

Dr. H. Sönmez –JEM719



Bölüm 9: HEYELANLAR VE KAYA DÜŞMLERİ

HEYELAN HARİTALARI

ve

HAZIRLAMA TEKNİKLERİ

Şevlerin duraylılığının kesit bazında, duraysızlık mekanizmasına göre jeoteknik parametrelerin girdi olarak kullanıldığı analizlerle değerlendirilmesi yapılmakla birlikte, jeoteknik yaklaşımların geniş alanlardaki heyelan potansiyelinin haritalanmasında ve devamında tehlike ve risk değerlendirmesine kadar uzanan bir uygulamaya dönüştürülmesi gerçekçi bir yaklaşım değildir. Bu nedenle, geniş alanlara yönelik heyelan haritalamalarına yönelik değerlendirmeler Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında farklı yaklaşımlarla yapılabilmektedir.

Bu bölümde bu yaklaşımların genel prensipleri verilmiş ayrıntısına konuyla ilgili kaynaklar ve/veya ilgili diğer derslerden ulaşılması mümkündür.

Dr. H. Sönmez –JEM719

Web'te erişime açık yararlı bir kaynak



Dr. H. Sönmez –JEM719



TEMEL KAVRAMLAR

Duyarlılık: Herhangi bir afet türünün oluşumunda etkin olduğu düşünülen farklı kökene sahip hazırlayıcı parametrelerin dikkate alınarak, gelecekte ilgili afet türünün gelişmesi olası alanların göreceli olarak sınıflandırılması şeklinde tanımlanmaktadır (Varnes, 1984).

Tehlike: Bir bölgedeki doğal tehlike, belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içerisinde, potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip bir olayın oluşabilme olasılığıdır. Bu tanım, duyarlılıktan farklı olarak, ortamda tekrarlanma özelliği olan bir tetikleyici etkenin (örneğin deprem, yağış gibi) olmasını ve konum, zaman ve büyüklük gibi faktörleri içermektedir (Varnes, 1984).

Risk: Risk kavramı, farklı disiplinlerde farklı anlamlar bulmakla birlikte, kütle hareketleri açısından değerlendirildiğinde, can ve mal kaybına yol açan veya çevreye zarar veren bir olayın oluşma olasılığının bir ölçüsüdür (Fell vd., 2008).

Hasar görülebilirlik: Afet riski içeren bir alandaki eleman veya eleman grubunun (örneğin insanlar, evler, kritik tesisler gibi), söz konusu afet sonucunda uğrayacağı kaybın derecesini [0,1] aralığında ifade etmektedir.

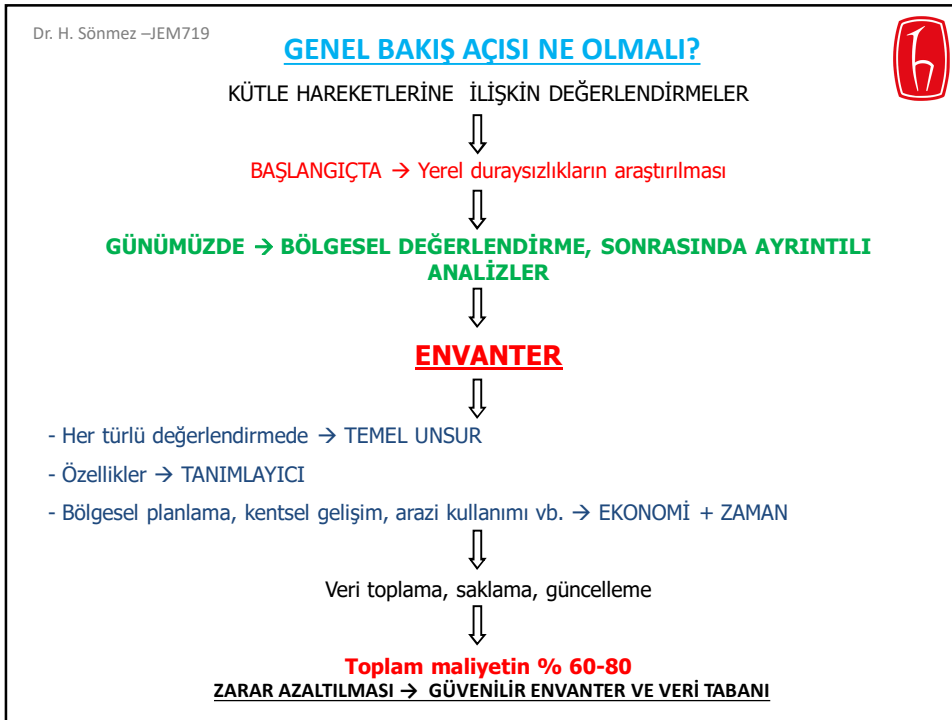
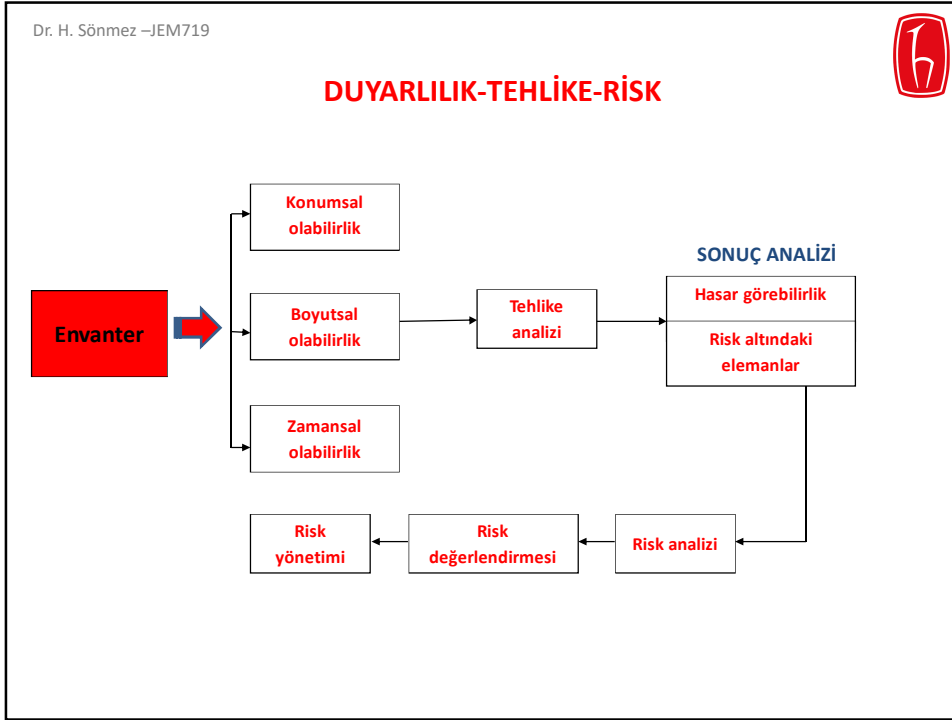
Risk altındaki elemanlar: Afet sonucunda potansiyel olarak etkilenebilecek insanlar, binalar, yapılar, altyapı, yol gibi elemanları içermektedir.

Dr. H. Sönmez –JEM719



Heyelan Terminoloji ve Sınıflamalar

63 – 67 arasındaki slaytlarda sunulmuştu!



Dr. H. Sönmez –JEM719



HARİTALAMAYA YÖNELİK DEĞERLENDİRMELER

Sıralı ilerleme adımları

- KÜTLE HAREKETLERİ İÇİN → ENVANTER (bölgesel, lokal, 1/25000; 1/5000; 1/1000)
- DUYARLILIK → ANALİZ, DOĞRULAMA
- BÖLGESEL → ÖZELE inen bir yaklaşım olmalı
- YEREL KOŞULLAR (Coğrafi, İklimsel, Jeolojik, Jeomorfolojik) → YANSITILMALI
- TEHLİKE → ANALİZ, DOĞRULAMA
- RİSK BİLEŞENLERİ → Risk Altındaki Elemanlar, Hasar Görebilirlik
- RİSK (temel hedef) → ANALİZ, DOĞRULAMA

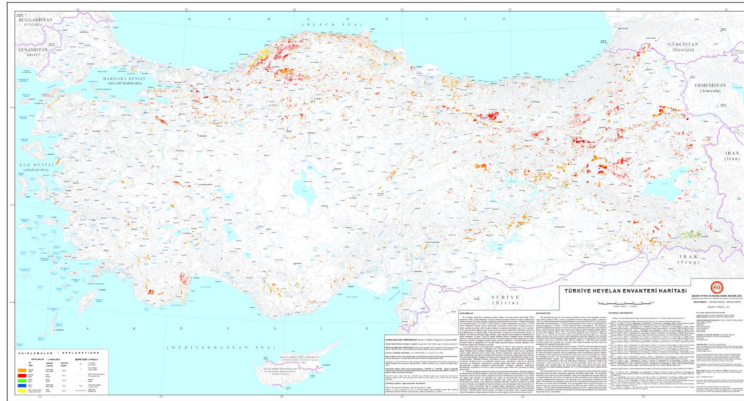
Dr. H. Sönmez –JEM719



Heyelan Envanter Çalışması

Amaç: Heyelan Yerleri ile Heyalana neden olan faktörlerin belirlenmesi ile özelliklerinin ortaya konulmasıdır.

Türkiye Heyelan Envanteri projesi 1998 yılında başlatılmış olup, proje çalışmaları 2009 yılında ulusal ölçekte tamamlanmıştır (MTA).



MTA'dan sayısal veya basılı olarak temin edilebilmektedir.

Dr. H. Sönmez –JEM719

Heyelan Envanter Haritalarının Kalitesi ve Bütünlüğü



- Bölgesel veya lokal ölçekte 1/25000; 1/5000; 1/1000, sürekli güncellemeye açık haritalar

Heyelan Yerlerinin Sahada Tanımlanması

1. Morfolojik Özellikler

- * İçbükey/dışbükey yamaç özellikleri
- * Basamaklı/eşikli bir morfoloji
- * Kemersi veya hilal şeklindeki ayna izi/kayma şevi ve basamaklar,
- * Yamaç yüzeyinde geriye eğilme (back-tilting),
- * Hörgüç yapılı/tümsekli topoğrafya (Hummockymorphology) ve şişkin/kabarmış topuklar
- * Yamaç topuğunda gözlenen çapraz veya radyal çatlaklar,
- * Yamacın üst kısmında gözlenen tansiyon çatlakları,
- * Yamaç boyunca düzensiz su çıkışları ve su birikintileri/göllenmeler
- * V-şeklinde vadilerin bulunduğu bir bölgede hafif dışbükey boş vadi tabanlarının varlığı
- * Donma-çözünmenin baskın olduğu iklim koşullarında, genelde değişik doğrultulu ve düzleme sahip eklemli birimler üzerinde gelişen dik yamaçlar.

