme alanı ve topoğrafik eğimle stabilite indeksinin değişimi (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)

Bu bağlamda SINMAP; modelin uygulandığı araziye heyelan duraylılık sınıfları açısından, 6 alt duraylılık sınıfına ayırmaktadır (Çizelge 2.1). Sistemin geliştiricileri; bu sınıfların hesaplanan SI değerlerinden itibaren öznal olarak tanımlandığını; kullanıcıya bağlı olarak sınıf geçiş aralıklarının yeniden tanımlanabileceğini ifade etmektedirler (Pack vd. 1998). Temel yaklaşımı yukarıda bahsedilen SINMAP yönteminde girdi verileri olarak aşağıda Çizelge 2.2'de verilen parametrelerin girilmesi suretiyle alana ait duraylılık (dolayısıyla duyarlılık) haritası elde edilmektedir.

Çizelge 2.1. Stabilite indeks (SI) değerine bağlı olarak tanımlanan duraylılık sınıfları (Pack vd. 1998)

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

Çizelge 2.2. SINMAP modeli için hesaplanması/tanımlanması gereken parametreler

Parametreler	Alt limit	Üst limit
Kohezyon (boyutsuz)		
İçsel sürtünme açısı (derece)		
T/R		

2.1.4. Sayısal yükseklik modeli yöntemleri

Topoğrafyayı dijital olarak kodlamak için kullanılabilen veri depolama yapıları şunları içermektedir: (1) Grid tabanlı Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM); (2) Düzensiz Üçgen Ağları (TIN'ler); ve (3) Kontur tabanlı depolama yapılarıdır. Grid tabanlı SYM'ler, bir matris düğümünde depolanan her pikselin topoğrafik yüksekliği ile matris veri yapısından oluşmaktadır. TIN'ler, düzensiz aralıklı düğümlerde X-Y konumunu ve yüksekliğini depolamaktadır. Kontur tabanlı veri yapıları; vektör verilerini kontur çizgileri boyunca saklamaktadır. Eğim ve özgül havza alanı bu yapıların her birinde hesaplanabilir ve bu nedenle burada sözü edilen teori bu yapıların herhangi birinde uygulanabilmektedir. SINMAP için; kolaylığı ve Coğrafi Bilgi Sisteminin işlevselliği ile olan uyumluluğunun yanı sıra verilerin hazır bulunması ve kullanımlarıyla ilgili daha önceki deneyimler nedeniyle grid tabanlı SYM'ler seçilmiştir. SINMAP içinde kullanılan Grid tabanlı SYM işleme programları: O'Callaghan ve Mark (1984); Marks vd. (1984); Band (1986); Jenson ve Domingue (1988); Tarboton (1989); Tarboton (1997); Garbrecht ve Martz (1997) tarafından açıklanan yöntemlere dayanmaktadır. 4 adımdan oluşmaktadır: (1) çukur doldurma düzeltmeleri, (2) yamaçların ve akış yönlerinin hesaplanması, (3) özgül havza alanının hesaplanması ve (4) SINMAP stabilite indeksinin hesaplanması.

2.1.4.1. Çukur doldurma düzeltmeleri

Dijital yükseklik verilerindeki çukurlar, SYM bakımından akışa izin vermeyen yüksek arazilerle çevrili grid elemanı kümeleri için grid elemanı olarak tanımlanmıştır. Bunlar doğal topografyada nadir görülen ve genelde SYM'in hazırlanmasındaki ayrık doğa ve veri hataları nedeniyle oluşan ürünler olarak düşünülmektedir. Bu düzeltme ile SYM içindeki her bir çukurdaki grid hücresinin yüksekliğindeki artış, çukur çevresindeki en düşük akma noktasının yükselmesi sağlanmaktadır.

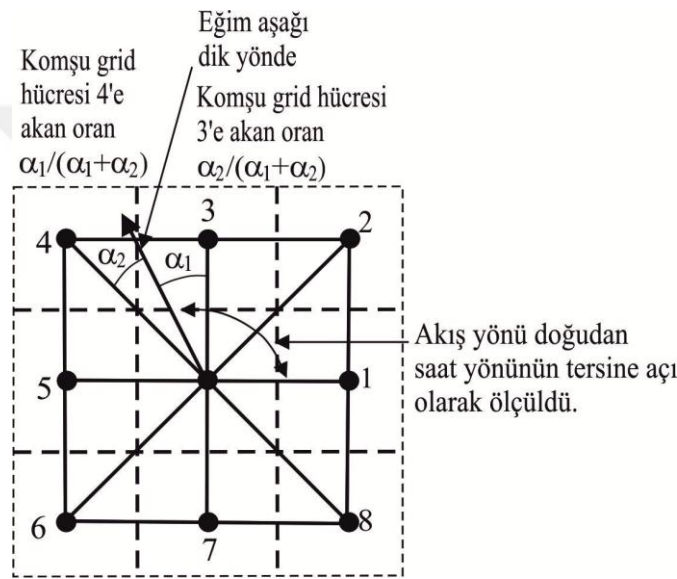
2.1.4.2. Yamaçlar ve akış yönleri

Akış yönlerini belirlemenin en eski ve en basit yöntemi, her bir grid hücresinden, en dik eğim yönünde, bitişik veya çapraz olarak sekiz komşusundan birine akışı atamaktır. D8 (8 akış yönü) olarak adlandırılan bu yöntem, O'Callaghan ve Mark (1984) tarafından tanıtılmış ve yaygın şekilde kullanılmıştır. D8 yaklaşımının sınırlaması, akışın sadece 45° ile ayrılmış sekiz muhtemel yoldan birine bölünmesidir. SINMAP, Tarboton (1997) tarafından geliştirilen çok yönlü akış yöntemi olan D_∞ yöntemini kullanmaktadır.

Bu yöntemde, doğudan saat yönünün tersine ölçülen akış yönü açısı 0 ile 2π arasındaki sürekli bir değer olarak temsil edilmektedir. Bu açı, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi ilgili grid hücresi üzerinde merkezlenmiş 3×3 grid hücre penceresinde oluşturulmuş sekiz üçgen yamacının en dik eğiminin yönü olarak belirlenmektedir. Her grid hücresi ile sekiz komşu arasında sekiz adet düzlemsel üçgen yüzey oluşmaktadır. Bunların her biri, merkezden dışa doğru çekildiğinde merkez noktasındaki yüzeyin 45° ($\pi/4$ radyan) açının içinde veya dışında bulunan açıda olan bir düşme vektörüne sahiptir. Eğim vektör

açısı, yüzey açısına dâhil edilirse, bu yüzey ile sağlanan en dik akış yönü, en dik kenar boyunca alınmaktadır. Grid hücresi ile ilişkili eğim ve akış yönü, sekiz yüzeydeki en dik düşme vektörünün büyüklüğü ve yönü olarak alınmaktadır. Bu, Tarboton (1997) tarafından verilen denklemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Eğim vektörlerinin pozitif olmadığı durumda (eğim azalışı), düz alanlar arasındaki akış yönünün belirlenmesi için Garbrecht ve Martz (1997)'in yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, düz alanlarda akışın yüksek kottan daha düşük kota olacak şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu prosedürler SINMAP'te kullanıldığında çok az etkiye sahiptir, çünkü düz alanlar her zaman koşulsuz duraylıdır, ancak diğer hidrolojik kullanımlardaki bütünlük ve uyumluluk için üretilen haritalardaki veri boşluklarından kaçınmak için dâhil edilmiştir.



Şekil 2.5. Akış yönü, blok merkezli bir grid üzerindeki düzlemsel üçgen yüzeylerde en dik eğim olarak tanımlanmıştır (Pack vd. 2005'ten Türkçeleştirilerek alınmıştır)

2.1.4.3. Özgül havza alanı

Yamaç alanı (grid hücrelerinin sayısına göre sayılır), tek yönde çok verimli geri dönüşümlü algoritmanın bir uzantısı olan geri dönüşümlü bir yöntem kullanılarak hesaplanmaktadır (Mark 1988). Her bir grid hücresinin yamaç alanı kendi alanının (bir) fazlasını, yamaç komşularına doğru drene eder ve bu da alanın bir kısmını drene etmektedir. Ana yön ($0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$) veya diyagonal ($\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$) çizgisi boyunca açılar her hücreden akmaktadır; dolayısıyla grid hücresinin komşu yönünde akışı veya iki bitişik komşu arasında kalan bir açıda akış gerçekleşmektedir. Özgül havza alanı a , burada birim kontur uzunluğu başına karşılık gelen havza alanıdır ve burada hücre sayısı grid hücre boyutu sayısı olarak alınmaktadır. Bu, grid hücrelerinin boyutu (Şekil 2.5) etkin kontur uzunluğu olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Önceki Çalışmalar

Davis ve Blesius (2015) tarafından yapılan çalışmada, San Pedro Creek (Pacifica, CA, ABD) Eyaletinde son yıllarda meydana gelen heyelanların sebeplerinin araştırılması ve daha önceden oluşturulmuş envanter haritalarının doğrulanması ve kalibrasyonu amaçlanmıştır. 21,3 km²'lik bir alana sahip olan havza, dik tepeler ve tehlikeli koşullar nedeniyle sayısız heyelan ve hidrolojik çalışmanın odağı olmuştur. Egemen yüzey jeolojisi, yakın kenarlı plaka sınırındaki artan deniz çökellerinden oluşmaktadır. Sağ yanal Pilarcitos fayı ile Jura/Kretase yaşlı Franciscan grovak, melanj, yeşil taş, kireçtaşı ve serpantinit'in kuzeyde birleşmesi ve Paleosen denizel tortul kayaçlarının, kıyı kayalıkları boyunca türbidit yatakları da dâhil olmak üzere güneyde bölünmektedir. Değişik kalınlıktaki mollisoller, aşınmış kayalar, yamaç molozu, vadi dolguları ve kolüviyaller da bölgede görülmektedir. Yüksek bitki örtüsü toplulukları; anakayaların tipi, toprak derinliği, eğim ve eğim yönü ile etkilenmektedir, Arctostaphylos gür çalılıkları, dik bölgeler ile ince topraklarda, kolüviyal ise kıyılarda yaygın olarak görülmektedir. Dik bir arazi ve nispeten zayıf anakayanın bir araya gelmesi ile artan yağış olayları sırasında geniş moloz akmaları ve toprak kaymaları meydana gelmektedir. Yıllık yağış miktarı 840 mm olup, %90'ı Kasım ve Nisan ayları arasında görülmektedir. Yeraltı hidrolojisi, sığ heyelanların önemli bir nedenidir. Heyelanlar geniş ölçüde 26°-45° eğimlerde ortaya çıkmaktadır ve havzanın %35'inden fazlası bu aralığa karşılık gelmektedir. Kentleşme, havzadaki heyelan tehlikelerini arttıran önemli bir faktör olmuştur. San Pedro Creek havzasında meydana gelen toprak kaymalarını hem zamanda hem de mekânda envanteri derlemek için arşiv araştırması, hava fotoğrafı yorumu ve saha incelemeleri bir araya getirilmiştir. Yüzey jeolojisi, büyüyen bitki örtüsü, akarsu ve yol ağlarına uzaklıklar, eğim ve yüksekliğin eğrilik türevleri gibi çevresel faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Yükseklik verileri, ABD Jeolojik Araştırma Kurumu'ndan alınan LiDAR 3 m ve fotogrametrik konturlardan 10 m olmak üzere iki çözünürlükte elde edilmiştir. Bu makalede, fiziksel temelli heyelan duyarlılık modeli "Stability INdex MAPping" (SINMAP) ile MaxEnt'i birleştiren hibrid bir yaklaşım tanımlanmıştır. Bu araştırma, SINMAP'te elde edilen verilerin maksimum entropi modeli (MaxEnt) boyunca dâhil edildiği hibrid veya topluluk tipi modeldir. Hibrid heyelan duyarlılık modeli; toprak, yüzey jeolojisi ve yükseklik verilerini kullanan bir indeks türetmekle başlamaktadır. Transmissivite ve toprak kalınlığı, toprak ve kolüviyal kalınlığından türetilmiştir. Sonuç olarak, envanterde yer alan toprak kaymaları, SINMAP tarafından çoğunlukla duraysız olduğu tahmin edilmiş olup, 1,0'dan düşük stabilite indeksi olan alanlarda tahmin edilen heyelan başlangıç noktalarının birçoğunun daha önce elde edilmiş olan envanter haritalarında görülmüştür. Hibrid modeli ve SINMAP'ten gelen stabilite indeks verileri diğer faktörlerle birlikte maksimum entropi modeli boyunca değerlendirilmektedir. Heyelanların çoğu doğu ve güney yöndeki dik yamaçlardaki çalılık alanlarda meydana gelmiştir. Ancak kuzey-merkez tepe yamacında otlar olsa da heyelanların gerçekleşme ihtimali tepelerde yüksektir. Heyelanlar, kolüviyal yatakları üzerinde bol miktarda gelişmiştir.

Nery ve Vieira (2015) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı, Serra do Mar'da 22-23 Ocak 1985 tarihleri arasında gerçekleşen olayda bir drenaj havzasındaki sığ heyelanların duyarlılığını değerlendirmektir. Burada incelenen olayda 48 saatte yaklaşık 380 mm yağış meydana gelmiştir. Bu çalışma için Ultrafertil drenaj havzası seçilmiştir.

Bu havza, Sao Paulo eyaletindeki Serra do Mar boyunca yer almaktadır. Çalışma sahası, 2,5 km² lik bir alan olup, 30° ile 40° arasında değişen açılar ve çoğunlukla D-GD'ya bakan konveks ve doğrusal eğimler baskındır. Çalışma alanı, Prekambriyen metamorfik ve volkanik kayalar, migmatit, mika şistler, gnayslar ve granitlerden oluşmaktadır. Bu alan için yıllık ortalama yağış 3,300 mm/yıl seviyeye ulaşmaktadır. Serra do Mar'daki yoğun yağış, genellikle Antarktika kutup bölgesinden gelen soğuk cepheler ile Brezilya kıyılarındaki sıcak tropikal hava kütleleri arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Serra do Mar'da, yüzey tabakaları 1-2 m kalınlığında verimli kum dokusuna sahiptir; 3-4 m kalınlığındaki alt tabaka, saprolitik bir zeminden ve kumlu bir dokudan oluşmaktadır. Morfolojik parametreler (eğim açısı, yamaç yönelimi, eğrilik ve hipsometrik özellikler) topoğrafik haritalardan (1:10.000 ölçek) oluşturulmuş 2m çözünürlüklü dijital arazi modelinden türetilmiştir. 1985'te meydana gelen heyelanın başlangıç noktalarının konumunu haritada belirlemek için Ulusal Uzay Araştırmaları Enstitüsünden (INPE) alınan 1:25.000 ölçekli ortofotolar kullanılmıştır. Daha önceden ifade edilmiş olduğu üzere Pack vd. (1998) tarafından geliştirilen SINMAP matematiksel modeli, stabilite modeli ile stabilite indeksini (SI) tanımlamak için kullanılan bir hidrolojik modelin kombinasyonuna dayanmaktadır. Modelin kohezyon değişkenleri (c_r ve c_s) ve geçirgenliğini (T) ifade eden jeoteknik ve hidrolojik veriler daha önce Serra do Mar'da Wolle ve Carvalho (1994); Amaral (2007) ve Mendes (2008) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Hidrolik iletkenlik için, benzetmeler, insitü olarak Wolle ve Hachich (1989) tarafından toplanan değerlere dayanılarak, yalnızca bir geçirgenlik değeri varsayılmaktadır ($T = 1,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sn}$). Bu veriler, yerinde ve laboratuvarında test edildikten sonra, toprak içindeki infiltrasyon hareketliliği ve Serra do Mar'da meydana gelen sığ heyelanların oluşumundaki rolü değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler ve T/R oranı ile her parametrenin toprak kalınlığına (1, 1,5 ve 3,5 m) göre değişen 32 tane senaryo oluşturulmuştur. Daha yüksek duyarlılık sağlamak için, duyarlılık alanı ve heyelan başlangıç noktaları arasında bir korelasyon yapılarak en iyi üç senaryo geliştirilmiştir. Bu modelin en hassas parametresi T/R oranıdır. SINMAP modeli, havzada bulunan toprağın jeoteknik değerleri bu çalışmada kullanılmamasına rağmen, Ocak 1985'te meydana gelen heyelanların yaklaşık % 90'ını tahmin eden olumlu sonuçlar vermiştir. Bu nedenle, bu modelin hatta benzerinin bile, bu süreçlerden sıklıkla etkilenen, çok sayıda ölümle sonuçlanan ve önemli sosyal ve çevresel hasarlara neden olan Serra do Mar'da sığ heyelanların tahmininde büyük öneme sahip olduğuna inanılmaktadır.

Pfeil-McCullough vd. (2015), kent örtüsündeki dişbudak ağacı kaybının Pittsburgh, PA'daki heyelan duyarlılığına etkisini tahmin etmek ve söz konusu problemin önlenmesine yönelik araçların geliştirilmesini amaçlamıştır. Dişbudak ağacı; örtü cinsi ve dişbudak ağaçlarının yok olmasına sebep olan, üzerinde hareket eden Asya'nın doğusundaki istilacı bir kabuk böceğidir (BenDor vd. 2006, Tanis ve McCullough 2012). Dişbudak ağacı, birçok kentsel ormanda baskın bir türdür ve ABD'nin doğusundaki kentsel alanlarda geniş ve yaygındır (Vannatta vd. 2012). Bu nedenle, bu araştırma, dişbudak ağacı kaybı ve kentsel yamaç stabilitesinde ortaya çıkan değişikliklere dayanmaktadır. Çalışma Pittsburgh, Pensilvanya şehir sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Pittsburgh, Pensilvanya, yerel jeoloji ve topografya nedeniyle, toprak kaymalarına meyilli bir şehirdir ve şehir sınırları içerisinde yüzlerce heyelan kaydedilmiştir (Pomeroy 1982). Ayrıca, orman patojenleri Pittsburgh kent ormanında çok sayıda önemli örtü türlerini öldürmektedir. Bu çalışma, yamaç duraylılık modeli

olan SINMAP 2.0 (Stability Index MAPping) kullanılarak Pittsburgh'taki örtü kayıp senaryolarından kaynaklanan heyelan duyarlılıkta meydana gelen değişiklikleri karakterize etmektedir. Pittsburgh kent ormanındaki dışbudak ağaçlarının mekânsal dağılımı iTree Ekosistem Analizi ve Verileri (Davey Kaynak Grubu 2012) ve Doğal Alanlar Araştırması (NAS) (Biohabitats 2010) ile ağaç oranları belirlenmiştir. Bu veri kümelerindeki çizimler yedi eğim aralığında (0-10°, 11°-20°, 21°-30°, 31°-40°, 41°-50°, 51°-60°, 61°-70°) 10 m çözünürlükte Dijital Yükseklik modelinden üretilmiştir (Ulusal Yükseklik Data Set 2003). Elde edilen oranlar Monte Carlo yöntemi kullanılarak şehir için dışbudak oranını belirten harita oluşturulmuştur. Dışbudak ağaçları kentin daha dik eğimli kesimlerinde yaygındır. Ağaç kayıp senaryoları, Pittsburgh dışbudak ağaç kaybı ile yamaç stabilite değişikliklerini öngören SINMAP verilerini, oluşturmak için kullanılmıştır. Tüm toprak temelli parametreler SSURGO (Soil Survey of Allegheny County) adlı ulusal bir toprak veri tabanından elde edilmiştir. Ağaç kayıp senaryoları, uniform rastgele rasterları seçici piksel kaldırma yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Mekansal değişkenliğin model çıktısındaki önemini ve model senaryo tahminlerindeki değişimini değerlendirmek için ek bir Monte Carlo analizi yapılmıştır. SINMAP modeliyle, 100 adet %25 kayıp ağaç senaryosu rasterları ile çalıştırılarak 100 adet yarı duraysız ve duraysız piksel seti üretilmiştir. Monte Carlo sonuçları orijinal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma Pittsburgh, Pensilvanya'daki ağaç ölüm oranına bağlı olarak yamaç duraysızlığındaki değişiklikleri tahmin etmiştir. Sonuçlar, kentsel örtüdeki artan dışbudak ile yamaç duraylılığında bir azalmayı göstermektedir. SINMAP model parametreleri doğal coğrafi mekânsal değişime duyarlı değildir. Ancak, dışbudak ağaçlarının rastgele kaldırılmasına rağmen tutarlı sonuçlar üretilmiştir. Sonuç olarak SINMAP, kentsel orman yöneticileri tarafından, daha stratejik kentsel orman yönetimi kararları ve işlevinin yamaç duraylılığındaki rolü için bir araç olarak kullanılabilir.

Yılmaz ve Keskin (2009), Şebinkarahisar'ın (Giresun, Türkiye) heyelana meyilli Avutmus mahallesinde ve çevresindeki heyelan mekanizmasının anlatılması ve bazı çözüm yollarının üretilmesini amaçlamıştır. Yoğun yağış, heyelanın gerçekleşmesindeki başlıca sebeptir. Çalışma alanındaki yıllık ortalama yağış miktarı 590 mm'dir. Çoğu kayma, şiddetli yağışlar sırasında (Ocak-Mart) nehrin erozyon kapasitesinin maksimum düzeyde olduğu ve yeraltı seviyelerinin de en yüksek seviyeye çıktığı zaman aralığında meydana gelmektedir. 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak üretilen topoğrafik yükseklik haritasında ve eğim haritasında, 950 ile 1400 m arasında değişen topoğrafik yükseklikler ve ortalama eğim açısı 20° olarak görülmektedir. Heyelanlar düşük kotlarda (1,000-1,200 m) daha fazla gözlemlenmiştir. Çalışma alanı Eosen'den Kuvaterner'e kadar uzanan üç litolojik birimi içermektedir. Toprak malzeme kil, kalsit, feldispat ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Malzemenin yarısından fazlası kil olmak üzere, simetit baskın kil mineralidir. Kaymaların birçoğu granitten ayrışan toprakların (kum ve çakıllar), silt ve kilin geçirgen katmanlarının anakayanın üzerine yerleştiği durumda meydana gelmiştir. Giresun'un güneyindeki risk yönetimi çalışmalarında duyarlılık haritaları CBS destekli istatistiksel sıklık oranı (FR) ve fiziksel (SINMAP) model kullanılarak hazırlanmıştır. Son olarak, iki farklı modelden elde edilen heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılarak tartışılmıştır. SINMAP analizinin gerektirdiği parametreler, yerinde ve laboratuvar testlerine dayanılarak tahmin edilmiştir. Heyelan envanter haritası kalibrasyon amacıyla kullanılmıştır. Heyelan envanter haritası hava fotoğrafları veya ortofotolardan elde

edilmiştir. FR modeli, heyelanların %90'ının yüksek duyarlı sınıflara karşılık geldiğini ortaya koymuştur. Doğrulama, duyarlılık haritasının yüksek kalitesini göstermiştir. Fiziksel temelli heyelan duyarlılık haritalaması, Pack vd. (1998a, b) tarafından önerilen SINMAP modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki tüm heyelanların %33'ünün duyarlılık haritasının duraylı bölgesinde ve %97'si de duraysız bölgede bulunmaktadır. Daha gerçekçi sonuçlar FR modelinden elde edilmiştir, muhtemelen SINMAP sığ heyelanlarla sınırlı olduğundan, derin duraysızlıklar için yeterli değildir. Sonuç olarak, çalışma alanındaki iyileştirici tedbirler; evleri, yolları vb. korumak için tasarlanacak istinat yapılarını içermelidir. Buna ek olarak, topuk erozyonu, dere kenarında büyük kayalar ile bölmeler kurulmasıyla önemli ölçüde azaltılabilecektir. Bununla birlikte, yapılan bölmeler önemli yanıl kuvvetlere direnemeyecek ve heyelan meydana gelirse, malzeme bölmelerini geçebilecektir. Drenaj ve yeniden bitkilendirme önemli katkı sağlayacaktır.

Lan vd. (2004), Xiaojiang havzasındaki mevcut heyelanları açıklamak ve gelecekteki heyelan tehlikelerini önlemek ve azaltılması amacıyla çalışma yapmışlardır. Havzadaki şiddetli yağış yaygın toprak kaymasına neden olmaktadır. Heyelan tehlikesi; yaşam, mal ve altyapı için ciddi bir tehdit oluşturup, Xiaojiang havzasının gelişiminde büyük bir sıkıntı yaratmaktadır. Çalışma alanı, Güneybatı Çin'deki Yunnan Eyaleti, Xiaojiang havzasıdır. Bu çalışmada ilk önemli adım, heyelan envanter verileri ve hazırlayıcı faktörlerde (Armstrong ve Denaham 1990; Kim vd. 1993) dahil olmak üzere ArcGIS'de heyelanlar için mekansal veri tabanlarının oluşturulmasıdır. Heyelan envanter haritası hava fotoğraflarına bağlı olarak oluşturulmuş ve ArcGIS ortamında sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanının heyelan envanteri yaklaşık altı yüz heyelan içermektedir. Heyelanlar 87,353 km² veya çalışma alanının %3'ünü kapsar. Bu çalışmada, yedi kategoride heyelanı etkileyen faktör seçilmiş ve tanımlanmıştır. Bunlar litolojik grup, kaya kütlesi yapı grubu, büyük faylara uzaklıklar, eğim açısı, eğim yönü ve yüksekliktir. 1993 yılında Yunnan Dianhong Mühendislik Araştırma Şirketi tarafından Xiaojiang havzasındaki her litoloji oluşumundan gelen birçok örnek üzerinde fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Bu test verileri arasında kaya kütle dayanımı, kohezyon, içsel sürtünme açısı, süreksizlik aralığı, yapısal düzlemin durum koşulları ve diğer bazı fiziksel özellikler (birim ağırlık, nem içeriği, boşluk oranı, vb.) bulunmaktadır. Bu veriler ArcGIS'de mekansal veri tabanına girilmiştir. Xiaojiang havzasında yedi yapı grubu elde edilmektedir: Sert kaya masif yapı (I1), Sert kaya katmanlı yapı (II1), Yarı sert kaya katmanlı yapı (II2), Yumuşak kaya katmanlı yapı (II3) ile Ara katmanlı sert kaya, kenetlenmiş kataklastik yapı (III1), Katmanlı kataklastik yapı (III2), ve Kataklastik yapı (III3). Xiaojiang havzasındaki en önemli fay Xiaojiang'ın aktif fayıdır. Eğim açısı, eğim yönü ve yükseklik verileri, Xiaojiang havzasının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'nden çıkarılmıştır. Çalışma alanının çoğu, 40'dan daha düşük açılardaki eğimli arazilerden oluşmaktadır. Genel olarak, heyelan frekansı 0-50° aralığında eğim açısı arttıkça artmaktadır. Heyelan olaylarını etkilediği düşünülen faktörler arasındaki niceliksel ilişki, bu çalışmada Kesinlik Faktörü modeli (CF) kullanılmıştır. Yağış tarafından tetiklenen heyelanın mekansal dağılımını modellemek ve farklı yağış koşulları altında heyelan duyarlılık haritalarını hazırlamak için Stabilité İndeks Haritalama (SINMAP) modeli kullanılmıştır. Farklı yağış koşulları için heyelan duyarlılık haritaları, SYM, heyelan envanteri verileri ve jeoteknik parametreler kullanılarak modifiye edilip SINMAP modeli tarafından oluşturulmuştur. Xiaojiang havzasındaki modelin uygunluğunu kontrol etmek için, Xiaojiang havzasının

gerçek maksimum ortalama yağış miktarına bağlı olarak bir heyelan tehlike haritası hazırlanıp, istatistiksel analiz yapılmıştır. Xiaojiang havzasındaki, eşik yağış değeri 110 mm/gün olarak tahmin edilmektedir. İstatistiksel sonuçlar, tahmin edilen duraysız sınıfların bilinen toprak kaymalarının %90'ını açıklayabileceğini göstermektedir. SINMAP'ten elde edilen modele göre, sadece heyelanın gerçekleştiği alanları değerlendirmek ve açıklamakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki yağış koşullarında heyelanın meydana gelebileceği potansiyel tehlike bölgelerini de tahmin edebilmektedir. Farklı yağış koşulları altında hazırlanan tehlike haritaları tarafından sağlanan bilgiler; vatandaşların, planlamacıların ve mühendislerin olayı önleme, zararı azaltma ve problemten kaçınma yollarıyla mevcut ve gelecekteki heyelanların neden olduğu kayıpların azaltılmasına yardımcı olabilecektir.

Akgün ve Erkan (2016), Kürtün Barajı rezervuar alanının ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık açısından değerlendirilmesini amaçlamıştır. Kürtün Barajı rezervuar alanı (Gümüşhane, Kuzey Türkiye) için heyelan duyarlılık değerlendirmesi Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı çok değişkenli istatistiksel analiz ve deterministik modellerle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Lojistik Regresyon (LR) ve Stabilité İndeks Haritalama (SINMAP) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma alanı, Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinin güney kesiminde bulunmaktadır ve yaklaşık olarak 50 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanının iklimi çok nemli ve ılıktır. Yağış, kış boyunca yağmur ve kar şeklinde sıklıkla meydana gelmektedir. Türkiye Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (2013) elde edilen verilere göre, bölgenin 1954-2013 dönemi boyunca yıllık ortalama yağış miktarı 800 mm'dir (www.meteor.gov.tr). Çalışma alanındaki litolojik birimler ağırlıklı olarak yoğun volkanik, volkanoklastik ve sonradan meydana gelen kayalardan oluşmaktadır (Akgün 2011). Bu çalışmada, heyelan oluşumunda yükseklik, litoloji, eğim, eğim yönü, drenaja uzaklık, çizgisellik uzaklığı, akarsu aşındırma gücü indeksi (SPI) ve topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) verileri heyelan oluşumun ana faktörleri olarak düşünülmüştür. Çalışma ölçeği, 1:25.000 olarak seçilmiştir. Veri tabanlı yöntemleri kullanan tüm heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında heyelan envanter verileri hem modelleme hem de sonuçların geçerliliği için önemlidir. Bu amaca ulaşmak için iki farklı veri kaynağı düşünülmüştür. Başlangıçta, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA 2005) tarafından hazırlanan 1:25.000 ölçekli heyelan envanter verileri dikkate alınmıştır. Bu verilerin üretilmesinden sonra yeni heyelan oluşumu için detaylı bir arazi araştırması yapılması gerektiği ifade edilmiş ve bölgede meydana gelen ek heyelanların da ayrıntılı bir saha araştırması yapılarak, temel heyelan envanteri verilerine ilave edilip, kaydedilmiştir. Ayrıca, MTA (2005) tarafından haritalandırılan heyelanlar tekrar bölgede kontrol edilmiştir. Toplam 19 heyelan kaydedilmiş ve çalışma alanında haritalanmıştır. Belirlenen heyelanlar sığ ve genellikle kademeli bir karakter sergilemektedir. Bunlar çoğunlukla Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre düzlemsel yenilmeler olarak tanımlanmıştır. Kaymaların yaklaşık derinliği 5 ile 10 m arasındadır. SINMAP modeli ile deterministik temelli heyelan duyarlılık değerlendirmesini yapmak için, esas olarak üç veri kümesi esas alınmalıdır. Bu veriler, grid veri formatındaki alanın SYM'i, grid veya vektör veri formatındaki toprak birimlerinin mekanik ve hidrolik özellikleri ile nokta vektör veri formatındaki heyelan envanter verilerini içermektedir. Modelin kalibrasyonu için heyelan envanteri verileri de gereklidir. Bu çalışmada kullanılan parametreler laboratuvar ve saha ölçümlerinden üretilmiştir. Bu parametrelerin bir CBS ortamında LR ve SINMAP yöntemleriyle değerlendirilmesinden

sonra iki heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Ardından, üretilen haritalar doğrulama amacıyla analiz edilmiştir. Bu amaçla, ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu işlemin sonunda, LR ve SINMAP modelleri için sırasıyla 0,73 ve 0,65 AUC değerleri bulunmuştur. SINMAP modelinin performansı için, modelin ürettiği istatistiksel sonuçlar da göz önüne alınmıştır. Bu durumda stabilite indeks (SI) sınıflarının heyelan yoğunluğu dikkate alınmış ve heyelanların %89,5'inin orta ve yüksek duyarlılık sınıflarına karşılık gelen alt ve üst eşik sınıflarına girdiği saptanmıştır. Bu iki doğrulama değeri, heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun kabul edilebilir olduğunu ve haritaların bölgedeki doğal tehlike yönetimi konularında uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Terhost ve Kreja (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çalışma alanında, şiddetli yağış ve yoğun erimiş kar suyu nedeniyle gelecekte oluşabilecek heyelanların belirlenmesinde değerlendirilerek heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amaçlanmıştır. Son on yılda, Almanya'nın Öschingen kentinde bir yerleşim alanında sürekli olarak toprak kaymalarına bağlı hasar meydana gelmiştir. Auchtert araştırma alanı, Öschingen/Almanya yakınlarındaki Schönberger Kapf'teki Orta Swabian Albus'un Jurassic asimetrik alt eğimindedir. Çoğunlukla, Auchtert yerleşim bölgesi Calloviyen killerinden oluşur ve hemen hemen büyük bir dönen blok altındadır. SINMAP hesaplamasında ideal bir ölçek oluşturan, Sayısal Arazi Modeli (DTM) kontur arazi kayıt haritalarından (ölçeği 1:2.500) üretilmiştir. Ayrıntılı jeomorfolojik saha araştırması, Stabilite İndeks Haritalaması (SINMAP)'da kullanılarak topoğrafik eğim haritasının oluşturulması için önemli bir temel sağlamıştır. Ayrıntılı olarak, kalibrasyon bölgeleri için belirlenecek parametreler şöyledir: sürtünme açısı (ϕ), boyutsuz kohezyon sabiti (C) ve hidrolik iletkenlik (T veya T/R, geçirgenlik) değeridir. Araştırma alanındaki ormanın yeri dijital orto görüntülerle belirlenmiştir. SINMAP'in kapsamı kalibrasyon için alan bilgilerine dayanmaktadır; sonuç olarak, modelin çıktısı, bilinen toprak kaymasının doğru şekilde konumlandırılmasına bağlıdır (Meisina ve Scarabelli 2007). Genel olarak, Schönberger Kapf'deki topoğrafya, su dengeleri ve alt tabaka arasındaki etkileşim, geniş alanlarda duraysızlığa neden olmaktadır. Hidrolojik parametreler eğimin duraysızlaşması için gereklidir ve dolayısıyla kanal yapıları boyunca muhtemelen mevsimsel olarak artan kaynak beslenimi ve toprağın makaslama dayanımındaki azalma geçici olarak duraylılığın bozulmasına neden olurlar.

