



JEOTAG EĞİTİM ÇALIŞMALARI-7

17 NİSAN 2021

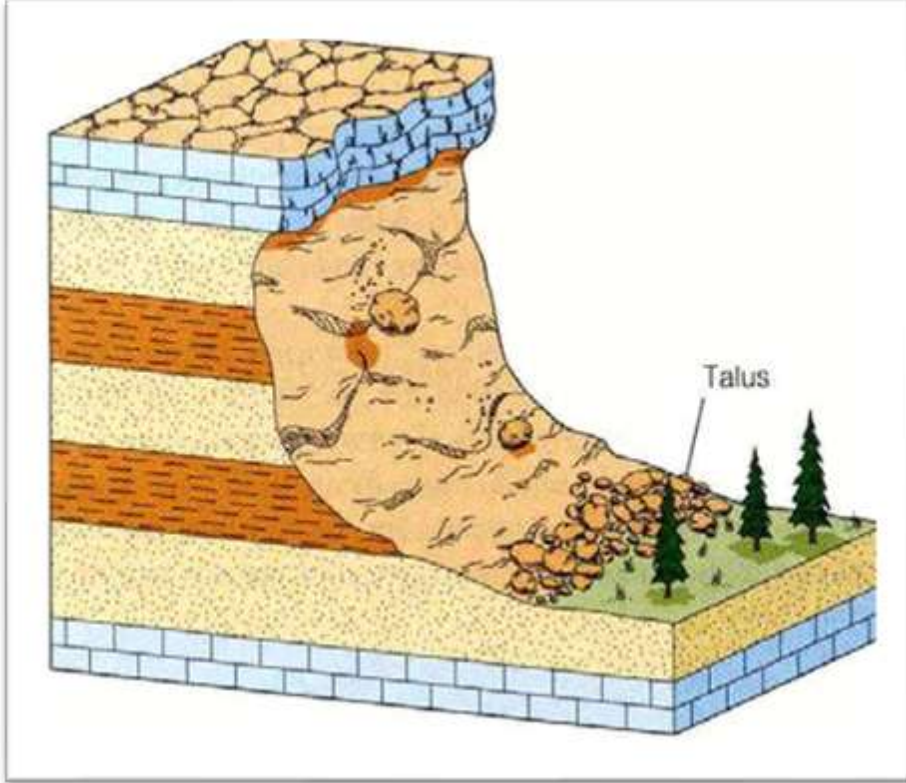


KAYA DÜŞMELERİNDE GÜNCEL ANALİZ ve İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Doç. Dr. Mutluhan AKIN
*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi,
Kapadokya Jeolojik Miras ve Kaya Oyma Yapıları Uygulama ve Araştırma Merkezi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü*



KÜTLE HAREKETLERİNİN GENEL SINIFLAMASI (VARNES, 1978)

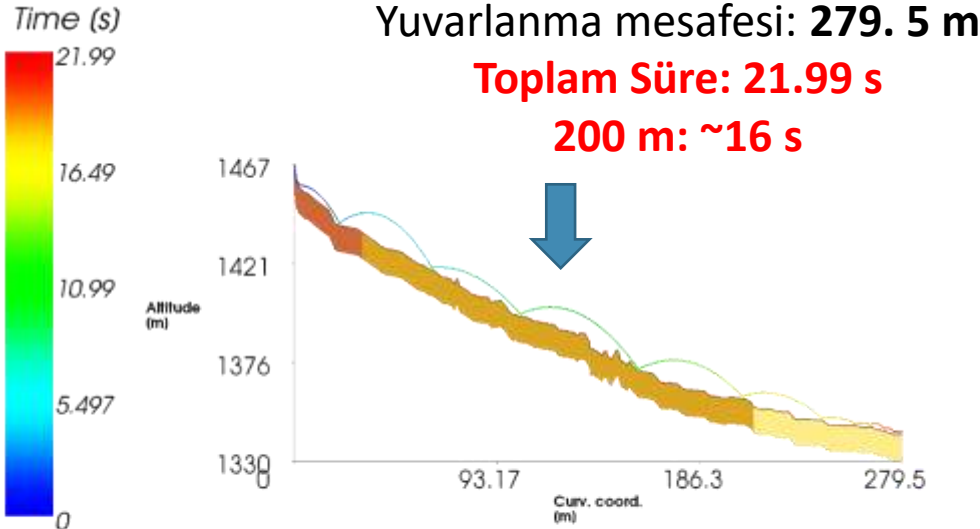


	ANAKAYA	KONSOLİDE OLMAMIŞ MALZEME (Kaya parçaları, makaslanmış anakaya, ayrışmış malzeme, zemin)
DÜŞME	Kaya Düşmesi Açık süreksizlikler (hidrostatik basınç, donma-çözülme, bitki kökleri vb.) Çok aşırı hızlı	Zemin Düşmesi Akarsu tarafından ayılma Çok hızlı
DEVİRİLME	Kaya Devrilmesi Hızlı	Zemin Devrilmesi Kıllı çakıl Temiz kum Orta hızlı
KAYMA	Dairesel kayma İleri derecede eklemlili kaya Çok aşırı yavaş-orta hızlı	Zemin Kayması Tali ayna Birikme zonu Yavaş
	Blok kayması Süreksizlik düzlemi Orta hızlı	Kütle kayması Tabakaların kontrol ettiği kayma yüzeyi Çok yavaş-çok aşırı hızlı
Ötelenmeli		Toprak kayması Anakaya Çok yavaş-hızlı
YANAL YAYILMA		Yumuşak killerin yanıl hareketi Kıllı kil Su içeriği yüksek silt içeren yumuşak kil Kıllı çakıl Çok hızlı
AKMA	Kaya kütleleri için akma türü yenilmeden bahsedilemez.	
	Kum veya silt akması Hızlı-çok hızlı	Moloz akması Çok hızlı
	Hızlı toprak akması Çok hızlı	Moloz çığı Çok hızlı-çok aşırı hızlı
	Kaya çığı Çok aşırı hızlı	Anakaya Çok hızlı-çok aşırı hızlı
	Kum akması Hızlı-çok hızlı	Lös akması Çok aşırı hızlı
	Kıllı silt Çok aşırı hızlı	Lös Çok aşırı hızlı
	Kuru	Ayrışmış çeyir Çok hızlı-çok aşırı hızlı
	Su içeriği	Sevil Çok yavaş
	Yalıtık	
	Yumuşak	
YAKLAŞIK HAREKET HIZI	<p>Çok aşırı hızlı 3 m/s</p> <p>Çok hızlı 0.3 m/dak</p> <p>Hızlı 1.5 m/gün</p> <p>Orta hızlı 1.5 m/ay</p> <p>Yavaş 1.5 m/yıl</p> <p>Çok yavaş 0.3 m/5 yıl</p> <p>Çok aşırı yavaş</p>	
İRİ KAYA BLOKLARI	NON-PLASTİK DERECELENMİŞ SİLT-KUM	KAYA-ZEMİN KARIŞIMI
		ÇÖĞÜNLÜKLA PLASTİK

Orjinal şekil: Trista L. Thornberry-Ehrlich, Colorado State University
Değiştirerek Türkçe'ye çeviren: Mutluhan Akın, NHBVU

KAYA DÜŞMESİ NEDİR?

- Yamaç veya şevlerde süreksizlik yüzeyleri boyunca ayrılan kayaların **yerçekiminin** etkisiyle yamaç/şev aşağıya doğru **HIZLI ve ANİ** hareketi **KAYA DÜŞMESİ** olarak tanımlanabilir.



Usain Bolt-2009 yılı
200 m dünya rekoru: **19.19 s**

KAYA DÜŞMELERİ ÖLÜMCÜDÜR!

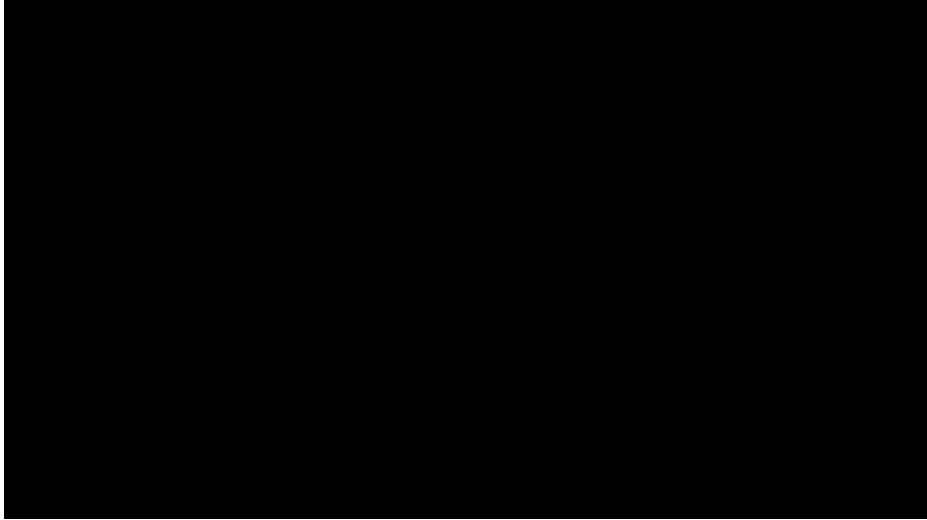


Milazın Bozalan Mahallesi'nde, yolda seyir halinde olan araçın üzerine ağır yağlardan kaynaklı kopan dev kaya parçası düştü.

Edinilen bilgiye göre; Milazın Bozalan Mahallesi'nde, 42 RD 795 plakalı araç yolda seyir halindeyken ağır yağlardan dolayı kopan dev kaya parçası araçın üzerine düştü. Heyelan sonucu ilçe'nin kaya parçasının anaçlarını üzerine düştüğünü gören vatandaşlar, sıkı bir süre beklemeye başladılar.



KAYA DÜŞMELERİ ÖLÜMCÜLDÜR!-video



Département des transports, de l'équipement et de l'environnement
Service des routes, transports et cours d'eau

Département für Verkehr, Bau und Umwelt
Dienststelle für Strassen, Verkehr und Flussbau

TRAMİN-TERMİNO KAYA DÜŞMESİ (KUZEY İTALYA)



Tramin – İtalya, Ocak 2014

4000 m³ kopan blok hacmi. Ölüm yok.

TRAMİN-TERMİNO KAYA DÜŞMESİ (KUZEY İTALYA)



Tramin – İtalya, Ocak 2014



KAYA DÜŞMELERİNE NEDEN OLAN İÇ VE DIŞ FAKTÖRLER

Yapısal Faktörler

Yamacın Jeolojik Yapısı

Süreksizlik Yüzeyleri

Kırıklı-Çatlaklı Kaya Kütlesi

Çevresel Faktörler

Yağmur

Donma-Çözülme

Rüzgar

Kar Erimesi

Su Kaynakları

Depremler

Antropojenik Faktörler

Kontrolsüz Patlatma Uygulamaları

Büyük İnşaat Sarsıntıları

Uygun Olmayan Şev Tasarımı



(Volkwein vd., 2011'den değiştirilerek)

KAYA DÜŞMESİNİ TETİKLEYEN FAKTÖRLER

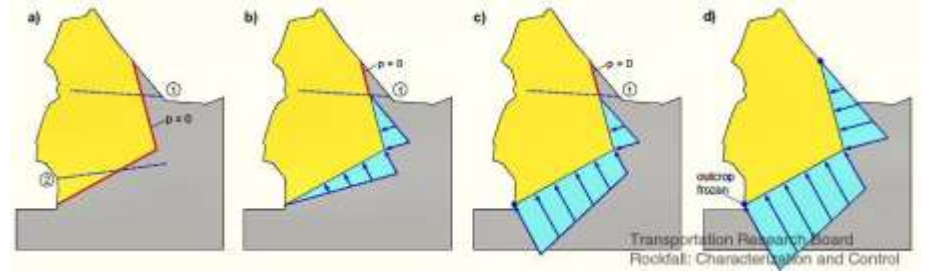
- Süreksizlik yönelimine bağlı yerçekimi etkisi



- Ayrışma / Farklı ayrışma



- Süreksizliklerdeki suyun donması

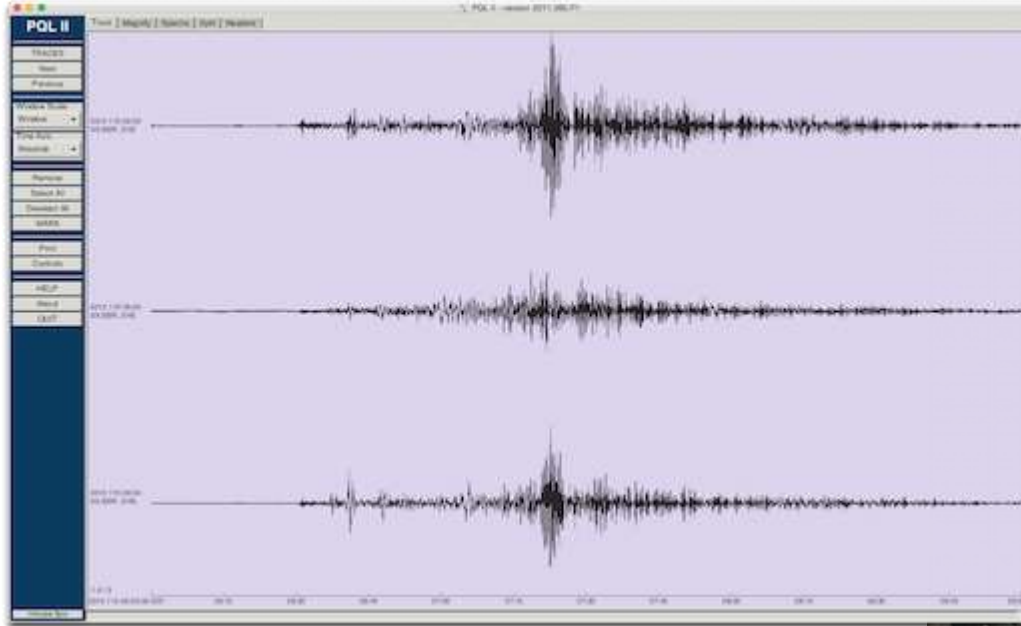


- Ağaç köklerinin süreksizlikler boyunca büyümesi



KAYA DÜŞMESİNİ TETİKLEYEN FAKTÖRLER

- Ve tabiki
- **Depremler.....**
- Geniş alanlarda toplu kaya düşmeleri veya tekil blok düşmesi gözlenebilir.

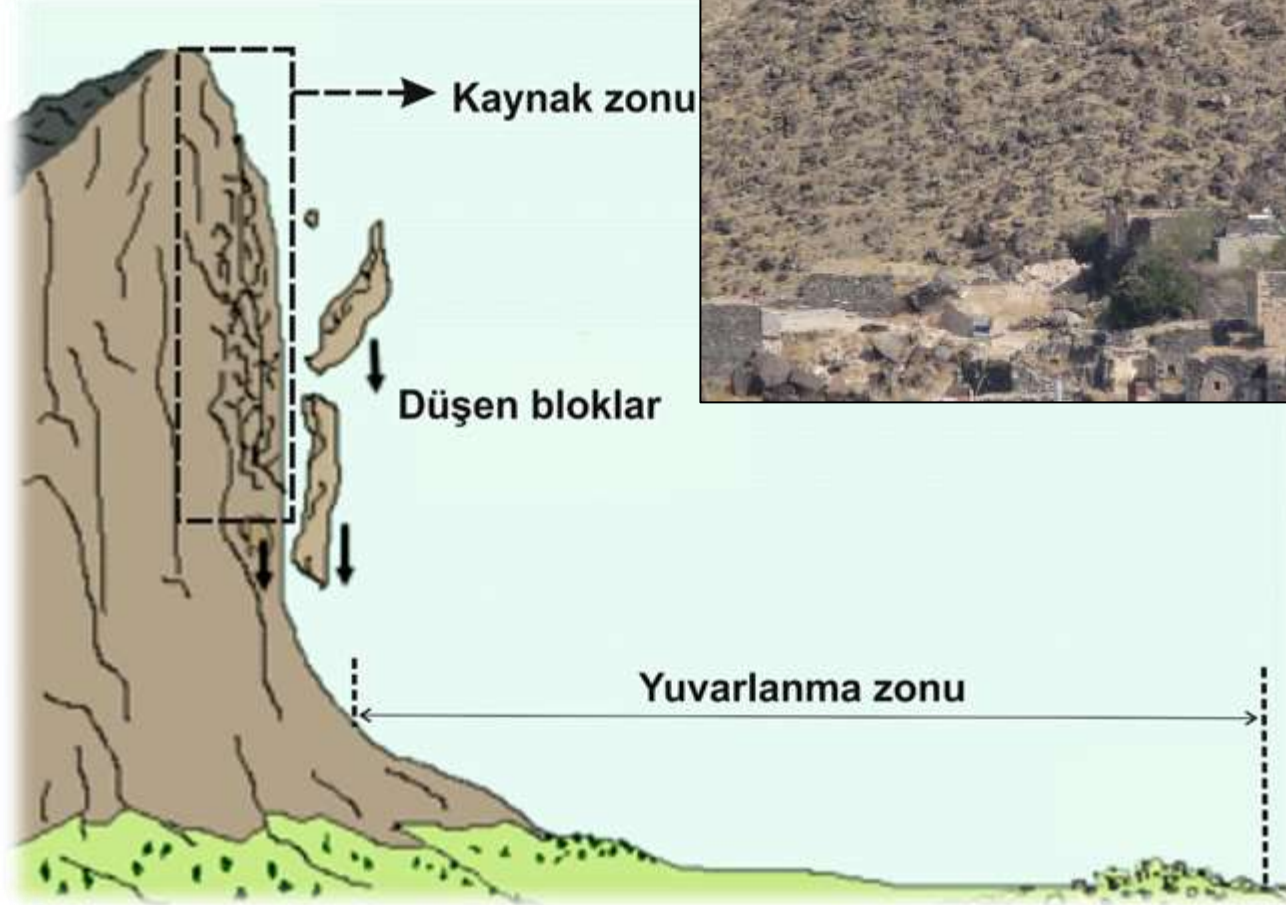


(2015 Nepal Depremi-Hashash vd., 2015)



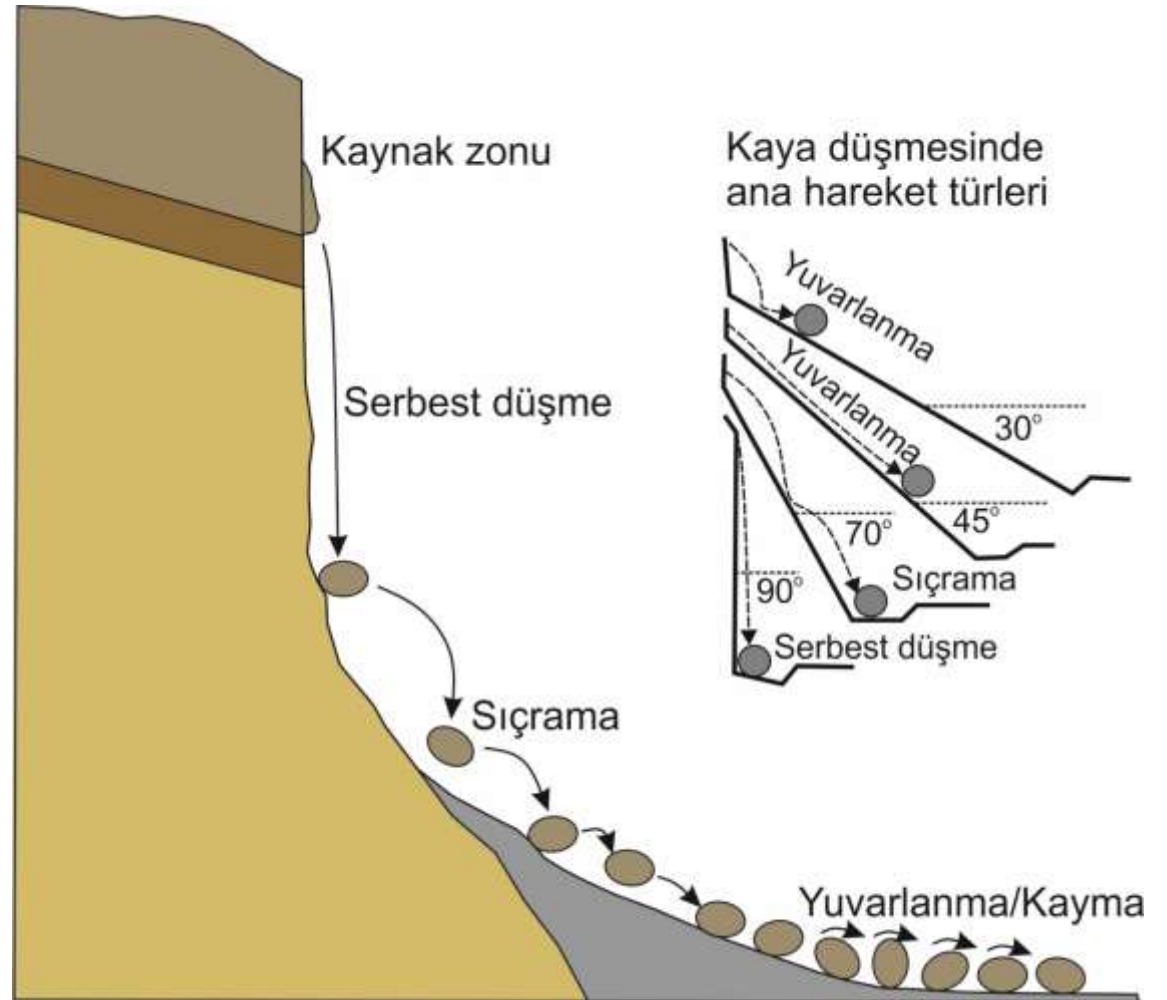
KAYA DÜŞME ZONLARI

Kaya düşmesi kaynak zonu
Topoğrafya eğim açısı > 80°



KAYA DÜŞMESİ ANA HAREKET TÜRLERİ

- Kaya düşmesinde şevin/yamacın eğim açısına bağlı olarak düşen kaya bloklarında **ÜÇ ANA HAREKET TÜRÜ** gözlenebilir.



(Fanos ve Pradhan, 2018'den değiştirilerek)

KAYA DÜŞMESİNİ KONTROL EDEN FAKTÖRLER

- Kaya düşmesi, belirsizliklerin en fazla olduğu ve değerlendirilmesinde hata payı oldukça yüksek olan bir duraysızlık türüdür.
- Kaya düşmesi, şev/yamaç yüzeyinde meydana gelen bir duraysızlık türüdür ve şev yüzeyleri oldukça heterojen ortamlardır.
- Kaya düşmelerini kontrol eden çok sayıda faktör vardır.

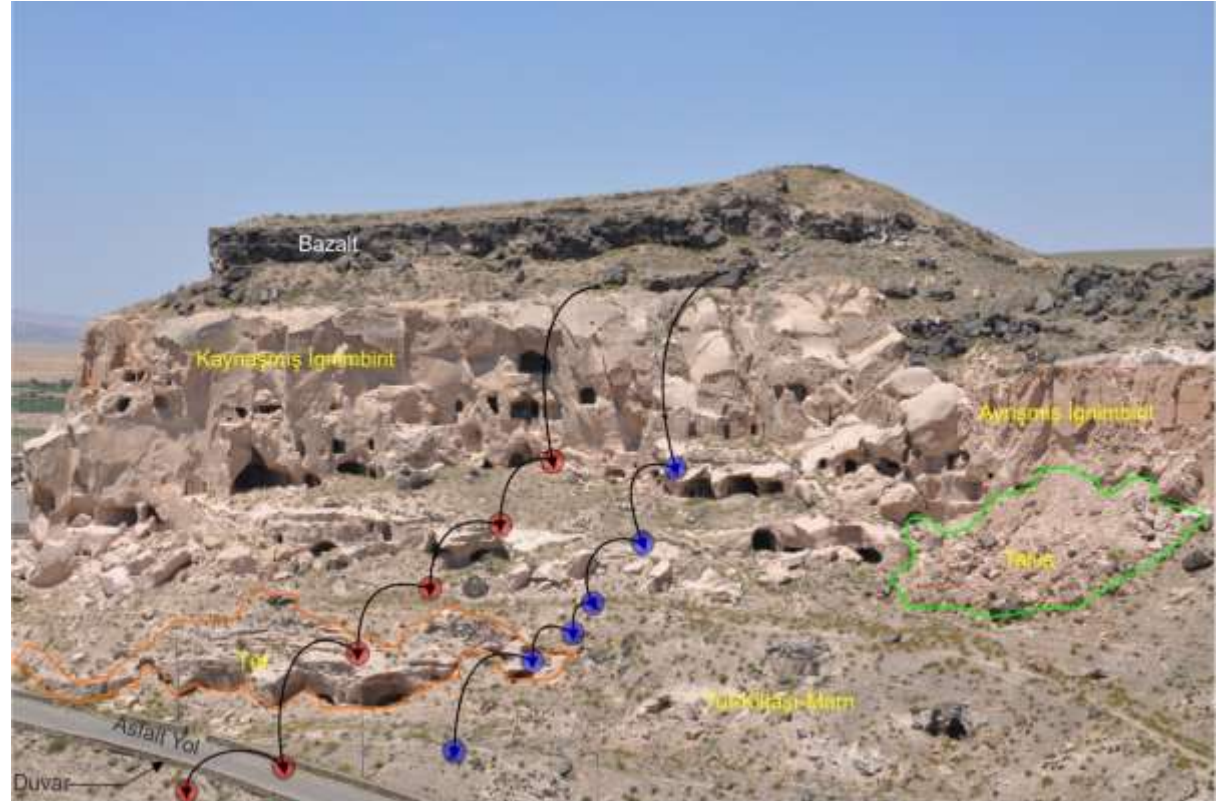
- Yamaç/şev yüksekliği
- Yamaç/şev açısı
- Yamaç/şev pürüzlülüğü
- Bitki durumu
- Jeolojik yapı
- Jeomorfolojik yapı
- Blok boyutu
- Blok şekli (Köşeli, yuvarlak)
- Kaya malzemesi dayanımı ve elastik özellikleri



KAYA DÜŞMESİNİ KONTROL EDEN FAKTÖRLER

- **Yamaç jeolojisi**

- Büyük blok oluşturacak kadar sert litolojilerin bulunduğu şevler, tehlikeli kaya düşme olayları için ciddi bir kaynak oluştururken, daha yumuşak şeyl veya kiltası gibi litolojilerden oluşan şevler çoğunlukla kaya düşmesi açısından bir tehdit oluşturmazlar.



KAYA DÜŞMESİNİ KONTROL EDEN FAKTÖRLER

- Bitki örtüsünün kaya düşmeleri üzerindeki etkisi...



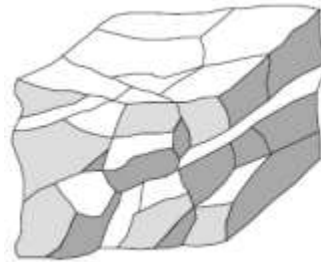
KAYA DÜŞMESİNİ KONTROL EDEN FAKTÖRLER

- Önceden düşen blokların yüzey pürüzlülüğüne etkisi...

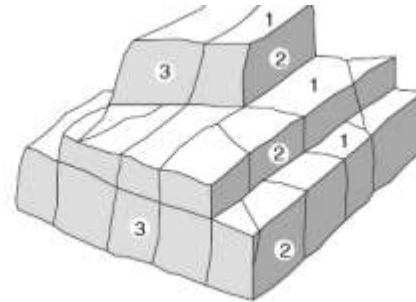


DÜŞEBİLECEK BLOKLARIN BOYUTU VE KONUMLARI

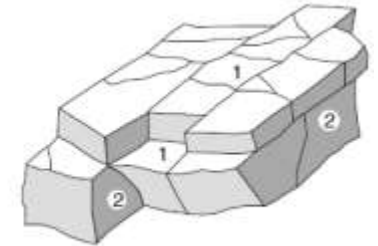
- Blok boyutlarının ve şeklinin arazi çalışmalarında mutlaka değerlendirilmesi gerekmekte olup, bu aşamada, **ortalama blok boyutu, maksimum blok boyutu, tipik blok şekilleri ve potansiyel düşebilecek blokların koordinatları (x,y,z)** gibi veriler yamaç/şev boyunca toplanmalı ve bu veriler haritalanmalıdır.
- Kaya düşme analizlerinde kullanılan yazılımların birçoğunda blok şekli ve boyutu ile ilgili parametreler modellere dâhil edilebilmektedir. Ağırlıklı olarak **küresel, kübik, elipsoidal** vb. seçenekler bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı yazılımlarda (RAMMS v1.6) çok karmaşık blok şekilleri kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir.



