

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

**HEYELAN – YAĞIŞ İLİŞKİSİNİN MODELLENMESİ
VE ANALİZİ; TRABZON İLİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Emre AKÇALI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanları : Prof. Lütfi SALTABAŞ
Prof. Dr. Hasan ARMAN

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HEYELAN – YAĞIŞ İLİŞKİSİNİN MODELLENMESİ
VE ANALİZİ; TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Emre AKÇALI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanları : Prof. Lütfi SALTABAŞ
Prof. Dr. Hasan ARMAN

Bu tez 29 / 06 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Lütfi SALTABAŞ
Jüri Başkanı



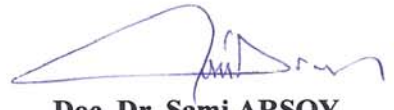
Prof. Dr. Hasan ARMAN
Üye



Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ
Üye



Doç. Dr. Seyhan FIRAT
Üye



Doç. Dr. Sami ARSOY
Üye



Yrd. Doç. Dr. Mücahit OPAN
Üye



Yrd. Doç. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL
Üye

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimlerim boyunca ve doktora tezimin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren ve yol gösteren danışmanım sayın Prof. Dr. Hasan ARMAN' a, tezimin ilerlemesinde katkısını esirgemeyen danışmanım, Bölüm Başkanımız sayın Prof. Lütfi SALTABAŞ' a, gerek eğitimin sırasında verdikleri dersler, gerekse tez çalışmamda değerli öneri ve yardımları ile bana destek olan Geoteknik Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ ve sayın Doç. Dr. Seyhan FIRAT' a teşekkürü bir borç bilirim.

Heyelan verilerinin sağlanmasında yardımlarını esirgemeyen Trabzon İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü' nden Şube Müdürü Emine ŞEVKETBEYOĞLU, Jeoloji Yüksek Mühendisi İlknur TURHAN ve Jeoloji Mühendisi Ömer KIRATLI' ya, meteorolojik değerlendirmeleri ile katkı sağlayan DSİ 22. Bölge Müdürlüğü' nden Meteoroloji Mühendisi Ali Rıza AYDIN' a, yağış verilerinin sağlanmasında katkı veren Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve DSİ 22. Bölge Müdürlüğüne şükranlarımı sunarım.

Ayrıca beni mesleki alanımda geliştiren kurumum, Devlet Su İşleri' ne, bugünlere gelmemde büyük katkısı olan Annem ve Babama, çalışmalarım sırasında desteğini daima arkamda hissettiren eşim Dr. Gülgün Elif AKÇALI ile çocuklarım Ece ve Akay' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Konusu ve Amacı	1
1.2 Heyelan Sınıflamaları	4
1.3 Heyelan Tanımlamaları	7
1.3.1 Heyelan kütesinin tanımlamaları	7
1.3.2 Heyelan boyutları	10
1.3.3 Heyelanların etkinlik dağılımı	11
1.3.4 Heyelanın etkinlik durumu	12
1.3.5 Heyelan türleri	14
1.4 Heyelanların Etkileri	16
1.4.1 Heyelanların dünyadaki etkileri	16
1.4.2 Heyelanların Türkiyedeki etkileri	19
1.4.3 Heyelanların Trabzondaki etkileri	21
1.5 Heyelanların Nedenleri	25
1.5.1 Trabzon ili heyelanlarının nedenleri	26
1.6 Heyelanlardan Korunma ve Zararlarının Azaltılması	31
1.6.1 Trabzon heyelanlardan korunma ve zarar azaltılması	33
1.7 Yağışların Heyelan Olasılığı Tahminindeki Yeri	34
1.7.1 Deterministik tahminler (şev stabilite analizleri)	35
1.7.1.1 Adi dilim yöntemi (OMS)	35
1.7.1.2 Bishop yöntemi	36

1.7.1.3 Basitleştirilmiş Janbu yöntemi.....	38
1.7.1.4 Janbu genelleştirilmiş dilim yöntemi	40
1.6.1.5 Morgenstern ve Price yöntemi	41
1.6.1.6 Spencer yöntemi	43
1.7.1.7 Sarma yöntemi	45
1.7.1.8 Genelleştirilmiş dilim çözümü (GLE)	47
1.7.1.9 Chen ve Morgenstern yöntemi	49
1.7.1.10 Sonsuz yamaç yöntemi	49
1.7.2 Heyelan yağış eşiği	54
17.3 Heyelan olasılığının tahmininde kullanılan diğer yöntemler ..	60
1.8 Çalışma Alanının Tanıtılması	62
1.8.1 Coğrafi konum	62
1.8.2 Jeomorfoloji	64
1.8.3 Genel jeoloji	64
1.8.4 Stratigrafi ve petrografi	68
1.8.5 Metaforfizma ve magmatizma	70
1.8.6 Tektonik ve paleocoğrafya	70
1.8.7 Yapısal jeoloji	71
1.8.7.1 Tabakalar	72
1.8.7.2 Çatlaklar	72
1.8.7.3 Faylar	73
1.8.7.4 Kıvrımlar	75
1.8.8 Çalışma alanı toprak oluşumu	75
1.8.8.1 Yerinde oluşmuş killer	75
1.8.8.2 Kütle hareketleri sonucu kısa mesafelere taşınmış rezidüel zeminler	78
1.8.8.3 Deniz ve akarsu taraçalarına çökelmiş topraklar..	78
1.8.9 Arazi Kullanımı	79
1.8.10 Çalışma Alanı İklimi	81
1.8.10.1 Coğrafi yapı – iklim ilişkisi	81
1.8.11 Trabzon ili yağışları	83
1.8.12.Yağış İstasyonları	89
1.8.13 Hava tahmini	94
1.9. Çalışma Alanına Yönelik Önceki Çalışmalar	95
BÖLÜM 2.	100
MATERYAL VE METOD

2.1	Yağış Eşiği Bağıntısının Elde Edilme Metodu	100
2.1.1	Heyelan bilgilerinin elde edilmesi	100
2.1.2	Yağış bilgilerinin elde edilmesi	100
2.1.3	Heyelan yağış eşiğinin oluşturulması	102
2.2	Yağış eşiğinin Stabilitate analiz modellemeleri ile tahkiki	102
2.3	Yağış Eşiğinin 2009-2010 Heyelan ve Yağış verileri ile tahkiki	107
BÖLÜM 3.		108
ARAŞTIRMA VE BULGULAR		
3.1	Heyelan Verilerinin Elde Edilmesi	108
3.1.1	Yapılan kabuller ve sınırlamalar	108
3.1.2	Heyelan verilerinin hazırlanması	111
3.1.3	Trabzon ili heyelanlarının değerlendirilmesi	113
3.2	Yağış Verilerinin Elde Edilmesi	126
3.3	Yağış Eşiği Bağıntısının Elde Edilmesi	129
3.3.1	Mevcut yağış eşikleri ile karşılaştırma	136
3.4	Model Oluşturma	138
3.5	Yağış Eşiğinin Tahkik Edilmesi	144
3.6	Heyelan Yağış Eşiğinin Kullanım Alanı	146
3.6.1	Heyelan erken uyarı veritabanı	147
3.6.2	Meteorolojik radar istasyonu	149
3.6.3	Heyelan risk haritası	150
3.6.4	Örnekleme	152
3.6.5	Heyelan Erken Uyarı Veri Tabanının Tahkiki.....	153
BÖLÜM 4.		154
SONUÇLAR		
BÖLÜM 5.		160
TARTIŞMA VE ÖNERİLER		
6.	KAYNAKLAR	165
7.	EKLER	178
8.	ÖZGEÇMİŞ	198

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Zemin kesit alanı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
A_R	: Köklerin toplam kesit alanı
b	: Dilim genişliği
c	: Kohezyon
c_m	: Zeminin uyanmış kohezyonu
D	: Derinlik, Yağış süresi
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
E	: Yatay dilimler arası kuvvet
F	: Güvenlik sayısı
GLE	: Genelleştirilmiş Dilim Çözümü
H	: Doygun zemin derinliği
h_t	: Kayma yüzeyi üzerinde itki hattının yüksekliği
I	: Yağış şiddeti
ID	: Yağış şiddeti – yağış süresi
k	: Geçirimsizlik katsayısı, Sismik katsayı
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
l	: Uzunluk
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
N	: Dilimin tabanı üzerindeki normal kuvvetler
n_e	: Porozite
\emptyset	: Kayma direnci açısı
\emptyset_m	: Zeminin uyanmış kayma direnci açısı
OMS	: Adi dilim yöntemi
Θ_t	: Yataydan ölçülen ve itki hattının eğimini temsil eden açıdır
P	: Yağış yüksekliği, Tabana etkileyen normal ve boşluk suyu basıncı kuvveti
R	: Kayma dairesi yarıçapı

RABİS	: Rize Afet Bilgi ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi
r_u	: Boşluk suyu basıncı katsayısı
S_m	: Tabana paralel uyanmış kayma direnci kuvveti
S_v	: Dilim sınırında mevcut kesme kuvvet
T	: Yağış süresi, Yamaç tepesinde çekme çatlağı hidrostatik basınç kuvveti
T_R	: Köklerin ortalama çekme mukavemeti
TS	: Türk Standartı
TUAA	: Türkiye Ulusal Afet Arşivi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim ve Bilim Örgütü
u_w	: Boşluk suyu basıncı
W	: Kütle
W_a	: Dilimin su üzerinde kalan bölümlerinin ağırlığı
W_b	: Dilimin batık bölümlerinin ağırlığı
WLI	: Dünya Heyelan Envanteri Komisyonu
WP	: Çalışma Grubu
X	: Dilimler arası kuvvetin düşey bileşeni
Z_L, Z_R	: Eğimleri δ_R ve δ_L olan yanal kuvvetlerin bileşkeleri
Z_w	: Çekme çatlağı derinliği
α	: Dilim tabanının yatayla yaptığı açı
β	: Yamaç eğimi
γ	: Birim hacim ağırlık
ΔS	: Kayma direnci artımı;
λ	: Bilinmeyen ölçekleme faktörü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Heyelan türleri	5
Şekil 1.2	Heyelan kütle tanımlamaları	7
Şekil 1.3	Heyelan boyut tanımlamaları	10
Şekil 1.4	Heyelan etkinlik dağılımı tanımlamaları	12
Şekil 1.5	Heyelan etkinlik tanımlamaları	13
Şekil 1.6	Heyelan türü tanımlamaları	15
Şekil 1.7	Dünya Heyelan Haritası	16
Şekil 1.8.	İllere göre heyelan olaylarının dağılımı	20
Şekil 1.9	Trabzon ili Heyelanları Yoğunluk Haritası	23
Şekil 1.10	Trabzon ilindeki heyelanlı yerleşim birimlerinin 3 boyutlu görüntüsü	24
Şekil 1.11	İlçelere göre afetzede dağılım haritası	24
Şekil 1.12.	Heyelanlara neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler	25
Şekil 1.13.	Trabzon heyelan – drenaj ağı haritası	28
Şekil 1.14.	Heyelan – dere yatağı ilişkisi	29
Şekil 1.15.	Heyelan – yol ilişkisi	29
Şekil 1.16.	Heyelan – dere yatağı ilişkisi	29
Şekil 1.17.	Heyelan – yağış, ağaç kökü ilişkisi	30
Şekil 1.18.	Adi Dilim yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler	36
Şekil 1.19.	Dilim analizinde kuvvetler	37
Şekil 1.20.	Janbu düzeltme katsayıları	39
Şekil 1.21.	Dilim sınırlarında dilimler arası kuvvetlerin yerlerini tanımlayan itki hattı	40
Şekil 1.22.	Dilime etkiyen tüm kuvvetler	43
Şekil 1.23.	Genel limit denge çözümünde yamacın özellikleri	48
Şekil 1.24.	Sonsuz yamaç profili	49
Şekil 1.25.	Sonsuz yamaç duraylılık hesabı abakları	51
Şekil 1.26.	İlk global yağış eşiği	55

Şekil 1.27.	Global heyelan – yağış eşiklerinin karşılaştırılması	56
Şekil 1.28.	Dünya üzerinde heyelan – yağış eşiği çalışmaları yapılmış bölgeler	59
Şekil 1.29.	Yağış – boşluksuyu basıncı değişim grafiği	60
Şekil 1.30.	Yağış – Güvenlik katsayısı değişim grafiği	61
Şekil 1.31.	Trabzon ili idari sınır haritası	63
Şekil 1.32.	Trabzon jeoloji haritası	66
Şekil 1.33.	Stratigrafik dikey kesit	67
Şekil 1.34.	Trabzon ili ve yakın çevresi fay haritası	74
Şekil 1.35.	Yağış – sıcaklık – ayrışma grafiği	76
Şekil 1.36.	Rezidüel yamaçlarda ayrışma süreci	77
Şekil 1.37.	Trabzon ili yamaçları tipik ayrışma kesiti	77
Şekil 1.38.	Trabzon ili yamaçları tipik ayrışma kesiti	78
Şekil 1.39.	Trabzon ilinde tipik taraça oluşumları	79
Şekil 1.40.	Trabzon ili arazi örtüsü haritası	80
Şekil 1.41.	Türkiye yıllık ortalama yağış haritası	84
Şekil 1.42.	Trabzon yıllık toplam yağışları ve ortalaması (1970-2009)	85
Şekil 1.43.	Trabzon yıllık toplam yağışları ve trendi (1970-2009)	86
Şekil 1.44.	Trabzon ilçeleri – yıllık toplam yağışlar	87
Şekil 1.45.	Trabzon aylık ortalama yağış dağılımı	88
Şekil 1.46.	Trabzon ili ortalama yağışlı gün sayısı	88
Şekil 1.47.	Doğu karadeniz bölgesi ve Trabzon ili DMİ ve DSİ yağış istasyonları	90
Şekil 1.48.	Trabzon ili ve yakın çevresi DMİ ve DSİ yağış istasyonları	91
Şekil 1.49.	Planlanan Trabzon meteorolojik radar istasyon	94
Şekil 1.50.	Mevcut ve planlanan meteorolojik radar istasyonları	95
Şekil 2.1.	Thiessen poligonu örneği	101
Şekil 2.2.	Ağaç kökü kesiti (sığ kök)	105
Şekil 2.3.	Ağaç kökleri - yamaç ilişkisi	105
Şekil 3.1.	Trabzon ili yağışlarında meydana gelen toplu heyelanlar	110
Şekil 3.2.	Trabzon ili heyelan türleri	113
Şekil 3.3.	Trabzon ilinde düzlemsel kayma türünde bir heyelan	114
Şekil 3.4.	Trabzon ilinde çamur – moloz akması türünde bir heyelan	114

Şekil 3.5.	Trabzon ili heyelanları doğal şev açıları dağılımı	115
Şekil 3.6.	Trabzon ili heyelanları kayan kütle kalınlığı dağılımı	116
Şekil 3.7.	Trabzon ili heyelanları yüzey alanı büyüklüğü dağılımı	117
Şekil 3.8.	Kullanım amacı dağılımı	118
Şekil 3.9.	Çay bahçesinde heyelan	118
Şekil 3.10.	Ormanlık alanda heyelan	119
Şekil 3.11.	Boş arazide akma türü heyelan	119
Şekil 3.12.	Ormanlık alan heyelanlarında ağaç türü dağılımı	120
Şekil 3.13.	Trabzon ilinde Ladin ağacı örneği	121
Şekil 3.14.	Ladin ağacı kök tip kesiti	121
Şekil 3.15.	Tarım alanı heyelanlarındaki tarımsal ürün tipi dağılımı	122
Şekil 3.16.	Tarım alanına dönüştürülen ormanlık alanlar	123
Şekil 3.17.	Çay bahçesinde akma	123
Şekil 3.18.	Fındık bahçesinde heyelan	124
Şekil 3.19.	Fındık ağacı örnekleri	125
Şekil 3.20.	Çay bitkisi örnekleri	125
Şekil 3.21.	Trabzon ilinde 1988 – 2008 yılları arasında meydana gelen heyelanlar temsili yerleştirme	127
Şekil 3.22.	Trabzon ili heyelanları için Thiessen poligonu çalışması temsili gösterim	128
Şekil 3.23.	Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği (Genel)	130
Şekil 3.24.	Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği (n>10)	131
Şekil 3.25.	Şev Açılımlarına göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri	132
Şekil 3.26.	Heyelan türüne göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri	133
Şekil 3.27.	Kayaç türüne göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri	134
Şekil 3.28.	Yamaç kullanım amacına göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği	135
Şekil 3.29.	Tarımsal ürün türüne göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği	136
Şekil 3.30.	Yağış eşiklerinin karşılaştırılması	137

Şekil 3.31.	Stabilite analiz modeli	139
Şekil 3.32.	Stabilite analiz modelinde sızma miktarına göre belirlenmiş zemin tabakaları	140
Şekil 3.33.	Stabilite analiz modelinde denge kaybı durumu	141
Şekil 3.34.	Stabilite analiz modelinde kök direnci durumu	142
Şekil 3.35.	Genel yağış eşiği tahkiki	145
Şekil 3.36.	Toplu yağış eşiği ($n>10$) tahkiki	146
Şekil 3.37.	Heyelan erken uyarı veritabanı	149
Şekil 3.38.	Trabzon ili potansiyel heyelan haritası	151
Şekil 3.39	Heyelan erken uyarı veritabanı kullanım örneği	152
Şekil 3.40.	Heyelan erken uyarı tutarlılık analizi	153
Şekil 5.1.	Heyelan envanter formu	161

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Varnes heyelan sınıflandırma sistemi	4
Tablo 1.2.	Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırması	6
Tablo 1.3.	Heyelanların hızlarına göre sınıflandırması	6
Tablo 1.4.	Dünyada son 100 yılda meydana gelen önemli heyelanlar	18
Tablo 1.5.	Afetlerin genel hayata etkililiğine ilişkin temel kurallar hakkındaki yönetmelik	19
Tablo 1.6.	Kütle hareketlerinin kontrolü İçin yöntemler	32
Tablo 1.7.	Limit denge şev duraylılık analiz yöntemlerinin özeti ve yararlılık durumları	52
Tablo 1.8.	Limit denge yöntemlerindeki varsayımlar, denge koşulları ve bilinmeyenler	52
Tablo 1.9.	Global yağış şiddet – süre eşikleri	56
Tablo 1.10.	Bölgesel ve lokal yağış eşikleri	57
Tablo 1.11.	Trabzon ilçeleri yağışlarının mevsimsel dağılımı.....	87
Tablo 1.12.	Trabzon ili ve yakın çevresi D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyon bilgileri	92
Tablo 3.1.	Trabzon ilinde meydana gelen ve tarihi belli olan heyelanlar	112
Tablo 3.2.	Şev Açıklarına göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri	132
Tablo 3.3.	Trabzon ili heyelan modellemeleri için güvenlik katsayıları	143

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yağış eşiği, heyelan erken uyarı, yağış, heyelan, ağaç

Heyelanları tetikleyen yağışların süre, miktar ve şiddetlerinin bilinmesi, heyelan tahmini ve heyelan erken uyarı sistemleri için büyük önem taşımaktadır. Yağışların belli bir eşik değeri aştıktan sonra heyelanları tetiklediği son yıllarda araştırmacılarca yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur. Trabzon ili, Türkiye' nin en çok yağış alan ve en çok heyelan meydana gelen bölgesinde yer almaktadır. Bu özellikleri ile heyelanlardan korunma ve heyelan zararlarının azaltılması adına Trabzon ili için heyelan yağış eşiğinin belirlenmesi, ihtiyaç haline gelmiştir. Bu çalışmada yağış eşiğinin belirlenmesi ile heyelan erken uyarı sistemi için de veritabanı sağlanmış olacaktır.

Rezidüel zemine sahip Trabzon ili yamaçları için yağış eşiğinin belirlenmesinde istatistiksel verileri baz alan ampirik yöntem kullanılmıştır. Çalışma ile farklı parametreler (toplu heyelanlar, şev açısı, arazi kullanım amacı vb.) baz alınarak Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri belirlenmiştir. Eşik değerler elde edilirken lokal sayılabilecek büyüklükte bir bölge için çok sayıda (n=1105 adet) heyelan ve yağış verisi kullanılması, bağıntının güvenilirliğini arttırmıştır. Trabzon ili için elde edilen yağış eşiği bağıntısı, sayısal modellerle zemin parametreleri göz önüne alınarak tahkik edilmiştir. Trabzon ilinde ormanlık alanlardan tarım alanlarına dönüştürülen yamaçlarda çok sık heyelan olayları yaşandığından ağaç köklerinin yamaç stabilitesi üzerindeki etkisi ayrıca değerlendirilmiştir.

Yağış eşiklerinden Trabzon ili için heyelan erken uyarı veritabanı oluşturulmuştur. Heyelan erken uyarı veritabanının güvenilirliği, geçmişe yönelik 2 yıllık deneme süresi (2009-2010) ile tahkik edilmiş ve yüksek oranda tutarlılık sağlamıştır. Elde edilen bağıntı kullanılarak erken uyarı sistemi kurulması ile Türkiye'de heyelan olaylarının en çok yaşandığı Trabzon ilinde heyelana bağlı can ve mal kayıpları azaltılacaktır. Böylece hem Trabzon iline hem de ülkemize sosyal ve ekonomik katkı sağlanmış olacaktır.

MODELLING AND ANALYSIS OF LANDSLIDE - RAINFALL RELATIONSHIP IN TRABZON PROVINCE

SUMMARY

Key Words: Rainfall threshold, landslide early warning, rainfall, landslide, tree

Knowing the duration, amount and intensity of precipitation triggering landslides is of great importance for landslide prediction and landslide warning systems. Recent researches indicate that landslides occur after passing a certain threshold value of rainfall. Trabzon province which has the highest rainfall in Turkey, is located in a region where landslides mostly occur. Due to that fact; the ability to determine the rainfall threshold for Trabzon province becomes necessary in order to prevent landslides and mitigate landslide hazards. In this study, following the definition of rainfall threshold, a database will be provided for establishing landslide early warning system.

Empirical method based on statistical data was used to determine a rainfall threshold for Trabzon slopes which are mainly made of residual soils. Through this study, rainfall thresholds which trigger Trabzon province landslides were determined for different parameters (multiple landslides, slope angle, purpose of land use etc.). To increase the correlation reliability, number of landslides and rainfall data (n=1105) were used to obtain rainfall thresholds for a local region that could be considered as small size region. Then, the calculated rainfall threshold for Trabzon province within the considered soil parameters was verified with numerical models. Due to often landslides occurrence on slopes of lands which are converted from forests to agricultural lands, the effect of tree roots on slope stability were also separately evaluated.

The database of landslide early warning system for Trabzon province was comprised from these rainfall thresholds. The reliability of landslide early warning system database was verified over a 2-years trial period (2009-2010) and ensured high consistency. With the installation of a landslide early warning system using rainfall thresholds, life and property losses due to landslides in Trabzon province will be reduced. Thus, social and economic benefit will be realised not only for Trabzon, but also for our entire country.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışma Konusu ve Amacı

Heyelanlar konusunda günümüze kadar elde edilen bilgi ve deneyim, kütle hareketlerinde en önemli tetikleyici etkenin yağışlar olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalar yağışların heyelanı tetiklemesi yanında, yağışın sürekliliğinin ve süresinin duraylılıkta ne denli önemli rol oynadığını göstermiştir [1]. Bu konuda dünyanın birçok yerinde toplanan bilgiler büyük ölçüde uyum göstermektedir. Ancak araştırmalar, sığ hareketlerin dışında heyelanlarla yağış arasında kesin bir bağıntı kurulamadığını göstermektedir [2,3].

Dünyanın çeşitli iklimlerinden edinilen verilerden, sığ kaymaları ve akmaları tetikleyen unsurun yağış olduğu varsayımı ile ilk olarak Caine [4] tarafından 1980 yılında global ölçekli bir alt limit bağıntısı çıkarılmıştır. Bu alt limit, heyelanların başlaması için gerekli olan “yağış eşiği” olarak tanımlanmıştır. Ancak dünya üzerindeki bölgelerin farklı topoğrafik, jeolojik yapıları ile üzerinde yer alan bitki örtüsü ve tarım alanlarının farklılığı dolayısıyla her dar bölge için yeni bir heyelan yağış eşiği bağıntısının çıkarılması, bağıntının tutarlılığı ve uygulamada kullanılabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Heyelanları tetikleyen yağış eşiği, fiziksel bazlı veya istatistiksel verileri baz alan ampirik metod ile belirlenebilmektedir. Ancak Türk Standartı 8853 “Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde” de belirtildiği üzere yerinde oluşmuş (rezidüel) zemin yamaçlarda, zeminin kayma direnci ayrışma ve yıpranma etkilerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, stabilite analizi, laboratuvar deneyleri sonucu bulunan parametrelerle başarılı şekilde yapılamamaktadır. Deneyime dayalı ampirik yaklaşımlar, yerinde oluşmuş zeminlerde en güvenilir yol

olarak belirmektedir. Böyle yamaçlarda kayma çoğunlukla sonsuz yamaç biçiminde oluşmaktadır ve kesin hesap yapılması zordur [5].

Trabzon, Türkiye’de en çok yağış alan ve en çok heyelan meydana gelen ilimizdir. Bu heyelanların büyük kısmı yüzeysel ve sığ kaymalar ile çamur-moloz akmaları şeklinde oluşmaktadır. Bunun yanında Trabzon ili toprakları, rezidüel zeminlerden oluşmaktadır. Bu özellikleri ile Trabzon ili, heyelan - yağış eşiği araştırması için ülkemizde en uygun bölge konumundadır. Yapılan bu tez çalışması ile Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği belirlenmiştir.

Çalışmamızın sağladığı yenilik ve faydalar şunlardır;

- 1) Çalışma sonucu elde edilen heyelan – yağış eşiği bağıntıları, günümüzde büyük önem kazanan ve kullanılması zaruriyet haline gelen heyelan erken uyarı sistemi için veri tabanı olmuştur.
- 2) Elde edilen yağış eşiği bağıntısı, benzer araştırmalardan farklı olarak sayısal modellerle zemin parametreleri göz önüne alınarak şev stabilite analizleri ile tahkik edilmiştir.
- 3) Literatürde ilk defa farklı parametreler kullanılarak (toplu heyelan, şev açısı, heyelan türü, tarım alanı türü, arazi kullanım amacı, litoloji) yağış eşikleri belirlenmiştir.
- 4) Trabzon ili için elde edilen bu bağıntılar Türkiye’ den elde edilen ve uluslararası literatüre sunulan ilk yağış eşiği bağıntısı olmuştur.
- 5) Bağıntı elde edilirken lokal sayılabilecek büyüklükte bir bölge için çok sayıda heyelan verisi (n=1105 adet) kullanılması bağıntının güvenilirliğini arttırmıştır.

- 6) Heyelan veri tabanını oluşturan genel ve toplu heyelan yağış eşikleri 2 yıllık deneme süresi (2009-2010) ile güvenilirliğini ispat etmiştir.
- 7) Heyelan erken uyarı veritabanının güvenilirliği, geçmişe yönelik 2 yıllık deneme süresi (2009-2010) ile tahkik edilmiş ve yüksek oranda tutarlılık sağlamıştır.
- 8) Hazırlanan heyelan erken uyarı veritabanı Türkiye için bir ilk olacaktır.
- 9) Toplu heyelan yağış eşiklerini de baz alan heyelan erken uyarı veritabanı literatürde ilk defa yeralacaktır.
- 10) Elde edilen bağıntı kullanılarak erken uyarı sistemi kurulması ile Türkiye’de heyelan olaylarının en çok yaşandığı Trabzon ilinde, heyelana bağlı can ve mal kayıpları azaltılacaktır. Böylece hem Trabzon iline hem de ülkemize sosyal ve ekonomik katkı sağlanmış olacaktır.
- 11) Trabzon ili heyelanları ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ağırlıklı olarak heyelanların nedenlerini belirlemek ve yapısal çözümler üretmek üzerine olmuştur. Bu çalışmada ise günümüzde heyelanlardan kaçınma ve heyelan zararlarının azaltılması adına bir çalışma yapılmıştır.

1.2. Heyelan Sınıflamaları

Heyelan, Terzaghi' nin yaptığı en basit tanımlama ile; doğal zemin, kaya, yapay dolgu ve bunların çeşitli birleşimlerinden meydana gelen şevli malzemelerin aşağı ve dışa doğru hareket etmesidir [6].

Literatürde pek çok heyelan sınıflandırılma sistemi mevcuttur [7-11]. Bu sınıflandırmalar genellikle morfoloji, hareket mekanizması, malzeme cinsi, hareket oranını ve farklı yazar görüşlerini baz almaktadır.

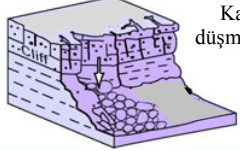
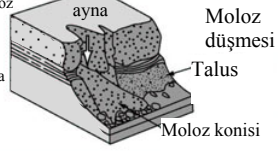
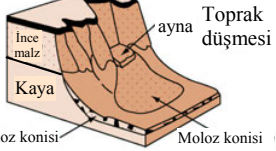
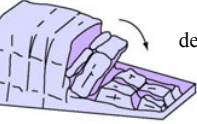
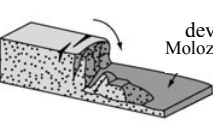
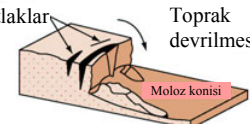
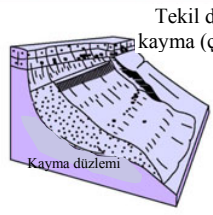
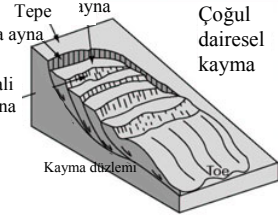
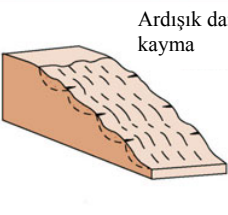
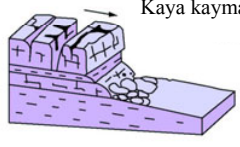

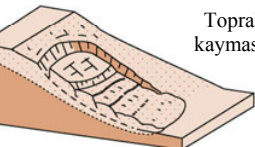
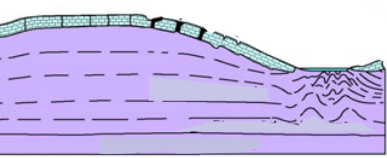
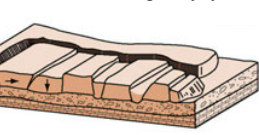
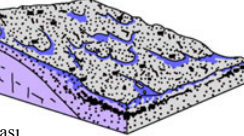
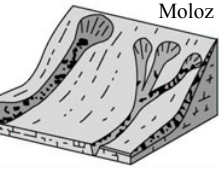
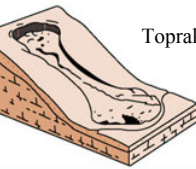
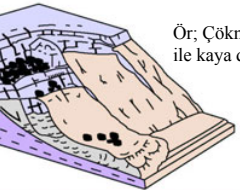
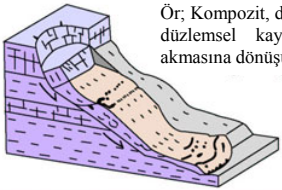
Tablo 1.1 de Varnes tarafından üretilen ve araştırmacılarca en sık kullanılan sınıflandırma sistemi yer almaktadır. Varnes sınıflandırma sistemi, Türk Standartı 8853 “Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde” de temel olarak alınmıştır.

Tablo 1.1. Varnes (1978) heyelan sınıflandırma sistemi [7]

HAREKET TÜRÜ		Malzemenin Türü		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Daneli	İnce Daneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin (Çamur) Akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve Molozda düzlemsel kayma	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde ve Molozda Dönel Kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya Yayılması	Zemin ve Moloz Yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

Birleşmiş Milletler Eğitim ve Bilim Örgütü UNESCO Çalışma Grubu (WP) tarafından Doğal Afetleri Önleme On Yılı Çalışmaları kapsamında 1990 yılında Dünya Heyelan Envanteri Komisyonu (WLI) oluşturulmuştur [12]. Aşağıdaki Şekil

1.1 de Varnes' den sonra modifiye edilmiş ve WP/WLI (1993) de kabul gören heyelan türleri gösterilmiştir [13].

Hareket Tipi		Malzeme		
		KAYA	MOLOZ	ZEMİN (TOPRAK)
Düşme				
				
Kayma	Dönel			
	Ötelenmeli (Düzlemsel)			
Yanal Yayılma			Ör; Şişme ve kamburlaşma	
Akma				
Karmaşık				

Şekil 1.1. Heyelan türleri [13]

Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırılması günümüzde sıkça kullanılan diğer bir yöntemdir (Tablo 1.2).

Tablo 1.2. Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırması [3]

	Derinlik (Kayan kütle kalınlığı) (m)
Yüzey hareketi	$h < 1,5$
Sığ heyelan	$1,5 < h < 5$
Derin heyelan	$5 < h < 20$
Çok derin heyelan	$h > 20$

WP/WLI' nin 1995 yılında yaptığı çalışma ile heyelanlar hızlarına göre sınıflandırılmıştır (Tablo 1.3).

Tablo 1.3. Heyelanların hızlarına göre sınıflandırması [14]

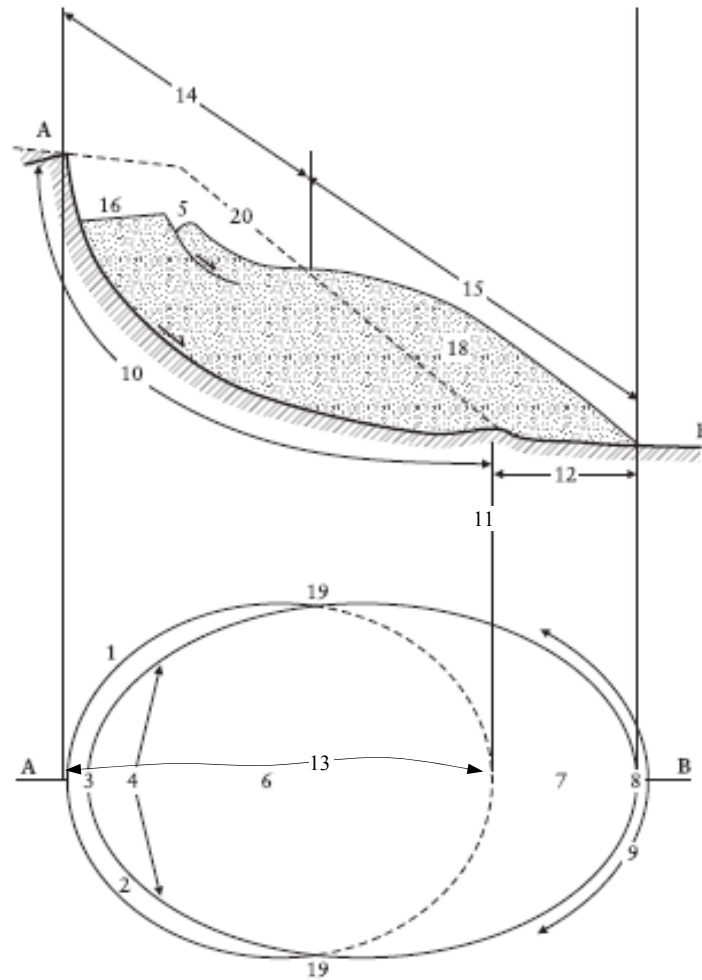
Hareket Hızı	Hız Sınıfı	Hız Limiti	Oran (mm/sn)
Son derece hızlı	7		
Çok hızlı	6	3 mm/sn	5000
Hızlı	5	0,3 m/dak	50
Orta	4	1,5 m/gün	0,5
Yavaş	3	1,5 m/ay	5×10^{-3}
Çok yavaş	2	1,5 m/yıl	5×10^{-6}
Son derece yavaş	1	0,06 m/yıl	$0,5 \times 10^{-6}$

1.3 Heyelan Tanımlamaları

WLI tarafından yapılan çalışmalar ile global ölçekte kullanılması öngörülen heyelan tanımlamaları yapılmıştır [15]. Bu tanımlamalar, Önalp tarafından Türkçe' ye de çevrilmiş olup söz konusu heyelan tanımlamaları aşağıda sunulmuştur [16].

1.3.1 Heyelan kütlelerinin tanımlamaları

Heyelanlar kayan kütlelerin fiziki özelliklerine göre Şekil 1.2 de tanımlanmıştır.



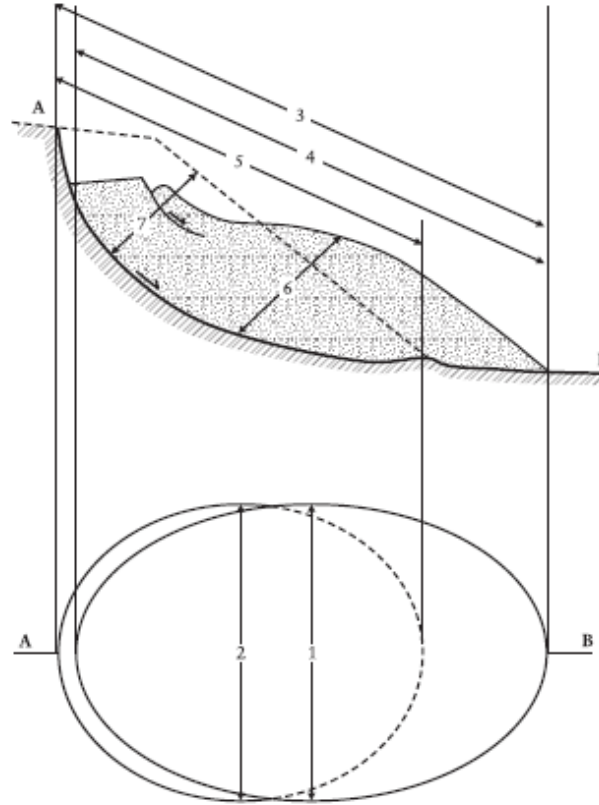
Şekil 1.2 Heyelan kütle tanımlamaları

- 1) Heyelan tacı; ana aynanın (2) en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yerdir.
- 2) Ana ayna; heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kütlelerin (13) ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey. Kayma/kopma yüzeyinin (10) görünen bölümüdür.
- 3) Heyelan tepesi; ana ayna (2) ile heyelan kütlesi (13) arasındaki en yüksek noktadır.
- 4) Heyelanın üstü; hareket etmiş kütle ile ana ayna (2) arasında oluşan bölgenin üst kısımlarıdır.
- 5) Tali ayna; yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın bir yüzeydir.
- 6) Heyelan gövdesi; kayma yüzeyi (10) üzerinde, ana kaya (2) ile kayma yüzeyi burnu (11) arasında kalan kütledir.
- 7) Heyelanın eteği; heyelanın topuğu (11) ötesine hareket ederek doğal arazi (20) üzerine oturmuş bölümüdür.
- 8) Heyelanın ucu; heyelan üzerinden (3) topuğuna (9) gelen noktadır.
- 9) Topuk; hareket eden kütlelerin genellikle eğrisel olan alt ucu. Bu nokta ana aynadan (2) en uzaktaki noktadır.
- 10) Kayma yüzeyi; heyelana neden olan ya da heyelan olmuş kütlelerin (13) alt sınırını oluşturan ve doğal zemin yüzeyinin (20) kesişme noktasıdır.

- 11) Kayma yüzeyi burnu; bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü (10) alt bölümü ile (genellikle gömülü) doğal arazi yüzeyinin (20) kesişme noktasıdır.
- 12) Ayrılma yüzeyi; doğal arazi yüzeyinin (20) heyelanın eteği (7) altında kalan bölümüdür.
- 13) Heyelan kütlesi; yamaç veya şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp (17) ve kabarma (18) kütlelerini içeren malzemedir.
- 14) Kayıp bölgesi; heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyi (20) seviyesi altında kalan alanıdır.
- 15) Birikim bölgesi; heyelan kütlelerinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi (20) seviyesi üstünde kalan alanıdır.
- 16) Çöküntü; ana ayna (2), çöküntü kütlesi (17) ve doğal arazi yüzeyi (20) arasında kalan hacimdir.
- 17) Çöküntü kütlesi; kama yüzeyi (10) üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi altında kalan heyelan külesidir.
- 18) Kabarma; başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi (20) üzerine yükselen yer değiştirmiş heyelan hacmidir.
- 19) Kanatlar; kayma yüzeyinin yanlarında kalan ve hareket etmemiş malzemedir. Kanatları tanımlama için pusula yönleri kullanılmalıdır. Sağ ve sol sözcükleri kullanılacaksa kanatların yeri, heyelan tacından (1) görüldüğü gibi tanımlanır.
- 20) Doğal arazi yüzeyi; kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyidir.

1.3.2 Heyelan boyutları

Heyelanlar boyutlarına göre Şekil 1.3 de tanımlanmıştır.



Şekil 1.3. Heyelan boyut tanımlamaları

- 1) Heyelan kütlesi genişliği, W_d : Hareket eden kütle uzunluğu L_d ' ye dikey olan maksimum mesafedir.
- 2) Kayma Yüzeyi Genişliği, W_r : Heyelan kanatları arasında kalan ve toplam uzunluk L ' ye dikey maksimum mesafedir.
- 3) Toplam Heyelan Uzunluğu, L : Heyelanın tacından ucuna kadar minimum mesafedir.

- 4) Heyelan kütlesi Boyu, L_d : Heyelanın uç noktasından başına kadar minimum mesafedir.
- 5) Kayma Yüzeyi Uzunluğu, L_r : Kayma yüzeyi burnundan heyelanın tacına kadar olan minimum mesafedir.
- 6) Heyelan derinliği, D_d : $W_d(1)$ ve L_d' nin (4) oluşturduğu düzlemden kopma yüzeyine ölçülen maksimum dikey mesafedir.
- 7) Kayma Yüzeyi Derinliği, D_r : Kayma yüzeyinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyinden W_r (2) ve L_r' nin (5) oluşturduğu düzleme maksimum dikey uzaklıktır.

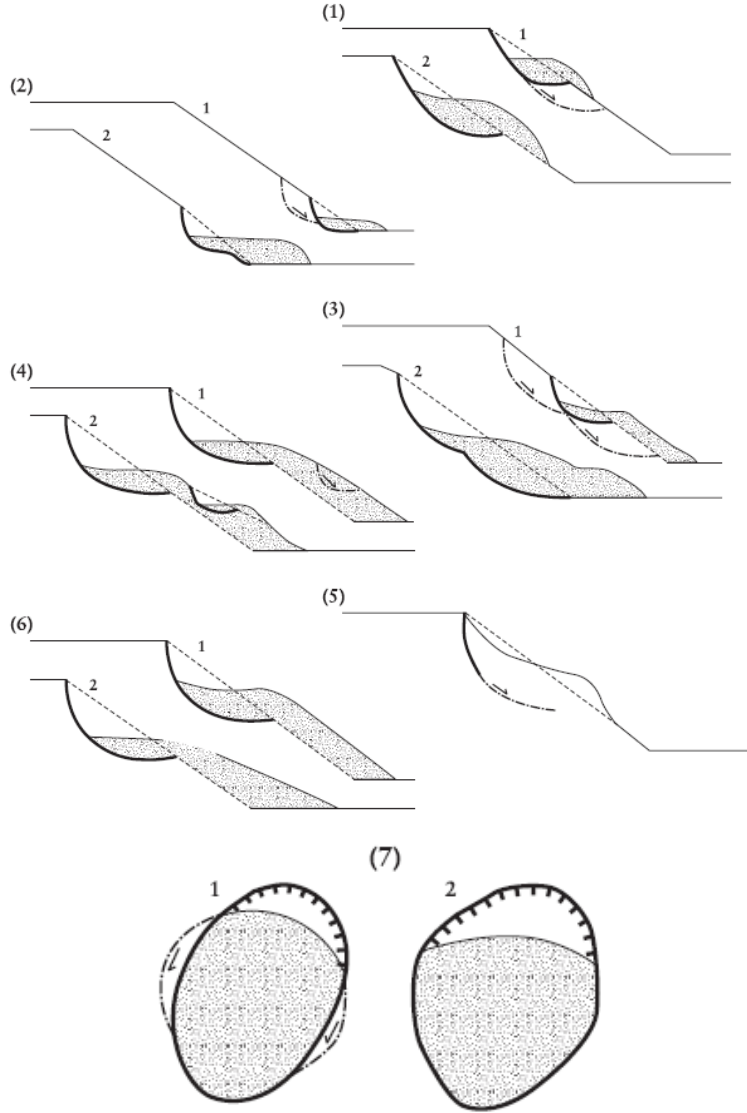
1.3.3 Heyelanların etkinlik dağılımı

Heyelanlar etkinlik dağılımlarına göre Şekil 1.4 de tanımlanmıştır.

- 1) İleriye doğru gelişen heyelan: Kayma yüzeyi hareket yüzeyi yönünde ilerlemesi
- 2) Geriye doğru gelişen heyelan: Kayma yüzeyi hareket yüzeyinin tersine uzanmakta olan heyelan.
- 3) Büyüyen heyelan: Kopma yüzeyi iki ya da daha fazla yönde gelişmesi.
- 4) Tüklenen heyelan: Hareket eden kütle giderek azalması.
- 5) Sınırlı heyelan: Aynası olan, ancak hareket eden kütle ayağında kopma yüzeyi gözlemlenemeyen heyelan.

6) Yayılan heyelan: Hareket eden kütle hacminde ve kopma yüzeyinde gözlenebilir bir değişim olmadan süren heyelan.

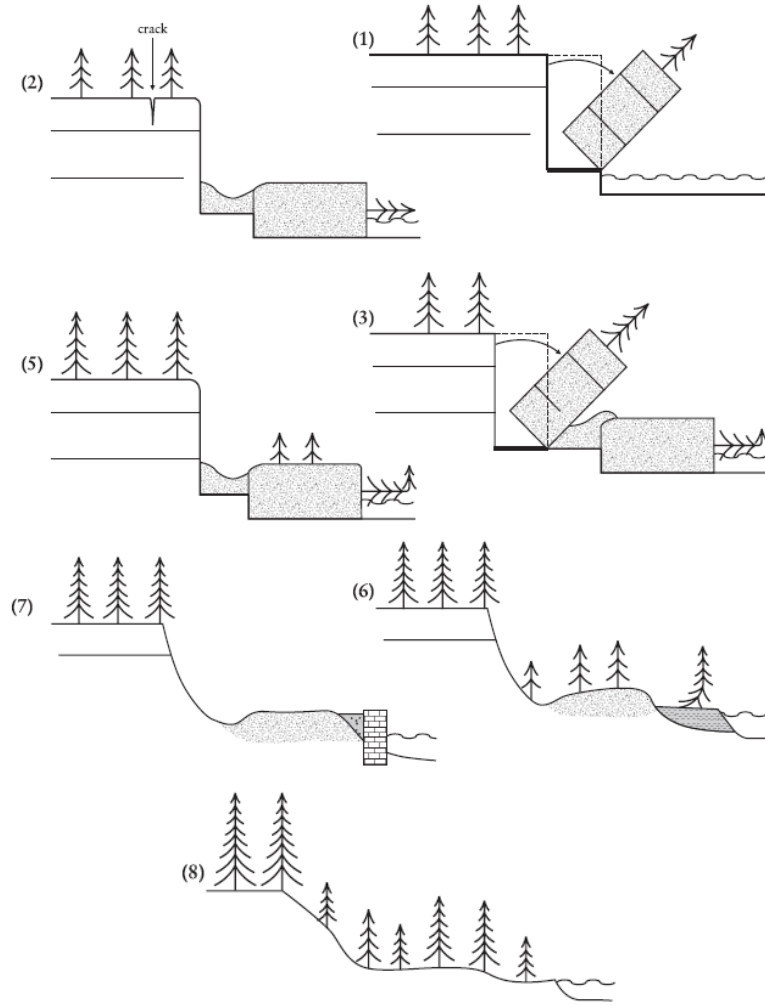
7) Genişleyen heyelan: Kopma yüzeyi heyelanın bir veya her iki kanadına yayılıyor.



Şekil 1.4. Heyelan etkinlik dağılımı tanımlamaları

1.3.4 Heyelanın etkinlik durumu

Heyelanlar etkinlik durumlarına göre Şekil 1.5 de tanımlanmıştır.



Şekil 1.5. Heyelan etkinlik tanımlamaları

- 1) Etkin Heyelan: Halen hareket halinde olan kütleyi tarifler, yamaç topuğundaki oyulma bloğun devrilmesini sağlıyor.
- 2) Duraklamış Heyelan: Kütle son 12 ay içinde hareket etmiş ancak şu anda etkin değil, taş kısmında yerel çatlaklar görülüyor.
- 3) Uyanmış Heyelan: Bir önceki evrede etkin olmayan (4) kütlenin yeniden hareketlenmesi, daha önce hareket eden kütleyi de etkileyerek devrilen bir başka blok.

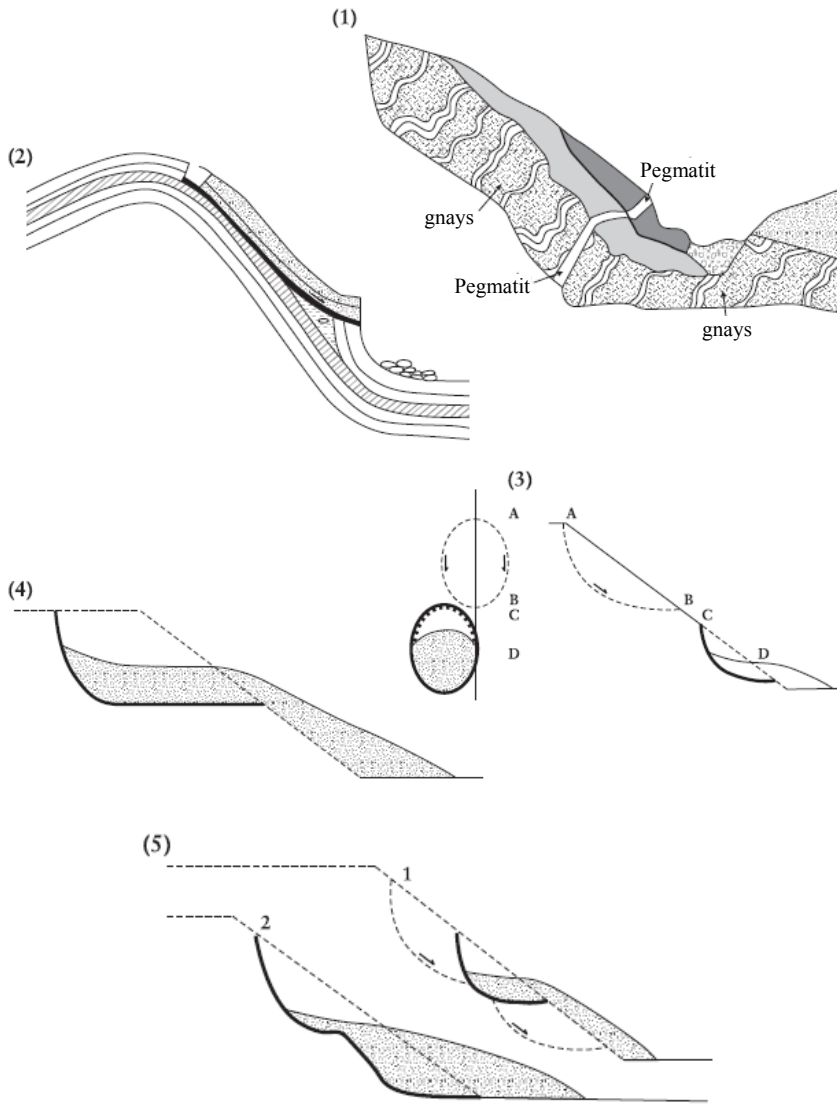
- 4) Aktif Olmayan Heyelan: (5),(8) gruplarında içerilen son 12 ay içinde hareket etmemiş kütle.
- 5) Gizli Heyelan: İlk harekete neden olan etkenlerin yeniden gündeme gelmesiyle (4) hareketlenebilecek, etkin olmayan heyelan. Hareket etmiş kütlede yeniden bitki örtüsü oluşuyor ancak aynalar yıpranma ile yeni Şekil kazanıyor.
- 6) Bitmiş Heyelan: İlk hareketi oluşturan etkenlerin etkisini yitirdiği, etkin olmayan heyelan.(4) Akarsu birikintisi burun bölgesini korumuş, aynada bitki örtüsü oluşuyor.
- 7) Kontrol Altında Heyelan: Yapay önlemlerle harekete neden olan etkenlerden koruma altına alınmiş, etkin olmayan heyelan (4). Yamaç burnu, yapılan duvarla korunmuş.
- 8) Kalıntı Heyelan: Halen hakim iklimsel ve jeomorfolojik koşullardan tamamen farklı koşullarda oluşmuş, etkin olmayan heyelan (4). Arazide üniform ağaç örtüsü oluşmuş.

1.3.5 Heyelan türleri

Heyelanlar türlerine göre Şekil 1.6 da tanımlanmıştır.

- 1) Karmaşık: Heyelan birbirini izleyen en az iki farklı hareket tipi (düşme, devrilme, kayma, yayılma, akma) gösterir.
- 2) Bileşik: Heyelan kütlesinin farklı bölümlerinde aynı zamanda en az iki farklı hareketin sürmesi.

- 3) Ardışık: Heyelan yakınında daha önce oluşmuş kütle hareketi tipiyle aynıdır. Ancak bunların malzeme ve kopma yüzeyleri ortak değildir.
- 4) Tekil: Heyelan, yer değiştiren kütle için tek hareketi sonucudur.
- 5) Çoklu: Heyelan, aynı tip hareketi farklı bölümlerde gösterir.



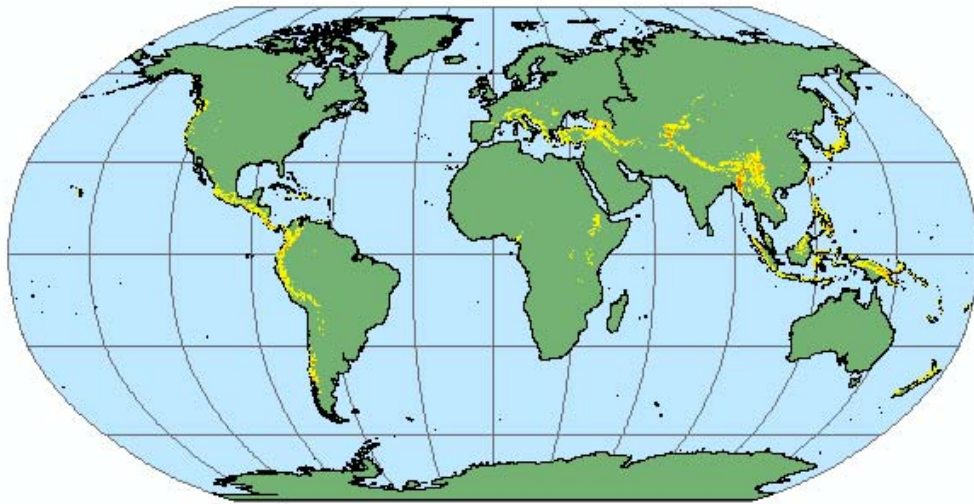
Şekil 1.6. Heyelan türü tanımlamaları

1.4. Heyelanların Etkileri

1.4.1 Heyelanların dünyadaki etkileri

Dünyada her yıl oluşan heyelanlar sonucu binlerce can kaybı meydana gelmekte ve milyarlarca dolar maddi hasar oluşmaktadır. Bu konuda Japonya her yıl ortalama 120 can kaybı ve 4 milyar dolar maddi zararla dünyada ilk sırayı almaktadır [17]. Bu ülkeyi ortalama yıllık 2,7 milyar dolar maddi zarar ile İtalya ve 1,8 milyar dolar maddi zarar ile ABD takip etmektedir. Hindistan, Çin ve İspanya da ise yıllık maddi zarar 1,5 milyar dolar ile 0,2 milyar dolar arasında değişmektedir. Bu ülkelerin dışında yine engebeli arazilerin ve yoğun yağışların etkili olduğu Türkiye, Filipinler, Endonezya ve Şili gibi ülkelerde de heyelan olayları sıkça yaşanmaktadır.

Aşağıda, Columbia Üniversitesi tarafından 2005 yılında hazırlanan haritada dünyada heyelanların aktif olduğu yerler gösterilmiştir (Şekil 1.7) [18]. Bu heyelanların ağırlıklı olarak tektonik plaka sınırlarında olması, söz konusu heyelanların büyük oranda depremler sebebiyle meydana geldiğini göstermektedir.



© 2005 GIS matters

Şekil 1.7. Dünya Heyelan Haritası [18]

Heyelanlarla ilgili bilinen ilk kayıt M.Ö. 1767 de Çin' in Honan bölgesinde depremin tetiklemesi sebebiyle meydana gelen heyelandır. Ancak heyelanlar ile ilgili ilk ciddi kayıtlar XVIII. Yüzyıldan bu yana tutulmuştur [3]. Tarihte bilinen ve büyük can kaybına neden olan heyelanların başında Çin' de 1920 yılında meydana gelen ve 100000 kişinin öldüğü heyelan [19] ve İtalya' nın güneyinde Reggio'de Calabria' da 1786 da meydana gelen ve 50000 kişinin öldüğü heyelandır [3]. Dünyada son 100 yılda meydana gelen önemli heyelanlar Tablo 1.4 de verilmiştir.