Rabonza vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, 2013'te kaydedilen en güçlü fırtınalardan biri olarak kabul edilen Haiyan tayfunu, zarar gören alanları iyileştirme ve yeniden yapılandırma için heyelan tehlike haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır. Özellikle Leyte eyaletini etkileyen yaygın güçlü rüzgârlar, şiddetli yağışlar ve fırtına dalgalanmaları, sel ve toprak kaymalarını tetiklemiştir. Sığ toprak kaymaları, yoğun yağışa maruz kalan karmaşık arazilerde en önemli tehlikelerden birini oluşturmaktadır (Liao vd. 2010). Leyte'de, kil toprağı geniş bir örtüye sahiptir. Kil çamuru ve kum da mevcuttur, ancak sadece Leyte'nin daha küçük bölümlerini kaplar. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak heyelan envanteri elde edilmiştir. Tayfun ve heyelana eğilimli Leyte eyaletinin sığ heyelan duyarlılık haritaları oluşturmak için mevcut yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik verileri kullanılmaktadır. Çalışmada, Ulusal Haritalama ve Kaynak Bilgi Kurumu tarafından sağlanan, Leyte'nin İnterferometrik Sentetik Açıklık Radarı (InSAR) verisinden üretilen DTM kullanılmıştır (NAMRIA 2013). Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, ayrıntılı sığ heyelan duyarlılık haritalarının

hazırlanmasına yardımcı olmaktadır. Yağışla tetiklenmiş sığ heyelan duyarlılık alanlarını hızlı bir şekilde değerlendirmek için, Stability INdex MAPping (SINMAP) yöntemi kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritaları 2002-2014 tarihli yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yorumlanarak elde edilen bir heyelan envanteri ile karşılaştırılmıştır. Uydu görüntüleri Google Earth'e yüklenmiş ve kontrol edilmiştir. Sığ heyelandan kaynaklanan duraysız alanlar, Leyte'nin %31'ini oluşturmaktadır. Sığ heyelanların kapsadığı duraylı alanlar %69'dur. Doğruluk değerlendirmesi, Belirleme yüzdesi (DP) ve Kaçırma faktörü (MF) hesaplanarak gerçekleştirilir. Kaçırma faktörü SINMAP modelinin gerçek toprak kayması alanlarını sabit olarak tanımladığı ihmal hata ölçüsüdür. Belirleme yüzdesi, duraysız olarak SINMAP modeli tarafından doğru sınıflandırılan heyelan alanlarının yüzdesidir (Shufelt 1999; Lee vd. 2003). Belirleme yüzdesi ve kaçırma faktörü değerlerini hesaplamak için doğruluk test edilmiştir. Sonuç olarak, SINMAP kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının, Leyte için yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilen heyelan envanteri ile karşılaştırıldığında DP değeri %97,5 ve MF değeri 0,025 ile son derece doğru olduğu bulunmuştur. Bu değerler, SINMAP yaklaşımının, çalışma alanında geniş bir jeoteknik ve hidrolojik veri tabanı eksikliğine rağmen iyi performans gösterdiğini ifade etmektedir. Buna ek olarak, haritalar, çalışma alanlarının daha ayrıntılı jeolojik ve jeoteknik değerlendirilmesiyle daha da geliştirilebilir. SINMAP modelinin sonuçlarına göre heyelanların mekansal dağılımını daha iyi belirlemek için daha çok heyelan envanter verisi gereklidir. Heyelan tehlike haritalarında bulunan heyelan duyarlılık sınıflandırması, sığ heyelanlar açısından duraylı ve duraysız alanları tanımlamak için gereklidir. Haiyan'da zarar görmüş alanların yeniden yapılandırılması için hazırlanan moloz akması ve heyelan tehlike haritalarından yararlanılmıştır.

Paulin ve Bursik (2009), sığ toprak kayması ve yamaç yenilmelerinin belirlenmesinde iki yaklaşımın (SINMAP ve MLR) geliştirilmesi, uygulanması ve denenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada duraylılık, Çoklu Lojistik Regresyon, Coğrafi Bilgi Sistemi ve Sinir Ağı'nın kısaltması olan LOGISNET kullanılarak modellenmiştir. Stability INdex MAPping (SINMAP) ve Multiple Regression Analysis (MLR) yaklaşımları LOGISNET'de tamamen uygulanmaktadır. LOGISNET, CBS teknolojisini kullanarak çok katmanlı tabakalarda güvenlik faktörü hesabı için heyelan duyarlılığını analiz edip, görselleştirmektedir. Farklı toprak katmanlarıyla heyelanların değerlendirilmesi Simon vd. (2000) tarafından yapılmıştır. Çalışma alanı, Del Norte County, California'daki Highway 101 karayolunun yakınındadır. Bölgede, Wilson Creek ile Crescent City arasındaki sahil boyunca heyelanlar, insanlar ve mülk için potansiyel olarak tehlikeli bir durum yaratmaktadır. Çalışma alanı, yüksek yağış, yüzeylerdeki zayıflık, yüksek derecede aşınma ve dik eğim (Madej vd. 1986; Wills 2000) gibi çeşitli faktörlerin birleşiminden ötürü heyelana eğilimli durumdadır. Kaya türleri esas olarak düşük dayanımlı Franciscan Kompleksidir: aşırı eklemlili melanj. Bu çalışma alanı için heyelan envanter haritası, Kaliforniya Jeolojik Araştırmalar heyelan envanteri haritası ve Nisan-Mayıs 2005'te yürütülen sığ heyelanlar saha araştırmasının bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Kaliforniya Jeolojik Araştırmalar heyelan envanter haritasındaki sığ heyelan alanlarının %35'ini doğrulamıştır. SINMAP ile varsayılan sistem parametreleri ve alan veri parametreleri, LOGISNET çoklu toprak tabakaları ve MLR kullanılarak çıktıların karşılaştırması yapılmıştır. Üç SINMAP çıktısı kaya kaymasının hâkim olduğu sahil boyunca yüksek duraysızlığı göstermektedir. Bununla birlikte, modeller, derin yerleşimli heyelanların bulunduğu iç

dağ alanlarındaki heyelanları tespit etmeyi başaramamaktadır. MLR haritası envanter haritasıyla daha iyi bir eşleşme göstermektedir. Bununla birlikte, karşılaştırma mükemmel değildir ve aşırı tahmin durumu belirgindir. Modelleri ve performansı değerlendirmek için, envanter haritası ile modeller arasında çapraz bir tablo kullanarak niceliksel bir analiz yapılmaktadır. Üreticinin doğruluğunu, kullanıcının doğruluğunu ve model verimliliğini dikkate alarak (Van Den Eeckhaut vd. 2005) hangi modelin daha iyi tahmin yaptığını değerlendirmek için çapraz tablodan yararlanılmıştır. Tüm istatistikler, MLR ve LOGISNET'teki çoklu toprak tabakalarında tahmin edilen duraysız yamaçlar ile SINMAP karşılaştırıldığında, SINMAP duraylılık sınıfları ile envanter haritaları arasında bir uygunluk olduğunu göstermektedir. Kalibre edilmiş verilerle SINMAP, çalışma alanında daha iyi kullanıcı doğruluğuna ve model verimine sahiptir. SINMAP mevcut haritalanmış derin heyelanları belirlemede başarısız olmaktadır. MLR ile hesaplanan heyelan olasılık haritası, orijinal 13 jeoteknik değişken dışında sadece üç değişken kullanılarak tahmin edildiğinden, MLR modelinin SINMAP'ten daha kötü sonuç verdiği anlamına gelmemektedir. MLR bu kadar az değişkenle SINMAP'in yaptığı gibi mantıklı sonuçlar elde etmektedir. Sonuçlar aynı zamanda SINMAP'in heyelanları önceden tahmin etmemesine karşın LOGISNET çoklu toprak katmanları ve MLR'nin yüksek tahmin eğiliminde olduğunu göstermektedir. LOGISNET'de, MLR'nin piksel çözünürlüğünün etkisini değerlendirmek için başka testler yapılmalıdır.

Deb ve El-Kadi (2009) tarafından yapılan çalışmada, aşırı yağışlı olaylar altında Oahu'nun doğu-güney bölgelerindeki yamaçların sığ heyelanlara duyarlılığını SINMAP modelini kullanarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Konut gelişiminin izlendiği dağlık alanlarda izlenen moloz akması ve sığ heyelanların gelişiminde şiddetli yoğun yağış ve kolüviyal malzeme veya regolitik kaplı yüksek eğime sahip yamaç etkili olmaktadır. Yaklaşık 384 km²'lik alanı kapsayan çalışma alanı, doğudan Oahu'nun güney bölgelerine kadar 32 heyelana eğilimli havzayı içermektedir. Moanalua Vadisi'nden Kardelya (güneybatı) tarafındaki Koko Krater su havzasına ve Keaahala'dan Koolau Dağları'nın rüzgârlı (kuzeydoğu) tarafındaki Makapuu havzalarına kadar uzanmaktadır. Çalışma alanının litolojisi, çoğunlukla aa ve pahoe hoe lavlarının akıntılarından çıkarılan bazalttan oluşmaktadır (Visser ve Mink 1964). SINMAP'te kullanılan veriler, Kıyı Yeraltı İzleme ve Değerlendirme Merkezi, Biocoğrafya Şubesi, Ulusal Okyanus Servisi (NOAA 2000) Ticaret Bakanlığı tarafından üretilen 10 metrelik bir Oahu SYM'den türetilmiştir. 1949'dan 2006'ya kadar seçilen fırtınalı dönemler için üç bilgi kaynağı değerlendirilip, sığ toprak kaymalarının envanter haritası hazırlanmıştır. Eldeki verileri derlemek ve analiz etmek için büyük özen gösterilmiş olsa da, heyelan envanter haritasını hazırlamak için kullanılan bilgiler, bir takım faktörlerden dolayı yüksek belirsizlik derecesine sahiptir. Bilgiler, heyelanların kesin başlangıç konumları ile ilgili açıklayıcı notlar içermeyen kaynaklardan derlenmiştir. Çok çeşitli arazi türleri ve yağış dağılımı nedeniyle çalışma alanı; toprak derinliği, toprak dokusu, arazi örtüsü ve litoloji gibi kalibrasyon bölgesinde tarihsel sığ heyelan envanterinin bulunup bulunmadığı konusunda dört temel kalibrasyon bölgesine ayrılmıştır. Kalibrasyon bölgeleri, alt ve üst sınır kalibrasyon parametre değerlerini, SINMAP uygulaması için gerekli olan R/T, boyutsuz kohezyon sabiti ve içsel sürtünme açısı değerlerini temsil edebileceği alanlardır (Pack vd. 1998b, 2005). SINMAP, her kalibrasyon bölgesi için tek bir toprak yoğunluk oranı kullanmaktadır. SINMAP yaklaşımı, duraysız olarak sınıflandırılan alanlarda gözlenen 226 sığ heyelanının tümünü başarıyla tespit etmiştir. SINMAP'e göre sığ heyelanların tetiklendiği çalışma

alanının çoğu killi topraklardan oluşmaktadır. SINMAP tahminleri doğrulama amacıyla, mevcut bir moloz akması tehlike haritasıyla karşılaştırılmıştır. SINMAP modelinin, çalışma alanında sığ heyelan tehlikesinin belirlenmesi için bir araç olarak kullanılabileceği ifade edilmektedir. Yapay veya doğal desteklenmiş, alt ve üst eşik duraysızlığı olarak tanımlanan alanlarda heyelan riskini en aza indirmek için arazi kullanım kısıtlamaları uygulanmalıdır. Orta ile düşük duyarlılık seviyeleri olarak tanımlanan alanlar, yalnızca daha ayrıntılı stabilite değerlendirmeleri yapıldıktan sonra arazi kullanım yönetmelikleri ve iyi tasarlanmış yapım uygulamaları ile geliştirilmelidir. Bu çalışmayla sağlanan duraylılık haritaları, bilinen toprak kaymalarının nedenlerini açıklamada, acil kararlar verirken ve sonuç olarak gelecekteki heyelan risklerini azaltmada yardımcı olacaktır.

Tez çalışması kapsamında, 1998-2016 yılları arasında yapılmış araştırmalar arasından seçilmiş 19 adet çalışma harita ölçeği, SYM yersel çözünürlük, litoloji ve üst ayrışmış, taşınmış toprak sınıfı, toprak dokusu ve kalınlığı, SINMAP matematiksel modelinin çalıştırılması sürecinde değerlendirilen fiziksel, mekanik ve hidrolojik parametreler açısından incelenmiştir. Bu kapsamda; harita ölçeği, SYM yersel çözünürlük, litoloji ve üst toprak sınıfı, toprak dokusu ve kalınlık değerlerine ilişkin derlenen bilgi Çizelge 2.3’de verilmiştir. Bununla birlikte; söz konusu çalışmaların incelenmesine müteakiben bu çalışmalarda değerlendirilen fiziksel, mekanik ve hidrolojik parametreler Çizelge 2.4’de derlenmiştir.

Çizelge 2.3. 1998-2016 yılları arasında yapılmış 19 adet çalışma; harita ölçeği, SYM yersel çözünürlük, litoloji ve üst ayrışmış, toprak malzemesi, toprak dokusu ve kalınlığı açısından incelenmesi

Çalışma	Topoğrafik pafta ölçeği	SYM yersel çözünürlük	Litoloji	Üst toprak sınıfı	Toprak Dokusu	Toprak Kalınlığı (m)
Akgün ve Erkan (2016)	1:25.000	25m	Kumlu kireçtaşı, andezit	-	Kil	5-10
Davis ve Blesius (2015)	-	10m	Granit	Kolüviyal		-
			Kumtaşı			
			Franciscan grovak			
			Franciscan Melanj			
			Yeşiltaş			
			Kireçtaşı			
			Serpantinit			
Davis ve Sims (2013)	1:12.000	30m	Granit	Kolüviyal	-	1
			Kumtaşı			3
Deb ve El-Kadi (2009)	1:24.000	10m	Lav, pahoe hoe lav aa klinker lav	Kolüviyal, Rezidüel, Alüvyon, Alüvyon Kumları, Çakıl	Siltli killi balçık	1,83
					Killi balçık	1,78

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.3'ün devamı.

Çalışma	Topoğrafik pafta ölçeği	SYM yersel çözünürlük	Litoloji	Üst toprak malzemesi	Toprak Dokusu	Toprak Kalınlığı (m)
Deb ve El-Kadi (2009)	1:24.000	10m	Baca çökeltileri	Kolüviyal, Rezidüel, Alüvyon, Alüvyon kumları, Çakıl, Sahil çökelleri, Kum,	Çok iyi kumlu balçık	1,83
			Yapay dolgu		Çakıllı kum, silt ve kil ara katmanlı	1,78
			-		Çakıllı kil	1,83
			Lav akıntıları, pahoeohoe, aa		Siltli killi balçık	1,93
			-		Killi balçık	1,93
			Baca çökeltileri		Ayrışmış anakaya	1,78
			Baca sinder, cüruf		Siltli killi balçık	1,78
			Dayk karmaşığı		Çakıllı kil	1,52
			Kireçli kum tepcikleri		-	1,83
			-		Siltli killi balçık	1,93
			Lav akıntıları, pahoeohoe, aa		Siltli kil	1,78
			Dayk karmaşığı		Kaba kum	1,93
			-		Siltli killi balçık	1,83
			Kireçtaşı, çamurtaşı resif çökeltileri		Çakıllı kum, silt ve kil ara katmanlı	1,65
			Lav akıntıları, pahoeohoe, aa		-	1,78
			Tüf		Siltli killi balçık	1,78
			Yapay dolgu		Çakıllı kum, silt ve kil ara katmanlı	1,78
			Kireçtaşı, çamurtaşı resif çökeltileri, nehir ağızı sedimanları		Ayrışmış anakaya	1,78
					-	1,78
Hengxing vd. (2003)	-	-	-	-	-	-

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.3'ün devamı.

Çalışma	Topoğrafik pafta ölçeği	SYM yersel çözünürlük	Litoloji	Üst toprak malzemesi	Toprak Dokusu	Toprak Kalınlığı (m)
Lan vd. (2004)	-	-	Kuvaterner kumtaşı	-	Sinian kum	-
			Jura çamurtaşı, kumtaşı			
			Triyas kireçtaşı, dolomit			
			Triyas kumtaşı, çamurtaşı			
			Permiyen kumtaşı, bazalt			
			Permiyen kireçtaşı, dolomit			
			Karbonifer-Ordovisyen dolomit, kireçtaşı			
			Kambriyen kumtaşı			
			Kambriyen kumtaşı			
			Sinian dolomit			
			Kayrak			
			Dolomit, kireçtaşı			
Meisina ve Scarabelli (2007)	1:5.000	5m	-	Kolüviyal	Silt, Kil	0,5-6
Michel vd. (2014)	1:5.000	5m	-	-	-	10
Nery ve Vieira (2015)	1:10.000	2m	Migmatitler	Yüzeysel	Kum-kil	1
				Saprolit	Kum veya silt	1-2
				Yüzeysel	Kil-kum	1
				Saprolit	Kum veya Silt	1-2
			Migmatitler	Saprolit	Kum-silt	14
				Rezidüel	Kum-silt-kil	1
			Şarnokit	Rezidüel	Kum-kil	1
				Saprolit	Kum-kil-silt	7-8
			Biyotit Gnays	Olgun Rezidüel	Kum-silt-kil	0,1-20
				Genç rezidüel	Kum-silt	0,2-8
				Saprolit	Kum-silt	-
			Migmatitler	Olgun Rezidüel	Kum-silt	0,8-7
				Genç rezidüel	Kum-silt-kil	0,5-3
				Saprolit	Kum-silt	0,8-30

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.3'ün devamı.

Çalışma	Topoğrafik pafta ölçeği	SYM yersel çözünürlük	Litoloji	Üst toprak malzemesi	Toprak Dokusu	Toprak Kalınlığı (m)	
Pack vd. (1998)	-	-	-	Kolüviyal	-	-	
Paulin ve Bursik (2009)	1:12.000	30m	-	-	-	-	
Pfeil-McCullough vd. (2015)	1:12.000	10m	-	-	-	-	
Pradhan ve Kim (2015)	1:5.000	10m	Ayrışmış Granit	-	Çakıl, Kum, Kil, Silt	1	
Rabonza vd. (2016)	1:10.000	1,5m		-	Kil, Killi toprak, Kum	-	
Tarolli ve Tarboton (2006)	-	10m	-	-	-	0,2-0,5	
Terhorst ve Kreja (2009)	1:25.000	10m	Üst Aaleniyum	Callov killeri, Kolüviyal, Kireçtaşı molozu	-	Orman	15,2
			-			-	8,4
			Alt Bajosiyum			Orman	15,2
			-			-	8,4
			Orta/Üst Bajosiyum			Orman	15,2
			-			-	8,4
			-			Orman	15,2
			-			-	8,4
			Kireçtaşı (Orta Jura)			-	147,2
			-			Orman	64,7
			-			-	6,6
			-			Orman	110,1
			Oxford Marınları			Orman	132,0
			-			-	34,6
			Oxford Kireçtaşı			Orman	132,0
			-			-	34,6
			Kimmeridge Marınları			Orman	132,0
			-			-	34,6
			Kimmeridge kireçtaşı			Orman	132,0
			-			-	34,6
Yılmaz ve Keskin (2009)	1:25.000	10m	Eosen andezit, bazalt	Kuvaterner alüvyon	Silt, Kum, Kil, Çakıl	-	
			Oligomiyosen kıltaşı, kumtaşı, çakıltaşı, alçıtaşı				

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.3'ün devamı.

Çalışma	Topografik pafta ölçeği	SYM yersel çözünürlük	Litoloji	Üst toprak malzemesi	Toprak Dokusu	Toprak Kalınlığı (m)
Zhang vd. (2005)	1:250.000	60m	-	-	-	-
Zizioli vd. (2013)	-	-	Marn	Kolüviyal	Çakıl	0,5-3
			Kumtaşı			
			Marn, Kumlu marn, Kireçtaşı, Jips- rudit, Jips- selenit			

Çizelge 2.4. 1998-2016 yılları arasında yapılmış 19 adet çalışma; fiziksel, mekanik ve hidrolojik parametreler açısından incelenmesi

Çalışma	γ_d (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	γ_w (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	C _{min}	C _{max}	ϕ_{min} (°)	ϕ_{max} (°)	T/R _{min} (m/sa)	T/R _{max} (m/sa)
Akgün ve Erkan (2016)	-	-	-	2,00	-	-	0,00	20,6	17	35	505	3020
Davis ve Blesius (2015)	-	-	-	-	-	-	0,00	0,25	30	45	24	500
							0,00	0,25	30	45	24	500
							-	-	-	-	-	-
Davis ve Sims (2013)	-	-	-	-	-	-	0,00	0,25	30	45	24	500
							-	-	-	-	-	-
							0,00	0,25	30	45	24	500
Deb ve El-Kadi (2009)	-	-	-	-	-	-	0,00	1,029	-	-	6,463	19,388
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		0,706	-	-	2,469	82,292
	-	-	-	-	-	-		0,792	-	-	0,363	24,688
	-	-	-	-	-	-		1,058	-	-	7,178	72,668
	-	-	-	-	-	-		0,792	-	-	7,178	21,534
	-	-	-	-	-	-		0,792	-	-	7,793	77,932
	-	-	-	-	-	-		0,983	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	2,970	29,695
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
Hengxing vd. (2003)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.4'ün devamı.

Çalışma	γ_d (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	γ_w (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	C_{min}		C_{max}	ϕ_{min} (°)	ϕ_{max} (°)	T/R _{min} (m/sa)	T/R _{max} (m/sa)
Lan vd. (2004)	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	730	5000
Meisina ve Scarabelli (2007)	-	-	-	-	-	-	1a	0	0,05	18,0	24,0	3,083	6614,1
							1b	0	0,00	18,0	27,0	50,00	6,000
							2	0	0,097	25,0	35,0	134,40	3696
							3	0	0,00	25,0	30,0	193,63	3227,32
							4	0,05	0,060	25,0	35,0	7,06	635,59
							5	0	0,034	21,0	24,0	4,87	481,23
6	0,20	0,231	19,4	32,0	1,79	172,78							
Michel vd. (2014)	-	11,9	31,2	-	-	-	-		-	-	-	-	-
Nery ve Vieira (2015)	14,3	6,0	34	17,1	1,0	34	0,07	0,96	34	39	46	142	
	18,0	6,0	45	19,5	4,0	39							
	16,5	9,5	40	18,2	1,0	36							
	18,5	11,0	45	20,1	3,5	39							
	-	-	-	28,2	13,0	31,4	0,06	0,83	34	39	68	213	
	-	-	-	27,8	9,5	32,9							
	-	-	-	27,1	10,0	31,6							
	-	-	-	27,6	7,0	40,4							
	13,32	14,5	37	15,56	8,0	32	0,15	0,43	34	39	159	497	
	14,85	17,5	41	16,98	4,5	42							
	12,5	26,5	32	14,9	10,0	32							
	12,72	6,5	42	13,27	5,5	39							
	11,03	6,5	45	13,45	1,0	42							
	12,42	12,0	34	13,33	9,0	32							
Pack vd. (1998)	-	-	-	-	-	-	-		-	36	43	1000	2000
Paulin ve Bursik (2009)	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.4'ün devamı.

Çalışma	γ_d (kN/m ³)	c (kPa)	Φ (°)	γ_w (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	C _{min}	C _{max}	Φ_{min} (°)	Φ_{max} (°)	T/R _{min} (m/sa)	T/R _{max} (m/sa)
Pfeil-McCullough vd. (2015)	-	-	27	-	-	-	-	0,233	20	30	-	-
Pradhan ve Kim (2015)	1,498	2,14	35,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rabonza vd. (2016)	-	-	-	-	-	-	0	0,8	25	35	20	200
Tarolli ve Tarboton (2006)	-	-	-	-	-	-	0	0,25	30	45	2000	3000
Terhorst ve Kreja (2009)	-	-	-	-	-	-	0,00	0,40	18,0	35,0	1000	1250
							0,00	0,30	18,0	35,0	1000	1500
	-	-	-	-	-	-	0,00	0,40	18,0	35,0	1000	1250
							0,00	0,30	18,0	35,0	1000	1500
	-	-	-	-	-	-	0,00	0,40	18,0	35,0	1000	1500
							0,00	0,30	18,0	35,0	1000	1500
	-	-	-	-	-	-	0,00	0,20	20,0	35,0	1000	1500
							0,00	0,30	25,0	35,0	1000	1250
	-	-	-	-	-	-	0,00	0,20	25,0	40,0	1500	2500
							0,00	0,30	30,0	45,0	1750	2750
	-	-	-	-	-	-	0,10	0,35	45,0	55,0	2000	3000
							0,10	0,30	45,0	60,0	2500	3000
	-	-	-	-	-	-	0,10	0,35	45,0	55,0	2000	3000
							0,10	0,30	45,0	60,0	2500	3000
	-	-	-	-	-	-	0,10	0,35	45,0	55,0	2000	3000
							0,10	0,30	45,0	60,0	2500	3000
Yılmaz ve Keskin (2009)	-	-	-	-	-	-	0	0,45	5	40	500	2500

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.4'ün devamı.

Çalışma	γ_d (kN/m ³)	c (kPa)	Φ (°)	γ_w (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	C _{min}	C _{max}	Φ_{min} (°)	Φ_{max} (°)	T/R _{min} (m/sa)	T/R _{max} (m/sa)
Zhang vd. (2005)	-	-	-	-	-	-	0,05	0,1	22	27	800	1000
							0,1	0,2	24	31	1000	1900
							0,1	0,25	28	39	2000	2500
							0,1	0,25	29	41	2000	2700
							0,05	0,2	30	43	2000	3000
Zizioli vd. (2013)	15-16,3	-	-	-	-	-	0,1856	0,8909	24	25,4	0,8453	38,4043
	15,2-16,3						0,1908	0,8712	30	33,7	1,4917	38,2130
	15,3-15,8						0,0662	0,3065	23,3	29,9	6,4423	37,3092
	-						0,3722	0,6435	22	27	0,77458	34,9414

(Devamı Arkada)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Sahasının Genel Özellikleri

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Rize İli'nin doğusunda yer alan Güneysu su toplama havzası 1/25.000 ölçekli RİZE-F45-d3, F45-d4, G45-a1 ve G45-a2 pafta sınırları içerisinde bulunmaktadır. Güneysu su toplama havzası 107 km²'lik bir alana sahiptir.

Bu bölümde, çalışması yapılan su toplama havzasına ilişkin jeoloji, stratigrafi, tektonik, depremsellik, jeomorfoloji ve iklimsel özellikler ayrı başlıklar altında verilmektedir.

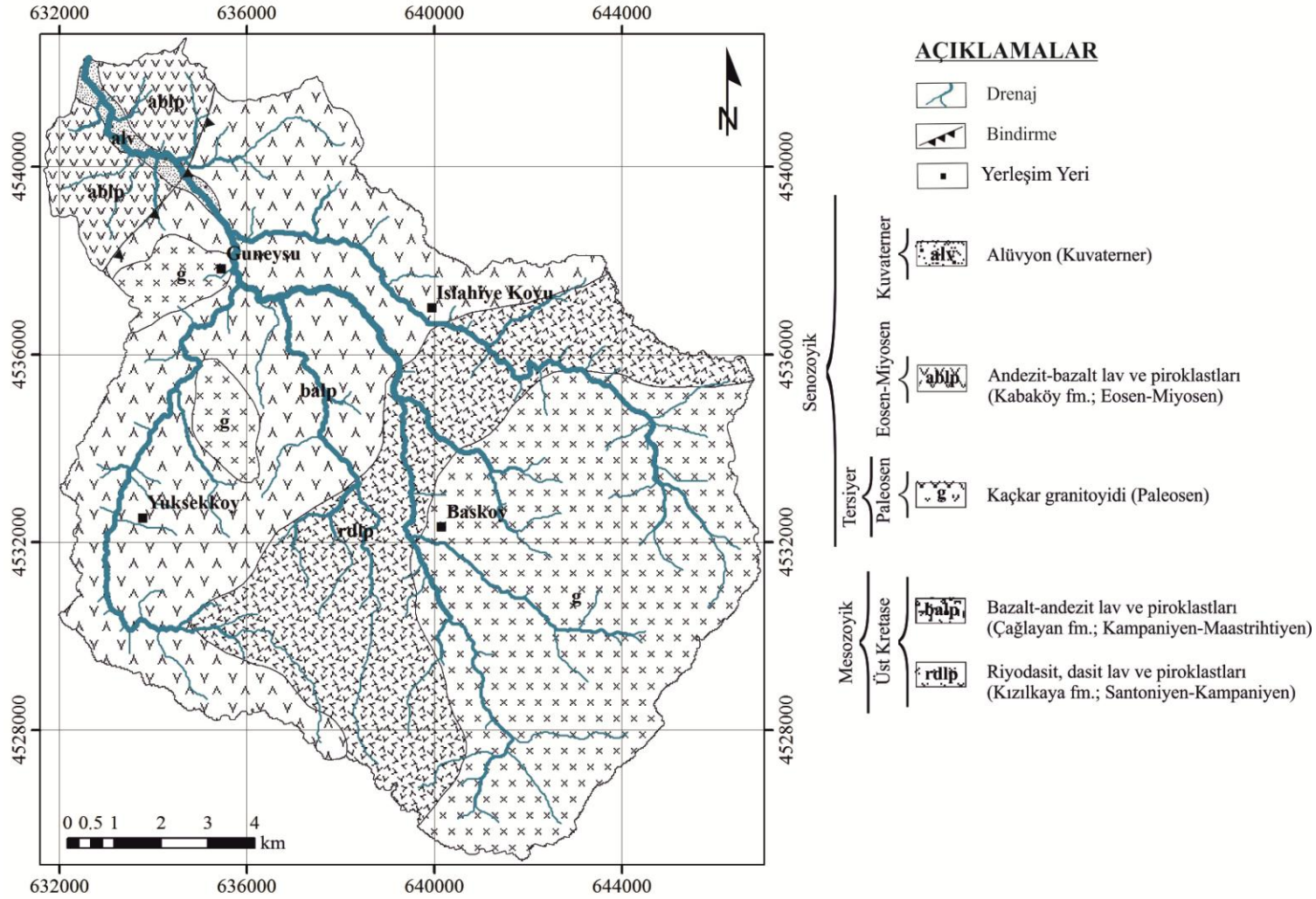
3.1.1. Jeoloji

Çalışma sahası, Pontid tektonik birliğinin (Ketin 1966; Yılmaz vd. 1998) doğu kesiminde yer almaktadır. Çalışma alanında büyük ölçekli kıvrımlı yapılar gelişmemiştir (Yılmaz vd. 1998). Jeolojik olarak Doğu Pontidler, Şengör ve Yılmaz (1981)'e göre eski bir ada yayı olarak tanımlanmaktadır. Doğu Pontidler genellikle iç (güney) ve dış (kuzey) olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (Gedikoğlu vd. 1979; Özsayar vd. 1981; Güven 1998). Dış Doğu Pontidler içerisinde Okay ve Şahintürk (1997)'e göre genellikle Senoniyen, Orta Eosen volkanik ve volkanoklastik kayalar izlenmektedir. Senoniyen öncesi kayalar ise çoğunlukla İç Doğu Pontidler içerisinde bulunmaktadır (Okay ve Şahintürk 1997). Bölgede KD-GB doğrultulu büyük ölçekli faylar gelişmiştir.

3.1.1.1. Stratigrafi

Güneysu su toplama havzasında, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kaya birimleri yüzeylenmektedir (Güven 1998; Yılmaz vd. 1998) (Şekil 3.1). Tez çalışması kapsamında, sözü edilen birimlere ilişkin litolojik tanımlar ve stratigrafi, 1/100.000 ölçeğinde gerçekleştirilmiş çalışmalara bağlı olarak özetlenmiştir (Güven 1998; Yılmaz vd. 1998).

Bölgede Paleozoikten Üst Kretase'ye kadar karasal ortam hâkim iken Kretase ve Tersiyer magmatizmanın dâhil olduğu denizel tortullar ile temsil edilmektedir. Üst Kretase'de dasit, bazalt ve tortul birimlerin aralanması görülmektedir. Tortullar tüfit içermektedir. Bu sebeple volkano-tortul olarak adlandırılmaktadır. Üst Kretase yaşlı volkanitlerin üzerine uyumsuz olarak yerleşen Eosen yaşlı volkanik oluşumlar gelmiştir. Bu volkanikler, bazalt ve andezit olup ince ara tabakalı tortullar da içermektedir. Saha içerisinde yerleşimini Paleosen sonunda tamamlamış granit intrüzyonları görülmektedir. Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kaya birimlerini gösteren stratigrafik istif, Şekil 3.1 içerisinde verilmektedir.