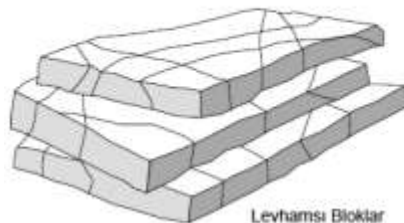
Çokgen Bloklar



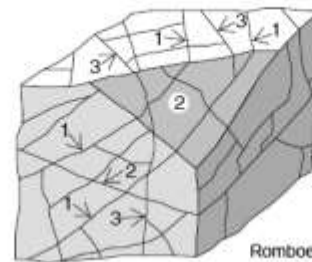
Eşboyutlu Bloklar



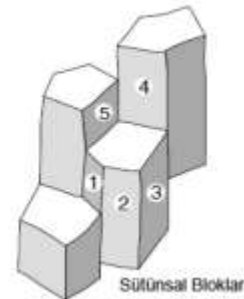
Prizmatik Bloklar



Levhamsı Bloklar



Romboedrik Bloklar



Sütünsel Bloklar

ARAZİ DENEYLERİ

- Bloğun hareket rotası boyunca olumsuz etki yaratmayacak güvenli bir test alanı hazırlanabilirse, arazi deney çalışmaları oldukça yararlı veriler sağlayabilir.
- Ancak çoğu zaman mümkün olmamaktadır.
- **Arazi testlerinden faydalanılmayan veya düşmüş blok verileriyle kalibre edilmeyen kaya düşme modellerinin koruma ve önlem projelerine katkısı çok fazla olamamaktadır.**



ARAZİ DENEYLERİ

- Öte yandan arazi deneyleri, yazılımlar üzerinde gerçekleştirilen kaya düşme modellemelerinde **geri verme** katsayılarının (R_n ve R_t) tahmininde önemli veri sağlamaktadır.



KAYNAK ZONU MALZEME ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Kaynak zonundaki kaya malzemesi fiziksel ve indeks özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmelidir.
- İncelemeye konu olan yamaç veya şevde farklı seviyelerde birden fazla ve birbirinden farklı litolojik özelliklerde kaynak zonları bulunması halinde, bu seviyelerden düşebilecek blokların özellikleri ayrı ayrı ortaya konmalıdır.
- Kaya düşmesinin önlenmesine yönelik projelerde çoğu zaman sondajlı çalışmalara ihtiyaç duyulmadığı için, kaynak zonuna ait kaya özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar, arazide daha önceden düşmüş bloklardan laboratuvar ortamında elde edilecek silindirik karotlar veya düzgün şekilli küp örnekler üzerinde gerçekleştirilebilir.

KAYNAK ZONU MALZEME ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- **Birim hacim ağırlığı** en önemli girdi parametresidir.
- Aşırı yağış alan bölgelerde **doğgun** birim hacim ağırlıklarının dikkate alınmasında yarar vardır.
- Kaynak zondaki malzemenin **dayanım (tek eksenli ve çekme dayanımı)** özelliklerinin bilinmesi faydalı olabilmektedir.
- Blokların kaya kütlesine sabitlenmesi veya kaya yüzeyinin basit veya güçlendirilmiş tel kafes sistemleri ile kaplanması sırasında kullanılacak kaya saplamlarının tasarımında kaya malzemesi **çekme dayanımı** değerlerine de ihtiyaç duyulmaktadır.
- Yuvarlanma zonu içerisinde kaya tutma bariyerleri gibi pasif kaya düşmesi koruma yapılarının yerleştirilmesine karar verilmesi durumunda, bu koruma yapısının tasarımında sabitleneceği topoğrafik yüzeyin özellikleri gereklidir.

KAYA DÜŞMESİ RİSK SINIFLAMASI

Saroglou vd. (2012) yöntemine göre yerleşim yerleri için kaya düşmesi risk sınıflaması

Parametre kategorisi	Parametre	Kategori/Parametre açıklık faktörleri	Tutum					Puan	Skor
A	1. Şev açısı (°)	%A/7	25-40	40-50 (orta)	50-60 (yüksek)	>60 (çok yüksek, aşırı eğim)		100	7
		Puanı	10	10	10	100			
	2. Şev yüksekliği (m)	%A/4	<15	15-30	30-60	>60		80	2.4
		Puanı	10	10	60	100			
	3. Kaynak zona yüksekliği (H) nispeten şev yüksekliği	%A/7	Şevin alt kısmından kaya düşmeleri (H/4)	Şevin orta kısmından kaya düşmeleri (H/2)	Şevin orta-üst kısmından kaya düşmeleri (3H/2)	Tüm şev yüzeyi boyunca kaya düşmeleri (H)		80	4.2
Puanı	10	10	60	100					
4. Şev pürüzlülüğü	%A/3	Pürüzlü düzensiz (sürtünme kaybı yaratıyor)	Düzensiz (kaymayı artırıyor)	Pürüzlü, derin hendekler (kaymayı artırıyor)	Çok pürüzlü, derin hendekler		60	1.8	
	Puanı	10	10	60	100				
5. Şev yüzeyi baki durumu	%A/4	Yoğun baki örtü, yüksek ağaçlar	Alçak baki örtü, çalılar	Seyrek baki örtü	Baki örtü yok		60	2.4	
	Puanı	10	10	60	100				
B	6. Süreksizlik pürüzlülüğü/dolgu malzemesi	%B/6	Pürüzlü, boşluklu	Diriz, boşluklu	Dolgu veya kopye parçalar yerden dolgu malzemesi pürüzlülüğüyle bağlanmış veya orta derincede açıklık 2.5-10 mm	Düşük derincede pürüzlü veya kıl dolgu (< 5 mm), pürüzlülüğün bağlanmış veya yüksek derincede açıklık 10-100 mm	Düzensiz diriz veya yarıya kadar dolgu (> 5 mm), pürüzlülüğün bağlanmış veya yüksek derincede açıklık 10-100 mm	15	0.9
		Puanı	10	10	10	60	100		
	7. Süreksizlik yüzölçümü	%B/5	Şüpheli çam örtüsü	Orta	Kötü	Çok kötü		100	5
		Puanı	10	10	60	100			
	8. Süreksizlik derinliği	%B/4	Çok düşük (< 1m)	Düşük (1-2 m)	Orta (2-5 m)	Yüksek (5-10 m)	Çok yüksek (> 10 m)	100	4
Puanı		10	10	10	60	100			
9. Süreksizlik yüzeyi tek eksenli basınç dayanımı (UCS, MPa)	%B/1	< 30	20-30	5-20	> 5, boşluklu		80	0.6	
	Puanı	10	10	60	100				
10. Sağlam kaya dayanımı (MPa) (Düşük dayanım yuvartıran kaya bloklarının parçalanması, yüksek dayanım uygulamayı kontrol eder)	%B/1	< 10	10-30	30-60	> 60		10	0.1	
	Puanı	10	10	60	100				
11. Kaya kötleme blok büyüklüğü (Blok hacmi (m ³))	%B/4	< 1	1-2.5	2.5-4	4-8	> 8	15	0.6	
	Puanı	10	10	10	60	100			
12. İncelenen şev genişliği boyunca daha önceden düşmüş taşınmış blok eden	%B/2	Yok	1-5	5-10	> 10		100	2	
	Puanı	10	10	60	100				
13. Karstlaşma	%B/2	Yok	Seyrek	Orta	5-8		10	0.2	
	Puanı	10	10	60	100				
C	14. Yağış kopulları ve yoğunluğu	%C/3	Nadir	Seyrek	Mevimsel	5-8	Çok sık, taş yığı bozulmuş	10	0.9
		Puanı	10	10	10	60	100		
	15. Permafrost/Şödehi örtü durumu	%C/3	Çok yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük	10	0.9
Puanı		10	10	10	60	100			
16. Sızdıran teflake (yer, tane, o)	%C/4	a < 0.16	0.16 - a < 0.24	0.24 - a < 0.36	a > 0.36		10	1.2	
	Puanı	10	10	60	100				
17. Kaya teması zamanı, genişliği (m)	%D/10	> 20	10-20	5-10	2-5	Yok	10	1	
	Puanı	10	10	10	60	100			
18. Kaya düşmesi geçmişi	%D/1	Hiç - birkez	Nadir	Biraz	5-8	Devamlı	10	1.1	
	Puanı	10	10	10	60	100			
19. Şevün eğilimsizliği	%D/3	Her türlü eğilimsiz yönüne uygun	Eğilimsiz yönlerinin çoğu uygun	Eğilimsiz yönlerinin birkaçı uygun	Eğilimsiz yönlerinin çok azı uygun	Şevün eğilimsiz yönüne uygun	10	0.5	
	Puanı	10	10	10	60	100			
20. Çarpışma potansiyel sonuçları ve yapıların durumu	%D/20	İnanç edilebilir, insan yapısı ve daha alt düzeyde mevcut değil	Düşük, insan alt düzeyde az bir bölgede	İnsan alt düzeyde, düşük sıklıkta evler	Yüksek, insan alt düzeyde, birçok ev	Çok yüksek, devamlı insan alt düzeyde, birçok yapı	10	12	
	Puanı	10	10	10	60	100			
TOPLAM SKOR (EN FAZLA 100)								48.4	
KAYA DÜŞMESİ RİSK SINIFI									Orta

KAYA DÜŞME ANALİZLERİ



KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- Kaya düşmesi tehlikesinin ortaya konabilmesi için öncelikle kaya düşmesi analizleri gerçekleştirilerek aşağıdaki parametrelerin belirlenmesi gerekir:

a) Düşen kaya bloklarının **ulaşabileceği en uzak mesafe** (maksimum yuvarlanma mesafesi)

b) Düşen kaya bloklarının **maksimum sıçrama (zıplama) yüksekliği**

c) Düşen kaya bloklarının **hızı ve kinetik enerjisi**

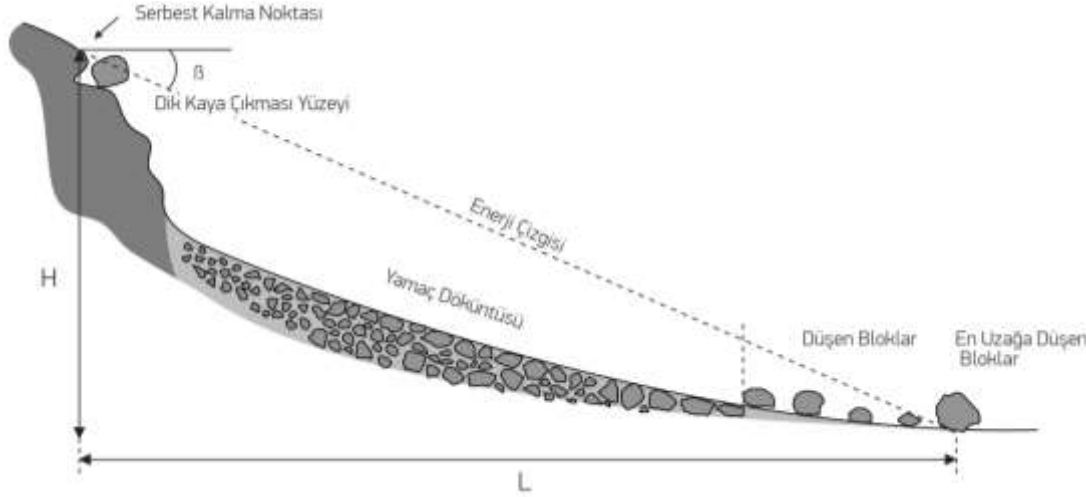
- Kaya düşme problemi olan sahanın ve kaynak noktasının belirlenmesinin ardından gerçekleştirilen bu analizler sonucunda maksimum yuvarlanma mesafeleri göz önüne alınarak **kaya düşme tehlike haritaları** hazırlanır.

KAYA DÜŞMESİ DEĞERLENDİRMESİNDE GÖRGÜL YÖNTEMLER

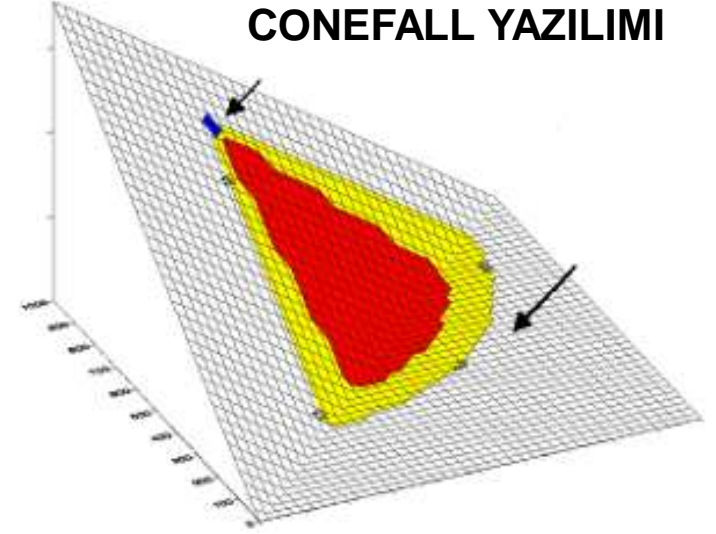
- **Kaya düşmesi simülasyonları** yazılımlar yardımıyla kaya bloğunun harekete başladığı lokasyondan itibaren ilk hareketi sağlayan düşüş hızı, kaya bloğunun ağırlığı, kaya bloğunun şekli, yüzeyin jeolojisi, iki boyutta yamaç profili veya üç boyuttaki yüksek çözünürlükte sayısal arazi modeli (DEM, DSM), teğetsel ve normal geri verme katsayıları gibi çok sayıdaki girdi parametreleri kullanılarak yapılabilir.
- Bu analizlerle kaya bloğunun hareketi sırasındaki **hızı, sıçrama yüksekliği, kinetik enerjisi, bloğun hareketinin izi, maksimum yuvarlanma mesafesi vb.** gibi çıktılar alınabilir.
- Görgül yöntemler daha çok bölgesel ölçekli kaya düşmesi değerlendirmelerinde kullanılabilir.
- Bu amaçla, literatürde “**Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)**” ve “**Gölge Açısı (Shadow Angle)**” kavramları kullanılmaktadır.
- Görgül yöntemler iyileştirme yöntemi tasarımı amaçlı kullanılmamalıdır!

ENERJİ ÇİZGİ AÇISI ve GÖLGE AÇISI YÖNTEMİ

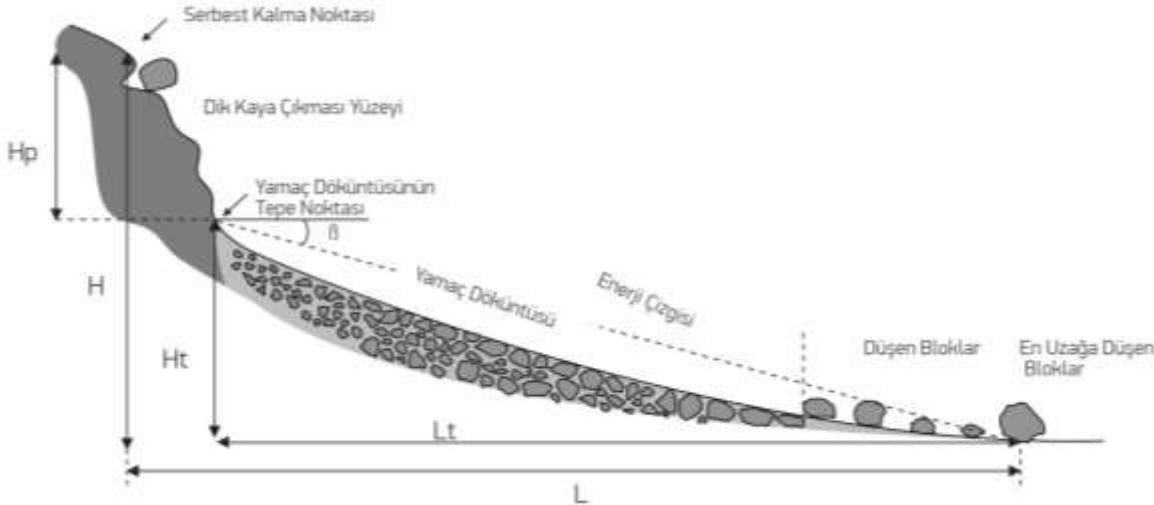
• Enerji Çizgi Açısı kavramı



CONEFALL YAZILIMI



• Gölge Açısı kavramı



ENERJİ ÇİZGİ AÇISI YÖNTEMİ

- Enerji çizgi açısı değerlerine karşılık kaya düşmesi duyarlılık sınıfları (Larcher, 2012)
- https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz_tr.pdf

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

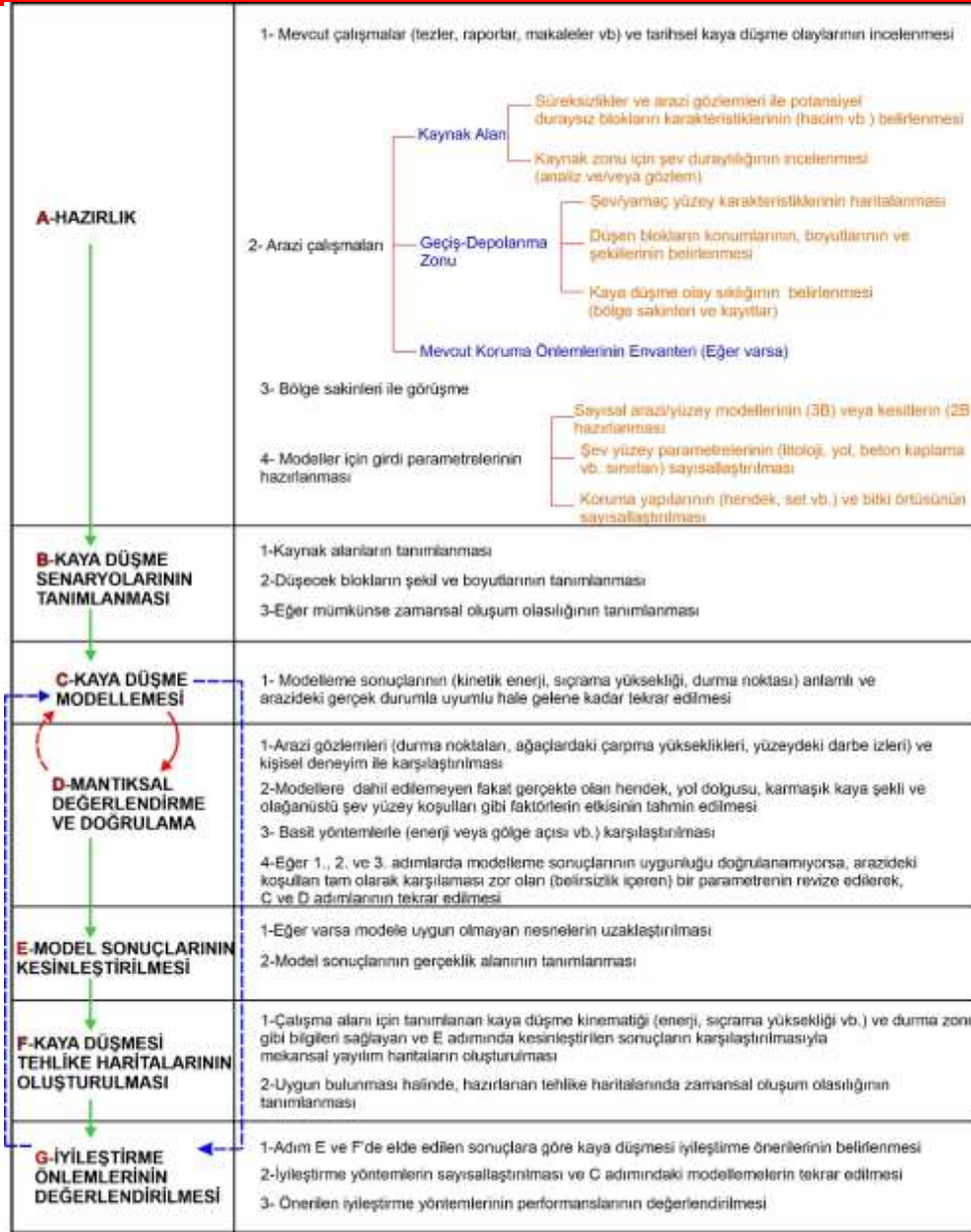
Enerji Çizgi Açısı sınır değeri	Duyarlılık Sınıfı
$38^{\circ} \geq \beta$	Yüksek
$35^{\circ} \leq \beta < 38^{\circ}$	Orta
$32^{\circ} \leq \beta < 35^{\circ}$	Düşük
$28^{\circ} \leq \beta < 32^{\circ}$	Çok düşük, hemen hemen yok

«Enerji çizgi açısının büyük değerleri kaya bloğunun menzil mesafesinin daha kısa olacağına, buna karşın daha küçük değerleri ise bloğun daha uzak menzil mesafelerine ulaşacağını ifade etmektedir.»

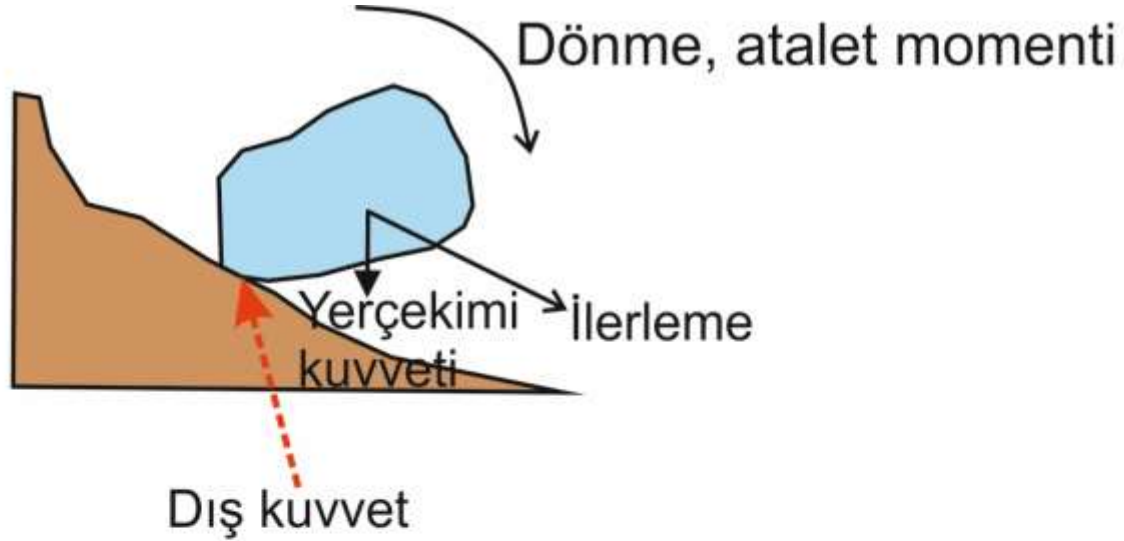


KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE İŞ AKIŞ ŞEMASI

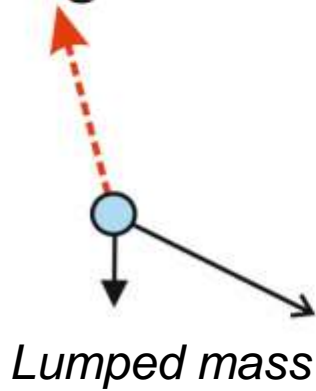
(Dorren vd., 2007'den değiştirilerek)



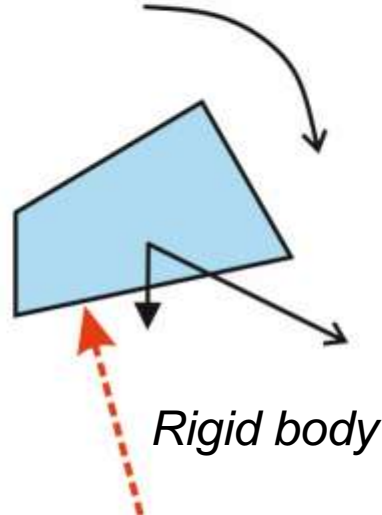
DÜŞEN KAYA BLOĞUNA ETKİ EDEN KUVVETLER ve KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE BLOK MODELLERİ



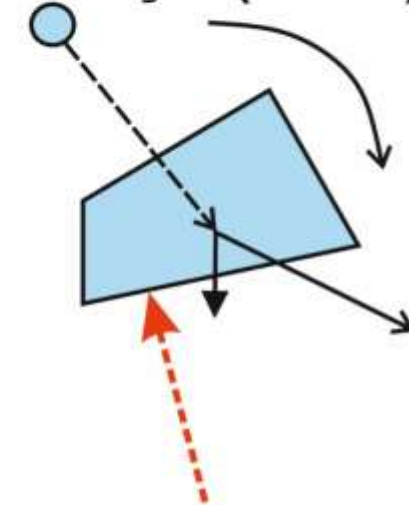
Yoğun kütle



Katı cisim



Karışık (Hibrit)



(Chen vd., 2013'ten değiştirilerek)

KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE GERİ VERME KATSAYILARI

- **NORMAL (R_n) ve TANJANT (R_t) GERİ VERME KATSAYILARI**

- Kaya düşme analizlerinde düşen kaya bloğunun hareketini kontrol eden en önemli parametre geri verme katsayısıdır.
- Normal (R_n) ve tanjant (R_t) geri verme katsayıları kaya bloğunun **düşmesi** sırasında çarpma etkilerine bağlı olarak hız değişimlerini ve dolayısıyla kaya düşme davranışını belirler.
- **Normal geri verme katsayısı (R_n)**, düşen bloğun çarpma etkisi altında normal eksen yönündeki hızını tanımlar ve etki açısı ile ilişkilidir.
- **Tanjant geri verme katsayısı (R_t)**, düşen bloğun çarpma etkisi altında tanjant hızının azalımını kontrol eder ve şev/yamaç ile düşen kütle arasındaki sürtünme kuvvetleri tarafından kontrol edilir.

KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE GERİ VERME KATSAYILARI

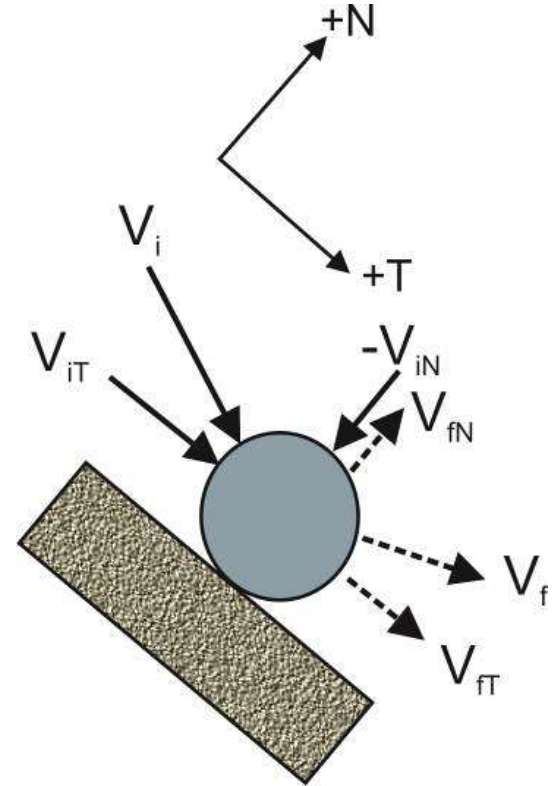
- **Normal** ve Tanjant Geri Verme Katsayıları (R_n ve R_t)

$$e_N = -\frac{v_{fN}}{v_{iN}}$$

Son normal hızı

İlk (etki) normal hızı

Normal geri verme katsayısı



KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE GERİ VERME KATSAYILARI

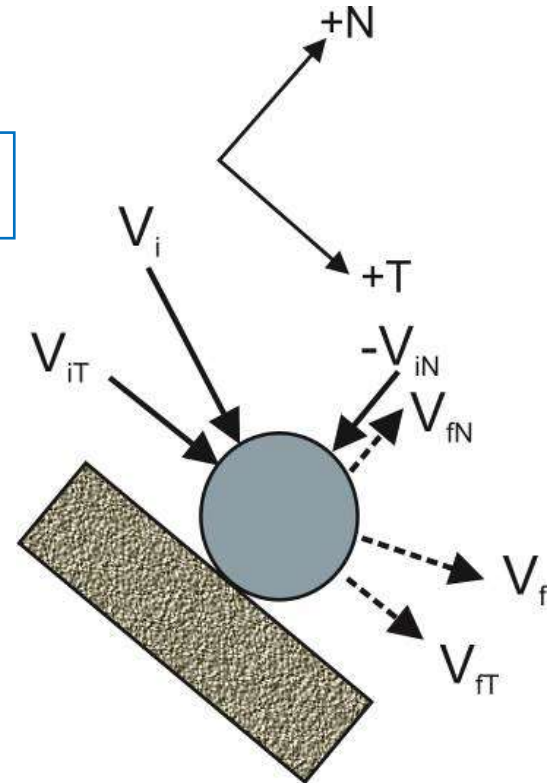
- Normal ve **Tanjant** Geri Verme Katsayıları (R_n ve R_t)

$$e_T = \frac{v_{fT}}{v_{iT}}$$

Son tanjant hızı

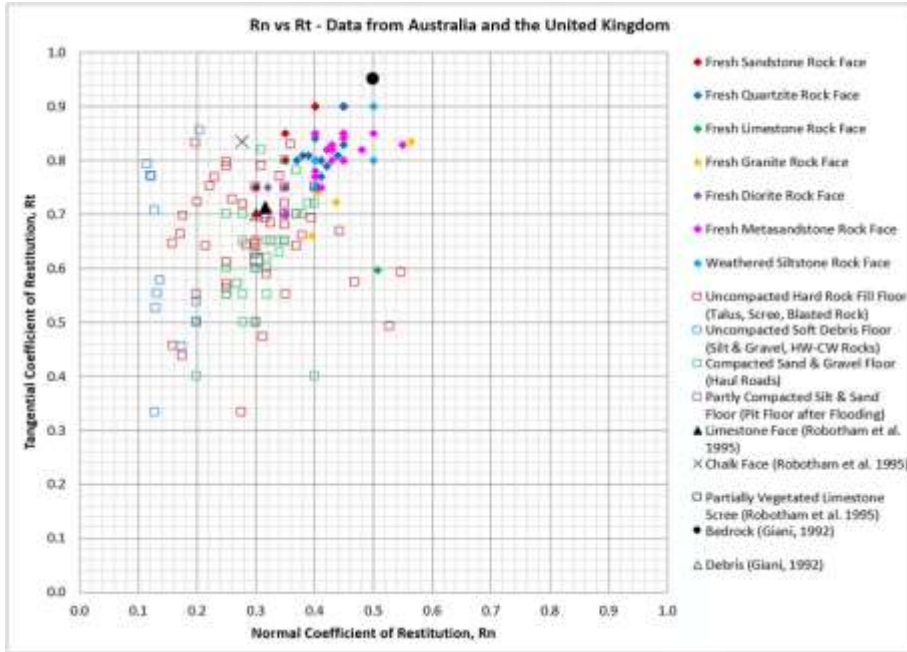
İlk (etki) tanjant hızı

Tanjant geri verme katsayısı



KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE GERİ VERME KATSAYILARI

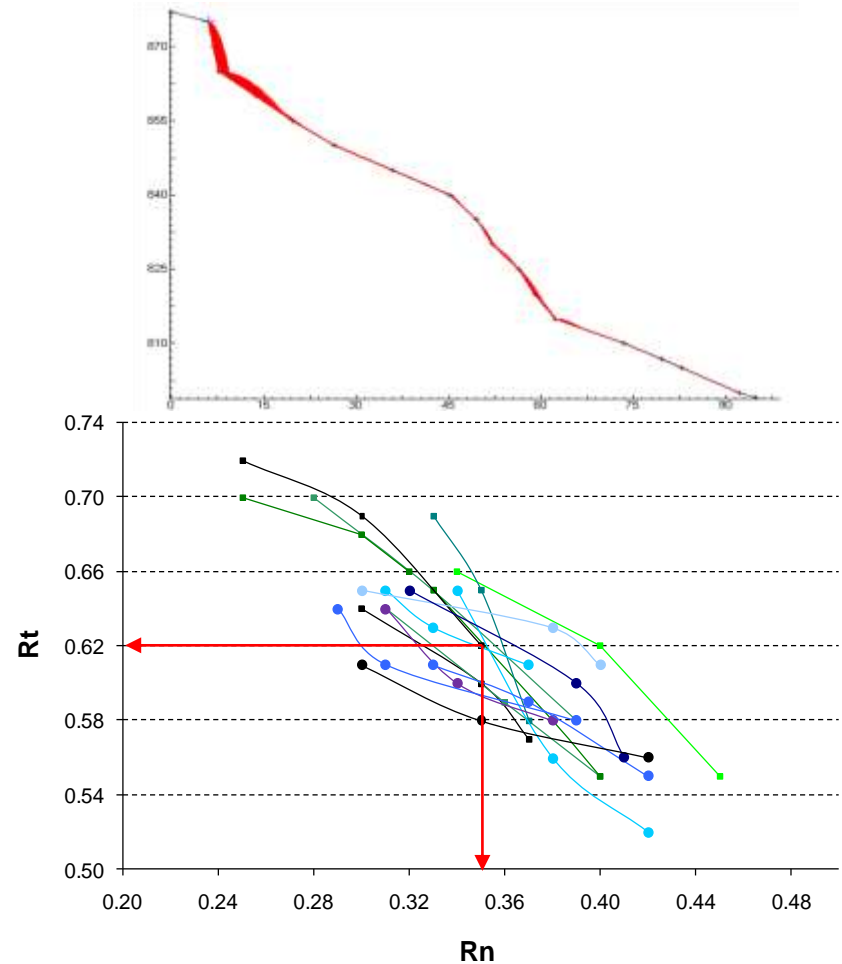
- Normal ve Tanjant Geri Verme Katsayıları (R_n ve R_t) Nasıl Belirlenir?
- Literatürde farklı kaya türleri için sunulan değerler...



Normal geri verme katsayısı (R_n)			Teğetsel geri verme katsayısı (R_t)			Şev yüzeyi özellikleri
En düşük	En yüksek	Ort.	En düşük	En yüksek	Ort.	
0.37	0.42		0.87	0.92		Sert yüzey kaplaması
0.33	0.37		0.83	0.87		Anakaya veya çok az toprak ve bitki örtüsü içeren bloklar
0.30	0.33		0.83	0.87		Yamaç molozu (çok az bitki örtüsü)
0.30	0.33		0.80	0.83		Yamaç molozu (orta seviyede bitki örtüsü)
0.28	0.32		0.80	0.83		Yumusak zemin sevi (az bitki örtüsü)
0.28	0.32		0.78	0.82		Zemin sevi (bitki örtülü)
		0.315			0.712	Kireçtaşı
		0.303			0.615	Kısmi bitki örtülü kireçtaşı molozları
		0.315			0.712	Yüzeyi kaplanmamış kireçtaşı yamaç
		0.251			0.489	Yüzeyi bitki örtüsü kaplı kireçtaşı yamaç
		0.276			0.835	Tebesir
		0.271			0.596	Bitki örtüsü ile kaplı tebesir molozları
		0.20			0.53	Kavallık yüzeyler ve yamaç molozları üzerindeki dolomitik kireçtaşı
		0.10			0.20	Yamaç eteklerinde birleşmiş teraslardan oluşan proklastik malzemeler
		0.00			0.24	Kaya kütleleri etegindeki velpaze kırıntılıları
		0.393			0.567	Zemin
		0.453			0.737	Püskürtme beton
		0.487			0.91	Kaya sevi
		0.50			0.95	Anakaya
		0.35			0.85	İri bloklarla kaplanmış anakaya
		0.30			0.70	Esit taçe boyuna sahın döklentü malzeme
		0.25			0.55	Bitki örtüsü ile kaplı zemin
		0.53			0.99	Sert ve temiz kaya yüzeyi
		0.40			0.90	Asfalt yol
		0.35			0.85	Sert yüzeyli anakaya yüzlekleri, iri bloklar
		0.32			0.82	Yamaç molozu
		0.32			0.80	Bitki örtüsü kaplı yamaç molozu
		0.30			0.80	Yumusak zemin, sevrek bitki örtüsü
0.37	0.42					Düz sert yüzeyler ve kaplama
0.33	0.37					Anakaya ve iri bloklar
0.30	0.33					Yamaç molozu ve siki zemin seyleri
0.28	0.30					Yumusak zemin seyleri
			0.87	0.92		Sert anakaya yüzeyi veya kaldırım yüzeyleri gibi düz sert yüzeyler
			0.83	0.87		Anakaya yüzeyleri ve bitki örtüsü olmayan yamaç molozu
			0.82	0.85		Sevrek ve bodur bitki örtüsü kaplı yamaç molozu seyleri
			0.80	0.83		Bitki örtüsü kaplı yamaç molozu seyleri ve sevrek bitki örtülü zemin
			0.78	0.82		Çalılık kaplı zemin sevi
		0.53			0.99	Sert ve temiz anakaya
		0.35			0.85	Anakaya yüzleği
		0.32			0.82	Yamaç molozu örtüsü
		0.32			0.80	Bitki örtüsü kaplı yamaç molozu
		0.40			0.90	Asfalt kaplama
		0.53			0.99	Sert ve temiz anakaya
		0.35			0.85	Anakaya yüzleği
		0.48			0.53	Beton
		0.47			0.55	Avrısmaş kaya
		0.48			0.53	Beton
		0.47			0.55	Avrısmaş kaya
		0.85			0.53	Beton
		1.00			0.55	Avrısmaş kaya
		0.53			0.99	Anakaya
		0.50			0.70	Bloklarla kaplı yüzeyler
		0.50			0.65	Bloklarla kaplı yüzeyler (çalılık ve küçük ağaçlarla kaplı)
		0.50			0.50	Bloklarla kaplı yüzeyler (ormanlık)
		0.30			0.80	Bitki örtüsü kaplı toprak yüzey
		0.40			0.90	Asfalt kaplama
		0.35			0.85	Çalılık yol
		0.50			0.80	Kireçtaşı ile kaplı ince taneli yamaç molozu sevrek ormanlık sevi
		0.50			0.80	Kireçtaşı ve bazalt malzemesinden oluşan yamaç molozu
		0.70			0.90	Kaya yüzeyi üzerinde metamorfik tüf kökenli dörtgen bloklar

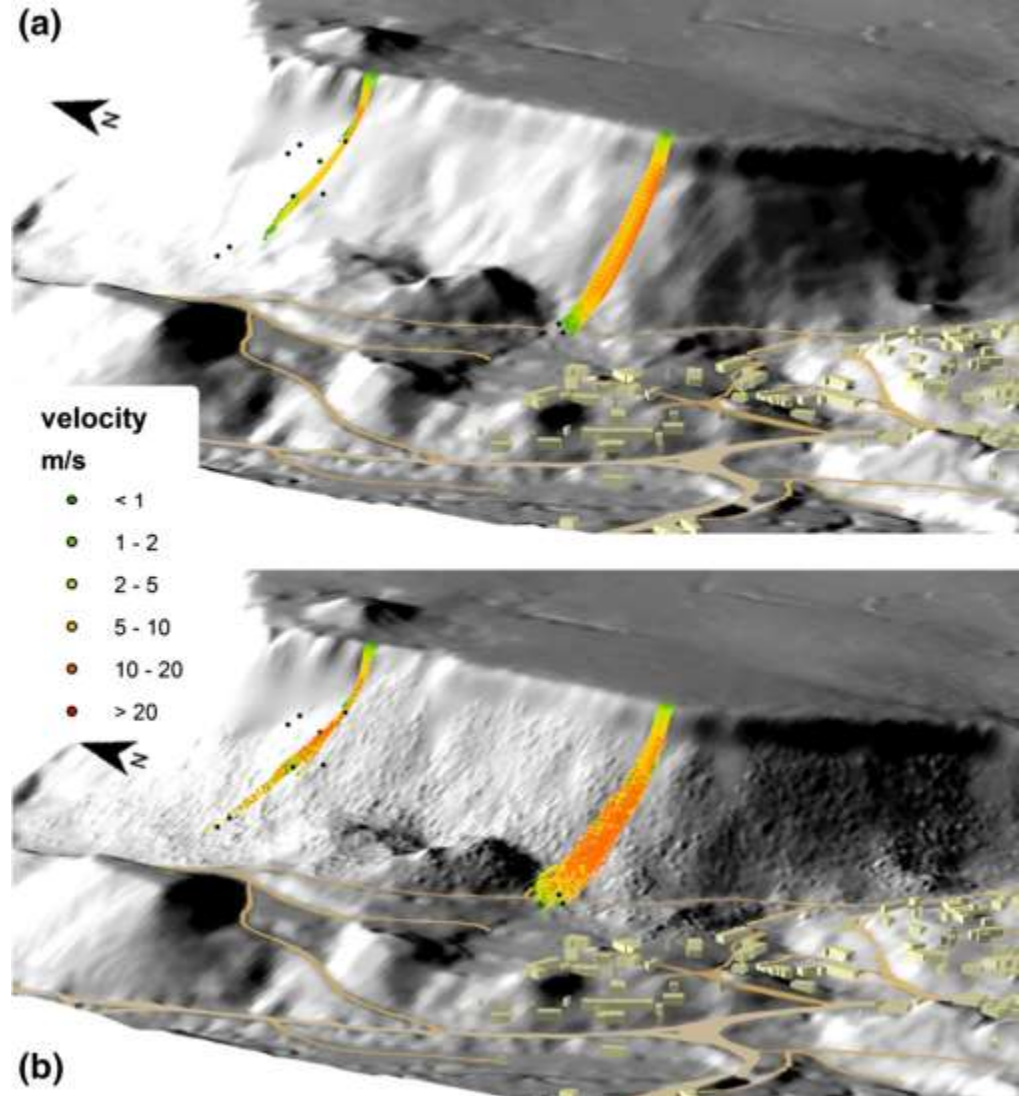
KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE GERİ VERME KATSAYILARI

- **Normal ve Tanjant Geri Verme Katsayıları (R_n ve R_t) Nasıl Belirlenir?**
- Daha önce düşen bloklar dikkate alınarak geriye dönük analizlerle...



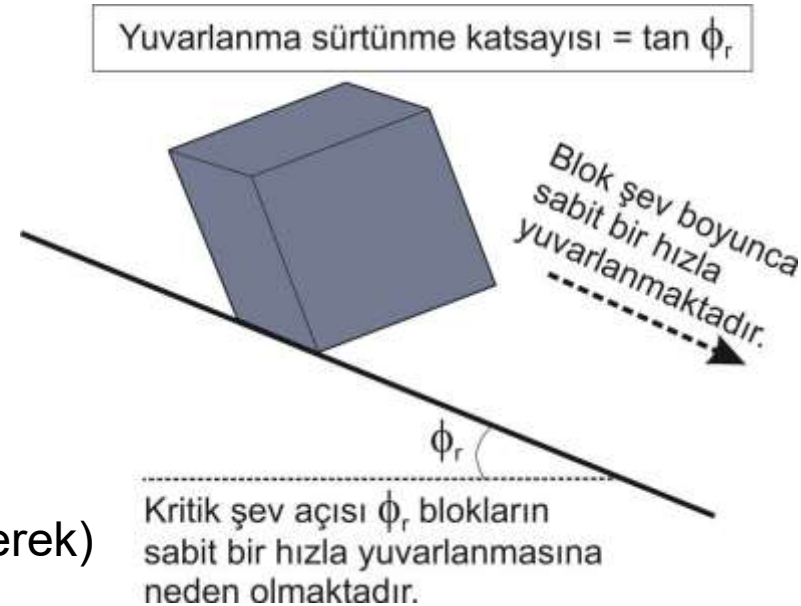
KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE GERİ VERME KATSAYILARI

- **Normal ve Tanjant Geri Verme Katsayıları (R_n ve R_t) Nasıl Belirlenir?**
- Arazide blok düşürerek...



KAYA DÜŞME ANALİZLERİNDE SÜRTÜNME KATSAYISI

- Yuvarlanan bloklarda enerji kayıpları **sürtünme katsayısı** veya **yuvarlanma sürtünme açısı** kavramı ile belirlenmektedir.
- Sürtünme katsayısı, bloğun bir şev üzerinde sabit bir hızla hareketine başlaması için gerekli olan açının tanjantı olarak ifade edilmektedir.
- Bu açıdan daha dik bir şevde düşen blok hızlanmakta, daha yatık şevlerde ise yavaşlayarak durmaktadır.
- Sürtünme katsayısı bloğun şev üzerindeki ufak topoğrafik düzensizliklerde yavaşlamasını veya hızlanmasını kontrol eden bir parametredir.



(Okura vd., 2000'den değiştirilerek)

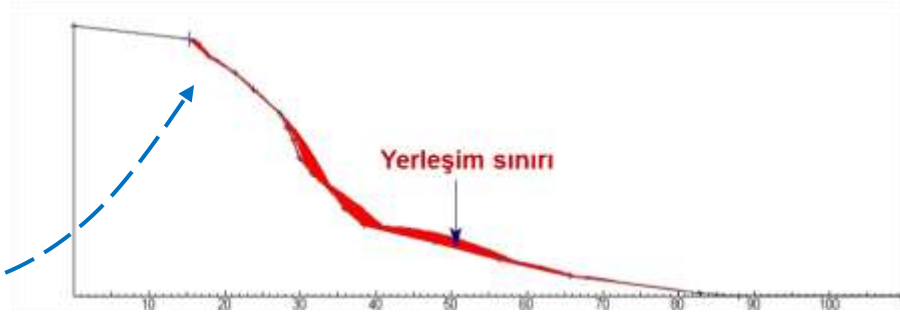
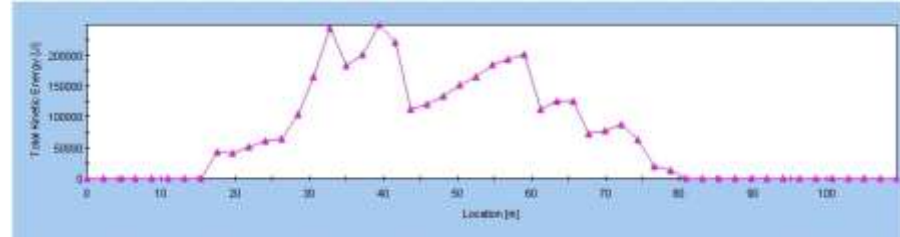
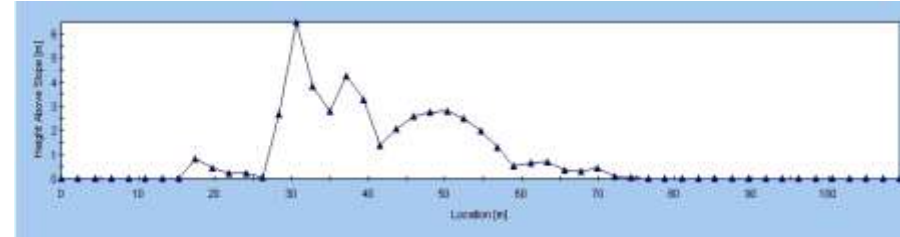
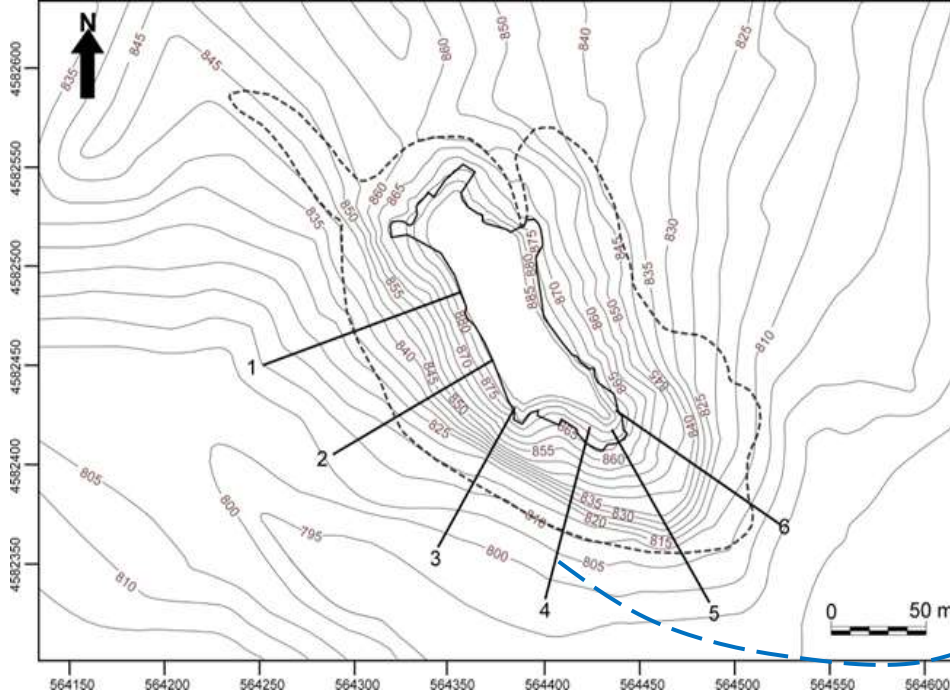
FARKLI JEOLJİK BİRİMLER İÇİN ÖNERİLEN YUVARLANMA SÜRTÜNME KATSAYISI

(Azzoni vd., 1995)

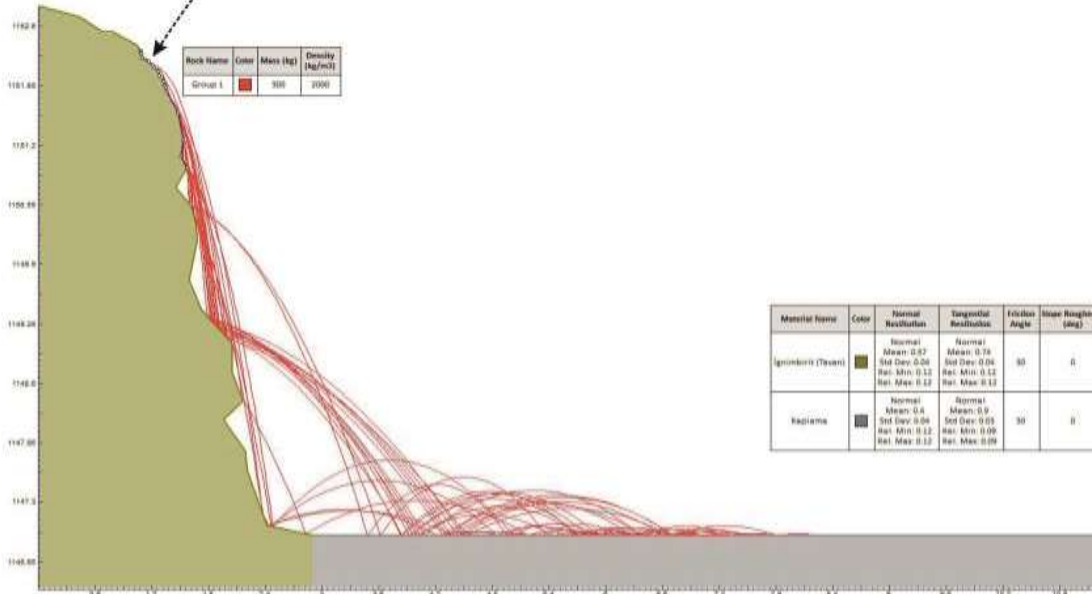
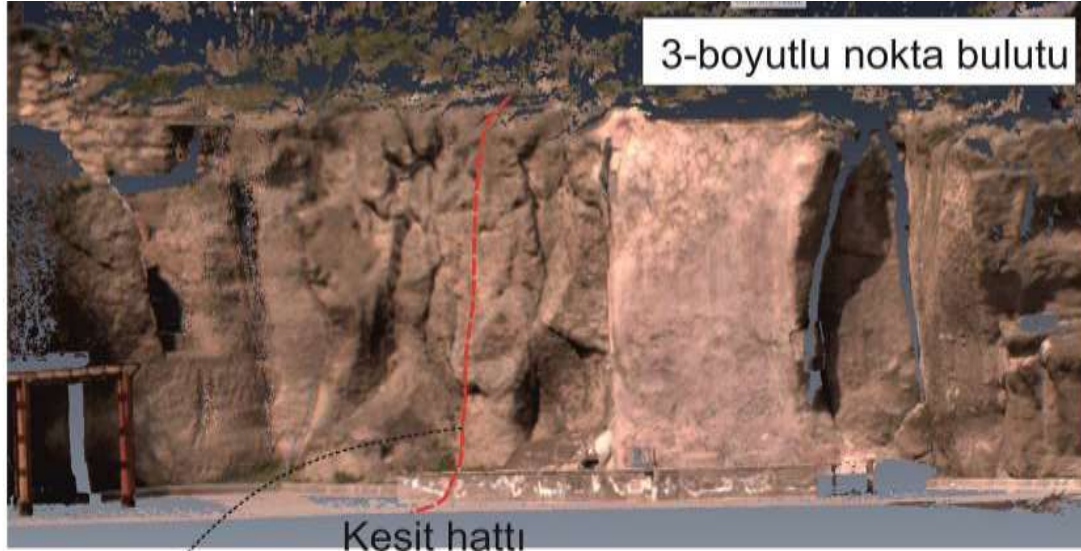
Şev yüzeyi özellikleri	Yuvarlanma sürtünme katsayısı
Kireçtaşı kayası	0.40
Sıkıştırılmış sert malzeme döküntüsü, iri blok içeren köşeli kaya parçaları	0.55
Gevşek ve yumuşak döküntü malzeme, toprak ve iri blok içeren köşeli kaya parçaları	0.75
Düz kaya yüzeyini kaplayan sıkı ve orta boyutlu döküntü malzeme	0.60
Gevşek ve yumuşak döküntü malzeme, toprak ve kaya parçaları	0.60
Çamurlu hendek	0.85
Yapay dolgu	0.60

2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- Topoğrafik haritalardan alınan kesit hatları boyunca yapılan kaya düşme analizleri iki boyutludur.
- **X ve Z düzlemi (Mesafe-Yükseklik)** üzerinde gerçekleştirilirler.

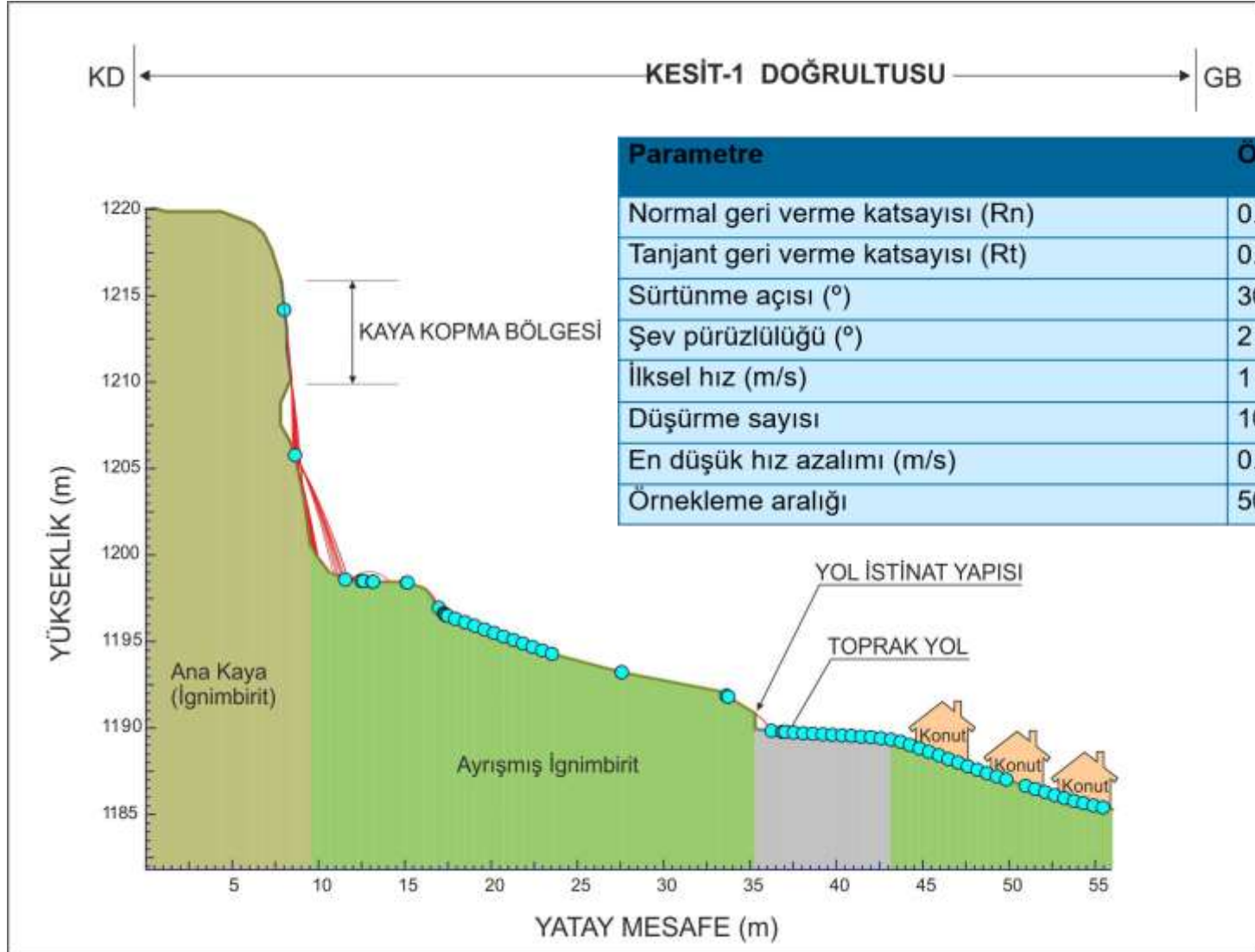


2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ



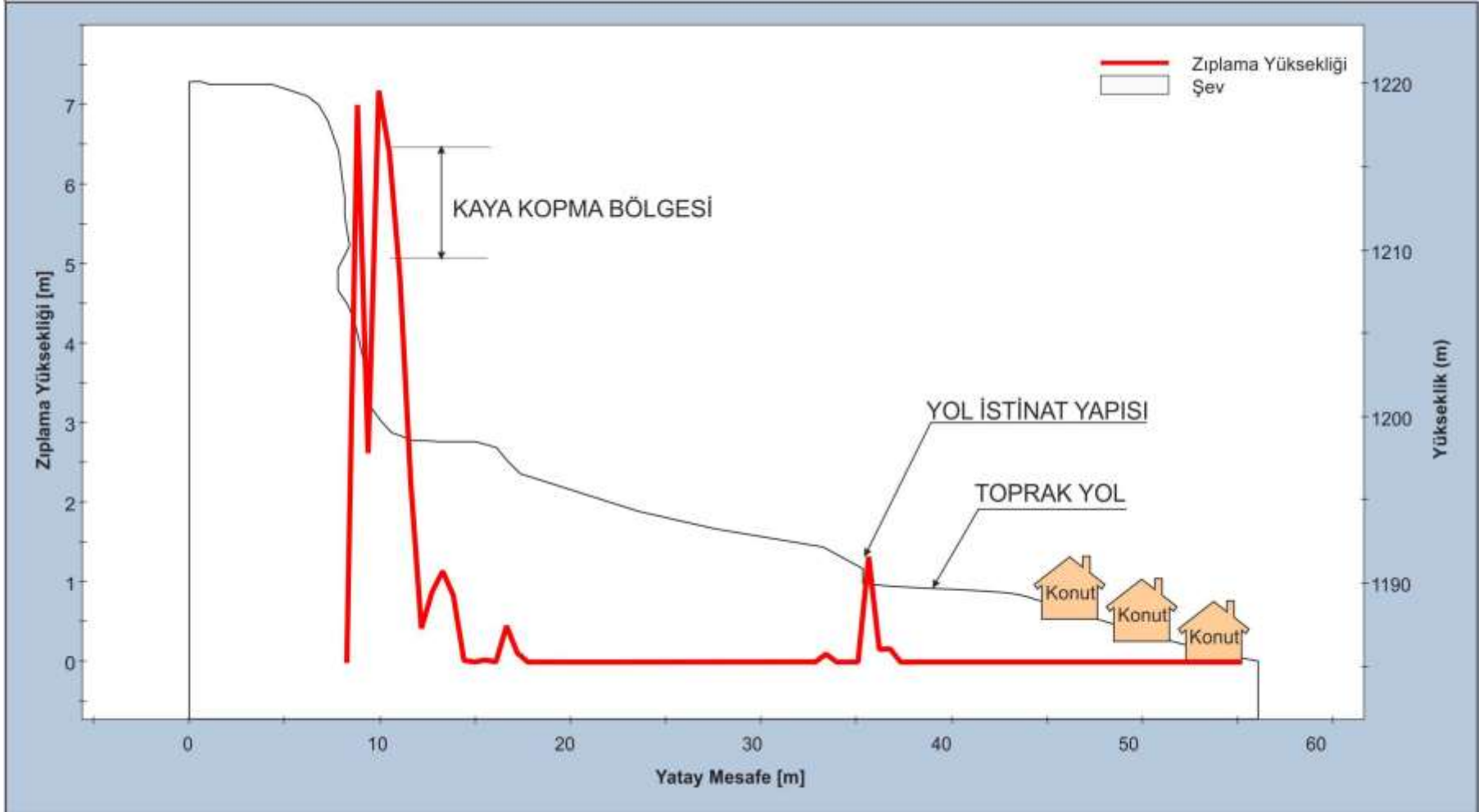
2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- 2-B yazılımda (RocFall 6.0) yuvarlanma mesafelerinin belirlenmesi



