



T.C.
BAŞBAKANLIK
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ



HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ



ÖNSÖZ

Ülkemizde,
Başbakanlık
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın
öncülüğünde yapılan ve özellikle son yıllarda büyük bir ivme kazanan
“**AFET BİLİNCİNİN**” yerleşmesi ve
“**UYGULAMAYA SOKULMASI**”
girişimleri sonucunda, bütünleşik afet tehlike haritalarının hazırlanması, son derece büyük önem arz etmektedir.

Ülkemiz, sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel yapısı nedeniyle dünya ölçeğinde doğal afetlerden en fazla etkilenen ülkeler arasındadır. Yıkıcı etkileri açısından değerlendirildiğinde ilk sırayı alan depremden sonra heyelan, taşkın, kaya düşmesi ve çığ ülkemizde sık yaşanan afet türleridir. Son 60 yıllık afet kayıtlarına bakıldığında; doğal afetlerin ülkemizde neden olduğu doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıpların, Gayri Safi Milli Hasılamızın % 3'ü kadar olduğu görülmektedir.

Afetlerin oluş sıklıkları ve meydana getirdikleri zararlar dünya çapında olduğu gibi ülkemizde de artmaya devam etmektedir. İnsan ve çevre üzerinde büyük yıkıcı etkileri olan afetlerin bedeli oldukça yüksektir. Bu sebeple dünyada afetlerin verebileceği zararların en aza indirilmesi için afet öncesi yapılması gereken zarar azaltma çalışmalarına daha çok önem verilmeye başlanmış, afetler konusunda duyarlı olunması amacıyla toplumlarda afet kültürü oluşturulmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Ancak afetlerle mücadelede başarılı olabilmek için toplumsal farkındalık çalışmaları dışında tehlike ve risk analizine dayandırılmış zarar azaltma çalışmalarına ihtiyaç vardır. Sürdürülebilir ve etkin bir afet yönetimi için; nüfus artışı, kentleşme olgusu gibi demografik özelliklere ait verileri güvenilir, hızlı ve kolay kullanımı olan teknikler ve teknolojiler ile buluşturarak bütünleşik bir yönetim sistemi bünyesinde uygulamak gerekmektedir.

Afetlerin oluşturduğu zararların asgari düzeye indirgenbilmesi için ilk aşamada yapılması gereken çalışma; ülke, bölge ve il bazında bütünleşik afet tehlike ve risk haritalarının oluşturulması aşamasıdır. Bu amaçla hazırlanacak haritalar, illerin afet tehlikelerinin belirlenmesi, afet acil yardım planlarına esas olabilecek bilgilerin hazırlanması, bölgesel ve çevre düzeni planlarının hazırlanması için plancılara gerekli olabilecek afet ile ilgili bilgilerin düzenlenmesi, karar verici ve uygulayıcı mekanizmaya doğru, hızlı, güvenilir ve güncel sonuçları aktarmak, pratik uygulamayı sağlamak açısından

önemlidir. Bu tür haritalardan faydalanmak, gerek karar vericiler, gerekse yerel yönetimler gibi otoritelerin daha sağlıklı planlamaları yapmasını sağlayacağı gibi, doğru yer seçimi konularında da önemli katkılar sağlamaktadır.

Bütünleşik Afet Tehlike Haritalarının yürütülmesi usul ve esaslarını açıklayan kılavuzların hazırlanması çalışması kapsamında afet tehlike haritalarının üretilebilmesi için uluslararası literatürden de faydalanılarak ülke gereksinimleri doğrultusunda “Temel Kılavuz” ve “Pratik Kılavuz” olmak üzere, iki ana bileşen geliştirilmiştir.

Geliştirilen “Temel Kılavuz” ile afetlere yönelik dünyada ve Türkiye’deki mevcut durum analiz edilmektedir. Heyelan, kaya düşmesi ve çığ afetleri konusunda teknik terminoloji sunularak, envanterin önemi, hazırlanma aşamaları, Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama uygulamaları gibi konular üzerinde durulmaktadır. Temel kılavuzun içeriğinde analiz aşamalarına değinilmekte olup, konuyla ilgili yapılması gereken jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar ile veri toplama süreci ve veri tabanı oluşturma süreçleri sunulmaktadır. Kılavuzlarda; duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerinde izlenmesi gereken metodoloji ortaya konulmaktadır. “Pratik Kılavuz” ise daha çok uygulamaya yönelik olarak hazırlanmıştır.

Kılavuzların hazırlanmasındaki temel amaç her ilin kendi afet tehlikelerini gösteren haritalar hazırlayabilmesi için teknik personelin kapasitesinin artırılması ve Ülke genelinde aynı temel prensiplerin uygulandığı ve aynı formatta tehlike haritalarının üretilmesidir.

Bu bağlamda, AFAD Başkanlığı bünyesinde benimsenmiş “Bütünleşik Afet Yönetimi Modeli” hedefine temel oluşturacak “Bütünleşik Afet Tehlike Haritalarının Hazırlanması” çalışmalarında yol gösterici olacak bu kılavuzların faydalı olması temennisi ile bu çalışmalarda görev yapacak tüm personelimize başarılar dileriz.

AFAD BAŞKANLIĞI



T.C.
BAŞBAKANLIK
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

ÖNSÖZ	2
ŞEKİLLER DİZİNİ	6
ÇİZELGELER DİZİNİ	10
1. GİRİŞ	14
2. HEYELANLAR VE GENEL ÖZELLİKLERİ	20
2.1. Heyelan Kavramı	20
2.2. Dünyada ve Türkiye’de Meydana Gelmiş Önemli Heyelanlar	21
2.3. Heyelanların Genel Özellikleri ve Tanımlamaları	26
2.3.1. Kütlelel Özellikler	27
2.3.2. Heyelanların Boyutsal Özellikleri	28
2.3.3. Heyelanların Aktivite Özellikleri	29
2.3.4. Heyelanların Aktivite Yayılm Özellikleri	30
2.3.5. Heyelanların Aktivite Türleri	31
2.3.6. Heyelan Türleri	32
2.4. Heyelanların Sınıflandırılması	33
2.4.1. Alansal Sınıflama	33
2.4.2. Hıza Göre Sınıflama	33
2.4.3 Varnes (1978) Sınıflaması	34
2.4.4 EPOCH (1993) Sınıflaması	34
2.4.5. Cruden ve Varnes (1996) Sınıflaması	36
3. HEYELAN ENVANTERİ	42
3.1. Heyelan Envanter Haritalarının Sınıflandırılması	43
3.2. Heyelan Envanter Haritalarının Kalitesi ve Bütünlüğü	44
3.3. Heyelan Yerlerinin Sahada Tanımlanması	44
3.3.1. Morfolojik Özellikler	44
3.3.2. Bitki Örtüsü Özellikleri	47
3.3.3. Jeolojik/Yapısal Veriler	48
3.4. Heyelan Yerlerinin Hava Fotoğrafları ile Tanımlanması	49
3.5. Heyelan Yerlerinin Uydu Görüntüleri ile Tanımlanması	49
3.6. Diğer Yöntemler ve Yöntemlerin Karşılaştırılması	52
3.7. Heyelan Envanterlerinin Oluşturulması ve Standardizasyonu	52
4. HEYELAN ANALİZ AŞAMALARI	58
4.1. Kullanılan Ölçekler ve Etkileri	59
4.2. Jeolojik Çalışmalar	61
4.3. Jeomorfolojik Çalışmalar	62
4.4. Uzaktan Algılama Çalışmaları	64
4.5. Veri Toplama Süreci	66
4.6. Veri Tabanı ve CBS Platformunun Oluşturulması	68

5. HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER	74
5.1. Parametre Kullanım Analizi	76
5.2. Hazırlayıcı Parametreler	82
5.2.1 Jeolojik Parametreler	82
5.2.2 Topoğrafik Parametreler	82
5.3. Çevresel Parametreler	83
5.4. Tetikleyici Parametreler	84
5.4.1. Depremler	84
5.4.2. Şiddetli Yağış	85
5.4.3. İnsan Etkisi	85
6. HEYELAN DUYARLILIĞI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	88
6.1. Jeomorfolojik Analizler	89
6.2. İstatistiksel Analizler	89
6.2.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler	89
6.2.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler	90
6.2.2.1. Faktör Analizi	90
6.2.2.2. Diskriminant Analizi	91
6.2.2.3. Lojistik Regresyon	91
6.3. Jeoteknik Yaklaşımlar	92
6.4. Esnek Hesaplama Yöntemleri	92
6.5. Örnek Uygulama	92
6.5.1. Uygulama Yeri	92
6.5.2. Veri Hazırlama	94
6.5.3. Frekans Oranı Değerlerinin Hesaplanması İçin Örnek Uygulama	95
6.5.4. Seçilen Alan İçin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	96
6.5.5. Üretilen Haritaların Performansı	96
7. HEYELAN TEHLİKE VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ	100
7.1. Heyelan Tehlikesi	100
7.2. Heyelan Riski	104
8. KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ	110
8.1. Bölgesel Ölçekte Potansiyel Aktif Kaynak Alanların Belirlenmesi	112
8.2. Düşen Kaya Bloklarının Ulaşabileceği En Uzak Mesafenin (Run-out Distance) Belirlenmesi	118
8.2.1.Ulaşma Açısı (Reach Angle) veya Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle) Kavramı	118
8.2.2. Gölge açısı (Shadow Angle) Kavramı	122
8.3. Bölgesel Ölçekte Kaya Düşmesi Haritalarında Yayılım Zonlarının Belirlenmesi	124
8.4.Kaya Düşmesi Tehlike Haritaları	126
8.5.Kaya Düşmesi Risk Haritaları	128
8.6. Kaya Düşmesine Yönelik Önleme Yaklaşımları	128
8.7. Örnek Uygulama	131
HEYELAN SÖZLÜĞÜ	138
KAYNAKLAR	142

ŞEKİLLER DİZİNİ



Şekil 1.1.	Doğal afetler açısından doğal sistem-insan etkileşimi ve elemanları	14
Şekil 1.2 a.	Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında meydana gelen doğal afet sayıları	15
Şekil 1.2 b.	Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında doğal afetlerden etkilenen insan sayısı	15
Şekil 1.2 c.	Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında doğal afetler sonucunda hesaplanan maddi kayıp	15
Şekil 2.1.	Dönel bir heyelan ve unsurları	20
Şekil 2.2.	Küresel heyelan tehlike dağılım haritası	22
Şekil 2.3.	Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında meydana gelen heyelanların mekansal dağılımı	23
Şekil 2.4.	Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında meydana gelen heyelan olay sayısının illere göre dağılımı	23
Şekil 2.5.	Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında meydana gelen kaya düşmelerinin mekansal dağılımı	24
Şekil 2.6.	Türkiye’de 1950-2008 yılları arasında meydana gelen kaya düşmesi olay sayısının illere göre dağılımı	24
Şekil 2.7.	Ülkemizde 1900-2014 yılları arasında meydana gelmiş olan doğal afetler ve hesaplanan hasarlar.	25
Şekil 2.8.	Heyelanların kütlesele özellikleri	27
Şekil 2.9.	Heyelanların boyutsal özellikleri	28
Şekil 2.10.	Heyelanların aktivite özellikleri	29
Şekil 2.11.	Heyelanların aktivite yayılım özellikleri	30
Şekil 2.12.	Heyelanların aktivite türleri	31
Şekil 2.13.	Temel heyelan türleri	32
Şekil 2.14.	Heyelan sınıflamalarında kullanılan heyelan türlerinin geliştirilmiş şematik gösterimi	37
Şekil 2.15.	Altındağ (Ankara) bölgesinde meydana gelen kaya düşmelerine bir örnek	38
Şekil 2.16.	Altındağ (Ankara) bölgesinde meydana gelen kaya devrilmesi türündeki duraysızlığa bir örnek	38
Şekil 2.17.	Ulus (Bartın) bölgesinde meydana gelen ve karayolunu etkileyen dönel toprak kayması türündeki duraysızlığa bir örnek	39
Şekil 2.18.	Kırşehir Akpınar Kelismailuşağı’nda meydana gelen toprak kayması.	39
Şekil 2.19.	Ulus (Bartın) bölgesinde zon şeklinde meydana gelen toprak akması türündeki duraysızlıklara bir örnek	39
Şekil 2.20.	Azdavay (Kastamonu) bölgesinde farklı alanlarda gelişen dönel toprak kayması ve toprak akması şeklinde meydana gelen karmaşık türdeki duraysızlıklara bir örnek	39
Şekil 3.1.	Tercan’ın 9.5 km doğusu (GGD’ya bakış)	45
Şekil 3.2.	Erzincan’ın 14 km Kuzeybatısı, Koçyatağı mevki, çizgisel vadi-KAFZ’ün izi (Bakış doğuya)	45
Şekil 3.3.	Oymağaç-Erkilet (Kayseri) arasındaki basamaklı yapılar (bakış Kuzeybatıya)	45
Şekil 3.4.	Yusufeli’nin kuzeyi (bakış Doğu’ya)	45

Şekil 3.5.	Kuzulu-Koyulhisar (Bakış doğu'ya)	46
Şekil 3.6.	Üstteki fotoğrafta yer alan heyelanın taç kısmı (Bakış Kuzeydoğu'ya)	46
Şekil 3.7.	Koyulhisar'ın kuzeyinde yer alan heyelanın genel görünümü (bakış kuzeybatıya)	46
Şekil 3.8.	Üstteki fotoğrafta yer alan heyelanın taç kısmı (bakış kuzeybatıya)	47
Şekil 3.9.	Kurak veya yarı kurak iklim için zamana ve iklime bağlı olarak jeomorfolojik değişimleri gösteren blok diyagram.	47
Şekil 3.10.	Montaguto (İtalya) bölgesindeki akma türündeki bir heyelanın GeoEye uydu görüntüsü	51
Şekil 3.11.	Kılavuz kapsamında önerilen heyelan envanter formu	54
Şekil 3.12.	Heyelan Zarar Formu örneği	55
Şekil 4.1.	Aynı alana ilişkin üretilen yamaç eğim haritasında, farklı ölçeklerin etkileri.	60
Şekil 4.2.	Yamaç haritasının hazırlanmasında kullanılan morfolojik birimler	62
Şekil 4.3.	Heyelan tipini ve aktivitesini belirtmek için jeomorfolojik haritalamada kullanılan semboller	62
Şekil 4.4.	Yenice (Karabük) bölgesinin jeomorfolojik özellikleri.	63
Şekil 4.5.	Heyelan envanteri-veri tabanı ilişkisi	69
Şekil 4.6.	Ovacık (Karabük) yöresinde Akma türü heyelanlar için Bulanık işlemciler yaklaşımı ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası	70
Şekil 4.7.	Vektör ve raster verilerin birbirlerine dönüştürülme işlemleri	71
Şekil 5.1.	Ercanoğlu (2003) tarafından yapılan parametrik analiz sonuçları	76
Şekil 5.2.	Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012) tarafından yapılan parametrik analiz sonuçları	76
Şekil 5.3.	Kılavuz kapsamında yapılan parametrik analiz özeti.	80
Şekil 6.1.	Uygulamanın gerçekleştirildiği alan	93
Şekil 6.2.	Bölgede haritalanan heyelanlar ve litolojik özellikleri	93
Şekil 6.3.	Uygulama alanında kullanılan parametreler ve özellikleri	94
Şekil 6.4.	Raster formatındaki temsili bir heyelan envanter haritası üzerinde heyelanlı alanların gösterimi	95
Şekil 6.5.	Raster formatındaki temsili bir yamaç eğim haritasında heyelanlı alanların dağılımının gösterimi	95
Şekil 6.6.	Uygulama alanı için FR değerlerine göre oluşturulan heyelan duyarlılık haritası	96
Şekil 6.7.	Heyelan duyarlılık sınıflarındaki heyelanlı piksellerin dağılım grafiği.	97
Şekil 7.1.	Heyelan oluşumunda hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin ilişkisi	100
Şekil 7.2.	Heyelan tehlike haritalamasının aşamaları	101
Şekil 7.3.	Bir şevdeki güvenlik katsayısı değerinin zamanla değişimi	102

Şekil 7.4.	Yağışlarla tetiklenen heyelanlar için yapılan tehlike analizlerine bir örnek	103
Şekil 7.5.	Heyelan risk hesaplaması ve risk yöntemi aşamaları	105
Şekil 7.6.	Heyelan riski taşıyan bir yapıda risk hesaplama aşamaları	106
Şekil 7.7.	Kumluca (Bartın) bölgesinin heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının oluşturulma aşamaları	107
Şekil 8.1.	Kaya düşmesi sonucunda zarar gören yapılara bazı örnekler	110
Şekil 8.2.	Farklı yüksekliklerdeki dik kaya yüzeyleri için SYM'den piksel boyutuna göre hesaplanan eğim değerleri	112
Şekil 8.3.	43° eğime sahip 25x25 metre grid hücresi (piksel) üzerinde düşey serbest düşme yüksekliğinin etkisi	113
Şekil 8.4.	Düşey serbest düşme yüksekliği ile α eğimine sahip grid hücresinin (piksel) içindeki eğiminin (β) geometrik çözümü	113
Şekil 8.5.	Biri daha yüksek diğeri daha düşük eğimli iki farklı ile oluşturulan profil	114
Şekil 8.6.	"Les Diablerets Alpin" vadisindeki topoğrafyaya ait morfolojik birimlerin Gauss Dağılımları (GDMB) ile eğim açısı dağılımı (EAD) eğrileri.	115
Şekil 8.7.	"Les Diablerets Alpin" bölgesindeki morfolojik birimlerin (MB) Şekil 8.6'daki Gauss dağılımlarındaki kesişimlere göre ayrıştırılmış ve yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modelinden (HRDEM) üretilen haritası	116
Şekil 8.8.	Aynı sahaya ait (a) 1x1 m ve (b) 25x25 m çözünürlük için morfolojik birimlerin sınır eğim açıları kullanılarak ayrıştırılması	116
Şekil 8.9.a.	25x25 metre çözünürlüğe sahip SYM'den üretilen kabartı haritası,	117
Şekil 8.9.b.	25x25 metre çözünürlüğe sahip SYM'den üretilen dört morfolojik birim için ayrıştırılmış harita,	117
Şekil 8.9.c.	25x25 metre çözünürlüğe sahip SYM'den üretilen eğim açısı Gauss dağılımı ile morfolojik birimlerin Gauss dağılımları kullanılarak morfolojik birimleri ayırtlayan sınır eğim değerleri	117
Şekil 8.10.	Enerji Çizgisi Açısı (β) kavramı	118
Şekil 8.11.	Enerji Çizgi Geometrik Açısı (kırmızı) ile Enerji Çizgi Yol Açısı (mavi) arasındaki fark	119
Şekil 8.12.	Enerji çizgi geometrik açı doğrusu ve yamaç profiline bağlı olarak kaya bloğunun potansiyel en büyük hızının hesaplanması	120
Şekil 8.13.	Gölge Açısı (β) kavramı	122
Şekil 8.14.a.	Jaboyedoff ve Labiouse (2003) tarafından önerilen konik yayılım yaklaşımı β açısına sahip düşey koni,	124
Şekil 8.14.b.	Jaboyedoff ve Labiouse (2003) tarafından önerilen konik yayılım yaklaşımı kaynak alandaki hücrelerde şematik olarak β açısına sahip koni ile topoğrafyanın ara kesiti	124
Şekil 8.15.	Konik yayılım uygulamasında etkilenme zonu yatay düzlemde $\pm\beta$ açısı ile sınırlandırılması	125
Şekil 8.16.a.	S. Martino dağlık bölgesinde Lecco yerleşime alanının kuzeyinde; 20 m çözünürlüklü SYM kullanılarak üretilen kaya düşme sayısı haritası.	127
Şekil 8.16.b.	S. Martino dağlık bölgesinde Lecco yerleşim alanının kuzeyinde; 5 m çözünürlüklü SYM kullanılarak üretilen kaya düşme yörüngelerindeki hız haritası.	127
Şekil 8.17.a.	Lecco bölgesinin bölgesel ölçekte kaya düşmesi tehlike haritası.	127
Şekil 8.17.b.	Lecco bölgesinin bölgesel ölçekte seçilen alanın daha yüksek çözünürlükte üretilen kaya düşme haritası.	127
Şekil 8.17.c.	Lecco bölgesinin bölgesel ölçekte haritanın yumuşatılmış şekli.	127
Şekil 8.18.	Düşen kaya bloğunun ağaçlık alanda tutulması	128

Şekil 8.19.	Kaya düşmeleri önleyici mühendislik uygulamalarının enerji kapasiteleri	129
Şekil 8.20.	Kaya düşmesi önleyici uygulamalarından bazı örnekler	130
Şekil 8.21.	Kılavuz kapsamında önerilen kaya düşmesi kayıt formu	132
Şekil 8.22.	ISRM (1981)'e göre düzenlenmiş süreksizlik özelliklerine ilişkin tanımlamalar.	133
Şekil 8.23.	Kaya düşmesi potansiyelinin değerlendirileceği alan için girdi verilerinin gösterimi	134
Şekil 8.24.	Farklı konik yayılım açıları (β) kullanılarak, kaya düşmesi duyarlılık haritalarının oluşturulmasına bir örnek: a) $\beta=38^\circ$ b) $\beta=35^\circ$ c) $\beta=32^\circ$ ve d) $\beta=28^\circ$	135
Şekil 8.25.	Farklı kaya düşmesi duyarlılık değerlerinin gösterildiği haritalara bir örnek	135

Çizelge 1.1. Afet türüne göre afet olay sayısı ve afetzede sayılarının dağılımı	16
Çizelge 1.2. Afet türlerine göre afetlerden etkilenen yerleşim birimi sayısı	17
Çizelge 2.1. Heyelanların alansal yayılımlarına göre sınıflandırılması	33
Çizelge 2.2. Heyelanların hızlarına göre sınıflandırılması	33
Çizelge 2.3. Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflaması	34
Çizelge 2.4. Avrupa ülkeleri için geliştirilmiş olan heyelan sınıflama	34
Çizelge 2.5. Varnes (1978) sınıflamasını temel alan ve Cruden ve Varnes (1996) tarafından önerilen sınıflama	36
Çizelge 3.1. Bazı uzaktan algılama ürünleri için heyelan yeri belirlemede ve yorumlamalarda gereken en düşük boyutsal özellikler	50
Çizelge 3.2. Heyelan yerlerinin belirlenmesinde kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri	51
Çizelge 3.3. Heyelan oluşumuna neden olan faktörler	53
Çizelge 4.1. IAEG (1976) tarafından önerilen ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölççekler	59
Çizelge 4.2. Cascini (2008) tarafından ayrıntılandırılan ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölççekler	59
Çizelge 4.3. Guzetti vd. (2012) tarafından önerilen ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölççekler	59
Çizelge 4.4. Heyelan değerlendirilmelerinde kullanılan veri grupları	67

Çizelge 5.1. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler	74
Çizelge 5.2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan veri grupları ve özellikleri	75
Çizelge 5.3. Kılavuz için yapılan 2004-2014 yılları arasında yayımlanmış çalışmalara ilişkin parametrik analiz	77
Çizelge 5.4. Kılavuz için birleştirilen parametrik gruplar	80
Çizelge 5.5. Parametrik analizlerin karşılaştırılması	80
Çizelge 5.6. Deprem büyüklüğü-heyelan türü ilişkisi	84
Çizelge 6.1. Uygulama için dikkate alınan parametreler	94
Çizelge 6.2. Temsili alanda Frekans Oranı değerlerinin hesaplanma aşamaları	95
Çizelge 6.3. Heyelan duyarlılık tanımları ve sınıflandırılan piksel dağılımları	97
Çizelge 8.1. Farklı çözünürlüklere (1x1, 5x5, 10x10 ve 25x25 metre) sahip sayısal arazi modelleri için aktif kaynak alanların sahip olabileceği hesaplanan sınır eğim değerleri	113
Çizelge 8.2. Düşey serbest düşme yüksekliğine (Vertical release height, VHR) bağlı olarak 1x1, 10x10 ve 25x25 metre çözünürlükler için grid hücresi eğim değerleri	114
Çizelge 8.3. Literatürde enerji çizgi açısı için önerilen değerler	120
Çizelge 8.4. Enerji Çizgi Açısı sınır değerlerine karşılık duyarlılık sınıfları	121
Çizelge 8.5. Gölge Açısı sınır değerlerine karşılık duyarlılık sınıfları	123

Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

1

GİRİŞ

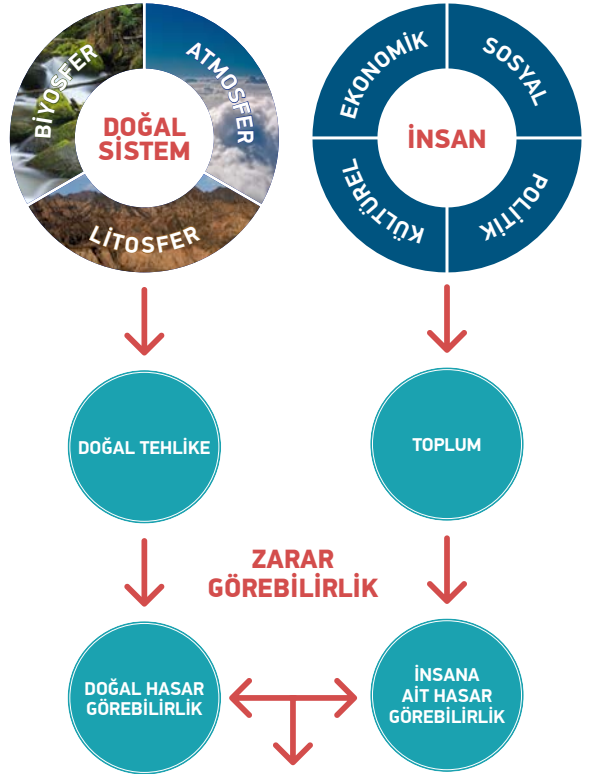
Özellikle 1950-1960'lı yıllardan başlayan bir süreçte, **doğal afetlerin** sayısında önemli bir artış gözlenmektedir.



Şekil 1.1. Doğal afetler açısından doğal sistem-insan etkileşimi ve elemanları (Alcantara-Ayala, 2002).

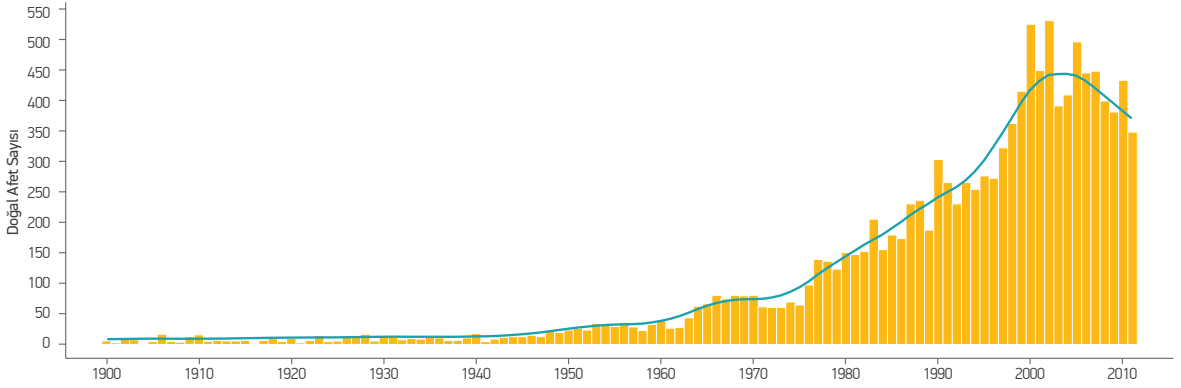
Yerkürenin oluşumundan günümüze kadar, yerkürenin dinamik içyapısı ve atmosferle etkileşimi sonucunda gerçekleşen, deprem, heyelan, taşkın, çığ gibi doğa olayları meydana gelmektedir. Doğanın kendi dengesi içinde olagelen bu “**doğa olayları**”, içinde “**insan faktörü/yaşamı**” bulunduğu, “doğal afetlere” dönüşmektedir (Şekil 1.1). Doğal afetlerle ilgili çeşitli veri kaynakları incelendiğinde, özellikle 1950-1960'lı yıllardan başlayan bir süreçte, doğal afetlerin sayısında önemli bir artışın olduğu gözlenmekte, etkilenen insan sayıları ve maddi kayıplarda da, önemli artışların ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 1.2a, 2b ve 2c).

Temelde yerkürenin “**doğasında**” var olan bu olayların sayısındaki artışın ana nedenleri, nüfus artışı, sanayileşme ve bunlara bağlı olarak, afetlerin gerçekleşme potansiyelinin yüksek olduğu/olabileceği alanlarda yerleşimlerin gelişmesi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, belirli bir zaman diliminden sonra meydana gelen afetlerin kayıt altına alınması, bunların veri tabanlarında saklanıp kullanıcılara sunulmasının, bu artışın görünür hale gelmesinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir.

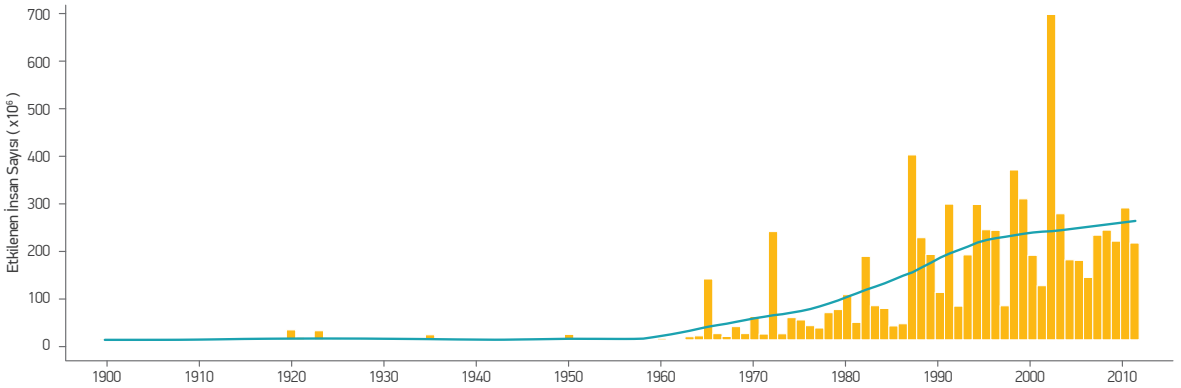


DOĞAL AFET

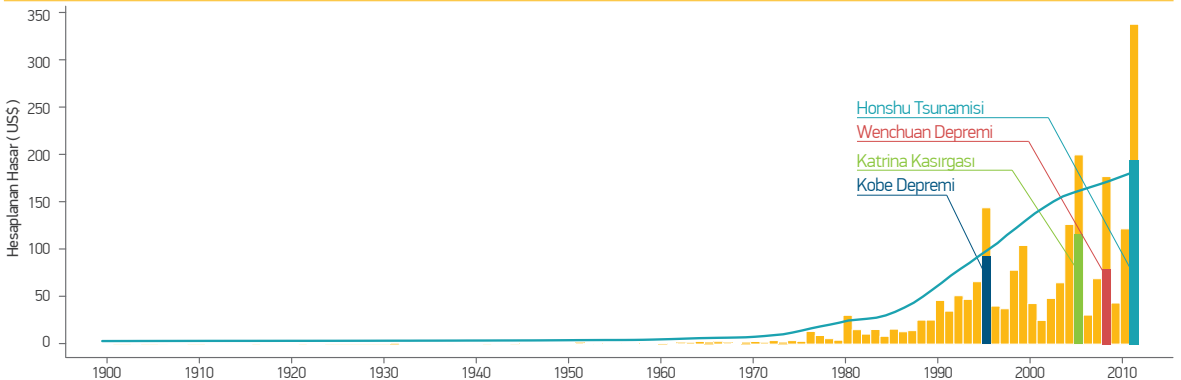
Şekil 1. 2a. Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında meydana gelen doğal afet sayıları (EM-DAT, 2014).



Şekil 1. 2b. Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında doğal afetlerden etkilenen insan sayısı (EM-DAT, 2014).



Şekil 1. 2c. Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında doğal afetler sonucunda hesaplanan maddi kayıp miktarları (EM-DAT, 2014).



50 Yıllık Periyotta 284.996 Afetlerde Doğal Afetlerden Etkilenmiştir.



Bilindiği üzere, doğal afetler nedeniyle dünyanın pek çok yerinde can ve mal kayıpları yaşanmakta, son derece büyük ekonomik kayıplar meydana gelebilmektedir. Ayrıca, sözü edilen bu doğrudan kayıpların dışında, pazar, üretim ve işgücü kaybı, işsizlik ve çevresel zararlar da göz önünde bulundurulursa, mevcut kaybın tahmin edilenden çok daha fazla olacağı açıktır. Türkiye'deki doğal afetler ve etkileri dikkate alındığında ise, ülkemizin içinde bulunduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel özellikler nedeniyle, doğal afetlerin meydana

na gelmesi için her türlü koşulu içerdiği de, bilinen bir gerçektir. Bu duruma ilaveten, bilinçsiz ve çarpık kentleşme ve kontrolsüz nüfus artışı, kayıpların artmasını tetikleyen önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüze değin, ülkemizde doğal afetler nedeniyle, birçok vatandaşımız yaşamını yitirmiş ve ekonomik açıdan çok büyük kayıplar yaşamıştır. Bu durumu yansıtan bir değerlendirme, **Çizelge 1.1**'de sunulmaktadır.

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

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

Çizelge 1.1'e göre ülkemizde en çok hasar verici etkiye sahip afet türleri, deprem, heyelan ve taşkın olarak ortaya çıkmaktadır. Bu veriler, ülkemizdeki yaklaşık son 50 yıllık periyottaki genel afet profilini özetlemekte olup, AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) veri tabanına göre yapılan değerlendirmelerdir. Ayrıca,

bu veri tabanına göre, yerleşim birimlerini (il, ilçe, belde ve köyler) etkileyen afet türleri dağılımı incelendiğinde ise (**Çizelge 1.2**), yine deprem, taşkın ve heyelanlar en çok zarar verici etkiye sahip doğal afet türleri olarak ortaya çıkmakta.

Çizelge 1.2. Afet türlerine göre afetlerden etkilenen yerleşim birimi sayısı (Gökçe vd., 2008).

Afet Türü	Afet Gören Yerleşim Birimi Sayısı	Toplam Yerleşim Birimine Oranı
Heyelan	5472	15.31
Kaya Düşmesi	1703	4.76
Taşkın	2924	8.18
Deprem	3942	11.03
Diğer	992	2.78
Çiğ	605	1.69

Çizelge 1.1 ve **Çizelge 1.2** bir arada değerlendirildiğinde, kaya düşmelerinin bu çizelgelerde ayrı tutulmasına karşın, temelde kaya düşmelerinin de bir heyelan türü veya kütle hareketleri içinde yer aldığı düşünülürse, heyelanların ülkemiz için belki de en önemli zarar verici etkiye sahip doğal afet türü olduğu söylenebilir.

Yukarıda değinilen bu hususlar değerlendirildiğinde, ülkemiz için çok büyük öneme sahip doğal afetler ve etkilerinin azaltılması çalışmalarının hayata geçirilmesinin kaçınılmaz bir zorunluluk olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan bu kılavuzda, kütle hareketleri (heyelan-kaya düşmesi) bütünsel afet tehlike haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalar içermektedir. Ülkemizde özellikle 1999 yılında yaşanan ve çok önemli can ve mal kayıplarının yaşandığı depremlerden sonra **“afet bilincinin”** oluşmaya başladığı ve afet zararlarının azaltılması hususunda önemli adımların atıldığı da bilinen bir gerçektir. Ayrıca, bu tür çalışmaların, ülke genelinde yapılması da, artık kanuni bir zorunluluktur (6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun; Kabul Tarihi; 16.05.2012).

Heyelan ve kaya düşmesi afetlerinin tehlike haritalarının üretilmesine rehberlik edecek kılavuzlar, genel ve teknik bilgilerin yanı sıra, uygulamacılara destek olacak “pratik” bir yöntemliliği de içermektedir. Genel ve teknik

bilgilerin sunumunda, heyelan ve kaya düşmesi konularına temel teşkil eden literatür bilgisinin yanı sıra, özellikle güncel çalışmalara da yer verilmiş olup, kullanıcıların bilimsel ve güncel literatürden haberdar olmaları da sağlanmaya çalışılmıştır. Kılavuz kapsamında öncelikle, heyelan kavramı ve genel özelliklerine ilişkin bilgiler verilmekte, daha sonra heyelan zarar azaltma çalışmalarının temeli olan heyelan envanterlerinin oluşturulması aşamaları üzerinde durulmaktadır. Bir sonraki aşamada heyelanların bu tür haritalama çalışmalarındaki teknik analizlerinin gerçekleştirilme aşamaları ile özellikle bölgesel çalışmalarda dikkate alınması gereken parametreler irdelenmiştir. Parametre değerlendirmelerini, bu tür çalışmalarda kullanılan yöntemler izlenmekte olup, daha sonra heyelan duyarlılık, tehlike ve risk kavramları üzerinde durulmaktadır. Son aşamada ise, kaya düşmeleri ve genel değerlendirme yöntemleri ele alınmış, son olarak çalışma kapsamında elde edilen sonuç ve öneriler sunulmuştur. Çalışma kapsamında, kullanıcıların uygulamalarda kolaylıkla kullanabilecekleri pratik kılavuzlar geliştirilmiş ve ayrıca genel heyelan ve kaya düşmesi konularında yararlanılabilecek bir terminolojik sözlük de oluşturulmuştur. Sözü edilen bu konulara, izleyen bölümlerde ayrıntıları ile değinilmiştir.

Ülkemizdeki
yerleşim birimlerinin
%25’i en az bir kütle hareketi
olayına maruz kalmıştır.



Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

2

HEYELANLAR ve GENEL ÖZELLİKLERİ

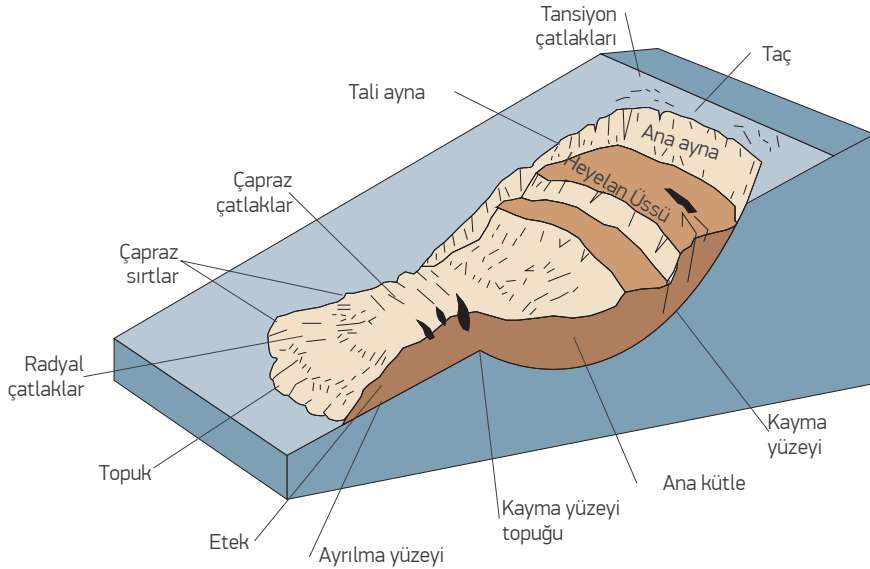
Bu bölümde heyelan terminolojisi ile heyelanların genel özellikleri üzerinde durulmuştur. Burada yapılan değerlendirmelerde, literatürde konuya ilişkin farklı tanımlamalar ve değerlendirmeler yapılmış olsa da, bunlardan günümüzde gelinen noktada, dünya literatüründe kabul görmüş ve heyelan çalışmalarında referans olarak gösterilen çalışmalar temel alınmıştır.

2.1. Heyelan Kavramı

Cruden ve Varnes (1996) tarafından heyelan kavramı, kayma, moloz ve toprak malzemelerin veya bunların karışımının, yerçekimi etkisi ile aşağı yönde hareketi olarak tanımlanmaktadır (**Şekil 2.1**). Esas olarak kütle hareketleri içinde yer alan heyelanların bu kılavuz içindeki kullanımında, yukarıda sözü edilen doğal malzemelerin, herhangi bir tetikleyici unsur veya hazırlayıcı

parametreler etkisiyle, aşağı yönde hareketi olarak ele alınması gereklidir. Bu kılavuz kapsamında ülkemizde sıklıkla görülen kaya düşmesi, kayma, akma veya bunların birlikte gözlemlendiği kütle hareketleri dikkate alınarak tanımlamaların ve değerlendirmelerin yapıldığı unutulmamalıdır.

Şekil 2.1. Dönel bir heyelan ve unsurları (<http://pubs.usgs.gov>).



Heyelanlar; jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel etkenler ve süreçleri ile insanların çeşitli etkinliklerine bağlı olarak da gelişebilmekte; doğal ve insan etkisiyle ilişkili süreçler ile de tetiklenebilmektedirler. Ayrıca, yamaç üzerindeki hareketin hızını belirleyen, kütlelerin kayma derecesini azaltan ve/veya arttıran pek çok etken ve birbirini takip eden olaylar zinciri sonucunda, jeomorfolojik özelliklerin de içinde bulunduğu bir şekilde kütle hareket meydana gelmektedir. Doğal afetler içinde hem dünyada hem de ülkemizde yaratmakta olduğu olumsuz etkilerden dolayı son derece önemli bir yer tutan heyelanlar, etkiledikleri yerleşim alanlarında can ve mal kayıplarına yol açmakla birlikte,

kara ve demir yolları, tarımsal ve ormanlık alanlar gibi ekonomik değeri olan alanlarda da hasar ve kayıplara da neden olabilmektedirler. Ayrıca, akarsuların kalitesi üzerinde de olumsuz etki yaratabilen heyelanlar, kentleşme ve doğal çevrenin korunması, toplumun yaşam kalitesi gibi sosyo-ekonomik hususlarda da sorunlara neden olabilmektedir (Schuster ve Fleming, 1986). Bununla birlikte, heyelan zararları çoğu kez, heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden biri olan deprem ve aşırı yağış süreçleri içerisinde yanlış bir şekilde değerlendirilmekte ve bunun sonucunda heyelan zararlarının boyutları, tahmin edilenden ve/veya var olandan, daha düşük olarak değerlendirilmektedir (Schuster, 1996).

2.2. Dünyada ve Türkiye’de Meydana Gelmiş Önemli Heyelanlar

Heyelanlar ve verdiği zarar ilişkisi incelendiğinde; A.B.D, Fransa, İtalya, İsviçre gibi gelişmiş ülkelerde ortaya çıkan zararın, ekonomik açıdan diğer ülkelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir (1–5 milyar \$). Ancak bu durum, bu ülkelerin ekonomilerini büyük ölçüde etkilememektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu tür doğal afetler, çevresel zararların yanı sıra ekonomik durgunluk veya gerilemeye de neden olabilmekte, ülke ekonomilerine büyük darbeler vurabilmektedir. Dünya Bankası verilerine göre, doğal afetlerden kaynaklanan ölümlerin % 95’i gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde olmakta ve bu ülkeler ekonomik açıdan yıllık üretimlerinin % 1-2’sini doğal afetler sonucunda yitirmektedirler (Kremier ve Arnould, 2000). Can ve mal kaybının yanı sıra, olayın sosyo-ekonomik boyutu da ele alındığında, ülkemiz için kaybın oldukça yüksek olabileceği düşünülebilir (Ercanoğlu vd., 2008).

Küresel ölçekte ele alındığında, dünyada birçok ülke, heyelan sorunuyla karşı karşıyadır. Ülkelerin içinde bulundukları coğrafik, jeolojik ve meteorolojik koşullar heyelan oluşumu ve türü üzerinde etkin bir rol oynamaktadır. Örneğin, İsviçre’nin Elm kasabasındaki bir taş ocağında, 10 milyon m³ molozun kayması sonucu 115 kişi hayatını kaybetmiştir. 1900’lü yılların başında planlanıp yapımına başlanan Panama kanalı inşaatında ise, meydana gelen heyelan nedeniyle, kanalın tamamlanması iki yıl gecikmiştir. 1914 yılında 7 farklı noktada meydana gelen heyelanlardan dolayı, Panama kanalı trafiğe kapanmıştır. Kanalın inşaatı sırasında toplam kazı 70 milyon m³ iken, meydana gelen heyelanlar sonucunda kazı miktarı 175 milyon m³’e yükselmiştir. Söz konusu heyelanlar son derece büyük ekonomik kayıplara neden olurken, 1920 yılında Çin’in Kansu bölgesinde yaşanan depremde, 200 binden fazla insan yaşamını yitirmiştir (Close ve Mc Cormick, 1922). Araştırmacılar, meydana gelen can kaybının 100.000’den fazlasının, deprem sonucunda oluşan heyelanlar nedeniyle olduğunu belirtmişlerdir. 1963 yılında İtalya’da yaşanan Vaiont Barajı heyelanı sonucunda 2000’den fazla ölüm ve 130 milyon dolar ekonomik zarar meydana gelmiştir. Barajda su tutulmaya başladıktan sonra, Jura yaşlı kireçtaşlarında oluşmuş eski bir heyelan yeniden harekete geçmiş ve 240 milyon m³ malzeme baraj gövdesinden aşarak, yerleşim alanlarına ulaşmıştır. 1966 yılında Aberfan (Galler)’da yaşanan ve bir açık ocak kömür işletmesinin pasa yığınlarında

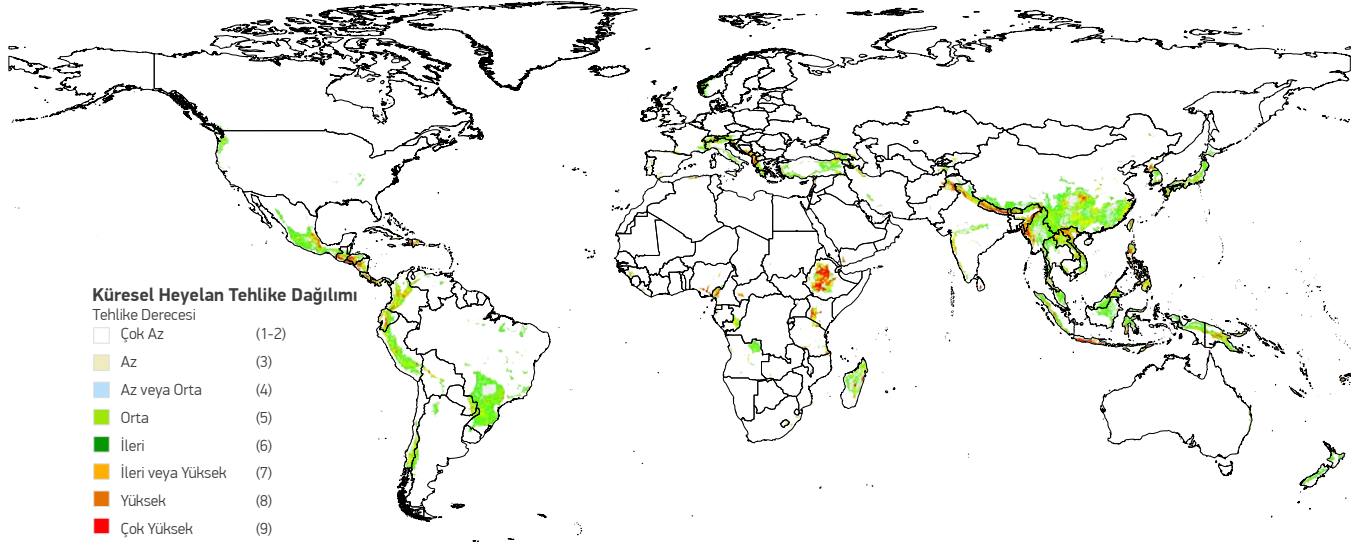
meydana gelen heyelanda ise 144 kişi hayatını kaybetmiştir. Peru’da 1962 ve 1970 yıllarında meydana gelen heyelanlar, 20. yüzyılın katastrofik heyelanlarının başında gelmektedir (Schuster ve Fleming, 1986). Huascaran bölgesinde meydana gelen heyelanlarda, 20.000’den fazla kişi hayatını kaybetmiş, milyonlarca dolarlık hasar ortaya çıkmıştır.

Bu örneklerden de görülebileceği gibi, dünya üzerinde birçok ülke, heyelanlar ve sonuçlarından olumsuz yönde etkilenmektedir (**Şekil 2.2**). Bu durumun sonucu olarak da, özellikle gelişmiş ülkelerde heyelan zararlarının önlenmesine yönelik olarak, birçok proje hayata geçirilmiştir.



Güney California kıyı alanında 1995 yılında meydana gelen heyelan (RL Schuster, US Geological Survey)

Şekil 2.2. Küresel heyelan tehlike dağılım haritası (Nadim vd., 2006).



Jeolojik ve jeomorfolojik özellikler ele alındığında, ülkemizde başta Karadeniz bölgesi olmak üzere, Doğu Anadolu ve Orta Anadolu bölgeleri heyelanların sıkça geliştiği alanları kapsamaktadır. (Gökçe vd. 2008) tarafından yapılan afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımının incelendiği çalışmada, afet bilgi envanteri içinde Türkiye’de, son 50 yılda meydana gelen afetlerden, 13.494 tanesi heyelan, 2.956 tanesi de kaya düşmesi olarak kayıtlara geçmiştir. Bu iki doğal afet türü için etkilenen toplam afetzede sayısı ise 78.767 olarak verilmektedir (Gökçe vd., 2008).

Söz konusu çalışmada vurgulanan bir diğer husus da, ilgili veri tabanında bulunan 35.741 adet yerleşim biriminden (il, ilçe, belde, belediye ve köyler) 5.472 ‘sinde (% 15.31) heyelan olayının gözlenmesidir. Kaya düşmeleri için bu oran, 1.703 (% 4.76) olup, heyelan ve kaya düşmeleri için illere olay sayıları ve mekansal dağılımları Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da sunulmuştur.

Türkiye’de, **son 50 yılda** meydana gelen afetler,



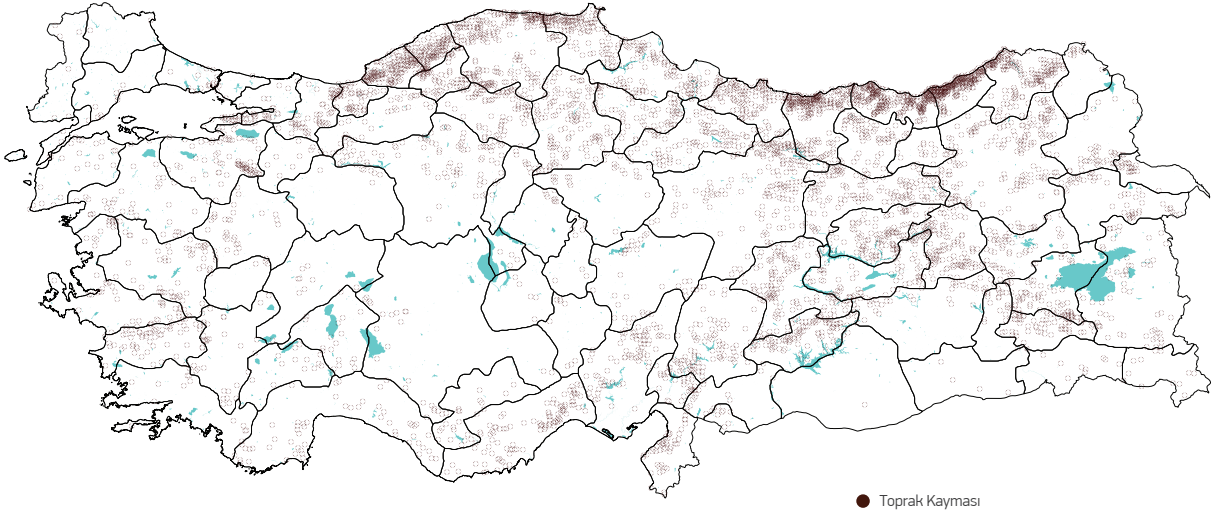
13.494 Heyelan



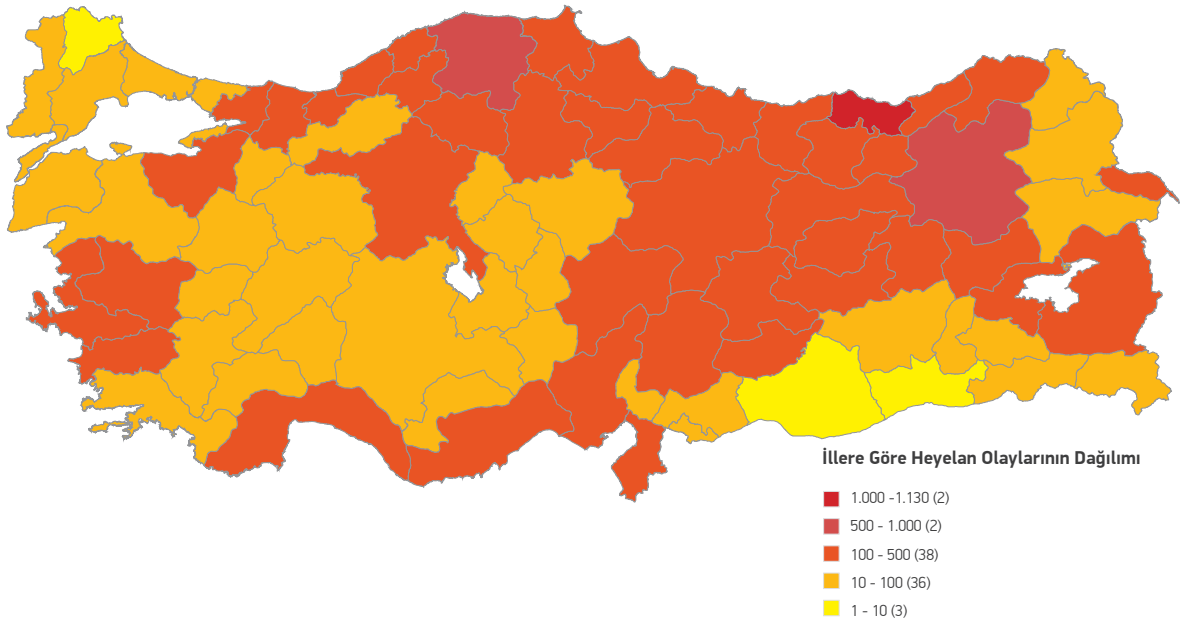
2.956 Kaya Düşmesi

olarak Kayıtlara Geçmiştir.

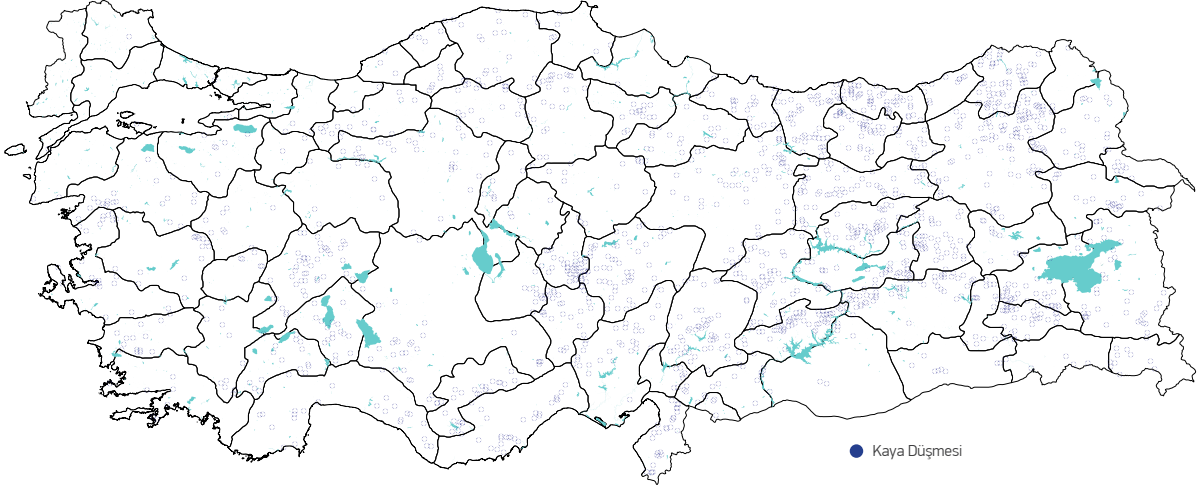
Şekil 2.3. Türkiye'de son 50 yılda meydana gelen heyelanların mekansal dağılımı (Gökçe vd., 2008).



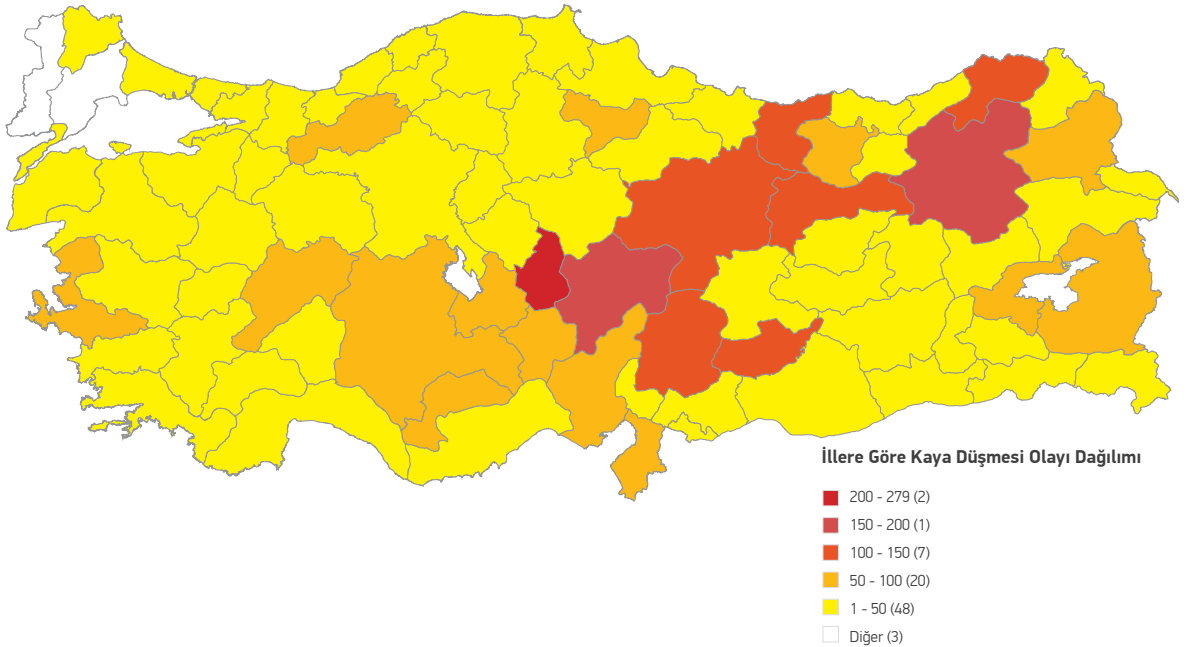
Şekil 2.4. Türkiye'de son 50 yılda meydana gelen heyelan olay sayısının illere göre dağılımı (Gökçe vd., 2008).