AFAD (2015)'den

Dr. H. Sönmez –JEM719

1. Morfolojik Özellikler (devam ediyor)

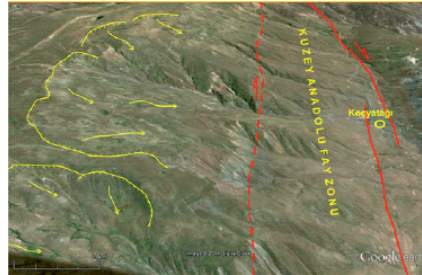
AFAD (2015)'den



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



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



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



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



Dr. H. Sönmez –JEM719

AFAD (2015)'den



Heyelan Yerlerinin Sahada Tanımlanması (devam ediyor)

2. Bitki Örtüsü Özellikleri

- * Basamaklı alanlarda, eşiklerde oluşan yapıya paralel bitki örtüsündeki seyreklik veya boşluklar
- * 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.

Dr. H. Sönmez –JEM719

AFAD (2015)'den



Heyelan Yerlerinin Sahada Tanımlanması (devam ediyor)

3. Jeolojik/Yapısal Veriler

- 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) aşıldığında 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 düzlemler (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 kazıldığında yanal yayılma olasılığı).

- ✓ Heyelan Yerlerinin Hava Fotoğrafları ile Tanımlanması
- ✓ Heyelan Yerlerinin Uydu Görüntüleri ile Tanımlanması

Dr. H. Sönmez –JEM719

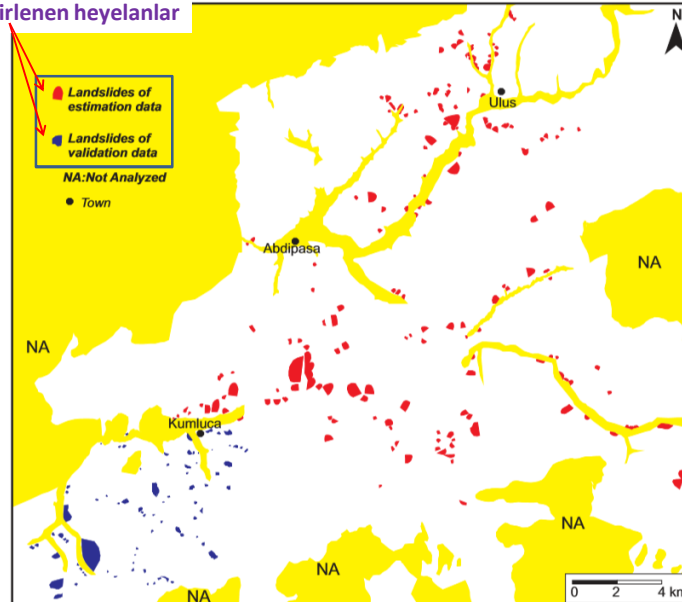


Ana Faktörler	Alt Faktörler
1) Jeolojik Nedenler	a) Zayıf jeolojik malzeme b) Duyarlı jeolojik malzeme c) Bozunmuş zeminler d) Makaslama zonlarına maruz kalmış malzemeler e) Eklemlili ve fisürlü jeolojik malzeme f) Tabakalanma, faylanma gibi süreksizlikler g) Malzeme özellikleri (geçirimsizlik, düşük 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/alınma, 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

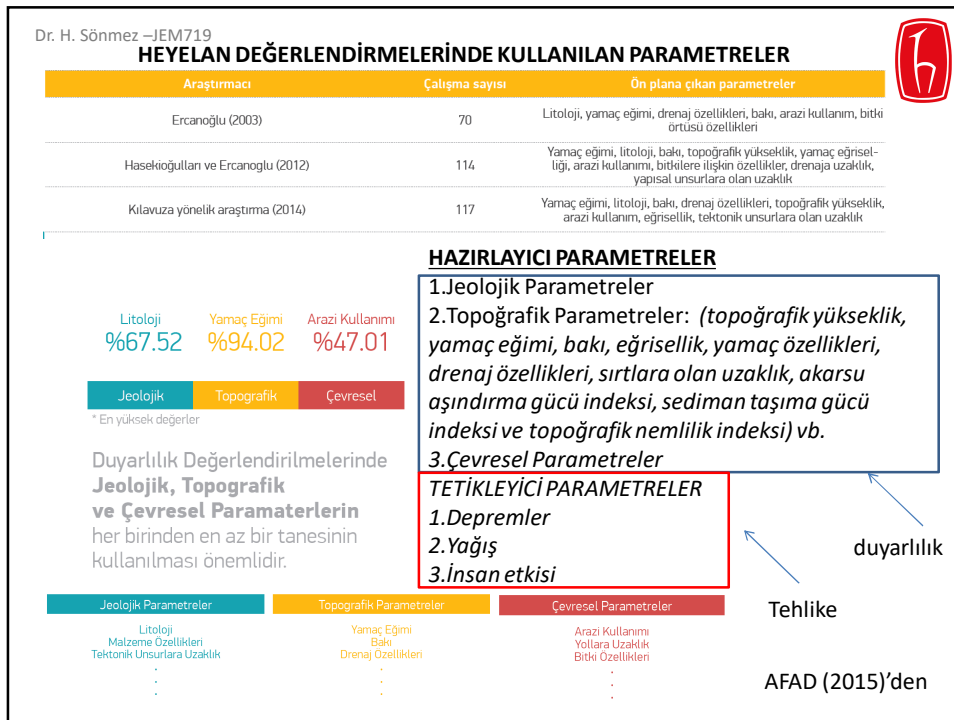
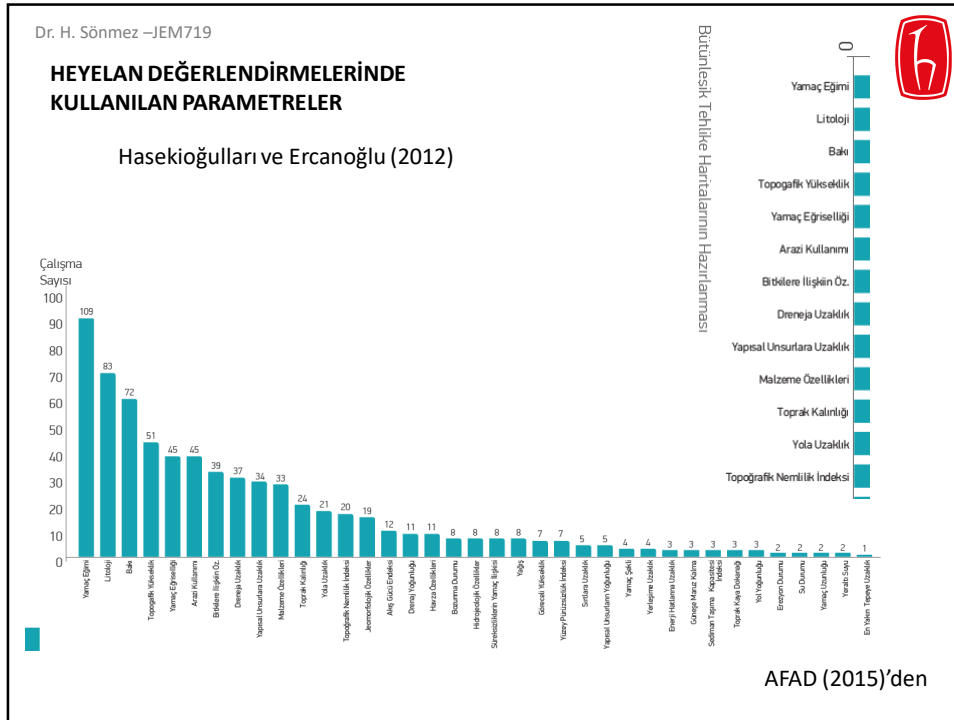
AFAD (2015)'den

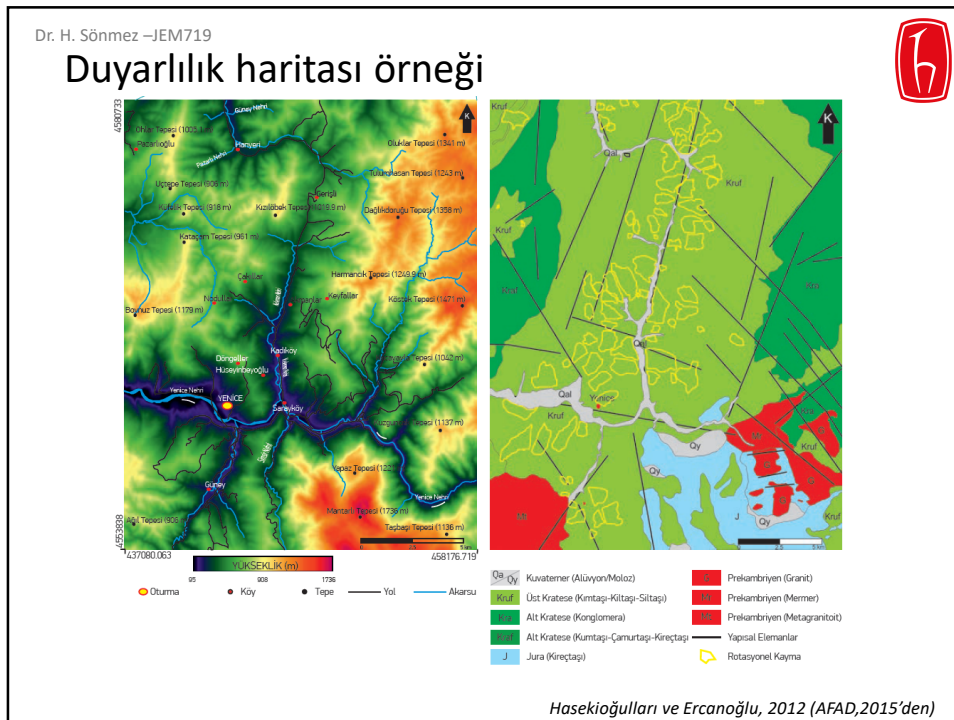
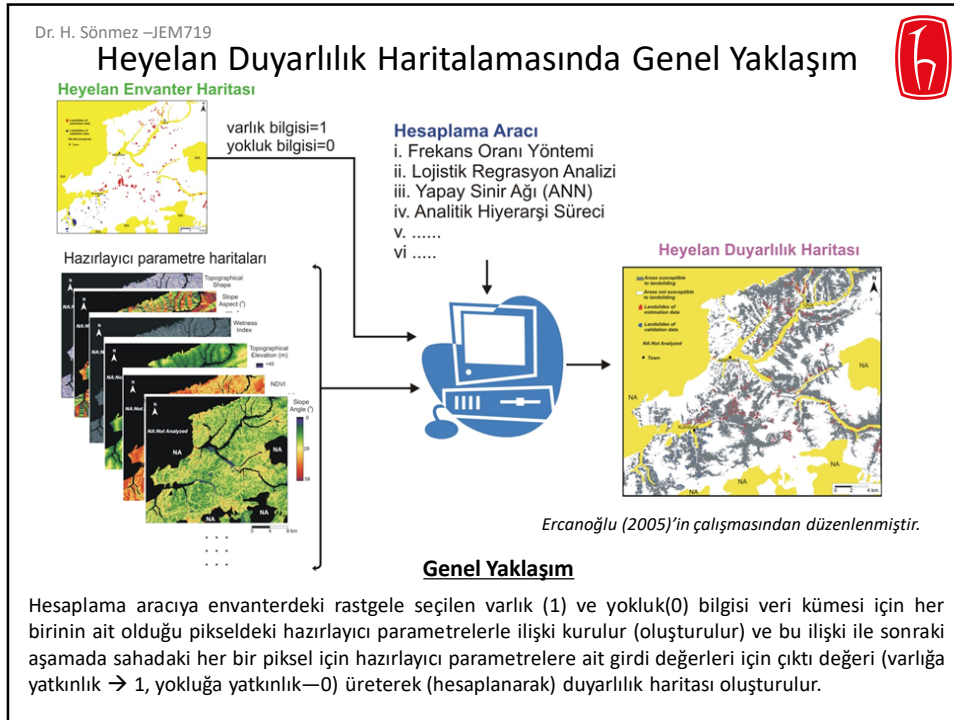
Dr. H. Sönmez –JEM719