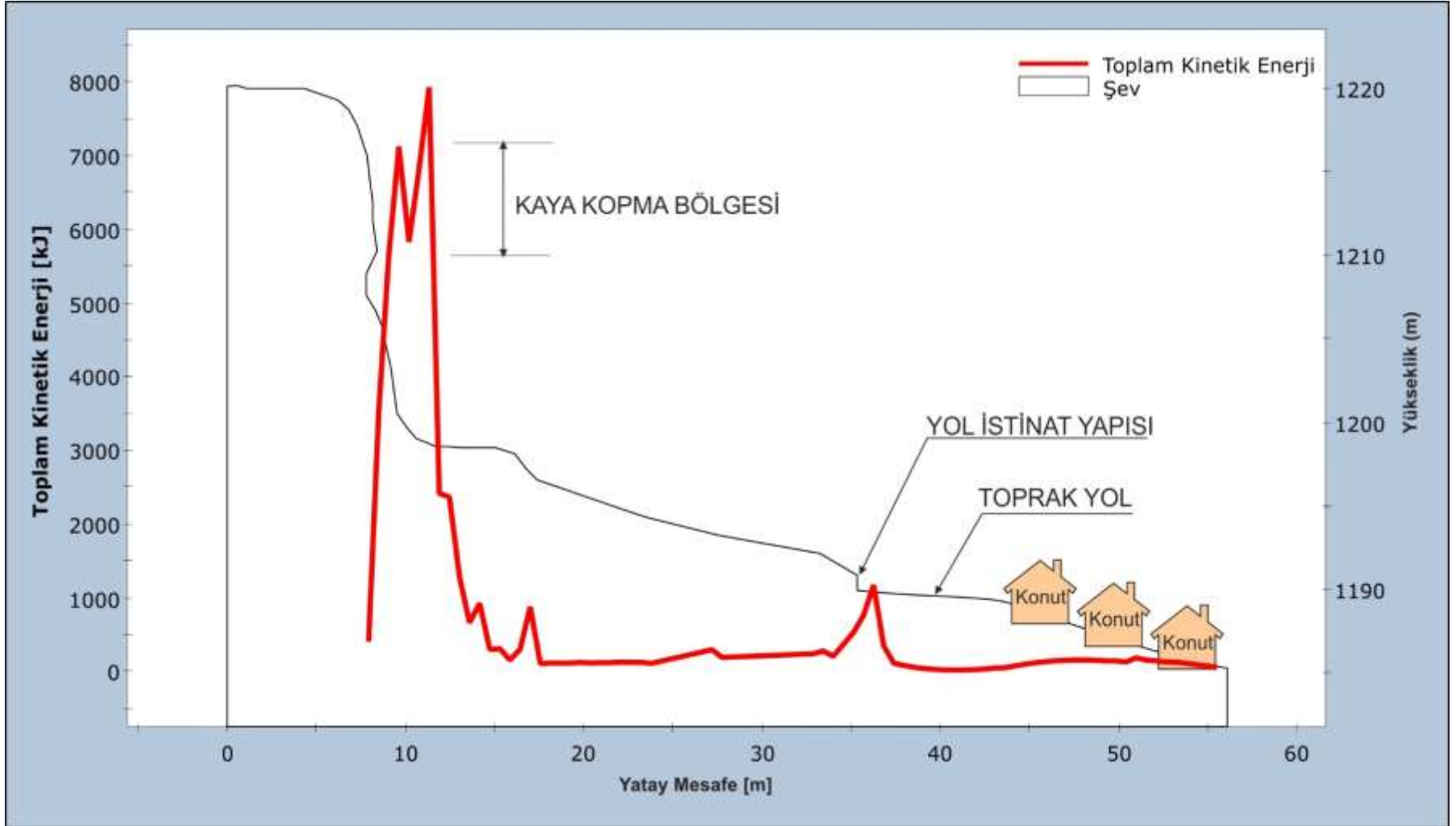
2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- 2-B yazılımda (RocFall 6.0) sıçrama yüksekliğinin belirlenmesi



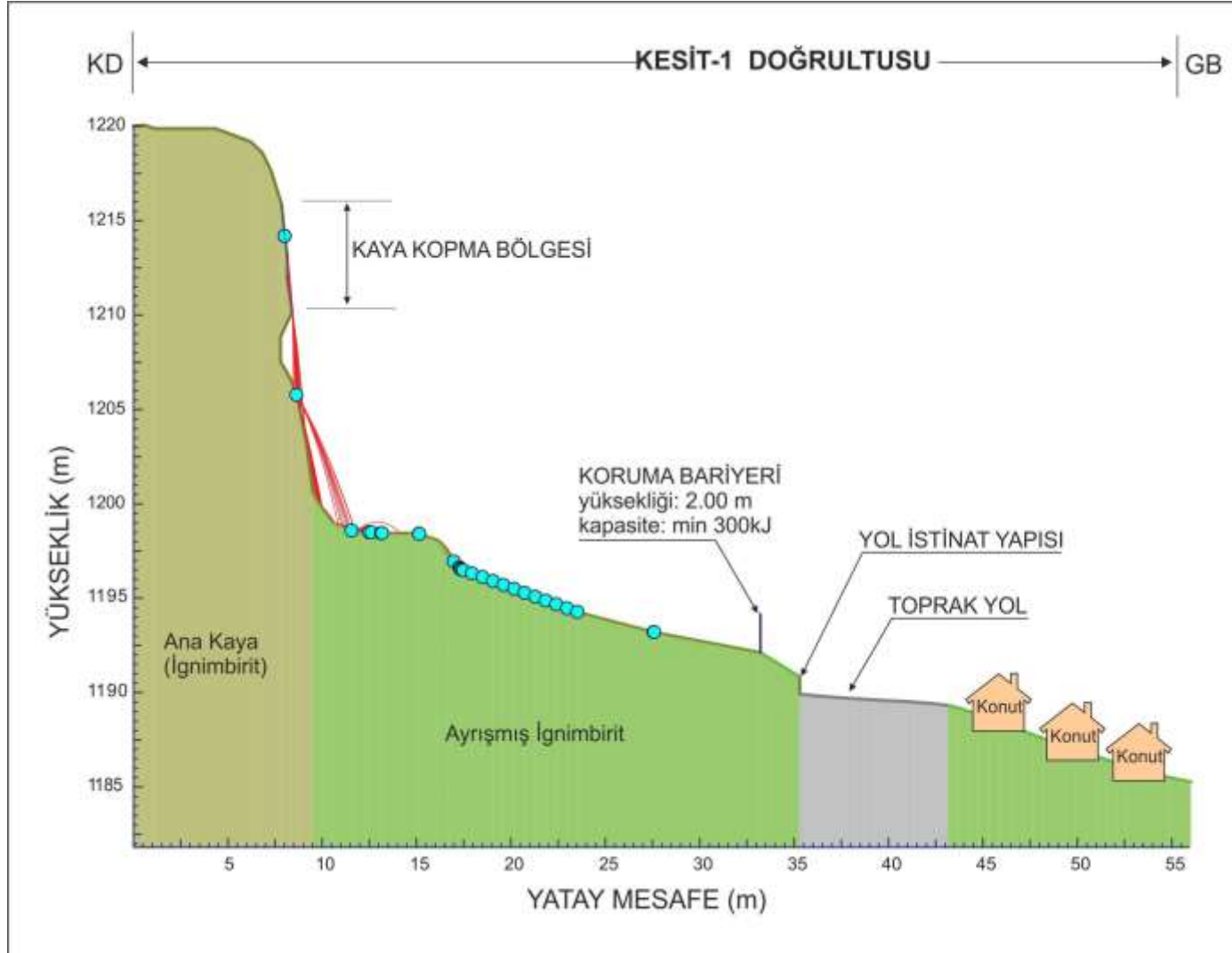
2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- 2-B yazılımda (RocFall 6.0) toplam kinetik enerjinin belirlenmesi



2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- 2-B yazılımda (RocFall 6.0) koruma bariyeri analizi



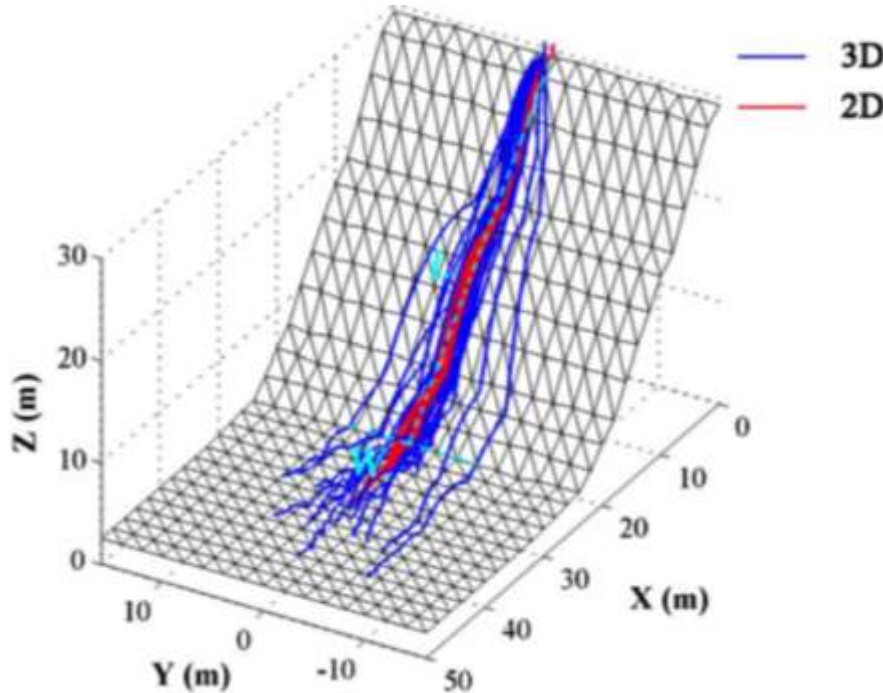
2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- 2-B kaya düşme analizlerinin avantajları...
 - Kolay ve çabuk uygulanabilir olması
 - Yazılımlara daha kolay ulaşılabilmesi
 - Bazı yazılımlarda düşen kaya bloğunun hem nokta (lumped mass), hem de bloğun gerçeğe yakın şekli (rigid body) olarak analize dahil edilebilmesi
 - Gerçek şev/yamaç kesitlerinin kolay oluşturulabilmesi
 - Şev ve düşen kaya bloğunun jeolojik ve malzeme özelliklerinin tanımlanabilmesi
 - Yuvarlanma mesafesi, sıçrama yüksekliği, hız ve kinetik enerjinin belirlenebilmesi
 - Birden fazla kaya bloğunun düşürülebilmesi

2-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

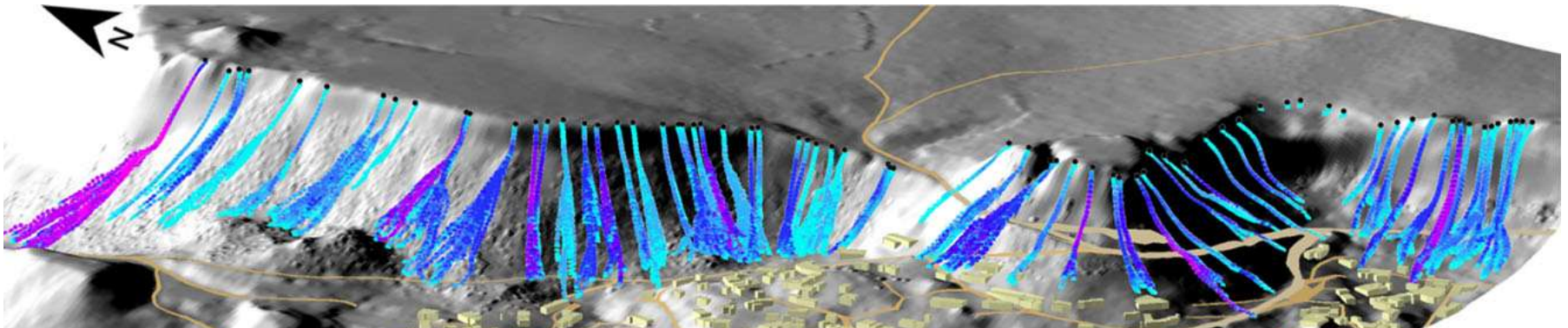
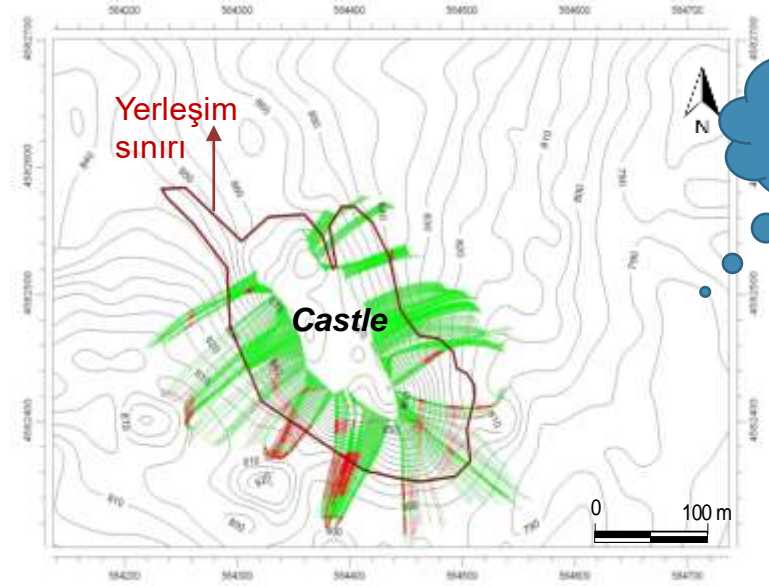
- 2-B kaya düşme analizlerinin dezavantajları...

- Yuvarlanma alanının tespit edilememesi, diğer bir ifadeyle gerçek topoğrafyaya bağlı olarak blok saçılım alanının ortaya konamaması
- Düşen bloğun ve şevin/yamacın 3-boyutlu şeklinin yuvarlanma hattı ve hareket üzerindeki etkisinin belirlenememesi



3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

- 2-boyutlu analizler kesit hatları üzerinde gerçekleştirilirken, 3-boyutlu analizler, **X-Y-Z** düzlemi üzerinde gerçekleştirilmektedir.
- Topoğrafyadaki düzensizliklerin kaya düşme hatlarının yönelimi ve yuvarlanma mesafeleri üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.
- 3-B kaya düşme analizlerinde Rotomap, Hy-STONE, Rockfall Analyst, Rockyfor3D, RAMMS: Rockfall, RocPro3D vb. yazılımlar kullanılmaktadır.



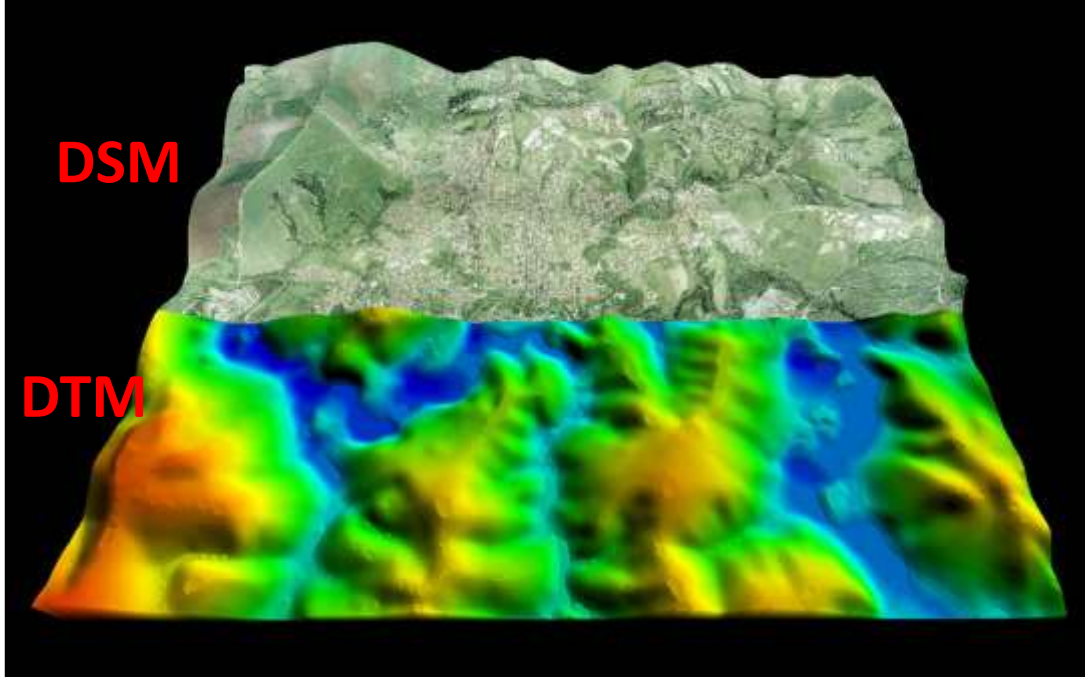
SAYISAL ARAZİ (DTM) VE YÜZEY (DSM) MODELLERİ

- Kaya düşmesi yuvarlanma rotalarının daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için 3-boyutlu analiz yöntemlerine ve dolayısıyla da **3-boyutlu detay modellere** ihtiyaç vardır.
- 3-boyutlu topoğrafyanın oluşturulabilmesi için çoğu zaman farklı ölçeklerdeki (1:25000-1:1000) topoğrafik haritalardan üretilen **sayısal arazi modeli**nden yararlanılmaktadır.
- Topoğrafik haritalardan elde edilen arazi modelleri arazi detayını (örn. bina, ağaç vb.) yani **sayısal yüzey modeli**ni güncel olarak sunamamaktadır.
- **3-B kaya düşme analizlerinin gerçekçi sonuçlar verebilmesi için detay sayısal yüzey modellerine ihtiyaç vardır!**

SAYISAL ARAZİ (DTM) VE YÜZEY (DSM) MODELLERİ



Sayısal **yüze**y modeli (DSM)
Sayısal **arazi** modeli (DTM)



DSM

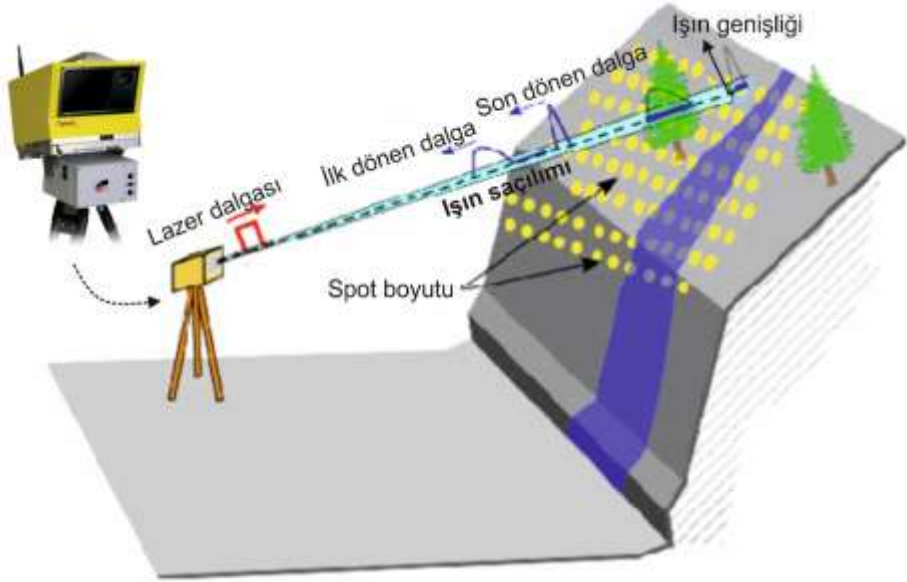
DTM

3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARININ ELDE EDİLMESİ

- 2000'li yılların başlarından itibaren kaya düşme analizlerinde kullanılacak sayısal yüzey modelinin hazırlanmasında, **yersel lazer tarama (TLS) ve/veya insansız hava araçları (İHA)** ile alınan fotogrametrik görüntülerden elde edilen **yüksek çözünürlüklü koordinatlı nokta bulutlarının** kullanılmaya başlandığı görülmektedir.



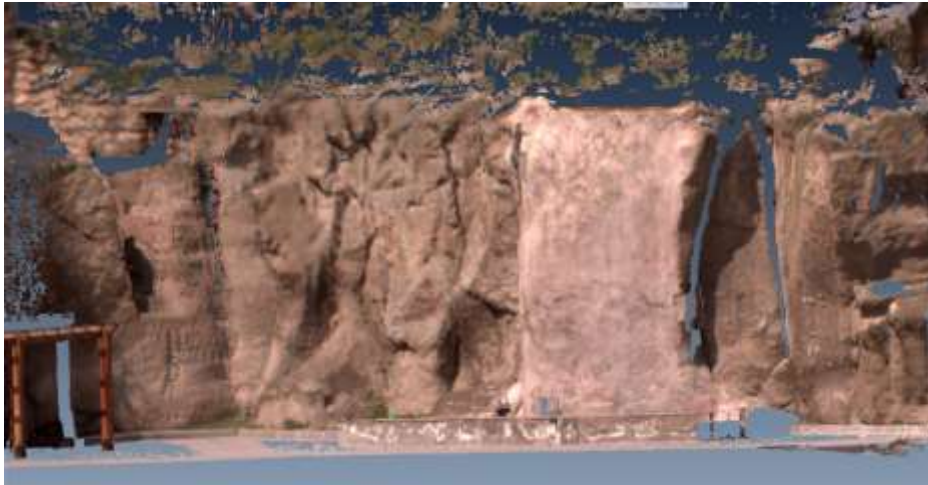
3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARI



Yersel Lazer Tarama (TLS)



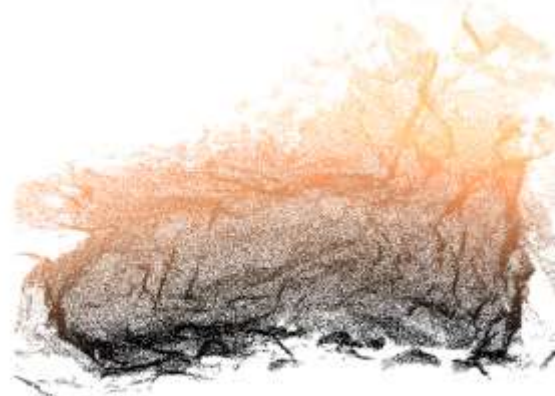
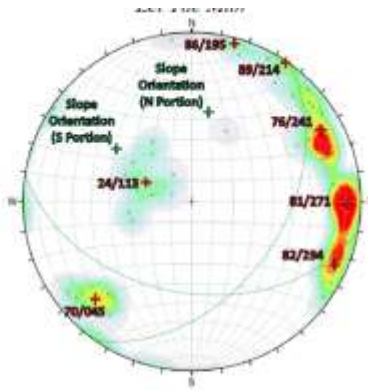
**İnsansız Hava Aracı (İHA)
Fotogrametrik Yöntem**



3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARI

Nokta Bulutlarından Süreksizlik Düzleminin Ortaya Konmasına Yönelik Bilimsel Çalışmalar (Wong vd., 2019)

Traditional Survey

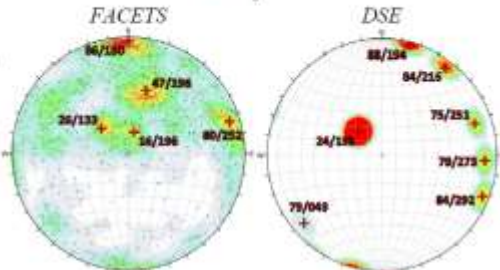


a) Point Cloud from Mobile Laser Scanning

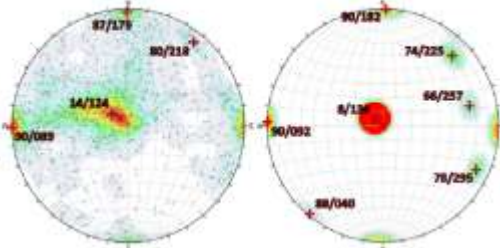


b) Point Cloud from Photogrammetric Analysis (SfM-MVS)

Mobile Laser Scanning

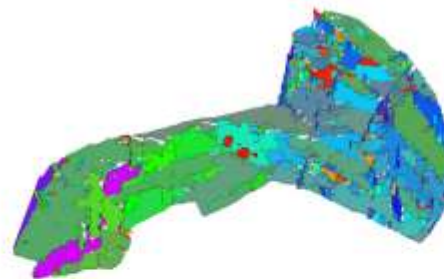


SfM-MVS

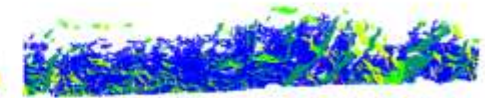
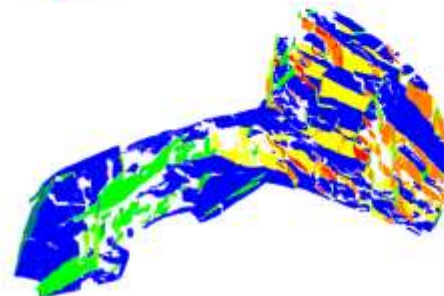


Mobile Laser Scanning

FACETS



DSE



3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARI

İHA ile Fotogrametrik Görüntü Alımı ve 3-B Nokta Bulutu Oluşturulması



- İHA görüntü alımı ve Pix4D görüntü işleme

- Multikopter (Multirotor Eagle G4)
- Nadir çekim, %80 ileri/yan bindirme
- Sony Alpha 7 R II (43 MP)
- **3 cm görüntü çözünürlüğü**



3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARI

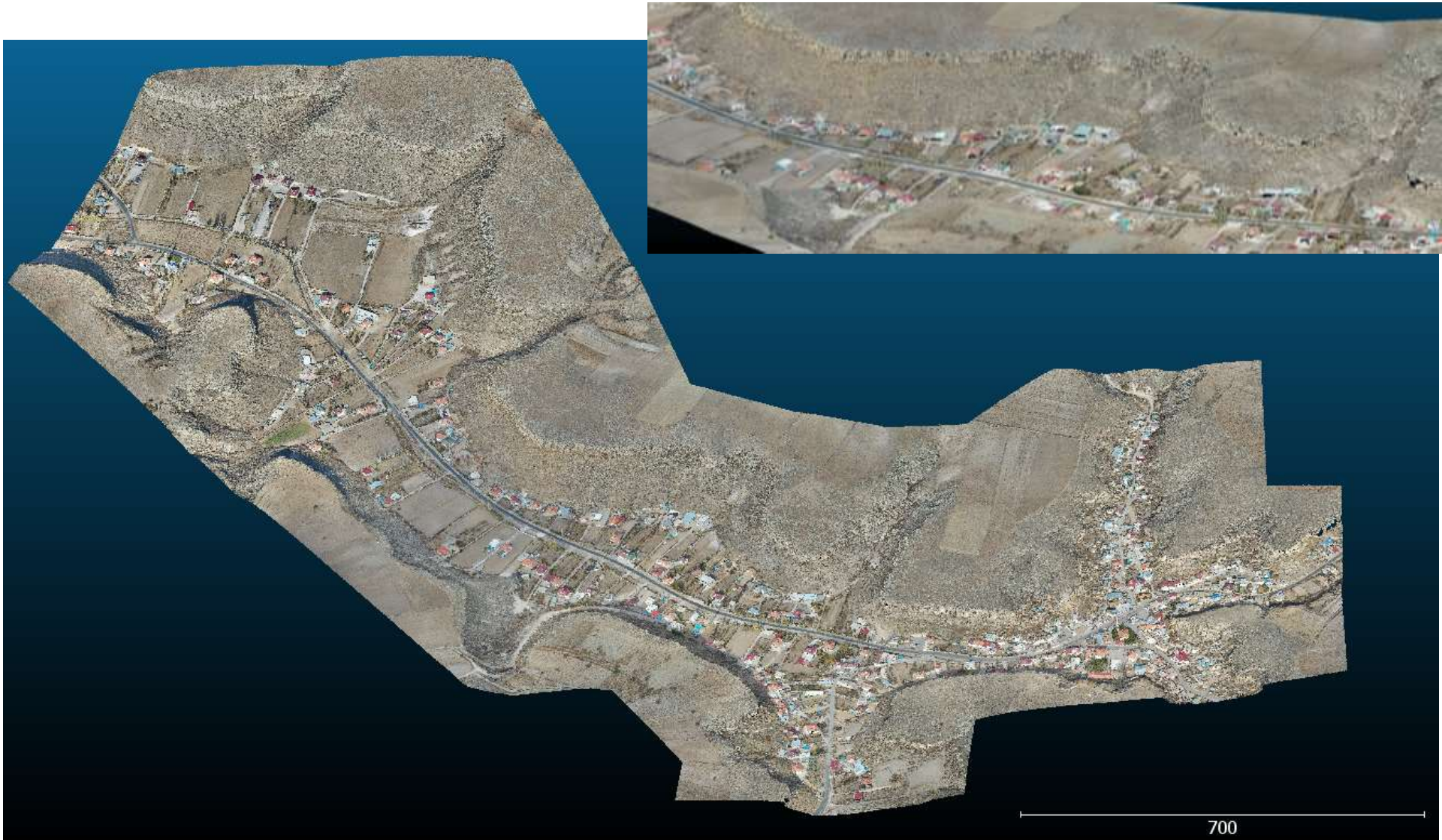
İHA ile Fotogrametrik Görüntü Alımı ve 3-B Nokta Bulutu Oluşturulması



- Nokta bulutlarından elde edilen **sayısal yüzey modellerinde**, mevcut haritalardan elde edilemeyecek **insan yapımı engeller (duvar, çit, hendek vb.)** ve zamana bağlı olarak topoğrafyada meydana gelen değişimler bulunabilmektedir.