Şekil 3.1. Güneysu su toplama havzasına ilişkin jeoloji haritası (Güven 1998; Yılmaz vd. 1998'den değiştirilerek alınmıştır)

3.1.1.1.1. Kızılkaya formasyonu (rdlp)

Havzada, stratigrafik istif, asidik karakterli lav ve piroklastlardan oluşan Kızılkaya formasyonu (Güven 1993) ile başlamaktadır (Şekil 3.1). Birim genellikle pembemsi gri ve gri-beyaz renkli riyodasit-dasitik lav ve piroklastlarından oluşur (Şekil 3.2). Lavlar, prizmatik kolon yapılı, yersel olarak çok iri kuvarslı ve porfirik dokulu yapıya sahiptir (Güven 1998). Lavlar içersinde akıntılı (flüdal) yapılarda izlenmektedir (Yılmaz vd. 1998). Tüf, breş ve aglomera seviyeleri gibi piroklastik seviyeler formasyonun üst bölgelerinde yaygın olarak görülmektedir (Güven 1998). Birim kalınlığı, 400-500 m arasında değişmektedir (Yılmaz vd. 1998). Birim üstten Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan formasyonu ile uyumlu olması nedeniyle yaş aralığı Santoniyen-Kampaniyen arasında kabul edilmiştir (Yılmaz vd. 1998).



Şekil 3.2. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastların genel görünümü

3.1.1.1.2. Çağlayan formasyonu (balp)

Kızılkaya formasyonunu uyumlu olarak üzerleyen formasyon Yılmaz vd. (1998) tarafından Çağlayan formasyonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.1). Çağlayan formasyonu, bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve çökel kaya ardalanmasıyla oluşan volkano-tortul istif olarak tanımlanmıştır (Yılmaz vd. 1998). Birim; bazalt, andezit lav ve piroklastların hâkim olduğu kaya türlerinden oluşmaktadır (Güven 1998).

Birim içerisinde marn, kumtaşı ve kırmızı renkli killi kireçtaşı ara katmanları yer almaktadır (Güven 1998). Lavlar, genellikle gri, morumsu gri renklerde izlenmektedir (Güven 1998). Güven (1998), lavların yersel sert, kırıklı ve çatlaklı olduklarını vurgulamaktadır. Bununla birlikte, kloritleşme ve epidotlaşma yaygın olarak görülmektedir (Güven 1998). Lavlarda, yer yer iyi gelişmiş yastık yapıları ve gaz boşlukları bulunmaktadır (Güven 1998). Belirgin tabakalanma gösteren breş ve tüfler içerisinde bulunan lav parçaları yanında kırmızı kireçtaşı ve killi kireçtaşlarına ait parçalar bulunmaktadır (Güven 1998). Formasyonda gözlemlenen kumtaşlarının çoğunlukla volkanik olduğu ifade edilmiştir (Güven 1998). Birimin kalınlığı 800 m civarındadır (Yılmaz vd. 1998). Bazalt, andezit, lav ve piroklastların üzerinde gelişen rezidüel seviyenin genel görünümü Şekil 3.3’de verilmiştir. Formasyon yaş aralığı Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak ifade edilmiştir (Yılmaz vd. 1998).



Şekil 3.3. Bazalt, andezit, lav ve piroklastların üzerinde gelişen rezidüel seviyenin genel görünümü

3.1.1.1.3. Kaçkar granitoyidi (g)

Üst Kretase yaşlı volkanitler içerisine sokulan ve granitten gabroya kadar değişim gösteren intrüzif kompleks Güven (1993) tarafından, Kaçkar granitoyidleri olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.1). Birim, genellikle gri, yeşilimsi gri, yer yer pembemsi renklerde izlenmektedir (Şekil 3.4 a) (Güven 1998). Granitoyid, çok kırıklı ve çatlaklı bir yapıya hâkimdir (Şekil 3.4 b) (Güven 1998). Ayrıca, taneli veya porfirik

dokuya sahiptirler (Güven 1998). Mineral kompozisyonları ve dokularına bağlı olarak granit, granodiyorit, mikrogranit, kuvarsporfir, kuvarslı diyorit ve diyorit olarak ayırt edilebilmektedir (Güven 1998). Granitoid, Üst Kretase boyunca gelişimini sürdürüp, yerleşimini büyük ölçüde Paleosen sonunda tamamlamıştır (Güven 1998). Kaçkar granitoidi ile Kabaköy formasyonu arasında bir aşınma yüzeyi bulunmaktadır (Güven 1998).



(a)



(b)

Şekil 3.4. a) Kaçkar granitoidi genel görünümü; b) Kaçkar granitoidi genel görünümü; birimin üzerinden yük kalkmasına bağlı olarak geliştiği düşünülen yatay eklemler belirgin olarak izlenmektedir

3.1.1.1.4. Kabaköy formasyonu (abl)

Kaçkar granitoidi üzerine taban konglomerası ile aşıl uyumsuz olarak gelen formasyon Kabaköy formasyonu olarak tanımlanmaktadır (Güven 1993) (Şekil 3.1). Genellikle kırıntılı çökellerle başlayıp, üst kesimlerinde volkano–tortul seviyeleri içermektedir (Güven 1993). Formasyonun volkano–tortul seviyelerinde ise, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakalarını içeren masif veya kalın tabakalı ojit ve hornblendli andezit–bazalt lav ve piroklastları bulunmaktadır (Güven 1998) (Şekil 3.5).

Birimin kalınlığını yaklaşık 800 m olarak ifade edilmiştir (Yılmaz vd. 1998). Formasyonun taban seviyelerinde bulunan mikro–fosillere bağlı olarak birim Alt–Orta Eosen yaş aralığındadır (Güven 1998).



Şekil 3.5. Andezit, bazalt, lav ve piroklast olarak tanımlanan birimin üzerinde izlenen rezidüel seviyenin genel görünümü

3.1.1.1.5. Alüvyon

Daha yaşlı, volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmış, akarsu vadilerinin genişlediği ve hızlarının azaldığı denize yakın düzlük alanlarda birikmiş güncel akarsu çökelleri alüvyon olarak tanımlanmaktadır (Güven 1998; Yılmaz vd. 1998) (Şekil 3.1).

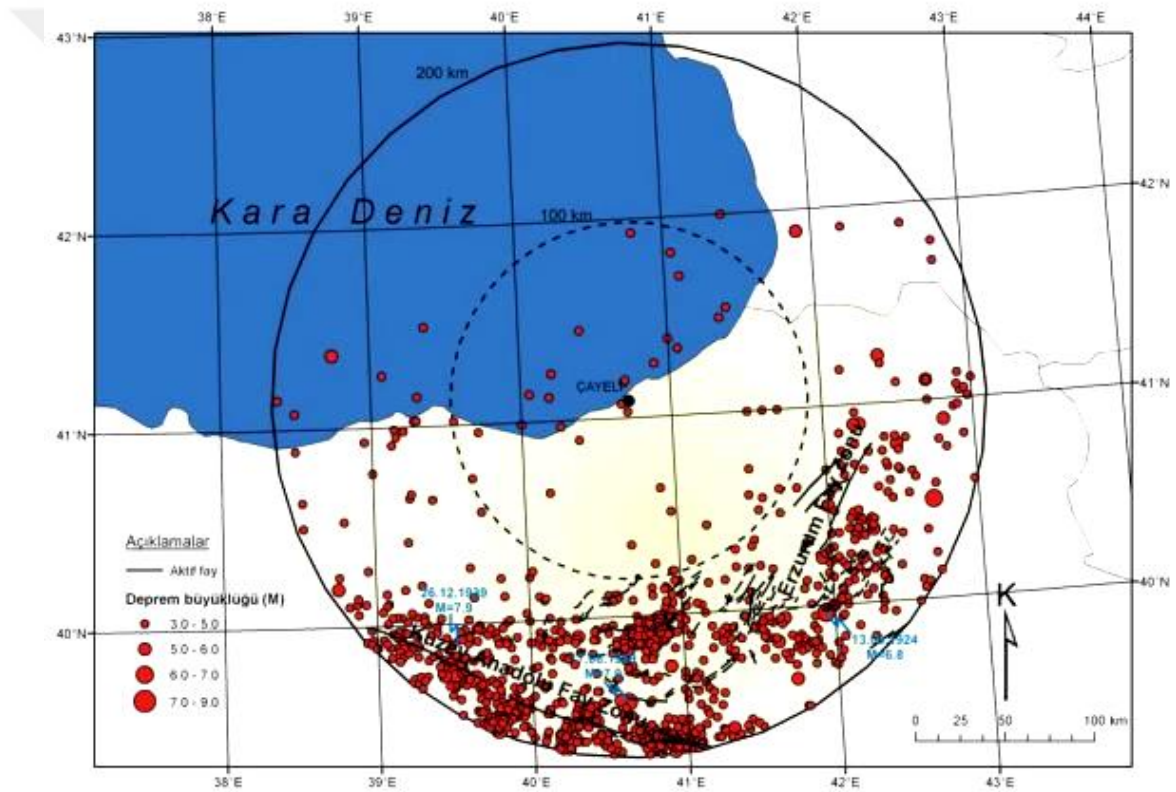
3.1.1.2. Tektonik ve depremsellik

Çalışma sahası, Doğu Pontidler tektonik birliği içerisinde yer almaktadır (Ketin 1966, Yılmaz vd. 1998). Bölgede KD–GB doğrultulu büyük ölçekli faylanmalar bulunmaktadır (Yılmaz vd. 1998). Çeşitli araştırmacılar, söz konusu yapının K–G yönlü sıkışma tektoniği rejimine bağlı olarak geliştiğini belirtmektedir (Şengör ve Kidd 1979; Barka 1984; Şaroğlu ve Yılmaz 1984; Koçyiğit 1985; Yılmaz vd. 1988; Yılmaz vd. 1997, 2000). Güneysu su toplama havzasının içerisinde yer aldığı Pontid tektonik birliği; Austrik (Erken Alpin dönemi), Anadolu (Orta Alpin dönemi) ve Attik (Geç Alpin dönemi) tektonik evrelerinin etkisinde kalmıştır (Yılmaz vd. 1998).

Yılmaz vd. (1998) tarafından ifade edilen KD–GB doğrultulu fay sistemi içinde yer alan bir bindirme, Üst Kretase yaşlı Çağlayan formasyonu ve Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu arasındaki tektonik dokanak boyunca izlenmektedir (Şekil 3.1).

Güneysu su toplama havzasına en yakın aktif fay sistemi, Erzurum Fay Zonu'dur (Şekil 3.6). Kuş uçuşu, yaklaşık 105-115 km mesafede bulunmaktadır. Erzurum'un doğusundan başlayıp Tortum'a kadar devam etmektedir. Fay sistemi yaklaşık 38 km uzunluğunda ve 23 km genişliğindedir. Bu zon içerisinde KKD–GGB doğrultusunda gelişen faylar Erzurum Fay Zonu olarak tanımlanmaktadır (Şaroğlu vd. 1987). Fayın tipi sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak ifade edilmektedir (Şaroğlu vd. 1987).

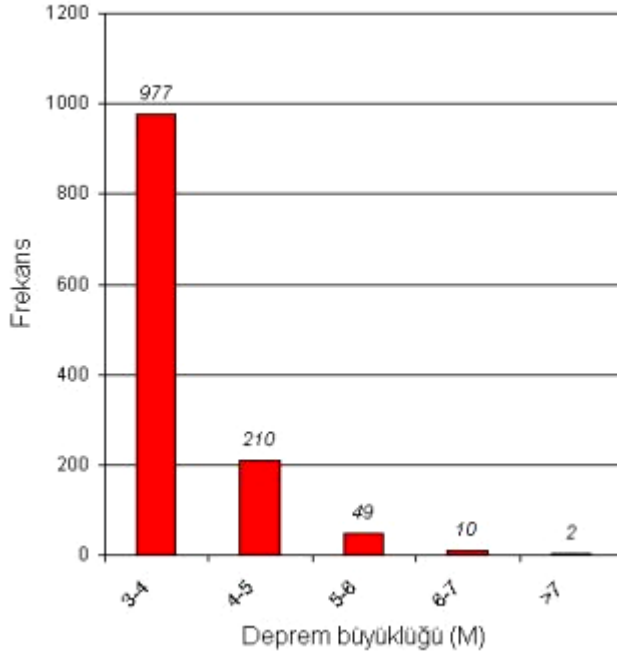
Çalışma sahasına yakın bir diğer önemli aktif fay sistemi ise, Kuzey Anadolu Fay Zonu'dur (Şekil 3.6). Kuş uçuşu, yaklaşık 175 km mesafede bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu, doğuda Karlıova'dan başlayıp batıda Saros körfezi'ne kadar devam etmektedir (Şaroğlu vd. 1987). Bu zon yaklaşık 1200 km uzunluğunda ve 100 m ile 10 km arasında değişen genişliğe sahiptir. Kuzey Anadolu Fay Zonunun tipi sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak ifade edilmiştir (Şengör 1979).



Şekil 3.6. Yaklaşık çalışma sahasını merkez alan 200 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgeye ait sismotektonik harita (Nefeslioğlu 2008)

Erzurum Fay Zonu içerisinde meydana gelen en büyük deprem, 13.09.1924 tarihli $M=6,8$ büyüklüğünde gerçekleşmiş yer hareketidir (Şekil 3.6). Bununla birlikte, Erzincan'da 26.12.1939 tarihinde meydana gelen $M=7,9$ büyüklüğündeki deprem, Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde gerçekleşmiş en büyük yer hareketini oluşturmaktadır (Şekil 3.6). Güneysu su toplama havzasında söz konusu sismik aktivitelere kuş uçuşu yaklaşık mesafe 180 km olarak hesaplanmaktadır. Diğer taraftan, yaklaşık çalışma sahasını merkez alan 200 km çaplı daire içerisinde kalan alanda,

kaydedilen $M= 3,0$ 'dan büyük depremlerin merkez üsselerinin dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir (Nefeslioğlu 2008). Deprem büyüklerine ilişkin frekans dağılımı ise Şekil 3.7'de verilmiştir (Nefeslioğlu 2008). Bununla birlikte, çalışma havzasını içine alan bölgede sağlam zeminde beklenen en büyük yer ivmesi 200 gal olarak verilmektedir (Eyidoğan 1995; Yılmaz vd. 1998). Buna karşılık, Ulusay vd. (2004) tarafından çalışma sahasını içerisine alan bölge için yer ivmesi 100 gal'in altında hesaplanmaktadır.



Şekil 3.7. Yaklaşık çalışma sahasını merkez alan 200 km yarıçaplı daire içerisinde kalan bölgede kayıt edilen ($M= 3,0$ 'dan büyük) deprem büyüklüklerine ait frekans dağılımı (Nefeslioğlu 2008)

3.1.1.3. Jeomorfoloji

Çalışma sahası, D–B uzanımlı Doğu Karadeniz dağ sistemi içerisinde, yüksek rölyef özelliklerinin gözlemlendiği bir bölgede yer almaktadır. Güneysu su toplama havzasının, tipik özelliği kısa mesafede değişen topoğrafik yüksekliktir. Topoğrafik yüksekliğe bağlı olarak topoğrafik eğim artmaktadır. Genellikle, eğim değerleri güneye doğru artmaktadır. Artan eğim değerleri, havzada sırt ve tepe gibi morfolojinin yaygınlaştığı orta ve kuzey kesimlere karşılık gelmektedir (Şekil 3.8). Eğim değerlerinin kısa mesafede değişmesi havza içerisindeki drenaj özelliklerini de etkilemiştir. Jeomorfolojik olarak çalışma sahasındaki yüksek enerjili akarsu sistemleri; genç, enine profilleri “V” şekilli vadiler meydana getirmişlerdir. Havzadaki litolojik birim içerisinde yer alan magmatik kayaların dağılımı morfolojiyi etkilemiştir. Akarsu sistemi güneydoğuda yer yer litolojiye bağlı olarak yarı paralel bir özellik göstermektedir (bkz. Şekil 3.1). Akarsu sistemi dendritik bir görünüm sunmaktadır.

Doğu Karadeniz bölgesinde, topoğrafik olarak alt kotlarda kimyasal bozunma süreçleri ile okyanusal iklim şartlarını yansıtan yağışlar sahayı hızlı bir şekilde

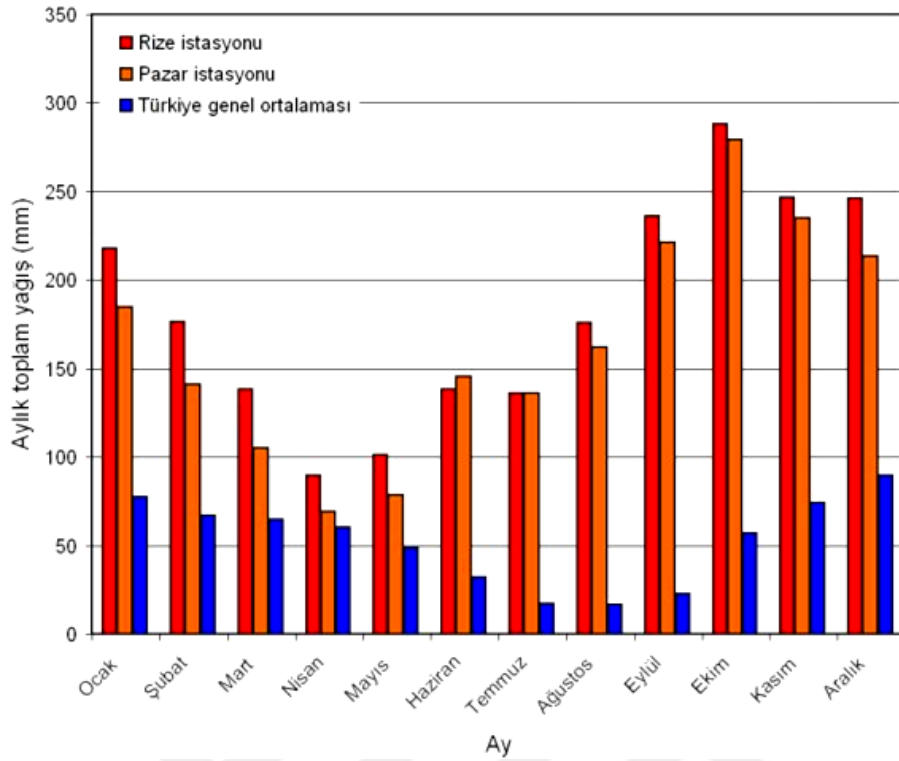
aşındırmaktadır. Buna karşılık, bölgede yüksek kotlarda fiziksel bozunma etkindir. Bölgede genel olarak 2000 m'nin üzerindeki yüksekliklerdeki alanlarda periglasiyal-glasiyal morfolojik şekilleri yaygın olarak görülmektedir (Erinç 1944; Atalay 1987). Ancak, 2000 m yüksekliğin altında bulunan sahalarda ise yoğun olarak kimyasal bozunma izlenmektedir. Dolayısıyla, Güneysu su toplama havzası ağırlıklı olarak kimyasal bozunmanın izlendiği bölgede yer almaktadır.



Şekil 3.8. Çalışma sahasının morfolojisini gösterir fotoğraf; İslahiye köyü

3.1.1.4. İklim

Güneysu su toplama havzasında, tipik olarak Karadeniz iklimi etkisini göstermektedir. Yazları serin ve kışları ise ılık olmak üzere her mevsim yağışlıdır. 1928–2016 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu ölçümlere bağlı olarak Rize geneli için aylık ortalama sıcaklık 15,5°C olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla Şubat ayı için 3,6°C ve Ağustos ayı için 26,4°C olarak izlenmektedir (DMİ 2008). Yine, 1971–2000 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşleri'nin Rize ve Pazar istasyonlarından almış olduğu ölçümlere bağlı olarak yıllık toplam yağış miktarları Rize ve Pazar için 2188,9 mm ve 1970,3 mm olarak hesaplanmaktadır (Nefeslioğlu 2008). Buna karşılık, 1971–2000 yılları arasında ölçülen Türkiye ortalaması ise yaklaşık olarak 626,2 mm olarak elde edilmiştir (Nefeslioğlu 2008). Çalışma sahasının, içerisinde bulunduğu bölgeye yılda Türkiye ortalamasının 3 katı yağış düşmektedir (Şekil 3.9). Rize, Türkiye'nin en çok yağış alan ilidir. Bölgede, en az yağış ilkbaharda, en çok yağış sonbaharda görülmektedir.



Şekil 3.9. 1971-2000 yılları arasında ölçülmüş, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nce yayımlanan aylık toplam yağış miktarları (mm) (Nefeslioğlu 2008)

3.2. Heyelan Envanteri

Güneysu su toplama havzasına ilişkin sığ heyelanların (kayma yüzeyi derinliği $< \sim 5\text{m}$) envanteri, 1995 yılına ait 1:15.000 ölçeğinde renkli kızılötesi stereo hava fotoğrafları ve 2014 yılına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden oluşturulmuştur. Alan sınırları içerisinde kalan 41 adet hava fotoğrafını gösterir harita Şekil 3.10'da verilmiştir.

Hava fotoğraflarının koordinatlandırılması için fotoğraf orta noktalarının yanı sıra Esri firması tarafından sunulan World Image (ölçeğe göre değişen yüksek çözünürlüklü IKONOS ve WordView görüntüleri) 2008–2014 yıllarına ait uydu görüntülerinden elde edilen kontrol noktaları kullanılmıştır (Şekil 3.11 a ve b). Görüntülerin yorumlanması esnasında topoğrafik verilerden de yararlanılmıştır. Çalışma alanına ait 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan üretilen ve yersel çözünürlüğü 10 m olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile bu modelden üretilen Kothe ve Lehmeier (1993) tarafından geliştirilmiş Konverjans Index kullanılarak sırt ve vadiler tanımlanmıştır. Topoğrafik bilgiler özellikle iç içe geçmiş karmaşık sığ heyelanlara ilişkin kopma zonlarının daha doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için oluşturulmuştur (Şekil 3.11 c ve d).

Görüntülerde heyelanların tanımlanması ve yorumlanması için görüntü elemanlarından faydalanılmıştır. Çalışma sahası içerisinde sığ heyelanların hava

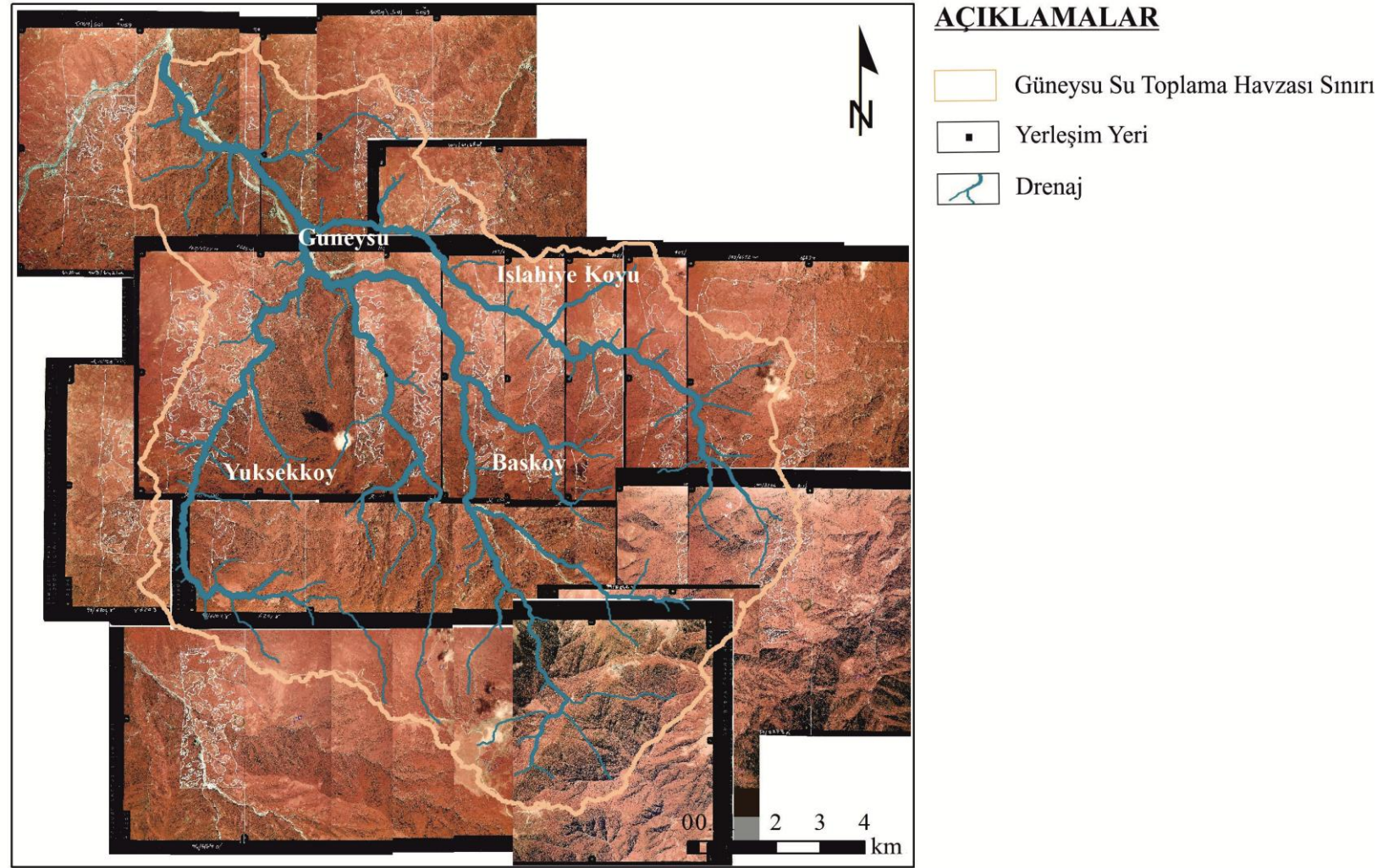
fotoğrafları ve uydu görüntülerinden yorumlanabilmesini sağlayan unsurlar aşağıda genel başlıklar halinde verilmiştir:

- Renk ve Ton: Hava fotoğraflarında ve uydu görüntülerinde özellikle bitki örtüsünün etkin olarak görüldüğü ve bitki örtüsünden yoksun yani çıplak alanların kontrastından kaynaklanan renk ve ton farklılıkları heyelan alanının tespiti için tanımlayıcı bir unsur olarak kullanılmıştır (Şekil 3.12 a).
- Şekil Özellikleri: Bir objenin görüntülerden tanımlanabilmesi için geometrik bakımdan sunduğu farklılıkları ifade etmektedir. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi heyelanların çıplak alanlardan (örneğin, yol yarmaları veya bitkiden yoksun çıplak anakaya yüzeyleri) ayırt edilebilmesini kolaylaştıran diğer bir tanımlayıcı görüntü elemanıdır. Örneğin, Şekil 3.12 b’de sarı renkli çerçeve içerisinde gösterilen yol yarmaları sunduğu şekil ve yakınındaki bina gibi objelerle ilişkisi açısından şekil olarak heyelan gibi gözükmelerine rağmen fonksiyonları ve anlamları farklıdır.
- Doku ve Desen: Heyelanın gerçekleştiği alanda ton değişimini ifade eden tanımlayıcı unsurlardır. Şekil 3.12 c’de verilen örnekte doku ve desen farklılığından dolayı iki farklı kopma zonu içeren ve ince bir sırtla ayrılan bağımsız iki hareket ifade edilen tanımlayıcı unsurlar kullanılarak ayırt edilmiştir.

Güneysu su toplama havzası içerisinde görüntülerin yorumlanması ile haritalanan sığ heyelanların sayısı 455’dir (Şekil 3.13). Bu heyelanlar genel olarak havzanın güney ve orta kesimlerinde yoğun olarak gözlenmektedir.

Heyelanların jeolojik birimlerden itibaren ayrılan rezidüel topraklardaki dağılımı; g’de %12.5, ablp’de %3.5, balp’de %71.9 ve rdlp’de %12.1’dir. Sığ heyelanların geliştiği yamaçların eğim değerleri 10-35° arasında değişmektedir. Topoğrafik haritalardan elde edilen en yüksek yamaç yüksekliği değeri 135 m olarak hesaplanmıştır. Farklı etki mesafesine sahip kaymalardan elde edilen genişlik ve uzunluklar; sırasıyla, 4-22 m ve 12-45 m arasında değişmektedir. Yamaç engebелiliği açısından orta düzeyde engebелi yamaçlarda sığ kaymalar yoğun olarak görülmektedir. Güney kesimlerde etkin olan yüksek eğim ve yamaç engebелiliği gösteren alanlarda sığ kaymalar düşüktür.

Heyelanlar arazi çalışması kapsamında yerinde kontrol edilmiştir. Çalışma alanında izlenen heyelanlara ilişkin örnek fotoğraflar Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da verilmiştir.



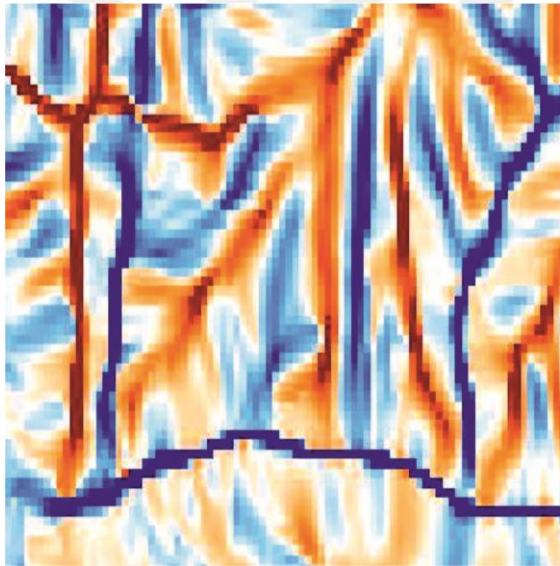
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan 1995 tarihli 1:15.000 ölçekli renkli kızılötesi stereo hava fotoğraflarının dağılımını gösterir harita



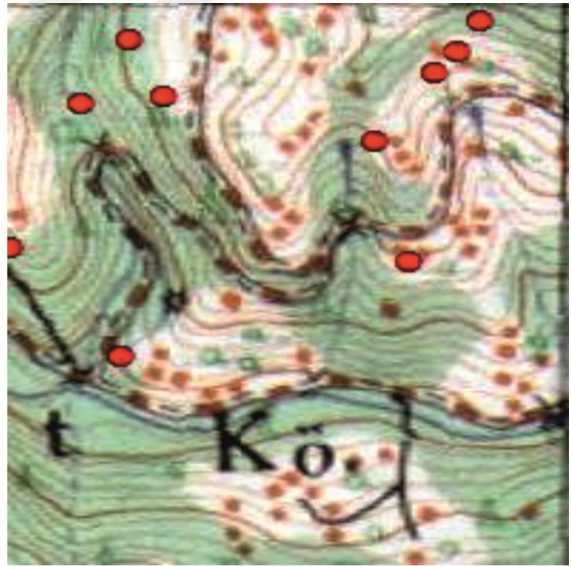
(a)



(b)

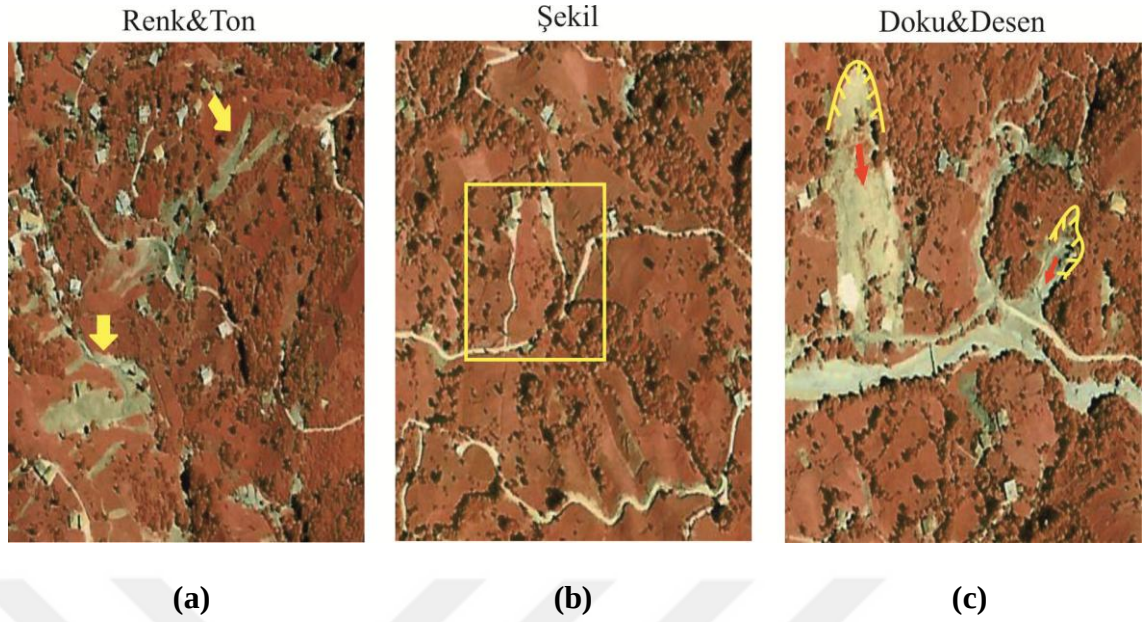


(c)