Şekil 2.5. Türkiye'de son 50 yılda meydana gelen kaya düşmelerinin mekansal dağılımı (Gökçe vd., 2008).



Şekil 2.6. Türkiye'de 1950-2008 yılları arasında meydana gelen kaya düşmesi olay sayısının illere göre dağılımı (Gökçe vd., 2008).

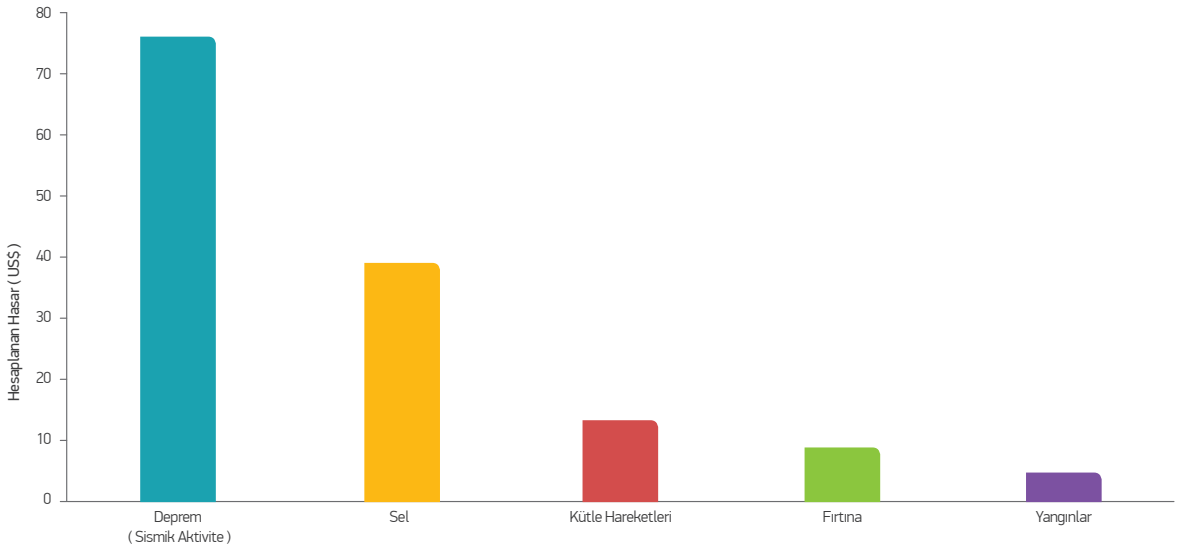


Ülkemizde, özellikle Karadeniz bölgesinde 1929, 1950, 1952, 1985, 1988 ve 1990 yıllarında büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olan heyelanlar meydana gelmiştir. Tortum, Geyve, Ayancık, Sinop, Of, Sürmene, Sera/Trabzon ve Maçka/Çatak heyelanları, bu tarihlerde yaşanmış heyelanlardan bazılarıdır. Örneğin, 21.06.1990'da şiddetli yağışlardan sonra Maçka/Çatak bölgesinde meydana gelen heyelanda, 65 kişi yaşamını yitirmiş ve büyük maddi hasar ortaya çıkmıştır (Öztürk, 2002). 13 Temmuz 1995 Senirkent (Isparta) bölgesinde yaşanan moloz/çamur akması türündeki heyelanda ise, 74 kişi yaşamını yitirmiş ve yüzlerce konut toprak altında kalmıştır. 17.03.2005 tarihinde ise Sivas iline bağlı Koyulhisar ilçesindeki Sugözü köyünün Kuzulu Mahallesi'nde meydana gelen heyelanda da, 15 kişi yaşamını yitirmiş, köy camisi ve 21 ev toprak altında kalmıştır. Heyelan sırasında hareket eden malzemenin hacmi yaklaşık olarak 12.5 milyon m³ olup, heyelan dairesel duraysızlık şeklinde gelişmiştir. 26.08.2010 tarihinde ise, Rize ilinin Gündoğdu beldesinde meydana gelen heyelan sonucunda, 13 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, son derece büyük maddi hasar meydana gelmiştir. Bu kayıtlar, önemli oranda hasar veren ve

can ve mal kaybına yol açmış heyelanlar olup, kayda girmeyen, yerleşim birimlerinden uzakta meydana gelen binlerce sayıdaki heyelan da dikkate alınırsa, ülkemizdeki heyelan sorunun çok daha ciddi boyutlarda olduğu söylenebilir.

Bu örneklerden de anlaşılacağı üzere, Türkiye'de heyelanlar ve verdiği zararlar, son derece önem arz etmektedir. Ülkemizde 1900-2014 yılları arasında meydana gelmiş doğal afet türlerinin sayısı (**Şekil 2.7**) incelendiğinde, heyelanların (kayıt altına alınmışların yerleşim birimlerinde meydana gelmiş sayılarıdır), kayıt altına alınamayan sayıları da dikkate alındığında, çok daha fazla sayıda meydana geldiği ve ortaya çıkan kayıpların, tahmin edilen veya hesaplanandan çok daha yüksek olduğu söylenebilir.

Şekil 2.7. Ülkemizde 1900-2014 yılları arasında meydana gelmiş olan doğal afetler ve hesaplanan hasarlar. (EM-DAT, 2014).





2.3. Heyelanların Genel Özellikleri ve Tanımlamaları

UNESCO tarafından 1990-2000 yılları arasındaki on yıllık dilimin, “**Doğal Afet Zararlarının Azaltılması İçin On Yıl**” olarak ilan edilmesi nedeniyle, dünya çapında heyelan konusu ile ilgili bilim insanları ve uzmanların bir araya geldiği 5. Uluslararası Heyelan Sempozyumu, İsviçre’nin Lozan kentinde 1988 yılında gerçekleştirilmiş, WP/WLI (UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) adı altında, heyelan konusunda yapılacak araştırmalara rehberlik edecek bir dizi kılavuz oluşturulmuştur. İlgili kılavuzlar, IAEG (International Association of Engineering Geology) desteğiyle

yayımlanan Bulletin of the International Association of Engineering Geology dergisinin muhtelif sayılarında yayımlanmıştır (WP/WLI, 1990; 1991; 1993; 1994). Buradaki amaç, konuyla ilgili çalışan araştırmacı, bilim insanları ve diğer ilgililerin heyelan tanımlama ve değerlendirmelerinde ortak bir dil kullanmasına yöneliktir. AFAD için hazırlanan bu kılavuzda da, dünya çapında kabul gören bu çalışmalar temel alınarak, heyelan özellikleri, morfolojik tanımlamaları, boyutları aktivitesi ve sınıflamaları izleyen bölümlerde sunulmuştur.

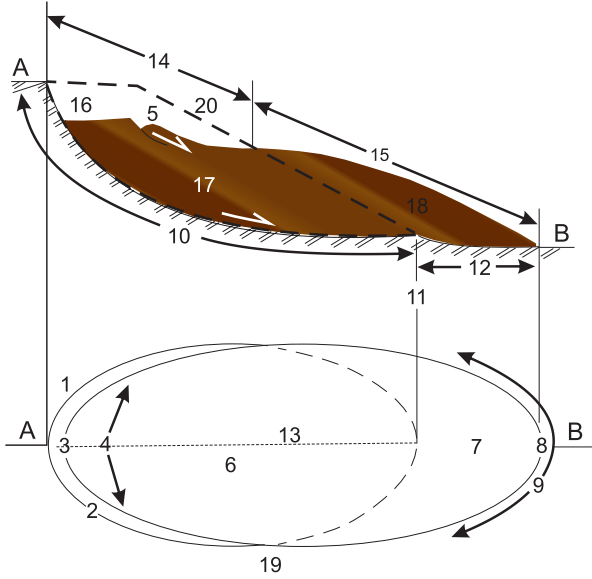


1990-2000 Yıllarını
“Doğal Afet Zararlarının Azaltılması İçin On Yıl”
 olarak ilan etmiştir.

2.3.1. Kütlesel Özellikler

Heyelanların kütleli özelliklerinin belirlenmesinde, kılavuz kapsamında WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamalar dikkate alınmış ve Şekil 2.8'de sunulmuştur:

Şekil 2.8. Heyelanların kütleli özellikleri (WP/WLI, 1993).



TANIMLAMALAR

- 1. Taç:** Bir heyelanda ana aynanın (2) en yüksek kesimine yakın konumdaki yer değiştirmemiş malzemenin bulunduğu yerdir.
- 2. Ana Ayna:** Kayan malzemenin (13) hareketi sonucu gelişmiş ve kaymayı çevreleyen örselememiş zemin üzerindeki dik veya dike yakın yüzeydir. Kayma yüzeyinin (10) görünür kesimini karşılamakta.
- 3. Tepe:** Kayan malzeme (13) ile ana aynanın (2) temas yüzeyindeki en yüksek nokta.
- 4. Heyelan üst kesimi:** Yerdeğiştirmemiş malzeme ile taç (1) kısmı arasındaki temas yüzeyi boyunca kaymış olan malzemenin üst kısımlarıdır.
- 5. Tali ayna:** Kayan kütle (17) içinde meydana gelen farklı hareketler nedeniyle yerdeğiştiren malzemenin üst kısmındaki dik veya dike yakın yüzeydir.
- 6. Ana Kütle:** Ana ayna (2) ile kayma yüzeyinin topuğu (11) arasında kalan ve kayma yüzeyini (10)

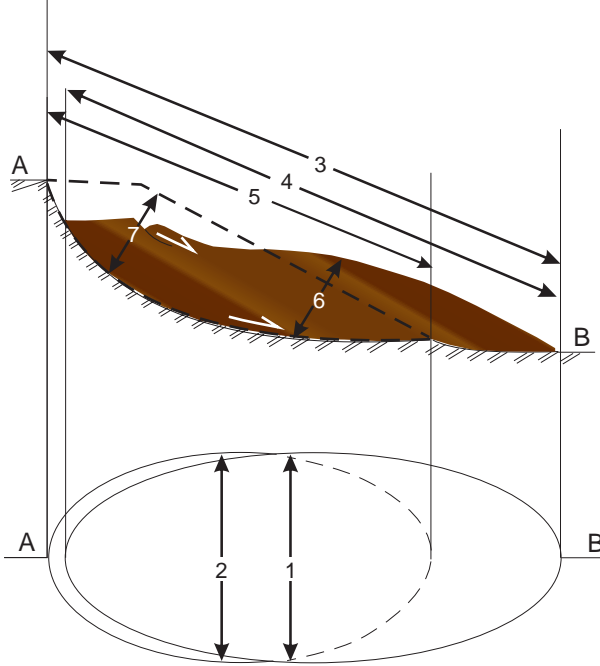
üzerleyen duraysızlığa uğramış (yerdeğiştirmiş) malzemedir.

- 7. Heyelan Eteği:** Kayma yüzeyinin topuğundan (11) eğim aşağı yönde uzanan yerdeğiştirmemiş malzemenin bir bölümüdür.
- 8. Heyelan Uç Noktası:** Heyelanın topuk (9) kısmında bulunan, duraysızlığın tepe (3) noktasına en uzak noktadır.
- 9. Topuk:** Ana aynadan (2) en uzakta bulunan yerdeğiştirmiş malzemenin uç kesimidir.
- 10. Kayma yüzeyi:** Orijinal topoğrafyanın (20) üzerinde bulunan yerdeğiştirmiş malzemenin alt sınırındaki yüzeydir.
- 11. Kayma yüzeyi topuğu:** Kayma yüzeyinin en alt kısmı (10) ile orijinal topoğrafyanın (20) arakesitidir.
- 12. Ayrılma yüzeyi:** Heyelanın eteklerinin (7) üzerinde yer aldığı orijinal topoğrafyadır (20).
- 13. Yerdeğiştiren malzeme:** Heyelan hareketi sırasında orijinal konumunu değiştirmiş malzemedir.
- 14. Kayma zonu:** Heyelan sırasında kayan malzemenin orijinal topoğrafik kotunun daha altında bulunduğu kısımdır.
- 15. Birikme zonu:** Heyelan sırasında kayan malzemenin orijinal topoğrafik kotunun daha üstünde bulunduğu kısımdır.
- 16. Çöküntü:** Ana ayna (2), kayan kütle (17) ve orijinal topoğrafya (20) ile sınırlanmış hacimdir.
- 17. Kayan Kütle:** Orijinal topoğrafyanın altında, kayma yüzeyi (10) üzerinde bulunan kayan malzemenin hacmidir.
- 18. Birikme zonu:** Orijinal topoğrafya (20) üzerinde bulunan kayan malzemenin (13) hacmidir.
- 19. Heyelan kanadı:** Duraysızlığı, hareket etmemiş kesimden ayıran kenar kısımlardır.
- 20. Orijinal topoğrafya:** Heyelan gerçekleşmeden önceki orijinal topoğrafik yüzeydir.

2.3.2. Heyelanların Boyutsal Özellikleri

Heyelanların boyutsal özelliklerinin belirlenmesinde, kılavuz kapsamında WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamalar dikkate alınmış ve **Şekil 2.9**'da sunulmuştur:

Şekil 2.9. Heyelanların boyutsal özellikleri (WP/WLI, 1993).



TANIMLAMALAR

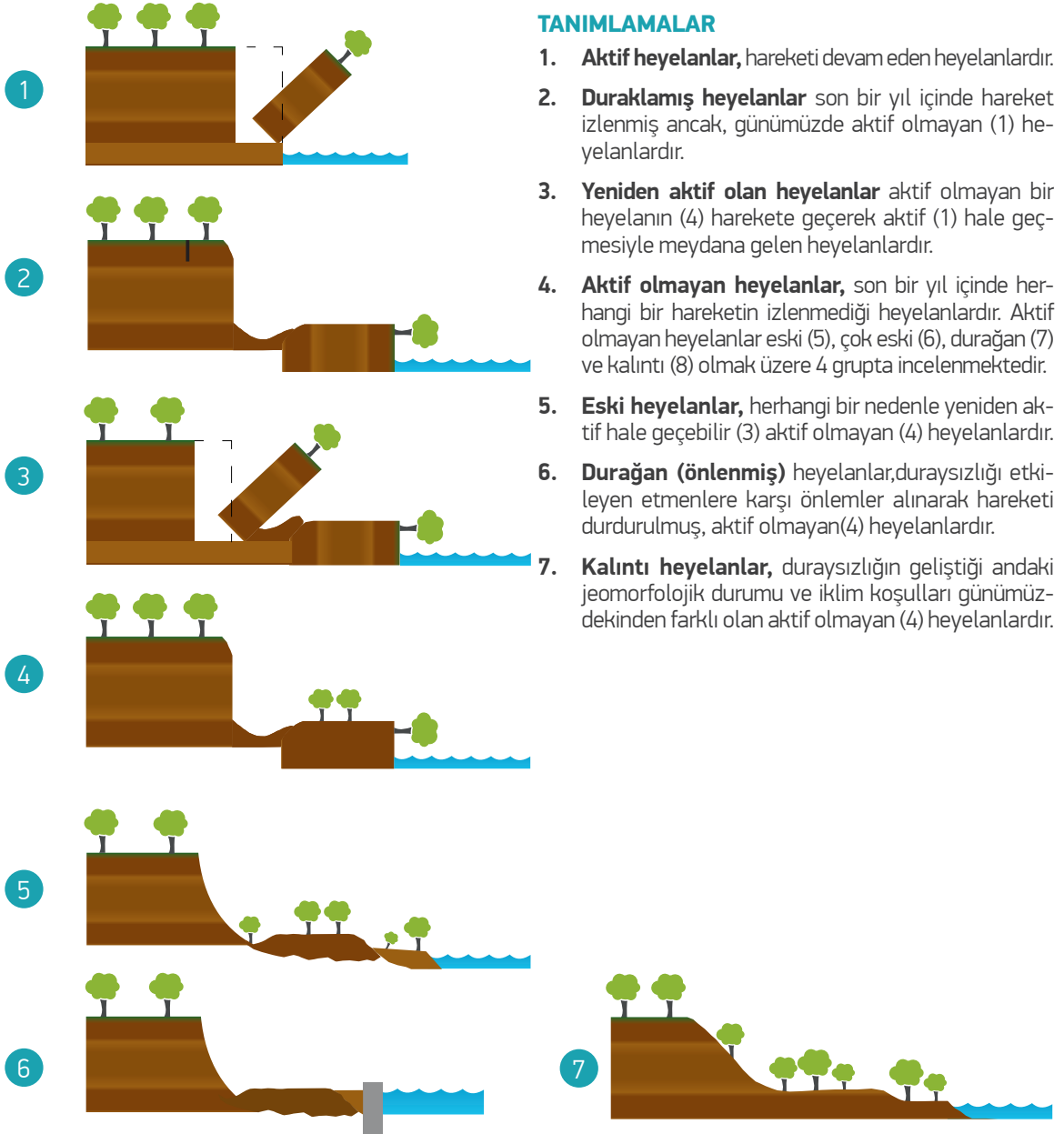
1. **Kayan malzemenin genişliği**, W_d , L_d 'na dik olan maksimum genişliktir.
2. **Kayma yüzeyinin genişliği**, W_r , heyelanın kanatları arasındaki L_r 'na dik olan maksimum genişliktir.
3. **Toplam uzunluk**, L , heyelanın taç ile uç kısmı arasında kalan en kısa mesafedir.
4. **Kayan malzemenin uzunluğu**, L_d , heyelanın tepe noktası ile uç noktası arasında kalan en kısa mesafedir.
5. **Kayma yüzeyinin uzunluğu**, L_r , kayma yüzeyinin topuğu ile taç kısmı arasındaki en kısa mesafedir.
6. **Kayan malzemenin derinliği**, D_d , W_d ve L_d 'nu kapsayan düzleme dik olarak ölçülen, kayan malzemenin maksimum derinliğidir.
7. **Kayma yüzeyinin derinliği**, D_r , W_r ve L_r 'nu kapsayan düzleme dik olarak ölçülen, orjinal topoğrafya üzerindeki kayma yüzeyinin maksimum derinliğidir.



2.3.3. Heyelanların Aktivite Özellikleri

Heyelanların aktivite özelliklerinin belirlenmesinde, kılavuz kapsamında WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamalar dikkate alınmış ve **Şekil 2.10**'da sunulmuştur:

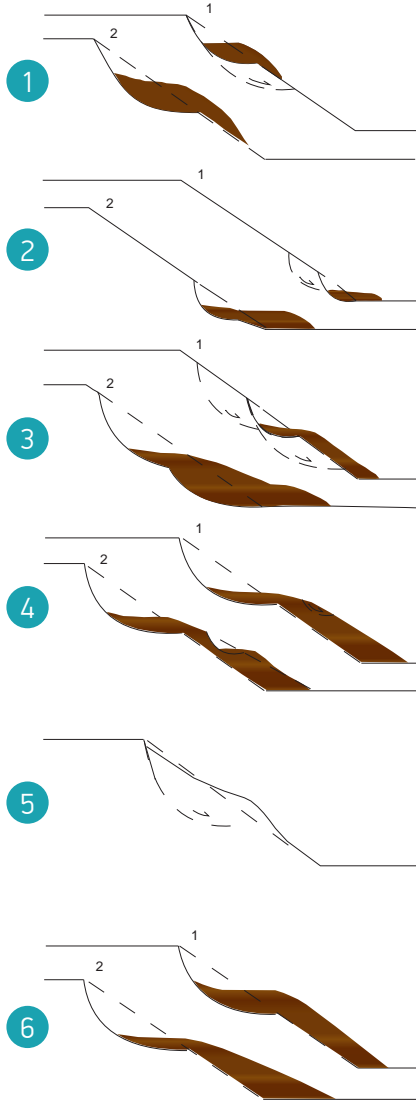
Şekil 2.10. Heyelanların aktivite özellikleri (WP/WLI, 1993).



2.3.4. Heyelanların Aktivite Yayılım Özellikleri

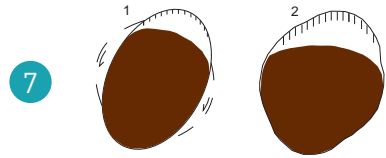
Heyelanların aktivite yayılım özelliklerinin belirlenmesinde, kılavuz kapsamında WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamalar dikkate alınmış ve **Şekil 2.11**'de sunulmuştur:

Şekil 2.11. Heyelanların aktivite yayılım özellikleri (WP/WLI, 1993).



TANIMLAMALAR

- Hareket yönü boyunca genişleyen heyelan**, kayma yüzeyi hareketin yönü boyunca genişleyen heyelanlardır.
- Gerileyen heyelan**, kayma yüzeyi yer değiştiren malzemenin hareket yönünün tersi yönde gelişen heyelanlardır.
- Büyüyen heyelan**, kayma yüzeyi iki veya daha fazla yönde gelişen heyelanlardır.
- Küçülen heyelanlar**, yer değiştiren malzemenin hacminin giderek azaldığı heyelanlardır.
- Gizlenmiş (confined) heyelanlar**, ana aynası olan ancak, kayma yüzeyi ve topuğu gözükmeyen heyelanlardır.
- İlerleyen heyelanlar**, yer değiştirmiş malzemenin hacminde ve kayma yüzeyinde herhangi bir değişiklik olmadan hareketine devam eden heyelanlardır.
- Kanatlar boyunca genişleyen heyelanlar**, hareketin heyelanın kanatları boyunca genişlediği heyelanlardır.

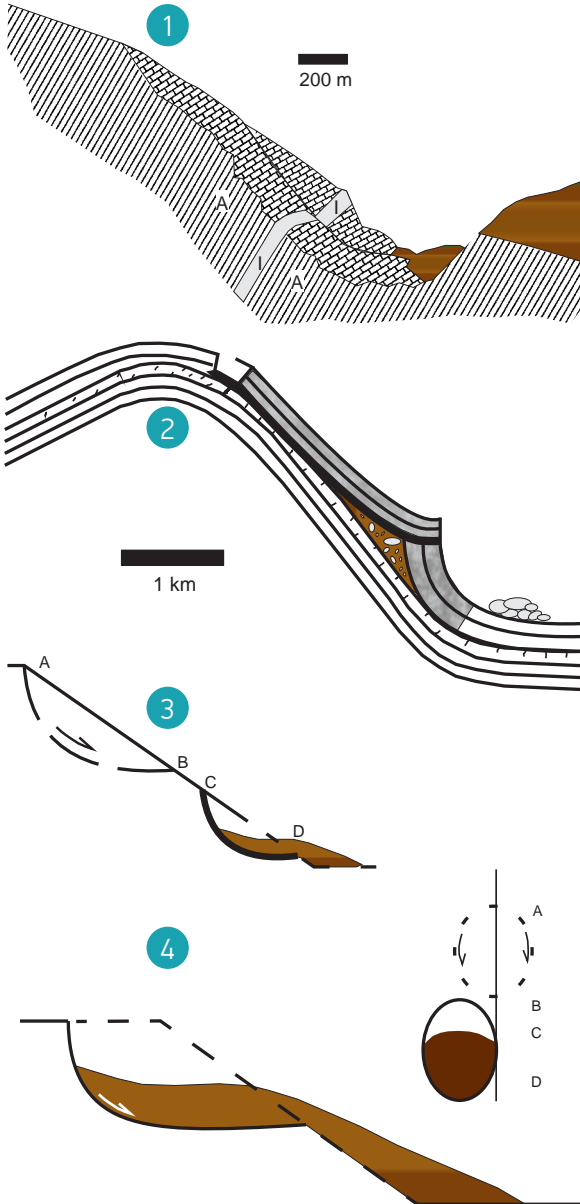


0 6 12 18 m

2.3.5. Heyelanların Aktivite Türleri

Heyelanların aktivite türlerinin belirlenmesinde, kılavuz kapsamında WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamalar dikkate alınmış ve **Şekil 2.12**'de sunulmuştur:

Şekil 2.12. Heyelanların aktivite türleri (WP/WLI, 1993).



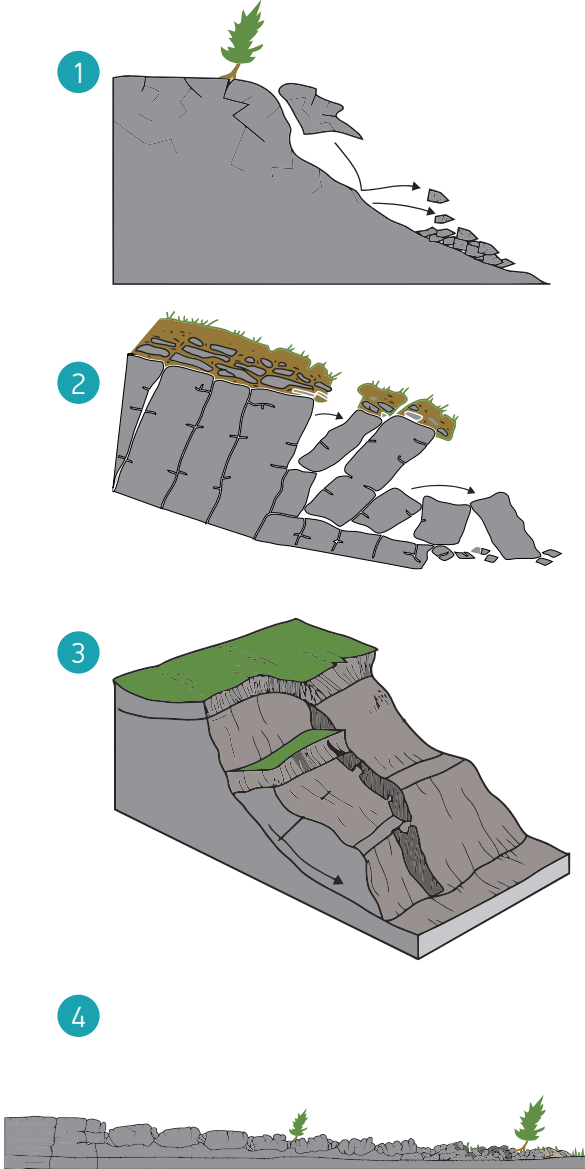
TANIMLAMALAR

1. **Karmaşık** heyelan birden fazla sayıda duraysızlık türünün (düşme, devrilme, kayma, yanal yayılma, akma) birarada geliştiği duraysızlıktır.
2. **Bileşik (kompozit) heyelan**, en az iki heyelan türünün birarada gözleendiği ancak, aynı hareket zonu içinde farklı alanlarda gelişmiş heyelanlardır.
3. **İlerleyen heyelan**, daha önce gerçekleşmiş bir heyelanın yakınında, farklı bir kayma yüzeyi boyunca gelişen heyelanlardır.
4. **Tekil heyelan**, yenilen malzemenin tekil hareketidir.
5. **Çoklu heyelan**, aynı heyelan türünün birden çok sayıda gelişmesiyle meydana gelen heyelanlardır.

2.3.6. Heyelan Türleri

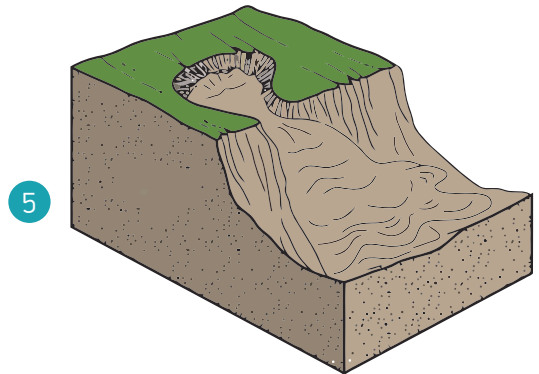
Heyelanlar, doğada birbirinden farklı türlerde ve mekanizmalarda gelişebilmektedir. Doğada sıklıkla karşılaşılan heyelan türleri için, kılavuz kapsamında WP/WLI (1993) tarafından önerilen tanımlamalar ve mekanizmalar dikkate alınmış ve **Şekil 2.13**'de sunulmuştur:

Şekil 2.13. Heyelanların aktivite yayılım özellikleri (WP/WLI, 1993).



TANIMLAMALAR

- Düşme**, toprak ya da kaya bloklarının, dik bir yamaç boyunca herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın ana kütlede ayrılmalarıdır. Bu duraysızlık sırasında, bloklar serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde hareket ederler.
- Devrilme**, toprak ya da kaya kütlelerinin ağırlık merkezini üzerindeki bir nokta veya eksen boyunca çevre doğru rotasyonel (dönel) hareketidir.
- Kayma**, toprak ve kaya kütlelerinin bir veya birden çok yüzey üzerinde makaslama deformasyonu sonucu meydana gelen hareketidir.
- Yanal Yayılma**, kohezyonlu topraklar veya kaya kütlelerinin altında bulunan daha yumuşak bir zemin üzerinde genişlemesidir. Yenilme yüzeyi en büyük makaslama gerilmesinin geliştiği yüzey olmayıp, sıvılaşma veya yumuşak zeminlerin akması sonucunda gerçekleşebilir.
- Akma**, birden fazla sayıda makaslama yüzeyi boyunca gelişen ve çoğunlukla serbest yüzeyler boyunca yer değiştirerek yayılan kütle hareketidir. Hareket eden kütlede hızın dağılımı, viskoz bir sıvıdaki dağılıma benzerdir.



2.4. Heyelanların Sınıflandırılması

Heyelanların sınıflandırılmalarına yönelik olarak, farklı amaçlar doğrultusunda, literatürde farklı araştırmacılar ve organizasyonlar tarafından kullanılan farklı sınıflandırma sistemleri mevcuttur. Bunlardan, literatürde en çok kullanılan ve dünya çapında kabul edilen ve farklı amaçlar doğrultusunda kullanılan sınıflamalara, aşağıda farklı başlıklar altında değinilmiştir:

2.4.1. Alansal Sınıflama

Heyelanların alansal olarak sınıflandırılması, heyelan boyutları dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu konu ile ilgili olarak, literatürde sıklıkla kullanılan sınıflama, Conforth (2004) tarafından önerilen sınıflama olup, **Çizelge 2.1**'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Heyelanların alansal yayılımlarına göre sınıflandırılması (Conforth, 2004).

Açıklama	Alan (ft ²)	Alan (m ²)
Çok küçük	< 2000	< 200
Küçük	2000-20000	200-2000
Orta	20000-200000	2000-20000
Büyük	200000-2000000	20000-200000
Çok büyük	2000000-20000000	200000-2000000
Olağanüstü büyük	>20000000	> 2000000

2.4.2. Hıza Göre Sınıflama

Heyelanların oluşum hızlarına yönelik literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflama, WP/WLI (1995) tarafından verilen sınıflamadır. Söz konusu sınıflama, daha sonra Cruden ve Varnes (1996) tarafından güncellenmiş ve **Çizelge 2.2**'de sunulmuştur:

Çizelge 2.2. Heyelanların hızlarına göre sınıflandırılması (WP/WLI, 1995; Cruden ve Varnes, 1996).

Hız Sınıfı	Tanımlama	Hız (mm/sn)	Tipik Hız
7	Son Derece Hızlı	5×10^3	5 m/sn
6	Çok Hızlı	5×10^1	3m/dak
5	Hızlı	5×10^{-1}	1.8 m/yıl
4	Orta	5×10^{-3}	13 m/ay
3	Yavaş	5×10^{-5}	1.6 m/yıl
2	Çok Yavaş	5×10^{-7}	16 mm/yıl
1	Son Derece Yavaş		

2.4.3. Varnes (1978) Sınıflaması

Heyelanlara yönelik sınıflamalarda, hareket ve malzeme türünü dikkate alan ve literatürde sıklıkla kullanılan sınıflama sistemi, Varnes (1978) tarafından önerilmiştir. İlgili sınıflama, **Çizelge 2.3**'de sunulmaktadır:

Çizelge 2.3. Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflaması.

Hareket Türü	Malzeme Türü			
	Kaya	Toprak		
		İri Taneli	İnce Taneli	
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi	
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi	
Kayma	Dönel / Ötelenmeli	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
Yayıлма	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması	
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması	
	Derin Krip		Krip	
Karmaşık	En az iki veya daha fazla sayıda heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar			

2.4.4. EPOCH (1993) Sınıflaması

EPOCH (1993) sınıflaması, çoğunlukla Avrupa ülkeleri için geliştirilmiş bir sınıflama sistemidir. Temelde Varnes (1978) sınıflamasını dikkate almakta, ancak dairesel kaymalar için tekli, çoklu ve ardışık tanımlamalarını sınıflandırmaya sokmaktadır. İlgili sınıflama, heyelan literatüründe sık kullanılan bir sınıflama sistemi olmayıp, **Çizelge 2.4**'de sunulmuştur:

Çizelge 2.4. Avrupa ülkeleri için geliştirilmiş olan heyelan sınıflama (EPOCH, 1993).

Tür	Kaya			Moloz			Toprak		
Düşme	Kaya Düşmesi			Moloz Düşmesi			Toprak Düşmesi		
Devrilme	Kaya Devrilmesi			Moloz Devrilmesi			Toprak Devrilmesi		
Kayma (Dairesel)	Tekil	Çoklu	Ardışık	Tekil	Çoklu	Ardışık	Tekil	Çoklu	Ardışık
Kayma (Düzlemsel)	Kaya Kayması			Moloz Kayması			Toprak Kayması		
Kayma (Düzlemsel Olmayan)	Blok Kayması			Blok Kayması			Dilimli Kayma		
Yanal Yayılma	Kaya Yayılması			Moloz Yayılması			Toprak Yayılması		
Akma	Kaya Akması			Moloz Akması			Toprak Akması		
Karmaşık	2 veya daha fazla türdeki heyelan birlikte oluşmaktadır.								

HEYELANLAR

Can ve Mal Kayıplarının Yanısıra
Çevreye ve Altyapıyada
Zarar Vermektedir.



2 HEYELANLAR ve GENEL ÖZELLİKLERİ

2.4.5. Cruden ve Varnes (1996) Sınıflaması

Cruden ve Varnes (1996) sınıflaması da, Varnes (1978) sınıflamasını temel alan, ancak ikincil olarak aktivite türünü de sınıflamaya sokan bir heyelan sınıflamasıdır. Söz konusu sınıflama, **Çizelge 2.5**'de sunulmuştur:

Çizelge 2.5. Varnes (1978) sınıflamasını temel alan ve Cruden ve Varnes (1996) tarafından önerilen sınıflama.

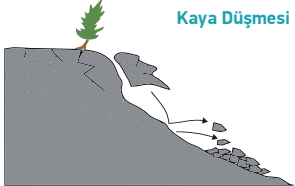
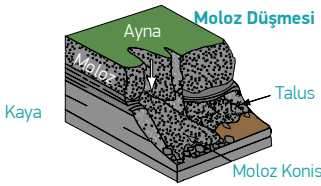
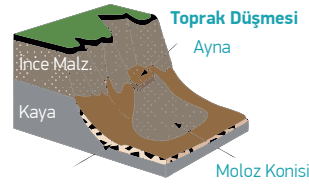
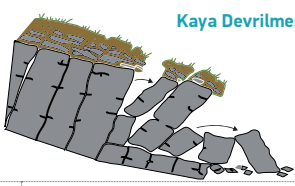
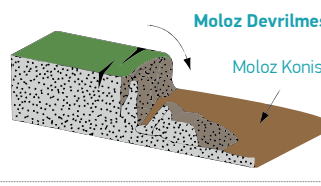
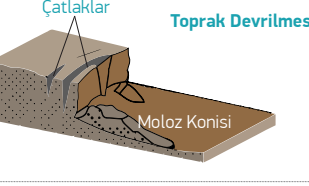
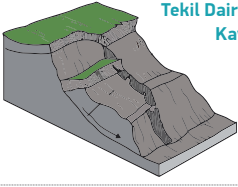
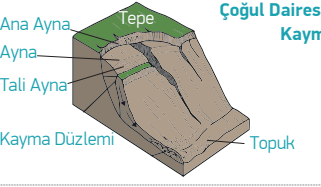
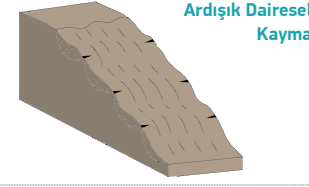
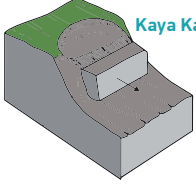
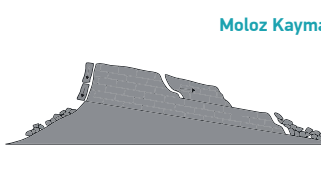
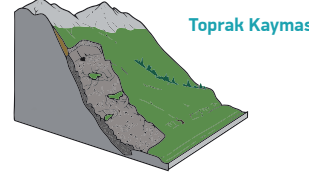
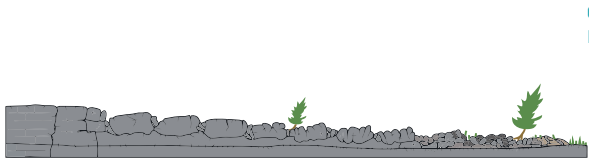
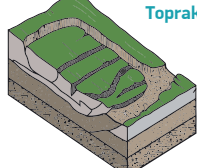
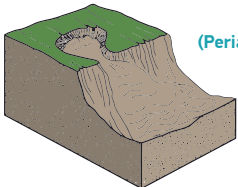
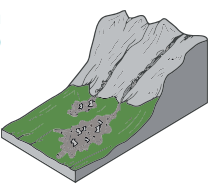
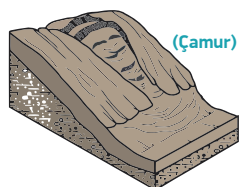
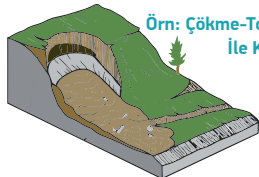
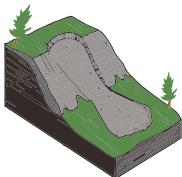
Hareket Türü	Malzeme Türü		
	Kaya	Toprak	
		İri Taneli	İnce Taneli
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
Yayıлма	Kaya yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması

Sözü edilen bu sınıflamalar, dünyanın farklı bölgelerinde farklı araştırmacılar tarafından kullanılıyor olsa da, heyelan sınıflamaları açısından en çok kullanılan sınıflama, Varnes (1978) sınıflaması olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sınıflamayı temel alan ve 1996 yılında güncellenen sınıflamada ise, heyelan sınıfları krip dışında hemen hemen aynı kalmaktayken, “karmaşık” olarak değerlendirilen heyelan türünün, bir heyelan aktivitesi veya hareketi olarak algılanması gerekliliği vurgulanmaktadır (Cruden ve Varnes, 1996). Ayrıca, **Şekil 2.12**'de sunulan diğer aktivite türlerinin de dikkate alınarak (örneğin çoklu toprak kayması gibi) sınıflamaların yapılması önerilmektedir. Heyelanların alansal

ve hız sınıflamalarına yönelik bu şekilde bir tartışma olmayıp, sözü edilen bu özelliklere ilişkin sınıflamalar, konvansiyonel olarak uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu kılavuz kapsamında heyelan sınıflamalarında, gerek kolay ve daha anlaşılır olmasından, gerekse dünya çapında daha çok uygulamada kabul görmesinden ötürü, Varnes (1978) sınıflaması temel alınacak ve heyelan sınıflamaları, bu sınıflama sistemine göre yapılacaktır. **Şekil 2.14**'de, yukarıda değinilen tüm heyelan türlerinin şematik gösterimi sunulmuştur. Ayrıca, **Şekil 2.15** ile **Şekil 2.20** arasında, sözü edilen heyelan türlerine ilişkin, ülkemizin farklı bölgelerinde meydana gelmiş heyelanlara ait bazı fotoğraflar sunulmuştur.



Şekil 2.14. Heyelan sınıflamalarında kullanılan heyelan türlerinin geliştirilmiş şematik gösterimi (<http://pubs.usgs.gov>)

Düşme			
			
Kayma	Dönel 		
	Ötelenmeli (Düzlemsel) 		
Yanal Yayılma			
Akma			
Karmaşık			

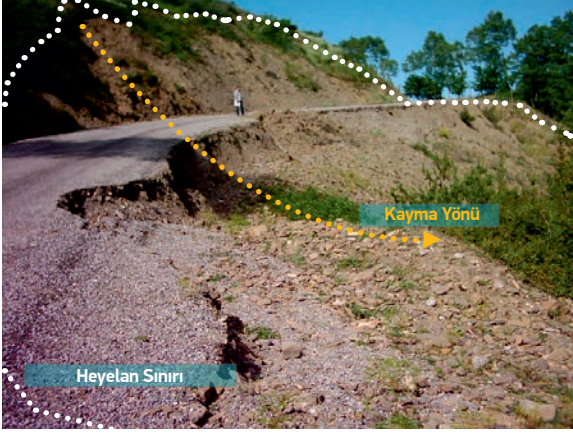
Şekil 2.15. Altındağ (Ankara) bölgesinde meydana gelen kaya düşmelerine bir örnek (Foto: M. Ercanoğlu)



Şekil 2.16. Altındağ (Ankara) bölgesinde meydana gelen kaya devrilmesi türündeki duraysızlığa bir örnek (Foto: M. Ercanoğlu).



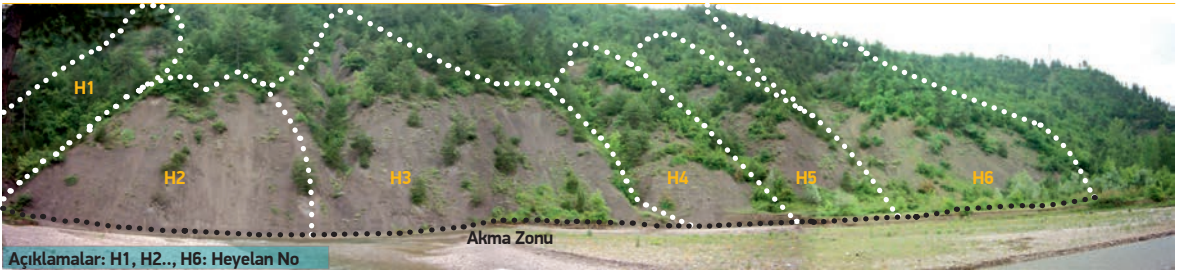
Şekil 2.17. Ulus (Bartın) bölgesinde meydana gelen ve karayolunu etkileyen dönel toprak kayması türündeki duraysızlığa bir örnek (Foto: M. Ercanoğlu).



Şekil 2.18. Kırşehir Akpınar Kelismailuşağı'nda meydana gelene toprak kayması.



Şekil 2.19. Ulus (Bartın) bölgesinde zon şeklinde meydana gelen toprak akması türündeki duraysızlıklara bir örnek (Foto: M. Ercanoğlu).



Şekil 2.20. Azdavay (Kastamonu) bölgesinde farklı alanlarda gelişen dönel toprak kayması ve toprak akması şeklinde meydana gelen karmaşık türdeki duraysızlıklara bir örnek (Foto: M. Ercanoğlu).



Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

3

HEYELAN ENVANTERİ

Heyelanlar, jeolojik ve/veya jeomorfolojik süreçler ile hidrolojik, klimatolojik ve bitki örtüsü/ arazi kullanımı gibi birçok parametreye bağlı olarak gelişebilmekte ve deprem, yağış ve insan etkisi gibi faktörlere bağlı olarak tetiklenebilmektedirler. Ayrıca, heyelanlar yer yüzeyinin gelişimi içinde de etkin bir rol oynamaktadır (Brabb ve Harrod, 1989; Harmon ve Doe, 2001). İnsan yaşamını etkileyen önemli doğal afet türlerinden biri olan heyelanlara ilişkin ayrıntılı bir heyelan envanterinin ve haritalamasının hayata geçirilmesi, heyelanlarla ilgili yapılacak her türlü çalışmanın ilk aşaması olarak dikkate alınması gereken bir konudur. Ayrıca, konumsal ve zamansal heyelan çözümlenmeleri ile yer yüzeyinin gelişiminin anlaşılmasında, zarar azaltma çalışmalarının her aşamasına da temel teşkil etmektedir (Soeters ve Van Westen, 1996; Guzzetti vd., 2000; Galli vd., 2008; Booth vd., 2009; Guzzetti vd., 2012).

Heyelan envanter haritaları, uygulama açısından ele alındığında karar vericiler, planlamacılar ve yerel yönetimler için son derece önemli bilgiler içermektedir. Bu nedenle, dünyanın bir çok farklı bölgesinde ulusal ölçekten, büyük ölçeklere değişen farklı ölçek türlerinde, farklı yöntemler kullanılarak heyelan envanter haritaları oluşturulmakta, heyelanlara ilişkin özellikler veri tabanlarında saklanmaktadır. Bununla birlikte, heyelan envanter haritalarının ancak %25'i uygulamalarda doğrudan ve etkin olarak kullanılmakta (Aleotti ve Chowdury, 1999); sistematik olarak değerlendirildiğinde ise, heyelanların mekansal dağılımı, türü ve boyut bilgileri, ancak %1 oranında toplanmaktadır (Guzzetti vd., 2012).

Ülkemizde, özellikle son 10-15 yıl içinde, heyelan envanter haritalarının kullanılmasının nedenli önemli olduğuna dair bir çaba içine girilmiştir. Özellikle konuyla ilgili kamu kurumları, üniversiteler ve bilim insanlarının, ulusal ve uluslararası platformlarda gerçekleştirdikleri dikkate değer çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Araştırmaları Birimi tarafından sonuçlandırılan "Türkiye Heyelan Envanteri Projesi" ile Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından gerçekleştirilen "Afet Tehlike Değerlendirme" çalışmaları; kurumsal bazda ülkemizde heyelanlar kapsamında yapılmış en önemli çalışmalar arasında gösterilebilir.

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

zetti vd., 2012). Heyelan envanter haritalarının oluşturulma amaçları aşağıda özetlenmiştir (Brabb, 1991):

1. Yerel, bölgesel veya ülke ölçeğinde heyelan oluşumlarının yerlerini göstermek ve dokümantasyonunu oluşturmak.
2. Kütle hareketlerinin yeryüzü üzerindeki etkilerini ve değişimini incelemek ve ortaya koymak.
3. Heyelanların jeomorfolojik ve jeolojik özelliklerle ilgili olacak şekilde mekansal dağılımını, türlerini ve aktivitesini göstermek.
4. Heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerine temel teşkil edecek bilgileri içerecek şekilde bir atlık oluşturmak.

Heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında literatürde kabul görmüş birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında sıklıkla kullanılanlar aşağıda özetlenmiştir (Soeters ve Van Westen, 1996; Guzzetti vd., 2000; Metternicht vd., 2005; Lievee Lee, 2006; Nichol vd., 2006; Weirich ve Blesius, 2007; Galli vd., 2008; Van Westen vd., 2008; Booth vd., 2009; Marcelino vd., 2009; Alkevi ve Ercanoglu, 2011; Guzzetti vd., 2012).

1. Topoğrafik harita ve Sayısal Yüksekli Modeli (SYM) analizleri
2. Hava fotoğrafı yorumlamaları
3. Saha çalışmaları / yerinde jeomorfolojik analizler
4. Basılı veya sayısal harita arşivleri
5. LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamaları
6. Uydu görüntülerinin kullanılması

Heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında kullanılan bu yöntemlerden ilk dört sıradaki yöntemler "klasik" veya "geleneksel" olarak değerlendirilmekteyken, LIDAR ve optik/pasif veya radar/aktif uydu görüntülerinin kullanılması da "yeni" ve "güncel" yöntemler olarak tanımlanmaktadır (Nichol vd., 2006). Bununla birlikte, heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında, çoğunlukla hava fotoğrafı yorumlamaları, arazide doğrudan yapılan saha çalışmaları (jeomorfolojik analizler) veya bu iki yöntemin bir arada kullanıldığı yöntem, dünyada en çok kabul gören ve sıklıkla kullanılan yöntemler olarak ortaya çıkmaktadır (Guzzetti vd., 2000; Metternicht vd., 2005). Sözü edilen yöntemlerin birbirine göre birçok üstünlük ve sınırlaması olmasına karşın, bunlardan uygulamalarda en çok kullanılan yöntemlere ayrıntılarıyla izleyen bölümlerde değinilmiştir.

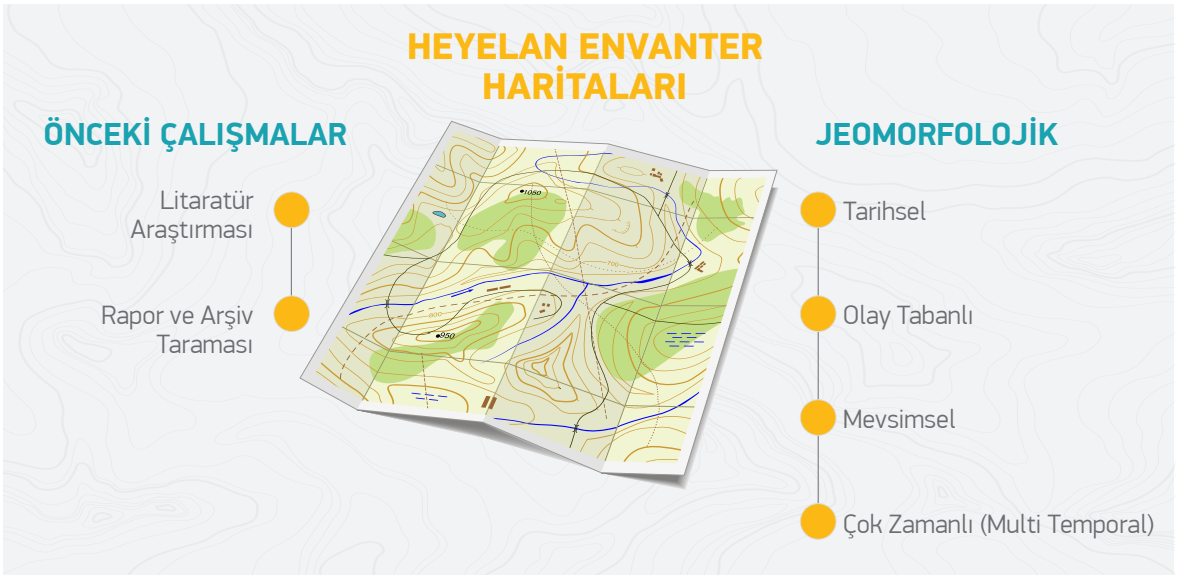
3.1. Heyelan Envanter Haritalarının Sınıflandırılması

Uygulamalarda kullanılan heyelan envanter haritalarının sınıflandırılmasında temel alınan iki ölçüt bulunmaktadır. Bunlardan ilki yapılan haritaların ölçeğidir.

- **Küçük ölçekli** heyelan envanter haritaları ($< 1/200000$), çoğunlukla literatür araştırmaları (bilimsel yayınlar, kitap, dergi vb.) ile çok sayıda hava fotoğrafının yorumlanması sonucunda elde edilmektedir.
- **Orta ölçekteki** heyelan envanter haritaları ($1/25.000 - 1/200000$) ise genellikle hava fotoğrafı yorumlamaları ve yerinde saha gözlemleri ile oluşturulmaktadır.
- **Büyük ölçekli** heyelan envanter haritaları ($> 1/25.000$) ise, daha küçük alanlarda ve ayrıntılı hava fotoğrafı yorumlamaları, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri veya Sayısal Arazi Modelleri ile saha çalışmalarının bir arada yürütülmesi sonucunda elde edilmektedir.

Heyelan envanter haritalarının sınıflandırılmasındaki ikinci ölçüt ise, haritalamanın türüdür. Heyelan envanter haritaları arşiv ve jeomorfolojik heyelan envanter haritaları olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Guzzetti vd., 2012). **Arşiv heyelan envanter haritaları**, genel olarak mevcut literatür ve arşivlerin taranması sonucunda elde edilen heyelanlara yönelik

hazırlanmaktayken, **jeomorfolojik heyelan envanter haritaları** ise tarihsel, olay tabanlı, mevsimsel ve çok zamanlı (multi-temporal) olmak üzere dört grupta incelenmektedir (Guzzetti vd., 2012). Jeomorfolojik tarihsel envanter haritaları, heyelanların meydana geldiği zaman dikkate alınmadan çeşitli zamanlar için (10, 100, 1.000 yıl gibi) oluşturulmaktadır. Bu envanter haritalarında heyelanlar sadece “güncel”, “eski” veya “çok eski” olarak, göreceli bir şekilde sınıflandırılarak kullanıcılara sunulmaktadır. Olay tabanlı heyelan envanter haritaları ise, heyelan oluşumuna neden olan deprem, aşırı yağış veya kar erimesi gibi tetikleyici bir unsur var ise kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, tetikleyici parametrelerin meydana geldiği zamanla net bir şekilde ilişkilendirilmiş heyelanların gösterilebileceği envanter haritalarına karşılık gelmektedirler. Çok sayıda hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü kullanılarak oluşturulan heyelan envanter haritaları ise, çok zamanlı ve mevsimsel envanter haritaları olarak sınıflandırılmaktadır (Guzzetti vd., 2012). Bu iki heyelan envanter haritası türünün temel farkı, mevsimsel envanter haritalarının “bir zaman aralığı”, “bir mevsim” gibi tek bir zaman dilimindeki tetiklenmiş heyelanları göstermesi; çok zamanlı heyelan envanter haritalarının ise, daha uzun zaman dilimlerinde (birkaç yıldan birkaç on yıla) tetiklenmiş heyelanları ifade etmesidir (Galli vd., 2008).



3.2. Heyelan Envanter Haritalarının Kalitesi ve Bütünlüğü

Bir heyelan envanter haritasının kalitesi, güvenilirliği ve bütünlüğü, tamamıyla heyelan envanter haritasındaki bilgilerin (heyelan yeri, konumu, büyüklüğü vb.) doğruluğu ve kesinliği ile orantılıdır. Bununla birlikte, bir heyelan envanter haritasının sözü edilen bu özelliklerinin ortaya konulması, son derece güç bir süreç olup, herhangi bir standartı da bulunmamaktadır (Galli vd., 2008). Envanterlerin doğruluğu haritaların bütünsel olarak içerdiği bilgilerle coğrafi ve tematik olarak kapsadığı içerikle ve bunların güvenilirliği ile ifade edilebilmektedir. Bu kapsamdaki bütünlük kavramı, heyelan envanter haritasının kapsadığı alandaki doğru haritalanmış heyelan oranına karşılık gelmektedir. Ancak bu oran (haritanın bütünlüğü), çoğu kez hesaplanamakta ve bilinmemektedir. Heyelan envanter haritalarının kalitesini etkileyen bir başka etmen de, çalışmalarda çoğu zaman göz ardı edilen, “en küçük” ve “en büyük” boyutlu heyelanların belirlenmesidir. Buradaki temel neden ise, çalışılan ölçekte haritalanabilen ve/veya haritalanamayacak kadar küçük heyelanların ortaya konulması gerekliliğidir.

Genel olarak özetlendiğinde bir heyelan envanterinin güvenilirliğini etkileyen temel parametreler:

1. Kullanılan hava fotoğrafı ve/veya uydu görüntülerinin ölçeği, zamanı ve kalitesi,
2. Altlık olarak kullanılacak ve heyelanlar hakkında bilgi edinilecek haritanın ölçeği ve kalitesi,

3. Yorumlamalarda kullanılacak aletsel ekipman (stereoskop veya 3B görsel ekipman) kalitesi ve yetenekleri,

4. Yorumlamayı yapan kişi(ler)in bilgi ve tecrübesi, olarak sınıflandırılabilir (Galli vd., 2008; Alkeveli ve Ercanoglu, 2011; Aksoy ve Ercanoglu, 2012; Guzzetti vd., 2012).

Carrara vd. (1992), aynı çalışma alanı için, farklı ekipmanlar tarafından yapılan heyelan haritalama hatalarını değerlendirdikleri çalışmada, en önemli bulgu olarak, hava fotoğraflarının ölçeğinde ve ekibin tecrübesindeki artışın, haritalardaki hata oranını oldukça düşürdüğünü ifade etmektedirler. Sonuç olarak bir değerlendirme yapılacak olursa, heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında, yapılacak haritaların çalışılacak alanı temsil edebilecek özellikte olması (güvenilir, doğru ve bütünsel özelliklerin tatminkar seviyede bulunması), mümkünse yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafı ve/veya uydu görüntülerinin kullanılması ve tecrübeli kişilerin bu haritaları oluşturması gerekmektedir. Buradaki en önemli temel gerekçe, heyelan envanter haritalarının hemen hemen her türlü heyelan çalışmada temel altlık olarak kullanılıyor ve yapılacak tüm analizlere ilişkin bilgi ve veriyi içeriyor nitelikte olmasıdır. Bu nedenle, heyelan envanter haritaları oluşturulurken gereken tüm çalışmaların dikkatli ve özenli bir şekilde yapılması gereği ortaya çıkmaktadır.

3.3. Heyelan Yerlerinin Sahada Tanımlanması

Heyelanların en önemli özelliği, iklim koşullarına ve tipine göre yüzeyde çok karakteristik iz bırakmaları ve buna bağlı olarak gelişen yüzey şekilleri (morfoloji) ve karakteristik bitki örtüsüdür. Ayrıca, jeolojik ve yapısal veriler de, olası heyelan yerlerinin sahada belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

3.3.1. Morfolojik Özellikler

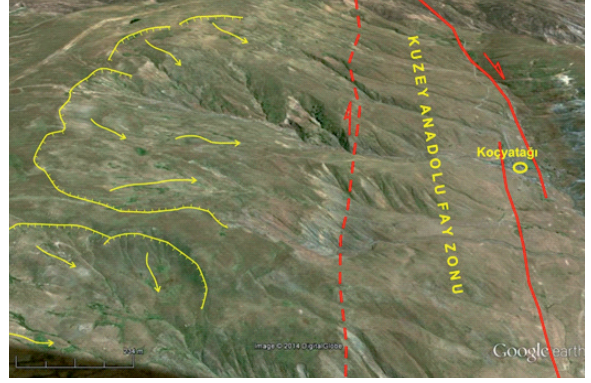
Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7’de verilen morfolojik özelliklerden birinin veya birkaçının sahada gözlenmesi, o bölgedeki bir heyelanın varlığının önemli bir kanıtı olacaktır:

- İçbükey/dışbükey yamaç özellikleri (Şekil 3.1, Şekil 3.2),
- Basamaklı/eşikli bir morfoloji (Şekil 3.3),
- Kemersi veya hilal şeklindeki ayna izi/kayma şevi ve basamaklar,
- Yamaç yüzeyinde geriye eğilme (back-tilting),

Şekil 3.1. Erzincan-Tercan'ın 9.5 km doğusu (GGD'ya bakış).