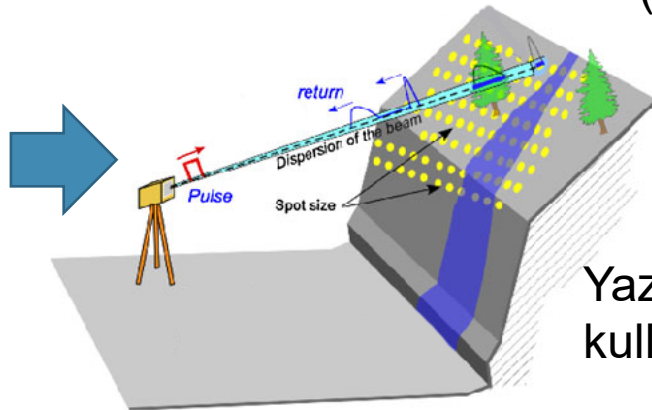
3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARI



3-BOYUTLU NOKTA BULUTLARI

Yersel Lazer Tarayıcı ile 3-B Nokta Bulutu Oluşturulması

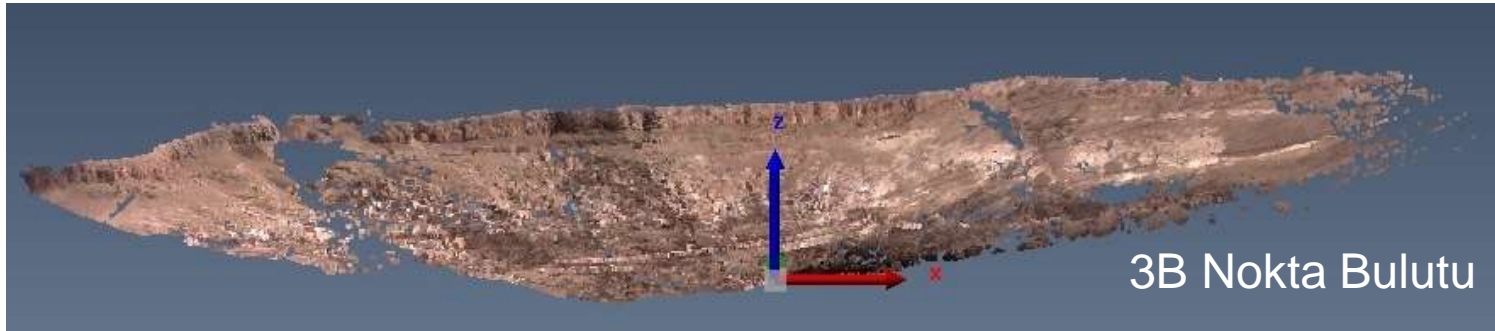
- Yersel Lazer Tarayıcı (TLS) ile nokta alımı ve işleme
 - Optech ILRIS 3D (max lazer uzaklığı 1800 m)
 - 100 m'de 7 mm hassasiyet



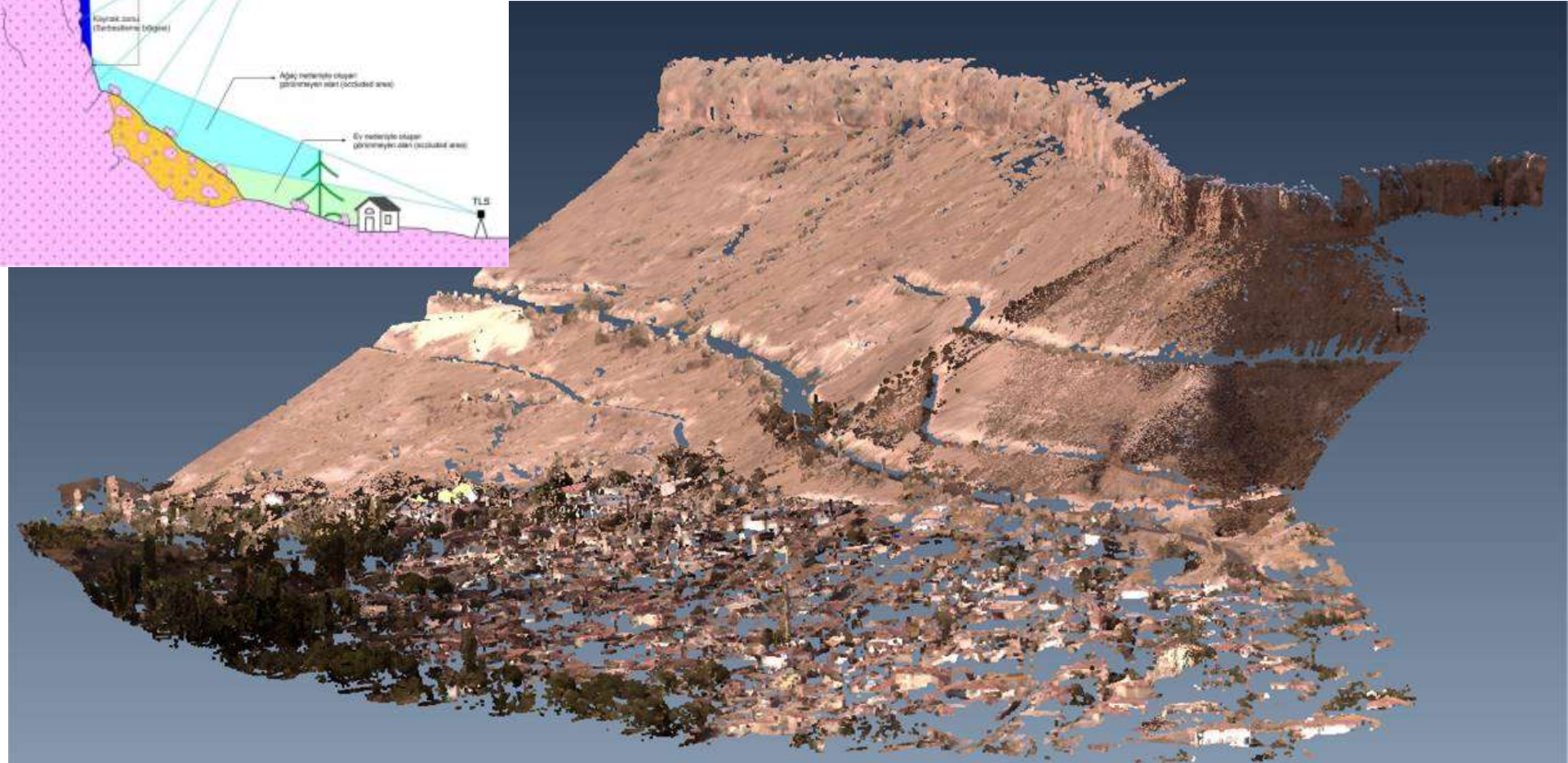
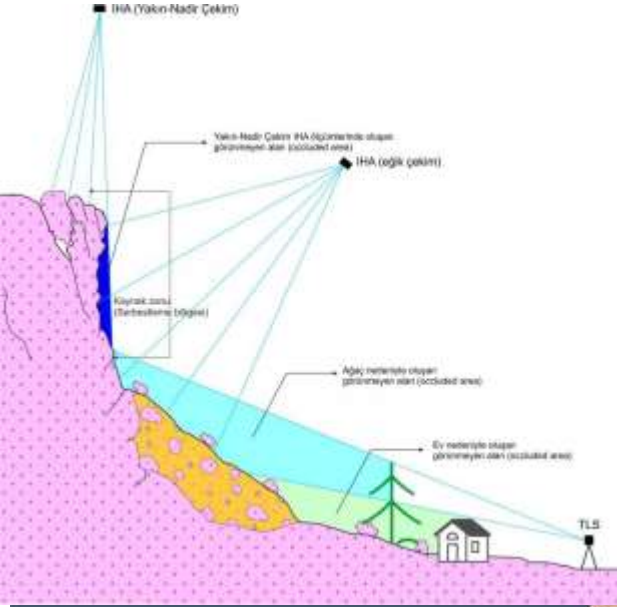
Jeoreferanslama
(Kullanılan TLS'ye bağlı olarak)



Yazılım
kullanımı



YERSEL LAZER TARAMA (TLS) İLE ELDE EDİLEN 3-B NOKTA BULUTU

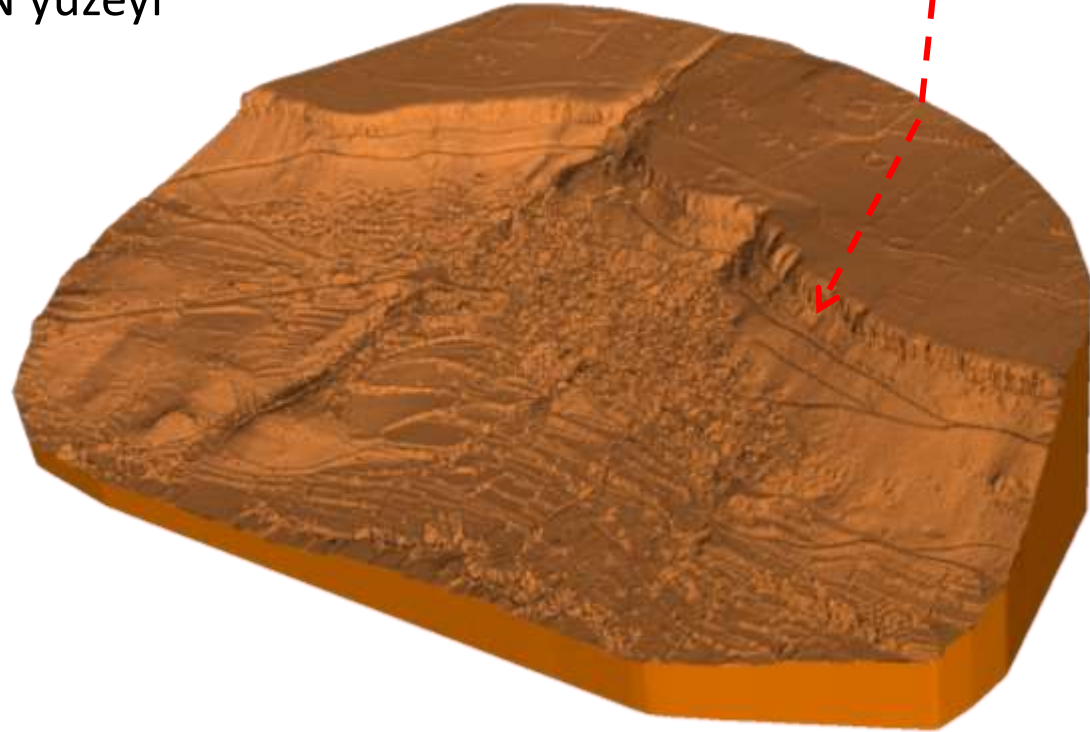


3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

RocPro 3D yazılımında elde edilen 3-B sayısal yüzey modeli

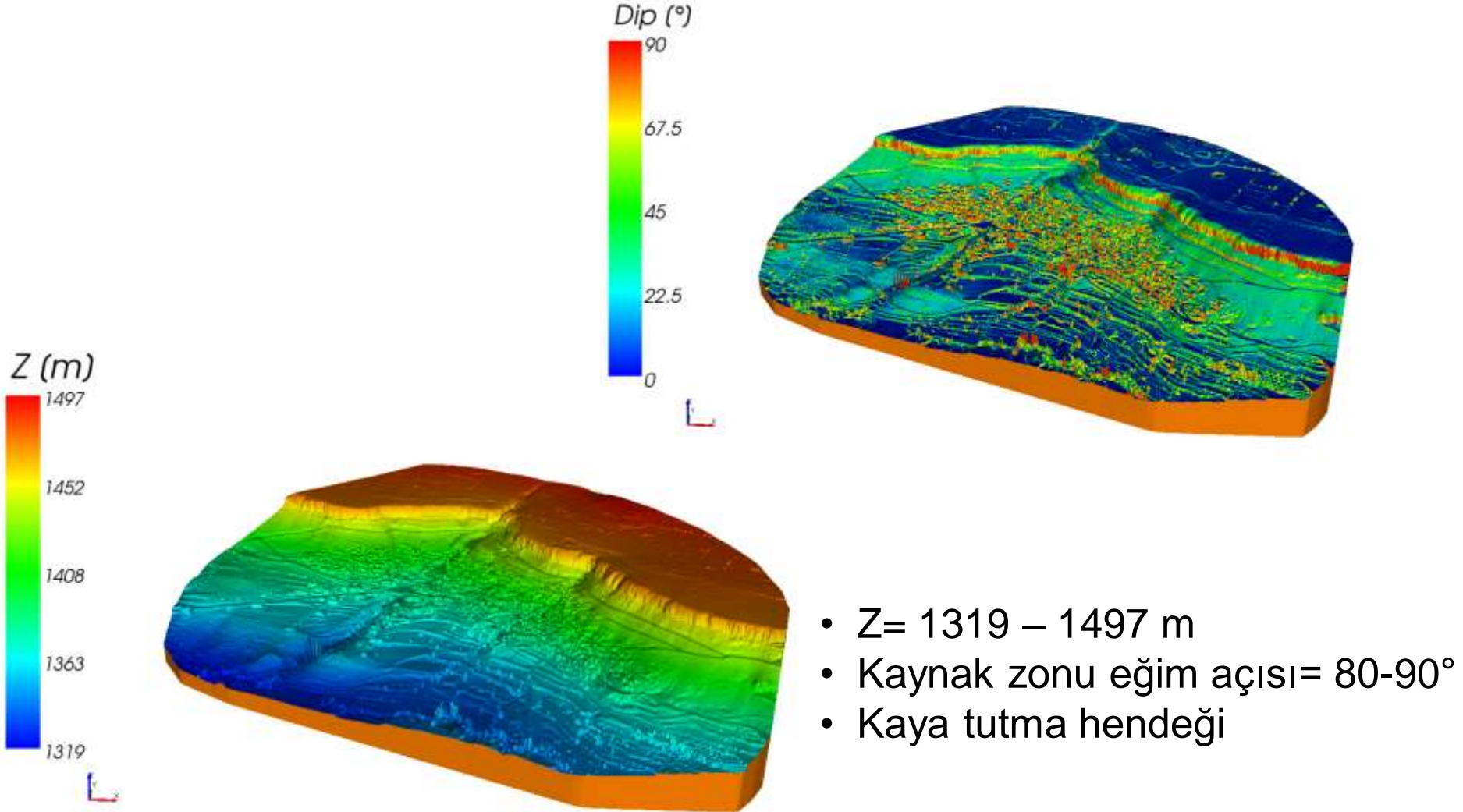
- RocPro3D yazılımında **İHA verisi** kullanılarak oluşturulan 50 cm çözünürlüklü düzensiz üçgen ağı (TIN)
- 2.627.215 nokta
- 586.086 TIN yüzeyi

Kaya tutma hendeği



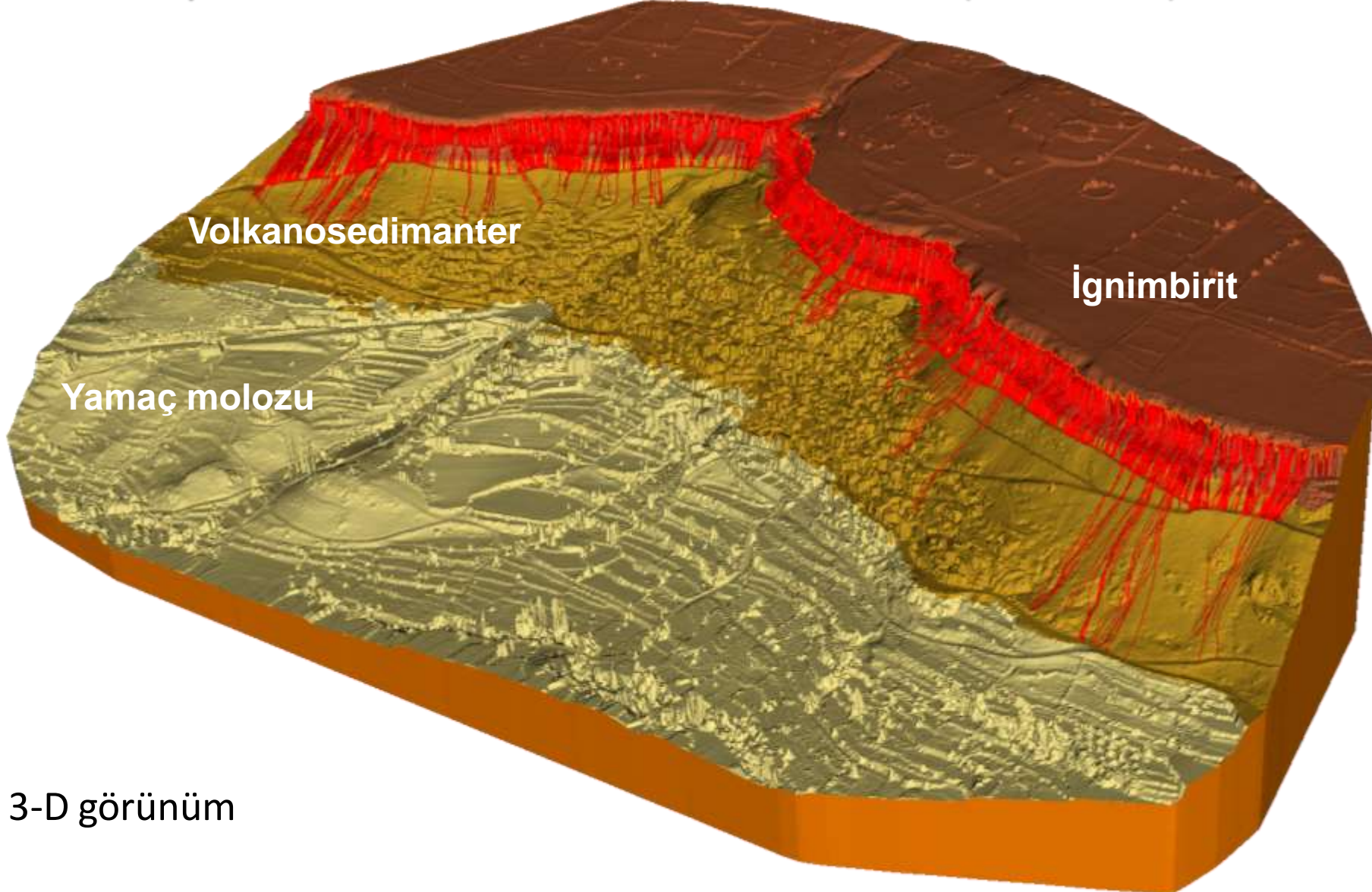
3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

RocPro 3D yazılımında elde edilen 3-B sayısal yüzey modeli



3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

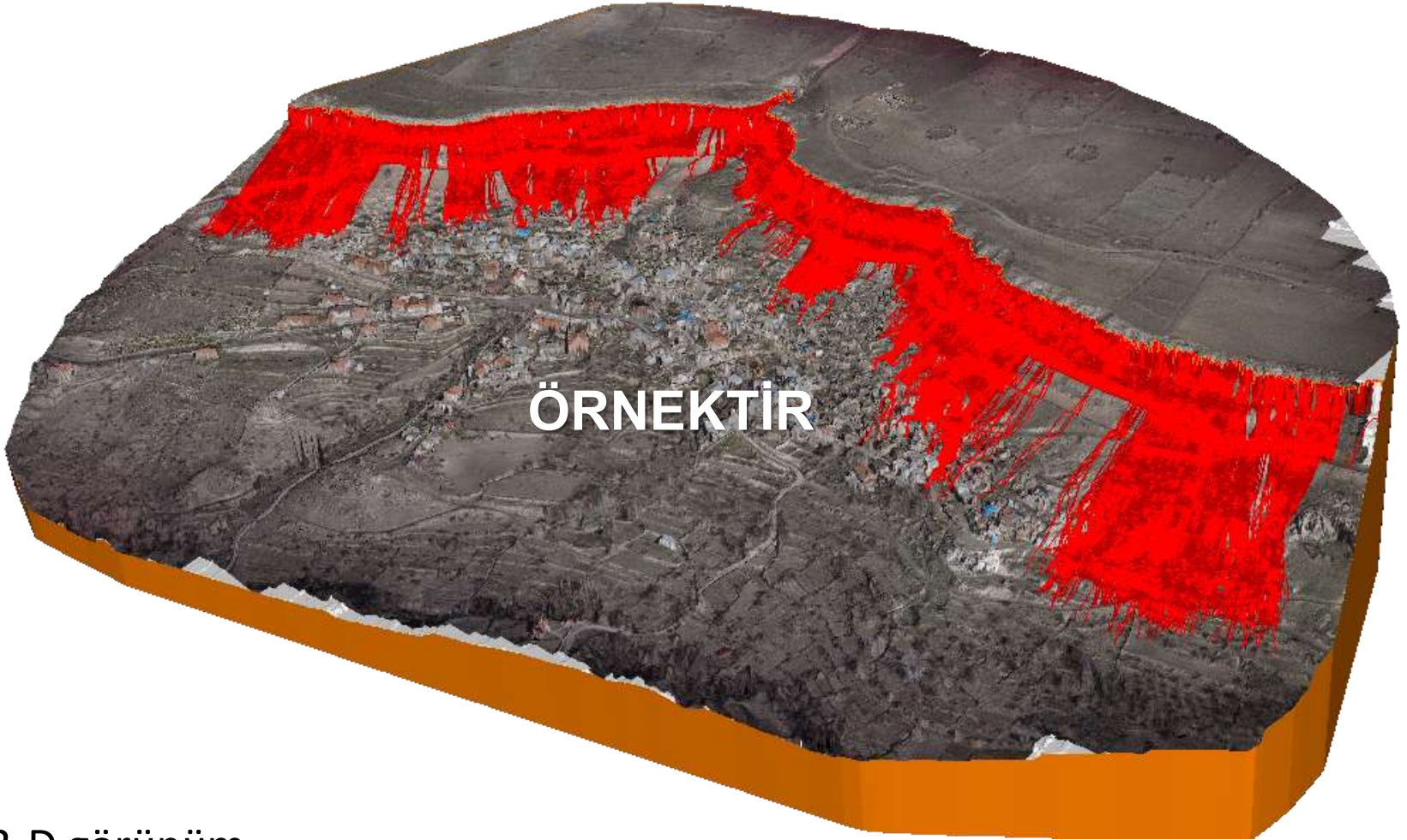
Maksimum yuvarlanma mesafelerinin belirlenmesi (RocPro3D)



- 3-D görünüm

3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

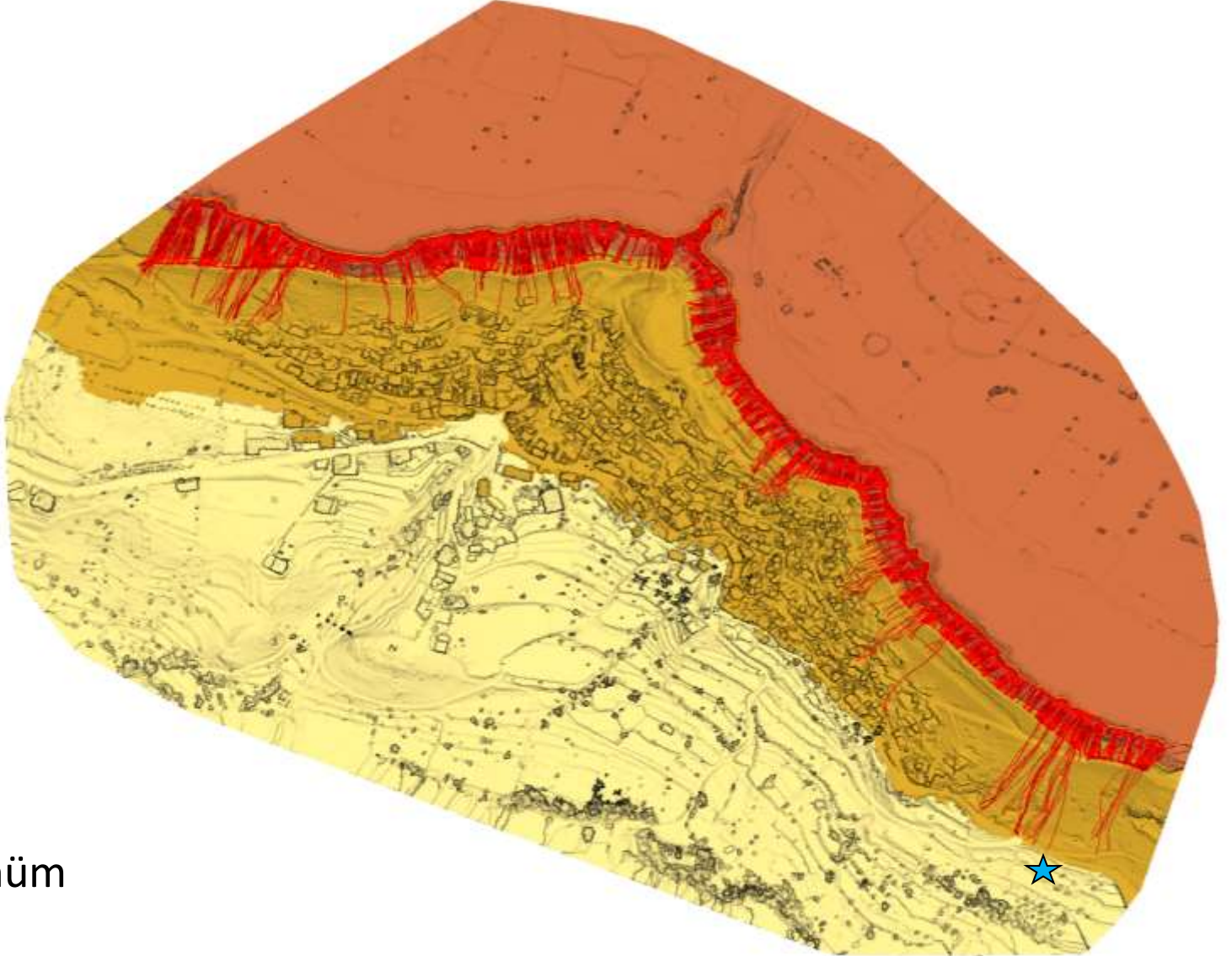
Ortofoto görüntüsünün modele eklenmesi



- 3-D görünüm

3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Maksimum yuvarlanma mesafelerinin belirlenmesi (RocPro3D)