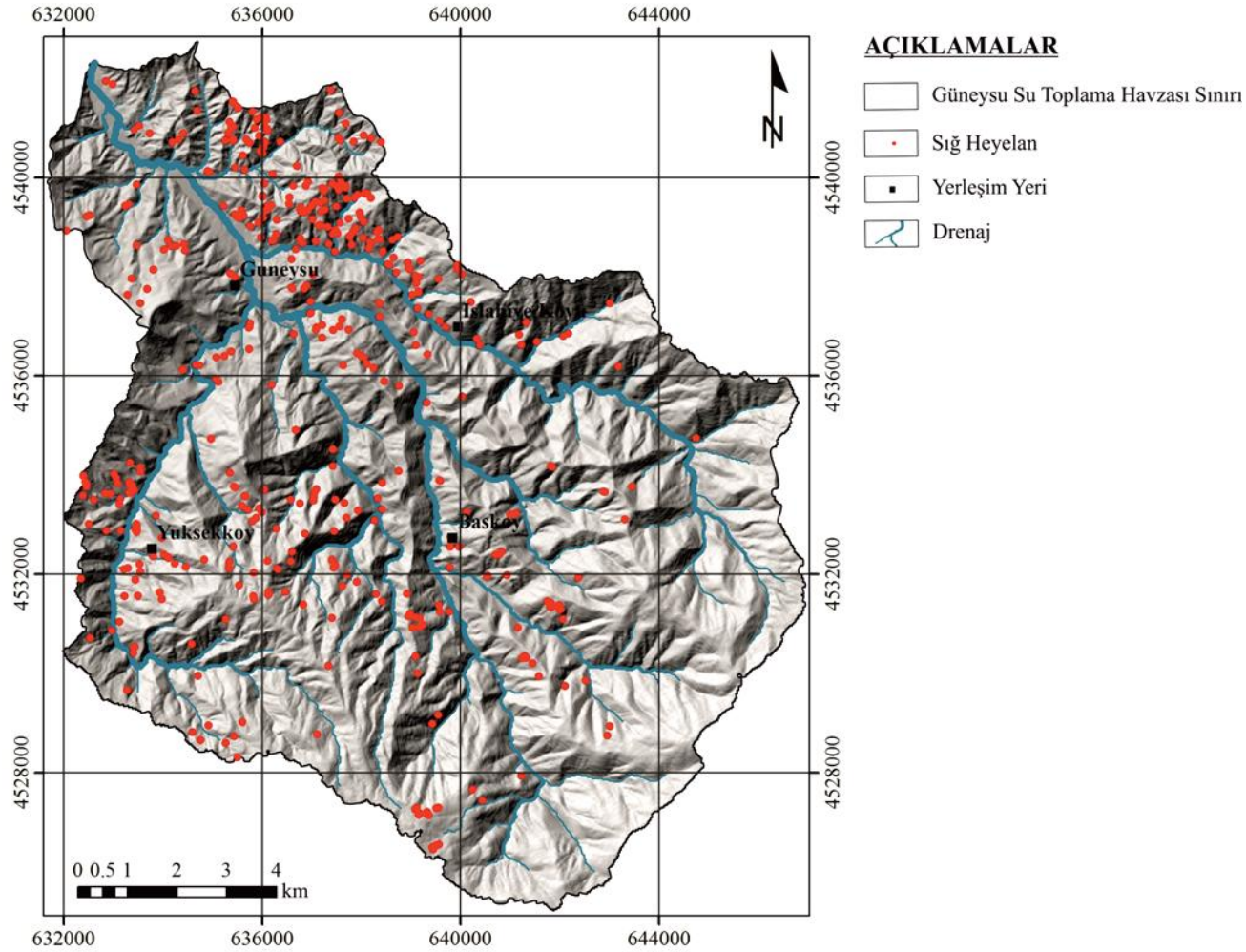


(d)

Şekil 3.11. Selamet köyü örneğinde kullanılan a) 1995 yılına ait 1:15.000 ölçeğinde renkli kızılötesi stereo hava fotoğrafı; b) 2014 yılına ilişkin yüksek çözünürlüklü WorldView-2 uydu görüntüsü; c) Örneklem alanı için Kothe ve Lehmeier (1993) tarafından geliştirilmiş konverjans indeks kullanılarak üretilen sırt (turuncu renkli alanlar) ve vadi (mavi renkli alanlar) kesimlerini gösterir harita; d) Haritalanmış sığ heyelanların (kırmızı renkli noktalar) topoğrafik düzeltmelerinin yapıldığı 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritası



Şekil 3.12. Hava fotoğraflarının yorumlanması esnasında heyelanı tanımlayıcı görüntü elemanları; a) Renk ve ton (sarı oklar farklı renk ve tondaki heyelan alanlarını gösterir); b) Şekil bakımından benzeşim gösteren alanların çevre objelerle birlikte ilişkilendirilerek yol olarak sınıflandırıldığını ifade eden görüntü (örnek alan sarı çerçeve içinde ifade edilmiştir); c) Doku ve desen tanımlayıcı görüntü elemanları kullanılarak ayırtlanan iki farklı heyelan kopma zonu (sarı çizgiler kopma zonunu, oklar hareket yönünü ifade eder)



Şekil 3.13. Güneysu su toplama havzası içerisinde hava fotoğrafları ve uzaktan algılama görüntüleri yorumlarından üretilen sığ heyelan kopma zonlarına ilişkin envanter



Şekil 3.14. Çalışma sahasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; yenilme evin hemen altında gerçekleşmiştir



Şekil 3.15. Çalışma sahasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf



Şekil 3.16. Çalışma sahasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu

3.3. Arazi Çalışmaları

3.3.1. Yer kontrol

Bir önceki bölümde ifade edilmiş olduğu üzere Güneysu su toplama havzasına ait sığ heyelanların envanteri; 1995 yılına ait 1:15.000 ölçeğinde renkli kızılötesi stereo hava fotoğrafları ve 2014 yılına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden oluşturulmuştur. Heyelan envanterinde konumlandırılan sığ heyelanların yersel kontrolü arazi çalışmaları kapsamında yapılmıştır. Yersel kontroller sırasında söz konusu duraysızlıkların yaklaşık kayma derinliği konusunda gözlemler yapılmıştır; heyelanların ortalama kayma derinlikleri 2-4 m arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanında yersel kontroller sırasında izlenen heyelanlara ilişkin örnek fotoğraflar Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.17. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu



Şekil 3.18. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu



Şekil 3.19. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Başköy



Şekil 2.20. Çalışma sahasında yersel kontroller sırasında izlenen sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Güneysu



Şekil 3.21. Çalışma sahasında izlenen yersel kontroller sırasında sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf; Islahiye



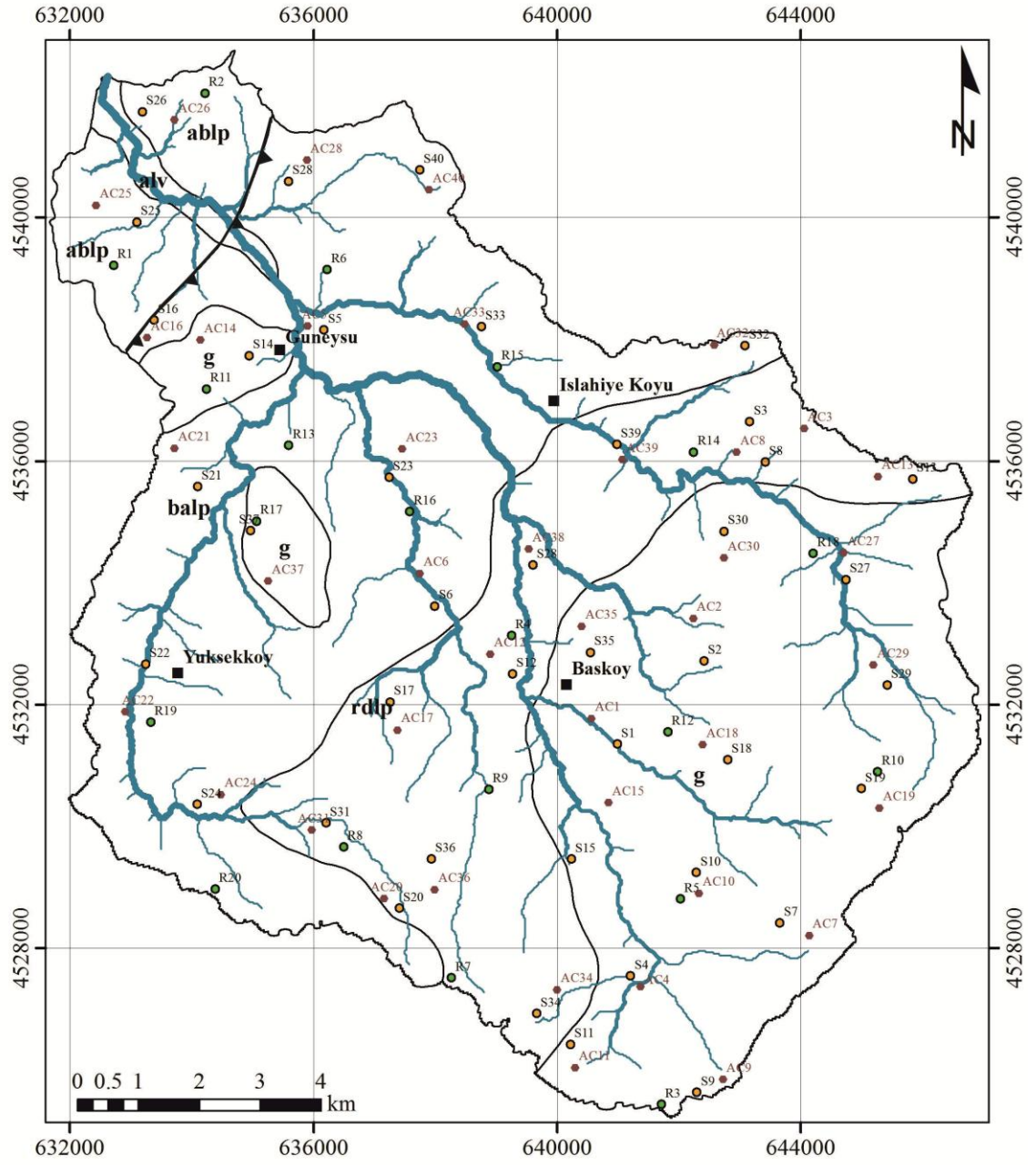
Şekil 2.22. Çalışma sahasında izlenen yersel kontroller sırasında sığ heyelanlara ilişkin örnek fotoğraf

3.3.2. Jeoteknik saha incelemeleri

Jeoteknik çalışmalarda kayaç ve toprak zeminlerin jeomekanik özelliklerini tayin etmek amacıyla arazide mostradan ve sondajlardan örnek alınmaktadır. Kayaç türü malzeme toprak zeminlerin yapısına oranla daha sağlam ve sert malzemeler olduğu için yapısı kolay bozulmaz, dolayısıyla örselenmemiş olarak kabul edilir. Daha çok toprak zeminlerde ve kaya-toprak zeminleri arasındaki geçiş malzemelerinde örnekleme esnasında veya sonrasında örselenme meydana gelmektedir. Örselenmemiş toprak örnekleri, dayanım, deformabilite ve konsolidasyon özellikleri gibi parametrelerin tayininde kullanılmaktadır. Örselenmiş örnekler ise toprak zemin sınıflaması ve indeks parametrelerin tayinine yönelik deneylerde kullanılmaktadır.

3.3.2.1. Araştırma çukuru ve örnekleme

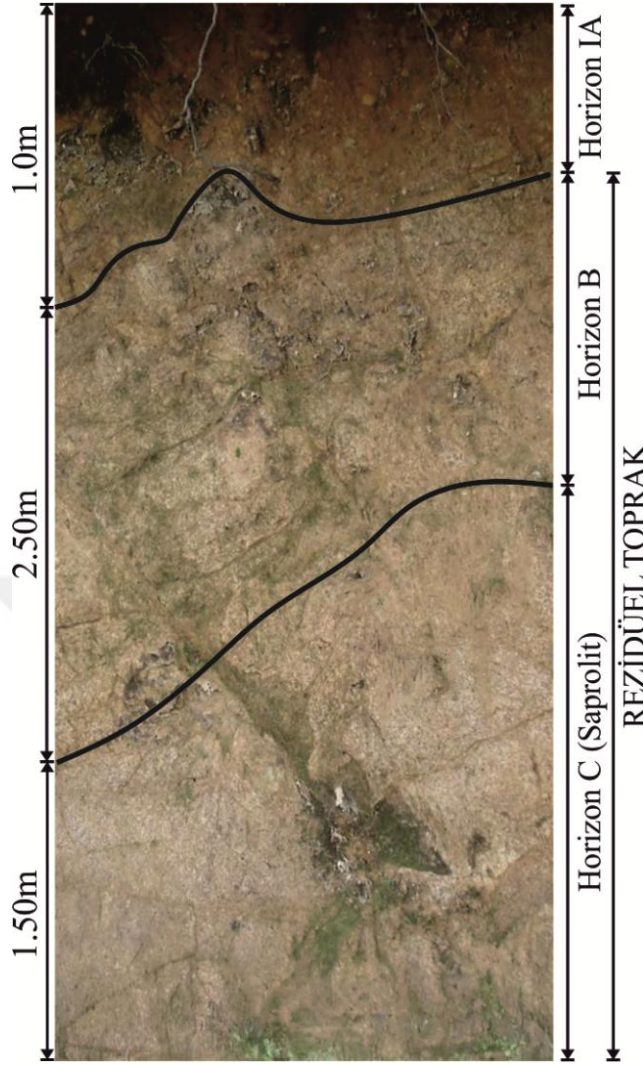
İnceleme alanında arazi incelemeleri ve çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanındaki birimlerin fiziksel ve mekanik özellikler ile davranış karakteristiklerini ortaya çıkarmakta esas alınacak verileri elde etmek için, yanal ve düşey yöndeki litolojik değişimleri ortaya koymak amacıyla 40 farklı gözlem noktasından yol yarmaları ve araştırma çukurlarından örnekleri alınmıştır. Örnek, lokasyonlarını gösteren ve ölçüm/etüt haritası Şekil 3.23'te verilmiştir. Çalışma sahası içerisinde rezidüel seviyelerde izlenen tipik ayrışma profili Şekil 3.24'de verilmiştir.



AÇIKLAMALAR

Güneysu Su Toplama Havzası Sınırı	Araştırma Çukuru
Drenaj	Rezistivite
Bindirme	Sismik
Yerleşim Yeri	

Şekil 3.23. Örnekleme ve jeofizik etüt lokasyonlarını gösterir harita



Şekil 3.24. Çalışma sahası içerisinde rezidüel seviyelerde izlenen tipik ayrışma profili; Deere ve Patton (1971)'a göre ayırt edilmiş toprak profili

Örnekleme için örselenmeye karşı oldukça duyarlı toprak zeminlerde iyi sonuçlar veren ince çeperli tüpler kullanılmıştır (Şekil 3.25 a). İnce çeperli tüpler, kıvamlı ve ince taneli zeminler için iyi sonuç vermektedir. Tüp zemine baskı uygulanarak itilmektedir. Tüpün toprak zemine baskı ile itilmesi hasara uğramasını azaltmakta, örnek kalitesini arttırmaktadır. Tüpler ile 50-60 cm uzunluğunda örnek alınabilmektedir (Şekil 3.25 b). Örnek alındıktan sonra tüpün iki ağzı parafinlenerek örneğin havayla ilişkisi kesilir. Üst organik toprak seviyesinin yazılmasından sonra örnekleme yaklaşık olarak B toprak horizonunun üst seviyesine karşılık gelen kesimlerden yapılmıştır. Alınan örnekler ARE Jeoteknik Müh. Müş. İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti.'nin toprak mekaniği laboratuvarlarına nakledilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.25. a) Örnekleme için kullanılan ince çeperli tüpe ait görüntü; b) Örneğin tüp içerisine alındıktan sonra topraktan çıkarılmasına ait görüntü

3.3.3. Jeofizik etütler

İnceleme alanında ayrışma zonu; rezidüel seviye kalınlığı değerlerini belirlemek amacıyla çok elektrotlu rezistivite ve sismik kırılma çalışmaları yapılmıştır. Jeofizik etütler, ARE Jeoteknik Müh. Müş. İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır. Ölçümler, alanı en iyi şekilde temsil eden noktalarda yapılmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında 40 adet profilde sismik kırılma ile 20 adet profilde çok elektrotlu rezistivite ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda tabaka kalınlığı, yeraltı sonik hız özellikleri ve tabakalanma belirlenmiştir.

3.3.3.1. Sismik kırılma

Çalışma sahasında, yeraltı sonik hız özelliklerinin belirlenmesi için, 40 adet profilde P ve S dalga hızları ölçülmüştür. Arazide yapılan sismik kırılma ölçüm noktaları, ED 1950 UTM Zone 37N koordinat sistemiyle Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Güneysu su toplama havzasında gerçekleştirilen sismik kırılma etüdü ölçüm noktalarının koordinatları

Ölçüm Noktası	Y Koordinat Sistemi	X Koordinat Sistemi	Ölçüm Noktası	Y Koordinat Sistemi	X Koordinat Sistemi
S1	640972	4531412	S21	634048	4535666
S2	642433	4532703	S22	633193	4532559
S3	643141	4536720	S23	637291	4535974
S4	641191	4527585	S24	634071	4530277
S5	636160	4538072	S25	633103	4540095
S6	637999	4533658	S26	633200	4541731
S7	643685	4528385	S27	644707	4534105
S8	643397	4535536	S28	635572	4540643
S9	642295	4525633	S29	645427	4532296
S10	642288	4529176	S30	642781	4534861
S11	640201	4525671	S31	636270	4530057
S12	639240	4532576	S32	643056	4537425
S13	645793	4535151	S33	638759	4538088
S14	634955	4537778	S34	639663	4526861
S15	640006	4529559	S35	640573	4532931
S16	633326	4538408	S36	637883	4529379
S17	637364	4531998	S37	634839	4534201
S18	642828	4531128	S38	639613	4534306
S19	645020	4530572	S39	640999	4536292
S20	637357	4528093	S40	637757	4540792

Sismik kırılma yönteminde amaç, zemini yapay olarak sarsarak, yer altı katmanlarının sonik hız ve kalınlık parametrelerinin doğal şartlarda belirlenmesidir. Yöntemin temeli; sismik dalgaların, yer altı katmanlarında kırılıp veya alıcıya kadar yansımalarıdır. Alıcıya ilk varış zamanları kaydedilir. Kırılan ve yansıyan dalgalar, etütte belirlenen derinliğe bağlı olarak 1-10 m veya daha fazla aralıkla yerleştirilen 12, 24 veya 48 kanallı jeofon dizilimi ile kaydedilirler (Keçeli 2012). Jeofonlar çeşitli dizilim şekillerine sahiptirler. Boyuna dalgalar (P dalgası) yüksek, enine dalgalar (S dalgası) ise düşük hızlarla yayılmaktadır. S dalgaları küçük genlikli ve yüksek frekanslıdır. Enine dalgalar ise, büyük genlikli ve düşük frekanslıdır. Enine dalgalar, boyuna dalgalara göre ortamın yoğunluğuna, su içeriğine, çatlaklık, porozite ve çimentolanma derecesine daha duyarlıdır.

Sismik kırılma ölçümleri 95 m'lik profil boyunca yapılmış olup, böylece yerin yaklaşık 24-30 m derinliğine kadar inilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen veriler ışığında; tabaka kalınlıkları ve yer altı sonik hız özellikleri her bir jeolojik birimden ayrıışan rezidüel seviye için Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışma alanında kaçkar granitoyidi (g) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız özellikleri

Ölçüm Noktası	Katman	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Rezidüel toprak kalınlığı (m)
S1	Rezidüel toprak	959	628	8
	Anakaya	3387	1184	
S2	Rezidüel toprak	1187	414	6
	Anakaya	2689	1484	
S4	Rezidüel toprak	609	310	4
	Anakaya	2372	1196	
S7	Rezidüel toprak	839	456	5
	Anakaya	2330	1286	
S9	Rezidüel toprak	449	339	4
	Anakaya	2448	1054	
S10	Rezidüel toprak	873	450	6
	Anakaya	3108	1547	
S11	Rezidüel toprak	1439	359	6
	Anakaya	2084	1394	
S14	Rezidüel toprak	773	448	10
	Anakaya	2890	1354	
S15	Rezidüel toprak	1187	436	7
	Anakaya	3582	1289	
S18	Rezidüel toprak	629	453	7
	Anakaya	3293	1208	
S19	Rezidüel toprak	547	432	4
	Anakaya	1329	927	
S27	Rezidüel toprak	636	400	6
	Anakaya	2122	1273	
S29	Rezidüel toprak	717	489	4
	Anakaya	3197	1665	
S30	Rezidüel toprak	947	609	5
	Anakaya	2685	1767	
S35	Rezidüel toprak	448	357	4
	Anakaya	1730	1227	
S37	Rezidüel toprak	928	387	8
	Anakaya	3412	1546	

Çizelge 3.3. Çalışma alanında riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız özellikleri

Ölçüm Noktası	Katman	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Rezidüel toprak kalınlığı (m)
S3	Rezidüel toprak	641	319	5
	Anakaya	1532	913	
S8	Rezidüel toprak	613	294	5
	Anakaya	2010	1000	
S12	Rezidüel toprak	595	303	6
	Anakaya	1644	974	
S17	Rezidüel toprak	549	240	5
	Anakaya	1563	1235	
S20	Rezidüel toprak	578	363	4
	Anakaya	1637	889	
S31	Rezidüel toprak	452	262	5
	Anakaya	1825	1242	
S34	Rezidüel toprak	831	307	7
	Anakaya	1876	1127	
S36	Rezidüel toprak	533	309	5
	Anakaya	1675	892	
S38	Rezidüel toprak	669	376	7
	Anakaya	3052	1110	
S39	Rezidüel toprak	598	385	8
	Anakaya	1773	1051	

Çizelge 3.4. Çalışma alanında bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız özellikleri

Ölçüm Noktası	Katman	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Rezidüel toprak kalınlığı (m)
S5	Rezidüel toprak	1038	320	10
	Anakaya	2903	970	
S6	Rezidüel toprak	796	337	8
	Anakaya	2564	1003	
S13	Rezidüel toprak	644	431	5
	Anakaya	1813	935	
S16	Rezidüel toprak	493	255	7
	Anakaya	1756	877	
S21	Rezidüel toprak	725	371	10
	Anakaya	3630	972	
S22	Rezidüel toprak	660	365	8
	Anakaya	3605	933	
S23	Rezidüel toprak	714	237	7
	Anakaya	1965	1251	

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.4'ün devamı.

Ölçüm Noktası	Katman	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Rezidüel toprak kalınlığı (m)
S24	Rezidüel toprak	710	307	8
	Anakaya	1602	974	
S28	Rezidüel toprak	674	282	9
	Anakaya	2136	1176	
S32	Rezidüel toprak	667	271	6
	Anakaya	1346	994	
S33	Rezidüel toprak	1341	283	9
	Anakaya	2101	972	
S40	Rezidüel toprak	590	251	7
	Anakaya	1854	1092	

Çizelge 3.5. Çalışma alanında andezit, bazalt, lav ve piroklastları (abl) üzerinde izlenen rezidüel seviye kalınlığı ve sonik hız özellikleri

Ölçüm Noktası	Katman	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Rezidüel toprak kalınlığı (m)
S25	Rezidüel toprak	558	221	9
	Anakaya	2076	978	
S26	Rezidüel toprak	862	227	10
	Anakaya	3195	1405	

3.3.3.2. Elektrik öz direnç yöntemi

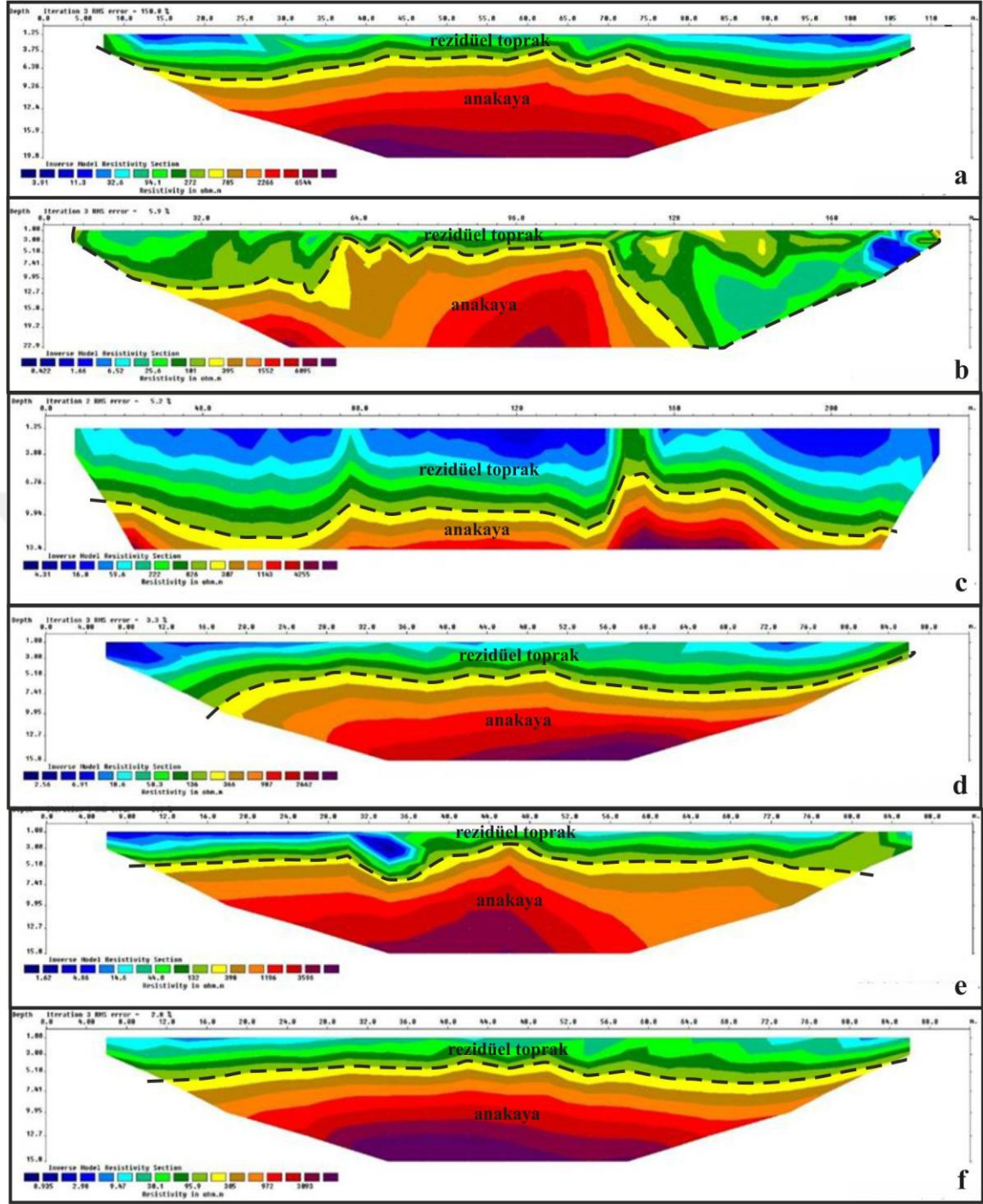
Çalışma alanında, sismik kırılma ile toprak kalınlığı değerleri belirlenmiştir. Sismik kırılma etütleri arasındaki boşlukların doldurulması ve ayrıca bu yöntem ile elde edilen rezidüel toprak kalınlık değerlerinin kontrol edilmesi amacıyla 20 adet profilde rezistivite ölçümleri yapılmıştır. Bu yöntem yer elektrik tomografisi olarakta tanımlanmaktadır. Tomografik profil birçok dizilim (Wenner-Schlumberger, Dipole-Dipole vb.) kullanılarak uygulanmaktadır. Elde edilen görünür öz direnç kesiti bir ters çözüm algoritması ile işlenerek, profil boyunca öz direnç değerleri hesaplanır (Bernard vd. 2004). Çok elektrotlu öz direnç yöntemi; bir hat boyunca eşit aralıklarla çakılmış elektrot ve bunların bağlantısını sağlayan kablodan oluşmaktadır. Elektrot sayısı, çalışma amacı ve kapsamına göre farklı olabilir (Keçeli 2016).

Elektrik öz direnç yönteminde, ölçü cihazı bilgisayar kontrollüdür. Bu veriler ile rezistivite kesiti elde edilir. İnceleme alanında alınan çok elektrotlu öz direnç ölçümlerinin lokasyonları ED 1950 UTM Zone 37N koordinat sistemiyle Çizelge 3.6'da verilmiştir.

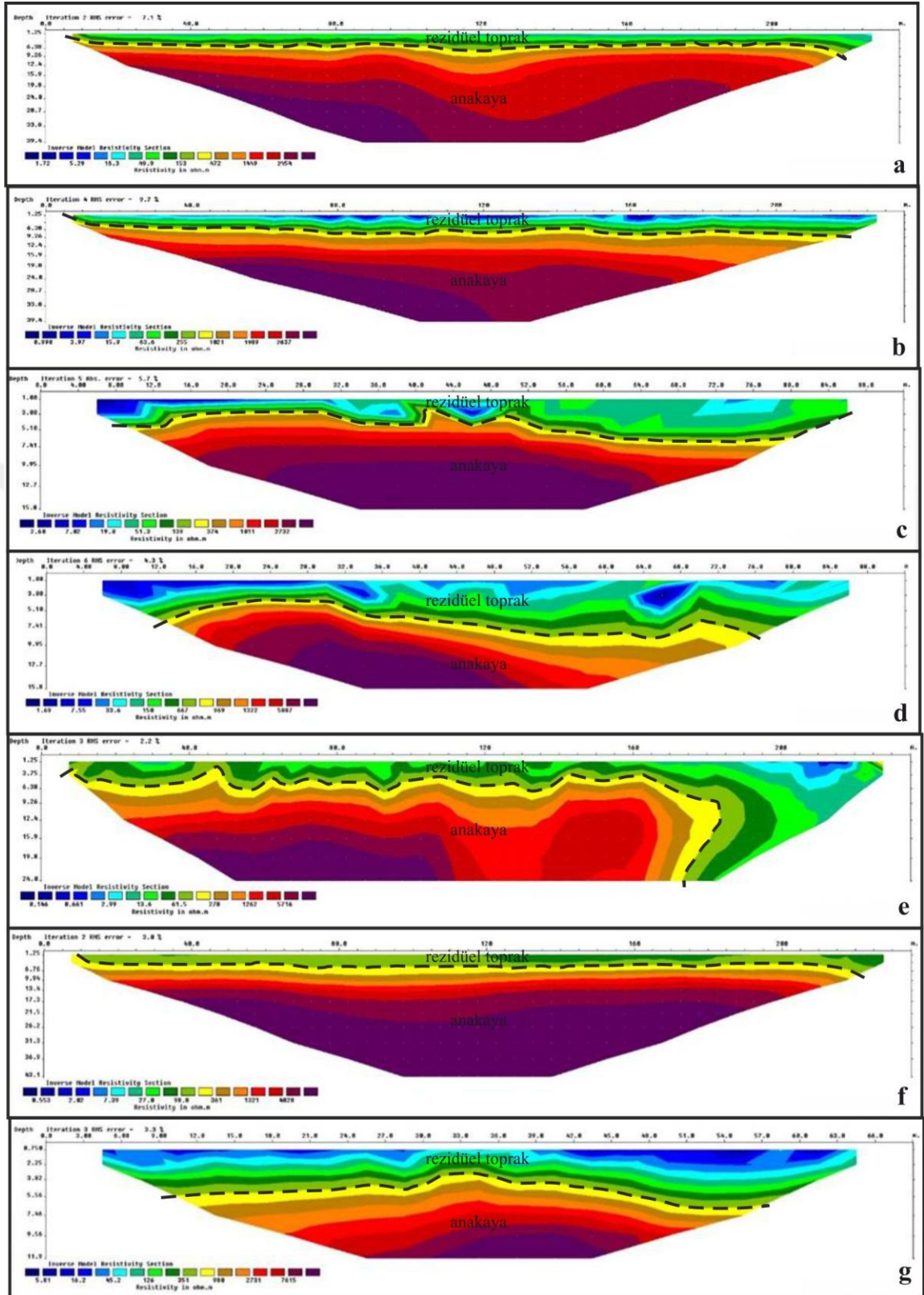
Çizelge 3.6. Güneysu su toplama havzasında gerçekleştirilen rezistivite etüdü ölçüm noktaları

Ölçüm Noktası	Y Koordinat Sistemi	X Koordinat Sistemi	Ölçüm Noktası	Y Koordinat Sistemi	X Koordinat Sistemi
R1	632681	4539570	R11	634231	4537193
R2	634229	4542066	R12	641874	4531571
R3	641731	4525443	R13	635596	4536270
R4	639268	4533138	R14	642262	4536169
R5	642036	4528797	R15	639014	4537574
R6	636207	4539149	R16	637604	4535195
R7	638280	4527536	R17	640456	4535527
R8	636480	4529680	R18	644232	4534533
R9	638878	4530642	R19	633328	4531725
R10	645285	4530896	R20	634413	4528938

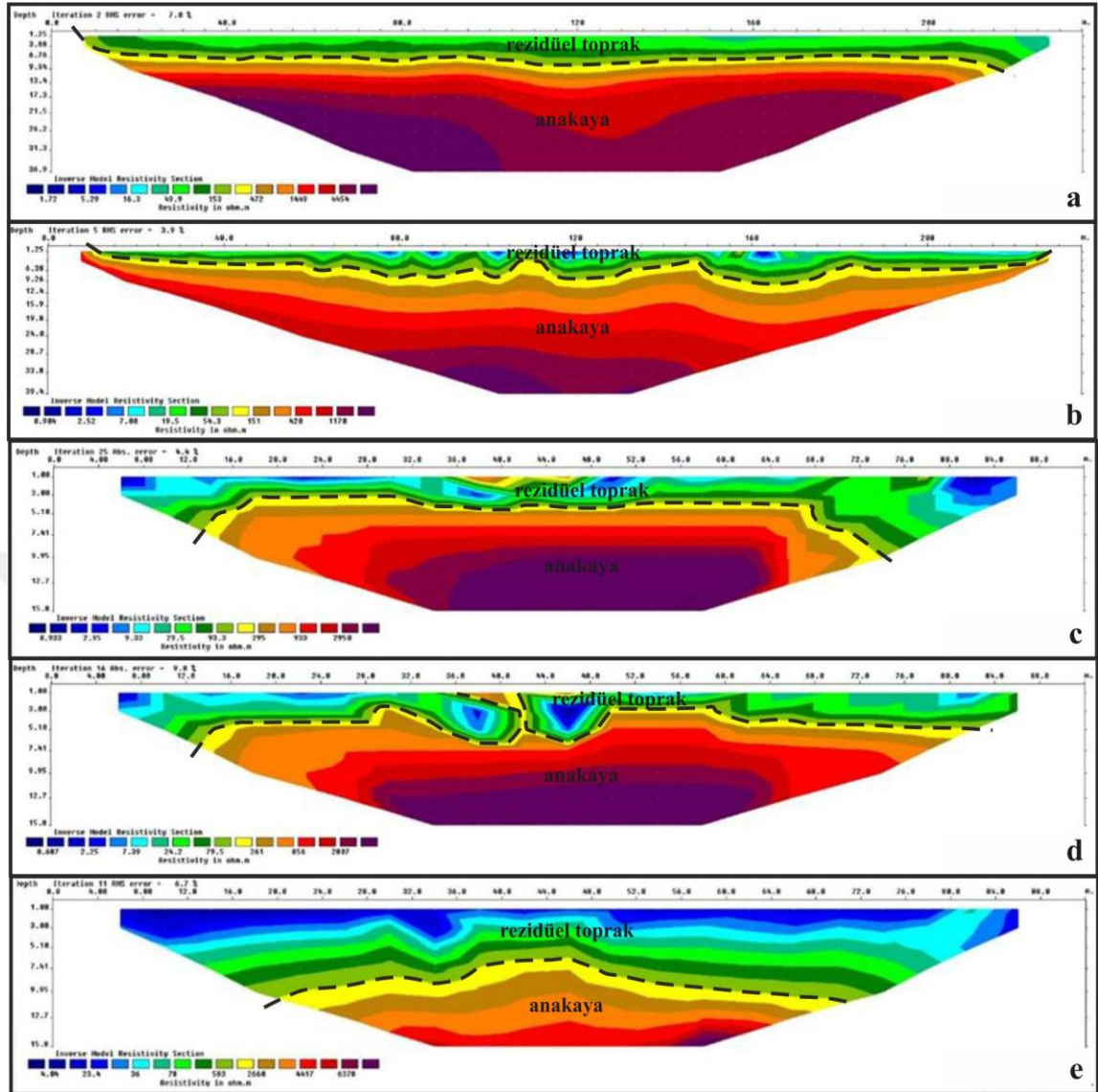
Her bir jeolojik birimden ayrılan rezidüel topraklar üzerinde gerçekleştirilen etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de verilmiştir.