Şekil 3.2. Erzincan'ın 14 km Kuzeybatısı, Erzincan-Koçyatağı mevki, çizgisel vadi-KAFZ'nun izi (Bakış doğuya).



Şekil 3.3. Kayseri-Oymaağaç-Erkilet arasındaki basamaklı yapılar (bakış Kuzeybatıya).



- Hörgüç yapılı/tümsekli topoğrafya(Hummockymorphology) ve şişkin/kabarmış topuklar (Şekil 3.4),
- Yamaç topuğunda gözlenen çapraz veya radyal çatlaklar,
- Yamacın üst kısmında gözlenen tansiyon çatlakları,
- Yamaç boyunca düzensiz su çıkışları ve su birikintileri/göllenmeler (Şekil 3.1),
- V-şeklinde vadilerin bulunduğu bir bölgede hafif dışbükey boş vadi tabanlarının varlığı (Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7).
- Donma-çözünmenin baskın olduğu iklim koşullarında, genelde değişik doğrultulu ve düzleme sahip eklemlı birimler üzerinde gelişen dik yamaçlar.

Şekil 3.4. Yusufeli'nin kuzeyi (bakış Doğu'ya).



Şekil 3.6. Kuzulu-Koyulhisar heyelanının taç kısmı (Bakış Kuzeydoğu'ya).



Şekil 3.5. Kuzulu-Koyulhisar (Bakış doğu'ya).



Şekil 3.7. Koyulhisar'ın kuzeyinde yer alan heyelanın genel görünümü (bakış kuzeybatıya).



3.3.2. Bitki Örtüsü Özellikleri

Heyelanlı alanlarda bitki örtüsünde beklenen değişiklikler ise şu şekilde özetlenebilir:

- Basamaklı alanlarda, eşiklerde oluşan yapıya paralel bitki örtüsündeki seyreklik veya boşluklar (**Şekil 3.6**, **Şekil 3.8**),
- Yamaç boyunca gelişen bitki örtüsündeki düzensizlik,
- Sökülmüş, bozulmuş veya yarı kurumuş bitki örtüsü,
- Değişik yönlere doğru eğilmiş, devrilmiş ağaçlar,
- Kısa mesafede değişen drenaj koşullarına bağlı olarak gelişen farklı bitki örtüsü,
- Su birikintilerinde gelişen yoğun sazlıklar.

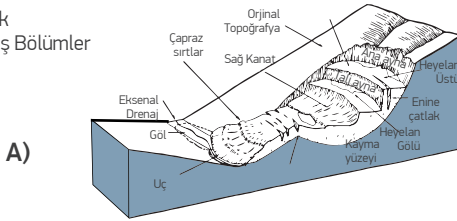
Sözü edilen tüm bu çalışmalar yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, morfolojik özelliklerin ve bitki örtüsünün iklim koşulları tarafından kontrol edilmiştir. Bunun en güzel örneği Şekil 3.9'da görülmektedir.

Şekil 3.8. Koyulhisar heyelanının taç kısmı (bakış kuzeybatıya).



Şekil 3.9. Kurak veya yarı kurak iklim için zamana ve iklime bağlı olarak jeomorfolojik değişimleri gösteren blok diyagram. A: Heyelan hatları keskin ve belirgin olan "aktif heyelan", B: Heyelan hatları belirgin ancak keskin olmayan "hareketsiz-geç heyelan", C: Heyelan hatları yüzey drenajı, iç erozyon ve birikme ve bitki örtüsü tarafından değiştirilmiş "hareketsiz-olgun heyelan", D: Heyelan hatları belirsiz/zayıf ve genelde yanıtıcı olan "hareketsiz-yaşlı heyelan" (Soeters ve Van Westen, 1996)

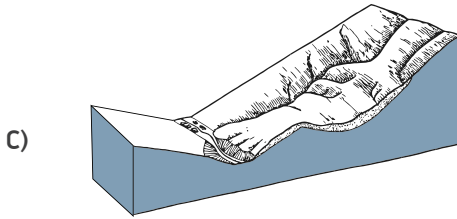
Kesin Olarak
Tanımlanmış Bölümler



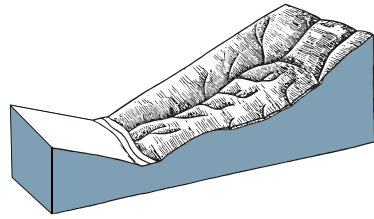
A)



B)



C)



D)

Drenaj, kayan kütleli yarıklar ve çöküntüleri takip eder, içteki bloklar hafifçe parçalanmıştır ve malzemenin bir kısmı küttleden uzaklaşmıştır.

Kayan kütle hemen hemen yok olmuştur, drenaj ağı hafifçe yapısal kontrollüdür, vadi drenajı ise kayma öncesi profilini tekrar oluşturmuştur.

3.3.3. Jeolojik/Yapısal Veriler

Morfolojik veriler ve bitki örtüsündeki değişikliklerin dışında jeolojik/yapısal veriler de, değişik tipteki olası kütle hareketlerinin arazide tespit edilmesini kolaylaştırmakta olup, bu özellikler şu şekilde özetlenebilir:

- Kalın tabakalı, eklemli ve geçirimli malzeme ile geçirimsiz malzeme aralanmasının olduğu bir bölgede topoğrafik yüzey ile yapısal yüzeyin çakışması. Böyle bir yamacın topuğu doğal yoldan aşındığı (dalga, akarsu gibi) veya insan eli ile kazılması sonucunda, aşırı yağışlı dönemde geçirimli ve dayanımlı malzemenin eklem boyunca koparak geçirimsiz, kaygan malzeme üzerinde kayması.
- Kalın regolit örtüsünün bulunduğu yamaçlar. Böyle bir yamaçta, doğal yığın açısı (angle of repose) aşılmasında malzemenin kayması/akması.
- Yoğun eklemli/kırıklı kayalı orta-yüksek eğimli yamaçlar. Böyle bir yamaçta dairesel kayma olasılığı mevcuttur.
- Düşey/düşeye yakın eğimli ortogonal eklem sistemli masif/kalın tabakalı kaya kütlelerinin yer aldığı orta-yüksek eğimli yamaç (kaya düşmesi veya devrilme).
- Kesişen süreksizlik düzlemlili (eşlenik eklem sistemli) masif/kalın tabakalı kaya kütlelerinin yer aldığı orta-yüksek eğimli yamaç (kama tipi kayma).
- Eğimi oldukça dik süreksizlikler tarafından kolonlar halinde ayrılan sert kayalardan oluşan yamaç (devrilme)
- Plastik özellikli bir zemin üzerinde yer alan ortogonal/eşlenik eklem sistemli kaya kütleleri (önü kazıldığı yanal yayılma olasılığı).



3.4. Heyelan Yerlerinin Hava Fotoğrafları ile Tanımlanması

Hava fotoğraflarından üç boyutlu stereoskopik görüntü elde edilebildiği için heyelanların sahada tespiti için kullanılan morfolojik veriler ve bitki örtüsündeki değişiklikler hava fotoğrafları için aynı şekilde yapılacak görsel yorumlamalar olarak kullanılabilir.

3.5. Heyelan Yerlerinin Uydu Görüntüleri ile Tanımlanması

Uydu görüntüleri kullanılarak heyelanların haritalanması veya heyelan yer ve envanterlerinin çıkartılması çalışmaları 1970'li yıllara dayanmasına karşın, 1990'lı yıllarda özellikle bilgisayar teknolojisi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanımının yaygınlaşmasıyla, uydu teknolojilerinin ve görüntülerinin heyelan envanter ve haritalanmalarında kullanılmasında önemli artış söz konusu olmuştur (Mantovanivd.i 1996; Malamud vd., 2004 a ve b; Nichol vd., 2006; Booth vd., 2009; Alkeveli ve Ercanoglu, 2011). Günümüzde gelişen teknolojik yeniliklere de koşut olarak, heyelan yerlerinin belirlenmesinde, en azından görsel yorumlamaya olanak sağlayacak verilerin (örneğin Google Earth gibi) ulaşılabilirliği yüksek olduğundan, bu tür verilerin heyelan değerlendirmelerinde kullanımı kaçınılmazdır.

Heyelan oluştuğundan sonra, yüzey örtüsünde (bitki örtüsü veya litoloji) değişimlerin olmasından ötürü, hava fotoğraflarına benzer şekilde, uydu görüntüleri ile bu alanlar algılanabilir bir hale gelmektedirler. Uydu görüntülerinin çalışma prensibi dikkate alındığında, spektral yansımada değerlerindeki farklılaşma, özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanımıyla net bir şekilde ortaya konulabilir. Bununla birlikte, literatürde heyelanlar ve türlerine ilişkin salt bir spektral tanımlama yapılmadığı da bilinen bir gerçektir (Guzzetti vd., 2012). Örneğin, uzaktan algılama çalışmalarında bir kil minerali (illit, kaolinit gibi) için spektral tanımlama belirli iken, heyelanlı bir alan için bu şekilde bir tanımlama yapmak, son derece güç bir işlemdir. Bununla birlikte, heyelanların oluştuğuları diğer koşullarda (morfolojik, jeolojik vb.) göz önünde bulundurulduğunda, uydu görüntüleri kullanılarak heyelan envanter haritalamaları büyük bir başarıyla yapılabilmektedir (Marta-ha vd., 2010; Aksoy ve Ercanoglu 2012). Bu kapsamda ele alındığında uydu görüntüleri kullanılarak heyelan yerlerinin belirlenmesinde ileri düzey uzaktan algılama uygulamaları (filtreleme, bölütleme, fusion analizi vb.) ile görsel yorumlamalar şeklinde kullanımlar bulunmakta, bunlardan en fazla kullanılan yöntem, görsel yorumlamalar şeklinde değerlendirilmektedir (Guzzetti vd., 2012).

Uydu görüntüleri kullanılarak heyelan yerlerine ilişkin yorumlamaların yapılabilmesi ve bilgilerin toplanabilmesi, mevcut uydu görüntülerinin heyelana ilişkin ne derece ayırt edici bilgi ve özellik sunmasına bağlıdır. Diğer bir deyişle, heyelanlarla ilgili yapılabilecek görsel yorumlar, tamamıyla uydu görüntüsünün sunduğu görüntü özellikleri ile ilgilidir. Bu özelliklerinde kontrast, heyelan yerlerinin belirlenmesinde en çok fayda getiren özellik olup, heyelanlı alanların, çevresinden farklı özellikler sergilemesinden ötürü, farklı kontrast yaratması nedeniyle görsel açıdan yorumlamaya olanak tanımaktadır. Ayrıca, spektral ve konumsal değişiklikler de, heyelan yeri açısından kullanıcı tarafından ayırt edilebilecek özellikler sunmaktadır. Bu tür yorumlarda bir başka önemli husus da, heyelanın meydana geldiği zaman ile görüntüsünün alındığı tarihin uyumlu olmasıdır. Örneğin, heyelan meydana geldikten hemen sonra alınacak bir görüntüde, heyelan yerine ilişkin özellikler çok daha net belli olmaktadır, zaman içinde gelişecek erozyon süreçleri ve bitki örtüsündeki değişimler, heyelan yerlerinin belirlenmesinde önemli güçlüklerle yol açabilmektedir (Soeters ve Van Westen, 1996). Bu konudaki bir başka önemli husus da, kullanılacak uydu görüntüsü çözünürlüğü ile heyelan boyutu arasındaki ilişkidir. Bu ilişki Rengers vd. (1992) tarafından GRC (Ground Resolution Cell) kavramı ile **Eş. 3.1**'de ifade edilmiştir.

$$GRC(m)=S/(1000 \times R)$$

Eş. 3.1.

Bu eşitlikte GRC, uydu görüntüleri için doğrudan, dikkate alınan uydu görüntüsünün çözünürlük değerine (m) karşılık gelmekteyken, hava fotoğrafları için S (hava fotoğrafı ölçeğinin paydası) ve R (fotoğrafik sistem çözünürlüğü) parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda incelendiğinde, heyelan yerlerinin belirlenmesinde hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü gibi bir uzaktan algılama ürünü kullanılıyor ise, GRC değerinin analizlerden önce hesaplanması veya belirlenmesi, olası heyelan yerlerinin bu değerden daha küçük olamayacağı biliniyor olması gerekmektedir.

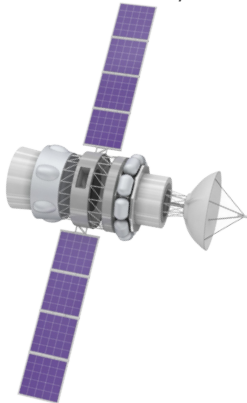
Örneğin, Landsat TM veya ETM+ görüntüleri kullanılıyor ise, uydu görüntüsünün çözünürlük değeri ile GRC değerinin eşit olacağı ve 900 m²'den daha küçük boyutlu heyelanların bu ürünlerle algılanamayacağı unutulmamalıdır. Heyelan yerlerinin belirlenmesine ve yorumlanmasına yönelik bazı orta çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin ve hava fotoğraflarının kullanılabilirliği **Çizelge 3.1**'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Bazı uzaktan algılama ürünleri için heyelan yeri belirlemede ve yorumlamalarda gereken en düşük boyutsal özellikler (Soeters ve Van Westen, 1996)

UA Ürünü	GRC	Alansal Boyut (m ²)	
		Yüksek Kontrast	Düşük Kontrast
		Belirleme/Yorumlama	Belirleme/Yorumlama
Landsat MSS	80	160000/288000	7040000/11520000
Landsat TM	30	22500/40500	990000/16220000
Spot MS	20	10000/18000	440000/720000
Spot P	10	2500/4500	110000/180000
Hava Fotoğrafı			
(1/50.000)	1	25/45	1100/1800
Hava Fotoğrafı			
(1/15000)	0.3	6.5/11.5	300/450

Çizelge 3.1'den de görüleceği üzere, yaklaşık 20 yıl öncesinde de kullanılan hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri, heyelan yerlerinin belirlenmesinde son derece önemli üstünlüklere sahip olup, önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Geçen süre zarfında, uydu teknolojilerindeki gelişmelere de koşut olarak, özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin ve stereoskopik görüntü elde edilebilen verilerin de yaygınlaşmasıyla, bu tür ürünlerin heyelan değerlendirmelerindeki kullanımında önemli bir artış söz konusu olmuştur. Günümüz teknolojisi ile heyelan yerlerinin belirlenmesinde kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri de, **Çizelge 3.2**'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 incelendiğinde, günümüz teknolojisi kullanılarak heyelan yerlerinin belirlenmesinde, GRC değerleri de dikkate alındığında metre altı hassasiyetinde belirlenebileceği ortaya çıkmaktadır (World View-1-0.5 m.; Geo Eye-1/2-0.41 m.). Bununla birlikte, bu ürünlerin nispeten yüksek maliyetli ürünler olduğu da unutulmamalıdır. Fakat uygulamalardaki getirdikleri önemli ekonomik ve zaman kazanımları dikkate alındığında, fayda/maliyet açısından önemli getiriler sağladıkları da unutulmamalıdır. **Şekil 3.10**'da İtalya'nın Montaguto bölgesinde meydana gelmiş akma türündeki bir heyelan, Geo Eye uydu görüntüsündeki görünümü sunulmuştur.



Çizelge 3.2. Heyelan yerlerinin belirlenmesinde kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri. (Guzzetti vd., 2012)

Uydu	Bant		Radyometrik Çözünürlük (bit)	GRC (m.)	Stereoskopik Görüntü
	Adı	Sayısı			
Landsat-7	P	1	8	15	
	B, G, R	3		30	
	NIR, SWIR, MWIR	3		30	
	TIR	1		60	
Terra (ASTER)	GY, OR	2	8	15	✓
	NIR, SWIR	6		30	
	TIR	5	12	90	
SPOT-5	P	1			✓
	GY, OR	2			
	NIR	1			
IRS	SWIR	1			
	P	1	10	5.8	
	GY, OR	2			
	NIR	1		23	
ALOS (PRISM)	SWIR	1		70	
	P	1	8	2.5	✓
	GY, OR	2	10	5.8	
RESOURCE-SAT-1 (IRS-P6)	NIR, SWIR	1	7	56	
CARTOSAT-1	P	1	10	2.5	✓
FORMOSAT-2	P	1	8	2	
	B, G, R	3		8	
EROS A1	NIR	1			
	P	1	11	1.8	✓
IKONOS-2	P	1	11	1	✓
	B, G, R	3			
	NIR	1		4	
Quickbird-2	P	1	11	0.6	✓
	B, G, R	3		2.4	
	NIR	1			
World View1	Pan	1	11	0.5	✓
	P	1	11	0.41 (0.5)	✓
Geo Eye-1/2	B, G, R	3		1.64 (2.0)	
	NIR	1			

Bu kesime kadar değinilen uydu görüntüleri pasif uydu görüntüleri olup, algılama yetenekleri 400nm ile 1040µm arasında değişmektedir. Heyelan çalışmalarında kullanılan diğer bir tür uydu görüntüsü de, aktif (radar) uydu görüntüleri olup, bunların algılama aralığı da 1.67 cm. ile 130 cm. arasında değişmektedir. Pasif uydu görüntüleri daha çok heyelan yerlerinin görsel yorumlama ve analizi ile belirlenmesinde kullanılırken, aktif uydu görüntüleri çoğunlukla yer hareketinin belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla, büyük ölçüde yavaş ilerleyen heyelanlar için kullanılmaktadır.

Heyelan yerlerinin belirlenmesinde son derece önemli kazanımlar sağlayan uydu görüntülerinin kullanılmasında temel CBS ve uzaktan algılama bilgilerinin kullanıcılarca bulunması gereklidir. Zira, yanlış yorumlamaya ve yanlış veri aktarımlarına yol açılması kaçınılmaz olacaktır.

Şekil 3.10. Montaguto (İtalya) bölgesindeki akma türündeki bir heyelanın GeoEye uydu görüntüsü. (Guzzetti vd., 2012)



3.6. Diğer Yöntemler ve Yöntemlerin Karşılaştırılması

Bu bölüme kadar değinilen yöntemlerin birbirlerine göre üstünlük ve sınırlamaları vardır. Bazı araştırmacılar geleneksel yöntemlerin kullanımını ön plana almaktayken, bazı araştırmacılar da özellikle yüksek ve orta çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin kullanımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmektedirler. Gu-zetti vd. (2000), heyelan envanter haritalarının oluşturularak, değinilen yöntemlerden en az iki veya üçünün kullanılmasının, proje ve uygulama başarılarını arttıracığını belirtmekteyken, Lee ve Lee (2006) sadece saha çalışmalarının, bu tür uygulamalarda yeterli olacağını savunmaktadırlar. Geleneksel yöntemler içinde değerlendirilen topoğrafik harita analizleri (düzensiz ve karşıt topoğrafik konturların varlığı), hava fotoğrafı yorumlamaları ve saha çalışmalarının bir arada kullanıldığı yöntem, heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında dünyaca kabul görmüş yöntem olarak değerlendirilmektedir (Booth vd., 2009). Bununla birlikte, LIDAR gibi yüksek maliyetli fakat güncel topoğrafik özelliklerin çok kısa bir sürede elde edilebileceği bir yöntemin de, son derece önemli kazanımlar getireceği açıktır. Aynı değerlendirme, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri için de yapılabilir. Ancak, bazı araştırmacılar geleneksel yöntemlerle oluşturulan heyelan envanter haritalarının çoğunlukla öznel olduğunu ve

çalışılan alanı temsil edici olmadığını belirtmektedirler (Weirich ve Blesius, 2007). Topoğrafik haritaların kullanımının, küçük boyutlu heyelanların belirlenmesinde çoğunlukla yetersiz kalacağı savunulmaktayken, hava fotoğrafı yorumlamalarının da son derece zaman alıcı olduğu vurgulanmaktadır (Malamud vd., 2004a ve b).

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, sonuç olarak her yöntemin üstünlük ve sınırlamaları olduğu, ancak, tek bir yöntemle bağlı kalmadan en az iki yöntemin heyelan haritalamalarında kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olduğu söylenebilir. Uygulanacak yöntem ne olursa olsun, saha çalışmaları/jeomorfolojik analizlerin bu kılavuz kapsamında yapılan ve yapılacak çalışmalar için son derece önemli olduğu ve bu yöntemin hem doğrulama, hem de haritalama amaçları için kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Özellikle uzaktan algılama ürünlerinin (hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin) kullanımında, belirli bir bilgi birikimi ve tecrübe gerektirmesi, uygulamalarda sorun yaratma potansiyeline sahip olup, bunlardan elde edilecek bilgilerin, saha çalışmalarıyla desteklenmesi, mümkünse topoğrafik haritalar veya SYM üzerinde de analizlerin yapılması, en akılcı çözüm olarak görülmektedir.

3.7. Heyelan Envanterlerinin Oluşturulması ve Standardizasyonu

Heyelan çalışmalarının temelini oluşturan heyelan envanterlerinin oluşturulması çalışmaları ilk olarak WP/WLI (1991) tarafından oluşturulan ve yayımlanan çalışmalara dayanmaktadır. Daha sonraki yıllarda, heyelan özelliklerinin kaydedilmesine yönelik oluşturulması gereken heyelan envanterleri üzerinde çalışmalar (Soeters ve Van Westen, 1996; Cruden ve Varnes 1996; Fell vd., 2008a ve b; Van Westen vd., 2008) yapılmış olsa da, tüm dünyada kabul gören standart bir heyelan envanter formundan söz edilememektedir. Bununla birlikte, dünyada ve Türkiye’de yapılan çalışmalarda, yukarıda sözü edilen çalışmalarda önerilen ve çoğu kez araştırmacıların, çalışmalarını yaptıkları alansal koşulları dikkate alarak kendi amaçlarına göre güncelledikleri formlar ve bilgiler kullanılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan envanterlerinin oluşturulma amacı, heyelan yerleri ile heyelana neden olan faktörlerin belirlenmesi ve heyelan özelliklerinin ortaya koyulmasına yöneliktir. Heyelan oluşumuna neden olan faktörler genel olarak 4 ana grupta incelenmekte olup, bunlar **Çizelge 3.3**’te sunulmuştur.

Heyelan Envanterlerinin Temel Amacı

Heyelan Yerleri ile Heyelana neden olan faktörlerin belirlenmesi ile özelliklerinin ortaya konulmasıdır.

Çizelge 3.3. Heyelan oluşumuna neden olan faktörler (Cruden ve Varnes, 1996).

Ana Faktörler	Alt Faktörler
1) Jeolojik Nedenler	a) Zayıf jeolojik malzeme b) Duyarlı jeolojik malzeme c) Bozunmuş zeminler d) Makaslama zonlarına maruz kalmış malzemeler e) Eklemlili ve fisürlü jeolojik malzeme f) Tabakalanma, faylanma gibi süreksizlikler g) Malzeme özellikleri (geçirimlilik, düşük dayanım vb.)
2) Morfolojik Nedenler	a) Volkanik tektonik yükselme b) Flüvyal veya glasiyel erozyon c) Akarsu aşındırması d) Bitki örtüsünün yok olması e) Yağış alma/almama, buharlaşma
3) Fiziksel Nedenler	a) Şiddetli ani yağış b) Ani kar erimesi c) Uzun süreli yağış d) Taşkınlar e) Depremler f) Volkanik aktivite g) Donma-çözünme h) Şişme
4) İnsan Etkisi	a) Kazı b) Yükleme c) Ormanlık alanların tahrip edilmesi d) Sulama e) Madencilik faaliyetleri f) Patlatma g) Su çekme/su alma

Doğal olarak bir standarttan bahsedilememesinin ana nedeni, yukarıda değinilen tüm parametrelerin, her heyelan oluşumunda etkin olmamasıdır. Burada değinilen ana faktörler ve alt grupları olup, bu nedenlerin farklı şekillerde heyelana yol açma potansiyeli göz önünde bulundurulmalıdır. Bunların dışında, heyelan değerlendirilmesine altlık oluşturacak heyelan envanterlerinin ve içeriklerinin oluşturulmasında, çalışmanın amacı, veriye ulaşım, finansal koşullar ve zaman gibi kaliteyi etkileyecek birçok parametrenin de bulunduğu unutulmamalıdır.

Ülkemizde meydana gelen heyelanlar ve bunlara ilişkin veri tabanları incelendiğinde, Türkiye’de çoğunlukla kaya düşmesi, kayma ve akma türü heyelanların ve bunların bir arada geldiği türde heyelanların meydana geldiği bilinmektedir. Yukarıda değinilen ve uluslararası literatürde kullanılan envanter formları ile ülke koşulları dikkate alındığında **Şekil 3.11**’de verilen bir heyelan formunun ülkemiz için kullanılabilir ve uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.11. Kılavuz kapsamında önerilen heyelan kayıt formu.

HEYELAN KAYIT FORMU

Kayıt Tarihi:			
Envanter No:			
Heyelan Yeri:			
Pafta No:			
Litolojik Tanımlama:			
Kayıt Alan:		Fotoğraf No:	

Heyelan Tarihi:			Bitki Örtüsü:		
			.Çok Yoğun .Yoğun .Orta .Seyrek .Yok		
Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	Su Durumu:		
			Kuru .Nemli .Damlama .Akış .Yok		
Yamaç Eğimi (°):			Tetikleyici Etken: Var .Yok		
Bakı (°):			Deprem .Yağış .İnsan		
Yamaç Şekli:			Tetikleyici Etken Bilgisi:		
İçbükey .Dışbükey .Düz			.Kayıtlardan .Kişilerden		
Süreksizlik Denetimi	Evet	Hayır	Heyelan Zarar Bilgisi:		
Süreksizlik Konumu			.Var (Zarar formunu doldurunuz) .Yok		

Heyelan Aktivitesi (Hareket): Aktif .Duraklamış .Yeniden aktive olmuş
.Aktif olmayan (Eski .Çok eski .Duragan .Kalıntı)

Heyelan Aktivitesi (Tür): Karmaşık .Bileşik .İlerleyen .Tekil .Çoklu

Heyelan Türü:


Hareket Türü	Malzeme Türü		
	Kaya (1)	Toprak	
		İri Taneli (2)	İnce Taneli (3)
1. Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
2. Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
3. Kayma	a. Dönel b. Otelenmeli	Kaya Kayması	Moloz Kayması Toprak Kayması
4. Yayılma	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
5. Akma	Kaya Akması Derin Krip	Moloz Akması	Toprak Akması Krip
6. Karmaşık	En az iki veya daha fazla heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar.		

Heyelan Sınıfı:

Açıklamalar:

Şekil 3.11’de verilen heyelan envanter formu, güncellenebilir ve amaca yönelik olarak değiştirilebilecek şekilde ülkemiz koşulları gözlemlenerek, Varnes (1978), WP/WLI (1990; WP/WLI (1994) önerileri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Ayrıca, ileride değinilecek olan tehlike ve risk kavramlarına yönelik bilgilerin toplanmasına da yardımcı olacak niteliktedir. Bu form hazırlanırken dikkate alınan bir başka husus da, güvenilir bir heyelan envanterinin, içerdiği tüm heyelanlara ilişkin tür, aktivite, boyut, yer gibi özelliklerinin belirlenmesinin, yapılacak her türlü çalışmada ana unsur olduğu ve çalışmalara temel teşkil etmesidir. Ayrıca, TABB (Türkiye Afet Bilgi Bankası) projesi kapsamında yapılan ve bu proje kapsamında heyelan konusuna yönelik tüm proje ekibinin katkılarıyla güncellenen Heyelan Zarar Formu da Şekil 3.12’de sunulmaktadır. Heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerine ve meydana gelen hasar ve kayıpların daha sağlıklı değerlendirilmesini sağlayacak bu bilgiler de son derece önemlidir. Bu bilgilere ulaşıldığı takdirde veya mevcut bilgiler varsa, ilgili form doldurularak, heyelan veri tabanında saklanmalıdır.

Şekil 3.12. Heyelan Zarar Formu örneği.



HEYELAN ZARAR FORMU

A. Yaşamsal Etki Değerlendirmesi Ölü Sayısı: Yaralı Sayısı: Evsiz Kalanların Sayısı: Kayıp İnsan Sayısı: Tahliye Edilenlerin Sayısı: Telef Olan Büyükbaş Hayvan Sayısı: Küçükbaş Hayvan Sayısı:	B. Bina/Yapı Etki Değerlendirmesi Hasarlı/Yıkılan Bina Sayısı: Hasarlı/Yıkılan Okul Sayısı: Hasarlı/Yıkılan Hastane Sayısı: Hasarlı/Yıkılan Diğer Yapıların Sayısı:
C. Çevresel Etki Değerlendirmesi Tarımsal Alan (ha) : Ormanlık Alan (ha): Akarsu:	D. Altyapı Etki Değerlendirmesi Yol: Köprü: İletişim Hattı: İçme Suyu: Kanalizasyon:

E. Sektörel Değerlendirme

<input type="checkbox"/> Su Kaynakları	<input type="checkbox"/> Eğitim
<input type="checkbox"/> Sağlık Sektörü	<input type="checkbox"/> Ulaşım
<input type="checkbox"/> Sanayi	<input type="checkbox"/> Tarım
<input type="checkbox"/> Haberleşme	<input type="checkbox"/> Diğer
<input type="checkbox"/> Enerji	

Tahmini Toplam Maliyet (TL) :

Hesaplanan Maliyet (TL) :

Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

4

HEYELAN ANALİZ AŞAMALARI

Heyelanların oluşumu ve hangi süreç(ler) altında geliştiğini belirleyebilmek için, temelde son derece ayrıntılı analizlerin yapılması gereklidir. Bu analizler çoğunlukla çalışmanın amacına, çalışılacak ölçeğe, finansal koşullara ve zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Dikkate alınması gereken, heyelanların potansiyel olarak nerelerde oluşabileceği hakkında bilgi sahibi olunması gerekliliğidir. Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelanların gelişebileceği alanlar, jeolojik, jeomorfolojik ve çevresel koşullar da dikkate alındığında şu şekilde özetlenebilir (Fell vd., 2008a):

a) Bir bölgede heyelan kaydı var ise:

- Doğal yamaçlarda derin kaymaların yinelenmesi olasıdır.
- Doğal yamaçlarda sığ kaymaların yinelenmesi olasıdır.
- Dik yamaçlarda kaya düşmelerinin gerçekleşmesi olasıdır.
- Kentsel gelişime bağlı olarak karayolu ve demiryolları üzerindeki kazılar ve istinat duvarlarının olduğu bölgelerde heyelan gelişmesi olasıdır.
- Aktif olmayan, ancak topuk aşındırması sonucunda (akarsu veya erozyon süreçleri ile) yeniden aktivite kazanabilecek alanlarda gelişmesi olasıdır.
- Yamaçlarda daha önceden meydana gelmiş olan moloz akması veya toprak kayması şeklinde gelişmesi olasıdır.

b) Bir bölgede heyelan kaydı yok, heyelan varlığı açısından ancak topoğrafik özellikler uygunluk gösteriyor ise; aşağıdaki özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Dik yamaçlar
- 35°'den daha yüksek eğime sahip yamaçlar (ani heyelan)
- 20°-35° arasındaki eğime sahip yamaçlar (olası heyelan)
- Dik ve yüksek yamaç kazıları (karayolu, demiryolu, maden kazıları)
- Orman yangınlarının olduğu veya bitki örtüsünün tahrip edildiği dik yamaçlar
- Yeraltı su seviyesinin artış gösterdiği eski veya aktif olmayan heyelanlı alanlar

c) Bir bölgede heyelan kaydı yok, ancak jeolojik ve jeomorfolojik özellikler uygunluk gösteriyor ise; heyelan oluşumu açısından aşağıdaki özelliklerin bulunduğu yerlere dikkat edilmesi önerilmektedir.

- Bozunmaya uğramış bazaltların, daha sağlam kayalar üzerinde bulunması (kayma sınırı boyunca gerçekleşebilir)
- Bozunmuş granit veya volkanik kayalar
- Bozunmaya uğramış tabakalı kayalar (kıltaşı, şeyl ve silttaşı) ve kumtaşı veya kireçtaşı
- Marn veya şeyl üzerinde bulunan sağlam kayalar (örneğin kalın tabakalı kireçtaşı)
- Aktif erozyona uğrayan veya taşkınların geliştiği alanlardaki nehir kenarları
- Büyük depremler veya aşırı yağışlardan etkilenebilecek dik yamaçlar
- Yüksek duyarlılığa sahip killi veya kalın silt çökeltileri
- Nehir veya deniz tarafından sürekli aşındırılan/oyulan yamaçlar
- Sismik aktif bölgelerdeki, sıvılaşmaya eğilimli açıdan gevşek doygun topraklar.

d) Duraylılıkları sonucunda hızlı hareket edebilecek malzemelerin bulunduğu bölgeler var ise; aşağıdaki özelliklerin olduğu bölgeler heyelan oluşumu açısından yüksek potansiyele sahip olabilir.

- Gevşek silt/kum dolgular
- Yüksek eğimli dolgular
- Büyük istinat duvarları
- Maden atıklarının ve atık barajlarının olduğu yerler.

e) Ormancılık ve tarımsal faaliyetlerin gerçekleştiği alanlar

Yukarıda değinilen parametreler, heyelanların gelişmesi olası alanlara işaret etmekte olup, tek başına belirleyici birer unsur olarak algılanmamalıdır. Bu tip alanlarda heyelan oluşumu açısından bir potansiyel olduğu, ancak ayrıntılı heyelan analizleri ile bu tür alanların değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu tür çalışmalarda yapılan analizler ölçek etkisi de değerlendirilerek izleyen bölümlerde sunulmuştur.

4.1. Kullanılan Ölçekler ve Etkileri

Heyelan çalışmalarında kullanılan ölçek türleri birbirinden farklılık gösterse de, çoğunlukla çalışmanın türüne ve amacına göre değişiklik göstermektedir. Konuyla ilgili herhangi bir standart bulunmayıp, çalışmanın amaç ve türüne göre uygun ölçek seçilmektedir. Literatürde kabul gören ölçek sınıflandırmalarında, üç eğilim mevcuttur. Bunlardan ilki IAEG (1976) tarafından önerilen ölçek değerleridir (**Çizelge 4.1**)

Çizelge 4.1. IAEG (1976) tarafından önerilen ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler.

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

Cascini (2008) ise, Fell vd. (2008a) tarafından önerilen çalışma ölçeklerini dikkate alarak, daha da ayrıntılı bir ölçek analizi sunmuştur (**Çizelge 4.2**):

Çizelge 4.2. Cascini (2008) tarafından ayrıntılandırılan ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler.

Adı	Ölçek	Alan (km ²)	Amaç
Küçük	<1/100.000	>10.000	Karar vericiler ve halkı bilgilendirmek.
Orta	1/100.000-1/25.000	1.000-10.000	Bölgesel gelişim ve planlama amaçları ile heyelan envanter, duyarlılık ve tehlike analizleri, önemli mühendislik yapıları için önlem alınması.
Büyük	1/25.000-1/5.000	10-100	Heyelan envanter, duyarlılık ve tehlike çalışmaları, önemli mühendislik yapıları önlem çalışmaları ve karayolu-demiryolu gibi altyapı elemanları önlem çalışmaları.
Ayrıntılı	>1/5.000	<10	Lokal çalışmalar, ileri düzey tehlike ve risk analizi, önemli mühendislik yapıları önlem çalışmaları ve karayolu-demiryolu gibi altyapı elemanları önlem çalışmaları.

Bir diğer sınıflama ise Guzzetti vd. (2012) tarafından önerilmektedir (**Çizelge 4.3**).

Çizelge 4.3. Cascini (2008) tarafından ayrıntılandırılan ve heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler.

Adı	Ölçek Değeri
Küçük Ölçek	< 1/200.000
Orta Ölçek	1/25.000 – 1/200.000
Büyük Ölçek	>1/25.000

Bu kılavuz kapsamında, **Çizelge 4.2**'de belirtilen ölçek sınıflamalarında, çoğunlukla orta ve büyük ölçek değerleri dikkate alınarak yapılacak çalışmalar üzerinde durulmuştur.

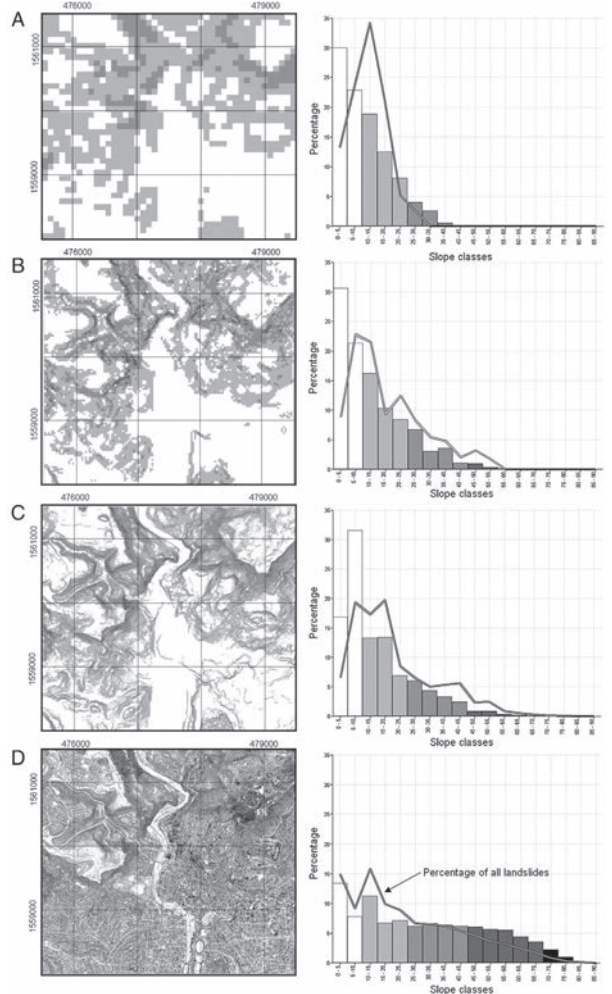
Küçük ölçekli (ulusal ölçeği de kapsayacak şekilde) yapılan çalışmalar, çoğunlukla ülke bazında gerçekleştirilen ve bölgesel olarak hangi alanlarda önlem alınması, tedbirli olunması gerektiği gibi konularda karar vericilere ve yerel yönetimlere bir ön fikir sunmak için hazırlanan, afet potansiyelinin gösterildiği ve fazla ayrıntının içerilmediği heyelan haritalarını hesaplamaktadır. Bu tür haritalar genelde ülke bazında heyelan bilgisi ve veri tabanı olan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Foster vd., 2012)

Orta ölçekteki heyelan haritaları ise çoğunlukla bölgesel gelişim planları veya önemli mühendislik yapılarına yönelik önlemlerin alınması için üretilen haritalardır. Ayrıntı oranı, ulusal ölçeğe göre çok daha fazla olup, yaklaşık olarak birkaç yüz km²'lik alandan, birkaç bin km²'ye değişen alanları kapsamaktadır. Bu tip haritalarda, kütle hareketlerinin etkilediği ve/veya etkileyebileceği alanlar ve kentsel dönüşüm/gelişim planlarına atlık teşkil edebilecek bilgilere yer verilmektedir. Günümüz uygulamalarında, her ne kadar bir standart olmasa da, araştırmacılar çoğunlukla 1/25.000 – 1/ 50.000 arasındaki ölçeklerde heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları yapmaktadır (Fell vd., 2008a).

Büyük ölçekteki çalışmalar ise, ayrıntıların son derece fazla olduğu ve özellikle tasarım ve jeoteknik çalışmalara atlık oluşturmak üzere hazırlanmaktadır. Bu tür haritalarda çoğunlukla, güvenlik katsayısı hesaplarına dayanan deterministik yöntemler, önemli mühendislik yapıları (baraj, nükleer santral vb.) gibi araştırmalarda kullanılmak üzere, temelinde yer seçimine yönelik hazırlanmış bilgiler içerilmektedir. Ölçek konusuyla ilgili yapılacak en önemli değerlendirme, çalışmanın yapılacağı alanın ölçeğinin seçiminin, genelde haritalama yöntemine göre değişiklik göstereceği yönünde olsa da, haritalama tekniğinin ne olacağı konusu da tartışmaya açıktır. Bununla birlikte, yöntemin seçimi, haritalamanın ne amaçla yapıldığı, veri erişimi, ekonomik koşullar, zaman ve deneyim gibi faktörlere de bağlıdır (Soeters ve Van Westen, 1996). Ölçek etkisinin bir alanda ne gibi değişikliklere yol açtığına yönelik piksel tabanlı çalışma örneği **Şekil 4.1**'de sunulmuştur. Van Westen vd. (2008) tarafından yapılan bu çalışmada, aynı bölgenin, farklı ölçeklerde oluşturul-

muş yamaç eğim haritaları ve bunların değişimi görülmektedir. Söz konusu haritalar, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (A), 1/50.000 ölçekli topoğrafik harita (B), 1/2.000 ölçekli topoğrafik harita (C) ve LIDAR (D) verilerinden üretilmiştir. Çalışma alanındaki yamaç eğim sınıfları, her bir farklı ölçek değeri için sabit olduğu halde, bunların değişimleri histogramlarda net bir şekilde gözlenmektedir. Bu nedenle, ölçek seçiminde son derece dikkatli olunmalıdır. Genel bir kabul olmasa da, özellikle bu kılavuzun hazırlanma amaçları da dikkate alındığında, 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarla uyumlu olması açısından çalışma ölçeğinin 1/25.000 olması tavsiye edilmektedir.

Şekil 4.1. Aynı alana ilişkin üretilen yamaç eğim haritasında, farklı ölçeklerin etkileri. Van Westen vd. (2008).



4.2. Jeolojik Çalışmalar

Uzun süre duraylı kalabilen doğal yamaçlar değişik faktörlere/nedenlere bağlı olarak duraysız hale gelebilir ve üzerlerinde heyelan oluşabilir. Dış kuvvetlerin etkisi (akarsuyun, dalgaların yamaç topuğunu aşındırması, sismik-volkanik faaliyetler); yamacı oluşturan malzemenin bileşimi, yapısı; başta eklemeler olmak üzere yamacı oluşturan kaya kütlelerindeki süreksizlikler; plastik ve zayıf bir seviyenin üzerinde yer alan tabakalar; yamaçtaki gerilme koşullarının zamanla değişmesi; fiziksel bozunma - kimyasal ayrışmanın etkisi gibi nedenler, yamaç duraylılığını etkileyecektir.

Görüldüğü gibi heyelanların oluşmasında jeolojik malzemelerin özellikleri ve süreksizlikler büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle jeolojik çalışmalarda öncelikle, bölgenin detaylı ve büyük ölçekte jeolojik haritasının hazırlanması gerekmektedir. Bu haritalar üzerinde, dayanımları kolayca azalabilen malzemeler (organik malzemeler, killer, şeyller, bozunmuş kayalar, ince taneli piroklastikler), faylar, süreksizlikler haritalanmalıdır. Süreksizliklerin düzenli/düzensiz

olup olmadıkları, yönelimleri (doğrultu/eğim miktarı, eğim yönü veya eğim miktarı/eğim yönü), süreksizliği oluşturan eklemeler ise bunlarla ilgili detaylı çalışma (kaç tane eklem seti var olduğu?) eklemelerin makaslama dayanımı, görünümleri, boyutlarının (uzunluk ve açıklık), eklem aralık ve yoğunluğunun (sıklık/şiddet) tanımlanması, eklem ve litoloji arasındaki ilişkinin tanımlanması, eklem yönelimi, yoğunluğu, aralık ve açıklık gibi özellikler tanımlanmalıdır.

Jeolojik çalışmalar kapsamında, heyelan duyarlılık değerlendirmeleri açısından en önemli unsur litolojik değişimlerin, heyelanlar ile ilişkilendirilmesidir. Bu nedenle, çalışılacak alanlarda ayrıntılı bir jeolojik haritalama yapılması önerilmektedir. Bu çalışmalara temel oluşturacak şekilde, MTA tarafından üretilen ve heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılabilecek 1/25.000 ölçekli sayısal veya raster formatında veriler dikkate alınabilir. Ancak, bu haritaların, saha çalışmaları ile desteklenmesi ve gerekiyor- sa ayrıntılandırılması gerekmektedir.



Trabzon-Yalıncağ-Bulak Çeşayran İl Yolu km 27+500 heyelan

4.3. Jeomorfolojik Çalışmalar

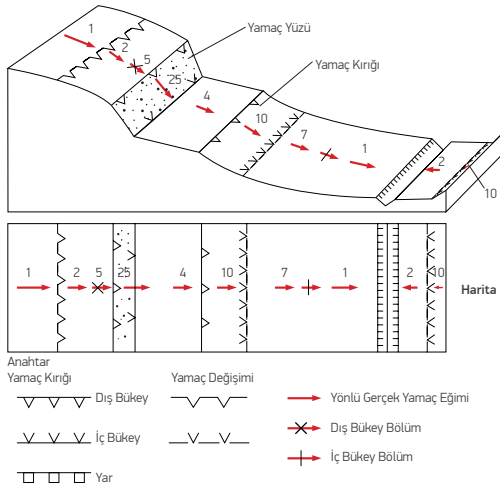
Saha çalışmaları tamamen yüzey şekline/morfolojiye odaklandığı için, heyelan yerinin tespiti ve heyelan analizi için yapılacak olan jeomorfolojik çalışmalar da kütle hareketlerinin üzerinde geliştiği/gelişmesinin beklendiği yamaçlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle öncelikle yamaçların konumunu, özelliklerini ortaya koyan yamaç haritaları hazırlanmalıdır. Bu haritalar mevcut topoğrafik haritalar kullanılarak yamaç unsurlarını yansıtacak semboller kullanılarak hazırlanmaktadır (**Şekil 4.2**). Ayrıca, jeomorfolojik kriterler/veriler kullanılarak tespit edilen heyelanlar uygun semboller (**Şekil 4.3**) kullanılarak harita üzerine işlenmekte ve jeomorfolojik harita üretimleri tamamlanmaktadır.

Sözü edilen geleneksel jeomorfolojik haritalama tekniği yanında günümüzde Sayısal Arazi Modelleri kullanılarak, bölgedeki jeomorfolojik birimler haritalanmakta ve bunlar heyelan analizlerde kullanılmaktadır (**Şekil 4.4**).



Rize, 2007

Şekil 4.2. Yamaç haritasının hazırlanmasında kullanılan morfolojik birimler (Bradshaw vd., 1979).

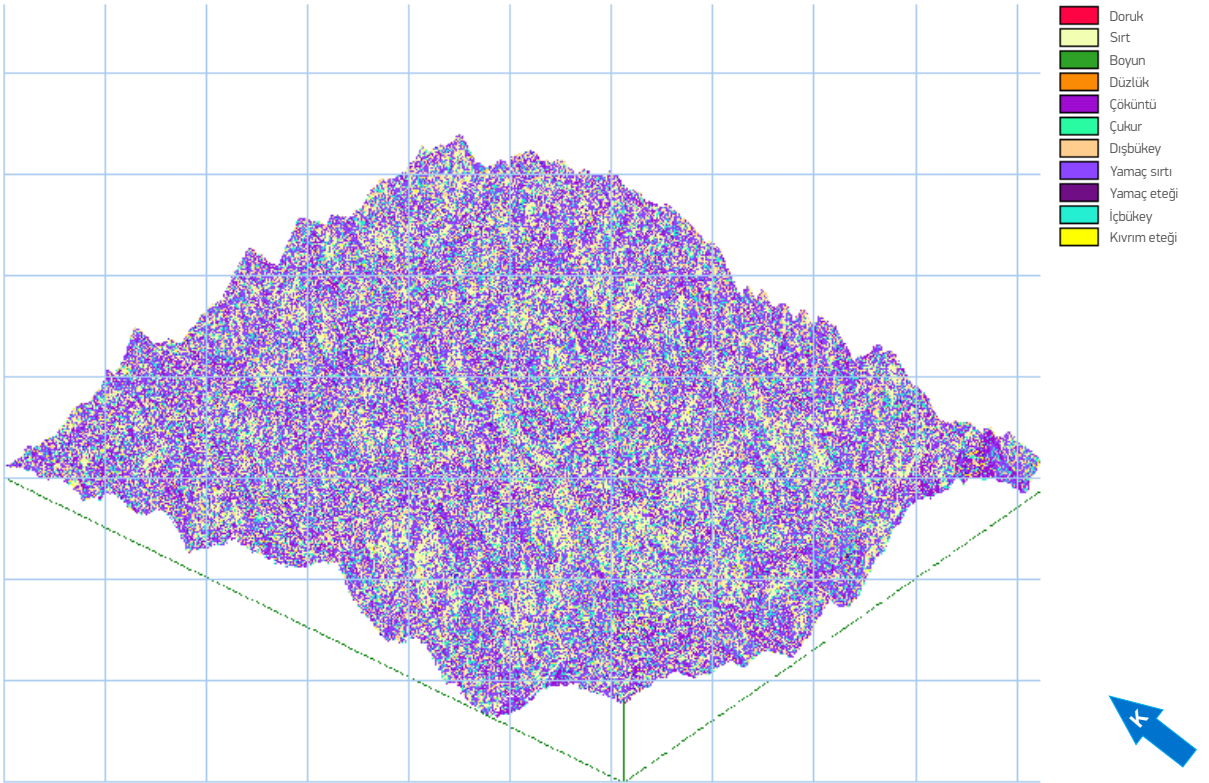


Kütle Hareketleri



Jeomorfolojik analizlerin temelini oluşturan topoğrafik haritalar ve bu haritaların sunduğu özellikler, heyelan değerlendirmelerinde mutlaka dikkate alınmalıdır. Bu tür analizler için temel oluşturacak veri grubu, HGK (Harita Genel Komutanlığı) tarafından sağlanan ve kullanıcılara sunulan 1/25.000 ölçekli sayısal ve raster formatındaki topoğrafik verilerdir.

Şekil 4.4. Yenice (Karabük) bölgesinin jeomorfolojik özellikleri.



4.4. Uzaktan Algılama Çalışmaları

Heyelan haritalamaları ve analizlerinde son derece önemli bir yer tutan uzaktan algılama çalışmaları kapsamında bu bölümde, hava fotoğrafı yorumlamaları ve uydu görüntü analizleri üzerinde durulmuştur. Uzaktan algılama ürünleri heyelan değerlendirmelerinde, stereo görüntü/veri sağlanabiliyorsa, son derece önemli kazanımlar getirmektedir. **Özellikle heyelanlı alanların stereoskopik görüntüler kullanılarak analiz edilmesi, hareket ve heyelan türünün belirlenmesinde önemli bilgiler sunmaktadır.** Ayrıca, heyelan bilgisinin dışında, heyelanın bulunduğu alandaki jeolojik, jeomorfolojik ve çevresel özellikler hakkında da veri toplanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, hava fotoğraflarının yorumlanabilir hale getirilmesi ve bu yolla bilgilerin edinilmesi, zaman alıcı bir işlemdir. Bazı alanlarda iklimsel koşullar nedeniyle sınırlamaların olması ve zamansal çözünürlükle ilgili sorunların bulunabilmesi (örneğin, her zaman aralığında ve koşulunda, hava fotoğraflarının çekilememesi gibi), uydu görüntülerinin kullanımı ile karşılaştırıldığında, günümüzde hava fotoğraflarının kullanımında azaltıcı yönde etki yaptığı düşünülebilir. Ayrıca, hava fotoğraflarının teknolojik gelişiminde de son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmemiş; bunun aksine uydu teknolojilerinde çığır açan ilerlemeler meydana gelmiştir. Örneğin, bazı uydu görüntüleri kullanılarak sayısal arazi modeli elde edilmesi, metre altı çözünürlükteki uydu görüntülerinin yaygın hale gelmesi gibi etkenler, uydu görüntüsü analiz ve kullanımını arttırmıştır. Bu duruma karşın, hava fotoğraflarının heyelan değerlendirilmesindeki kullanımı, günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir (Metternicht vd., 2005; Van Westen vd., 2008).

Uzaktan algılama ürünlerinden elde edilebilecek heyelan bilgisi, heyelanlı bölge ve civarının yamaç morfolojisi, bitki örtüsü özellikleri ve drenaj koşulları ile ilişkilendirilmektedir (Soeters ve Van Westen, 1996). Morfolojik özellikler çoğunlukla stereoskopik değerlendirmeler ile yapılmakta, bitki örtüsü ve drenaj özellikleri ise ton, kontrast ve doku farklılıkları ile ani kesiklikleri ile tanımlanabilmektedir.

Heyelan çalışmalarında uzaktan algılama ürünlerinin yorumlanmasının doğru bir şekilde yapılabilmesi önemli oranda tecrübe gerektirmektedir. Bu tür çalışmalarda kontrast farklılaşmaları, heyelanlı

alanı çevreden ayıran en önemli özelliktir. Bununla birlikte, heyelanın meydana gelme zamanı ile hava fotoğrafı veya uydu görüntüsünün alınma zamanı da son derece önemli bir konudur. Heyelan oluşumundan hemen sonra alınacak bir görüntüde özellikler daha belirginken, zamanla bu tanımlamaların kalitesinde düşüşlerin yaşanacağı açıktır.

Heyelanlara ilişkin morfolojik bilgiler, en iyi stereoskopik görüntüler veya hava fotoğraflarından elde edilmektedir. Görüntülerdeki ton ve doku değişimleri ile şekilsel farklılıklar, heyelan varlığı ile ilişkilendirilebilir. Geniş alanlardaki heyelan çalışmalarında daha çok küçük ölçeklerde, küçük alanlarda ise büyük ölçekli görüntüler kullanılmaktadır. Bu durum, uydu görüntüleri için de geçerli olup, ölçek yerine çözünürlük değeri dikkate alınmalıdır (Aksoy ve Ercanoğlu, 2012).

Uzaktan algılamanın temel ilkeleri göz önünde bulundurulduğunda, aynı malzeme elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerde, farklı yansıma değerleri vermektedir. Örneğin, heyelanlı alanlardaki bitki örtüsü ve toprak verimliliği dikkate alınrsa, elektromanyetik spektrumun kızıl ötesi kesiminde belirgin yansıma verdiği bilinmektedir. Bu nedenle, uzaktan algılama ürünleri ile bir heyelan değerlendirmesi yapılacaksa, kızıl ötesi bant veya filmler, bu ayırt edici özelliklerden ötürü kullanılmalıdır.

Buradaki temel amaç, heyelanlara maruz kalmış bir alanda bitki örtüsü ve su koşullarının, heyelan meydana gelmeden önce çevresiyle hemen hemen aynı olacağı için heyelan oluşuktan sonra farklılık yaratacağı prensibine dayanmaktadır. Bununla birlikte, uzaktan algılama ürünlerinin kullanılmasında tek bir bant veya fotoğraf ile çalışılması yetersiz kalacaktır. Muhtemel diğer veri kaynakları ile birlikte yorumlandığında, bu ürünlerden daha sağlıklı sonuçlar alınacağı açıktır. Sonuç olarak, uzaktan algılama ürünlerinin kullanımının birbirlerine göre üstünlük ve sınırlamaları olsa da, günümüzde en yaygın olarak hava fotoğrafları kullanılmaktadır. Yüksek ve orta çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri de azımsanmayacak ölçüde kullanılmaktadır.



Trabzon Çal-Çığdemirli Köyü Heyelanı

4.5. Veri Toplama Süreci

Heyelan değerlendirilmelerinde kullanılacak verilere erişim ve bunların toplanması süreci, bu tür çalışmaların ilk aşamasında gerçekleştirilmekte olup, en önemli aşamalarından birini kapsamaktadır. Bu işlerin yapılmasındaki en önemli unsurlardan biri de heyelan yer ve özelliklerinin yansıtıldığı heyelan envanter haritaları ve veri tabanlarının oluşturulması sürecidir. Genel olarak değerlendirildiğinde bu süreç, bu tür projelerin hem zaman hem de ekonomik anlamda en fazla maliyetli olan kesimini kapsamaktadır (Leroi, 1996). Bu kapsamdaki temel amaç, yapılacak her türlü haritalama (envanter, duyarlılık, tehlike ve risk) için, heyelan oluşumu ile ilgili temel unsurların belirlenip, haritalama veya analizler için kullanılabilir hale getirilmesidir.

Heyelan değerlendirilmelerinde kullanılacak parametrelere ilişkin, literatürde standart olarak kullanılan bir veri grubundan söz edilememektedir. Araştırmacılar genel olarak, tecrübe, zaman, finansal koşullar ve eldeki veri gruplarını kullanarak, bu tür çalışmalarda veri hazırlama yoluna gitmektedirler. Bununla birlikte,

genel bir değerlendirme yapılacak olunursa, veri toplama sürecinde, ölçek etkisi ile birlikte değerlendirilen 5 farklı grup ortaya çıkmaktadır (**Çizelge 4.4**).

Çizelge 4.4'ün dışında kalan diğer parametreler, çalışılan alanın özelliklerine bağlı olduğu düşünülen ve ayrıntıya yönelik parametreler olup, zaman zaman önemli olabilirler. Kuşkusuz sözü edilen parametrelerin daha az kullanılıyor olması, önemsiz oldukları anlamına gelmemelidir. Burada esas olan, heyelan oluşumunda etkin olabilecek, haritalanabilen ve çalışılacak alanın özelliklerini ve heyelanları temsil edebilecek nitelikte veriye ulaşmak ve/veya üretmektir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde, konuyla ilgili veri toplama sürecinin son derece maliyetli, zaman alıcı ve önemli oranda saha, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Uzaktan algılama (UA) bilgisi gerektirdiği ortaya çıkmaktadır. Buradaki temel gerekçe, günümüzde artık çalışmaların ve toplanan verilerin bir CBS platformunda saklanıp analiz edilmesi ve kullanıcılara sunulması şeklindedir.



Çizelge 4.4. Heyelan değerlendirilmelerinde kullanılan veri grupları (Soeters ve Van Westen, 1996; Van Westen vd., 2008).