- 2-D görünüm

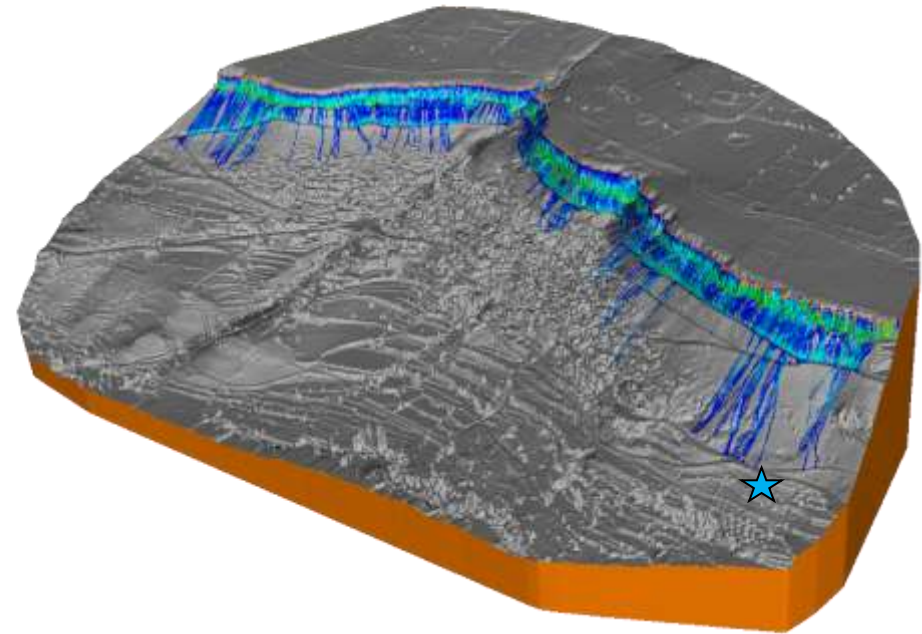
3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Toplam kinetik enerjinin belirlenmesi (RocPro3D)

Energy (kJ)



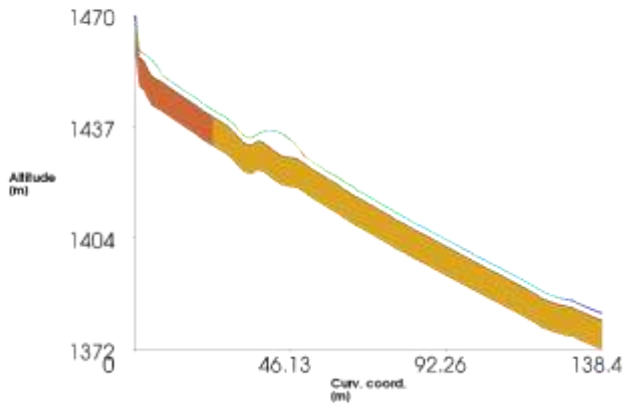
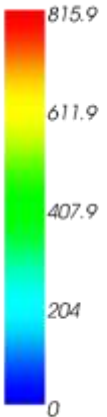
Envelope (CL-95)



Profile of trajectory 4628

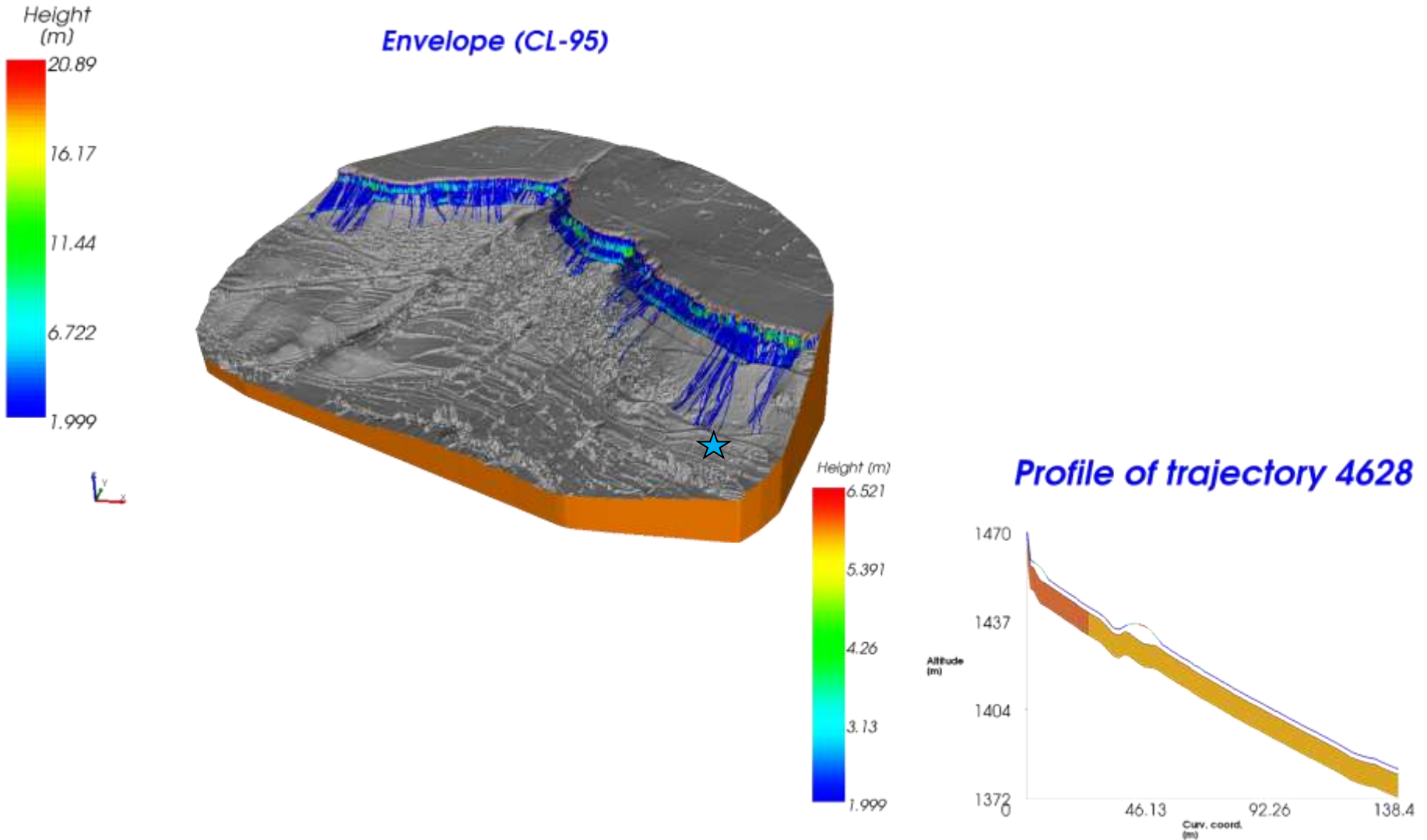


Energy (kJ)



3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Sıçrama yüksekliklerinin belirlenmesi (RocPro3D)



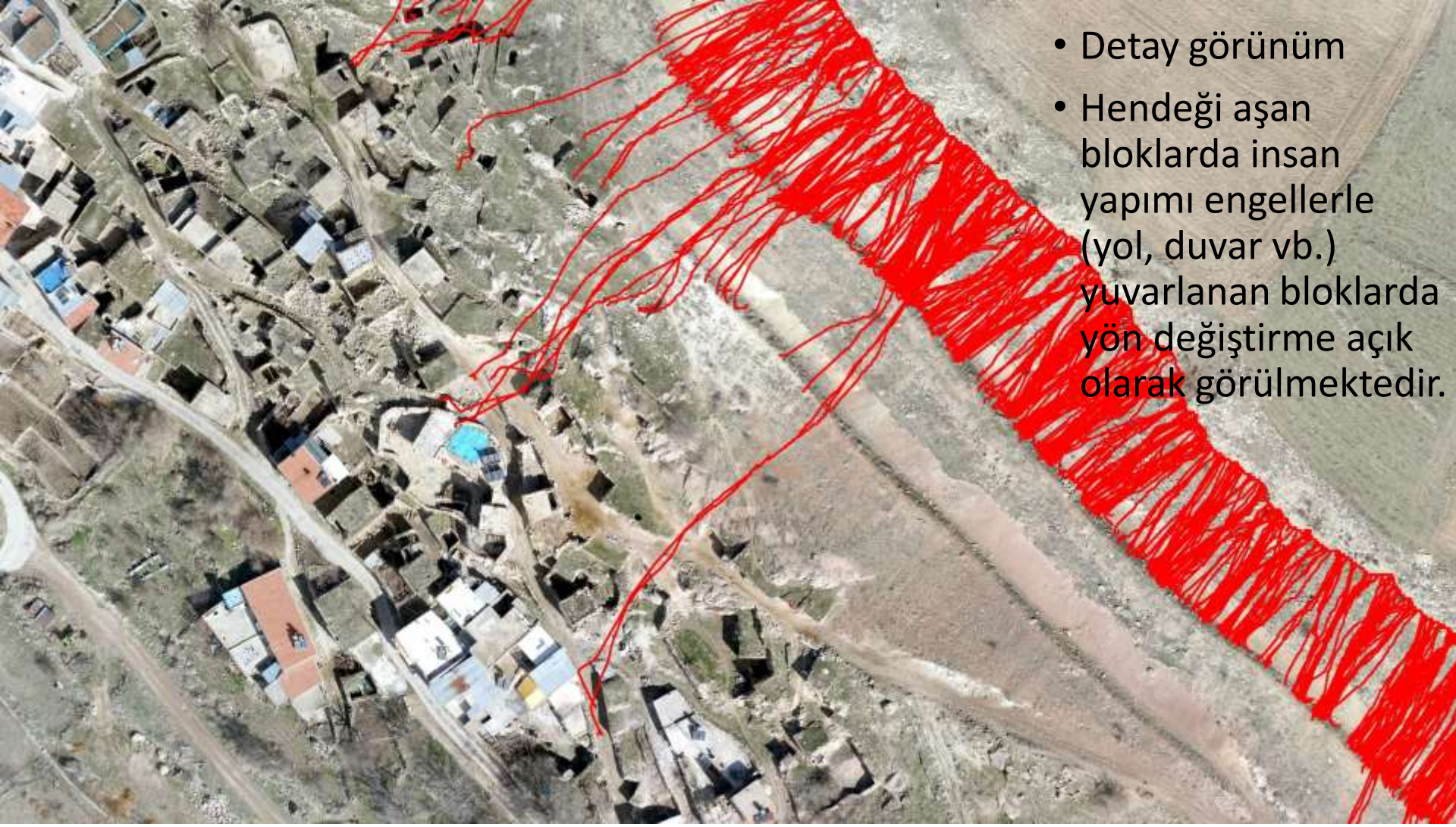
3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ



Kaya düşmesi yuvarlanma hatlarının ortofoto üzerindeki görünümü (CBS üzerine aktarma)

3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Kaya düşme hatlarına insan yapımı engellerin etkisi



- Detay görünüm
- Hendeği aşan bloklarda insan yapımı engellerle (yol, duvar vb.) yuvarlanan bloklarda yön değiştirme açık olarak görülmektedir.

3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Kaya düşme hatlarına insan yapımı engellerin etkisi



- ▶ Detay görünüm
- ▶ Hendeği aşan bloklarda insan yapımı engellerle (yol, duvar vb.) yuvarlanan bloklarda yön değiştirme açık olarak görülmektedir.

3-BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Bariyer uygulamaları

Güçlendirilmiş toprak bariyer

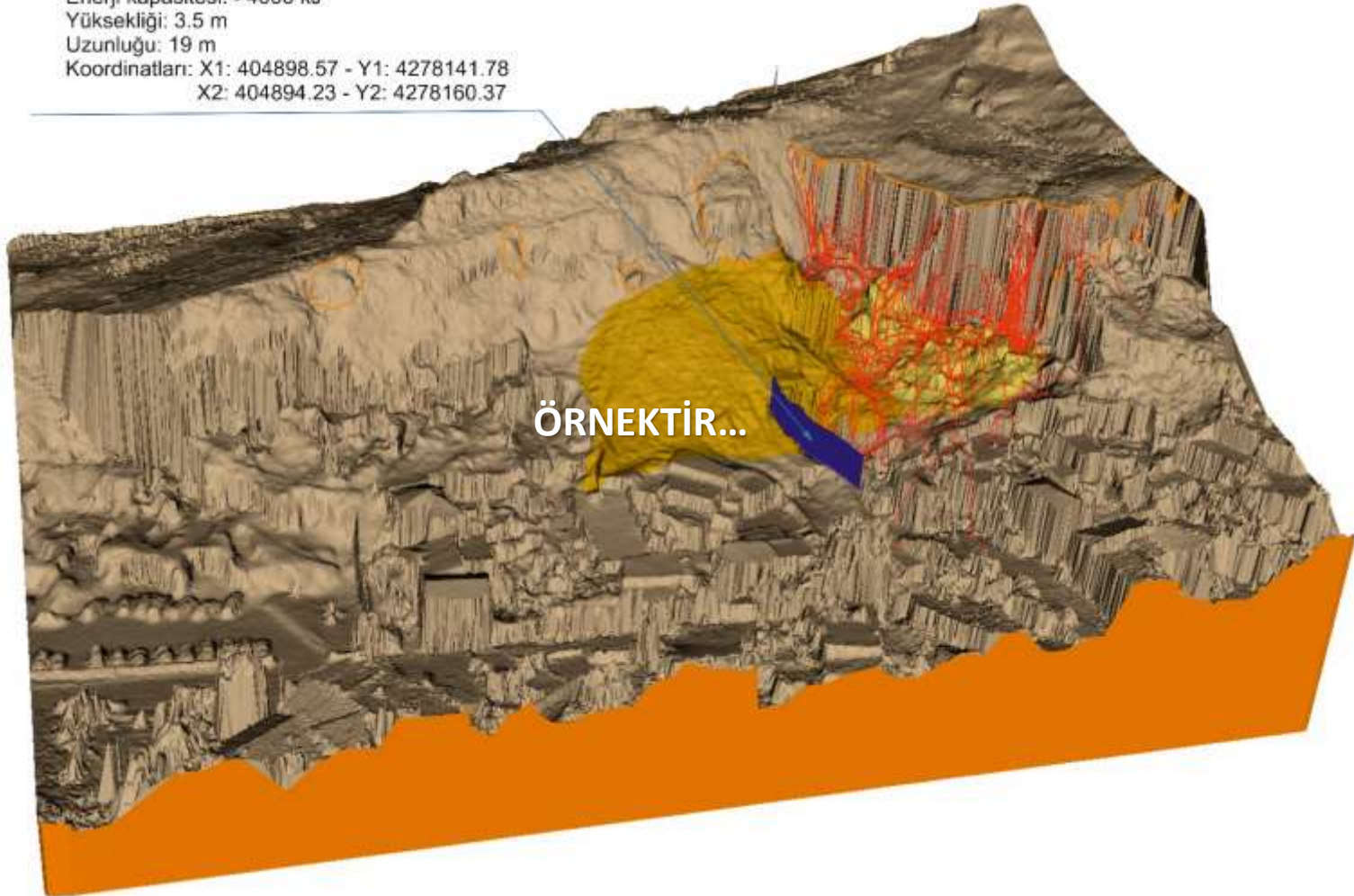
Enerji kapasitesi: >4000 kJ

Yüksekliği: 3.5 m

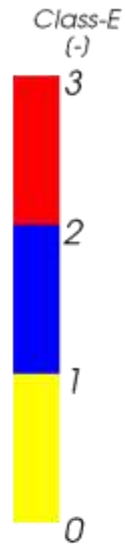
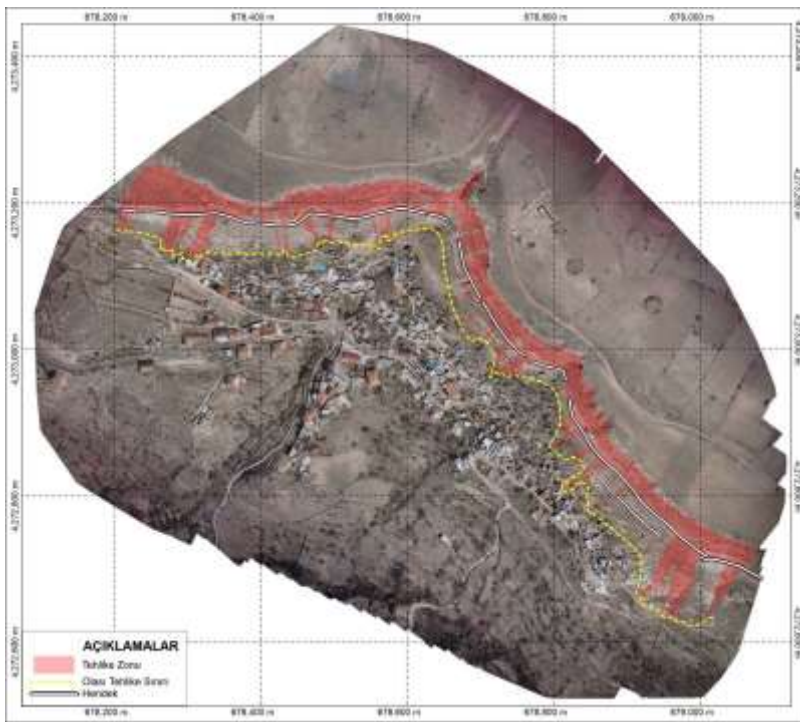
Uzunluğu: 19 m

Koordinatları: X1: 404898.57 - Y1: 4278141.78

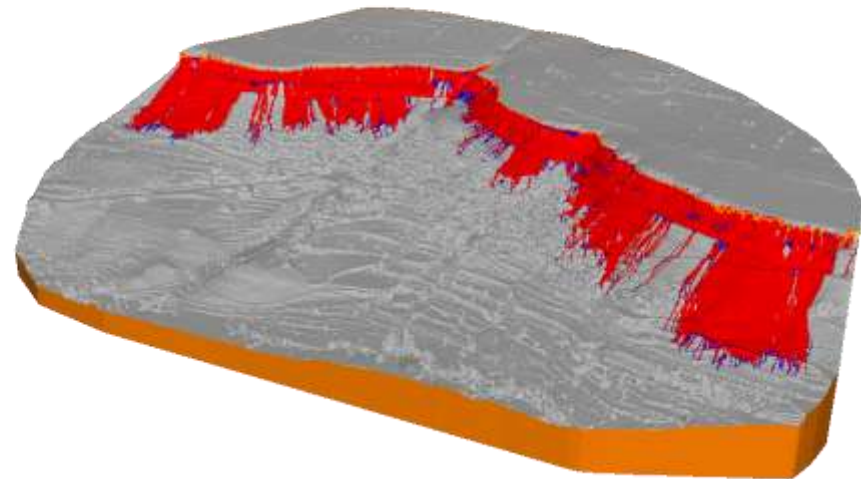
X2: 404894.23 - Y2: 4278160.37



KAYA DÜŞMESİ TEHLİKE HARİTALARI



Envelope (CL-95)

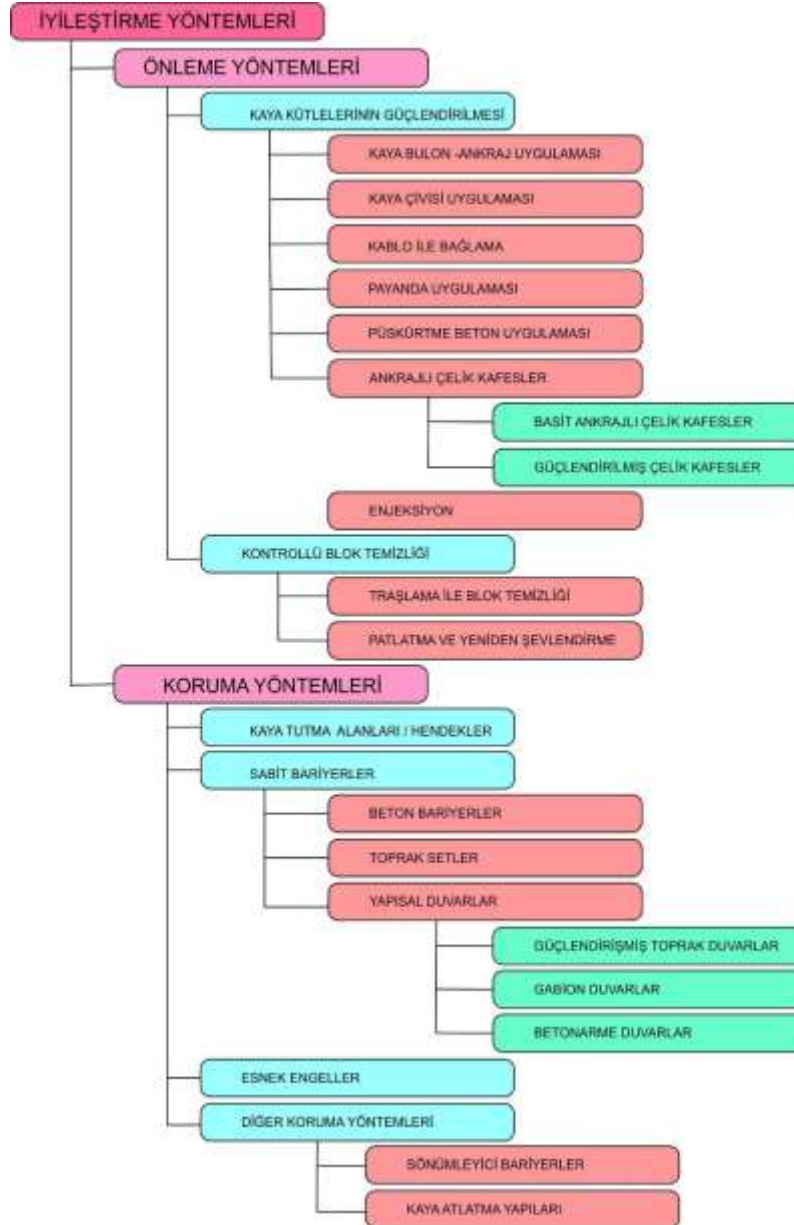


KAYA DÜŞMESİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

- Kaya düşme tehlikesi olan sahalarda, kaya düşmelerinin can ve mal kaybına yol açmaması için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.



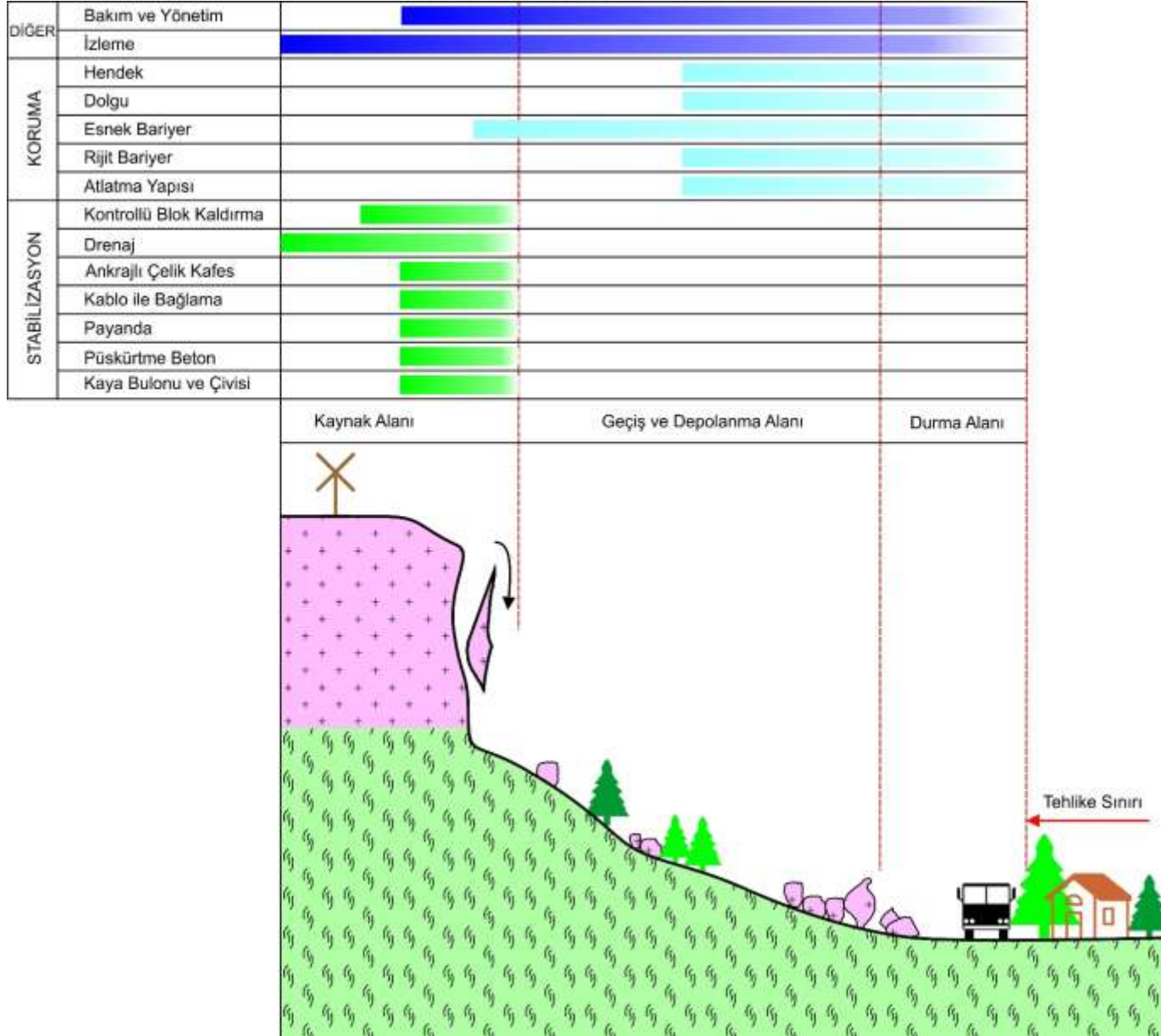
KAYA DÜŞMESİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ



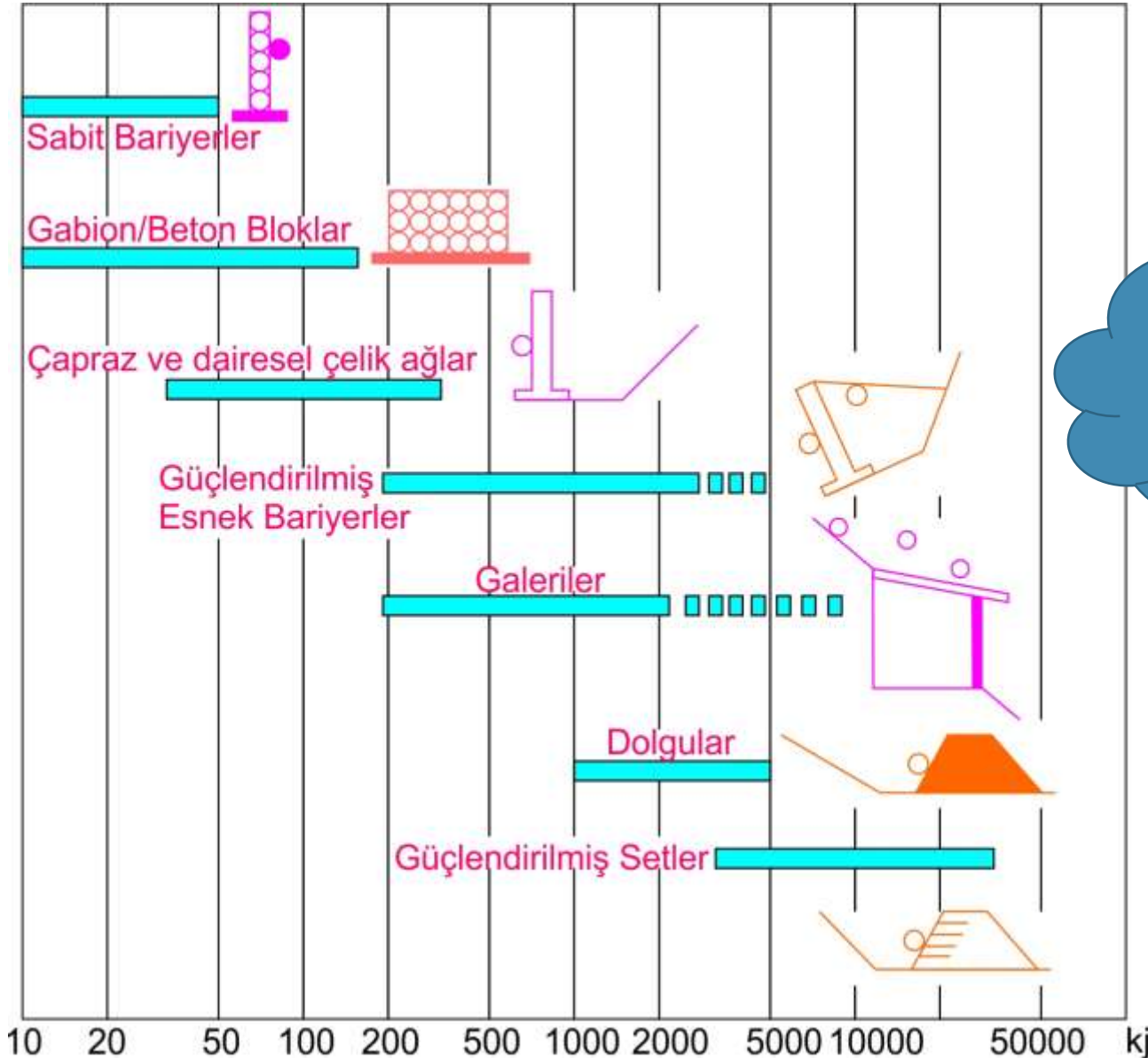
MÜHENDİSLİK GEREKTİREN YÖNTEMLER

- Mühendislik önlemlerinin üç ana kategorisi; önleme (stabilizasyon), koruma ve kaçınmadır.
- **Önleme**nin amacı, düşme potansiyeli bulunan kaya bloklarının yerine sabitlenerek veya kontrollü olarak güvenli bir şekilde uzaklaştırarak kaya düşmesi başlama potansiyelini azaltmaktır. (**AKTİF YÖNTEM**)
- **Koruma** tedbirleri, düşen kayaları durdurmak veya yakalamak ve korunan alanlara girmelerini engellemeyi amaçlar. (**PASİF YÖNTEM**)
- **Kaçınma** tedbirleri, kaya düşmesi potansiyelini azaltmadan, tesislerin veya kişilerin kaya düşme tehlikesi bulunan alanlarından uzaklaştırılması ve güvenli bir yere taşınması esasına dayanır.

İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ SEÇİMİNDE TOPOĞRAFİK ÖLÇÜTLER



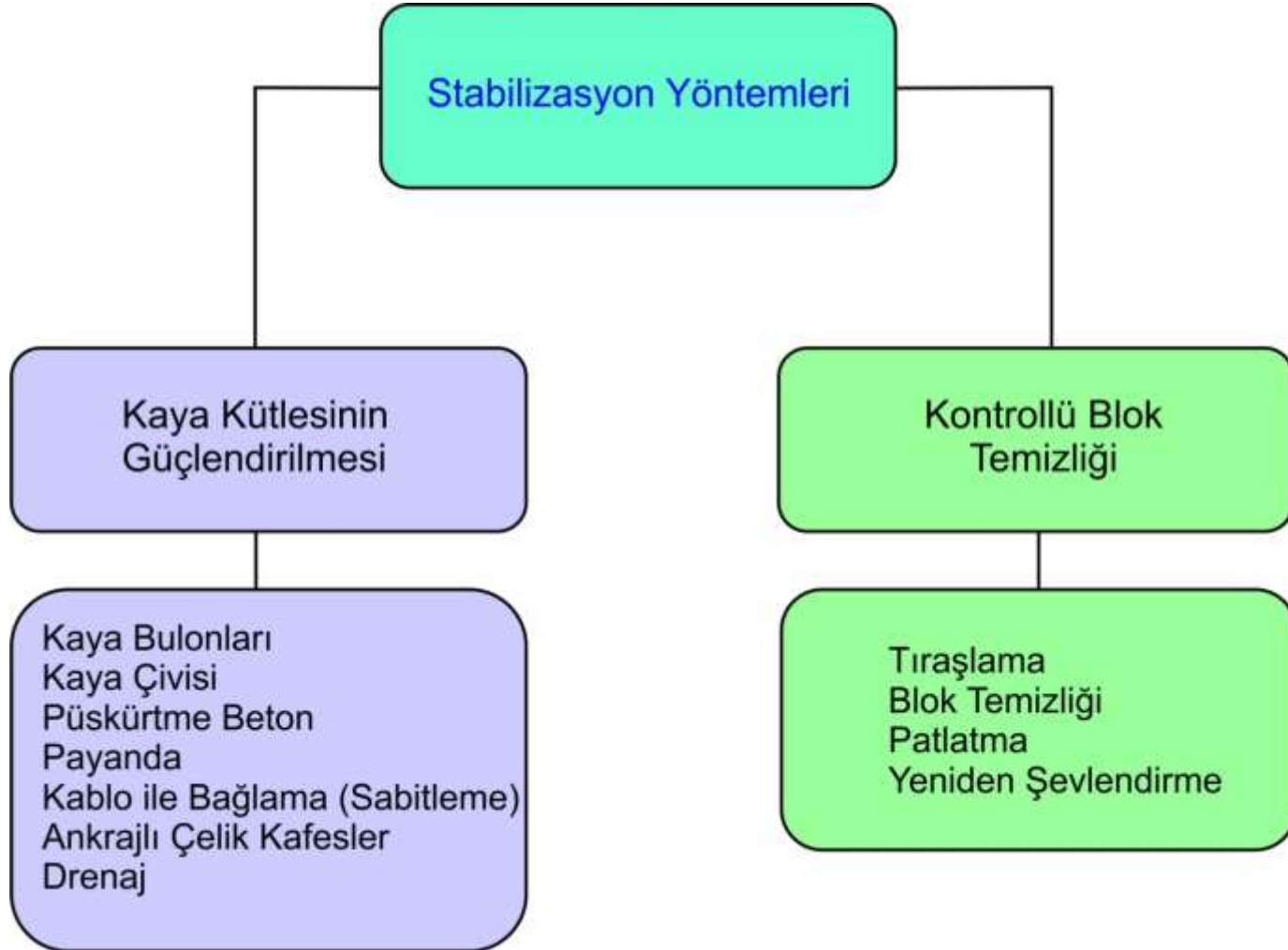
İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ SEÇİMİNDE BLOK ÇARPMA ENERJİSİ ÖLÇÜTÜ



2 veya 3-B KAYA
DÜŞME
ANALİZLERİ

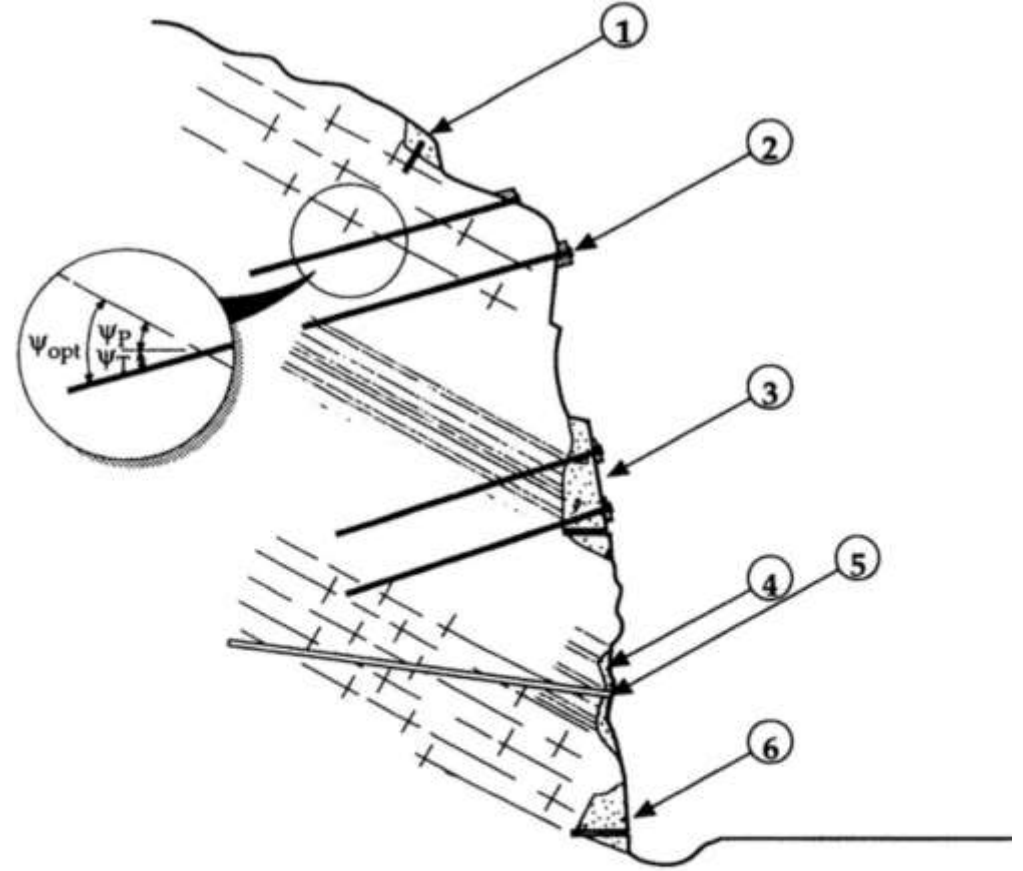
(Vogel vd., 2009)

KAYA DÜŞME **ÖNLEME** YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI



KAYA KÜTLESİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ

- Kaya düşmesine karşı koyan kuvvetler, gerilmeli ve gerilmemiş şev güçlendirmeleri veya şev yüzeyinde uygulanacak farklı destek sistemleriyle etkili bir şekilde artırılabilir.



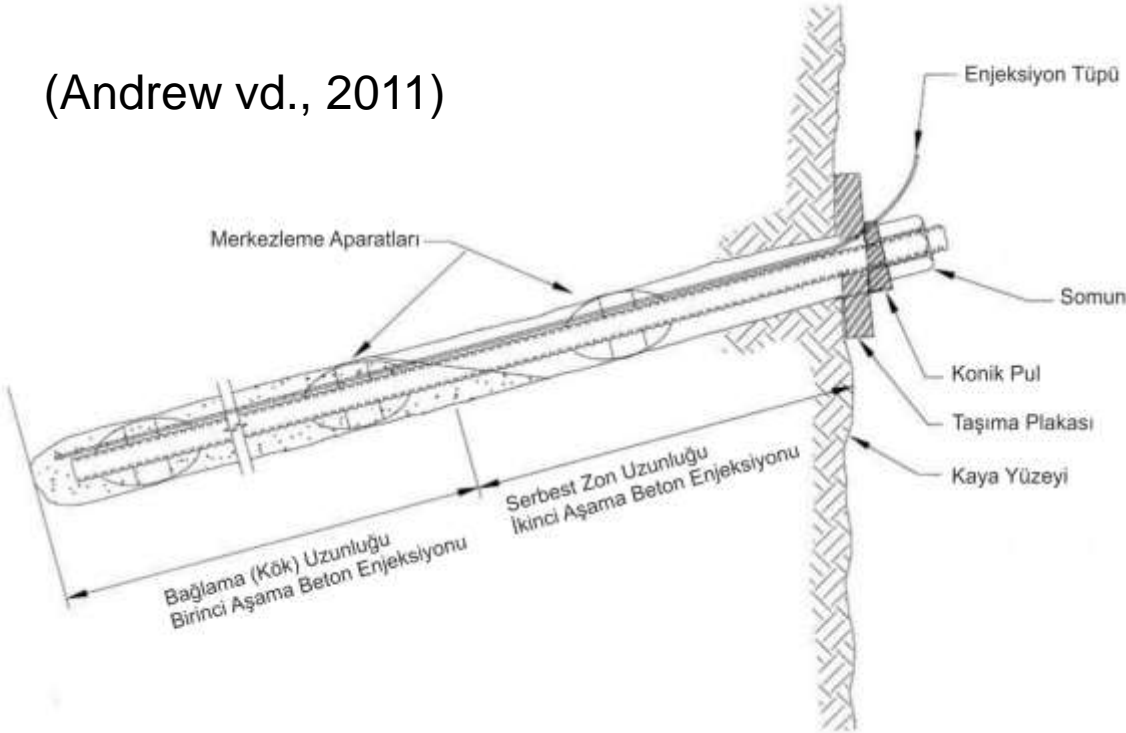
- 1 Şev tepesinde levhanın gevşemesini önlemek için güçlendirilmiş beton çivisi
- 2-Şev boyunca olası yenilmelerin sağlamlaştırması için öngerilmeli kaya bulonları
- 3-Zayıf zonda yenilmeleri önlemek için perde duvar
- 4-Kırıklı zonda sökülmeleri önlemek için püskürtme beton
- 5-Şevde su basıncını azaltmak için drenaj sistemi
- 6-Topukta oyulmayı engellemek için beton destek

(Wyllie ve Norrish, 1996)

KAYA BULONLARI VE ANKRAJLAR

- Düşmesi olası kaya bloklarının şev yüzüne tutturularak hareketini TAMAMEN önleyen sistemlerdir.
- Çelik ağ sistemleri ile birlikte uygulanabilirler.

(Andrew vd., 2011)



ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

Basit Çelik Kafes Sistemleri

- Örtüleme sistemlerinden olan çelik kafesler, sadece şev tepesi boyunca ankrajlanması durumunda basit kafes sistemleri olarak adlandırılmaktadır.
- Basit çelik kafes sistemlerinde ağın şev yüzeyine temas ettiği noktalarda kaya düşmesine karşı bir direnç oluşturmaya rağmen, **bu sistemler genelde şev ile ağ arasında kaya düşmesine izin verir.**
- Fakat bloğun kontrollü bir şekilde şev topuğundaki yakalama alanında herhangi bir tehlikeye neden olmadan durdurulmasını sağlar.
- Basit kafes sistemlerinin bir amacı da ağın arkasında döküntü birikmesinin neden olacağı harici yükten kaçınmaktır.
- Basit kafes sistemleri, orta derecede eğimli şevlerden çok dik şevlere ve düz yüzeylerden oldukça düzensiz şev yüzeylerine kadar birçok koşulda kaya düşmesini önlemek amacıyla başarıyla uygulanabilir.

ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

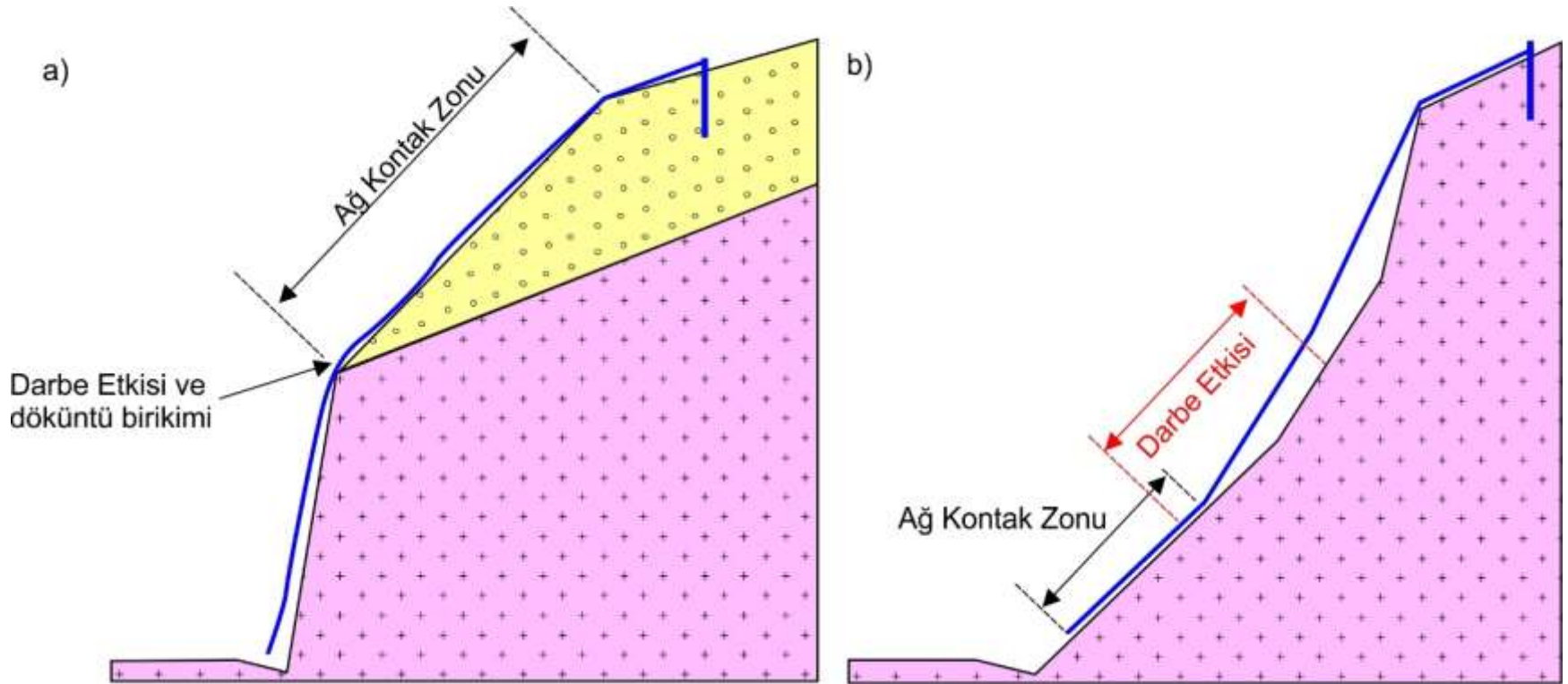
Basit Çelik Kafes Sistemleri



Geobrugg

ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

Basit Çelik Kafes Sistemleri



Basit çelik kafes sistemlerinde kontak zonu, darbe zonu ve birikme zonunun gösterimi (a) konkav şev profili, (b) konveks şev profili (Muhunthan vd., 2005)

ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

Basit Çelik Kafes Sistemleri

- **BASİT TEL AĞLAR (Simple Drapery System)**

- Basit tel ağlar, küçük taş ve blokların (çap<~50 cm) düşmesini önlemek amacıyla şev yüzeyinin çelik ağ ile kaplanması işlemidir.
- Çelik ağ, şevin üst ve alt bölümlerinden şev yüzeyine sabitlenmektedir.
- Tel ağ, şev tepe bölgesinden geçirilen ve sabitlenmiş halat üzerinden şev yüzeyi boyunca aşağı doğru serilir.
- Şevden düşen kaya blokları kaplama sistemi arkasında emniyetli bir şekilde tutulur ve şevin topuğunda toplanır. Biriken kaya parçaları düzenli olarak temizlenir.

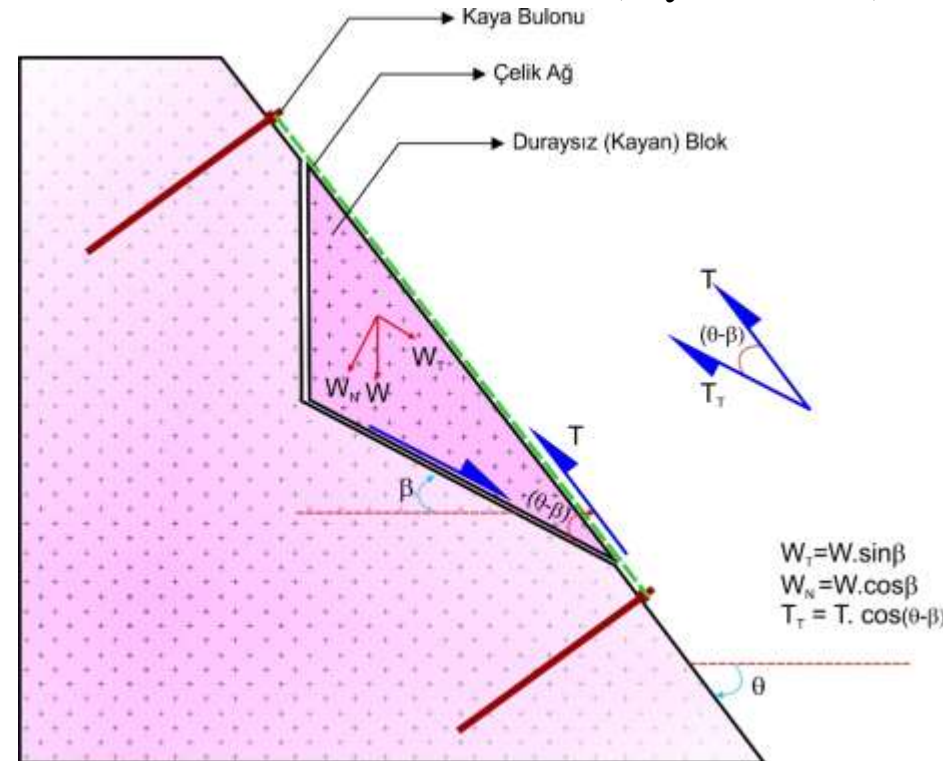
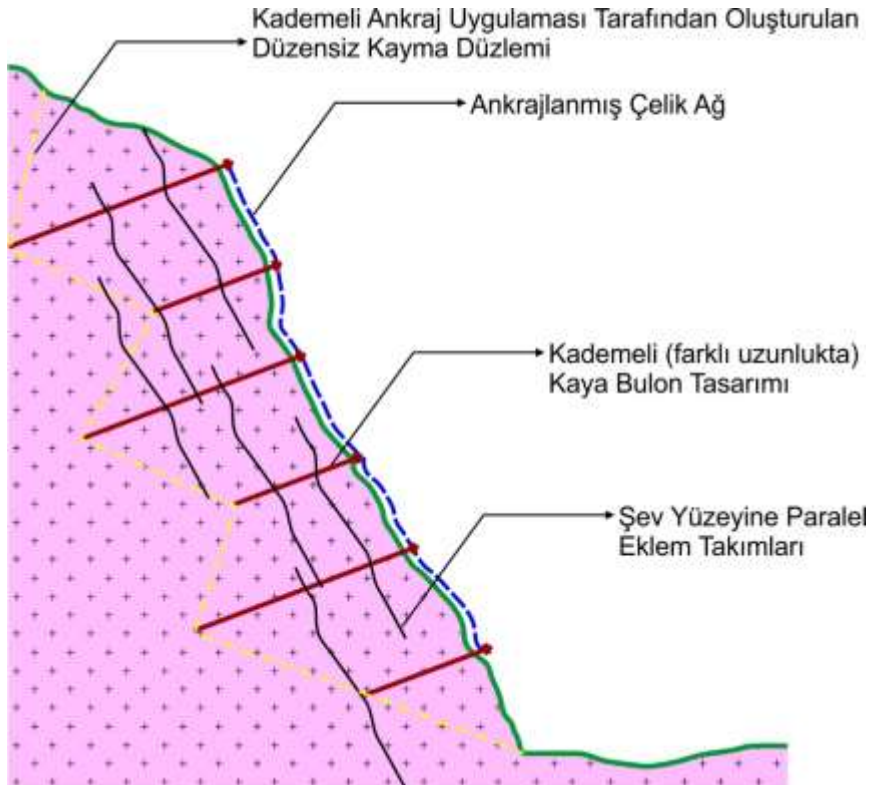


ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

Güçlendirilmiş Çelik Kafes Sistemleri

- Güçlendirilmiş çelik kafes sistemleri hem dokuma tel kumaşlar hem de yüksek çekme dayanımına sahip çelik ağlardan veya filelerden oluşmaktadır.
- Güçlendirilmiş çelik kafes sistemleri genelde döküntü alanının sınırlı veya hiç olmadığı durumlarda tüm şev yüzeyini kaplamak için kullanılır.

(Wyllie, 2015)

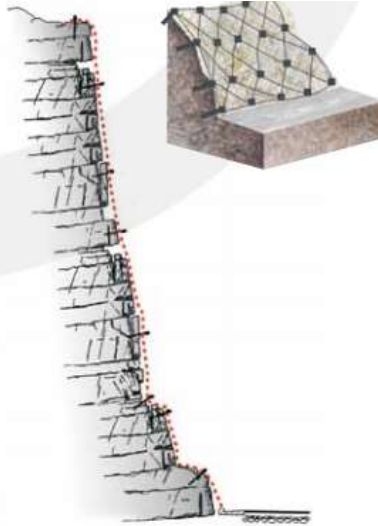
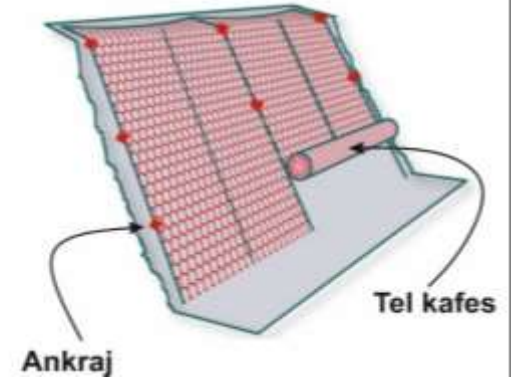
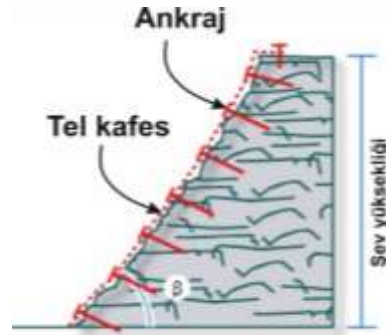


ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

Güçlendirilmiş Çelik Kafes Sistemleri

• GÜÇLENDİRİLMİŞ TEL KAFES (Reinforced Drapery Systems)

- Tel ağlar, düşen blokların hareketini sınırlamak ve ağın şev yüzeyinden ayrılmasını önlemek amacıyla sistematik olarak şev yüzeyine sabitlenebilirler.



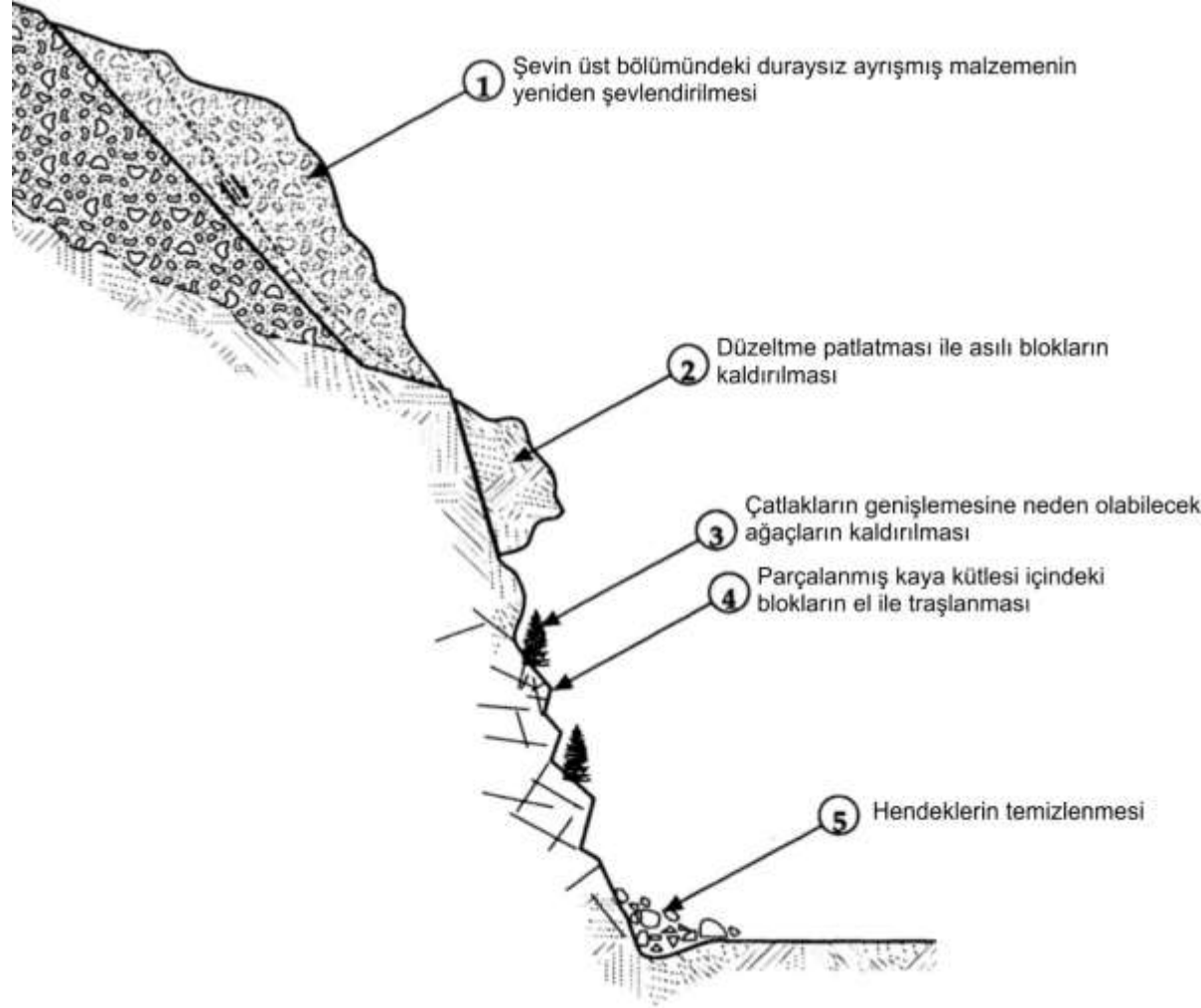
ANKRAJLI ÇELİK KAFESLER

Güçlendirilmiş Çelik Kafes Sistemleri



KONTROLLÜ BLOK TEMİZLİĞİ

- Kaya temizleme yöntemleri duraysız kaya kütlelerinin yeniden şekillendirilmesi, asılı blokların kaldırılması ve şev tıraşlanması gibi uygulamaları içermektedir.
- Kaya düşmesi önleme ve koruma yöntemlerinin uygulanmasından önce de düşmesi oldukça muhtemel olan blokların temizlenmesinde yarar vardır.