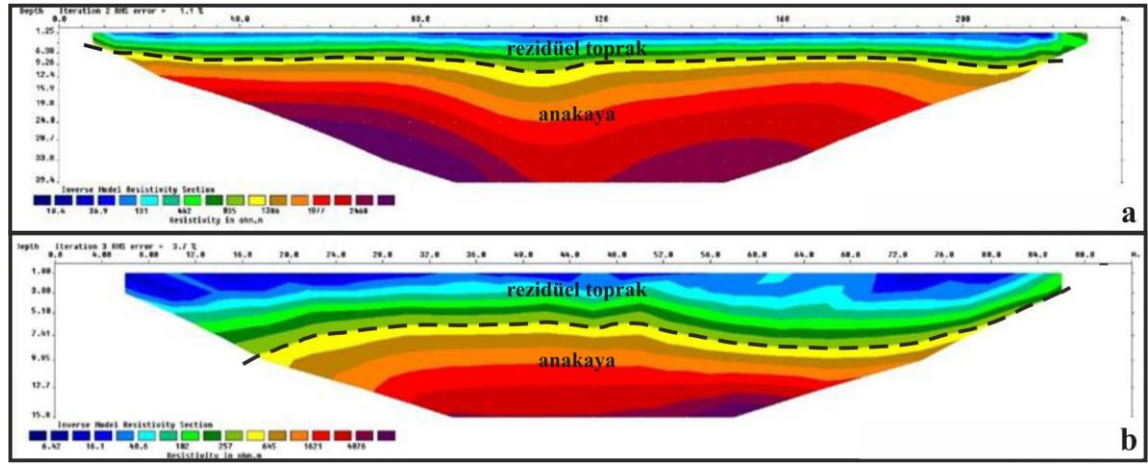
Şekil 3.26. Bazalt, andezit, lav ve piroklast (balp) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R6; (b) R13; (c) R15; (d) R16; (e) R19; (f) R20



Şekil 3.27. Kaçkar granitoyidi (g) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R3; (b) R5; (c) R10; (d) R11; (e) R12; (f) R17; (g) R18



Şekil 3.28. Riyodasit, dasit, lav ve piroklast (rdlp) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R4; (b) R7; (c) R8; (d) R9; (e) R14



Şekil 3.29. Andezit, bazalt, lav ve piroklast (ablp) birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde gerçekleştirilen rezistivite etütlerinden elde edilen rezistivite kesitleri; (a) R1; (b) R2

Rezistivite çalışmalarından elde edilen kesitler incelendiğinde, öz direnç değerlerinin düşey olarak değiştiği görülmektedir. Öz direnç değerleri, ayrışma zonu olarak nitelendirilen ve yüzeyden yaklaşık ilk 5-10 m derinliklere kadar uzanan tabakada düşük değerlerdedir. Mavi-yeşil renkler ve tonlarıyla ifade edilen bu ilk seviyelerin öz direnç değerleri derinlere nispeten daha düşüktür. Bu ilk seviyelerin düşük öz dirençlere sahip olmasında yüzey sularının da etkin olduğu düşünülmektedir. Ortalama 5-10 m derinlikten sonra anakaya olarak düşünülen tabaka sarı-kırmızı renkler ve tonlarıyla ifade edilmektedir. Bu tabakanın öz direnç değerleri yüksek olup derinliğin artmasına müteakiben 2000-6000 ohm.m'ye kadar değerler alabilmektedir.

3.3.4. Laboratuvar çalışmaları

Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş toprak örneklerinde, su içeriği, doğal birim hacim ağırlık, elek analizi, makaslama kutusu deneyi ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Tüm deneylerde TS-1900 standartları uygulanıp, örnekler birleştirilmiş zemin sınıflamasına (TS-1500) göre sınıflandırılmıştır. Laboratuvar deneyleri ARE Jeoteknik Müh. Müş. İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti.'nin toprak mekaniği laboratuvarında yapılmıştır.

3.3.4.1. Toprak zeminlerin indeks ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

İnceleme alanının jeolojisini oluşturan kaya birimlerin üst seviyelerinde gözlenen rezidüel zonun indeks ve fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik olarak 40 adet doğal su muhtevası deneyi, elek analizi, Atterberg limitleri tayini ve zemin sınıfı tanımlaması yapılmıştır.

Laboratuvarda gerçekleştirilen incelemelere bağlı olarak toprakların indeks ve fiziksel özelliklerine ilişkin bulgular Çizelge 3.7'de verilmiştir. Buna göre sahada izlenen rezidüel seviyelerin doğal su içeriği değerleri %45 üzerine kadar

çıkabilmektedir; 40 ayrı lokasyondan alınan ortalama doğal su içeriği değeri %20.16 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum; su toplama havzası içerisinde izlenen rezidüel seviyelerin oldukça suya doygun olabileceği anlamına gelmektedir. Toprak örnekleri Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (USCS) bağlı olarak değerlendirildiğinde 17 adet örnek siltli kum (SM), 9 adet örnek siltli çakıl (GM), 9 adet örnek düşük plastisiteli siltli veya killi kumlar veya killi siltler-ince kum (ML) ve 5 adet örnek de killi kum (SC) olarak sınıflandırılmaktadır. Yaklaşık 0-1 m derinlikten alınan söz konusu toprak örneklerinin USCS sınıfları dikkate alındığında, bu birimler üzerine düşen yağışın, bitki örtüsünden bağımsız infiltrasyon kapasitesinin yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Bu durum; muhtemel yağışlar sırasında rezidüel seviyeler içerisinde yüksek debili yüzey altı akışlarının oluşabileceği ve boşluk suyu basınçlarının ani olarak artabileceği anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.7. Toprakların indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları

Araştırma Çukuru Adı	Doğal Su Muhtevası (%)	USCS	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Rezidüel Toprak; Üzerinde Geliştiği Anakaya Birimi
			#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
AÇ-1	29,50	ML	0.30	72.10	-	NP	-	g
AÇ-2	35,00	ML	0.80	69.40	45.70	38.60	7.10	g
AÇ-3	12,70	SM	30.60	19.30	-	NP	-	rdlp
AÇ-4	10,60	GM	50.00	5.10	-	NP	-	g
AÇ-5	9,90	GM	49.30	6.70	-	NP	-	balp
AÇ-6	8,60	GM	55.80	6.20	-	NP	-	balp
AÇ-7	7,70	GM	65.30	5.80	-	NP	-	g
AÇ-8	7,10	GM	71.00	5.10	-	NP	-	rdlp
AÇ-9	5,60	GM	75.20	6.00	-	NP	-	g
AÇ-10	4,90	GM	86.90	5.50	-	NP	-	g
AÇ-11	6,20	GM	73.90	5.20	-	NP	-	g
AÇ-12	5,40	GM	74.30	5.70	-	NP	-	rdlp
AÇ-13	25,60	ML	2.10	61.00	-	NP	-	balp
AÇ-13	25,60	ML	0.70	79.20	46.20	43.20	3.00	balp
AÇ-14	46,30	ML	7.30	59.20	-	NP	-	g
AÇ-15	36,30	ML	10.10	57.90	-	NP	-	g
AÇ-16	24,00	ML	20.90	44.20	-	NP	-	balp
AÇ-17	20,00	SM	20.20	45.90	43.50	24.60	18.90	rdlp
AÇ-18	19,30	SC	26.60	25.50	41.80	24.90	16.90	g
AÇ-19	18,60	SC	29.20	19.70	-	NP	-	g
AÇ-20	17,50	SM	20.40	40.00	-	NP	-	rdlp
AÇ-21	21,30	SM	14.00	55.10	-	NP	-	balp
AÇ-22	24,60	ML	0.80	53.40	-	NP	-	balp
AÇ-23	28,10	ML	0.00	47.50	-	NP	-	balp
AÇ-24	32,70	SM	0.20	46.50	-	NP	-	balp
AÇ-25	30,90	SM	0.00	40.90	45.80	41.80	3.90	abl

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.7'nin devamı.

Araştırma Çukuru Adı	Doğal Su Muhtevası (%)	USCS	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Rezidüel Toprak; Üzerinde Geliştiği Anakaya Birimi
			#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
AÇ-26	32,50	SM	0.50	36.90	-	NP	-	ablp
AÇ-27	16,80	SM	0.70	41.70	-	NP	-	g
AÇ-28	20,50	SM	0.30	72.10	-	NP	-	balp
AÇ-29	35,40	ML	0.00	54.00		NP		g
AÇ-30	17,30	SM	4.70	27.60		NP		g
AÇ-31	15,10	SM	3.30	17.80		NP		rdlp
AÇ-32	17,40	SC	4.40	25.60	38.90	19.50	19.40	balp
AÇ-33	19,30	SM	3.20	16.80		NP		balp
AÇ-34	18,30	SM	5.10	15.20		NP		rdlp
AÇ-35	19,40	SM	11.90	10.70		NP		g
AÇ-36	20,10	SM	14.30	11.10		NP		rdlp
AÇ-37	19,30	SM	4.20	21.40		NP		g
AÇ-38	21,20	SC	2.40	36.70	47.00	24.60	22.40	rdlp
AÇ-39	22,40	SC	14.60	29.90	45.70	26.80	18.90	rdlp
AÇ-40	23,00	SM	16.60	36.40		NP		balp

3.3.4.2. Toprak zeminlerin mekanik ve hidrolojik özelliklerinin belirlenmesi

İnceleme alanında araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş toprak örnekleri üzerinde mekanik özelliklerini belirlemesine yönelik 40 adet doğal birim hacim ağırlık deneyi, makaslama kutusu deneyi ve hidrolojik özelliklerin değerlendirilmesine yönelik 5 adet permeabilite deneyi yapılmıştır.

Laboratuvarında gerçekleştirilen incelemelere bağlı olarak toprakların mekanik özelliklerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 3.8'de verilmiştir. Örneklerle ait doğal birim hacim ağırlık değerleri; örselenmemiş numuneler kullanılarak makaslama kutusuna ait örnek kalıplarından itibaren saptanmıştır. Buna göre en düşük ve en yüksek birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla $14,75 \text{ kN/m}^3$ ve $18,4 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmaktadır. Bununla birlikte konsolidasyonsuz-drenajsız koşullar altında gerçekleştirilen makaslama kutusu deneylerine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kohezyon değerleri sırasıyla $0,13 \text{ kgf/cm}^2$ ve $0,28 \text{ kgf/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Diğer taraftan söz konusu örnekler için en düşük ve en yüksek içsel sürtünme açısı değerleri ise 13° ve 25° olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Toprakların mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları

Araştırma Çukuru Adı	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	c (kgf/cm ²)	ϕ (°)	Rezidüel Toprak; Üzerinde Geliştiği Anakaya Birimi
AÇ-1	17.30	0,24	18	g
AÇ-2	16.10	0,18	20	g
AÇ-3	16.20	0,20	17	rdlp
AÇ-4	15,40	0,21	16	g
AÇ-5	15,37	0,16	21	balp
AÇ-6	16,80	0,15	24	balp
AÇ-7	16,70	0,23	15	g
AÇ-8	17,50	0,28	13	rdlp
AÇ-9	16,50	0,27	15	g
AÇ-10	18,00	0,23	14	g
AÇ-11	18,10	0,13	23	g
AÇ-12	17,55	0,16	25	rdlp
AÇ-13	16,50	0,25	14	balp
AÇ-14	16,80	0,19	13	g
AÇ-15	17,10	0,18	17	g
AÇ-16	16,80	0,19	22	balp
AÇ-17	18,40	0,14	21	rdlp
AÇ-18	17,55	0,20	19	g
AÇ-19	17,20	0,20	21	g
AÇ-20	16,50	0,19	16	rdlp
AÇ-21	16,75	0,13	23	balp
AÇ-22	15,80	0,15	22	Balp
AÇ-23	17,10	0,15	22	balp
AÇ-24	16,50	0,25	16	balp
AÇ-25	15,95	0,14	21	ablp
AÇ-26	16,50	0,17	19	ablp
AÇ-27	17,15	0,16	19	g
AÇ-28	18,10	0,16	21	balp
AÇ-29	17,40	0,15	22	g
AÇ-30	16,50	0,18	20	g
AÇ-31	15,50	0,17	21	rdlp
AÇ-32	16,50	0,19	21	balp
AÇ-33	14,75	0,17	23	balp
AÇ-34	16,50	0,15	22	rdlp
AÇ-35	17,10	0,16	19	g
AÇ-36	17,25	0,21	16	rdlp
AÇ-37	18,12	0,16	23	g
AÇ-38	18,00	0,15	25	rdlp
AÇ-39	17,10	0,23	15	rdlp
AÇ-40	16,50	0,21	22	balp

Arazi çalışmaları sırasında farklı rezidüel topraklardan örselenmemiş numuneler alınarak laboratuvarında düşen seviyeli permeabilite deneyleri yapılmıştır. Buna göre; çalışma sahası içerisinde izlenen rezidüel toprakların permeabilite değerlerinin değişim aralığı Çizelge 3.9’da verilmiştir. En düşük permeabilite granitoyid birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde $8,42 \times 10^{-6}$ cm/sn olarak izlenmektedir. Diğer taraftan en yüksek permeabilite değeri ise bazalt, andezit, lav ve piroklastları üzerinde gelişen rezidüel seviyeler için $1,23 \times 10^{-3}$ cm/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.9. Toprak zemin örneklerine ilişkin permeabilite değerleri

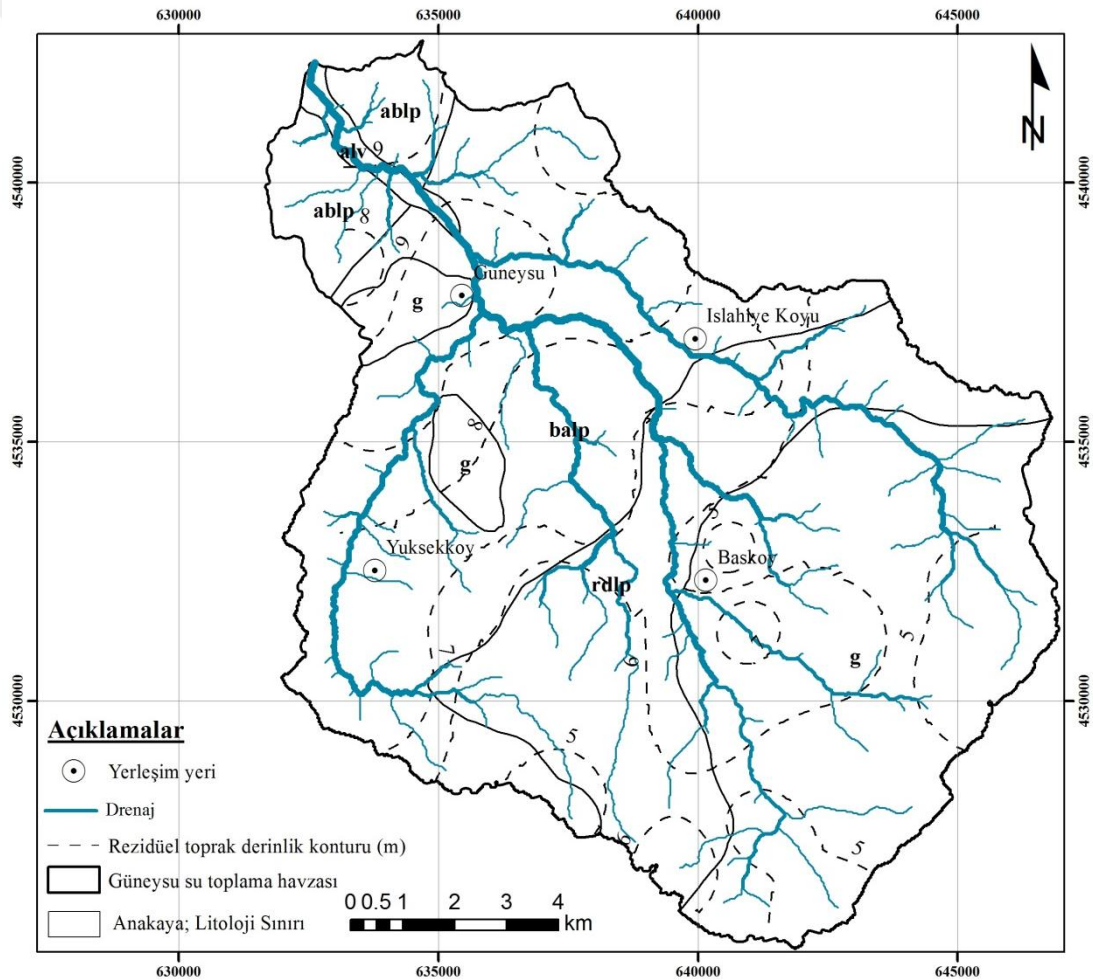
Araştırma Çukuru Adı	K (cm/sn)	Rezidüel Toprak; Üzerinde Geliştiği Anakaya Birimi
AÇ-1	$8,42 \times 10^{-6}$	g
AÇ-5	$1,23 \times 10^{-3}$	balp
AÇ-19	$1,71 \times 10^{-6}$	g
AÇ-34	$2,74 \times 10^{-4}$	rdlp
AÇ-39	$2,55 \times 10^{-6}$	rdlp

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Heyelan Duyarlılık Analizleri

4.1.1. Rezidüel toprak kalınlığı

Rezidüel toprak; ayrışma ürünlerinin taşınmaya uğramadan yerinde kalması ile oluşan zemin olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar rezidüel toprak içerisinde meydana gelmektedir. Çalışma alanına ait rezidüel toprak kalınlık değerleri jeofizik etütlerle belirlenmiştir. Bu kapsamda 40 adet sismik kırılma ve 20 adet rezistivite etüdü yapılmıştır. Güneysu su toplama havzasına ilişkin jeolojik birimlere ait toprak kalınlığı Şekil 4.1’de verilmiştir. Çalışma sahası içerisinde saptanan rezidüel toprak kalınlığı değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Güneysu su toplama havzası rezidüel toprak kalınlığı haritası

Çizelge 4.1. Rezidüel toprak kalınlığı değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Rezidüel Toprak; Üzerinde Geliştiği Anakaya Birimi	Parametre	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
g	Rezidüel Toprak Kalınlığı	4,00	10,00	5,8750	1,78419	3,183
rdlp		4,00	8,00	5,7000	1,25167	1,567
balp		5,00	10,00	7,8333	1,52753	2,333
ablp		9,00	10,00	9,5000	0,70711	0,500
tüm saha		4,00	10,00	6,6000	1,89195	3,579

4.1.2. SINMAP matematiksel modeli

SINMAP matematiksel modeli ile fiziksel temelli bir heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmek için üç ana veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri setleri: (i) Grid veri formatındaki sayısal yükseklik modeli (SYM); (ii) Rezidüel toprak birimine ait mekanik ve hidrolojik özellikler ve (iii) Nokta vektör veri formatında olmak üzere heyelan envanter bilgisinden oluşmaktadır. Toprak birimlerine ait mekanik ve hidrolojik parametreler olarak; kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), yoğunluk (ρ) ve transmisivite (T)/beslenim (R) (T/R) değerleri mutlak gerekli verileri oluşturmaktadır. Heyelan envanter bilgisi, kurulacak modelin kalibrasyonu ve kontrolü için değerlendirilmektedir.

Bu bilgiler ışığında, tez kapsamında ihtiyaç duyulan ve yukarıda sözü edilen mekanik ve hidrolojik parametrelerin tayini amacıyla, arazide örselenmiş ve örselenmemiş örneklemeler alınmıştır. Araziden alınan bu örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; sahada izlenen 4 farklı temel kaya birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerden 40 ayrı lokasyonda sistematik örnekleme yapılmıştır. Laboratuvarda gerçekleştirilen incelemelere bağlı olarak rezidüel toprakların indeks ve fiziksel özellikleri ile mekanik ve hidrolojik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bununla birlikte; rezidüel seviyelerden alınan örneklerle ilişkin tanımlanan USCS zemin sınıflarının frekans dağılımları ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Buna göre sahada izlenen rezidüel seviyelerin doğal su içeriği değerleri %45 üzerine kadar çıkabilmektedir; 40 ayrı lokasyondan alınan ortalama doğal su içeriği değeri %20.16 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum; su toplama havzası içerisinde izlenen rezidüel seviyelerin oldukça suya doygun olabileceği anlamına gelmektedir. Diğer taraftan; değerlendirilen toprak örnekleri Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (USCS) bağlı olarak incelendiğinde 17 adet örnek siltli kum (SM), 9 adet örnek siltli çakıl (GM), 9 adet örnek düşük plastisiteli siltli veya killi kumlar veya killi siltler-ince kum (ML) ve 5 adet örnek de killi kum (SC) olarak sınıflandırılmaktadır. Yaklaşık 0-1 m derinlikten alınan söz konusu toprak örneklerinin USCS sınıfları dikkate alındığında, bu birimler üzerine düşen yağışın, bitki örtüsünden bağımsız infiltrasyon kapasitesinin yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Bu durum;

muhtemel yağışlar sırasında rezidüel seviyeler içerisinde yüksek debili yüzey altı akışlarının oluşabileceği ve müteakiben boşluk suyu basınçlarının ani olarak artabileceği anlamına gelmektedir. Rezidüel seviyelerden alınan toprak örneklerine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin belirlenmesi amacıyla araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) koşullar altında makaslama kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Örneklere ait doğal birim hacim ağırlık değerleri; örselenmemiş numuneler kullanılarak makaslama kutusuna ait örnek kalıplarından itibaren saptanmıştır. Buna göre en düşük ve en yüksek birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla $14,75 \text{ kN/m}^3$ ve $18,4 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmaktadır. Bununla birlikte konsolidasyonsuz-drenajsız koşullar altında gerçekleştirilen makaslama kutusu deneylerine bağlı olarak en düşük ve en yüksek kohezyon değerleri sırasıyla $0,13 \text{ kgf/cm}^2$ ve $0,28 \text{ kgf/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Diğer taraftan söz konusu örnekler için en düşük ve en yüksek içsel sürtünme açısı değerleri ise 13° ve 25° olarak hesaplanmıştır. SINMAP matematiksel modelinin gerçekleştirilebilmesi için çalışılan rezidüel seviyelerin permeabilite değerlerinin değişim aralığı bilinmelidir. Bu amaçla yine arazi çalışmaları sırasında farklı rezidüel topraklardan örselenmemiş numuneler alınarak laboratuvarda düşen seviyede permeabilite deneyleri yapılmıştır. En düşük permeabilite granitoid birimi üzerinde gelişen rezidüel seviyelerde $8,42 \times 10^{-6} \text{ cm/sn}$ olarak izlenmektedir. Diğer taraftan en yüksek permeabilite değeri ise bazalt, andezit, lav ve piroklastları üzerinde gelişen rezidüel seviyeler için $1,23 \times 10^{-3} \text{ cm/sn}$ olarak bulunmuştur. Yine SINMAP modelinin gerçekleştirilmesinde önem arz eden bir diğer parametre havza içerisindeki rezidüel toprak kalınlıklarının değişim aralığıdır. Söz konusu rezidüel seviyelerin kalınlıklarının belirlenebilmesi amacıyla araştırma çukurlarının açıldığı lokasyonlara karşılık gelen alanlarda jeofizik etütler; sismik kırılma etütleri yapılmıştır. Jeofizik etütler sonucu yorumlanan rezidüel toprak kalınlıkları 4 m ile 10 m arasında değiştiği anlaşılmaktadır.

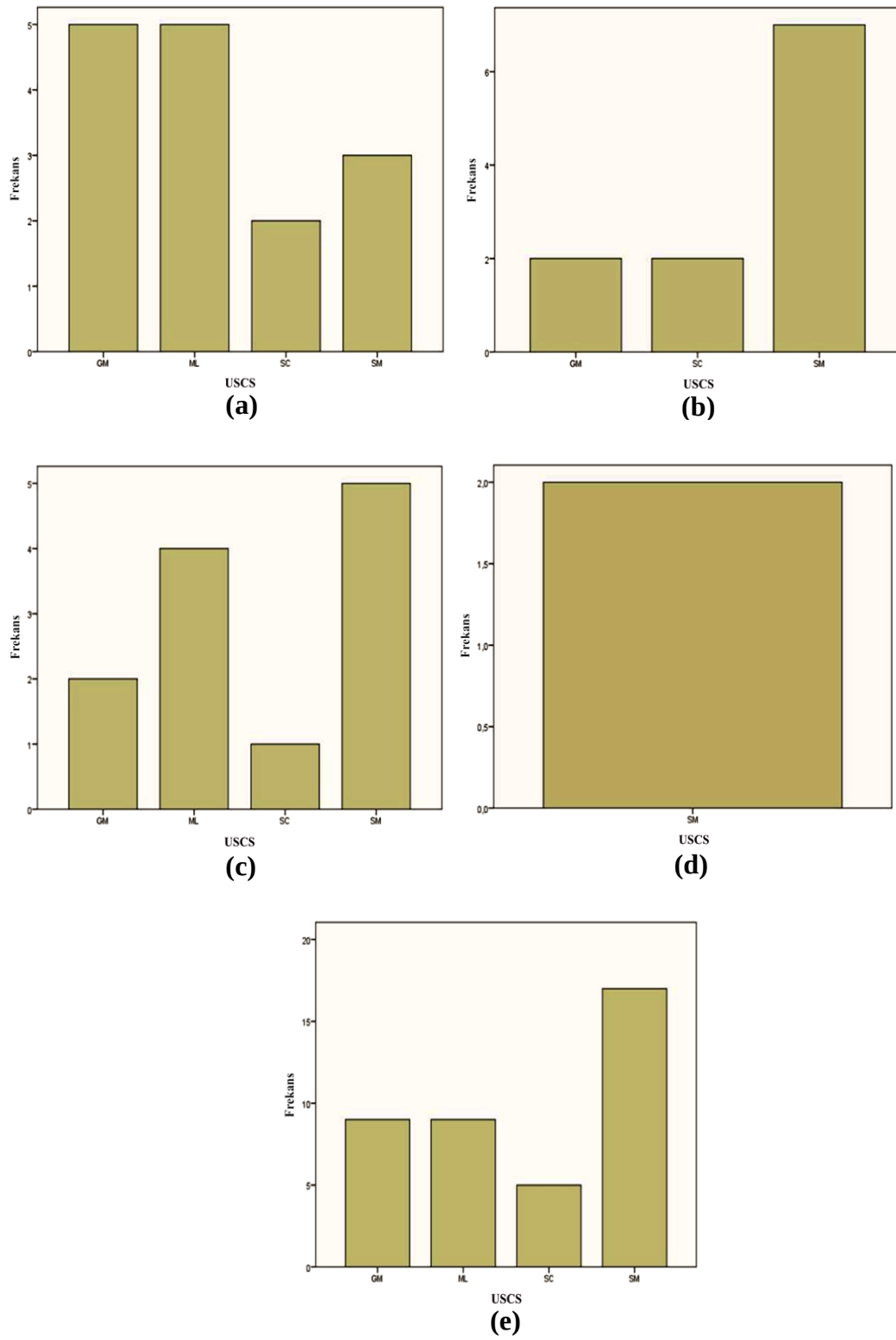
Çizelge 4.2. Rezidüel toprak seviyelerinden alınan örneklere ilişkin fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler

Rezidüel Toprak; Üzerinde Geliştiği Anakaya Birimi	Parametre	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
g	Doğal Su Muhtevası (%)	4,90	46,30	20,5933	13,06661	170,736
	Doğal Birim Hacim Ağırlık (Kn/M^3)	15,40	18,10	16,9933	0,69920	0,489
	Kohezyon (Kgf/Cm^2)	0,13	0,27	0,1940	0,03757	0,001
	İçsel Sürtünme Açısı ($^\circ$)	13,00	23,00	18,0667	2,98727	8,924
	Permeabilite (Cm/Sn)	1.71×10^{-6}	8.42×10^{-6}	5.065×10^{-6}	4.74469×10^{-6}	0,000

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.1'in devamı.

rdlp	Doğal Su Muhtevası (%)	5,40	22,40	16,2818	5,67130	32,164
	Doğal Birim Hacim Ağırlık (Kn/M ³)	15,50	18,40	17,1473	0,89391	0,799
	Kohezyon (Kgf/Cm ²)	0,14	0,2	0,1855	0,04228	0,002
	İçsel Sürtünme Açısı (°)	13,00	25,00	19,4545	4,20389	17,673
	Permeabilite (Cm/Sn)	2.55×10^{-6}	2.47×10^{-4}	1.24775×10^{-4}	1.728523×10^{-4}	0,000
balp	Doğal Su Muhtevası (%)	8,60	32,70	21,2500	6,92052	47,894
	Doğal Birim Hacim Ağırlık (Kn/M ³)	14,75	18,10	16,4558	0,85112	0,724
	Kohezyon (Kgf/Cm ²)	0,13	0,25	0,1800	0,03931	0,002
	İçsel Sürtünme Açısı (°)	14,00	24,00	20,9167	2,93748	8,629
	Permeabilite (Cm/Sn)	1.23×10^{-3}	1.23×10^{-3}	1.23×10^{-3}	-	-
ablp	Doğal Su Muhtevası (%)	30,90	32,50	31,7000	1,13137	1,280
	Doğal Birim Hacim Ağırlık (Kn/M ³)	15,95	16,50	16,2250	0,38891	0,151
	Kohezyon (Kgf/Cm ²)	0,14	0,17	0,1550	0,02121	0,000
	İçsel Sürtünme Açısı (°)	19,00	21,00	20,0000	1,41421	2,000
	Permeabilite (Cm/Sn)	-	-	-	-	-
Tüm saha	Doğal Su Muhtevası (%)	4,90	46,30	20,1600	9,72562	94,588
	Doğal Birim Hacim Ağırlık (Kn/M ³)	14,75	18,40	16,8360	0,83009	0,689
	Kohezyon (Kgf/Cm ²)	0,13	0,28	0,1855	0,03869	0,001
	İçsel Sürtünme Açısı (°)	13,00	25,00	19,4000	3,41039	11,631
	Permeabilite (Cm/Sn)	2×10^{-6}	1.23×10^{-3}	2.9794×10^{-4}	5.31545×10^{-4}	0,000



Şekil 4.2. Rezidüel topraklara ilişkin tanımlanan USCS zemin sınıflarının frekans dağılımı; (a) g; (b) rdlp; (c) balp; (d) ablp; (e) tüm saha

Buraya kadar ifade edilen parametrelerin belirlenmesine müteakiben SINMAP matematiksel modelinin çalıştırılabilmesi amacıyla model girdi değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu süreçte her litolojik birim için ayrı ayrı boyutsuz kohezyon sabiti (C), T/R oranı ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerinin en düşük ve en yüksek değerleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda ek hesaplamayı gerektirmeyen tek parametre rezidüel seviyelere ait içsel sürtünme açısı değeridir.