Parametre	Parametre Özellikleri	Değerlendirme Yöntemi	Ölçek Türü			
			Bölgesel	Orta	Büyük	
1	Güncel Heyelanlar	Tür, aktivite, derinlik, boyut vb.	HFY+ UGY+ saha gözlemleri	Kötü	İyi	İyi
	Eski Heyelanlar	Tür, aktivite, derinlik, boyut vb.	HFY+ UGY +saha gözlemleri + heyelan kayıtları	Kötü	İyi	İyi
	Sayısal Arazi Modeli	Yükseklik sınıfları	Topoğrafik haritadan CBS yardımıyla	Orta	İyi	İyi
	Yamaç Eğimi	Yamaç eğim sınıfları	Sayısal arazi modelinden CBS yardımıyla	Orta	İyi	İyi
2	Yamaç Eğim Yönü	Yamaç eğim yönü sınıfları	Sayısal arazi modelinden CBS yardımıyla	Orta	İyi	İyi
	Yamaç Boyutları	Boyutsal değişimler	Sayısal arazi modelinden CBS yardımıyla + saha ölçümleri	Orta	İyi	İyi
	Yamaç Şekli	İçbükey/Dışbükey/Düz	Sayısal arazi modelinden CBS yardımıyla +saha gözlemleri	Kötü	Kötü	İyi
	Litoloji	Litolojik birimler, dayanım, süreksizlik özellikleri vb.	Mevcut haritalar+ HFY+ saha gözlemleri + laboratuvar ve yerinde deneyler	Orta	İyi	İyi
3	Malzeme Özellikleri	Tür, derinlik, tane boyu dağılımı, birim hacim ağırlık, dayanım parametreleri vb.	Yamaç eğim haritası + saha gözlemleri + laboratuvar ve yerinde deneyler	Kötü	Orta	İyi
	Yapısal Jeoloji Haritası	Fay türü, boyutları, eğim ve yönelimi, kıvrım eksenleri vb.	UGY+HFY+ saha gözlemleri	İyi	İyi	İyi
	Sismik İvmeler	En yüksek sismik ivmeler	Sismik veriler + modelleme	İyi	İyi	İyi
4	Güncel Altyapı Durumu	Karayolu, tren yolu, şehirleşme durumu vb.	HFY+UGY+ saha gözlemleri	İyi	İyi	İyi
	Eski Altyapı Durumu	Karayolu, tren yolu, şehirleşme durumu vb.	HFY+UGY	İyi	İyi	İyi
	Güncel Arazi Kullanım Haritası	Arazi kullanım türleri, bitki (ağaç) yoğunluğu, kök derinliği vb.	HFY+UGY+ saha gözlemleri	Orta	İyi	İyi
	Eski Arazi Kullanım Haritası	Arazi kullanım türleri	HFY + basılı topoğrafik harita	Orta	İyi	İyi
5	Drenaj Ağı	Tür, uzunluk, dağılım	HFY+ basılı topoğrafik harita + CBS	İyi	İyi	İyi
	Drenaj Havzası	Dağılım, boyut	HFY+ topoğrafik harita + CBS	Orta	İyi	İyi
	Yağış Durumu	Zamansal değişim	Meteorolojik veriler	Orta	İyi	İyi
	Sıcaklık	Zamansal değişim	Meteorolojik veriler	Orta	İyi	İyi
	Buharlaşma	Zamansal değişim	Meteorolojik veriler	Orta	İyi	İyi
	Yeraltısuyu Haritaları	Zamansal değişim	Arazi ölçümleri + hidrolojik modelleme	Kötü	Kötü	Orta

Ayrıca, CBS platformlarının önemli bir veri kaynağı olan UA ürünlerinin (hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri) yorumlanması ve CBS platformlarına aktarılması gerekmektedir. Gerek saha çalışmaları, gerekse CBS ve UA çalışmaları, tüm bu veri toplama süreci içinde değerlendirilmekte, analizlere altlık teşkil edecek veri üretim aşamalarını kapsamaktadır. Bu aşamada gös-

terilecek hassasiyet ve özen, yapılacak analizlere temel teşkil edeceği için, çalışmaların doğruluğu ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Özellikle, heyelan yerlerinin doğru bir şekilde haritalanması, daha önceki bölümlerde değinilen yorumlama ve analiz süreçlerinin eksiksiz yapılabilmesi, hayati önem arz etmektedir.

4.6. Veri Tabanı ve CBS Platformunun Oluşturulması

Heyelanlara yönelik yapılacak her türlü çalışmada, heyelan duyarlılığı, tehlike veya riski gibi değerlendirmelerde temel unsur, güvenilir ve sağlıklı bir heyelan envanterinin ve buna bağlı olarak oluşturulmuş bir veri tabanının hazırlanmasıdır (Guzzetti vd., 1999). Günümüzde bilgisayar teknolojileri ve yazılımındaki gelişmeler, bu tür uygulamalarda veri tabanı kullanımını zorunlu kılmakta ve önemli katkılar sağlamaktadır. Bir veri tabanının oluşturulmasında, eldeki bilgilerin düzenlenmesi, derlenmesi, saklanması ve kullanıcılar sunulması temel unsurlardır. Heyelan değerlendirmeleri gibi çok sayıda parametre analizinin ve veri grubunun organizasyonu gerektiren konularda, bir veri tabanının ve bununla koordineli bir şekilde çalışacak bir CBS platformunun oluşturulması çok önemli kazanımlar getirecektir.

Genel olarak ele alındığında, bu tür bir yaklaşımın organizasyonu ve hayata geçirilmesi; heyelanlar açısından “hangi alanlarda ve koşullarda heyelan oluşacak?”, “oluşacak heyelan türleri nelerdir?” ve “heyelanlar hangi koşullar altında tetiklenecek?” gibi sorulara yanıt verebilecek veya bu yanıtların verilebilmesi için gerekli analizlerin yapılmasına olanak sağlayacak nitelikte olması gerekmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Ayrıca, herhangi bir heyelan çalışması yapılırken, aşağıda maddeler halinde sunulan bazı varsayımların da (Hutchinson, 1992) dikkate alınması da gereklidir:

1) Heyelanlar, geçmişte olduğu gibi, gelecekte de aynı jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik ve iklimsel koşullar altında oluşacaktır.

2) Heyelanlara neden olan koşullar, yamacı oluşturan malzemelerin, jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik ve meteorolojik koşullar gibi, tanımlanabilen ve modellenen özelliklere sahip parametrelerdir.

3) Her türlü heyelan tanımlanabilir ve sınıflandırılabilir.

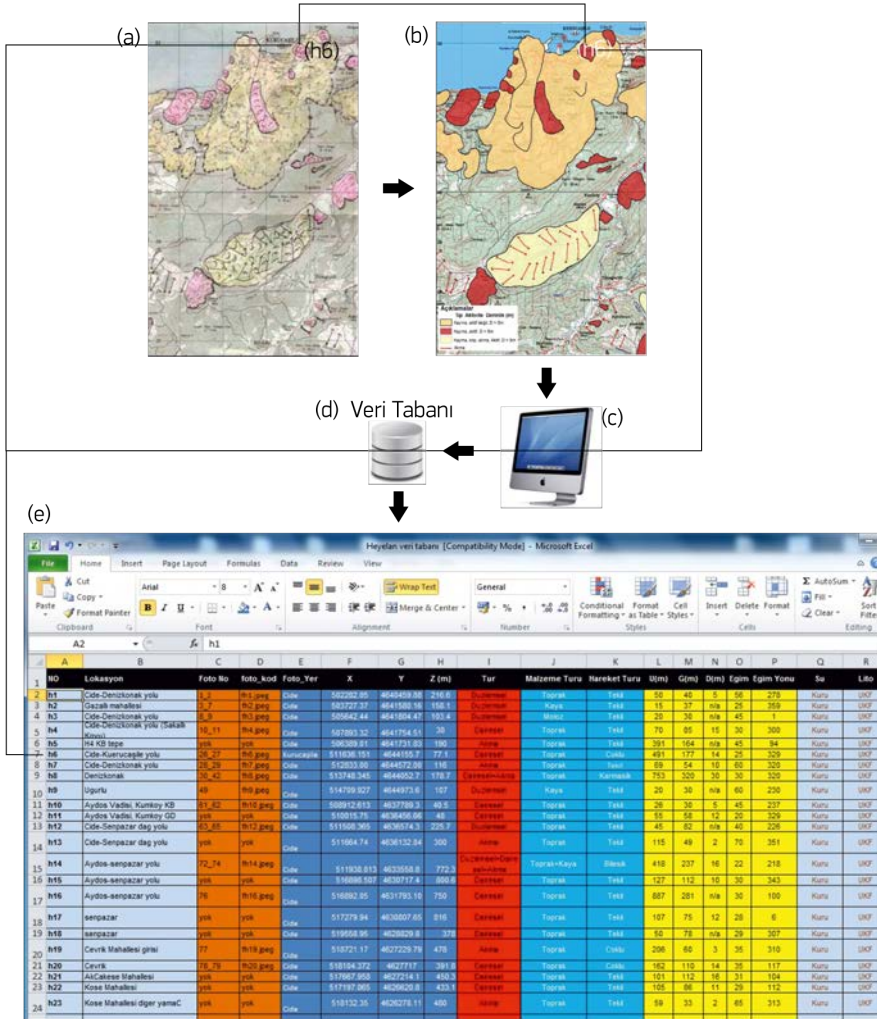
Ayrıntılı bir heyelan envanteri ve veritabanının oluşturulması, gerek heyelan zararlarından korunmak için yapılacak çalışmalarda, gerekse konumsal ve zamansal heyelan analizlerinin yapılmasında, son derece büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla, belirli bir alanda yapılacak heyelan duyarlılık, tehlike veya risk haritalamalarının güvenilir bir şekilde oluşturulabilmesi için, heyelanların konumsal ve zamansal frekanslarının belirlenmesi gereklidir. Ayrıca, heyelan tür ve yerlerinin, tetikleyici parametrelerinin, heyelan dağılımı gibi özelliklerinin, bu tür analiz ve modellemelerde temel teşkil ettiği bilinmektedir (Galli vd., 2008; Van Westen vd. 2008).

Yukarıda değinilen hususların gerçekleştirilmesi için veri tabanı oluşturulması ve bunun organizasyonu ön plana çıkmaktadır. Bu tür veri tabanları, uygulamalarda kullanılan ve hemen hemen her CBS yazılımının içinde bulunduğu gibi, ayrıca MS Office Access, MS Office Excel gibi programlar kullanılarak da oluşturulabilir. Benzer şekilde, özellikle web tabanlı uygulamalarda Postgres SQL, Java gibi ileri düzeyde programcılık ve deneyim gerektiren uygulamalar da mevcuttur. Burada önemli olan, bilgisayar yazılımı, donanımı ve yöntemi ne olursa olsun, kullanılan heyelan envanter formu ile uyumlu çalışabilecek, aynı parametrelerin bilgisayar ortamında saklanabilmesi ve analize/sorgulanmasına olanak sağlayacak bir şekilde veri tabanının oluşturulmuş/organize edilmiş olmasıdır. Zira, MS Office Excel gibi yazılımlarda saklanan bilgiler, kolaylıkla CBS yazılımlarına adapte edilebilmektedir. Bu tür bir uygulamanın örneği **Şekil 4.5'**te sunulmaktadır.



Tirebolu-Doğankent Devlet Yolu Km 2+500

Şekil 4.5. Heyelan envanteri-veri tabanı ilişkisi (Ercanoğlu, 2005; Can vd., 2013).



Şekil 4.5.a'da, saha gözlemleri ve hava fotoğrafları ile belirlenmiş heyelan yerlerinin, topoğrafik haritalar üzerine işlenmiş hali görülmektedir. Daha sonra bu bilgiler sayısallaştırılarak CBS sistemin aktarılmış ve bilgisayar ortamında bir veri tabanında saklanmıştır (Şekil 4.5.b,c, d). Aynı zamanda, haricen oluşturulan bir MS Office Excel tablosu (Şekil 4.5.e)'nde de, heyelan lokasyonlarına ait bilgiler depolanmakta, gerektiğinde güncelleme, analiz ve sorgulama işlemleri için bilgisayar ortamında saklanmaktadır. Örneğin "h6" olarak adlandırılan heyelan için bilgiler, Şekil 4.5'de gösteril-

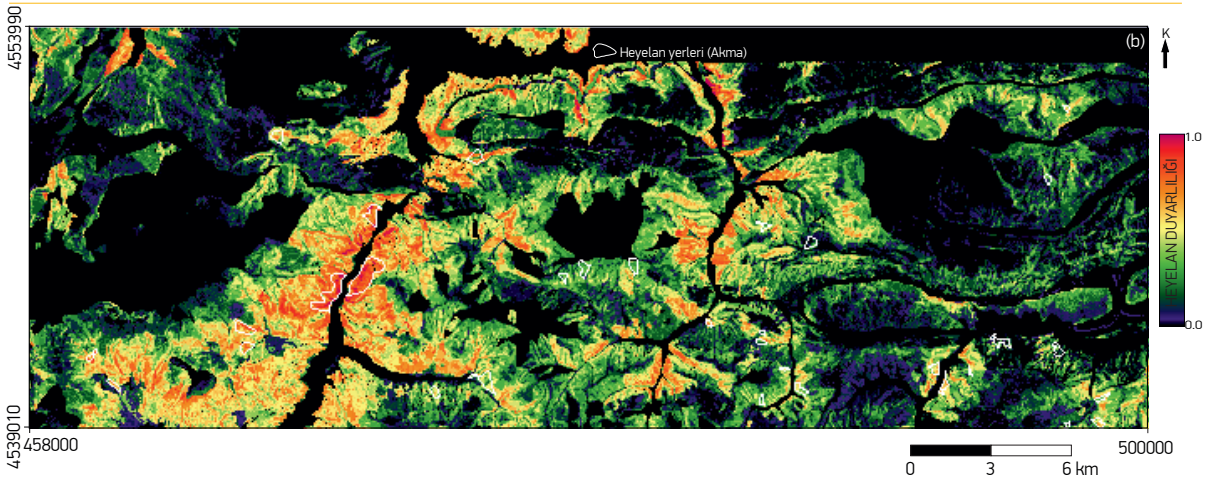
diği şekilde saklanmakta ve kullanılan CBS programı ile de entegreli bir şekilde çalışmaktadır.

CBS platformunun oluşturulması da, yine eldeki olanaklar ve finansal koşullar dahilinde değerlendirilmiştir. Heyelan uygulamalarının ve değerlendirmelerinin yapılmasında, günümüz koşullarında CBS platformlarının kullanımı, bir zorunluluk olarak görülmektedir. Bu tür uygulamalarda, ücretsiz yazılımlar kullanılabilirdiği gibi, son derece yüksek ücretli yazılımlarda uygulamacılar arasında kullanılmaktadır. Burada tercih kullanıcılara bırakılmış olup, söz konusu CBS yazılımlarının

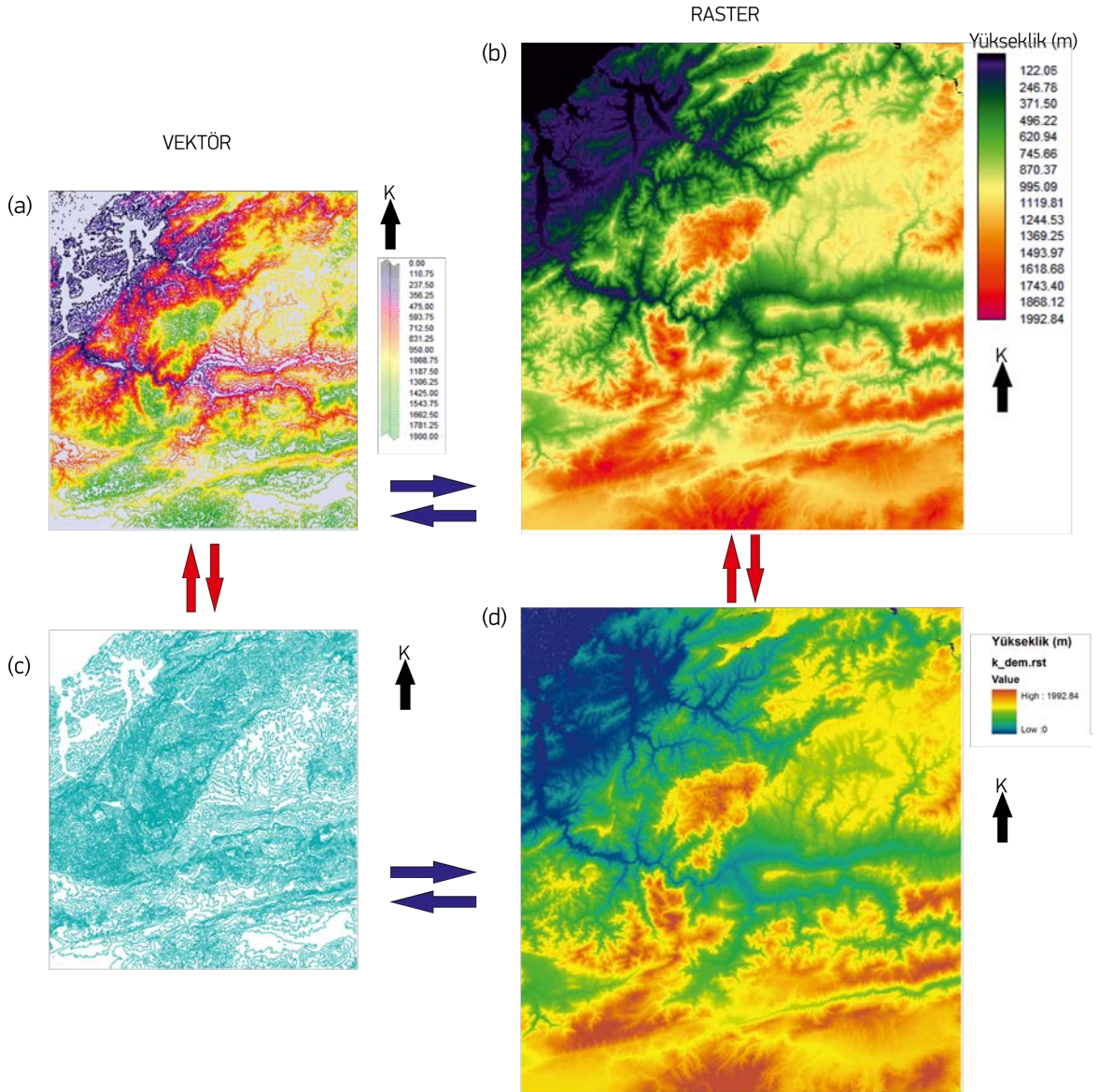
yetenekleri ve heyelan çalışmalarındaki kullanılabilirliği ön plana çıkmaktadır. Bu tür çalışmalarda uygulamalar genelde ArcGIS, MapInfo, Grass, Idrisi, QGIS gibi sıklıkla kullanılan yazılımlar yardımıyla yapılmaktadır. Ayrıca, özellikle uzaktan algılama işlemleri için harici yazılımlar (ENVI, PCI Geomatica gibi) ile istatistiksel analizlerin yapılabilirdiği SPSS, Statgraf, Statistica gibi yazılımlara da gereksinim duyulabilmektedir. Bununla birlikte, temel işlevler, veri tabanı ve analizler, çoğu CBS yazılımında kompakt bir şekilde bulunmakta, sözü edilen diğer yazılımlar, ileri düzey analiz ve değerlendirmeler için dikkate alınmaktadır. CBS yazılımları, toplanan verilerin entegrasyonunda, en az heyelan envanter ve veri tabanlarının oluşturulma aşamaları kadar önem arz etmektedir. **Buradaki en önemli unsur, saha çalışmalarından ve diğer çalışmalardan elde edilen tüm verilerin, aynı doğrulukta ve temsil edici özellikte CBS platformuna aktarılmasıdır.** Bu işlem esnasındaki en önemli unsur da, verilerin konumlandırılması ve veri tabanı ile ilişkilendirilmesi sırasında yaşanmaktadır. Örneğin, ED50 datumundaki bir topoğrafik haritadaki bilgileri, WGS84 datum özelliğine sahip bir CBS platformuna aktarmak, konumsal olarak sapmalara neden olacaktır. Bunun için, kullanılan datum, harita projeksiyonlarının koordinat bilgisi (UTM, UTM zonu, enlem/boylam vb.) gibi harita bilgilerinin bilinmesi ve CBS platformu ile bu özelliklerin aynı

olması gerekmektedir. CBS platformu ile ilgili bir diğer önemli husus da, sayısal olmayan verilerin, sayısal formata dönüştürülmesi için kullanılan işlem olan, “sayısallaştırma” (digitizing) işlemidir. Analiz aşaması için temel teşkil eden heyelan yerleri ile topoğrafik, jeolojik, jeomorfolojik ve çevresel parametrelerin, aynı CBS platformunda, raster (hücresel) veya vektör formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için hazır veriler ile sayısallaştırılması gereken veriler, çoğunlukla bir arada değerlendirilmekte ve analiz ve değerlendirmelere hazır hale getirilmektedir. Raster veya vektörel veriler birbirlerine dönüştürülebildikleri gibi, hemen hemen her CBS yazılımının farklı dosya türleri de birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Şekil 4.7’de, Batı Karadeniz Bölgesi’nde seçilen ve Karabük, Zonguldak ve Bartın arasında kalan aynı alanın, farklı CBS yazılımları ile oluşturulmuş Sayısal Yüksekli Modeli haritaları verilmektedir. Bu haritalar, Idrisi Selva (Şekil 4.7a ve b) ve ArcGIS 9.3 (Şekil 4.7c ve d) yazılımları kullanılarak, aynı alan ve farklı vektörel veri kaynakları (*.vct ve *.shp) kullanılarak oluşturulmuştur. **Şekil 4.7**’den de görülebileceği üzere, tüm veri gruplarının birbirlerine dönüştürülme ve farklı yazılımlarda açılıp kullanılabilirliği mevcuttur.

Şekil 4.6. Ovacık (Karabük) yöresinde Akma türü heyelanlar için Bulanık işlemciler yaklaşımı ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası(Ercanoğlu vd., 2011).



Şekil 4.7. Vektör ve raster verilerin birbirlerine dönüştürülme işlemleri. (Ercanoğlu, vd., 2008).



Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

5

HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Heyelan duyarlılık, tehlike risk değerlendirmelerinde, heyelan envanterleri ve veri tabanlarına ek olarak, haritalamanın amaçları da gözetilerek, farklı kökene sahip parametreler kullanılmaktadır. Buradaki temel amaç, çalışılan alandaki heyelan özellikleri ile dikkate alınan parametreler arasında, doğrudan ve/veya dolaylı ilişkiler kurularak, duyarlılık, tehlike veya risk haritalarının üretilmesine dayanmaktadır. Harita üretimlerinde temel unsur heyelan envanter haritası ve özellikleri olacağından, üretilecek haritaların güvenilirliği ve doğruluğunu, doğrudan etkileyecektir. Diğer bir deyişle, geçmişte ve günümüzde haritalanmış heyelan yerleri ve bunların özellikleri ile ortak özellikler gösterdiğinden, modelleme türü ve kullanılan parametreler ne olursa olsun; temelde heyelan yer ve özelliklerinin gösterildiği heyelan envanter haritası ve veri tabanından etkilenecektir.

Heyelanların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar 1950'li yıllara dayanmakta olup, bu çalışmalar çoğunlukla lokal duraysızlıkların incelenmesi ve bunlara yönelik önlem ve zarar azaltma çalışmalarını kapsamaktadır. Günümüzdeki eğilim ise, eski bakış açısının tersine, öncelikle bölgesel değerlendirmeler yapılıp, daha sonra gereken yerlerde ayrıntılandırmanın yapılması ve gerekiyorsa önlemlerin alınması yönündedir (Fell vd., 2008a ve b; Galli vd., 2008; Van Westen vd., 2008; Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012). 1980'li yılların başından itibaren başlayan bir süreçte CBS ve bilgisayar teknolojilerindeki olağanüstü gelişimler, sayısal tabanlı heyelan değerlendirme çalışmalarına olanak sağlamış ve sayıları her geçen gün artarak, günümüzde artık vazgeçilmez bir değerlendirme ve uygulama aracı olmuştur. Bu tür çalışmalarda araştırmacılar, birbirinden kökensel olarak çok farklı yapıda ve türde veri kaynakları kullanarak, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri yapmaktadırlar. Buradaki diğer önemli bir unsur da, çalışmanın amacı, veriye ulaşım, zaman ve mali koşulların, kullanılan parametre ve seçilecek haritalama tekniği üzerinde etkisinin olduğunun unutulmamasıdır. Genel olarak bakıldığında, heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler **Çizelge 5.1**'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Parametre Grubu	Alt Grup	Amaç
Hazırlayıcı	- Jeolojik	Duyarlılık
	- Topoğrafik	
	- Çevresel	
Tetikleyici	- Deprem	Tehlike
	- Yağış	
	- İnsan etkisi	

Yukarıdaki çizelgeden de görüleceği gibi, hazırlayıcı parametreler heyelan duyarlılık haritalamalarının temelini oluştururken, heyelan tehlike haritalamalarında tetikleyici parametre(ler)in de dikkate alınması gerekmektedir. **Çizelge 5.1**'de değinilen parametreler, haritalama amaçlarındaki olası farklılıklardan ötürü bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilmekte ve literatürde hangi parametrelerin bu tür değerlendirmelerde kullanılmasına dair bir standart bulunmamaktadır. Bununla birlikte, bu tür çalışmalarda esas olan, heyelan oluşumunda etkin olabilecek, haritalanabilen ve çalışılan alandaki heyelanları ve alansal özellikleri yansıtabilecek parametrelerin seçilmesidir. **Çizelge 5.2**'de ise, daha güncel bir çalışmada (Van Westen vd., 2008), heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametrelerin ölçek, yöntem ve veri güncelleme ilişkileri gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. incelendiğinde ise, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerinin, çok değişkenli bir denkleme benzediği ve burada sunulan her bir parametrenin de denklemin " x_1 "; " x_2 ";...; " x_n " parametresi olduğu söylenebilir. Bu çizelgenin en önemli unsurlarından biri verilerin (parametrelerin) güncelleme aralığı ile ilgili olan kısmıdır. Çizelgenin veri grubu ve türü kesimi incelendiğinde, durağan (statik) ve "dinamik" verilerden oluştuğu, durağan parametrelerde güncelleme aralığının az veya yok, dinamik parametrelerin ise düzenli ve çok daha sık aralıklarla güncellenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Örneğin jeolojik ve jeomorfolojik özellikler zaman içinde değişim göstermeyeceği için durağan parametreler olarak değerlendirilirken, meteorolojik ve hidrolojik veri gruplarının daha kısa sürelerde güncellenmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan veri grupları ve özellikleri (Van Westen vd., 2008).

Veri Gurubu		Güncellenme Aralığı (yıl)	UA	Ölçek					Tehlike Modeli			Risk Modeli	
Türü	Veri Katmanı	10....1....0.002 (gün)	UA Uygunmu?	Küçük	Orta	Büyük	Ayrıntılı	Jeomorfolojik	İstatistiksel	Deterministik	Probilistik	Yarı Niceliksel	Niteliksel
Heyelan Envanteri	Heyelan Envanteri	↔	Y	K	Y	Y	Y	K	Y	Y	Y		
	Heyelan Aktivitesi	↔	Y	O	K	K	K	Y	K	K	K		
	Heyelan İzleme	↔	O	O	O	O	K	....	....	Y	Y		
Jeolojik / Morfolojik Özellikler	SYM	↔	Y	Y	K	K	K	Y	K	K	K		
	Şev Açısı / Bakı vb.	↔	Y	D	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Rölyef	→	Y	Y	O	D	D	Y	D	....	....
	Akış Özellikleri	→	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y		
	Litoloji	→	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Yapısal Özellikler	→	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Fay	→	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	....	....
	Zemin Türü	→	O	O	Y	K	K	Y	Y	K	Y		
	Zemin Derinliği	→	....	....	D	K	K	....	....	K	Y		
	Hidrojeolojik Özellikler	↔	....	....	....	K	K	....	....	K	Y		
	Jeomorfolojik Özellikler	→	Y	K	Y	O	D	K	O	D	D		
	Ayrıntılı Jeomorfolojik Özellikler	→	Y	Y	Y	Y	D	Y	Y	O	D		
	Arazi Kullanım Türü	↔	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
	Arazi Kullanım Değişiklikleri	↔	Y	O	Y	Y	K	Y	Y	Y	K		
	Tetikleyici Faktörler	Yağış	←	D	O	O	K	K	Y	Y	K	K	
Sıcaklık / Buharlaşıma		←	O	....	....	O	Y	....	....	Y	D		
Depremsellik		↔	....	O	O	Y	K	....	....	....	K		
Yer İvmesi		↔	D	D	O	Y	Y	Y	Y	Y	D		
Risk Altındaki Elemanlar	Binalar	↔	Y	D	O	K	K	....	....	....	....	K	K
	Yol Ağı	↔	Y	O	O	O	Y	O	O	O	O	Y	Y
	Yaşam Alanları	↔	....	....	D	D	O	....	....	....	....	D	D
	Önemli Yapılar	↔	D	D	O	Y	Y	....	....	....	....	Y	Y
	Nüfus Verileri	↔	D	Y	Y	K	K	....	....	....	....	K	K
	Tarımsal Veriler	↔	Y	D	O	Y	O	....	....	....	....	D	O
	Ekonomik Veriler	↔	....	D	O	Y	Y	....	....	....	....	D	O
Ekolojik Veriler	↔	Y	D	Y	D	D	....	....	....	....	D	O	

Probilistik Afet Analizlerinin Sonuçları Gerekli
Deneysel İstatistiksel veya Deterministik Analizlerinin Sonuçları Gerekli

*K: Kritik, Y: Yüksek, O: Orta, D: Düşük,: Uygun değil, UA: Uzaktan Algılama, SYM: Sayısal Arazi Modeli.

Ayrıca heyelanlara ilişkin bilgiler (envanter, aktivite gibi) ise sürekli olarak güncellenmelidir. Çizelge 5.2'deki önemli bir husus da, UA kullanımının bu tür değerlendirmelerde önemli bir kullanım alanına sahip olduğunun ortaya çıkmış olmasıdır.

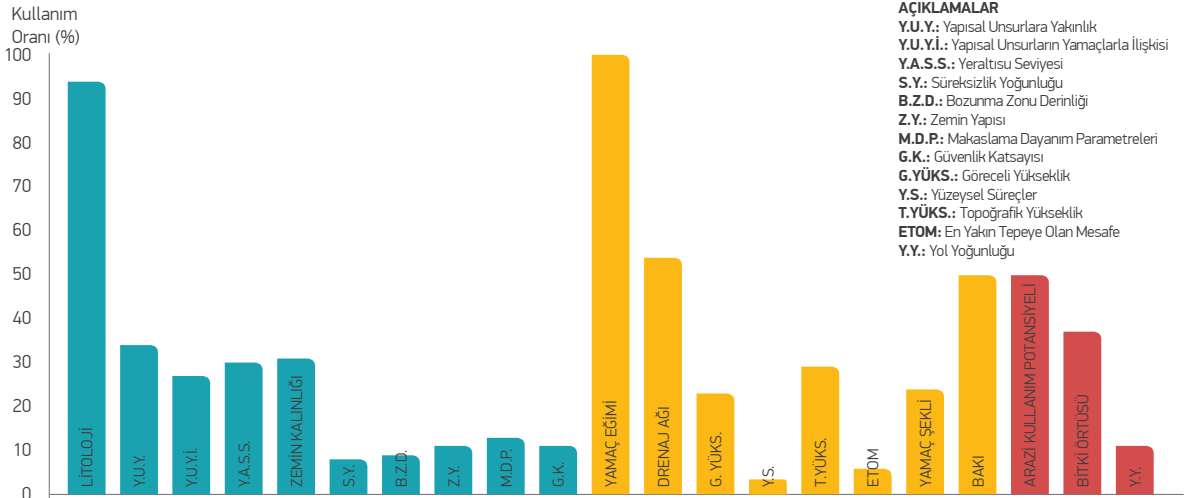
HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

5.1 Parametre Kullanım Analizi

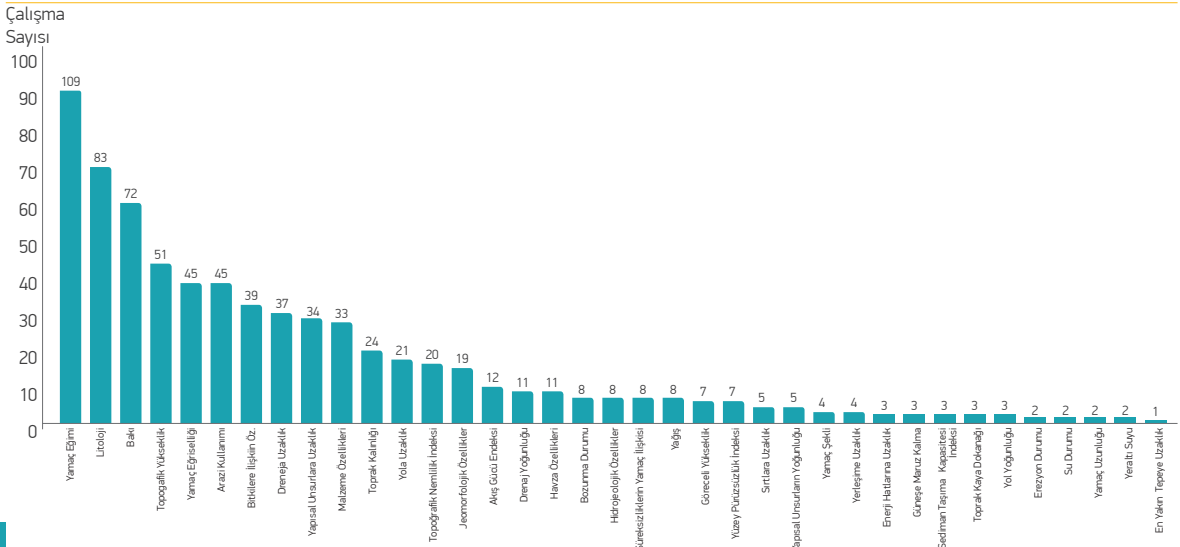
Daha önceki bölümlerde de değinildiği üzere, heyelan değerlendirmelerinde, hangi parametrelerin kullanılması gerektiğine dair bir standart bulunmamaktadır. Bunun nedeni, aslında heyelanın nadiren tek bir parametreye bağlı olarak gelişmesi ve oluşum özelliklerinin değişiklik gösterilebilmesidir. Bununla birlikte, bu kılavuz kapsamında, bilimsel dergilerde yayımlanmış çalışmalarda, araştırmacıların kullandıkları paramet-

reler değerlendirilerek, bu sorunun aşılacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, SCI (Science Citation Index)'de taranan bilimsel dergilerde yayımlanmış çalışmalarda, araştırmacıların kullandıkları parametreler değerlendirilerek, bir parametrik analizin yapılması yoluna gidilmiştir. Benzer çalışmalar daha önceden de yapılmış ve elde edilmiş sonuçlar, **Şekil 5.1** ve **Şekil 5.2**'de sunulmuştur.

Şekil 5.1. Ercanoğlu (2003) tarafından yapılan parametrik analiz sonuçları.



Şekil 5.2. Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012) tarafından yapılan parametrik analiz sonuçları.



Buradaki analizler, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulma aşamalarında kullanılan parametrelere yönelik yapılmıştır. **Şekil 5.1** incelendiğinde, Ercanoğlu (2003) tarafından yapılan ve 2002 yılına kadar yapılmış 70 adet bilimsel çalışmayı temel alan sonuçlar görülmektedir. Bu çalışmada ön plana çıkan parametreler, litoloji, yamaç eğimi, drenaj ağı özellikleri, bakı, arazi kullanımı ve bitki örtüsü özellikleridir. **Şekil 5.2**'de sunulan bir diğer çalışma ise (Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012), 2000-2010 yılları arasında yapılan ve bilimsel dergilerde yayımlanmış 114 adet bilimsel çalışmayı kapsamaktadır. Bu çalışmada ön plana çıkan parametreler ise yamaç eğimi, litoloji, bakı, topoğrafik yükseklik, yamaç eğriselliği, arazi kullanımı, bitkilere ilişkin özellikler, drenaja ve yapısal unsurlara olan uzaklıktır.

Bu kılavuzun hazırlanmasında da, yukarıda değinilen araştırmalara benzer şekilde bir literatür araştırması yapılmış ve kullanılan parametrelerin analizi gerçek-

leştirilmiştir. Bu kılavuzun hazırlanmasına yönelik olarak yapılan literatür araştırmalarının temeli, son 10 yılı kapsayacak şekilde, 2004 ile 2014 yılları arasında gerçekleştirilmiş 117 adet bilimsel çalışmaya dayanmaktadır. Sözü edilen 117 çalışmada toplam 53 farklı parametre kullanılmış olup; bu parametreler, **Çizelge 5.1**'de verilen ve heyelan duyarlılık değerlendirilmesinde kullanılan hazırlayıcı parametreler de gözetilerek, üç ana başlıkta (jeolojik, topoğrafik ve çevresel) toplanmıştır. Bu parametreler ve bunların kullanım sıklıkları **Çizelge 5.3**'te sunulmuştur. Hem kullanım, hem de gösterim açısından, sözü edilen 53 parametreye de kendi aralarında gruplandırılarak Çizelge 5.3'te gösterildiği şekilde toplam 20 adet (5 adet jeolojik; 10 adet topoğrafik, 5 adet çevresel parametre) parametre altında gruplandırılmıştır. Dikkate alınan gruplandırma sınıfları da, **Çizelge 5.4**'te sunulmuştur. Kılavuz için dikkate alınan parametreler ve kullanım sıklıkları da, **Şekil 5.3**'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.3. Kılavuz için yapılan 2004-2014 yılları arasında yayımlanmış çalışmalara ilişkin parametrik analiz.

No	ARAŞTIRMACI	HAZIRLAYICI PARAMETRELER																		
		Jeolojik					Topoğrafik										Çevresel			
		J1	J2	J3	J4	J5	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	C1	C2	C3	C4	C5
1	Ercanoğlu ve Gokceoğlu (2004)					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓			✓
2	Lee vd. (2004)		✓						✓		✓						✓			
3	Suzen ve Doçurcan (2004)					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓								✓
4	Ayenev ve Barbieri (2005)		✓						✓											✓
5	Ayalew ve Yamagishi (2005)		✓			✓	✓	✓	✓			✓								✓
6	Ayalew vd. (2005)		✓					✓	✓											
7	Can vd. (2005)		✓					✓	✓	✓										✓
8	Ermini vd. (2005)		✓						✓											✓
9	Gokceoğlu vd. (2005)		✓					✓	✓	✓				✓		✓				
10	Gomez ve Kavzoglu (2005)								✓	✓							✓	✓	✓	
11	Guinau vd. (2005)		✓	✓		✓			✓											✓
12	Moreiras (2005)		✓						✓											
13	Yesilnacar ve Topal (2005)		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
14	Dymond vd. (2006)		✓						✓											
15	Fall vd. (2006)										✓									
16	Gorsevski vd. (2006)																			✓
17	Guzzetti vd. (2006)		✓					✓	✓			✓								
18	Kanungo vd. (2006)		✓			✓		✓	✓			✓								✓
19	Komac (2006)		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓								✓
20	Lee ve Lee (2006)		✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓
21	Van den Eeckhaut vd. (2006)		✓						✓	✓	✓	✓								
22	Coelho-Netto vd. (2007)		✓						✓			✓							✓	✓
23	Demoulin vd. (2007)		✓					✓	✓	✓	✓	✓								
24	Domínguez-Cuesta vd. (2007)							✓	✓	✓	✓	✓								
25	Federicia vd. (2007)		✓						✓			✓								✓

HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

No	ARAŞTIRMACI	HAZIRLAYICI PARAMETRELER																			
		Jeolojik					Topoğrafik										Çevresel				
		J1	J2	J3	J4	J5	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5
26	Mowen vd. (2007)						✓														
27	Neuhäuser ve Terhorst (2007)	✓				✓	✓			✓											
28	Schulz (2007)	✓					✓														
29	Thiery vd. (2007)	✓					✓			✓			✓							✓	
30	Cascini (2008)	✓		✓			✓														
31	Castellanos Abella ve Van Westen (2008)	✓				✓	✓					✓	✓								
32	Conoscenti vd. (2008)	✓					✓								✓	✓					
33	García-Rodríguez vd. (2008)	✓					✓	✓	✓									✓	✓		
34	Godt vd. (2008)						✓														
35	Gorsevski ve Jankowski (2008)						✓	✓	✓				✓			✓					✓
36	Gullà vd. (2008)	✓					✓													✓	
37	Hong ve Adler (2008)	✓	✓				✓	✓										✓	✓		
38	Kamp vd. (2008)						✓	✓	✓				✓						✓	✓	
39	Lee vd. (2008)	✓					✓	✓	✓	✓	✓										
40	Melchiorre vd. (2008)	✓		✓			✓	✓												✓	
41	Nefeslioglu vd. (2008a)	✓					✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
42	Nefeslioglu vd. (2008b)						✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓				
43	Ruff ve Czurda (2008)	✓				✓	✓	✓	✓									✓			
44	Song vd. (2008)						✓		✓	✓			✓							✓	
45	Van Westen vd. (2008)	✓	✓			✓	✓	✓	✓				✓							✓	✓
46	Yalcin (2008)	✓					✓	✓	✓				✓							✓	✓
47	Yao vd. (2008)	✓					✓	✓	✓	✓						✓	✓				
48	Bai vd. (2009)	✓					✓		✓			✓								✓	
49	Deb ve El-Kadi (2009)		✓				✓	✓							✓						
50	Kawabata ve Bandibas (2009)	✓					✓	✓	✓												
51	Saito vd. (2009)						✓		✓				✓								
52	Tangestani (2009)	✓	✓				✓	✓	✓											✓	
53	Wan (2009)						✓	✓	✓				✓					✓			✓
54	Wang vd. (2009)	✓				✓	✓	✓				✓						✓			
55	Wu ve Chen (2009)	✓	✓				✓		✓											✓	
56	Yilmaz (2009)					✓	✓	✓	✓				✓		✓		✓				
57	Bednarik vd. (2010)	✓					✓	✓													
58	Bai vd. (2010)						✓	✓	✓	✓											
59	Bâlteanu vd. (2010)	✓			✓		✓												✓	✓	
60	Blahut vd. (2010)	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓							✓	
61	Chauhan vd. (2010)	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓								
62	Damm vd. (2010)						✓	✓													
63	Dewitte vd. (2010)	✓					✓	✓	✓	✓			✓							✓	
64	Gorsevski ve Jankowski (2010)						✓	✓		✓					✓						
65	Nandi ve Shakoor (2010)	✓					✓		✓										✓	✓	
66	Pradhan ve Lee (2010)	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓								✓
67	Pradhan vd. (2010)	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓					✓	✓
68	Rapolla vd. (2010)	✓					✓														
69	Ray vd. (2010)	✓	✓				✓													✓	✓
70	Regmi vd. (2010a)	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓						✓	✓	✓
71	Regmi vd. (2010b)	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓				✓	✓	✓
72	Rossi vd. (2010)	✓					✓													✓	
73	Vahidnia vd. (2010)	✓				✓	✓	✓	✓				✓							✓	

No	ARAŞTIRMACI	HAZIRLAYICI PARAMETRELER																			
		Jeolojik					Topoğrafik					Çevresel									
		J1	J2	J3	J4	J5	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5
74	Van Den Eeckhaut vd. (2010)	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓									
75	Yeon vd. (2010)	✓	✓					✓	✓	✓			✓					✓			
76	Atkinson ve Massari (2011)	✓						✓		✓								✓			
77	Ghosh vd. (2011)	✓	✓			✓		✓	✓				✓							✓	
78	Goetz vd. (2011)						✓	✓					✓						✓	✓	
79	Ilanloo (2011)	✓				✓	✓	✓	✓			✓	✓					✓	✓	✓	
80	Khezri (2011)	✓				✓		✓	✓				✓							✓	
81	Marjanović vd. (2011)				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓								
82	Melchiorre vd. (2011)							✓	✓												✓
83	Oh ve Pradhan (2011)		✓				✓	✓	✓		✓		✓		✓						✓
84	Pavel vd. (2011)						✓	✓	✓	✓	✓		✓								
85	Sezer vd. (2011)	✓				✓	✓	✓	✓				✓								
86	Sterlacchini vd. (2011)	✓				✓	✓	✓	✓	✓											✓
87	Von Ruetze vd. (2011)							✓		✓			✓							✓	
88	Yalcin vd. (2011)	✓					✓	✓	✓	✓	✓									✓	✓
89	Akgun vd. (2012)						✓	✓	✓		✓			✓		✓					
90	Althuwaynee vd. (2012)	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓					✓	✓	✓
91	Bai vd. (2012)	✓			✓		✓													✓	✓
92	Bui vd. (2012a)	✓			✓		✓	✓	✓			✓								✓	✓
93	Bui vd. (2012b)	✓			✓		✓	✓	✓			✓								✓	✓
94	Che vd. (2012)	✓			✓		✓	✓	✓			✓								✓	✓
95	Choi vd. (2012)				✓		✓	✓	✓											✓	
96	Das vd. (2012)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓								✓	✓
97	He vd. (2012)	✓					✓	✓	✓	✓		✓									
98	Mohammady vd. (2012)	✓					✓	✓	✓	✓				✓	✓						✓
99	Nefeslioglu vd. (2012)						✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓					✓
100	Piacentini vd. (2012)						✓	✓	✓	✓										✓	✓
101	Pourghasemi vd. (2012)						✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓					
102	Schicker ve Moon (2012)						✓	✓	✓												
103	Song vd., (2012)	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓									✓
104	Xu vd., (2012a)	✓			✓		✓	✓	✓	✓		✓									✓
105	Xu vd., (2012b)	✓		✓			✓	✓	✓	✓										✓	
106	Van Den Eeckhaut ve Hervás (2012)	✓						✓	✓		✓										✓
107	Kayastha vd. (2013)	✓			✓		✓	✓	✓	✓		✓							✓	✓	
108	Lee vd. (2013)	✓			✓		✓	✓	✓	✓			✓							✓	✓
109	Ozdemir ve Altural (2013)				✓		✓	✓	✓	✓		✓			✓					✓	✓
110	Pareek vd. (2013)	✓					✓	✓	✓	✓		✓									✓
111	Park vd. (2013)	✓	✓					✓													
112	Wang vd. (2013)				✓		✓	✓	✓	✓		✓									✓
113	Althuwaynee vd. (2014)		✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓					✓	
114	Conforti vd. (2014)				✓		✓	✓	✓	✓		✓			✓						✓
115	Peng vd. (2014)						✓	✓	✓	✓	✓	✓									✓
116	San (2014)						✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓							✓
117	Shahabi vd. (2014)	✓			✓		✓	✓	✓			✓								✓	✓

J1: Litoloji, J2: Malzeme özellikleri, J3: Bozunma, J4: Depressellik, J5: Tektonik unsurlara uzaklık

T1: Topoğrafik Yükseklik, T2: Yamaç eğimi, T3: Bakı, T4: Eğrimsellik, T5: Yamaç özellikleri, T6: Drenaj özellikleri, T7: Sırtlara olan uzaklık, T8: Akarsu aşındırma gücü indeksi, T9: Sediman taşıma gücü indeksi, T10: Topoğrafik nemlilik indeksi

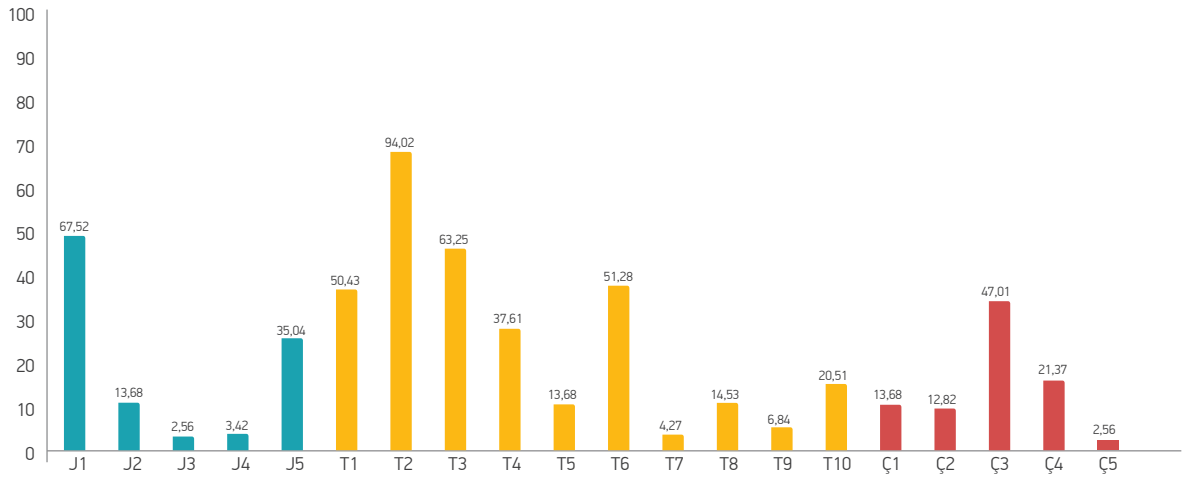
Ç1: Bitki özellikleri, Ç2: Yağış, Ç3: Arazi kullanım, Ç4: Yollara uzaklık, Ç5: Yıllık güneş radyasyonu

HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Çizelge 5.4. Kılavuz için birleştirilen parametrik gruplar.

Parametre Grubu	Parametre Adı
Malzeme özellikleri	Zemin dokusu, zemin türü, zemin nemi, zemin kalınlığı
Yamaç özellikleri	Yamaç şekli, yamaç uzunluğu, yamaç pürüzlülüğü
Bitki özellikleri	Ağaç çapı, ağaç yaşı, ağaç türü, ağaç yoğunluğu, bitki türü, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
Drenaj özellikleri	Drenaj yoğunluğu, drenaj havza alanı, drenaja olan uzaklık, drenaj havza yüksekliği, zemin drenajı, akarsuya olan uzaklık, akarsu yoğunluğu
Eğrisellik	Plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, tanjansiyel yamaç eğriselliği
Litoloji	Jeoloji, zemin türü
Tektonik unsurlara olan uzaklık	Yapısal unsurlara olan uzaklık, çizgiselliklere olan uzaklık, faylara olan uzaklık
Depremsellik	Deprem özellikleri, en yüksek yer ivmesi

Şekil 5.3. Kılavuz kapsamında yapılan parametrik analiz özeti.



Çizelge 5.3 ve **Şekil 5.3** incelendiğinde ön plana çıkan parametreler, T2 (yamaç eğimi, %94.02 kullanım), J1 (litoloji, %67.52 kullanım), T3 (bakı, %63.25 kullanım), T6 (drenaj özellikleri, %51.28 kullanım), T1 (topoğrafik yükseklik, %50.43 kullanım), Ç3 (arazi kullanımı, %47.01), T4 (eğrisellik, %37.61 kullanım), J5 (tektonik unsurlara uzaklık, %35.04 kullanım) olarak değerlendirilmiştir. Parametrelerin kullanımına yönelik yapılan **Şekil 5.1**, **Şekil 5.2** ve **Şekil 5.3**'de sunulan bu üç çalışmadan ön plana çıkan parametreler ve genel değerlendirmeleri ise, **Çizelge 5.5**'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.5. Parametrik analizlerin karşılaştırılması.

Araştırmacı	Çalışma sayısı	Ön plana çıkan parametreler
Ercanoğlu (2003)	70	Litoloji, yamaç eğimi, drenaj özellikleri, bakı, arazi kullanım, bitki örtüsü özellikleri
Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012)	114	Yamaç eğimi, litoloji, bakı, topoğrafik yükseklik, yamaç eğriselliği, arazi kullanımı, bitkilere ilişkin özellikler, drenaja uzaklık, yapısal unsurlara olan uzaklık
Kılavuza yönelik araştırma (2014)	117	Yamaç eğimi, litoloji, bakı, drenaj özellikleri, topoğrafik yükseklik, arazi kullanım, eğrisellik, tektonik unsurlara olan uzaklık

Çizelge 5.5'e göre, yapılan üç farklı araştırmada litoloji, yamaç eğimi, baki ve arazi kullanımı/bitki örtüsü (her ikisinin de aynı amaca hizmet ettiği düşünülürse) parametrelerinin, bu tür çalışmada sıklıkla kullanıldığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, topoğrafik yükseklik, eğrisellik ve drenaj özellikleri de sıklıkla kullanılan diğer parametreler olarak değerlendirilebilir. Bu analizden çıkan bir başka sonuç da, jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametre ana grubundan en az bir adet parametre alt grubunun, analizlerde kullanılıyor olmasıdır.

Bu parametrelerin araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılıyor olması, heyelanın meydana gelişindeki teorik altyapı ile ilişkilendirilmektedir. Örneğin, yamaç eğimi, heyelan tanımından yola çıkılarak, kütle hareketi analizlerinin doğasında var olan bir kavram olarak yorumlanmaktadır. Litolojik özellikler heyelanda hareket türü ve mekanizmasını kontrol eden en önemli özellikken, bitki örtüsü-heyelan ilişkisi literatürde sıklıkla vurgulanan diğer bir konudur. Teorik ilişkiye ek olarak, ölçek, zaman, finansal koşullar, kişisel tecrübe ve veriye ulaşmada parametrelerin seçimi ve kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. İzlenen bölümlerde, yukarıda sözü edilen parametrelerin kullanımları üzerine genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Litoloji %67.52 Yamaç Eğimi %94.02 Arazi Kullanımı %47.01

Jeolojik

Topografik

Çevresel

* En yüksek değerler

Duyarlılık Değerlendirilmelerinde **Jeolojik, Topografik ve Çevresel Paramaterlerin** her birinden en az bir tanesinin kullanılması önemlidir.



Giresun Kovarlık II Yolu Km 27+200 Heyelanı

HEYELAN DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

5.2. Hazırlayıcı Parametreler

5.2.1 Jeolojik Parametreler

Kılavuz kapsamında jeolojik parametreler olarak litoloji, malzeme özellikleri, bozunma, depremsellik ve tektonik unsurlara olan uzaklık ana grupları dikkate alınmıştır. Her ne kadar depremsellik, heyelan tehlike analizlerinin tetikleyici unsurlarından biri olsa da, heyelan duyarlılık değerlendirmesinde araştırmacıların dikkate aldığı bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. Buradaki temel gerekçe depremselliği yüksek olan bir bölgede yamaçların deprem etkisiyle duyarlılıklarını yitirme potansiyelinin yüksek olabileceğinin temel alınmasından kaynaklanmaktadır. Litolojik özellikler yamaç duraylılığını etkileyen önemli parametrelerden biri olup, malzemelerin dayanım, geçirimsizlik, sertlik birçok özelliği ile doğrudan ilişkilidir (Baeza ve Corominas, 2001). Araştırmacılar arasındaki genel eğilim, heyelanların hangi litolojik birimde daha yoğun bir şekilde meydana geldiğini tespit etmek yönündedir. Çoğu kez bu değerlendirme basit istatistiksel analizlerle yapılmakla birlikte, öznel bir şekilde de bu etkileşim yapılabilmektedir. Jeolojik malzeme özellikleri ve bozunma durumu da bu tür değerlendirmelerde kullanılabilir özellikte parametrelerdir. Ancak bu özelliklerin büyük alanlarda, önemli değişim gösterebileceğinin unutulmaması gereklidir. Örneğin, aynı litolojik birim, bulunduğu lokasyonda bile farklı bozunma ve malzeme özellikleri gösterebilir ve bu durum değerlendirmelerde önemli yanılgılara yol açabilir. Yapısal özellikler veya tektonik unsurlara (fay, kıvrım vb.) yakın olmak, yamaç duraylılığı üzerinde etkin bir parametre olarak dikkate alınabilir. Buradaki temel gerekçe, bu tip unsurlara yakın olmanın kayalarda parçalanmaya neden olarak, litolojik birimleri tektonik kuvvetler nedeniyle daha zayıf bir hale getireceği şeklindedir. Ancak, hangi ölçüde yakınlık ve/veya uzaklık kavramı yüksek ölçüde öznel olarak içermekte ve yanılgılara yol açabilmektedir.

Jeolojik Parametreler

Litoloji
Malzeme Özellikleri
Tektonik Unsurlara Uzaklık

•
•
•

5.2.2 Topoğrafik Parametreler

Kılavuz kapsamında toplam 10 adet parametre grubu (topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, bakı, eğrimsellik, yamaç özellikleri, drenaj özellikleri, sırtlara olan uzaklık, akarsu aşındırma gücü indeksi, sediman taşıma gücü indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksi) dikkate alınmıştır. Sözü edilen topoğrafik özellikler, heyelan değerlendirmelerinin en önemli girdi parametrelerinden bazılarını oluşturmaktadır. Zira heyelanlar, jeomorfolojik süreçler de dikkate alındığında, topoğrafik özelliklere de bağlı olarak gelişen doğa olaylarıdır. Bunlardan yamaç eğimi, hemen hemen tüm araştırmacılar tarafından dikkate alınan ve araştırmacılar üzerinde fikir birliğine vardıkları bir parametre olarak değerlendirilebilir. Yamaç eğim yönü (bakı) ise çoğunlukla yamaçların yağış alması veya almaması ile ilişkilendirilmekte, güneş ışını daha fazla veya az alması gibi olaylarla da bağlantılı olarak değerlendirilebilmektedir. Yoğun yağış alan yamaçların topoğrafik eğim ile zemin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü, yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, doygunluğa ulaşma ve gözenek suyu basıncının yükselmesi gibi olaylara maruz kalması şeklinde ifade edilebilmekte ve bakı ile ilişkilendirilebilmektedir. Yamaç eğrimselliği (içbükey, dışbükey, düz gibi yamaç şekli) analizleri de dikkate alınan bir başka parametrik gruptur. Örneğin dışbükey yamaçlarda akma türü heyelanların gelişmesi daha olasıdır. Buradaki temel gerekçe önünde serbest bir yüzey bulunması ve hareketin daha kolay gerçekleşebilme potansiyelidir. Yapılan birçok araştırma, heyelan gelişiminin belirli bir topoğrafik yükseklik aralığı ile belirli drenaj özelliklerinin de oluştuğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, bazı indeksler (nemlilik indeksi, sediman taşıma kapasitesi indeksi gibi) de heyelan değerlendirmelerinde girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır.