KONTROLLÜ BLOK TEMİZLİĞİ

KONTROLLÜ BLOK DÜŞÜRME

- Kaya düşmelerini önlemede en kolay yöntemlerden bir tanesi, düşme potansiyeli olan blokların kontrollü bir şekilde düşürülmesidir.
- Böylelikle mevcut şevde, düşme potansiyeli olan blokların, herhangi bir zarara neden olmadan uzaklaştırılması sağlanmaktadır.
- Ancak, düşürülecek blokların miktarının fazla olması, boyutlarının çok büyük olması, yerleşim yerine yakınlık vb. gibi etmenlerle bu yöntemden olumlu sonuç alınamaması da mümkündür.



KONTROLLÜ BLOK TEMİZLİĞİ

TIRAŐLAMA İLE BLOK TEMİZLİĞİ

- Tıraőlama, Şev yüzeyindeki ayrışmış kaya yüzeyinin veya bağımsız, duraysız ve gevşek kaya bloklarının kaldırılması işlemidir.

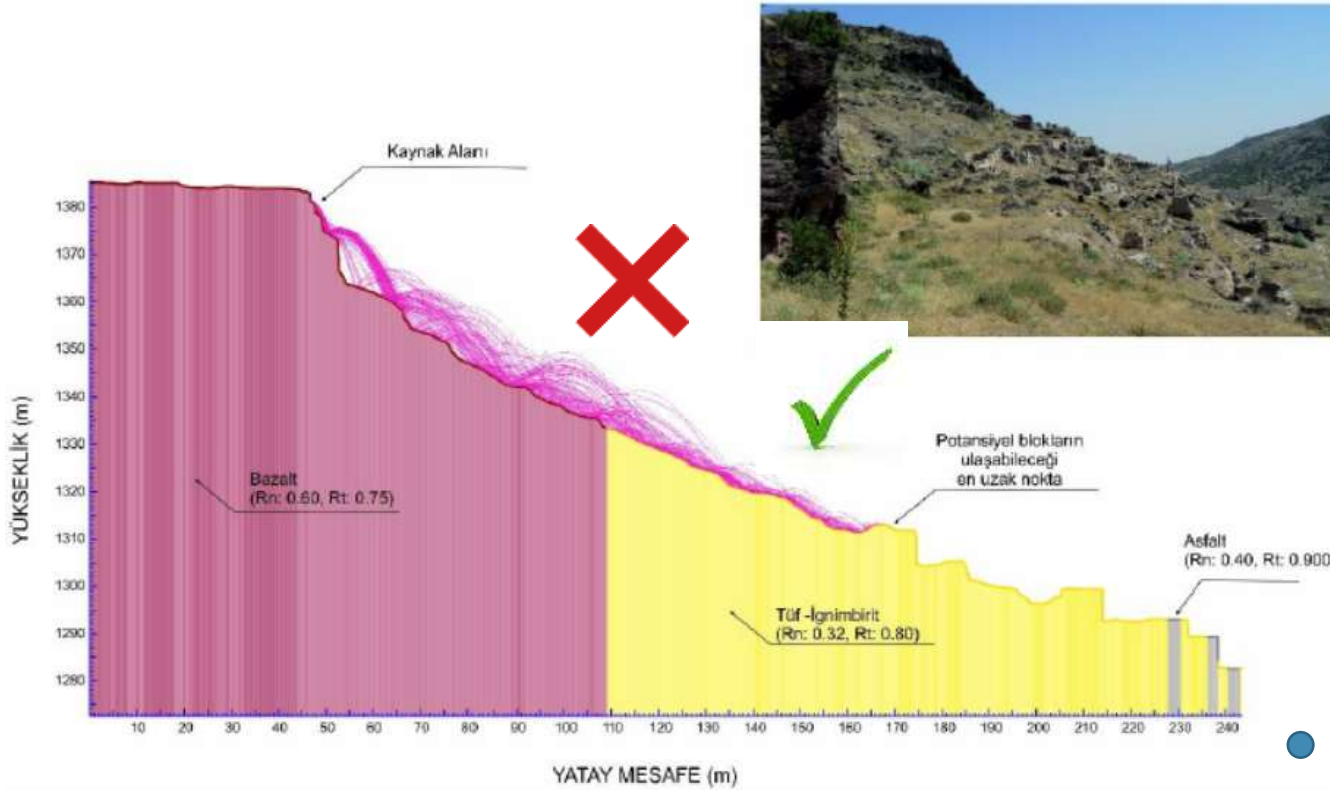


KAYA DÜŞMESİ KORUMA YÖNTEMLERİ

- Kaya düşmesi **koruma** yöntemlerinin temel prensibini kaya düşme olayı başladıktan sonra düşen blokların belirli bir lokasyonda durdurulması, kontrol edilmesi veya tehlike oluşturmayacak şekilde hareket yönünün değiştirilmesi oluşturmaktadır.
- Kaya düşmesi koruma yöntemleri pasif sistemlerdir.
- Genel olarak kaya düşme koruma yapıları aşağıdaki örnekleri içerebilir.
 - Kaya tutma alanları ve hendekler
 - Sabit bariyerler
 - Esnek engeller (çitler)
 - Kafes sistemleri
- Kaya düşmesi koruma yapıları, düşmenin önlenmesi amacıyla uygulanan aktif yöntemlere göre daha az maliyetli ve daha kolay yapılabilir özelliktedir.

TASARIM POZİSYONUNUN SEÇİMİ

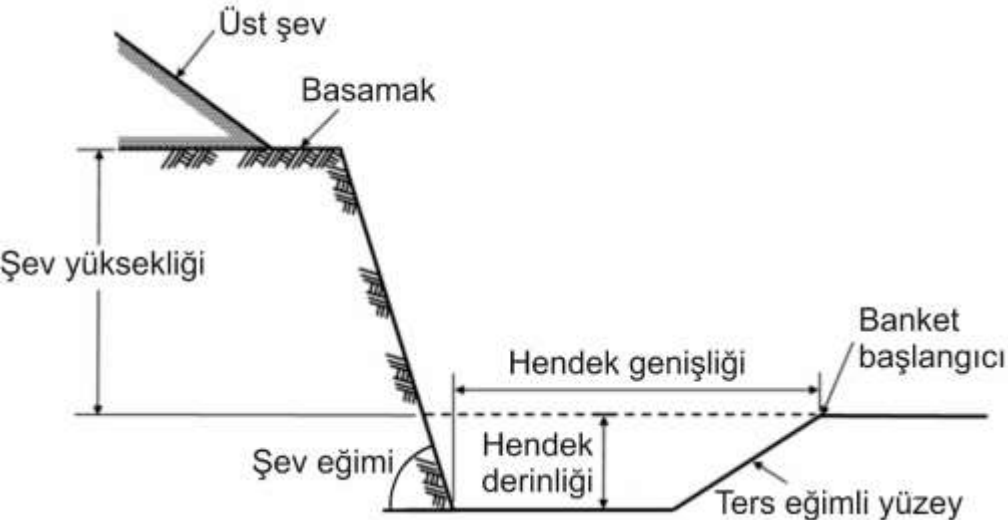
KORUMA YAPIMI NEREYE YERLEŞTİRMELİYİM?



- Düşen bloğun kinetik enerjisinin görece azaldığı bir alan
- Sıçrama yüksekliklerinin görece düştüğü bir alan

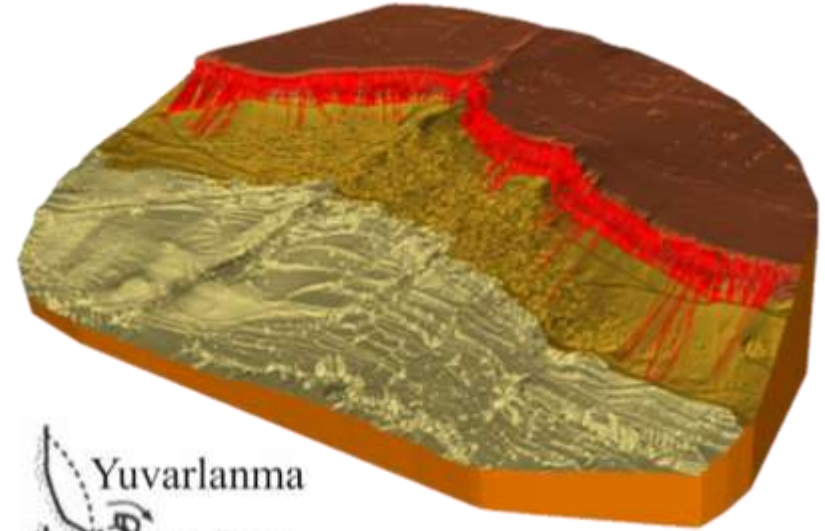
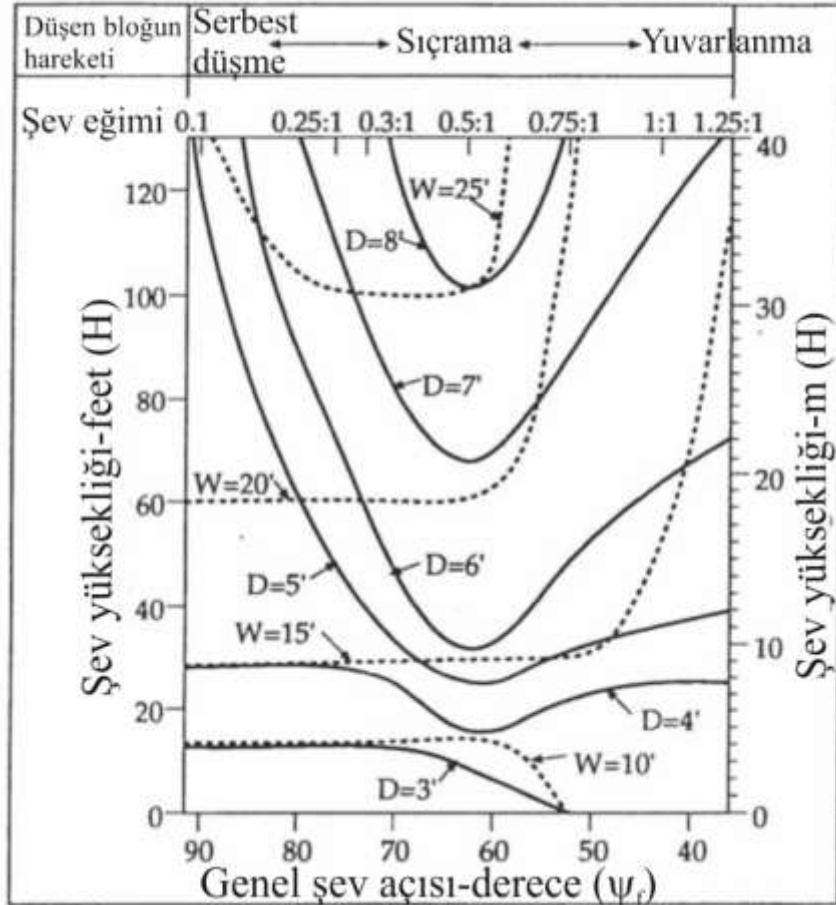
KAYA TUTMA ALANLARI VE HENDEKLER

- Kaya düşmesi tutma alanları veya hendekler, düşen blokları tehlike altındaki yerleşim yerlerine veya ulaşım hatlarına ulaşmadan önce enerjilerini düz veya ters eğimli topoğrafik yüzeyler üzerinde sönmüleyerek durdurmaya yarayan koruma yöntemlerinden bir tanesidir.



KAYA TUTMA ALANLARI VE HENDEKLER

- Ritchie Hendek Ölçütü'ne göre hazırlanmış kaya tutma hendeği tasarım abağı (FHWA, 1989)



SABİT BARIYERLER

- Beton Bariyerler



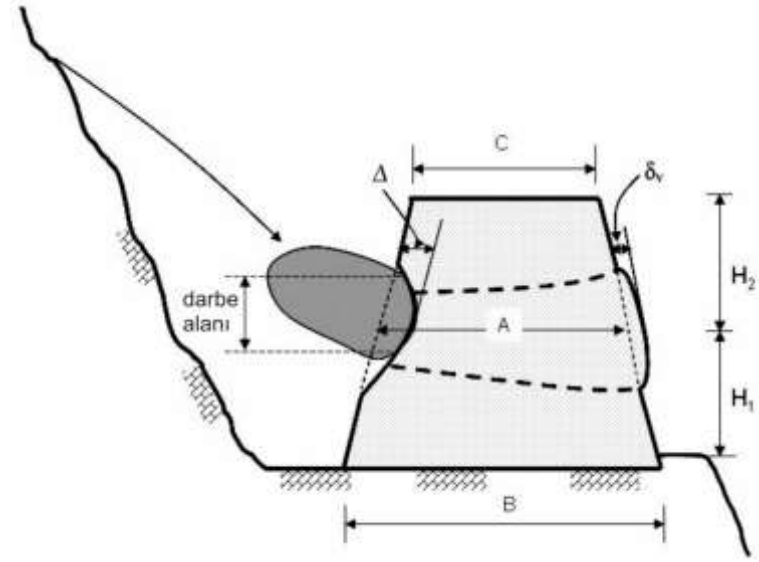
Kaya düşmesi koruma yöntemlerinden biri olan bariyerler, kaya düşme hattının önüne yerleştirilen ve **düşen kayayı tutan** veya **yuvarlanma yönünü değiştiren yapılardır.**

- Toprak Seddeler



SABİT BARIYERLER

- Güçlendirilmiş toprak duvar



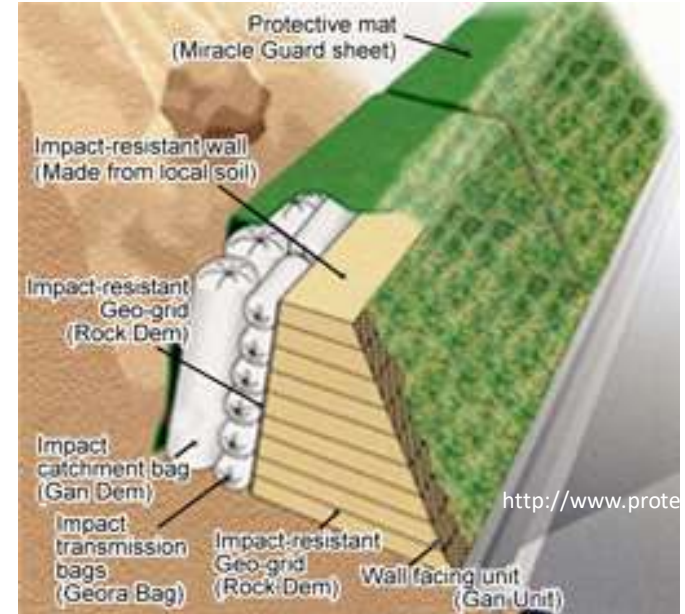
- Gabion duvar sistemleri

- Betonarme bariyerler



SABİT BARIYERLER

- Düşen kaya bloklarını yuvarlanma güzergahı üzerinde durdurmaya yarayan ve güçlendirilen dolgu malzemesinden oluşan bariyer sistemleridir.
- Doğal malzemeler kullanarak yapıldıklarından çevre ile uyumlu görünümler sunabilirler, yeşillendirilebilirler.



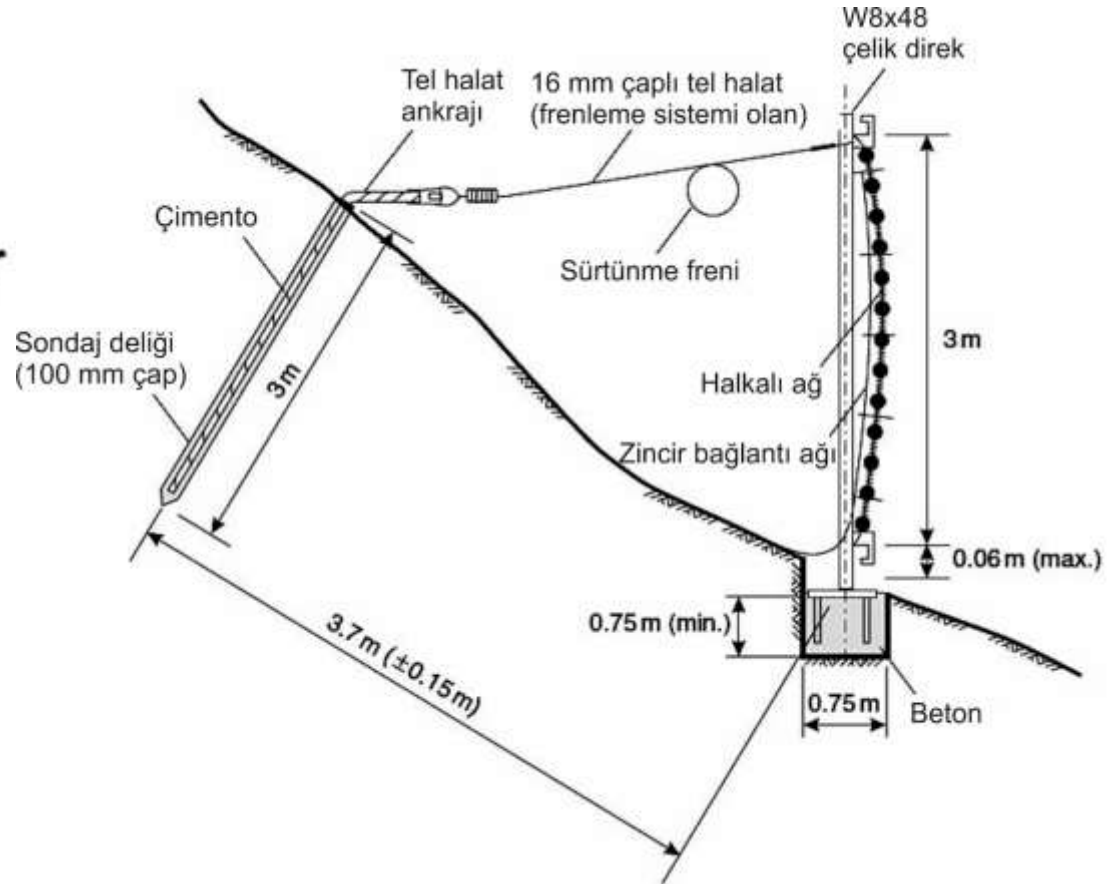
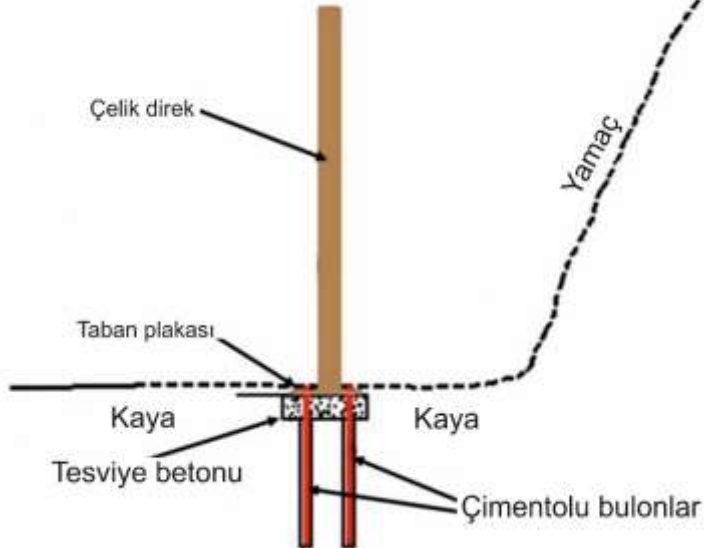
ESNEK BARIYERLER

- Esnek kaya düşme engelleri, yuvarlanma alanı üzerine yerleştirilen ve düşen kaya bloklarının önünü keserek durdurmayı sağlayan enerji sönmüleyici sistemlerdir.
- Esnek bariyerlerde düşen kaya bloklarının durdurulabilmesi için esnek engel belirli bir güvenlik oranında deforme olarak düşen bloğun kinetik enerjisini sönmüler.
- Uygulamada çok farklı özelliklerde ve yaklaşık 100 kJ ile 8000 kJ arasındaki çarpma enerjisi kapasitelerine sahip çelik ağdan imal edilmiş esnek bariyer sistemleri bulunmaktadır.



ESNEK BARIYERLER

- Tipik bir esnek bariyerdeki bileşenler (Smith ve Dufy, 1990'dan değiştirilerek)



ESNEK BARIYERLER

- Esnek bariyerlerde halkalı ağ yapısı (Maccaferri)

Ağ türü	Ağırlık (kg/m ²)	Yaklaşık enerji kapasitesi (kJ)
Çift bükümlü zincir bağlantılı ağ	1.80	<100
3 mm tel kalınlığında Tecco ağı	1.65	100-1000
Yüksek enerji sönmleyici (HEA) paneller	2.30	500-2000
Omega ağı	2.70	100-5000
Yedi noktalı halka ağı	5.20	5000-8000



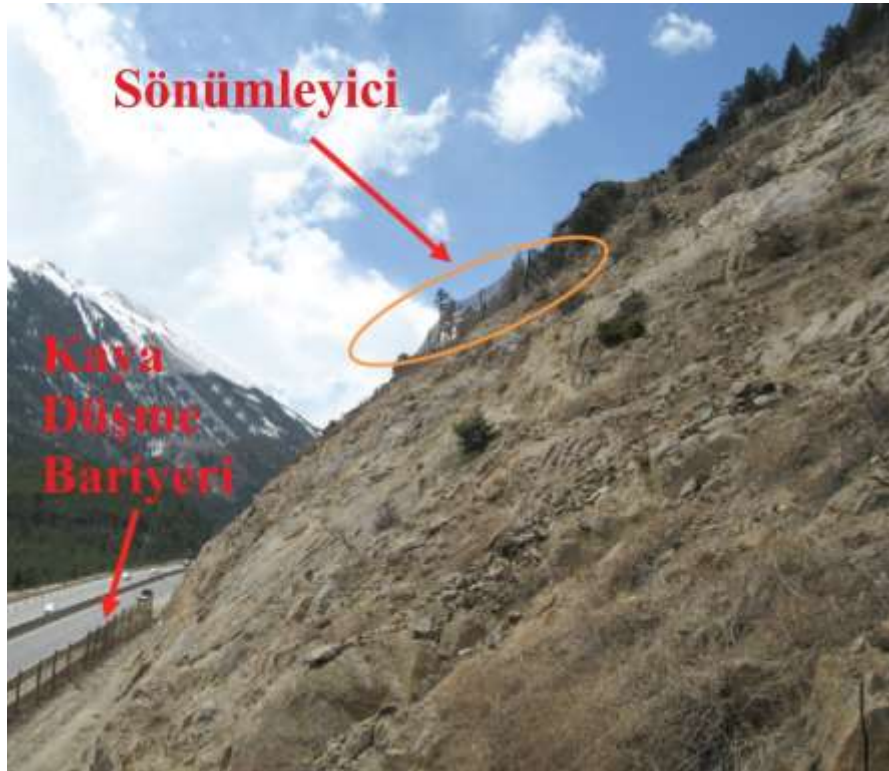
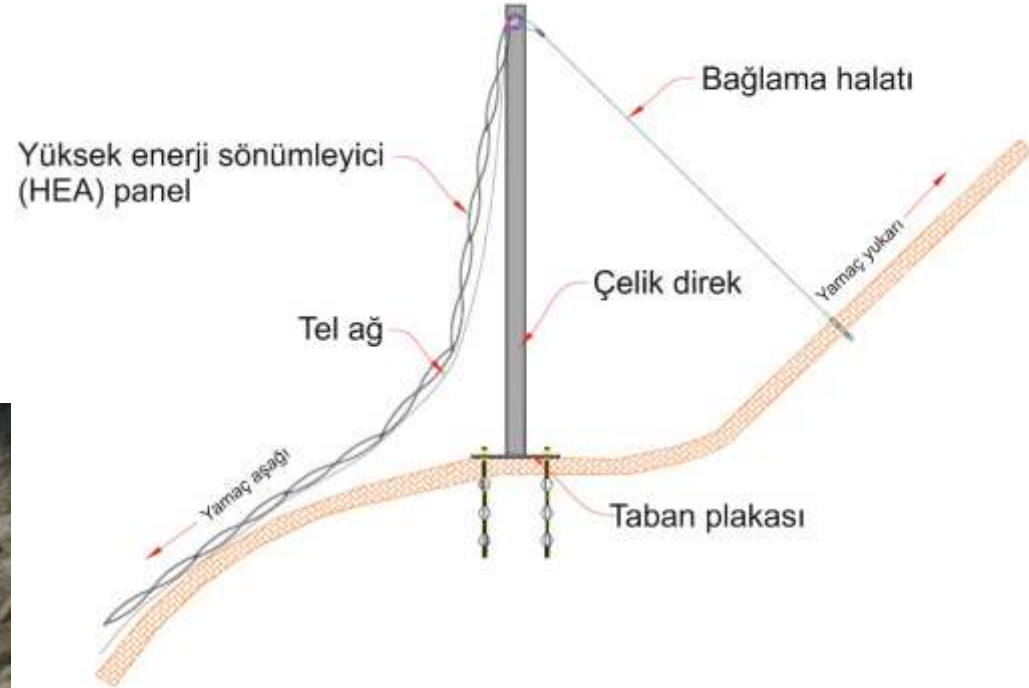
- Destek kabloları ve bağlama halatları üzerinde yer alan fren sistemleri (Geobrugg, Trumer Schutzbauten, Maccaferri)



ESNEK BARIYERLER



SÖNÜMLEYİCİ BARIYER SİSTEMİ



- Sönümleyici bariyerlerde, ağ sisteminin alt bölümü açık ve uzun olduğundan sönmüleyici bariyere çarpan blok ağın alt bölümünden geçerken ağla teması nedeniyle blok enerjisinin bir bölümü emilir.

KAYA KORUMA GALERİSİ

- Kaya atlatma yapıları veya diğer adıyla kaya düşmesi koruma galerileri, karayolu ve demiryolu gibi ulaşım hatlarında kaya düşmelerinden korunmak amacıyla betonarme olarak inşa edilen yapılardır.
- Birçok ülkede yüksek enerji kapasiteli bloklardan (1000-2000 kJ) korunmada başarılı sonuçlar sunmaktadır.
- En önemli dezavantajları yüksek maliyetli olmaları olup, yerleşim yerlerindeki geniş alanları etkileyen kaya düşme tehlikesinin önlenmesinde kullanılmaları uygun değildir.



KAYA KORUMA GALERİSİ

**Türkiye'den örnekler...
Adana-Pozantı Otoyolu**



KAYA DÜŞMELERİNDEN KAYNAKLI AFETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK TEKNİK KILAVUZ

Hazırlayanlar

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi,
Kapadokya Jeolojik Miras ve Kaya Oyma Yapıları
Araştırma ve Uygulama Merkezi



Doç. Dr. Mutluhan AKIN
Doç. Dr. İsmail DİNÇER
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ORHAN

ANKARA - 2020



KAYA DÜŞMELERİNDEN KAYNAKLI AFETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK TEKNİK KILAVUZ



Üniversite: Milli Zeminler Bürosu No: 150-0000 Çankaya / Ankara
E-Posta: info@afad.gov.tr/afad@afad.gov.tr
Telefon: 0 312 293 21 21
Faks: 0 312 298 2002

ANKARA - 2020



KAYADAN OYMA YAPILARDA MEYDANA GELEN ÇÖKMELERDEN KAYNAKLI AFETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK TEKNİK KILAVUZ



Üniversite: Milli Zeminler Bürosu No: 150-0000 Çankaya / Ankara
E-Posta: info@afad.gov.tr/afad@afad.gov.tr
Telefon: 0 312 293 21 21
Faks: 0 312 298 2002

ANKARA - 2020



TC İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

AFET ve ACİL DURUM YÖNETİMİ
BAŞKANLIĞI
ULUSAL DEPREM
ARAŞTIRMA PROGRAMI (UDAP)

KAPADOKYA (NEVŞEHİR) BÖLGESİNDEKİ
KAYA DÜŞMELERİNİN ARAZİ LAZER
TARAMASI (TLS) YARDIMIYLA 3-BOYUTLU
(3-D) ANALİZİ VE KAYA DÜŞME TEHLİKE
HARİTALARININ OLUSTURULMASI

(UDAP-G-16-03)

Mutluhan AKIN

(Haziran/2019)
ANKARA

UDAP

Dinlediđiniz için teŐekkür ederim.