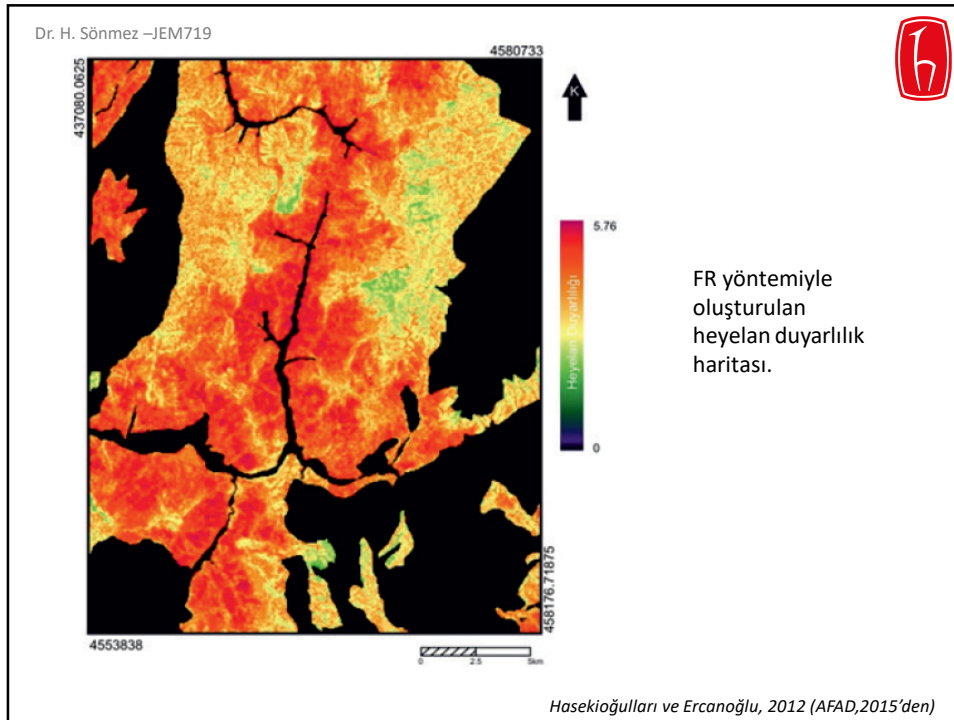
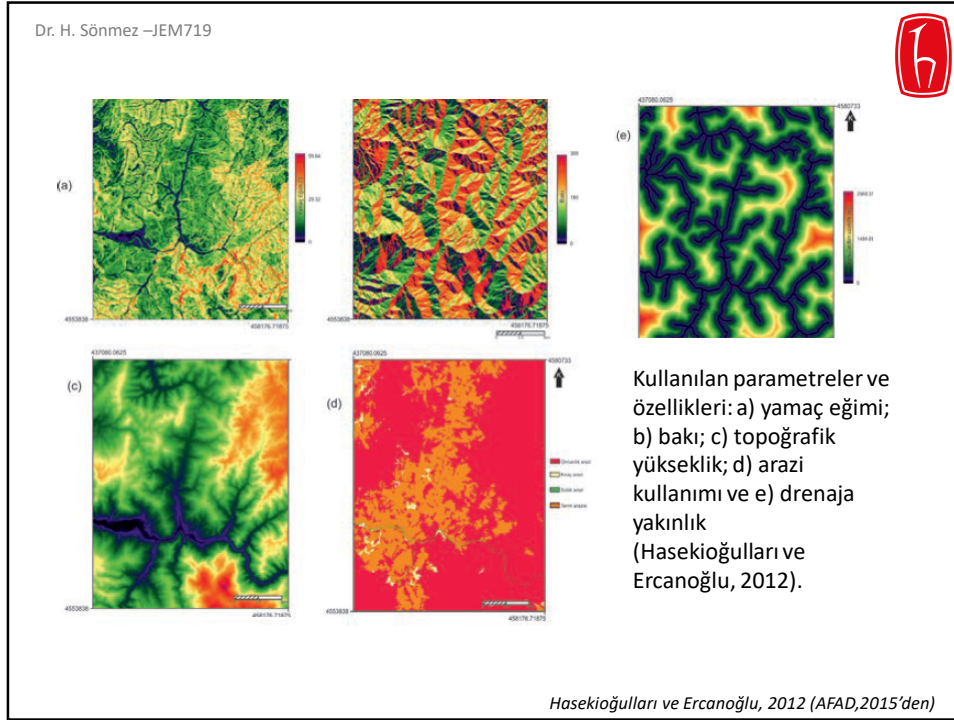
Sahada belirlenen heyelanlar

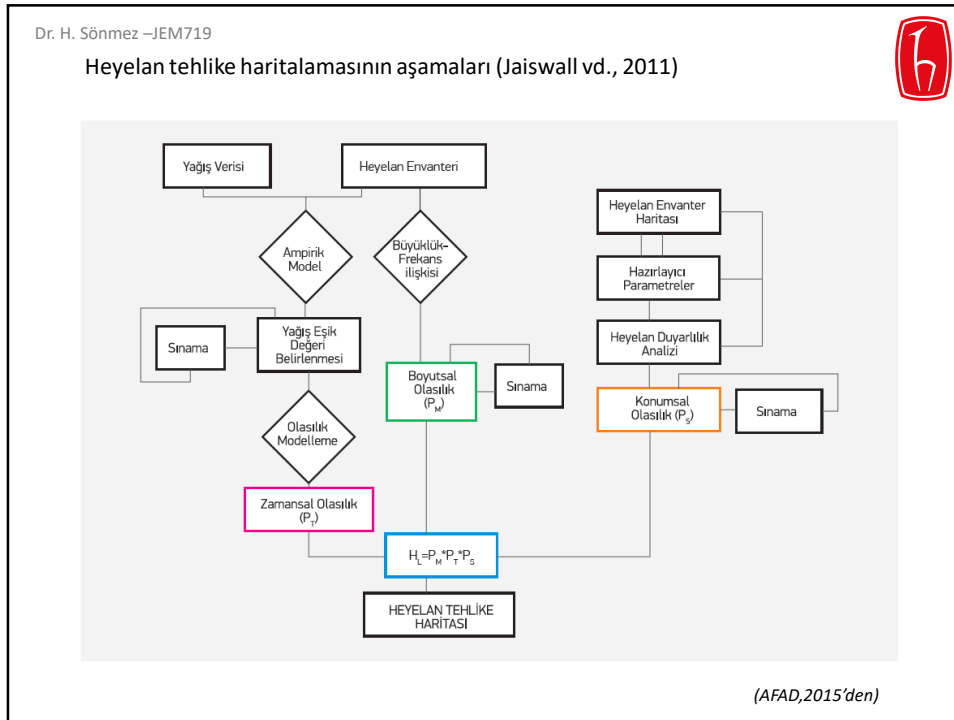
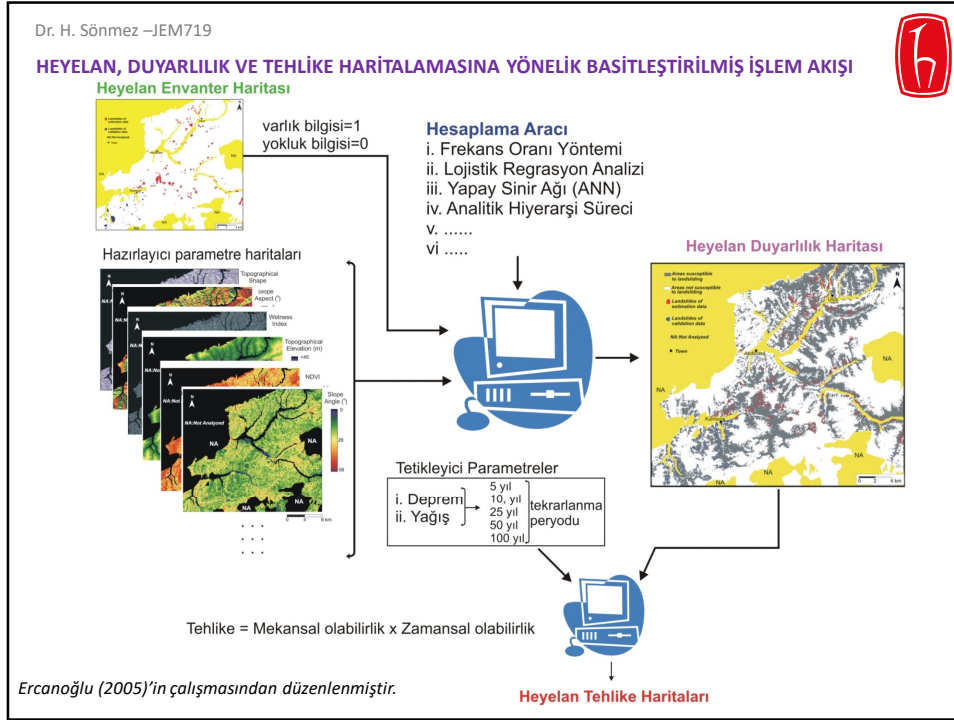


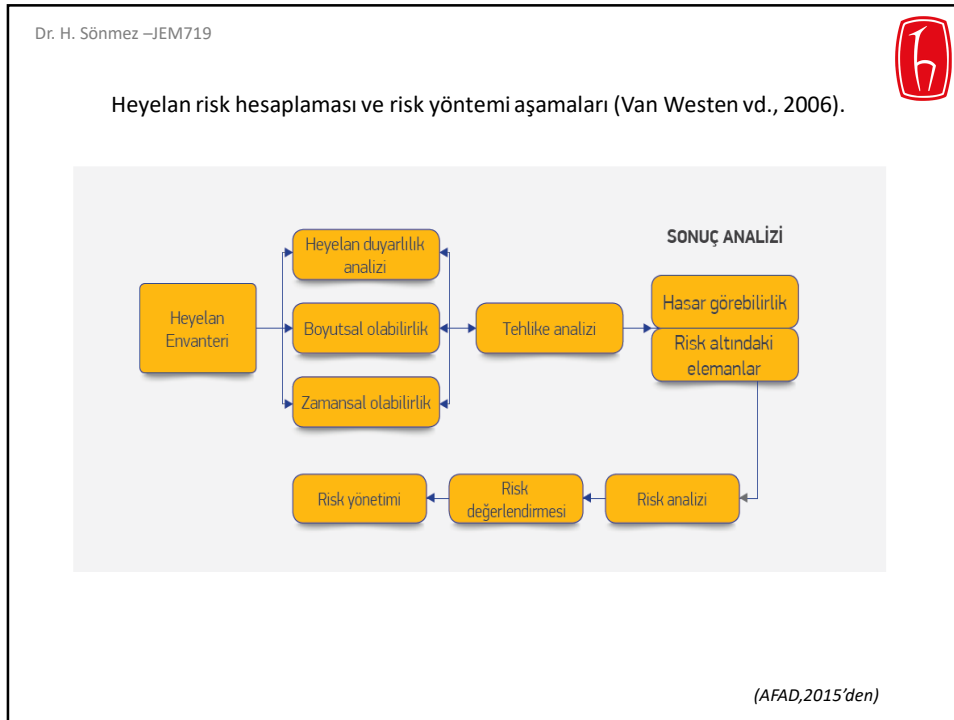
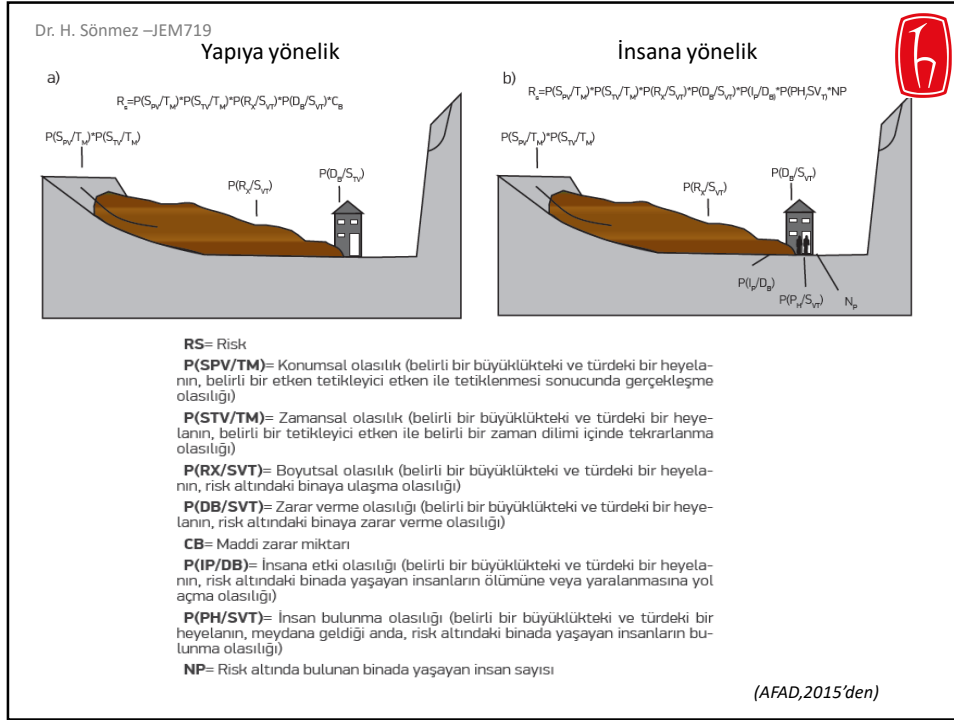
Bartın'ın GD'su için hazırlanan envanter haritası (Ercanoğlu, 2005)





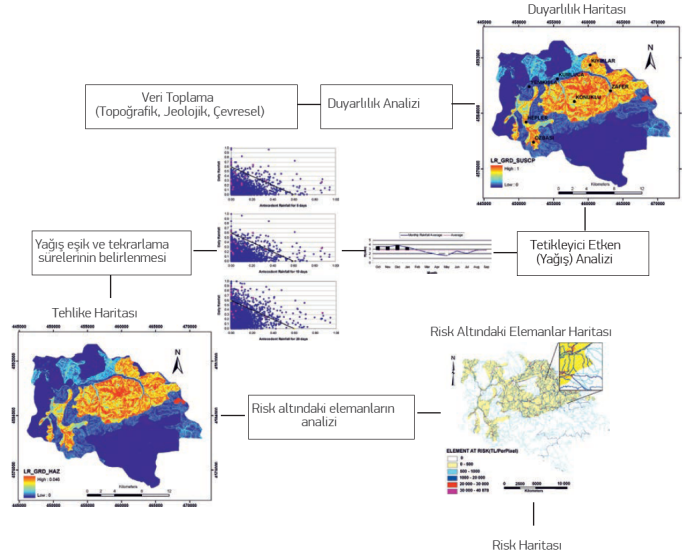






Dr. H. Sönmez –JEM719

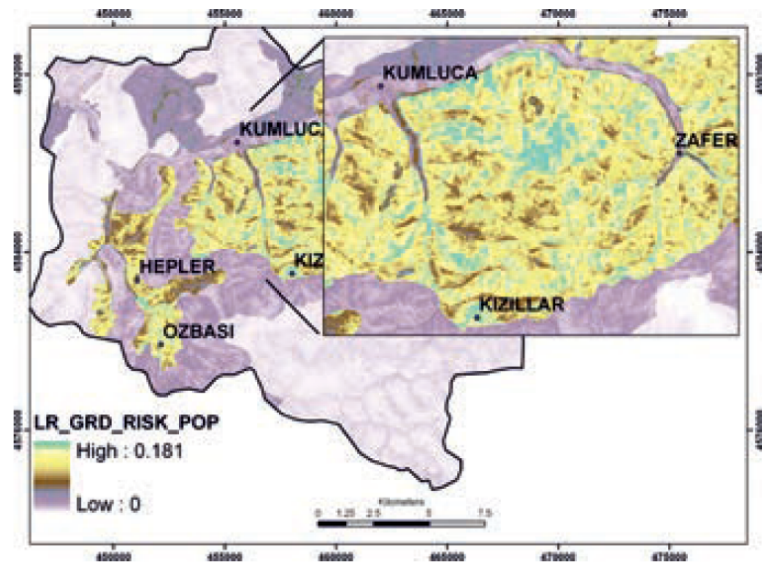
Kumluca (Bartın) bölgesinin heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının oluşturulma aşamaları.



(AFAD,2015'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

Risk Haritası



(AFAD,2015'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

AFET RİSK AZALTMA SİSTEMİ (ARAS)

AFAD

Kütle Hareketleri (heyelan, kaya düşmesi ve çığ türü afetler) için, duyarlılık ve tehlike analizlerini, web üzerinde (<http://aras.afad.gov.tr>) online olarak yapabilen bir sistemdir. Risk analizlerinin ise, birkaç yıl içinde aktive olması beklenmektedir.

Dr. H. Sönmez –JEM719

Afet Risk Azaltma Sistemi (ARAS)

AFAD
AFAD Risk Analiz Sistemi

İzmitli ayarlar

Bütün Harita

Kurulum Gözlemleri (Güncelleme adı ve yeri ile)

YÖNETİCİ ARAYÜZÜ

HARİTA ARAYÜZÜ

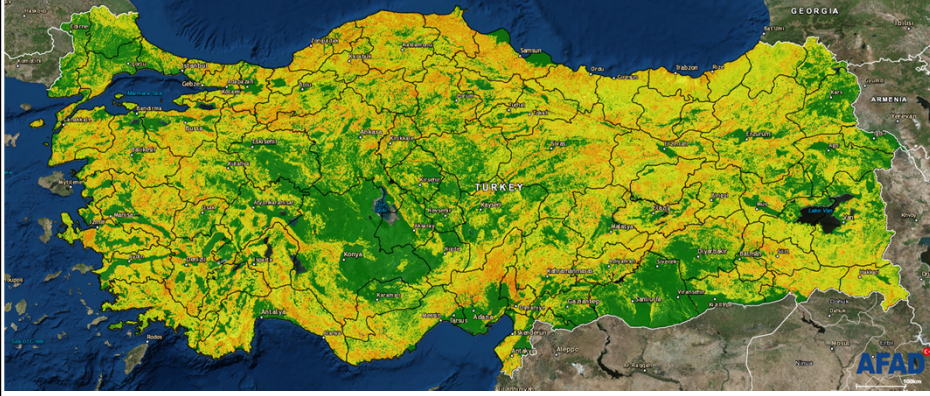
ANALİZ ARAYÜZÜ

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı **AFAD**

Dr. H. Sönmez –JEM719



HARİTA ARAYÜZÜ



Dr. H. Sönmez –JEM719



ANALİZ ARAYÜZÜ

DUYARLILIK ANALİZLERİ

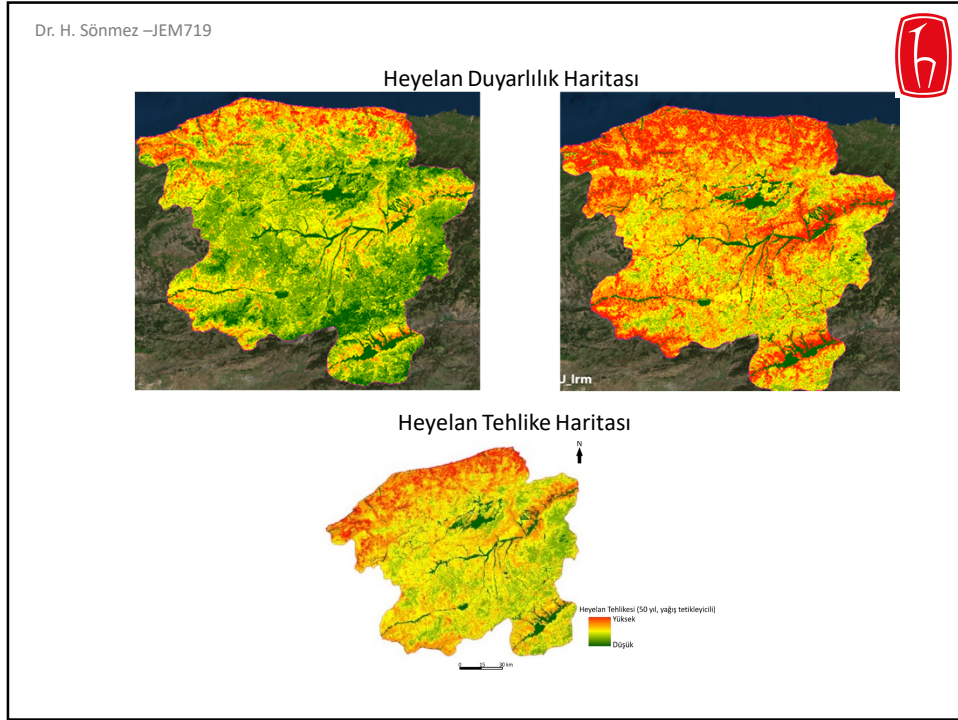
- Basit Toplamsal Ağırlıklandırma (SAW)
- Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)
- Lojistik Regrasyon Modeli (LRM)
- Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA)
- Frekans Oranı Yaklaşımı (FRA)
- Yapay Sinir Ağları (ANN)
- Bayesci Derin Öğrenme (BDL)
- Destek Vektör Makineleri (SVM)
- Belirti Ağırlıkları Modeli (WEM)

- Yamaç Eğimi
- Bakı
- Topografik Yükseklik
- Yamaç Eğriseligi
- Arazi Örtüsü
- Litoloji
- NDVI
- TWI
- Akarsuya Uzaklık
- Faylara Uzaklık
- Yollara Uzaklık

TEHLİKE ANALİZLERİ

- Deprem Tetikleyici Etkili
- Yağış Tetikleyici Etkili

- 5 Yıl Periyotlu
- 10 Yıl Periyotlu
- 25 Yıl Periyotlu
- 50 Yıl Periyotlu
- 100 Yıl Periyotlu



Dr. H. Sönmez –JEM719

KAYA DÜŞEMLERİ

Kaya düşmeleri Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflama sisteminde yer alan bu nedenle bir heyelan türüdür. Ancak kaya düşmelerinin mekanizması ve buna bağlı olarak deterministik ve olasılıksal analizleri ve haritalama tekniklerindeki farklılıklardan dolayı ayrı bir konu başlığı altında değerlendirilmiştir.

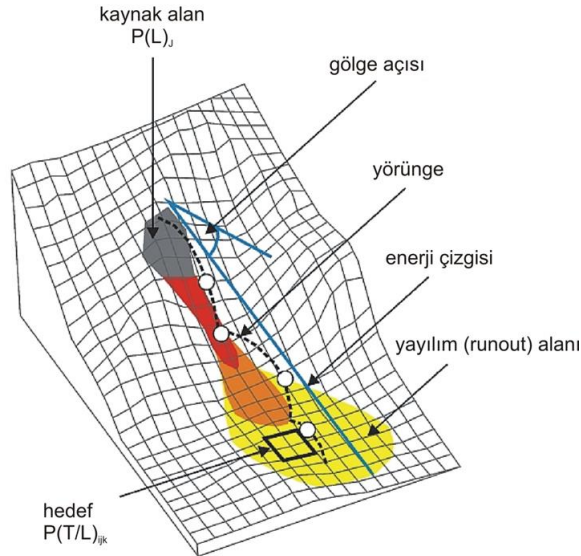
Dr. H. Sönmez –JEM719



- ✓ Kaya düşmesi dik topoğrafyaya sahip alanlarda süreksizlik setleriyle bölünmüş bir veya birden fazla kayanın eğim aşağı hızlı hareketi olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1978).
- ✓ Kaya düşmeleri genellikle dik yamaçlarda yüzeyleyen kaya kütlelerindeki blokların serbest kaldığı noktadan itibaren bir yörünge boyunca enerjisi sönümlenip durana kadar hareketine eğim aşağı devam eder.
- ✓ Kaya bloğunun yerindeki potansiyel enerjisi öncelikle eğim aşağı hareketle birlikte kinetik enerjiye dönüşken, diğer taraftan da yüzey ile temas ettiği bölgelerde ise çarpma, yuvarlanma ve sürtünme sonucunda enerji kayıplarıyla hareketine devam eder ve tüm enerjisi sönümlenince kaya bloğu durur.
- ✓ Kaya bloğunun yüzey teması sırasında parçalanması da söz konusu olabilir ki böyle bir durumun gerçekçi bir şekilde deterministik analizlere yansıtılabilmesi mümkün olamamaktadır.

(Kalender, 2017'den)

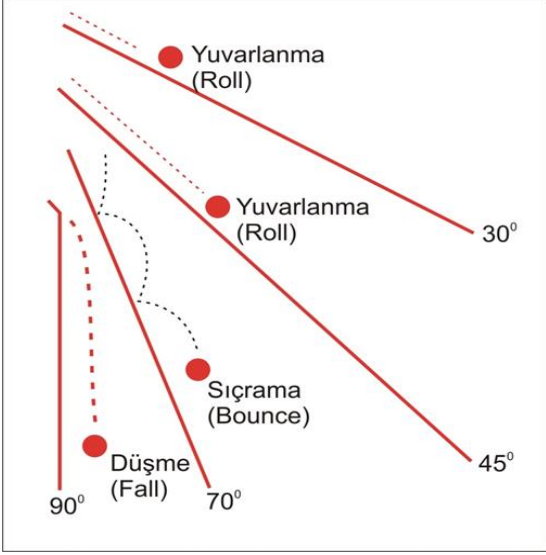
Dr. H. Sönmez –JEM719



Kaya düşmesi tehlikesi ve ilgili parametreler (Volkwein 2011 tarafından Jaboyedoff vd. 2001'in çalışmasından değiştirilmiştir)

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



Yuvarlanma (Roll)

Yuvarlanma (Roll)

Sıçrama (Bounce)

Düşme (Fall)

90° 70° 45° 30°

- ✓ Herhangi bir kırılma gerçekleşirse de düşen blok düşme sırasında kazandığı enerjinin %75 ila %86'sını çarpışmayla kaybeder (Bozzolo ve Pamini, 1986; Broilli, 1974; Evans ve Hungr, 1993).
- ✓ Sıçrama olayını takip eden yuvarlanma ise bloğun hızı bölgenin yamaç eğim açısı ile dinamik sürtünme açısı arasındaki orana bağlı olarak değişir (Hungr ve Evans, 1988; Evans ve Hungr, 1993).

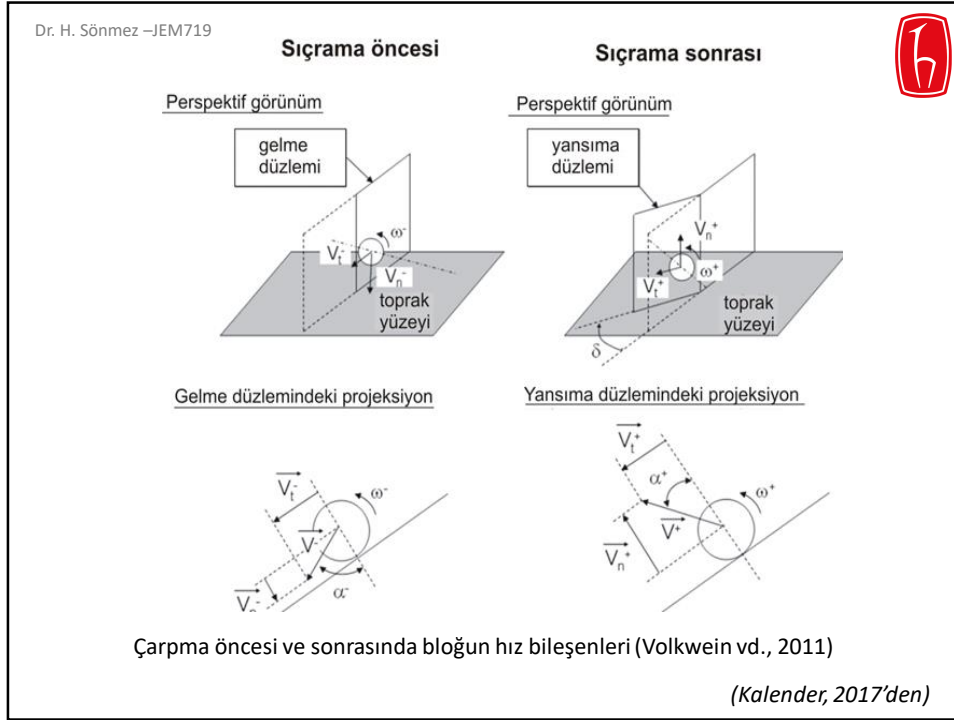
Yamaç eğimine göre blok hareketlerinin değişimi (Ritchie, 1963; Dorren, 2003'den).
(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

Kaya düşmelerinin deterministik analizi

- ✓ Deterministik analizlerde bloğun sıçrama hareketi yüzeye çarpışma sırasında etkin olan "geri verme katsayısı" (coefficients of restitution) ile kontrol edilir.
- ✓ Geri verme katsayısı yamaç yüzeyine çarpan bloğun hızının veya enerjisinin çarpmadan sonraki hız veya enerjiye oranı ($R=V_r/V_i$) olarak tanımlanır (Chau vd., 2002).
- ✓ Çarpma noktasında hareketin vektörel yönüne bağlı olarak teğetsel geri verme katsayısı (R_t) ve normal geri verme katsayısı (R_n) olmak üzere iki bileşeni vardır

(Kalender, 2017'den)



Dr. H. Sönmez –JEM719

Geri verme sayılarının ilişkin literatürdeki veri çeşitliliği

Farklı yüzey özellikleri için Lecco bölgesine ait kaya düşmesi modelinde kalibre edilen değerler (Crosta ve Agliardi, 2003)

Terrain class	e_n	range	e_t	range	$\tan(\Phi)$	range
Outcropping rock, forested	0.50	± 0.0100	0.70	± 0.0140	0.55	± 0.0110
Outcropping rock, bare	0.50	± 0.0125	0.75	± 0.0150	0.45	± 0.0080
Subcropping rock, forested	0.40	± 0.0080	0.65	± 0.0130	0.55	± 0.0110
Subcropping rock, non forested	0.45	± 0.0090	0.70	± 0.0140	0.50	± 0.0100
Glacial deposit, forested	0.20	± 0.0040	0.40	± 0.0080	0.60	± 0.0120
Glacial deposit, non forested	0.25	± 0.0050	0.50	± 0.0100	0.60	± 0.0120
Rockslide deposit, forested	0.30	± 0.0060	0.60	± 0.0120	0.50	± 0.0100
Rockslide deposit, non forested	0.30	± 0.0060	0.65	± 0.0130	0.45	± 0.0080
Cemented talus, forested	0.35	± 0.0070	0.60	± 0.0120	0.55	± 0.0110
Cemented talus, bare	0.35	± 0.0070	0.70	± 0.0140	0.45	± 0.0080
Talus, forested	0.30	± 0.0060	0.60	± 0.0120	0.50	± 0.0100
Talus, bush covered	0.33	± 0.0175	0.63	± 0.0126	0.55	± 0.0110
Talus, bare	0.35	± 0.0066	0.65	± 0.0130	0.60	± 0.0120
Lacustrine and peat deposit, forested	0.20	± 0.0040	0.40	± 0.0080	0.65	± 0.0130
Lacustrine and peat deposit, non forested	0.25	± 0.0050	0.55	± 0.0110	0.70	± 0.0140
Alluvial deposit, forested	0.25	± 0.0050	0.55	± 0.0110	0.65	± 0.0130
Alluvial deposit, non forested	0.25	± 0.0050	0.60	± 0.0120	0.60	± 0.0120
Colluvial deposit, forested	0.25	± 0.0050	0.50	± 0.0100	0.65	± 0.0130
Colluvial deposit, non forested	0.25	± 0.0050	0.65	± 0.0130	0.60	± 0.0120

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



Table 1. Main characteristics of a selection of existing rockfall trajectory models (modified from Guzzetti et al., 2002).

Model/programme name	Reference/Year	Spatial Dimensions	Approach	Probabilistic	Forest*
N.N.	(Ritchie, 1963)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	No	No
Discrete Element Method	(Cundall, 1971)	2-D (slope profile)	Rigid body	No	No
Computer Rockfall Model	(Piteau and Clayton, 1976)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	Partly	No
N.N.	(Azimi et al., 1982)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	Yes	No
N.N.	(Falchetti, 1985)	2-D (slope profile)	Rigid body	No	No
ROCKSIM	(Wu, 1985)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	Yes	No
SASS	(Bozzolo and Pardini, 1986)	2-D (slope profile)	Hybrid	Yes	No
EBOUL-LMR	(Descroignes and Zimmermann, 1987)	3-D (x,y,z)	Rigid body	No	No
PROFAG/CETE Lyon	(Rochet, 1987a)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	No	No
N.N.	(Hungar and Evans, 1988)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	No	No
CRSP (4.0)	(Pfeiffer and Bowen, 1989)	2-D (slope profile)	Hybrid	Yes	No
N.N.	(Jones et al., 2000)	2-D (x,y)	Lumped-mass	No	No
N.N.	(Kobayashi et al., 1990)	2-D (slope profile)	Rigid body	No	No
Rotomap	(Scioldo, 1991)	3-D (x,y,z)	Lumped-mass	Yes	No
CADMA	(Azzoni et al., 1995)	2-D (slope profile)	Hybrid	Yes	No
Rockfall (Dr. Spang)	(Spang and Sönsler, 1995)	2-D (slope profile)	Rigid body	Yes	Yes
ROFMOD 4.1	(Zinggeler et al., 1990)	2-D (slope profile)	Hybrid	Yes	Yes
3-D-GEOTEST-Zinggeler	(Krummenacher and Keusen, 1996)	3-D (x,y,z)	Hybrid	Yes	Yes
RocFall	(Stevens, 1998)	2-D (slope profile)	Lumped-mass	Yes	No
Sturzgeschwindigkeit	(Mejsl, 1998)	2-D (x,y)	Lumped-mass	No	No
STONE	(Guzzetti et al., 2002)	3-D (x,y,z)	Lumped-mass	Yes	No
STAR3-D	(Dimnet, 2002)	3-D (x,y,z)	Rigid body	No	Yes
Rocky3	(Le Hir et al., 2006)	2.5-D (x,y coupled with slope profile)	Hybrid	Yes	Yes
HY-STONE	(Dorren and Seijmonsbergen, 2003)	3-D (x,y,z)	Hybrid	Yes	Yes
RockyFor	(Crosta et al., 2004)	3-D (x,y,z)	Hybrid	Yes	Yes
DDA	(Frattini et al., 2008)	3-D (x,y,z)	Rigid body	Yes	Yes
RAMMS::Rockfall	(Aghajani et al., 2009)	3-D (x,y,z)	Lumped-mass	Partly	No
RockFall Analyst	(Dorren et al., 2004)	3-D (x,y,z)	Lumped-mass	Yes	Yes
PICUS-ROCKnROLL	(Dorren et al., 2006)	3-D (x,y,z)	Lumped-mass	Yes	Yes
	(Bourrier et al., 2009a)				
	(Yang et al., 2004)				
	(Christen et al., 2007)				
	(Lan et al., 2007)				
	(Wölter et al., 2008)				
	(Rammer et al., 2007)				

* Forest characteristics such as tree density and corresponding diameters can be taken into account explicitly

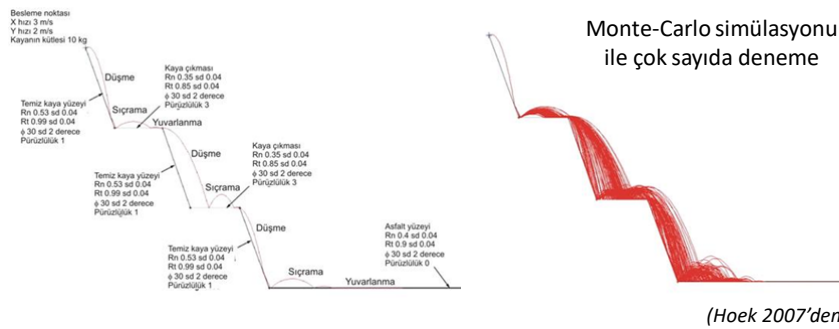
(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



- ✓ Kaya düşmesi analizlerinde geri verme katsayılarının yanı sıra kaya bloğunun ilk hızı, açılma hızı, bloğun şekli ve blok ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı gibi çok sayıda girdi parametresinin de gerçekçi değerlerle kullanılması gerekmektedir.
- ✓ Bu nedenle tek bir kaya bloğunun deterministik analiziyle değerlendirilmesinden ziyade girdi parametrelerinin olasılıksal dağılımlarıyla tanımlanarak olasılıksal kaya düşmesi analizleriyle kaya bloğunun olası yörüngesi, yörünge boyunca olası hız değişimi, enerji düzeyindeki olası değişim gibi kaya düşmesi değerlendirme ve önleyici/koruyucu teknik girişimlerin tasarlanmasına veri sağlanabilmektedir.

(Kalender, 2017'den)



(Hoek 2007'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



- ✓ Küçük sahalarda birkaç evin veya demiryolu ve karayolu gibi uygulamalarda deterministik ve olasılıksal kaya düşmesi analizlerinin bloğun yörüngesinin, hızının ve kinetik enerjisinin belirlenmesinde etkin kullanımına karşın, yıllarda bu analizlerin uygulama pratiğine yönelik sınırlama ve güçlükleri nedeniyle büyük alanların kaya düşmesi haritalarının hazırlanmasında ampirik yaklaşımların kullanımı son yıllarda dikkat çekmektedir.
- ✓ Jabodeyoff ve Labiouse (2011) tarafından önerilen konik yayılım açısı yaklaşımı basit girdi parametreleriyle dikkate değer pratik değeri olan sonuçların elde edildiği ampirik yöntemdir.

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

Kaya düşmesi haritalamalarında ampirik yaklaşım



Larcher vd. (2012) bölgesel ölçekte kaya düşmesi haritalarının aşağıdaki soruları cevaplar niteliklere sahip olması gerektiğini belirtmektedirler.

1. Varsa aktif kaynak alan nerelindedir?
2. En büyük menzil mesafesi (zonu) nedir?
3. Evler, alt yapılar, elektrik hatları yollar vb. yapılar etkileniyor mu?
4. Yaşamsal alanlarla aktif kaynaklar arasında ormanlık sahalara var mıdır?

Dorren vd. (2011) tarafından önerilen bir kaya düşmesi analizinde izlenmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir. Bunlar;

1. Hazırlık aşaması
2. Kaynak alanların tanımlanması
3. Kaya düşmesi modellenmesi
4. Model sonuçlarının doğruluğunun kontrolü
5. Model sonuçlarının düzeltilmesi (yeniden değerlendirme)
6. Sonuçların kaya düşmesi haritalarına dönüştürülmesi

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



1. adım: Kaynak alanların belirlenmesi

- Kaya düşmesi olayının ilk koşulu kaya bloğunun serbestleşebileceği kaynak alanın olmasıdır.
- Kaynak alanlar **dik ve sarp** topoğrafyalardaki eklemli (bloklu) kaya kütlelerinin olduğu alanlardır.
- Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak potansiyel kaynak alanlar belirlenebilir.

Dr. H. Sönmez –JEM719



1. Sayısal Yükselik Modelinde çözünürlüğe bağlı sınır eğim açısı değeri (α):

Potansiyel kaynak alanların belirlenmesinde kullanılacak sınır (en düşük) eğimin SYM'nin çözünürlüğe bağlı olarak aşağıdaki ampirik eşitlikten belirlenebileceği belirtilmektedir (Dorren ve Seijmonsbergen 2003; Troisi, vd., 2008).

$$\alpha = 55xRES^{-0.075}$$

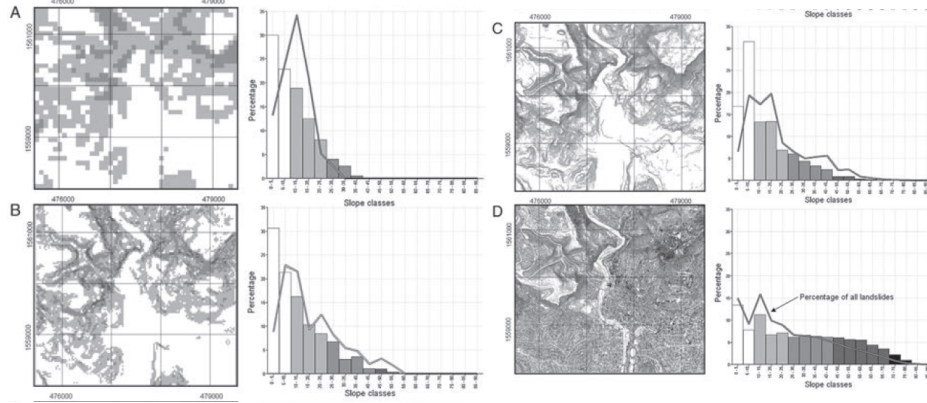
Burada α (derece) potansiyel kaynak alanlar için sınır eğim değerini, RES ise sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğünü ifade etmektedir. Yüksek çözünürlüklü (1x1 m) bir SYM ile sınır açısı 55° olarak belirlenirken, çözünürlüğün 25x25 m olması durumunda sınır açısı 43°'ye düşmektedir.

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



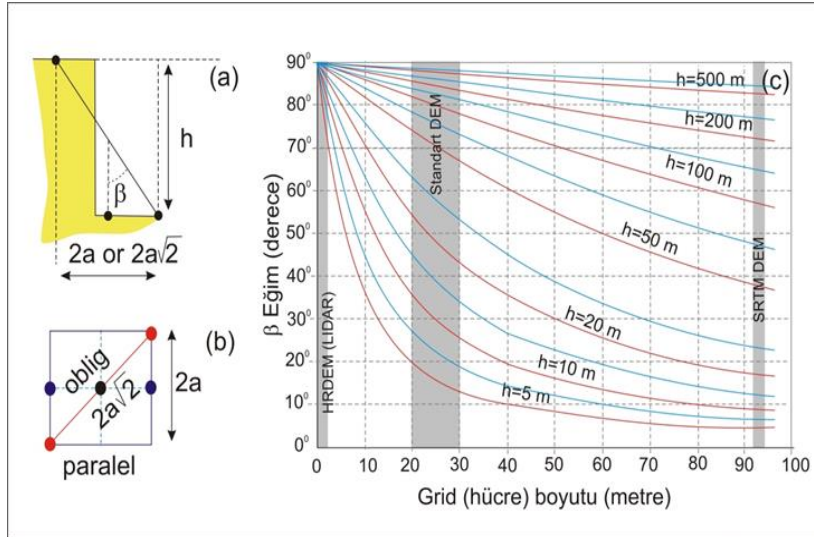
Aynı alana ilişkin üretilen yamaç eğim haritasında, farklı ölçeklerin etkileri. Van Wester vd. (2008).



A → B → C → D yönünde çözünürlük artıyor.

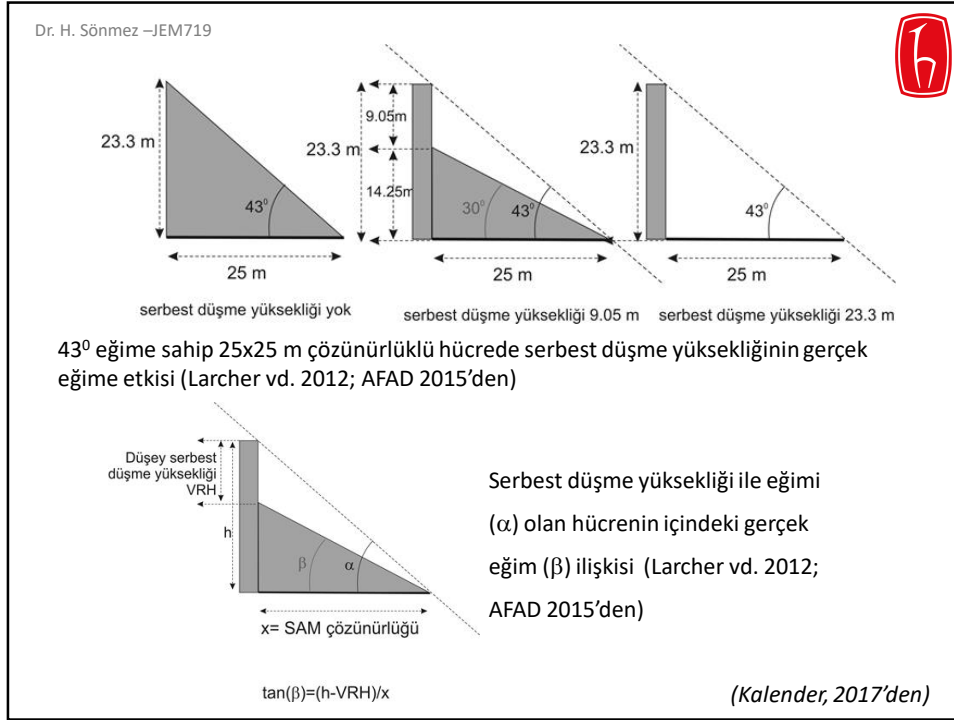
(AFAD, 2015'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



SYM'nin çözünürlüğüne bağlı olarak farklı yükseklikteki dik yüzeyin hesaplanabilecek eğim değerlerinin değişimi (Larcher vd. 2012; AFAD 2015'den)

(Kalender, 2017'den)



Dr. H. Sönmez –JEM719

Düsey 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, α=55°	SYM çözünürlüğü (10x10 metre)	Eğim açısı sınırı, α=46.28°	SYM çözünürlüğü (25x25 metre)	Eğim açısı sınırı, α=43.2°
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				

(AFAD, 2015'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

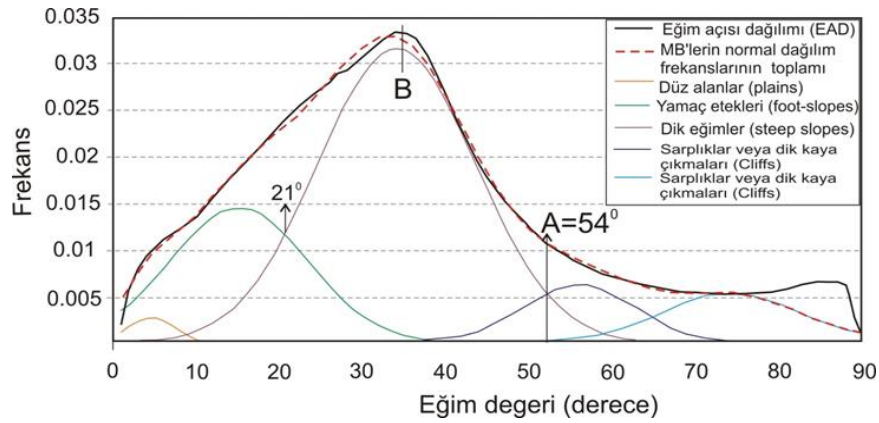


2. Morfolojik birimlerin sınıflandırılması (Loye vd. 2009):

1. Düz alanlar (Plains): Eğim değeri oldukça düşük alanlar
2. Yamaç etekleri (Foot slopes): Eğimin nispete arttığı ve dik eğimli alanların eteklerindeki alanlar
3. Dik eğimler (Steep slopes): kaya çıkmalarının gözlendiği nispeten daha yüksek eğimli alanlar
4. Sarplıklar veya dik kaya çıkmaları (Cliffs): Sadece kaya çıkmalarının yüzeylendiği çok dik alanlar

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



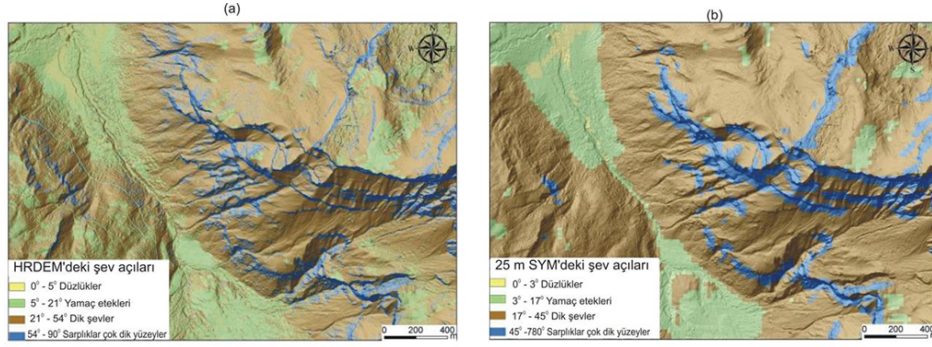
Les Diablerets Alpin bölgesinde eğim açısı dağılımı ile morfolojik birimlere ait normal dağılım eğrileriyle potansiyel kaynak alanlarının ayırtlanmasına yönelik sınır eğim değerinin belirlenmesi (Loye vd., 2009; AFAD, 2015'den)

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



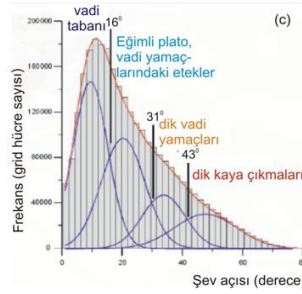
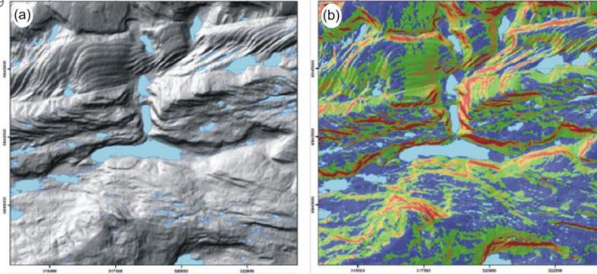
Morfolojik sınıflamada SYM'deki ölçek etkisi



(a) 1x1 m (HRDEM) ve (b) 25 m SYM çözünürlükleri için morfolojik birimlerin sınır eğim açıları kullanılarak ayrıştırıldığı haritalar (Loye vd., 2009)

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



Derron (2010) tarafından eğim açısı dağılımıyla morfolojik birimlerin ayrılmasının Norveç'teki kaya düşmesi potansiyeli alanına 25x25m çözünürlüklü altlık kullanılarak uygulanması (AFAD, 2015'den)

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

2. adım: Menzil Mesafelerinin (Run-Out Distance) Belirlenmesi



Kaynaktan serbestleşen bloğun yamaç aşağı hareketi sonrasında durabileceği en uzak noktaya kadar olan mesafedir.

- i. Ulaşma Açısı (Reach Angle) veya Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)
 - ii. Gölge açısı (Shadow Angle)
- kavramları kullanılarak belirlenir.

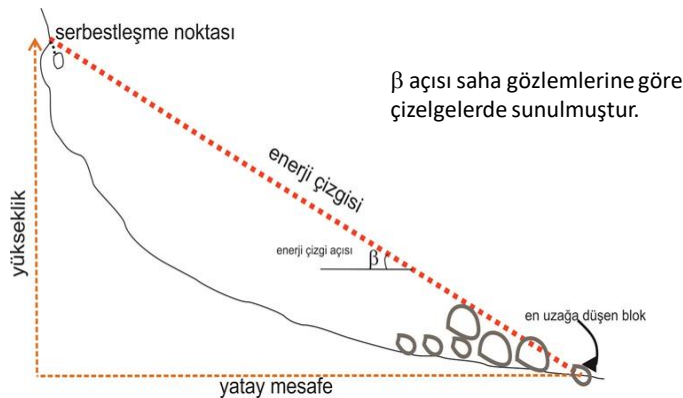
(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

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



Heim (1932) tarafından tanımlanan enerji çizgi açısı literatürde Fahrboschung açısı (Heim, 1932) veya ulaşma açısı (reach angle) (Corominas, 1996) gibi farklı isimlerle de anılmaktadır



(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

Literatürde enerji çizgi açısı için önerilen açı değeri aralıkları (Larcher vd., 2012)



Yazar Adı ve Yılı	Enerji çizgi açısı için önerilen açı değerleri (Parantez içerisindekiler Geometrik Açı)	
	En Düşük Değer Aralığı	Ortalama Değer
Shreve(1968)	(26.57° - 38.66°)	—
Onofri & Candian (1979)	28.34° - 40.73° (28,84° - 41,73°)	—
Grunder(1984)	32.6° - 33.4° (33.1° - 34.4°)	—
Domaas(1985 in Toppe 1987)	32° (33°)	—
Gerber(1994)	33° - 37° (33.5° - 38°)	—
Meissl (1998)	29° - 47,5° (29.5° - 48.5°)	38° (38°)
Heinimann et al. (1998)	33° - 37° (33.5° - 38°)	—
Ayala-carcedo et al. (2003)	(29.1° - 38.9°)	(31,9°)
Jaboyedoff & Labouise (2003)	32° (33°)	—
Jaboyedoff & Labouise (2011)	(32,6° - 35,6°)	34°
Corominas et al. (2003)	26° - 54° (27° 55°)	—
Dorren & Berger (2005,2006)	31.3° - 37° (31.9° - 38°)	—
Copons et al.(2009) 1.Aşama	(36.87° - 56,3°)	—
Copons et al.(2009) 2.Aşama	(28.81° - 42.0°)	—
Scheidegger(1973)	(29.68° - 39,69°)	—
Marquinez et al. (2002) 1. Aşama	(32,5° - 40,9°)	(31,5° - 40,2°)
Marquinez et al. (2002) 2. Aşama	(29,4° - 38,5°)	—
Deparis et al (2008)	(31,61° - 47,20°)	—
Hyndman & Hyndman (2009)	(33°)	—
Berger et al. (2009) (orman)	(27.67° - 33.88°)	—
Berger et al. (2009) (orman hariç)	(31.32° - 37.86°)	—
Berger et al. (2009)	(32.57° - 48.99°)	—

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

Rockfor^{LN} yazılımında geometrik enerji Çizgi Açısı kavramı ile kaya düşmesi haritalamasında kullanılabilecek sınıflar (Larcher vd., 2012)

Geometrik Enerji Çizgi Açısı Sınırları	Kaya Düşmesi İlerleme Olasılığı
$38^\circ \geq b$	Yüksek
$35^\circ \leq b < 38^\circ$	Orta
$32^\circ \leq b < 35^\circ$	Düşük
$28^\circ \leq b < 32^\circ$	Çok düşük

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

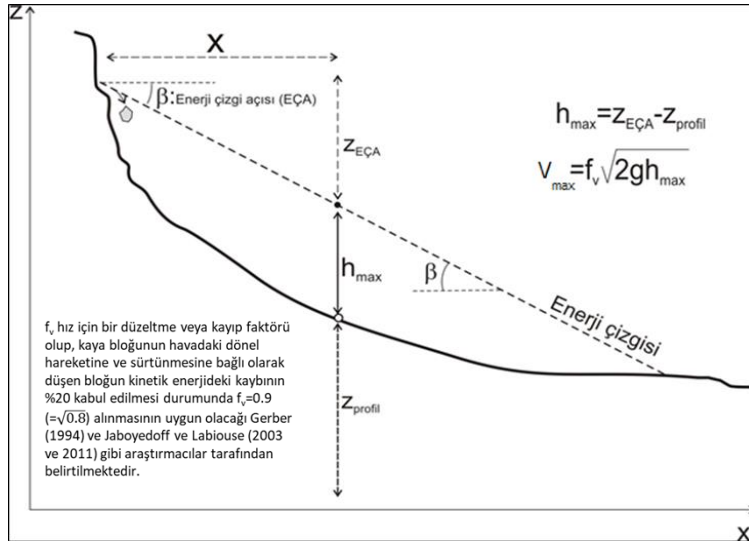
Ampirik Yöntemde Hız ve kinetik enerji hesaplaması



- ✓ Deterministik analizlerde, potansiyel enerjiden kinetikaik enerjiye dönüşüm ve çarpma, yuvarlanma ve sürtünme sırasındaki enerji kayıplarıyla birlikte bloğun kütlesi ve yörüngeye bağlı olarak hız ve kinetik enerji hesaplamaları yapılabilmektedir. Bu özellikle kaya düşmelerini önleme yapılarının yer seçimi ve tasarımında önem arz etmektedir.
- ✓ Ampirik yöntemde de menzil mesafesi içinde hız ve kinetik enerjinin hesaplanması için bir yaklaşım mevcuttur.
- ✓ Burada potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü eşitliği dikkate alınır.

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

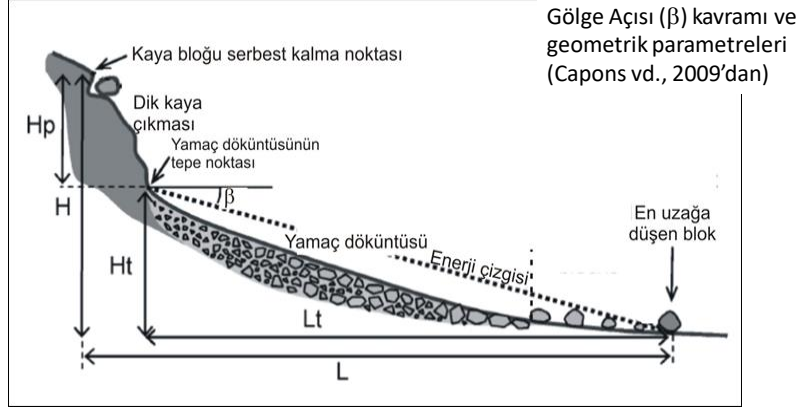


Kaya bloğunun hızının enerji çizgi geometrik açısı çizgisi ve yamaç profiline bağlı olarak hesaplanması (Larcher, 2012'den değiştirilmiştir).

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

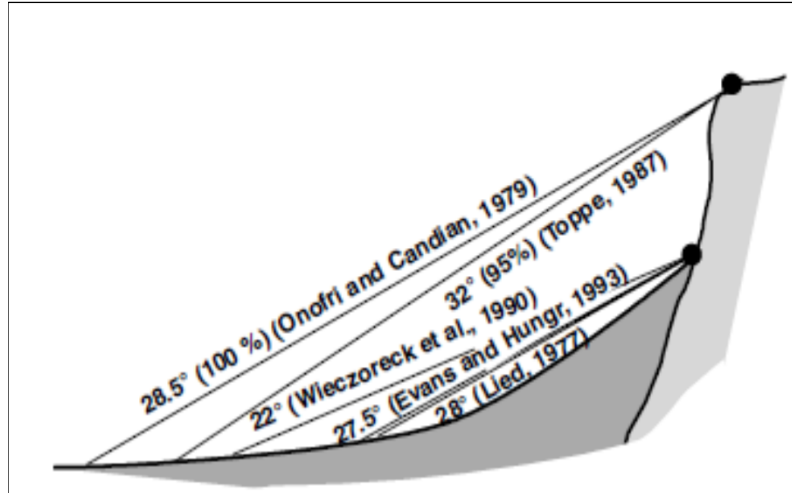
ii. Gölge açısı (Shadow Angle)



Evans ve Hungr (1993) kaynak alandan serbest düşme hareketi yamaç döküntüsünün tepe noktasına düşen bloğun kazandığı kinetik enerjinin büyük bir kısmının bu çarpışma sırasında sönmüldüğünü belirtmektedir. Bu etkiden dolayı gölge açısının ilk çarpışmadan sonraki durumu ifade ettiğini ön görerek menzil mesafesinin (run-out distance) belirlenmesinde gölge açısının da kullanılabileceğini belirtilmektedir.

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

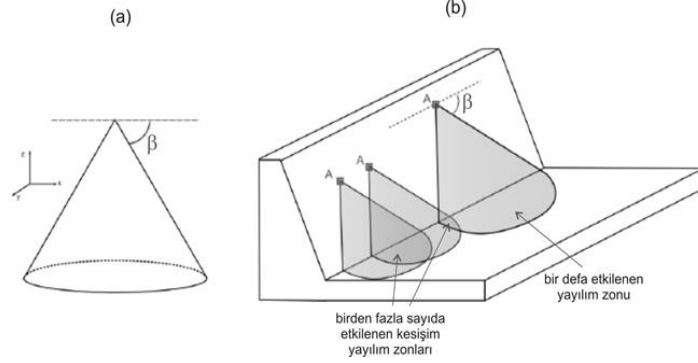


Enerji çizgisi açısı (tepeden) ve gölge açısı (dik topoğrafyanın bitiminden) kavramları için bazı literatür değerleri (Jaboyedoff ve Labiouse 2003)

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

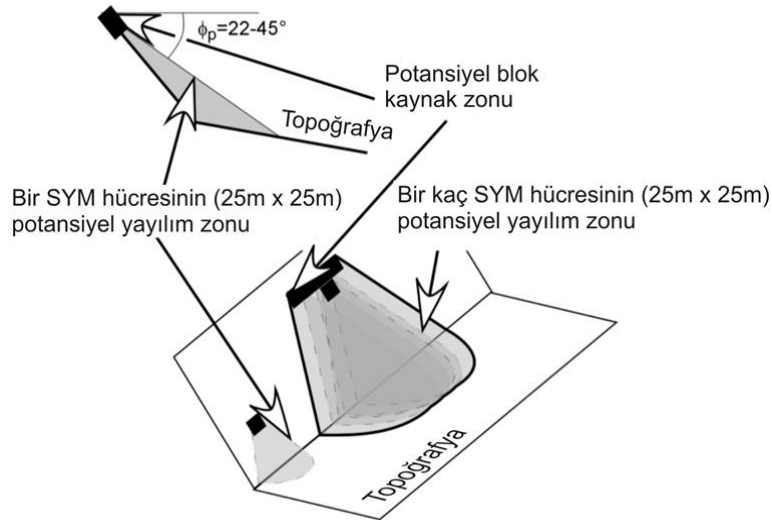
3. adım: Yayılım Zonunun Belirlenmesi (Konik yayılım yaklaşımı)



Jaboyedoff ve Labiouse (2003) tarafından geliştirilen konik yayılım yaklaşımında (a) β açısına sahip düşey koni, (b) kaynak alandaki hücrelerden itibaren şematik olarak β açısına sahip koni ile topoğrafya üzerindeki ara kesitler (Derron,2010'dan düzenlenmiştir).

(Kalender, 2017'den)

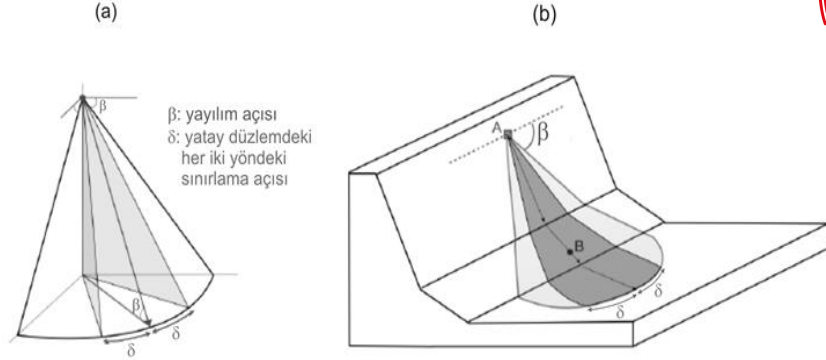
Dr. H. Sönmez –JEM719



Konik yayılım yaklaşımının uygulanma presibinin şematik sunumu Jaboyedoff ve Labiouse (2003)

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

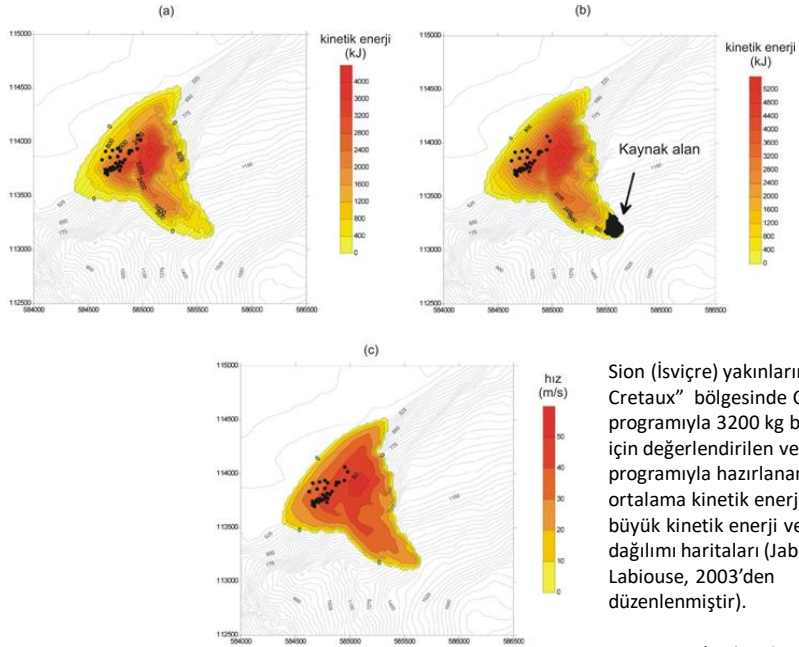


Konik yayılım uygulamasındaki etkilene zonunun yatay düzlemde $\pm\delta$ açısı ile sınırlandırılması (Derron, 2010'dan düzenlenmiştir).

Crosta ve Agliardi (2004) $\delta = \pm 15^\circ$ aralığını önermişlerdir.

(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719

Örnek bir çalışma: Kargabedir tepesi (Kalender, 2017; Kalender ve Sönmez 2019)



(Kalender, 2017'den)

Dr. H. Sönmez –JEM719



Blok ölçümleri:

1. Sahada doğrudan ölçümler
2. Dron ile alınan görüntülerden ortofoto üzerinde ölçümler



Blok boyutu dağılımı
Kütleye geçiş
Hız ve enerji hesabı

(Kalender, 2017'den)