Topoğrafik Parametreler

Yamaç Eğimi
Bakı
Drenaj Özellikleri

•
•
•



Sivas Koyluhisar -Mulga AIGM Fotoğraf Arşivi - 2005

5.3. Çevresel Parametreler

Çevresel parametreler kapsamında bitki özellikleri, yağış, arazi kullanımı, yollara uzaklık ve yıllık güneş radyasyonu gibi parametrik gruplar derlenmiştir. Bunlardan sıklıkla kullanılan parametreler bitki özellikleri ve arazi kullanımıdır. Bitkilerin yamaçlar üzerinde olumlu ve olumsuz (kaymaya karşı tutucu veya arttırıcı) yönde etkileri mevcuttur. Arazi kullanım özellikleri yine heyelan oluşumu üzerinde etkin bir parametre olarak değerlendirilebilir. Örneğin, Batı Karadeniz Bölgesi'nde gelişen heyelanların büyük bir bölümü, tarımsal amaçlar doğrultusunda kullanılan alanlarda

meydana gelmektedir (Ercanoğlu, 2005). Yağış parametresi, yine heyelan tehlike analizlerinde kullanılması gereken bir parametre olup, duyarlılık analizlerinde kullanımı çoğunlukla topoğrafik yükseklikle ilişkilendirildiği içindir. Yollara uzaklık parametresi, özellikle yol çalışmaları için açılan yarmalarda, bölgedeki jeolojik malzemelerin topuğunun açılarak, malzemenin hareket etme potansiyeli (heyelan oluşumu) arttırıcı yönde bir etkisi olduğu için araştırmacılar arasında dikkate alınmaktadır.

Çevresel Parametreler

Arazi Kullanımı
Yollara Uzaklık
Bitki Özellikleri

-
-
-

5.4. Tetikleyici Parametreler

Heyelanlar genel olarak, sismik aktivite (depremler), şiddetli yağış ve insan etkisi ile tetiklenebilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Heyelan envanterleri ve özellikleri, tüm dünyadaki uygulamalarda tetikleyici parametreler açısından çoğu kez yetersiz kalmaktadır. Çünkü, bu tür çalışmaların en zor aşamalarından biri heyelanı tetikleyen koşulun (varsa) veya koşulların net bir şekilde ortaya konulamaması ve veri tabanlarına yansıtılmasıdır. İzlene bölümlerde ilgili parametrelerin analizleri ayrıntılarıyla verilmiştir.

5.4.1. Depremler

Depremler sonucunda ortaya çıkan sismik ivme, heyelanları tetikleyen en önemli unsurlardan biridir. Keefer (1984)' e göre, depremlerle-heyelanlar arasındaki ilişkiler, sağlıklı bir şekilde analiz edilmelidir. Ancak uygulamalarda, meydana gelen depremlerin büyüklüğü ile gelişen heyelan sayısı ve dağılımı, heyelan türü, etkilenecek yer ve insan sayısı gibi sorulara yanıt vermek, çoğu kez gözardı edilmekte ve uygulamalarda dikkate alınamamaktadır. Oysa, özellikle heyelan en-

vanterlerinde, eğer depremler tarafından tetiklenen bir heyelan veya heyelan grubu varsa, bu özellikler mutlaka veri tabanında yansıtılmalıdır.

Keefer (1984), dünyadaki 40 adet büyük depremin neden olduğu ve tetiklediği heyelanları dikkate aldığı çalışmada, farklı deprem büyüklüklerinin yol açtığı olası duraysızlık türlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (**Çizelge 5.6**).

Çizelge 5.6. Deprem büyüklüğü-heyelan türü ilişkisi (Keefer, 1984).

En küçük M_L *	Heyelan türü
4.0	Kaya düşmesi, kaya kayması, toprak düşmesi, parçalı toprak kayması
4.5	Toprak kayması ve moloz-kaya kayması
5.0	Kaya-moloz kayması, yanal yayılma, toprak akması
6.0	Kaya çığı
6.5	Toprak çığı

* Richter ölçeğinde depremin yerel büyüklüğü

Buradaki en önemli husus, depremlerin ve sonuçlarının Türkiye için günümüze değin çok önemli kayıplara yol açtığıdır. Heyelan oluşumu açısından değerlendirildiğinde ise, maalesef meydana gelen depremlerden sonra tetiklenmiş heyelanlara ilişkin sağlıklı bir veri tabanı oluşturulamamış veya bunlar kayıt altına alınmamıştır.



5.4.2. Şiddetli Yağış

Ülkemizde meydana gelen heyelanlar için yağışlar da çok önemli tetikleyici parametrelerden biridir. Yağış analizlerinin günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte daha sağlıklı bir şekilde yapılıyor olması, heyelan analizleri için kolaylaştırıcı yönde bir etkiye sahip olsa da, uygulamalarda çoğu kez göz ardı edilmesi düşündürücüdür. Bununla birlikte, heyelanlarla yağış arasında bir ilişkinin kurulması her zaman kolay bir işlem değildir. Ayrıca, yağış analizleri son derece karmaşık işlemleri gerektirmekte ve deprem konusunda da değinildiği üzere, eğer yağış tarafından tetiklenen bir heyelan varsa, bunların kayıt altına alınması gerekmektedir. Bölgesel heyelan değerlendirmelerinde ve tehlike/risk analizlerinde yağış etkisinin irdelenebilmesi, ancak yağış tarafından tetiklendiği bilinen heyelanlar varsa mümkün olabilmektedir.



Gümüşhane Şehir Geçişi Heyelen

5.4.3. İnsan Etkisi

Heyelanlarda insan etkisi, herhangi bir analiz yöntemi ile değerlendirilememektedir. Tetikleyici bir faktör olmasına karşın, insan etkisi çoğunlukla ormanlık alanların tahrip edilmesi, yol yarmalarının açılması gibi konularda ön plana çıkmakta, tekrarlayıcı bir özelliği olmadığı için de heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerinde doğrudan dikkate alınmamaktadır. Bununla birlikte bu parametre, özellikle heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerinde, heyelan oluşumunda "insan etkisi"nden çok, bu olayların "insana etkisi" şeklinde değerlendirmeye alınmaktadır.

Sonuç olarak, kılavuzun bu bölümü için bir değerlendirme yapılacak olursa, heyelan değerlendirmelerine altlık teşkil eden heyelan envanter ve parametre haritalarının sağlıklı bir şekilde hazırlanması, hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin doğru analizleri ön plana çıkmaktadır. Buradaki temel gerekçe, üretilecek herhangi bir sonuç haritasının (duyarlılık, tehlike ve risk) doğrudan bu parametreler ve envanter haritasından etkileniyor olmasıdır. Dikkate alınacak hazırlayıcı parametre gruplarından (jeolojik, topoğrafik, çevresel) en az birer adet veri grubu duyarlılık analizlerinde kullanılmalıdır. Bu parametreler, yapılan analizlere göre, yamaç eğimi, litoloji, arazi kullanımı veya bitki özellikleri, bakı ve topoğrafik yükseklik olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, eğer deprem veya yağış tarafından tetiklenen bir heyelan varsa, bunların tetikleyici parametre (deprem veya yağış) analizleri de yapılmalı ve bu heyelanlar zaman, yer gibi özellikler de gözetilerek mutlaka kayıt altına alınmalıdır.

Bu bölümle ilgili bir başka husus da, dikkate alınan parametrelerin bir CBS platformunda kullanılabilecek nitelikte olması veya bu formata dönüştürülmesidir. Bu nedenle, ön plana çıkan parametreler için önerilen, çalışılan alana ilişkin 1/25.000 ölçekli jeolojik ve topoğrafik haritalarının veya bunların sayısal formattaki halleri temin edilmelidir. Ayrıca, arazi kullanımı veya bitkilere ilişkin özellikler uzaktan algılama ürünleri ile elde edilebileceği gibi, meşcere haritalarının (basılı veya sayısal) kullanımıyla da mümkün olabilmektedir. Sözü edilen tüm parametreler, basılı haldelerse sayısallaştırılarak herhangi bir CBS platformuna aktarılmalı ve analizlere hazır hale getirilmelidir.

Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

6

HEYELAN DUYARLILIĞI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

HEYELAN DUYARLILIĞI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Heyelanlarla ilgili literatür incelendiğinde, heyelan değerlendirilmelerine yönelik çalışmaların sayısında, her geçen yıl bir artışın olduğu söylenebilir. Özellikle son 15-20 yıl içinde, bilgisayar, CBS ve UA teknolojilerindeki gelişmelerin, bu artışta önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri, günümüzde sözü edilen bilgisayar, CBS ve UA teknolojilerinden yararlanılarak yapılmakta ve kullanıcılara sunulmaktadır (Fell vd., 2008a ve b; Van Westen vd., 2008). Bu bölümde, heyelan değerlendirme yöntemlerinden biri olan heyelan duyarlılığı üzerinde durulacaktır.

Heyelan duyarlılığı kavramı, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametreler gibi hazırlayıcı parametrelerin dikkate alınarak, gelecekte heyelan gelişmesi olası alanların göreceli olarak sınıflandırılması şeklinde tanımlanmaktadır (Varnes, 1984; Aleotti ve Chowdhury, 1999; Fell vd. 2008a; Van Westen vd., 2008). Bu tanım aynı zamanda, var olan veya gelecekte meydana gelmesi olası heyelanların yeri, alansal yayılım veya büyüklüğü ve mekansal dağılımının belirlenmesini de içermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bir heyelan duyarlılık çalışmasının, heyelanların gelecekte nerede, hangi türde ve hangi koşullar altında oluşacağı sorularına yanıt verir nitelikte olması gerekmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Bu sorulara doğru yanıtların verilebilmesi ve heyelan duyarlılığının sağlıklı bir şekilde değerlendirildiği haritaların üretilmesi,

- Çalışmanın amacı (arazi kullanımı, planlama, zarar azaltma vb.)
- Çalışmanın ölçeği (ulusal, bölgesel, yerel, detaylı vb.) Mevcut veya erişilebilecek veri,
- Zaman ve mali koşullar,
- Heyelan tür ve özellikleri

gibi faktörlerden etkilenmektedir. Değinilen bu faktörlerin etkisi zaman zaman değişse de, heyelan duyarlılık haritalarının kalitesini ve üretilebilirliğini doğrudan etkilemektedirler. Ayrıca, **heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yapılan tüm analizlerin dayandığı iki temel varsayım mevcuttur. Bunlar;**

- **Geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır (geçmişte ve bugün heyelana maruz kalmış alanlar, gelecekte de heyelana maruz kalabilirler, heyelan envanteri temel unsurdur),**
- **Geçmişte ve bugün, heyelanların oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametreler (jeolojik, topoğrafik, çevresel), gelecekte de benzer koşullarda heyelan oluşumuna neden olabilirler (heyelan parametreleri temel unsurdur).**

şeklinde değerlendirilmektedir (Guzzetti vd., 1999; Guzzetti vd., 2000; Soeters ve Van Westen, 1996; Aleotti ve Chowdhury, 1999; Ayalew vd., 2004; Van Westen vd., 2008).

Yukarıda değinilen hususlar gözeticilerle heyelan duyarlılık değerlendirmeleri birbirinden farklı birçok yöntemle yapılabilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler, **niteliksel** ve **niceliksel** yöntemler olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Guzzetti vd., 1999; Fell vd., 2008a; Kanungo vd., 2009). **Niteliksel yöntemler**, araştırmacıların doğrudan saha gözlemlerine ve tecrübelerine/bilgilerine dayanan yöntemleri içermekteyken, **niceliksel yöntemler**, çoğunlukla CBS tabanlı veri grupları kullanılarak bilgisayar destekli ve veriye dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, niteliksel yöntemlerin genelde kişisel bilgi ve tecrübeye dayanan öznel yöntemleri kapsadığı, niceliksel yöntemlerin ise, veriye dayalı daha nesnel uygulamaları içerdiği söylenebilir (Van Den Eeckhout vd., 2012). Bununla birlikte, konvansiyonel olarak kabul edilen bir heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemi de bulunmamaktadır.

Bu bölümde değinilecek tüm yöntemler (jeomorfolojik analizler hariç), CBS tabanlı orta ve bölgesel ölçekli analiz yöntemleri olup, haritalama yöntemi açısından uygun haritalama biriminin seçilmesini gerektirmektedir. Haritalama birimi, yer yüzeyi üzerinde tanımlanabilir sınırları olan ve komşu birimlerden kendine özgü yerel özellikleri ile ayırt edilebilen homojen arazi birimleri olarak tanımlanmaktadır (Hansen, 1984). Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde grid hücreleri (pikseller) topoğrafik/jeomorfolojik birimler, havza/alt havza gibi alansal birimler gibi haritalama birimleri kullanılmaktadır (Guzzetti vd., 1999). Sözü edilen haritalama birimleri çalışmaların amaçları ve kullanılan yöntemleri doğrultusunda değişim gösterse de, literatürde en çok tercih edilen haritalama birimi piksel tabanlı grid hücreleri olup, kılavuz kapsamında yapılan çalışmalarda da, bu haritalama birimi temel alınacaktır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde basit istatistiksel analizlerden, son derece karmaşık matematiksel modellemelerin de kullanıldığı yöntemlere kadar değişen (örneğin: iki değişkenli istatistiksel analizler, lojistik regresyon, esnek hesaplama yöntemleri gibi) birçok yöntem mevcuttur (Van Westen vd., 2008). Kılavuzun hazırlanmasında yapılan literatür araştırmalarında, kullanılan tüm yöntemlere değinmekten ziyade, araştırmacıların bilimsel çalışmalarda çoğunlukla kullandıkları ve ön plana çıkan yöntemlere aşağıda ayrıntıları ile değinilmiştir.

6.1. Jeomorfolojik Analizler

Jeomorfolojik analizler, niteliksel yöntemler içinde değerlendirilmekte olup, çoğunlukla hava fotoğrafı yorumlamaları ile saha çalışmaları sırasında elde edilen bilgilere dayanarak yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu yöntemde haritalamayı yapan araştırmacı heyelan oluşumu ile ilgili olduğunu düşündüğü parametreleri, deneyim ve bilgisi dahilinde derleyip, potansiyel olarak duraysız olabilecek alanları doğrudan haritalamaktadır. Bu tür haritalamalar, 1980'li yılların sonuna kadar sıklıkla kullanılmıştır (Kienholz, 1978; Malgot ve Mahr, 1979; Ives ve Messerli, 1981; Varnes, 1984; Rupke vd., 1988). Bu yöntemin en önemli sınırlamaları, tamamıyla tecrübeye dayalı ve öznel bir yöntem olması, verilerin güncellenememesi, yöntemin kesin ve net kurallarla ifade edilememesi olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, diğer yöntemlere oranla, hemen hemen her türlü ölçekte uygulanabilir olması, jeomorfolojik analizlerin en önemli üstünlüğü olarak değerlendirilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

6.2. İstatistiksel Analizler

Niteliksel yöntemler altında değerlendirilen istatistiksel analizler, heyelanlar gibi karmaşık sistemlerin ve çoğunlukla birden fazla nedenden ötürü meydana gelen olayların çözümlenmesinde, sıklıkla kullanılmaktadır (Guzzetti vd., 2000). Bu tür analizlerde geçmişte meydana gelmiş olan heyelanlara neden olduğu düşünülen parametreler, istatistiksel olarak değerlendirilmekte ve CBS tabanlı platformlarda sayısal olarak ifade edilebilmektedirler. Jeomorfolojik analizlerin tersine, veriye dayalı ve nesnel yöntemler içinde değerlendirilen istatistiksel analizler, iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel analizler olmak üzere iki ana grupta incelenmekte olup, ayrıntılarına izleyen bölümlerde değinilmiştir.

6.2.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler

İki değişkenli istatistiksel analizlerde temel hedef, dikkate alınan jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametreler ile heyelan yerleri arasında ilişkilerin kurulması ve parametrelerin ağırlıklı değerlerinin belirlenmesidir. Belirlenen ağırlıklı parametre haritaları, daha sonra CBS ortamında bir araya getirilerek, heyelan duyarlılık haritaları oluşturulabilmektedir (Van Westen, 1993; Süzen ve Doyuran, 2004). Yöntemde öncelikle parametrelerin CBS ortamına aktarılması ve heyelan yerleriyle ilişki-

lendirilerek, heyelan yoğunluğunun ve ağırlıklı değerlerin belirlenmesi şeklinde bir yol izlenmektedir. Daha sonra, ağırlıklı değerler farklı parametre haritalarına atanarak, sonuç duyarlılık haritaları üretilebilmektedir. Buradaki en önemli unsurlardan biri, heyelan duyarlılığında etkin olabilecek parametrelerin seçimi ve bunların uygun alt sınıflar altında gruplandırılmasıdır. Analiz edilen parametreler ile heyelan yerleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan ve basit hesaplamalara dayanan İstatistiksel İndeks (Van Westen, 1997) ve Frekans Oranı (Lee ve Talib, 2005) yöntemleri bulunmaktadır.

İstatistiksel İndeks yöntemi, herhangi bir parametre grubunun heyelan yerleriyle ilişkilendirilerek, W_i (ağırlık değeri) değerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. W_i değeri, ilgili parametre ve alt gruplardaki heyelan yoğunluğunun, dikkate alınan toplam alandaki heyelan yoğunluğuna oranının doğal logaritması olarak tanımlanmaktadır (Van Westen, 1997) (Eş.6.1):

$$W_i = \ln\left(\frac{N_{pix}(S_i) / N_{pix}(N_i)}{(\sum N_{pix}(S_i) / \sum N_{pix}(N_i))}\right)$$

Eş.6.1

Bu eşitlikle W_i , parametre alt grubunun heyelan oluşumundaki etkisini, $N_{pix}(S_i)$, parametre alt grubundaki heyelanlı piksel sayısını; $N_{pix}(N_i)$, parametre alt grubunun piksel sayısını ifade etmektedir. Bu eşitlik, yoğunluk ifadelerini temel alan ve heyelan oluşumunda her bir parametre etkisinin değerlendirilebileceği bir ağırlıklı değer (Wi) hesaplamasını temel almaktadır. W_i değerinin pozitif olması heyelan oluşumu ile ilgili parametrik grubun göreceli olarak daha etkin olduğunu ifade etmekten, negatif değerler ise bu etkinin daha az olduğu anlamına gelmektedir (Van Westen, 1997). Oluşturulan parametre haritaları ve alt gruplarının piksel sayıları ile bunların heyelanlı piksellerdeki dağılımları herhangi bir CBS yazılımı ile belirlenebilmektedir. Her bir parametre ve alt grubu için hesaplanan W_i değerleri ilgili parametreye atanarak, yine CBS ortamında üst üste getirme (overlay) işlemiyle heyelan duyarlılığı belirlenmektedir.

Lee ve Talib (2005) tarafından önerilen Frekans Oranı (FR) yöntemi de, İstatistiksel İndeks yöntemi gibi yoğunluk analizlerine dayanmaktadır. Bu yöntemde, dikkate alınacak parametreler CBS platformuna aktarıldıktan sonra, heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilerek, yoğunluk analizleri yapılmaktadır. Frekans oranı kavramının temelini, Eş.6.2'de verilen ve herbir parametre alt grubu için hesaplanan a ve b katsayıları oluşturmaktadır:

HEYELAN DUYARLILIĞI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

$$FR = a/b$$

Eş.6.2

Bu eşitlikte FR, frekans oranı; a katsayısı, parametre alt grubundaki heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısına oranına; b katsayısı ise, parametre alt grubunun dikkate alınan alandaki piksel sayısının, dikkate alınan alandaki toplam piksel sayısına oranına karşılık gelmektedir. Bu yöntemde, 1 değerinden büyük olan FR değerlerinin, göreceli olarak heyelan oluşumunda daha etkin olduğu, 1 değerinden küçük FR değerlerinin ise, heyelan oluşumunda daha az etkiye sahip olduğu belirtilmektedir (Lee ve Talib, 2005). Dikkate alınan her bir parametre alt grubu için hesaplanan FR değerleri, ilgili parametrelere atanarak, CBS ortamında çalıştırılmaktadır. Bu işlem için, dikkate alınan ve FR değerleri atanmış parametreler, CBS ortamında toplanarak, LS (landslide susceptibility) değerleri elde edilmektedir (Lee ve Talib, 2005) (**Eş.6.3**):

$$LS = \sum FR$$

Eş.6.3

Bu eşitlikte LS heyelan duyarlılığını $\sum FR$ ise, dikkate alınan alandaki her bir piksel için hesaplanan FR değerlerinin matematiksel toplamına karşılık gelmektedir.

6.2.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler

İki değişkenli istatistiksel analizlerde, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametreler sınıflandırılarak ve heyelan yoğunluk değerleri temel alınarak ağırlık değerleri atanmaktadır. Çok değişkenli istatistiksel analizlerde ise hesaplamalar daha karmaşık bir yapıdadır. Çok değişkenli istatistiksel analizlerde, araştırmacıların üzerinde yoğunlaştığı yöntemler faktör analizi, diskriminant analizi ve lojistik regresyon modelleridir. İzleyen bölümlerde bu yöntemlerin ayrıntılarına değinilmiştir.

6.2.2.1. Faktör Analizi

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan faktör analizi, birbiri ile ilişkili çok sayıdaki değişkeni, daha az sayıda ve anlamlı olan ve birbirinden bağımsız yeni veri yapılarına dönüştürmek ve değişkenleri sınıflandırarak ortak faktörleri oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, p değişkenli bir olayda (örneğin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde), birbiri ile ilişkili parametreleri (örneğin: yamaç eğimi, ara-

zi kullanımı, bakı, litoloji gibi) bir araya getirerek, daha az sayıda, ancak birbiriyle ilişkili yeni değişkenler bulmayı amaçlayan boyut indirgeme ve bağımlılık yapısını yok eden bir yöntemdir (Tatlidil, 2002).

Faktör analizleri varyans-kovaryans veya korelasyon matrisleri kullanılarak birbirlerinden bağımsız homojen grupların (yeni parametrelerin) oluşturulması ile gerçekleştirilmektedir. Eğer ham veri matrisleri kullanılıyor ise varyans-kovaryans matrisleri, standartlaştırılmış ve normalize edilmiş veriler dikkate alınıyorsa, korelasyon matrislerinden yararlanılmaktadır (Tatlidil, 2002).

Faktör analizi modeli, z_j değişkenleri ile f_1, f_2, \dots, f_m ortak faktörleri arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal bir model olup genel olarak **Eş.6.4**'teki biçimde ifade edilmektedir:

$$z_j = a_{1j}f_1 + a_{2j}f_2 + \dots + a_{mj}f_m + b_j u_j \quad j = 1, 2, \dots, p$$

Eş.6.4

Bu eşitlikte, z_j , hipotetik çıkarım veya hipotetik değişken; $a_{j'}$ j 'inci değişkenin m 'inci faktör üzerindeki ağırlığı; u_j özel veya artık faktörü; b_j ise, u_j değişkenine ilişkin katsayısı temsil etmektedir (Tatlidil, 2002).

Faktör analizleri, bazı CBS yazılımlarında bulunan istatistiksel modüller yardımı ile gerçekleştirilebilmekteyken, harici olarak istatistiksel yazılımlarda (SPSS, S-tatgraf, S-Plus vb.) bu analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Faktör analizlerinde öncelikle, veri setinin faktör analizi için uygunluğu değerlendirilmekte, daha sonra anlamlı faktörler elde edilmekte ve en son aşamada ise faktör ağırlık değerleri elde edilmektedir. Elde edilen her bir ağırlık değeri, ilgili parametre ile çarpılıp, tüm değerler toplanarak bir eşitlik elde edilmektedir. Örneğin, beş adet parametrenin (yamaç eğimi, YE; bakı, BK; nemlilik indeksi, Ni; topoğrafik yükseklik, TY; drenaja yakınlık, DY) dikkate alınacak bir çalışmada elde edilecek heyelan duyarlılığı eşitliği, **Eş.6.5**'teki gibi olacaktır:

$$f_{HD} = (0,41 YE) + (0,18 BK) - (0,02 Ni) + (0,19 TY) - (0,03 DY) \quad \text{Eq.6.5}$$

Bu eşitlikte f_{HD} , heyelan duyarlılığını sayısal olarak ifade etmektedir. **Eş.6.5**'deki pozitif katsayılar, ilgili parametrenin (örneğin YE, BK, TY) heyelan oluşumunda daha etkin olduğunu ifade etmekteyken, negatif katsayılar (örneğin Ni, DY) heyelan oluşumunda bu parametrelerin göreceli olarak etkilerinin daha az olduğu anlamına gelmektedir. Elde edilen eşitlik yardımıyla, her bir piksel için dikkate alınacak parametreler ve ağırlık katsayıları CBS platformunda çarpılıp toplanarak, heyelan duyarlılığı sayısal olarak elde edilmektedir.

6.2.2.2. Diskriminant Analizi

Diskriminant analizi, kategorik bağımlı değişkenler ve sayısal bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri tahmin etmeyi amaçlayan çok değişkenli istatistiksel analizlerden birisidir. Bu analiz, örneklem gruplarının ayırtlanabilen doğrusal bir fonksiyonu olan yeni değişkenler belirlemektedir. Diskriminant analizlerde öncelikle bir verinin hangi değişken grubuna gireceğine karar verilmesi ve verilerin gruplara ayrılması, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin dağılımlarının tespit edilerek, birbirleriyle uyumluluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra, etkin olan ve etkin olmayan parametrelerin belirlenmesi ve verilerin tahmin edildiği gibi sınıflanıp sınıflanmadığı test edilmektedir. Diskriminant analizlerde, herhangi bir yanlış sınıflama olasılığının ortadan kaldırılması için, değişkenlerin çoklu normal dağılıma sahip olmaları, tüm gruplar için kovaryans matrislerinin eşit olması ve bağımsız değişkenler arasında, çoklu doğrusal bağlantı problemlerinin olmaması gerekmektedir (Tatlıdil, 2002).

Diskriminant analizlerde amaç, çok değişkenli bir problemin (örneğin: heyelan oluşumu) tek değişkenli biçime dönüştürülmesi ve tüm değişkenlerin uygun aralıklarda ifade edildiği tek bir fonksiyonun elde edilmesidir (**Eş.6.6**):

$$Y_i = a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \dots + a_p x_{ip} \quad \text{Eş.6.6}$$

Bu eşitlikte x_1, x_2, \dots, x_p , dikkate alınan değişkenleri; a_1, a_2, \dots, a_p ise, bu değişkenlere ilişkin ağırlıkları ifade etmektedir. Bu fonksiyonun belirlenmesi için gruplar arası varyansın, grup için varyansına oranının maksimum düzeyde olması gerekmektedir.

Heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan (Guzzetti vd., 1999; Guzzetti vd., 2000; He vd., 2012) diskriminant analizlerinde, çalışılacak alanlarda sırasıyla 1 ve 0 değerlerinin atandığı heyelanlı ve heyelansız piksellerin, dikkate alınan verilerle veri tabanının oluşturulması, ilk aşamayı oluşturmaktadır. Veri setleri oluşturulduktan sonra, veri setlerinin diskriminant analizlerine uygunluğunun test edilmesi gerekmektedir. Bunun için veri setinin çok değişkenli normal dağılıma uyması, değişkenlerin kovaryans matrislerinin eşit olması, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı problemlerinin olmaması gerekmektedir. Bu analizlerden sonra, diskriminant fonksiyonunun önemini belirleyen kanonikkorelasyon değerleri ve öz değerler hesaplan-

malıdır. Veri setinde etkisi olmayan veya çok düşük etkiye sahip değişkenlerin ayıklanması amacı ile analizler aşamalı olarak gerçekleştirilmelidir (Tatlıdil, 2002). Bu işlemlerin yapılabilmesi için bazı CBS platformları veya istatistiksel yazılımlar kullanılmaktadır.

Daha sonra, faktör analizlerinde de belirtildiği şekilde (**Eş. 6.6**) bir eşitlik elde edilerek, her bir piksel için heyelan duyarlılığı hesaplanmakta ve kullanıcılara sunulmaktadır.

6.2.2.3. Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon yöntemi, özellikle son yıllarda literatürde sıklıkla kullanılan (Lee vd., 2007; Bai vd., 2010; Mancini, 2010; Pradhan, 2010) bir yöntemdir. Lojistik regresyon yönteminde; bağımlı değişkenin, kategorik olduğu ve bağımsız değişkenlerle neden-sonuç ilişkisini belirlemekte kullanılan bir yöntemdir. Diğer bir deyişle, seçilen parametrelere göre bağımlı değişkenin beklenen değerlerinin, olasılık olarak elde edildiği sınıflama ve atama işlemi yapmaya yarayan bir regresyon yöntemi olarak da değerlendirilebilir. Bu analizde, bağımlı değişken üzerinde açıklayıcı değişkenlerin etkileri, olasılık değerleri olarak hesaplanmaktadır. Lojistik regresyon yönteminin en önemli özelliği, faktör analizi veya diskriminant analizlerde yapılan varsayımlardan (normal dağılıma uyma) bağımsız olarak, bağımlı değişkenlerin tahmini olasılık değerlerinin doğrudan hesaplanmasını sağlayan bir yöntem olmasıdır. Yöntemde, binom regresyonu dikkate alınmakta olup, hesaplanan olasılık değerleri **Eş.6.7**'de ifade edilmiştir:

$$P(y=1/X) = \frac{e^{-\sum \beta_j X_j}}{1 + e^{-\sum \beta_j X_j}} \quad \text{Eş.6.7}$$

Bu eşitlikte P, bağımlı değişkenin 1 olma olasılığı (örneğin heyelanlı alanlardaki piksellerin 1, heyelan olmayan alanlarda 0 olarak kabul edilmesi); X, bağımsız değişkenler (örneğin jeolojik, topoğrafik, çevresel parametreler) ($X = X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$) ve B, parametre ağırlık katsayılarıdır ($B = b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$). Bu eşitliği doğrusallaştırmak ve sonsuza giden değerlerden kurtarmak için, Eş.6.8'de verilen işlem uygulanmaktadır:

$$P' = L_n(P/(1-P)) = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad \text{Eş.6.8}$$

Heyelan duyarlılık uygulamalarındaki lojistik regresyon kullanımında, CBS ve istatistiksel yazılımlardan yararlanılmakta, bağımlı değişken olarak adlandırılan heyelanlı pikseller 1, heyelan olmayan piksellere ise 0 değeri atanarak, parametrik ilişkilendirmeler yapılmaktadır.

6.3. Jeoteknik Yaklaşımlar

Jeoteknik yaklaşımlar temelde, heyelan değerlendirme açısından kullanılan en eski yöntem olarak değerlendirilebilir. Yöntemin sağlıklı bir şekilde uygulanması güvenilir ve temsil edici bir jeoteknik veri tabanı, duraysızlık modelinin doğru seçimi ve dolayısıyla analiz yönteminin sağlıklı bir şekilde seçilmesine bağlıdır. Yöntemin, orta ve bölgesel ölçekli kullanımında, önemli oranda belirsizlikleri olması ve temsil edici veriye ulaşılması/üretilmesi son derece güç bir işlem olduğundan, hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Deterministik ve olasılığa dayalı çözümler üreten jeoteknik yaklaşım analizleri, CBS teknolojisinin gelişimiyle yaygın bir kullanım alanı bulmuş olsa da, yöntemin uygulanabilirliği çalışılan alanın jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin homojen olması ile sınırlıdır. Deterministik analizler, güvenlik katsayısı hesaplanmasına dayanmakta olup, güvenilir ve temsil edici veri sağlanması durumunda heyelan duyarlılığından çok, heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde önemli yarar sağlamaktadır. Bu tür çalışmalarda, farklı tetikleyici etken ve parametre değişim değerleri kullanılarak, CBS platformunda güvenlik katsayısı hesaplamaları yapılabilmektedir. Olasılığa dayalı yaklaşımda ise, özellikle belirsizliklerin tanımlanması ve değerlendirilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem, jeolojik malzemelerin doğrusal davranış gösterdiği, diğer bir deyişle, normal dağılıma uygun olduğunda, son derece sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, heyelanlar gibi karmaşık yapıda olan ve farklı parametrelerin etkin olduğu çözümlenmelerde, olasılık yaklaşımının kullanılması, ancak belirsizliklerin çok iyi tanımlanabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, yöntemin kullanılabilirliği daha çok tetikleyici parametre analizlerinde ve heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde etkin çözümler sağlamaktadır.

6.4. Esnek Hesaplama Yöntemleri

Esnek hesaplama yöntemleri de, heyelan duyarlılık haritalarında özellikle son yıllarda sıklıkla kullanılan yöntemler arasındadır. Heyelan oluşumu gibi karmaşık sistemlerin çözümünde, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar gibi yapay zeka kavramı altındada değerlendirilebilecek yöntemler, sağlıklı ve güvenilir sonuçlar üretebilmektedir. Çoğunlukla insan beyninin çalışma prensiplerine dayanan bu yöntemler, doğrusal olmayan davranışların (örneğin: heyelan gibi) çözümlenmesinde ve parametrik ilişkilerin değerlendirilmesinde önemli kazanımlar getirmektedir. Ancak, yüksek oranda bilgi ve kullanım tecrübesi gerektirdiği de unutulmamalıdır.

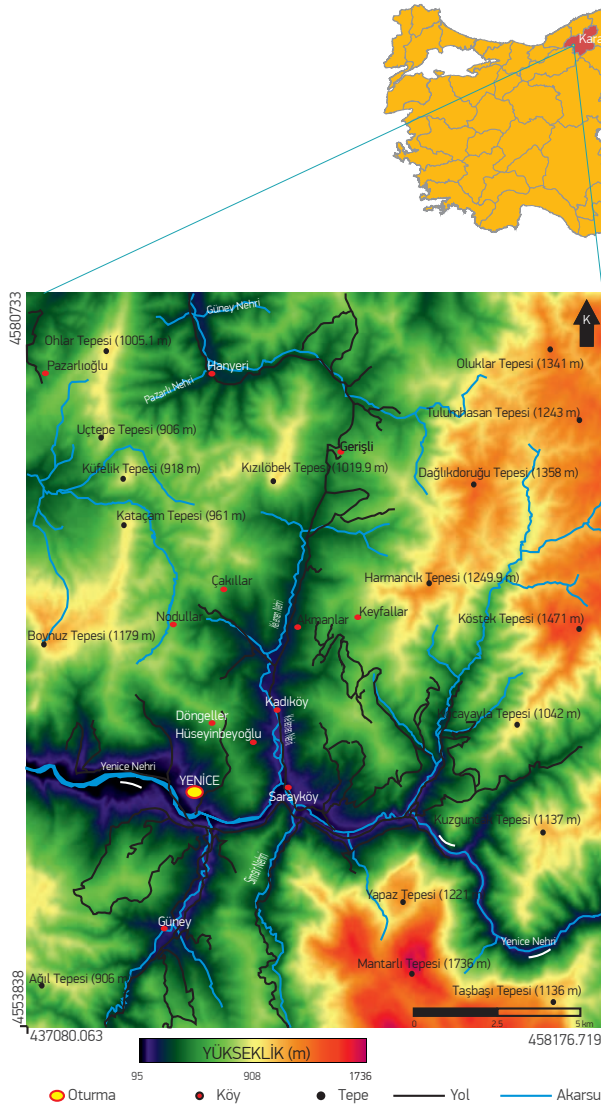
6.5. Örnek Uygulama

Kılavuzun bu bölümünde, yukarıda değerlendirilen yöntemlerden Frekans Oranı yöntemi temel alınarak, bir alandaki heyelan duyarlılığının ne şekilde değerlendirilebileceği üzerinde durulacaktır. Bu yöntemin seçilmesinin nedeni, diğer yöntemlerden uygulama açısından daha basit ve yalın bir yöntem olması ile literatürde sıklıkla kullanılıyor ve sağlıklı sonuçlar veriyor olmasıdır (Ercanoğlu vd., 2008; Yılmaz, 2009). Ayrıca, temel istatistik ve CBS bilgisi ile her alanda uygulanabilir bir özellikte olması da, diğer bir tercih nedenidir.

6.5.1. Uygulama Yeri

Frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesine yönelik uygulamada pilot uygulama alanı olarak, Türkiye'de heyelanların en sık yaşandığı yerleşim birimlerinden biri olan Karabük ilinin Yenice ilçesi ve civarı seçilmiştir (**Şekil 6.1**). Bu alanda kullanılan veriler Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012) tarafından yapılan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 108Y034 no.'lu projeden üretilmiştir. Seçilen alan 567 km²'lik bir alansal yayılıma sahip olup, Karabük ilinin batısında yer almaktadır. Bölgede günümüze değin çok sayıda heyelan meydana gelmiş ve bu heyelanlar sonucunda önemli kayıplar oluşmuştur. Bu nedenle, seçilen alanda öncelikli olarak meydana gelmiş heyelanlara ilişkin envanter çalışmaları yapılmıştır. Heyelan envanter haritalamasında ön değerlendirmeler için, HGK (Harita Genel Komutanlığı)'ndan alınan hava fotoğrafları ile Mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Veri Tabanı arşivlerinden yararlanılmıştır. Daha sonra, bölgede yapılan ayrıntılı bir saha çalışması ile heyelan yerleri haritalanmıştır (**Şekil 6.2**). Sahada 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde haritalanan heyelan yerleri, sayısallaştırma işlemi ile CBS platformuna aktarılmıştır. Bu işlem yapılırken her bir heyelan için standart bir heyelan envanter formu doldurulmuş ve bu özellikler heyelan yerleri ilişkilendirilerek bir veri tabanında saklanmıştır. **Şekil 6.2**'den görüleceği üzere, heyelanlar sadece Üst Kreteze yaşlı Ulus formasyonu içinde gelişmiştir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık analizlerinde litoloji parametresi bir girdi parametresi olarak dikkate alınmamıştır.

Şekil 6.1. Uygulamanın gerçekleştirildiği alan (Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012).



Şekil 6.2. Bölgede haritalanan heyelanlar ve litolojik özellikleri (Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012).



HEYELAN DUYARLILIĞI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

6.5.2. Veri Hazırlama

Söz konusu alan için heyelan duyarlılığının CBS ortamında değerlendirilebilmesi için, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametreler, mevcut koşullar dahilinde üretilmiştir. Dikkate alınan parametreler ve veri kaynakları **Çizelge 6.1**'de sunulmuştur.

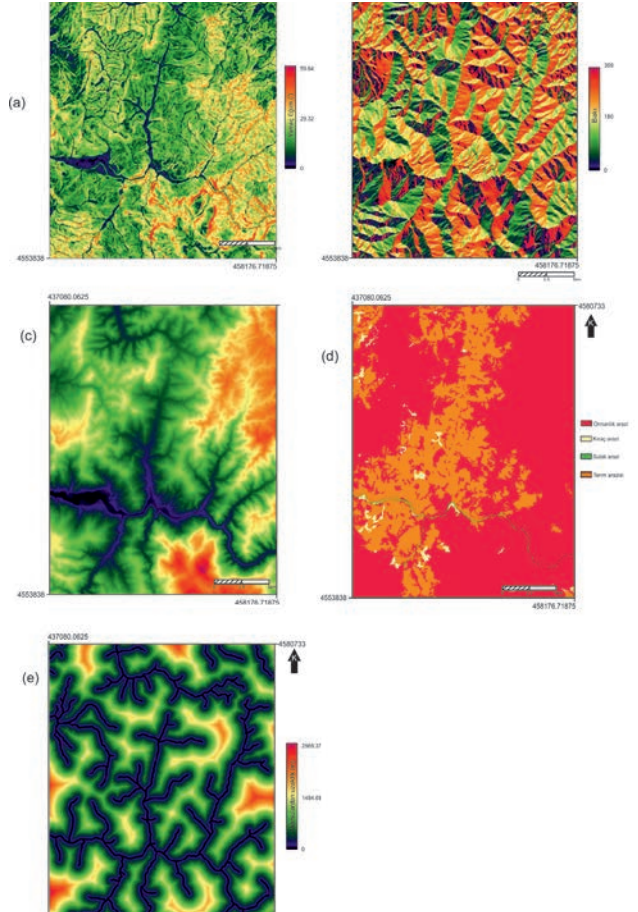
Çizelge 6.1. Uygulama için dikkate alınan parametreler (Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012).

Parametre	Veri Kaynağı	Açıklama
Arazi kullanımı	Orman ve Su İşleri Bakanlığı	Vektörel veri
Topoğrafik yükseklik	Harita Genel Komutanlığı	Vektörel veri, SYM'ne dönüştürülmüştür.
Yamaç eğimi	Sayısal Yüksekli Modeli (SYM)	SYM'den türetilmiştir.
Baki	Sayısal Yüksekli Modeli (SYM)	SYM'den türetilmiştir.
Drenaja yakınlık	Sayısal Yüksekli Modeli (SYM) ve Topoğrafik Harita	SYM ve topoğrafik haritadan sayısallaştırma ile üretilmiştir
Heyelan yerleri	Hava Fotoğrafı Yorumlamaları, Heyelan Arşivi, Saha Çalışmaları	Vektörel veri

Bu parametreler seçilirken kılavuz kapsamında yapılan ve parametrik değerlendirmelerin yapıldığı **Çizelge 5.5**'de sunulan parametrelere öncelik verilmiştir. Bölgedeki heyelanlar tek bir litolojide geliştiği için, litoloji parametresi bir girdi parametresi olarak dikkate alınmamıştır.

Analizler, raster (hüresel) dosyalar üzerinde yapılacağından, eldeki tüm vektörel veriler, raster formatına dönüştürülmüştür. Bu işlemler yapılırken, dosya özelliklerinin (satır, sütun, koordinat, datum gibi) aynı olmasına özen gösterilmiştir. Bu işlemlerin hepsi, herhangi bir CBS platformunda yapılabilmekte olup, Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012) Idrisi Selva yazılımını kullanmışlardır. Dikkate alınan parametreler **Şekil 6.3**'de sunulmuştur.

Şekil 6.3. Uygulama alanında kullanılan parametreler ve özellikleri: a) yamaç eğimi; b) baki; c) topoğrafik yükseklik; d) arazi kullanımı ve e) drenaja yakınlık (Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012).

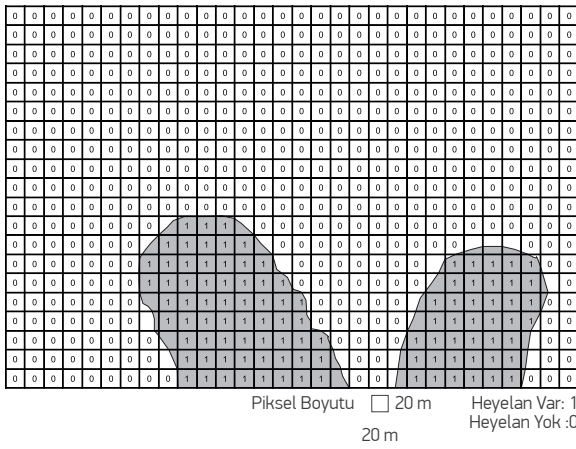


Dikkate alınan parametreler içinde yamaç eğimi, baki ve topoğrafik yükseklik doğrudan SYM ile ilişkili olup, HGK'dan alınan topoğrafik harita bilgileri doğrultusunda elde edilen SYM'nden üretilmiştir. Arazi kullanım haritası, vektörel veri içinde bulunan veri tabanındaki kodlamalar yardımıyla raster formata dönüştürülmüştür. Drenaja yakınlık haritası ise, SYM'nden yararlanılarak ve topoğrafik haritalardaki akarsuların sayısallaştırılarak elde edilen özelliklerin, raster formata dönüştürülmesi ve tamponlama (buffer) işlemi ile gerçekleştirilmiştir.

6.5.3. Frekans Oranı Değerlerinin Hesaplanması İçin Örnek Uygulama

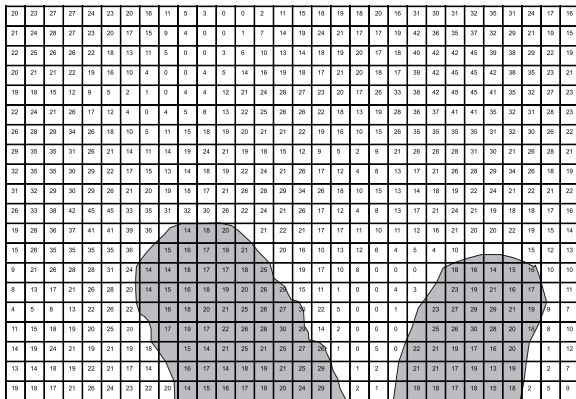
Yukarıda sözü edilen alan için heyelan duyarlılık analizlerine geçmeden önce, heyelan yerleri ve parametreler arasındaki ilişkinin ne şekilde kurulması gerektiğine ilişkin bir örnek, Lee ve Talib (2005)'in önerdiği Frekans Oranı hesaplama aşamaları dikkate alınarak, ilk olarak **Şekil 6.4** ve **Şekil 6.5**'de özetlenmiştir.

Şekil 6.4. Raster formatındaki temsili bir heyelan envanter haritası üzerinde heyelenli alanların gösterimi.



Heyelan No	Kapladığı Piksel Sayısı	Alan(m ²)
1	67	67x20x20=26.800
2	48	48x20x20=19.200
Σ Heyelanlı Piksel	115	46.000
Σ Piksel	600	240.000

Şekil 6.5. Raster formatındaki temsili bir yamaç eğim haritasında heyelanlı alanların dağılımının gösterimi.



Bu örnek uygulamadaki temel unsur, heyelan envanter haritası ile dikkate alınan parametrelere ilişkin raster görüntü dosyalarındaki görüntü özelliklerinin aynı olması gerekliliğidir. Diğer bir deyişle, görüntülerdeki, kolon, satır, X ve Y yönündeki koordinatlar (Xmin, Xmax, Ymin ve Ymax), datum ve piksel boyutları aynı olmalıdır. Bu durum, heyelan duyarlılık hesaplamalarının her bir piksel için CBS ortamında yapılacağı için gerekli olup, veri hazırlama sürecinde tamamlanmış olması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. **Şekil 6.4** incelendiğinde, temsili heyelan envanter haritasında, heyelanlı piksellere 1 değerinin, heyelan olmayan piksellere ise 0 değerinin atandığı görülmektedir. Bu örnek için dikkate alınan ve 30 kolon ve 20 satırdan oluşan toplam 600 piksellik alan için CBS ortamında yapılan değerlendirmelerde, iki adet heyelan için toplam 115 adet pikselin heyelanlı olduğu, geriye kalan 485 adet pikselde ise heyelan olmadığı görülmektedir. (**bkz. Şekil 6.4**). **Şekil 6.5**'de ise, bu örnek için dikkate alınan raster formatındaki bir yamaç eğim haritasındaki temsili yamaç eğim değerleri görülmektedir. Frekans Oranı değerlerinin hesaplanabilmesi için, dikkate alınacak her bir parametre grubu için öncelikle veri gruplarını heyelan oluşumu açısından yansıtabilecek gruplandırmaların yapılması gerekmektedir. Bu örnek uygulama gösterimi için ve sadece yamaç eğimi için yapılan gruplandırmalar ve bunların heyelanlı alanlarda ve dikkate alınan alanın tümündeki dağılımları, **Çizelge 6.2**'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.2. Temsili alanda Frekans Oranı değerlerinin hesaplanma aşamaları.

Yamaç Eğimi, YE (°)	Gruptaki Heyelanlı Piksel Sayısı	Gruptaki Toplam Piksel Sayısı	a	b	FR
0≤YE≤5	1	67	0.01	0.11	0.08
5<YE≤10	0	34	0.00	0.06	0.00
10<YE≤15	17	75	0.15	0.13	1.18
15<YE≤20	52	153	0.45	0.26	1.77
20<YE≤25	26	106	0.23	0.18	1.28
25<YE≤30	19	79	0.17	0.13	1.25
30<YE≤35	0	41	0.00	0.07	0.00
35<YE≤40	0	23	0.00	0.04	0.00
40<YE	0	22	0.00	0.04	0.00

Bu çizelgede YE, yamaç eğimine; a ve b katsayıları, **Eş. 6.2**'deki katsayılarla ve FR ise, Frekans Oranı değerlerine karşılık gelmektedir. FR değerleri hesaplanırken, örneğin 15⁰-20⁰aralığındaki parametre grubu için, öncelikle bu grubun, heyelanlı alanlardaki piksel sayısı (52 piksel) ile tüm alandaki piksel sayısı (153 piksel) belirlenmelidir. Daha sonra, belirlenen bu değerler, sırasıyla heyelanlı piksel sayısına (115 piksel) ve toplam

HEYELAN DUYARLILIĞI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

piksel (600 piksel) değerlerine bölünüp oranlanarak (a/b), FR değerleri her bir parametre alt grubu için aşağıda hesaplanmıştır:

$$FR_{15 < YE \leq 20} = [(52/115)] / [(153/600)] = 1.77$$

Diğer parametre alt gruplarındaki hesaplamalar aynı şekilde yapılarak, Çizelge 6.2'deki FR değerleri elde edilmiştir. Yamaç eğim gruplarına ilişkin FR değerleri gözetilerek bir yorumlama yapılacak olunursa, FR değeri en yüksek olan $15^{\circ} < YE \leq 20^{\circ}$ grubunun heyelan duyarlılığında göreceli olarak en yüksek katkısı olduğu, $0^{\circ} \leq YE \leq 5^{\circ}$ grubunun ise en düşük etkiye sahip olduğu görülmektedir. FR değeri 0 olan grupların ise heyelan oluşumunda herhangi bir ağırlık etkisine sahip olmadığı, bu durumun da, söz konusu gruplarda herhangi heyelanlı piksel değeri olmadığından kaynaklandığı söylenebilir. Bu işlemler, dikkate alınacak diğer parametreler ve alt grupları için de tekrarlanmalıdır.

6.5.4. Seçilen Alan İçin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

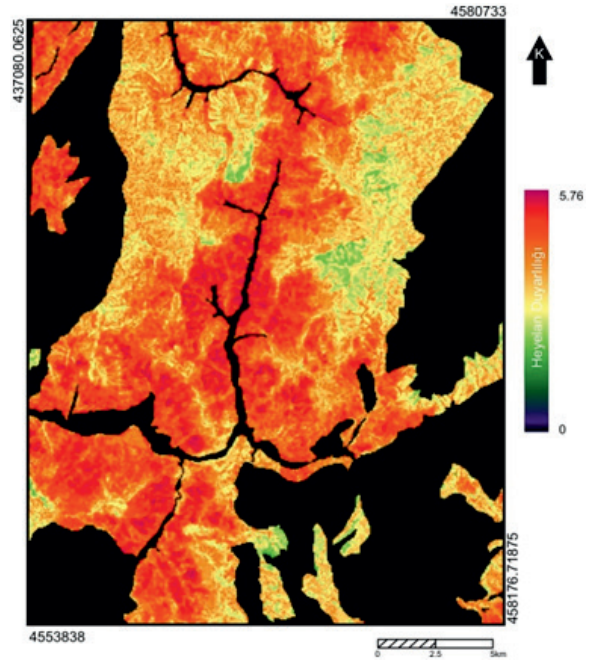
Daha önceden de değinildiği üzere, heyelan duyarlılık analizlerinin temelini, bir önceki bölümde verilen, heyelan envanter haritası ve dikkate alınan parametreler arasındaki ilişkilerin kurulması oluşturmaktadır. Oluşturulan bu ilişkiler yardımıyla, dikkate alınacak alanların heyelan duyarlılık haritaları CBS ortamında piksel bazında oluşturulabilmektedir. Uygulama alanı olarak seçilen Yenice ve civarındaki alanda, heyelan yerleri temel alınarak, parametrelerin heyelanlı ve heyelanlı alanlardaki dağılımı, piksel bazında incelenmiştir. Piksel boyutunun ne kadar olması hususunda herhangi bir standart bulunmamakla birlikte, literatürdeki genel eğilim, orta ve bölgesel çalışmalar için 15 ile 30 m arasında piksel boyutlarının seçilmesi yönündedir. Uygulamanın temel alındığı çalışmada ise bu değer 20 m olduğu için, değerlendirmeler 20 m x 20 m boyutuna sahip pikseller için yapılmıştır.

Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012)'nin çalışmalarını gerçekleştirdiği alan, 567 km²'lik bir alansal yayılıma sahip olup, 20m x 20m'lik 1.418.975 adet pikselden oluşmaktadır. Alanın yaklaşık olarak % 8.6'sı heyelanlı olup, toplam 101 adet heyelan haritalanmıştır. Bu heyelanların 86 tanesi dönel toprak kayması, 15 tanesi de toprak akması şeklinde sınıflandırılmıştır. Kılavuz kapsamında yapılan çalışmalar, 86 adet dönel kayma türündeki heyelan için geçerli olup, bu tür uygulamalar-

da farklı türdeki heyelanlar için, farklı haritaların üretilmesi gerekliliği unutulmamalıdır.

Bir önceki bölümde verilen örnek ve yöntem temel alınarak, seçilen parametreler ve alt gruplarının (bkz. Şekil 6.3) heyelanlı ve heyelanlı alanlardaki dağılımları ile a ve b katsayıları ve FR değerleri CBS ortamında hesaplanarak, ilgili parametre alt gruplarına atanmıştır. Bir sonraki aşamada ise, her bir piksel için toplam FR değerleri hesaplanmış ve heyelan duyarlılık haritası CBS ortamında üretilmiştir (Şekil 6.6).

Şekil 6.6. Uygulama alanı için FR değerlerine göre oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.



6.5.5. Üretilen Haritaların Performansı

Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında, üretilen haritaların performanslarının sınanması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, üretilen heyelan duyarlılık haritasının, mevcut heyelanlı alanları ne derecede doğru tahmin ettiğinin, dolayısıyla performansının sayısal olarak ortaya konulması belirtilmelidir. Bunun için literatürde birçok yöntem mevcut olup, bunlar çoğunlukla istatistiksel analizlere dayanmaktadır. Bu yöntemlerden, AUC (Area Under Curve), RMSE (Root Mean Square Error) gibi katsayılar kullanılmakla birlikte, kılavuz kapsamında daha basit ve temel istatistik

bilgileriyle hesaplanabilecek ve alansal hesaplamalara dayalı yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde ilk yapılması gereken, heyelan envanter haritasında heyelanlı ve heyelansız (1 ve 0) piksellerin, belirli bir oranda tüm alan içinde sistematik veya rasgele olarak seçilmesidir. Oran ve seçim yöntemi üzerinde herhangi bir standart olmayıp, literatürdeki genel eğilim, tüm alandaki piksellerden % 70 ile % 80 arasında değişen bir oranda “eğitme” verisinin rasgele seçilip, duyarlılık analizlerinin bu verilerle yapılması yönündedir. Geriye kalan ve hiçbir şekilde analizlere sokulmayan % 30 ile % 20 oranında değişen veri ile sınav veya performans değerlendirmeleri yapılabilmekte, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performansları ortaya konulabilmektedir. Kılavuz kapsamında bu oranlar sırasıyla, literatür değerlerinin ortalaması olan % 75 eğitim ve % 25 oranında sınav aşamaları için verilerin ayrılması yönündedir.

Araştırmacılar arasındaki genel eğilim, üretilen heyelan duyarlılık haritalarını, elde edilen sayısal değerler kullanılarak, heyelan duyarlılığının “çok yüksek”, “yüksek”, “orta”, “düşük” ve “çok düşük” gibi tanımlamalarla ifade edildiği gruplara ayrılması ve bu grupların sınav verilerinde ne şekilde sınıflandırıldığına ortaya konulması şeklindedir. Kılavuz kapsamında performans değerlendirmeleri için önerilen yöntem de, bu temele oturmaktadır. **Şekil 6.6**'da sunulan heyelan duyarlılık haritasında frekans oranı yöntemi ile hesaplanan ve 0 ile 5.76 arasında değişen heyelan duyarlılık değerleri, eşit aralıklı olacak şekilde “çok yüksek” ile “çok düşük” arasında değişen ve **Çizelge 6.3**'de sunulan 5 adet gruba ayrılmıştır.

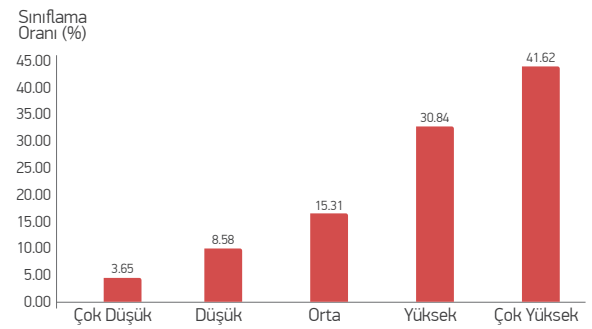
Çizelge 6.3. Heyelan duyarlılık tanımları ve sınıflandırılan piksel dağılımları.

Heyelan Duyarlılığı, HD	Duyarlılık Tanımı	Toplam Piksel Sayısı	Sınav Verilerindeki Piksel Sayısı
$0 \leq HD \leq 1.15$	Çok Düşük	430771	1115
$1.15 < HD \leq 2.30$	Düşük	326838	2618
$2.30 < HD \leq 3.45$	Orta	276278	4675
$3.45 < HD \leq 4.60$	Yüksek	234327	9415
$4.60 < HD \leq 5.60$	Çok Yüksek	150761	12707

Buradaki temel amaç, sözü edilen alanda, bir önceki bölümde değinilen duyarlılık analizlerinde hiçbir şekilde analize sokulmamış olan 354.744 adet pikselin (% 25 oranındaki sınav aşaması için kullanılacak veri grubunun), üretilen heyelan duyarlılık haritasında ne şekilde sınıflandırıldığına belirlenmesi şeklindedir. Diğer bir deyişle, dikkate alınan alanda heyelan duyarlılık

analizlerine başlamadan önce % 75 oranında eğitim (modelleme) ve % 25 oranında sınav analizleri için ayrılan verilerden, heyelan duyarlılık haritası % 75'lik veri grubu ile üretilmekte, sınav analizi ise modelleme kullanılmayan, % 25'lik veri grubu ile yapılmaktadır. Sözü edilen 354.744 adet sınav verisinin 30.530 tanesi heyelanlı olup, bu piksellerin heyelan duyarlılık grupları açısından hangi sayıda sınıflandırıldıkları **Çizelge 6.3**'ün en sağ kolonunda sunulmuştur. Bu değerlendirmelerin şekilsel gösterimi de **Şekil 6.7**'de verilmektedir.

Şekil 6.7. Heyelan duyarlılık sınıflarındaki heyelanlı piksellerin dağılım grafiği.