Bu kapsamda ilk olarak Kaçkar granitoyidi (g) birimi üzerinde gelişen rezidüel toprak için boyutsuz kohezyon sabiti (C), T/R oranı ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerinin en düşük ve en yüksek değerleri hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısına ilişkin değişim aralığı 13° - 23° olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 4.3). Diğer taraftan boyutsuz kohezyon sabitinin en düşük ve en yüksek değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Buna göre, en düşük boyutsuz kohezyon değeri Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$C_{\min} = \frac{(C_{r(\min)} + C_{s(\min)})}{h_{\max} \rho_{s(\max)} g} \quad (4.1)$$

Kök kohezyonu (C_r); 0, en düşük toprak kohezyon değeri (C_s); $0,13 \text{ kgf/cm}^2$ yani $12748,645 \text{ N/m}^2$, en yüksek rezidüel toprak kalınlığı (h); 8,69 m ve en yüksek doğal toprak yoğunluğu; $1,87 \text{ gr/cm}^3$ yani 1870 kg/m^3 değerleri dikkate alınmış ve boyutsuz kohezyon sabitinin en düşük değeri 0,08 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4).

Boyutsuz kohezyon sabitinin en yüksek değeri Denklem 4.2’de verilmiştir.

$$C_{\max} = \frac{(C_{r(\max)} + C_{s(\max)})}{h_{\min} \rho_{s(\min)} g} \quad (4.2)$$

Kök kohezyonu (C_r); 0, en yüksek toprak kohezyon değeri (C_s); $0,27 \text{ kgf/cm}^2$ yani $26477,955 \text{ N/m}^2$, en düşük rezidüel toprak kalınlığı (h); 4,13 m ve en düşük doğal toprak yoğunluğu; $1,46 \text{ gr/cm}^3$ yani 1460 kg/m^3 değerleri dikkate alınmış ve boyutsuz kohezyon sabitinin en yüksek değeri 0,448 olarak bulunmuştur. Buraya kadar Kaçkar granitoyidi üzerinde gelişen rezidüel toprak için ve boyutsuz kohezyon sabiti hesaplamaları diğer rezidüel topraklar içinde benzer şekilde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4).

SINMAP matematiksel modelinin çalıştırılabilmesi amacıyla hesaplanması gereken bir diğer parametre ise T/R oranının en düşük ve en yüksek değerleridir. En düşük T (transmisivite; iletimlilik) değeri Denklem 4.3’te verilmiştir.

$$T_{\min} = K_{\min} \times b_{\min} \quad (4.3)$$

$K_{\min}$, en küçük permeabilite (m/s) ve $b_{\min}$, en küçük rezidüel toprak kalınlığı (m) olarak verilmektedir. En küçük rezidüel toprak kalınlığı değeri; 4,13 m ve en küçük permeabilite değeri; $1,71 \times 10^{-6} \text{ cm/sn}$ yani $1,71 \times 10^{-8} \text{ m/sn}$ değeri dikkate alınmış ve en düşük transmisivite değeri $7,06 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak belirlenmiştir.

En yüksek T değeri Denklem 4.4'te verilmiştir.

$$T_{\max} = K_{\max} \times b_{\max} \quad (4.4)$$

En yüksek rezidüel toprak kalınlığı değeri; 8,69 m ve en yüksek permeabilite değeri; $8,42 \times 10^{-6}$ cm/sn yani $8,42 \times 10^{-8}$ m/sn değeri dikkate alınmış ve en yüksek transmisivite değeri $7,32 \times 10^{-7}$ m²/sn olarak hesaplanmaktadır. SINMAP matematiksel modeli içerisinde değerlendirilmesi gereken T/R oranındaki “R” ifadesi daha önce de verilmiş olduğu üzere beslenme anlamına gelmektedir ve doğrudan yağış olarak alınmaktadır. Bu kapsamda; Güneysu su toplama havzası için kritik yağış değeri olarak, Nefeslioğlu vd. (2011) tarafından söz konusu bölge için Pazar yağış istasyonundan alınan yağış verileri ve bu verilerin bölgedeki heyelanlar ile korelasyonları sonucu önerdikleri kritik yağış olan 100 mm/gün değeri esas alınmıştır. Günlük 100 mm yağış dikkate alındığında; gerekli dönüşümlerin yapılmasıyla beslenme miktarı (R) $11,6 \times 10^{-7}$ m/sn olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında söz konusu yağışın tamamının infiltrasyonuna izin verilmemiştir. Böylesi bir yaklaşım mevcut rezidüel seviyeleri olması gerekenden daha çok doygun hale getirecektir. Bu nedenle; havza içerisinde söz konusu kritik beslenimin yaklaşık %20, %40 ve %75'ine izin verilerek hassasiyet analiz yapılmıştır. Buna göre; model içerisinde dikkate alınan beslenme miktarı (R) sırasıyla $2,32 \times 10^{-7}$ m/sn, $4,64 \times 10^{-7}$ m/sn ve $8,7 \times 10^{-7}$ m/sn olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak; Kaçkar granitoyidi üzerinde gelişen rezidüel toprağa ait T ve R değerleri dikkate alındığında; en düşük T/R değerleri sırasıyla 0,304, 0,152, 0,081 ve en yüksek T/R değerleri ise sırasıyla 3,155, 1,578 ve 0,841 olarak hesaplanmıştır. Kaçkar granitoyidi üzerinde gelişen rezidüel toprağa ilişkin T ve R değerlerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalara benzer şekilde diğer rezidüel topraklar için de T ve R hesaplamaları yapılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3. SINMAP modeli için gerekli olan verilerin hesaplanmasında kullanılan parametreler

Parametre	Sınır	g	rdlp	balp	ablp
Rezidüel Seviye Kalınlığı (m)	Alt	4,13	4,84	5,92	9,00
	Üst	8,69	7,77	9,78	9,78
ρ (gr/cm ³)	Alt	1,46	1,43	1,46	1,50
	Üst	1,87	1,66	1,87	1,68
c (kgf/cm ²)	Alt	0,13	0,14	0,13	0,14
	Üst	0,27	0,28	0,25	0,17
ϕ (°)	Alt	13	13	16	19
	Üst	23	25	24	21
K (cm/sn)	Alt	$1,71 \times 10^{-6}$	$2,55 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-3}$	$1,23 \times 10^{-3}$
	Üst	$8,42 \times 10^{-6}$	$2,47 \times 10^{-4}$	$1,23 \times 10^{-3}$	$1,23 \times 10^{-3}$

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.3'ün devamı.

Parametre	Sınır	g	rdlp	balp	ablp
T (m ² /sn)	Alt	$7,06 \times 10^{-8}$	$1,23 \times 10^{-7}$	$7,28 \times 10^{-5}$	$1,11 \times 10^{-4}$
	Üst	$7,32 \times 10^{-7}$	$1,92 \times 10^{-5}$	$1,20 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-4}$
R (m/sn)	Alt	%20	$2,32 \times 10^{-7}$	$2,32 \times 10^{-7}$	$2,32 \times 10^{-7}$
		%40	$4,64 \times 10^{-7}$	$4,64 \times 10^{-7}$	$4,64 \times 10^{-7}$
	Üst	%75	$8,7 \times 10^{-7}$	$8,7 \times 10^{-7}$	$8,7 \times 10^{-7}$

Çizelge 4.4. SINMAP modeli için gerekli olan ve kullanılan girdi parametreleri ve değerleri

Paranetre	Sınır	g	rdlp	balp	ablp	
Kohezyon (C)	Alt	0,08	0,109	0,071	0,085	
	Üst	0,448	0,404	0,289	0,126	
İçsel sürtünme açısı (ϕ) (°)	Alt	13	13	16	19	
	Üst	23	25	24	21	
Transmissivite/Beslenim (T/R) (m)	Alt	Beslenim (R)				
		%20	0,304	0,530	313,79	478,45
		%40	0,152	0,265	156,90	239,22
		%75	0,081	0,141	83,68	127,59
	Üst	%20	3,155	82,76	517,24	517,24
		%40	1,578	41,38	258,62	258,62
		%75	0,841	22,07	137,93	137,93

SINMAP matematiksel modelinin çalıştırılması sürecinde 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritadan itibaren üretilen raster veri formatındaki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) değerlendirilmiştir (Şekil 4.2). Bu kapsamda model içerisinde türetilen ikincil topoğrafik veriler ayrıca üretilmektedir. Bunlar; boşlukları doldurulmuş bir başka ifade ile düzeltilmiş SYM, akış yönü, yamaç eğimi, beslenme alanı ve doygunluk olarak sıralanmaktadır. Boşlukları doldurulmuş SYM üretilmesindeki amaç; grid hücresi olarak tanımlanan ve drenaj sistemine herhangi bir etkisi olmayan boşlukların modelden elimine edilmesi gerekliliğidir. Burada ifade edilen verilerin üretilmesine müteakiben Güneysu su toplama havzası içerisinde 10 m yersel çözünürlüğe sahip her bir grid hücresi için Stabilité Indeksi (SI) değeri hesaplanmıştır. Söz konusu SI değerlerinin dağılımı, bu değerlerden itibaren belirlenen, geçiş aralıkları Pack vd. (1998) tarafından tanımlanmıştır. Farklı litolojik birimlerden türeyen rezidüel topraklar ayrı ayrı değerlendirilerek %20, %40 ve %75 infiltrasyon için 12 heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bir toprak zeminin infiltrasyon kapasitesinin lokasyona ve zamana bağlı olarak değişebileceği dikkate alınarak tez çalışması kapsamında SINMAP matematiksel

modeli kullanılarak gerçekleştirilen heyelan duyarlılık modellerinde infiltrasyonun üç farklı değeri için hassasiyet analizi yapılmıştır. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen duyarlılık sınıfları ve bu sınıflar içerisinde gözlenen heyelanların dağılımı Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen duyarlılık sınıfları ve bu sınıflar içerisinde gözlenen heyelanların dağılımı ise Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir. Son olarak, %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen duyarlılık sınıfları ve bu sınıflar içerisinde gözlenen heyelanların dağılımı ise Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da verilmiştir. Güneysu su toplama havzasına ait 10 m yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli Şekil 4.3’de verilmiştir. Stabilité indeksi değerlerinin mekânsal olarak haritalanmasına bağlı olarak elde edilen Güneysu su toplama havzası heyelan duyarlılık haritaları %20, %40 ve %75 infiltrasyon değerleri için ayrı ayrı Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.5. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde çıktısından elde edilen Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	0,7	0,2	0,4	9,0	23,8	9,6	43,7
% Stabilite Sınıfı	1,6	0,4	0,9	20,6	54,4	22,0	100,0
Heyelan sayısı	0	0	0	7	27	23	57
% Heyelan Sayısı	0,0	0,0	0,0	12,3	47,4	40,4	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,0	0,0	0,0	0,8	1,1	2,4	1,3

Çizelge 4.5’e bakıldığında, g biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %20 infiltrasyon dikkate alındığında, söz konusu alanın kapladığı alanın sadece %1,6’lık kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Bu alanın %54,4’lük kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değeri” sınıfında, %20,6’lık kısmı ise “Alt eşik değeri” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; g biriminden ayrıışan rezidüel toprak alanının yaklaşık %22’lik bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmemektedir; bu alanlar korunmalıdır. g biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda 57 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %12,3’ünün (7 adet) alt eşik değeri sınıfında, %47,4’ünün (27 adet) üst eşik sınıfında ve %40,4’ünün ise (23 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.6. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrılan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	1,1	0,3	0,5	5,4	12,7	7,2	27,2
% Stabilite Sınıfı	4,2	1,1	1,9	19,7	46,7	26,4	100,0
Heyelan sayısı	1	0	1	11	23	19	55
% Heyelan Sayısı	1,8	0,0	1,8	20,0	41,8	34,5	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,9	0,0	1,9	2,1	1,8	2,7	2,0

Çizelge 4.6'ya bakıldığında, rdlp biriminden ayrılan rezidüel topraklarda %20 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %4,2'lik kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Söz konusu alanlar ağırlıklı olarak alüvyal vadi tabanlarına karşılık gelmektedir. Alanın %46,7'lik kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %19,7'lik kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; rdlp biriminden ayrılan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %26,4'lük bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmemektedir; bu alanlar korunmalıdır. rdlp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 55 adet heyelan kopma noktası haritalanmıştır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %20,0'nın (11 adet) alt eşik değer sınıfında, %41,8'inin (23 adet) üst eşik sınıfında ve %34,5'inin ise (19 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.7. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrılan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	2,8	0,6	1,4	11,0	18,8	11,0	45,6
% Stabilite Sınıfı	6,1	1,4	3,1	24,1	41,2	24,1	100,0
Heyelan sayısı	3	1	4	67	133	119	327
% Heyelan Sayısı	0,9	0,3	1,2	20,5	40,7	36,4	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	1,1	1,6	2,8	6,1	7,1	10,8	7,2

Çizelge 4.7'ye bakıldığında, balp biriminden ayrılan rezidüel topraklarda ait alanlarda %20 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece

%6,1'lik kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %40,7'lik kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %19,7'lik kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; balp biriminden ayrılan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %20,5'lik bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmemektedir; bu alanlar korunmalıdır. balp birimi üzerindeki rezidüel topraklara 327 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %20,5'inin (67 adet) alt eşik değer sınıfında, %40,7'sinin (133 adet) üst eşik sınıfında ve %36,4'ünün ise (119 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.8. %20 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrılan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	0,7	0,3	0,9	0,6	0,6	3,8	6,9
% Stabilite Sınıfı	10,4	5,1	12,4	8,6	8,8	54,8	100,0
Heyelan sayısı	1	0	0	2	0	13	16
% Heyelan Sayısı	6,3	0,0	0,0	12,5	0,0	81,3	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	1,4	0,0	0,0	3,4	0,0	3,4	2,3

Çizelge 4.8'e bakıldığında, ablp biriminden ayrılan rezidüel topraklarda %20 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın %10,4'lük kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %12,5'lik kısmı “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; ablp biriminden ayrılan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %81,3'lük bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmemektedir; bu alanlar korunmalıdır. ablp birimi üzerindeki rezidüel topraklara ait alanlarda 16 adet heyelan kopma noktası haritalanmıştır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %12,5'inin (2 adet) alt eşik değer sınıfında ve %81,3'ü ise (13 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.9. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	0,7	0,2	0,4	9,0	23,9	9,4	43,7
% Stabilite Sınıfı	1,6	0,4	0,9	20,8	54,7	21,6	100,0
Heyelan sayısı	0	0	0	7	28	22	57
% Heyelan Sayısı	0,0	0,0	0,0	12,3	49,1	38,6	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,0	0,0	0,0	0,8	1,2	2,3	1,3

Çizelge 4.9'a bakıldığında, g biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %40 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %1,6'lık kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %54,7'lik kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %20,8'lik kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; g biriminden ayrıışan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %21,6'lık bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmemektedir; bu alanlar korunmalıdır. g birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 57 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %12,3'ünün (7 adet) alt eşik değer sınıfında, %49,1'ünün (87 adet) üst eşik sınıfında ve %38,6'sı ise (22 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.10. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modeli çıktısından elde edilen riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	1,1	0,3	0,5	5,4	12,7	7,7	27,7
% Stabilite Sınıfı	4,1	1,1	1,9	19,3	45,7	27,9	100,0
Heyelan sayısı	1	0	1	11	23	19	55
% Heyelan Sayısı	1,8	0,0	1,8	20,0	41,8	34,5	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,9	0,0	1,9	2,1	18	2,5	2,0

Çizelge 4.10'a bakıldığında, rdlp biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %40 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %4,1'lik kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %41,8'lik kısmı

yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %20,0’lık kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; rdlp biriminden ayrıışan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %34,5’lik bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmektedir; bu alanlar korunmalıdır. rdlp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 55 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %41,8’inin (23 adet) üst eşik sınıfında, %20,0’ının (2 adet) alt eşik değer sınıfında ve %34,5’inin ise (19 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.11. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	2,6	0,5	1,1	8,5	17,1	15,7	45,4
% Stabilite Sınıfı	5,7	1,1	2,4	18,6	37,6	34,6	100,0
Heyelan sayısı	2	1	2	46	129	147	327
% Heyelan Sayısı	0,6	0,3	0,6	14,1	39,4	45,0	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,8	2,0	1,9	5,4	7,6	9,4	7,2

Çizelge 4.11’e bakıldığında, balp biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %40 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %5,7’lik kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %39,4’lük kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %14,1’lik kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; balp biriminden ayrıışan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %45,0’lık bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmektedir; bu alanlar korunmalıdır. balp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 327 adet heyelan kopma noktası haritalanmıştır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %39,4’ünün (129 adet) üst eşik değer, %14,1’inin (46 adet) alt eşik değer sınıfında ve %45,0’ı ise (147 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.12. %40 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrılan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	0,6	0,2	0,6	0,5	0,5	4,4	6,9
% Stabilite Sınıfı	9,0	3,5	9,2	7,1	7,7	63,5	100,0
Heyelan sayısı	1	0	0	1	1	13	16
% Heyelan Sayısı	6,3	0,0	0,0	6,3	6,3	81,3	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	1,6	0,0	0,0	2,0	1,9	3,0	2,3

Çizelge 4.12'ye bakıldığında, ablp biriminden ayrılan rezidüel topraklarda %40 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %0,9'luk kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %6,3'lük kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %6,3'lük kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; ablp biriminden ayrılan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %81,3'lük bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmektedir; bu alanlar korunmalıdır. ablp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 16 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %6,3'ünün (1 adet) üst eşik değer, %6,3'ünün (1 adet) alt eşik değer sınıfında ve %81,3'ü ise (13 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.13. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrılan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	0,7	0,2	0,4	9,0	23,8	9,6	43,7
% Stabilite Sınıfı	1,6	0,4	0,9	20,6	54,4	22,0	100,0
Heyelan sayısı	0	0	0	7	27	23	57
% Heyelan Sayısı	0,0	0,0	0,0	12,3	47,4	40,4	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,0	0,0	0,0	0,8	1,1	2,4	1,3

Çizelge 4.13'e bakıldığında, g biriminden ayrılan rezidüel topraklarda %75 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %1,6'luk kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %47,4'lük kısmı

yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %12,3'lük kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; g biriminden ayrıışan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %40,4'lük bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmetedir; bu alanlar korunmalıdır. g birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 57 adet heyelan kopma noktası haritalanmıştır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %12,3'ünün (7 adet) üst eşik değer, %47,4'ünün (27 adet) alt eşik değer sınıfında ve %40,4'ü ise (23 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.14. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	1,1	0,3	0,5	5,4	12,7	7,8	27,8
% Stabilite Sınıfı	4,1	1,1	1,8	19,3	45,5	28,2	100,0
Heyelan sayısı	1	0	1	11	23	19	55
% Heyelan Sayısı	1,8	0,0	1,8	20,0	41,8	34,5	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,9	0,0	1,9	2,1	1,8	2,4	2,0

Çizelge 4.14'e bakıldığında, rdlp biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %75 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %4,1'lik kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %41,8'lik kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen “Üst eşik değer” sınıfında, %20,0'lık kısmı ise “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; rdlp biriminden ayrıışan rezidüel toprakların yaklaşık %34,5'lik bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmetedir; bu alanlar korunmalıdır. rdlp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 55 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %41,8'inin (23 adet) üst eşik değer, %20,0'ının (11 adet) alt eşik değer sınıfında ve %34,5'nin ise (19 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.15. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	2,5	0,4	0,8	6,9	14,9	20,3	45,8
% Stabilite Sınıfı	5,4	0,9	1,8	15,1	32,5	44,4	100,0
Heyelan sayısı	2	1	0	34	112	178	327
% Heyelan Sayısı	0,6	0,3	0,0	10,4	34,3	54,4	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	0,8	2,5	0,0	4,9	7,5	8,8	7,1

Çizelge 4.15'e bakıldığında, balp biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %75 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %5,4'lük kısmının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %34,3'lük kısmı yüksek derecede duraysız kabul edilen "Üst eşik değer" sınıfında, %10,4'lük kısmı ise "Alt eşik değer" sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; balp biriminden ayrıışan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %54,4'lük bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmektedir; bu alanlar korunmalıdır. balp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 327 adet heyelan kopma noktası haritalanmıştır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %34,3'ünün (112 adet) üst eşik değer, %10,4'ünün (34 adet) alt eşik değer sınıfında ve %54,4'ünün ise (178 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

Çizelge 4.16. %75 infiltrasyon hassasiyetine bağlı olarak elde edilen SINMAP modelinde andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrıışan rezidüel topraklara ait SI değerlerinin dağılımı

Stabilite İndeksi (SI)	Duraylı	Orta Duraylı	Kısmen Duraylı	Alt Eşik Değer	Üst Eşik Değer	Doğal veya Yapay Desteklenmiş	Toplam
Alan (km ²)	0,2	0,6	0,5	0,4	0,4	4,9	6,9
% Stabilite Sınıfı	8,0	2,6	7,0	5,7	6,2	70,5	100,0
Heyelan sayısı	1	0	0	1	0	14	16
% Heyelan Sayısı	6,3	0,0	0,0	6,3	0,0	87,5	100,0
Heyelan Yoğunluğu (sayı/km ²)	1,8	0,0	0,0	2,6	0,0	2,9	23

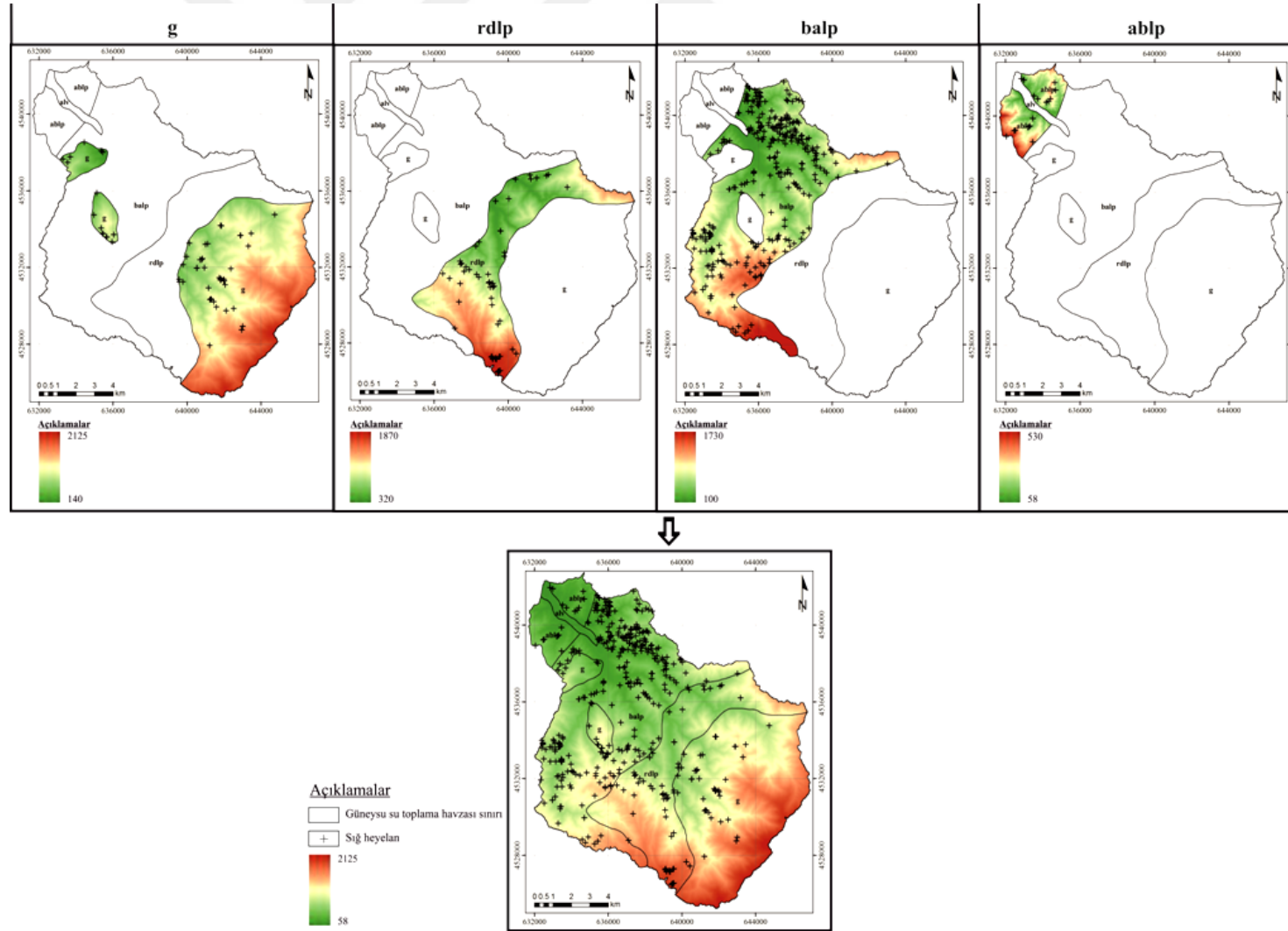
Çizelge 4.16'ya bakıldığında, ablp biriminden ayrıışan rezidüel topraklarda %75 infiltrasyon dikkate alındığında, bu toprakların kapladığı alanın sadece %8,0'lük

kısımının heyelan açısından duraylı olduğu görülmektedir. Alanın %6,3'lük kısmı “Alt eşik değer” sınıfında tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen model sonucuna göre; ablp biriminden ayrılan rezidüel toprakların kapladığı alanın yaklaşık %87,5'lik bir kısmı doğal veya yapay desteklenmiş gözükmemektedir; bu alanlar korunmalıdır. ablp birimi üzerindeki rezidüel topraklarda 16 adet heyelan kopma noktası bulunmaktadır. Bu heyelanların, elde edilen SI sınıfları ile karşılaştırılmaları sonucunda; %6,3'ünün (1 adet) alt eşik değer sınıfında ve %87,5'nin ise (14 adet) doğal veya yapay desteklenmiş alan sınıfı içerisinde izlendiği görülmektedir.

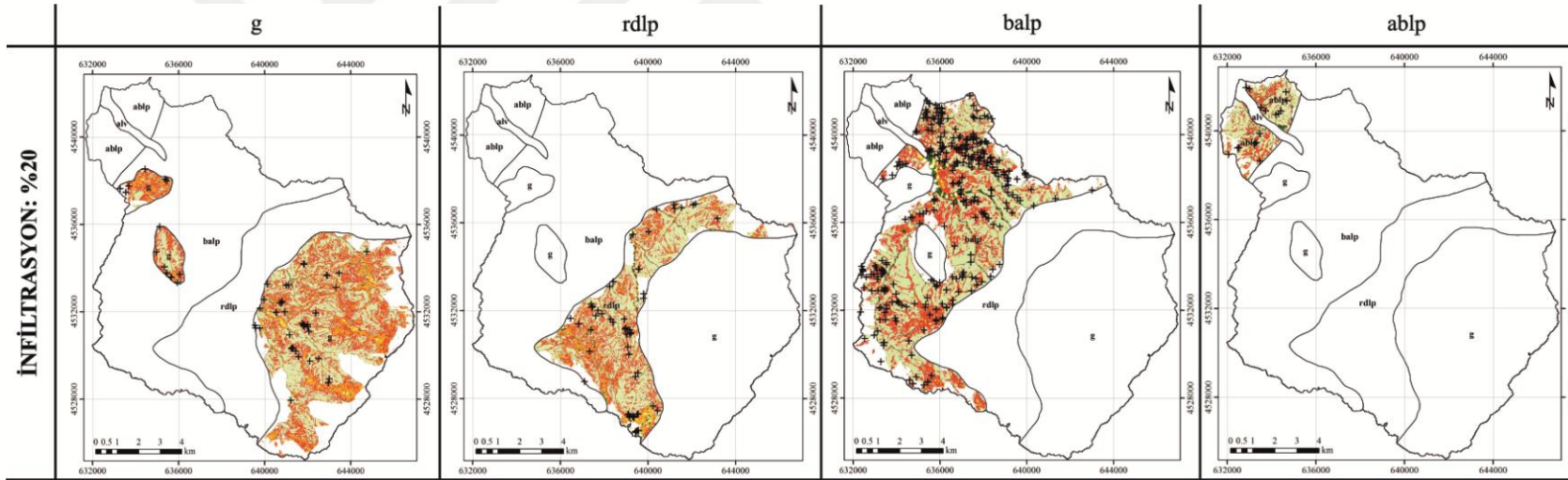
SINMAP matematiksel modeli kapsamında, toplam 455 adet heyelan kopma noktası değerlendirilmiştir. Buna göre bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen modellerin ortalama doğruluk değeri yaklaşık %97.2 olarak hesaplanmaktadır (Çizelge 4.17). Doğruluk değerleri, $SI < 1$ olan (alt eşik, üst eşik ve yapay veya doğal desteklenmiş) alanlara karşılık gelen heyelan sayısının, toplam heyelan sayısına oranının 100 ile çarpılması ile bulunmaktadır. Söz konusu bu değerlendirme ile üretilen modellerin, son derece başarılı çalıştığı ve alanda ileride meydana gelecek heyelan lokasyonlarını başarılı bir şekilde edebileceği sonucuna ulaşılmaktadır. SINMAP matematiksel modelinin özellikle kalibrasyon aşamasında değerlendirilen model çıktılarından bir diğeri de SA (Topoğrafik eğim-Beslenme alanı) grafiğidir. Alan içerisindeki litolojik birimlerin (g, rdlp, balp ve ablp) infiltrasyon hassasiyetine (%20, %40 ve %75) bağlı olarak 12 adet SA grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de g, rdlp, balp ve ablp birimleri için %20 infiltrasyon dikkate alınarak SA grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de g, rdlp, balp ve ablp birimleri için %40 infiltrasyon dikkate alınarak SA grafiği oluşturulmuştur. Son olarak, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da g, rdlp, balp ve ablp birimleri için %75 infiltrasyon dikkate alınarak SA grafiği oluşturulmuştur. SA grafikleri incelendiğinde; Güneysu su toplama havzasında rezidüel toprak seviyelerinin hidrolojik özellikler açısından genel anlamda suya doymun olma ihtimalinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu bu durum, çalışma sahası içerisinde yağışlarla tetiklenen sığ heyelanların gözlenme sıklığındaki yüksek değerlerin bir nedeni olarak yorumlanmaktadır.