Tablo 1.4. Dünyada son 100 yılda meydana gelen önemli heyelanlar

Yıl	Yer	Heyelan tipi	Etki	Kaynaklar
1911	Tacikistan	Kaya Düşmesi	54 ölü	[20]
1919	Endonezya (Java)	Volkanik Çamur Akması	5,110 ölü; 104 köy yıkıldı veya hasar gördü	[21]
1920	Çin	Heyelan	100000 ölü. Çok sayıda köy yok oldu	[22]
1921	Kazakistan	Moloz Akması	500 ölü	[23]
1933	Çin	Heyelan (baraj rezervuarında)	6800 ölü (2500 boğulma)	[24]
1939	Japonya (Hyogo)	Kayma ve Çamur Akması	505 ölü, 130 000 ev yıkıldı	[25]
1949	Tacikistan	Kaya Düşmesi	12 000 - 20000 ölü yada kayıp. 33 köy yok oldu	[26]
1953	Japonya (Wakayama)	Kayma ve Çamur Akması	460 ölü, 4772 ev yıkıldı veya hasar gördü	[27]
1953	Japonya (Kyoto)	Kayma ve Çamur Akması	336 ölü, 5122 ev yıkıldı veya hasar gördü	[27]
1958	Japonya (Shizuoka)	Kayma ve Çamur Akması	1094 ölü 19 754 ev yıkıldı veya hasar gördü	[27]
1962	Peru (Ancash)	Moloz Çığı	4000-5000 ölü. Çok sayıda köy yok oldu	[28]
1963	İtalya (Friuli-venezia-Griulia)	Kaya Düşmesi	2000 ölü. 200 milyon dolarlık hasar	[29]
1964	ABD(Alaska)	Heyelan	280 milyon dolarlık hasar meydana geldi.	[30]
1965	Çin (Yunnan)	Kaya Düşmesi	444 ölü, 4 köy yıkıldı	[31]
1966	Brezilya (Rio de Janeiro)	Kayma ve Çamur Akması	1000 ölü	[32]
1967	Brezilya (Serra das Araras)	Kayma ve Çamur Akması	17000 ölü	[32]
1970	Peru (Ancash)	Moloz Çığı	18 000 ölü	[33]
1974	Peru (Huancavelica)	Kaya kayması ve moloz çığı	450 ölü	[34]
1980	ABD (Washington)	Kaya kayması ve moloz çığı	Dünyanın bilinen en büyük heyelanı (5-10 ölü)	[35]
1983	ABD(Utah)	Moloz kayması	Ölü yok. Yol hasarı	[36]
1983	Çin (Gansu)	Heyelan	237 ölü, 4 köy yokoldu	[37]
1985	Kolombiya (Tolima)	Moloz akması	20000 in üzerinde ölü. 4 yerleşim yeri yıkıldı	[38]
1987	Ekvator (Napo)	Heyelan	1000 ölü. 1 milyar dolarlık hasar meydana geldi.	[39]
1994	Kolombiya (Cauca)	Heyelan	271 ölü, 1700 kayıp. 12000 kişi taşındı	[40]
1998	Honduras, Guatemala,	Heyelan ve moloz akması	10000 ölü	[41]
2006	Filipinler	Heyelan	1126	[42]
2007	Bangladeş	Çamur Akması	128 ölü 1 köy hasar gördü	[43]
2010	Uganda	Heyelan	>100 ölü, 1 köy hasar gördü	[44]

1.4.2 Heyelanların Türkiyedeki etkileri

Ülkemizde meydana gelen afetler göz önüne alındığında heyelanın depremden sonra ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Türkiye Ulusal Afet Arşivi verilerine göre 1929 yılından bugüne kadar 946 adet heyelan meydana gelmiş ve 390 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir [45]. Ancak bu kayıtlar genel hayata etkililik ve can kaybı hususları dikkate alınarak elde edilmiştir. Özellikle sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmaları türündeki heyelanlar ve genel hayata etkililiği bulunmayan heyelanlar dikkate alınmamıştır. Bir afetin genel hayata etkili sayılması için gereken şartlar Tablo 1.5 de verilmiştir.

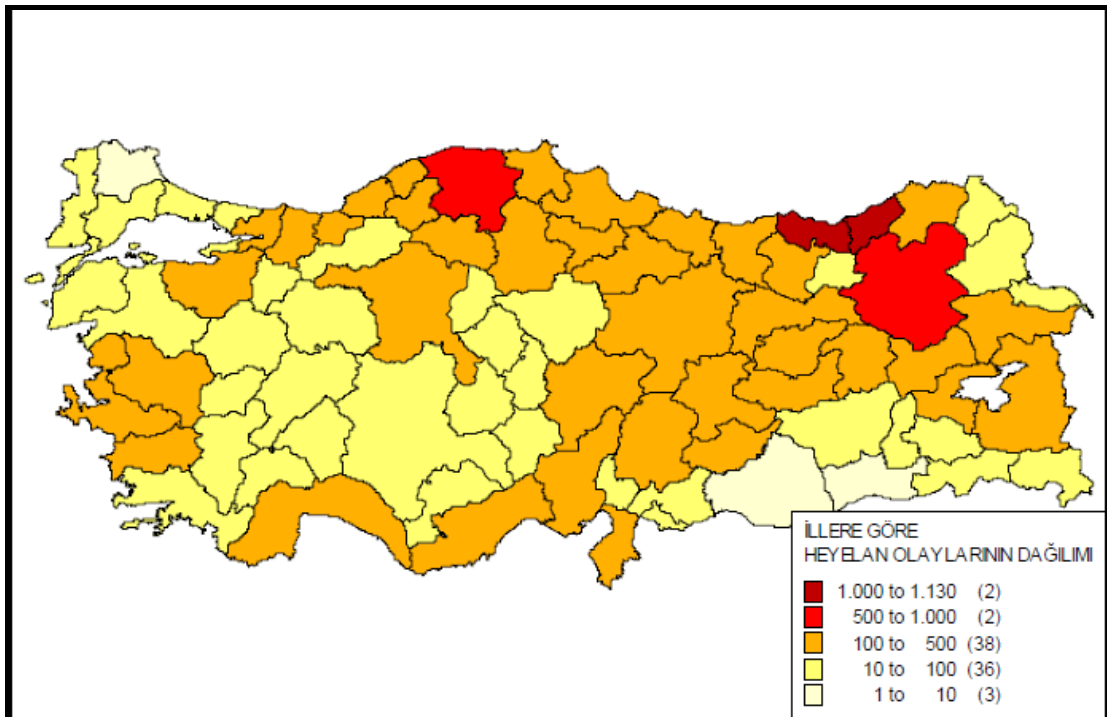
Tablo 1.5. Afetlerin genel hayata etkililiğine ilişkin temel kurallar hakkındaki yönetmelik [46].

Meydana gelen bir afetten;
a) 100 haneye kadar olan köylerde ve bucaklarda mevcut konutlardan en az 1/10 unun.
b) 100 haneden fazla olan köylerde ve bucaklarda en az 10 konutun,
c) Nüfusu 5 bine kadar olan ilçe ve illerde en az 20 binanın,
d) Nüfusu 5-10 bine kadar olan ilçe ve illerde en az 25 binanın,
e) Nüfusu 10-30 bine kadar olan ilçe ve illerde en az 30 binanın,
f) Nüfusu 30-50 bine kadar olan ilçe ve illerde en az 40 binanın,
g) Nüfusu 50 binden fazla olan ilçe ve illerde en az 50 binanın,
Yıkılması veya bir daha oturulamayacak veya kullanamayacak derecede ağır hasar görmesi halinde afet o yerin genel hayatına etkilidir.
Nüfusu 15 binden fazla olan il ve ilçelerin mahalle (Yani muhtarlık) teşkil eden kesimlerinde en az 10 binanın yıkılması veya onarımı mümkün olmayacak derecede ağır hasar görmesi halinde de afet o yerin genel hayatına etkili sayılabilir.

Türkiye yüzölçümünün %80' ini kütle hareketlerini kolaylaştıran eğimli ve sarp araziden oluşan alanlar kaplamaktadır. Ayrıca eğimli arazilerin tarım alanı olarak kullanılması, jeolojik özellikler ve aşırı derecede ormanların tahribi, buna paralel olarak meraların aşırı otlatılması kütle hareketlerini önemli ölçüde tetiklemektedir. Bununla beraber Türkiye, Dünyanın kurak ve yarı kurak bölgesinde bulunmaktadır.

Bu nedenle büyük bir bölümünde yarı kurak iklim koşulları yaşanır. Bu iklim tipinin özelliği çok yağışsız geçen bir dönemi; bol yağışlı geçen bir dönemin izlemesidir. Bu durum kütle hareketlerinin meydana gelmesinde önemli bir nedendir [47].

Yine uzun süreli ve bol yağışın görüldüğü nemli iklime sahip yörelerimiz de kütle hareketlerinin çok sık olarak görüldüğü yerlerdir. Genellikle bu iklim özelliklerine sahip Karadeniz Bölgesinin özellikle Doğu ve Orta Karadeniz bölümünün ayrı bir yeri vardır. Bol yağışlı, dik eğimli, yarılmış topografyası, nemli ve uygun litolojisi; Kuzey Anadolu dağlık alanları üzerinde yer alan bu bölgeye bu konuda hassas özellik kazandırmaktadır. Kıyı şeridi ve vadi tabanlarındaki sınırlı düzlükler dışında bölgenin hemen her kesimi dik ve sarp eğimli alanlardan oluşmaktadır [47]. Şekil 1.8 de Türkiye’ de heyelanların en sık meydana geldiği iller heyelan olayı sayısına göre gösterilmiştir.



Şekil 1.8. İllere göre heyelan olaylarının dağılımı [48]

Ülkemizde meydana gelen başlıca heyelanlar şunlardır [45];

05.07.1929 - Trabzon Of Heyelanı: 146 kişi hayatını kaybetmiştir.

23.06.1988 - Trabzon Maçka Çatak Heyelanı: 61 kişi hayatını kaybetmiştir.

13.07.1995 - Isparta Senirkent Çamur Akması: 74 kişi hayatını kaybetmiştir.

07.08.1998 - Trabzon Köprübaşı Beşköy Heyelanı: 43 kişi hayatını kaybetmiştir.

24.07.2002 - Rize Güneysu Heyelanı: 27 kişi hayatını kaybetmiştir.

17.03. 2005 - Sivas Koyulhisar Kuzulu Heyelanı: 15 kişi hayatını kaybetmiştir.

26.08.2010 - Rize Gündoğdu Beldesi Heyelanı: 13 kişi hayatını kaybetmiştir.

1.4.3 Heyelanların Trabzondaki etkileri

Afet ve Acil Durum Başkanlığının verilerine göre, Trabzon ili Türkiye’ de en çok heyelan meydana gelen il konumundadır [45]. Genel hayata etkililik ve can kaybı hususları dikkate alındığında Trabzon ilinde 52 adet heyelan meydana gelmiştir [45]. Ancak sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmaları türündeki heyelanlar ve genel hayata etkililiği bulunmayan heyelanlar dikkate alındığında meydana gelen heyelan sayısı son 20 yılda 2000 in üzerindedir [49]. Trabzon ilinde meydana gelen önemli heyelanlar aşağıda sıralanmıştır [45, 50].

1927 Trabzon (Sürmene) Heyelanı: 3 kişi hayatını kaybetmiştir.

1929 Trabzon (Sürmene-Of - Bölümlü) Heyelanı: 146 kişi hayatını kaybetmiştir.

1929 Sürmene (Ormanseven) Heyelanı: 3 kişi hayatını kaybetmiştir.

1983 Merkez/ Esentepe Heyelanı: 4 kişi hayatını kaybetmiştir.

1987 Trabzon (Yomra/Kıratlı) Heyelanı: 3 kişi hayatını kaybetmiştir.

1988 Trabzon (Çatak) Heyelanı: 61 kişi hayatını kaybetmiştir.

1998 Trabzon (Beşköy) Heyelanı: 43 kişi hayatını kaybetmiştir.

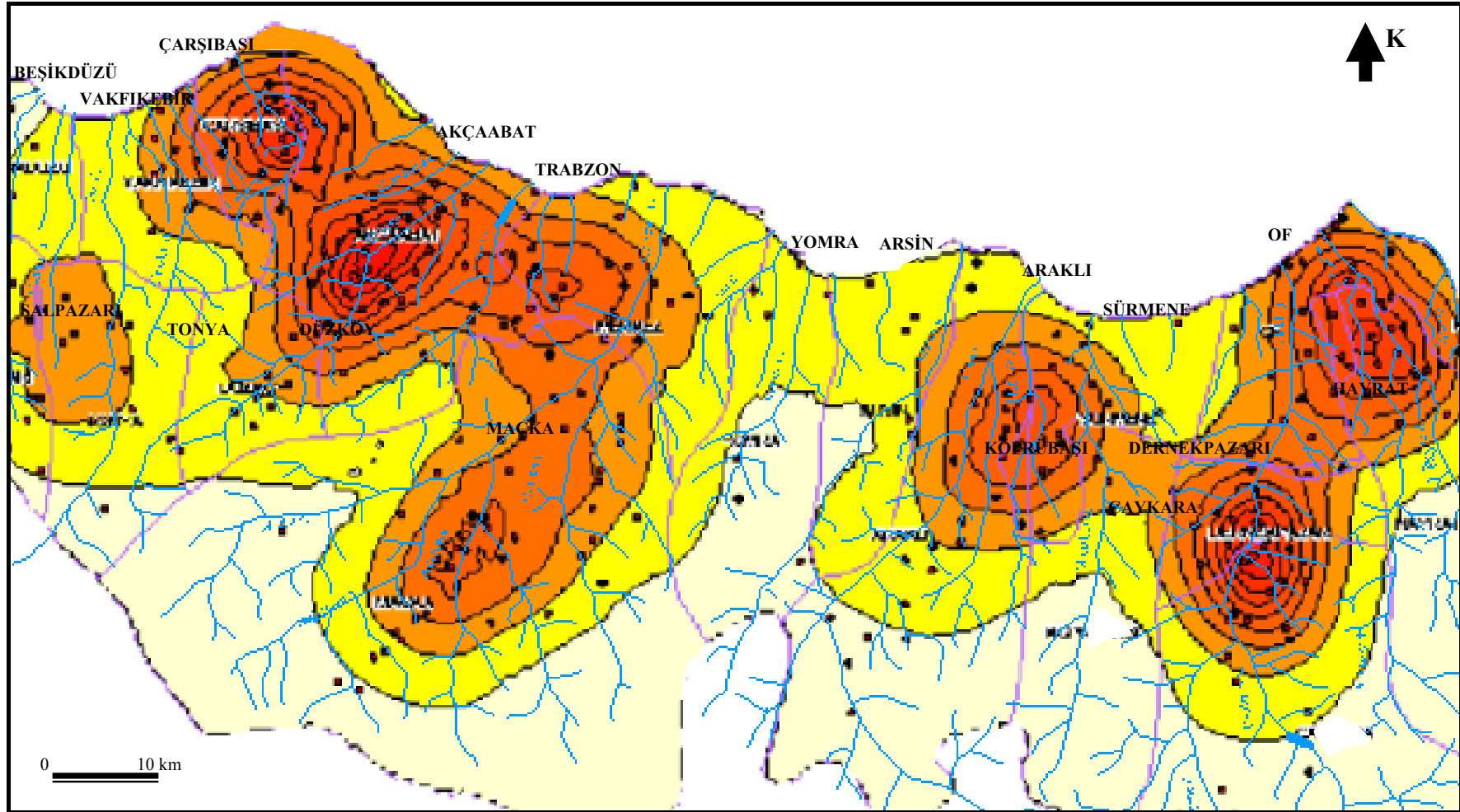
2004 Trabzon (Sürmene) Sel ve Heyelanı: 1 kişi hayatını kaybetmiştir.

2005 Trabzon (Çaykara, Of) Sel ve Heyelanı: 9 kişi hayatını kaybetmiştir.

2005 Trabzon (Hayrat) Sel ve Heyelanı: 1 kişi hayatını kaybetmiştir.

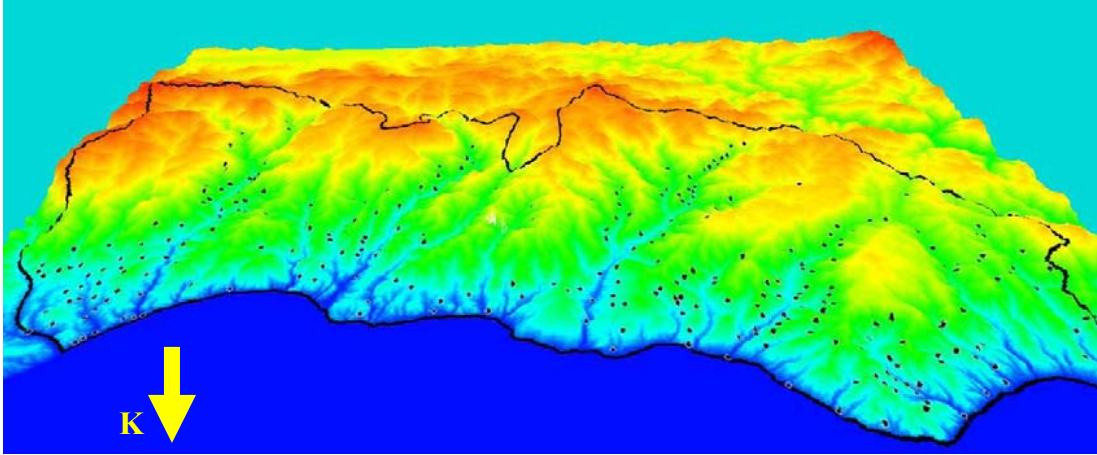
2007 Trabzon (Vakfikebir/Deregözü) Heyelanı: 2 kişi hayatını kaybetmiştir.

Trabzon ili Heyelanları Yoğunluk Haritasında, heyelanların ilin büyük bir kısmında aktif olduğu görölmektedir (Şekil 1.9).



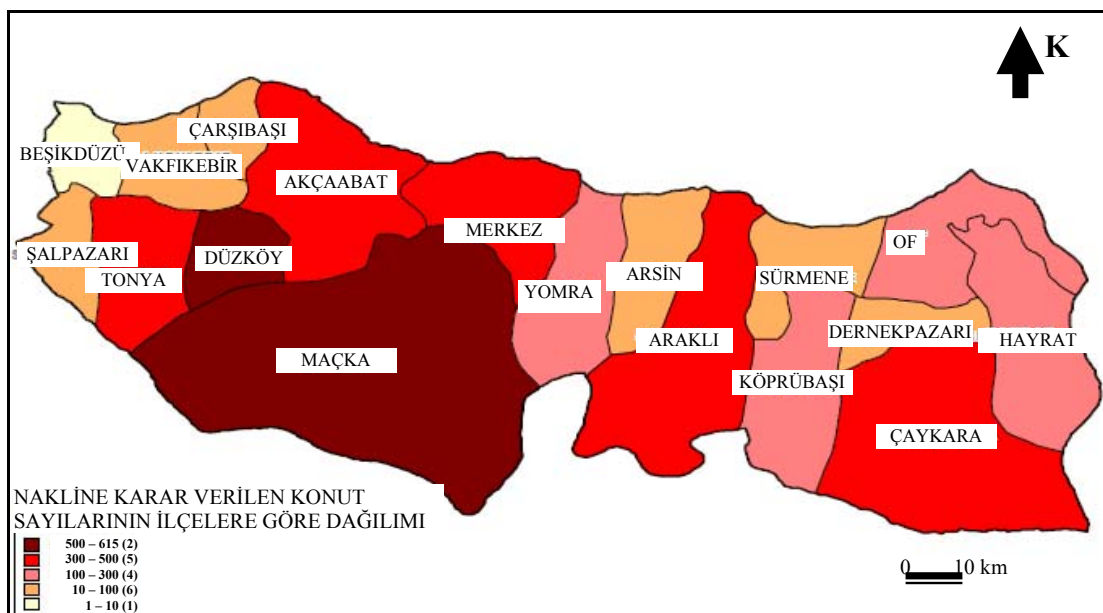
Şekil 1.9 Trabzon ili Heyelanları Yoğunluk Haritası [51].

Trabzon ilindeki heyelanlı yerleşim birimlerinin 3 boyutlu görüntüsünde ise heyelanların vadiler boyunca çoğaldığı dikkat çekmektedir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Trabzon ilindeki heyelanlı yerleşim birimlerinin 3 boyutlu görüntüsü [52]

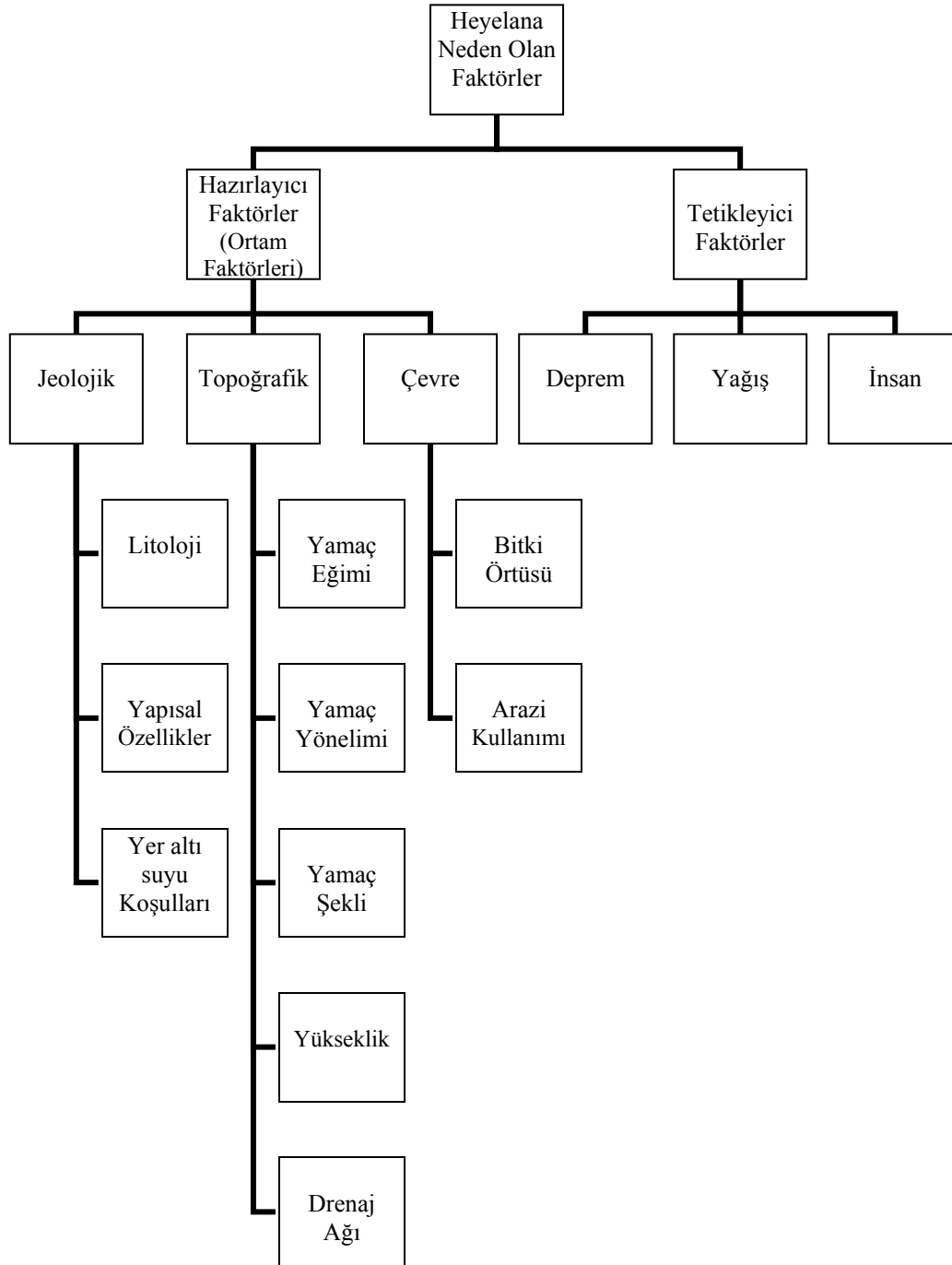
Trabzon ilini oluşturan ilçeler afetlerden etkilenen konut sayılarına göre karşılaştırıldığında, Maçka ve Düzköy ilçeleri en çok zarar gören ilçeler olmuşlardır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. İlçelere göre afetzede dağılım haritası [52]

1.5. Heyelanların Nedenleri

Heyelana neden olan faktörler; hazırlayıcı (ortam) faktörler ve tetikleyici faktörler olarak iki ayrı grup altında sınıflandırılmıştır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Heyelanlara neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler [53]

1.5.1 Trabzon ili heyelanlarının nedenleri

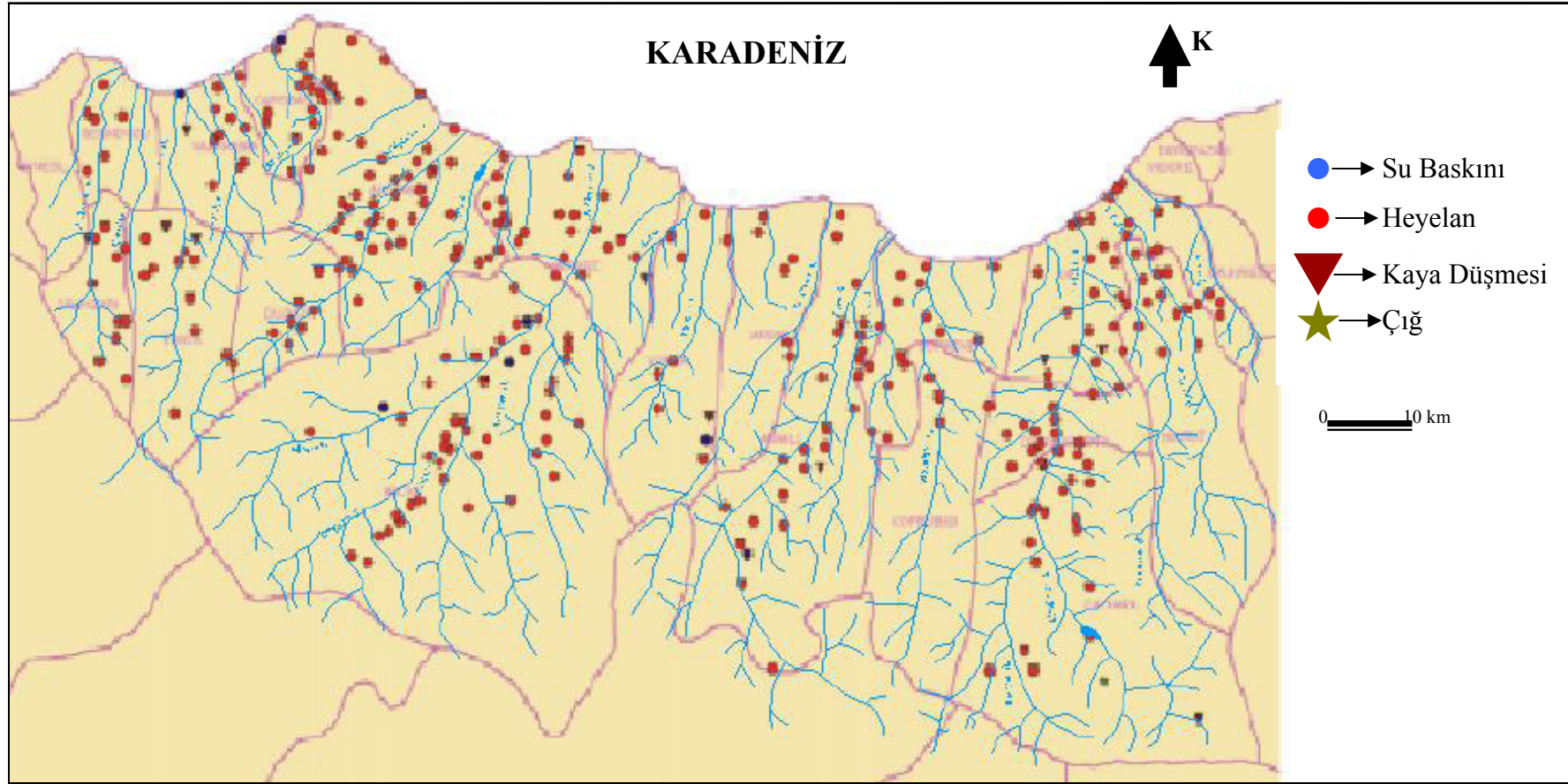
Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların nedenleri gerek Afet ve Acil Durum Müdürlüğü raporları [54] ile gerekse diğer araştırmacılar [50, 55 - 58] tarafından yapılan incelemeler ile tespit edilmiştir. Bu tespitlere göre Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların nedenleri doğal ve yapay nedenler olarak gruplandırılmıştır.

Doğal nedenler;

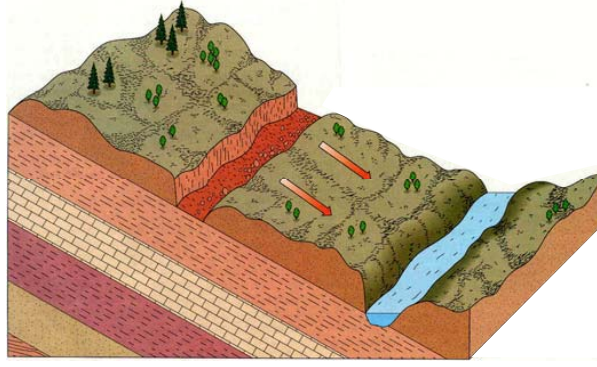
- İklim: Trabzon ili Türkiye' nin en çok yağış alan bölgesinde bulunmaktadır. Bu yağış ortalaması heyelanlara direkt etki etmektedir.
- Jeoloji: Trabzon ili genelinde yerleşim birimlerinde meydana gelen heyelan olaylarının % 78 oranında Üst Kretase ve Orta - Üst Eosen yaşlı volkano-tortul seriler içerisinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu birimler içerisinde meydana gelen heyelanlar genel olarak bu birimlerin ayrışması sonucu oluşan ve kalınlığı değişken olan rezidüel zon içerisinde gelişmiştir. Paleosen yaşlı plütonik kayalar içerisinde meydana gelen heyelanların ise granitlerin ayrışarak granit arenasına dönüştüğü ve değişken kalınlığa sahip birim içerisinde meydana geldiği tespit edilmiştir. İl genelinde meydana gelen heyelanların birkaç yerleşim birimi haricinde genel olarak kayma dairesinin derin olmadığı, sığ, yüzeysel kayma ve akmalar şeklinde olduğu rapor incelemelerinden tespit edilmiştir. Bu tespit, inceleme alanındaki heyelanların genel olarak ayrışmış rezidüel volkanosedimanter malzeme içerisinde geliştiği bilgisini desteklemektedir [52].
- Ayrışma hızı: Bölge kayaları yağış rejimi, nem oranı ve yıllık sıcaklık ortalamaları nedeniyle hızlı gelişen ayrışma yıpranma sürecine tabidir. Ayrışma sonucu oluşan zeminlerde sıklıkla heyelanlar meydana gelmiştir.

- Jeomorfoloji: Yüksek eğimler, derin vadiler ve akarsular, yamaçlarda heyelanlar için hazırlayıcı faktör oluşturmaktadır.

- Drenaj ağı ve dere yatakları: Trabzon ili heyelanları ile drenaj ağı arasında yakın bir ilişki vardır. Meydana gelen heyelanların büyük bir kısmı bu drenaj ağları üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 1.13). Bunun başlıca nedeni dere yataklarının yamaç topuklarını oymasındır. Bu heyelanlar sonucu dere yatağına kayan heyelan kütlesi aynı zamanda dere yatağında barajlanma yapabilmekte ve daha sonra mansaba intikal ederek taşkınlar yaşanmasına da neden olmaktadır (Şekil 1.14).



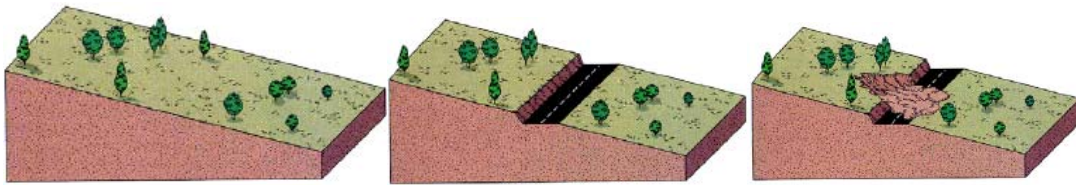
Şekil 1.13. Trabzon heyelan – drenaj ağı haritası [50]



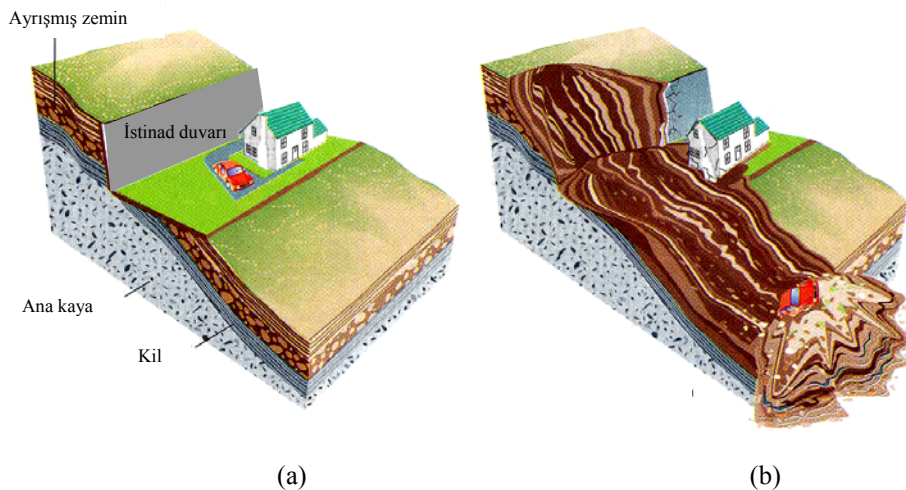
Şekil 1.14. Heyelan – dere yatağı ilişkisi [59]

Yapay nedenler;

- Kontrolsüz kazılar: Bölgede özellikle kontrolsüz olarak yapılan yol kazıları (Şekil 1.15) ile ev ve işyeri yapılması için inşaat alanı kazıları yapılması sonucu pek çok heyelan olayı meydana gelmektedir. Bu kazılar sırasında yapılan istinad duvarlarının uygun boyutlandırılmaması da yine heyelanlar yaşanmasına sebep olmaktadır (şekil 1.16).

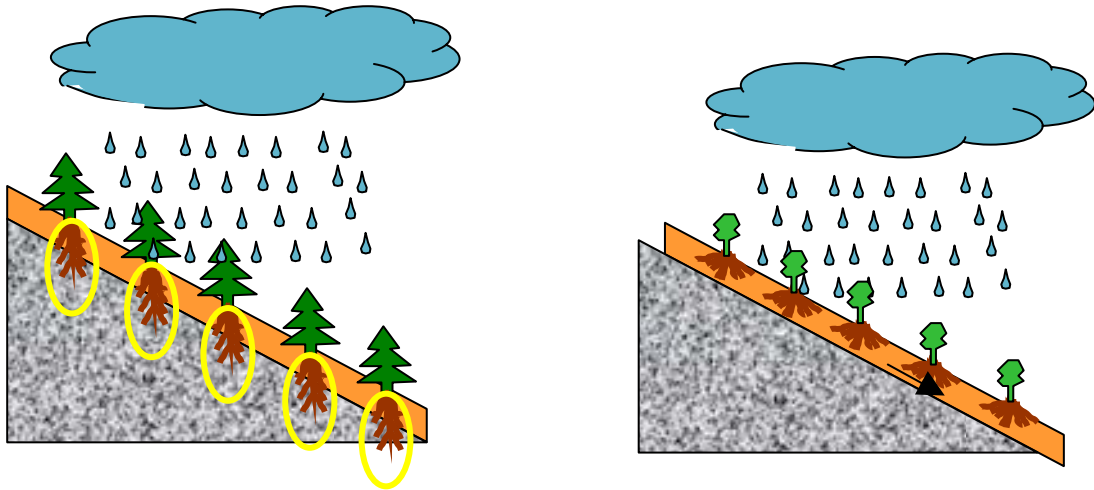


Şekil 1.15. Heyelan – yol ilişkisi [59]



Şekil 1.16. Heyelan – dere yatağı ilişkisi (a) İnşaat Sonrası (b) Aşırı yağış sonrası duraysızlık [59]

- Suların yamaçlara kontrolsüz bırakılması: Yollarda biriken sular ile endüstriyel ve evsel atık sularının yamaçlara kontrolsüz bırakılması sonucu pek çok münferit heyelan yaşanmaktadır.
- Bitki Örtüsü Değişikliği: Trabzon ili heyelanlarının çok büyük bir kısmı tarım alanlarında meydana gelmektedir. Derin köklere sahip ormanlık yamaçlarda kökler, ayrılmış sığ zeminleri daha derinde yer alan kayalara tutturarak kaymaya karşı ek direnç sağlar (Şekil 1.17). Ancak ağaçların kesilmesi ile gerek üstte yer alan ayrılmış zemin tabakasını sağlam kayaya tutturarak esaslı bir kuvvet kalmaması, gerekse çürüyen ağaç köklerinden yağış sularının zemine sızmasının kolaylaşması sonucu heyelanlar meydana gelmektedir.



Şekil 1.17. Heyelan – yağış, ağaç kökü ilişkisi [60]

Kaymaya karşı koyan etkisi dışında ağaçlar, kökleri vasıtasıyla topraktan aldıkları suyu buhar halinde atmosfere geri verirler. Ayrıca ağaçlar büyümeleri esnasında önemli bir miktarda suyu da bünyelerinde tutarlar. Buharlaşma ve su tutma sonucu ağaçlar, yıllık yağışların % 30 larına kadar bir miktarı kullanırlar. Büyük bir meşe ağacı günde 500 lt su kullanmaktadır. Bir hektar orman yazın en az 60 ton su kullanmaktadır [61].

Bölge heyelanları deprensellik açısından da incelenmiştir. 4. derece deprem bölgesinde yer alan Trabzon ilinin yakın çevresinde fay zonu bulunmamaktadır. En yakın fay zonları Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Erzurum Fay Zonlarıdır. Çalışma alanında depremlerle tetiklenmiş heyelanlara ilişkin kayıt bulunmamaktadır [62].

1.6 Heyelanlardan Korunma ve Zararlarının Azaltılması

Heyelan afetinin zararlarından korunma yolları şunlardır;

- Vazgeçmek: Heyelan olma ihtimali yüksek olan yerlerde yapılaşma yapmaktan vazgeçmek. Buna örnek olarak heyelanlardan etkilenen Giresun - Şebinkarahisar karayolu projesinin 7 km lik kesiminde güzergah değişikliğine gidilmiştir [3].
- Taşınmak: Heyelan olan yerleşim yerlerini ve heyelan tehdidi altındaki yerleşim yerlerini taşımak. Ülkemizde bakanlar kurulu kararı ile heyelanlardan etkilenen yerleşim yerleri heyelan tehlikesinin olmadığı uygun yerlere taşınmaktadır [3].
- Kaçınmak: Heyelanlardan kaçınmak [3] ve onunla yaşamayı öğrenmek. Heyelan erken uyarı sistemleri ve heyelan belirtileri vasıtasıyla risk altındaki bölgeyi acilen terketmek özellikle can kaybının önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Heyelan sırasında ve öncesinde yapılması gerekenler çalışmanın sonuç bölümünde açıklanmıştır.
- Önlem Almak: Heyelan olması muhtemel şev ve yamaçlarda kaydırıcı etkiyi azaltmak veya kaydırmaya karşı koyan direnci arttırmak şeklinde önlem alınmaktadır [3]. Günümüzde en çok kullanılan yöntem olan bu mühendislik önlemleri Tablo 1.6 da verilmiştir.

Tablo 1.6. Kütle Hareketlerinin Kontrolü İçin Yöntemler [3]

Yamaç / şev geometrisinin değiştirilmesi
Olası veya mevcut hareket bölgesinden kazı veya patlatmayla malzeme alınması
Malzeme alınan yere hafif gereç yerleştirilmesi
Topuğa dolgu yapılması, gereç yüklenmesi
Yamaç eğiminin tümüyle veya bölümler halinde azaltılması
Suyun kontrolü (drenaj)
Alana gelen yüzey sularının uzaklaştırılması
İçi geçirimli malzeme dolu sığ ve derin hendeklerin yapımı
Ortam içine geçirimli kama / payanda yerleştirilmesi
Küçük çaplı pompajlı ve pompajsız sondaj kuyuları
Yer çekimiye çalışan büyük çaplı drenaj kuyuları
Düşeyden sapmış drenaj delikleri
Drenaj tünel veya galerileri
Vakumla su alma yöntemleri
Sifonla drenaj
Elektro-osmotik yoldan su alma
Ağaç ve bitkilerle yüzey koruma ve su alma
Yapısal önlemler
Geleneksel dayanma duvarları
Sandık duvarlar
Kafes duvarlar
Pasif kazık ve kesonlar
Donatılı zemin sistemleri
Betonarme perde veya iri daneli payandalar
Düşme kontrolü için yamaç yüzünde ağ
Blok düşmeleri / yuvarlanmalarına karşı hendek, çit ve duvarlar
Aşınmayı önlemek için kaplama elemanları
Ağaç ve bitkilerle yüzey koruma ve su alma
Ortamın iyileştirilmesi (içten güçlendirme)
Kaya saptamaları
Mikrokazık sistemleri
Zemin çivilemesi
Ankrajlar (gergili veya gergisiz)
İçitimi (enjeksiyon)
Taş, kireç veya çimento kolonları
Derin karıştırma yöntemleri
Dondurma
Isıtma / yakma
Elektro-osmotik ankraj

1.6.1 Trabzon heyelanlardan korunma ve zararlarının azaltılması

Trabzon ili heyelanlarının incelenmesi için bir araştırma projesi [57] yapılmış olup, bu çalışma sonucunda Trabzon ili heyelanları için önerilen çözümler aşağıda sunulmuştur;

Su etkisini kontrol: Yamaçlarda duraylılık kaybı yüzey sularının zemine girmesi sonucu olduğundan suyun yamaçlardan hızla uzaklaştırılması önerilmiştir. Bunun için yamaç içine infiltrasyonu önlemek amacıyla yamaç başlarına kafa hendekleri yapılması ve eski yol platformlarında suyun statik hale gelmesinin önlenmesi tavsiye edilmiştir.

Taraçalarda ve granodiyoliter üzerindeki ayrışmış zeminlerde yamaç geometrisine göre yatay ve düşey drenler yapmak tavsiye edilmiştir. Ancak rezidüel zeminlerde düşük geçirimsizlik dolayısıyla drenler çalışmayacağından bu tür zeminlerde yamaç eğiminin en fazla 45° olması şartıyla jeotekstil drenlerin kullanımı tavsiye edilmiştir.

Kazı yöntemleri: Yüzeysel (sonsuz) kaymaları önlemek için yamaçlarda kademelendirilme (palye) yapılması uygun görülmüştür.

Yapısal destek: Rezidüel yamaçlarda rijit duvarlar ile destek yapılması, yapının ucuzluğu ve kolaylığı sebebiyle tavsiye edilmiştir. Yamaç içine eğik ağırlık duvarlarının yapımı birçok durumda sistem tümüyle basınca çalışacağı için önerilen yöntem olmaktadır. Tabanın taşıma gücü yeterli olduğundan duvar işlevini yerine getirebilecektir. Bölgede daha önce yapılmış bu tür duvarlar, yeterli şekilde boyutlandırılmadığından, yatay yapıldıklarından ve taraçalarda uygulandıklarından dolayı başarılı olmamıştır. Taraçalarda yapılacak duvarlarda boyutlar çok büyüyeceğinden duvarın sondaj kazıkları üzerine oturtulması önerilmiştir. Taraçalarda ayrıca çivileme- beton püskürtme yöntemi veya mikrokazık uygulaması

önerilmiştir. Ancak gerekli ekipmanların şev başına çıkarılması problem yaratmamalıdır.

Katkı maddeler ile iyileştirme: Yamaç üstünden açılan sondaj deliklerine sönmemiş kireç doldurularak ağzı tıkaçlanırken veya zemin burgu biçimli bıçakla delinirken içeriye kireç enjeksiyonu yapılması tavsiye edilmiştir. Bu yöntemde de sondaj delme ve enjeksiyon makinalarının yamaç başına çıkarılması problem yaratmamalıdır.

Ağaç dikimi: Özellikle sığ heyelanların önlenmesi için ormanlık alanların tarım arazilerine dönüştürülmesinin önüne geçilmesi ve derin köklü ağaçların dikilmesi tavsiye edilmektedir

1.7 Yağışların Heyelan Olasılığı Tahminindeki Yeri

Heyelan olasılığını belirlemek için duraylılık hesabı yapılırken yağışların etkinliği farklı yöntemlerle ele alınmaktadır. Bu yöntemlerden en çok uygulananı, elde edilen sonucun sayısal ve kesin olduğu düşünülen deterministik yöntemlerdir. Bu yöntemde zemine sızan suyun yeraltısuyunda ve zemin birim hacim ağırlığında oluşturduğu etki göz önüne alınarak yağışın heyelanlar üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir [63, 64, 65]. Literatürde pek çok deterministik hesap yöntemi bulunmakta olup bölüm 1.7.1 de araştırmacılarca ortak kabul görmüş ve en sık kullanılan, ayrıca tez çalışmasında da kullanılan limit denge yöntemleri açıklanmıştır. Limit denge yöntemleri, yamaçta kritik doğrusal ya da eğri bir yüzeyde zeminin yenilme kriterinin sağlandığını kabul etmekte ve problemin çözümü için kayan kütlelerin tümü yada bir bölümünde düşey kuvvetlerin dengesi, yatay kuvvetlerin dengesi ve moment dengesinden oluşan üç denge denklemini çözüm için uygulamaktadır.

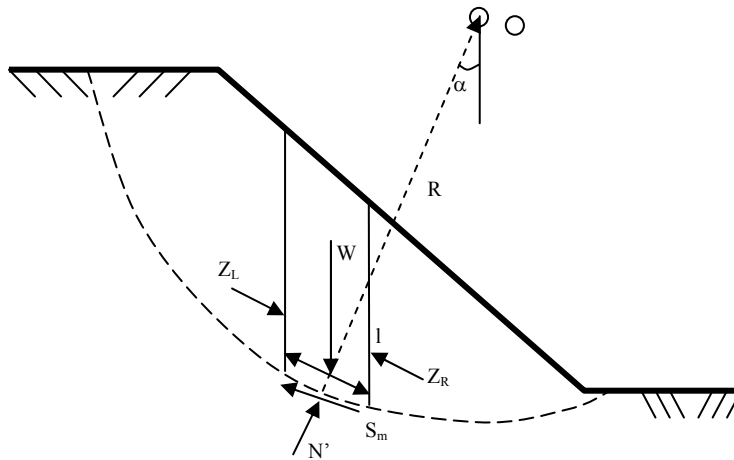
Heyelan olasılık tahmininde kullanılan bir diğerk yöntem ise zemin özelliklerinin jeolojik ve çevre koşullarının çok değişken olduğunu kabul ederek duraylılığı olasılık yada güvenilirlik ifadeleri ile gösteren istatistiksel-gözlemsel ve olasılık teorisine dayalı (probabilistik) yöntemlerdir [3]. Probabilistik yöntemlerden istatistiksel verileri baz alan yöntemde çalışma alanında kütle hareketlerini tetikleyen etkenler istatistiksel olarak belirlenir. Güncel olarak duraylı olmasına karşın duraysızlığı tetikleyen etkenin oluşma durumuna bağlı olarak yenilme tahminleri yapılır. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan risk haritalaması ve heyelan – yağış eşiği tabanlı heyelan risk değerlendirmesi kullanılan başlıca yöntemlerdir. Tez çalışması kapsamında da heyelan – yağış eşiği yöntemi baz alınmıştır. Bu yöntem ile ilgili detaylı bilgi bölüm 1.7.2 de verilmiştir.

Heyelan olasılığının tahmininde kullanılan diğerk yöntemler; model deneyler, piyezometreler veya toprak nem ölçerler ile yağışların heyelanları tetikleme durumu değerlendirilmektedir. Bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgi bölüm 1.7.3 de verilmiştir.

1.7.1 Deterministik tahminler (şev stabilite analizleri)

1.7.1.1 Adi dilim yöntemi (OMS)

Fellenius metodu olarak da bilinen bu yöntem geliştirilmiş ilk dilim çözümüdür [66]. İsveç metodu olarak da bilinir. Bu metotta yanal kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etkiği kabulü yapıldığından tabana, dikey kuvvetler etkimemekte böylece güvenlik sayısı en düşük düzeyde çıkmaktadır [5].



Şekil 1.18. Adi Dilim yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler

Bu özeliği sebebiyle diğer metotların kontrolünde kullanılabilir. Güvenlik sayısı;

$$F = \frac{\Sigma(W \cos \alpha - u_w \cdot l) \tan \phi + \Sigma cl}{\Sigma W \cdot \sin \alpha} \quad (1.1)$$

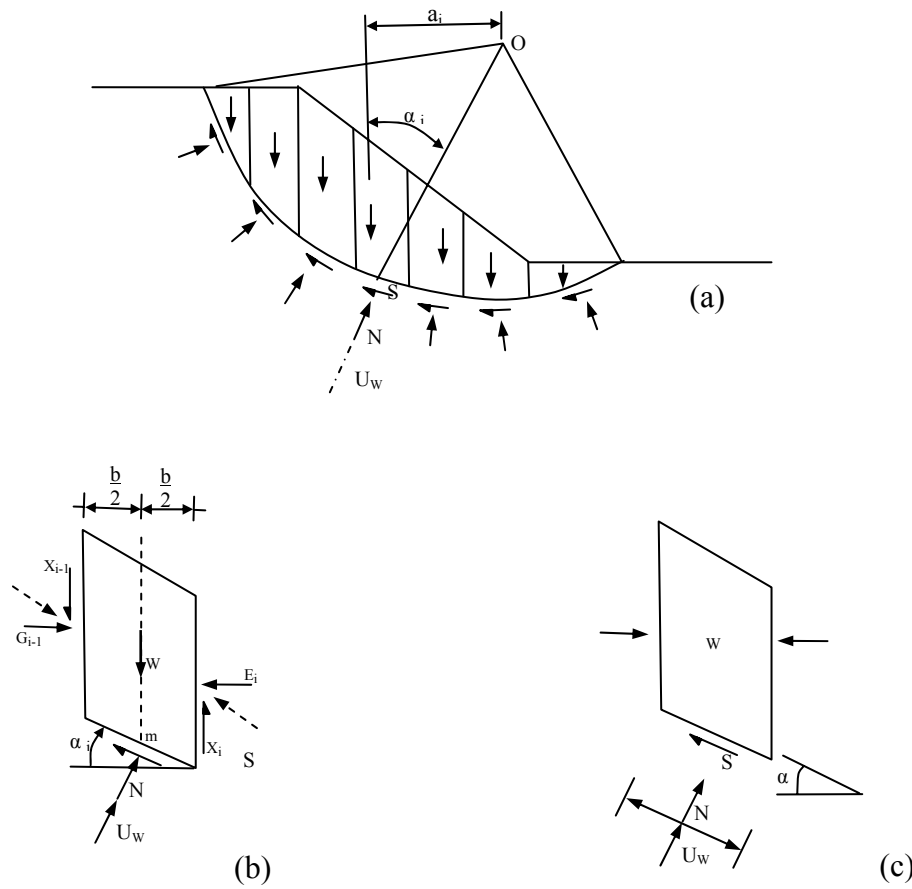
formülü ile hesaplanır. Bu metot, kayma direnci açısının değişiklik gösterdiği ortamlarda daha gerçekçi çözüme imkan sağlar. Artan boşluk suyu basınçları, hesaplarda hata oranını yükselttiğinden kuru yamaçlarda uygulanması tercih edilmektedir [5].

1.7.1.2 Bishop yöntemi

Bishop, 1954' te kayma yüzeyinde hem moment hem de kuvvet denge koşullarını sağlayan bir yöntem geliştirmiştir [67]. Nonveiller daha sonra bu yöntemin genel biçimli kayma yüzeylerine uygulanabilirliğini göstermiştir [68]. Alınan sonuçlar çoğu zaman doğru olmakla birlikte çözümün uzun olması nedeniyle Bishop genel

yöntemi uygulama bulmamış, bunu yerine Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi günümüzde de süren geniş ilgi görmüştür [3].

Bu metotla dilimlere etkiyen yanıl kuvvetlerin yatay olduğu, normal kuvvet ve ağırlığın dilim tabanının ortasına etkiği varsayımı yapılır (Şekil1.19).



Şekil 1.19. Dilim analizinde kuvvetler a) Yamaç kesidi
c) Dilime etkiyen kuvvetler [5]

b) Dilime etkiyen tüm kuvvetler

Böylece güvenlik sayısı;

$$F = \frac{\Sigma[cb + (W - u_w \cdot b) \tan \phi] / m\alpha}{\Sigma W \cdot \sin \alpha} \quad (1.2)$$

olarak ifade edilir.

Bishop metodu kısmen batık yamaçlara uygulandığında güvenlik sayısı;

$$F = \frac{\Sigma[cb + (Wa + Wb - u_w \cdot b) \tan \phi] / m\alpha}{\Sigma(Wa + Wb) \sin \alpha} \quad (1.3)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada; $m\alpha$, geometriden kaynaklanan katsayıdır ve

$$m\alpha = \left(\frac{1 + \tan \phi \tan \beta}{F} \right) \cdot \cos \alpha \quad (1.4)$$

formülüyle ifade edilir. Wa ve Wb ise aynı dilimin su üzerinde kalan ve batık bölümlerinin ağırlığını göstermektedir [5].

1.7.1.3 Basitleştirilmiş Janbu yöntemi

Basitleştirilmiş Janbu yöntemi [69], Basitleştirilmiş Bishop yöntemindeki gibi dilimler arası kesme kuvvetlerini gözardı etmekte ve dilim tabanı normal kuvvetleri F 'e bağlı bulmaktadır. Güvenlik sayısı ise moment dengesi yerine tüm şevde, şeve etkleyen dış kuvvetlerin dengesi yazılarak bulunmaktadır [70].

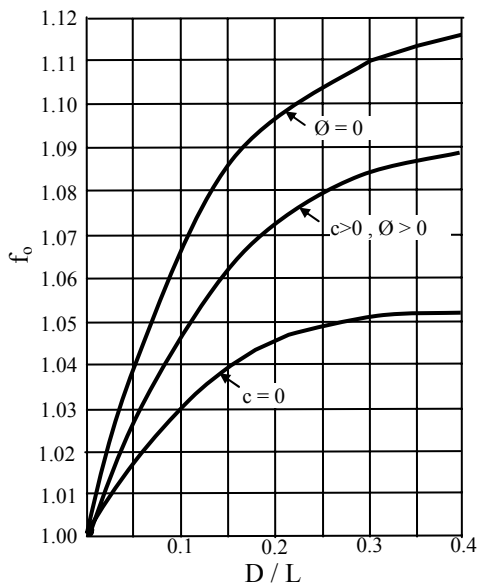
$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma k.dW + \Sigma N.\sin \alpha - \Sigma S_m.\cos \alpha + A_L - A_R + L.\cos w = 0 \quad (1.5)$$

Buradan S_m için tanımlanan değer yazılarak güvenlik sayısı çekilir

$$FS_o = \frac{\Sigma[(N - ub.\sec \alpha) \tan \phi'.\cos \alpha + c'.b]}{\Sigma N.\sin \alpha + \Sigma k.dW + A_L - A_R + L.\cos w} \quad (1.6)$$

elde edilir ve bu değer düzeltilmemiş güvenlik sayısı diye adlandırılır. Burada da FS_o bulunuşunda gerek duyulan N kuvveti FS_o ' a bağlı olduğu için deneme yanılma tekniği ile çözüm elde edilir. Göçme yüzeyinin biçimi (D/L) ile kayma dayanımı parametrelerine bağlı olarak Janbu, elde edilen f_o güvenlik düzeltme sayısı ile düzeltilmesini önermektedir. Sonuçta $FS = f_o.FS_o$ olacaktır. Düzeltme sayıları Şekil 1.20 de gösterilmiştir [70].



(1.7)

Yalnız c zeminde $b_1=0,69$

Yalnız ϕ zeminde $b_1=0,31$

c ve ϕ zeminde $b_1=0,50$

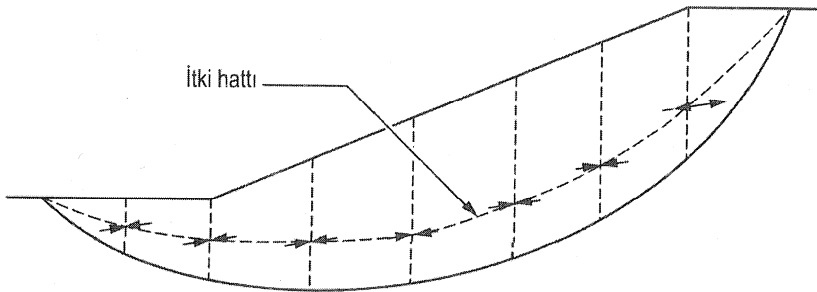
Şekil 1.20. Janbu düzeltme katsayıları [69]

1.7.1.4 Janbu genelleştirilmiş dilim yöntemi

Bu yöntemde dilimler arası kuvvetlerin düşey bileşenlerinin, aşağıda verilen ve sonsuz küçük genişlikteki bir dilime ait olan moment dengesinin diferansiyel denkleminin sayısal yaklaşımına dayalı olduğu varsayılır:

$$X = -E \tan \theta t + ht(dE / dX) \quad (1.8)$$

X ve E terimleri dilimler arası kuvvetlerin düşey ve yatay bileşenlerini temsil ederler. ht niceliği, kayma yüzeyi üzerinde itki hattının yüksekliğini temsil eder. İtki hattı, dilimler arası kuvvetlerin (E veya Z) etkidiği noktalardan geçen hayali çizgidir (Şekil 1.21), [71].