Bu tür bir performans değerlendirmesine göre teorik beklenti, düşük veya çok düşük heyelan duyarlılığına sahip alanlardaki oranın az, yüksek veya çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlarda ise bu oranın, yüksek olması yönündedir. Bu şekilde yapılan bir performans değerlendirmesinde, % 100 gibi bir değere ulaşmak neredeyse olanaksız olup, bu değere yakın değerlerin elde edilmesi, dikkate alınan parametreler ve üretilen heyelan duyarlılık haritasının tatmin edici sonuçlar verdiği şeklinde yorumlanabilir. Bu uygulamada, % 75 oranındaki eğitim verisi ile yapılan modelleme ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının kategorilere ayrılması ve bu modelin, analizlere sokulmayan ve %25 oranındaki sınav verisi üzerindeki performansının değerlendirilmesine göre, sınav verisindeki heyelanlı piksellerin % 72.46'sının, yüksek veya çok yüksek heyelan duyarlılığı grubunda sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu orana ilişkin, literatürde standart bir değer verilememekle birlikte, bu oranının % 60'dan fazla olması, üretilen heyelan duyarlılık haritasının tatminkar ve ortamsal koşulları yansıttığı yönünde bir değerlendirme yapılabilir.

Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

7

HEYELAN TEHLİKE VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

HEYELAN TEHLİKE VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Bu bölümde heyelan değerlendirme yöntemlerinden olan heyelan tehlike ve risk kavramları üzerinde durulacaktır. Özellikle son 20 yılda bu haritaların üretilmesi afet yönetimi açısından son derece önemli bir konuma gelmiş, yerel yönetimler, karar vericiler ve planlamacılar için bölgesel değerlendirmelerde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Heyelan tehlike ve risk kavramları ile bunların haritalanma aşamalarına, izleyen bölümlerde değinilmiştir.

7.1. Heyelan Tehlikesi

Varnes (1984)'a göre bir bölgedeki doğal tehlike, belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içerisinde, potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip bir olayın (örneğin heyelanın) oluşabilme olasılığıdır. Bu tanım, heyelan duyarlılığından farklı olarak, ortamda tekrarlanma özelliği olan bir tetikleyici etkenin (örneğin deprem, yağış gibi) olmasını ve konum, zaman ve büyüklük gibi faktörleri içermektedir. Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için heyelan duyarlılığı ile heyelan tehlikesi arasındaki geçiş sürecinin (**Şekil 7.1**) çok iyi anlaşılması ve tanımlanması gerekmektedir.

Şekil 7.1'den de görüleceği üzere, heyelan duyarlılık analizlerinde dikkate alınan hazırlayıcı (jeolojik, jeomorfolojik ve çevresel) parametreler ile tetikleyici parametreler arasındaki ilişkinin temelini, çalışılacak alanda meydana gelmesi olası değişimler oluşturmaktadır. Bunlardan zemin koşulları (örneğin litolojik özellikler gibi) sabit olup, herhangi bir tetikleyici unsur ile ilişkilendirilmemektedir (Popescu, 1994). Oysa, jeomorfolojik süreçler (örneğin erozyon, olası topoğrafik değişimler), deprem, yağış ve insan etkisi gibi doğal ve yapay süreçler ile heyelanlar tetiklenebilmektedir.

Şekil 7.1. Heyelan oluşumunda hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin ilişkisi (Popescu, 1994).

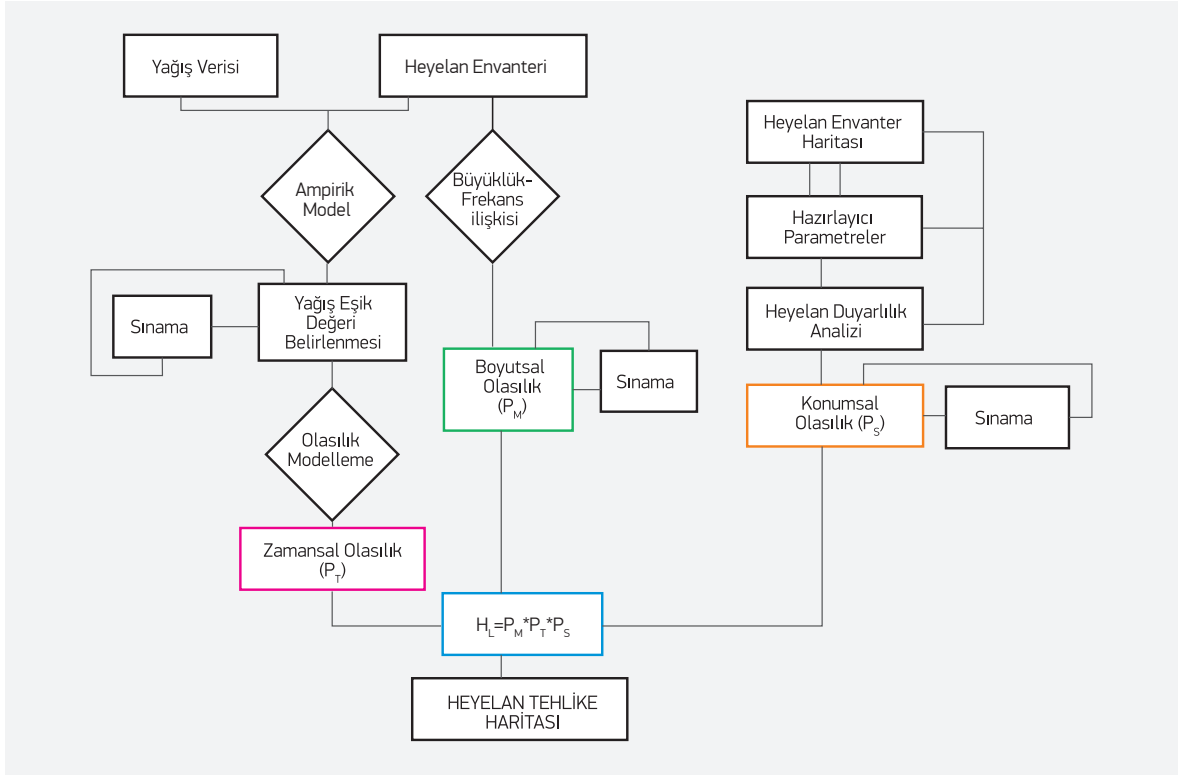


Sooters ve Van Westen (1996)'e göre güvenilir bir heyelan tehlike haritalamasında, heyelanlarla ilgili ayrıntılı bir heyelan envanter çalışması, hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin ayrıntılı analizi ve bunların alansal yayılımının gösterilmesi gereklidir. Bununla birlikte, güvenilir bir heyelan tehlike haritalamasının güç bir işlem olduğu da unutulmamalıdır. Bu durumun temel nedenleri, heyelan oluşma olasılıklarının büyük alanlarda ifade edilmesinde temsil edici veriye ulaşmanın son derece güç ve yüksek maliyetli olması şeklinde değerlendirilmektedir (Soters ve Van Westen, 1996). Ayrıca, deprem ve yağış bir tetikleyici etken ile heyelan oluşum zamanı arasında güvenilir ve yeterli bir veri tabanının bulunması gereklidir.

Hartlen ve Vieberg (1988)'e göre ise ideal bir heyelan tehlike haritasında heyelan oluşma olasılığı, türü ve büyüklüğü gibi özelliklerin yansıtılması gereklidir. Ayrıca, çalışılan bölgedeki heyelanların türü, aktivitesi ve bunların mekansal olabilirlik (duyarlılık) ve dağılımlarının sağlıklı bir şekilde tanımlanması ve bunlarla ilişkili parametrik özelliklerin net bir şekilde ortaya konulması önemlidir. Farklı türdeki duraysızlıklar farklı koşullarda oluşacağı için, sözü edilen değerlendirmelerin, duraysızlık türleri için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.

Heyelan tehlike haritalarının üretilmesi için, öncelikle heyelan envanter haritası ve hazırlayıcı parametreler kullanılarak modellenmiş ve heyelan duyarlılığının (olabilirliğinin) sayısal olarak ifade edildiği heyelan duyarlılık haritalamalarına gereksinim duyulmaktadır. Heyelan duyarlılığından, heyelan tehlikesine geçiş yapılırken, çalışılan alandaki heyelanların konumsal, zamansal ve boyutsal olasılıklarının tahmin edilmesi gerekmektedir (Guzzetti vd., 1999; Glade vd., 2005; Fell vd., 2008a; Corominas ve Moya, 2008; Van Westen vd., 2008). Heyelan duyarlılığı ile heyelan tehlikesi arasındaki temel fark, heyelan tehlikesi içinde sözü edilen konumsal, zamansal ve boyutsal olasılıkların içerilmesidir (**Şekil 7.2**).

Şekil 7.2. Heyelan tehlike haritalamasının aşamaları (Jaiswall vd., 2011)



Şekil 7.2'de yağışların tetiklediği bir heyelan tehlike haritalaması aşamaları görülmektedir. Bilindiği üzere heyelanlar depremlerle de tetiklenebilmekte, bu durumda tetikleyici etken olasılık modellemesi, depremler için yapılmalıdır. Dikkate alınan tehlike modellemesi için, üç adet olasılık hesaplaması yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla PS (konumsal olasılık; heyelan duyarlılığı temel alınmaktadır), PM (boyutsal olasılık; heyelan boyutlarını temel almaktadır), PT (zamansal olasılık; tetikleyici olayın tekrarlanma olasılığını temel almaktadır) olarak değerlendirilmekte ve heyelan tehlikesi bu üç olasılık değerinin çarpılması ile elde edilmektedir. Sayısal tehlike analizlerinde belirli bir boyuttaki heyelanın belirli bir zaman dilimi içinde tetikleyici bir etken ile oluşma olasılığı, tehlike ve risk değerlendirmeleri için temel unsurlardan birisidir.

Heyelan tehlike haritalamalarında önemli olan bir diğer husus da, heyelanların oluşum zamanlarının (tarihlerinin) bilinmesi gerekliliğidir. Bu tür verilere ulaşmak, ülkemiz koşulları da gözetildiğinde, çoğunlukla güç bir

işlemdir. Heyelan oluşum zamanlarına ilişkin sağlıklı ve güvenilir verilerin az sayıda bulunuyor olması, heyelan tehlike haritalarının üretilebilirliğini kısıtlayıcı bir etken olarak karşımıza çıkartmaktadır. Bu nedenle, en azından bundan sonraki süreçte, özellikle AFAD tarafından bu konuya gereken hassasiyetin verilmesi önerilmektedir. Heyelan tehlike haritalarının oluşturulabilmesi için heyelan yerlerinin ne zaman ve hangi koşulda tetiklendiğinin belirlenmesi bir zorunluluk olmakla birlikte, bu kayıtlara çalışılan alandaki yerel halk ile yapılan görüşmeler, yerel basın, varsa mevcut raporlar, arşivler gibi veri kaynaklarından ulaşılması, yapılacak analizlerin güvenilirliğini doğrudan etkileyecektir. Buradaki temel amaç, bir heyelan oluşumunda, eğer bir tetikleyici etken varsa, bu ilişkinin sağlıklı bir şekilde kurulması ve modellerin mümkün olduğunca en doğru şekilde yapılmasıdır. Zira, heyelan oluşum tarihlerinin belirlenmesi, heyelanların nasıl tetiklendiği hakkında bilgi vereceği gibi, tehlike haritalarının oluşturulması aşamasında da girdi oluşturması açısından önemlidir.

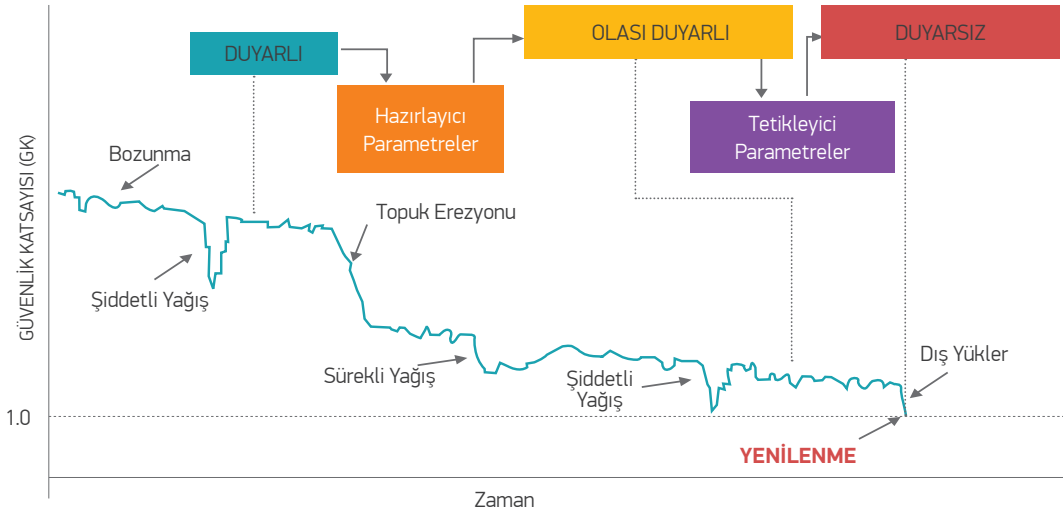
7 HEYELAN TEHLİKE VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Daha önceden de değinildiği üzere, tehlike haritalarının oluşturulmasında, bir tetikleyici unsurun olması gerekmektedir. Bu unsurun analiz edilmesi sonucunda, heyelan oluşum tarihleri arasında istatistiksel ilişkiler kurularak değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Temelde heyelan oluşumu bir duraysızlık olduğundan, güvenlik katsayısı hesaplamalarına dayalı şev duraylılığı mantığından yola çıkılarak, bir şevin nasıl ve hangi koşullarda tetiklendiği analiz edilmelidir (Şekil 7.3).

Şekil 7.3'te belirtilen ve zamanla değişimi incelenen Güvenlik Katsayısı değerinin 1'den büyük olması ($GK > 1$), söz konusu şevin duraylı olduğuna, GK değerinin 1'e eşit olması ($GK = 1$) şevin kritik olduğuna ve GK değerinin 1'den küçük olması ($GK < 1$) ise söz konusu şevde bir duraysızlık olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 7.1'de sözü edilen süreçlerle Şekil 7.3'te verilen GK -zaman ilişkisi birlikte incelendiğinde, fiziksel ve yapay/doğal süreçler ile bir şevde zaman içinde güvenlik katsayısı değerinin azalma eğilimi içinde olduğu, özellikle şiddetli yağış veya sismik ivme ile duraylı/olası duraylı bir şevin, duraysız hale geçebileceği görülmektedir.

Şekil 7.3. Bir şevdeki güvenlik katsayısı değerinin zamanla değişimi (Popescu, 1994).

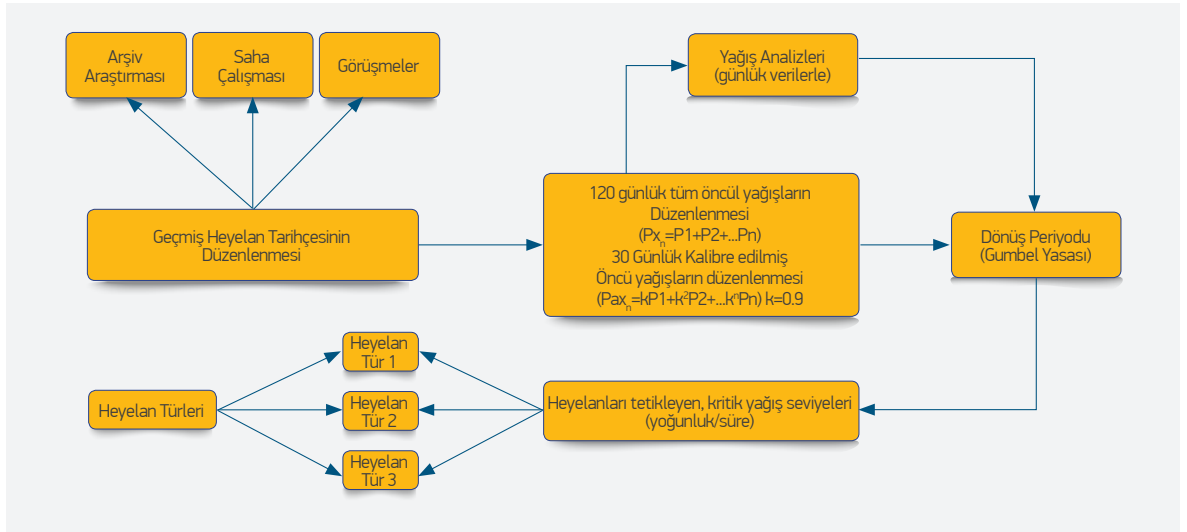


Özkürtün Karacaçukur Mahallesi Heyelanı

Heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde, literatürde genel olarak iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki, farklı zamanlara ilişkin heyelan envanter haritaları oluşturularak, çalışılacak alanda haritalama birimleri (havza, alt havza gibi) başına düşen heyelan oluşma frekanslarının hesaplanmasına dayanmaktadır (Cascini vd., 2008). Bu yaklaşımda, geçmiş dönemlere ilişkin heyelan yer bilgileri, büyük oranda hava fotoğraflarından yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. İkinci yaklaşım ise, özellikle heyelan oluşum tarihlerine ilişkin bilgiler ile bu heyelanların herhangi bir tetikleyici etken ile oluştuklarına dair güvenilir bilgiler varsa kullanılan yaklaşımdır (Martha vd., 2013). Bu yaklaşımda, çalışılacak alanda meydana gelen heyelanlara ilişkin bilgiler; arşivler, yerel halk ve basından elde edilecek

bilgiler ile de zenginleştirilebilir. Bu bilgilere ulaşıldığı takdirde, çalışılan alana ilişkin yağış ve deprem kayıtlarına ulaşılması gereklidir. Yağış ile tetiklenen heyelan bilgileri mevcutsa, ilk aşamada yapılması gereken bölgesel yağış verileri derlenerek öncül yağış analizleri ile eşik yağış değerlerinin belirlenip, heyelan oluşumu ile ilişkilendirilmesidir. Heyelan gelişmesi olası alanlarda, Gumbel Dağılımı yaklaşımı ile kritik olabilecek eşik yağış miktarı belirlenerek, yağış ile tetiklenmiş heyelan zamanları ilişkilendirilmektedir (**Şekil 7.4**). Bu aşamadan sonra, ileriye dönük farklı zamansal dönüşüm periyotları için heyelan tehlike haritaları üretilebilmektedir.

Şekil 7.4. Yağışlarla tetiklenen heyelanlar için yapılan tehlike analizlerine bir örnek (Zezere ve Rodrigues, 2002).



Buradaki en önemli unsur, heyelan oluşmadan önce meydana gelen yağışların zemini doymun hale getirecek, bu yağış eşik değerlerinin saptanması ve bu değerlerin dönüşüm periyodunun belirlenerek, zamansal olasılığının elde edilmesidir.

Eğer heyelanların depremler ile tetiklendiğine dair sağlıklı bilgiler var ise, öncelikle çalışılacak bölgenin depremselliği değerlendirilmelidir. Literatürdeki genel yaklaşım, çalışılacak alan merkez kabul edilerek, 100 km çaplı bir daire içine düşen deprem kayıtlarının elde edilmesi ve değerlendirmeye alınmasıdır. Daha sonra, Gutenberg ve Richter (1954) tarafından önerilen ve deprem büyüklüğü ile deprem sayısı arasındaki

ilişki kullanılarak, bölgenin deprem büyüklüğü-frekans ilişkisi ortaya konulmalıdır. Crovelli (2000) tarafından önerilen ve Poisson dağılımını temel alan yaklaşım ile belirli bir deprem büyüklüğüne ($M_s \geq 5.0$) sahip depremlerin oluşma olasılıkları ve tekrarlanma periyotlarının belirlenmesi gereklidir. Belirlenen tekrarlanma periyotları ile tetiklenen heyelanlar arasında istatistiksel ilişkiler kurularak, heyelan tehlike haritaları üretilebilmektedir.

7.2. Heyelan Riski

Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan risk haritalarının oluşturulması, heyelan duyarlılık ve tehlike haritalarına oranla, çok daha fazla disiplinler arası çalışmayı ve planlamayı gerektirmektedir. Bu tür haritaların sağlıklı bir şekilde oluşturulabilmesi için, yerbilimciler dışında, sosyal bilimler, şehir-bölge planlamacılar gibi farklı disiplinlerdeki uzmanların bilgilerinden de yararlanılması başarılı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Risk haritaları sonunda kayıp ve hasar tahmini, dikkate alınan koşullar (farklı senaryolar) yardımıyla modellenmekte, çalışılan alandaki nüfus, yerleşim, kritik tesis, ekonomik aktivite gibi konularda ayrıntılı bilgiye gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle literatürde, risk haritalarının sayısı, duyarlılık ve tehlike haritalarına oranla daha az sayıdadır.

Risk kavramı, farklı disiplinlerde farklı anlamlar bulmakla birlikte, heyelan açısından değerlendirildiğinde, can ve mal kaybına yol açan veya çevreye zarar veren bir olayın (heyelanın) oluşma olasılığının bir ölçüsüdür (Fell vd., 2008a). Bu kavram, tehlike, hasar görülebilirlik ve risk altındaki elemanlar kavramlarını da içermektedir. Bunlardan tehlike kavramı bir önceki bölümde açıklandığından, bu bölümde ele alınmayacaktır. Hasar görülebilirlik, heyelan riski içeren bir alandaki eleman veya eleman grubunun (örneğin insanlar, evler, kritik tesisler gibi), heyelan sonucunda uğrayacağı kaybın derecesini [0, 1] aralığında ifade etmektedir. Örneğin, heyelan sonucunda zarar göreceği düşünülen bir bina ise, buradaki kayıp derecesi, binada meydana gelen hasarın, binanın mali değerine oranı şeklinde yorumlanmaktayken, insan yaşamı söz konusu ise, heyelandan etkilenen

insan sayısının toplam nüfusa oranı şeklinde değerlendirilmektedir. Risk altındaki elemanlar ise, bir heyelan sonucunda potansiyel olarak etkilenebilecek insan, binalar, yapılar, altyapı, yol gibi elemanları içermektedir (Fell vd., 2008a). Varnes (1984)'e göre heyelan riski ise belirli bir zamanda, belirli bir bölgede heyelan sonucunda ortaya çıkabilecek can ve mal kaybı ile ekonomik zararın tahmin edilmesi şeklinde yorumlanmaktadır. Diğer bir deyişle risk, matematiksel olarak heyelan tehlikesi ile tüm risk altındaki elemanlarda meydana gelebilecek hasar/ zarar miktarının çarpımına eşittir (Van Westen vd., 2006) (**Eş 7.1**).

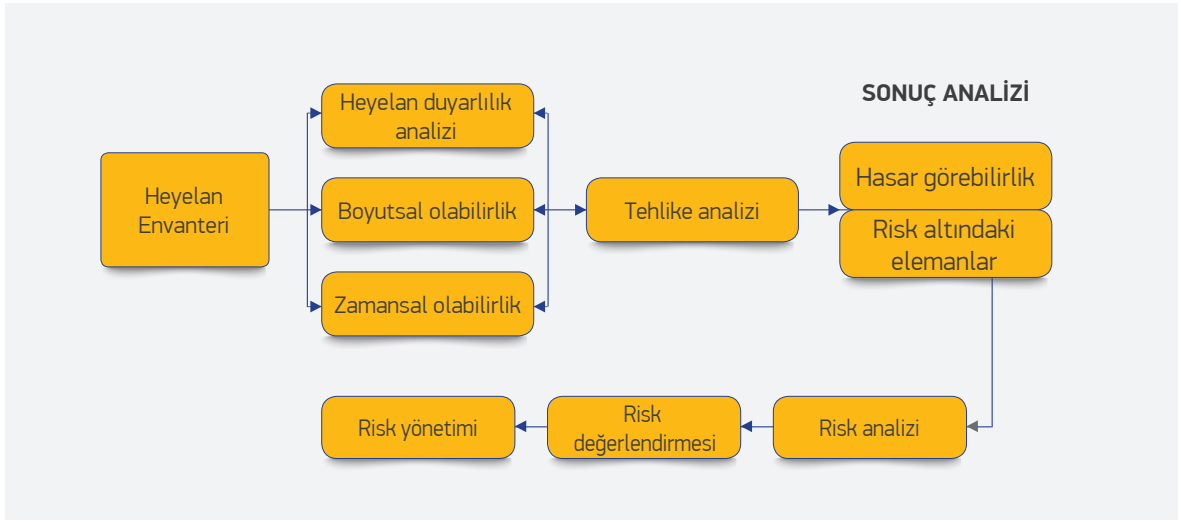
$$R = \sum (H \Sigma(VA))$$

Eş. 7.1

Bu eşitlikte R, heyelan riskini; H, sayısal olarak hesaplanmış heyelan tehlikesini; V, hasar görülebilirliği ve A ise risk altındaki eleman sayısı/değerini ifade etmektedir. Risk hesaplama ve değerlendirmelerinde kullanılan Eş.7.1'deki formül basit bir formül gibi gözükse de, analiz ve ayrıntılandırma yapıldığında son derece karmaşık bir hale gelmektedir. Buradaki en önemli unsur, verilerin sağlıklı bir şekilde analiz edilmesi ve güvenilir verilerle çalışılması zorunluluğudur. Risk analizlerinde kullanılan verilere ulaşmak ve bunların güvenilirliğini değerlendirmek, son derece güç bir işlemdir. Bu nedenle, literatürde risk değerlendirmelerine yönelik uygulamalara daha az sıklıkta rastlanmaktadır (Van Westen vd., 2006).

Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan risk haritalarının oluşturulmasında izlenen yöntem **Şekil 7.5**'de sunulmuştur.

Şekil 7.5. Heyelan risk hesaplaması ve risk yöntemi aşamaları (Van Westen vd., 2006).

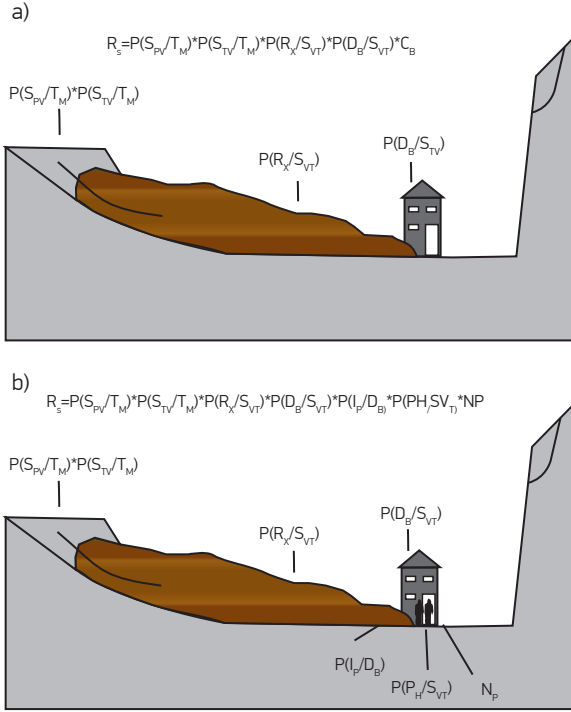


Şekil 7.5 incelendiğinde, tüm değerlendirmelerin dayanağının heyelan envanteri olduğu, buradan tehlike analizine (heyelan konumsal olabilirliği, boyutsal olabilirliği ve zamansal olabilirliği) geçilmesi gerekliliği görülmektedir. Daha sonra, heyelan tehlike senaryoları ile bir sonuç analizinin (hasar görülebilirlik ve risk altındaki elemanlar dikkate alınarak) yapılması gerekmektedir.

tedir. Farklı türdeki heyelanlar için, farklı analizlerin yapılması sonucunda, risk analiz ve hesaplamaları ile heyelan risk haritaları üretilmekte ve dikkate alınan bölgeler için risk yönetim planlamaları yapılabilmektedir. Heyelan riskinin bir yapı ve içinde yaşayan insanlar için hesaplanmasına yönelik bir örnek de, **Şekil 7.6**'da sunulmuştur.

HEYELAN TEHLİKE VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Şekil 7.6. Heyelan riski taşıyan bir yapıda risk hesaplama aşamaları: a) bina için, b) insan için.



RS= Risk

P(SP_v/T_M)= Konumsal olasılık (belirli bir büyüklükteki ve türdeki bir heyelanın, belirli bir etken tetikleyici etken ile tetiklenmesi sonucunda gerçekleşme olasılığı)

P(ST_v/T_M)= Zamansal olasılık (belirli bir büyüklükteki ve türdeki bir heyelanın, belirli bir tetikleyici etken ile belirli bir zaman dilimi içinde tekrarlanması olasılığı)

P(R_x/S_{vt})= Boyutsal olasılık (belirli bir büyüklükteki ve türdeki bir heyelanın, risk altındaki binaya ulaşma olasılığı)

P(D_B/S_{vt})= Zarar verme olasılığı (belirli bir büyüklükteki ve türdeki bir heyelanın, risk altındaki binaya zarar verme olasılığı)

C_B= Maddi zarar miktarı

P(I_p/D_B)= İnsana etki olasılığı (belirli bir büyüklükteki ve türdeki bir heyelanın, risk altındaki binada yaşayan insanların ölümüne veya yaralanmasına yol açma olasılığı)

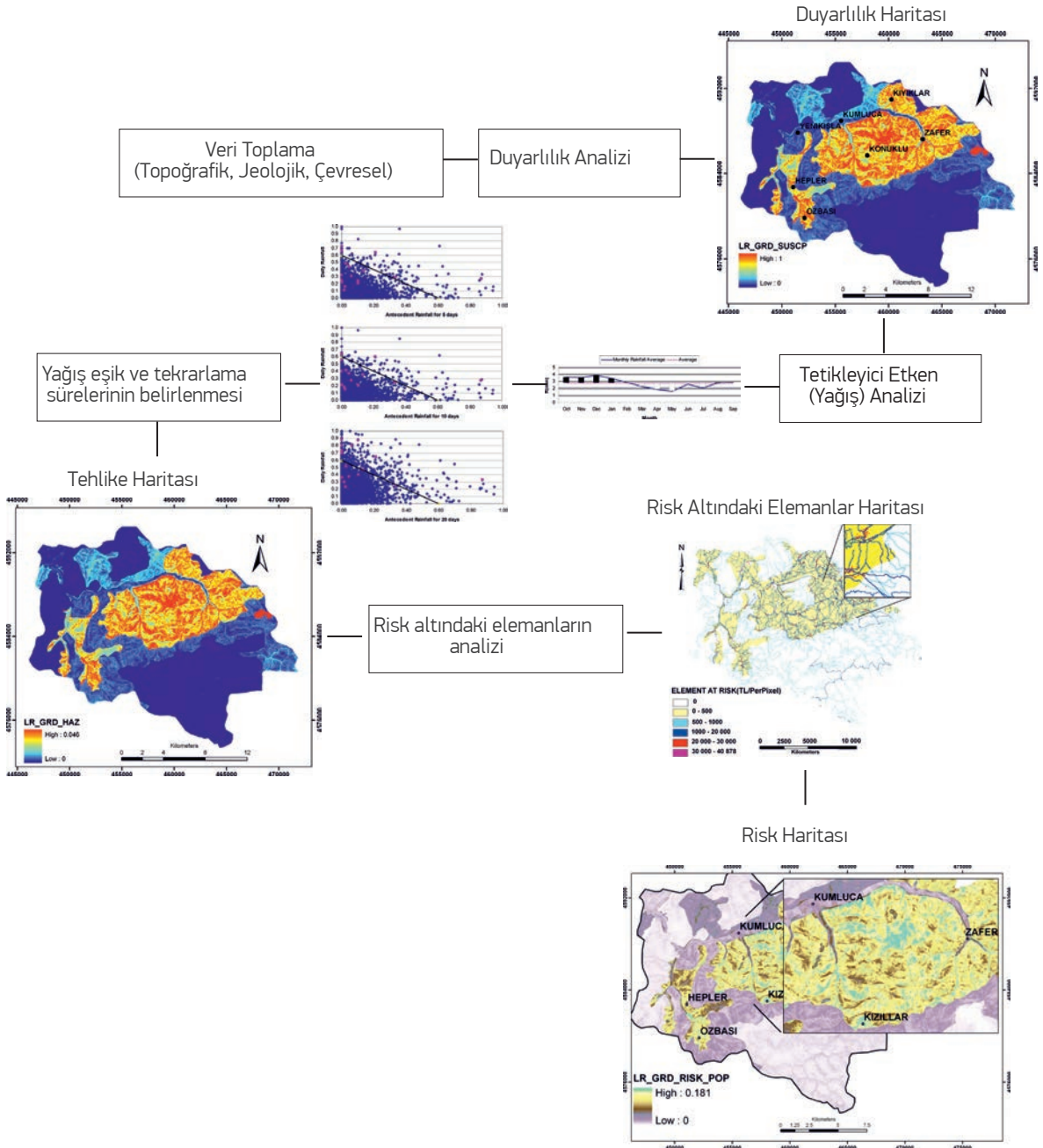
P(P_H/S_{vt})= İnsan bulunma olasılığı (belirli bir büyüklükteki ve türdeki bir heyelanın, meydana geldiği anda, risk altındaki binada yaşayan insanların bulunma olasılığı)

NP= Risk altında bulunan binada yaşayan insan sayısı

Şekil 7.6 incelendiğinde risk değerlerinin matematiksel hesaplamasının **Eş. 7.1**'de verilen halinin, temelde ne denli kapsamlı olduğu ve sayısal risk değerine ulaşmanın güçlükler içerdiği görülmektedir. Sonuç olarak, heyelan risk değerlendirmelerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, güvenilir verilere ihtiyaç olduğu, hesaplama aşamalarının güçlükler içerdiği, ancak bunların sağlıklı bir veri tabanı yönetimiyle ve bilgisiyyle kolayca aşılabileceği söylenebilir. Bu türde gerçekleştirilen ve Türkiye kökenli bir çalışma Erener ve Düzgün (2013) tarafından yayımlanmıştır. Çalışmada, Bartın'ın Kumluca ilçesi ve civarındaki heyelan duyarlılık, tehlike ve riski değerlendirilmiştir. Bunun için öncelikle, heyelan envanteri ve buna bağlı olarak tetikleyici faktör (yağış) analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra duyarlılık, tehlike ve risk analizleri yapılarak, bölgenin heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritaları oluşturulmuştur. Yapılan çalışmanın özeti, **Şekil 7.7**'de sunulmuştur.



Şekil 7.7. Kumluca (Bartın) bölgesinin heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının oluşturulma aşamaları.



Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

HEYELAN-KAYA DÜŞMESİ

TEMEL KILAVUZ

8

KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ

KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ

Kaya düşmeleri, dik topoğrafyaya sahip alanların yüksek kotlarında yüzeylenen eklemli kaya ortamlarında, süreksizliklerin sınırlandığı kaya bloklarının serbest yüzeye doğru küçük hareketlerde duraylılığını yitirerek, kaynak bölgeden eğim aşağı oldukça hızlı olarak hareket ettiği bir tür yamaç duraysızlığıdır (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988; Cruden ve Varnes, 1996). Kaya bloğunun hareketi dik yamaçlarda düşme şeklinde olup, eğimin azalmasına bağlı olarak sıçrama ve yuvarlanma şeklinde devam etmektedir. Olay anında hızının yüksek olması nedeniyle kaya düşmesi blok hacmine de bağlı olarak, ulaşım ağları ve yapılaşma alanları için oldukça tehlikeli olabilirler (**Şekil 8.1**). Düşen kaya bloklarının hacmi kaynak alanındaki süreksizliklerin set sayısı, yönelimi ve aralığı gibi süreksizlik özelliklerine bağlıdır. Kaya düşme olayının gözlenebileceği alanların ve menzil mesafelerinin (run-out distance) ayırtıldığı haritalar, alan seçimlerinde karar vericilere önemli bilgiler sağlamaktadır. Kaya düşmesi analizleri büyük ölçekte (ayrıntıda) kaya bloğunun harekete başladığı lokasyon, kaya blok ağırlığı, kaya blok şekli, litoloji, iki boyutta (2D) şev profili veya üç boyutta yüksek çözünürlükte sayısal arazi modeli (SYM, 3D topoğrafya), teğetsel ve normal enerji azalım katsayıları gibi çok sayıda girdi parametreleri kullanılarak yapılabilir. Kaya bloğunun hareketi sırasındaki enerjisi, bloğun hareketi izi (yörünge) gibi çıkımlar alınabilir. Ancak, bölgesel ölçekte kaya düşme potansiyelini ve etkileyebileceği alanları ifade eden haritaların hazırlanmasında, kaya düşme analizlerinin uygulanması pratik değerler açısından sınırlı olup, özellikle risk altındaki elemana (yapıya) yönelik önleme çalışmaları açısından daha büyük öneme sahiptirler.

Kaya düşmeleri kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri açısından uygun jeolojik ortamlarda dik topoğrafyanın varlığına bağlı olarak gelişirler. Ancak, kaya düşmeleri kütleli heyelanlar ile karşılaştırıldıklarında; yağış, deprem gibi tetikleyici unsurlar açısından dönüşüm periyodu veya belirli bir olay hacminin yaşanması için gerekli tetikleyici sınır değerinin belirlenmesi mümkün değildir. Bu yönüyle değerlendirildiğinde, kaya düşme potansiyeli haritalarından, kütleli heyelanlardaki terminolojiye uygun bir yaklaşımla, tetikleyici unsura bağlı olarak kaya düşmesi tehlike haritalarının gerçekçi bir şekilde üretilmesini beklemek de mümkün değildir.

Şekil 8.1. Kaya düşmesisonucunda zarar gören yapılara bazı örnekler (<http://www.nps.gov/acad/photosmultimedia/Earthquake-Effects.htm>; <http://blogs.agu.org/landslideblog/2011/02/23/on-the-causes-of-the-high-levels-of-loss-in-the-christchurch-earthquake>).



Buna karşın, kaya düşmesi olayından etkilenebilecek alanlarda dolaylı olarak belirlenebilen kaya düşme sayısı, kinetik enerji (hızı) ve hareket izi (yörünge) yüksekliği parametrelerine bağlı olarak, kaya düşmesi tehlike haritaları üretilmektedir.

Kaya düşmeleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, aktif kaynak alanların ve menzil mesafelerine bağlı olarak farklı etki zonlarının işaretlendiği haritaların zaman zaman kaya düşmesi tehlikesi haritası (rock fall hazard map) olarak da adlandırıldıkları görülmektedir. Kaya düşmesi tehlike haritalarının üzerine yaşamsal alanlar, evler, yollar, elektrik hatları vb. yerlerin işlenerek yorumlanması ise, kaya düşmesi risk değerlendirmesi (rock fall risk assessment) olarak nitelendirilmektedir. Ancak, kaynak alandan itibaren kaya düşmesi olayından birbirleri ile karşılaştırılması mümkün farklı düzeylerde etkilenebilecek zonların ayırtıldığı haritalarda, doğru terminolojinin kullanılması açısından kaya düşmesi duyarlılık haritası olarak isimlendirilmesi, daha uygun olacaktır.

Pratikte bölgesel ölçekte kaya düşmesi tehlike haritalarının üretilmesinde, aşağıdaki sorulara cevap aranmalıdır(Larcher vd., 2012).

- i. Aktif kaynak alanı var mıdır ve bu alanlar nerelerdedir?
- ii. Sahadaki en büyük menzil zonu nedir?
- iii. İnsan yaşam alanlarındaki evler, alt yapı, elektrik hatları, yollar vb. etkileniyor mu?
- iv. İnsan yaşamsal alanları ile aktif kaynak alanlar arasında ağaçlık (orman) alanlar var mıdır?

Kaya düşmesi duyarlılık haritalarının hazırlanması alan kullanımı ve planlaması açısından büyük öneme sahiptir. Ancak küçük sahalarda (büyük ölçekte ve ayrıntıda) çok iyi uygulanabilen klasik deterministik kaya düşme analizi yaklaşımlarıyla bu haritaların bölgesel ölçekte üretilmesi, pek çok girdi parametresi gerektirdiği için literatürde uygulamaları olmasına karşın, pratikten uzak ve uygulamaları da oldukça zor olmaktadır. Buna karşın bölgesel ölçekte kaya düşmesi haritaları daha önceki olaylardan yararlanan tecrübelerle geliştirilen ampirik yaklaşımlarla sayısal arazi modelinden (SYM; Digital Elevation Model, DEM) itibaren nispeten kaba olmakla birlikte temel gereksinimlere cevap verebilecek niteliklerde hazırlanabilmektedir. Bu yaklaşıma yönelik kavramlar ve uygulanması aşağıda açıklanmıştır.

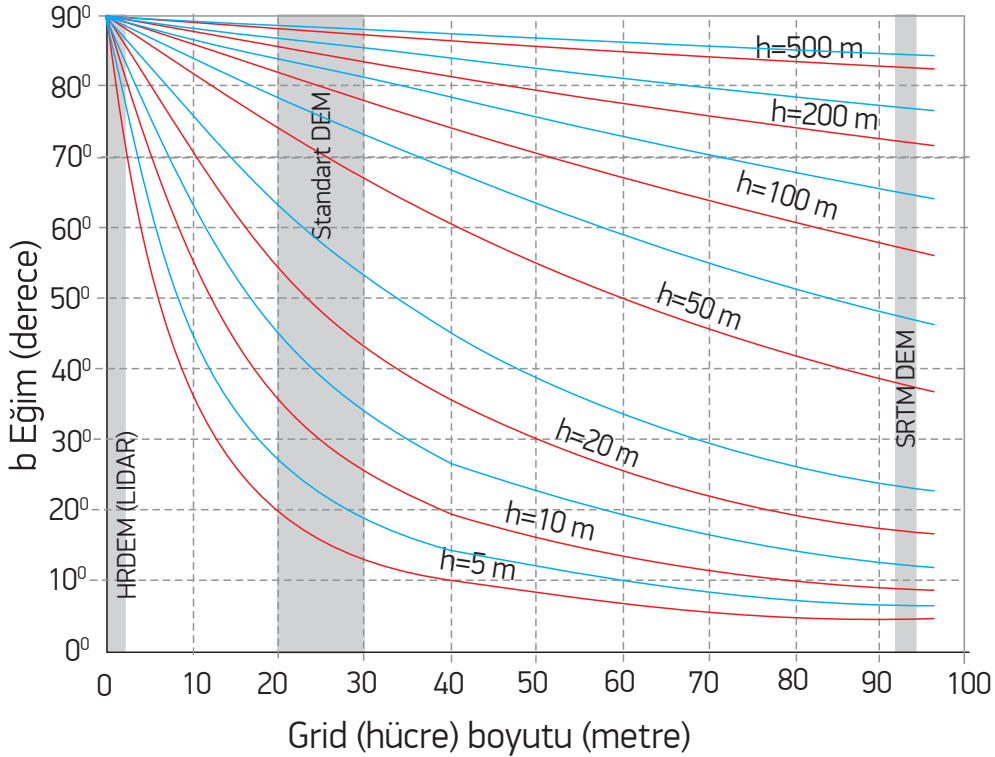


8.1. Bölgesel Ölçekte Potansiyel Aktif Kaynak Alanların Belirlenmesi

Kaya düşmeleri açısından aktif kaynak alanların bölgesel ölçekte sadece saha çalışmalarıyla ayırtılması ve haritalanması oldukça zor bir çalışma olup, özellikle çalışma alanının büyüklüğüne de bağlı olarak sıklıkla eksik haritalamaya neden olabilmektedir. Ancak, kaya düşmesi olayının oluşum mekanizması gereği aktif kaynak alanların dik topoğrafyaya sahip alanlarda bulunması beklenir. Bu nedenle, bölgesel ölçekteki çalışmalarda SYM (Sayısal Arazi Modeli)'nden üretilecek eğim haritalarında belirli bir eğimin üzerindeki alanlar kaya düşmesi açısından potansiyel aktif kaynak alanları olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla kullanılacak SYM çözünürlüğünün en fazla 25m x 25m, mümkün olması durumunda da, daha yüksek çözünürlüklerde (daha kaliteli) olması önerilmektedir.

Dik bir topoğrafya için SYM'nden çözünürlüğüne bağlı olarak görünür eğiminin değişimi, **Şekil 8.2**'de görülmektedir. 20 metre yüksekliğinde dik bir topoğrafya için SYM'nin çözünürlüğünün 25x25 metre olması durumunda eğim haritasındaki görünür eğimin yaklaşık 45° olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bölgesel ölçekte kaya düşmesi haritalamaları için aktif kaynak alanların belirlenmesinde SYM'nin çözünürlüğü oldukça büyük öneme sahiptir.

Şekil 8.2. Farklı yüksekliklerdeki dik kaya yüzeyleri için SYM'den piksel boyutuna göre hesaplanan eğim değerleri.



Potansiyel aktif kaynak alanların sınır (alabileceği en düşük) eğimi SYM'nin çözünürlüğe bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir (Dorren ve Seijmonsbergen 2003; Troisi, Berger ve Dorren 2008).

$$\alpha = 55 \times \text{RES}^{-0.075}$$

Eş. 8.1.

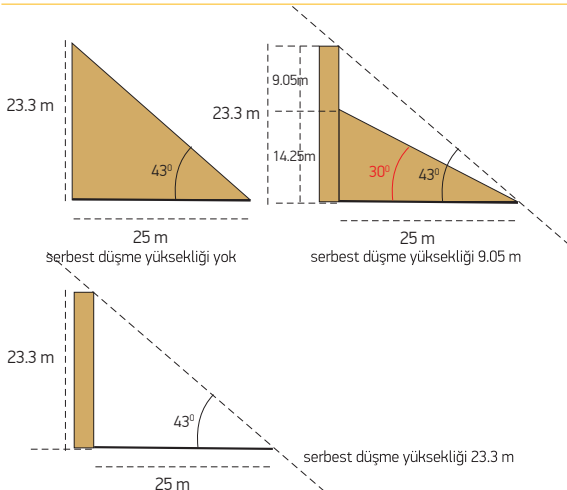
Burada α (derece) potansiyel aktif kaynak alanlar için sınır eğim değeri, RES ise sayısal arazi modelinin çözünürlüğüdür. Çizelge 8.1'de sayısal arazi modelinin 1x1, 5x5, 10x10 ve 25x25 metre çözünürlükleri için yukarıdaki eşitlikten hesaplanan aktif kaynak alanların sahip olabileceği sınır eğim değerleri görülmektedir.

Kaya düşmesi sahalarındaki kaynak alanların genellikle, düşey serbest düşmeye sahip olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 1). Sayısal arazi modelinde her bir grid hücresi (piksel) için hesaplanan eğim değeri topoğrafyada gözlenebilecek düşey serbest düşme yüksekliğine göre farklı geometrik ilişkiler sunabilir (Şekil 8.3).

Çizelge 8.1. Farklı çözünürlüklere (1x1, 5x5, 10x10 ve 25x25 metre) sahip sayısal arazi modelleri için aktif kaynak alanların sahip olabileceği hesaplanan sınır eğim değerleri (Larcher, 2012).

Sayısal Arazi Modelinin (SYM) çözünürlüğü (metre)	Sınır eğim değeri (derece)
1x1	55
5x5	49
10x10	46
25x25	43

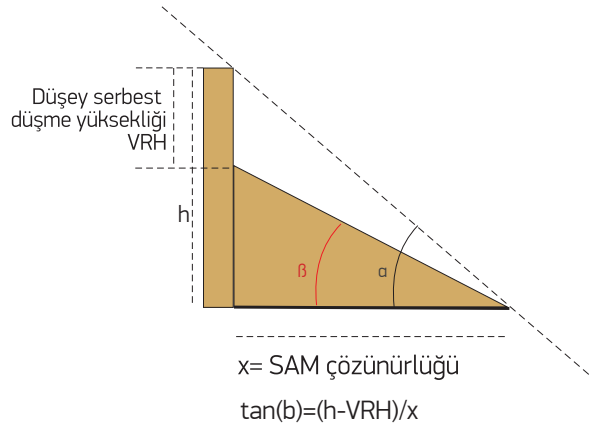
Şekil 8.3. 43° eğime sahip 25x25 metre grid hücresi (piksel) üzerinde düşey serbest düşme yüksekliğinin etkisi (Larcher, 2012).



Şekil 8.3'den de görüleceği üzere üç durumda da 25x25 metre çözünürlükteki grid hücresinin eğim haritasındaki değeri 43°'dir. Ancak, düşey serbest düşme yüksekliğinin olmadığı durum için hücre içindeki eğim de 43° olurken, düşey serbest düşme yüksekliğinin 9.05 metre olması durumunda hücre içindeki eğim 30°'ye düşmekte, 25 metre hücre genişliği ve 43° eğim için olası en uç değer olan düşey serbest düşme yüksekliğinin 23.3 metre olması durumunda ise hücre içinde eğim sıfır olmaktadır. Kaya düşmesi olayının sahada dik bir topoğrafik yüzeyden kaya bloğunun eğim aşağı hareketi olarak değerlendirilmesi gerektiği dikkate alındığında, Çizelge 8.1'deki çözünürlük değerlerine bağlı olarak seçilebilecek sınır eğim değerlerinin, tecrübeye ve düşey serbest düşme yüksekliğine yönelik saha izlenimlerine bağlı olarak daha düşük değerlere de çekilebilmesi mümkündür. Ancak bu durumda, gerçekte aktif kaynak alan olmayan alanların da hatalı bir şekilde aktif kaynak alan olarak belirlenmesinin mümkün olacağı unutulmamalıdır.

Saha gözlemleri ile aktif kaynak bölge için düşey serbest düşme yüksekliğinin belirlenmesi veya öngörülmesi durumunda (Eş. 8.1.) veya sayısal arazi modelinin (SYM) çözünürlüğüne bağlı olarak Çizelge 8.1'den seçilebilecek sınır açı değerinden daha düşük sınır açı değeri (β), Şekil 8.4'deki geometrik yaklaşımla veya SYM'nin çözünürlüğe bağlı olarak Çizelge 8.2'den seçilebilir.

Şekil 8.4. Düşey serbest düşme yüksekliği ile α eğimine sahip grid hücresinin (piksel) içindeki eğiminin (β) geometrik çözümü (Larcher, 2012).



Çizelge 8.2. Düşey serbest düşme yüksekliğine (Vertical release height, VHR) bağlı olarak 1x1, 10x10 ve 25x25 metre çözünürlükler için grid hücresi eğim değerleri (Larcher, 2012).

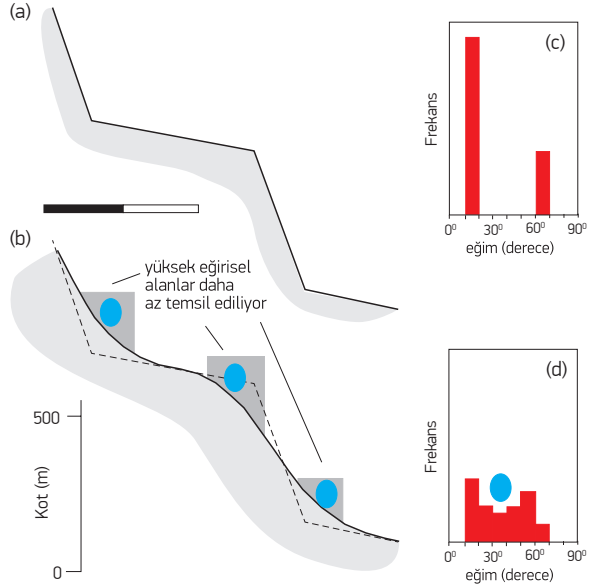
SYM çözünürlüğü (1x1 metre)	Eğim açısı sınırı, $\alpha=55^\circ$	SYM çözünürlüğü (10x10 metre)	Eğim açısı sınırı, $\alpha=46.28^\circ$	SYM çözünürlüğü (25x25 metre)	Eğim açısı sınırı, $\alpha=43.2^\circ$
α (derece)	VHR (metre)	α (derece)	VHR (metre)	α (derece)	VHR (metre)
0	1.43	0	10.46	0	23.48
5	1.34	5	9.58	5	21.29
10	1.25	10	8.69	10	19.07
15	1.16	15	7.78	15	16.78
20	1.06	20	6.82	20	14.38
25	0.96	25	5.79	25	11.82
30	0.85	30	4.68	30	9.05
35	0.73	35	3.45	35	5.97
40	0.59	40	2.06	40	2.50
45	0.43	45	0.46	43.2	0.00
50	0.24	46.28	0.00		
55	0.00				

Düşey serbest düşme yüksekliğine bağlı olarak yukarıdaki yaklaşımda dikkate edilmesi gereken en önemli husus, gereğinden düşük sınır açısı değeri kullanılması durumunda gerçekte aktif kaynak alan olmayan alanların da potansiyel kaynak alanmış gibi ayırtlanmasına neden olabilmektedir. Ancak, bölgesel ölçekte gerçekte var olan aktif kaynak alanların gözden kaçmaması için, sayısal arazi modelinin çözünürlüğü gibi etkenlerden kaynaklanabilecek belirsizlikleri de dikkate alarak sınır açısı değeri dikkatlice seçilmelidir. Bu aşamada hava fotoğrafları, uydu görüntüleri vb. uzaktan algılama yaklaşımları ile saha gözlemleri gibi veriler, yorumlanarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 8.1'de sayısal arazi modelinin çözünürlüğüne bağlı olarak aktif kaynak alanların ayırtlanması için verilen sınır değerlerin yanı sıra, haritalanan sahanın farklı morfolojik birimlerindeki grid hücrelerinin eğim frekans histogram grafiklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle aktif kaynak alanları gösteren sert (dik) topoğrafik alanlar için haritalanan sahayı temsil eden, daha gerçekçi sınır eğim açısı değeri de belirlenebilir. Loye vd. (2009), potansiyel aktif kaya düşmesi kaynak alanlarının sayısal arazi model üzerinde jeomorfometrik analizlerle belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Biri daha yüksek, diğeri daha düşük eğimli iki farklı eğime sahip iki basamaklı şev profili **Şekil 8.5a**'da görülmektedir. **Şekil 8.5a**'daki profilde eğim açısının frekans histogramı çizildiğinde (**Şekil 8.5c**) frekanslarının iki eğim açısı değerinde olduğu görülmektedir. Buna karşın, **Şekil 8.5b**'deki sahadaki

gerçek profile ise frekansın farklı eğim açısı değerlerine yayıldığı görülmektedir (**Şekil 8.5d**).

Şekil 8.5. Biri daha yüksek diğeri daha düşük eğimli iki farklı ile oluşturulan profil (a), ile topoğrafyayı daha gerçekçi yansıtan profil (b), bu iki profile ait eğim frekans histogramları (c ve d) (Rouiller vd., 1998'den düzenlenmiştir; Loye vd., 2009'dan).



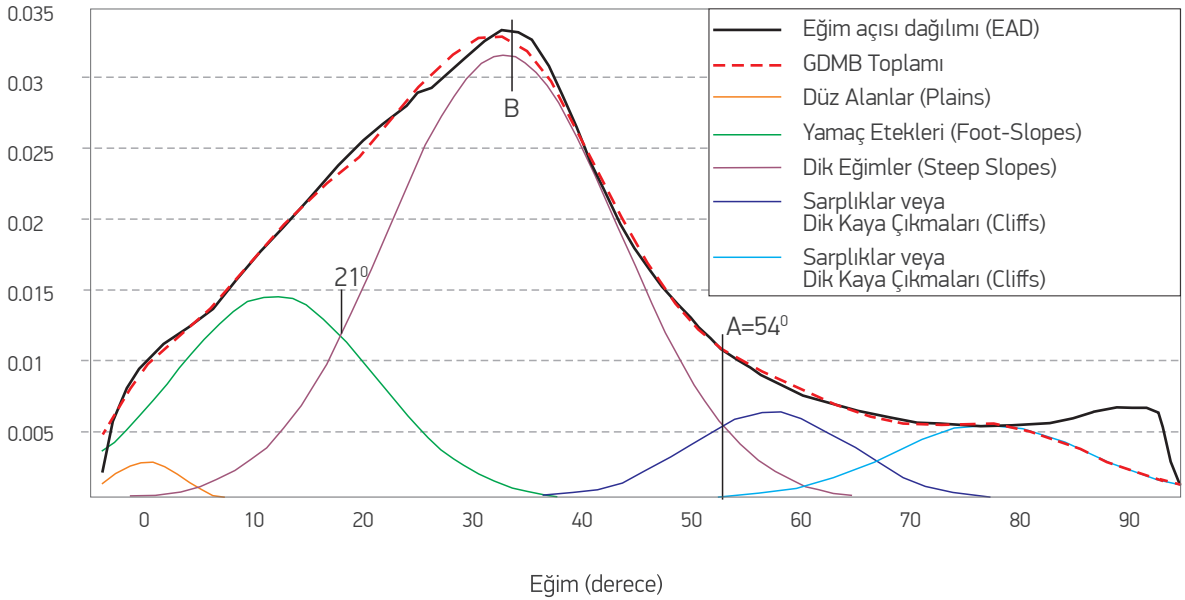
Yukarıdaki yaklaşımla, sayısal arazi modelinden üretilen eğim haritasındaki grid hücrelerinin eğim değerlerinin frekans histogram grafiği, eğim açısı dağılımı (EAD; slope angle distribution, SAD) olarak adlandırılmaktadır.

Eğim açısı dağılımı (EAD) istatistiksel olarak Gauss dağılımı (normal dağılım) ile modellenerek, çalışma sahasındaki topoğrafyayı temsil eden morfolojik birimlere (MB; morphologic units, MU) ayrılabilir (Strahler 1950; Loye vd. 2009'dan). Bu yaklaşımda EAD, farklı morfolojik birimlere ait Gauss dağılımlarına ayrıştırılır. Bu morfolojik birimlerin (MB) aynı eğim değerindeki frekans değerleri (GDMB) toplanarak, EAD'nin frekans dağılımı ile karşılaştırılır ve MB'lere ait dağılım eğrilerinin ortalama ve standart sapma gibi değerleri değiş-

tilererek, hatanın minimize olması sağlanır (**Şekil 8.6**). Loye vd. (2009) bu yöntemi uygularken aşağıdaki dört morfolojik birimi dikkate almışlardır.