Çizelge 4.17. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen modellerin doğruluk değerleri

% Doğruluk	İnfiltrasyon		
	%20	%40	%75
g	100	100	100
rdlp	96,4	96,4	96,4
balp	97,6	98,5	99,1
ablp	93,8	93,8	93,8



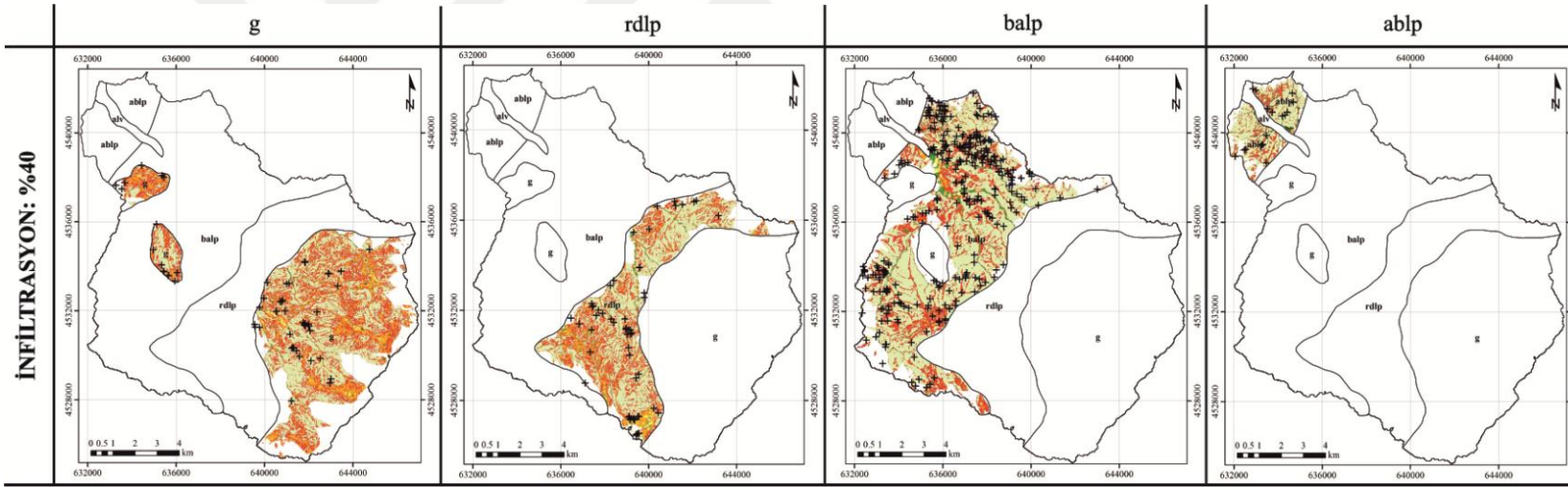
Şekil 4.3. Güneysu su toplama havzasına ait 10 m yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli (SYM)



ACIKLAMALAR

- + Sığ heyelan
- Yerleşim yeri
- Anakaya; litoloji sınırı
- Stabilite İndeksi (SI)**
- SI=0 (Doğal veya yapay desteklenmiş)
- 0.00<SI<0.50 (Üst eşik değer)
- 0.50<SI<1.00 (Alt eşik değer)
- 1.00<SI<1.25 (Kısmen duraylı)
- 1.25<SI<1.50 (Orta duraylı)
- SI>1.50 (Duraylı)

Şekil 4.4. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %20)



AÇIKLAMALAR

+ Sığ heyelan

■ Yerleşim yeri

□ Anakaya; litoloji sınırı

Stabilite İndeksi (SI)

SI=0 (Doğal veya yapay desteklenmiş)

0.00<SI<0.50 (Üst eşik değeri)

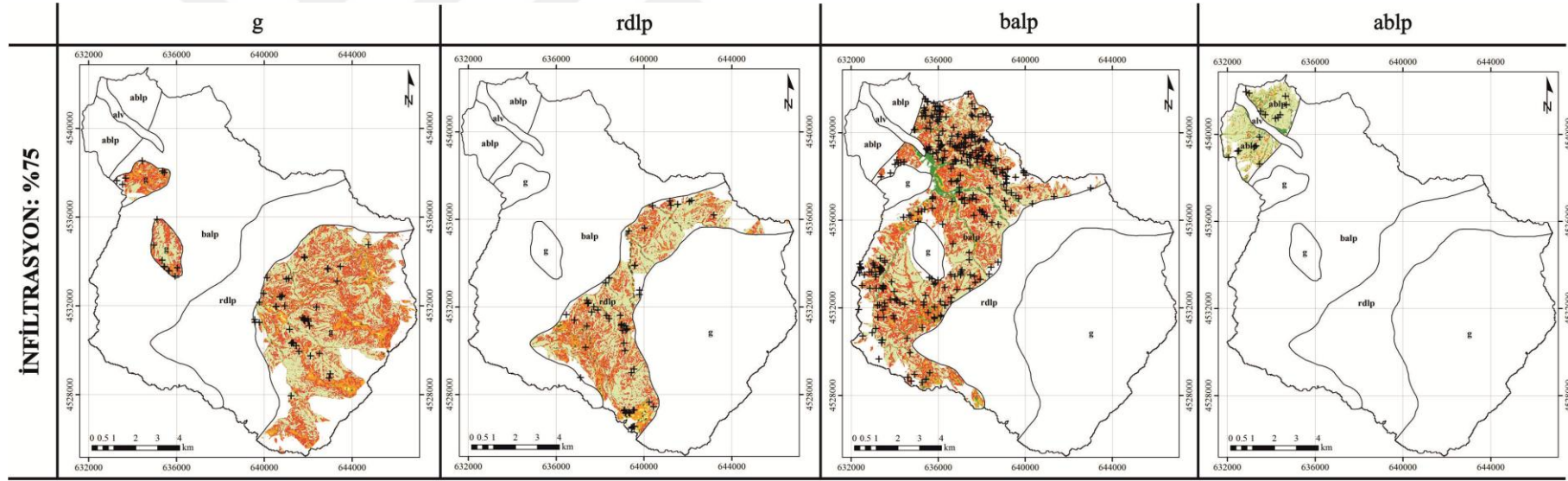
0.50<SI<1.00 (Alt eşik değeri)

1.00<SI<1.25 (Kısmen duraylı)

1.25<SI<1.50 (Orta duraylı)

SI>1.50 (Duraylı)

Şekil 4.5. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %40)



AÇIKLAMALAR

+ Sığ heyelan

■ Yerleşim yeri

□ Anakaya; litoloji sınırı

Stabilite İndeksi (SI)

SI=0 (Doğal veya yapay desteklenmiş)

0.00<SI<0.50 (Üst eşik değer)

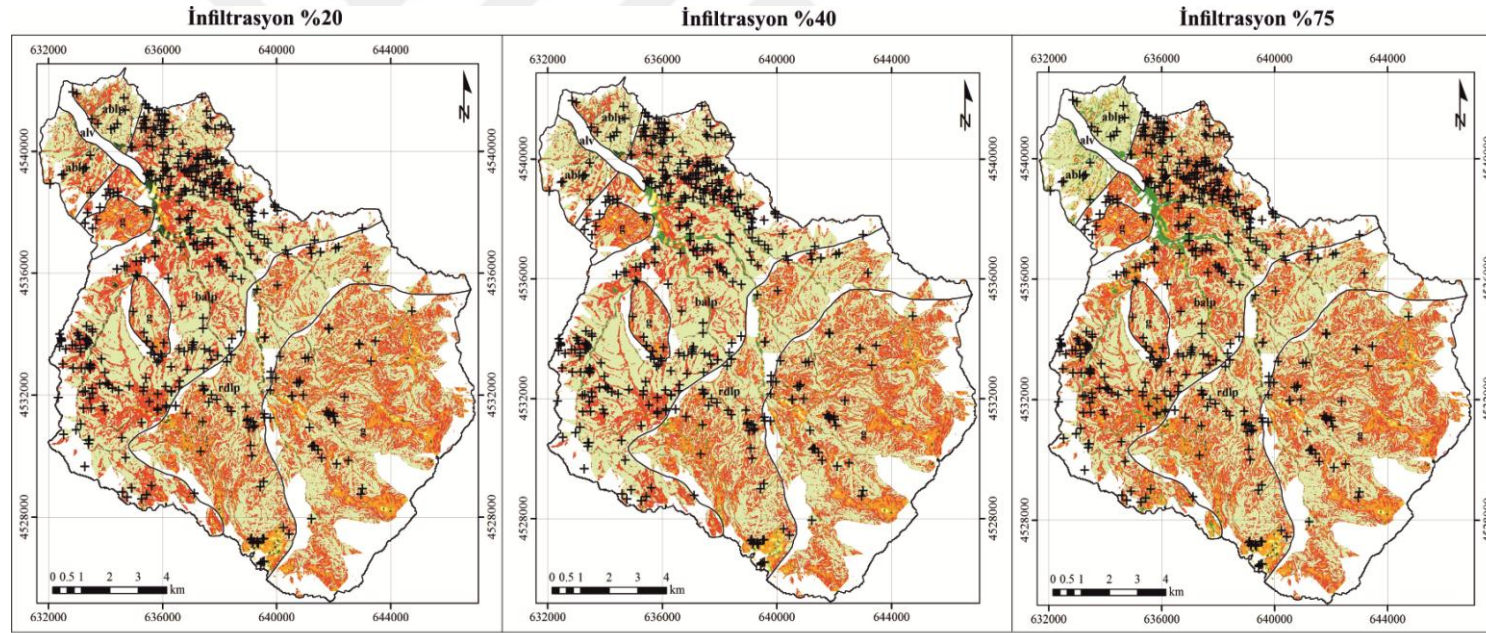
0.50<SI<1.00 (Alt eşik değer)

1.00<SI<1.25 (Kısmen duraylı)

1.25<SI<1.50 (Orta duraylı)

SI>1.50 (Duraylı)

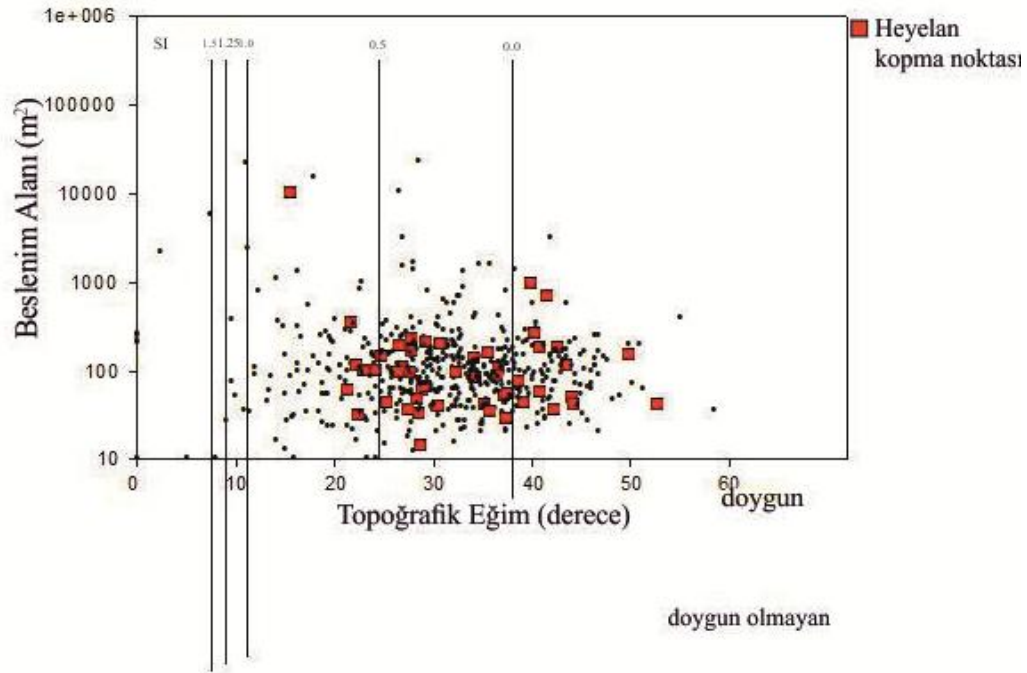
Şekil 4.6. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %75)



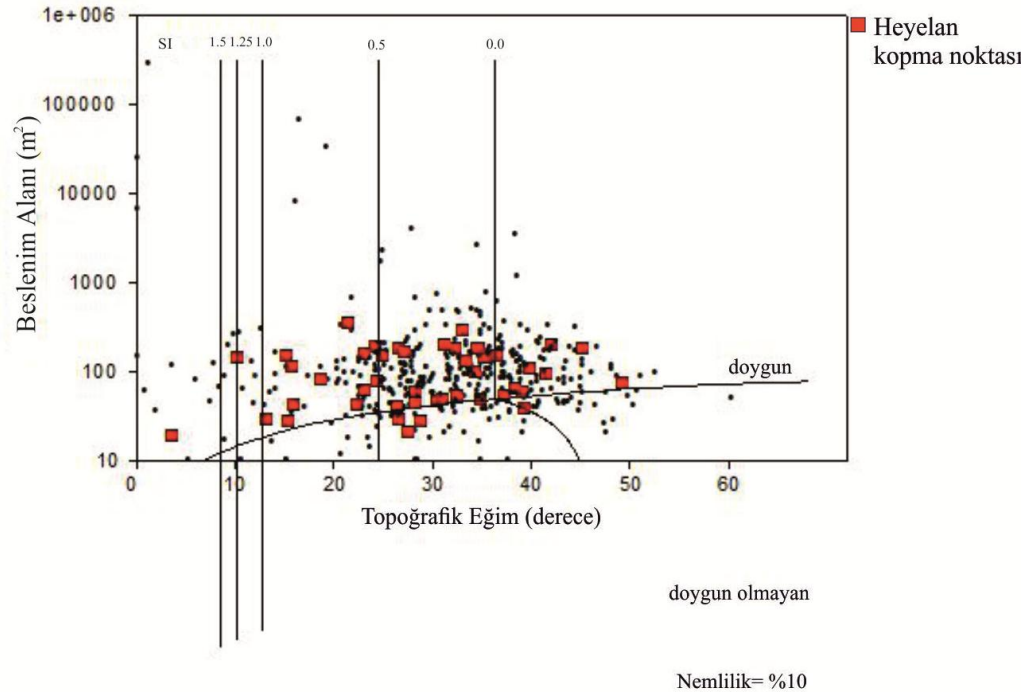
AÇIKLAMALAR

- + Sığ heyelan
- Yerleşim yeri
- Anakaya; litoloji sınırı
- Stabilite İndeksi (SI)**
- SI=0 (Doğal veya yapay desteklenmiş)
- 0.00<SI<0.50 (Üst eşik değer)
- 0.50<SI<1.00 (Alt eşik değer)
- 1.00<SI<1.25 (Kısmen duraylı)
- 1.25<SI<1.50 (Orta duraylı)
- SI>1.50 (Duraylı)

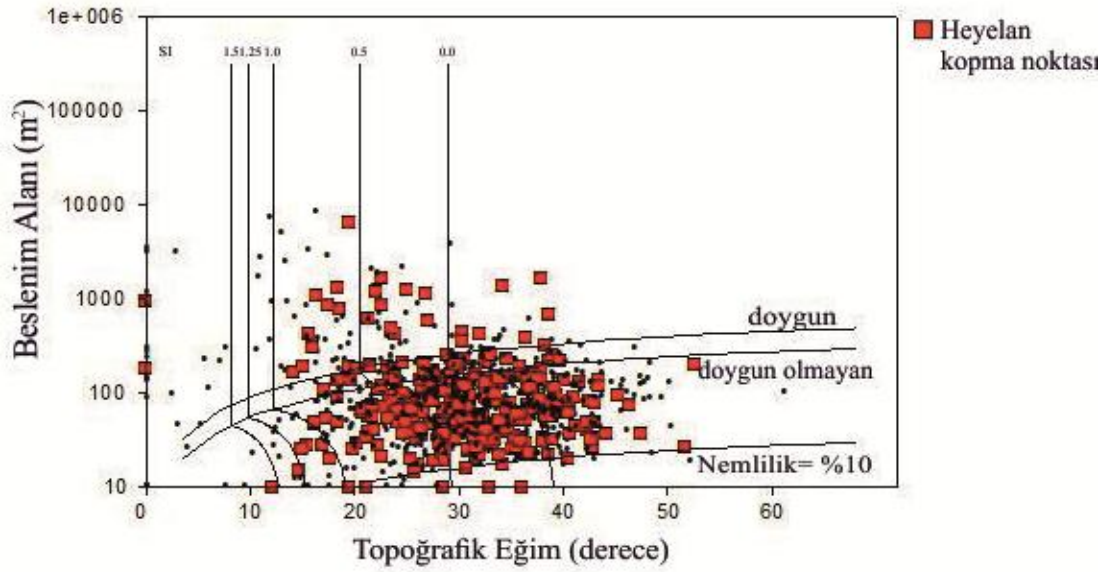
Şekil 4.7. Güneysu su toplama havzasına ait SINMAP matematiksel modeli ile oluşturulmuş heyelan duyarlılık haritası (İnfiltrasyon: %20, %40, %75)



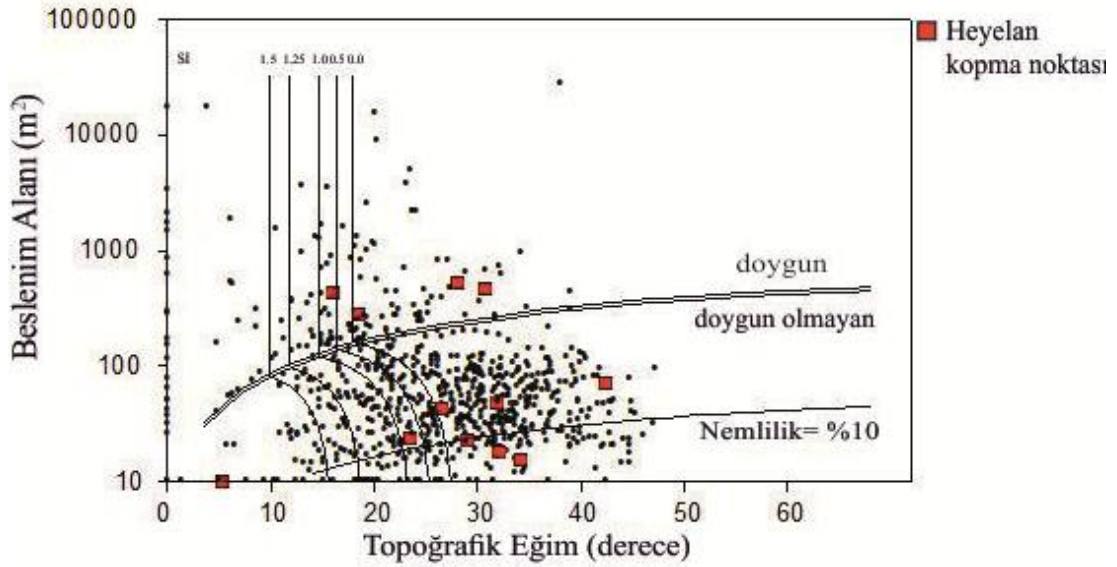
Şekil 4.8. Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenim alanı (SA) grafiği



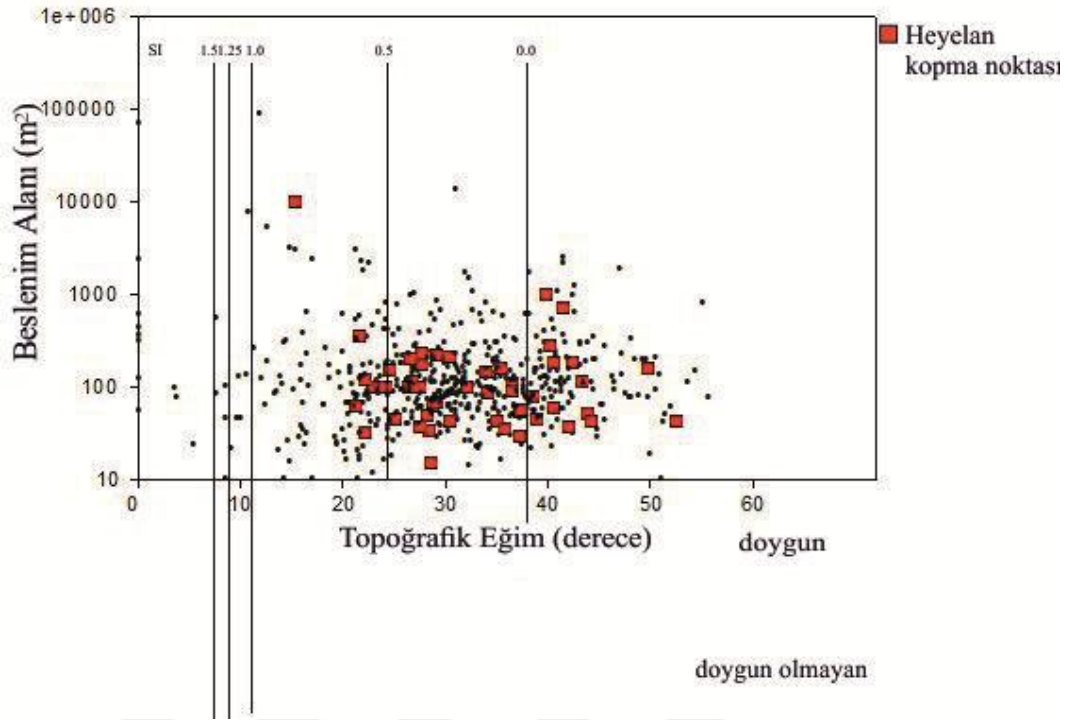
Şekil 4.9. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenim alanı (SA) grafiği



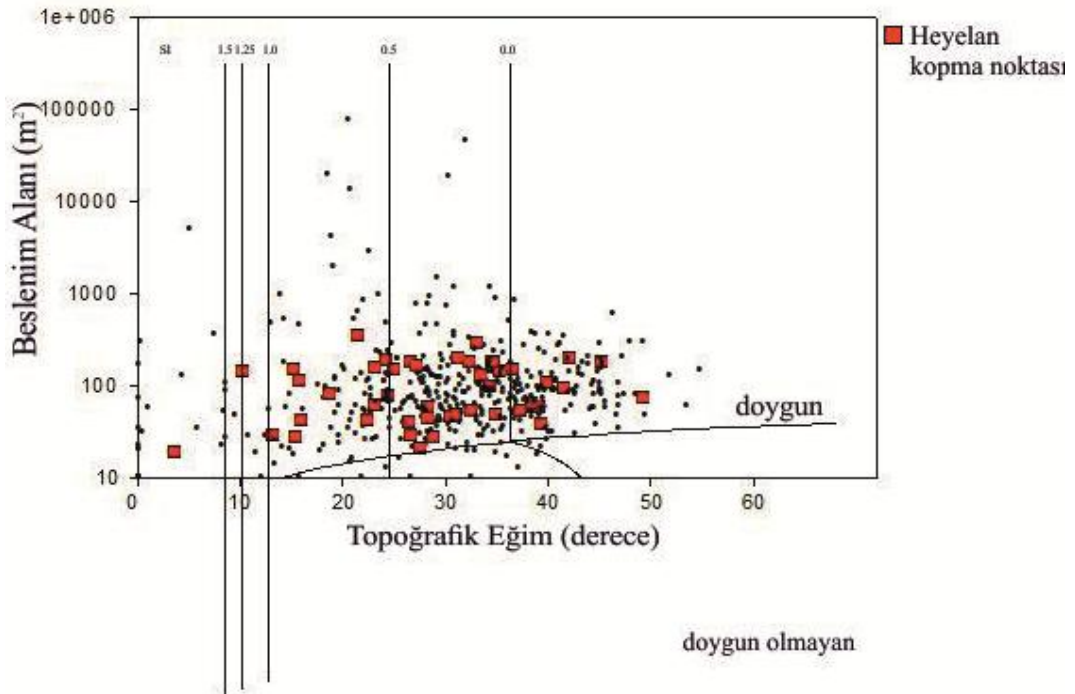
Şekil 4.10. Bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



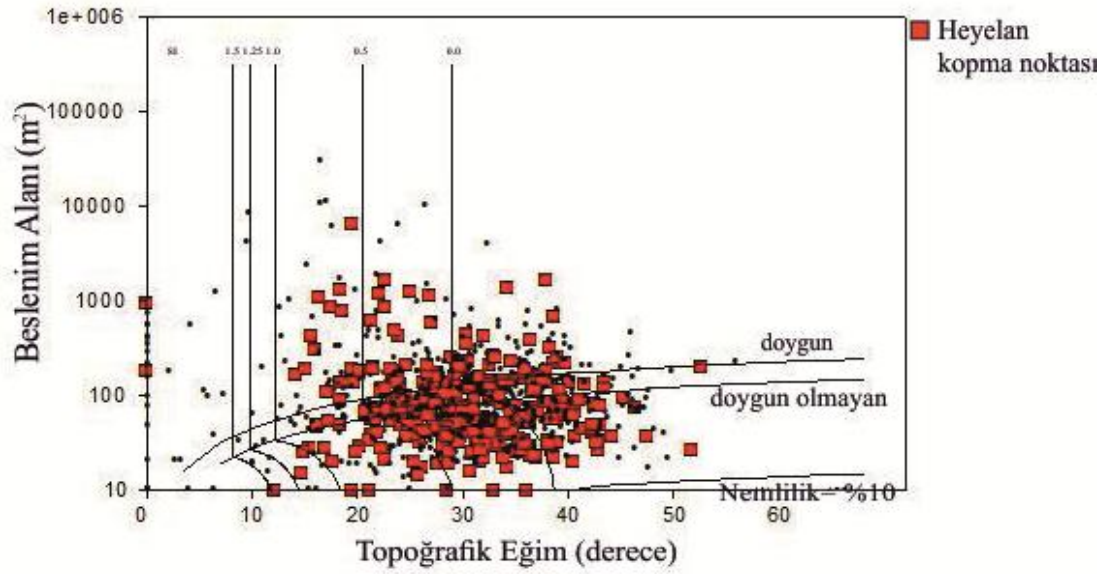
Şekil 4.11. Andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %20 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



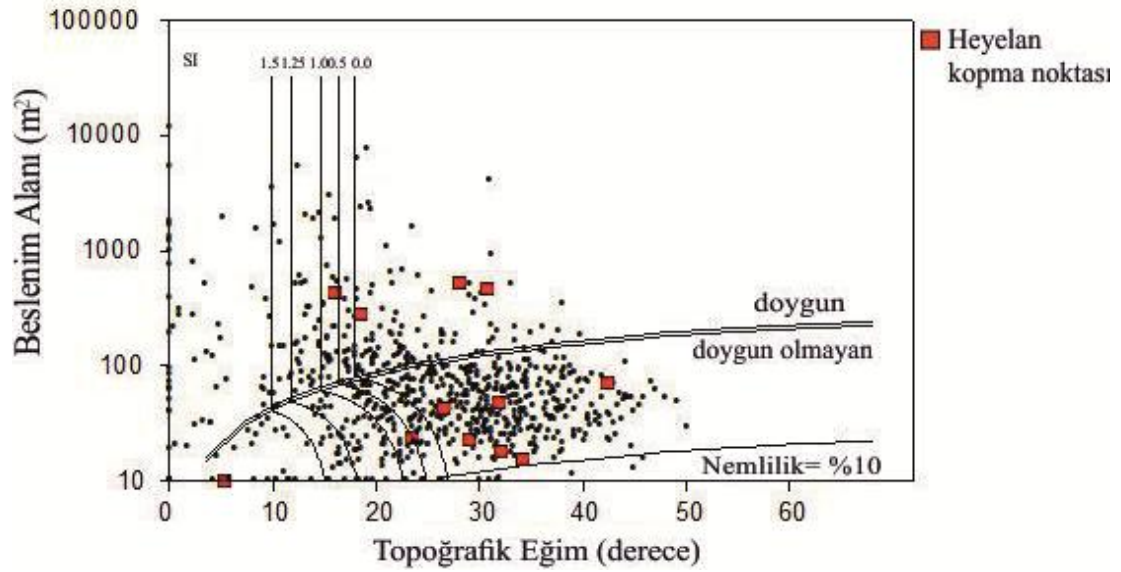
Şekil 4.12. Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



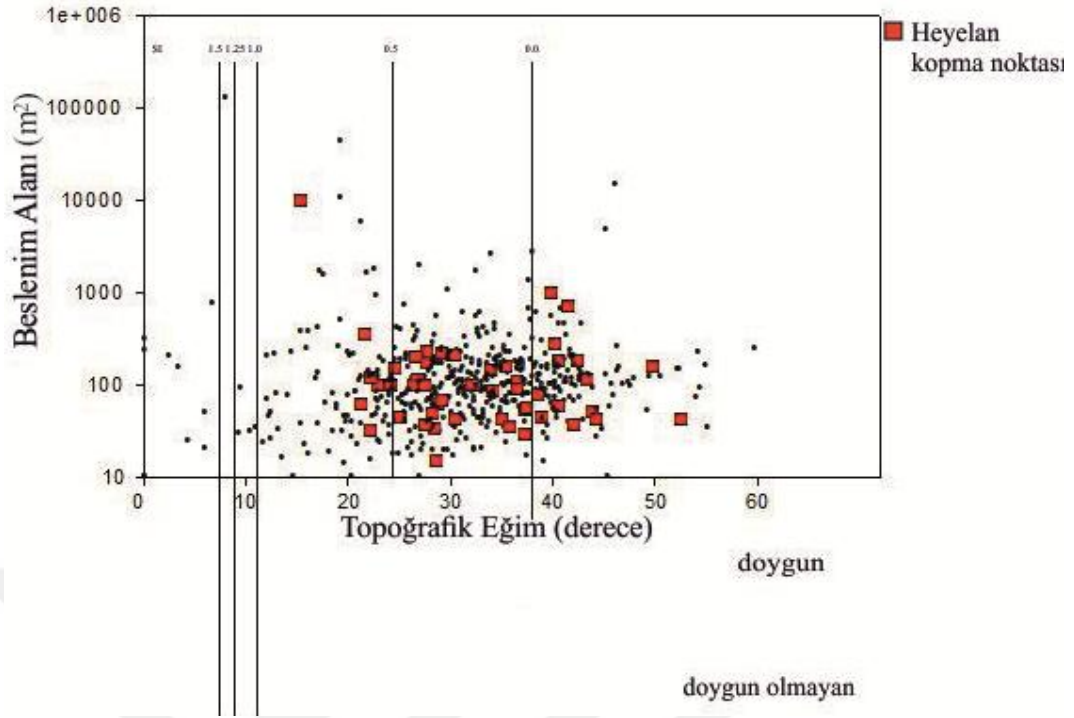
Şekil 4.13. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



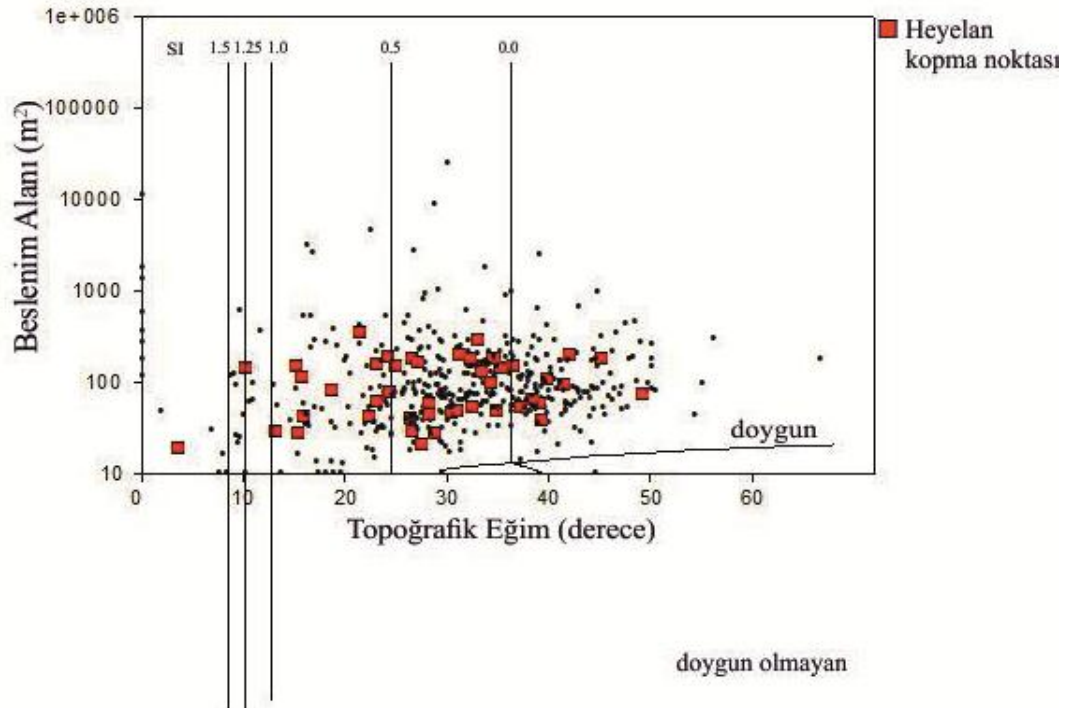
Şekil 4.14. Bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



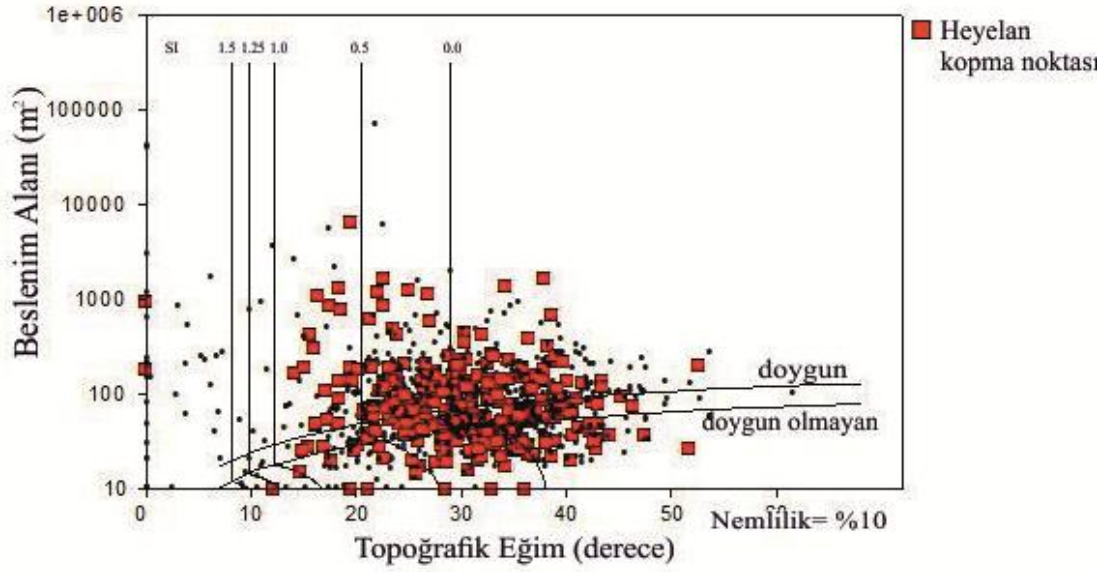
Şekil 4.15. Andezit, bazalt, lav ve piroklastları (abl) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %40 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



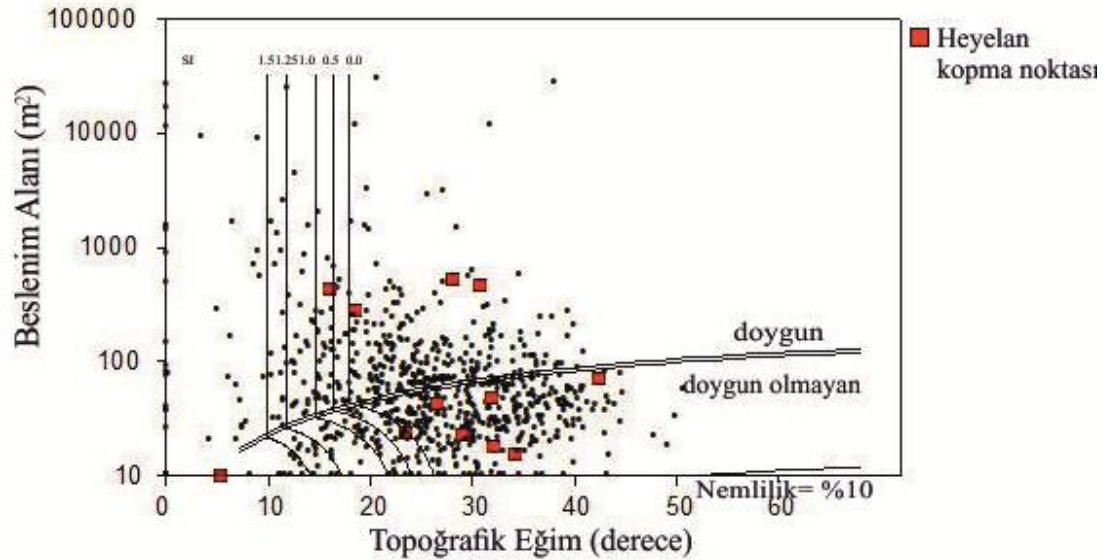
Şekil 4.16. Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



Şekil 4.17. Riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) biriminden ayrıışan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



Şekil 4.18. Bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği



Şekil 4.19. Andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyelerinde %75 infiltrasyon dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafiği

5. SONUÇLAR

Dünyada heyelan kaynaklı ölümlü kayıpların oranı EM-DAT (2015) veri tabanı içerisinde %1,3 olarak verilmektedir. Söz konusu afetin oluş sıklığına bakıldığında 1991-2014 yılları arasında diğer doğal afetler arasında %5’lik bir orana sahip olduğu anlaşılmaktadır (ISDR 2010; EM-DAT 2015). Yapısal kayıplar dikkate alındığında bu istatistik ülkemiz için 10 katının üzerine çıkmaktadır. Gökçe vd. (2008), 1950-2008 yılları arasında meydana gelen afetlerin yapısal kayıplar dikkate alarak sıralandığında, heyelanların %45’lik bir orana sahip olduğunu ifade etmektedirler; bununla birlikte yine aynı araştırmacılar tarafından verilen kaya düşmesi olaylarına ait oran da bu istatistik içerisinde değerlendirdiğinde söz konusu değer %55’e çıkmaktadır. Diğer taraftan; Demir (2016), yine 1950-2008 yılları arasından meydana gelen afetlerin dağılımına bağlı olarak Türkiye’de heyelan olaylarının en sık gözlenmekte olduğu ilk iki ili sırasıyla Trabzon ve Rize olarak vermektedir.

Kütle hareketlerinin oluş şiddetleri bir başka ifade ile hareket eden malzeme miktarı veya heyelanın boyutlarının büyümesine bağlı olarak (ki burada jeolojik malzemeye ilişkin kohezyonun ve yenilme derinliğinin arttığına dikkat edelim) oluş hızları düşmekte ve düşük hızlarda meydana gelen yenilmelerin etkileri azalmaktadır; ölümlü kayıp miktarı azalmaktadır. Buna karşılık; heyelan boyutunun azalmasına müteakiben (ki burada jeolojik malzemeye ilişkin kohezyonun ve yenilme derinliğinin azaldığına dikkat edelim) hızı artmaktadır. Buna bağlı olarak meydana gelen yenilme her ne kadar dar yayımlı sığ heyelan olarak ifade ediliyor olsa da yarattığı etki oldukça yüksek olmaktadır; bir başka ifade ile hızlı gerçekleşen sığ heyelan olaylarında ölümlü kayıpların sayısı belirgin olarak artmaktadır. Burada ifade edilen sığ heyelanların Türkiye’de en sık gözlemlendiği il Rize’dir (Çan vd. 2005; Dağ vd. 2006; Nefeslioğlu vd. 2011). Sığ heyelanlar her ne kadar oldukça şiddetli gerçekleşiyor olsalar da, olay gerçekleşikten sonra arazide izleri kısa sürede kaybolmaktadır. Bu nedenle söz konusu duraysızlığa ilişkin mekânsal olasılıkların değerlendirilmesi sürecinde veri temelli yaklaşımların uygulanmasında sınırlamalar oluşmaktadır. Bu sınırlamanın aşılması amacıyla uzman görüşe dayalı modeller geliştirilebilir; ancak söz konusu modellerin tahmin performansı düşük olabilmektedir (Sezer vd. 2017). Böylesi alanlarda, sığ duraysızlıkların değerlendirilmesi amacıyla etkin olabilecek yöntem fiziksel modeller olarak düşünülebilir; hiç şüphesiz fiziksel modellerin de başlıca sınırlaması aşırı basitleştirmelerdir. Ancak bu sınırlama, eğer çok büyük bir sahada çalışılmıyorsa ve eğer jeolojik malzeme özelliklerine ilişkin yeterli veri üretimi yapılabilirse aşılabilmektedir. Bu tez çalışmasında Güneysu su toplama havzası içerisinde jeolojik malzeme özelliklerine ilişkin veri toplanmasına yönelik oldukça kapsamlı alan araştırmaları yürütülmüştür. Gerek rezidüel toprak kalınlığı, gerekse söz konusu toprakların fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklerinin elde edilmesine yönelik kapsamlı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu süreç içerisinde elde edilen veriler, Güney su toplama havzası içerisinde kararlı hidrolojik koşulların ve sonsuz şev stabilitesi yaklaşımlarının esas alındığı SINMAP matematiksel modelinin uygulanmasına imkân vermiştir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda; SINMAP matematiksel modelinin mevcut literatürde zaman zaman yanlış

uygulamalarının bulunduğu görülmüştür. SINMAP matematiksel modeli esas olarak toprak malzemesi içerisinde gelişen sıg düzlemsel kaymalar için önerilmiştir. Ancak; 1998-2016 yılları arasında yapılan araştırmalar ayrıntılı olarak incelendiğinde bazı çalışmalarda üst toprak ve/veya toprak dokusu tanımlarının yapılmadığı görülmektedir (Hengxing vd. 2003; Lan vd. 2004; Paulin ve Bursik 2009; Pfeil-McCullough vd. 2015). Bu durum söz konusu modelin sıg duraysızlıklardan daha çok kaya ortamında gelişen kütleli yenilmeler için uygulanmakta olduğu izlenimini vermektedir. Hiç şüphesiz bu tür çalışmalar içerisinde SINMAP matematiksel modeli düşük tahmin performansı göstermektedir.

SINMAP matematiksel modelinin uygulanması sürecinde, model girdi parametreleri; boyutsuz kohezyon sabiti (C), içsel sürtünme açısı (ϕ°) ve iletimlilik (T)/beslenme (R) oran değerleri farklı anakaya türlerinden itibaren ayrılan ve/veya taşınan toprak türleri için ayrı ayrı belirlenmelidir. Yine tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmasında bazı çalışmalar içerisinde değerlendirilen alan için tek bir parametre grubunun dikkate alındığı; her bir jeolojik birimden türeyen toprak malzemesi için parametre tanımlaması yapılmadığı görülmektedir. Bu durum SINMAP matematiksel modelinin performansını belirgin şekilde etkilemektedir. Diğer taraftan son yıllarda yapılan çalışmalarda bu husus dikkate alınmıştır. Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda değerlendirilen alan içerisinde her bir üst toprak sınıfı için ayrı parametre tanımı yapılmaktadır (Zhang vd. 2005; Meisina ve Scarabelli 2007; Deb ve El-Kadi 2009; Terhorst ve Kreja 2009; Davis ve Sims 2013; Zizioli vd. 2013; Davis ve Blesius 2015; Nery ve Vieira 2015). Esas olarak SINMAP matematiksel modelinin uygulanmasına ilişkin süreçte jeolojik malzemeye ilişkin fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklerin önceden tanımlanması ön koşul oluşturmamaktadır. Yöntem, parametrelerin verilen ilk değerlerinden itibaren elde edilen stabilite indeks değerlerinin dağılımlarının mevcut heyelanların kopma noktaları ile karşılaştırılması ve alınan performansa göre parametrelerin yeniden kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bir tür deneme yanılma süreci oluşturan bu aşama sonucunda tahmin performansının artmasına müteakiben kalibrasyon durdurulmakta ve elde edilen sonuç duyarlılık haritası nihai harita olarak sunulmaktadır. Literatür değerlendirildiğinde, mevcut araştırmaların çoğunlukla bu sistematığı izlediği görülmektedir. Ancak böylesi bir deneme yanılma yöntemi belirsizlik yaratmakta ve yine elde edilen sonucun tahmin performansını düşürmektedir. Parametre kalibrasyonu öncesi jeolojik malzeme özelliklerinin değerlendirildiği az sayıda araştırma bulunmaktadır (Michel vd. 2014; Nery ve Vieira 2015; Pradhan ve Kim 2015). Söz konusu parametrelerin önceden değerlendirilmesi deneme yanılma sürecini ortadan kaldırmakta ve elde edilen tahmin performansını belirgin olarak artırmaktadır. Heyelan duyarlılığının fiziksel modeller ile belirlenmesi sürecinde jeolojik malzemelere ilişkin fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklerin değerlendirildiği araştırmalara halen ihtiyaç duyulmaktadır; bu anlamda mevcut tez çalışması gerek ulusal gerekse uluslararası literatür açısından önem arz etmektedir; bu konuda gerçekleştirilen az sayıda çalışmadan birini oluşturmaktadır.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen değerlendirmelere bağlı olarak Güneysu su toplama havzası içerisinde 4 farklı litoloji tipinin varlığı tespit edilmiştir. Bunlar; Üst Kretase yaşlı riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp) ve bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp), yerleşimini Paleosende tamamlayan Kaçkar granitoyidi (g) ve Eosen-Miyosen yaşlı andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp) olarak istiflenmektedir

(Güven 1998; Yılmaz vd. 1998). Her ne kadar burada verilen litoloji tanımları anakaya olarak ifade ediliyor olsalar da çalışma sahası içerisinde gerçekleşen sığ heyelanlar bu birimlerden ayrıran rezidüel toprak seviyelerinde meydana gelmektedir. Tez çalışması kapsamında farklı litolojilerden itibaren ayrıran rezidüel topraklara ilişkin fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklerin farklı olacağı öngörülmüştür. Buna bağlı olarak her bir birimden türeyen rezidüel toprak için ayrı model çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasını da içine alan bölgede gerçekleştirilen önceki çalışmalar değerlendirildiğinde Güneysu su toplama havzası içerisindeki sığ heyelanların ağırlıklı olarak; neredeyse tamamen aşırı yağışlarla tetiklendiği anlaşılmaktadır (Çan vd. 2005; Dağ vd. 2006; Nefeslioğlu vd. 2011). Bölgede sismik aktivite etkin değildir (Ulusay vd. 2004). Ancak bölgenin iklim özellikleri ve genel jeomorfolojisine bağlı olarak özellikle 2000 m'nin altındaki topoğrafik kotlardaki kaya birimlerinde ağırlıklı olarak kimyasal bozunma izlenmektedir (Erinç 1944; Atalay 1987). Bu nedenledir ki tez çalışması süresince gerçekleştirilen arazi çalışmaları kapsamında, özellikle topoğrafik kot değerlerinin düşmesine müteakiben çalışma sahası içerisinde izlenen rezidüel toprak seviyelerinin kalınlığında belirgin artışlar görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen heyelan envanterinin hazırlanması sürecinde Güneysu su toplama havzasında 455 adet sığ heyelana ait kopma noktası haritalanmıştır. Söz konusu bu envanter SINMAP matematiksel modelinin geliştirilmesi sürecinde doğrudan kullanılmamakta, daha çok modelin doğrulanması ve kalibrasyonu aşamasında değerlendirilmektedir. Ofis çalışmaları süresince hava fotoğrafı, uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik modellerinin yorumlanmasına bağlı olarak oluşturulan heyelan envanterinin yer kontrolü arazi çalışmaları kapsamında gerçekleştirilmiştir. Heyelanların genel dağılımına bakıldığında söz konusu duraysızlıkların ağırlıklı olarak bazalt, andezit, lav ve piroklastları (balp; %71,9) içerisinde gerçekleştiği ve kısmen de Kaçkar granitoyidi (g; %12,5), riyodasit, dasit, lav ve piroklastları (rdlp; %12,1) ve andezit, bazalt, lav ve piroklastları (ablp; %3,5) birimleri içerisinde geliştiği anlaşılmıştır.

Tez çalışması kapsamında daha önceden de ifade edilmiş olduğu üzere SINMAP matematiksel modelinin girdi parametrelerinin ön değerlendirmesinin yapılabilmesi için Güneysu su toplama havzası içerisinde ayrıntılı jeoteknik saha incelemesi yapılmıştır. Bu kapsamda, 40 farklı lokasyonda (yaklaşık 1 m derinliğinde araştırma çukurları ve yol yarmalarından) örselenmiş ve örselenmemiş örnekleme yapılmış ve yine 40 farklı lokasyonda sismik kırılma etüdü ve 20 ayrı lokasyonda rezistivite etüdü gerçekleştirilmiştir. Rezidüel toprak malzemesine ilişkin alınan örselenmiş ve örselenmemiş örneklerden jeolojik malzemeye ilişkin fiziksel, mekanik ve hidrolojik özelliklerin tayini yapılmış jeofizik etütlerden alınan veriler kullanılarak ise su toplama havzasına ait toprak kalınlığı haritası üretilmiştir. Buna göre g biriminden ayrıran rezidüel toprak seviyelerinde doğal su muhtevası değerleri %4,90-%46,30 arasında değişmektedir. Bu birim için ortalama su muhtevası değeri %20,6 olarak hesaplanmaktadır. Söz konusu değer bu çalışma kapsamında değerlendirilen rezidüel topraklarda izlenen en yüksek doğal su muhtevası değeridir. Bu durum söz konusu birimin doğal koşullarda su içeriğinin oldukça yüksek olabileceğini göstermektedir. Çalışma sahası içerisinde değerlendirilen rezidüel toprak birimlerine ilişkin doğal birim hacim ağırlığı değerleri $14,75 \text{ kN/m}^3$ - $18,40 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir. Benzer şekilde Güneysu su toplama havzası içerisinde rezidüel toprak seviyelerine ait kohezyon

ve içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla 0,13 kgf/cm²-0,28 kgf/cm² ve 13°-25° arasında izlenmektedir. Rezidüel toprak seviyelerine ilişkin hesaplanan permeabilite değerleri ise $2,55 \times 10^{-6}$ cm/sn- $1,23 \times 10^{-3}$ cm/sn arasında değişim göstermektedir. Güneysu su toplama havzası içerisindeki yaklaşık 1 m derinlikten alınan toprakların USCS sınıfları ağırlıklı olarak siltli kum (SM), siltli çakıl (GM), killi kumlar veya killi siltler-ince kum (ML) ve killi kumlardan (SC) oluşmaktadır. Bu durum bu birimler üzerine düşen yağışın bitki örtüsünden bağımsız olarak infiltrasyonunun yüksek olacağını işaret etmektedir. Çalışma sahası içerisinde jeofizik etütlerden toprak kalınlığı değerlerinin elde edilmesine yönelik öncelikli olarak jeolojik malzeme içerisindeki sonik hız değişimleri dikkate alınmıştır. Anakayadan üst ayrışma zonuna; rezidüel toprak seviyesine geçişte sonik hız değerleri belirgin şekilde düşmektedir ($V_p \sim < 1000$ m/sn). Bununla birlikte sismik kırılma etütlerinin yapılmış olduğu lokasyonlar arası boşlukları doldurmak için gerçekleştirilen rezistivite etütlerinde ise jeolojik malzemeye ilişkin elektrik özdirenç değerleri değerlendirilmiştir. Benzer şekilde anakayadan üst ayrışma zonuna; rezidüel toprak seviyesine geçişte özdirenç değerlerinde belirgin azalma izlenmektedir ($R < 1000$ ohm.m). Sonuç olarak havza içerisinde g biriminden itibaren ayrışan rezidüel toprakların kalınlığı 4 m ve 10 m arasında değiştiği görülmektedir. Diğer taraftan rdlp, balp ve ablp birimlerinden itibaren ayrışan rezidüel topraklarda izlenen kalınlık değerleri ise sırasıyla 4 m-8 m, 5 m-10 m ve 9 m-10 m arasında değişim göstermektedir.

Çizelge 5.1. Farklı rezidüel topraklar üzerindeki duraylı alanların (%Alan SI>1) infiltrasyon kapasitelerine bağlı olarak değişimi

%Alan (SI>1)	İnfiltrasyon		
	%20	%40	%75
g	2,9	2,9	2,9
rdlp	7,2	7,1	7
balp	10,6	9,2	8,1
ablp	27,9	21,7	17,6

SINMAP matematiksel modelinin çalıştırılması sürecinde öncelikli olarak modelin girdi parametreleri tayin edilmiştir. Esas olarak modelin üç girdi parametresi bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla; hesaplanma ayrıntısı önceki bölümlerde verilmiş olan boyutsuz kohezyon sabiti (C), iletimlilik (T)/beslenme (R) oranı ve hesaplanmadan doğrudan kullanılan içsel sürtünme açısı (ϕ°) değeridir. Modellerin geliştirilmesi sürecinde bu parametreler her bir rezidüel toprak için ayrı ayrı hesaplanmıştır ve dikkate alınmıştır. Bununla birlikte; lokasyona ve zamana bağlı olarak değişeceği öngörülen infiltrasyon kapasitesi değeri için de hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlerde değerlendirilen rezidüel toprak seviyelerinin %20, %40 ve %75 infiltrasyon kapasitesine sahip olabilecekleri dikkate alınarak 12 farklı model çalışması yapılmıştır. Model çalışmaları sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmeleri gerçekleştirilmiş ve söz konusu modellerin doğru tahmin kapasiteleri ortalama %97.2 olarak hesaplanmıştır. Diğer

tarafından yine model geliştirme çalışmalarına müteakiben elde edilen topoğrafik eğim-beslenme alanı (SA) grafikleri incelendiğinde Güneysu su toplama havzasında rezidüel toprak seviyelerinin hidrolojik özellikler açısından oldukça suya doygun olabileceği anlaşılmıştır. Gerçekleştirilen SINMAP matematiksel modeli sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan stabilite indeks değerlerinin 1'in üzerinde olduğu yani duraylı alanların dağılımları infiltrasyon kapasitesinin değişimine bağlı olarak ayrıca değerlendirilmiştir (Çizelge 5.1). Bu kapsamda çalışma sahası içerisindeki en duraysız birim Kaçkar granitoyidi (g) biriminden ayrılan rezidüel toprak seviyeleridir. Buna karşılık olarak çalışma sahası içerisinde mevcut jeolojik, jeomorfolojik ve meteorolojik koşullara sığ heyelan açısından en dirençli olan jeolojik birim ise andezit, bazalt, lav ve piroklast (ablp) birimlerinden itibaren ayrılan rezidüel toprak seviyeleridir. Duraylı alanların farklı rezidüel toprak seviyeleri ve farklı infiltrasyon kapasitelerine bağlı olarak değişimi incelendiğinde; jeolojik malzemenin heyelana karşılık duyarlılığı arttığında infiltrasyon kapasitesindeki değişimin etkisi kaybolmaktadır. Buna karşılık göreceli olarak daha düşük duyarlılık seviyelerinde infiltrasyon kapasitesinin artmasına müteakiben jeolojik malzeme içerisindeki duraylı alanların yüzdesi belirgin azalmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Akgun, A. and Erkan, O. 2016. Landslide susceptibility mapping by geographical information system-based multivariate statistical and deterministic models: in an artificial reservoir area at Northern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 165, Turkey.
- Akgun, A. 2011. Assessment of possible damaged areas due to landslide-induced waves at a constructed reservoir using empirical approaches: Kurtun (North Turkey) dam reservoir area. *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS)*, 11: 1341–1350.
- Alexander 1995; Singhroy, V. 2005. Remote Sensing of Landslides. *Landslide Hazard and Risk*, 469–492.
- Armstrong, M.C., Denham, P.J. 1990. Database organization strategies for spatial decision support systems. *International Journal of Geographic Information System*, 4 (1): 3–20.
- Atalay, İ. 1987. Türkiye Jeomorfolojisine Giriş. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No. 9, İzmir.
- Band L.E. 1986. Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models. *Water Resources Research An Agu Journal*, 22 (1): 15-24.
- Barka, A., 1984. Erzincan havzasının bazı neotektonik özellikleri. Kuzeydoğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, 223–247.
- BenDor, Todd K., Metcalf, Sara S., Fontenot, Lauren E., Sangunett, B and Hannon, B., 2006. Modeling the Spread of the Emerald Ash Borer. *Ecological Modelling*, 197 (1-2): 221–236.
- Bernard 2004; Keçeli, A.D. 2012'den. Uygulamalı Jeofizik. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:18, Ankara, ss. 564.
- 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 Bulletin Journal*, 24: 43-69.
- Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Duman, T.Y. 2005. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at

- three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72 (1-4): 250-271.
- Cruden, D.M. and Varnes, D.J. 1996. Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board. National Academy of Sciences, 247: 36-75.
- Corominas, J. et al. 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73: 209-263.
- Corominas, J. and Moya, J. 2008. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Eng Geol* 102 (3-4): 193-213.
- Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A. 2006. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanların değerlendirilmesi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası 1. Heyelan Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Trabzon, 84.
- Davis, J. and Blesius, L. 2015. A Hybrid Physical and Maximum Entropy Landslide Susceptibility Model. *Entropy Journal*, 17: 4271-4292.
- Davis, J.D. and Sims, S.M. 2013. Physical and maximum entropy models applied to inventories of hillslope sediment sources. *Journal of Soils and Sediments*, 13: 1784-1801.
- Davey Resource Group 2012. Pittsburgh Urban Forest Master Plan: A Roadmap for the Effective Management of Our Urban Forest. (Kent, Ohio. Retrieved from <http://treepittsburgh.org/urban-forest-master-plan>).
- Deb, S.K. and El-Kadi, A.I. 2009. Susceptibility assessment of shallow landslides on Oahu, Hawaii, under extreme-rainfall events. *Geomorphology*, 108: 219-233, USA.
- De Blasio, F.V. 2011. Introduction to the Physics of Landslides. Lecture Notes on the Dynamics of Mass Wasting. Springer, New York, 408 pp.
- Deere, D.U. and Patton, F.D. 1971. Slope stability in residual soils. State of de Art Report, IVCOPAMSEF, Porto Rico, 1: 87-120.
- Demir, A. 2016. Afetlerin Jeolojik Etüdü ve Raporlanması, Ankara (yayımlanmamış).
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kecer, M., Doğan, A., Ateş, S. and Durmaz, S. 2005. Landslide inventory of northwestern Anatolia. *Engineering Geology*, 77 (1-2): 99-114.

- Ellen, S. D., Mark, R. K., Cannon, S.H. and Knifong, D.L. 1993. Map of debris-flow hazard in the Honolulu District of Oahu, Hawaii. U.S. Geological Survey, pp. 93–213.
- EM-DAT (Emergency Events Database) 2015. (<http://www.emdat.be/>) [Son erişim tarihi: 16.04.2016].
- Erinç, S. 1944. Doğu Karadeniz Dağlarında Glasyal morfoloji Araştırmaları, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, Coğrafya Enstitüsü Doktora Tezleri Serisi, No.1, İstanbul.
- Eyidoğan 1995; Yılmaz, Y., Güner, Y. and Şaroğlu, F. 1998. Geology of the quaternary volcanic centres of the east Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85 (1-4): 173-210.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L. and Leroi, E. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. Engineering Geology, 102: 99–111.
- Garbrecht, J. and Martz, L.W. 1997. The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models. Journal of Hydrology, 193 (1-4): 204–213.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. and Özsayar, T., 1979. The main lines of geotectonic development of the Eastern Pontides in Mesozoic era, Proceeding of the 1st Geological Congress of the Middle East (GEOCOME), pp. 555-580.
- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A. 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Gökçeoğlu, C., 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, 147–161.
- Güven, İ.H. 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu. MTA, s 65 (yayımlanmamış), Ankara.
- Güven, İ.H. 1998. Trabzon–C30 ve D30 Paftaları. 1/100.000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, 59: 9, Ankara.
- Hammond, C., Hall, D., Miller, S. and Swetik, P. 1992. Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0, General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station.

- Jenson, S.K. and Domingue, J. O. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Journals*, 54 (11): 1593-1600.
- Keçeli, A.D. 2012. Uygulamalı Jeofizik. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:18, Ankara, ss. 564.
- Ketin, İ. 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. *M.T.A.Dergisi*, 66: 20-34.
- Kim, W., Garza, J. and Keskin, A., 1993. Spatial data management in database systems: research directions. *Advances in Spatial Databases: third International Symposium, SSD'93. Lecture notes in computer science*, 692: 1-13, Springer, Berlin.
- Koçyiğit, A. 1985. The Karayazı fault. *Geological Society Turkey Bulletin*, 28: 67–72.
- Kothe. R. and Lehmeier, F. 1993. SARA-Ein System zur Automatischen Reliefanalyse-Morphometric-Benutzer-Handbuch zum Programm SARA-ME Version 2.22, 91 s.; unveröff. Univ. Göttingen.
- Lan, H., Wu, F., Zhou, C. and Wang, L. 2003. Spatial hazard analysis and prediction on rainfall-induced landslide using GIS. *Chinese Science Bulletin*, 48 (7): 703-708, China.
- Lan, H.X., Zhou, Z.H., Wang, H.Y. and Li, R.H. 2014. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology*, 76, 109–128, China.
- Lee, D.S., Shan, J. and Bethel, J.S, 2003. Class-guided building extraction from IKONOS imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69 (2):143–150.
- Liao, Z., Hong, Y., Wang, J., Fukuoka, H., Sassa, K., Karnawati, D. and Fathani, F. 2010. Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets. *Landslides*, 7(3): 317–324.
- Madej, M.A., O'sullivan, C. and Varnum, N. 1986. An evaluation of land use, hydrology, and sediment yield in the Mill Creek watershed, Northern California. *Redwood National Park Research and Development Technical Report 17*, Arcata, CA, pp, 66.

- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) 2005. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/> [Son erişim tarihi: 16.04.2016].
- Mark, D.M. 1988. Network models in geomorphology, Chapter 4 in *Modelling in Geomorphological Systems*, Edited by M.G. Anderson, John Wiley, pp. 73-97.
- Marks, D., Dozier, J. and Frew, J. 1984. Automated Basin Delineation From Digital Elevation Data. *Geo. Processing*, 2: 299-311.
- 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.
- Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) 2003; 2008. www.meteor.gov.tr [Son erişim tarihi: 11.02.2016].
- Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E. 1994. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research An Agu Journal*, 30 (4): 1153-1171.
- Nadim, F., Kjerstad, O., Peduzzi, P., Herold, C. and Jaedicke, C., 2006. Global Landslide and Avalanche Hotspots. *Landslides*, in press.
- National Mapping and Resource Information Authority (NAMRIA) 2013. The Philippine IfSAR project. Internal report jointly by NAMRIA, Intermap Technologies Inc. (Denver CO) and Certeza Infosys Corp. NAMRIA Main Office, Taguig City, Philippines.
- Nefeslioğlu, H.A. 2008. Toprak Akmalarına İlişkin Tehlike Haritalarının Üretilmesi (Büyükköy Su Toplama Havzası, Çayeli, Rize). Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 202 s (yayımlanmamış).
- Nefeslioğlu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Gorum, T. 2011. Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, 8 (4): 459-483.
- Nery, T.D. and Vieira, B.C. 2015. Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, Sao Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 369–378, Brazil.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2000. Main Eight Hawaiian Islands Cover. National Oceanic and Atmospheric Administration, Coastal Services Center, South Carolina, USA.
- Okay, A.I. and Şahintürk Ö. 1997. Geology of Eastern Pontides, in A. G. Robinson, ed., Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region: AAPG Memoir, 68: 291-311.
- O'Callaghan, J.F. and Mark, D.M. 1984. The Extraction of Drainage Networks From Digital Elevation Data. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 28, 323-344.
- O'Loughlin, E.M. 1986. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. Water Resources Research An Agu Journal, 22: 794-804.
- Özsayar, T., Selin, S. and Gedikoğlu, A. 1981. Doğu Pontidler'de Kretase, KTÜ Yer Bilimleri Dergisi, 2: 65-114.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G. and Goodwin, C.N. 1998a. The SINMAP approach to terrain stability mapping. Proceedings of the 8th Congress of International Association of Engineering Geology and the Environment, 2: 1157–1165, Balkema, Rotterdam.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G. and Goodwin, C.N. 1998b. Terrain stability mapping with SINMAP. Technical description and user's guide for version 1.00. Report No. 4114-0. Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, B.C., Canada.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G. and Goodwin, C.N. and Prasad, A. 2005. SINMAP 2, a stability index approach to terrain stability hazard mapping. Technical Description and User's Manual for version 2.0. Utah State University, USA.
- Paulin, G.L. and Bursik, M. 2009. Logisnet: A tool for multimethod, multiple soil layers slope stability analysis. Computers & Geosciences, 35: 1007-1016, USA.
- Petley, D. 2012. Global patterns of loss of life from landslides. Geology, 40 (10): 927-930.
- Pfeil-McCullough, E., Bain, D.J., Bergman, J. and Crumrine, D. 2015. Emerald ash borer and the urban forest: Changes in landslide potential due to canopy loss scenarios in the City of Pittsburgh, PA. Science of the Total Environment, 536: 538-545, Pittsburgh, PA, USA.

- Pomeroy, John S. 1982. Landslides in the Greater Pittsburgh Region, Pennsylvania. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1229.
- Rabonza, M.L., Felix, R.P., Lagmay, A.M.F.A, Eco, R.N.C., Ortiz, I.J.G. and Aquina, D.T. 2016. Shallow landslide susceptibility mapping using highresolution topography for areas devastated by super typhoon Haiyan. *Lanslides*, 13: 201–210, Philippines.
- Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A. and Osna, T. 2017. An expert-based landslide susceptibility mapping (LSM) module developed for Netcad Architect Software. *Computers & Geosciences*, 98: 26-37.
- Siddle, R.C. and Ochiai, H. 2006. Landslides: Processes, Prediction, and Land Use. *Environmental and Engineering Geoscience*, 13 (1): 90-91.
- Shufelt, J.A. 1999. Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 21(4): 311–326.
- Simon, A., Curini, A., Darby, S.E. and Langendoen, E.J. 2000. Bank and near-bank processes in an incised channel. *Geomorphology* 35 (3-4): 193–217.
- Singhroy, V. 2005. Remote Sensing of Landslides. *Landslide Hazard and Risk*, 469–492.
- Soeters, R. and Van Westen, C.J. 1996. Slope instability Recognition, analysis and zonation. *Lanslides: Investigation and Mitigation*, 247: 129-177.
- Soil Survey Staff (SSURGO) 2012. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Web Soil Survey (Retrieved, <http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/>).
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. MTA Raporu, No. 8174, ss. 394.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. 1984. Doğu Anadolu'nun neotektoniği ve ilgili magmatizması. Türkiye Jeoloji Kurumu, Ketin Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 149–162.
- Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian fault: its age, offset, and tectonic significance. *Journal of the Geological Society of London*, 136: 268–282.

- Şengör, A.M.C. and Kidd, W.S.F. 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55: 361–376.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75: 181– 241.
- Tanis, Sara R. and Mccullough, Deborah G. 2012. Differential Persistence of Blue Ash and White Ash Following Emerald Ash Borer Invasion. *Canadian Journal of Forest Research*, 42 (8): 1542–1550.
- Tarboton, D.G. 1989. The analysis of river basins and channel Networks using digital terrain data, ScD. Thesis, Department of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, MA, (Also available as Tarboton D.G., R.L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe, (Samet itle), Technical report no 326, Ralph M. Parsons Laboratory for Water resources and Hydrodynamics, Department of Civil Engineering, M.I.T., September 1989).
- Tarboton, D.G. 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research An Agu Journal*, 33: 309-319.
- Tarolli, P. and Tarboton, D.G. 2006. A new method for determination of Most Likely Initiation Points and the evaluation of Digital Terrain Model scale in terrain stability mapping. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 3 (2): 395-425.
- Terhost, B. and Kreja, R. 2009. Slope stability modelling with SINMAP in a settlement area of the Swabian Alb. *Landslides*, 6: 309–319, Germany.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H. and Gökçeoğlu, C. 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74 (3-4): 265–291.
- UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) 2010. <http://www.unisdr.org/>.
- Vannatta, A.R., Hauer, R.H. and Schuettpelz, N.M. 2012. Economic Analysis of Emerald Ash Borer (Coleoptera: Buprestidae) Management Options. *Journal of Economics*, 105 (1): 196–206.
- Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Moeyersons, J., Nyssen, J. and Van Beek, L.P.H. 2005. The effectiveness of hillshade maps and expert knowledge in mapping old deep-seated landslides. *Geomorphology*, 67 (3-4): 351-363.

- Van Westen, C.J., Van Asch, T.W. and Soeters, J.R. 2006. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. *Bull Eng Geol Env*, 65: 167–184.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 176: 12–33, New York.
- Visher, F.N. and Mink, J.F. 1964. Ground-water resources in Southern Oahu, Hawaii. U.S. Geological Survey. 1778: 133.
- Wendt, A. 1995. Constructing International Politics. *International Security*, 20 (1): 71–81.
- Wills, C.J. 2000. Landslides in the Highway 101 corridor between Wilson Creek and Crescentcity, Del Norte County, California. Special Report 184, California Department of Conservation, California Geological Survey, Sacramento, CA, pp. 26.
- Wu, W. and Sidle, R.C. 1995. A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Basins. *Water Resources Research An Agu Journal*, 31 (8): 2097–2110.
- Yılmaz, A., Adamia, S., Engin, T. and Lazarashvili, T. 1997. Geoscientific studies of the area along Turkish–Georgian border. MTA Report, No. 10123, pp. 477.
- Yılmaz, A., Adamia, S., Chabukiani, A., Chkhotua, T., Erdoğan, K., Tuzcu, S. and Karabıyıkoglu, M. 2000. Structural correlation of the southern Transcaucasus (Georgia)–Eastern Pontides (Turkey). *Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area*. In: E. Bozkurt, J.A. Winchester and J.D.A. Piper (eds.), Geological Society, London Special Publications, 173: 171–182.
- Yılmaz, A., Terlemez, İ. ve Uysal, Ş., 1988. Hınıs (Erzurum güneydoğusu) dolaylarının bazı stratigrafik ve tektonik özellikleri. *MTA Dergisi*, 108: 38– 56.
- Yılmaz, I. and Keskin, I. 2009. GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68: 459–471, Giresun, Turkey.
- Yılmaz, Y., Güner, Y. and Şaroğlu, F. 1998. Geology of the quaternary volcanic centres of the east Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4): 173–210.
- Zizioli, D., Meisina, C., Valentino, R. and Montrasio, L. 2013. Comparison between different approaches to modeling shallow landslide susceptibility: a case history in Oltrepo Pavese, Northern Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS)* 13: 559–573, Italy.

ÖZGEÇMİŞ

Fatma KELEŞ
kelesfatma28@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2016-2018	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2011-2015	Akdeniz Üniversitesi Mustafa Sak Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Antalya

ESERLER:

Keleş, F., Nefeslioğlu, H.A., 2017. A comparative assessment of SINMAP mathematical model and artificial neural network based landslide susceptibility evaluations. International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences (ISGGG), 18-21 October, 2017, Çanakkale, Turkey.