Şekil 1.21. Dilim sınırlarında dilimler arası kuvvetlerin yerlerini tanımlayan itki hattı

Yataydan ölçülen ve itki hattının eğimini temsil eden açı θt terimi ile gösterilmektedir. Janbu' nun genelleştirilmiş dilim yönteminde itki hattının yeri kullanıcı tarafından varsayılır. (1.8) eşitliğindeki türev yöntemde sayısal olarak yaklaşırlır ve (1.8) eşitliği farklar formunda aşağıdaki gibi yazılır:

$$X = -E \tan \theta t + ht \frac{E_{i+1} - E_{i-1}}{X_{i+1} - X_{i-1}} \quad (1.9)$$

Bu son eşitlik moment dengesi değerlendirmelerine dayanır. Ancak, (1.9) eşitliği mevcut haliyle moment dengesini tam olarak sağlamaz; (1.8) eşitliği moment dengesini tam olarak sağlar [71].

Genelleştirilmiş dilim yöntemi için emniyet katsayısı, ardıl kuvvet denge çözümleriyle hesaplanır. Başlangıçta dilimler arası kuvvetlerin yatay olduğu varsayılır ve bilinmeyen emniyet katsayısı ile yatay dilimler arası kuvvetler (E) hesaplanır. Bu başlangıç dilimler arası kuvvetler (E) setini kullanarak, (1.9) eşitliğinden yeni dilimler arası kesme kuvvetleri (X) hesaplanır ve kuvvet denge çözümü tekrarlanır. Her seferinde dilimler arası kuvvetin düşey bileşenini (X) gözden geçirmek ve bilinmeyen emniyet katsayısı ile yatay dilimler arası kuvvetleri hesaplamak suretiyle, çözüm yakınsayana kadar işlem tekrarlanır. Genelleştirilmiş dilim yöntemi çoğu zaman statik dengeyi tam olarak sağlayan yöntemlerinki ile neredeyse özdeş emniyet katsayıları verir. Ancak, her zaman kabul edilebilir derecede küçük hata ile yakınsayan duraylı bir sayısal çözüm vermez. Genelleştirilmiş dilim yöntemi moment dengesini yaklaşık olarak sağlar [(1.8) yerine (1.9) eşitliği]. Yaklaşık çözüm bir kere elde edildikten sonra, herbir dilim için momentleri toplamak ve dilimin tabanındaki normal kuvvetin (N) yerini hesaplamak suretiyle moment dengesini sağlayacak bir çözüm elde edilir ve bu da moment dengesini tam olarak sağlar [71].

1.7.1.5 Morgenstern ve Price yöntemi

Morgenstern ve Price yönteminde dilimler arasındaki kesme kuvvetlerinin normal kuvvetlerle ilişkisinin aşağıdaki gibi olduğu varsayılır [72]:

$$X = \lambda f(x)E \quad (1.10)$$

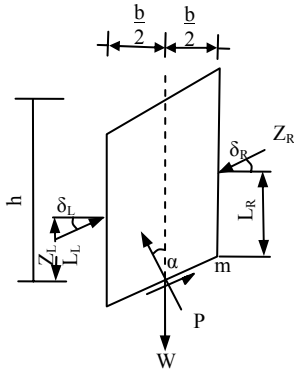
Burada, X ve E dilimler arasındaki düşey ve yatay kuvvetler; λ = bilinmeyenlerin bir parçası olarak çözülen, bilinmeyen bir ölçekleme faktörü ve $f(x)$ = değerleri herbir dilim sınırında önceden tayin edilmiş olan bir varsayım fonksiyonudur. Morgenstern ve Price yönteminde dilim tabanında normal gerilmenin yeri doğrudan veya dolaylı olarak varsayılır. Morgenstern ve Price yönteminin orijinal formülünde gerilmeler, $f(x)$ ' in dilim boyunca doğrusal değiştiği varsayımıyla herbir dilim boyunca entegre edilmişlerdir. Bu yaklaşım, dilim tabanında normal kuvvetin yeri de dahil olmak üzere, normal gerilmelerin dağılımını dolaylı olarak sabitlemiştir. Morgenstern ve Price yönteminin son zamanlardaki uygulamalarında dilimler için özel formüller kullanılmakta ve normal kuvvetin yeri varsayım ile belirlenmektedir. Normal kuvvetin tipik olarak dilim tabanının orta noktasında veya dilim tabanında ağırlık merkezinin tam altında bir noktada etki ettiği varsayılır [71].

Morgenstern ve Price yönteminde bilinmeyen nicelikler emniyet katsayısı (F), ölçekleme parametresi (X), dilimin tabanı üzerindeki normal kuvvetler (N), yatay dilimler arası kuvvet (E) ve dilimler arası kuvvetlerin (itki hattının) yeridir. Dilimler arası kuvvetin düşey bileşeni (X) bilinmektedir [(1.10) eşitliğiyle belirlenir]. Yani, denge denklemleri kullanılarak bilinmeyenler hesaplandıktan sonra dilimler arası kuvvetlerin düşey bileşeni (1.10) bağımsız eşitliğinden hesaplanır [71].

Morgenstern ve Price yöntemi Spencer yöntemine benzer. Bilinmeyenler açısından tek fark, Spencer yönteminin tek dilimler arası kuvvet eğimi içermesi ve Morgenstern ve Price yönteminin ise tek "ölçekleme" parametresi (X) içermesidir. Morgenstern ve Price yönteminde $f(x)$ fonksiyonunun sabit olduğu kabul edilirse, Spencer yöntemininki ile özdeş sonuçlar verir. İki yöntem arasındaki temel fark, Morgenstern ve Price yönteminin dilimler arası kuvvet eğimlerine ait varsayımlarda ilave esneklik sağlamasıdır. Bu ilave esneklik, dilimler arası kuvvetlerin değişimi ile ilgili varsayımlara izin verir. Bununla birlikte, statik denge sağlandığı zaman, varsayımların hesaplanan emniyet katsayısı üzerindeki etkisinin genellikle az olduğu görülmektedir; bu nedenle, Spencer, Morgenstern ve Price ve diğer tam denge dilim yöntemleri arasında pratikte çok az fark bulunmaktadır [71].

1.7.1.6 Spencer yöntemi

Spencer metodunda her tür kayma yüzeyinde moment ve kuvvet dengesi sağlanmakta, ayrıca yamaçta çekme çatlakları da hesaplara dahil edilebilmektedir [73]. Şekil 1.22 'de gösterildiği gibi her dilime, öz ağırlığının W , tabana etkiyen normal ve boşluk suyu basıncı kuvveti P , eğimleri δ_R ve δ_L olan yanal kuvvetler, bileşkeleri Z_L ve Z_R , tabana paralel uyanmış kayma direnci kuvveti (S_m) ve yamaç tepesinde çekme çatlakları varsa burada oluşacak hidrostatik basınç kuvveti (T) etkir [5].



Şekil 1.22. Dilime etkiyen tüm kuvvetler

Tabana etkiyen normal ve boşluk suyu basıncı kuvveti toplamı;

$$P = (\sigma + u_w b \sec \alpha) \quad (1.11)$$

uyanmış kayma direnci kuvveti S_m ise

$$S_m = (\sigma \tan \phi_m + c_m) b \sec \alpha \quad (1.12)$$

formülüyle hesaplanır. Burada ϕ_m ve c_m zeminin uyanmış kayma direnci parametreleridir ve

$$\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F} \quad (1.13)$$

$$cm = \frac{c}{F} \quad (1.14)$$

olarak ifade edilir [5].

Kuvvetler Dengesi

Çözümüne tabana dikey denge denkleminin yazılıp P kuvvetinin ifadesiyle başlanır. Sonra, dilim tabanına paralel kuvvetler denklemi yazılarak P' nin bulunmuş ifadesi buraya yerleştirilir. Şekil-19a'da gösterilen ilk ve son dilimler arasında kalan tüm dilimlere etkiyen sağ yanal kuvvetler

$$Z_R = \frac{c_m \cdot b \sec \alpha - W \sin \alpha + \tan \phi_m (W \cos \alpha - u_w b \sec \alpha) + Z_L \cos(\alpha - \delta_L) [1 + \tan \phi_m \tan(\alpha - \delta_L)]}{\cos(\alpha - \delta_R) [1 + \tan \phi_m \tan(\alpha - \delta_R)]} \quad (1.15)$$

formülüyle hesaplanır.

Birinci dilimde Z_L sıfır olduğundan, birinci ara yüzeye etkiyen Z_I hesaplanabilecektir. Sonuncu dilimde sistemi dengeleyen dış kuvvet Z_N yatay kabul edilerek Z_{N+T} kuvveti bulunur [5].

Moment Dengesi

P , W , Sm kuvvetleri dilim taban merkezine etkidiklerinden moment dengesi yanal kuvvet bileşkeleri için yazılır. Dilimler arası kuvvetin taban merkezinden yüksekliği

$$L_1 = \frac{b}{2} \left(\tan \delta_1 - \tan \alpha_1 + \frac{1}{z \cos \delta_1} - \sum_{i=1}^l [J] \right) \quad (1.16)$$

formülü ile hesaplanır.

Yamacı dengede tutmak için uygulanması gereken dış moment M_N ise,

$$M_N = \gamma_w \frac{Z_w^2}{2} \left[\frac{b}{2} \tan \alpha_N + \frac{Z_w}{3} \right] - \sum_{i=1}^N [J] \quad (1.17)$$

ifadesi ile bulunur. Burada Z_w çekme çatlağı derinliğidir. Her iki formüle de görünen J , sistemin geometrisinin etkisini yansıtmaktadır.

$$J = \frac{1}{2} Z_{i-1} [\sin \delta_{i-1} (b + b_{i-1}) - \delta_{i-1} (b_i \tan \alpha_i + b_{i-1} \tan \alpha_{i-1})] \quad (1.18)$$

Çözümde dengenin sağlanması için gerekli olan $Z_N = M_N = 0$ şartının gerçekleşebilmesi için iki değişken gerekmektedir. Bu değişkenlerden biri güvenlik sayısı F_1 diğeri ise dilimler arası kuvvetler katsayısı ile birlikte δ eğimlerinin belirlenmesini sağlayan, dilimler arası kuvvetlerin ortalama eğimini gösteren θ 'dır [5].

$$\tan \delta_1 = k_1 \cdot \tan \theta \quad (1.19)$$

Her ara yüzey için bir k değeri seçilebilir. Örneğin, $k=1$ durumunda dilimler arası kuvvetler paralel olacak ve yatayla δ açısı yapacaklardır. Dilimler arası kuvvetler katsayısı k değişik değerler aldığı sürece Z kuvvetleri θ eğiminden farklı açılarda etkileyecektir. [5].

1.7.1.7 Sarma yöntemi

Sismik katsayıyı (k) bilinmeyen ve emniyet katsayısını da bilinen olarak göz önüne almasından dolayı, Sarma yöntemi diğer yöntemlerden farklıdır [74]. Bir emniyet

katsayısı değeri varsayılır ve bu emniyet katsayısını vermesi gereken sismik katsayı bilinmeyen olarak çözümlür. Emniyet katsayısı genellikle 1 kabul edilir ve buna göre hesaplanan sismik katsayı kaymaya neden olmak için gerekli sismik katsayısı temsil eder. Sarma yönteminde dilimler arasındaki kesme kuvveti ile kesme dayanımı arasında,

$$X = \lambda f(x) S_v \quad (1.20)$$

şeklinde bir ilişki vardır. Burada, S_v = dilim sınırında mevcut kesme kuvveti, X ; bilinmeyen bir ölçekleme parametresi ve $f(x)$; herbir düşey dilim sınırına önceden tayin edilen değerlerle birlikte varsayılan bir fonksiyondur. Kesme kuvveti (S_v) dilim sınırı boyunca zeminin kesme dayanımı parametrelerine (c c' ve θ , θ') ve sürtünmeli malzemelerde (θ , $\theta' > 0$) dilimler arası normal (yatay) kuvvete (E) bağlıdır. Efektif gerilme analizlerinde kesme kuvveti ayrıca dilim sınırındaki boşluk suyu basıncına bağlıdır [71].

Sarma yöntemi sismik duraylılık değerlendirmeleri için geliştirilmiş olup, bu amaç için geliştirilmiş diğer yöntemlere göre bazı avantajlar sunar. Sarma yönteminde sismik katsayı ve diğer bilinmeyenler doğrudan hesaplanabilir; bilinmeyenleri hesaplamak için tekrarlamalı veya deneme-yanılamalı bir işleme gerek yoktur. Sarma yöntemi emniyet katsayısı için tekrarlı bir şekilde değişik değerler varsayarak emniyet katsayısını ve sismik katsayısı hesaplamada da kullanılabilir. Sismik katsayı için varsayılan değer, istenen emniyet katsayısındaki değer ile eşleşene kadar süreç tekrarlanır. Sismik yüklerin söz konusu olmadığı şevler için hedef sismik katsayı sıfırdır. Bununla birlikte, bir emniyet katsayısı hesaplamak için Sarma yönteminde deneme-yanılma uygulamasına gerek vardır ve bu durumda diğer tam denge yöntemlerine göre bir üstünlüğü söz konusu değildir [71].

Sarma yönteminde $f(x)$ fonksiyonu ve X ölçekleme parametresi Morgenstern ve Price (1965) ve Chen ve Morgenstern (1983) yöntemlerinde bunlara karşılık gelen niceliklere benzer fakat özdeş değildirler. Bu yöntemlerdeki $f(x)$ varsayımına bağlı olarak, dilimler arası kuvvetler için farklı eğimler bulunur. Varsayılan $f(x)$ paterni

aralığına bağlı olarak, üç yönteme (Morgenstern ve Price, Chen ve Morgenstern ve Sarma) ait çözümler arasında muhtemelen bir kesişme söz konusudur. $f(x)$ ve X değerlerindeki küçük farklılıklar hariç, gerek verilen bir emniyet katsayısı için gerekli sismik katsayısı ve gerekse verilen bir sismik katsayıya karşılık gelen emniyet katsayısını hesaplamada bu üç yöntem benzer sonuçlar vermelidir. Daha önceden belirlenen bir emniyet katsayısı için sismik katsayısı hesaplamada Sarma yöntemi daha kolaydır. Diğer taraftan, Morgenstern ve Price yöntemi dilimler arası kuvvetler için çok daha kolay ve kullanışlı bir varsayım içerir [71].

Sarma yöntemi düşey dilim sınırları boyunca kesme dayanımının (S_v) belirlenmesini gerektirir. Birkaç değişik malzeme içeren ve boşluk suyu basınç dağılımının karmaşık olduğu şevlerde Sarma yöntemi nispeten karmaşıklaşır. Sürtünmeli malzemelerde ($\emptyset, \emptyset' > 0$) toplam normal kuvvetin (E) dilim sınırı boyunca hangi malzemeye ne kadarlık oranda dağıtılması gerektiği konusunda ilave varsayımlar gerekir. Kesme dayanımının efektif gerilmeler ile temsil edildiği durumda, dilim sınırı boyunca boşluk suyu basınç dağılımları da göz önüne alınmalıdır. Bu durum, çoğu pratik problem için yöntemi son derece karmaşıklaştırır ve bilgisayar programında kullanılmasını güçleştirir. Sarma yönteminin başlıca yararı, nispeten basit geometriye sahip şevler için elle yapılan hesaplamalar gibi görünmektedir [71].

1.7.1.8 Genelleştirilmiş dilim çözümü (GLE)

Fredlund ve Krahn, 1977 yılında dilim yöntemlerinin birleştiren bir yol önermişlerdir [75]. Bu çözüm dairesel ve genel yüzeyler için geçerli olup sonuçta kuvvet dengesi ve moment dengesi için ayrı ayrı güvenlik sayıları ifadeleri çıkarılmaktadır. Kesin çözüme de dilimler arası kuvvetler için bir kabul yapılarak ulaşılmaktadır [3].

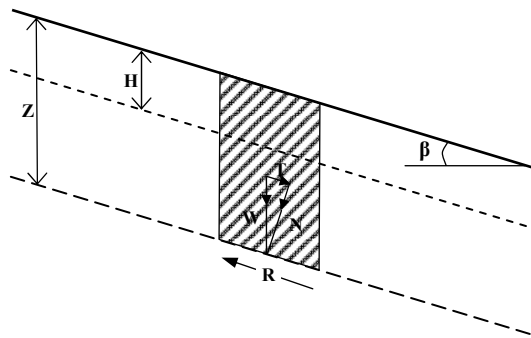
1.7.1.9 Chen ve Morgenstern yöntemi

Chen ve Morgenstern yöntemi, bir kayma yüzeyinin uçlarındaki gerilmeleri daha iyi ele alacak biçimde, Morgenstern ve Price yönteminin biraz değiştirilmiş bir şeklidir [77]. Chen ve Morgenstern, kayma yüzeyinin uçlarında dilimler arası kuvvetlerin şeve paralel olması gerektiğini öne sürmektedirler. Bu görüşe göre, dilimin kenarındaki kesme kuvveti (X) ve yatay (E) kuvvet arasındaki ilişki,

$$X = [\lambda \cdot f(x) + f_0(x)]E \quad (1.25)$$

şeklindedir. Burada, $f(x)$ ve $f_0(x)$ dilimler arası kuvvet eğimleri dağılımını tanımlayan iki ayrı fonksiyondur. Kayma yüzeyinin iki ucunda $f(x)$ olup, $f_0(x)$ de kayma yüzeyinin uçlarında şev eğiminin tanjantına eşittir. Kayma yüzeyinin iki ucunda gerek $f(x)$ ve gerekse $f_0(x)$ 'in değişimi mühendis tarafından varsayılır. Chen ve Morgenstern yöntemi kabul edilebilir dilimler arası kuvvet eğimleri aralığını kısıtlar ve buna göre de olası çözümler aralığını daraltır [71].

1.7.1.10 Sonsuz yamaç yöntemi



Şekil 1.24. Sonsuz yamaç profili

Sonsuz yamaç şev analizine göre kohezyonlu zeminde sızıntı kuvvetleri zeminin durumu ve geçirimsizlik katsayısına bağlı olarak yamaç eğimine paralel veya farklı eğimde oluşur [5].

Akımın Yamaç Düzeyine Paralel Olması Durumu;

Bu durumda boşluk suyu basıncı katsayısı olarak ifade edilir.

$$r_u = \frac{X}{T} \frac{\gamma_w}{\gamma} \cos^2 \beta \quad (1.26)$$

Akımın Farklı Eğimde Olması Durumu ;

Yeraltı suyu yamaç yüzeyinde belirecek biçimde ise (pınar), boşluk suyu basıncı katsayısı;

$$r_u = \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{1}{1 + \tan \beta \cdot \tan \phi} \quad (1.27)$$

formülü ile hesaplanır.

Yamaçta efektif gerilme analizi yapılacaksa abakların (Şekil 1.25) kullanılmasıyla güvenlik sayısı;

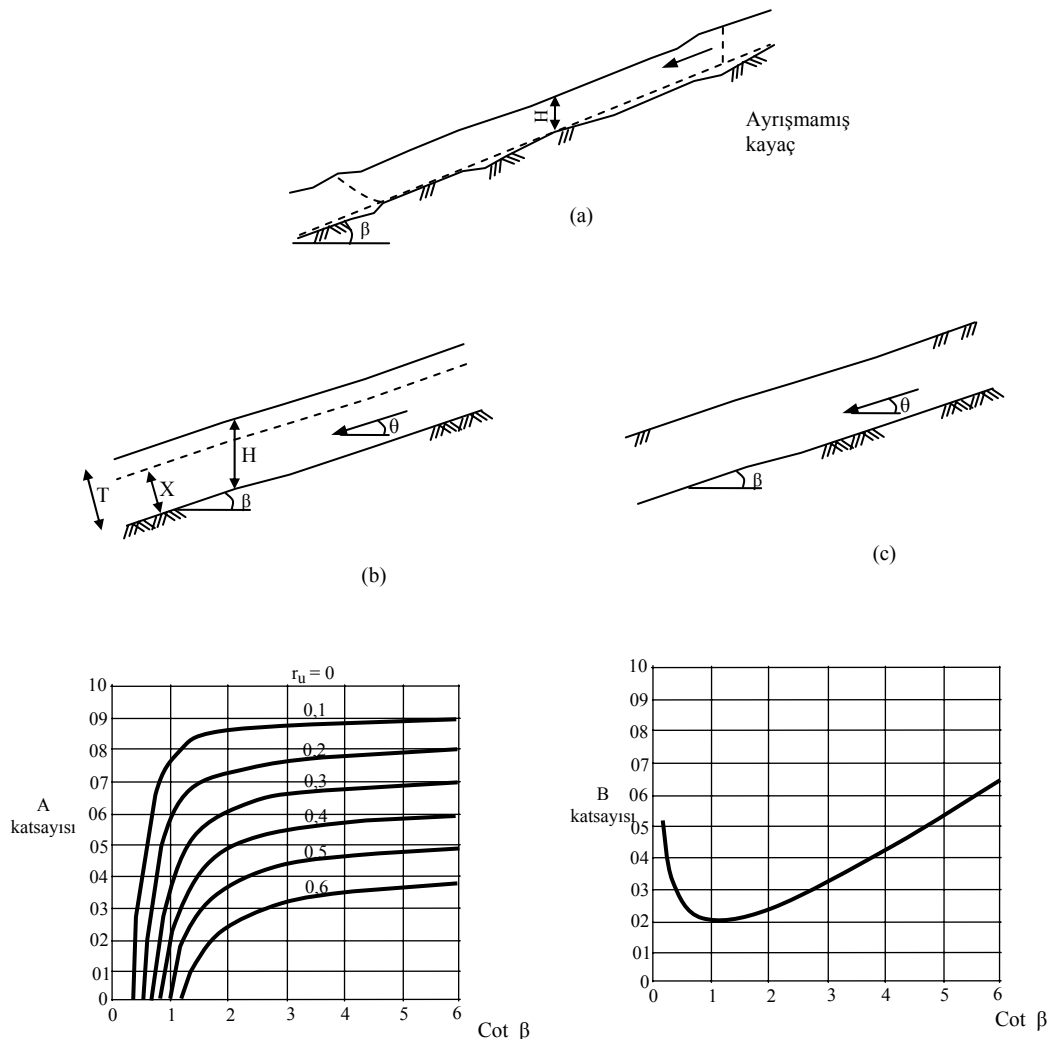
$$F = A \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \cdot \frac{c}{\gamma H} \quad (1.28)$$

olarak hesaplanır.

Toplam gerilme analizinde boşluk suyu basınçları alınmayacağından formüle sadece B katsayısı girer. Böylece güvenlik sayısı;

$$F = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \frac{c}{\gamma H} \quad (1.29)$$

olarak hesaplanır [5].



Şekil 1.25. Sonsuz yamaç duraylılık hesabı abakları [5]

Yukarıda açıklanan limit denge şev duraylılık analiz yöntemlerinin kullanım durumları Tablo 1.7 de, yöntemlerdeki varsayımlar, denge koşulları ve bilinmeyenler ise Tablo 1.8 de özet halinde verilmiştir.

Tablo 1.7. Limit denge şev duraylılık analiz yöntemlerinin özeti ve yararlılık durumları [71]

Yöntem	Kullanımı
Sonsuz Şev	Homojen, kohezyonsuz şevler ile, stratigrafinin kayma yüzeyini sığ derinlik ve şev yüzüne paralel olarak kısıtladığı şevler. Uygulanabildiği yerde doğru sonuçlar tasarımı için yazılımlarda kullanılmaktadır.
İsveç Dairesi; (\emptyset) = 0 yöntemi	$\emptyset = 0$ olan şevlere (yani, doymuş killerdeki şevlerin drenajsız analizlerine) uygulanabilir. Kayma yüzeyinin bir daire ile temsil edilebileceği zayıf malzemelerin nispeten kaim zonları.
Basit Dilim Yöntemi	Homojen olmayan şevlere ve kayma yüzeyinin bir daire ile temsil edilebileceği c- \emptyset zeminlerine uygulanabilir. Elle hesaplamalar için çok uygun. Boşluk suyu basınçlarının yüksek olduğu efektif gerilme analizlerinde yanlış sonuçlar verir.
Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	Homojen olmayan şevlere ve kayma yüzeyinin bir daire ile temsil edilebileceği c- \emptyset zeminlerine uygulanabilir. Özellikle boşluk suyu basınçlarının yüksek olduğu analizlerde Basit Dilim Yönteminden daha doğru sonuçlar verir. Hesaplamalar elle veya bir hesap tablosu programında yapılabilir.
Spencer Yöntemi	Tüm şev geometrisi ve zemin profillerine uygulanabilir doğru bir yöntem. Emniyet katsayısının hesaplanması için en basit tam denge yöntemi.
Morgenstern ve Price Yöntemi	Tüm şev geometrisi ve zemin profillerine uygulanabilir doğru bir yöntem. Kapsamlı, iyi geliştirilmiş bir tam denge yöntemi.
Chen ve Morgenstern Yöntemi	Aslında Morgenstern ve Price yönteminin güncelleştirilmiş şekli. Herhangi şekilli kayma yüzeyi ve şev geometrisine, yüklere vb/ne uygulanabilir kapsamlı ve doğru bir yöntem.
Sarma Yöntemi	Tüm şev geometrisi ve zemin profillerine uygulanabilir doğru bir yöntem. Belirli bir emniyet katsayısı elde etmek için gerekli sismik katsayıyı hesaplamada uygun bir tam denge yöntemi. Basit şevler hariç, kenar kuvveti varsayımlarının uygulanması zordur.

Tablo 1.8. Limit denge yöntemlerindeki varsayımlar, denge koşulları ve bilinmeyenler [71]

Yöntem	Varsayımlar	Sağlanan denge denklemleri		Çözülmesi gerekli bilinmeyenler	
Sonsuz Şev	Sonsuz uzanımlı bir şev; kayma yüzeyi şev yüzüne paralel	Şeve dik kuvvetler toplamı Şeve paralel kuvvetler toplamı	1 1	Emniyet katsayısı (F) Kesme yüzeyinde normal kuvvet (N)	1 1
		Toplam denklem sayısı (moment dengesi dolaylı olarak sağlanır)	2	Toplam bilinmeyen	2
İsveç Dairesi ($\emptyset = 0$)	Kayma yüzeyi dairesel; sürtünme açısı = 0	Dairenin merkezine göre momentler toplamı	1	Emniyet katsayısı (F)	1
		Toplam denklem (kuvvet dengesi dolaylı olarak sağlanır)	1	Toplam bilinmeyen	1
Basit Dilim Yöntemi (Fellenius Yöntemi ve İsveç Dilim Yöntemi olarak da bilinir)	Kayma yüzeyi dairesel; dilim kenarındaki kuvvetler ihmal edilir.	Dairenin merkezine göre momentler toplamı	1	Emniyet katsayısı (F)	1
		Toplam denklem sayısı	1	Toplam bilinmeyen	1

Tablo 1.8. Devamı

Yöntem	Varsayımlar	Sağlanan denge denklemleri		Çözülmesi gerekli bilinmeyenler	
Basitleştirilmiş Bishop	Kayma yüzeyi dairesel; dilim kenarındaki kuvvetler yatay (yani, dilimler arasında kesme kuvveti yok).	Dairenin merkezine göre momentler toplamı düşey yöndeki kuvvetler toplamı	1 n	Emniyet katsayısı (F) Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet (N)	1 n
		Toplam denklem sayısı	n+1	Toplam bilinmeyen	n+1
Kuvvet dengesi (Basitleştirilmiş Janbu yöntemi)	Dilimler arası kuvvetlerin eğimleri varsayılr; varsayımlar yöntemine göre değişir.	yatay kuvvetler toplamı düşey kuvvetler toplamı	n n	Emniyet katsayısı (N) Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet (N) Bileşke dilimler arası kuvvetler (Z)	1 n n-1
		Toplam denklem sayısı	2n	Toplam bilinmeyen	2n
Spencer	Dilimler-arası kuvvetler paralel (yani, hepsinin eğimi aynı). Normal kuvvet (N) tipik olarak dilim tabanı merkezine etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler yatay kuvvetler toplamı düşey kuvvetler toplamı	n n n	Emniyet katsayısı (F) Dilimler arası kuvvet Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet (N) Bileşke dilimler arası kuvvetler (Z) Kenar kuvvetlerinin (itki hattının) yeri	1 1 n n-1 n-1
		Toplam denklem sayısı	3n	Toplam bilinmeyen	3n
Morgenstern ve Price	Dilimler arası kesme kuvveti ile dilimler arası normal kuvvet arasındaki ilişki $X = \frac{1}{\sqrt{x}}F$ dir; normal kuvvet (N) tipik olarak dilim tabanı ortasına etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler yatay kuvvetler toplamı düşey kuvvetler toplamı	n n n	Emniyet katsayısı (F) 1 Dilimler arası kuvvet eğimi "ölçekleme" faktörü (X) Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet (N) Dilimler arası yatay kuvvetler Dilimler arası kuvvetlerin yeri (itki hattı)	1 1 n n-1 n-1
		Toplam denklem sayısı	3n	Toplam bilinmeyen	3n
Chen ve Morgenstern	Dilimler arası kesme kuvveti ile dilimler arası normal kuvvet arasındaki ilişki $X = \frac{X/\sqrt{x} + 0/\sqrt{x}}{F}$ dir; normal kuvvet (N) tipik olarak dilim tabanı ortasına etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler yatay kuvvetler toplamı düşey kuvvetler toplamı	n n n n	Emniyet katsayısı (F) Dilimler arası kuvvet eğimi "ölçekleme" faktörü (X) Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet (N) Dilimler arası yatay kuvvetler Dilimler arası kuvvetlerin yeri (itki hattı)	1 1 n n-1 n-1
		Toplam denklem sayısı	3n	Toplam bilinmeyen	3n
Sarma	Dilimler arası kesme kuvveti ile dilimler arası kesme dayanımı (Sv) arasındaki ilişki $X = \frac{X/\sqrt{x} + Sv/\sqrt{x}}{F}$ dir; dilimler arası kesme dayanımı kesme dayanımı parametrelerine, boşluk suyu basınçlarına ve dilimler arası kuvvetin yatay bileşenine bağlıdır; normal kuvvet (N) tipik olarak dilim tabanı ortasına etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler yatay kuvvetler toplamı düşey kuvvetler toplamı	n n n	Emniyet katsayısı (F) Dilimler arası kuvvet eğimi "ölçekleme" faktörü (X) Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet (N) Dilimler arası yatay kuvvetler Dilimler arası kuvvetlerin yeri (itki hattı)	1 1 n n-1 n-1
		Toplam denklem sayısı	3n	Toplam bilinmeyen	3n

1.7.2 Heyelan Yağış Eşiği

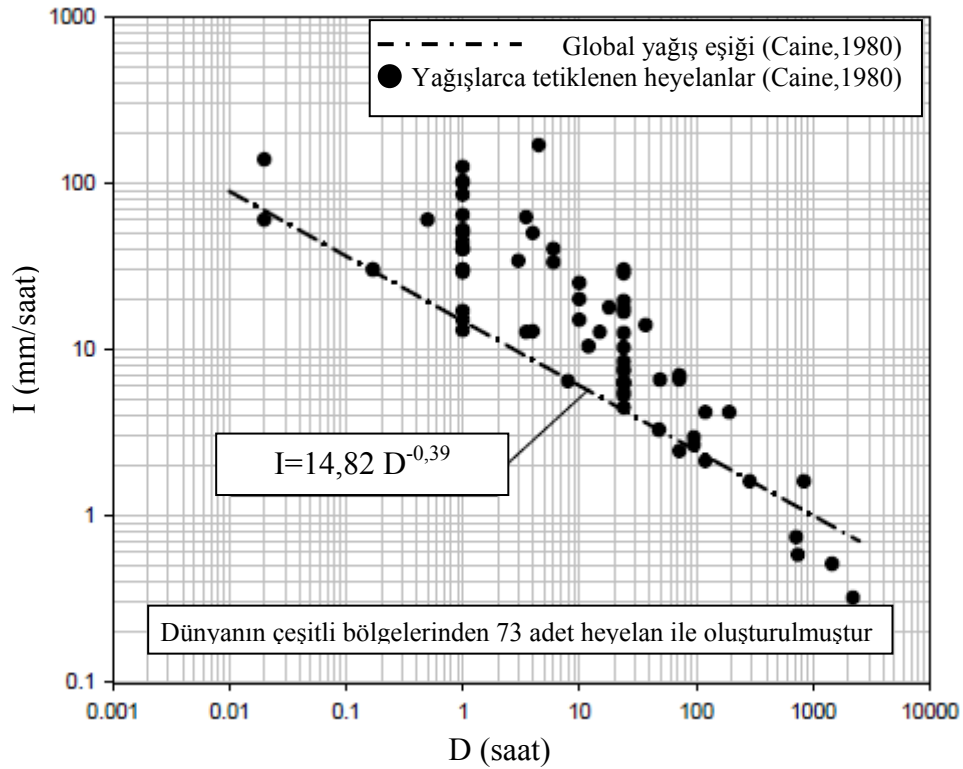
Su, heyelanların en önemli bileşeni iken yağışlar da heyelanların en önemli tetikleyicisidir. Araştırmacılar uzun zamandır heyelanları tetikleyen yağış miktarının belirlenmesi konusunda bilimsel çalışmalar yürütmektedirler. Günümüzde duraylılık probleminin olasılık teorisi ile çözülmesi akımı giderek ağırlık kazanmaktadır [3]. İstatistiksel veriler kullanılarak heyelanı başlatan yağış eşiğinin ampirik olarak belirlenmesi duraylılık probleminin çözümünde günümüzde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir [2, 79 - 81]. Son yıllarda bazı ülkelerce heyelan erken uyarı sisteminin veritabanı olarak da heyelan - yağış eşiği kullanılmaya başlanmıştır [4, 79, 81, 82].

İstatistiksel verileri baz alan ampirik yöntem, heyelanla sonuçlanan yağışların irdelenmesi ile elde edilmektedir. Eşik değer bağıntısı, heyelan, yağış şiddeti ve yağış süresi bileşenlerinin kartezyen, yarı logaritmik veya logaritmik eksenli grafiklerde işaretlenerek heyelanların alt sınırının belirlenmesi ile elde edilmektedir [82]. Bu yöntemde; heyelanların oluş zamanını, heyelandan önce meydana gelen yağış miktarını ve yağış periyodunun uzunluğunu tespit etmek en önemli öğelerdir. Bunun yanında kullanılan heyelan verisi ne kadar fazla olursa, bağıntı o kadar güvenilir olmaktadır.

Sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmalarını etkileyen yağış şiddeti ve yağış süresi konulu ilk çalışma 1980 yılında Nel Caine tarafından yapılmıştır [4]. Caine, dünyanın çeşitli bölgelerinde tespit edilen 73 adet heyelana ait yağış değerlerini kullanarak global ölçekte bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yağış eşiği olarak ;

$$I = 14,82 D^{-0,39} \quad (1.30)$$

alt limit bağıntısı çıkartılmıştır ($I =$ yağış şiddeti (mm/saat), $D=$ yağış süresi (saat)) (Şekil.1.26). Logaritmik ölçekte hazırlanan grafikte siyah noktalar heyelanları temsil ederken, heyelanların alt sınırından geçirilen doğru, heyelanların başlaması için gerekli eşik değeri göstermektedir.



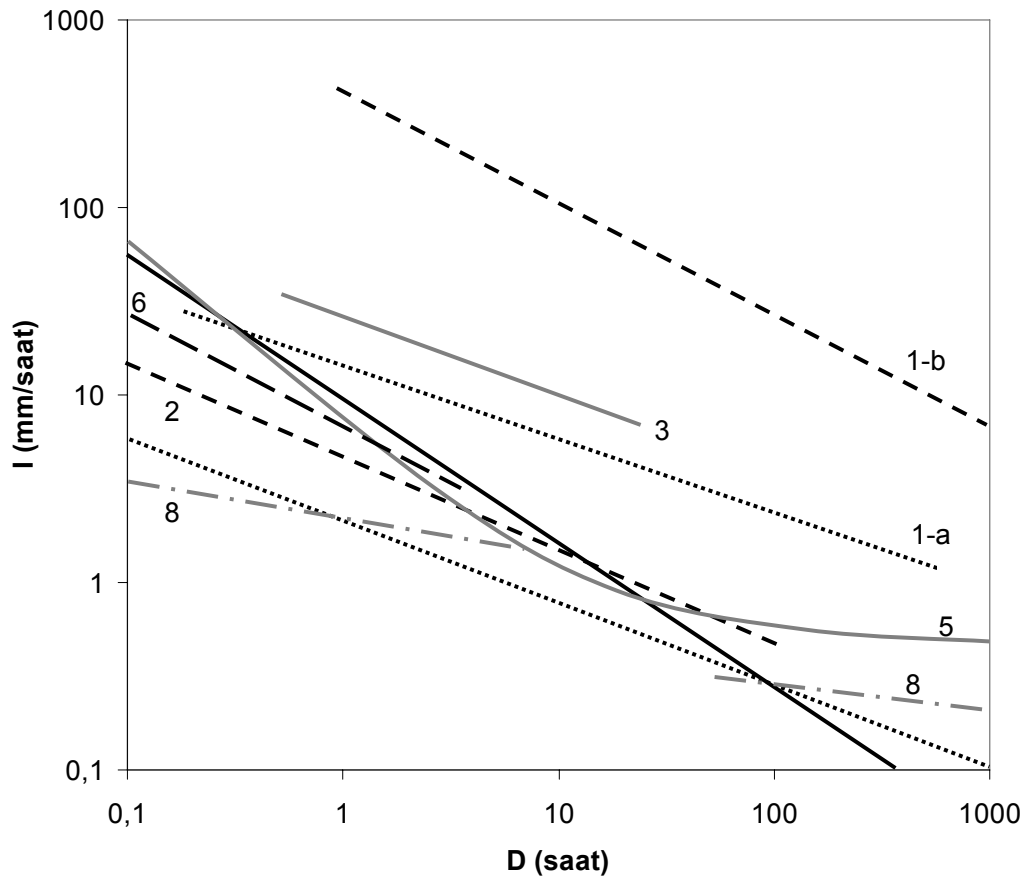
Şekil 1.26. İlk global yağış eşiği [4]

Caine' den sonra da araştırmacılar heyelanı başlatan yağış eşiğini konu alan lokal, bölgesel ve global çalışmalar yapmışlardır. Aşağıdaki tabloda farklı araştırmacılar tarafından bulunan global yağış eşik değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 1.9). Global ölçekte yapılan en son çalışma 2008 yılında Guzzetti tarafından yapılmıştır [83]. Guzzetti, çalışmasında Caine'nin aksine çok daha fazla heyelan verisinden yararlanmıştır. Bu tür çalışmalarda veri sayısı, eşik değerinin güvenilirliği ile doğru orantılıdır. Caine, çalışmasında sadece 73 adet heyelan vakasından yararlanmıştır. Guzzetti ise çalışmasında 2626 adet heyelan vakası incelemiş olup bunların 824 adedi heyelan – yağış eşiği için kullanılabilir bulunmuş ve çalışmaya dahil edilmiştir.

Tablo 1.9. Global yağış şiddet – süre eşikleri

Araştırmacı	Yağış Eşiği
Caine (1980) [4]	$I=14,82 D^{-0,39}$
Innes (1983) [84]	$I=4,93 D^{-0,50}$
Clarizio (1996) [85]	$I=10 D^{-0,77}$
Jibson (1989) [88]	$I = 30,53 D^{-0,57}$
Crosta (2001) [78]	$I=0,48+7,2 D^{-1,00}$
Cannon (2005) [86]	$I=7,00 D^{-0,60}$
Guzetti (2008) [83]	$I =6,90 D^{-0,58}$

Şekil 1.27 de araştırmacılar tarafından yayınlanmış olan global yağış eşikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.27. Global heyelan – yağış eşiklerinin karşılaştırılması. 1-a. Minimum yağış eşiği Caine [4]; 1-b. Maksimum yağış eşiği Caine [4]; 2. Innes [84]; 3. Jibson [88] 4. Clarizio [85]; 5. Crosta [78]; 6. Cannon [86]; 7. Guzetti [83]; 8. İki farklı yağış periyodundan elde edilen yağış eşiği Guzetti [83]

Global ölçekte yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, Caine' den sonra elde edilen yağış eşikleri birbirine yakın olmasına rağmen, Caine' nin yağış eşiği daha yüksek bir değere sahiptir. Bunun nedeni Caine' nin çalışmasında az sayıda heyelan verisinden yararlanmasıdır.

Global çalışmaların dışında bölgesel ve lokal çalışmaların da yapılmasına devam edilmektedir. Literatürde global, bölgesel ve lokal olmak üzere 125 adet heyelan yağış eşiği çalışması mevcuttur [87]. Bu çalışmalardan bazıları ve elde edilen eşik değerler aşağıda tabloda verilmiştir.

Tablo 1.10. Bölgesel ve lokal yağış eşikleri

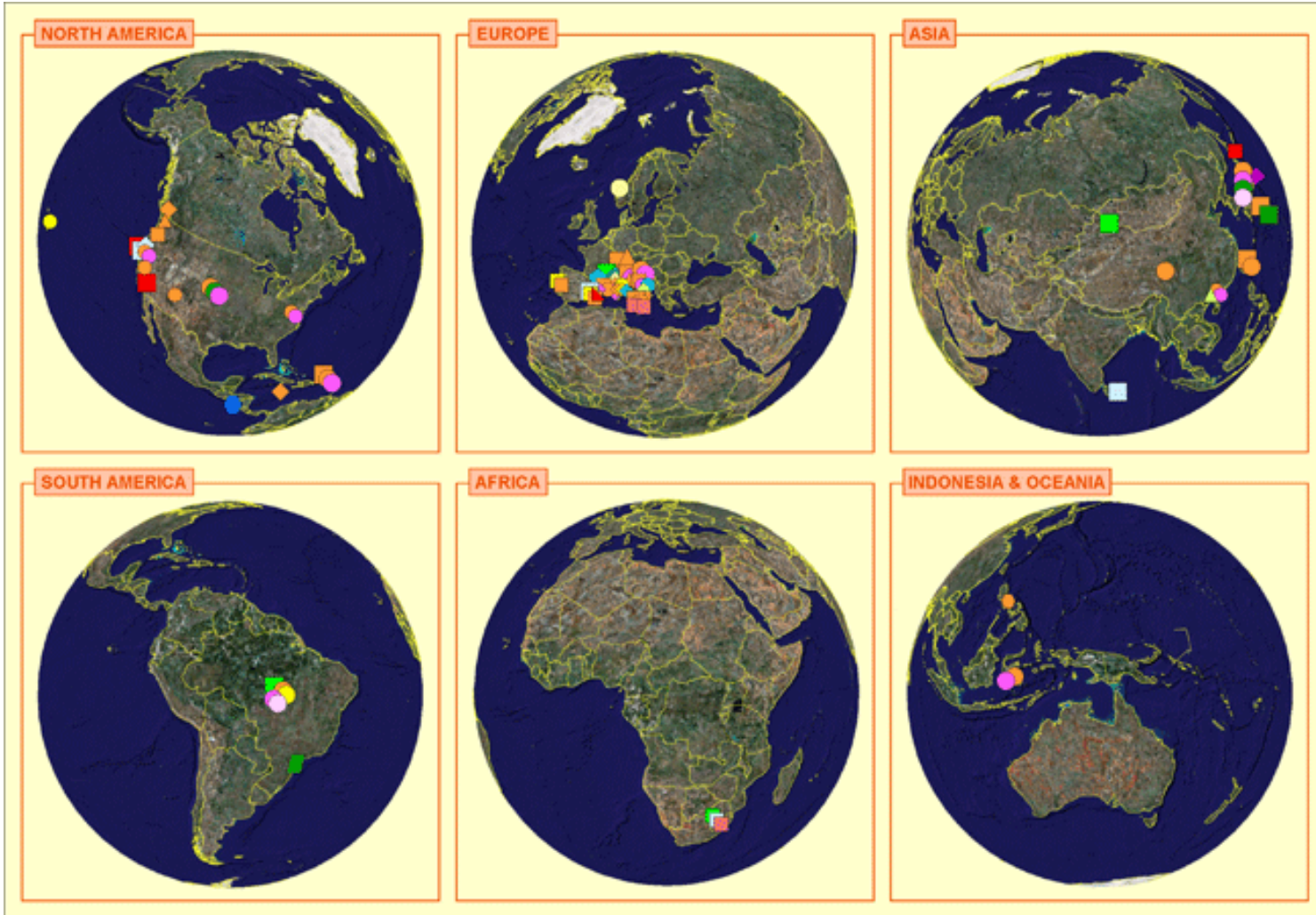
Kıta	Ülke	Bölge	Yağış Eşiği	Zaman Aralığı	Araştırmacı
Asya	Çin	-	$I = 49.11 - 6.81 \times D^{1.00}$	$1 < D < 5$	[88]
Asya	Hong Kong	-	$I = 41.83 \times D^{-0.58}$	$1 < D < 12$	[88]
Asya	Endonezya	-	$I = 92.06 - 10.68 \times D^{1.00}$	$2 < D < 4$	[88]
Asya	Japonya	-	$I = 39.71 \times D^{-0.62}$	$0.5 < D < 12$	[88]
Asya	Japonya	Shikoku Island	$I = 1.35 + 55 \times D^{-1.00}$	$24 < D < 300$	[89]
Asya	Taiwan	-	$I = 115.47 \times D^{-0.80}$	$1 < D < 400$	[90]
Avrupa	Avusturya	Carinthia and East Tyrol	$I = 41.66 \times D^{-0.77}$	$1 < D < 1000$	[91]
Avrupa	Orta ve Güney Avr.	-	$I = 9.40 \times D^{-0.56}$	$0.1 < D < 4000$	[82]
Avrupa	İtalya	Apuane Alps, Tuscany	$I = 26.871 \times D^{-0.638}$	$0.1 < D < 35$	[92]
Avrupa	İtalya	Apuane Alps, Tuscany	$I = 38.363 \times D^{-0.743}$	$0.1 < D \leq 12$	[92]
Avrupa	İtalya	Campania	$I = 28.10 \times D^{-0.74}$	$1 < D < 600$	[93]
Avrupa	İtalya	Lombardy	$I = 20.1 \times D^{-0.55}$	$1 < D < 1000$	[94]
Avrupa	İtalya	Moscardo Torrent	$I = 15 \times D^{-0.70}$	$1 < D < 30$	[95]
Avrupa	İtalya	North Eastern Alps	$I = 47.742 \times D^{-0.507}$	$0.1 < D < 24$	[96]
Avrupa	İtalya	Piedmont	$I = 19 \times D^{-0.50}$	$4 < D < 150$	[79]
Avrupa	İtalya	Piedmont	$I = 44.668 \times D^{-0.78} \times N$	$1 < D < 1000$	[97]
Avrupa	İtalya	Valtellina, Lombardy	$I = 44.668 \times D^{-0.78}$	$1 < D < 1000$	[98]

Tablo 1.10. Devamı

Kıta	Ülke	Bölge	Yağış Eşiği	Zaman Aralığı	Araştırmacı
Avrupa	İtalya	Valzangona, Marche	$I = 18.83 \times D^{-0.59}$	$24 < D < 3360$	[99]
Avrupa	Portekiz	North of Lisbon	$I = 84.3 \times D^{-0.57}$	$0.1 < D < 2000$	[100]
Avrupa	İsviçre	-	$I = 32 \times D^{-0.70}$	$1 < D < 45$	[101]
Kuzey Amerika	Kanada	North Shore Mountains	$I = 4.0 \times D^{-0.45}$	$0.1 < D < 150$	[102]
Kuzey Amerika	Jamaika	Eastern Jamaica	$I = 11.5 \times D^{-0.26}$	$1 < D < 150$	[103]
Kuzey Amerika	Porto Riko	-	$I = 66.18 \times D^{-0.52}$	$0.5 < D < 12$	[88]
Kuzey Amerika	Porto Riko	-	$I = 91.46 \times D^{-0.82}$	$2 < D < 312$	[104]
Kuzey Amerika	ABD	Blue Ridge	$I = 116.48 \times D^{-0.63}$	$2 < D < 16$	[105]
Kuzey Amerika	ABD	Central Santa Cruz dağları	$I = 1.7 + 9 \times D^{-1.00}$	$1 < D < 6.5$	[106]
Kuzey Amerika	ABD	Mettman Ridge	$I = 9.9 \times D^{-0.52}$	$1 < D < 170$	[107]
Kuzey Amerika	ABD	Seattle Area	$I = 82.73 \times D^{-1.13}$	$20 < D < 55$	[108]
Kuzey Amerika	Brezilya	-	$I = 63.38 - 22.19 \times D^{1.00}$	$0.5 < D < 2$	[88]

Bu çalışmaların eksik yanı deterministik heyelan stabilite analizleri ile tahkik edilmemeleri ve bazılarının az sayıda heyelan verisinden elde edilmiş olmasıdır.

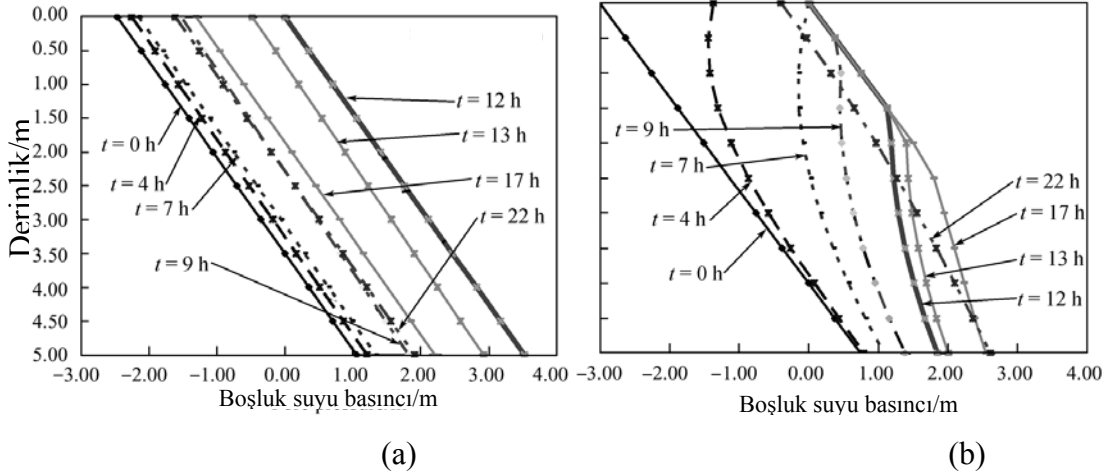
Dünya da 6 kıta üzerinde heyelan yağış eşiği çalışması yapılan yerler Şekil 1.28 de gösterilmiştir. Ülkemizde ve yakın çevresinde oluşturulmuş bir heyelan - yağış eşiği bulunmamaktadır. Şekildeki işaretler, elde edilen eşik değerlerin lokal, global ve bölgesel olması ve eşik değeri türüne (yağış şiddeti – yağış süresi, anlık yağış – yağış şiddeti vb.) göre farklılık gösterdiğini ifade etmektedir.



Şekil 1.28. Dünya üzerinde heyelan – yağış eşiği çalışmaları yapılmış bölgeler [87]

1.7.3 Heyelan olasılığının tahmininde kullanılan diğer yöntemler

Yağışların şev stabilitesine etkisi ile ilgili olarak; Lan (2003), rezidüel ve kolüvyon yamaçlarda yaptıkları deneylerde yağışın etkinliğini araştırmışlardır [109]. Rezidüel zeminlerin geçirimsiz, kolüvyon zeminlerin geçirimli olarak sınıflandırıldığı çalışmada yağışa bağlı olarak boşluk suyu basınçlarının derinlikle değişimleri monitörize edilerek incelenmiştir (Şekil 1.29 a, b). Yağışlar 10 günde toplam 300 mm yağmur bırakmıştır. Şekil 1.29 (b) de rezidüel zeminde boşluksuyu basıncı ilk 3 saatlik zamanda belli bir değişiklik göstermemiştir. 4. saatte sığ derinliklerde boşluksuyu basıncı hızla artmaya başlarken, derin seviyelerde boşluksuyu basıncında dikkate değer bir değişim olmamıştır. 9. saatte 0.5 m den daha sığ seviyedeki zemin doymun hale gelmiştir. Pik yağışlar 11. saatte meydana gelmiş olup bu saatte 1.5 m seviyesinin üzeri doymun hale gelmiştir. 13. saatte yağış şiddeti hızla düşmesine rağmen boşluk suyu basıncı 17. saate kadar hızla artmaya devam etmiş ve bu saatte en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Bu saatten sonra boşluk suyu basınçları kademeli olarak azalmaya başlamıştır. Sığ derinliklerde bu düşüş biraz daha hızlı olmuştur.

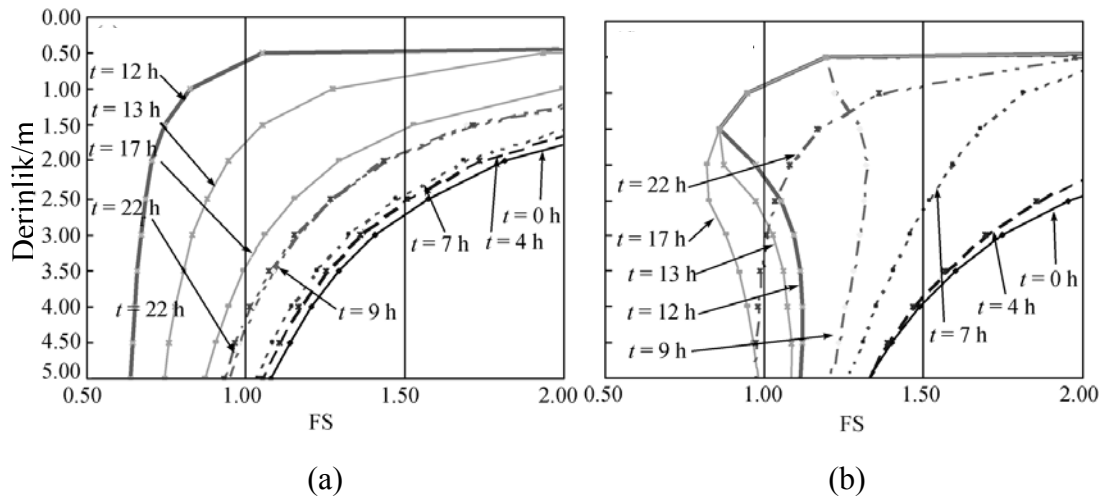


Şekil 1.29. Yağış – boşluksuyu basıncı değişim grafiği (a) kolüvyon (b) rezidüel kil [109]

Yağışlar, sığ heyelanların oluşumuna, özellikle rezidüel zeminlerde sığ seviyelerdeki hızlı boşluk suyu basıncının yükselişi ile etki etmektedir. Geçirimli zeminlerde ise boşluk suyu basıncı yağışlardan hızlı şekilde etkilenip yükselmektedir. Ancak boşluk

suyu basıncının sönümlenmesi de rezidüel zeminlerdekinin aksine hızlı şekilde gerçekleşmektedir.

Şekil 1.30 da yağışlara bağlı güvenlik katsayılarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Kolüvyon zeminde (Şekil 1.30 a) güvenlik sayısı zamana bağlı olarak düzenli olarak azalırken, rezidüel kil zeminde (Şekil 1.30 b) sığ seviyelerde güvenlik sayısı hızla düşmüştür.



Şekil 1.30. Yağış – Güvenlik sayısı değişim grafiği (a) kolüvyon (b) rezidüel kil [109]

Gofar (2008), ince ve iri daneli zeminler üzerinde yaptığı benzer bir çalışmada doygun hale gelen zeminin iri daneli zeminlerde yağış miktarından, ince daneli zeminlerde ise hem yağış miktarı hem de yağış süresinden etkilendiğini ortaya koymuştur [110].

Tohari (2007), kum ve kil zeminler üzerinde yaptığı deneysel çalışmada deney öncesi 1.2500 – 1.400 civarında olan şev güvenlik sayılarının yağışlar sonrası stabilitesini kaybettiğini tespit etmiştir [111].

Yağışların şevler üzerindeki etkileri ile ilgili benzer deneysel çalışmalar Glade (2000) [112], Manzari (2000) [113], Iverson (2000) [114], Muntohar (2009) [115], Crozier (1999) [116], Kim (1991) [117], Vanapalli (1996) [118], Gui (2000) [119], Collins (2004) [120], Sharma (2005) [121], Crosta (2008) [122], Rahardjo (2007)

[123], tarafından yapılmıştır.