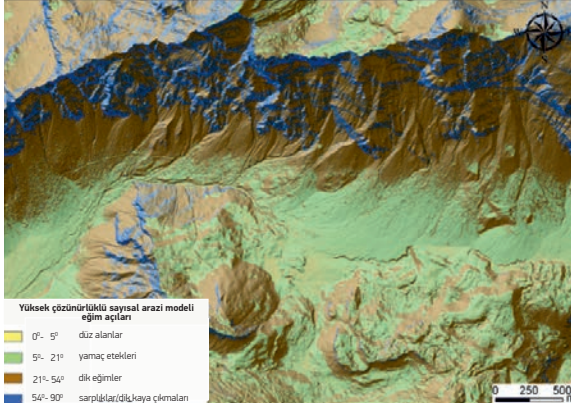
- i. **Düz alanlar (Plains):** Düşük eğime sahip alanlar
- ii. **Yamaç etekleri (Foot-slopes):** Dik eğimli alanların eteklerindeki az eğimli alanlar
- iii. **Dik eğimler (Steep slopes):** Yamaç molozu ve bazı kaya çıkımlarının gözlemlendiği nispeten yüksek eğimli alanlar
- iv. **Sarplıklar veya dik kaya çıkımları (Cliff):** Çok dik ve sadece kaya çıkımların gözlemlendiği alanlar

Şekil 8.6. "Les Diablerets Alpin" vadisindeki topoğrafyaya ait morfolojik birimlerin Gauss Dağılımları (GDMB) ile eğim açısı dağılımı (EAD) eğrileri. B noktası dik eğimlerin (step slopes) Gauss dağılımının ortalama değerini, C noktası ise dik eğimler ile sarplıkların veya dik kaya çıkımlarına ait Gauss dağılımlarının kesişimini göstermektedir (Loeye vd., 2009).



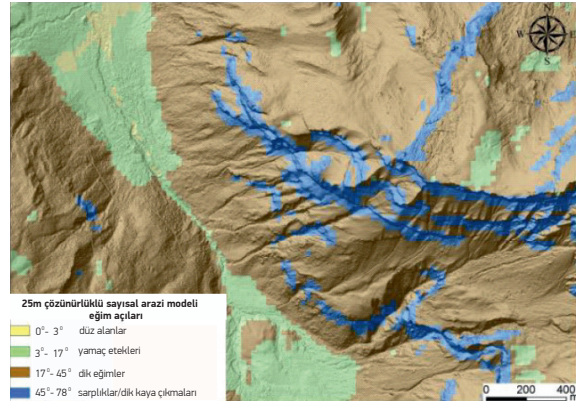
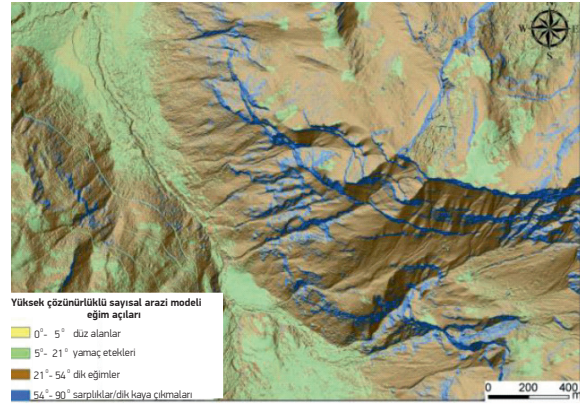
Yukarıdaki son iki morfolojik birim (Dik eğimler ve Sarplıklar veya dik kaya çıkımları) aktif kaya düşmesi kaynak alanlarını oluşturabilme potansiyeline sahiptirler. **Şekil 8.6**'daki "A" noktası bu iki morfolojik birimin Gauss dağılımlarının kesişimi olup, aktif kaynak alanların belirlenmesi için sınır eğim değeri olarak alınabilir (Loeye vd., 2009). **Şekil 8.6**'daki $A=54^\circ$ sınır değeri kullanılarak, Loye vd. (2009) tarafından hazırlanan "Les Diablerets Alpin" bölgesi için aktif kaynak alanlar **Şekil 8.7**'de görülmektedir.

Şekil 8.7. “Les Diablerets Alpin” bölgesindeki morfolojik birimlerin (MB) Şekil 8.6'daki Gauss dağılımlarındaki kesişimlere göre ayrıştırmış ve yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modelinden (HRDEM) üretilen haritası (Loye vd., 2009).



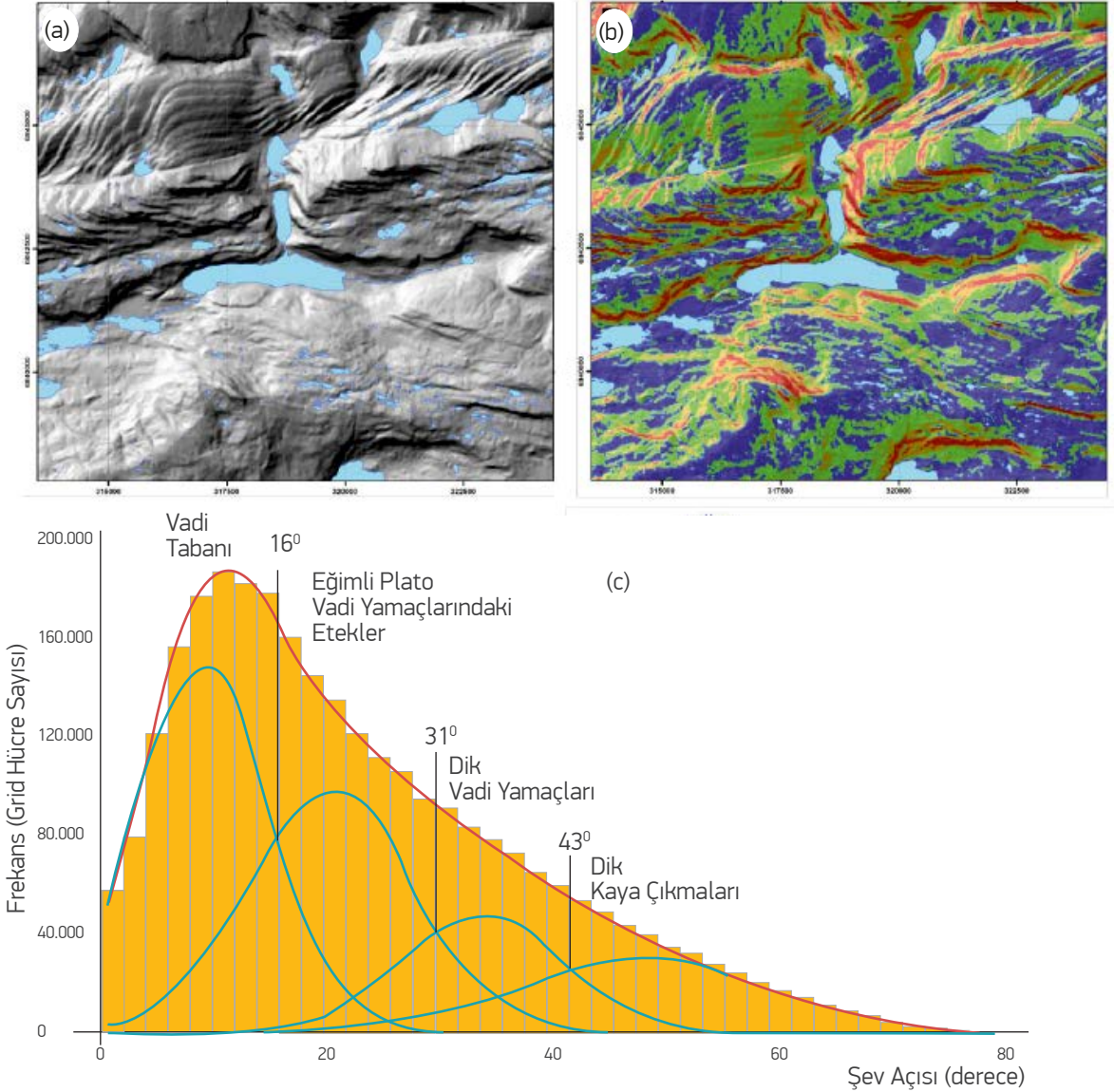
Aktif kaynak alanların belirlenmesi için sınır eğim değerinin seçilmesinde sahaya özgü topoğrafya ve morfolojik birimleri birlikte değerlendiren bu yaklaşım, aktif kaynak alanların daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesi için kullanılabilir. Eğim haritası sayısal arazi modelinden (SYM) itibaren üretildiği için, SYM'nin çözünürlüğü bu yöntemde de etkili olmaktadır. Loye vd. (2009)'un çalışmalarında bu etkiyi göstermek amacıyla, yöntem 25x25 metre ve 1x1 metre (HRDEM) çözünürlüklü sayısal arazi modelleri kaynak olarak kullanılmış ve üretilen aktif kaynak alan haritaları **Şekil 8.8**'de verilmiştir. **Şekil 8.8**'den de görüleceği üzere çözünürlüğün artmasıyla daha ayrıntıda aktif kaynak alanlarının ayrılabilirliği görülmektedir

Şekil 8.8. Aynı sahaya ait (a) 1x1 m ve (b) 25x25 m çözünürlük için morfolojik birimlerin sınır eğim açıları kullanılarak ayrıştırmaları (Loye vd., 2009).



Kaya düşmesi kaynak alanların ayrılabilmesi için sahanın morfolojik birimlerine ayrıştırılması yaklaşımı literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Derron (2010), Norveç'teki kaya düşmesi duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik yöntem tanımlaması yaptığı teknik raporunda da kaynak alanların ayrılabilmesi için eğim açısı dağılımının morfolojik birimlerine ayrıştırılmasına yer vermiştir (**Şekil 8.9**).

Şekil 8.9. 25x25 metre çözünürlüğe sahip SYM'dan üretilen (a) kabartı haritası, (b) dört morfolojik birim için ayrıştırmış harita, (c) eğim açısı Gauss dağılımı ile morfolojik birimlerin Gauss dağılımları kullanarak morfolojik birimleri ayırtlayan sınır eğim değerleri (Derron, 2010).



Sonuç olarak, bölgesel ölçekte kaya düşmesi haritalarının hazırlanmasındaki ilk ve en önemli aşama aktif kaynak alanların belirlenmesidir. Bu aşama sayısal arazi modelinin çözünürlüğü ile yakından ilişkili olup, genel yaklaşım olarak **Çizelge 8.1**'deki sınır açısı değerleri kullanılabilir. Ancak, saha özeline uygun daha gerçekçi bir sınır değeri belirleyebilmek için sahanın topografyasına ait eğim açısı dağılımı ile sahadaki mor-

folojik birimlere ait Gauss dağılımlarını temel alan yöntem de kullanılabilir. Mümkün olduğu ölçüde, sahaya ait hava fotoğrafları, uydu görüntüleri vb. uzaktan algılama ürünleri ile saha gözlemleri gibi veriler tecrübeli bir yoruma sunulurken, üretilen kaya düşmesi aktif kaynak alanlara ilişkin haritalamaya son şekli verilmelidir.

8.2. Düşen Kaya Bloklarının Ulaşabileceği En Uzak Mesafenin (Run-out Distance) Belirlenmesi

Kaya düşmesi analizleri büyük ölçekte (ayrıntıda) kaya bloğunun harekete başladığı lokasyon, kaya blok ağırlığı, kaya blok şekli, jeoloji, iki boyutta (2D) şev profili veya üç boyutta yüksek çözünürlükte sayısal arazi modeli (SYM, 3D topoğrafya), teğetsel ve normal enerji azalım katsayıları gibi çok sayıdaki girdi parametreleri kullanılarak yapılabilir ve kaya bloğunun hareketi sırasındaki enerjisi, bloğun hareketi izi (yörüngesi), menzil mesafesi (run-out distance) gibi çıktılar alınabilir. Daha önce de vurgulandığı üzere, özellikle bölgesel ölçekte kaya düşme potansiyelini ve etkileyebileceği alanları ifade eden haritaların hazırlanmasında, kaya düşme analizlerinin uygulanması pratik değer açısından sınırlıdır.

Buna karşın, veriye ve tecrübeye dayalı ampirik yaklaşımlarla düşen kaya bloklarının ulaşabileceği en uzak mesafelerin belirlenmesi mümkündür. Bu amaçla, yaygın olarak;

- i. Ulaşma Açısı (Reach Angle) veya daha genel terminolojiyle Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)
- ii. Gölge Açısı (Shadow Angle)

yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu iki yöntemin en önemli avantajı tetikleyici faktörler ve jeolojik parametreler kullanılmadan, potansiyel aktif kaynak alanlarının belirlenebilmesi ve kaya bloklarının ulaşabileceği menzil zonlarının (run-out distances) sadece sayısal arazi (SYM) modeli kullanılarak CBS ortamında kolaylıkla ayırtlanabilmesidir. Bu iki ampirik yöntem aşağıda ayrıntılandırılarak açıklanmıştır.

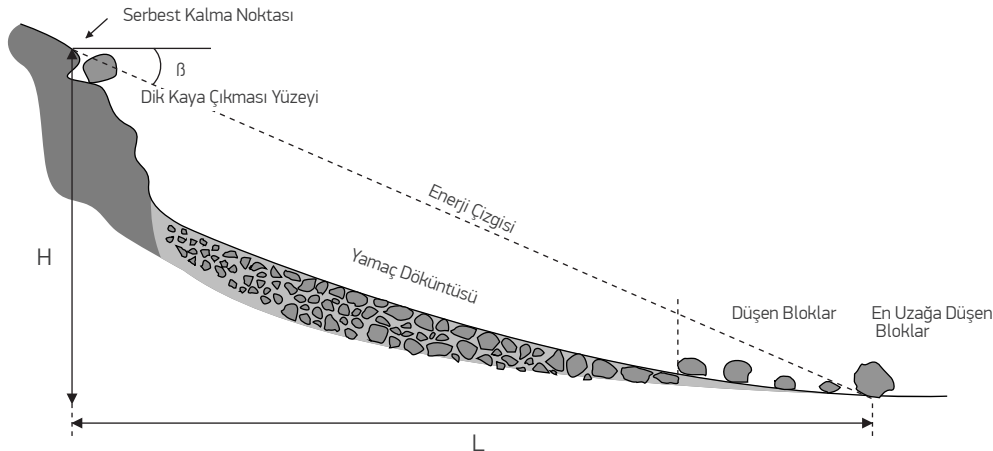
8.2.1. Ulaşma Açısı (Reach Angle) veya Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle) Kavramı

Literatürde ulaşma açısı veya enerji çizgi açısı olarak bilinen bu ampirik yaklaşımın temelinde kaya bloğunun enerjisi ile menzil mesafesi (run-out distance) arasında bir ilişki olduğu kabul edilir (Capons vd., 2009). Literatürde her iki terime de rastlamak mümkün olup, bu kılavuz kapsamında “Enerji Çizgi Açısı” (EÇA; Energy Line Angle, ELA) terminolojik olarak tercih edilmiştir. Kaya düşmesi duyarlılık haritalarının hazırlanmasında; kaya bloklarının serbest kalabileceği yüksek kotlarda-

ki aktif kaynak alanların (active release areas) ve aktif kaynak alandan serbest kalan kaya bloklarının, eğim aşağı erişebileceği mesafelerin (menzil mesafesi) belirlenmesi şeklinde iki aşama dikkate alınmaktadır.

Bölgesel ölçekte SYM kullanılarak, menzil mesafesine bağlı olarak kaya düşmesinin etkili olabileceği alanlar, “Enerji Çizgi Açısı” (EÇA; Energy Line Angle, ELA) kavramı kullanılarak CBS ortamında belirlenebilmektedir.

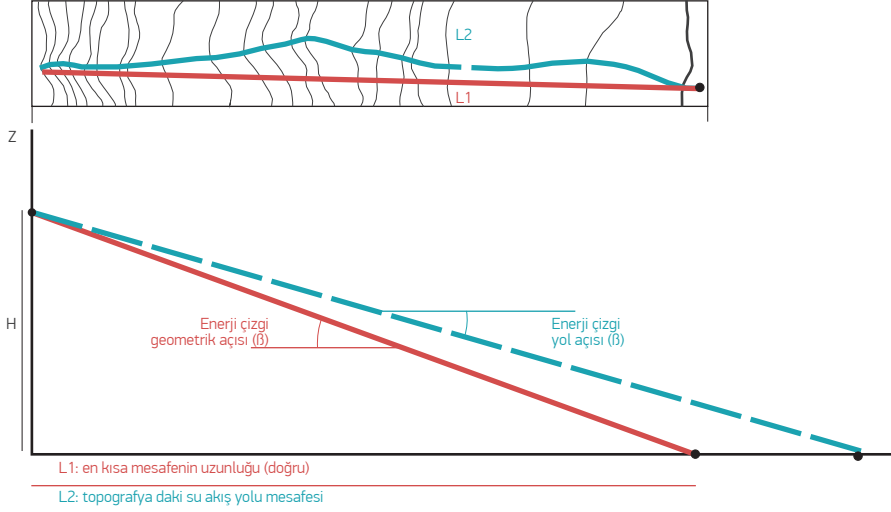
Şekil 8.10. Enerji Çizgisi Açısı (β) kavramı (Capons vd., 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).



Kaya düşmesi olayının geliştiği alanlarda daha önceden düşmüş olan kaya bloklarına yönelik gözlemlere dayanarak, ilk defa Heim (1932) tarafından enerji çizgi açısı kavramı menzil mesafesinin (run-out distance) belirlenmesi için önerilmiştir. Bu yöntemde, kaya blo-

ğunun topoğrafyadan serbest kaldığı noktadan (aktif kaynak alanından) başlayan enerji çizgi açısı $\beta = \arctan(H/L)$ ile eğim aşağı uzatılan doğrunun, topoğrafyayı kestiği nokta, kaya bloğunun en uzağa ulaşabileceği menzil mesafesi olarak belirlenir (**Şekil 8.10**).

Şekil 8.11. Enerji Çizgi Geometrik Açısı (kırmızı) ile Enerji Çizgi Yol Açısı (mavi) arasındaki fark (Larcher vd., 2012).



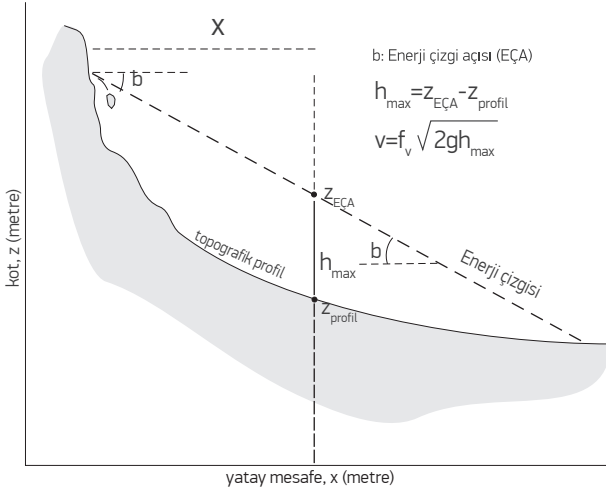
Heim (1932), aynı menzil mesafesine ulaşmak için iki farklı enerji çizgi açısı kullanılabileceğini ifade etmiştir. Bunlardan ilki, kaya bloğunun harekete başlangıç noktası olan aktif kaynak alanından serbest kaldığı nokta ile kaya bloğunun duracağı son nokta arasındaki düz çizginin eğimi ile ifade edilen enerji çizgi açısı (Enerji Çizgi Geometrik Açısı), diğeri ise yine hareketin başladığı nokta ile kaya bloğunun duracağı son nokta arasındaki topoğrafya üzerinde eğim aşağı su akışı çizgisinin uzunluğunun dik-kate alındığı enerji çizgi açısı (Enerji Çizgi Yol Açısı) olarak tanımlanır. Genel olarak, ikinci yaklaşım nispeten daha düşük açılar sunmaktadır. Enerji çizgi açısına ilişkin bu iki yaklaşım **Şekil 8.11**'de şematik olarak görülmektedir.

Heim (1932) tarafından önerilen enerji çizgi açısı kavramına ilişkin günümüze değin yapılan çalışmalarda pek çok saha gözleminde, bu açının belirli bir aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Bu ampirik yaklaşım, bölgesel ölçekteki değerlendirmeler açısından kaya düşme olayında menzil mesafesinin belirlenmesinde yaygın bir kullanım bulmuştur. Bu nedenle, aktif kaynak alanın belirlenmesi durumunda menzil mesafesinin belirlenerek kaya düşmesi duyarlılık haritalarının üretilmesinde büyük alanlar için oldukça iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.

Meissl (1998) enerji çizgi geometrik açısı ile enerji çizgi yol açısı arasındaki farkın çoğu durumda birkaç derece civarında olduğunu belirtmiştir. Ancak, enerji çizgi geometrik açısının sayısal arazi modeli üzerinde uygulanması daha pratiktir. Enerji çizgi geometrik açısı doğrusu ile yamaç profili arasındaki en büyük kot farkı (Δh_{max}) kullanılarak, potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü varsayımıyla kaya bloğunun potansiyel olarak en büyük hızı **Şekil 8.12**'deki gibi hesaplanabilir (Dorren ve Berger 2003; Jaboyedoff ve Labiouse 2011). Burada f_v hız için bir düzeltme faktörü olup, düşen bloğun kinetik enerjideki kaybının %20 olarak alınması durumunda $f_v = 0.9$ ($=\sqrt{0.8}$) alınmasının uygun olacağı belirtilmektedir (Gerber, 1994; Jaboyedoff ve Labiouse 2011).

Kaynak bölgeden serbest kalan kaya bloğunun menzil mesafesinin bölgesel ölçekteki kaya düşmesi duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanımı açısından en önemli belirleyici ölçüt enerji çizgi açısının (β) sahadaki gerçeğine uygun olarak belirlenmesidir. Bu aşamada, sahadaki düşmüş kaya bloklarına bağlı olarak çok sayıda β 'nin ölçülerek istatistiksel değerlendirilmesi de saha gerçekleri ile daha uyumlu β değerlerinin seçimi için, geriye dönük olarak kullanılabilir.

Şekil 8.12. Enerji çizgi geometrik açı doğrusu ve yamaç profiline bağlı olarak kaya bloğunun potansiyel en büyük hızının hesaplanması (Dorren ve Berger, 2003'den düzenlenmiştir).



Enerji çizgi açısı kavramının basitliği ve daha önce düşen kaya bloklarının istatistiksel değerlendirilmesi ile birlikte kullanılması, bu yaklaşımın risk yönetimine temel oluşturabilecek bölgesel ölçekte kaya düşmesi duyarlılık haritalarının hazırlanmasında sıklıkla tercih edilmesini de beraberinde getirmektedir. Ancak, özellikle aktif kaynak alanların eğim aşağı kesimlerinde ağaçlık alanların varlığı düşen kaya bloklarının önünde bariyer oluşturabileceği için ağaçlık (ormanlık) alanlar bu tür sahalarda menzil mesafelerinin azalması yönünde faydalı olmakta ve bir önleme yaklaşımı olarak da dikkat çekmektedir.

Bölgesel ölçekteki haritalamalarda aktif kaynak alan- dan serbest kalan kaya bloğunun eğim aşağı ulaşabileceği en uzak noktanın, diğer bir ifadeyle menzil mesafesinin belirlenmesi için gerekli olan enerji çizgi açısının alabileceği değerler için pek çok araştırmacı çok sayıda açılal değer aralığı önermişlerdir (**Çizelge 8.3**).

Çizelge 8.3. Literatürde enerji çizgi açısı için önerilen değerler (Larcher, 2012).

Yazar/ Kaynak	Enerji çizgi açısı	
	Minimum veya aralık değerler	Ortalama değerler
Shreve (1968)	(26.57°-38.66°)	---
Hsü (1975)	31° (32°)	---
Onofri & Candian (1978)	28.34°-40.73° (28.84°-41.73°)	---
Grunder (1984)	32.6°- 33.4° (33.1°- 34.4°)	---
Moser (1986)	330- 42° (34°- 43°)	---
Domaas (1985 in Toppe 1987)	32° (33°)	---
Mac ewen (1989)	30.96° ~ (31°)	---
Gerber (1994)	33°- 37° (33.5°- 38°)	---
Meissl (1998)	29°- 47.5°	38° (38°)
Heinimann vd. (1998)	(29.5°- 48.5°) 33°- 37° (33.5°- 38°)	---
Focardi & Iotti (2001)	27°- 29° (27.5°- 30°)	---
Ayala -carcedo vd. (2001)	(29.1°- 38.9°)	(31.9°)
Jaboyedoff & Labouise (2003)	32° (33°)	---
Jaboyedoff & Labouise (2011)	(32.6°- 35.6°)	34°
Corominas vd. (2003)	26°- 54° (27°- 55°)	---
Dorren & Berger (2005, 2006)	31.3°- 37° (31.9°- 38°)	---
Copons vd. (2009) alan a	(36.87°- 56.3°)	---
Copons vd. (2009) alan b	(28.81°- 42.0°)	---
Hutter vd. (2005) ölçek azaltma deneyi	(30°- 37°)	---
Scheidegger (1973)	(29.68°-39.69°)	---
Marquinez vd. (2002) alan 1	(32.5°- 40.9°)	---
Marquinez vd. (2002) alan 2	(29.4°- 38.5°)	(31.5°- 40.2°)
Antoniou & Lekkas (2009)	(35°)	---
Deparis vd. (2008)	(31.61°- 47.20°)	---
Hyndman & Hyndman (2009)	(33°)	---
Berger vd. (2009) ormanlık	(27.67°- 33.88°)	---
Berger vd. (2009) ormansız	(31.32°- 37.86°)	---
Berger vd. (2009) ölçek azaltma deneyi	(32.57°- 48.99°)	---

Çizelge 8.3. teki çok sayıdaki araştırmanın sonuçları aktif kaynak alanın sağlıklı bir şekilde belirlenmesi durumunda, serbest kalan kaya bloğunun ulaşabileceği etki alanlarının zonlanabilmesi için enerji açısı kavramının etkili bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, enerji açısının tek bir değer ile ifade edilmesi yerine belirli bir aralıkta değiştiği de göz ardı edilmemelidir. Bu değişim, kaynak alandan eğim aşağı uzanan topoğrafyanın morfolojisine, kaya bloğunun hacmine (veya ağırlığına), kaya bloğunun şekline, jeolojik yapıya, kaya bloğu ile topoğrafya arasındaki özelliklere bağlı olarak normal ve teğetsel enerji sönmülenme oranları, eğim aşağı bitki örtüsü ve ağaçlık alanların varlığı gibi çok sayıdaki değişkene bağlıdır. Ancak, daha önce de bahsedildiği üzere bu girdi parametrelerinin bölgesel ölçekte yapılan kaya düşmesi haritaları için belirlenmesi ve gerçekçi değerlerle girdi olarak kullanılması pratik olmamakta ve bu yönüyle de

bölgesel ölçekteki çalışmalarda genellikle tercih edilmemektedir.

Enerji çizgi açısının büyük değerleri kaya bloğunun menzil mesafesinin daha kısa olacağına, buna karşın daha küçük değerleri ise daha uzak menzil mesafelerine ulaşacağını ifade etmektedir. Literatürdeki çalışmalar kapsamında enerji çizgi açısı değerinin 250 ile 400 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değişim aralığı ile uyumlu olarak, RockforLIN programında da kullanılan ve Çizelge 8.4'de sunulan enerji çizgi açısı değerleri kaya düşmesinin etki alanlarının zonlanması ve kaya düşmesi duyarlılık haritalarının üretilmesi için kullanılabilir (Larcher, 2012). Ancak, yine saha gözlemleri ve bazı uzaktan algılama teknikleri ile sahadaki düşen blokların yerleri ve büyüklükleri gibi bazı özellikleri dikkate alınarak, saha özelinde enerji çizgi açısı değerleri de dikkate alınabilir.

Çizelge 8.4. Enerji Çizgi Açısı sınır değerlerine karşılık duyarlılık sınıfları (Larcher, 2012).

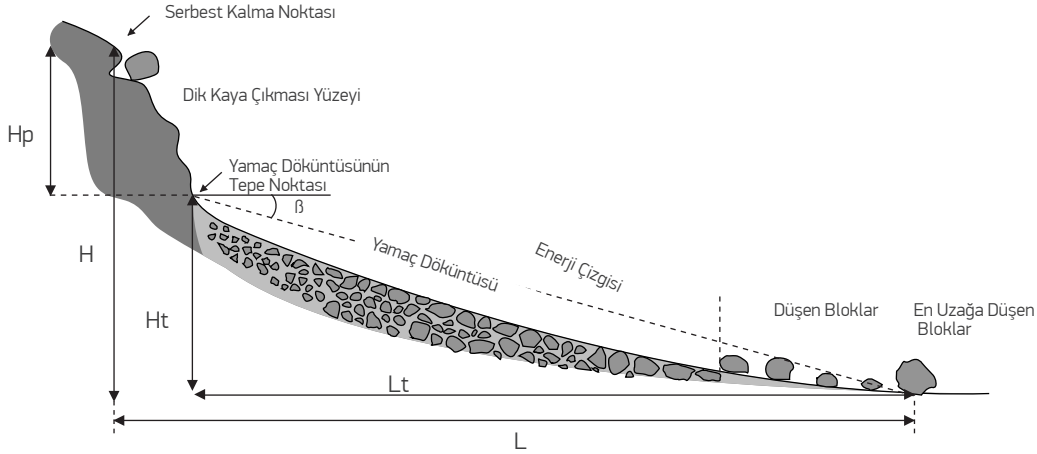
Enerji Çizgi Açısı sınır değeri	Duyarlılık Sınıfı
$38^\circ \geq \beta$	Yüksek
$35^\circ \leq \beta < 38^\circ$	Orta
$32^\circ \leq \beta < 35^\circ$	Düşük
$28^\circ \leq \beta < 32^\circ$	Çok düşük, hemen hemen yok



8.2.2. Gölge açısı (Shadow Angle) Kavramı

Gölge açısı kavramında, dik kaya yüzeyinden eğim aşağı kesimde yamaç döküntüsüne bağlı olarak eğimin azaldığı kesimin tepe noktasından (apex of talus slope) kaya bloğunun ulaşabileceği en uzak noktası arasındaki enerji çizgisinin açı değeri gölge açısı $\beta = \arctan(H_t/L_t)$ olarak tanımlanır (**Şekil 8.13**).

Şekil 8.13. Gölge Açısı (β) kavramı (Capons vd., 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).



Evans ve Hungr (1993) kaynak alandan düşen bloğun kazandığı kinetik enerjinin büyük kısmının yamaç döküntüsüne bağlı olarak eğimin azaldığı kesime (talus slope) düşme ile sönümlendiğini belirtmektedirler. Bu nedenle, kaya bloğunun hareketinin bu çarpışmadan sonra yamaç döküntüsüne bağlı olarak eğimin azaldığı kesim üzerindeki harekete bağlı gelişmesinden dolayı, menzil mesafesinin (run-out distance) belirlenmesinde gölge açısının da kullanılabilirliğini belirtmektedirler. Yine gölge açısı da, belirli bir aralıkta değerler alabilmesine karşın, en uzak mesafenin belirlenmesinde olası en düşük gölge açısı tercih edilmelidir. Capons vd. (2009) gölge açısının alabileceği değerler için literatürdeki bulguları da çalışmasında özetlemiştir. Leid (1977) 28° ile 30° arasında değerler önerirken, Evans ve Hungr (1993) on altı kaya düşmesi olayının analizi sonucunda gölge açısı için 27.5° değerini önermişlerdir. Yosemite vadisinde 25 kaya bloğunu üzerindeki değerlendirmesi sonucunda Wiczorek vd. (1998 ve 2008) ortalama ve en düşük gölge açısı değerlerini sırasıyla 26° ve 22° olarak belirlemiştir. Meissl (2001) Almanya ve Avusturya Alplerindeki gözlemlerine göre 31.5°, Capons (2004) Sol'a d' Andorra'daki çalışmasında genellikle gölge açısının 27° düzeylerinde olduğunu en düşük gölge açısının ise 25.5° olduğunu belirlemiştir. Bu

değerlerin yanı sıra, gölge açısının otlak, çim veya karla kaplı olması gibi özel durumlarda yamaç döküntüsü yüzey özelliklerine göre daha da düşük olabileceği Evans ve Hungr (1993), Domaas (1994) ve Holm ve Jakob (2009) tarafından yapılan çalışmalarda sırasıyla 24°, 17° ve 21° gibi daha düşük gölge açısı değerleriyle literatürde yer almaktadır.

Sonuç olarak kaynak alandan itibaren şekillenen "Enerji Çizgi Açısı" kavramında olduğu gibi "Gölge Açısı" kavramını da, tek bir açı yerine bir aralık ile ifade etmek özellikle kaya düşmesi duyarlılık haritalaması açısından mümkündür. **Çizelge 8.4**'dekine benzer bir yaklaşımla 22° ile 30° arasında dört sınıfa ayrılarak **Çizelge 8.5**'deki gölge açısı sınır değerleri kaya düşmesi duyarlılık haritalamasında kullanılabilir.

Çizelge 8.5. Gölge Açısı sınır değerlerine karşılık duyarlılık sınıfları

Enerji Çizgi Açısı sınır değeri	Duyarlılık Sınıfı
$28^{\circ} \geq \beta$	Yüksek
$26^{\circ} \leq \beta < 28^{\circ}$	Orta
$24^{\circ} \leq \beta < 26^{\circ}$	Düşük
$22^{\circ} \leq \beta < 24^{\circ}$	Çok düşük, hemen hemen yok



8.3. Bölgesel Ölçekte Kaya Düşmesi Haritalarında Yayılım Zonlarının Belirlenmesi

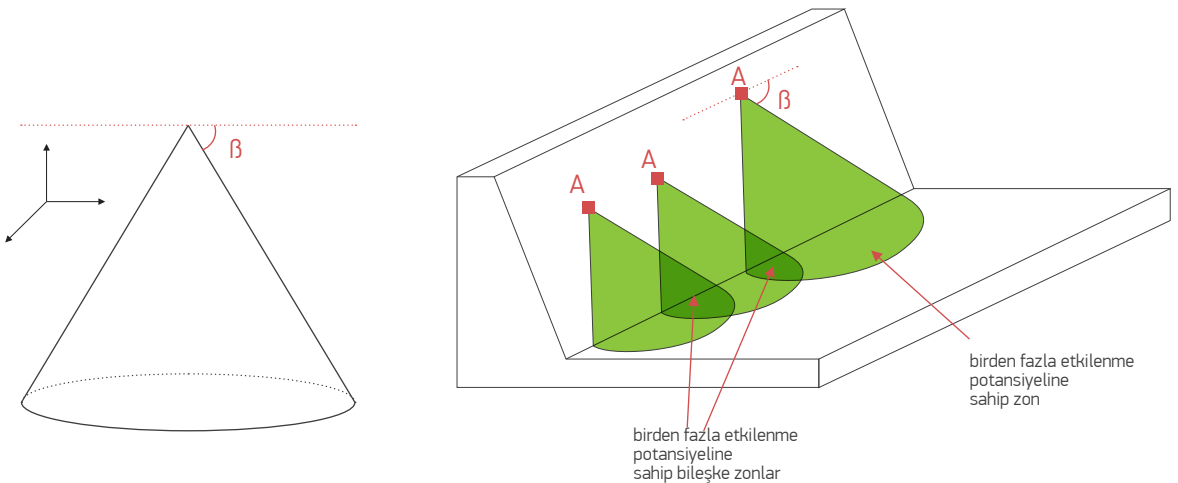
Aktif kaynak alanların içerisindeki her bir hücreden (piksel) serbest kalabilecek kaya bloğunun eğim aşağı hareketi ve ulaşabileceği en uzak mesafe kaya bloğunun potansiyel enerjisi ile eğim aşağı topoğrafyanın morfolojisi ve jeolojisi tarafından denetlenmektedir. Bu nedenle, aktif kaynak alandaki her bir hücreden serbest kalabilecek kaya bloğu üç boyutlu topoğrafyada (SYM) eğim aşağı bir yayılım zonu (release zone) içerisindeki tüm hücreleri etkileyebilir. Yayılım zonunun belirlenmesinde ilk aşama enerji çizgi açısı (EÇA) veya gölge açısı (GA) değerinin veya aralığının belirlenmesidir. İkinci adım ise, EÇA'nın kullanılması durumunda, aktif kaynak alanlardaki her bir hücre için EÇA'ya bağlı olarak menzil mesafesi (run-out distance); GA'nın kullanılması durumunda ise, kaynak alanların alt kotlarındaki sınırından yamaç döküntülerinin tepe sınırı boyunca GA'ya bağlı olarak menzil mesafesi (run-out distance) belirlenmelidir. Kaynak alandaki bir hücreden serbest kalan kaya bloğu EÇA'ya veya GA'ya bağlı olarak, tek bir kaya bloğu çizgisel bir yörüngede hareket etse de, yüzey topoğrafyasında bağlı olarak eğim aşağı alanda belirli bir alanı etkileyebilecek potansiyele sahiptir.

Bu alanın belirlenmesi için genellikle konik yayılım (cone propagation) yaklaşımı yaygın olarak kullanılır.

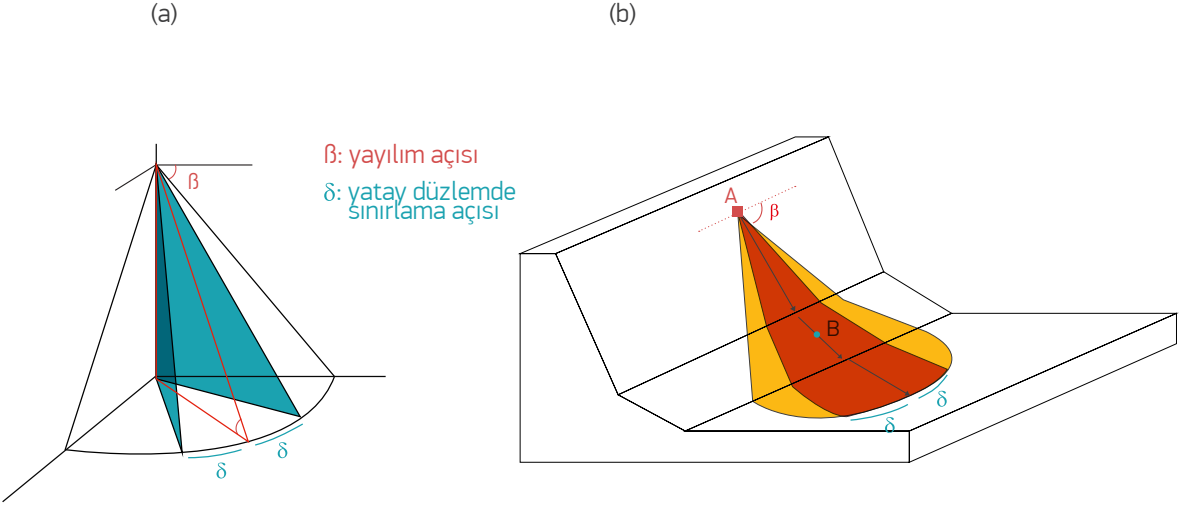
Jaboyedoff ve Labiouse (2003) tarafından önerilen konik yayılım yaklaşımında enerji çizgi açısı veya gölge açısı kavramlarına göre kaynak alandan düşen kaya bloğunu temsil eden hücrede düşey konda δ açısı ile bir koni çizilir, Koninin eğim aşağı kesimdeki topoğrafyayla ara kesiti ile oluşan alan yayılım zonu olarak belirlenir (**Şekil 8.14**). Yayılım zonu içerisindeki tüm hücreler kaya düşmesinden etkilenebilme potansiyeline sahiptir. Bu işlem kaynak alandaki tüm hücreler için tekrarlanır. Kaynak alandan eğim aşağı uzanan topoğrafyadaki hücreler en az bir defa yayılım zonu içerisinde kalıyorsa kaya düşmesine duyarlıdır belirlenmesi yapılır. Kaynak alandan eğim aşağı uzanan topoğrafyadaki hücreler birden fazla sayıda yayılım zonu içerisinde yer alabilir, bu hücrelerde gerek duyulması halinde kaya düşme sayısını da kullanarak tehlikeye geçebilmek amacıyla kaya düşmesi potansiyeli frekansı da sayılabilir.

Konik yayılım uygulamasında etkilenme zonu yatay düzlemde $\pm\delta$ açısı ile sınırlanabilir (**Şekil 8.15**). Crosta ve Agliardi (2004) δ açısı için 15° önermesine karşın, 30° 'lik bir uygulama da nispeten tutucu bir değerlendirme için kullanılabilir.

Şekil 8.14. Jaboyedoff ve Labiouse (2003) tarafından önerilen konik yayılım yaklaşımı (a) β açısına sahip düşey koni, (b) kaynak alandaki hücrelerde şematik olarak β açısına sahip koni ile topoğrafyanın ara kesiti (Derron, 2010'dan düzenlenmiştir).



Şekil 8.15. Konik yayılım uygulamasında etkilenme zonu yatay düzlemde $\pm\delta$ açısı ile sınırlandırılması (Derron,2010'dan düzenlenmiştir).



8.4.Kaya Düşmesi Tehlike Haritaları

Aktif kaynak alandan eğim aşağı yayılım zonu içerisinde uzaklaştıkça kaya düşmesi duyarlılığı doğal olarak azalır ve menzil mesafesinin (yayılım zonunun) dışına çıktığında kaya düşmesinden etkilenmeyecek alanlara ulaşılır ve kaya düşmesi duyarlılığı sıfır olur.

Buna karşın, yayılım zonu içerisindeki herhangi bir noktada (grid hücresinde) kaya düşmesinden etkilenme sayısı (diğer bir ifadeyle kaya düşme sayısı olasılığı), kaya bloğunun hızı ve o noktadaki potansiyel yüksekliğine ilişkin parametreler kaya düşmesi tehlike haritalaması açısından öneme sahiptir. Herhangi bir noktanın kaya düşmesinden etkilenme sayısı dolaylı olarak o nokta için kaya düşme olasılığının da bir ifadesidir (Crosta ve Agliardi, 2003). Sonuç olarak, kaya düşmesi olayı için tehlike değerlendirmesi, kaya düşme sayısı olasılığı (c), kaya bloğunun hızı (v) ve kaya bloğunun potansiyel yüksekliğinin (h) bir fonksiyonu ile vektörel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Crosta ve Agliardi, 2003).

$$|RHI| = \sqrt{(c^2 + k^2 + h^2)} \quad (\text{Eş. 8.2})$$

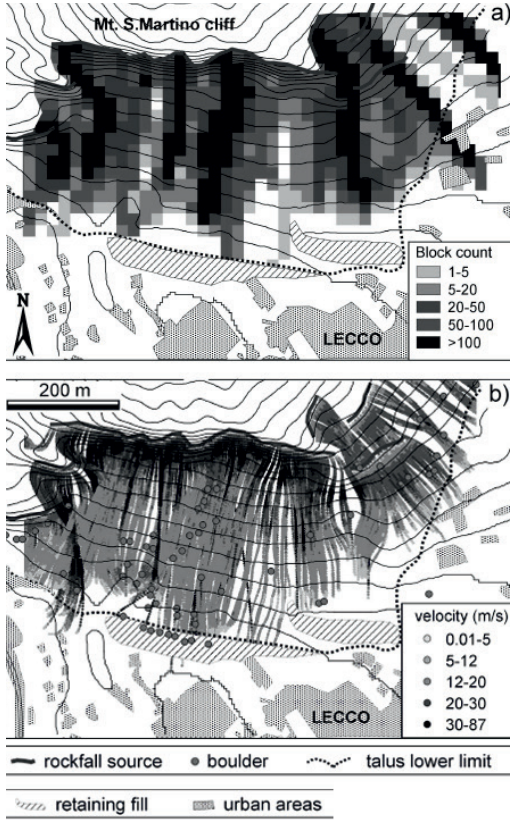
Burada; RHI: kaya düşmesi tehlike indeksi (rockfall hazard index), c: kaya düşme sayısı olasılığı, k: kaya bloğunun kinetik enerjisi ($k=0.5(mv^2)$) ve h:kaya bloğunun potansiyel yüksekliğidir.

Kaya düşmesi yayılım zonunun belirlenmesinde konik yayılım uygulamasının yanı sıra, daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere çok sayıda girdi parametresine gereksinim duyulmasına karşın, kaynak alandan başlayan ve SYM üzerinde kaya bloğunun ilerleme yörüngesini belirleyen yaklaşım kullanılabilir. SYM üzerinde kaya düşmesi haritalamasına yönelik bazı yazılımlar bulunmaktadır. Jaboyedoff tarafından geliştirilen ve ücretsiz olan CONEFALL programı konik yayılım yaklaşımı ile çalışırken, STONE programı (Agliardi et al., 2001; Agliardi and Crosta, 2002; Guzzetti et al., 2002; Agliardi and Crosta, 2003) ise kaya bloğunun ilerleme yörüngesinin belirlenmesi yaklaşımı ile çalışmaktadır. CONEFALL programının girdi parametreleri açısından sadece SYM ve bazı sınır açısı değerlerini kullanması uygulama açısından pratik bir değer sunmaktadır. Bu iki programın her ikisi de yayılım zonu içerisindeki her bir grid hücresi için kaya düşme sayısını belirleyebilmektedir. Kaya bloğunun ilerleme yörün-

gesinin belirleyen yöntemde, grid hücreleri için kaya düşme sayısı morfolojiye bağlı olarak farklılıklar sunabilir. Örneğin, kaynak bölgesine bağlı olarak kanal şeklindeki bir vadi içerisine daha fazla sayıda kaya bloğu düşebilirken, düzlemsel bir eğim topoğrafyasında kaya düşme sayısı diğerine göre daha az olabilecektir. Crosta ve Agliardi (2003), bu farklılığı ifade etmek için kanal şekilli bir vadi içerisine kaynak bölgesindeki daha fazla grid hücresinden daha fazla blok düşebileceğini kabul ederek bu fazlalığı 5 kat olarak kabul etmişler ve “0” ile “1” arasındaki normalizasyonda bu etkiyi formülize etmişlerdir. “c” kaya düşme sayısı, “n” her bir grid hücresinden gelen blok sayısı olmak üzere, kanal şeklindeki bir vadide $n=1$ için $c=5$ (5 kat kabulüne göre) olup, normalize edilen değer ise $c/(5xn)=1$ 'dir. Buna karşın düzlemsel bir eğimde ise $n=1$ için $c=1$ olup, normalize edilen değer ise $c/(5xn)=0.2$ 'dir. Nispeten daha gerçekçi bir yaklaşım olmasına rağmen, topoğrafyaya bağlı olarak normalizasyondaki bu düzenleme de uygulama pratiği açısından değerlendirildiğinde uygun bir yayılım gerektireceği dikkate alınmalıdır.

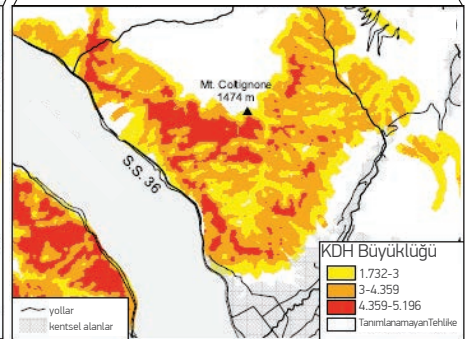
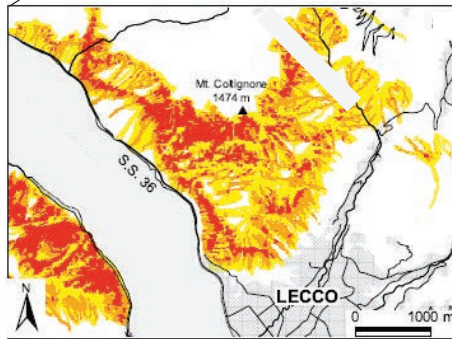
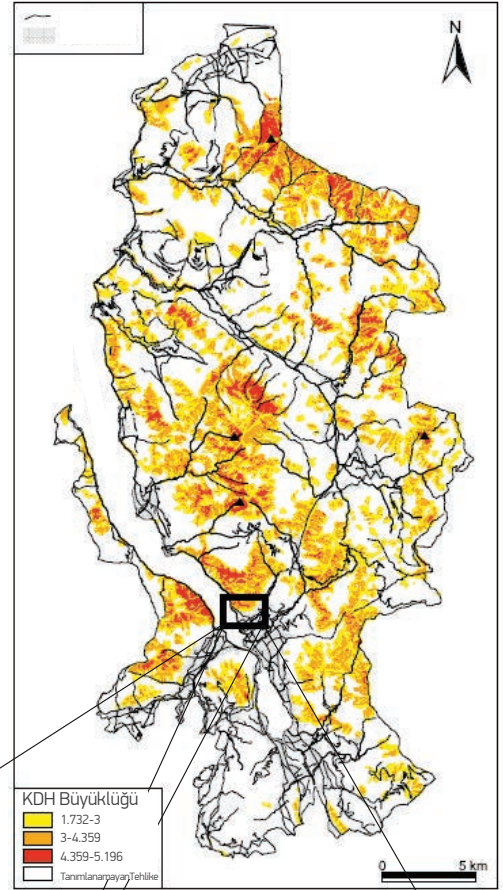
Yukarıdakine benzer yaklaşımla, yayılım zonu içerisindeki her bir grid hücresi için ortalama veya en büyük kaya bloğu hızı ve kaya bloğu yörünge yüksekliği de belirlenerek haritalanabilir. Kaya düşmesi olayı için tehlike (hazard) değerlendirmesi ise kaya düşme sayısı olasılığı (c), kaya bloğunun hızı (v) ve kaya bloğunun potansiyel yüksekliğinin (h) bir fonksiyonu olan **Eş. 8.2** kullanılarak yayılım zonundaki her bir grid hücresi için yapılır ve RHI'ya bağlı olarak “Kaya düşmesi Tehlike Haritası” üretilir. S. Martino dağlık bölgesinde Lecco yerleşim alanının kuzeyindeki alanın kaya düşme sayısı ve kaya düşme yörüngelerindeki hız haritaları **Şekil 8.16**'da görülmektedir (Crosta ve Agliardi, 2003).

Şekil 8.16. S. Martino dağılık bölgesinde Lecco yerleşim alanının kuzeyinde; (a) 20 m çözünürlüklü SYM kullanılarak üretilen kaya düşme sayısı haritası, (b) 5 m çözünürlüklü SYM kullanılarak üretilen kaya düşme yörüngelerindeki hız haritası (Crosta ve Agliardi, 2003).



Crosta ve Agliardi (2003) tarafından Lecco bölgesi için üretilen bölgesel kaya düşmesi tehlike haritası ve yine bu bölge içerisinde seçilmiş olan alanın daha yüksek çözünürlükteki kaya düşmesi tehlike haritaları **Şekil 8.17**'de görülmektedir.

Şekil 8.17. (a) Lecco bölgesinin bölgesel ölçekte kaya düşmesi tehlike haritası, (b) Seçilen alanın daha yüksek çözünürlükte üretilen kaya düşme haritası ve (c) bu haritanın yumuşatılmış şekli (Crosta ve Agliardi, 2003'den düzenlenmiştir).



8.5. Kaya Düşmesi Risk Haritaları

Kılavuzun bu bölümünde kavramlar ve uygulama yaklaşımları açısından belirgin bir fark olmaması nedeniyle Bölüm 7'de verilen ve genel anlamda heyelanlara yönelik risk haritalaması için sunulan bilgilerin kaya düşmesi risk haritalamasında da kullanılması mümkündür. Kılavuzun bu bölümünde tekrardan kaçınılmış ve risk haritalaması için Bölüm 7.2'nin incelenmesi önerilir.

8.6. Kaya Düşmesine Yönelik Önleme Yaklaşımları

Dik topoğrafyaya sahip dağlık alanlardaki yüksek kotlarda yüzeylenen eklemli kaya ortamlarında, süreksizliklerin sınırlandığı kaya bloklarının serbest yüzeye doğru küçük hareketlerde duraylılığını yitirerek kaynak bölgeden eğim aşağı oldukça hızlı olarak hareket ettiği bir tür yamaç duraysızlığı olan kaya düşmeleri, olay anında hızının yüksek olması nedeniyle kaya düşmesi blok hacmine de bağlı olarak ulaşım ağları ve yapılaşma alanları için oldukça tehlikeli olabilirler. Kaya bloklarının ulaşabilecekleri en uzak mesafelere göre yukarıda yayılım zonunun dışına kaçmak her durumda mümkün olamayabilir. Bu gibi durumlarda önleyici veya zararı azaltıcı bazı uygulamalar da yapılabilmektedir.

Kaya düşmelerinin zararlarını önlemeye veya azaltmaya yönelik yöntemleri kaynak alanda ve yayılım zonunda yapılabilecek uygulamalar şeklinde aşağıdaki gibi değerlendirmek mümkündür (Labiouse, 2008).

- (1) Kaynak alanında yapılabilecek uygulamalar
 - i. Duraysızlığa yatkın kaya bloklarının temizlenmesi
 - a. Kaya bloklarının yerinde temizlenmesi
 - b. Kaynak bölgesinin yeniden şevlendirilmesi
 - ii. Duraysızlığa yatkın kaya bloklarının duraylılığının artırılması
 - a. Sığ ve/veya derin drenaj
 - b. Çelik hasır uygulanması
 - c. Ağaçlandırma
 - d. Ankraj ve bolt uygulamaları
 - e. Püskürtme beton (shotcrete) uygulaması
 - f. İstinat duvarları
- (2) Yayılım zonunda yapılabilecek uygulamalar
 - i. Doğal bariyerler
 - a. Ağaçlık (ormanlık) alanlar
 - iii. Önleyici mühendislik çalışmaları
 - a. Kaya toplama hendekleri

- b. Çelik hasır ve kablo ağ perdeler
- c. Rijit bariyerler (ahşap, metal ve beton)
- d. Düşük enerji engelleri
- e. Yüksek enerji engelleri
- f. Galeriler
- g. Dolgu barajları ve güçlendirilmiş barajlar

Aktif kaynak alanlarından eğim aşağı kesimde yamaç döküntülerinin üzerinde ağaçlık alanların bulunması kaya bloklarının hızını, ilerleme mesafelerini azaltıcı yönde etki sağlayabilir (**Şekil 8.18**). Ancak, buradaki ağaçlık (ormanlık) alandaki ağaç yoğunluğu da diğer bir önemli husustur. Bu nedenle, ormanlık alanların varlığı her zaman tehlikeyi yeterli düzeyde ortadan kaldırmayabilir (Dorren vd., 2006 ve Labiouse, 2008).

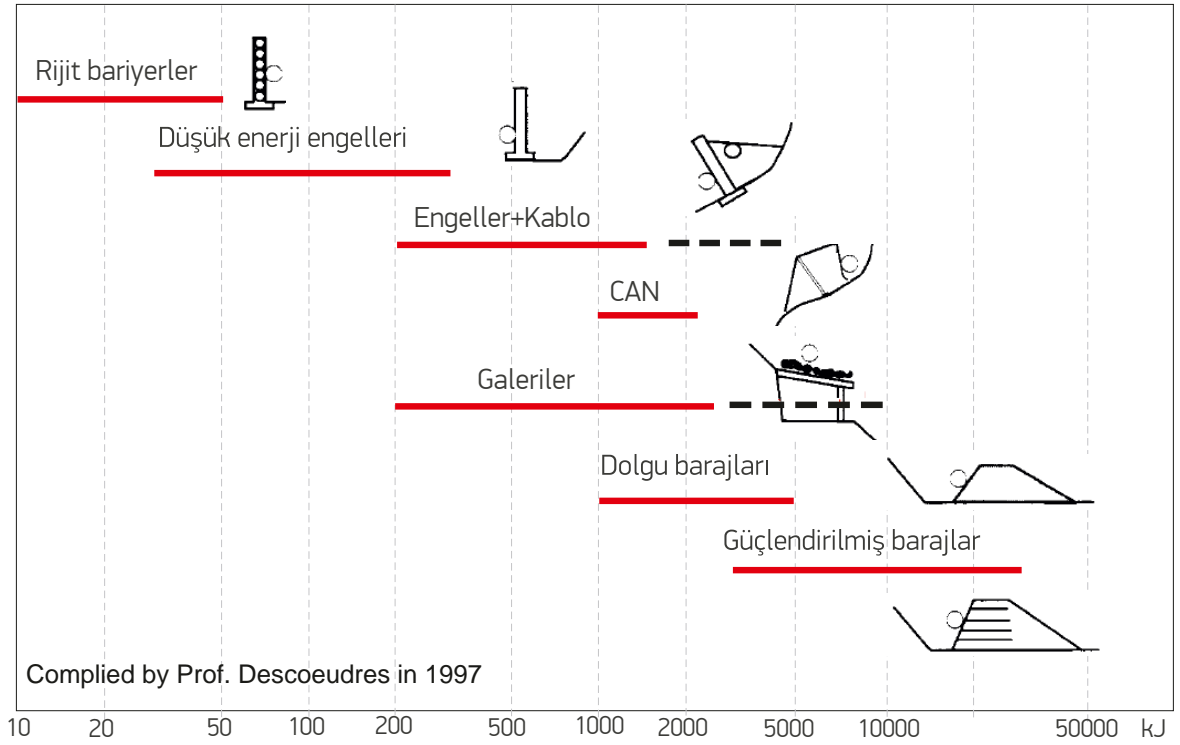
Şekil 8.18. Düşen kaya bloğunun ağaçlık alanda tutulması (Labiouse, 2008).



Ormanlık ve çıplak yamaçlarda düşen kaya bloklarının hareketlerinin gerçek boyutlu saha deneyleri ile 3D simülasyonlarının yapıldığı bir çalışmada, teğetsel ve normal enerji azalım katsayılarının (r_t ve r_n) ormanlık alanlar için yaklaşık %10 düzeylerinden daha yüksek olabildiği görülmektedir (Dorren vd., 2006).

Kaya düşmelerine karşı önleyici mühendislik uygulamalarının enerji kapasiteleri Şekil 8.19'da görülmektedir (Labiouse, 2008).

Şekil 8.19. Kaya düşmeleri önleyici mühendislik uygulamalarının enerji kapasiteleri (Labiouse, 2008)



Şekil 8.20. Kaya düşmesi önleyici uygulamalarından bazı örnekler (Labiouse, 2008'den düzenlenmiştir).



8.7. Örnek Uygulama


Bu bölümde, kaya düşmesi duyarlılık değerlendirmeleri için pratik kullanıma yönelik bir uygulama sunulmuştur. Bu işlemlerin yapılabilmesi için, öncelikle kaya düşmesi olay(lar)ının gerçekleştiği alanda, kılavuz kapsamında önerilen Kaya Düşmesi Kayıt Formunun (**Şekil 8.21**) doldurulması gerekmektedir.