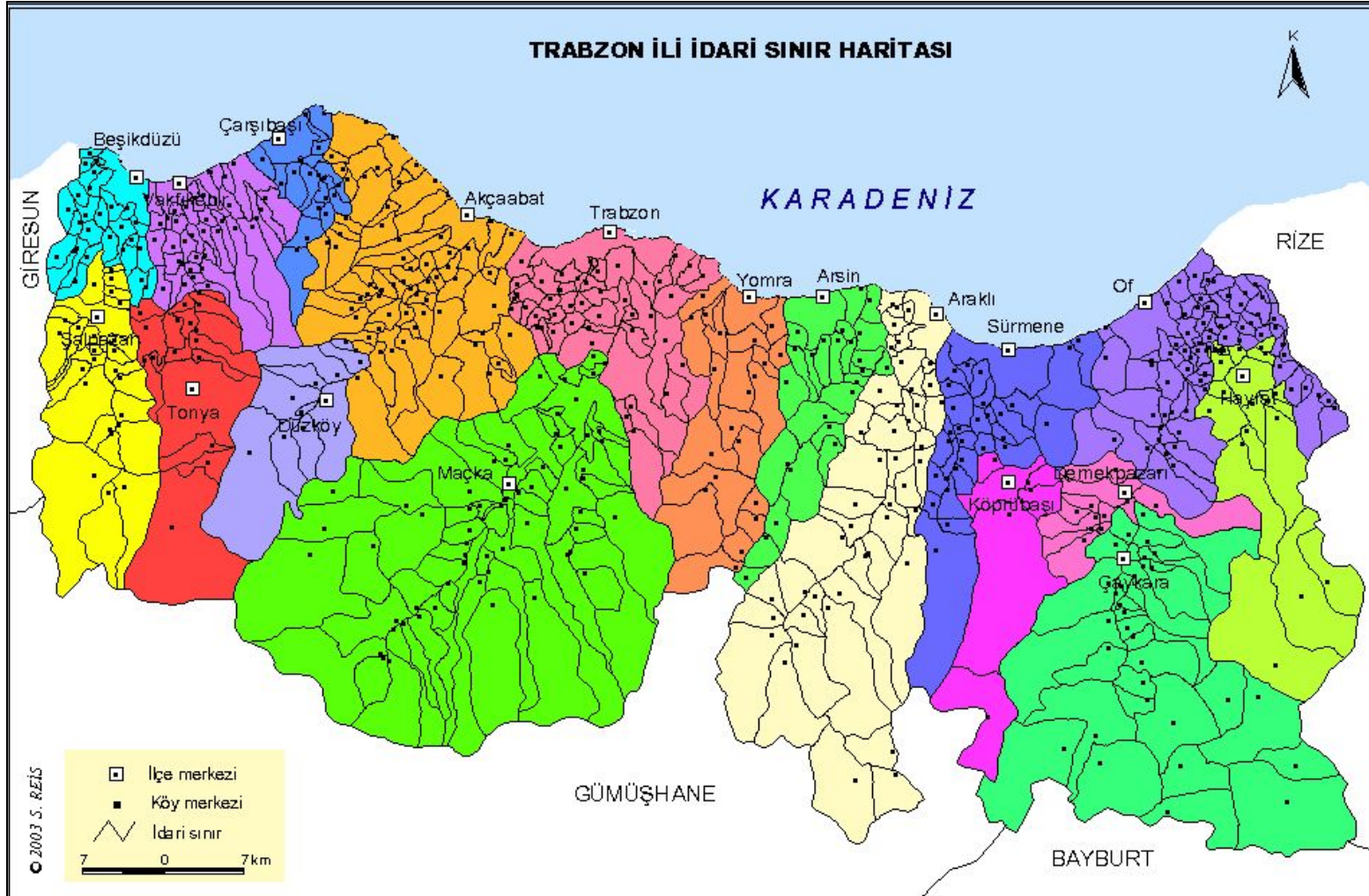
Heyelanların oluşumu ile ilgili çalışmalardan bir diğeri de toprak nemi ölçümü ile gerçekleştirilen çalışmalardır. Örnek olarak Rize ili için geliştirilen proje ile heyelan erken uyarı sistemi (RABİS) kurulmuştur. Proje yaklaşık 5 milyon \$' a mal olmuştur. Proje kapsamında Rize ilinde 13 farklı bölgede toprak altına sensörler yerleştirilerek toprak neminin sürekli olarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu ölçümlere göre heyelan riski değerlendirilmektedir [124]. Ancak 2010 yılı içerisinde meydana gelen ve 13 kişinin ölümüyle sonuçlanan heyelandan önce uyarı verilmediği belirtilmekte olup bunun nedeni hakkında; eleman-ödenek yetersizliği ve toprak nemi ölçerlerin arızalanması gibi nedenler gündeme gelmiştir. Bu durum sistemin güvenilirliği ve kullanılabilirliği konusunda tereddüte düşülmesine sebebiyet vermiştir.

1.8 Çalışma Alanının Tanıtılması

1.8.1 Coğrafi konum

4.664 km² yüzölçüme sahip Trabzon ili, Doğu Karadeniz Dağlarının oluşturduğu yayın ortasındaki Kalkanlı dağlık kütesinin kuzeye bakan yamaçlarında 38° 30' – 40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' – 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize, batısında Giresun ili bulunmaktadır [125].

İl Merkezi ile birlikte 18 ilçeye sahip olan Trabzon'un, on ilçesi 114 km.lik sahil şeridinde sıralanmıştır. Bunlar Batıdan doğu istikametine doğru Beşikdüzü, Vakfikebir, Çarşıbaşı, Akçaabat, Merkez, Yomra, Arsin, Araklı, Sürmene ve Of ilçeleridir. Tonya, Şalpazarı, Düzköy, Maçka, Köprübaşı, Dernekpazarı, Hayrat ve Çaykara ilçeleri sahilden içeridedir. Trabzon'da genellikle engebeli bir arazi üzerinde dağınık yerleşim gösteren 497 köy vardır (Şekil 1.31) [126].



Şekil 1.31. Trabzon ili idari sınır haritası [127]

1.8.2 Jeomorfoloji

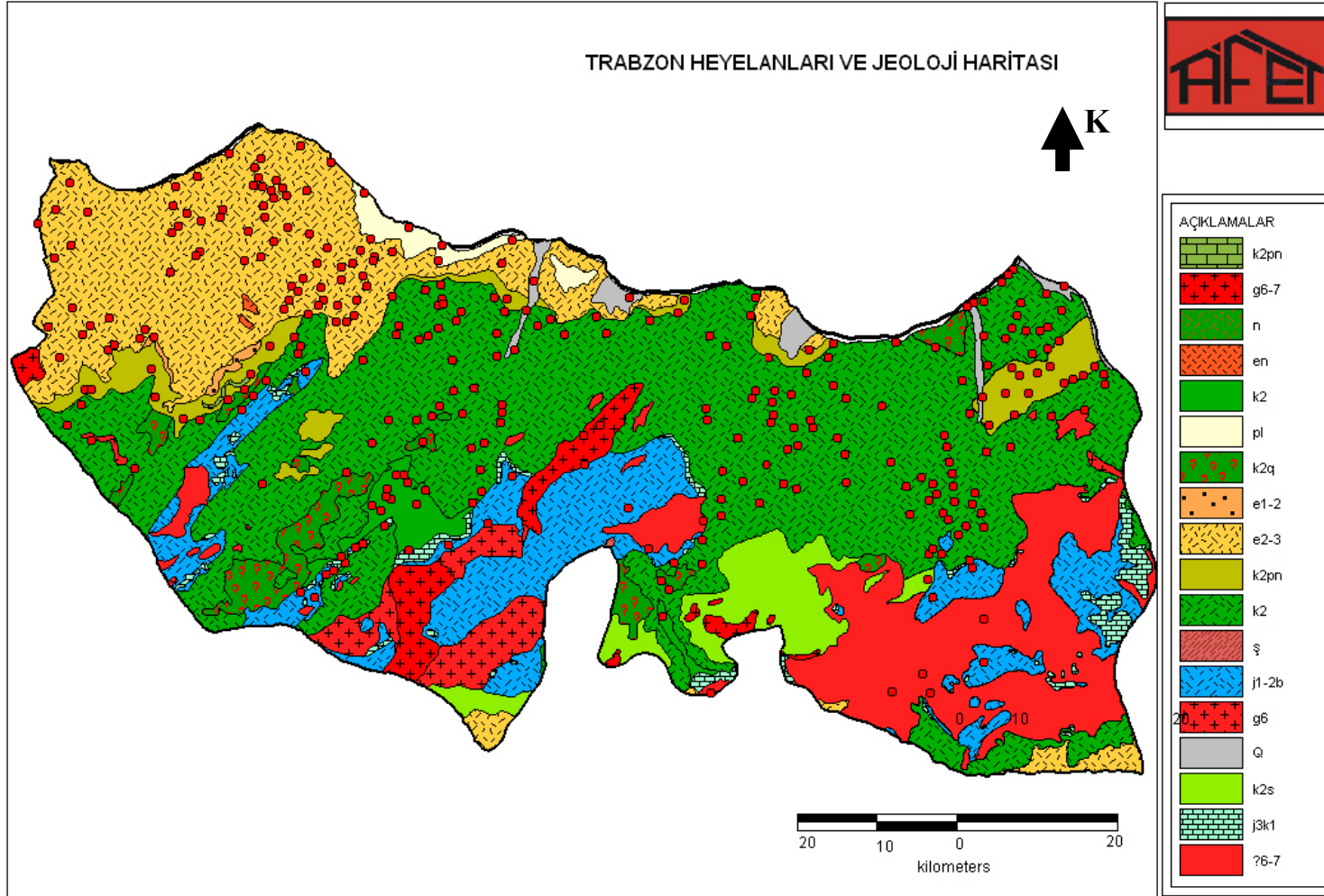
Trabzon, diğ er Doğu Karadeniz Bölgesi illerinde olduğu gibi oldukça dağlık bir yöredir. İI topraklarının % 30' u dağlık, % 60' ı güneye doğru % 25-30 eğimle artan alanlar ve ancak % 10' luk bir kısmı düz alanlardan oluşmaktadır. Trabzon ili üç ana jeomorfolojik üniteden oluşur. Bunlar; ilin güney kesiminde doğu-batı doğrultusunda uzanan dağlar, Karadeniz kıyısı boyunca oluşmuş kıyı kuşağı ve bu iki ünite arasında yer alan akarsular tarafından derin vadilerle yarılmış platolardır [128].

Proje sahasında, topoğrafya çok dar kıyı şeridinden hemen sonra dikleşmekte ve doğu-batı doğrultusunda uzanan dağlar doğal bir engel oluşturmaktadır. Genelde kıyıdan 1 km kadar içerde yükseklik 500 m dolaylarına, su bölüm hattında ise 2000-2500 m ye erişmektedir. Genelde Kuzey - Güney istikametinde 2-5 km aralıklı kuru ve sulu derelerin vadileri derin, yamaçları oldukça diktir. Proje sahasının kendine özgü bitki örtüsü, sis ve bulutlarla kaplı bir topografyası vardır. Bu özellik ulaşım ve yerleşme olanaklarını sınırlamaktadır [57].

1.8.3 Genel jeoloji

Trabzon ilinde Mesozoyik ve Senozoyik dönemine ait toloyitik kalkoalkalen kayaçlar izlenir. Mesazoyik dönemi Liyas yaşlı volkanitlerle başlar ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatları ile devam eder. Üst Kretase dönemi yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Bu aktivite asit ve bazik nitelikli periyotlarla gelişimini sürdürmüştür. Üst Kretase sonlarına doğru sona eren volkanik aktivite Paleosen sonlarına kadar yerini türbiditik çökellere bırakır. Liyasta başlayarak Üst Kretase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren volkanik faaliyet, denizaltı volkanizması şeklinde olup, çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterirler. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları izlenir. Paleosen sonlarında orojenik faaliyetlerle birlikte büyük ölçüde granitoid yerleşimi

gelişmiştir (Kaçkar Granitoyidi I). Eosen döneminde ise yeniden hareketlenen volkanizma etkin bir şekilde devam eder. Denizaltı ortamında yayılma nedeniyle volkano-tortul bir istif yapısı gelişmiştir. Granitoyid yerleşimi Eosen döneminde de devam etmiştir (Kaçkar Granitoyidi II). Pliyosende görülen genç volkanizma andezitik breşler, volkanik çakıltaşları, hornblend-ojit andezit-bazaltlardan oluşan dördüncü volkanik seriyi vermiştir. Trabzon ilinin Genel Jeolojisi Şekil 1.32’de, Stratigrafik Dikey Kesiti ise Şekil 1.33’de gösterilmiştir [128].



Şekil 1.32. Trabzon jeoloji haritası k2vs: Üst Kretase yaşlı Volkano-sedimanter birimler, e2-3: Orta Üst Eosen Volkano-sedimanter birimler, k2pn:Üst Kretase Paleosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar, Gama6-7:Paleosen yaşlı plütonik kayalar, J1-2: Alt-Orta Jura kırıntılılar ve karbonatlar, pl: Pliyosen yaşlı ayrılmamış karasal kırıntılılar, q: Kuvaterner ayrılmamış kuvaterner, Jsk1: Üst Jura Alt Kretase yaşlı neritik kireçtaşları [52]

1.8.4 Stratigrafi ve petrografi

Trabzon yöresinde en yaşlı kayalar Hamsiköy ve çevresinde izlenir. Bu çevrede temeli, aralarında dasitik tuf ara seviyeli spilit ve spilitik bazaltlar oluşturur. Bu kayaları gri, esmer renkli kireçtaşları üstler. Kireçtaşları tabanda, dolomit ve dolomitleşmiş kireçtaşları ile başlayıp, üste doğru bol echinid parçaları içeren biyospantik kireçtaşları halinde devam eder ve daha üstte çört ve çört bantları içeren biyomikritik kireçtaşları ile sona erer. Kireçtaşları mikrodiyoritler ve dasitler tarafından kesilmiş ve kesilme zonlarında kontakt metamorfizmaya uğramıştır. Metamorfizma sonucunda kireçtaşları zonlu bir yapı kazanmıştır. Yaklaşık onbeş metrelik kalınlık gösteren bu zonda metamorfizmanın şiddeti kontaktdan dışa doğru azalmaktadır. Taşlı (1984) [129], kireçtaşlarında saptadığı fosillere göre kireçtaşlarına marın-alt kretase yaşını vermiştir. Alttaki spilit ve spilitik bazaltların ise Lias yaşında olabileceğini deneştirme yoluyla söylemektedir. Hamsiköyden kuzeye gidildiğinde kireçtaşları üzerinde, uyumlu olarak dasit, andezit ve bazaltlardan oluşmuş, alt kretase yaşında olduğu sanılan volkanik seri görülür. Bu volkanik seri üzerinde Trabzon yöresinde, geniş yayılımı gözlenen, içinde bordo ve gri renkli kireçtaşı, marn, kumtaşı tüfit aralanmasından oluşan fliš fasiyesinde seviyeler içeren, volkano-tortul seri yer alır [57].

Fliš fasiyesinde gelişmiş tortul kayaların en güzel görüldüğü yerler Trabzon' un güney ve güneybatısında yer alan Hacımehmet, Kisarna ve Kireçhane mntıklarındır. Özellikle bordo renkli kireçtaşlarının içerdiği fosillere göre, Erguvanlı (1950) [130] ve Özsayar (1971) [131], volkano-tortul seriye üst kretase yaşını vermişlerdir. Volkano-tortul seri fliš karakterindeki tortular dışında lav-tuf ve aglomeralardan oluşmuştur. Lav-tuf aglomeralar yörede en yaygın kayaç topluluğudur. Tuf ve lavlar, aglomeralar içinde seviyeler oluşturur. Lavlar çoğunlukla bazalt, andezit ve dasit türündedir. Yer yer tipik kolonsu yapıların yanında, bazaltlarda pillow lav, boşluklu bazalt türleride görülür. Volkano-tortul serinin güney kısımlarında yer yer daha yaşlı kayaç blokları izlenir [57].

Üst kretase yaşlı volkano-tortul seri üzerine; özellikle sahil kesiminde, ikinci bir

volkano-tortul seri daha gelir. Bu ikinci serinin daha genç olduğu (tersiyer), bazı araştırmacılar tarafından kesin veriler gösterilmeden söylenmektedir. Yöredeki daha genç oluşuklar, Akçaabat civarında konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireç taşlarından oluşmuş tortul kayaçlardır. Erguvanlı (1950) [130], bu kayaçları, içinde bulunduğu fosillere dayanarak miyosen yaşında olduğu belirtir. Yörede kumtaşı ana seviyeli, yer yer çakıl ve kavkı içeren, sarı ve kırmızımsı renkli killerden oluşmuş, miyosenden genç tortulara, sahil kesiminde Değirmendere vadisi sırtlarında, Trabzon ili Boztepe yamaçlarında ve Şana ilçesi çevresinde rastlanır. Özsayar (1971) [131], bu tortuların yaşını alt piliyozon olarak vermektedir. Trabzon yöresinde en genç oluşukları, deniz ve akarsu taraçaları alüvyonlar; sahil kumları ve yamaç molozları oluşturur. Akarsu taraçalarını Değirmendere vadisinde görmek olasıdır. Deniz taraçalarının ise Trabzon ili yerleşim alanında sahil kumlarından başlayarak 6 aynı seviyede olduğu, Erol (1952) [132], Erguvanlı (1950) [130] ve Tarhan (1982) [133] tarafından saptanmıştır [57].

Sürmene-Of Yöresinde ise Çaykara ilçesi dolaylarında görülen metamorfik seri tabanı oluşturur. Metamorfik seri mikaşist kuvarsit, kuvarsfillat, grafitşist ve kalkşistlerden oluşmaktadır. Metamorfik seri içinde fosil bulunmaması nedeniyle kesin yaş verilememiştir. Yörede çalışan Gattinger (1956) [134], metamorfik serinin yaşını paleozoyik olarak kabul etmiştir [57].

Metamorfik seri üzerinde, uyumsuz olarak, kireçtaşı merceklerinin yer aldığı spilitleşmiş bazik volkanitlerle bunların piroklastikleri görülür. Kireçtaşlarının içerdiği fosillere dayanarak Sawamura (1971) [135] ve Alpan (1971) [136], bu serinin yaşını kısmen malm ve alt kretase olarak saptamışlardır. Bu seriyi uyumlu olarak yer yer cevher içeren dasitik lav, tüf ve breşler üstler. Gedikoğlu' nun cevherli dasit diye adlandırdığı bu seviye üzerinde, kırmızı renkli kireçtaşı, tüflü kumtaşı, marn ana katkılı spilitik bazalt, bazalt, andezit, dasit lavları ile tüf ve aglomeralardan oluşan volkano-tortul seri görülür. Yörede en geniş yayılım gösteren bu seridir. Kırmızı kireçtaşlarının içerdiği fosillere dayanarak, Sawamura (1971) [135] ve Alpan (1971) [136], bu serinin yaşını üst kretase olarak saptamışlardır. Volkano-tortul seri hemen hemen Çaykara'dan sahile kadar devam etmektedir. Sahilde Sürmene ve çevresinde yine volkanik fasiyeste gelişmiş tersiyer (Eosen)

yaşlı kayaçlar yüzeylemektedir. Bu seri de Trabzon yöresinde olduğu gibi kesin verilerle ayırtlanmamıştır. Of civarında ise pliyosen yaşlı çakıllı, kavkılı killer görülür. Killer içinde yer yer kanglomera ve kumtaşı seviyeleri gözlenir. Bu bölgede de en genç oluşuklar, deniz taraçaları, sahil kumları, alüvyonlar ve yamaç molozlarıdır. Sürmene dolaylarında farklı iki seviyede görülen deniz taraçaları, Of dolaylarında tek seviye olarak izlenir [57].

1.8.5 Metaforfizma ve magmatizma

Trabzon ilini kapsayan alanda Metamorfik kayaçlar bulunmamaktadır. En yaşlı kayaçlar Jura döneminde olduğu için, daha sonra oluşan kayaçlarda da Metamorfizma etkisi görülmemektedir. Ancak granitoitik kayaçların oluşumu sırasında meydana gelen sınırlı kontak metamorfizma olayları yer yer izlenebilmektedir [128].

Magmatizma olayları daha çok volkanik faaliyetler şeklinde izlenmektedir. Jura, Kretase ve Eosen dönemindeki üç ayrı fazda yoğun volkanik faaliyetler olmuştur. Denizaltı volkanizması şeklinde süren bu faaliyetler sonucu oluşan volkanik kayaçlar stratigrafi bölümünde anlatılmıştır. Kretase ve eosen döneminde oluşan granitoitik intruzifler ise oluşan tüm kayaçlar içine sokulum yapmışlardır [128].

1.8.6 Tektonik ve paleocoğrafya

Trabzon ili, Doğu Pontid Tektonik Ünitesinin kuzeydoğusunda yer alır. Bu tektonik ünite; batıda Kızılırmak vadisinden, doğuda Gürcistan sınırına kadar yaklaşık 500 km uzunluğunda ve kuzeyde Karadeniz kıyısından, güneyde Kuzey Anadolu Fayına kadar yaklaşık 50-75 km genişliğinde metallojenik bir kuşak oluşturur. Geniş anlamda ise; Alpin dağ oluşuma bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayayı dizisinin bir parçasıdır [128].

Trabzon ilinin de içinde yer aldığı “Pontidler” erken Alpin dönemine ait Austrik, orta Alpin dönemine ait Anadolu ve geç Alpin dönemine ait Attik tektonik fazlarının etkisinde kalmıştır. Özellikle yöreyi etkileyen Attik fazından sonra birimler kıvrımlanarak su yüzeyine çıkmış ve aşınmaya uğramışlardır. Bu dönem sonucunda Kumtaşı - Kıltaşı - Konglomera, bazaltik aglomera çakıllı tortul seviyeler özellikle sahil kesimlerde (Akçaabat-Yomra) oluşmuştur. Bu dönem ve sonrasında yine karadaki yükselme hareketleri devam etmiş ve denizel taraçalar oluşmuştur [128].

Bugün Trabzon güneyinde, Soğuksu mevkiinde en yüksek kotta (250 m) I. Seki seviyesi gelişmiştir. Bundan kuzeye doğru beş ayrı seki seviyesi daha tespit edilmiştir. Trabzon şehri genelde sekiler üzerine kurulmuştur. Trabzon ili ve yakın çevresinde Mesozoik ve Senozoik dönemine ait toleyitik ve kalkalkalen kayaçlar izlenir. Mesozoik dönemi Liyas yaşlı volkanitler ile başlar ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatlarıyla devam eder. Üst Kretase dönemi yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Bu aktivite asit ve bazik nitelikli periyotlarla gelişimini sürdürmüştür. Üst Kretase sonlarına doğru volkanik aktivite genellikle sona erer. Bu safha da genellikle Paleosen sonlarına kadar kesintisiz devam eden türbiditik çökeller devam eder. Liyas'ta başlayarak Üst Kretase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimine sürdüren volkanik faaliyet deniz altı volkanizması şeklinde olup, çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterirler. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları oluşmuştur. Paleosen sonlarında orojenik faaliyetlerle birlikte büyük ölçüde granitoid yerleşimi gelişmiştir (Kaçkar Granitoyidi -I). Eosen döneminde ise yeniden hareketlenen volkanizma etkin bir şekilde devam eder. Deniz altı ortamında yayılma nedeniyle Volcano-Tortul yapıda bir istif gelişmiştir. Granitoid yerleşimleri Eosen döneminde de devam etmiştir (Kaçkar Granitoyidi-II) [128].

1.8.7 Yapısal jeoloji

Doğu Karadeniz Bölgesinde yeralan çalışma alanının bol bitki örtüsü ile kaplı olması

bölgenin yapısal özelliklerini gizlemektedir. Yapısal özellikler, yol yarmalarında, bitki örtüsünün bulunmadığı dik yamaç ve dere yatakları ile deniz kenarındaki falezlerde izlenebilmektedir [57].

1.8.7.1 Tabakalar

Tabakalanma, çalışma alanı içinde yüzlek veren volkano-tortul kayalarda, tüflerde, tuf-aglomeralarda, gri ve bordo renkli kireçtaşlarında, marnlarda ve taraçalarda iyi görülür. Tabaka doğrultu ve eğimleri aynı yörede bile farklı değerler göstermektedir. Bu ise bölgenin değişik zamanlarda, değişik yöndeki kuvvetlerin etkisinde kalarak kıvrıldığını, kırılıp faylandığını gösterir [57].

Tabaka kalınlıkları kayaç türüne göre değişmektedir. Tüflerde 10-70 cm, kireçtaşlarında 5-30 cm, aglomeralarda ise metrelerce kalınlığa erişmektedir. Özellikle sahil kesiminde alınan ölçülerde tabaka doğrultuları genellikle KB-GD, KD-GB, bazı yerlerde D-B dir. Bu yönlerle ilgili olarak da eğimler 20°-60° arasında değişip eğim yönleri KD, GB, KB, GD ya doğrudur [57].

1.8.7.2 Çatlaklar

Çalışma alanı içindeki kayaçlar göz önüne alındığında değişik orijinli çatlaklar gözlenmektedir. Bunlar jeotektonik hareketlere bağlı olanlar ki bu tür çatlaklar her türlü kayaçta izlenmektedir. Bu tür çatlaklardan ayrı olarak özellikle magmatik kayalarda sığınma çatlakları, bazı yerlerde ise yük kalkması sonucu oluşan, topografya yüzeyine paralel çatlaklar görülür. Diğer bir tür ise, derinlik kayaçlarının yerleşmeleri esnasında yan kayaçlarda oluşan çatlaklardır [57].

Çatlakların sıklığı ve ara uzaklıkları, kayaç türüne, çatlağı oluşturan kuvvetin şiddetine bağlı olarak farklıdır. Çatlak ara uzaklıkları birkaç santimetreden, birkaç

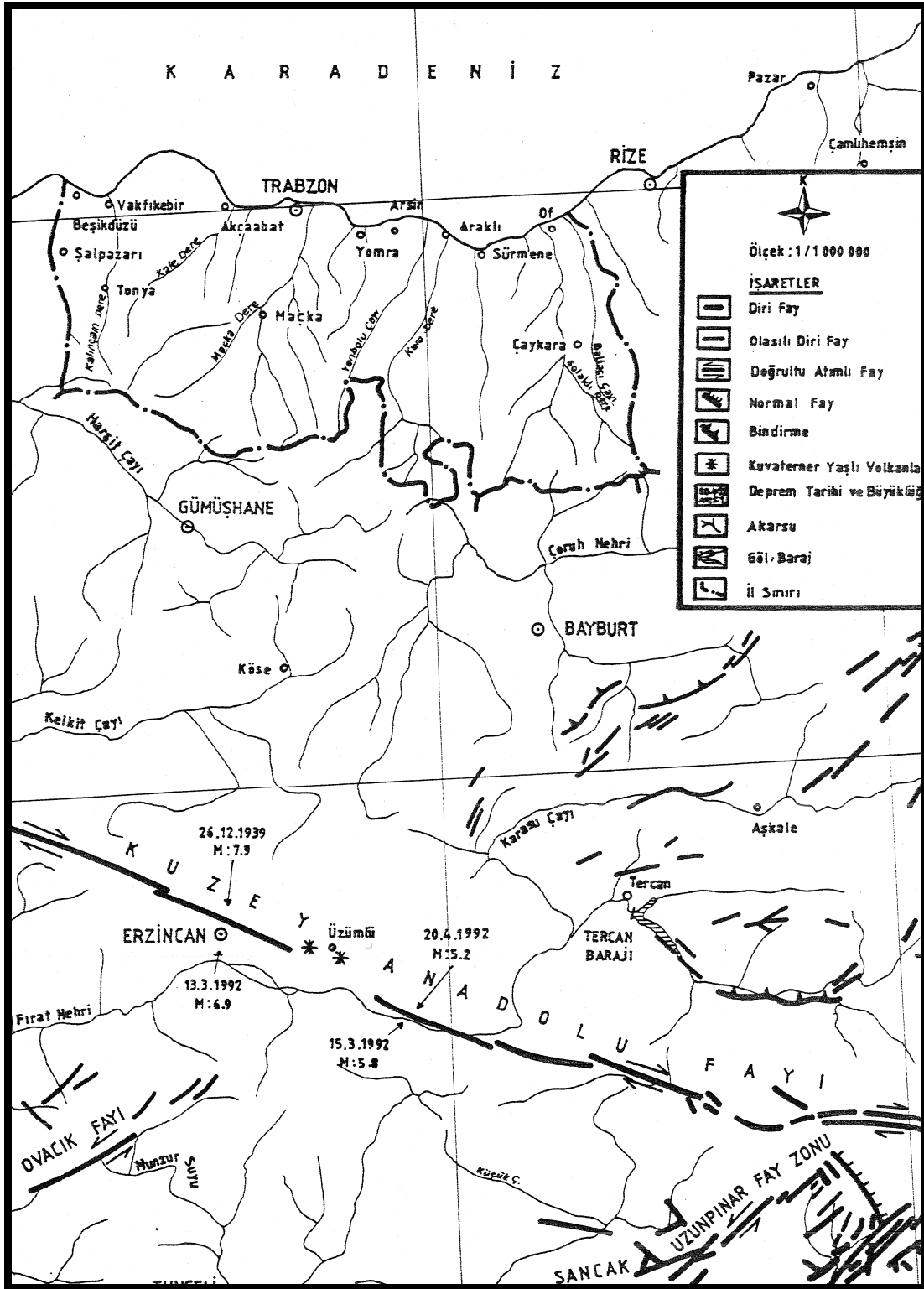
metreye kadar değişmektedir. Çatlak açıklıklarının ise birkaç milimetreden, birkaç santimetreye kadar değiştii izlenmektedir. Çatlak açıklıkları, kayaçların ayrışması sonucu oluşan killerle, yada ikincil olarak suların getirdiği malzemelerle (kil, kalsit, kuvars v.b.) dolguludur [57].

Çatlaklar, kayaçların mekanik ve kimyasal olarak ayrışmasını kolaylaştırmıştır. Ayrışma, kayaçların içerdiği çatlaklara bağlı olarak yüzeyden itibaren derinleşmiş ve bazı yerlerde 30 mm ye ulaşmıştır. Ayrışma sonucunda lav, tuf ve aglomeralar kırmızı, kirli sarı ve kirli beyaz renklerde kile dönüşmüştür. Granit türü kayaçlarda ise arenalar oluşmuştur [57].

Bölgede yapılan çalışmalar, çatlak doğrultularının genelde KD-GB, KB-GD, K-G ve D-B olduğunu ve eğimlerinin ise 0-90° arasında değiştiiğini göstermiştir. Gerek atlak ve gerekse tabaka doğrultu ve eğimlerinden yapılan analizler, bölgeyi etkileyen en büyük kuvvetin genelde K-G doğrultusunda olduğunu göstermiştir. Bu kuvvetin, yörelere göre KB-GD ya da KD-GB doğrultusuna dönüştüğü, yöresel çalışmalarda ortaya konmuştur [57].

1.8.7.3 Faylar

Bölgenin sık ve gür bitki örtüsü ile kaplı olması fayların da saptanmasını, izlenmesini zorlaştırmakta ve çok zaman imkansız kılmaktadır. Ancak yol yarmalarında, taş ve maden ocaklarında yada çıplak sert ve yamaçlarda izlenebilmektedir. Faylar çoğunlukla eğim yada verev atımlı normal ve ters faylardır. Bölgede Kara Deniz' e dik ve dike yakın olarak erişen pekçok akarsu vadisinin faylarla ilgili olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, denize paralel basamaklı faylar, pontidlerin denize doğru alçalmasına neden olmuştur. Bu tür fayların en önemlisi Trabzon' un güney ve güney batısında görülen fay bölgesidir (Şekil 1.34). Yapılan çalışmalardan bölgedeki fayların KD-GB, KB-GD, D-B ve yer yer de K-G doğrultusunda olduğu anlaşılmaktadır [57].



Şekil 1.34. Trabzon ili ve yakın çevresi fay haritası [137]

1.8.7.4 Kıvrımlar

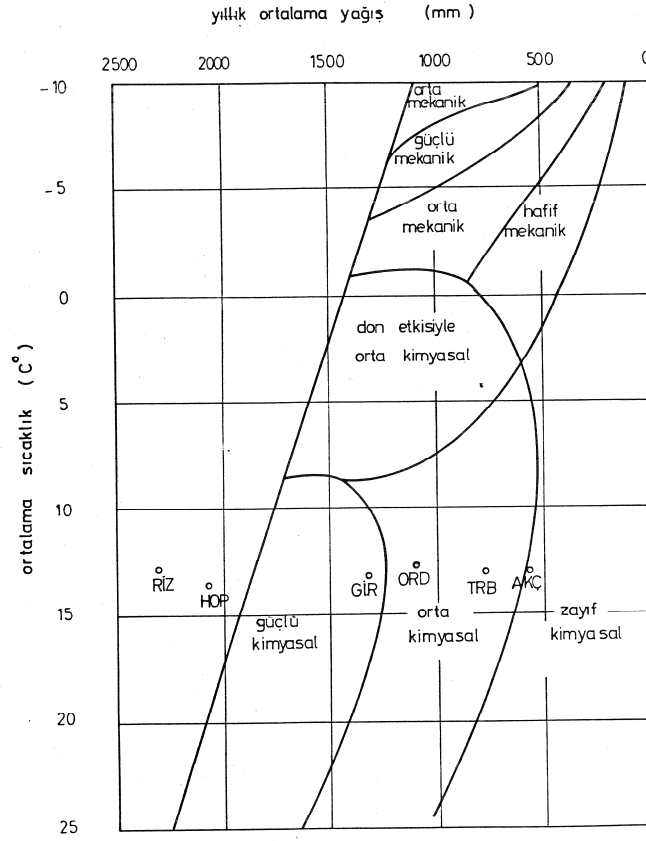
Pontid tektonik birliğinin doğu pontid kuzey zonunun kuzeyinde yer alan çalışma alanı içinde, büyük ölçekte kıvrım görülmez. Yaklaşık K-G doğrultusundaki en büyük kuvvet etkisiyle, bu kuvvete dik, D-B doğrultusunda simetrik ve asimetrik kıvrımlar oluşmuştur. Deformasyon kuvvetlerinin yöresel değişimine paralel olarak, kıvrım eksen doğrultuları da değişiklik göstermektedir [57].

1.8.8 Çalışma alanı toprak oluşumu

Bölge topraklarının büyük bir bölümü şu üç biçimde oluşmuştur;

1.8.8.1 Yerde oluşmuş killer

Ana kayaçların büyük bir bölümünün denizaltı ve üstü pskrkleri ile yüzey kayaçları olduğu Doğu Karadeniz Bölgesinde, iklim özelliklerinin de yardımı ile hızlı bir yıpranma-ayırşma süreci görülmektedir. Öncelikle mekanik olaylar sonucu parçalanan ana kayaç, daha sonra evre koşullarının etkisiyle toprağa dönüşmektedir. Bu dönüşüm sırasında kimyasal ayırşma etkin olmaktadır. Kimyasal ayırşmada önemli etkenler ise yağış, buharlaşma, ortamın sıcaklık rejimi, yeraltı suyu hareketi, bitki örtüsü, anakaya türü, topografya ve zaman olarak özetlenebilir. Ayırşmanın optimum koşullarda sürebilmesi için en önemli iki etken su ve sıcaklıktır. şekil 1.35 de bu etkenlerin ayırşmanın türü ve hızına etkisi gösterilmiştir [57].

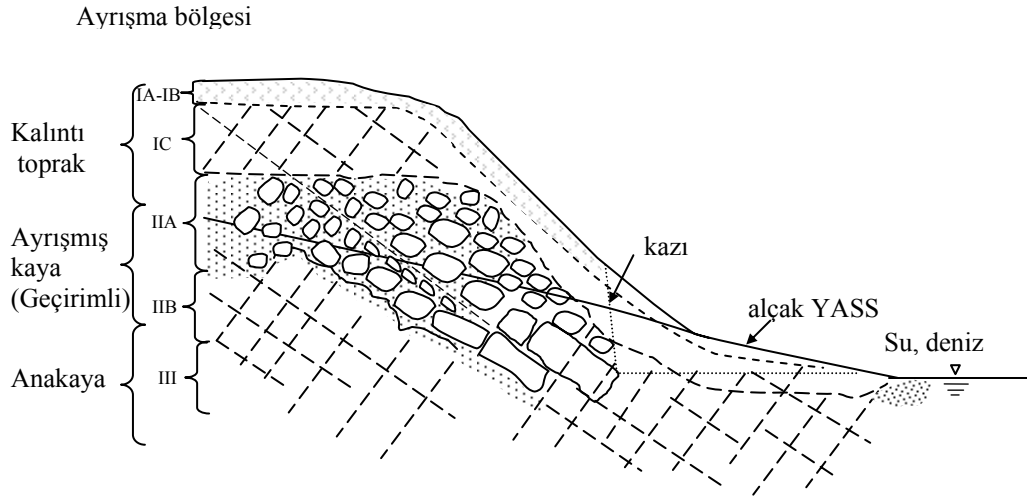


Şekil 1.35. Yağış – sıcaklık – ayrışma grafiği [57]

Yüksek yağışın kimyasal ayrışmaya hız verebilmesi için suyun zemine rahatlıkla sızabilmesi ve bu ortamda rahatça hareket etmesi gereklidir. Bu da anakayacın başta tektonik hareketler olmak üzere, fiziksel/mekanik olaylar sonucu parçalanması ile mümkün olur. Su bu çatlaklar vasıtasıyla kayalarla yakın bir ilişkiye gireceğinden ayrışma büyük hız kazanacaktır. Yeraltı suyunun statik oluşu ayrışma hızını düşürür. Mevsimsel ve yıllık değişiklikler genellikle anakayaç profilinin güve yeniği bir biçime dönüşmesini sağlamaktadır. Yeraltı suyunun CO₂ nin erimesiyle karbonik asit veya başka asitler içermesi ayrışmayı hızlandıran bir başka etkidir. Yıkanma tek yönlü bir süreç olup, yağışlı mevsimde sağlanan ayrışma kuru mevsimde de devam etmektedir [57].

Kimyasal ayrışmanın ürünü kildir. Granitlerde görülen kumlaşım (arenalaşma) da ayrışmanın özel bir ürünüdür [57].

Rezidüel zeminler öncelikle tüfler, andezit-dasit, aglomera ve yastık lavların ayrışmasıyla 20 cm- 15 m. kalınlığa erişmiştir. Şekil 3.16 da rezidüel yamaçlarda ayrışma süreci gösterilmiştir. Trabzon ilindeki tipik zeminlerin ayrışmalarına örnek zemin kesitlerine ait fotoğraflar Şekil 1.37 ve Şekil 1.38 de gösterilmiştir.



Şekil 1.36. Rezidüel yamaçlarda ayrışma süreci [57].



Şekil 1.37. Trabzon ili yamaçları tipik ayrışma kesiti



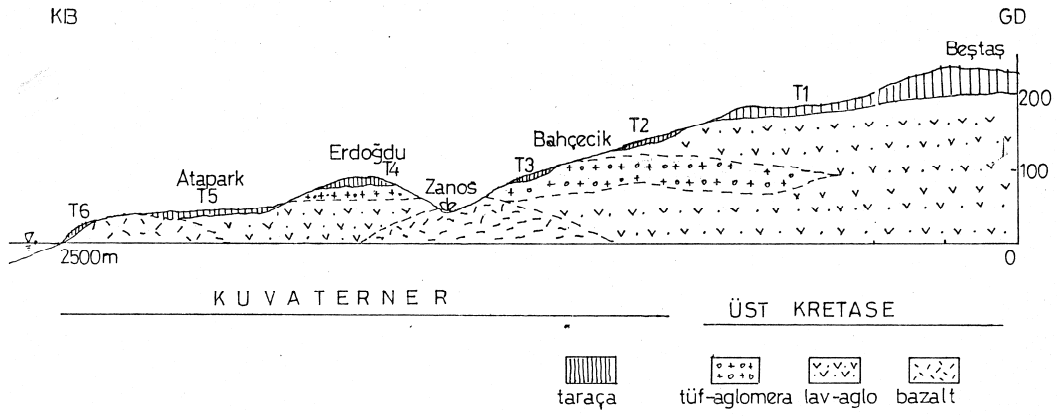
Şekil 1.38. Trabzon ili yamaçları tipik ayrışma kesiti

1.8.8.2 Kütle hareketleri sonucu kısa mesafelere taşınmış rezidüel zeminler

Rezidüel zeminler, faylanma ve heyelanlar sonucu deniz ve akarsu yönünde hareket etmektedir. Bunların kısa mesafelere hareketi ve birikmesi sonucu plastik kil depolar oluşabilmektedir [57].

1.8.8.3 Deniz ve akarsu taraçalarına çökelmiş topraklar

Günümüzde inşaat faaliyetlerinin sürdürüldüğü taraça düzeyleri oldukça dengesiz killenle kaplıdır. Bunların kökeni tam açıklanamamakla birlikte deniz içine çökelmiş olmaları daha yakın bir olasılık olarak görülmektedir. Kalınlıklar 2-10 m. arası değişmektedir (Şekil 1.39) [57].



Şekil 1.39. Trabzon ilinde tipik taraça oluşumları [57]

1.8.9 Arazi Kullanımı

Trabzon ilinin 184.815,2 hektarı ormanlık saha, 110.092 hektarı tarım arazisi, 112.106 hektarı çayır, mera ve 54.015 hektarı ise ürün getirmeyen alanlardır (Şekil 1.40).

Trabzon ili orman varlığı, Türkiye orman varlığının % 2.6'sını teşkil eder. Toplam ormanlık alan 184.815,2 ha dır. Trabzon ilinde, deniz kenarında 10 m rakımdan başlamak üzere 2000 m yüksekliğe kadar değişik orman ağaçları; 3000 m. ye kadar da değişik tür bitkiler bulunmaktadır. Üst kesimlerde; Sarıçam, Gökmar, Ladin, Kayın, Orta kesimlerde; Kayın, Meşe, Gürgen, Kestane, Akaağaç, Karaağaç, Hus, İhlamur, Kavak sahil ve sahile yakın kesimlerde Sarıçam, Kayın, Gürgen vs. ağaç türlerini de görmek mümkündür. Orman Gülü, Karayemiş, Ceviz, Kocayemiş, Ayı Üzüümü, Yabani Fındık, Böğürtlen, Orman Sarmaşığı, Eğretli, Gıcır Dikeni, Isırgan, Yemişen, Yabani Çilek ve muhtelif otları ve diğer flora ve bitki türleridir [128].

Trabzon, Sürmene ve Maçka orman işletmelerinde ladinin hakim olduğu (Trabzon-Sürmene % 10-14, Maçka % 40) göknarın %7 oranında (Sürmene) katıldığı, ibreli ormanların Trabzon ve Sürmene'de %15-21, Maçka' da % 43 oranında bulunduğu görülmektedir. Buna karşılık saf ladin ormanları %1,2-7,4 arasındadır. Yapraklı ormanlar Trabzon ve Sürmene işletmelerinde % 61,5-63,9 oranında, Maçka işletmesinde %36,8 oranındadır. Yapraklı karışık ormanlarda kayın en önemli türdür. Tarım arazisinin % 49 unda da bölgenin önemli geçim kaynağı fındık ve % 10 unda çay üretilmektedir. Hububat, mısır ve fasulye ekimine % 28,87, tütün ve patates üretimine % 9,74 ve sebze-yem bitkileri üretimine % 2,30' luk tarım arazisi ayrılmaktadır [128].

1.8.10 Çalışma alanı iklimi

1.8.10.1 Coğrafi yapı – iklim ilişkisi

Coğrafi anlamda Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz bölümünde, genel olarak Rize Yöresi, Doğu Karadeniz ve Karadeniz ardı olmak üzere üç ayrı iklim görülmektedir. Dar bir alanda ortaya çıkan bu farklılığa, bölgenin topoğrafik yapısı, dolayısıyla dağlık alanlarının çokluğu ve konumu neden olmaktadır. Bölgede kıyıya paralel uzanan Doğu Karadeniz Dağlarının denize bakan yamaçlarında her mevsim

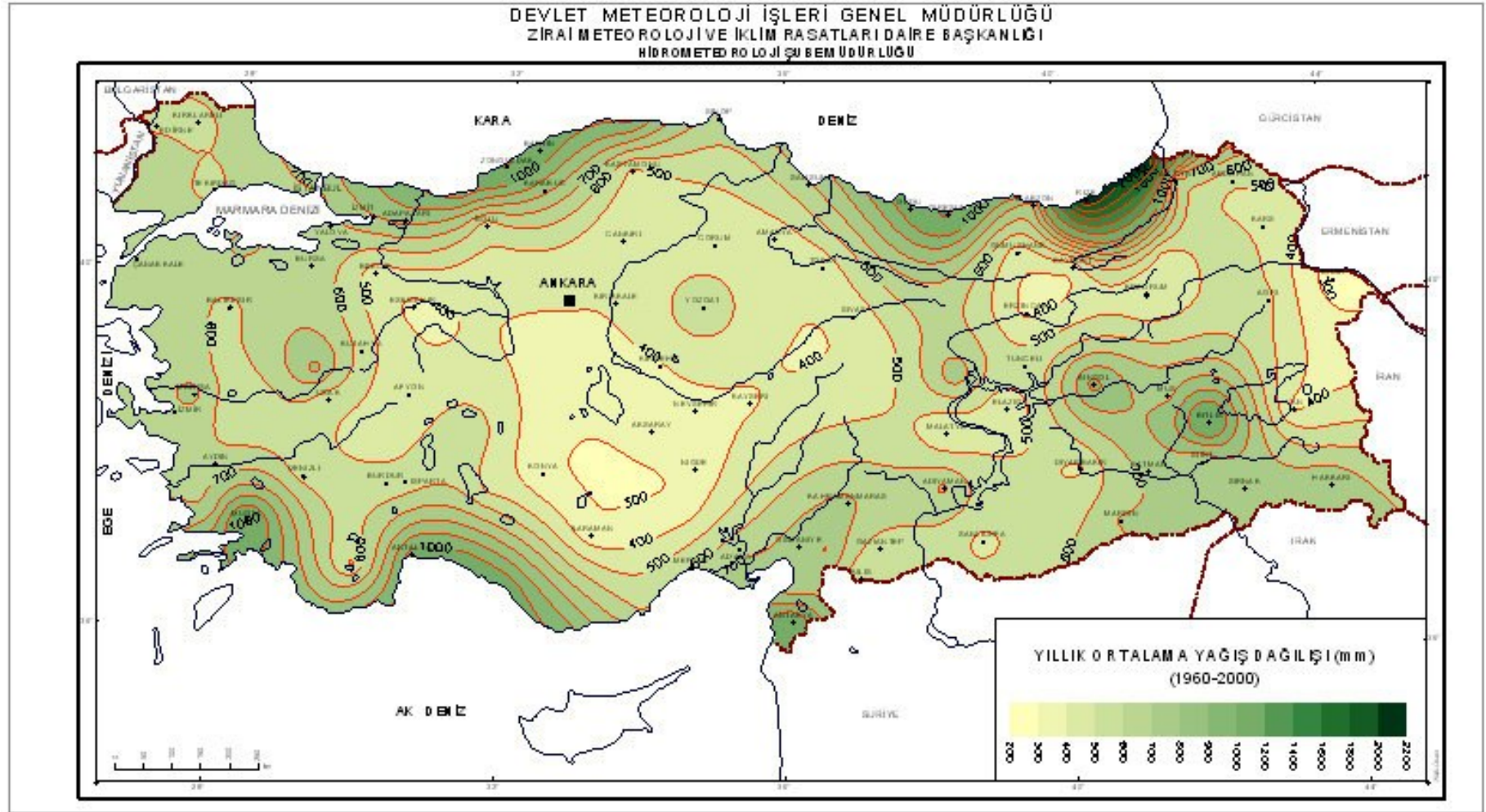
ılık ve yağışlı bir iklim görülürken, dağların içe bakan kesimlerinde ise kara iklimine geçiş olan Karadeniz ardı iklimi hüküm sürmektedir. Türkiye üzerinde etkili olan Basra ve İzlanda alçak basınç sistemleri ile Azor ve Sibirya yüksek basınç sistemlerinin hepsi Doğu Karadeniz bölümünde de etkili olmaktadır. Türkiye, Ortadoğu ile beraber genelde kış mevsiminde, İzlanda alçak basınç sistemi ile Sibirya yüksek basınç sistemi etkisinde, yaz mevsiminde ise, Azor yüksek basınç sistemi ile Basra alçak basınç sistemi etkisi altında kalmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'ye yağış bırakabilen hava kütleleri genellikle kuzey ve batı yönlerinden gelmekte olup, bu hava kütleleri aynı doğrultuda, hareketlerine devam ederek Türkiye'yi terk etmektedirler [138].

Bölge ikliminde farklılık ve çeşitliliğe neden olan dağlar, doğu batı doğrultusunda uzanmakta ve sahil şeridi ile iç kesimleri birbirinden ayıran doğal bir engel görevini görmektedir. Dağlar sahilden itibaren aniden yükselmekte ve çok kısa denilebilecek bir mesafede 2000 m. kotuna ulaşmaktadır. Bölgenin iç kesimlerindeki yükselti ise yer yer 3500 m. yi bulmaktadır. Bölgedeki akarsu ve dereler bu yüksek dağlardan kaynağını alarak, genellikle güney - kuzey uzanımındaki vadilerle Karadenize ulaşmaktadır. Vadiler kıyıdan itibaren 5 - 6 km. lik kısımda az meyilli bir yapıya sahipken, güneye doğru gidildikçe daralmakta ve yükselmektedir. Yamaç eğimleri ortalama 60° civarında olup, bu değer, orta kesimlerde 70° - 80° yi bulmaktadır. Bu yapı bölgenin iklimini de doğrudan etkilemekte, yükseltinin kısa mesafede 0 m.'den 2000' m. 1er seviyesine çıkması nedeniyle, kuzeyden gelen hava akımları kolayca yükselmekte ve bunun sonucunda da yağış bırakmaktadır. Bu mekanizmaya kararsız hava şartlarının da katkı yapması, bölgede en etkili yağış olan orografik yağışın daha da etkili olmasını sağlamaktadır. Bölgede gözlenen maksimum yağışlar, orografik yükselme nedeniyle yoğunlaşmanın olduğu kuzeye bakan dağ yamaçlarında ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, güneyden gelen, nem alma kapasitesi yüksek sıcak hava akımları soğuk hava üzerinde yükselerek aldığı bol nemi yağışa dönüştürmektedir. Diğer yandan sahilden itibaren iç kısımlara gidildikçe, Karadeniz sıra dağlarının deniz yönünden gelen bulutlara bir duvar gibi engel olması sonucunda, yağış miktarı azalmakta, bu nedenle sahil kesimlerde yağışın mevsimlere dağılışı oldukça düzenli iken, iç kesimlerde yaz ayları kurak geçmektedir [138].

Havzadaki mevcut istasyonlarda ölçülen verilere göre, 500 m. yüksekliğe kadar olan alanlarda sadece Nisan ve Mayıs aylarında yağış yoktur. 500 - 1800 m. yükseklikleri arasındaki kesim ise kıyı kesimlerine nazaran daha az yağış almaktadır. Karadeniz ardı kesimlerde ise yağışlar ilkbahar ve sonbahar aylarında rastlanmakta ancak kıyı kesimlerine göre çok daha az yağmur yağışı gözlenmektedir [138].

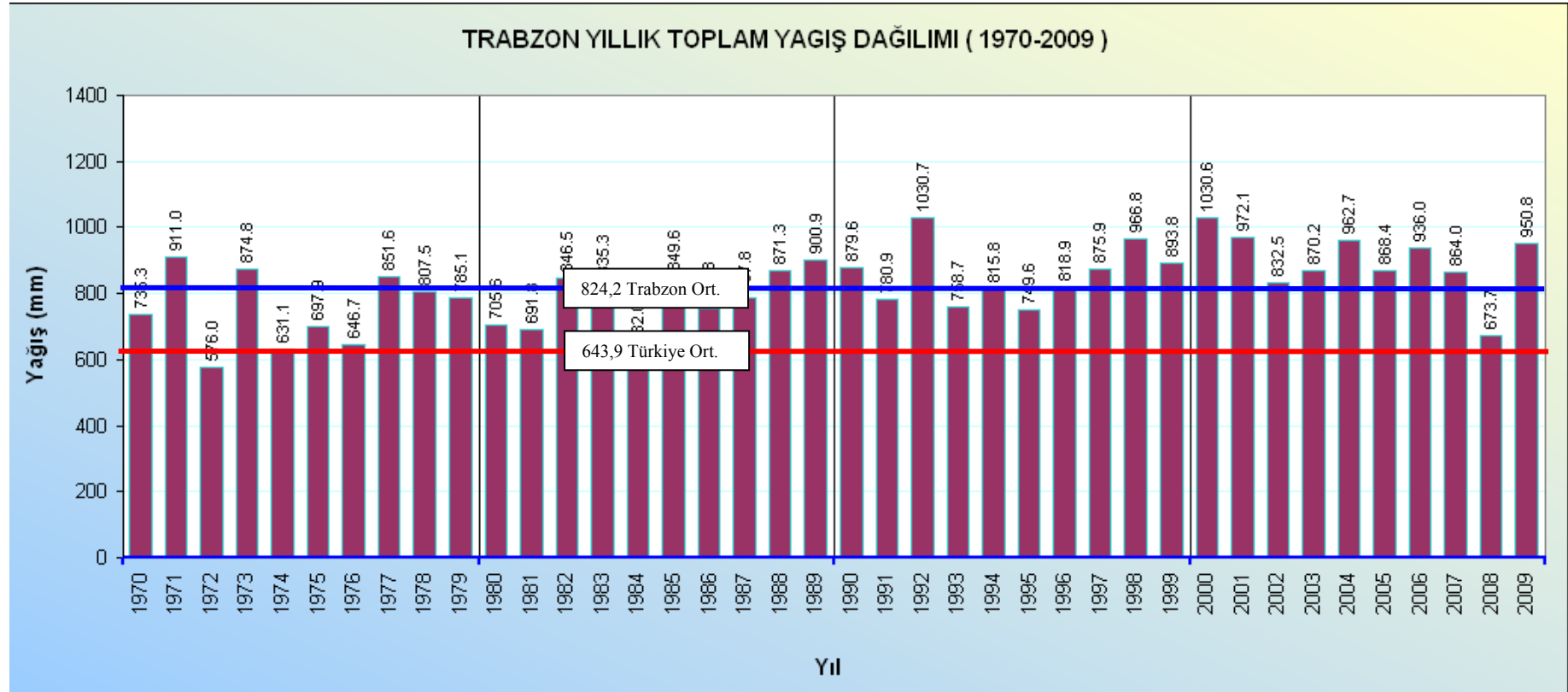
1.8.11 Trabzon ili yağışları

Trabzon ili, Türkiyenin en çok yağış alan Doğu Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. (Şekil 1.41).



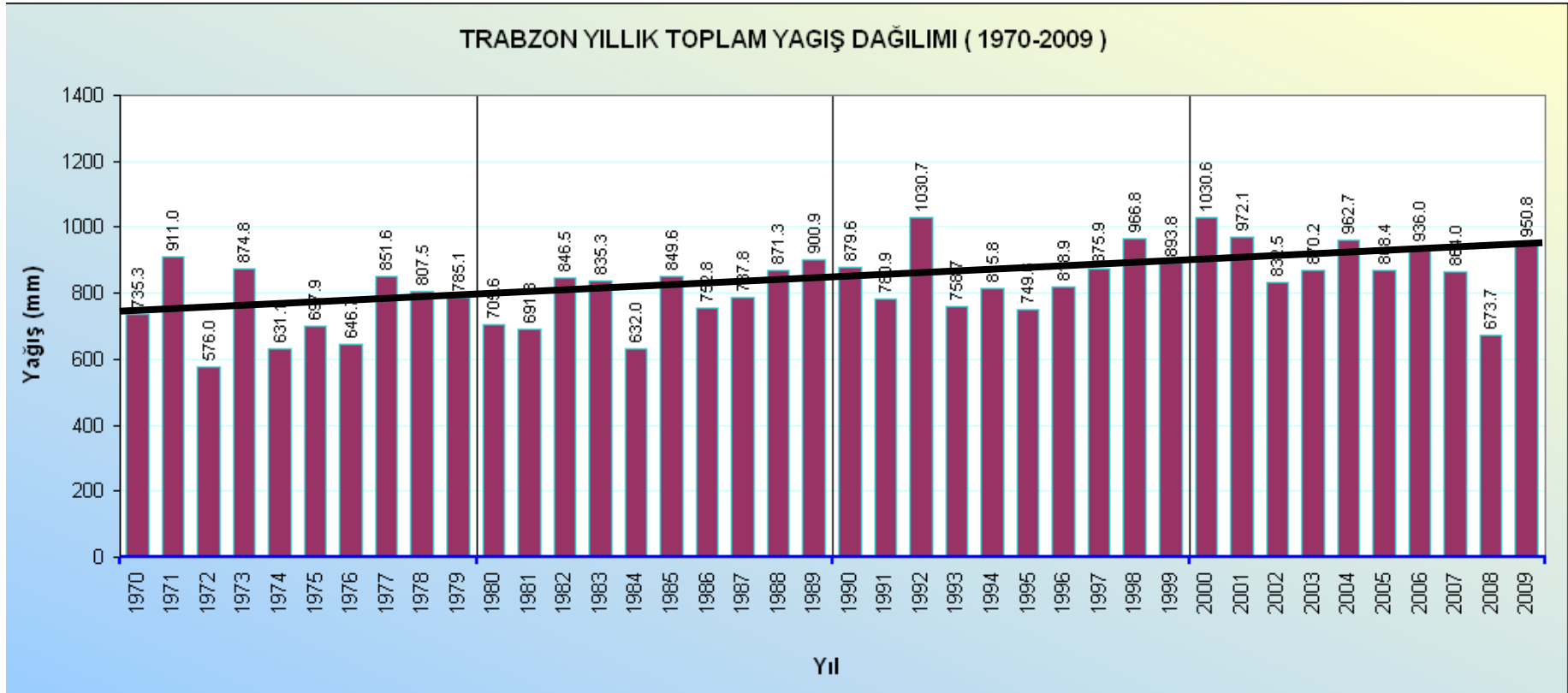
Şekil 1.41. Türkiye yıllık ortalama yağış haritası [139]

Türkiye' nin ortalama yıllık toplam yağış miktarı 643,9 mm iken Trabzon ili ortalama yıllık yağış miktarı 824,2 mm dir (Şekil 1.42) [139].



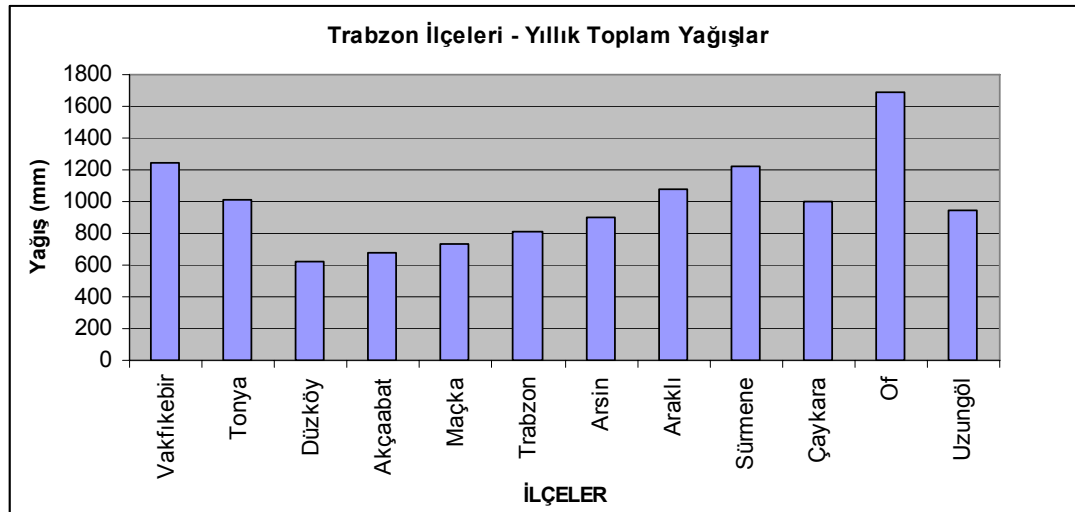
Şekil 1.42. Trabzon yıllık toplam yağışları ve ortalaması (1970-2009) [140]

Ancak son 7 yılın yağış verileri incelendiğinde yıllık ortalama yağışın 950 mm ye yaklaştığı ve yağış trendinin yükselişe geçtiği tespit edilmiştir (Şekil 1.43) [140].



Şekil 1.43. Trabzon yıllık toplam yağışları ve trendi (1970-2009) [140]

İlçeler bazında incelendiğinde ise yıllık yağış toplamlarının 1685,1 mm ile en fazla Of' ta ve 620,5 ile en az yağışın Düzköy'de olduğu görülmektedir (şekil 1.44) [141].



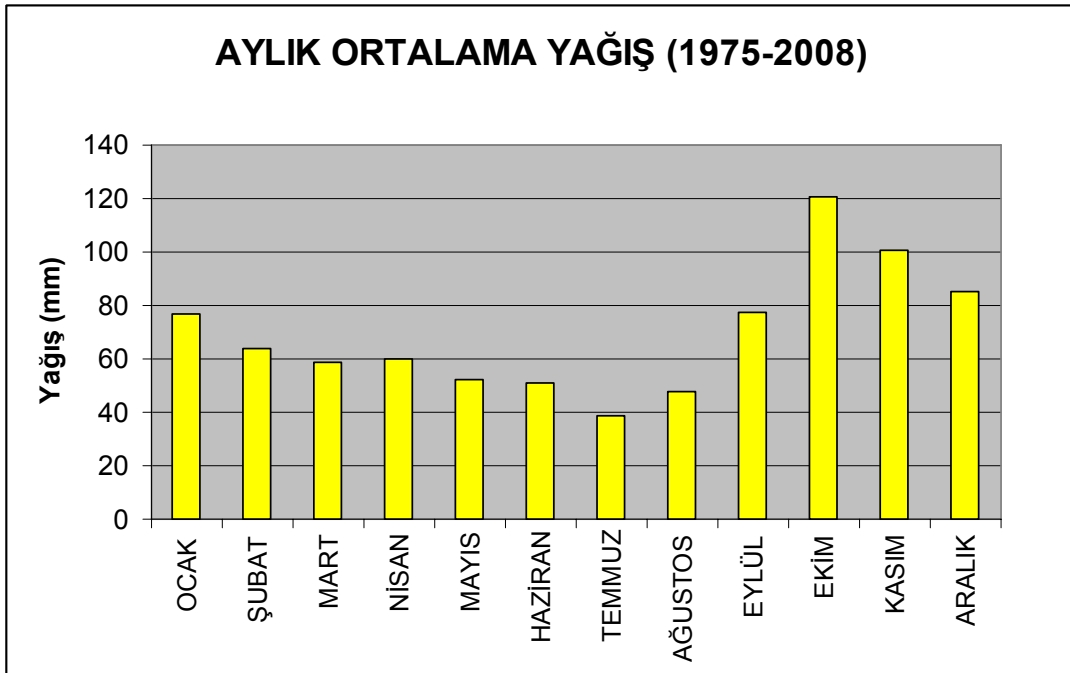
Şekil 1.44. Trabzon ilçeleri – yıllık toplam yağışlar [141]

Yağışların yıl içerisindeki dağılımları incelendiğinde yağışların mevsimler bazında düzenli bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir (Tablo 1.11).

Tablo 1.11. Trabzon ilçeleri yağışlarının mevsimsel dağılımı [141]

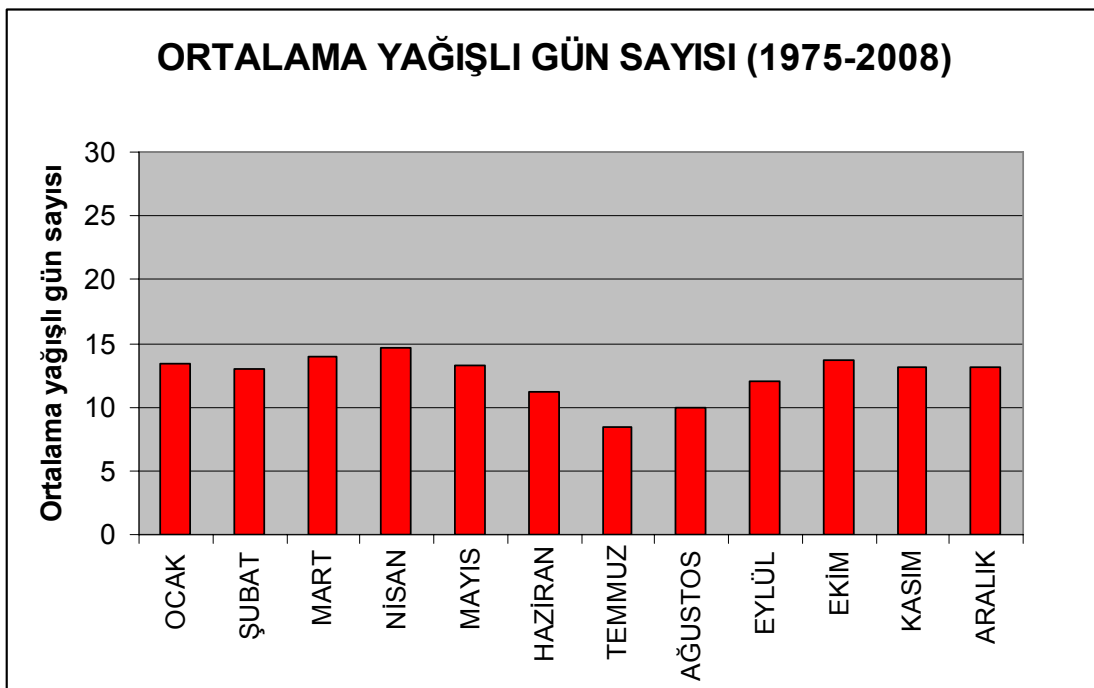
	Kış %	İlkbahar %	Yaz %	Sonbahar %
Of	27	16	19	37
Meydan	29	20	16	35
Çaykara	25	23	24	28
Uzungöl	23	27	24	26

Aylar bazında ise yağışlar en çok Ekim ve en az Temmuz aylarında görülmektedir (Şekil 1.45).



Şekil 1.45. Trabzon aylık ortalama yağış dağılımı [139]

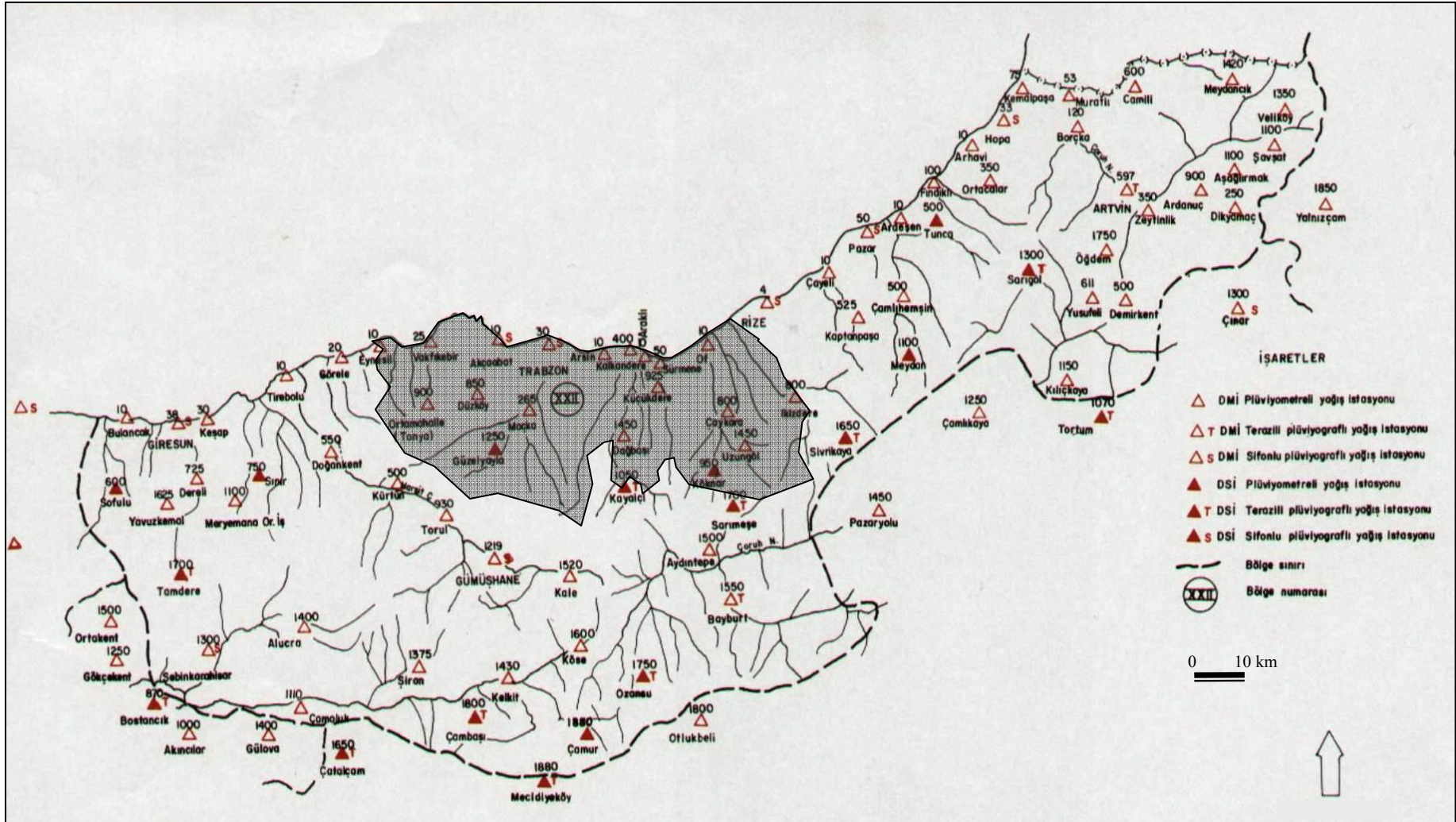
Trabzon ilindeki yağışlı gün sayısı aylar bazında düzenli bir dağılıma sahip olup, yıl bazında toplamda 150 gün yağışlıdır. Yani yıl boyunca her 2,4 günün 1 günü yağışlı geçmektedir.



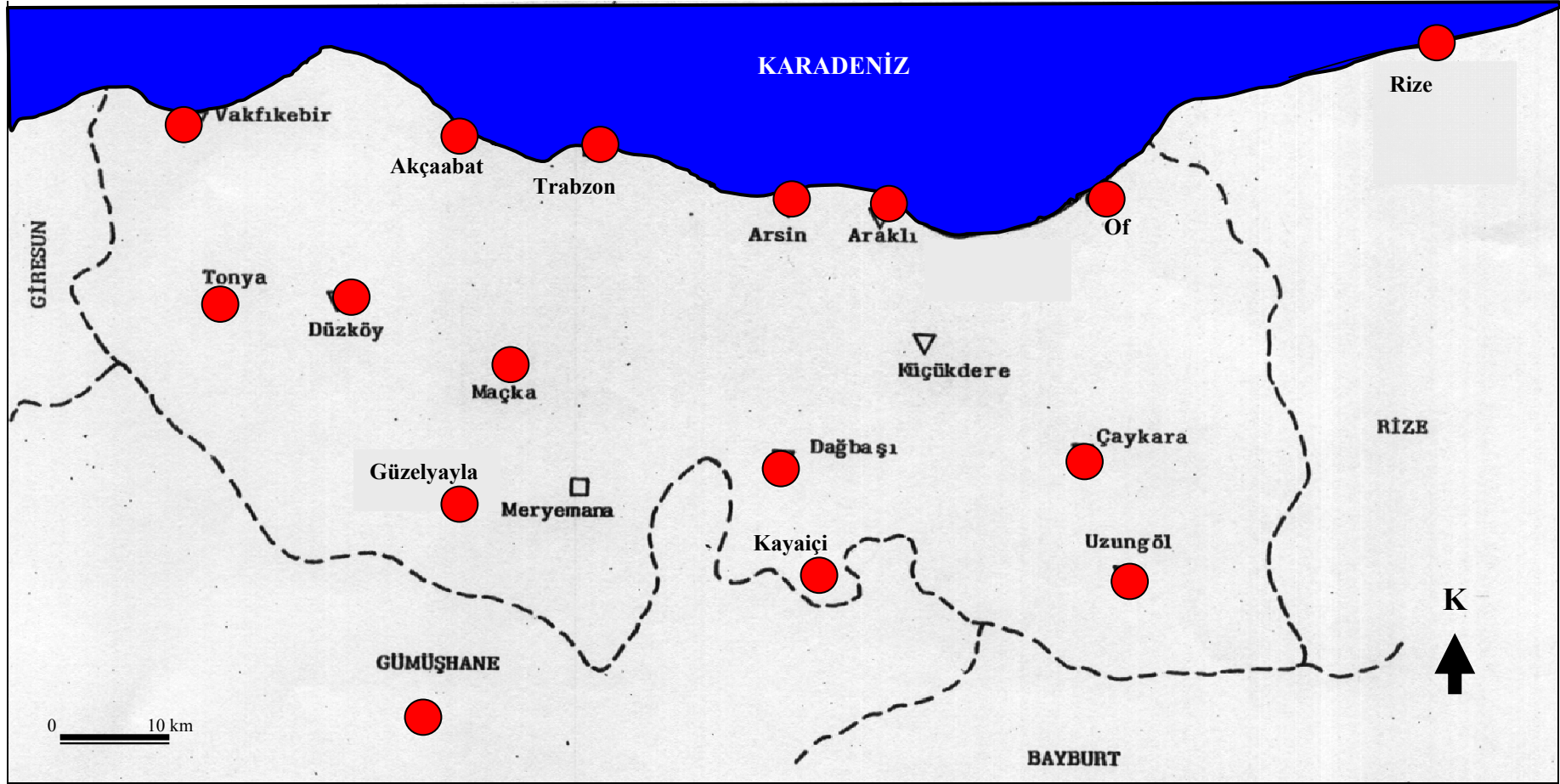
Şekil 1.46. Trabzon ili ortalama yağışlı gün sayısı [139]

1.8.12. Yağış İstasyonları

Tez çalışması kapsamında Trabzon ili heyelanlarını etkileyen yağışları temsil eden 15 adedi Devlet Meteoroloji İşleri (D.M.İ.)' ye, 2 adedi Devlet Su İşleri (D.S.İ.)' ye ait olmak üzere 17 adet yağış istasyonundan yararlanılmıştır. Bu istasyonların Doğu karadeniz havzasındaki yeri Şekil 1.47 de, Trabzon ili içerisindeki yerleri ise Şekil 1.48 de gösterilmiştir. Tablo 1.12 de istasyonlar hakkında özet bilgi bulunmaktadır.



Şekil 1.47. Doğu karadeniz bölgesi ve Trabzon ili D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyonları [142]



Şekil 1.48. Trabzon ili ve yakın çevresi D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyonları [139]

Tablo 1.12. Trabzon ili ve yakın çevresi D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyon bilgileri [139]

Yer	Kurum	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Trabzon	D.M.İ.	17037	41.00	39.72	30
Akçaabat	D.M.İ.	17626	41.01	39.35	3
Vakfikebir	D.M.İ.	1302	41.03	39.17	25
Araklı	D.M.İ.	1472	40.56	40.04	10
Maçka	D.M.İ.	1626	40.48	39.37	265
Düzköy	D.M.İ.	1624	40.52	39.26	850
Arsin	D.M.İ.	1471	40.57	39.56	10
Giresun	D.M.İ.	17034	40.55	38.24	38
Çaykara	D.M.İ.	1801	40.45	40.19	800
Uzungöl	D.M.İ.	1962	40.37	40.17	1450
Of	D.M.İ.	1475	40.57	40.17	10
Tonya	D.M.İ.	1623	40.53	39.18	900
Dağbaşı	D.M.İ.	1787	40.44	39.55	1450
Gümüşhane	D.M.İ.	17088	40.28.	39.28	1219
Rize	D.M.İ.	17040	41.03	40.52	4
Kayaiçi	D.S.İ.	D.S.İ.	40.40	39.54	1050
Güzelyayla	D.S.İ.	D.S.İ.	40.50	39.32	1250

Son yıllarda yağış istasyonları çeşitli sebeplerle kapatılmaya başlanmış olup bu durum ileriki yıllarda yapılacak heyelan – yağış eşiği analizleri için olumsuzluk yaratacaktır.

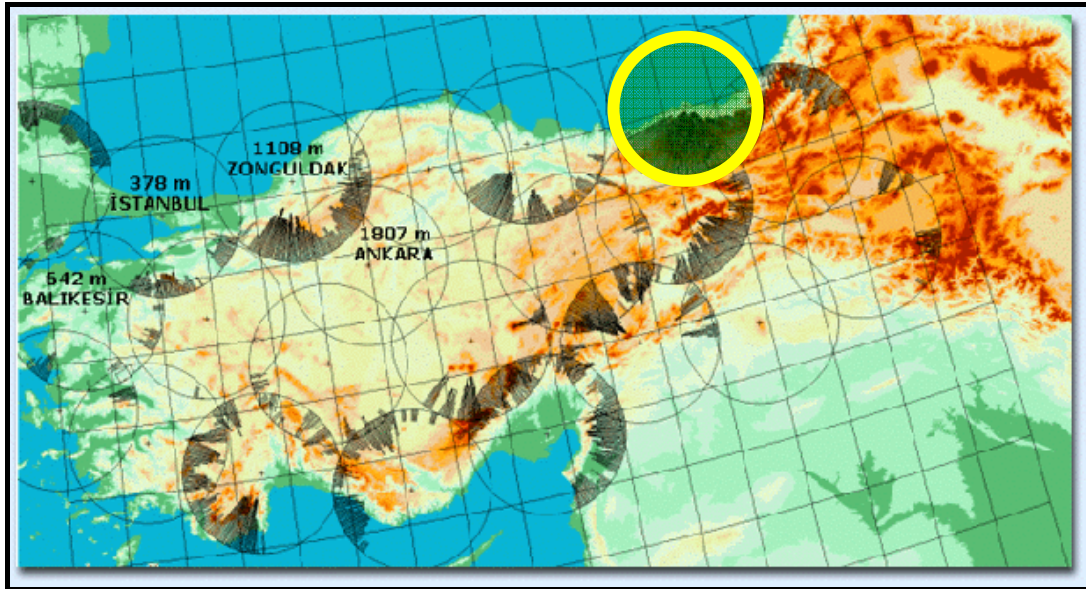
1.8.13 Hava tahmini

Bölgedeki hava tahminleri yer gözlem istasyonları ve uydu teknolojisi vasıtası ile yapılmaktadır. Ancak Türkiye’ de halen 4 adet (İstanbul, Ankara, Balıkesir, Zonguldak) meteorolojik radar istasyonu bulunmakta olup ve 2011 yılında Trabzon ili Akçaabat İlçesi Mersin köyünde de bir adet istasyon kurulacaktır (Şekil 1.49). Bu sayede oluşabilecek yağışlar hakkında önceden ayrıntılı ve güvenilir veriler ve tahminler elde edilebilecektir.

Doppler prensibi ile çalışacak olan bu radar havadaki su damlacıklarından yansıyan veriyi algılama kapasitesine sahiptir. Ordu–Sarp arasındaki sahilde, 200 kilometrelik alanda etkili olacaktır (Şekil 1.50). Yağışın miktarı, süresi, şiddeti, geçiş hızı ve güzergahı hakkında önceden detaylı bilgi verecektir.



Şekil 1.49. Planlanan Trabzon meteorolojik radar istasyonu [60]



Şekil 1.50. Mevcut ve planlanan meteorolojik radar istasyonları [139]

1.9. Çalışma Alanına Yönelik Önceki Çalışmalar

Trabzon, Ülkemizin en çok heyelan afeti meydana gelen ili olması itibariyle çeşitli bilim dallarından (Geoteknik, Jeoloji, Jeodezi, Orman, Çevre, Hidroloji, Jeofizik vb.) araştırmacılarca çalışmalara konu olmuştur. Trabzon ili için 1980 yılı öncesi yapılan çalışmalar bölge jeolojisini belirleme üzerine ağırlık kazanırken, daha sonra yapılan çalışmalarda heyelan inceleme ve değerlendirmeleri üzerinde durulmuştur. Bu çalışmaların bazıları Trabzon’ da meydana gelen tek bir heyelan olayını araştırmış, bazıları Trabzon ili heyelanlarını bir bütün olarak değerlendirmiş, bazılarında ise Doğu Karadeniz Bölgesi heyelanlarını Trabzon ilini de kapsayacak şekilde geniş ölçekli olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanına yönelik yapılan önceki çalışmalar, münferit heyelanlardan geniş kapsamlı değerlendirmelere doğru aşağıda açıklanmıştır.

Bulut [143], Akçaabat İlçesi Sera Köyünde 1950 yılında meydana gelen heyelanı incelemiştir. Bu heyelanda kayan $5.000.000 \text{ m}^3$ malzeme, Sera deresi vadisini tıkayarak yüzey alanı 200.000 m^2 ve ortalama derinliği 20 m olan bir gölün oluşmasına neden olmuştur. Söz konusu heyelanın düzlemsel kayma tipinde

meydana geldiği ve süreksizlikler, kaynak suları, ayrışma, çatlak suyu ve akarsu etkisi ile meydana geldiği belirlenmiştir.

Tarhan [144], Trabzon Merkez İnönü mahallesinde yerleşim yerinde inşaat çalışmaları sırasında meydana gelen ve yapıların hasar görmesine neden olan heyelanı incelemiştir. Söz konusu heyelan, inşaat çalışmaları için açılan temel çukurunun, ayrıca yağış ve drenaj sularının etkisi ile aktif hale gelmiştir.

Ataoğlu [145], Trabzon Maçka Bağışlı Köyü heyelanını incelemiş, Kahveleryanı yamacının, yapılan şev stabilite analizlerine göre suyun artması sonucu duraysız hale geldiğini tespit etmiştir.

Bayrak [146], Trabzon Kutlugün heyelanını incelemiş ve heyelanın nedenleri ile sosyal ve ekonomik sonuçlarını ortaya koymuştur. Oluşan heyelanın hazırlayıcı nedeni olarak şev topuğunda yol açılması, tetikleyici neden olarak ise aşırı yağışlar gösterilmiştir.

Trabzon ilini kapsayacak şekilde yapılan çalışmalardan MTA [137] tarafından hazırlanan “Trabzon ilinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynaklar” kitabında Trabzon ilinin Jeolojisi, Jeomorfolojisi, Hidrojeolojisi, Su ve Çevre Kimyası, Mühendislik Jeolojisi, Depremsellik, Arazi Kullanımı ve Doğal Kaynaklar incelenmiştir. Çalışma kapsamında Trabzon ili heyelanlarının nedenleri; morfolojik durum, yağışlar, kazılar ve akarsu oymaları, kayaçların ayrışması, bitki örtüsü değişikliği, zemin özellikleri ve diğer nedenler (kaynaklar, atık sular, yükleme vb.) şeklinde belirlenmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde heyelanların önlenmesi için öncelikle morfoloji göz önüne alınarak yer altı ve yerüstü suyu drenajı yapılması tavsiye edilmektedir. Rezidüel zeminlerde, seki ve yamaç molozlarında yapılacak kazılarda ise kazı şevlerine stabilite analiz sonuçlarına göre eğim ve yükseklik verilmesi ve gerekmesi halinde istinat duvarı, çivileme, ankraş, kazık vb. yapılması önerilmektedir.

Altınkaynak [50] ve Demir [51, 52]' in yaptığı çalışmalarda heyelanlar, istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Söz konusu heyelanlar meydana geliş sayıları, afete maruz kişi, konut sayıları ve meydana geldiği jeolojik birimler açısından değerlendirilmiştir. Ancak yapılan bu çalışmalar ağırlıklı olarak Afet İşleri Genel Müdürlüğünün verilerine dayanmakta olup, genel hayata etkililiği bulunmayan heyelanlar dikkate alınmamıştır.

Bayrak [127], çalışmasında 2005-2008 yılları arasında Trabzon ilinde meydana gelen heyelan sayılarını yağışlar ile ilişkilendirmiştir.

Reis [147], doktora tezi çalışması kapsamında Trabzon ilinin litolojisi, hidroloji ve yol kıstalarını göz önüne alarak trabzon ili heyelan risk haritasını hazırlamıştır. Bu heyelan risk haritası, tezimizin araştırma ve bulgular bölümünde tez çalışmamız ile ilişkilendirilmiştir.

Trabzon ili heyelanlarını da kapsayan en detaylı çalışmalar bir araştırma projesi kapsamında Önalp [56, 57] başkanlığında yapılmıştır. Bu projelerde tüm Doğu Karadeniz heyelanları incelemiştir. Önalp [56], MAG-441 projesi kapsamında 36 adet heyelan incelenmiş olup bunlardan 15 adedi Trabzon ilinde meydana gelmiştir. İncelenen heyelanların %15 i kaya heyelanı olup, % 72 si kayma ve % 13 ü akma türü olarak tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile oluşan bu heyelanlar münferit olarak ele alınmış heyelanların boyutları ve tipi belirlenmiştir. Oluşan heyelanların nedenleri gözlemsel olarak belirlenmiştir. Heyelan nedenleri olarak kazılar ve ağır yağışlar en önemli etkenler olarak gösterilmiştir. Ayrıca bazı heyelan sahalarından alınan numuneler için laboratuvar deneyleri yapılmış ve 5 adet heyelan için stabilite analizi yapılmıştır. Bu analizlerden sadece bir tanesi Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlardandır.

Önalp [57], MAG-588 projesi kapsamında 93 adet heyelan incelenmiş olup bunlardan 36 adedi Trabzon ilinde meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde bölge heyelanları için çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu çözüm önerileri; kazı-

dolgu, su etkisi kontrolü, yapısal destek ve özel yöntemler (erken uyarı, enjeksiyon, ağaçlandırma vb) olarak gruplandırılmıştır.

Tarhan [55], çalışmasında Doğu Karadeniz heyelanlarını bir bütün halinde değerlendirmiştir. Heyelanların yağış ile ilgisi konusunda; zeminlerde doğal su içeriğinin plastik limite ulaşması kaymalara, likit limite ulaşması ise akmalara neden olduğu şeklinde değerlendirme yapmıştır. Ayrıca zemine sızan suyun ağırlığı da heyelanların meydana gelmesinde etkili olduğunu belirtmiştir. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmede heyelanların % 70'inin su (yağış)' a bağlı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bitki örtüsü değişikliğinin heyelan oluşumundaki etkisi açıklanmıştır.

Ömerbeyoğlu [148], Doğu Karadeniz heyelanları ile karayolları arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Bu çalışmaya göre; bölgede aşırı eğimler, jeolojik yapı nedeniyle yer altı su seviyesinin oluşumunu önlenmektedir. Yamaçlarda duraylılığın kaybında etkili olan su basıncının statik ve sürekli olmayıp, ani ve geçici bir etki yapmaktadır. Yağmur suyu yamaç üzerinden ortama sızarak birikmekte, kütle hareketinin oluşumundan sonra ise etkisini tamamen yitirmektedir.

Önalp [58], bu çalışmasında Doğu Karadeniz heyelanlarının nedenleri, analizi ve kontrolü üzerinde durmuş ve özellikle ayrışma ve yıpranmaların heyelanlar üzerinde önemli etkene neden olduğunu belirtmiştir.

MTA [62], Trabzon ilinde meydana gelmiş olan heyelanların tipleri ve mekansal dağılımlarını gösteren envanter haritaları hazırlanmıştır. Bu kapsamda önce hava fotoğrafları yorumlanarak belirlenen heyelanlar daha sonra arazi çalışmaları ile desteklenerek 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalara işlenmiştir. Haritalar ayrıca heyelan derinliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada nispeten büyük boyutlu heyelanlar göz önüne alınmıştır.

Heyelanlar, Doğu Karadeniz de oluşturdukları zarar dolayısıyla araştırmacıların, kamu kurumları, üniversite ve sivil toplum örgütlerinin de ilgisini çekmektedir. Öyle ki, bu sebeple Trabzon ilinde, 4 adedi son 5 yıl içerisinde olmak üzere pekçok ulusal ve uluslararası heyelan konulu seminer, sempozyum vb. düzenlemiştir. Gerçekleştirilen bu toplantıların bazıları şunlardır;

1991 Türkiye 1. Heyelan Sempozyumu	- Ulusal
2006 1. Heyelan Sempozyumu (JMO)	- Ulusal
2008 Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı	- Ulusal
2010 Flood and Landslide Issues in the Black Sea Region Seminar	- Uluslararası
2011 Doğu Karadeniz Heyelan ve Taşkın Sempozyumu	- Ulusal

2010 yılından Trabzon’ da düzenlenen Karadeniz’ e Komşu Ülkelerde Heyelan ve Taşkın Olayları Semineri ile 2011 yılında yine Trabzon’ da düzenlenen Doğu Karadeniz Heyelan ve Taşkın Sempozyumunda; Özellikle Doğu Karadeniz İllerinden başlayarak heyelan – yağış eşiklerinin oluşturulması ve buna bağlı olarak heyelan erken uyarı sisteminin geliştirilmesi hususunda farklı üniversitelerden bilim adamlarınca gereklilik olduğu ifade edilmiştir.

BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOD

2.1 Yağış Eşiği Bağıntısı Elde Edilme Metodu

2.1.1 Heyelan bilgilerinin elde edilmesi

Trabzon ili heyelan - yağış eşiğinin belirlenmesi için ilk aşamada Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar ile ilgili bilgilerin toplanması gerekmiştir. Bunun için Trabzon ili heyelanları ile ilgili kayıt ve rapor tutan resmi kurumlardan ve literatürdeki kaynaklardan yararlanılması yoluna gidilmiştir. Resmi kurumlarda, meydana gelmiş heyelanlar ile ilgili bilgiler kurum formatına göre sistemli olarak düzenlenmiştir. Ancak heyelan - yağış eşiği için gerekli verilerin elde edilmesi için kurum arşivlerinde ayrıntılı tarama yapılması gerekmiştir.

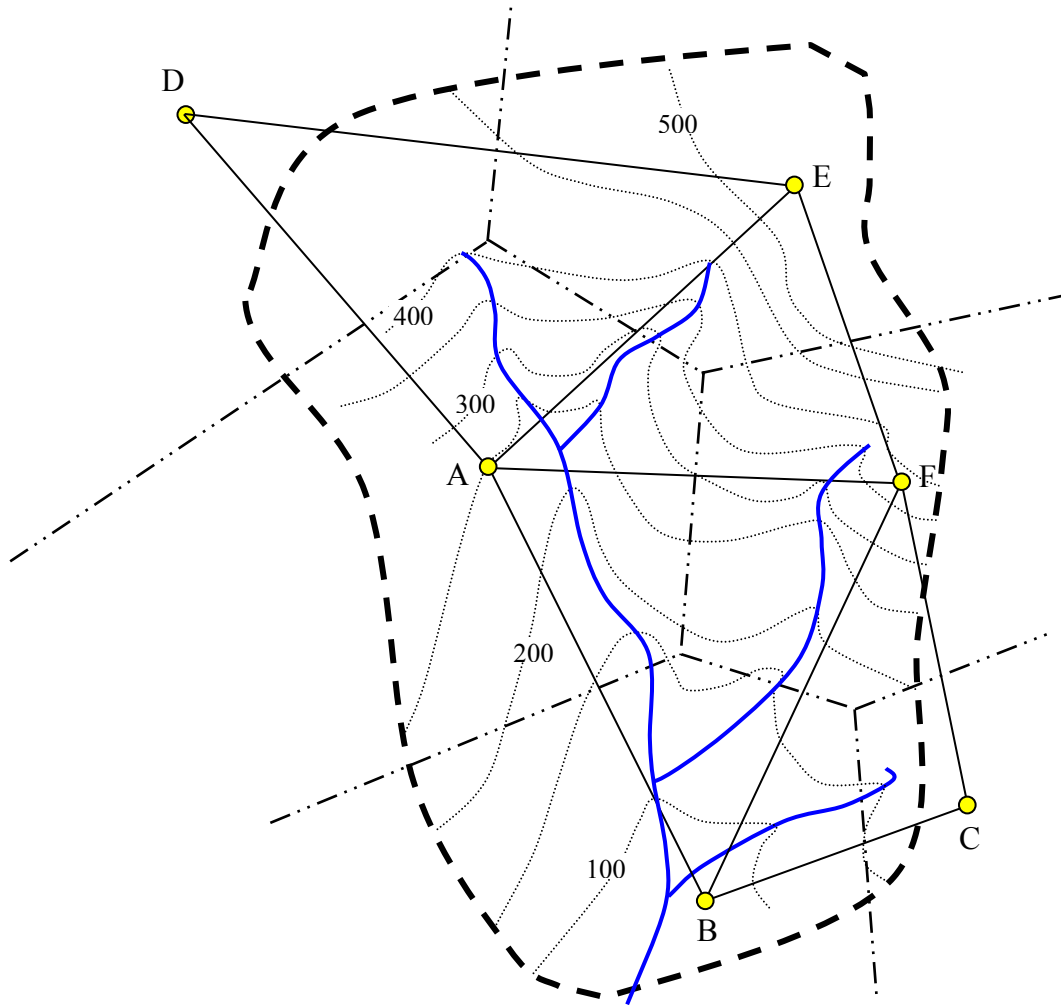
İncelenen heyelan raporlarından heyelan - yağış eşiği için kullanıma uygun olanlar bir araya getirilmiştir. Bunun yanında heyelanların yeri, meydana geliş tarihi, saati, türü, sebebi, boyutları, derinliği, şev açısı, heyelan malzemesi türü, bitki örtüsü türü bilgileri derlenmiştir.

2.1.2 Yağış bilgilerinin elde edilmesi

Heyelan - yağış eşiğinin elde edilmesi için kullanımı uygun bulunan heyelanların öncesinde meydana gelen yağışların belirlenebilmesi için, her bir heyelan bölgesini temsil eden yağış istasyonlarının belirlenmesi gerekmiştir. Bunun için öncelikle, meydana gelen heyelanlar harita üzerine işaretlenmiştir. Daha sonra aynı harita

üzerine Trabzon ili yağış verilerinin alınacağı D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyonları işaretlenmiştir. Thiessen metodu ile 17 adet istasyon arasında poligon oluşturularak, her bir heyelan bölgesini temsil eden yağış istasyonları belirlenmiştir.

Thiessen poligonu metodu; ikiden fazla istasyon içeren bir bölgeyi, alt poligonlara ayırır. Birbirine yakın yağış istasyonları bir düz çizgi ile birleştirilir. Üçgen bölgeler haline getirilen poligonlarda üçgenlerin kenar ortayları birleştirilerek alt poligonlar oluşturulur. Bu alt poligonlardan, istenilen bölgeyi temsil eden istasyonlar seçilir.



Şekil 2.1. Thiessen poligonu örneği [149]

Belirlenen heyelanları etkileyen yağış istasyonları tespit edildikten sonra D.M.İ. ve D.S.İ. den ilgili yağış istasyonlarına ait tüm yağış kayıtları alınmıştır. Bu kayıtlardan,

heyelan öncesi meydana gelen yağışın süresi ve yağışın miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra bu yağışlara ait yağış şiddeti;

$$I = \frac{P}{D} \quad (2.1)$$

Formülü ile hesap edilmiştir. Formülde I = Yağış şiddeti (mm/saat), P = Yağış yüksekliği (mm), D = Yağış süresi (saat) ni göstermektedir [150].

2.1.3 Heyelan yağış eşiğinin oluşturulması

Derlenen heyelan ve yağış bilgileri kullanılarak heyelan – yağış eşiği oluşturulmuştur. Eşiğin oluşturulmasında yağış şiddeti – yağış süresi (ID) grafiğinden yararlanılmıştır. Bu grafik, logaritmik ölçekli eksenlerden oluşmaktadır. Her bir heyelandan önce meydana gelen yağışa ait “yağış şiddeti” ve “yağış süresi” grafik üzerinde işaretlenmiştir. İşaretlenen verilerin alt limitinden bir doğru geçirilmiştir. Belirlenen bu doğru, heyelanları başlatan yağışın alt limitini temsil etmektedir.

2.2 Yağış Eşiğinin Stabilitate Analiz Modellemeleri ile Tahkiki

Elde edilen yağış eşikleri, stabilite analizleri ile tahkik edilmiştir. Bu tahkik çerçevesinde heyelan - yağış eşiğinden daha fazla miktarda yağın yağışın yamaçlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiş, güvenlik katsayıları karşılaştırılmıştır.

Tahkikler; profesyonel bir şev stabilite analiz bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu program, zemin ve kaya şevlerin güvenlik faktörü hesabında kullanılan önde gelen yazılım ürünlerindedir. Limit denge yöntemleri ile çözümlene yapan program, Morgenstern – Price, Spencer, GLE, Bishop, Ordinary,

Janbu, Janbu genel ve Sarma metodları ile analiz yapabilmektedir. Programda çözümlenme yapılırken yüzey şekilleri, boyutları, zemin özellikleri, gerilme çatlakları, yer altı suyu, boşluksuyu basınçları gibi faktörler göz önüne alınmaktadır.

Geçmişte heyelan meydana gelmiş olan 15 adet yamaç için stabilite analiz programında modeller oluşturulmuştur. Analizler; kuru zemin durumu, doğal durum, yağış sonrası durum ve ağaçlı durum olarak 4 farklı kategoride tahkik edilmiştir. Analizler için gerekli olan zemin parametreleri, daha önce elde edilmiş laboratuvar deney sonuçlarından alınmıştır.

Yağış öncesi doğal durum ve kuru durum için topoğrafik durumlar ve zemin tabakaları programda oluşturulduktan sonra sırasıyla doğal birim hacim ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık için stabilite analizleri yapılmıştır.

Yağış sonrası durum için yapılan tahkiklerde, heyelanları etkileyen (heyelan - yağış eşiğinin üzerindeki) yağışlar dikkate alınarak yağışın zemine sızma derinlikleri hesaplanmıştır. Bunun için yamaçta hakim bitki örtüsü türüne ve zemin türüne göre, yağın yağışın akışa geçen ve zemine sızan yüzdeleri, literatürde kullanılan yağış – akış tablolarına göre belirlenmiştir [61, 151].

Belirlenen sızma miktarları, zeminlerin geçirimsizliğine göre düzeltilmiştir. Zemine düşen ve yüzeysel akışa geçmeyip sızması beklenen yağış miktarı, zemin geçirimsizliğinden büyük olduğu durumlarda; sızma miktarı = geçirimsizlik katsayısı olarak alınmıştır. Zemine düşen ve yüzeysel akışa geçmeyip sızması beklenen yağış miktarı, zemin geçirimsizliğinden küçük olduğu durumlarda ise; sızma miktarı = yağış miktarı olarak alınmış ve bu değer, eşitlik (2.2) de geçirimsizlik katsayısı olarak kabul edilmiştir [152].

Zemine sızacak yağışa göre ve porozite oranına göre yağış sonunda zemine sızan doygun zemin tabakası yüksekliği;

$$H = \frac{T.k}{n_e} \quad (2.2)$$

bağıntısı ile belirlenmiştir [153].

H = Doymun zemin derinliği

n_e = Porozite

k = Geçirimsizlik katsayısı

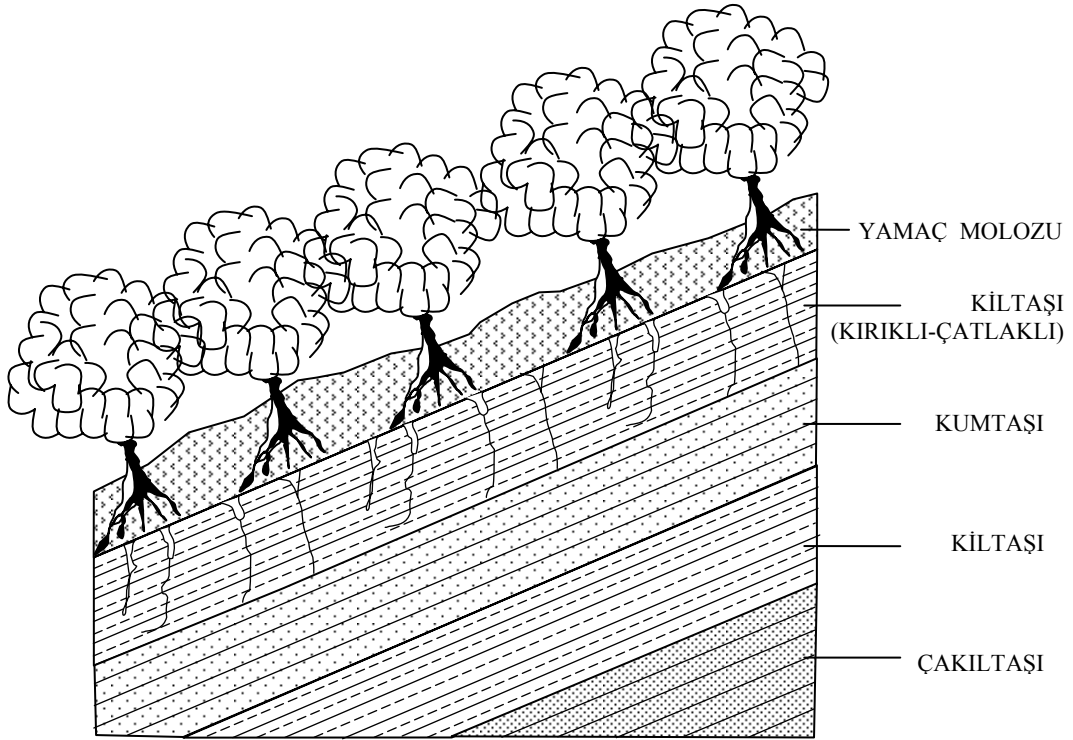
T = Yağış süresi

Yağışın sızarak doymun hale getirdiği ve yüksekliği belirlenen zemin tabakası için doymun birim hacim ağırlık, altındaki tabaka için ise doğal birim hacim ağırlık kullanılmıştır. Daha sonra modeller için stabilite analizleri yapılmış ve güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Ormanların tarım arazilerine dönüştürülmesi nedeniyle çok sayıda heyelan meydana geldiğinden, ağaçların etkinliği farklı bir kategori olarak tahkik edilmiştir. Ağaç köklerinin yeterli uzunluğa ve çekme dayanımına sahip olduğu durumlarda şev stabilitesi üzerinde kaymayı önleyici etkisi vardır. Ağaçların zemini çeşitli yönlerden kavrayan yan kökleri, zemini yekpare bir kütle haline getirir (Şekil 2.2). Yamaçlarda kök sisteminin düşey elemanları (ana kök) zemin içerisinde aşağıya doğru uzamasını sürdürerek alttaki daha sıkı katmanların (çatlaklı veya parçalanmış ana kaya) içlerine kadar ilerler (Şekil 2.3). Böylece zayıf zemin tabakasını yamaca sıkıca tutturur ve zeminin kaymaya karşı direncini artırır [153].



Şekil 2.2. Ağaç kökü kesiti (sığ kök)



Şekil 2.3. Ağaç kökleri - yamaç ilişkisi [1]

Wu [154], kök varlığından dolayı zeminin kayma direnci artımının hesaplanabilmesi için teorik bir model geliştirmiştir. Benzer modeller bağımsız olarak diğer

araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir [155].

Wu [154] tarafından oluşturulan modelin kabulleri;

- Esnek elastik kökler kayma bölgesini dik olarak geçmektedir.
- Kayma bölgesi içindeki köklerin bükülmesi kökte çekme bölgesi meydana getirmekte, bu kuvvetin kayma bölgesine paralel olan bileşeni kaymaya karşı koymakta, kayma bölgesine dik bileşeni ise kayma bölgesi üzerindeki gerilmeyi arttırmaktadır.
- Kökler kayma bölgesinin dışında her iki kesimdeki zemine, sürtünme ve adhezyon ile ankrajlandığı kabul edilir.
- Köklerden dolayı zeminin kayma mukavemeti açısının değişmediği kabul edilmektedir.

Bu modele göre kayma direnci artımı;

$$\Delta S = 1.2 T_R (A_R/A) \quad (2.3)$$

olarak hesaplanmıştır.

T_R = Köklerin ortalama çekme mukavemeti

A = Zemin kesit alanı

A_R = Köklerin toplam kesit alanı

Köklerin çekme mukavemetleri ağaç cinsine ve kök çapına göre değişiklik göstermekte olup Greenway [156] tarafından ağaç türü ve kök çaplarına göre hesaplanmış çekme mukavemetlerini gösterir tablolar geliştirilmiştir. Bazı kökler çok sağlam olup yumuşak çeliğin üçte biri (70 MPa) çekme mukavemetine sahiptirler [157]. Köklerin düşey ve yatay uzunlukları da ağaç türüne göre farklılık göstermekte olup sarıçamların 6 m, meşelerin 9 m derinliğe kadar kök geliştirdikleri ortaya konmuştur [158].

Trabzon bölgesinde meydana gelen heyelanların sadece % 5'i ormanlık alanlarda meydana gelmiştir. Ormanlık alanlarda meydana gelen heyelanların ise % 75' i Ladin ve Kayın ağaçlarından oluşmaktadır. Ladin ve Kayın ağaçları, bölgede yer alan sığ köke sahip ağaçlardandır. Bölgede yaygın olarak bulunan meşe, çam, sarıçam, kestane ve göknar ağaçları ise derin ve kuvvetli kök sistemlerine sahiptirler [159].

Ağaç köklerinin dikkate alındığı bu model yamaçlarda çam ağacı bulunması durumunda yamacın alacağı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Yamacın köklerden dolayı kazanacağı ilave mukavemet için (2.3) bağıntısından yararlanılmıştır. 15 model yamaç için uygulanan bu yöntem sonucunda güvenlik katsayıları karşılaştırılmıştır.

Elde edilen tüm güvenlik katsayıları bir tablo halinde özetlenmiş ve heyelan - yağış eşiği üzerindeki yağışların yamaç güvenliği üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca ağaç köklerinin yamaç güvenliği üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2.3 Yağış Eşiğinin 2009-2010 Yılları Heyelan ve Yağış Verileri ile Tahkiki

Tez çalışmasının ilk bölümünde elde edilen 1988 – 2008 yılları arasındaki veriler baz alınarak hazırlanan genel heyelanlara ait heyelan – yağış eşiği ve toplu heyelan ($n>10$) yağış eşiği, 2009 – 2010 yılı heyelanları ve yağışları ile tahkik edilmiştir. Bu kapsamda 2009 – 2010 heyelan ve yağış verileri, 1998 – 2008 yılları verilerinin elde edildiği yöntemlerle değerlendirme için hazır hale getirilmiştir. Bu veriler, daha önce hazırlanan eşik değerli grafikler üzerine yerleştirilerek değerlendirme yapılmıştır.

Son aşamada ise oluşturulan yağış eşikleri kullanılarak heyelan erken uyarı sistemi için bir veri tabanı hazırlanmıştır. Bu veri tabanının güvenilirliği 2009-2010 verileri ile tahkik edilmiştir. Yağış şiddet ve süreleri önceden tahmin edilmesi halinde heyelan - yağış eşiğine göre meydana gelmesi beklenen heyelanlar için erken uyarı verilmesi halinde doğruluk oranı hesaplanmış ve değerlendirme yapılmıştır.

BÖLÜM 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1 Heyelan Verilerinin Elde Edilmesi

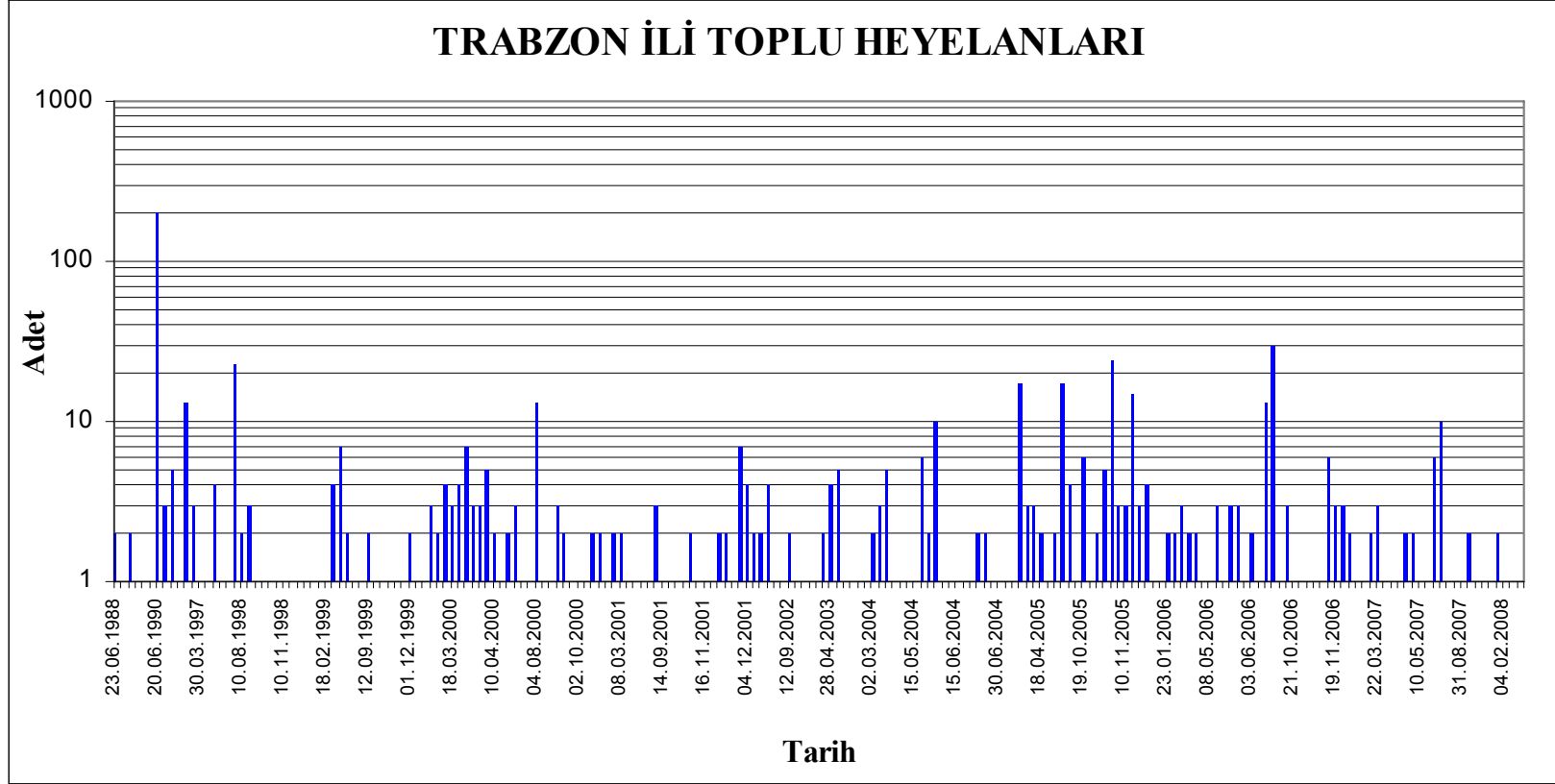
Trabzon ili heyelanlarını oluşturan yağış eşiğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmanın ilk aşamasında 1988 – 2008 yılları arasında meydana gelen heyelanlara ait veriler elde edilmiştir. Bunun için, Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar için kayıt tutan ilgili kurumlar (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Trabzon Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Trabzon İl Özel İdaresi, Trabzon Maden Tetkik Arama Bölge Müdürlüğü, Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü, Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü, Belediyeler ve Meslek odaları) nda ön araştırma yapılmış ve çalışmamızda kullanılabilir en detaylı bilgilerin Trabzon Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü (2010 yılından itibaren Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğü) nde olduğu tespit edilmiştir.

Bu tespit neticesinde heyelan veri toplama çalışmaları ağırlıklı olarak Trabzon ili Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü arşivlerinde gerçekleştirilmiş. Ancak yukarıda adı geçen diğer kurum ve kuruluşlardan literatürdeki kaynaklardan da veri elde edilmiştir. Bu kapsamda 2000 in üzerinde heyelan raporu incelenmiştir.

3.1.1 Yapılan kabuller ve sınırlamalar

Çalışmalar yapılırken bazı kabuller ve sınırlamalara sadık kalınmıştır;

- Boru patlaması, yol kazısı, temel kazısı gibi müdahalelerin akabindeki yağışlarda meydana gelen, stabilite kaybı ana nedeni insan müdahalesi olan heyelanlar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.
- Tarımsal alanlarda meydana gelen heyelanlar da insan müdahaleli heyelanlardan sayılmasına rağmen, Trabzon ili heyelanlarının çok büyük kısmı (% 87) tarım arazilerinde meydana geldiği için bu heyelanlar da çalışma kapsamına dahil edilmiştir.
- Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar ile ilgili kayıtlar 1900-1950 arası çok nadir iken 1950-1987 arası daha fazla veri mevcuttur. Bu döneme ait kayıtlar sadece derin heyelanlar ile ilgilidir. Ancak derin heyelanlar ile yağışlar arasında bir bağıntı kurulamamaktadır [2, 3]. Ayrıca, derin kaymalar Trabzon ili heyelanlarının yalnızca % 3 ünü temsil etmektedir. Bu sebeplerle 1987 öncesi kayıtlar dikkate alınmamıştır.
- Heyelan – yağış eşiği bağıntısında kullanılabilir sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmalarını da kapsayan heyelan kayıtları 1988 yılından itibaren mevcut olduğu için ilk aşamada 1988-2008 verileri baz alınmıştır. Ayrıca meteorolojik yağış verileri 1974 yılından itibaren tutulduğundan bu tarihten sonraki heyelan bilgileri daha büyük önem taşımaktadır.
- Yapılan incelemelerde Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların büyük kısmının yağış periyotları sonrasında belli tarihlerde “toplu” olarak meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 3.1). Bunun yanında yine yağışa bağlı olarak meydana gelen münferit heyelanlar da mevcuttur. Ancak yağış eşiği bağıntısının daha güvenilir olması için aynı yağışta en az iki heyelanın meydana gelmiş olması kriter olarak kabul edilmiştir. Bu sayede insan müdahalesi ile meydana getirilmiş olan heyelanların sehven bağıntıya dahil edilme olasılığı azaltılmış olacaktır.



Şekil 3.1. Trabzon ili yağışlarında meydana gelen toplu heyelanlar

3.1.2 Heyelan verilerinin hazırlanması

Trabzon ili heyelanları ile ilgili veri toplama çalışmaları, kurum arşivlerinde yer alan raporların incelenmesi, heyelan - yağış eşiği kriterlerine uygun heyelan bilgilerinin derlenmesi şeklinde olmuştur. Trabzon iline bağlı 17 adet İlçe, 77 adet Belediye ve 497 adet köy bulunmaktadır. Trabzon Bayındırlık ve İskan Müdürlüğündeki heyelan verileri, İlçere göre, belde, köy ve mahalleler olarak ayrı ayrı arşivlenmiştir.

Yapılan çalışma ile heyelan verileri ilk aşamada ilçe, belde, köy ve mahalleler bazında sınıflandırılmıştır. Heyelanlar daha sonra meydana geliş tarih ve saatine göre sıralanmıştır. Meydana geliş zamanı belli olmayan heyelanlar da ayrıca derlenmiş olup heyelanlar hakkında istatistiki bilgiler elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Ancak yağış eşiği bağıntısı hesabında kullanımı mümkün olmamıştır.

Trabzon ilinde 1988 – 2008 yılları arasında doğal nedenlerle meydana gelen (direk insan müdahalesi ile meydana gelmeyen) 1071 adet heyelan vakası tespit edilmiştir. Bu heyelanlar, arşivlerde kaydı veya raporu bulunan heyelanlardır. 1071 adet heyelanın 750 adedinin meydana geliş zamanı ve yeri saptanmıştır. Bu heyelanlara ait tarihler ve bu tarihlerde meydana gelen heyelan sayıları Tablo 3.1 de verilmiştir. Belirlenen bu heyelanlar, yağış eşiği bağıntısının ilk ayağını oluşturmuştur.

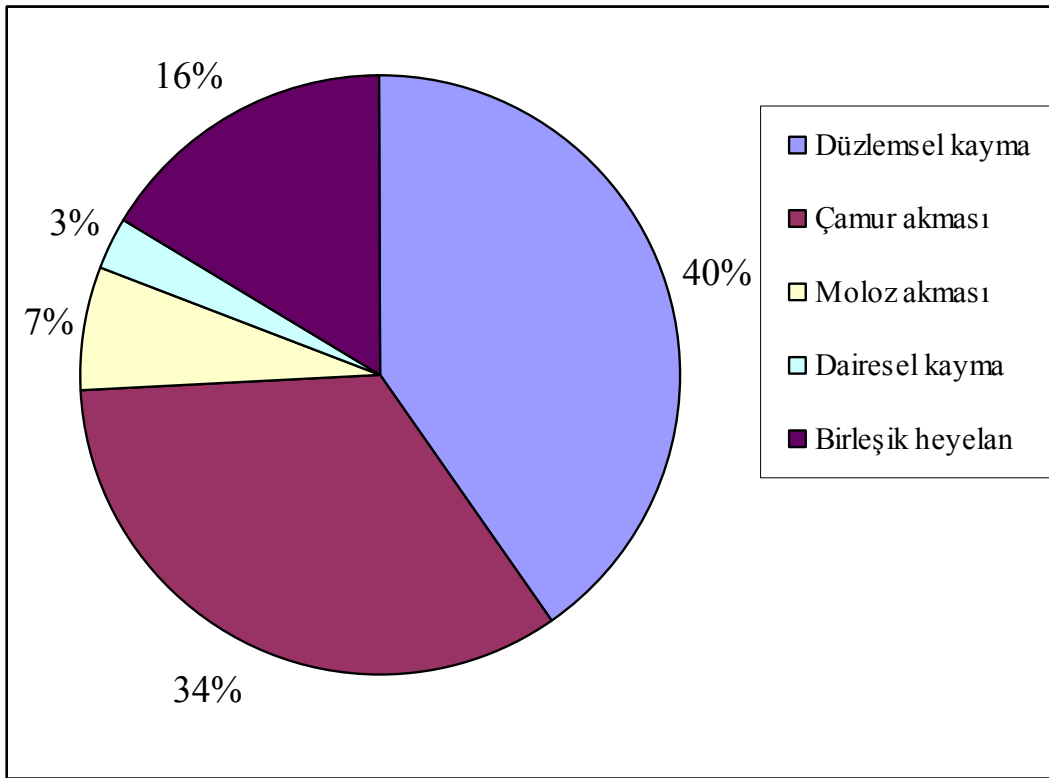
Tablo 3.1. Trabzon ilinde meydana gelen ve tarihi belli olan heyelanlar

Tarih	Adet	Tarih	Adet	Tarih	Adet	Tarih	Adet	Tarih	Adet
23.06.1988	2	18.12.1999	1	19.11.2001	2	12.10.2004	17	05.11.2006	1
24.06.1988	1	18.01.2000	1	21.11.2001	2	03.01.2005	3	06.11.2006	6
03.07.1988	2	07.02.2000	3	22.11.2001	1	04.04.2005	3	19.11.2006	3
08.11.1988	1	17.02.2000	2	23.11.2001	7	18.04.2005	2	04.12.2006	3
26.02.1989	1	19.02.2000	4	04.12.2001	4	22.06.2005	1	05.12.2006	2
14.04.1989	1	18.03.2000	3	24.12.2001	2	27.06.2005	2	09.12.2006	1
20.06.1990	203	20.03.2000	4	11.01.2002	2	02.08.2005	17	06.01.2007	1
03.10.1990	3	20.03.2000	7	23.01.2002	4	03.08.2005	4	22.01.2007	2
04.10.1990	5	23.03.2000	3	25.06.2002	1	12.09.2005	1	22.03.2007	3
12.02.1993	1	27.03.2000	3	05.08.2002	1	19.10.2005	6	31.03.2007	1
06.07.1995	13	03.04.2000	5	12.09.2002	2	27.10.2005	1	05.04.2007	1
07.07.1995	3	10.04.2000	2	26.11.2002	1	02.11.2005	2	06.04.2007	1
30.03.1997	1	19.04.2000	1	07.01.2003	1	07.11.2005	5	09.04.2007	2
16.06.1997	1	11.05.2000	2	28.01.2003	1	08.11.2005	24	18.04.2007	2
17.06.1997	4	05.06.2000	3	20.04.2003	1	09.11.2005	3	10.05.2007	1
14.02.1998	1	18.06.2000	1	27.04.2003	2	10.11.2005	3	16.07.2007	1
23.02.1998	1	03.08.2000	1	28.04.2003	4	11.11.2005	15	02.08.2007	6
07.08.1998	23	04.08.2000	13	29.04.2003	5	20.11.2005	3	03.08.2007	10
10.08.1998	2	15.08.2000	1	30.10.2003	1	29.11.2005	4	10.08.2007	1
11.08.1998	3	10.09.2000	1	31.10.2003	1	16.01.2006	1	17.08.2007	1
12.08.1998	1	26.09.2000	3	21.11.2003	1	21.01.2006	1	31.08.2007	1
21.08.1998	1	27.09.2000	2	29.11.2003	1	23.01.2006	2	26.09.2007	2
24.09.1998	1	28.09.2000	1	02.03.2004	2	20.02.2006	2	08.11.2007	1
09.11.1998	1	02.10.2000	1	10.03.2004	3	14.03.2006	3	11.11.2007	1
10.11.1998	1	06.10.2000	1	15.03.2004	5	27.04.2006	2	26.01.2008	1
11.11.1998	1	25.10.2000	2	30.03.2004	1	03.05.2006	2	03.02.2008	2
13.11.1998	1	26.10.2000	2	15.04.2004	1	04.05.2006	1	04.02.2008	1
15.11.1998	1	30.12.2000	1	17.04.2004	1	08.05.2006	1	06.07.2008	1
18.11.1998	1	25.02.2001	2	15.05.2004	1	09.05.2006	3	07.07.2008	1
05.12.1998	1	08.03.2001	2	28.05.2004	6	14.05.2006	1	08.11.2008	1
18.02.1999	1	04.04.2001	1	07.06.2004	2	15.05.2006	3		
20.06.1999	4	08.05.2001	1	10.06.2004	10	22.05.2006	3		
21.06.1999	7	15.05.2001	1	11.06.2004	1	02.06.2006	1		
28.06.1999	2	24.05.2001	1	14.06.2004	1	03.06.2006	2		
29.06.1999	1	26.08.2001	3	15.06.2004	1	14.06.2006	1		
11.09.1999	1	14.09.2001	1	16.06.2004	1	01.07.2006	13		
12.09.1999	2	25.10.2001	1	19.06.2004	1	02.07.2006	30		
13.09.1999	1	07.11.2001	1	21.06.2004	2	08.07.2006	1		
15.10.1999	1	10.11.2001	1	23.06.2004	2	10.07.2006	3		
10.11.1999	1	11.11.2001	2	29.06.2004	1	21.10.2006	1		
11.11.1999	1	15.11.2001	1	30.06.2004	1	22.10.2006	1		
15.11.1999	1	16.11.2001	1	07.07.2004	1	31.10.2006	1		
01.12.1999	2	19.11.2001	1	09.07.2004	1	02.11.2006	1		

3.1.3 Trabzon heyelanlarının değerlendirilmesi

İncelenen heyelanlar ayrıca heyelan türü, sebebi, boyutları, derinliği, şev açısı, kayan malzeme türü, kullanım amacı, ağaç türü ve tarımsal ürün türüne göre de sınıflandırılmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

Heyelan türü: Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar Varnes [7] heyelan sınıflandırma sistemine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.2). İncelenen zemin kütle hareketlerine göre en çok meydana gelen heyelan türü düzlemsel kayma ve çamur akması biçiminde oluşmuştur. Meydana gelen dairesel kayma oranı ise yalnızca % 3 tür. Kaya heyelanları çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.



Şekil 3.2. Trabzon ili heyelan türleri

Aşağıdaki resimlerde Trabzon ilinde oluşan heyelanlardan örnekler verilmektedir (Şekil 3.3 ve 3.4).

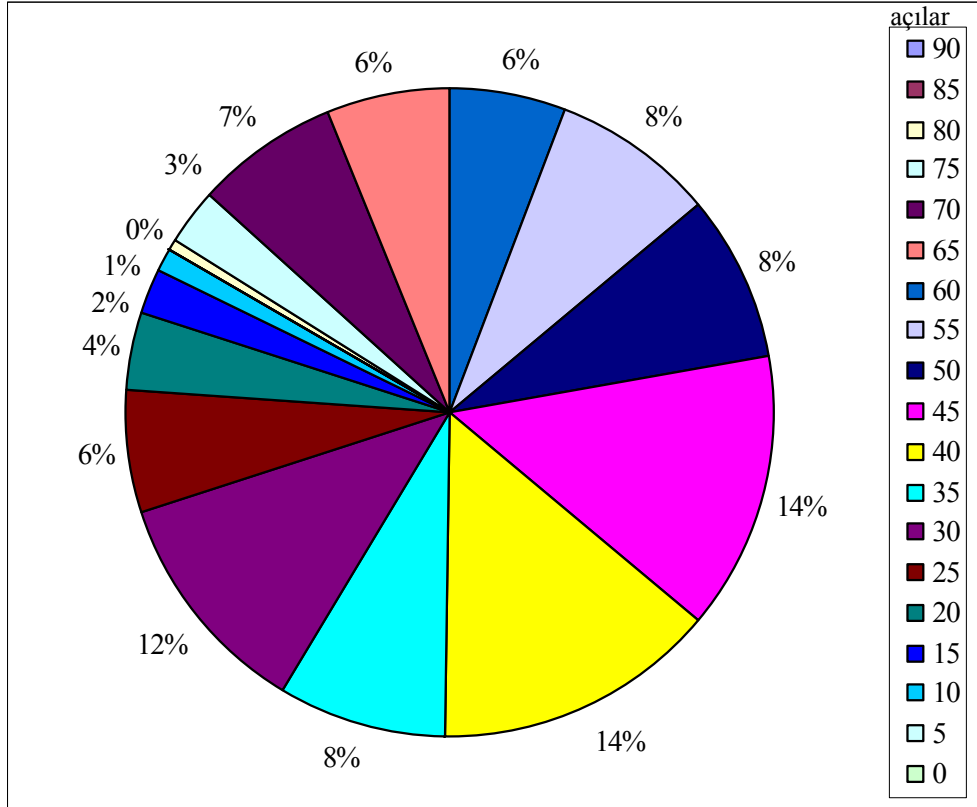


Şekil 3.3. Trabzon ilinde düzlemsel kayma türünde bir heyelan



Şekil 3.4. Trabzon ilinde çamur – moloz akması türünde bir heyelan

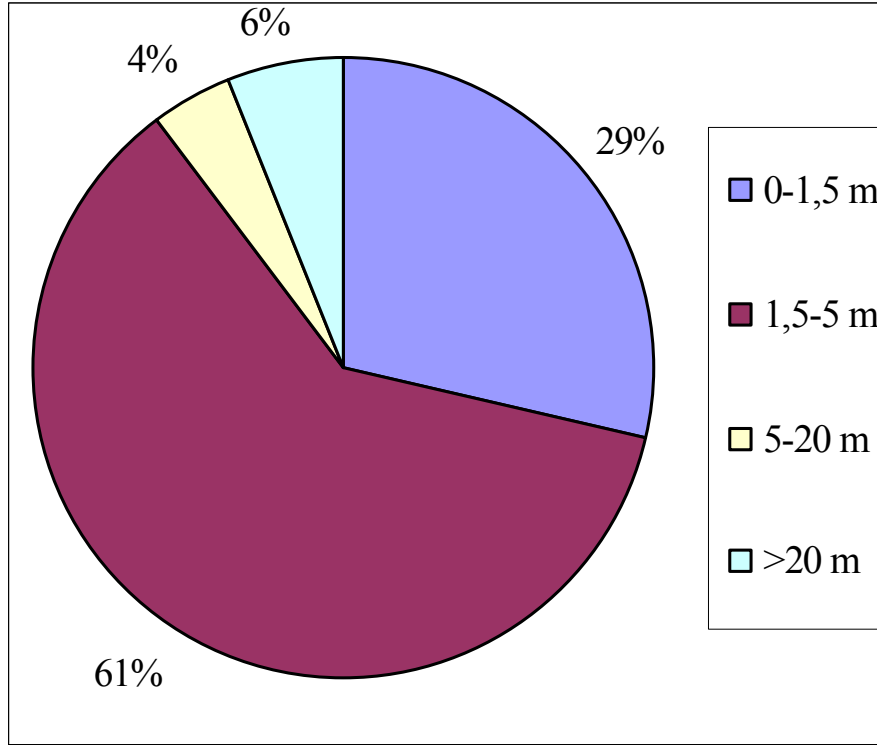
Şev açıları: Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların doğal şev açılarının dağılımı Şekil 3.5’ de gösterilmiştir. Heyelan raporlarından 407 adedinde doğal şev açısı verisi mevcuttur. Söz konusu doğal şev açıları 10° den 80° ye kadar çeşitlilik göstermektedir. Heyelanlar, şev açlarına göre düzgün bir dağılım göstermektedir. Heyelanların ortalama doğal şev açısı $44,7^{\circ}$ dir.



Şekil 3.5. Trabzon ili heyelanları doğal şev açıları dağılımı

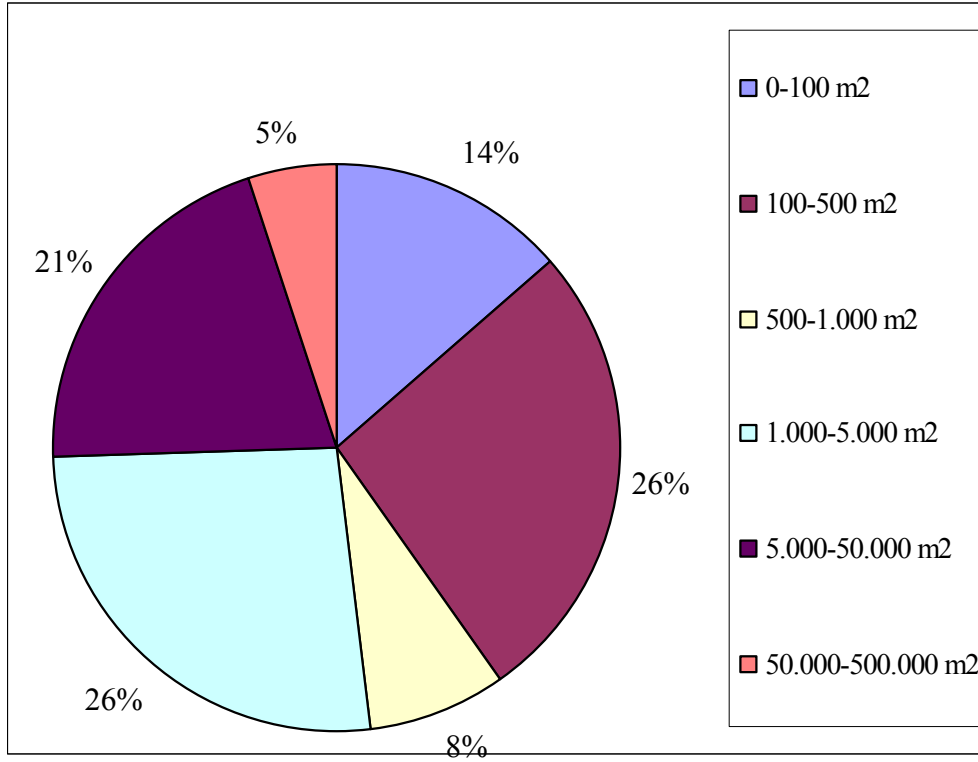
Şev yüksekliği: Trabzon ilinde incelenen heyelanların şev yüksekliği ortalaması 52,6 m dir. Yükseklikler 8 m ile 150 m arasında çeşitlilik göstermektedir.

Kayan kütlesinin kalınlığı: Raporlarda 370 adet heyelanın kayan kütlesinin kalınlığı değeri mevcuttur. Veriler hareket eden kütle kalınlığına göre değerlendirildiğinde heyelanların büyük kısmının yüzeysel ve sığ heyelanlar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.6).



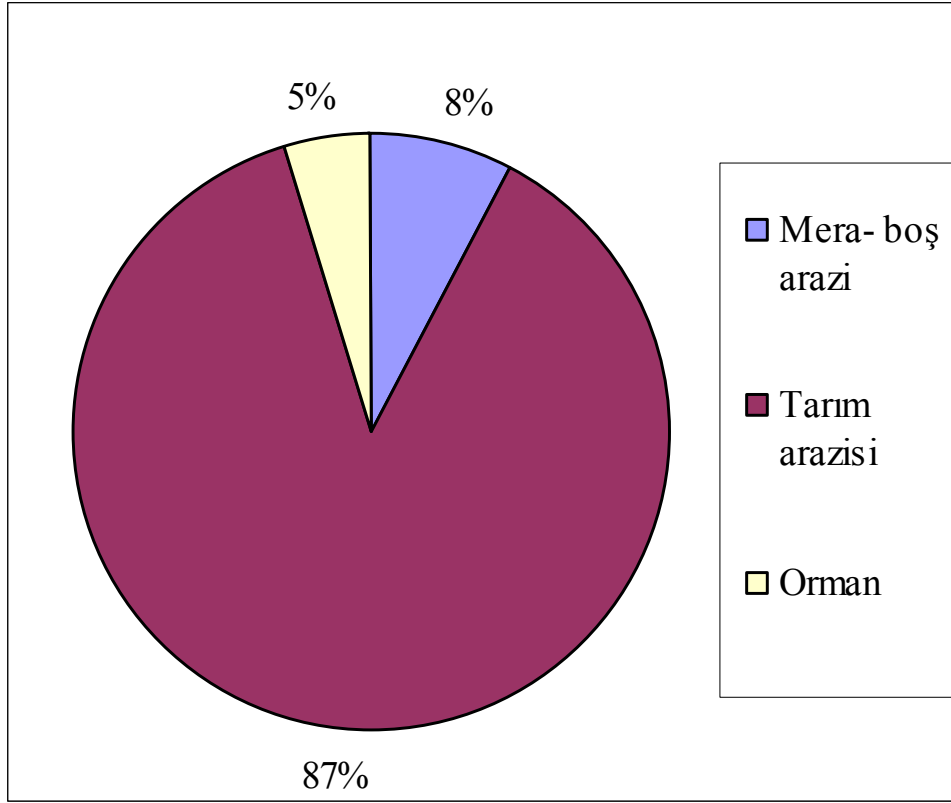
Şekil 3.6. Trabzon ili heyelanları kayan kütlesinin kalınlığı dağılımı

Heyelan boyutları: Heyelan boyutları mevcut olan 404 adet heyelan raporuna ulaşılmıştır. Heyelanların, yüzey alanlarının büyüklüklerine göre dağılımı Şekil 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.7. Trabzon ili heyelanları yüzey alanı büyüklüğü dağılımı

Kullanım amacı: Trabzon ili heyelanları, meydana geldiği yerin kullanım amacına göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.8). Heyelanların büyük çoğunluğu tarım arazilerinde meydana gelmiştir. Şekil 3.9’ da tarım alanında, Şekil. 3.10’ da ormanlık alanda ve Şekil 3.11’ de boş arazide meydana gelen heyelanlara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kullanım amacı dağılımı



Şekil 3.9. Çay bahçesinde heyelan [54]



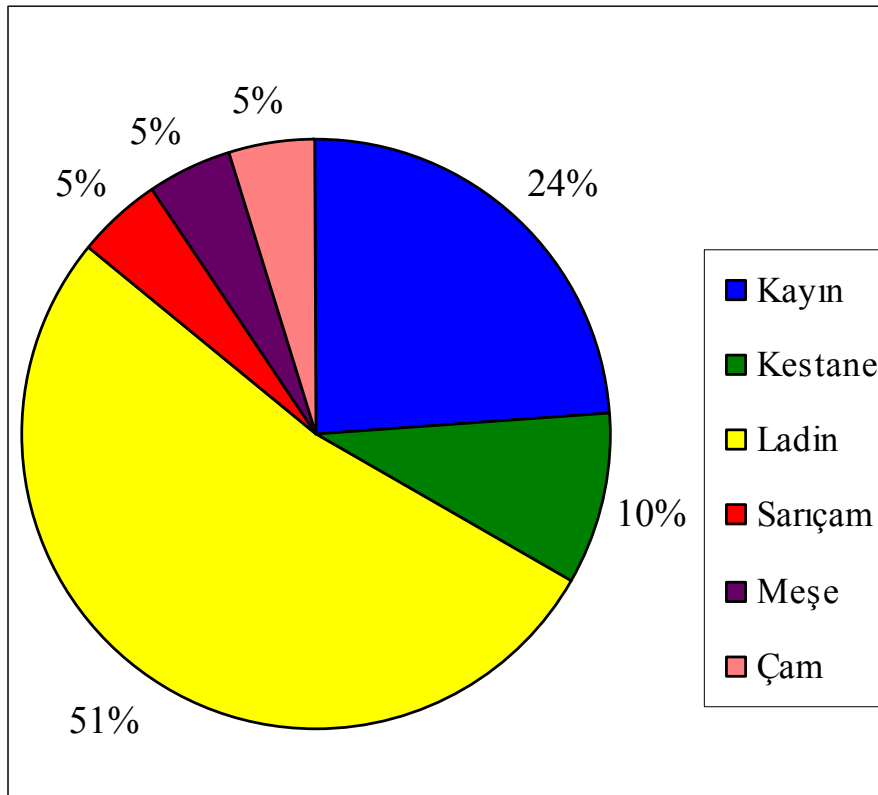
Şekil 3.10. Ormanlık alanda heyelan [54]



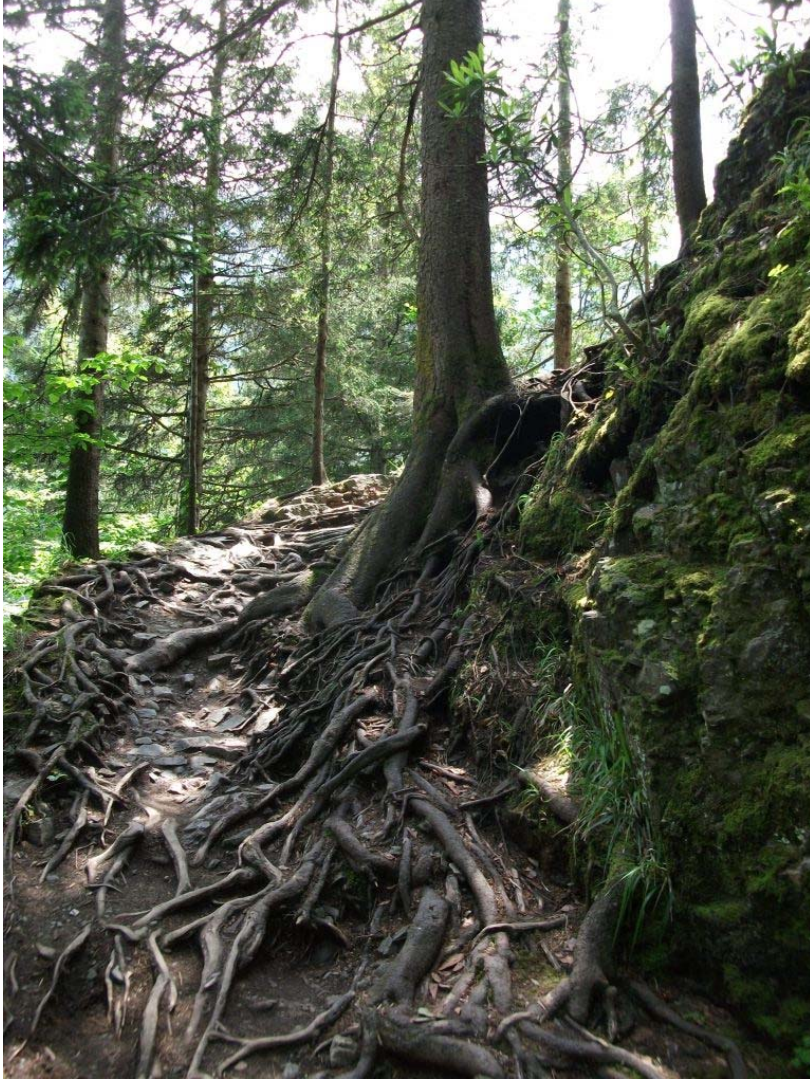
Şekil 3.11. Boş arazide akma türü heyelan [54]

Ormanlık alanda meydana gelen heyelanlar: Rapor incelemelerinden Trabzon ilindeki ormanlık alanlarda 53 adet heyelan meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu heyelanlardaki ağaç türleri Şekil. 3.12’ de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere heyelanların büyük çoğunluğu ladin ve kayın ağaçlarının bulunduğu alanlarda meydana gelmiştir. Bu tür ağaçlar sığ kök yapısına sahip olup kökler, sağlam kayanın bulunduğu derinliğe ulaşmamaktadır (Şekil 3.13-3.14). Bu durum köklerin, üstteki gevşek zemini sağlam kayaya tutturmasını önlemektedir. Bunun yanında ağaçlar ağırlıkları ile de yamaçlarda kaymayı arttırıcı yönde etki yaparlar. Ancak tüm ağaç kökleri, ağaçları beslemek için zeminden çektikleri su ve ölü örtünün (dökülmüş dal, yaprak) suyu tutma kapasitesi ile yağışlara karşı yamaç güvenliğinde olumlu etki yaparlar.

Meşe ve sarıçam gibi ağaçlar ise derin kök yapısına sahip olup, bu kökler üstteki gevşek zemini, alttaki sağlam kayaya tutturarak kaymayı önleyici yönde etki yaparlar (Bkz. Bölüm 2.2).



Şekil 3.12. Ormanlık alan heyelanlarında ağaç türü dağılımı

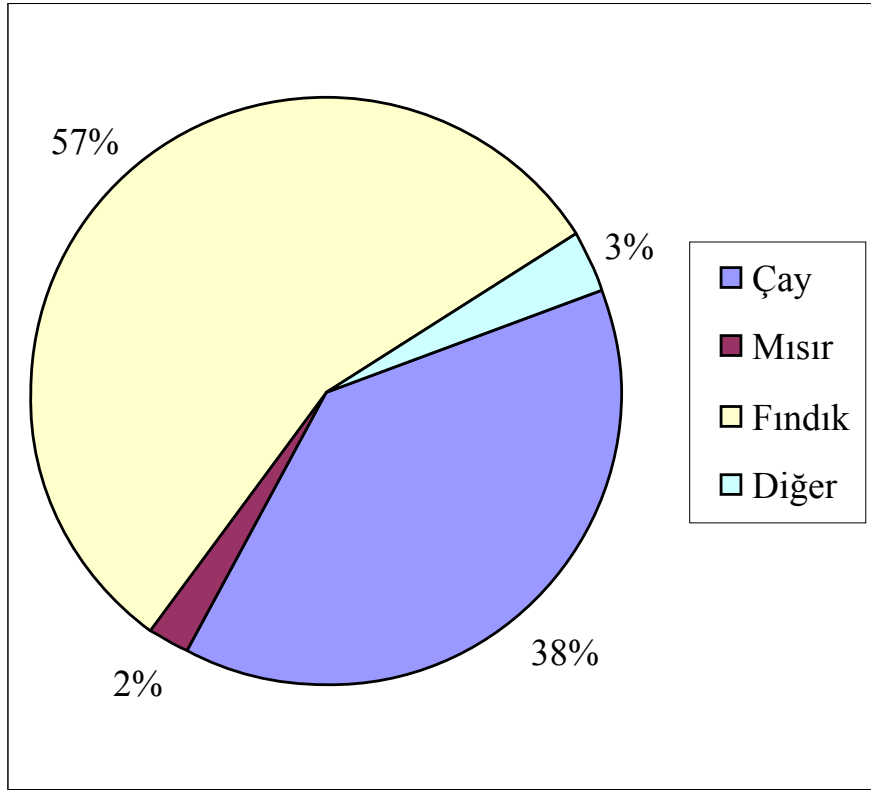


Şekil 3.13. Trabzon ilinde Ladin ağacı örneği



Şekil 3.14. Ladin ağacı kök tip kesiti [160]

Tarım alanlarında meydana gelen heyelanlar: Tarım alanlarında meydana gelen heyelanların tarımsal ürün çeşidine göre dağılımı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Tarım alanı heyelanlarındaki tarımsal ürün tipi dağılımı

Tarım alanlarında meydana gelen heyelanların hazırlayıcı ana nedeni, ormanlık alanların tarım alanlarına dönüştürülmesidir (Bkz. Bölüm 1). Şekil 3.16' da ormanlık alandan tarım alanına çevrilmiş bir yamaç görülmektedir

Tarımsal alana çevrilen yamaçlarda çürüyen ağaç köklerinin oluşturduğu boşluklardan yağışların derinlere kolayca sızması ve derin köklü ağaçların sağladığı kaymaya karşı mukavemetin yok olması nedeniyle bu tür yamaçlarda heyelanlar çok sık meydana gelmektedir.. Şekil 3.17' de çay bahçesinde, Şekil 3.18' de fındık bahçesinde meydana gelen heyelanlara örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Tarım alanına dönüştürülen ormanlık alanlar



Şekil 3.17. Çay bahçesinde akma [54]



Şekil 3.18. Fındık bahçesinde heyelan

Bölgede ağırlıklı olarak yetiştirilen fındık ağacı ve çay bitkisi, sığ köke sahip olup kaymaya karşı hiçbir mukavemet sağlamamaktadır. Fındık, saçak köke sahip bir bitkidir ve kökleri en fazla 80 cm derinliğe ulaşır [161]. Arazide yapılan incelemelerde ise bölgedeki fındık kök derinliğinin 25 cm ile 50 cm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bölgedeki Çay bitkisinde ise kök uzunluğu 10 cm ile 30 cm arasındadır.

Şekil 3.19 (a) ve (b)' de bölgede yetişen fındık ağacının tipik kök durumu gösterilmiştir. Şekil 3.20 (a) ve (b)' de bölgede yetişen çay bitkisinin tipik kök durumu gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında yerinde çekilen veya heyelan raporlarından elde edilen Trabzon ili heyelanlarına ait diğer fotoğraflar EK-A da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.19. Fındık ağacı örnekleri



(a)



(b)

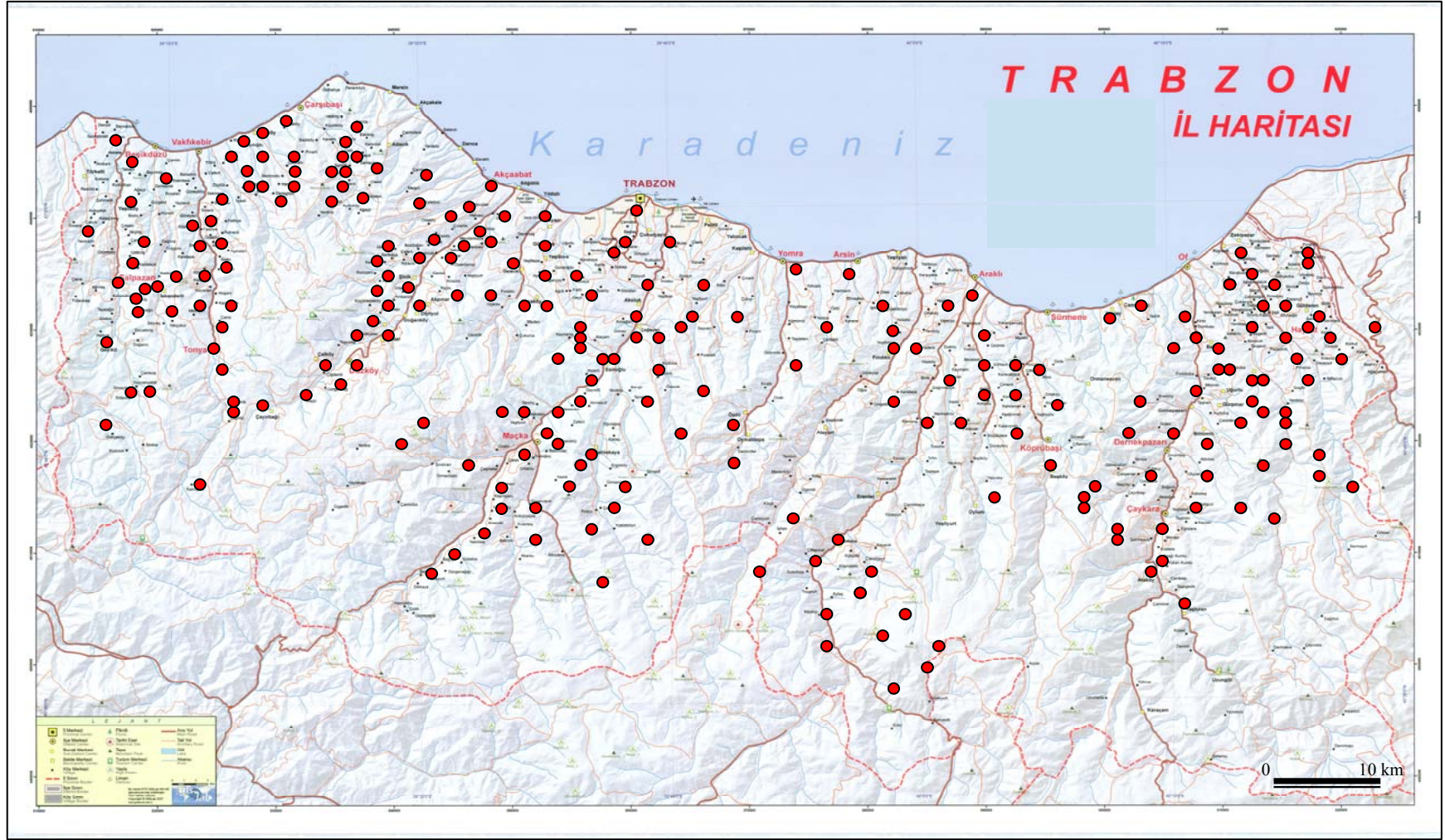
Şekil 3.20. Çay bitkisi örnekleri

Yer altı suyu: Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların büyük çoğunluğunda yer altı suyuna rastlanmamış olup yer altı su seviyesinin çok derinlerde olduğu heyelan raporlarında belirtilmiştir [54]. Önalp [3, 57] tarafından yapılan çalışmalarda da aynı sonuçlara varılmıştır.

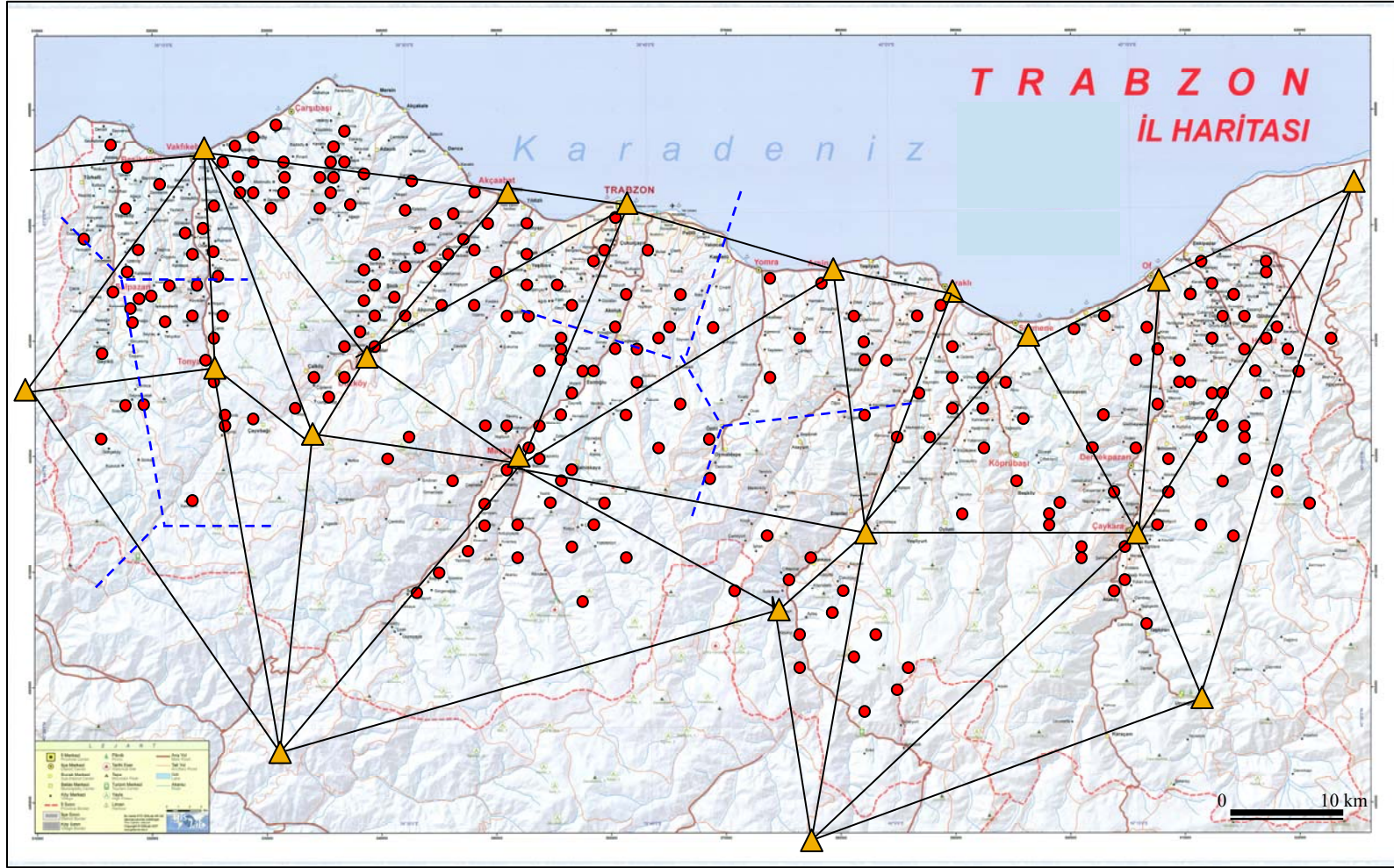
3.2 Yağış Verilerinin Elde Edilmesi

Heyelan verileri elde edildikten sonra bu heyelanların meydana geldiği yerler harita üzerinde işaretlenmiştir. Bu işaretleme yapılırken 1/100000 ölçekli KTÜ Gislab haritalarından yararlanılmıştır. Yapılan işaretleme çalışmaları Şekil 3.21' de temsili olarak gösterilmiştir.

Daha sonra söz konusu heyelanları etkileyen yağışlarla ilgili verilerin alınabileceği D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyonları aynı harita üzerine işaretlenmiştir. Heyelanları etkileyen yağışları en iyi temsil edecek istasyonların belirlenmesi amacı ile harita üzerinde istasyonlar arasında Thiessen poligonu oluşturulmuştur. Bu poligonlar yardımı ile heyelanları etkileyen yağış verilerinin alınabileceği yağış istasyonları belirlenmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.21. Trabzon ilinde 1988 – 2008 yılları arasında meydana gelen heyelanlar temsili yerleşirme



Şekil 3.22. Trabzon ili heyelanları için Thiessen poligonu çalışması temsili gösterim

Heyelanlar için belirlenen yağış istasyonlarından 1988 – 2008 yılları arasında oluşan saatlik bazda tüm yağış miktarları, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü [162] ile Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü [163]' n den temin edilmiştir.

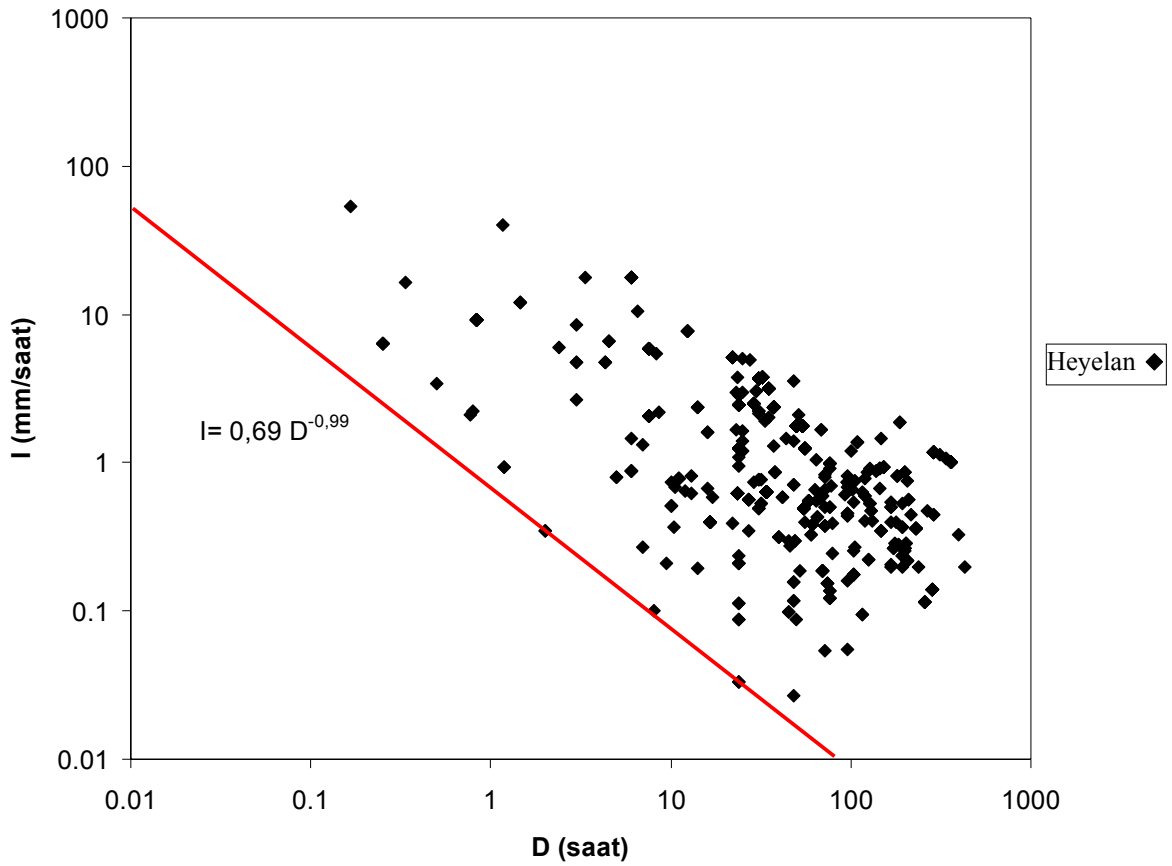
Bu veriler, heyelan yağış eşiği kullanımına uygun hale getirilmiştir. Her bir heyelanı etkileyen yağışın başlangıç saati ile heyelanın meydana geliş saati arasındaki süre (yağış periyodu) hesaplanmıştır. Daha sonra bu süre zarfında meydana gelen yağış miktarları hesaplanmıştır. İlgili heyelanlar ile eşleştirilen yağış süre ve miktarlarından yağış şiddetleri

$$I = \frac{P}{D} \quad (3.1)$$

Formülü ile hesap edilmiştir. (I = Yağış şiddeti (mm/saat), P = Yağış yüksekliği (mm), D = Yağış süresi (saat))

3.3 Yağış Eşiği Bağıntısının Elde Edilmesi

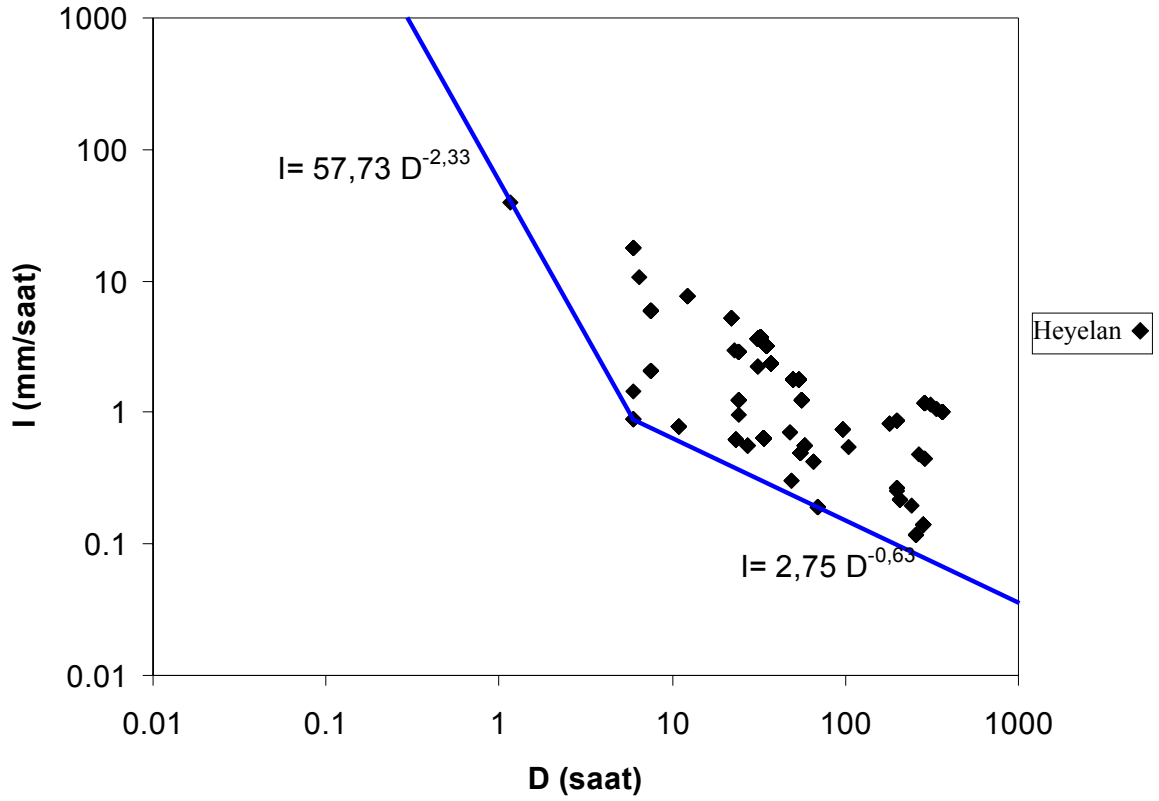
Heyelan yağış eşiğinin belirlenmesinde Yağış şiddeti – Yağış süresi (ID) grafiğinden yararlanılmıştır. Elde edilen heyelanlar ve yağış şiddetleri, logaritmik ölçekte hazırlanan ID grafiği üzerinde işaretlenmiştir. İşaretlenen heyelanların alt limit doğrusu Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağışların eşik değerini ifade etmektedir (Şekil 3.23). Bu eşikten daha az şiddet ve sürede meydana gelen yağışlarda heyelan meydana gelmemiştir. Yağış şiddet ve süresi arttıkça meydana gelen heyelan sayısı artmaktadır. Özellikle 4-5 gün süren yağışlar sonrası heyelan vakaları yoğunluk kazanmıştır.



Şekil 3.23. Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği (Genel)

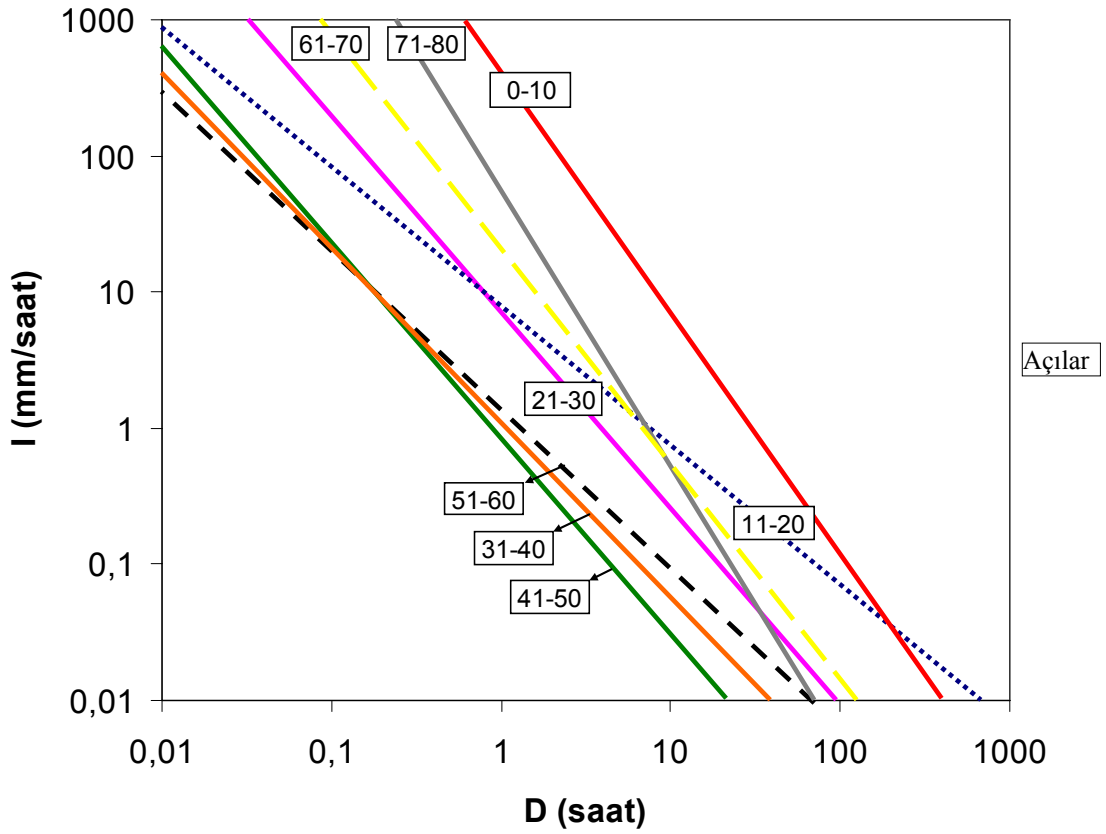
Elde edilen yağış eşiği Trabzon ilinde 1988-2008 yılları arasında meydana gelen yağışa bağlı tüm heyelanlar için belirlenmiş genel yağış eşiğidir. Bu eşik değeri, tüm şev açıları, kullanım alanları, heyelan türleri ve litolojik şartlar dahil edilerek elde edilmiştir. Bu kriterler (şev açıları, kullanım alanları, heyelan türleri, litolojik sınıflar) için de ayrıca yağış eşikleri belirlenmiştir.

Şekil 3.24' de Trabzon ilinde aynı yağış periyotları boyunca meydana gelen toplu heyelanlar ($n > 10$) için yağış eşiği elde edilmiştir. Yağış süresi 6 saati geçince eşik değeri belirgin bir sapma meydana gelmiştir. Bu sebeple $D > 6$ ve $D < 6$ saat için iki farklı eşik değeri oluşturulmuştur. Toplu heyelan yağış eşiği belirlenirken genel eşik değeri yakın oluşu nedeniyle en ekstrem değeri, kapsam dışı bırakılmıştır.



Şekil 3.24. Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği ($n > 10$)

Şev açılarına göre yapılan çalışmada, $10'$ ar derecelik dilimler halinde ayrılmış şevler için ayrı ayrı eşik değerler elde edilmiştir (Tablo 3.2), (Şekil 3.25). Düşük eğimden yüksek eğime yaklaştıkça eşik değer genel olarak düşmektedir. Ancak 60° den sonra eşik değer tekrar yükselişe geçmektedir. Bu durum yüksek şev açısına sahip yamaçların daha kayalık olmasına bağlanmaktadır. Bunun yanında yağış sularının düşük şev açılarında göre daha kolay yüzeysel akışa geçmesi ve dolayısıyla zemine sızan su miktarının azalmasına da etkenler arasındadır.



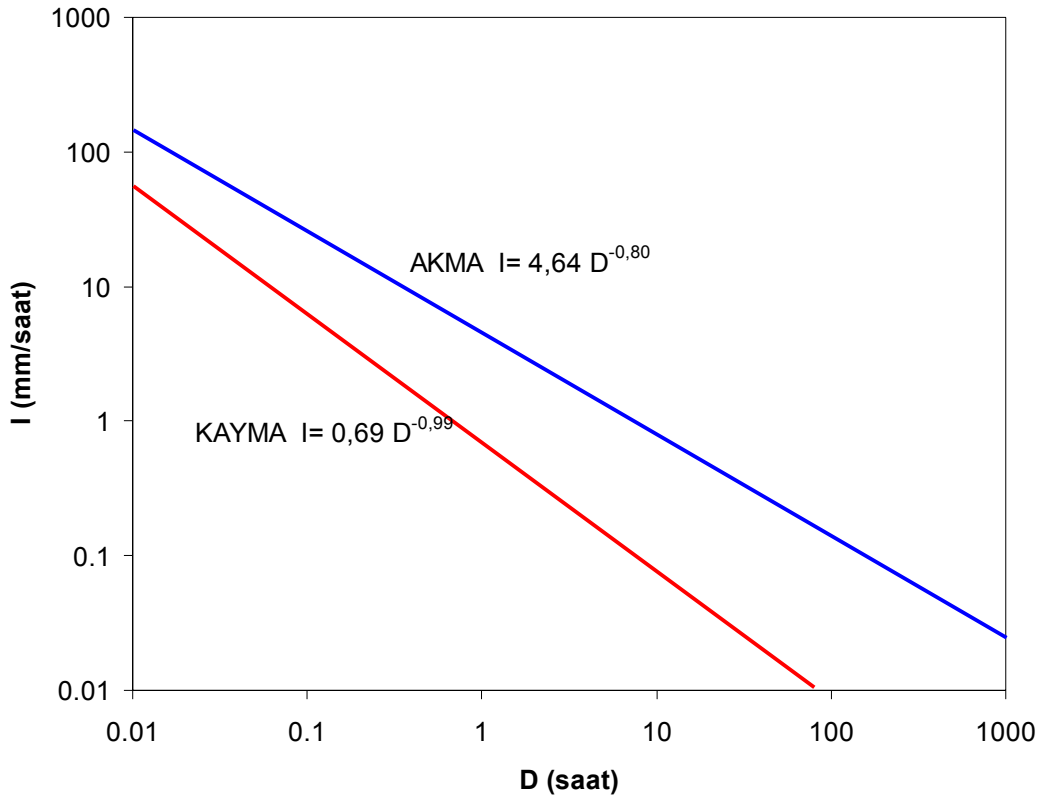
Şekil 3.25. Şev Açılarına göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri

Tablo 3.2. Şev Açılarına göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri

<u>Açı (°)</u>	<u>Yağış Eşiği</u>
0-10	$I=433 D^{-1,78}$
11-20	$I=8.61 D^{-1.06}$
21-30	$I=7.01 D^{-1.41}$
31-40	$I=1.14 D^{-1.24}$
41-50	$I=0.92 D^{-1.39}$
51-60	$I=1.25 D^{-1.17}$
61-70	$I=21.88 D^{-1.63}$
71-80	$I=52.67 D^{-2.01}$

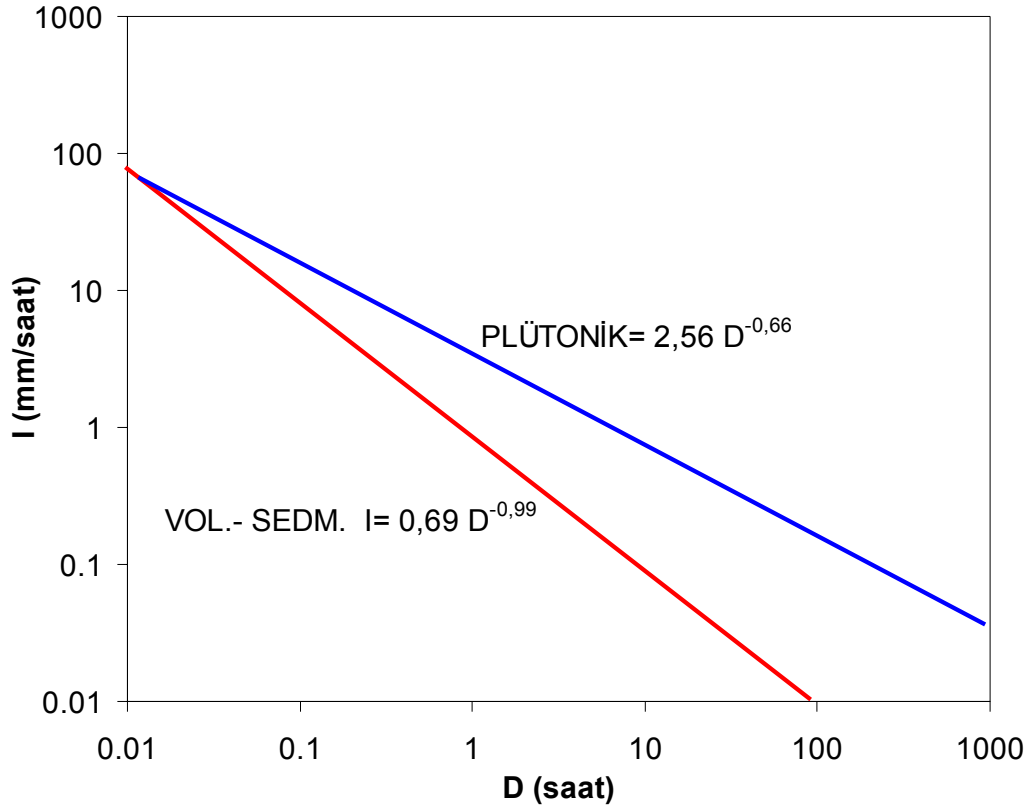
Çalışmamız kapsamında heyelanların türlerine göre de yağış eşikleri belirlenmiştir. Heyelan türlerine göre değerlendirme yapılırken verilerin sağlandığı heyelan raporlarında belirtilen sınıflandırmalar baz alınmıştır. Bu raporlarda, heyelanlar ağırlıklı olarak akma ve kayma olarak sınıflandırılmıştır.

Şekil 3.26' da görüldüğü üzere Kayma eşik değeri genel eşik değere eşit (bkz Şekil 3.23) iken, akma için hesaplanan eşik değeri daha yüksek çıkmaktadır. Bu durum akmalarında, kaymalara oranla daha çok yağışa ihtiyaç duyulduğunun göstermektedir. Nitekim Tarhan [55], heyelanların yağış miktarı ile ilgisi konusunda; zeminlerde doğal su içeriğinin plastik limite ulaşmasının kaymalara, likit limite ulaşmasının ise akmalara neden olduğunu belirtmiştir. Bu da, akma ve kaymalar için elde edilen eşik değerler arasındaki farkı açıklamaktadır.



Şekil 3.26. Heyelan türüne göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri

Litolojik sınıflandırmaya göre yapılan elde edilen yağış eşikleri incelendiğinde granitoyitlerden oluşan plütonik kayaların ayrışmasından meydana gelen zeminlerde, sedimanter ve volkanik kayaların ayrışmasından meydana gelen zeminlere göre daha çok yağışa ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.27).

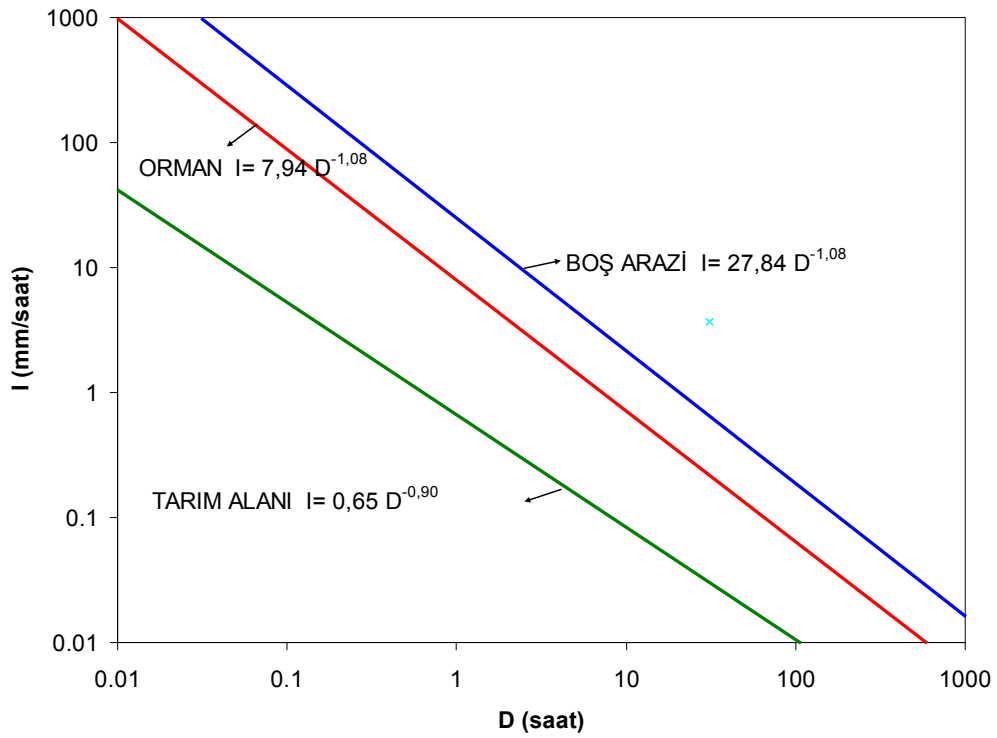


Şekil 3.27. Kayaç türüne göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşikleri

Yamaçların kullanım amacına (örtü tabakası) göre yağış eşikleri belirlenmiştir. Sığ köke sahip çay ve fındık ağırlıklı tarım alanları, boş arazi ve derin köke sahip ormanlık alanlara göre oldukça düşük bir eşığe sahiptir (Şekil 3.28). Bunun sebebi tarım arazilerindeki bitki köklerinin ayrışmış zemini sağlam kayaya tutturabilecek kök uzunluğuna sahip olmamasıdır. Ayrıca ormanlık alanlardan tarım arazilerine dönüştürülen alanlarda, kesilen ağaçların kuruyan köklerinin oluşturduğu boşluklar da yağış sularının zeminin derinliklerine inmesini kolaylaştırmaktadır.

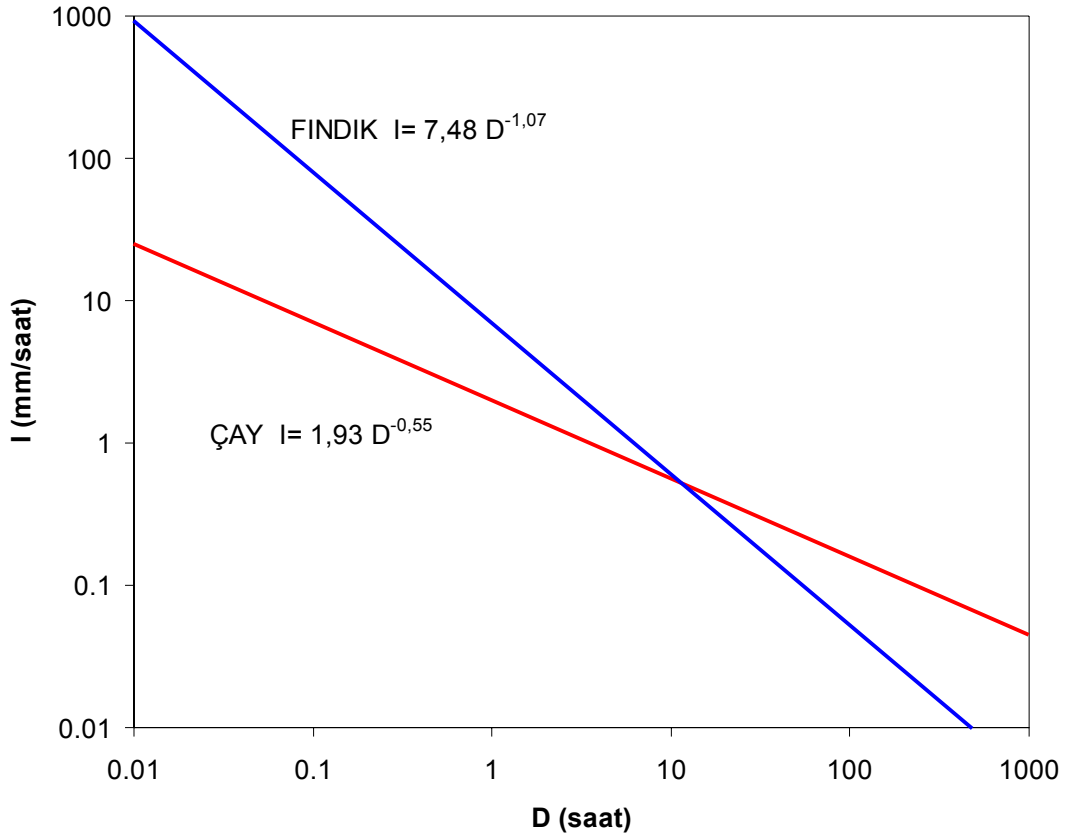
Boş (çıplak) arazilerin ormanlık alanlardan daha yüksek bir eşik değere sahip olmasının nedeni ise yüzeysel akışa geçen yağışın boş arazilerde, ormanlık alanlara göre daha fazla olmasıdır.

Bunun yanında ormanlık alanlarda meydana gelen heyelanların % 75' i sığ köke sahip ağaçların oluşturduğu alanlardır. Sığ köke sahip ağaçların oluşturduğu bu tür ormanlık alanlarda ağaçlar, ağırlıkları ile yamaçta kaydırıcı yönde etki gösterirler.



Şekil 3.28. Yamaç kullanım amacına göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği

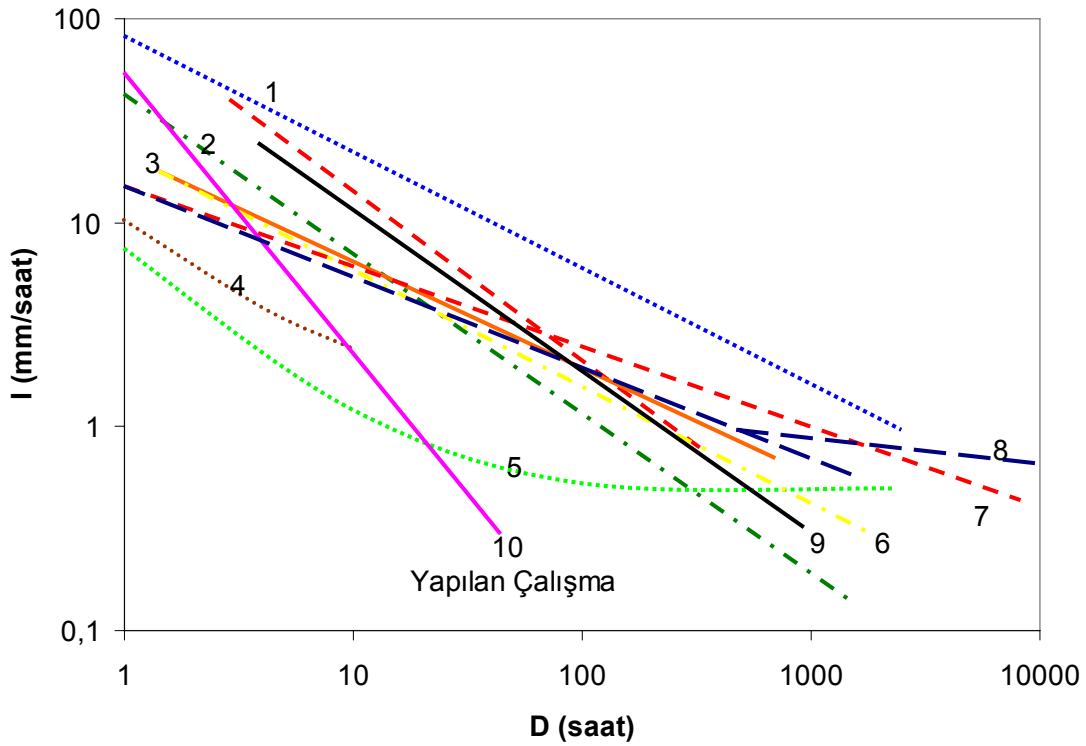
Şekil 3.29' da tarım arazileri için yağış eşikleri karşılaştırılmıştır. Çay ve fındık bitkilerine ait yağış eşiği uç değerleri farklılık gösterirken, heyelanların ağırlıkta olduğu zaman ve şiddet aralığında ortalama bir değer olan genel eşik değeri (bkz Şekil 3.23), her iki eşiği temsil edebilmektedir.



Şekil 3.29. Tarımsal ürün türüne göre Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği

3.3.1 Mevcut yağış eşikleri ile karşılaştırma

Literatürde, çalışma alanımız olan Trabzon veya Türkiye çevresi ile ilgili olarak daha önce hazırlanmış bir yağış eşiği bulunmamaktadır. Bu yüzden çalışmamızda elde edilen eşik değerimiz global ve diğer bölgesel eşikler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Yağış eşiklerinin karşılaştırılması

1 Zezere (2005) [100], 2 Cancelli (1985) [98], 3 Aleotti (2004) [79], 4 Wieczorek (2005) [80], 5 Crosta (2001) [78], 6 Ceriani, (1992) [94], 7 Caine (1980) [4], 8 Guzetti (2007) [82], 9 Dahal (2001) [164], 10 Yapılan çalışma (Akçalı (2010a)) [49]

Çalışmamız sonucu elde edilen Trabzon ili yağış eşiği, global ve bölgesel yağış eşiklerinin altında yer almaktadır. Yani diğer eşiklerden daha az şiddet ve sürede Trabzon ilinde heyelanlar meydana gelmektedir. Trabzon ilinin iklimi, jeolojik, jeomorfolojik özellikleri ve bunlara bağlı ayrışma hızı, yağış eşiği bağıntısının diğer eşiklere göre düşük çıkmasında önemli rol oynamıştır. Bunun dışında tarımsal faaliyetler ile ormanlık alanların tarım arazilerine dönüştürülmesi de yağış eşiği belirlenirken büyük ölçüde etkili olmuştur.

Elde edilen bu sonuç, her dar bölge için kendine özgü yağış eşiği oluşturulmasının ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

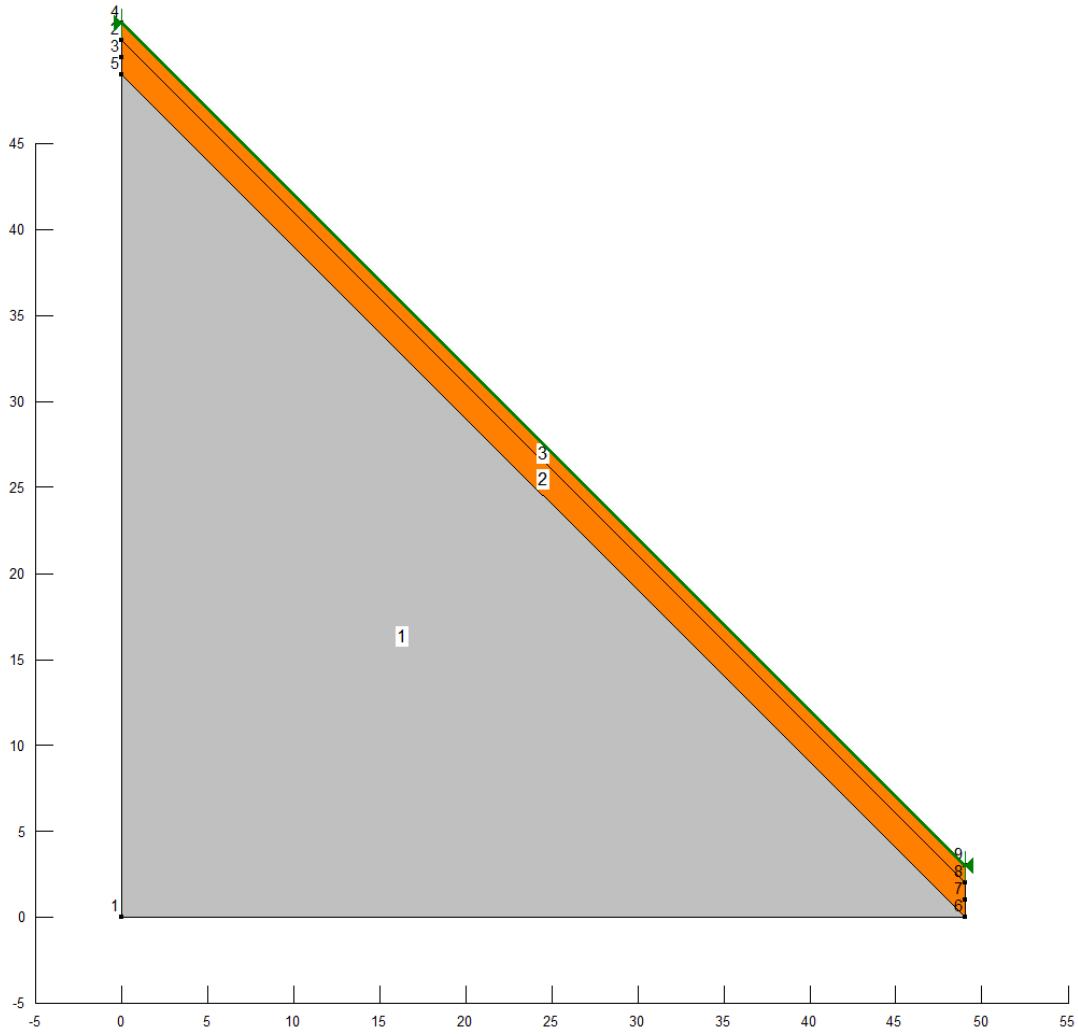
3.4 Model Oluşturma

Yağış almadan önce duraylı halde bulunan ve çalışmada belirlenen eşik değerden daha fazla miktarda yağış alarak duraylılığını kaybeden 15 adet yamaç için stabilite analizi yapılarak şev güvenlik katsayıları karşılaştırılmıştır. Yağış ncesi ve yağış sonrası duraylılık durumları dışında, kuru zemin durumu ve yağış sonrası ağaçlı durum için de stabilite analizleri yapılarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sayede 60 farklı durum oluşturulmuştur;

- I. Durum: Yağış ncesi denge durumu
- II. Durum: Yağış sonrası heyelan durumu
- III. Durum: Kuru zemin durumu
- IV. Durum: Yağış sonrası ağaçlı durum

Stabilite analizleri, Morgenstern – Price, Spencer, GLE, Bishop, Ordinary, Janbu, Janbu genel ve Sarma metodları ile analiz yapabilen bir bilgisayar yazılımı ile yapılmıştır.

şev eğimi, şev yüksekliği ve tabaka kalınlıkları belirlenmiş yamaçlar, sayısal analiz modeli üzerinde oluşturulmuştur (şekil 3.31). Tüm modellerde en alt tabaka sağlam kayadan oluşmaktadır. Daha sonra hedeflenen durumlar için analiz işlemine geçilmiştir. Analizler için seçilen heyelanlara ait zemin parametreleri, D.S.İ. 22. Bölge Müdürlüğü Laboratuarından elde edilmiştir.

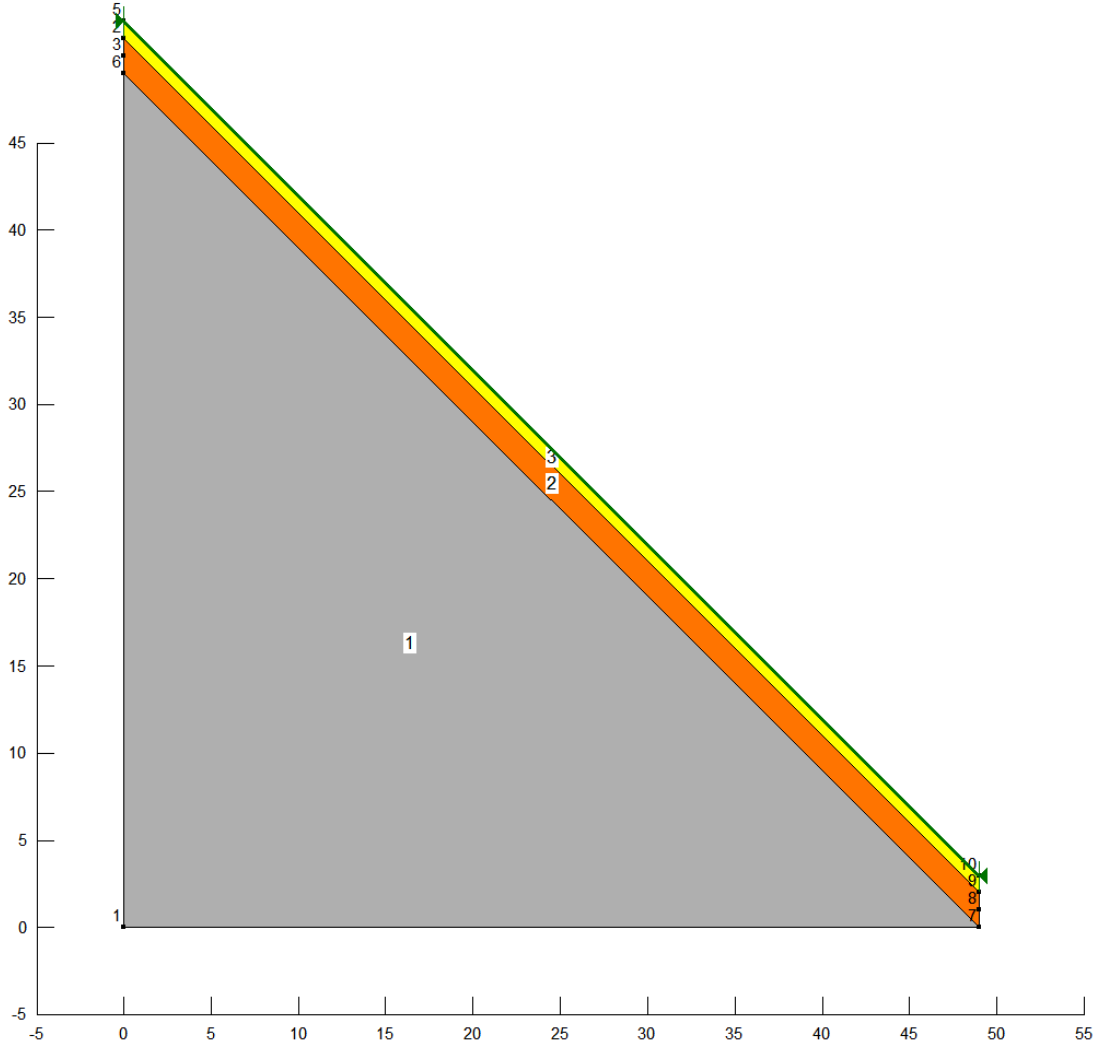


Şekil 3.31. Stabilite analiz modeli

I. Durum: Yağış öncesi durumu temsil eden bu analizde, oluşturulan modeller için zemin parametreleri her bir tabaka için yazılıma girilmiştir. Bu yamaçlara ait zeminler için doğal birim hacim ağırlık kullanılmıştır. Bu yamaçlara ait güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda güvenlik sayısı 1 in üzerinde hesap edilmiştir (Tablo 3.3).

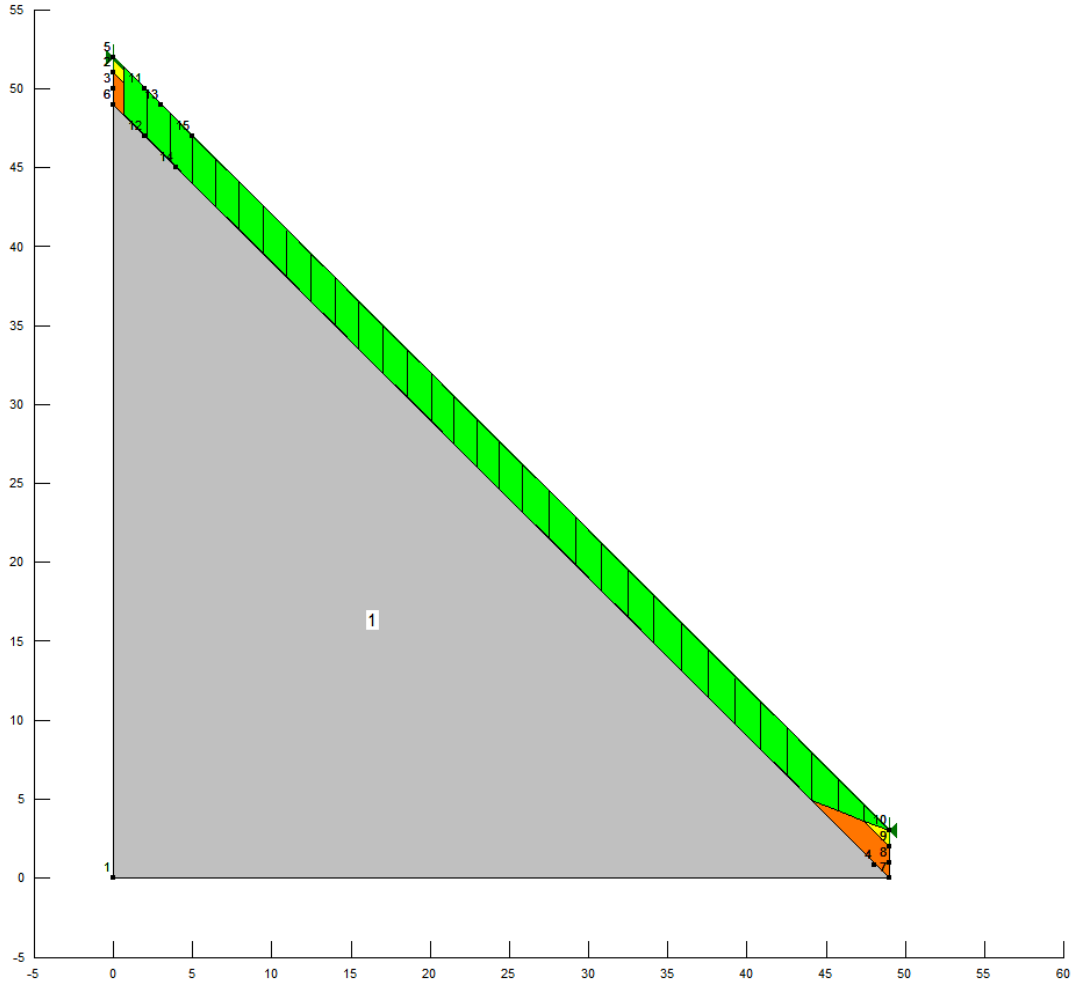
II. Durum: Bu modelde heyelanları etkileyen yağışlar dikkate alınarak yağışın zemine sızma derinlikleri hesaplanmıştır. Yamaçta hakim bitki örtüsü türüne ve zemin türüne göre, yağın yağışın akışa geçen ve zemine sızan yüzdeleri yağış – akış tablolarına göre belirlenmiştir [61, 151]. Belirlenen sızma miktarları, zeminlerin geçirimsizliğine göre düzeltilmiştir (Bkz. Bölüm 2.2).

Yağışın sızarak doymun hale getirdiği zemin tabakası için doymun birim hacim ağırlık, altındaki tabaka için ise doğal birim hacim ağırlık kullanılmıştır (şekil 3.32).



şekil 3.32. Stabilite analiz modelinde sızma miktarına göre belirlenmiş zemin tabakaları

Daha sonra modeller için stabilite analizleri yapılmış ve güvenlik katsayıları hesaplanmıştır (şekil 3.33) (Tablo 3.3). Duraylılığını kaybeden bu yamaçların güvenlik katsayıları 1 in altında hesap edilmiştir.

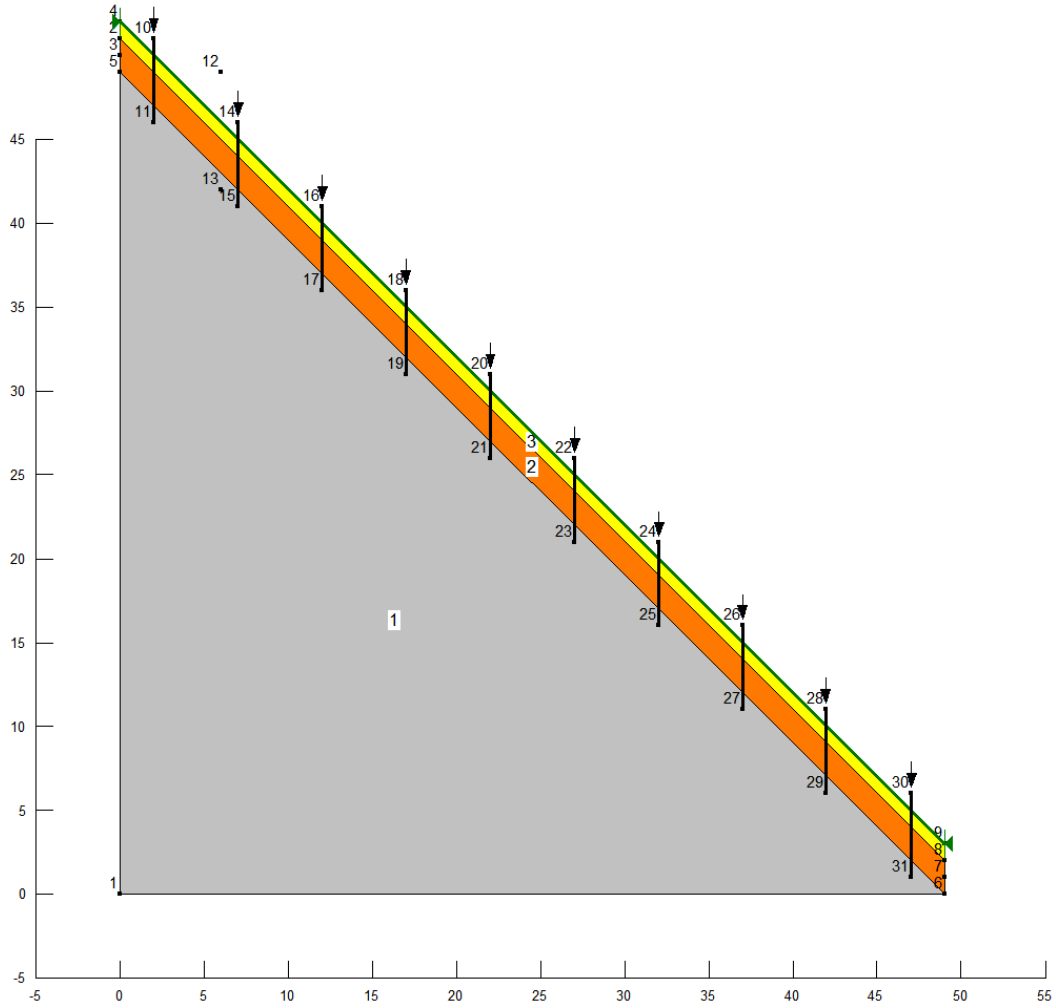


Şekil 3.33. Stabilité analiz modelinde denge kaybı durumu

III. Durum: Bu modellerde yamaçları oluşturan zemin tabakaları için doğal ve doymun birim hacim ağırlıklar yerine kuru birim hacim ağırlıklar kullanılarak suyun yamaçlardaki varlığının güvenlik katsayıları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Tablo 3.3).

IV. Durum: Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların büyük çoğunluğu ormanlık alanlardan tarım arazilerine dönüştürülen yamaçlar üzerinde oluşmuştur. Bu sebeple ağaçların şev stabilitesi üzerindeki etkisini irdelemek için, seçilen model yamaçlar üzerinde derin köklü ağaç bulunması durumu için güvenlik katsayıları

hesaplanmıştır. Ağaç köklerinin kayan kütle üzerinde göstereceği direnç ile ilgili olarak kullanılan yöntem Bölüm 2.2’ de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Her bir ağaç kökünün kaymaya karşı etkisi Şekil 3.34’ de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.3’ de sıralanmıştır.



Şekil 3.34. Stabilité analiz modelinde kök direnci durumu

Tablo 3.3. Trabzon ili heyelan modellemeleri için güvenlik katsayıları

Model No	Yağış öncesi doğal durum	Yağış sonrası tetiklenme durumu	Kuru zemin durumu	Yağış sonrası durum (Ağaçlı)
1	1,11	0,99	1,12	2,78
2	1,05	0,89	1,35	3,50
3	1,10	0,95	1,30	1,61
4	1,06	0,94	1,48	2,84
5	1,25	0,99	1,38	2,06
6	1,08	0,95	1,33	1,42
7	1,07	0,84	1,10	1,21
8	1,05	0,94	1,07	2,82
9	1,07	0,91	1,11	2,39
10	1,15	0,95	1,19	3,02
11	1,06	0,99	1,12	2,16
12	1,03	0,94	1,10	3,06
13	1,12	0,99	1,21	2,94
14	1,07	0,99	1,17	3,11
15	1,12	0,96	1,16	3,51

Oluşturulan modellerin güvenlik katsayıları Tablo 3.3. de gösterilmiştir. Yağış öncesi durum heyelan öncesi doğal zemin durumuna göre % 7-26 daha güvenli iken eşik değer üzerindeki yağışın etkisi ile şevler stabilitesini kaybetmiştir. Güvenlik sayısının ortalama % 14,4 azalmıştır.

Zeminin kuru olması halinde güvenlik sayısı, heyelanlı duruma göre % 11-54 daha güvenli çıkmaktadır. Yağışların etkisi, bu iki durumun karşılaştırmasında daha net olarak ortaya çıkmıştır. Güvenlik sayısının farkı ortalama % 25,6 dır.

Heyelanların meydana geldiği yamaçlarda derin köklü ağaçlar bulunması durumunda güvenlik katsayıları % 121-351 daha güvenli çıkmaktadır. Güvenlik sayısındaki ortalama artış % 256 dır. Bu yüksek güvenlik katsayıları, derin köke sahip ağaçların şev stabilitesi üzerindeki olumlu etkisini kanıtlamaktadır.

Bu modelleme çalışması ile eşik değer üzerindeki yağışların Trabzon ili yamaçlarındaki etkisi tespit edilmiştir. Yapılan şev stabilize analizleri söz konusu yamaçlarda insan müdahalesi olmadığı varsayımı ile yapılmıştır. Şev stabilitesini etkileyen hazırlayıcı ve tetikleyici diğer faktörler şevlerin daha düşük yağış şiddeti ve süresinde kaymalara sebep olabilecektir.

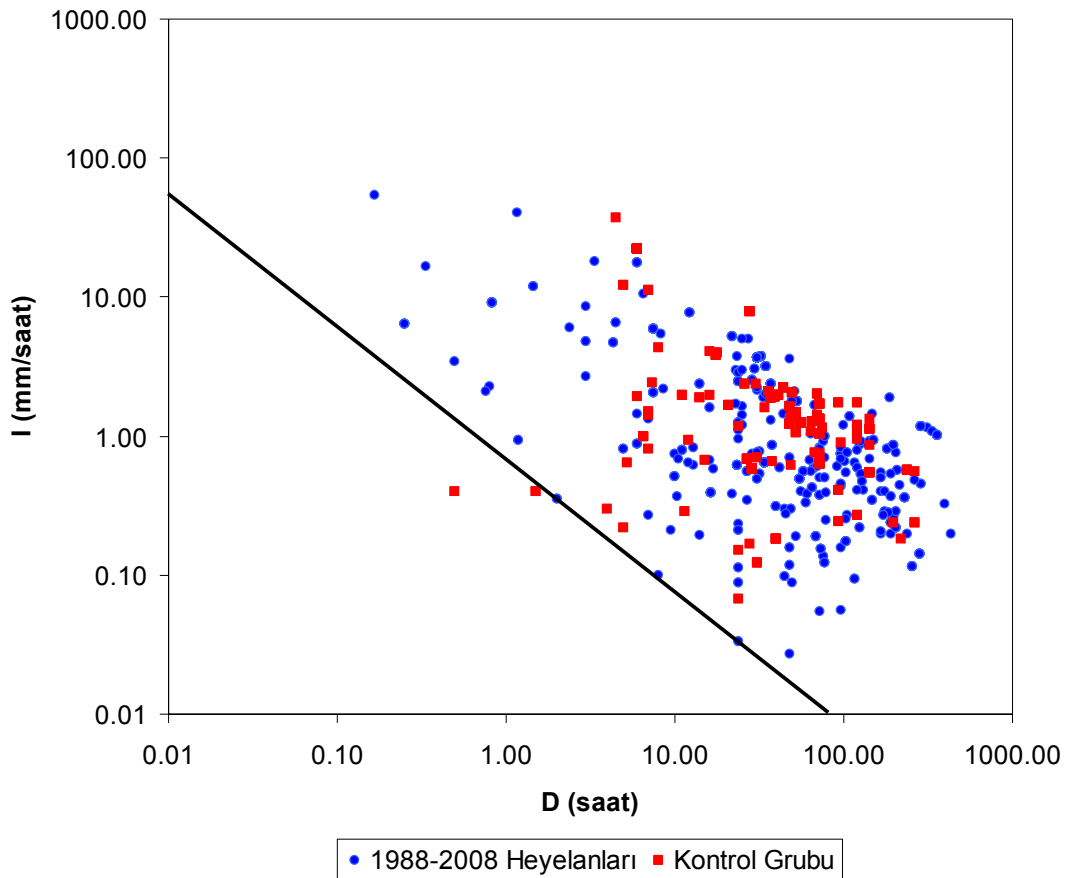
3.5 Yağış Eşiğinin Tahkik Edilmesi

Tez çalışmasının ilk bölümünde elde edilen 1988 – 2008 yılları arasındaki veriler baz alınarak hazırlanan “genel heyelanlara ait heyelan – yağış eşiği” ve “toplu heyelanlar (n>10) yağış eşiği”, 2009 – 2010 yılı heyelanları ve yağışları ile tahkik edilmiştir.

Bu kapsamda, 2009 ve 2010 yılı heyelan ve yağış verileri yine ilgili kurumlardan elde edilmiş ve Bölüm 3.1.2 ve Bölüm 3.2’ de izlenen yöntemler ile heyelanlara ait

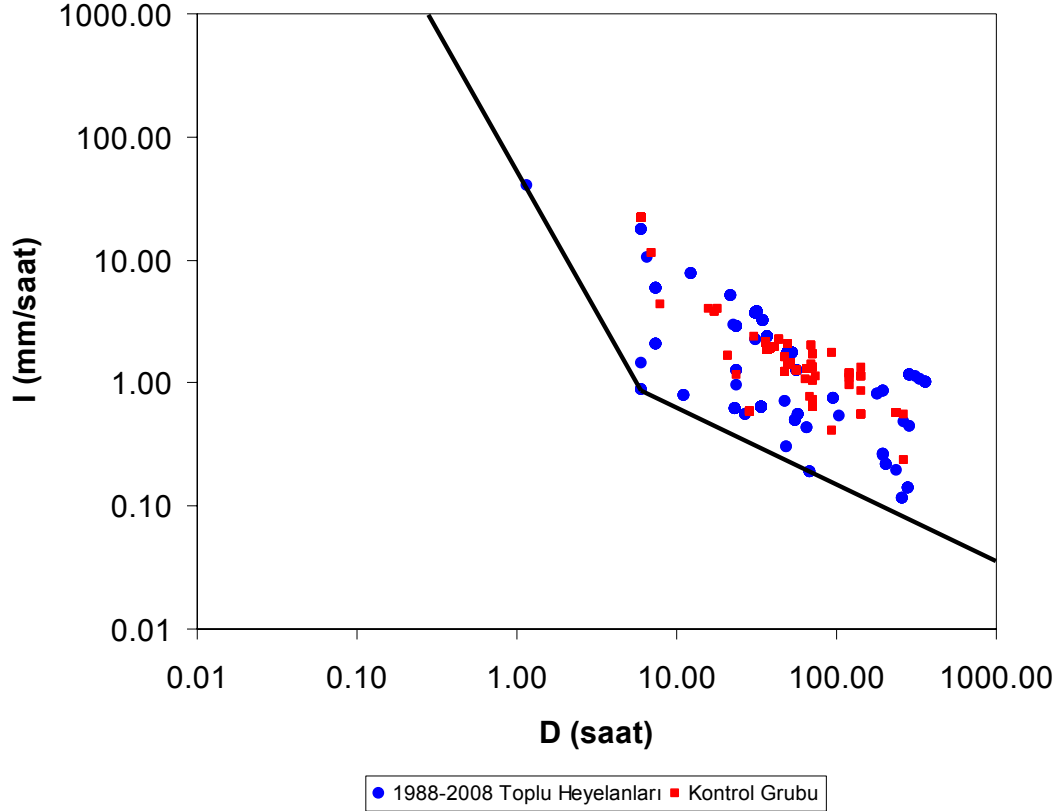
yağış süre, miktar ve şiddetleri hesaplanarak heyelan – yağış grafiği için uygun bir hale getirilmiştir.

Genel heyelanlar için elde edilen 2009 - 2010 yılına ait 355 adet heyelan verisi (kontrol grubu), Şekil 3.3' de elde edilen grafikte yerine konmuş ve söz konusu heyelanların % 95 oranında sınırlar dahilinde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.35). Sınır dışında kalan 2 adet heyelan vakası için mevcut sınır değerini değiştirilmesi yerine önümüzdeki yıllardaki gözlemler dahil edilerek, gerekli görülmesi halinde düzeltme yapılması daha uygun görülmüştür.



Şekil 3.35. Genel yağış eşiği tahkiki

Toplu heyelan yağış eşiği ($n>10$) de 2009 - 2010 yılı heyelan ve yağış verileri (kontrol grubu) ile tahkik edilmiştir (Şekil 3.36). 2009 - 2010 yılı heyelanlarının tamamı (%100), eşik değer sınırları içerisinde kalmıştır.



Şekil 3.36. Toplu yağış eşiği ($n>10$) tahkiki

3.6 Heyelan Yağış Eşiğinin Kullanım Alanı

Bir bölgede yağışa bağlı olarak meydana gelmesi muhtemel heyelanlar için erken uyarı verilmesi, heyelan afetinin zararlarının azaltılması adına büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada elde edilen yağış eşiklerinin kullanılarak erken uyarı

verilmesi de günümüzde başvurulan bir yöntem haline gelmiştir. Heyelan erken uyarı sisteminin üç temel gereksinimi vardır. Bu gereksinimler aşağıda sıralanmıştır.

- I. Heyelan – yağış eşiği veri tabanı
- II. Yağış tahmini
- III. Heyelan risk haritası

Bu üç temel gereksinimle ilgili yapılan çalışmalar ve açıklamalar aşağıda sunulmuştur. Açıklamaların akabinde Bölüm 3.6.4’ de heyelan erken uyarı sisteminin kullanımı ile ilgili bir örnek çalışma gösterilmiştir.

3.6.1 Heyelan erken uyarı veritabanı

Yapılan çalışma sonucu elde edilen yağış eşiklerinin en önemli kullanım alanı “heyelan erken uyarı sistemi” olacaktır. Genel heyelan yağış eşiği ve toplu heyelan yağış eşiği birleştirilerek heyelan erken uyarı sistemi için veritabanı oluşturacak hale getirilmiştir (Şekil 3.37). Bu eşik değerlere ilave olarak günlük ortalama yağış miktarı için de yağış şiddeti bazında bir eşik belirlenmiş ($I= 0,1$ mm/sa) olup daha düşük şiddetteki yağışlar, düşük heyelan riski olarak sınıflandırılmıştır.

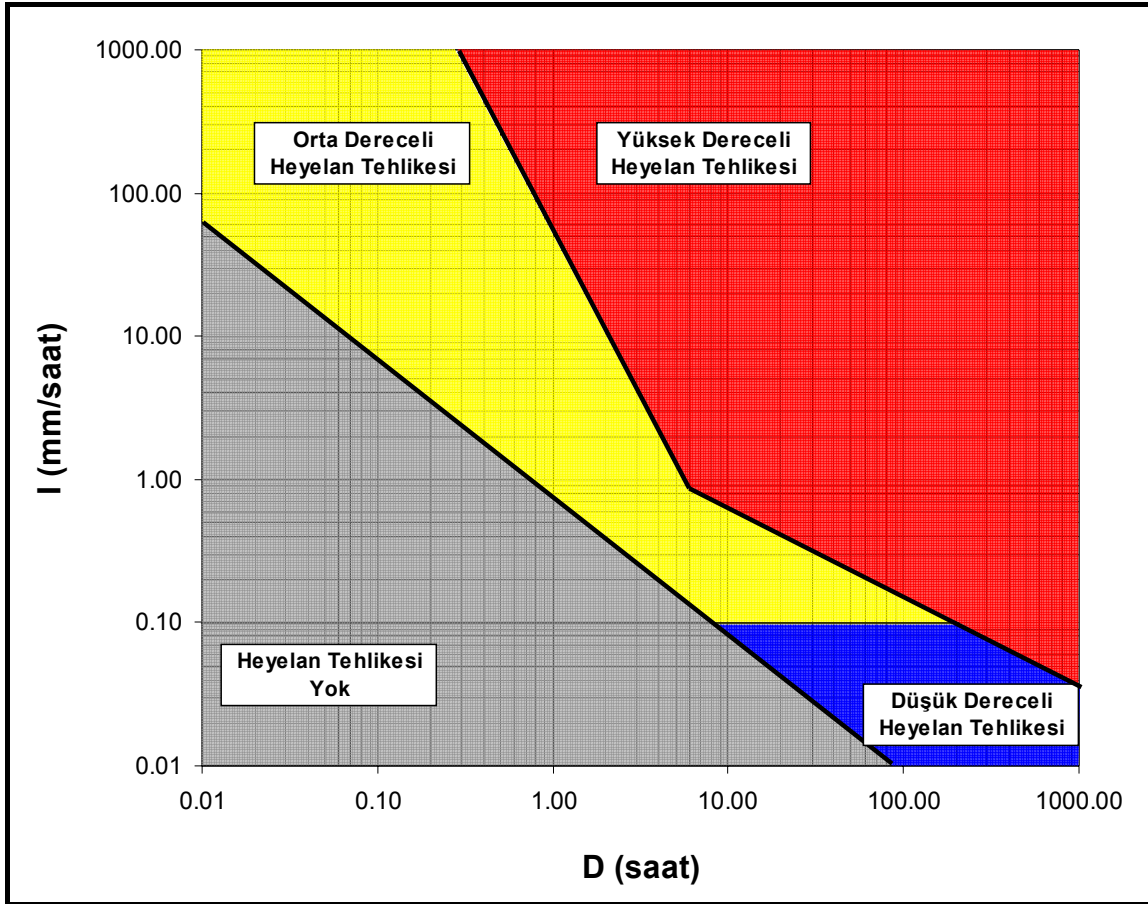
Birleştirilmiş grafikte eşik değerler sınır kabul edilerek;

- Gri renk: Bu bölgeye tekabül eden yağış şiddet ve süresinde heyelan olması beklenmemektedir.

- Mavi renk: Genel eşik değerin üstünde bulunmasına rağmen, günlük ortalama yağış miktarının altında yer aldığı için düşük dereceli heyelan tehlike bölgesi olarak kabul edilmiştir.
- Sarı renk: Bu bölgeye tekabül eden yağış şiddet ve süresinde münferit heyelanların meydana gelmesi muhtemeldir.
- Kırmızı renk: Toplu heyelanlar ($n>10$) baz alınarak hazırlanmıştır. Bu bölgeye tekabül eden yağış şiddet ve süresinde münferit veya toplu heyelanlar meydana gelmesi beklenmektedir.

Yukarıda belirlenen koşullar geçmiş heyelan verileri baz alınarak hazırlanmıştır. İnsan müdahalesi durumunda daha az şiddetteki yağışlarda da heyelan olaylarının meydana gelme olasılığı vardır.

Heyelan – yağış eşikleri, Şekil 3.38 de birleştirilmiş ve risk bölgelerine ayrılmış hali ile “heyelan erken uyarı veritabanı” olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan bu grafik günümüz koşulları için kullanıma uygun bir veritabanıdır. Bununla beraber söz konusu grafiğin, oluşan heyelanlar ile bu heyelanları tetikleyen yağış verileri girilerek periyodik olarak güncellenmesi gerekmektedir. Veritabanı, 1988 – 2010 verileri baz alınarak Ocak 2011 de güncellenmiştir. Grafik, Trabzon ilinde meydana gelen toplam 1105 adet heyelan olayı dikkate alınarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.37. Heyelan erken uyarı veritabanı

3.6.2 Meteorolojik radar istasyonu

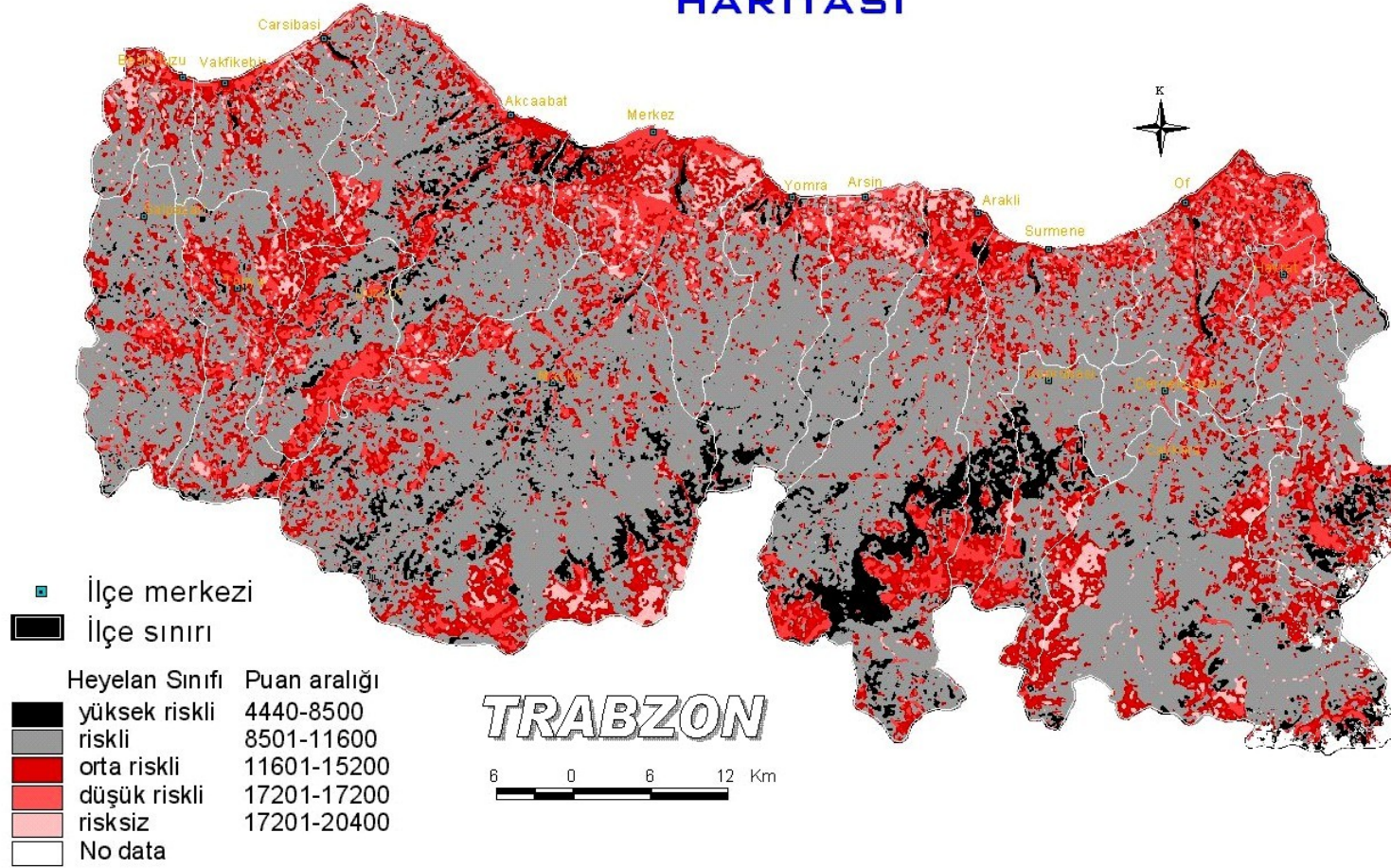
Çalışmamız sonucu hazırlanan “heyelan erken uyarı veritabanı” baz alınarak, erken uyarı verilebilmesi için ayrıntılı ve güvenilir yağış tahmin değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yağış tahminleri Türkiye’ de ağırlıklı olarak yer gözlem istasyonları ve uydu teknolojisi kullanılarak yapılmakta olup son yıllarda daha ayrıntılı ve güvenilir veriler sağlayan doppler radarların kullanımına da başlanmıştır. Türkiye de halen 4 adet (İstanbul, Ankara, Balıkesir, Zonguldak) doppler radar istasyonu bulunmakta olup 2011 yılında Trabzon ilinde de 1 adet istasyon kurulacaktır. (Bkz bölüm 1.8.13). Söz konusu radarın kurulması ile yağışın miktarı, süresi, şiddeti, geçiş hızı ve güzergahı hakkında önceden detaylı bilgi alınabilecektir.

3.6.3 Heyelan risk haritası

Yağış miktarı, yağış güzergahı, yağış saati tahminleri ve heyelan erken uyarı veritabanı kullanılarak heyelan riski belirlendikten sonra riskli görülen bölgelerin mekansal olarak uyarılması sistemin güvenilirliğini arttıracaktır. Bu nedenle Trabzon ili için heyelan risk bölgelerinin belirlendiği bir risk haritasının kullanılması gerekmektedir.

Trabzon ili için 2003 yılında KTÜ tarafından bir heyelan risk haritası hazırlanmıştır [147]. Bu harita da heyelana duyarlı bölgeler, litoloji, hidroloji, yol, arazi kullanımı, arazi örtüsü ve şev eğimleri dikkate alınarak risk seviyesine göre derecelendirilmiştir (Şekil 3.38). Heyelan uyarısı bu risk haritası dikkate alınarak yapıldığı takdirde daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir.

POTANSİYEL HEYELAN HARİTASI



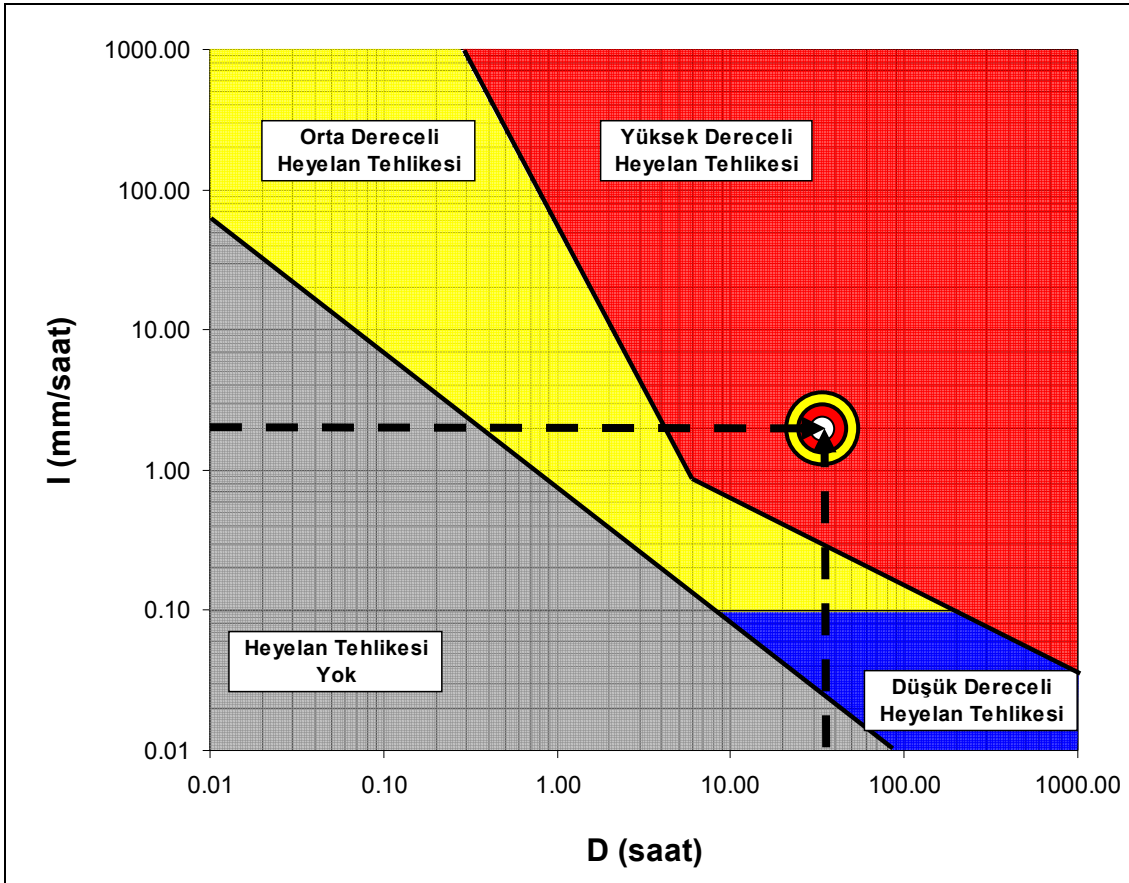
Şekil 3.38. Trabzon ili potansiyel heyelan haritası [147]

3.6.4 Örnekleme

Doppler radar vasıtası ile Trabzon ili Vakfikebir ilçesine şiddetli yağış düşeceği gözlemlenmiştir. Radar istasyonunda, söz konusu bölgeye 36 saatlik periyot içerisinde 72 mm yağış düşeceği tahmini yapılmıştır.

Beklenen yağış miktarı ve süresine bağlı olarak yağış şiddeti bulunur. Yağış şiddeti 2 mm/saat olarak hesap edilmiştir. Yağış şiddet ve süresi, heyelan erken uyarı veri tabanı üzerinde işaretlenir (Şekil 3.39). İşaretlenen nokta, yüksek dereceli heyelan tehlike bölgesine isabet etmektedir.

Trabzon ili potansiyel heyelan haritasına göre Vakfikebir ilçesindeki riskli bölgeler için erken uyarı yapılarak gerekli tedbirlerin alınması sağlanır (Şekil 3.39).



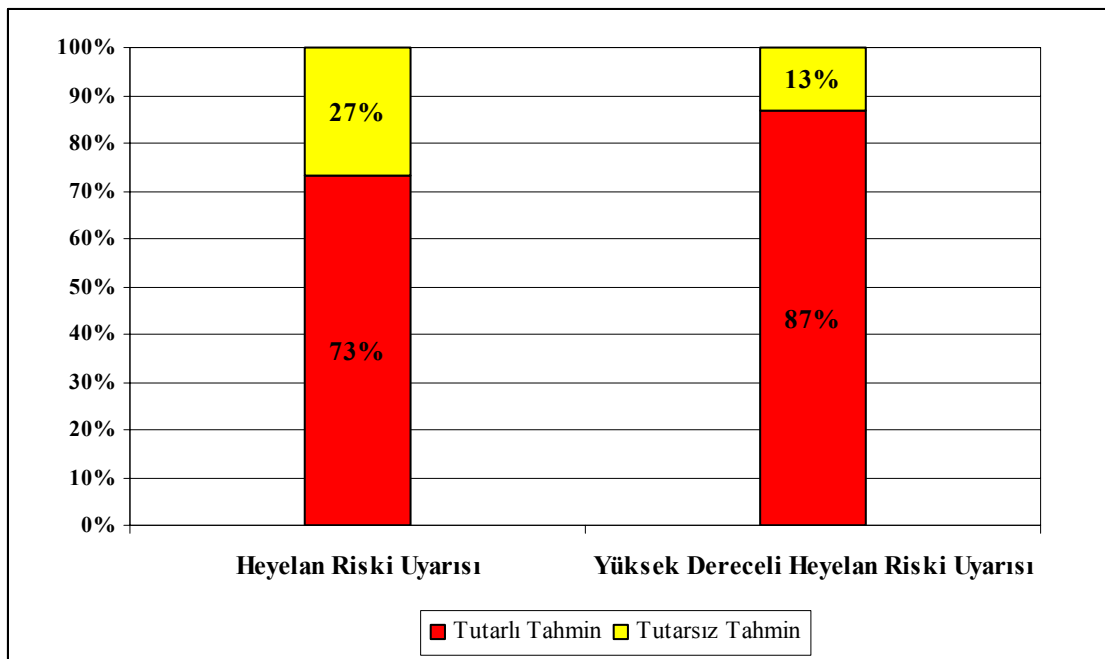
Şekil 3.39. Heyelan erken uyarı veritabanı kullanım örneği

3.6.5 Heyelan Erken Uyarı Veri Tabanının Tahkiki

Yapılan son çalışmada 2009 – 2010 yılları için “heyelan erken uyarı veri tabanı”nın güvenilirliği tahkik edilmiştir. Yağış şiddetleri ve yağış süreleri önceden tahmin edilmesi halinde yağış eşikleri baz alınarak meydana gelmesi muhtemel heyelanlar için erken uyarı verilmesi halinde doğruluk oranı hesaplanmıştır. Hesaplamalar genel yağış eşiği ve toplu yağış eşiği için ayrı ayrı yapılmıştır.

Yağması beklenen ve genel heyelan yağış eşiği üzerinde yer alan yağışlara göre 2009 – 2010 yılları arasında 123 kez genel heyelan tehlike uyarısı verilmesi gerekirdi. Bu uyarılardan 90 adedinden sonra heyelan olayları meydana gelmiştir. Heyelan uyarısı % 73 oranında güvenilirlik sağlamıştır (Şekil 3.40).

Yağması beklenen ve toplu heyelan yağış eşiği üzerinde yer alan yağışlara göre 2009 – 2010 yılları arasında 55 kez toplu heyelan tehlike uyarısı verilmesi gerekirdi. Bu uyarılardan 48 adedinden sonra heyelan olayları meydana gelmiştir. Bu 48 adet heyelan vakalarından ise 12 adedinde toplu heyelan ($n>10$) meydana gelmiştir. Heyelan uyarısı % 87 oranında güvenilirlik sağlamıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.40. Heyelan erken uyarı tutarlılık analizi

4. SONUÇLAR

Yağışlar, heyelanların oluşmasında tetikleyici rol oynayan en önemli parametredir. Meydana gelmesi muhtemel heyelanlar için tetikleyici etkiyi oluşturacak yağışın süresi ve şiddeti hakkındaki araştırmalar son yıllarda yoğunluk kazanmıştır. Özellikle heyelan erken uyarı sistemleri için bu araştırmalar büyük önem taşımaktadır. Bununla beraber yapılan araştırmalar, derin heyelanlarla yağış arasında kesin bir bağıntı kurulamadığını göstermektedir. Türkiye’ de en çok heyelan afeti meydana gelen il olan Trabzon ili heyelanları da % 97 oranında sığ ve yüzeysel heyelanlardan (kayma – akma) oluştuğundan heyelan – yağış ilişkisinin araştırılması için ideal bir bölge olmuştur.

Geniş alanlarda yağışa bağlı heyelan olasılığının deneysel ve deterministik yaklaşımlarla belirlenmesi çok masraflı ve zahmetli olmaktadır. Ayrıca rezidüel zemin yamaçlarda, zeminin kayma direnci, ayrışma ve yıpranma etkilerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, stabilite analizi, laboratuvar deneyleri sonucu bulunan parametrelerle başarılı şekilde yapılamamaktadır. Bu sebeple istatistiksel verileri baz alan ampirik yaklaşımlar, yerinde oluşmuş (rezidüel) zeminlerde en güvenilir yol olarak kabul edilmektedir. Trabzon ili de büyük oranda rezidüel zeminlerden meydana gelmiş olup, heyelanların büyük çoğunluğu bu tür zeminlerde meydana gelmiştir.

Heyelanları etkileyen yağışlar baz alınarak oluşturulan heyelan erken uyarı sistemleri için ise, yamaçlara sensör yerleştirilmesi, hem kurulum – işletim masrafının yüksek oluşu, hem de sensörlerin sıklıkla arızalanması sonucu istenilen verimin alınamaması nedeniyle kaçınılan bir sistem olmuştur. Heyelan erken uyarı sistemlerinde heyelan – yağış eşliğinin kullanılması son yıllarda tercih edilen bir yöntem olmuştur.

Bu nedenlerle, bu çalışmada Trabzon ili heyelan – yağış ilişkisinin araştırılmasında istatistiksel verileri baz alan ampirik yöntem kullanılmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında özetle; ilk aşamada Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar ve bunları oluşturan yağışlar incelenmiştir. Daha sonra il sınırları içerisinde 1998 – 2008 yılları arasında oluşan heyelanları tetikleyen yağışlara ait heyelan – yağış eşiği belirlenmiş ve elde edilen eşik değer deterministik şev stabilite analizleri ile tahkik edilmiştir. Son aşamada ise bu eşik değerler, 2009 – 2010 yağış ve heyelan verileri ile doğrulanmıştır.

Yapılan bu tez çalışması ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1) Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar; türüne, sebebine, boyutlarına, derinliğine, kayan malzeme türüne, arazi kullanım amacına, kaplı ağaç türüne ve tarımsal ürün türüne göre en güncel şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar özetlenecek olursa;

- Oluşan heyelanların % 40' ı düzlemsel kayma, % 41' i akma, % 16' sı birleşik heyelan ve % 3' ü dairesel kayma türündedir.
- Şev açıları düzenli bir dağılım göstermekte olup heyelan meydana gelen yamaçların ortalama eğimi 44,7° dir.
- Şev yüksekliği ortalama 52,6 m dir.
- Kayan kütle kalınlığı (derinliği) % 90 oranında 0-5 m aralığındadır.
- Heyelanların % 87' si tarım alanlarında, % 5' i ormanlarda ve % 8' i mera ve boş arazilerde meydana gelmiştir.
- Ormanlık alanlarda meydana gelen heyelanların % 75' i sığ köke sahip ağaçların bulunduğu yerlerde meydana gelmiştir.
- Tarım alanı heyelanlarının % 57' si fındık, % 38' i çay bahçelerinde meydana gelmiştir.

2) Sınıflandırmalar ve incelemeler sonucu Trabzon ili heyelanlarının meydana geliş nedenleri ortaya konmuştur. Bu nedenlerden en önemlisi tarım alanlarında meydana gelen heyelanlarla ilintilidir. Trabzon ili topraklarının sadece % 23 ü tarım alanı iken, Trabzonda meydana gelen heyelanların % 87 sinin tarım alanlarında oluşması, hem ormanlık alanların tarım alanına dönüştürülmesindeki tehlikeyi göstermiş hem de mevcut tarım alanları için heyelan tedbiri alınmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

3) Trabzon ili heyelanları ve yağış verileri elde edilerek kullanıma hazır hale getirildikten sonra, meydana gelen heyelanlar için genel yağış eşiği oluşturulmuştur.

- Trabzon ilinde heyelan meydana gelmesi için;

$$I = 0,69.D^{-0,99} \quad (4.1)$$

eşik değerinin üzerinde yağış gerekmektedir. Elde edilen bu eşik değer, araştırmacılarca elde edilen yağış eşiği bulunmayan bölgeler için kullanılması tavsiye edilen global ölçekteki eşik değerlerden oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeni, bölgenin litolojik, jeomorfolojik, topoğrafik ve iklimsel farklılıklarından ve ayrıca insan etkisi olarak da ormanlık alanların tarım alanlarına dönüştürülmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tespit, her bölge için lokal eşikler oluşturulması yönündeki tavsiyelerin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

- Trabzon ilinde oluşan toplu heyelanlar ($n>10$) için de çalışma yapılmıştır. Trabzon ilinde toplu heyelanların ($n>10$) meydana gelmesi için;

$$D<6 \text{ saat için}; \quad I = 57,73.D^{-2,33} \quad (4.2)$$

$$D>6 \text{ saat için}; \quad I = 2,75.D^{-0,63} \quad (4.3)$$

eşik değerinin üzerinde yağış gerekmektedir.

Genel ve toplu heyelanlar ($n>10$) için belirlenen eşik değerler dışında; şev açısı, heyelan türü, tarım alanı türü, arazi kullanım amacı ve litolojiye göre de eşik değerler belirlenmiştir. Bu eşik değerler ile ilgili ayrıntılı bilgiler bölüm 3.1.2 de yer almaktadır.

4) Eşik değer çalışmaları, yağışların miktarı ve şiddetinden çok süresinin önemli olduğunu göstermiştir.

5) Genel yağış eşiği üzerinde yağış alarak stabilitesini kaybeden 15 adet heyelan için stabilite analizleri ile tahkik yapılmıştır. Bu tahkiklerde yağış öncesi doğal durum ve yağış sonrası denge kaybı durumu karşılaştırılmıştır. Eşik değerden daha fazla miktarda yağış alan yamaçların güvenliklerini ortalama %14,4 oranında kaybettikleri hesaplanmıştır.

Seçilen 15 adet model heyelan için, zeminlerin kuru durumda olması da tahkik edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Kuru zemine sahip yamaçlar ile eşik değerden daha fazla miktarda yağış alan yamaçların güvenlik katsayıları karşılaştırılmış ve kuru zeminlerin ortalama % 25,6 daha güvenli olduğu tespit edilmiştir. Bu tahkik, eşik değer üzerindeki yağışların, şev güvenliğini ne derecede etkilediğini ortaya koymuştur.

Trabzon ilinde ormanlık alanların tarım alanlarına çevrilmesi ve heyelanların büyük oranda bu tarım alanlarında meydana gelmesi sebebiyle ağaç köklerinin Trabzon ili heyelanlarındaki etkinliği de araştırma konusu olmuştur. Bu nedenle seçilen model yamaçlarda derin köklü ağaç olması durumunda güvenlik sayısı incelenmiştir. Heyelan meydana gelen model yamaçlarda derin köklü ağaç bulunması durumunda şev güvenliğinin ortalama % 256 artacağı yapılan hesaplamalar ile ortaya konmuştur. Bu sonuç, derin köklü ağaçların şev güvenliğinde ne derece önemli olduğunu göstermiştir.

6) Çalışma sonucu elde edilen genel ve toplu heyelan – yağış eşikleri baz alınarak heyelan erken uyarı sistemi için veritabanı oluşturacak bir birleşik heyelan

uyarı grafiği oluşturulmuştur. Bu sayede Trabzon ilinde erken uyarı sistemi kurulması halinde bu veritabanı kullanılarak ilgili yerlere, gerekli uyarılar yapılacaktır. Hazırlanan bu veritabanı günümüz için kullanıma uygun olmakla beraber yağış ve heyelanların sürekli olarak devam etmesi dolayısıyla dinamik bir veritabanı olarak işlem görecektir. Söz konusu veritabanının, oluşan heyelan ve yağışlara göre periyodik olarak güncellenmesi gerekmektedir.

Heyelan erken uyarı sistemin çalışması için Trabzon iline ait bir heyelan risk haritası ve hassas yağış verilerinin sağlanacağı bir doppler radar gerekmektedir. KTÜ tarafından 2003 yılında Trabzon için bir heyelan risk haritası hazırlanmıştır. D.M.İ. tarafından ise 2011 yılı sonunda Trabzon ili için bir doppler radar kurulacaktır. Böylece heyelan erken uyarı sisteminin kurulması için gerekli olan bütün öğeler tamamlanmış olacaktır.

Yapılan bu tez çalışması ile elde edilen kazanımları maddeler halinde sıralanmıştır;

- 1) Çalışma sonucu elde edilen heyelan – yağış eşiği bağıntıları günümüzde büyük önem kazanan ve kullanılması zaruriyet haline gelen heyelan erken uyarı sistemi için veri tabanı olmuştur.
- 2) Elde edilen yağış eşiği bağıntısı, benzer araştırmalardan farklı olarak sayısal modellerle zemin parametreleri göz önüne alınarak şev stabilite analizleri ile tahkik edilmiştir.
- 3) Literatürde ilk defa farklı parametreler kullanılarak (toplu heyelan, şev açısı, heyelan türü, tarım alanı türü, arazi kullanım amacı, litoloji) yağış eşikleri belirlenmiştir.
- 4) Trabzon ili için elde edilen bu bağıntılar Türkiye’ den elde edilen ve uluslararası literatüre sunulan ilk yağış eşiği bağıntısı olmuştur.

- 5) Bağıntı elde edilirken lokal sayılabilecek büyüklükte bir bölge için çok sayıda heyelan verisi (n=1105 adet) kullanılması bağıntının güvenilirliğini arttırmıştır.
- 6) Heyelan veri tabanını oluşturan genel ve toplu heyelan yağış eşikleri 2 yıllık deneme süresi (2009-2010) ile güvenilirliğini ispat etmiştir.
- 7) Heyelan erken uyarı veritabanının güvenilirliği, geçmişe yönelik 2 yıllık deneme süresi (2009-2010) ile tahkik edilmiş ve yüksek oranda tutarlılık sağlamıştır.
- 8) Hazırlanan heyelan erken uyarı veritabanı Türkiye için bir ilk olacaktır.
- 9) Toplu heyelan yağış eşiğini de baz alan heyelan erken uyarı veritabanı literatürde ilk defa yeralacaktır.
- 10) Elde edilen bağıntı kullanılarak erken uyarı sistemi kurulması ile Türkiye’de heyelan olaylarının en çok yaşandığı Trabzon ilinde, heyelana bağlı can ve mal kayıpları azaltılacaktır. Böylece hem Trabzon iline hem de ülkemize sosyal ve ekonomik katkı sağlanmış olacaktır.
- 11) Trabzon ili heyelanları ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ağırlıklı olarak heyelanların nedenlerini belirlemek ve yapısal çözümler üretmek üzerine olmuştur. Bu çalışmada ise günümüzde heyelanlardan kaçınma ve heyelan zararlarının azaltılması adına bir çalışma yapılmıştır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile Trabzon ili heyelanları için heyelan – yağış eşikleri oluşturulmuştur. Bu eşikler aynı zamanda Trabzon ili heyelan erken uyarı sistemi için veri tabanı görevi görecektir. Çalışma yapılırken sadece Afet Genel Müdürlüğü heyelan raporlarının kullanılmayıp, özellikle Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde tutulan ve genel hayata etkinliği bulunmadığı için veya mevzuata dayalı farklı sebeplerle Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığına gönderilmeyen 3000 in üzerinde heyelan raporunun incelenerek, bunlardan 1105 adet heyelanın çalışmaya dahil edilmesi, eşik değerinin güvenilirliğini önemli ölçüde yükseltmiştir.

- Çalışmamız sonucu bulunan heyelan – yağış grafiği baz alınarak Trabzon ili için Heyelan Erken Uyarı Sistemi kurulması, can ve mal kayıplarının azaltılarak sosyal ve ekonomik katkı sağlanması açısından tavsiye edilmektedir.
- 1988 – 2010 verileri kullanılarak elde edilen heyelan - yağış eşikleri sürekli olarak güncellenmelidir.
- Heyelan raporlarında heyelanların meydana geliş tarih ve saatleri mutlaka belirtilmelidir.
- Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar için tutulan raporlar, kamu kurum ve kuruluş arşivlerinde incelenirken bu raporların belli bir standartta olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple pek çok heyelan verisi çalışmamızda kullanılamamıştır. Meydana gelen heyelanlar için tutulacak raporlar için aşağıda hazırlanan heyelan envanter formunun kullanılması bir standart sağlanması açısından tavsiye edilmektedir (Şekil 5.1).

HEYELAN ENVANTER FORMU			
Heyelanın oluştuğu	Heyelanın oluştuğu		
İl : Trabzon	Tarih : 21.06.1990		
İlçe : Vakfıkebir	Saat : 17:00		
Köy : Marna			
Mah :			
Kayan Malzeme Türü : Kil			
Kayan Malzemenin Üzerindeki Örtü Türü : Fındıklık			
Heyelan Türü : Düzlemsel Kayma			
Kayan Malzeme Boyutları (En x Boy) : 20 x 60 m			
Kayan Malzeme Derinliği : 1-2 m			
YASS Derinliği : 3 m			
Kayma/Akma Hızı : Hızlı			
Heyelan Nedenleri (Doğal) : Yağış			
Heyelan Nedenleri (Yapay) : -			
Genel Jeoloji :			
<u>Detaylı Heyelan Kesitinde Gösterilecek Parametreler</u>			
<ul style="list-style-type: none"> - Şev Yüksekliği - Şev Açısı - Kayan Malzeme kesiti - Kayan Malzeme Kalınlığı - YASS - Sağlam Zemin - Çekme Çatlağı 			
<u>Zemin Parametreleri (Laboratuvar Sonuçları)</u>	<u>Tabaka-1</u>	<u>Tabaka-2</u>	<u>Tabaka-3</u>
Zemin Sınıfı			
Doğal Su Muhtevası			
Likit Limit			
Geçirimsizlik Katsayısı			
Birim Hacim Ağırlık			
c	c'		
Ø	Ø'		
<u>Yağış Bilgileri (Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden Alınacak)</u>			
Heyelan dan Önce Meydana Gelen Toplam Yağış Miktarı	:		
Heyelandan önce meydana gelen yağışın süresi	:		

Şekil 5.1. Heyelan envanter formu

- Son yıllarda meteoroloji istasyonlarının kapanması sebebiyle, heyelanları etkileyen yağış verileri daha uzak istasyonlardan tespit edilmek zorunda kalmıştır. Söz konusu istasyonların tekrar açılması ve sayısının arttırılması, yağış verilerinin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.
- Ormanlık alanların tarım alanlarına dönüştürülmesinden kaçınılmalıdır. Tarım alanlarına dönüştürülmüş sahalarda aralıklı olarak derin köklü ağaçların dikilmesi teşvik edilmelidir.
- Bir bölgede geçmiş yıllarda aşırı yağışlarda heyelan gelmemiş olmasına rağmen daha sonra, daha az miktar, süre ve şiddetteki yağışlarda heyelan olabilmektedir. Bu durum yamaçların, yağışlar dışında, başta ayrışma hızı olmak üzere farklı parametrelerden de etkilendiğini göstermektedir.
- Heyelan erken uyarı sistemi için veritabanı olarak hazırlanan grafik, geçmiş heyelan ve yağış verilerine dayanılarak hazırlanmıştır. Bu grafik belirtilen tehlike bölgelerine bir yağış verisi isabet ettiği zaman heyelan meydana geleceğini kesin olarak ispatlamamakta birlikte geçmiş heyelan ve yağışları baz alarak heyelan olma olasılığının olduğunu göstermektedir. Heyelanları etkileyen pek çok farklı parametre olduğundan, geniş alanlar için bu grafik ile kesin bir yargıya varılmamalıdır. Ancak bu eşik değerden daha az miktar yağışlarda heyelan meydana gelmediği ve eşik değerden daha fazla miktar yağışlarda ise münferit ve toplu heyelanlar meydana geldiği bilinmeli ve bu bilinçte heyelan uyarısı verilmelidir.
- Bu uyarılar ile birlikte, arazide gerilme çatlakları, krip akma vb. belirtilerin gözlenmesi ile sistem daha uygun hareket edecektir.
- Heyelan erken uyarı veritabanı, doppler radarı kurulmasından sonra en az 1 yıllık deneme sürecine tabi tutulmalıdır.

Türkiye’ de heyelanların yoğun olduğu illerden başlayarak lokal yağış eşikleri veya aynı iklimsel ve jeolojik şartlara sahip illeri kapsayacak şekilde bölgesel yağış eşikleri için çalışmalar yapılmalıdır.

Heyelan erken uyarı veritabanı baz alınarak, beklenen yağışa bağlı olarak heyelan uyarısı verilmesi halinde heyelandan korunmak için yapılması gerekenler şunlardır;

1) Heyelan tehlikesinden kuşku duyulduğunda;

- Derhal yerel yönetimle temasa geçilmelidir.
- Heyelandan etkilenebilecek çevre bilgilendirilmelidir.
- Yapılar boşaltılmalıdır.

2) Heyelan anında yapılması gerekenler;

Kapalı Alandaysanız

- Binadan çıkılmalı ve heyelan bölgesinden uzaklaşmak için yeterli vakit yoksa içeride kalınmalıdır.
- Sağlam eşyaların altında veya yanında hayat üçgeni oluşturarak “ÇÖK-KAPAN-TUTUN” hareketini uygulanmalıdır.

Açık Alandaysanız;

- Tehlike anında heyelan veya çamur akıntısının yolundan uzak durarak hemen mümkün olduğu kadar yükseklerle doğru uzaklaşılmalı ve çevrede yaşayan insanlar uyarılmalıdır.
- Çamur ve moloz akmasından kaçabilecek zaman veya arkasına saklanılabilecek sağlam bir yapı yoksa “ÇÖK-KAPAN-TUTUN” hareketi ile baş ve boyun korunmalıdır.

3) Heyelan sonrasında yapılması gerekenler;

- Her şeyden önce güvencede olduğunuzdan emin olunmalıdır. Gerekliyse tehlikeli bölgeden uzaklaşarak kendinizi güvenceye almak gerekmektedir.
- Yakında bulunan elektrik, gaz ve su kaynaklarını hemen kapatılmalıdır. Çevrede gaz kaçağı olmadığından emin olana kadar bulunulan yer kibrit veya

diğer yanıcı maddeler ve ya elektrikli aletlerle aydınlatmaya çalışmalıdır. Fener kullanılmalıdır.

- Çevrede yaralı veya yardıma muhtaç kişiler varsa, yangın ve yeni bir heyelan gibi bir tehlike yoksa onları yerlerinden oynılmamalıdır.
- Tehlikeli duvarlar, çatılar ve bacalara karşı çevrenizdekiler uyarılmalı ve bunların etrafında dolaşılmamalıdır.
- Radyo ve televizyon gibi kitle iletişim araçlarıyla yapılacak uyarılar dinlenmelidir.
- Cadde ve sokaklar, acil yardım araçları için boş bırakılmalıdır.
- Eşya almak için zarar görmüş binalara girilmemelidir.

Bunların yanında heyelanlar konusunda vatandaşlar da duyarlı olmalı ve aşağıda sıralanan heyelan belirtilerine dikkat etmelidir. Bu belirtilerin gözlenmesi halinde derhal ilgili mercilere bilgi verilmelidir.

- Arazide veya yollarda çatlakların, yarıkların veya açılmaların oluşması,
- Bina temelleri altında çatlama, yarıma veya ayrılmalarla, bina döşemelerinde ve duvarlarda sürekli genişleyen çatlakların oluşması,
- Yeraltı su borularında sızıntıların ve kanalizasyon kanallarında kırılma ve çatlakların oluşması,
- Telefon direklerinde, çitlerde ve ağaçlarda yamaç aşağı eğilme ve yatmaların gözlemlenmesi,
- Tel veya ahşap çitlerde yer değiştirmelerin görülmesi,
- Arazide daha önce olmayan, kaynak suların, suya doymun alanların ve su sızıntılarının oluşması,
- Daha önce o bölgede heyelan meydana gelmiş olması,
- Özellikle sürekli veya sağanak yağışların meydana geldiği aylarda, arazide ve evlerde bu belirtiler görüldüğünde, evler hızla boşaltılmalı ve hemen yetkililere haber verilmelidir [165]

KAYNAKLAR

- [1] ALKAN, M., Heyelan ağaç ilişkisi tartışmasında gelinen aşama, İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sapanca, Türkiye, pp 35-44, 1995
- [2] COROMINAS, J., Landslides and climate. Keynote lecture In: Proceedings 8th International Symposium on Landslides, (Bromhead E, Dixon N, Ibsen ML, eds). Cardiff: A.A. Balkema, 4: 1–33, 2000
- [3] ÖNALP, A., AREL, E., Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsen Yayınevi, 2004
- [4] CAINE, N., The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. Geogr Ann A 62: 23–27, 1980
- [5] TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde, Türk Standartları Enstitüsü, 1991
- [6] TERZAGHI, K.. Mechanism of landslides: In application of geology to engineering practice. Geological Society of America, Berkeley, 83-123 Trantina, J.A., 1950
- [7] VARNES, D.J., Slope movement types and processes. In: Schuster R. L. & Krizek R. J. Ed., Landslides, analysis and control. Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, pp. 11–33, 1978
- [8] BRUNSDEN, D., Landslide types, mechanism, recognition, identification. Proc. Symposium on Landslides in the South Wales Coalfield, pp 19 – 28, Wales, 1985
- [9] HUTCHINSON, J.N., Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrology. General Report. In: Bonard, C., (Ed) Landslides, Proc. 5th International Symposium on Landslides, Vol. 1,3-35, 1988
- [10] EPOCH, The temporal occurrence and forecasting of landslides in the European community (Ed: Flageollet, J. C.). Contract No. 90 0025, 3 Volumes, 1993
- [11] DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SHROTT, L., (Eds) Landslide recognition, identification, movement and causes. pp 251 UK, 1996

- [12] WP/ WLI, (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) A suggested method for reporting a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, 5-12, 1990
- [13] WP/ WLI, (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory). A suggested method for describing the activity of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 47, 53-57, 1993
- [14] WP/ WLI, (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory). A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 52, 75-78, 1995
- [15] CRUDEN, D.M., The multilingual landslide glossary, Bitech Publishers, Richmond., British Columbia, for the UNESCO Working Party on World Landslide Inventory in, 1993
- [16] ÖNALP, A., Heyelan sözlüğü, İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sapanca, Türkiye, pp 22-34, 1995
- [17] YÜZER, E., Heyelan tehlike ve hasarlarının azaltılmasında heyelan bölgeleri haritalarının önemi, İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sapanca, Türkiye, pp 10-21, 1995
- [18] [HTTP://www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/hotspots/coredata.html](http://www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/hotspots/coredata.html), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [19] ZHU, H., The Geological characteristics of landslides induced by earthquakes in China, Proceedings of the Japan–China Symposium on Landslides and Debris Flows, Niigata, Tokyo, pp. 161–168, 1989
- [20] BOLT, B.A., HORN, W.L., MACDONALD G.A., SCOTT, R.F., Geological Hazards, New York: Springer-Verlag 328 p, 1975
- [21] VAN BEMMELEN, R.W., The geology of Indonesia, general geology of Indonesia and adjacent archipelagoes, The Hague: Martinus Nijhoff. Vol. 1A 732 p., 1970
- [22] FENG, X., GUO, A., Earthquake landslides in China. In proceedings, 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, pp. 339-346, 1985
- [23] YESENNOV, Y.E., DEGOVETS, A.S., Protection of the city of Alma-Ata from mud-rock flows. In A.I. Sheko (ed.). Landslides and Mudflows—Reports of the Alma-Ata International Seminar, October, Moscow: Centre of International Projects, GKNT., pp. 454-465, 1982

- [24] TIANCHI, L., SCHUSTER, R.L., JISHAN, W., Landslide dams in southwestern China. In R.L. Schuster (ed.), Processes, Risk, and Mitigation, American Society of Civil Engineers Special Publication3. pp. 146-162, 1986
- [25] NAKANO, T., KADOMURA, H., MIZUTANI, T., OKUDA, M., SEKIGUCHI, T., Natural hazards report from Japan. In G.F. White (ed.), Natural Hazards Local, National, Global New York: Oxford University Press., 8:231-243, 1974
- [26] WESSON, C.V.X., WESSON, R.L., Odyssey to Tadzhik - an American family joins a Soviet seismological expedition. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey Earthquake Information Bulletin, 7:1:8-16, 1975
- [27] MINISTRY OF CONSTRUCTION, Reference manual on erosion control works (in Japanese), Japan: Erosion Control Department. 386 p, 1983
- [28] MORALES, B., The Huascarán avalanche in the Santa Valley, Peru. In Proceedings, International Symposium on Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, 5-10 April 1965. Davos, Switzerland: International Association of Scientific Hydrology Publication No. 69: pp. 304-315, 1966
- [29] KIERSCH, G.A., Vaiont reservoir disaster. Civil Engineering 4:3:32-39, 1964
- [30] HANSEN, W.R., Effects of the earthquake of March 27, 1964 at Anchorage, Alaska. U.S. Geological Survey Professional Paper., Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. 542-A, 68 p, 1965
- [31] LI, TIANCHI., Landslide management in the mountain areas of China. ICIMOD Occasional Paper 15:50 p, 1990
- [32] JONES, F.O., Landslides in Rio de Janeiro and the Serra das Araras escarpment,. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office. Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper 697, 42 p, 1973
- [33] CLUFF, L.S., Peru earthquake of May 31, 1970. Engineering Geology Observations. Seismological Society of America Bulletin, 61:3:511-521, 1971
- [34] Lee, K.L., Duncan, J.M., Landslide of April 25, 1974 on the Mantaro River, Peru. Washington, D.C.: Committee on Natural Disasters, National Academy of Sciences. 72 p,1975
- [35] VOIGHT, B., JANDA, R.J., GLICKEN, H., DOUGLASS, P.M., Nature and mechanisms of the Mount St. Helens rockslide avalanche of 18 May 1980. Geotechnique, 33:3:243-273, 1983

- [36] KALISER, B.N.,. Geologic hazards of 1983., Salt Lake City: Utah Geological and Mineral Survey. Survey Notes, pp. 3-8; 1983
- [37] WANG, G., XU, B., Brief introduction of landslides in loess in China. In Proceedings, 4th International Symposium on Landslides, Toronto: Canadian Geotechnical Society 16-21 September, 2: 197-207, 1984
- [38] MILETI, D.S., BOLTON, P.A., FERNANDEZ, G., UPDIKE, R.G., The eruption of Nevado del Ruiz volcano, Colombia, South America, November 13, 1985. Committee on Natural Disasters, National Research Council, Natural Disaster Studies, Washington, D.C.: National Academy Press. 4:109 p., 1991
- [39] SCHUSTER, R.L., (ed.). The March 5, 1987, Ecuador earthquakes–mass wasting and economic effects. Committee on Natural Disasters, National Research Council/National Academy of Sciences, Natural Disaster Studies Washington, D.C.: National Academy Press. 5:163 p, 1991
- [40] MARTINEZ, J.M., AVILA, G., AGUDELO, A., SCHUSTER, R.L., CASADEVALL, T.J., K.M. SCOTT,. Landslides and debris flows triggered by the 6 June 1994 Paez earthquake, southwestern Colombia. Landslide News, no. Kyoto: Japan Landslide Society. 9:13-15, 1995
- [41] CANNON, S.H., KATHLEEN M.H., INGRID E., EUGENE, S.S., GRAZIELLA, D., DAVID W.M., SHARON A.R., ARTHUR C.T., Landslide response to rurricane Mitch rainfall in seven study areas in Nicaragua, U.S. Geological Survey Open-file report 01-0412A, 2001
- [42] [HTTP://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/4722702.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/4722702.stm), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [43] [HTTP://thedailystar.net/2007/06/14/d7061401149.htm](http://thedailystar.net/2007/06/14/d7061401149.htm), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [44] [HTTP://news.bbc.co.uk/1/hi/world/africa/8545005.stm](http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/africa/8545005.stm), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [45] [HTTP://www.afet.gov.tr/tuaa/PortalPage/](http://www.afet.gov.tr/tuaa/PortalPage/), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [46] RESMİ GAZETE Sayı :13007, 1968
- [47] ÖZTÜRK, K., Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri, G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 2, 35-50, 2002
- [48] GÖKÇE, O., ÖZDEN, Ş., DEMİR, A., Türkiye' de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı – Afet Bölgelerinde Envanter, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008

- [49] AKÇALI, E., ARMAN, H., FIRAT, S., SALTABAŞ, L., GÜNDÜZ, Z., Rainfall thresholds for the Initiation of landslides in Trabzon province of Turkey, International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), Vol.2, Issue 4: 14-26, 2010
- [50] ALTINKAYNAK. L., Son 80 yılda Trabzon ve çevresinde (dere yatakları boyunca) meydana gelen sel ve heyelan olaylarına genel bir bakış, 5. Dünya Su Forumu, Türkiye Bölgesel Toplantıları, Taşkın Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı, Trabzon, 131-146, 2008
- [51] DEMİR, A., İLGEN, H.G., GÖKÇE, O., IŞIK, A., Heyelanlar ve afet yönetimi: Trabzon örneği, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 41-57, 2006
- [52] DEMİR, A., GÖKÇE, O., ÖZDEN, Ş., IŞIK, A., ÇİFTÇİ, A., Trabzon heyelanlarına genel bakış, 5. Dünya Su Forumu, Türkiye Bölgesel Toplantıları, Taşkın Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı, Trabzon, 219-228, 2008
- [53] GÖKÇEOĞLU, C., ERCANOĞLU, M., Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, Hacettepe Üniv. Yerbilimleri Uygulama Ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 23: 189-206, 2001
- [54] TRABZON Afet ve Acil Durum Müdürlüğü – Heyelan Raporları 1988-2010
- [55] TARHAN, F., Doğu Karadeniz bölgesi heyelanlarına genel bir bakış, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 38 – 63, 1991
- [56] ÖNALP, A., Doğu Karadeniz heyelanları tanımlaması – analizi, TÜBİTAK MAG-441 Projesi, Trabzon, 1980
- [57] ÖNALP, A., TARHAN, F., SEVİNÇ, N., Doğu Karadeniz heyelanları: analiz – dengeli yamaç tasarımı, TÜBİTAK MAG-588 Projesi, Trabzon, 1987
- [58] ÖNALP, A., Doğu Karadeniz heyelanlarının nedenleri, analizi, kontrol olanakları, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 84-96, 1991
- [59] DİRİK K., Kütle hareketleri, Hacettepe Üniversitesi Fiziksel Jeoloji II Ders Notları, 2006
- [60] AKCALI, E., ARMAN, H., FIRAT, S., SALTABAS, L., GUNDUZ, Z., Trabzon province rainfall - landslide relationship and landslide warning chart, Seminar on Flood and Landslide Issues in The Black Sea Region, Trabzon, 2010

- [61] KAHVECİ, O., Doğu Karadeniz Bölgesinde Meydana Gelen Sel, Taşkın ve Heyelanlar ile Bölgedeki Bitki Örtüsü ve Orman Durumu, Doğu Karadeniz Bölgesi, Heyelan ve Taşkınları Sempozyumu, Trabzon, 2011
- [62] MTA, 1/500000 Ölçekli Türkiye heyelan envanteri haritası – Trabzon paftası, Ankara, 2007
- [63] DAPPORTO, S., ALEOTTI, P., CASAGLI, N., POLLONI, G., Analysis of shallow failures triggered by the 14–16 November 2002 event in the Albaredo valley, Valtellina (Northern Italy), *Advances in Geosciences*, 2, 305–308, 2005
- [64] MAJIDI, A., Numerical analysis of Hollar landslide, *EJGE*, vol 13 bund. B, 1-10, 2008
- [65] BLATZ, J.A., TAKE, W.A., PRIYANTO, D.G., Influence of a weathered zone on the susceptibility of a slope to rainfall induced instability, pp. 2291-2299, *Unsaturated Soils*, 2006
- [66] FELLENIUS, W., Swedish State Railways Geotechnical Commission, Statens Järnvägars GeotekniskaKommission – Slutbetänkande. Swedish State Railways, Bulletin 2 (in Swedish with English summary), 228 p, 1922
- [67] BISHOP, A.W., The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5: 7-17, 1954
- [68] NONVEILLER, E., The stability analysis of slopes with a slip surface of general shape, 6. int conf. On Soil. Mech. And Found. Eng, Toronto, 2: 522-525, 1965
- [69] JANBU, N.. Application of composite slip surface for stability analysis. *Proceedings of the European Conference on Stability of Slopes*, Vol-3 pp 43-49, 1954
- [70] YILDIRIM, S., Zemin incelemesi ve temel tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002
- [71] DUNCAN, J.M., WRIGHT, S.W., (KAYABALI, K., çeviren), Zemin şevlerinin duraylılığı, Gazi Kitapevi, Ankara, 2005
- [72] MORGENSTERN, N.R., PRICE, V.E. The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 15: 79-93, 1965
- [73] SPENCER, E., A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. *Geotechnique*, 17: 1 1-26, 1967
- [74] SARMA, S.K., Stability Analysis of embankments and slopes, *Geotechnique*, vol 23, pp 423-433, 1973

- [75] FREDLUND, D.G., KRAHN, J., Comparison of slope stability methods of analysis, *Canadian Geotechnical Journal*, 14:3 429-439, 1977
- [76] FREDLUND, D.G., FREDLUND, L.D., the pc slope family of software for slope stability analysis, *Proceeding of the first Canadian symposium on micro-computer applications to geotechnique, Canada*, 173-181, 1987
- [77] CHEN, Z.Y., MORGENSTERN, N.R., Extensions to the generalized method of slices for stability analysis. *Canadian Geotechnical J.* 20 (1), 104–119, 1983
- [78] CROSTA, G.B., FRATTINI, P., Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. In: *Proceedings 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms* (Mugnai A, Guzzetti F, Roth G, eds). Siena: 463–487, 2001
- [79] ALEOTTI, P., A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Eng Geol* 73: 247–265, 2004
- [80] WIECZOREK, G.F., GLADE, T., Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: *Debris flow Hazards and Related Phenomena* (Jakob M, Hungr O, eds). Springer Berlin Heidelberg, 2005
- [81] TIRANTI, D., Estimation of rainfall thresholds triggering shallow landslides for an operational warning system implementation, *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-010-0198-8, 2010
- [82] GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C.P., Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe *Meteorol Atmos Phys* 98, 239–267, 2007
- [83] GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides* 5:3–17, 2008
- [84] INNES, J.L., Debris flows. *Prog Phys Geog* 7: 469–501, 1983
- [85] CLARIZIO, M., GULLI, G., SORBINO, G., Mechanism of Landslides. *Proceedings of International Conference*) vol. 1, pp. 585-597, 1996.
- [86] CANNON, S.H., GARTNER J.E., Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. In: Jakob M, Hungr O (eds) *Debris flow hazards and related phenomena*. Springer, Berlin, pp 363–385, 2005
- [87] [HTTP://rainfallthresholds.irpi.cnr.it](http://rainfallthresholds.irpi.cnr.it), Erişim tarihi: Aralık, 2009
- [88] JIBSON, R.W., Debris flow in southern Porto Rico. *Geological Society of America, Special Paper* 236, 29–55, 1989

- [89] HONG Y., HIURA, H., SHINO, K., SASSA, K., SUEMINE, A., FUKUOKA, H., WANG, G., The influence of intense rainfall on the activity of large-scale crystalline schist landslides in Shikoku Island, Japan. *Landslides* 2(2): 97-105, 2005
- [90] CHIEN-YUAN, C., TIEN-CHIEN, C., FAN-CHIEH, Y., WEN-HUI, Y., CHUN-CHIEH, T., Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring. *Environmental Geology* 47: 715-724, 2005
- [91] MOSER, M., HOHENSINN, F., Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions. *Engineering Geology* 19: 185–211, 1983
- [92] GIANNECCHINI, R., Rainfall triggering soil slips in the southern Apuane Alps (Tuscany, Italy). *Advances in Geosciences* 2: 21-24, 2005
- [93] CALCATERRA, D., PARISE, M., PALMA, B., PELELLA, L., The influence of meteoric events in triggering shallow landslides in pyroclastic deposits of Campania, Italy. In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*, (Bromhead E, Dixon N, Ibsen ML, eds). Cardiff, Wales: A.A. Balkema, 1: 209-214, 2000
- [94] CERIANI, M., LAUZI, S., PADOVAN, N., Rainfall and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, central Alps, Italy. In: *Internationales Symposium*. Bern: Interpraevent 2: 9-20, 1992
- [95] MARCHI, L., ARATTANO, M., DEGANUTTI, A.M., Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology* 46: 1-17, 2002
- [96] PARONUZZI, P., COCCOLO, A., GARLATTI, G., Eventi meteorici critici e debris flows nei bacini montani del Friuli. *L'Acqua*, Associazione Idrotecnica Italiana, Sezione I/Memorie: 39-50, 1998
- [97] BARBERO, S., RABUFFETTI, D., ZACCAGNINO, M., Una metodologia per la definizione delle soglie pluviometriche a supporto dell'emissione dell'allertamento. In: *Proceedings of 29th Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*. Trento, 7-10 settembre 2004, 211-217, 2004
- [98] CANCELLI, A., NOVA, R., Landslides in soil debris cover triggered by rainstorms in Valtellina (central Alps - Italy). In: *Proceedings of 4th International Conference and Field Workshop on Landslides*. Tokyo: The Japan Geological Society, 267–272, 1985
- [99] FLORIS, M., MARI, M., ROMEO, R.W., GORI, U., Modelling of landslide-triggering factors - A case study in the Northern Apennines, Italy. In: *Lecture Notes in Earth Sciences 104: Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe* (Hack R, Azzam R, Charlier R, eds). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 745-753, 2004

- [100] ZEZE, J.L., TRIGO, R.M., TRIGO, I.F., Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 331-344, 2005
- [101] ZIMMERMANN, M., MANI, P., GAMMA, P., GSTEIGER, P., HEINIGER O., HUNZIKER, G., Murgangefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. In: *Schlussbericht Nationalen Forschungs Programmes, NFP 31*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH, 161 pp, 1997
- [102] JAKOB, M., WEATHERLY, H., A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia. *Geomorphology* 54: 137-156, 2003
- [103] AHMAD, R., Developing early warning systems in Jamaica: rainfall thresholds for hydrological hazards. National Disaster Management Conference, Ocho Rios, St Ann, Jamaica, 9-10 September 2003. at website: http://www.mona.uwi.edu/uds/rainhazards_files/frame.htm, 2003
- [104] LARSEN, M.C., SIMON, A., A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico. *Geografiska Annaler Series A-Physical Geography* 75(1-2): 13-23, 1993
- [105] WIECZOREK, G.F., MORGAN, B.A., CAMPBELL, R.H., Debris flow hazards in the Blue Ridge of Central Virginia. *Environ Eng Geosci* 6: 3-23, 2000
- [106] WIECZOREK, G.F., Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains. In: *Debris flow/avalanches: process, recognition, and mitigation* (Costa JE, Wieczorek GF, eds). Geological Society of America, *Reviews in Engineering Geology*, 7: 93-104, 1987
- [107] MONTGOMERY, D.R., SCHMIDT, K.M., GREENBERG, H.M., DIETRICH, W.E., Forest clearing and regional landsliding. *Geology* 28(4): 311-314, 2000
- [108] BAUM, R.L., GODT, J.W., HARP, E.L., MCKENNA, J.P., Early warning of landslides for rail traffic between Seattle and Everett, Washington. In: *Landslide Risk Management, Proceedings of the 2005 International Conference on Landslide Risk Management* (Hungar O, Fell R, Couture R, Ebdhardt E, eds). New York: A.A. Balkema, 731-740, 2005
- [109] LAN, H., ZHOU, C., LEE, C.F., WANG, S., WU, F., Rainfall-induced landslide stability analysis in response to transient pore pressure - A case study of natural terrain landslide in Hong Kong, *Science in China Ser. E Technological Sciences* Vol.46 Supp. 52-68, 2003

- [110] GOFAR, N., LEE, M.L., KASSIM, A., Response of Suction Distribution to Rainfall Infiltration in Soil Slope, Vol 13 Bundle E, 2008
- [111] TOHARI, A., NISHIGAKI, M., KOMATSU, M., Laboratory Rainfall-Induced Slope Failure with Moisture Content Measurement, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 133, No. 5, pp. 575-587, 2007
- [112] GLADE, T., CROZIER, M., SMITH, P., Applying Probability Determination to Refine Landslide-triggering Rainfall Thresholds Using an Empirical Antecedent Daily Rainfall Model, Pure appl. geophys. 157, 1059–1079, 2000
- [113] MANZARI, M.T., NOUR, M.A., Significance of Soil Dilatancy in Slope Stability Analysis, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, No. 1, pp. 75-80, 2000
- [114] IVERSON, R.M., Landslide triggering by rain infiltration, Water resources research, Vol. 36, No. 7, pp. 1897-1910, 2000
- [115] MUNTOHAR, A.S., LIAO, H.J., Analysis of rainfall – induced infinite slope failure during typhoon using a hydrological – geotechnical model, Environ Geol, 56:1145-1159, 2009
- [116] CROZIER, M.J., Prediction of rainfall triggered landslides: A test of the antecedent water status model, Earth Surf. Process. Landforms 24, 825-833, 1999
- [117] KIM, S.K, HONG, W.P., KIM. Y.M., Prediction of rainfall- triggered landslides in Korea, Landslides, 989-994, 1991
- [118] VANAPALLI, S.K., FREDLUND, D.G., PUHALF, D.E., CLIFTON, A.W., Model for prediction of shear strength with respect to soil suction, Can. Geotech.J. 33:379-392, 1996
- [119] GUI, S., ZHANG, R., TURNER, J.P., XUE, X., Probabilistic Slope Stability Analysis with Stochastic Soil Hydraulic Conductivity, J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. Volume 126, Issue 1, pp. 1-9, 2000)
- [120] COLLINS, B.D., ZNIDARCIC, D., Stability Analyses of Rainfall Induced Landslides, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 4, pp. 362-372, 2004
- [121] SHARMA, R.H., NAKAGAWA, H., Shallow landslide modeling for heavy rainfall events, Annuals of Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ. No 48B ,2005
- [122] CROSTA, G.B., FRATTINI, P., Rainfall-induced landslides and debris flows, Hydrological Processes Volume 22, Issue 4, pages 473–477, 2008

- [123] RAHARDJO, H., ONG T.H., REZAUR R.B., LEONG. E.C., Factors Controlling Instability of Homogeneous Soil Slopes under Rainfall Loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(12), 1532-1543. 2007
- [124] [HTTP://www.rabis.itu.edu.tr/index1.html](http://www.rabis.itu.edu.tr/index1.html), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [125] [HTTP://www.trabzon.gov.tr/](http://www.trabzon.gov.tr/), Erişim tarihi: Ocak, 2011
- [126] BAYRAK, T., ULUKAVAK, M., Trabzon Heyelanları Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 1, No: 2, (20-30) , 2009
- [127] [HTTP://www.gislab.ktu.edu.tr/](http://www.gislab.ktu.edu.tr/), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [128] TRABZON İL ÇEVRE VE ORMAN MÜDÜRLÜĞÜ, İl Çevre Durum Raporu, 2006
- [129] TAŞLI K., İkisü (Gümüşhane) ve Hamsiköy (Trabzon) yörelerinin jeolojisi ve Berdiga formasyonunun biyostatigrafik deneştirmesi MMLS Tezi KTÜ, 1984
- [130] ERGUVANLI, K., Trabzon – Gümüşhane arasındaki bölgenin jeolojik etüd raporu, MTA 2273, 1950
- [131] ÖZSAYAR, T., Geologie und paläontologie des gebietes östlich Trabzon Geol. Schriftum Un Giessen, 1971
- [132] EROL, O., Trabzon sekileri hakkında bir not, DTC Fakülte derg. 10:1, 1952
- [133] TARHAN, F., Artvin granitinin mühendislik jeolojisi Doç.Tezi. KTÜ, 1982
- [134] GATTINGER, T.E., Trabzon, Rize, Gümüşhane vilayetleri, raporu, MTA 2380, 1956
- [135] SAWAMURA, S., Sürmene bölgesinin cehver mineralizasyonu ve jeolojisi raporu, MTA 1034, 1971
- [136] ALPAN, T., Of-Trabzon arasının jeolojik etüd raporu, MTA 1177, 1971
- [137] YILMAZ, B.S., GÜLİBRAHİMOĞLU İ., KONAK, O., YAPRAK, S., KÖSE, Z., Trabzon ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 1997
- [138] ŞAHİN, C., ARISOY, A.İ., TÜRKOĞLU, Y., Doğal çevre sorunlarından sel – su baskını (taşkın) olayı ve Türkiye’ nin Doğu Karadeniz bölümündeki durumu, Ankara, 1997
- [139] [HTTP://www.dmi.gov.tr/](http://www.dmi.gov.tr/), Erişim tarihi: Aralık, 2010

- [140] DMI, Devlet Meteoroloji İşleri. Meteorolojik Aktiviteler Semineri. Trabzon, 2010
- [141] AKKAŞ, M., Trabzon İklim etüdü, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1990
- [142] DSİ, Türkiye Maksimum Yağışları Frekans Atlası, 1990, Ankara
- [143] BULUT, F., BOYNUKALIN, S., TARHAN, F., DİLEK, R., Sera (Yıldızlı) heyelanının mühendislik jeolojisi, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 283 - 293, 1991
- [144] TARHAN, F., ÖMERBEYOĞLU, E., SEVİNÇ, N., İnönü Mahallesi heyelanı, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 267 – 282, 1991
- [145] ATAÖĞLU, E., TARHAN, F., Bağışlı Köyü (Maçka) Kahveler yamacının duraylılık açısından incelenmesi, İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sapanca, 153 – 162, 1995
- [146] BAYRAK, T., ATASOY, M., DEMİR, O., Heyelanların sosyo-ekonomik etkileri: Kutlugün Köyü (Trabzon) heyelanı örneği, 11. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2007
- [147] REİS, S., Çevresel planlamalara altlık bir coğrafi bilgi sistemi tasarımı ve uygulaması: Trabzon il bilgi sistemi (TİBİS) modeli doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2003
- [148] ÖMERBEYOĞLU, E., SEVİNÇ, N., Doğu Karadeniz bölgesi heyelanları ve karayollarımız, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 64 – 71, 1991
- [149] [HTTP://echo2.epfl.ch/VICAIRE](http://echo2.epfl.ch/VICAIRE) Laboratory of ecohydrology, Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [150] BAYAZIT, M., Hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1991
- [151] ÖZDEMİR, H., Uygulamalı taşkın hidrolojisi, Devlet Su İşleri Yayınları, Ankara, 1978
- [152] ENOKI, M., KOKUBU, A.A., Relation between slope stability and groundwater flow caused by rainfalls, Slope Stability engineering, Yagi, Yamagami & Jiang, Balkema, Rotterdam, 429-434, 1999
- [153] GÖRCELİOĞLU, E., Bitki örtüsünün yamaç ve şev stabilitelerine etkileri, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Syf 5-21, 1991

- [154] WU, T. H., MC, KINNEL, W.P., SWANSTON, D.N., Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. *Can. Geotech. J.* 16, 19-33, 1979
- [155] GRAY, D.M., LEISER, A.T., Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold Company Inc., Newyork, 271 pp., 1982
- [156] GREENWAY, D.R., Vegetation and slope stability. *Slope stability.* John Wiley and Sons Ltd. chapter 6. 187-230,1987
- [157] AKSOY, İ.H., Ağaçların şev stabilitesine etkisi, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon Syf 97-107, 1991
- [158] ERDAŞ, O., Bitki örtüsü ve özellikle bitki kökleri ile zemin arasındaki ilişkilerin heyelanların önlenmesi ve mühendislik biyolojisi açısından incelenmesi, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon Syf 108-118, 1991
- [159] ANŞİN, R., ÖZKAN, Z.C., Tohumlu bitkiler, Trabzon, KTÜ kitapevi, 1993
- [160] SEVİM, M., Bazı orman ağaçlarının kök sistemleri ve yetiştirme muhiti şartları ile mümasebetleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 11, Sayı 1, 1961
- [161] [HTTP://www.bahce.biz/bitki/meyve/findik1.htm](http://www.bahce.biz/bitki/meyve/findik1.htm), Erişim tarihi: Aralık, 2010
- [162] DMI, Devlet Meteoroloji İşleri arşiv kayıtları 1988-2010
- [163] DSİ, Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü arşiv kayıtları 1988-2010
- [164] DAHAL., R.K., HASEGAWA, S., Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya *Geomorphology* 100, 429–443, 2008
- [165] [HTTP://www.afad.gov.tr](http://www.afad.gov.tr), Erişim tarihi: Aralık, 2010

EKLER

EK-A

TRABZON İLİNDE HEYELANLARA BAĞLI KONUT HASARLARI

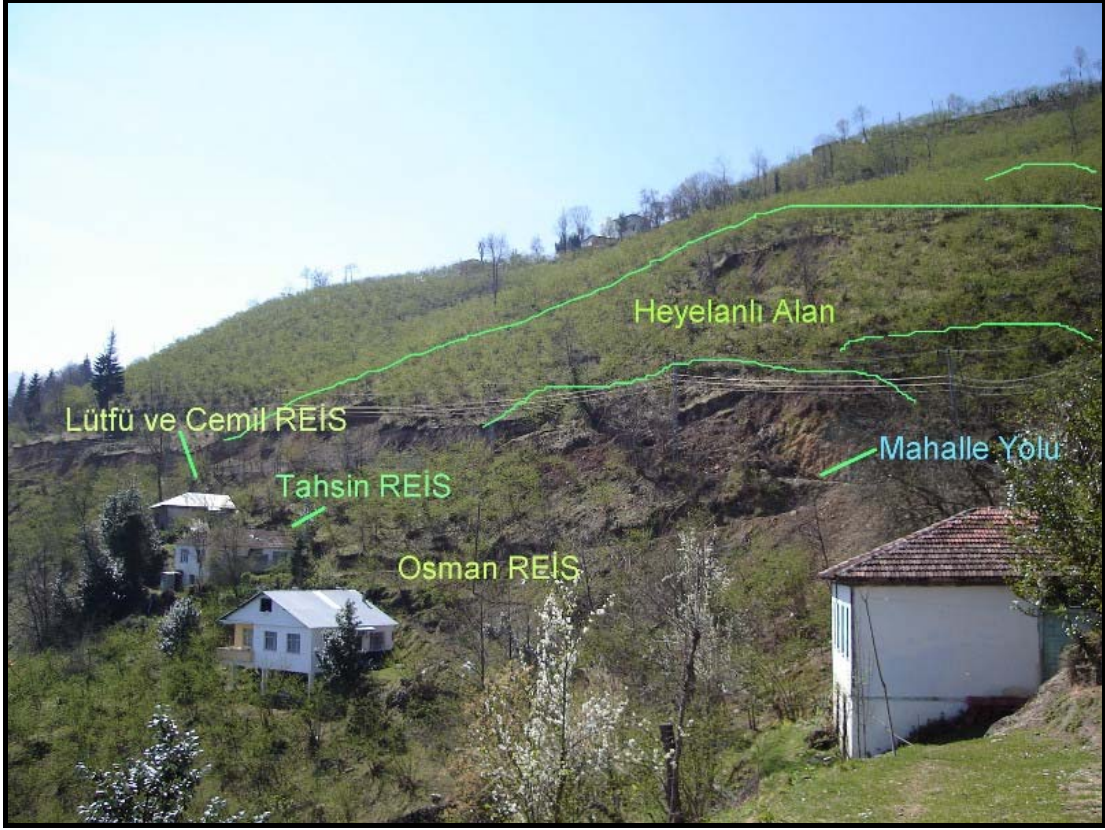




HEYELAN NEDENİYLE TEHLİKEDEKİ KONUTLAR









TOPUK KAZISI NEDENİYLE OLUŞAN HEYELANLAR

YOL ŐEVİNDE MEYDANA GELEN HEYELANLAR



DERELERİN YAMAÇ TOPUKLARINI OYMASI İLE OLUŞAN HEYELANLAR

ÇAMUR VE MOLOZ AKMALARI







TARIM ALANLARINDA OLUŞAN HEYELANLAR







ÖZGEÇMİŞ

Emre AKÇALI, 1972 yılında Almanya' da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana' da tamamlamış ve 1990 yılında Özel Yeni Lise' den mezun olmuştur. 1996 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Aynı yıl DSİ 23. Bölge Müdürlüğünde (Kastamonu) çalışmaya başlamıştır. 1999 yılında Isparta' da askerlik hizmetini tamamlamıştır. 2003 yılında DSİ 14. Bölge Müdürlüğüne (İstanbul), 2004 yılında DSİ 55. Şube Müdürlüğüne (Düzce) tayin olmuştur. Burada görev yaptığı sırada 2004 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamış ve 2005 yılında eğitimini tamamlamıştır. Aynı yıl aynı bölümde doktora eğitimine başlamıştır. 2008 yılında DSİ 22. Bölge Müdürlüğüne (Trabzon) tayin olmuştur ve halen bu Bölge Müdürlüğünde görevini sürdürmektedir. Çalışma hayatında baraj ve taşkın koruma tesislerinin planlama, projelendirme ve inşaat kontrollüğü görevlerinde bulunmuştur.