Eğer kaya düşmesi olayları, süreksizlik denetimli duraysızlıklarla (devrilme, kama, düzlemsel) başlayıp daha sonra duraysızlık türü, kaya düşmesine dönüşüyorsa, **Şekil 8.22**'de verilen Hat Etüdü Formu da doldurulmalıdır. Hat etüdüleri, ISRM (1981) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Bu bilgiler elde edildikten sonra, çalışılacak alanın SYM oluşturulmalıdır. Kullanılacak altlık harita ölçeği gözetilerek, kaya düş-


mesi açısından kaynak alan olabilecek alanlar, oluşturulan SYM'den üretilecek eğim haritası kullanılarak belirlenebilir (bkz. **Çizelge 8.1.**). Örneğin 1/25.000 ölçekli bir topoğrafik haritadan üretilecek 25mx25m çözünürlüğe sahip SYM kullanılıyorsa, bu SYM kullanılarak türetilen yamaç eğim haritasında 43° ve üstünün kapladığı alanlar, ilk aşamada kaynak alan olarak değerlendirilebilir. Daha sonra yapılacak saha gözlemleri ve eğer mümkünse, hava fotoğrafı veya uydu görüntülerinin yorumlanması sonucunda, kaynak alan sınırları netleştirilmeli ve sayısal olarak kullanılan CBS platformunda saklanmalıdır.




Şekil 8.21. Kılavuz kapsamında önerilen kaya düşmesi kayıt formu.



Kaya Düşmesi Kayıt Formu

Kayıt Tarihi: 11.06.2011	Genel Görünüm 
Envanter No: RF-1	
Yeri: Bartın-Kumluca Yolu. 10. km	
Pafta No: Zonguldak F28b2	
Litolojik Tanımlama: Kireçtaşı	
Kaydı Alan: Ayca Kalender	Fotoğraf No: 1/2/3/4
Olay Tarihi: 26.02.2010	Bitki Örtüsü: • Çok yoğun • Yoğun • Orta • Seyrek • <input checked="" type="radio"/> Yok
Yamaç Yüksekliği (m): 16	Su Durumu: <input checked="" type="radio"/> Kuru • Nemli • Damlama • Akış • Yok
Yamaç Eğimi (°): 72	Tetikleyici Etken: • Var <input checked="" type="radio"/> Yok • Deprem • Yağış • İnsan Etkisi
Baki (°): 045	Tetikleyici Etken Bilgisi: • Kayıtlardan • Kişilerden
Yamaç Şekli: • İçbükey • Dışbükey • <input checked="" type="radio"/> Düz	Kaya Düşmesi Zarar Bilgisi: <input checked="" type="radio"/> Var (Zarar Formu doldurunuz) • Yok
Süresizlik Denetimi: <input checked="" type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır	
Hat Etüdü: <input checked="" type="radio"/> Yapıldı (Form doldurunuz) • Yapılmadı	
Düşen Blok Bilgileri	
Blok Sayısı: 2	
Blok No: X: Y: Z:	
1 444132 4438165 1006	
2 444138 4438176 1005	
Blok Şekli:	
a) Çok Yüzepli	b) Eş Boyutlu
c) Prizmatik	d) Plakalı
e) Rombohedral	f) Kolonsu
Ortalama Blok Boyutu (m³): 0.15 (En: 0.5 Boy: 0.5 Yükseklik: 0.6)	
Topoğrafik Harita: <input checked="" type="radio"/> Var <input type="radio"/> Yok	Ölçek: 1/25000
Açıklamalar:	

Şekil 8.22. ISRM (1981)'e göre düzenlenmiş süreksizlik özelliklerine ilişkin tanımlamalar.



SÜREKSİZLİK ÖZELLİKLERİNE İLİŞKİN TANIMLAMALAR

Hat Etüdü Uzunluğu (m):	Ölçüm Sayısı:	Etüdü Yapan:	Tarih:
1) Süreksizlik Türü Simge	2) Süreksizlik Aralığı (mm)	Tanımlama	3) Süreksizlik Devamlılığı (m) Tanımlama
.Dokanak .Co	< 20	. Çok Dar	< 1
.Tabakalanma .B	20-60	. Dar	1-3
. Fay .F	60-200	. Yakın	3-10
. Fay Zonu .Fz	200-600	. Orta	10-20
. Makaslama Zonu .Sz	600-2000	. Geniş	>20
. Eklemler .J	2000-6000	. Çok Geniş	
. Follasyon .Fo	>6000	. Aşırı Geniş	
. Dilinim .C			
. Damar .V			
. Şistozite .S			
. Fisür .F			

<p>4) Süreksizlik Pürüzlülüğü/Dalgalılığı</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20%;">I. düz</td> <td style="width: 80%;"></td> </tr> <tr> <td>II. düz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>III. kayan</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">BASAMAKLI</td> </tr> <tr> <td>IV. düz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>V. düz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VI. kayan</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">DALGALI</td> </tr> <tr> <td>VII. düz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VIII. düz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IX. kayan</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">DÜZLEMSEL</td> </tr> </table> <p style="text-align: right; font-size: small;">MAKSİMUM DAVRANIŞLAR</p> </div>	I. düz		II. düz		III. kayan		BASAMAKLI		IV. düz		V. düz		VI. kayan		DALGALI		VII. düz		VIII. düz		IX. kayan		DÜZLEMSEL		<p>5) Süreksizlik Açıklığı Tanımlama</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><u><0.1 mm</u></td> <td style="width: 50%;">. Çok Sıkı</td> </tr> <tr> <td><u>0.1-0.25 mm</u></td> <td>. Sıkı Kapalı Yapılar</td> </tr> <tr> <td><u>0.25-0.5 mm</u></td> <td>. Kısmen Açık</td> </tr> <tr> <td><u>0.5-2.5 mm</u></td> <td>. Açık</td> </tr> <tr> <td><u>2.5-10 mm</u></td> <td>. Orta Boşluklu Yapılar</td> </tr> <tr> <td><u>>10 mm</u></td> <td>. Geniş</td> </tr> <tr> <td><u>1-10 cm</u></td> <td>. Çok Geniş</td> </tr> <tr> <td><u>10-100 cm</u></td> <td>. Aşırı Geniş</td> </tr> <tr> <td><u>>100 cm</u></td> <td>. Boşluklu Açık Yapılar</td> </tr> </table>	<u><0.1 mm</u>	. Çok Sıkı	<u>0.1-0.25 mm</u>	. Sıkı Kapalı Yapılar	<u>0.25-0.5 mm</u>	. Kısmen Açık	<u>0.5-2.5 mm</u>	. Açık	<u>2.5-10 mm</u>	. Orta Boşluklu Yapılar	<u>>10 mm</u>	. Geniş	<u>1-10 cm</u>	. Çok Geniş	<u>10-100 cm</u>	. Aşırı Geniş	<u>>100 cm</u>	. Boşluklu Açık Yapılar
I. düz																																											
II. düz																																											
III. kayan																																											
BASAMAKLI																																											
IV. düz																																											
V. düz																																											
VI. kayan																																											
DALGALI																																											
VII. düz																																											
VIII. düz																																											
IX. kayan																																											
DÜZLEMSEL																																											
<u><0.1 mm</u>	. Çok Sıkı																																										
<u>0.1-0.25 mm</u>	. Sıkı Kapalı Yapılar																																										
<u>0.25-0.5 mm</u>	. Kısmen Açık																																										
<u>0.5-2.5 mm</u>	. Açık																																										
<u>2.5-10 mm</u>	. Orta Boşluklu Yapılar																																										
<u>>10 mm</u>	. Geniş																																										
<u>1-10 cm</u>	. Çok Geniş																																										
<u>10-100 cm</u>	. Aşırı Geniş																																										
<u>>100 cm</u>	. Boşluklu Açık Yapılar																																										

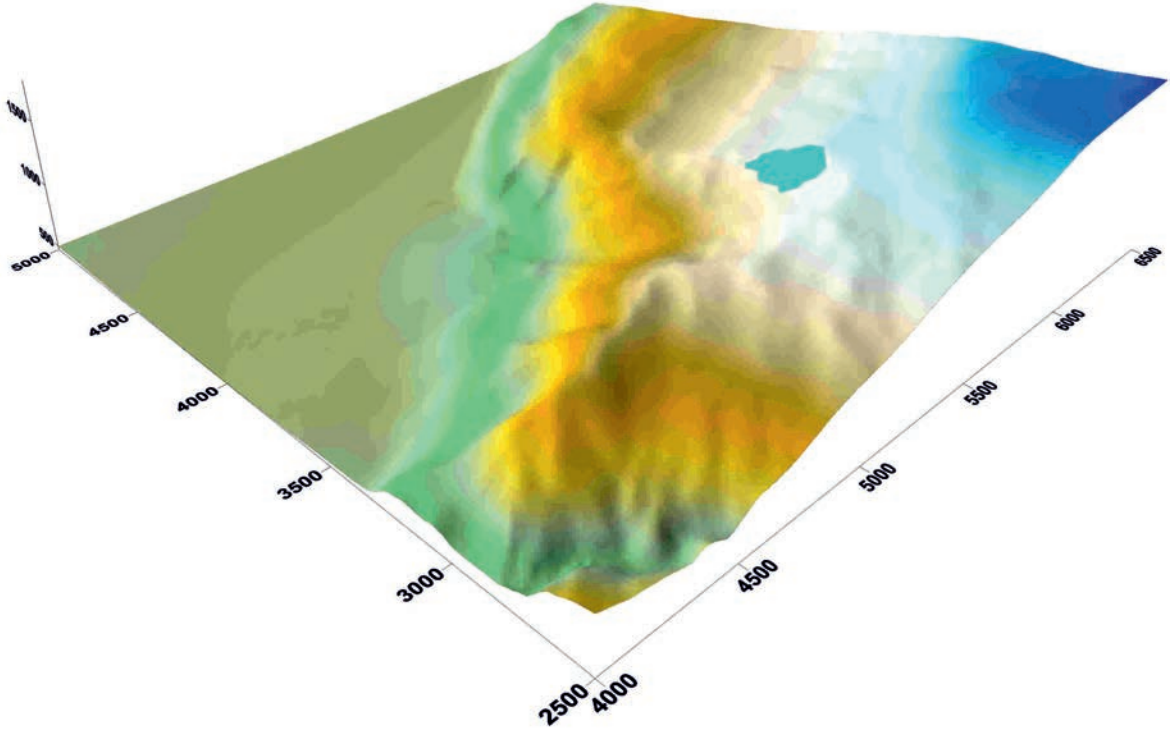
6) Dolgu Malzemesi Tanımlanması:

	Tanımlama
7) Bozunma Durumu Simge	Kayanın bozunduğuna ilişkin göde ayırtı edilebilir bir belirti olmamakla birlikte ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlenebilir.
Bozunmamış .W ₁	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedenyle tüm kayanın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha koyu olabilir.
Az Bozunmuş .W ₂	Kayanın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüştürülerek ayrışmış ve kayaya parçalanmıştır. Kayık, tabak, ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya pekileşmiş taşı halindedir.
Orta Derecede Bozunmuş .W ₃	Kayanın tümü toprak zemine dönüştürülerek ayrışmış ve parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya külesinin yapısı halen korunmaktadır.
Tamamen Bozunmuş .W ₄	Kayanın tümü toprak zemine dönüştürülmüştür. Kaya külesinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla birlikte, zemin taşınmazdır.
Artık Zemin .W ₅	

<p>8) Su Durumu Tanımlama</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">1</td> <td style="width: 50%;">Kuru</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Çok Az Sızıntı</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Orta Derecede Akış</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Akış</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Yüksek Akış</td> </tr> </table>	1	Kuru	2	Çok Az Sızıntı	3	Orta Derecede Akış	4	Akış	5	Yüksek Akış	<p>9) Ana Süreksizlik Setleri: Eğim (°), Eğim Yönü (°)</p>
1	Kuru										
2	Çok Az Sızıntı										
3	Orta Derecede Akış										
4	Akış										
5	Yüksek Akış										

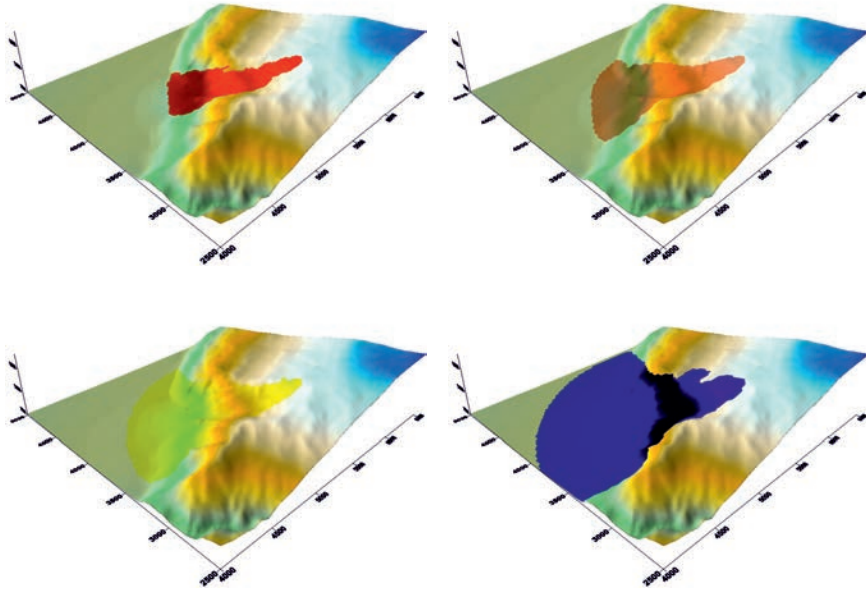
Kılavuz kapsamında kaya düşmesi duyarlılık haritalarının oluşturulması için önerilen yazılım, ücretsiz bir yazılım olan CONEFALL (<http://www.quanterra.org>) programıdır. CONEFALL programı, SURFER programı ile ilişkili çalıştığından (dosya formatı yönünden), oluşturulan SYM'nin SURFER yazılımında kullanılabilecek bir formatta veya doğrudan ilgili programda oluşturulması önerilir. CONEFALL programı, tamamıyla topoğrafik özellikleri dikkate alarak çalışmakta ve girdi parametreleri olarak SYM, kaynak bölge ve konik yayılım açısını kullanmaktadır (Şekil 8.23).

Şekil 8.23. Kaya düşmesi potansiyelinin değerlendirileceği alan için girdi verilerinin gösterimi.

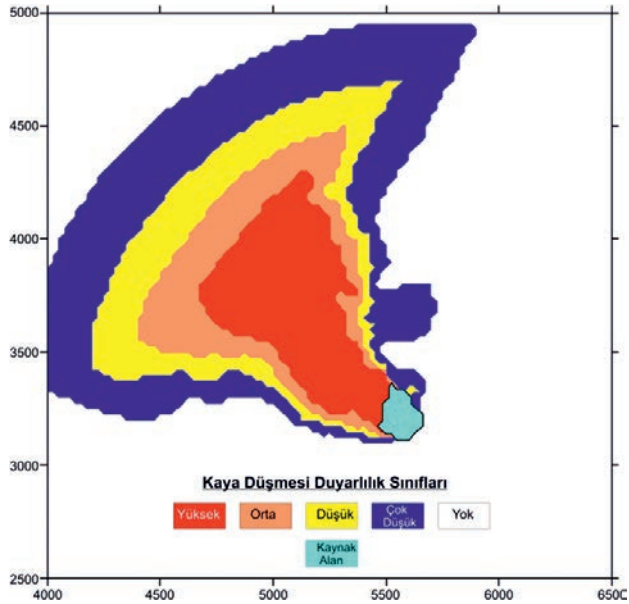


Şekil 8.23'de, turkuaz ile gösterilen alan, kaynak alanı temsil etmekte ve konik yayılım prensibi dikkate alınarak, topoğrafik özelliklere dayalı bir duyarlılık değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bu amaçla, Çizelge 8.4'de verilen Enerji Çizgi Açısı değerleri, CONEFALL programına ayrı ayrı girilerek (Şekil 8.24), kaya düşmesi potansiyelinin "yüksek", "orta", "düşük", "çok düşük" ve "yok" olarak değerlendirilebileceği duyarlılık haritaları üretilebilmektedir (Şekil 8.25).

Şekil 8.24. Farklı konik yayılım açıları (β) kullanılarak, kaya düşmesi duyarlılık haritalarının oluşturulmasına bir örnek: a) $\beta=38^\circ$ b) $\beta=35^\circ$ c) $\beta=32^\circ$ ve d) $\beta=28^\circ$.



Şekil 8.25. Farklı kaya düşmesi duyarlılık değerlerinin gösterildiği haritalara bir örnek.



HEYELAN SÖZLÜĞÜ

A

Akma:	Birden fazla sayıda makaslama yüzeyi boyunca gelişen ve çoğunlukla serbest yüzeyler boyunca yer değiştirerek yayılan kütle hareketidir.
Aktif Heyelan:	Hareketi halen devam eden heyelandır.
Aktif Olmayan Heyelan:	Son bir yıl içinde herhangi bir hareketin izlenmediği heyelanlardır.
Ana Heyelan Kütle:	Ana ayna ile kayma yüzeyinin topuğu arasında kalan ve kayma yüzeyini üzerleyen duraysızlığa uğramış (yerdeğiştirmiş) malzemedir.
Ayrılma Yüzeyi:	Heyelanın eteklerinin üzerinde yer aldığı orjinal topoğrafyadır.

B

Bileşik Heyelan:	En az iki heyelan türünün bir arada gözlemlendiği ancak, aynı hareket zonu içinde, farklı alanlarda gelişmiş heyelanlardır.
Birikme Zonu:	Heyelan sırasında kayan malzemenin orjinal topoğrafik kotunun daha üstünde bulunduğu kısımdır.
Birikme Zonu:	Orijinal topoğrafya üzerinde bulunan kayan malzemenin bulunduğu kütlelerdir.
Büyüyen Heyelan:	Kayma yüzeyi iki veya daha fazla yönde gelişen heyelanlardır.

C

Coğrafi Bilgi Sistemi:	Konuma dayalı bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütün dahilinde yapan bilgi sistemidir.
-------------------------------	---

Ç

Çok Eski Heyelan:	Daha önce duraysızlığını tetikleyen nedenlerden artık etkilenmeyen, aktif olmayan türdeki heyelanlardır.
Çoklu Heyelan:	Aynı heyelan türünün, birden çok sayıda gelişmesiyle meydana gelen heyelanlardır.
Çöküntü:	Ana ayna, kayan kütle ve orjinal topoğrafya ile sınırlandırılmış kütlelerdir.
Çözünürlük:	Bir görüntü elemanının gerçeği yansıtma hassasiyetinin sayısal değeridir.

D

Datum:	Herhangi bir noktanın yatay ve düşey konumunu tanımlamak için başlangıç alınan referans yüzeyidir.
Devrilme:	Toprak ya da kaya kütlelerinin ağırlık merkezinin üzerindeki bir nokta veya eksen boyunca şevden ileri doğru rotasyonel (dönel) hareketidir.
Doğal Afet:	Deprem, heyelan, taşkın, çığ gibi doğa olaylarının, insan yaşamını etkilemesi ve/veya zarar vermesi durumunda, bu olaylar için tanımlanan genel kavramdır.
Durağan (Önlenmiş) Heyelan:	Duraysızlığı etkileyen etmenlere karşı önlemler alınarak hareketi durdurulmuş, aktif olmayan heyelanlardır.
Duraklamış Heyelan:	Son bir yıl içinde hareket izlenmiş ancak, günümüzde aktif olmayan heyelanlardır.
Düşey Datum:	Topoğrafik yükseklikler için referans alınan başlangıç yüzeyidir.
Düşme:	Toprak ya da kaya bloklarının, dik bir yamaç boyunca herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın ana kütlede ayrılmasıdır.

G

Gerileyen Heyelan:	Kayma yüzeyi, yerdeğiştiren malzemenin hareket yönünün tersi yönde gelişen heyelanlardır.
Gizlenmiş Heyelan:	Ana aynası olan ancak, kayma yüzeyi ve topuğu gözükmeyen heyelanlardır.

H

Hasar Görebilirlik:	Heyelan riski içeren bir alandaki eleman veya eleman grubunun (örneğin insanlar, evler, kritik tesisler gibi), heyelan sonucunda uğrayacağı kaybın derecesini ifade etmektedir.
Heyelan:	Kayaç, moloz ve toprak malzemelerin veya bunların karışımının, yerçekimi etkisi ile aşağı yönde hareketidir.
Heyelan Derinliği:	Orjinal topoğrafya üzerindeki kayma yüzeyinin maksimum derinliğidir.
Heyelan Duyarlılığı:	Heyelan oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametreler dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, gelecekte heyelan meydana gelmesi olası alanların göreceli olarak sınıflandırıldığı kavramdır.
Heyelan Envanter Haritası:	Heyelan yeri, türü, boyutları, aktivitesi gibi konularda açıklayıcı bilgi veren haritalardır.
Heyelan Envanteri:	Heyelanların özellikleri hakkında bilgi veren veri tabanlarıdır.
Heyelan Eteği:	Kayma yüzeyinin topuğundan eğim aşağı yönde uzanan yerdeğiştirmemiş malzemenin bulunduğu bölümüdür.
Heyelan Genişliği:	Heyelanın kanatları arasındaki alana dik olan maksimum genişliktir.
Heyelan Kanadı:	Duraysızlığı, hareket etmemiş kesimden ayıran kenar kesimlerdir.
Heyelan Riski:	Can ve mal kaybına yol açan veya çevreye zarar veren bir heyelanın, oluşma olasılığının bir ölçüsü olup, belirli bir zamanda, belirli bir bölgede heyelan sonucunda ortaya çıkabilecek can ve mal kaybı ile ekonomik zararın tahmin edilen sayısal değeridir.
Heyelan Taç Kesimi:	Bir heyelanın ana aynasının en yüksek kesimine yakın konumdaki yerdeğiştirmemiş malzemenin bulunduğu yerdir.
Heyelan Tehlikesi:	Belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içerisinde, potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip bir heyelanın oluşabilme olasılığıdır.
Heyelan Topuğu:	Ana aynadan en uzakta bulunan yerdeğiştirmemiş malzemenin kenar kısmıdır.
Heyelan Uç Noktası:	Heyelanın topuk kısmında bulunan ve duraysızlığın tepe noktasına olan en uzak noktadır.
Heyelan Uzunluğu:	Heyelanın tepe noktası ile uç noktası arasında kalan en kısa mesafedir.
Heyelan Üst kesimi:	Yerdeğiştirmemiş malzeme ile taç kesimi arasındaki temas yüzeyi boyunca kaymış olan malzemenin üst kısmıdır.

HEYELAN SÖZLÜĞÜ

İ	
İlerleyen Heyelan:	Yerdeğiştirmiş malzemenin hacminde ve kayma yüzeyinde herhangi bir değişiklik olmadan hareketine devam eden heyelanlardır.
K	
Kalıntı Heyelan:	Duraysızlığın geliştiği andaki jeomorfolojik durumu ve iklim koşulları günümüzdekinden farklı olan aktif olmayan heyelanlardır.
Karmaşık Heyelan:	Birden fazla sayıda duraysızlık türünün bir arada geliştiği heyelanlardır.
Kayan Kütle:	Orijinal topoğrafyanın altında, kayma yüzeyi üzerinde bulunan kayan malzemenin hacmidir.
Kayma Yüzey Topuğu:	Kayma yüzeyinin en alt kısmı ile orjinal topoğrafyanın arakesitidir.
Kayma Yüzeyi:	Orjinal topoğrafyanın üzerinde bulunan yerdeğiştirmiş malzemenin alt sınırındaki yüzeydir.
Kayma Zonu:	Heyelan sırasında kayan malzemenin orijinal topoğrafik kotunun, daha altında bulunduğu kısımdır.
Kayma:	Toprak ve kaya kütlelerinin bir veya birden çok yüzey üzerinde makaslama deformasyonu sonucu meydana gelen hareketidir.
Küçülen Heyelan:	Yerdeğiştiren malzemenin hacminin giderek azaldığı heyelanlardır.
O	
Orjinal Topoğrafya:	Heyelan gerçekleşmeden önceki orjinal topoğrafik yüzeydir.
P	
Piksel:	En küçük hücresel görüntü elemanıdır.
R	
Raster (Hücresel) Veri:	Yeryüzeyi üzerindeki nesnelere, grid hücreleri şeklinde ifade edildiği ve bu nesnelere ilişkin özellikleri yansıtan ve görüntü olarak bilgi sunan veri gruplarıdır.
Risk Altındaki Eleman:	Bir heyelan sonucunda potansiyel olarak etkilenebilecek canlılar, binalar, yapılar, altyapı, yol gibi elemanları içeren kavramdır.
S	
Sayısal Arazi Modeli:	Çok sayıda konumsal ve yükseklik değerinin, bir koordinat sistemi dahilinde, yeryüzeyine ilişkin verilerle ifade edilip, istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve sunulmasından oluşan veri grubudur.

T

Tali Ayna:	Kayan kütle içinde meydana gelen farklı hareketler nedeniyle yerdeğiştiren malzemenin, üst kısmındaki dik veya dike yakın yüzeydir.
Tekil Heyelan:	Tek bir heyelanın geliştiği ve yenilen malzemenin tekil olarak hareket ettiği heyelanlardır.
Tepe Noktası:	Kayan malzeme ile ana aynanın temas yüzeyindeki en yüksek noktadır.

U

Uzaktan Algılama:	Bir nesneye fiziksel temas olmaksızın, ilgili nesnenin elektromanyetik ışınım özelliklerinin algılanarak değertendirildiği ve kullanıcılara sunulduğu bilim dalıdır.
--------------------------	--

V

Vektörel Veri:	Yeryüzeyi üzerindeki nesnelerin, nokta, çizgi veya poligon şeklinde ifade edilebildiği konum, şekil ve/veya öz nitelik bilgilerini içeren veri gruplarıdır.
-----------------------	---

Y

Yanal Yayılma:	Kohezyonlu topraklar veya kaya kütlelerinin altında bulunan daha yumuşak bir zemin üzerinde genişlemesidir.
Yatay Datum:	Harita koordinatları için referans alınan başlangıç yüzeyidir.
Yeniden Aktif Olan Heyelan:	Aktif olmayan bir heyelanın, harekete geçerek aktif hale geçmesiyle meydana gelen heyelanlardır.
Yerdeğiştiren Malzeme:	Heyelan hareketi sırasında orjinal konumunu değiştirmiş malzemedir.

- Agliardi, F., and Crosta, G. B., 2002. 3-D numerical modelling of rockfalls in the Lecco urban area (Lombardia Region, Italy), in: Proc. EUROCK 2002, I.S.R.M. International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions, Madeira, edited by Dinis de Gama, C. and Ribeiro e Sousa, L., Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 79–86.
- Agliardi, F., and Crosta, G.B., 2003. High resolution three-dimensional numerical modeling of rockfalls: International Journal of Rock Mechanics and Mineral Science, v. 40, p. 455-471.
- Agliardi, F., Cardinali, M., Crosta, G. B., Guzzetti, F., Detti, R., and Reichenbach, P., 2001. A computer program to evaluate rockfall hazard and risk at the regional scale, Examples from the Lombardy Region, Geophysical Research abstract, 3, 8617.
- Akgun, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Pradhan, B., 2012. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, Computers & Geosciences, 38, 23-34.
- Aksoy, B. and Ercanoğlu, M., 2012. Landslide identification and classification by object- based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey). Computers & Geosciences, 38, 87-98.
- Alca ´ntara-Ayala, I., 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology, 47, 107-124.
- Aleotti, P. And Chowdhury, R., 1999, Landslide hazard assessments: Summary review and new perspective, Bulletin of Engineering Geology of the Environment, 58, 21-44.
- Alkevi, T. and Ercanoğlu, M., 2011. Assessment of ASTER satellite images in landslide inventory mapping: Yenice-Gökçebeý (Western Black Sea Region, Turkey). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70, 607-617.
- Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.-J., Lee, H.J., 2014. A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping, Catena, 114, 21-36.
- Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Lee, S., 2012. Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping, Computers & Geosciences, 44, 120-135.
- Atkinson, P.M., Massari, R., 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy, Geomorphology, 130, 55-64.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, Geomorphology, 65, 15–31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications , Engineering Geology, 81, 432– 445.
- Ayenew, T., Barbieri, G., 2005. Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia, Engineering Geology, 77, 1–15.
- Baeza, C. and Corominas, J., 2001, Assessment of shallow landslides susceptibility by means of multivariate statistical techniques, Earth Surface Processes & Landforms, 26, 251-1263.
- Bai, S., Wang, J., Zhang, Z., Cheng, C., 2012. Combined landslide susceptibility mapping after Wenchuan earthquake at the Zhouqu segment in the Bailongjiang Basin, China, Catena, 99, 18-25.
- Bai, S.-B., Wang, J., Lü, G.-N., Zhou, P.-G., Hou, S.-S., Xu, S.-N., 2009. GIS-Based and Data-Driven Bivariate Landslide-Susceptibility Mapping in the Three Gorges Area, China, Pedosphere, 19(1): 14-20.
- Bai, S.-B., Wang, J., Lü, G.-N., Zhou, P.-G., Hou, S.-S., Xu, S.-N., 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, Geomorphology, 115, 23-31.
- Bălteanu, D., Chendeş, V., Sima, M., Enciu, P., 2010. A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania, Geomorphology, 124, 102-112.
- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010. Landslide susceptibility assessment of the Kral ´ovany–Liptovský Mikuláš railway case study, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 162-171.
- Blahut, J., Van Westen C.J., Sterlacchini, S., 2010. Analysis of landslide inventories for accurate prediction of debris-flow source areas, Geomorphology, 119, 36-51.

- Booth, A.M., Roering, J.J., Perron, J.T., 2009. Automated landslide mapping using spectral analysis and high-resolution topographic data: Puget Sound lowlands, Washington, and Portland Hills, Oregon. *Geomorphology*, Volume 109, Issues 3-4, 132-147.
- Brabb, E., 1991. The world landslide problem. *Episodes*, 14(i): 52-61.
- Brabb, E.E., Harrod, B.L., 1989. *Landslides: Extent and Economic Significance*. A.A. Balkema Publisher, Rotterdam, 385 pp.
- Bradshaw, M. J., Abbot, A. J., Gelsthorpe, A. P., 1979. *The Earth's Changing Surface*. British Library Cataloguing Edition, Edinburgh, 336 pp.
- Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. *Computers & Geosciences*, 45, 199-211.
- Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Duman, T.Y., 2005. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72, 250- 271.
- Capons, R., Vilaplana, J. M., Linares, R., 2009. Rockfall travel distance analysis by using empirical models (Sola d'Andorra la Vella, Central Pyrenees). *Natural Hazards Earth System Science*, 9, 2107-2118.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., 1992. Uncertainty in assessing landslide hazard risk, *ITC Journal*, 2, pp. 172-183.
- Cascini, L., 2008. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology*, 102, 3-4, 161-177.
- Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., 2008. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. *Geomorphology*, 94, 453-466.
- Chauhan, S., Sharmab, M., Arora, M.K., Guptac, N.K., 2010. Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 340-350.
- Che, V.B., Kervyn, M., Suh, C.E., Fontijn, K., Ernst, G.G.J., Marmol, M.-A., Trefois, P., Jacobs, P., 2012. Landslide susceptibility assessment in Limbe (SW Cameroon): A field calibrated seed cell and information value method. *Catena*, 92, 83-98.
- Choi, J., Oh, H.-J., Lee, H.-J., Lee, C., Lee, S., 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS. *Engineering Geology*, 124, 12-23.
- Close, U. and McCormick, E., 1922. Where the mountains walked: *National Geographic Magazine*, v.41, no.5, p. 445-464.
- Coelho-Netto, A.L., Avelar, A.S., Fernandes, M.C., Lacerda, W.A., 2007. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. *Geomorphology*, 87, 120-131.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., Sdao, F., 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena*, 113, 236-250.
- Conoscenti, C., Maggio, C.D., Rotigliano, E., 2008. GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). *Geomorphology* 94, 325-339.
- Cornforth, D.H., 2004. *Landslides in practice*, John Wiley & sons, 1-596.
- Corominas, J., Moya, J., 2008. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology* 102, 193-213.
- Crosta, G.B. and Agliardi F., 2004. Parametric evaluation of 3D dispersion of rockfall trajectories: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 583-598.
- Crosta, G.B., and Agliardi, F., 2003. A methodology for physically based rockfall hazard assessment: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 3, p. 407-422.
- Crovelli, R.A., 2000. *Probability Models for Estimation of Number and Costs of Landslides*: U.S. Geological Survey Open File Report 00-249, 23 p., available at <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-00-0249/>.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J., 1996. Landslide types and processes, in: *Landslides. Investigation and Mitigation*, edited by: Tuner, A. K. and Schuster, R. L., Special report of the Transportation Research Board. National Research Council, Na-

- tional Academy Press, Washington DC, 36–75.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes. Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.), 36–75 pp.
 - Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Gülmez, F. K., Elmacı, H., Hamzaçebi, S., Emre, Ö., 2013. Türkiye heyelan veri tabanı. TMMOB CBS Kongresi, Ankara.
 - Damm, B., Becht, M., Varga, K., Heckmann, T., 2010. Relevance of tectonic and structural parameters in Triassic bedrock formations to landslide susceptibility in Quaternary hillslope sediments, *Quaternary International*, 222, 143–153.
 - Das, I., Stein, A., Kerle, N., Dadhwal, V.K., 2012. Landslide susceptibility mapping along road corridors in the Indian Himalayas using Bayesian logistic regression models, *Geomorphology*, 179, 116–125.
 - Deb, S.K., El-Kadi, A.I., 2009. Susceptibility assessment of shallow landslides on Oahu, Hawaii, under extreme-rainfall events, *Geomorphology*, 108, 219–233.
 - Demoulin, A., Chang-Jo F. Chung, C.-J.F., 2007. Mapping landslide susceptibility from small datasets: A case study in the Pays de Herve (E Belgium), *Geomorphology* 89 (2007) 391–404.
 - Derron M.H., 2010. Method for the Susceptibility Mapping of Rock Falls in Norway, Technical Report, Geological Survey of Norway (NGU), Trondheim, Norway.
 - Dewitte, O., Chung, C.-J., Comet, Y., Daoudi, M., Demoulin, A., 2010. Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: A likelihood ratio-based approach in W Belgium, *Geomorphology*, 122, 153–166.
 - Domaas, U., 1994. Geometrical methods of calculating rockfall range, Norwegian Geotechnical Institute, Report 585910-1, 21 pp.
 - Domínguez-Cuesta, M.J., Jiménez-Sánchez, M., Berrezueta, E., 2007. Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): Geomorphological features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment, *Geomorphology*, 89, 358–369.
 - Dorren L.K.A., Seijmonsbergen A.C., 2003. Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale, *Geomorphology* 56(1-2), p. 49–64.
 - Dorren, L.K.A., Berger, F., and Putters, U.S., 2006. Real size experiments and 3D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.6, p. 145–153.
 - Dymond, J.R., Ausseil, A.G., Shepherd, J.D., Buettner, L., 2006. Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu–Wanganui region of New Zealand, *Geomorphology*, 74, 70–79.
 - Eeckhaut, M.V., Vanwallegem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium), *Geomorphology*, 76, 392–410.
 - Emergency Events Data Base (EM-DAT), 2014. (<http://www.emdat.be>) (Erişim Tarihi: 27.01.2014).
 - Erener, A., Düzgün, H. B. Ş., 2013. A regional scale quantitative risk assessment for landslides: case of Kumluca watershed in Bartın, Turkey. *Landslides*, 10, 55–73.
 - EPOCH (European Community Programme), 1993. Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European community. (Ed. J.C. Flageollet), Vol.3., Contract No. 90 0025.
 - Ercanoğlu, M., Gokceoglu, C., 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey), *Engineering Geology*, 75, 229–250.
 - Ercanoğlu, M., 2003. Production of landslide susceptibility maps using fuzzy log and statistical methods: West Black Sea region (South of Kumluca – North of Yenice), Geological Engineering Dept. Hacettepe University, Ph.D. thesis, pp. 203.
 - Ercanoğlu, M., 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea Region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, 979–992.
 - Ercanoğlu, M., Kaşmer, Ö. and Temiz, N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol: 67, No:4, 565–578.

- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., 2005. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment, *Geomorphology*, 66, 327–343.
- Evans, S.G., and Hungr O., 1993. The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, *Canadian Geotechnical Journal*, v. 30, p. 620-636.
- Fall, M., Azzam, R., Noubactep, C., 2006. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping, *Engineering Geology*, 82, 241-263.
- Federicia, P.R., Puccinellia, A., Cantarella, E., Casarosaa, N., Avanzia, G.D., Falaschia, F., Giannecchinia, R., Pochinia, A., Ribolinia, A., Bottaib, M, Salvatib, N., Testia, C., 2007. Multidisciplinary investigations in evaluating landslide susceptibility—An example in the Serchio River valley (Italy), *Quaternary International*, 171-172, 52-63 p.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008a. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 3-4, 85-98.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008a. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 3-4, 99-111.
- Foster, C., Pennington, C.V.L., Culshaw, M.G., Lawrie, K., 2012. The national landslide database of Great Britain: development, evolution and applications. *Environ. Earth Sci.*, 66: 941-953.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology* 94, 268-289.
- García-Rodríguez, M.J., Malpica, J.A., Benito, B., Díaz, M., 2008. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression, *Geomorphology*, 95, 172-191.
- Gerber, W., 1994. Beurteilung des Prozesses Steinschlag, Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN), Herbstkurs Poschiavo, Kursunterlagen, WSL, Birmensdorf, 20 pp., (in German).
- Ghosh, S., Carranza, E.J.M., Van Westen, C.J., Jetten, V.G., Bhattacharya, D.N., 2011. Selecting and weighting spatial predictors for empirical modeling of landslide susceptibility in the Darjeeling Himalayas (India), *Geomorphology*, 131, 35-56.
- Glade, T., Anderson, M., Crozier, M., 2005. *Landslide Hazard and Risk*. JohnWiley & Sons, Ltd., London, 802 pp.
- Godt, J.W., Baum, R.L., Savage, W.Z., Salciarini, D., Schulz, W.H., Harp, E.L., 2008. Transient deterministic shallow landslide modeling: Requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework, *Engineering Geology*, 102, 214-226.
- Goetz, J.N., Guthrie, R.H., Brenning, A., 2011. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models, *Geomorphology*, 129, 376-386.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., 2004. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity, *Engineering Geology*, 81, 65–83.
- Gomez, H., Kavzoglu, T. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, *Engineering Geology*, 78, 11 –27.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Boll, J., Elliot, W.J., Foltz, R.B., 2006. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility, *Geomorphology*, 80, 178-198.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P., 2008. Discerning landslide susceptibility using rough sets, *Computers, Environment and Urban Systems*, 32, 53-65.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P., 2010. An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets and Kalman filter, *Computers & Geosciences*, 36, 1005-1020.
- Gökçe, O., Özden, Ş., Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.
- Görüm, T., Gönencgil, B., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey), *Natural Hazards*, 46, 323-351.

- Guinau, M., Palla`s, R., Vilaplana, J.M., 2005. A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch, *Engineering Geology*, 80,316-327.
- Gullà, G., Antronico, L., Iaquina, P., Terranova, O., 2008. Susceptibility and triggering scenarios at a regional scale for shallow landslides, *Geomorphology*, 99, 39-58.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1954. *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, 310 pp.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A., 2000. Comparing landslide maps: a case study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25, 247-263.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R., and Agliardi, F., 2002. STONE: A computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls: *Computers and Geoscience*, v. 28, p. 1079-1093.
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.T., 2012. Landslide inventory maps: new tools for and old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42-66.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., 2006. Estimating the quality of landslide susceptibility models, *Geomorphology*, 81, 166-184.
- Harmon, R.S., Doe III, W.W., 2001. *Landscape Erosion and Evolution Modeling*, Springer-Verlag. 535 pp.
- Hartlen, J. and Viberg, L., 1988. General Report: Evaluation of landslide hazard. *Proc. V. Int. Symp. on Landslides, Lausanne*, 2, 1037-1057.
- Hasekioğulları, G. D. and Ercanoğlu, M., 2012. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey), *Natural Hazards*, 63, 1157-1179.
- He, S., Pan, P., Dai, L., Wang, H., Liu, J., 2012. Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China, *Geomorphology*, 171-172, 30-41.
- Heim, A., 1932. *Bergsturtz und Menschenleben: Fretz und Wasmuth*, Zurich, 218 pp.
- Holm, K. and Jakob, M., 2009. Long rockfall runout, Pascua Lama, Chile, *Can. Geotech. J.*, 46, 225-230.
- Hong, Y., Adler, R.F., 2008. Predicting global landslide spatiotemporal distribution: Integrating landslide susceptibility zoning techniques and real-time satellite rainfall estimates, *International Journal of Sediment Research*, 23, 249-257.
- <http://blogs.agu.org/landslideblog/2011/02/23/on-the-causes-of-the-high-levels-of-loss-in-the-christchurch-earthquake> (Erişim Tarihi: 27.02.2014).
- <http://pubs.usgs.gov> (Erişim Tarihi: 25.01.2014).
- <http://www.nps.gov/acad/photosmultimedia/Earthquake-Effects.htm> (Erişim Tarihi: 27.02.2014).
- Hutchinson, J. N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology, in: 5th international symposium on landslides, Lausanne, edited by: Bonnard, C., A.A. Balkema, 1, 3-35.
- Hutchinson, J.N., 1992. Keynote paper: landslide hazard assessment. *Proc. 6th Int. Symp. on Landslides, Christchurch*, 3, 1805-1841.
- Ilanloo, M., 2011. A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 668-676.
- International Association of Engineering Geology (IAEG), 1976. *Engineering geological map: a guide to their preparation*. UNESCO Press, Paris, 79 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. *ISRM Suggested Methods for Discontinuities in Rock Masses*.
- Ives, J.D. and Messerli, B., 1981. Mountain Hazards Mapping in Nepal Introduction to an Applied Mountain Research Project. *Mountain Research and Development*, Vol.1, No. 3-4, pp. 223-230.
- Jaboyedoff, M and Labiouse, V., 2011. Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 819-828.

- Jaiswal, P., Van Westen, C.J., Jetten, V.G., 2011. Quantitative estimation of landslide risk from rapid debris slides on natural slopes in the Nilgiri hills, India. In: Natural hazards and earth system sciences (NHES) : open access, 11 (2011)6 pp. 1723-1743.
- Kamp, U., Growley, B.J., Khattak, G.A., Owen, L.A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region, *Geomorphology*, 101, 631-642.
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslidesusceptibility zonation in Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, 85, 347-366.
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., 2009. A fuzzy set based approach for integration of thematic maps for landslide susceptibility zonation. *Georisk*, Vol. 3, Issue 1, 30-43 p.
- Kawabata, D., Bandibas, J., 2009. Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN), *Geomorphology*, 113, 97-109.
- Kayastha, P., Dhital, M.R., De Smedt F., 2013. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal, *Computers & Geosciences*, 52, 398-408.
- Keefer, D.K., 1984. Landslides Caused by Earthquakes, *Geological Society of America Bulletin*, 95, 406-421.
- Khezri, S., 2011. Landslide susceptibility in the Zab Basin, northwest of Iran, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 726-731.
- Kienholz, H., 1978. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland, Scale 1:10,000. *Arctic and Alpine Research*, Vol.10, No.2, pp. 169-184.
- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74, 17-28.
- Kremier, A., Amould, M., 2000. World Bank's role in reducing impacts of disasters. *Nat. Hazards Rev.*, 1(1):37-42.
- Labiouse, V., 2008. Mitigation measures: protective works, Intensive Course on Landslide Quantitative Risk Assessment and Risk Management, September 3 rd., Barcelona, Spain.
- Larcher V., Simoni, S., Pasquazzo, R., Strada, C., Zampedri, G., 2012. Rockfall and Forecast systems, WP6 guidelines, PARAMount.
- Lee, C.-T., Huang, C.-C., Lee, J.-F., Pan, K.-L., Lin, M.-L., Dong, J.-J., 2008. Statistical approach to earthquakeinduced landslide susceptibility, *Engineering Geology*, 100, 43-58.
- Lee, S., Lee, M.-J., 2006. Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide-susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea, *Advances in Space Research*, 38, 2261-2271.
- Lee, S., Hwang, J., Park, I., 2013. Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea, *Catena*, 100, 15-30.
- Lee, S., Ryu, J.-H., Kim, I.-S., 2007. Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea. *Landslides*, 4, 327-338.
- Lee, S., Ryub, J., Wonb, J., Park, H., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network, *Engineering Geology*, 71, 289-302.
- Lee, S., Talib, J.A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environ. Geol.*, 47: 982-990.
- Leroi, E., 1996. Landslide hazard - Risk maps at different scales : objectives, tools and development. ISL'96, 7th International Symposium on Landslides, 17-21 June 1996, Trondheim, Norway.
- Loye, A., Jaboyedoff, M., and Pedrazzini, A., 2009. Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 9, p. 1643-1653.
- Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2004a. Landslides, earthquakes and erosion. *Earth and Planetary Science Letters*, 229, 45-49.
- Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2004b. Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 687-711.

- Malgot, J. and Mahr, T., 1979. Engineering geological mapping of the West Carpathian landslide areas. Bull. Int. Ass. Eng. Geology, 19, 116-121.
- Mancini, F., Ceppi, C., Ritrovato, G., 2010. GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10:1851-1864.
- Mantovani, F., Soeters, R., Van Westen, C.J., 1996. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. Geomorphology, 15, 213-225.
- Marcelino, E.V., Formaggio, A.R., Maeda, E.E., 2009. Landslide inventory using image fusion techniques in Brazil. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 11, Issue 3, 181-191.
- Marjanović, M., Kovačević, M., Bajat, B., Voženílek, V., 2011. Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, Engineering Geology, 123, 225-234.
- Martha, T.R., Kerle, N., Jetten, V., Van Westen, C.J., Kumar, K.V., 2010. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. Geomorphology, 116, 24-36.
- Meissl, G., 1998. Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Beierischen und Tiroler Alpenraum, Innsbrucker geografischen studien 28, Ph.D. thesis, Universität at Innsbruck,.
- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A., 2008. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation, Geomorphology, 94, 379-400.
- Melchiorre, C., Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., Matteucci, M., 2011. Evaluation of prediction capability, robustness and sensitivity in non-linear landslide susceptibility models, Guantánamo, Cuba, Computers & Geosciences, 37, 410-425.
- Mettemicht, G., 2005. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. Remote Sensing of Environment, Volume 98, Issues 2-3, 284-303.
- Miet Van Den Eeckhaut, Hervás, J., 2012. State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk, Geomorphology, 139-140, 545-558.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models, Journal of Asian Earth Sciences 61 (2012) 221-236.
- Moreiras, S.M., 2005. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina, Geomorphology, 66, 345-357.
- Mowen, X., Esaki, T., Cheng, Q., Lin, J., 2007. Spatial three-dimensional landslide susceptibility mapping tool and its applications, Earth Science Frontiers, 14(6): 73-84.
- Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C., Jaedicke, C., 2006. Global landslide and avalanche hotspots. Landslides, 3: 159-173.
- Nandi, A., Shakoor, A., 2010. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, Engineering Geology, 110, 11-20.
- Nefeslioglu, H.A., San, B.T., Gokceoglu, C., Duman, T.Y., 2012. An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 14, 40-60.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), Geomorphology, 94, 401-418.
- Neuhäuser, B., Terhorst, B., 2007. Landslide susceptibility assessment using "weights-of-evidence" applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany), Geomorphology, 86, 12-24.
- Nichol, J.E., Shaker, A., Wong, M.-S., 2006. Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment. Geomorphology, Volume 76, Issues 1-2, 5, 68-75.
- Oh, H.-J., Pradhan, B., 2011. Application of an euro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, Computers & Geosciences, 37, 1264-1276.

- Ozdemir, A., Altural, T., 2013. A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (2), s.35-50.
- Palmström, A., 2001. Measurement and characterization of rock mass jointing. In-Situ Characterization of Rocks: Eds.: Sharma, V. M. and Saxena, K. R., Tokio, Japan, 1-40.
- Pareek, N., Pal, S., Sharma, M.L., Arora, M.K., 2013. Study of effect of seismic displacements on landslide susceptibility zonation (LSZ) in Garhwal Himalayan region of India using GIS and remote sensing techniques, *Computers & Geosciences*, 61, 50-63.
- Park, H.J., Lee, J.H., Woo, I., 2013. Assessment of rainfall-induced shallow landslide susceptibility using a GIS-based probabilistic approach, *Engineering Geology*, 161, 1-15.
- Pavel, M., Nelson, J.D., Fannin, R.J., 2011. An analysis of landslide susceptibility zonation using a subjective geomorphic mapping and existing landslides, *Computers & Geosciences*, 37, 554-566.
- Peng, L., Niu, R., Huangc, B., Wua, X., Zhao, Y., Ye, R., 2014. Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 204, 287-301.
- Piacentini, D., Troiani, F., Soldati, M., Notarnicola, C., Savelli, D., Schneiderbauer, S., Strada, C., 2012. Statistical analysis for assessing shallow-landslide susceptibility in South Tyrol (south-eastern Alps, Italy), *Geomorphology*, 151-152, 196-206.
- Popescu, M.E., 1994. A suggested method for reporting landslide causes. *Bull. Of the Int. Assoc. Of Eng. Geol.*, 50, 71-74.
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran, *Catena*, 97, 71-84.
- Pradhan, B., 2010. Landslide Susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 38, 301-320.
- Pradhan, B., Lee, S., 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling, *Environmental Modelling & Software*, 25, 747-759.
- Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M.F., 2010. A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 216-235.
- Rapolla, A., Paoletti, V., Secomandi, M., 2010. Seismically-induced landslide susceptibility evaluation: Application of a new procedure to the island of Ischia, Campania Region, Southern Italy, *Engineering Geology*, 114, 10-25.
- Ray, R.L., Jacobs, J.M., Cosh, M.H., 2010. Landslide susceptibility mapping using downscaled AMSR-E soil moisture: A case study from Cleveland Corral, California, US, *Remote Sensing of Environment*, 114, 2624-2636.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., 2010. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes, *Geomorphology*, 122, 25-38.
- Rengers, N., Soeters R., Van Westra, C.J., 1992. Remote Sensing and GIS Applied to Mountain Hazard Mapping, *Episodes*, Vol. 15, No. 1, pp. 36-45.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Mondini, A.C., Peruccacci, S., 2010. Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts, *Geomorphology*, 114, 129-142.
- Rouiller, J. D., Jaboyedoff, M., Marro, Ch., Philipposian, F., and Mamin, M., 1998. Pentes instables dans le Pennique valaisan, vdf Hochschulverlag AG and ETH, Zürich., Rapport final du Programme National de Recherche PNR 31/CREALP, 98, 239 pp., (in French).
- Ruff, M., Czurda, K., 2008. Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria), *Geomorphology*, 94, 314-324.
- Rupke, J., Cammeraat, E., Seijmonsbergen, A.C., Van Westen, C.J., 1988. Engineering geomorphology of the Widentobel catchment, Apenzell and Sankt Gallen, Switzerland. A geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability. *Engineering Geology* 26, 33-68.

- Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H., 2009. Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains, Japan, *Geomorphology*, 109, 108-121.
- San, B.T., 2014. An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya, Turkey), *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 399-412.
- Schicker, R., Moon, V., 2012. Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale, *Geomorphology*, 161-162, 40-57.
- Schulz, W.H., 2007. Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington, *Engineering Geology*, 89, 67-87.
- Schuster, R.L., 1996. Socio-economic significance of landslides, In: Turner, Schuster (eds) "Landslides: Investigation and Mitigation". Transportation Research Board-National Research Council, Special Report 247, 12-35.
- Schuster, R.L., and Fleming, R.W., 1986. Economic losses and fatalities due to landslides, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 23 (1), 11-28.
- Sezer, E.A., Pradhan, B., Gokceoglu, C., 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia, *Expert Systems with Applications*, 38, 8208-8219.
- Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B., Hashima, M., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, *Catena*, 115, 55-70.
- Soeters, R. and Van Westen C. J.: 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), *Landslides, investigation and mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., pp 129-177.
- Song, R.-H., Hiromu, D., Kazutoki, A., Usio, K., Sumio, M., 2008. Modeling the potential distribution of shallow-seated landslides using the weights of evidence method and a logistic regression model: a case study of the Sabae Area, Japan, *International Journal of Sediment Research*, 23, 106-118.
- Song, Y., Gong, J., Gao, S., Wang, D., Cui, T., Li, Y., Wei, B., 2012. Susceptibility assessment of earthquake-induced landslides using Bayesian network: A case study in Beichuan, China, *Computers & Geosciences*, 42, 189-199.
- Sterlacchini, S., Ballabio, C., Blahut, J., Masetti, M., Sorichetta, A., 2011. Spatial agreement of predicted patterns in landslide susceptibility maps, *Geomorphology*, 125, 51-61.
- Strahler, A. N., 1950. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis, *Am. J. Sci.*, 248, 673-696, 800-814.
- Suzen, M.L., Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey, *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004, Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey, *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Tangestani, M.H., 2009. A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 35, 66-73.
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Ziraat Matbaacılık, Ankara.
- Thiery, Y., Malet, J.-P., Sterlacchini, S., Puissant, A., Maquaire, O., 2007. Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment, *Geomorphology*, 92, 38-59.
- Troisi, C., Berger, F., Dorren, L., 2008. Protection de la viabilité alpine, PROVIALP project report, Interreg IIIa 200 – 2006 Alpes Latines n° 165, ARPA/Cemagref.
- Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., Alimohammadi, A., Hosseinali, F., 2010. A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping, *Computers & Geosciences*, 36, 1101-1114.
- Van Den Eeckhaut, M., Hervás, J., Jaedicke, C., Malet, J.-P., Montanarella, L., Nadim, F., 2012. Statistical modelling of Europe-wide landslide susceptibility using limited landslide inventory data. *Landslides*, 9, 357-369.

- Van Den Eeckhaut, M., Marre, A., Poesen, J., 2010. Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne-Ardenne region (France), *Geomorphology*, 115, 141-155.
- Van Westen, C.J., 1993. Application of geographical information system to landslide hazard zonation. ITC publication no 15, ITC, Enschede, Netherlands.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., 2008, Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview, *Engineering Geology*, 102: 112-132.
- Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2006. Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 65, Issue 2, pp. 167-184.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movements: types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(Eds.), *Landslide Analysis and Control*. Transportation Research Board, Special Report No. 176, Washington, DC, pp. 11-33.
- Varnes, D.J., 1984, *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 pp.
- Von Ruette, J., Papritz, A., Lehmann, P., Rickli, C., Or, D., 2011. Spatial statistical modeling of shallow landslides-Validating predictions for different landslide inventories and rainfall events, *Geomorphology*, 133, 11-22.
- Wan, S., 2009. A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map, *Engineering Geology*, 108, 237-251.
- Wang, L.-L., Sawada, K., Moriguchi, S., 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy, *Computers & Geosciences*, 57, 81-92.
- Wang, W.-D., Xie, C.-M., Du, X.-G., 2009. Landslides susceptibility mapping in Guizhou province based on fuzzy theory, *Mining Science and Technology*, 19, 0399-0404.
- Weirich, F., Blesius, L., 2007. Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. *Geomorphology*, 87, 352-364.
- Wieczorek, G.F., Morrissey, M.M., Iovine, G., and Godt, J., 1998. Rock-fall hazards in Yosemite Valley: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-467.
- Wieczorek, G.F., Stock, G.M., Reichenbach, P., Snyder, J.B., Borchers, J.W., Godt, J.W., 2008. Investigation and hazard assessment of the 2003 and 2007 Staircase Falls rock falls, Yosemite National Park, California, USA: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 8, p. 421-432.
- WP/WLI (Working Party on World Landslide Inventory), 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide, *IAEG Bull.* 47, 53-57.
- Wu, C.-H., Chen, S.-C., 2009. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method, *Geomorphology*, 112, 190-204.
- Xu, C., Dai, F., Xu, X., Lee, Y.H., 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China, *Geomorphology*, 145-146, 70-80.
- Xu, C., Xu, X., Dai, F., Saraf, A.K., 2012. Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China, *Computers + & Geosciences*, 46, 317-329.
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72, 1-12.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu, T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, *Catena*, 85, 274-287.
- Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C., 2008. Landslide susceptibility mapping based on Support Vector Machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China, *Geomorphology*, 101, 572-582.
- Yeon, Y.-K., Han, J.-G., Ryu, K.H., 2010. Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree, *Engineering Geology*, 116, 274-283.

- Yesilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey), *Engineering Geology*, 79, 251–266.
- Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey), *Computers & Geosciences*, 35, 1125-1138.
- Zezere, J.L. and Rodrigues, M. L., 2002. Rainfall Thresholds for Landsliding in Lisbon Area (Portugal), In: *Landslides*, Edited by: Rybar, J., Stemberk, J., and Wagner, P., A. A. Balkema, Lisse, 333-338.

KATKIDA BULUNANLAR



Yürütücü Ekip Üyeleri

Ad Soyad	Ünvan	Kurum
Dr. Fuat OKTAY	Başkan	AFAD
Mehmet Akif DANACI	Başkan Yardımcısı	AFAD
Çiğdem TETİK BİÇER	Grup Başkanı	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Sinan DEMİR	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Fatih AYDIN	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Aslı İDE	AFAD Uzman Yardımcısı	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Yeliz TEKER	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
F. Ahmet TEMİZ	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Ferhat ERDİNÇ	AFAD Uzman Yardımcısı	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Ceren DEVECİ	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Demet ÖZKAN	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Ö. Murat YAVAŞ	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu
Zafer YAZICI	Mühendis	AFAD- Doğal Afetler Risk Değerlendirme ve Analizi Çalışma Grubu

Katkıda Bulunanlar

Ad Soyad	Ünvan	Kurum
Murat ERCANOĞLU	Prof. Dr.	Hacettepe Üniversitesi
Harun SÖNMEZ	Prof. Dr.	Hacettepe Üniversitesi
Kadir DİRİK	Prof. Dr.	Hacettepe Üniversitesi
Gülseren DAĞDELENLER	Araş. Gör. Dr.	Hacettepe Üniversitesi
Nazlı TUNAR ÖZCAN	Araş. Gör. Yük. Müh.	Hacettepe Üniversitesi
Aycan ÇOŞKUN	Araş. Gör. Yük. Müh.	Hacettepe Üniversitesi



T.C.
BAŞBAKANLIK
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı