

II. DOĞAL AFETLER (NATURAL DISASTERS)

Olay, tehlike ve felaket (afet) arasında belirgin bir fark vardır. Doğal bir **olay** (jeolojik veya iklimsel olabilir) basit olarak doğal bir oluşumdur. **Tehlike** ise (jeolojik veya başka çeşit olabilir) insan yaşamı veya malına gelebilecek potansiyel tehlike veya risktir. Bir **felaket** ise tehlikenin farkına varılması ile ortaya çıkar. Tanaka (1981) aşağıdaki şekilde bir analogi yapmaktadır: "Kırsal kesimdeki (insanların yaşamadığı bir yerde) bir deprem sismik bir **olaydır**. İnsanlar bu arazi parçasını temizleyip bir fay veya bataklık kenarını yerleşime açtıklarında sismik bir **tehlikeyi** başlatmış olurlar. Bu alanda deprem meydana geldiğinde yapılar yıkıldığında ve bunun sonucunda da can kaybı oluştuğunda ise, sismik bir **felaket** ortaya çıkmış olur.

Deprem, sel baskınları vb. olaylar doğal süreçlerdir ve hiç bir tehlikeleri yoktur (bunlar milyonlarca yıldan beri olmaktadır). Ancak, insan faaliyetlerinin ve doğal olayların birlikte olduğu alanlara insanların yeteri derecede önem göstermemeleri veya bu alanları ihmal etmeleri bu tür doğal süreçlerin tehlikeli olmalarına neden olmuştur. Gelecekte insanların jeolojik tehlike olabilen jeolojik olaylardan korunmaları ümit edilmektedir. Tehlikeli olabilecek jeolojik işlevler 6 ana başlık altında toplanabilir: a)yer (toprak) kaymaları ve şişen zeminler, b)sel baskınları, c)sahil erozyonu ve tsunamiler, d)depremler, e)yer çökmesi ve f)volkanik faaliyetler.

II.1. YER (TOPRAK) KAYMALARI VE ŞİŞEN ZEMİNLER

Toprak kaymaları ve şişen zeminler dünyada büyük ekonomik zararlara neden olmaktadır. Bunlar düzenli olarak önemli derecede jeolojik maddi zararlara sebep olmaktadır (1994 yılında yaklaşık 10 milyar dolar), örnek olarak yıkıcı Northridge depremi, Andrew kasırgası gibi, bunlardan her biri yaklaşık 20 milyar dolarlık bir hasar yaratmıştır.

Kaya düşmesi (rock fall): Ana kayanın sarp (dik) yüzeyinden kaya parçalarının aşınma nedeniyle gevşek hale gelerek aşağıya düşmesi.

Akma - Krip (creep): Toprak, aşınmış kayaç veya diğer yüzeysel partiküllerin eğim etkisiyle yavaş olarak viskoz şekilde akmasıdır.

Toprak kaymaları: Toprak kayması, kaya kütlesi veya parçalarının eğim aşağı hareket etmesidir. Akmanın tersine, toprak kaymalarında bir veya birden fazla belirgin süreksizlik yüzeyi mevcuttur. Toprak kaymasının hızı 1 m/günden 300 km/saate kadar olabilir.

Çamur veya yer akması: Islak döküntülerin viskoz bir akışkan olarak eğim aşağı hareketidir.

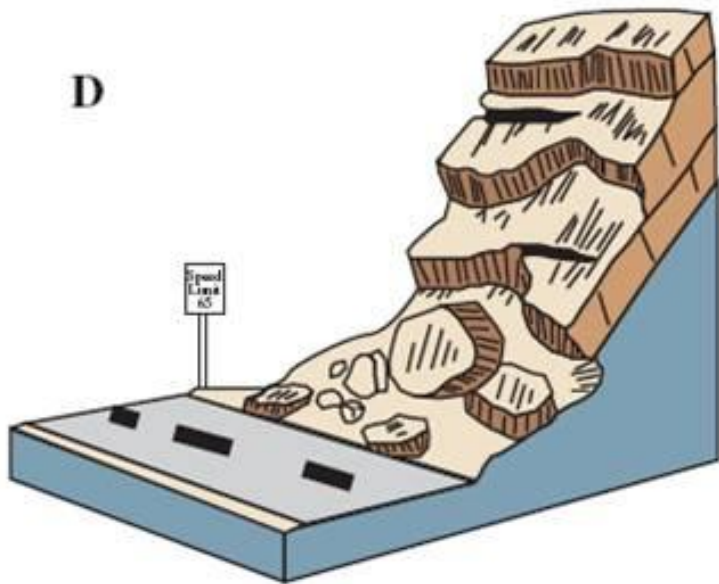
Permafrost: Kutup bölgelerinde (Alaska) devamlı olarak donmuş haldeki toprak katmanı olarak adlandırılan permafrost, aslında iki veya daha fazla bir süre boyunca donmuş olan kaya veya toprak kalınlığıdır. Aktif olan zon permafrost tablasının üzerindeki yazın çözünen kışın ise donan zondur. Çözünen aktif katman döküntülerin hareketine neden olmaktadır.

Hıza göre Sınıflandırma

Hızlı hareket	Akma hareketleri	Yavaş hareket
Heyelan	Toprak akması	Zemin sürüklenmesi
Kaya düşmesi	Çamur akması	Kaya akması
Çığ		



D



E

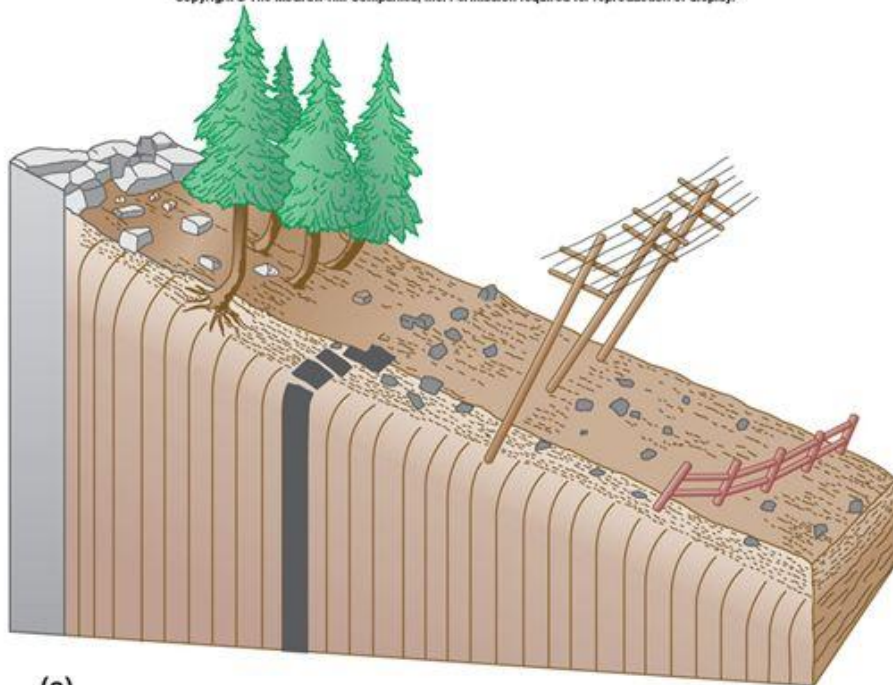


IMPORTANT CONCEPTS

CREEP

Movement down slope of soil and uppermost bedrock

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



(a)

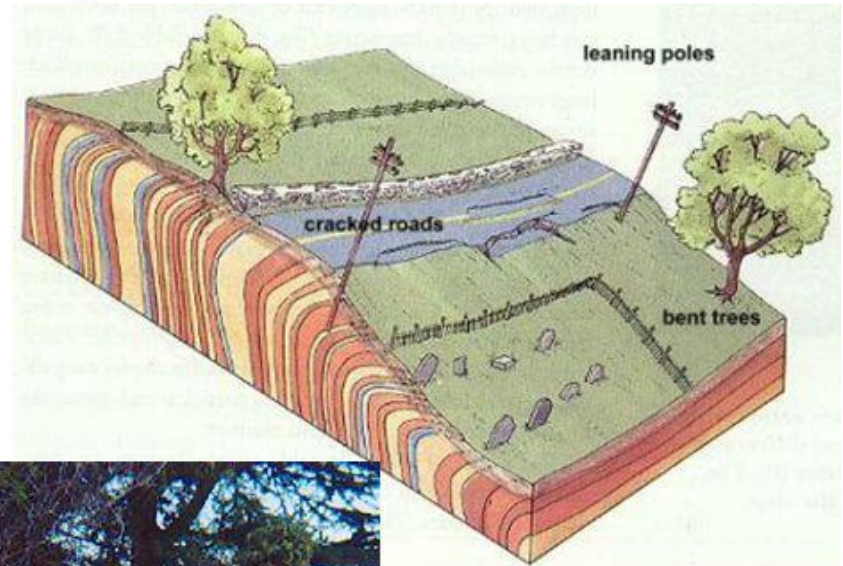
Block diagram showing the effects of creep.

Most commonly seen by its effects on telegraph poles, fences and trees.

The soil zone slips in ultra slow movement as particles shift in response to gravity

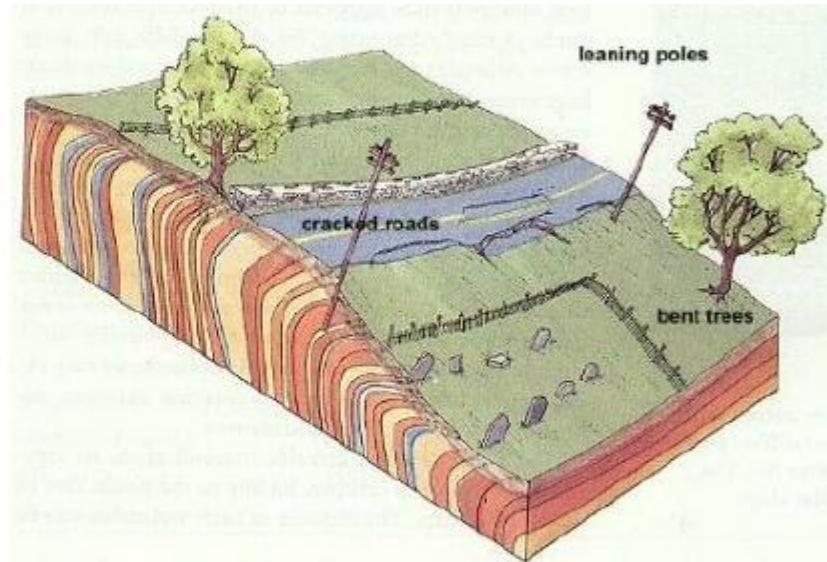
Creep

- Creep is the very slow movement of rock and soil.
 - Creep is so slow you can barely notice it.
 - Bent trees
 - Cracked roads
 - Leaning poles/fences

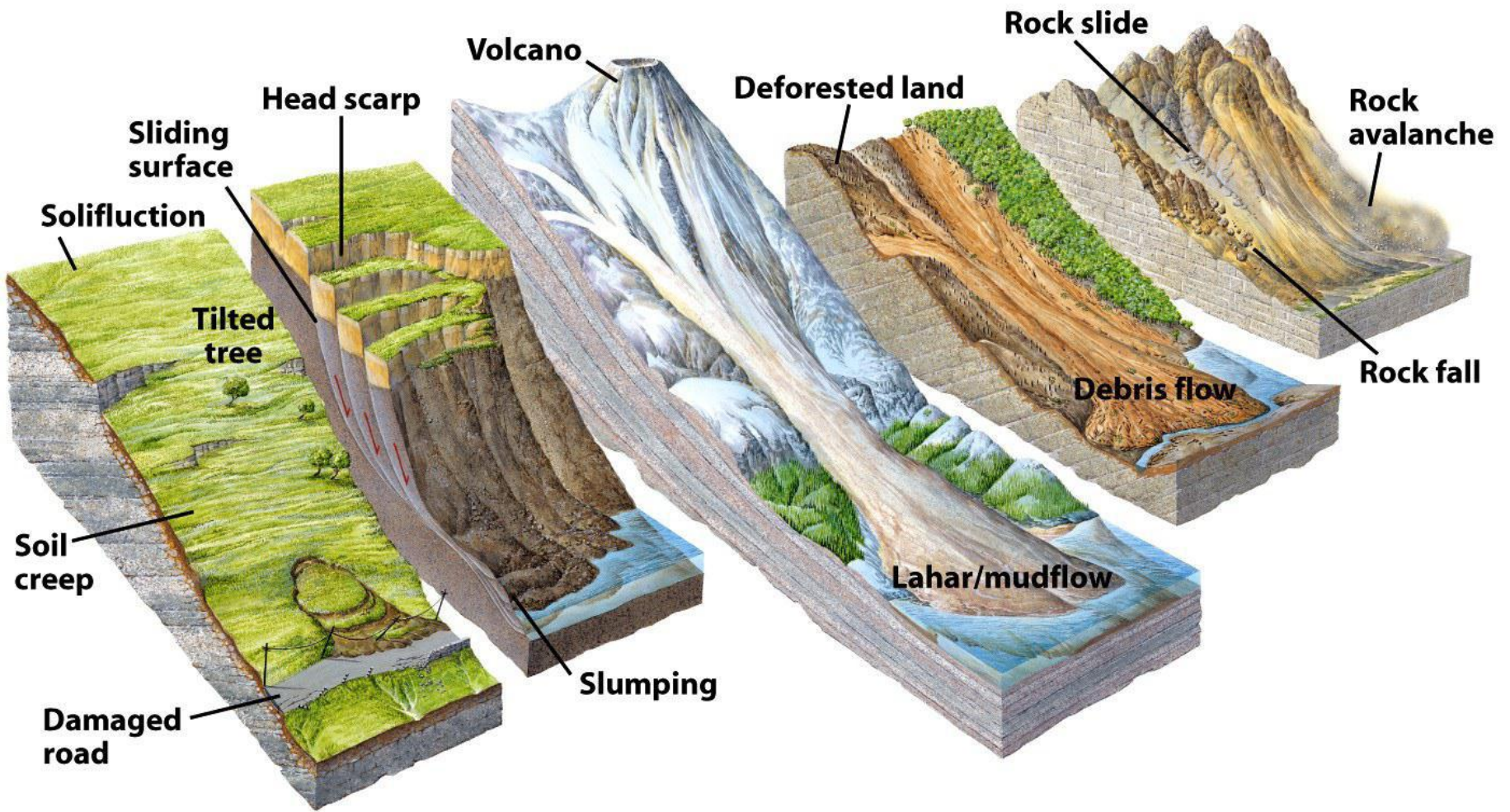


Evidence of creep:

The weight of tombstones, the response of trees on slopes to sunlight and the activities of burrowing animals, insects and tree roots. Where soil creep does occur it is probably the result of the frost heave whereby individual particles rise and fall in response to expansion and contraction due to wetting and drying on



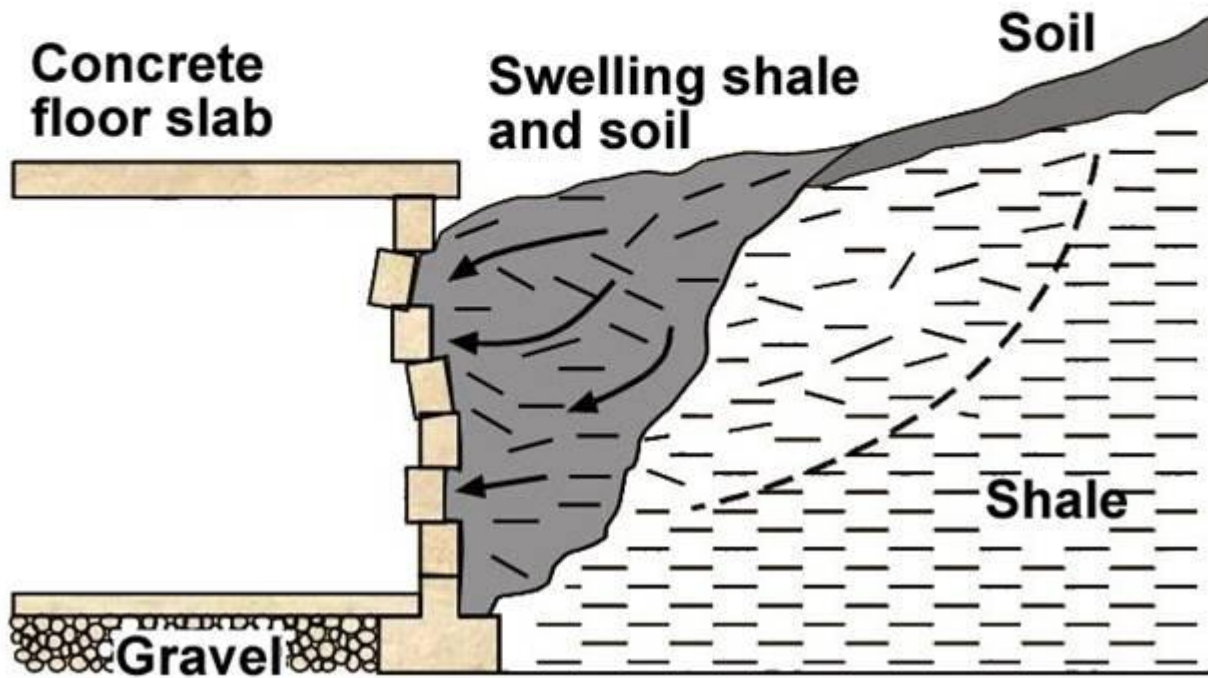




Şişen zeminlerden kaynaklanan sorunlar yer kaymalarına göre daha sinsi ve daha maliyetlidir. Şişen kil mineralleri (özellikle montmorillonit) zemin şişmesinin ana kaynağını oluşturmaktadır. Bu tür alanlarda ev, yol ve köprülerde çatlamlar beklenmelidir. Şişen bir zeminin üzerindeki dik eğime sahip alanlar toprak kaymasına da maruz kalmaktadır. Japonya dik arazi, uygun olmayan jeolojik malzeme ve yoğun yağmurlar nedeniyle toprak kaymaları ile yıllardır mücadele etmektedir. Yıllık kayıpların yaklaşık 1.5 milyar dolar olduğu sanılmaktadır. Japon hükümeti ülkedeki potansiyel toprak kayması ve şişme özelliği gösteren zeminlerin haritalarının oluşturulmasını sağlamış ve jeolog olmayan kimselerin dahi anlayabileceği bir şekilde yapılan bu haritalar planlama veya zon bölgelerinin tahsis edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Birleşik Devletlerdeki USGS (United States Geological Survey) Denver'daki (Colorado) Yerleşim Koridorunun potansiyel şişme zemin haritasını hazırlamışlardır. Bu haritada, tehlikeli alanlar farklı renkler ile belirtilmiş ayrıca az veya çok miktarda kil içeren bölgeler derecelendirilmiştir. Yapılardaki temelin iyileştirilmesi ve su kontrolü şişen zeminlerin yol açtığı zararları azaltmanın bazı yollarıdır. Belediye Meclisi veya Bayındırlık Bakanlığı'ndaki genellikle jeoloji mühendisi olmayan kişilerin başkanlık ettiği toplantılarda, jeolojik tehlike verilerinin haritada mümkün olduğu kadar basitleştirilip verilmesi olayın başkaları tarafından daha kolay anlaşılmasını sağlar.



Swelling Shale and Foundation Damage



II.2. TAŞKINLAR (FLOODS)

Birleşik Devletler gibi bir ülkede her sene sel baskınları sonucu 850 den fazla kişinin hayatını kaybettiği ve ortaya çıkan zararın yaklaşık her defasında 1.2 milyar dolar olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Her sene sellerin verdiği hasar arttıkça zararın parasal boyutu da artmaktadır. Amerikan Kongresi 1994 yılında olan California-Northridge depremi için 8.6 milyar dolar, 1993'deki orta batıdaki seller için 5.7 milyar dolar ve yine Andrew ve Iniki kasırgaları için de yaklaşık 8 milyar dolarlık bir bütçe ayrılmasını kabul etmiştir.



Çoğu alüvyon vadileri belirgin bir nehir kanalı ve bununla birlikte taşkın ovası içermektedir. Aşırı yağış sonrasında, derenin akış hızı kanalı tamamıyla dolduracak şekilde artabilir. Bu seviye "kenar dolmuş" seviyesi olarak adlandırılır. Yüksek bir deşarj suyun taşkın ovası üzerine akmasına ve sonuçta da sel baskınına neden olur. Bir nehir vadisindeki temel sel özellikleri şekilde görülmektedir. Doğal kanal bankalarını üzerleyen ve hemen yakınındaki alçak taşkın ovalarını kaplayan deşarjlar doğal bir dere sisteminde yaklaşık 2-3 yıllık bir aralıkla oluşur. Daha düşük oluşum frekansına sahip büyük seller ise taşkın ovasının geri kalan bölümünü kaplar. Taşkın ovaları Birleşik Devletlerdeki toplam arazinin %5'ni kapsamaktadır. Bu ülkedeki yeni federal taşkın ovası yönetim politikasının temel hedefi 100 yıllık taşkın ovası ile sellenen alanlardır. Tarihsel zamanlardan bu yana, seller çiftlik ve şehirlerin tamamen harap olmasına neden olmuştur. İtalya'daki Floransa şehrinin 1993 yılında Arno nehri ile, Almanya'daki Cologne şehrinin 1995 yılında Ren nehri ve ülkemizde de 1998 yılında Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Bartın ve dolayının Bartın çayı ile sel altında kalması örnek olarak verilebilir. İstanbul'da yıllardır bir türlü iyileştirilemeyen Alibeyköy deresinin neden olduğu tahribat ise bu bölgede yaşayan insanları bezdirmiştir. Özellikle İstanbul Alibeyköy'deki çarpık yerleşme evlerin ve iş yerlerinin her yıl su altında kalmasına sebep olmaktadır. Belediyenin yapacağı tek şey bütün bu yerleşim birimlerini en kısa sürede ortadan kaldırmaktır.

Seller her an oluşabilir. Ancak bazılarının oluşması yılın belirli dönemlerine rastlar. Örneğin, Mısır'daki Nil nehri yaz aylarında düzenli olarak sel yapmaktadır. Birleşik Devletlerdeki Kayalık dağlarındaki nehirler ilkbahar aylarında California sahil kesimlerindeki nehirler ise kış aylarında sel yapmaktadır.

Tekrarlanma aralığı kavramı kullanılarak sel frekansı istatistiksel olarak değerlendirilebilir.

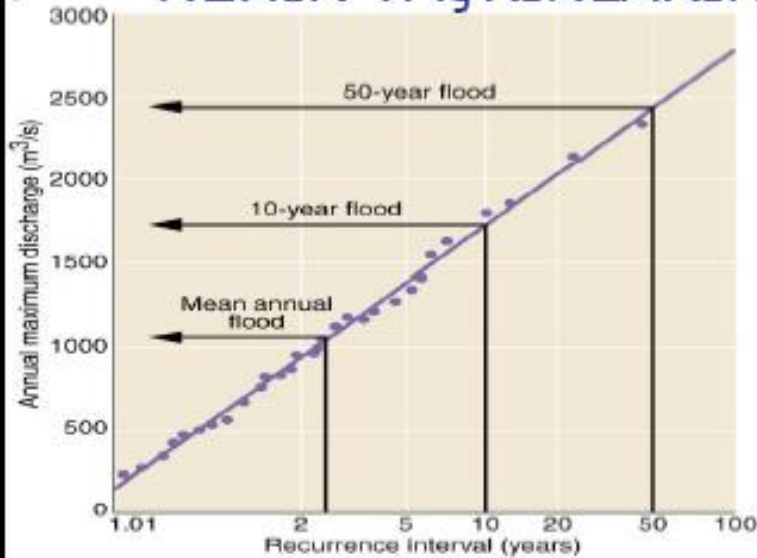
$$T = \frac{N + 1}{M}$$

T = tekrarlanma aralığı,

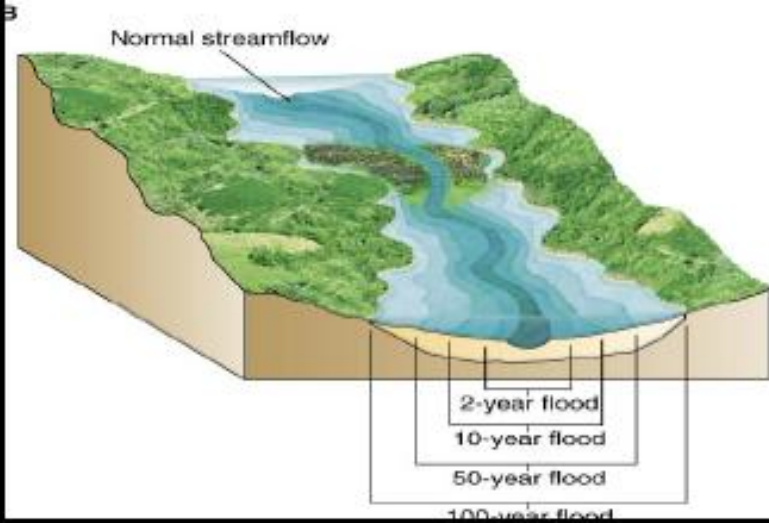
N = olay sayısı,

M = sıra derecesi.

NEHİR TAŞKINLARIN OLUŞMA SIKLIĞI



- Taşkının tekrar oluşma sıklığı (R) :
 - $R(\text{yıl}) = \frac{N+1}{M}$
- $M =$ Herbir akışın sıralamadaki yeri
- $N =$ Rasatın tutulduğu yıl sayısı



- Rasat kayıtları ne kadar uzun olursa taşkın oluşma sıklıklarını o kadar doğru tahmin edilebilir.
- Birçok nehir üzerinde yapılan çalışmalar nehirin her 1.5-2 yılda bir kanalı doldurduğu ve taşkın düzlükleri üzerinde aktığını göstermiştir.

Bu metot, ölçülmüş deşarj verilerini esas almaktadır. Y eksenini deşarj alınmak suretiyle, Tablodaki veriler log-log veya yarı logaritmik bir kağıda işlenebilir (deşarj aritmetik ölçek olacak şekilde). Bu eğri üzerindeki yıllık sellerin aritmetik ortalaması yaklaşık 2.3 yıla tekabül eden tekrarlanma aralığındadır. Noktaların yerleştirilmesini takiben, tekrarlanma aralığı eğrisi noktaların gerisine kadar uzatılabilir. Bu tahminleri doğru olarak yapmanın başka sağlıklı yolu yoktur. Veri seti düz bir çizgi veya eğri üzerinde oluşabilir. Eğri daha iyi sonuç vermektedir. 50-yıl seli yaklaşık $630 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik bir deşarja (akışa) karşılık gelmektedir. Sadece bir olağandışı sel içeren nehir akım kayıtlarının değerlendirilmesi oldukça zordur. Çünkü, büyük seller geri kalan veri noktaları ile bir sıra meydana getirmeyebilir. Bu da 100-yıl selinin tahmini için bir uzaklaşmaya yol açabilir. Bir tane büyük sel akımı içeren sınırlı sayıdaki sel verisinin ekstrapolasyonu tam bir baş ağrısıdır. Az sayıda kayıt tutulan büyük sellerin tekrarlanma aralığını doğru olarak tahmin etmek çoğu durumda mümkün değildir. Yukarıda açıklanan teknik sadece tek bir büyük seli kullandığından, tekrarlanma aralığının belirli bir şiddete sahip bir selin yıllık maksimumda oluştuğu bir aralığa karşılık geldiği akıldan çıkarılmamalıdır. Bu metot, en uygun olarak Mississippi, Nil ve Mekong gibi nehirler için kullanılır. Su yılı ne olursa olsun, belirli bir aralık içindeki büyük akım olaylarını sel olasılığına göre sıralamak daha da uygun olur.

100-yıl selinin herhangi bir yıl için istatistiksel olarak oluşma olasılığı %1'dir ($P=0.01$). Bu selin belirli bir yılda oluşmama olasılığı ise %99'dur. Binominal bir olasılık dağılımı gösteren bir olayın oluşma olasılığı, $P(x)$, aşağıdaki formül ile açıklanabilir:

$$P(x) = \frac{n!P^x(1-P)^{n-x}}{x!(n-x)!}$$

n = deneme sayısı,

x = başarılı olay sayısı,

P = her bir denemedeki başarı olasılığı.

Örneğin, 100-yıl selini ele alırsak, bu şiddetteki (veya daha büyük) bir selin 100 yıl boyunca oluşma olasılığı nedir? İlk bakışta, bunun oluşma şansının %100 olduğu görülebilir. fakat hiç bir hidrolojik fenomenin %100'lük oluşma şansı yoktur. Yukarıdaki denklemi kullanarak, $P=0.01$, $n=100$ yıl ve $x=0$ olay;

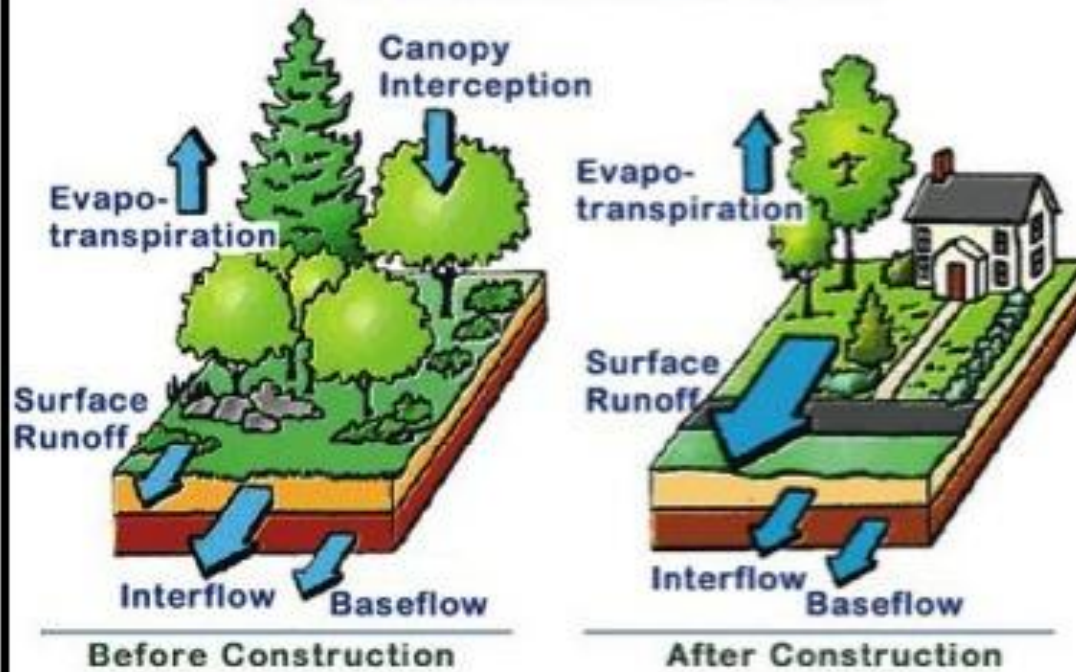
$$P(x) = \frac{100!(0.01)^0(1-0.01)^{100-0}}{0!(100-0)!} = 0.366 = \%36.6$$

Oluşmama olasılığı %36.6 olduğundan, bir veya birden daha fazla 100-yıl selinin 100 yıl boyunca oluşma olasılığı %63.4'tür. Benzer bir yaklaşımla, 500-yıl selinin 100 yıl boyunca oluşma olasılığı da %18.1 olarak bulunur.

Şehirleşmenin yüzey akışı üzerine olan etkisi

İnsanoğlu deşarj karakteristiklerini ve sediment yükünü değiştirmek suretiyle bir nehrin hidrolik rejimini etkileyebilir. 19. yüzyılda, California Yuba nehrindeki plaser altın madenciliği sırasında, çakılların yıkanmasında kullanılan nehir suları düzensiz bir şekilde kaba çakıllarla (sediment) beraber dereye geri verilmesi, tarım arazilerinin azalmasına ve böylece sel olasılığının artmasına neden olmuştur. Yuba nehri yakınındaki Marysville kasabasının setleri bu kadar yoğun sediment alımını (0.3 m/yıl) karşılamaya yeterli olmadığından, kasaba birçok kez sel basmasına maruz kalmıştır. Gelişmiş ülkelerdeki nehirler sadece şehir kanalizasyonu ve sanayi atıklarından değil, şehirleşmenin diğer etkilerinden de (doğal alanların ve ormanların doğal rekriyasyon ve yerleşim alanlarına açılması vb) etkilenmektedir. Şehirleşme deşarjın birkaç kat kadar artmasına yol açmaktadır. Şehirleşme nedeniyle toprak içine daha az su süzülecek ve bu da yer altı su tablasının düşmesine yol açacaktır. New York Long Island'da, şehirleşme ve yer altı suyunun pompalanması sonucu oluşan etkiler yeraltı su tablasının düşmesine yol açmış ve bu nedenle, yerel yönetimler suyu kullanmak isteyenlerden yapay yolla su beslenme alanları oluşturmalarını öngörmüştür. Dünya genelinde, karalardan okyanusa doğru olan sediment taşınmasının 14 Gt/yıl olduğu sanılmaktadır. Günümüzdeki 24 Gt/yıl olan bu değer ise madencilik, tarım ve yapılaşma gibi insan etkileriyle oluşan artan erozyon nedeniyledir.

Local Hydrologic Cycle



Barajlar

Barajların yapılma sebepleri, sel-kontrol, sulama, elektrik üretimi, rekreasyon, veya bunların kombinasyonları olabilir. Günümüzde, özellikle Birleşik Devletlerde, baraj yapımı çevreciler ve mühendisler tarafından aşırı bir şekilde eleştiri almaktadır. Birleşik Devletlerde baraj yapılacak en müsait alanlar topoğrafya ve ekonomi göz önüne alınarak saptanmaktadır. Hiçbir kolu denize ulaşmayan ve üzerinde birçok baraj yapılan Colorado nehri buna bir örnek olarak verilebilir. Yeni yapılacak barajların faydaları (sulama, rekreasyon, elektrik üretimi) azalmakta ancak barajların yapım maliyetleri ise gittikçe artmaktadır (düşük arazi maliyeti olan ideal topoğrafik alanların bulunması). Genel olarak, fayda/maliyet oranı (F/M) 1'den büyük olduğunda, baraj yapımı ekonomik olmaktadır. Günümüzde, potansiyel baraj alanları için F/M oranları ancak birkaç baraj projesinin yapılmasının maliyet-etkin olduğu bir noktaya gelmiştir.



Çevre Etkileri

Barajların çevreye olan negatif etkileri şu şekilde sıralanabilir:

*Barajlar yeryüzündeki en üretken topraklar olan verimli alüvyon toprakları azaltır. Örneğin, Çin'deki Yangtze nehri üzerinde kurulacak olan Three Gorges barajı dünyanın en büyük barajı olarak gösterilmektedir. Bu barajın yüksekliği 185 m ve su hacmi ise 40 km³ olacaktır. Barajın yapım amacı elektrik üretimi ve vadideki sel tehlikesini azaltmaktır. Ancak bunun için yaklaşık 24 km² lik bir alan su altında kalacak ve 1 milyon insan evlerinden olacaktır (Türkiye'deki Hasankeyf de buna örnek olarak verilebilir).

*Barajlar er ya da geç alüvyon ile dolacaklardır.

*Barajlar bütün selleri önlemeyebilirler. Rezervuarlara ve sel kontrol yapılarına yapılan büyük yatırımlara rağmen, seller hala Aşağı Mississippi vadisinde zarara sebep olmaktadır. Rahn (1981)'e göre, sel önleme tesislerine rağmen, Birleşik Devletlerde her yıl sellerden ortaya çıkan zarar 1 milyar doların üzerindedir.

*Kurak bölgelerdeki barajlar önemli miktarda suyun buharlaşmasına yol açmaktadır. Örneğin, Colorado nehri üzerinde kurulan Glen Canyon barajındaki Powell rezervuarı Colorado nehrinin %9'nu buharlaştırmakta ve arta kalan su erimiş haldeki tuzlarla zenginleşmektedir. Barajı besleyen Colorado nehrinin ortalama tuzluluğu rezervuara girmeden önce 50 mg/l olup barajın olduğu alanda ise 900 mg/l ye çıkmaktadır. Tarım sulamasından geri verilen su ile birlikte, Meksika'ya girdiği noktada Colorado nehrinin tuzluluğu 1500 mg/l ye kadar varabilmektedir. Dünyanın birçok yöresinde tuzlu sulama suyu, zayıf drenaj ve iyi yönlendirilmemiş sulama ile ilişkili olan toprak tuzluluk sorunları, dünyada yaklaşık 40.000 km²'lik bir alanı etkilemekte ve bu da yeryüzünde sulanan arazilerin yaklaşık 1/3'nü oluşturmaktadır.

*Barajlar yıkılabilir.

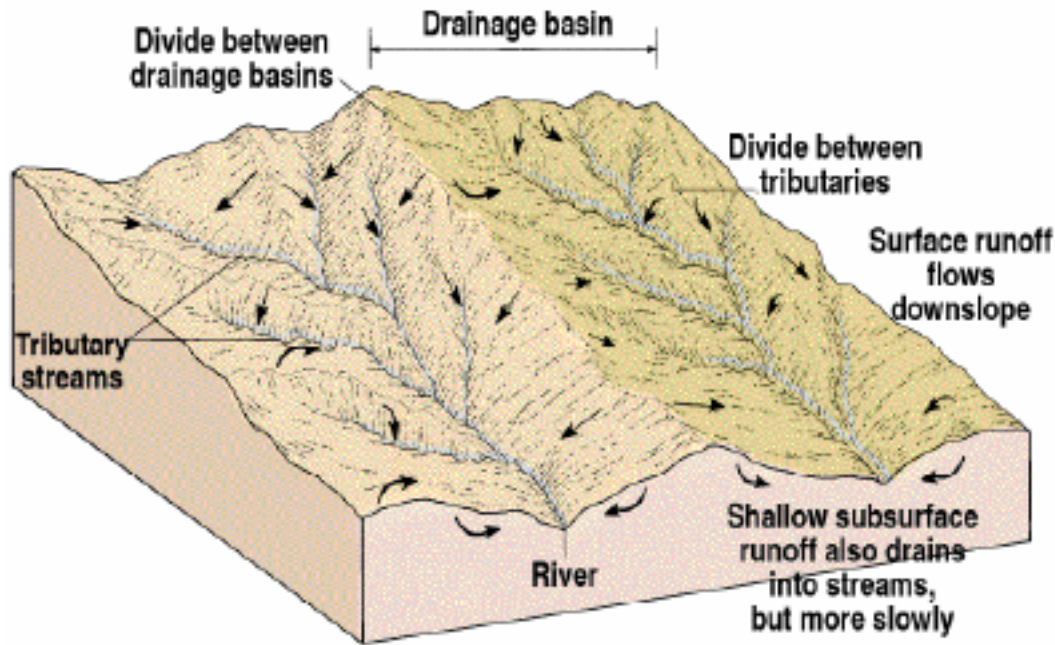
*Barajlar su sızdırabilir. Mısır'da 1964 yılında yapılan Nasır barajı Nubian kumtaşına yılda 1.5x10⁶ m³ su sızdırmaktadır.

*Barajlar beklenmedik fiziksel değişimlere yol açabilir. Örneğin Grand Canyon'da kum setleri kamp olanaklarını sınırlamaktadır.

DRENAJ HAVZASI, SU TOPLAMA HAVZASI

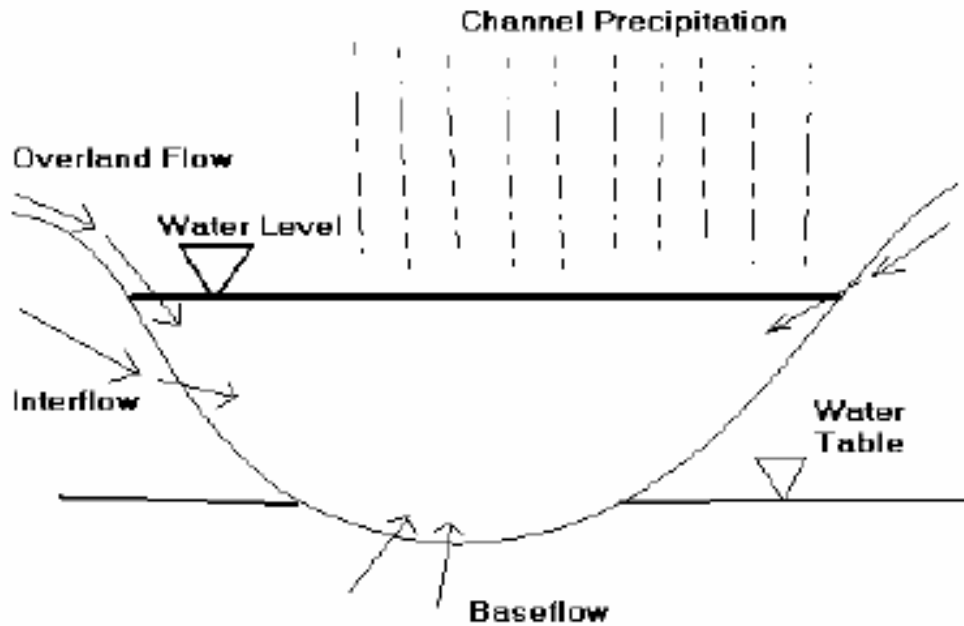
Carla W. Montgomery, Environmental Geology, 5th edition. Copyright © 1998 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Streams and their Drainage Basins




- Drenaj havzası: Akarsuların üzerinde aktığı ve yağmur yağışlarından kaynaklanan yüzey akışını toplayan alana denilmektedir.
- Akım tipleri : yayılmış akım (sheet flow), kanal akımı (channel flow)

Akarsu Akımı



- **Interflow:** Suyun doymun zona ulaşmadan sığ toprak seviyesi boyunca olan hareketi
- **Overland flow:** surface runoff –(Yüzey Akışı)
- **Baseflow (Taban akımı):** Yeraltısuyundan akarsuya doğru olan akım



Akarsuyatağının büyüklüğü kontrol eden faktörler

- Drenaj havzasının büyüklüğü
- İklim
- Bitki örtüsü
- Bölgesel jeoloji

Akarsu Akımını Kontrol Eden Faktörler

- Aşağıdaki faktörler bir akarsu akımının genel davranışını kontrol etmektedir:
 - **Eğim** (meter/kilometer).
 - **Akarsu Kesit Alanı** (genişlik x ortalama derinlik) (m^2)[A]).
 - **Ortalama akarsu hızı** (m/sn) [V]).
 - **Debi** (m^3/sn) [Q]).
 - Akarsu yatağında bir noktadan belirli bir zaman aralığında geçen su miktarı
 - **Akarsu yükü** (kilogram/ m^3).
 - Sudaki çözünmüş bileşenler akarsu akımının genel davranışını etkilememektedir.



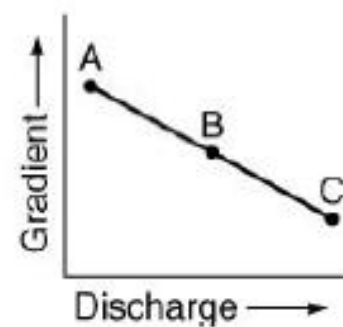
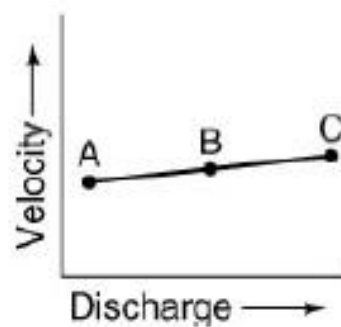
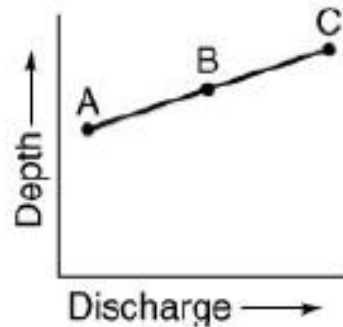
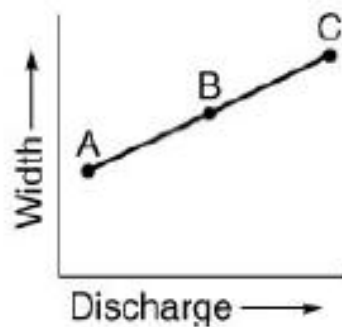
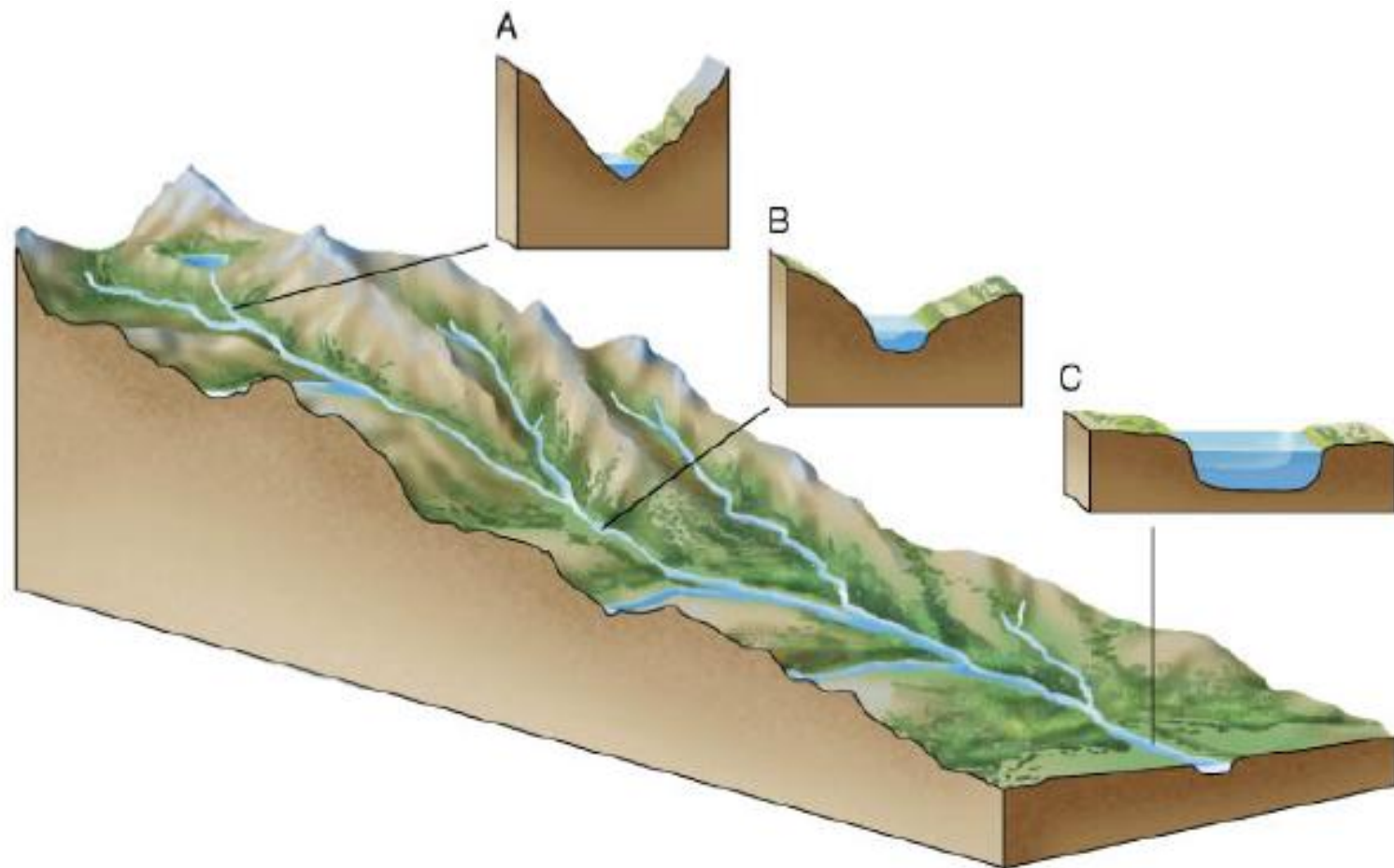
Debi, Hız, ve Kanal Şekli

$$Q=A \times V$$

Q: Debi

A: Akarsu kesit alanı

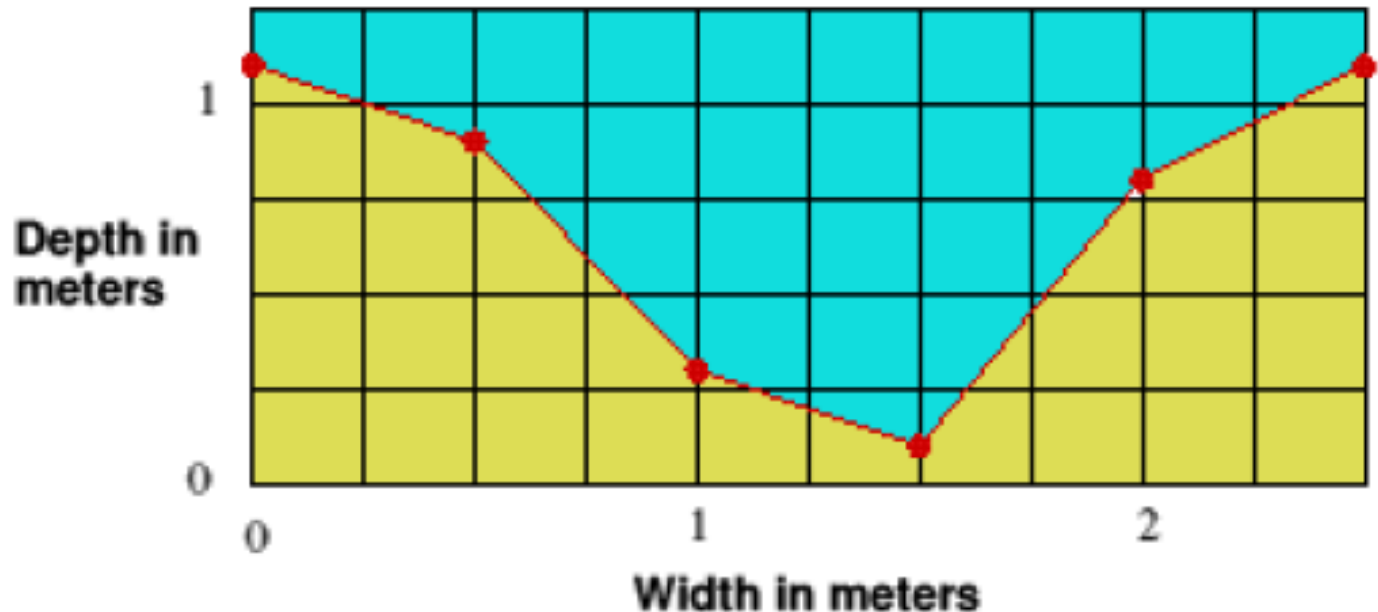
V: Ortalama hız



Akarsuyun Debisini Nasıl Ölçebiliriz?

$$\text{Debi} = \text{Hız} \times \text{Kesit Alanı}$$

Kesit Alanının Hesaplanması ile başlayalım





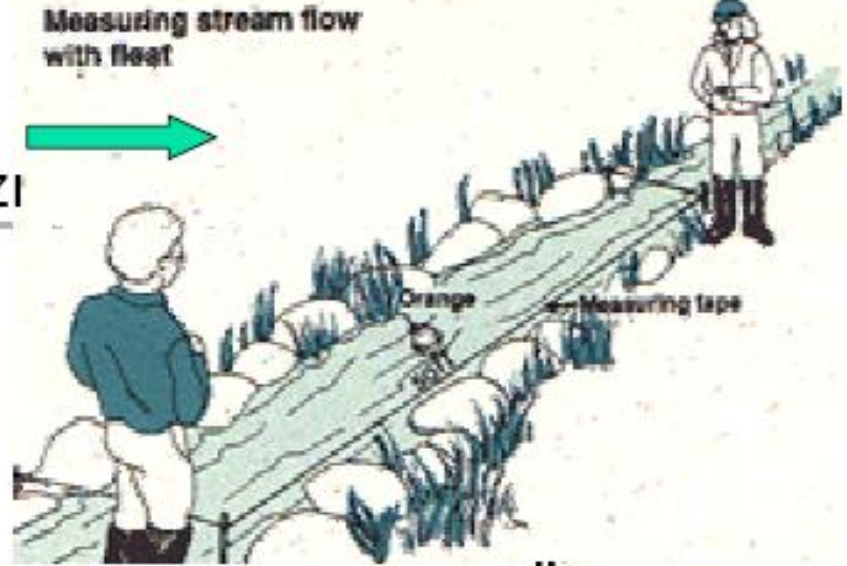
Akarsu'yu eşit uzunlukta kısımlara bölerek derinliği ölçmek



Akarsuyun hızını nasıl ölçeriz?

En Basit Yöntem

$$\text{Ortalama Hız} = 0.8 - 0.9 * \text{Yüzey Hızı}$$

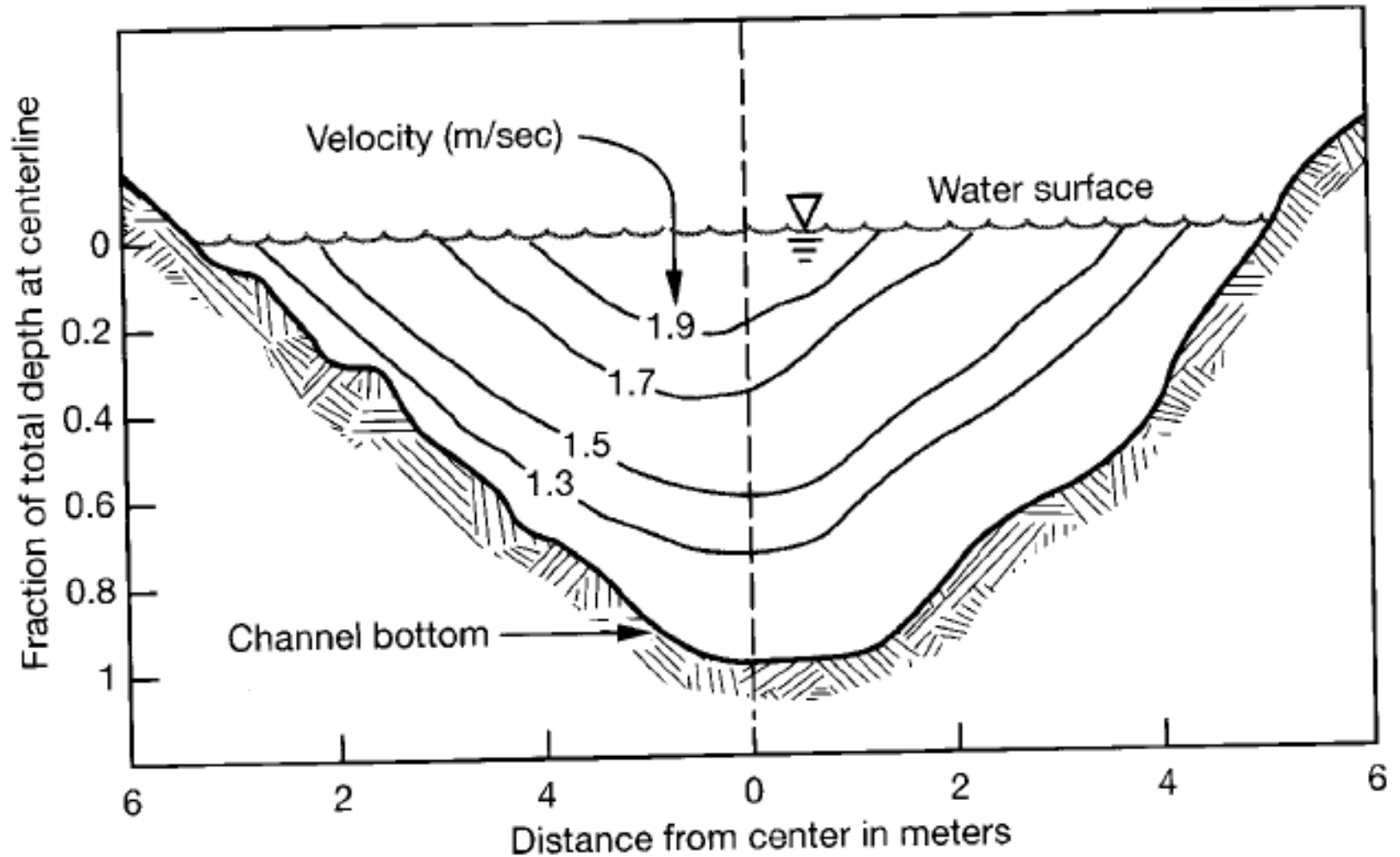


Akim Ölçer



Ortalama Hız 0.6*toplam derinlikte

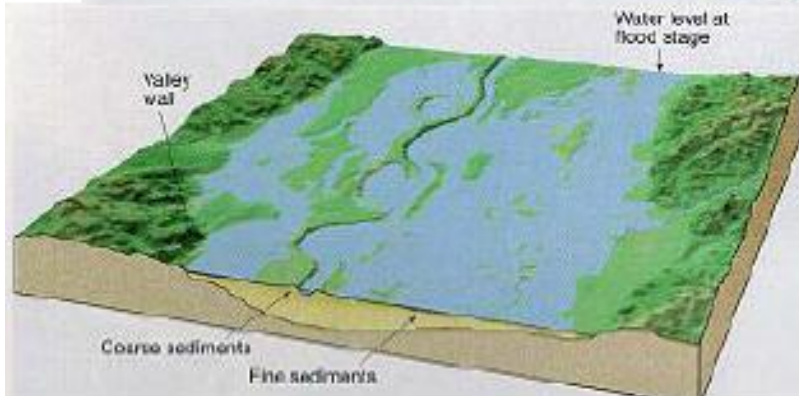
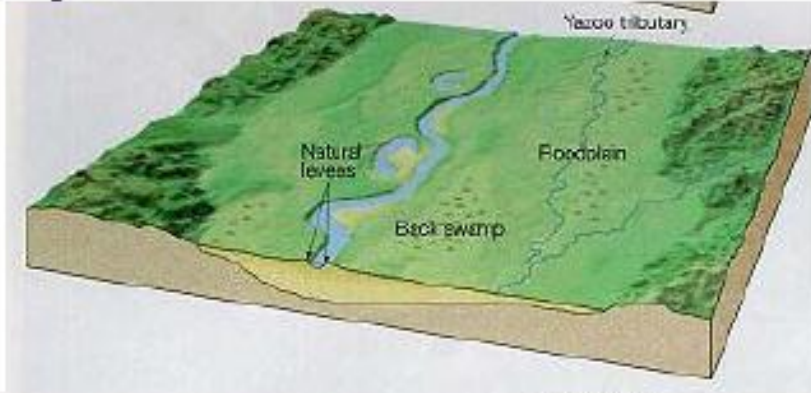
Akarsu Hızı



Yatay Olarak – Orta noktada Maksimum

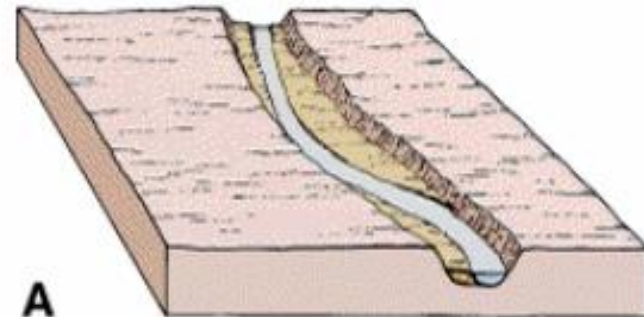
DüŖey Olarak – Toplam Derinliğin üçte biri derinlikte maksimum

NEHİR TAŞKINI NEDİR?

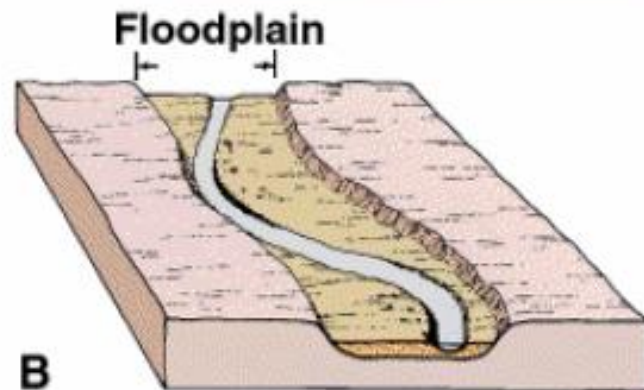


- Nehir yatağının dışında meydana gelen akışa denilmektedir.
- Taşkın seviyesi (flood stage): Nehir akışının yatağın dışına taşıdığı su yüzeyinin belli bir lokal referans noktasından olan yüksekliğidir.
 - Referans noktası: deniz seviyesi olabilir. Bir çok yerde ise referans noktası lokal rasat istasyonlarıdır.
- Taşkın debisi (flood discharge): suyun nehir kanalının dışına taşıdığı debi (ft^3/s ; m^3/s)

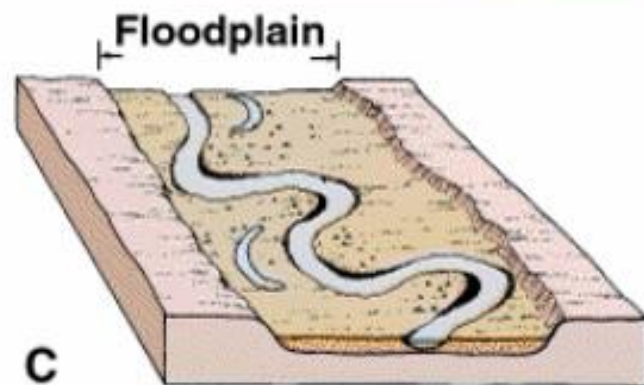
(A) Initially the Stream Channel is Relatively Straight



(B) Small Bends Enlarge and Migrate Over Time



(C) Broad, Flat Flood Plain is Developed Around Stream Channel

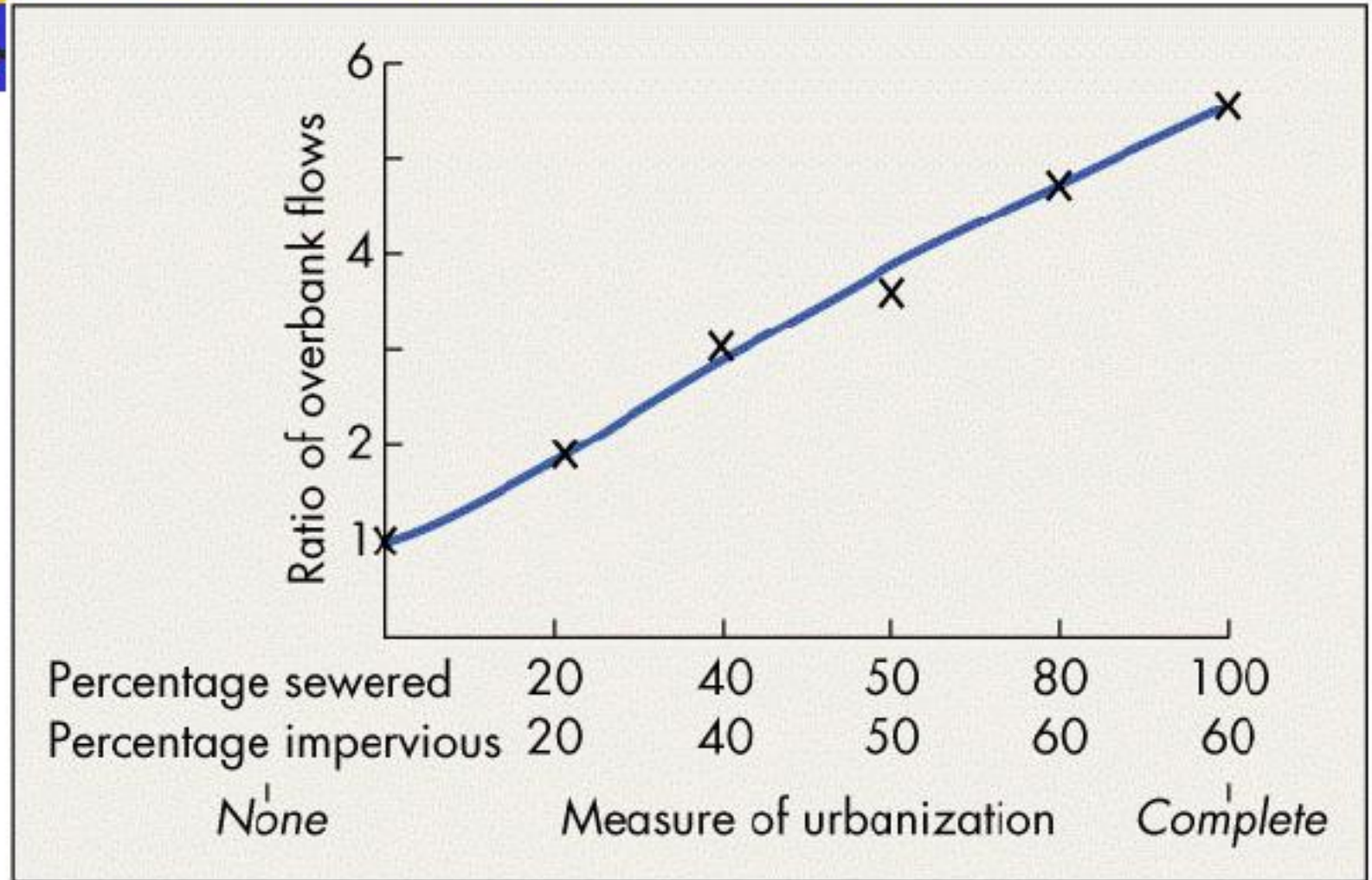




Taşkın Türleri

- Taşkınların belli özelliklerine ve oluşum sebeplerine bağlı olarak:
 - Stormwater Taşkınları: küçük lokal su drenaj bölgelerinde (özellikle şehirlerde)
 - Ani Taşkınlar: çok hızlı gelişen taşkınlar (e.g. Yağmur fırtınaları)
 - Nehir Taşkınları: Nehir ve çaylar boyunca (günler-aylar sürebilir)
 - Kıyısal Taşkınlar: Kıyı şeridi boyunca (rüzgar ve dalgaların etkisi ile)

Şehirleşme ve Taşkın



Diğer Sel Kontrol Yapıları

Setler: Sel ile derenin su seviyesi yükseldikçe ve setleri üzerinden akmaya başladıkça, derenin akma hızı kenarındaki bitki örtüsü nedeniyle azalır. Bunun sonucunda, bazı kırıntılı (klastik) yükler (sedimanlar) dışarıya doğru düşerek doğal bir set oluştururlar. Doğal setler kanalın hemen yakınında olup genellikle kum ve siltten oluşurlar.

Seli kontrol etmenin yaygın bir metodu da doğal set üzerinde bir dayk oluşturmaktır. Bunun amacı derenin kendi kanalı içinde akmasını sağlamaktır. Milattan Önce 600 yıl önce, Çin'deki Sarı nehir boyunca çiftçiler dayklar yapmışlardır. Birleşik Devletlerde yaşayan insanlar yapay olarak set yüksekliklerini arttırmışlardır ve günümüzde birçok nehir 10 m yüksekliğinde toprak veya beton setlere sahiptir. Ancak özellikle Birleşik Devletlerde aşağı Missouri nehri, yukarı Mississippi ve Illinois nehirlerinin neden olduğu seller yapay olarak yapılan setleri parçalamışlar ve büyük maddi zararlar meydana getirmişlerdir. 1993 yılında St. Louis şehrinde Mississippi nehri pik noktası yapmış ve 13 m lik bir yüksekliğe ulaşmıştır. Bu sırada nehrin taşkın ovasındaki genişliği bir kenardan diğerine yaklaşık 13 km idi.



Kanal İyileştirmeleri: Sellerden mühendislik yöntemleri kullanarak korunmanın en uygun yolu kanal yapmaktır. Bu da, taşkın ovası boyunca derin ve düz bir çukur kazılmasından ibarettir. Kanal yapımı sel baskınlarının şiddetini ve etki süresini lokal olarak azaltır. Kanallar sel sularının süratli bir şekilde akmasını sağlar ve pürüzlülüğü azaltır. Bu yüzden, akım hızı artar. Kanal oluşturma aynı zamanda ekolojik bir felakettir. Çünkü kanal yapılmasıyla, doğal olarak mecrasından akan menderesli bir nehir buldozer tarafından açılmış dikdörtgen veya daha değişik şekillere sahip bir çukur içinde akmaya zorlanmaktadır. Bu da, nehir içindeki doğal hayata büyük ölçüde zarar vermekte ve özellikle alabalıkların yok olmasına neden olmaktadır.



Sel taşkın yönetimi: Seller insanoğlunun karşılaştığı en büyük doğal afetlerden biridir. Sellerin neden olduğu zararlar sadece günümüzde değil tarihsel devirler boyunca da insanların başına dert olmuştur. 1887 yılında Sarı Suyun taşmasıyla yaklaşık 900.000 kişi hayatını kaybetmiştir, 1911'de ise Yangtze nehrinin taşması sonucunda ise 100.000 kişi ölmüştür.

Baraj talepleri sel sorunlarının azaltılması amacıyla gündeme gelmiştir. Birleşik Devletlerde meydana gelen seller ve bunu takip eden baraj yapım faaliyetleri, başka bir önemli sorunun gündeme gelmesine neden olmuştur, bu da, barajların taşkın ovalarının tam içine yapılmalarını önlemektir. Sel taşkın yönetiminin temel prensibi, yerleşim birimlerinin veya diğer yapıların sel taşkın ovalarının içinde yapılmayacak şekilde tasarlanmasıdır. Arazi, sellerden en az etkilenecek şekilde tarım alanları, parklar, tren yolları, otobanlar ve sınırlı ticari binaların inşasında kullanılabilir. Taşkın ovası sınırlarının kesin şekilde belirlenme olanağı yoktur. Ancak, 100-yıl seli, bu sele ait deşarjın ve bu deşarj değerinin akış alanının kesitine ulaşan varsayılmış ortalama bir hıza bölünmesi ile hesaplanabilir. Selin etkisi altında kalan arazi vadinin topoğrafik profilleri yardımıyla belirlenebilir. Genellikle, 500-yıl seli ile etkilenen alan jeologların Kuvaterner alüvyon olarak haritalandırdıkları alana karşılık gelmektedir. Taşkın ovası yönetiminde alınan önlemler arasında bu alandaki yerleşim birimlerinin ortadan kaldırılarak bunların yerine, Güney Dakota'da olduğu üzere, golf alanları, futbol ve beysbol sahaları, tenis kortları, bisiklet parkurları ve park yürüme alanları açmak olmalıdır.

II.3. SAHİL EROZYONU VE TSUNAMİLER (COASTAL EROSION)

Temel Sınıflama:

Denizin karaya göre pozisyonu göz önüne alındığında, kıyı çizgilerinin sahil jeomorfoloji sınıflaması geleneksel şekilde iki çeşit olmaktadır. Karanın çöktüğü ve/veya denizin yükseldiği ve karayı üzerlediği yerlerde kıyı çizgisi su altında kalmakta, karanın ilerlediği ve/veya denizin çekildiği yerlerde ise kıyı çizgisi su üstüne çıkmaktadır.

Plajlar: Dalgalar sahil boyunca güçlü bir erozyon işlevi sürdürürler. Kum, çakıl ve blokları yanına alan dalgalar sahili içeri kesimlere kadar oyarlar ve sonunda da deniz yarlarını oluştururlar. Olağandışı fırtına dönemlerinde, dalgalar deniz yarlarının tabanına ulaşabilir. Kışın oluşan fırtınalar önemli derecede erozyon ve sahil hasarları oluşturur. Dünyadaki okyanus plajların %90'ı kum ile örtülüdür. Kum ve diğer plaj malzemesi ana kayadan koparılmış teras üzerinde birikerek dalga-platformunu oluşturur. İnce taneli malzemedен oluşan bir plajın eğimi kaba taneli malzemedен oluşan plajın eğiminden daha azdır. Plajlar çok nadir olarak yüksek enerjili ortamlarda oluşurlar. Bunun yerine, kumlar dalga ve akıntılar ile körfez gibi düşük enerjili ortamlara taşınırlar. Kıyı boyunca herhangi bir alanı etkileyen dalga enerjisinin şiddeti kıyı çizgisinin şekli ile doğrudan ilişkilidir. Yarımadaçıkların maruz kaldığı dalga enerjisi körfezlerden daha fazla olduğu açık bir gerçektir.



Akıntı ve gelgit: Uzun kıyı akıntıları dalgaların kıyıyı eğimli olarak dövdüğü yerlerde oluşur. Dalga kırıldıkça, su ve sedimanlar plajı ilerleyen dalga yönünde eğik bir şekilde döverler ancak su denize geri dönerken kıyı çizgisine dik olarak geri çekilir. Belirli bir süre sonra, ortaya çıkan taşıma yönü kıyı çizgisine paralel olur. Uzun kıyı akıntısı olarak adlandırılan bu akıntı çok kuvvetli bir taşıma unsurudur. Uzun kıyı akıntısı ile hareket eden sedimanlar uzun kıyı sürüklenmesi olarak isimlendirilir. Dikkatsiz sörfçüler kendilerini sörfte başladıkları yerin çok uzağında bulurlar.

Ayın yerçekimi etkisiyle oluşan okyanus gelgitleri, güneşin ay ile aynı hizaya geldiği zamanlarda beklenmedik şekilde yüksek olabilir (bahar gelgiti). Basınç değişimi ve şiddetli rüzgarlar gibi atmosferik fenomenler de olağandışı yüksek gelgitlere sebep olabilmektedir. Michigan gölünde birkaç saat süren rüzgar 3 m'lik bir gelgiti oluşturabilmektedir. Sahilin fiziksel şekli de beklenmedik gelgitlerin oluşmasına neden olabilmektedir. Örneğin, Fundy körfezindeki (Nova Scotia) gelgit akıntıları ile ilişkili 20 m yüksekliğindeki gelgitler elektrik üretiminde kullanılabileceği ortaya konmuştur.

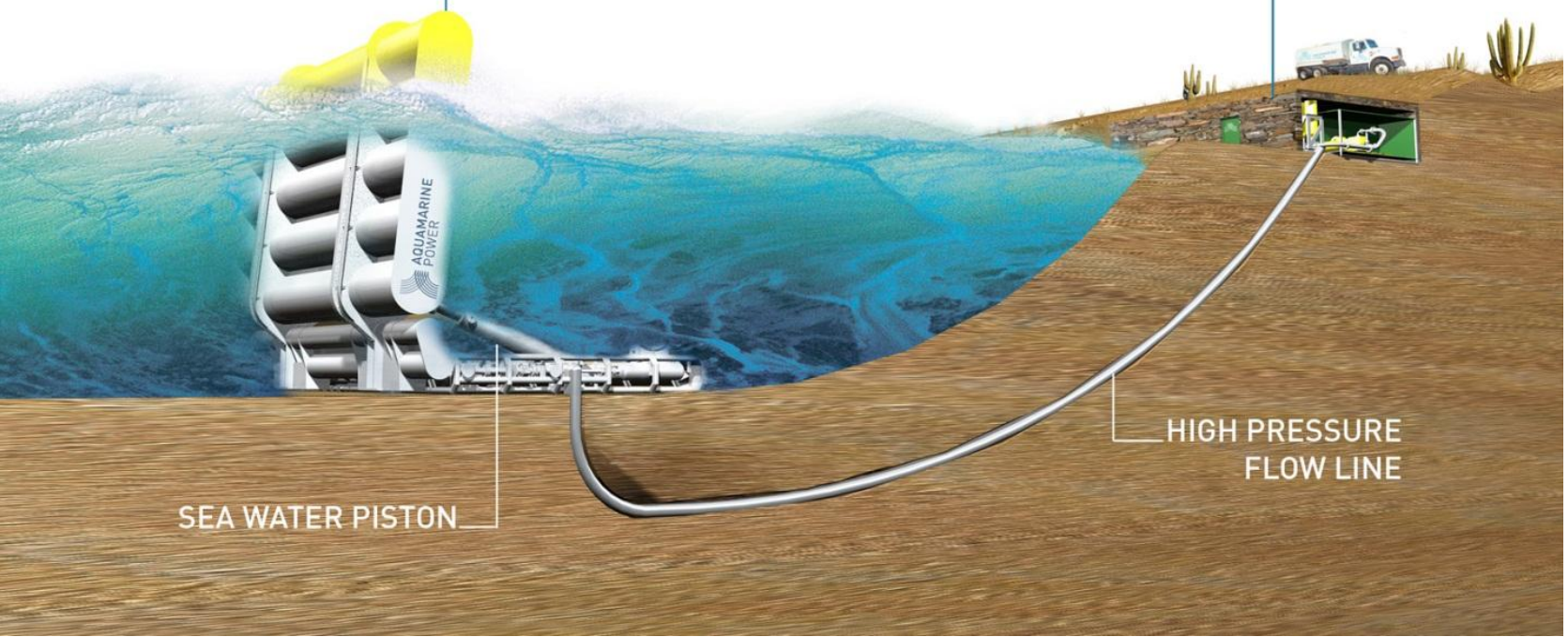
OYSTER® WAVE
ENERGY CONVERTER

REVERSE OSMOSIS PLANT

AQUAMARINE
POWER

SEA WATER PISTON

HIGH PRESSURE
FLOW LINE



SAHİL ALANLARINDAKİ MÜHENDİSLİK YAPILARI

Mühendislik yapıları sahil boyunca genellikle güvenli bir geçit veya gemiler için güvenli bir liman sağlama ve sediman sürüklenmesini kontrol etme amaçları doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bazıları ise erozyonu önleme veya rekreasyonu artırma için yapılmaktadır. Bunlar arasında mendirek, dalgakıran sahil duvarları (setleri) ve kemerler sayılabilir. **Dalgakıranlar** yapay bir liman görevi görürler. **Kemerler** ise sürüklenen sedimanları tutmaya yarayan sahile dik uzanan yapılardır. **Sahil setleri veya duvarları** sahil boyunca inşa edilen erozyon bariyerleridir. Bunlar genellikle beton kütleler, iri kayalar, çelik levhalar ve bazen de eski araba gövdelerinden yapılmaktadır. **Mendirekler** çoğunlukla bir nehir ağzının yanına inşa edilirler. Bunlar nehir akışını bir araya toplayıp akış hızını kontrol altına alır ve böylece sedimanlar nehir ağzındaki deniz trafiğini engelleyemez hale gelir.

Doğal sahil erozyonu

Deniz yarı oluşumu ile sonuçlanan sahil erozyonu doğal bir süreçtir. Dalgalar genellikle yar duraysız hale gelinceye kadar tabanı aşındırırlar ve sonunda yar plaj üzerine düşer ve dalgalarla sürüklenerek parçalanır. Bazı yerlerde de, yar aşınması oldukça yavaş gelişir, örneğin granit gibi sert kayalardan oluşan yarlar herhangi bir erozyon izi göstermeksizin yüzyıllarca ayakta kalabilmektedir. San Diego'daki Sunset yarlarındaki erozyon hızının yılda 1.3 cm olduğu saptanmıştır.



İnsanların yaptığı yapılaşma ile ilişkili sahil erozyonu

Dalgakıran ve mendirek gibi yapılar sahil alanına yerleştirildiklerinde, dalgaların, akıntıların ve sediman taşınmasının doğal rejimi değiştirilir. Yapay yapılar yakınındaki sediman birikiminin tipik örnekleri şekilde gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, liman önemli bir kıyı akıntısının olduğu yere yapıldığında, liman girişinin körfez ağzında bir set oluşacaktır. Bu yüzden, limanın açık tutulması için deniz tabanının devamlı olarak taraklanması gerekecektir. Dalgakıran yapılırsa, sedimanlar yukarı sürüklenme bölgesinde birikecektir. Aynı bir dalgakıran inşa edilirse, bu dalgakıranın gerisindeki düşük enerjili korunmuş ortamda plaj gelişimi görülecektir.

Tsunamiler

Köken:

Tsunami Japonca'da büyük dalga demektir. Tsunamiler aynı zamanda sismik deniz dalgaları olarak da bilinmektedir. Genellikle gelgit dalgaları ile karıştırılmaktadırlar ancak bunların gelgit dalgaları ile uzaktan yakından bir ilişkileri yoktur.

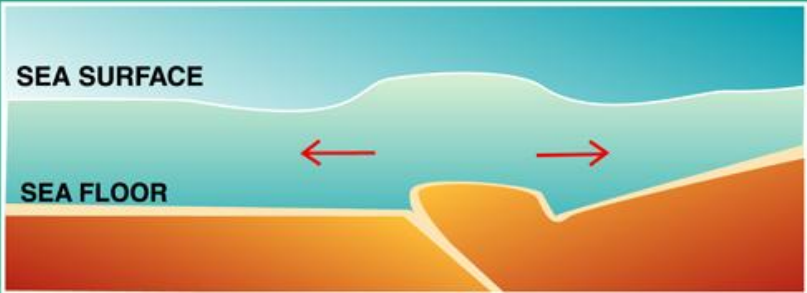




Tsunamiler dolaylı veya dolaysız olarak deprem sonucu oluşurlar. Bazı tsunamiler büyük kaya düşmeleri veya deniz altındaki volkanik püskürmeler nedeniyle de oluşabilmektedir. Şu ana kadar kaydedilmiş en büyük tsunami 1953 Alaska depremi sırasında gerçekleşmiştir. Miller (1960) bir sahil tepesinden körfeze düşen bir kaya kütesinin yarattığı dalgaların bitişikteki bir başka dağın 500 m yukarısına kadar yükseldiğini belirtmektedir. 27 Ağustos 1883 tarihinde gerçekleşen Krakatoa (küçük bir volkanik ada) volkan püskürmesi o kadar şiddetliydi ki; yüzlerce km ötedeki Vietnam deniz kuvvetleri denize açılarak top seslerinin nereden geldiğini tespit etmeye çalışmışlardı. Yaklaşık 42 m yükseklikteki tsunami şoku Java ve Sumatra sahillerini vurmuştu. Kara çok alçaktı ve bu sayede dalga Java adasının içlerine kadar ilerleyerek 295 köyü tamamen tahrip etti ve 36.000 insanın ölümüne neden oldu. Volkanik püskürme ve deprem ile birlikte oluşan bir tsunaminin M.Ö. 1400 yılında Ege'deki Girit adasındaki Minoan uygarlığını yok ettiği tespit edilmiştir.

Tsunami hidrodinamiği

Tsunamiler ortaya çıktıktan sonra yüksek bir hız ile büyük mesafeler kat ederler. Açık denizdeki dalga hızı ses hızına yaklaşmaktadır (700-800 km/saat). Alaska'da oluşan tsunaminin Hawaii'ye varması dört saati biraz aşmıştır. Tsunami denizin dışında düşük ve uzundur. Maksimum yükseklik genellikle 1 metreden az ve dalga uzunluğu 100 km civarındadır ve herhangi bir istasyondaki etki süresi yaklaşık 15 dakikadır. Deniz seviyesindeki 1 metrelik bir değişim küçük görünse bile, tsunami tarafından taşınan enerji çok büyüktür. Yüzlerce km²'lik denizi yukarı kaldırmak büyük miktarda bir enerji gerektirir.



Tsunaminin deprem ile başlatıldığı bir yerde, tsunami deprem enerjisinin %10-100'nü iletebilmektedir. Denizde, dalganın eğimi çoğunlukla gemiler tarafından hissedilmeyecek kadar düşüktür. Dalga karaya doğru yaklaştıkça ve yavaşladıkça, enerji devasa bir dalgaya dönüştürülür. Hawaii'de 1946 yılında yaşanan tsunami felaketi buna örnek olarak verilebilir. Alaska yakınındaki Unimak adasındaki 7.2 şiddetindeki deprem deniz seviyesinden 10 m yükseklikteki deniz fenerini (içinde 10 kişi vardı) yerle bir etmekle kalmamış, aynı yerdeki 31 m yükseklikteki radyo vericisini de yıkmıştır.

Dalga hızı su derinliği tarafından denetlenmekte ve aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$C^2 = g \cdot D$$

C = dalga hızı,

g = yerçekimi sabiti,

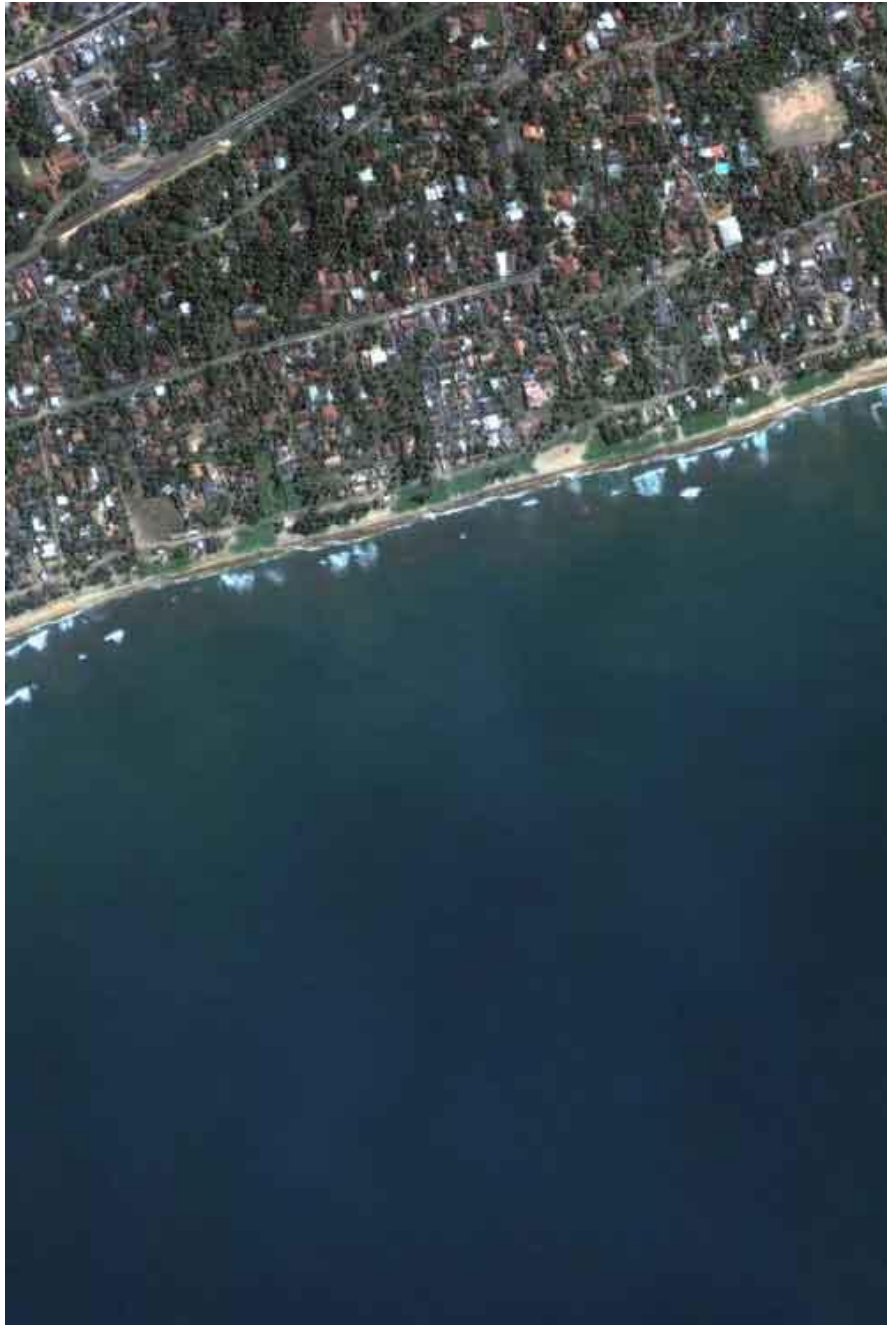
D = su derinliği

Orta Pasifik gibi derin okyanuslarda, tsunamiler oldukça uzun olup (~240 km) 1000 saniyelik etki sürelerine sahiptirler ve yüzeyde ise sadece 1 m'lik bir yüksekliğe erişebilirler. Bu da 700 km/saat lik bir hıza karşılık gelmektedir. Sığ sularda ise (100 m), dalga hızı

$$C = (g \cdot D)^{0.5} = [(9.8 \text{ m/s}^2) (100 \text{ m})] = 33 \text{ m/s} = 120 \text{ km/saat'e azaltılır.}$$

Momentumun korunumu prensibi göz önüne alındığında, hızın 700 km/saat'den 120 km/saat'e düşmesi tsunaminin önemli miktarda kütle kazanmasına olanak vermektedir. Dalgalar daha yükseğe erişecektir. Azalan su deriliği, dalga sütununun tabanında fren etkisi yaratacak ancak dalganın üst kısmı öne doğru kendisini iterek karayı büyük bir kuvvetle vuracaktır. Bilinen en yüksek tsunami 1737 yılında Kamchatka'da (Sibirya) tespit edilmiştir (70 m). 1964 yılında Alaska depreminin neden olduğu denizaltı-yer kayması kökenli tsunami Valdez'de deniz seviyesinden 30 metre yüksekteki ağaçları koparmıştır. Aynı tsunami 3540 km ötedeki Hawaii'ye 4.5 saat sonra ulaştığında yüksekliği 16 metre idi. 12870 km ötedeki Şili'ye 18 saat sonra vardığında ise yüksekliği sadece 1.5 metre idi. Antarktika'ya ise 22 saat sonra varabilmiştir.

Pasifik çevresindeki ülkelerde tsunamilerden korunmak için uyarı sistemleri geliştirilmiştir. Pasifik içinde oluşan yer kaymaları ve depremler anında tespit edilmekte ve oluşabilecek tsunami yükseklikleri gelgit sapmaları kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Ancak, 1964 yılında San Francisco'yu vuran tsunamiyi sahilde seyretmeye gelen insanlardan 10'nun hayatını kaybetmesi şunu göstermiştir ki, tsunami ile yapılan mücadelede yapılacak ilk iş, sahildeki yerleşim birimlerinin boşaltılmasından ziyade insanların sahile kadar gelip oluşan hasarı seyretmelerini önlemektir.





Phuket Adası'nın tsunami görüntüsü





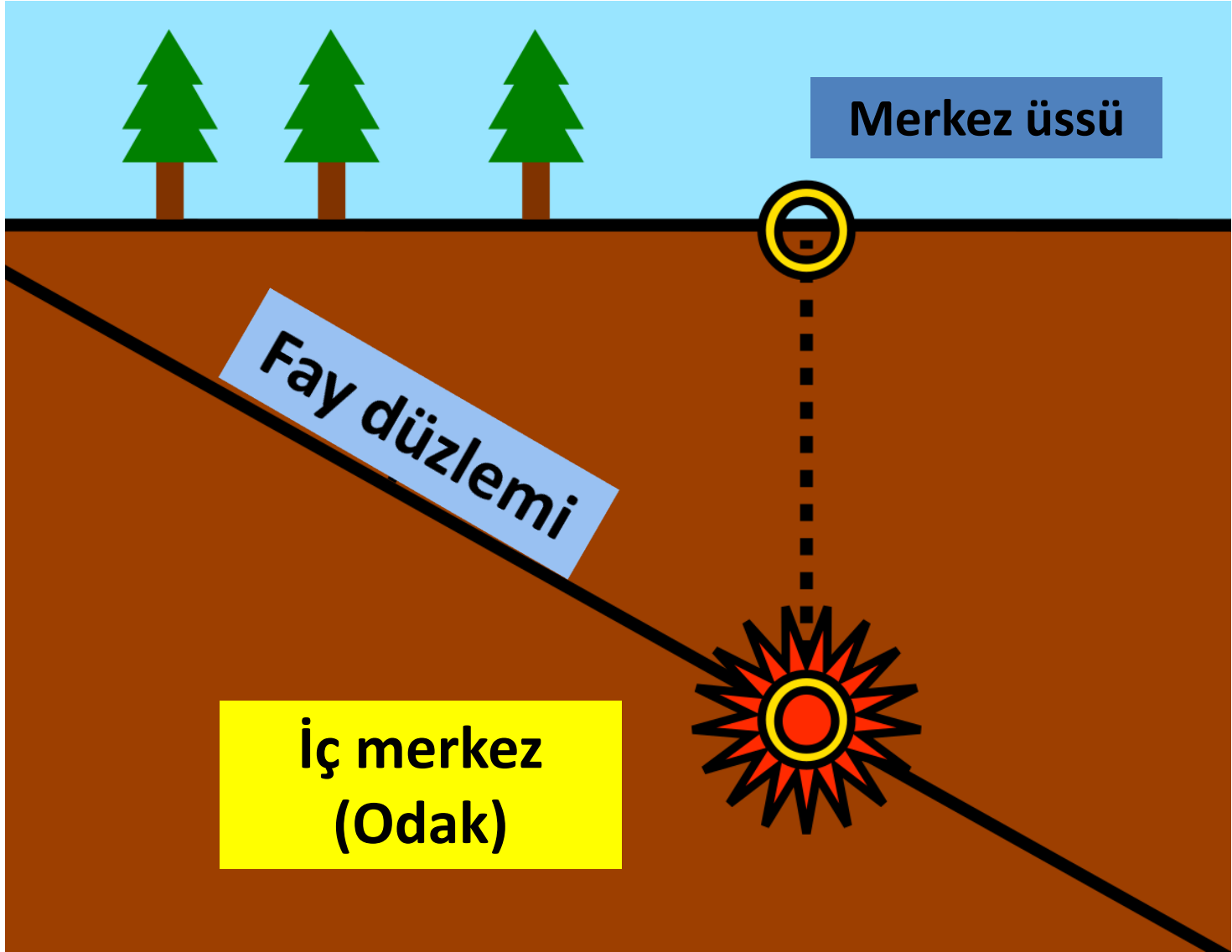
II.4. DEPREMLER (EARTHQUAKES)

Depremlerin sadece California eyaletine verdiği maddi hasarların dökümü aşağıdaki tabloda verilmektedir. Tablodan da görüldüğü üzere, depremlerin neden olduğu zararlar (yaklaşık 21 milyar dolar) diğer bütün afetlerin göre çok daha büyüktür. Bu yüzden, Birleşik Devletlerdeki sigorta şirketlerinin özellikle California eyaletinde bulunan ev, iş yeri ve diğer vb. yapılara uyguladığı sigorta risk değerleri çok yüksek olmaktadır ve hatta bazen bunları deprem sigortası kapsamına almayı reddetmektedirler. Los Angeles'deki bütün yapıların sadece %4'ü sigorta kapsamındadır.

Depremler ve Sismik Dalgalar

Merkez üssü ve odak

Yer kabuğunun bir çeşit salınım hareketi olan deprem sonucunda bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerji genellikle bir fay boyunca oluşan ani bir hareket neticesi üretilir. Tektonik gerilmelere maruz kalan kayalar ilkönce bükülür daha sonra da gerilme fay zonundaki sürtünme dayanımını aştığında, kayalar yeni bir pozisyon almak üzere ani olarak hareket ederler. Deprem olduğunda, sismik dalgalar odaktan itibaren bütün yönlerle doğru hareket ederler. **Odak**, deprem enerjisinin oluştuğu bölgedir. Çoğu depremin odağı kıtalar altında 50 km'lik bir kalınlığa sahip olan yer kabuğu içindedir. Depremler odak derinlikleri esas alınarak sınıflandırılır: sığ depremler; 0-60 km, orta derecede depremler; 60-300 km ve derin depremler; 700 km. **Deprem merkez üssü** ise odağın yeryüzünde karşılık geldiği noktadır.



**1970-2000 yılları arasında California'da
afetlerin neden olduğu tahmini maddi hasarlar.**

Jeolojik Problem	2000 yılına kadar olacak maddi kayıplar (milyon dolar olarak)
Yer sarsıntısı	21.000
Tsunami	40
Fay oynaması	76
Volkanik püskürme	49
Sel baskını	6.500
Toprak kayması	9.850
Çökme	26
Şişen zeminler	150
Erozyon	565
Şehirleşmede kullanılan maden kaynakları kaybı	17.000
Yeraltı suyu azalması ve	50
Toplam	55.306

Şiddet

Bir depremin şiddeti, yer sarsıntısının insanlar, binalar ve tabiat üzerinde gözlenen etkilerine dayanmaktadır. Merkez üssüne olan uzaklık ve ana kaya tipine bağlı olarak, şiddet etkilenen bölge içinde bir yerden diğerine değişmektedir. Şiddet, belirli bir alandaki deprem etkilerinin derecesini tanımlayan **Mercalli** ölçeğine göre belirtilir. Mercalli ölçeği, Roma rakamları (I-XII) ile işaretlenen ve hissedilemeyen sarsıntıdan felaket derecesindeki yıkım arasında yer alan on iki adet artan şiddet aralığından ibarettir. Deprem şiddeti için herhangi bir matematiksel temel yoktur. Bunun yerine insanlar üzerinde bıraktığı etkiler göz önüne alınır. Deprem oluşuktan sonra, şiddet değerleri bir harita üzerine işaretlenebilir. Eşit şiddet değerlerini birleştiren eğriler **izosismik** eğriler olarak adlandırılır.

I. Aletsel

Çoğu kişi tarafından, eğer elverişli şartlarda değilse, hissedilmez.

II. Zayıf

En iyi şartlarda, genelde binaların üst katlarında, birkaç kişi tarafından hissedilir. Asılı hassas cisimler sallanabilir.

III. Hafif

Kapalı mekânlarda, özellikle binaların üst katlarındaki kişiler tarafından hissedilebilir. Çoğu kişi bunun deprem olduğunun farkına varmaz. Hareketsiz otomobiller hafif sallanabilir. Geçen bir kamyonun titreşimlerine benzer. Deprem süresi tahmin edilir.

IV. Orta

Hem kapalı mekânlarda hem dışarda hissedilir. Gece bazı kişiler uyanır. Tabak-çanaklar, pencereler, kapılar oynar; duvarların çatırtılar gelir. Ağır bir kamyon binaya çarpmış gibi gelir. Duran otomobiller hissedilir şekilde yalpalar. Tabak-çanaklar ve pencere camları takırdar.

V. Oldukça güçlü

Açık havada çoğu kişi tarafında hissedilir, elverişli olmayan şartlardaki bazı kişiler hissetmeyebilir. Tabak-çanaklar ve pencere camları kırılabilir, büyük çanlar çalabilir. Evin yakınından büyük bir tren geçiyor gibi titreşimler.

VI. Güçlü

Herkesçe hissedilir; çoğu kişi korku içindedir ve dışarı koşar, dengesiz şekilde yürür. Pencereler, tabak-çanak ve bardaklar kırılır; kitaplar raflardan düşer; bazı ağır mobilyalar oynar veya devrilir; bazı yerlerde duvardan veya tavandan alçı dökülür. Hafif yapı hasarı.

VII. Çok güçlü

Ayakta durmak zordur; mobilyalar kırılır; iyi tasarlanmış ve inşa edilmiş yapılarda hasar ihmal edilebilir düzeydedir; alelade ama iyi yapılmış yapılarda hafif ve orta derece hasar; kötü tasarlanmış veya inşa edilmiş yapılarda inemli hasar; bazı bacalar kırılır; hareket halinde arabalardaki kişiler tarafından hissedilir.

VIII. Yıkıcı

Özel tasarlanmış yapılarda hafif hasar; alelade büyük yapılarda önemli hasar ve kısmi çökme. Kötü yapılmış yapılarda büyük hasar. Ev ve fabrika bacaları, sütunlar, abideler, duvarlar yıkılır. Ağır mobilyalar oynar.

IX. Şiddetli

Genel panik; özel tasarlanmış yapılarda önemli hasar, bu yapıların iskeletleri eğilir. Alelade binalarda büyük hasar, kısmen çöküntü. Binalar temellerinden oynar.

X. Yoğun

İyi inşa edilmiş ahşap binalar yıkılır; çoğu tuğla yapı temeliyle beraber yıkılır. Raylar eğrilir.

XI. Aşırı

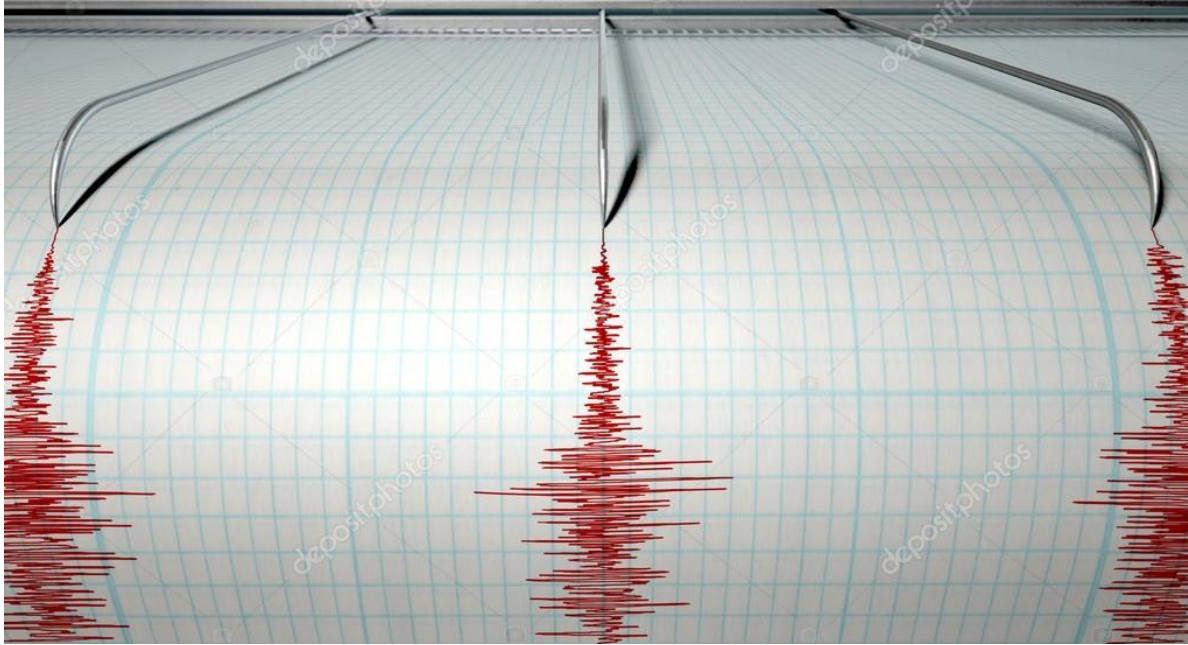
Tuğla yapıların tamamına yakını çöker. Köprüler yıkılır. Raylar çok eğrilir.

XII. Afetsel

Tam yıkım - Afet bölgesinin yeryüzü şekli değişir. Sağlam bina kalmaz.

Sismik dalgalar

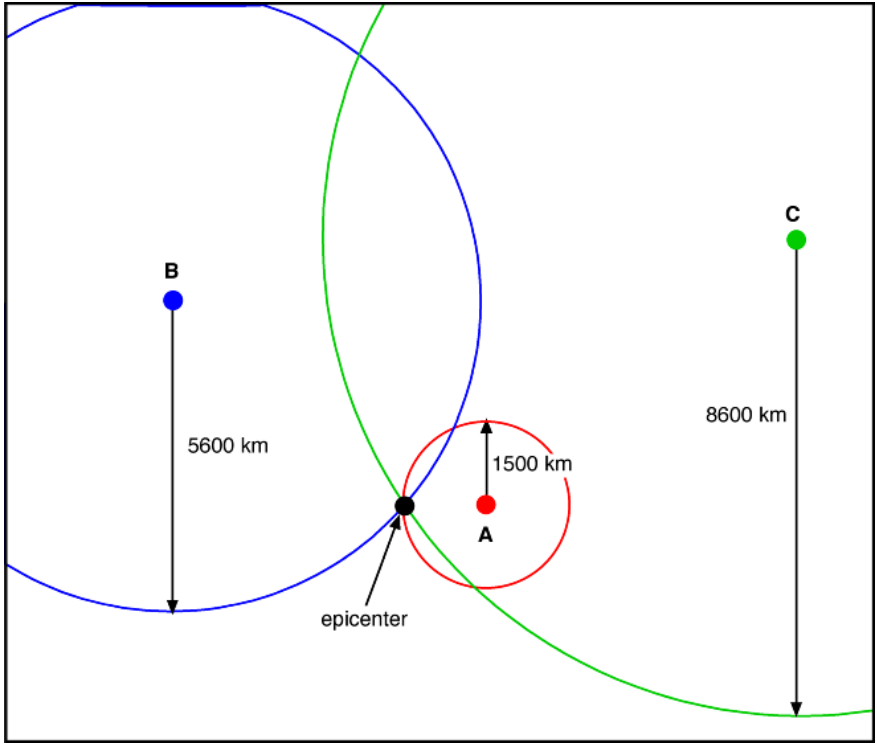
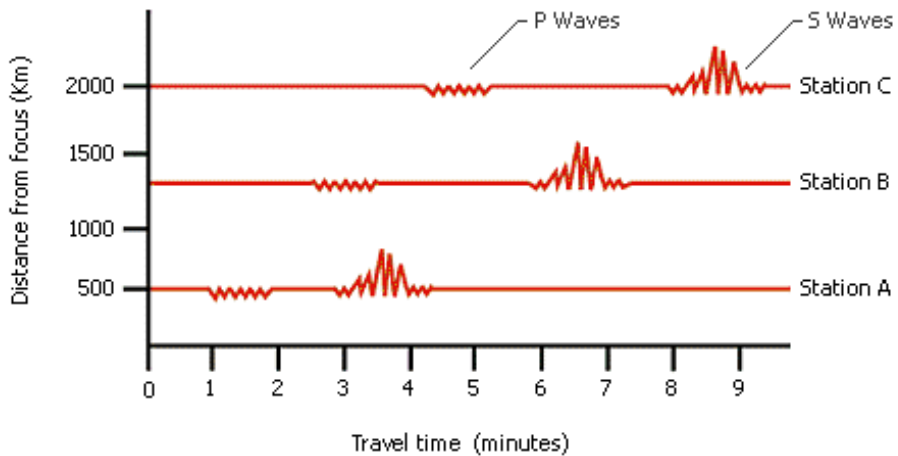
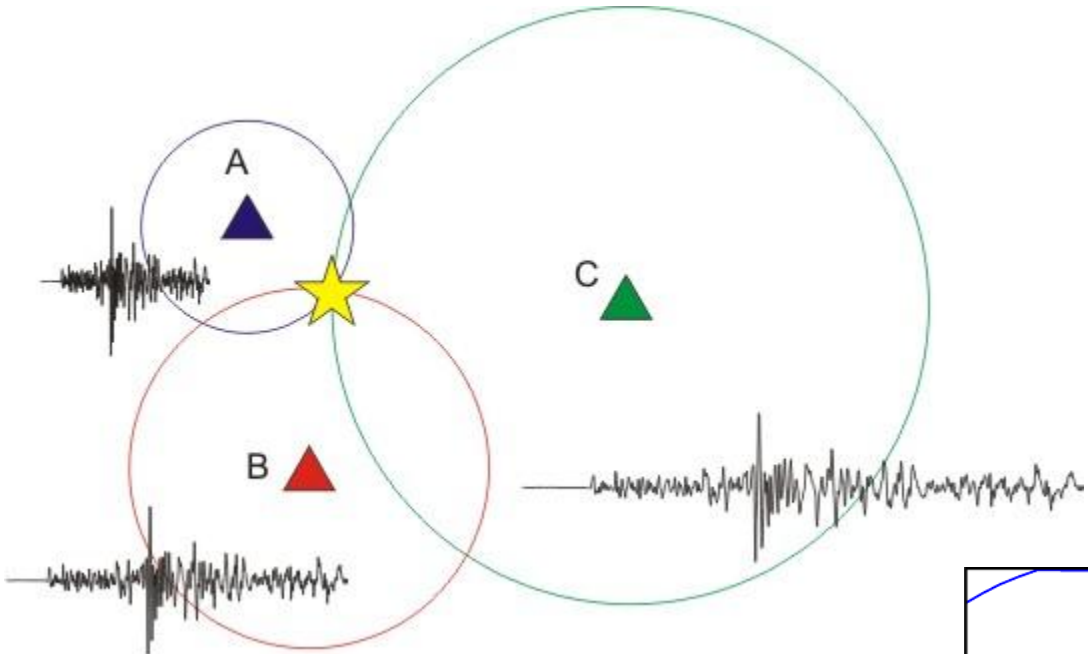
Odaktan yayılan sismik dalgalar **sismograf** adı verilen bir cihaz vasıtasıyla kayıt edilir. Ortaya çıkan kayda ise **sismogram** denilir. Sismogramlar bir depremin odak derinliği, merkez üssü ve oluş zamanı hakkında bilgi sunar ve açığa çıkan enerji miktarı üzerine tahmin sağlarlar.



Deprem büyüklüğü ve şiddeti

Bir depremin **büyüküğü**, sismogramdan tespit edilen Richter tarafından geliştirilmiş bir parametredir. Büyüklük (Manyetüd) \log_{10} tabanına göre belirlenir.

Deprem merkez üssünün tespit edilmesi



Yıkıcı Depremlerden Çıkarılacak Dersler

California'daki San Andreas fayı dünyadaki en uzun ve en aktif faydır. Fayın uzunluğu yaklaşık 1000 km'dir. Ancak, Türkiye'deki Kuzey Anadolu Fayının uzunluğu da en az San Andreas fayı kadardır. Bu her iki fay boyunca da tarih öncesi zamanlardan beri depremler süre gelmektedir. Aslında, yeryüzünün aktif tektonik hatları boyunca uzanan değişik kesimlerinde (İran, Afganistan, Meksika, Japonya, Endonezya, Çin, İtalya, Alaska vb.) depremler olmaktadır.

1906 San Francisco depremi sırasında şehir yerle bir olmuş ve yaklaşık 700 kişi hayatını kaybetmiştir. Şehirdeki 52 ana binadan sadece 6'sı yıkılmıştır. Bunun nedeni, binaların çoğunun çelik çerçeveli oluşu ve masif duvarlarla eklenmiş olmasıdır. San Francisco körfezindeki nüfus o zamandan bugüne değin yaklaşık 10 kat artmıştır. Öldürücü yangınların bir daha zarar veremeyeceği varsayımına dayanarak, bazı araştırmacılar (Örneğin, Harris, 1981) aynı şiddetteki bir depremin bugün olması durumunda, 1906 yılında 350 milyon dolar ile 1 milyar dolar arasında olan maddi hasarın en az 24 milyar dolar olacağını öne sürmektedirler. Can kaybına gelince; eğer deprem akşam saatlerinde olursa 3000-5000 insanın hayatını kaybedeceği ancak depremin çalışma saatleri içinde gerçekleşmesi durumunda ise bu sayının 10.000-20.000 civarına çıkabileceği zannedilmektedir. Aslında, San Francisco gibi deprem kuşağında bulunan şehirlerin kaybedecek hiç vakti yoktur. Aynı şekilde, 1995 Kobe (Japonya) depremi de 110 milyar dolarlık bir hasara ve yaklaşık 500 insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Bu deprem, tarihte bugüne kadar en fazla maddi hasara neden olan depremdir. Sadece Kobe limanından zamanında ihraç edilemeyen mallardan dolayı olan maddi kayıp 10 milyar dolar olmuştur (Türkiye'nin yıllık ihracatının %40'ı). Kobe'deki maddi hasarın bu kadar büyük olmasının nedeni şehirdeki otoban, kara ve tren yollarının büyük ölçüde yıkılmasıdır.

Sismik risk ve deprem olasılığı

Depremlerin verdiği zararlarının yanı sıra, bunların bir dahaki sefer nerede ve ne zaman olacakları konusu da büyük önem taşımaktadır.

BÖLGESEL TAHMİN: Depremlerin büyük çoğunluğu aktif faylar boyunca oluşmaktadır. Bu yüzden, gelecekteki olası depremlerin yerlerinin belirlenmesindeki en önemli işlem, arazideki belirgin veya şüpheli fayların uygun bir ölçekte (mesela 1/25.000) haritalanmasıdır. California eyaletinde bu fayları gösteren haritalar satılmaktadır, ancak sorun bu fayların ne şekilde aktif olduklarıdır. Bazı fayların aktif oldukları yaptıkları işlevler sayesinde anlaşılmakta ama bazıları ise aktif olduklarına dair herhangi bir jeomorfolojik belirteç göstermemektedir. Gelecekteki depremlerin yerlerinin belirlenmesindeki en yaygın olarak kullanılan metot, bilinen deprem merkez üslerinin bir harita üzerinde işaretlenmesi ve tarihsel yönelimlerin birleştirilmesiyle, gelecekteki lokasyonlar üzerinde genel bir yoruma gitmektir. Diğer bir deyişle, alanlar tarihsel dönemlerde sismik olarak aktif iseler, gelecekteki depremlerin bu alanlarda olması beklenebilir.

GEÇİCİ TAHMİN: Geçici deprem tahminleri için bilimsel metotların etkinliği halen üzerinde çalışılan bir konudur. Bu metotlar:

***Sismik dalga hızı:** Mikro-deprem yoğunlaşmaları büyük bir depremin habercisi olabilir. P ve S dalgalarının varış hızları arasındaki farkın bazen normalden sapma gösterdiği tespit edilmiştir. Gerilmenin depremden yaklaşık 1 yıl önce mikro kırıklara neden olduğu sanılmaktadır. Sismik hız da bu sebeple değişmektedir.

***Gaz çıkışları:** Yukarıda teorik olarak belirtilen fisür-kırık genişleme prosesi, bazı depremlerden önce radon gazı çıkışları gibi fenomenleri açıklayabilir. Japon ve Amerikan bilim adamlarının ülkelerindeki bazı depremlerden önce yırtılma zonlarındaki su kaynaklarında gerçekleştirdikleri ölçümler sonucu ortaya çıkan yüksek radon konsantrasyonu ve ayrıca helyum ve argon gaz oranları bu görüşü destekler nitelikte olsa bile, bu metodun deprem tahmini için kullanılması henüz erkendir.

***Yeraltı su seviyesi:** Japonya, Çin ve California'daki kuyulardaki yeraltı su seviyelerinin depremden önce düştüğü bilinmektedir. Fay hareketinden hemen önce, küçük kırıklar açılarak suyun yeni boşluklara girmesine olanak tanımaktadır. Bu fenomen laboratuvar deneylerinde tekrar edilmiştir.

***Kabuktaki yükselti değişimleri:** Deprem öncesi genişleme deprem olması beklenen bir alanda geniş ölçekli bir yükselmeye neden olmaktadır. 1970 yılında, Los Angeles'in 65 km kuzeyindeki San Andreas fay alanında büyük bir yükselme meydana gelmiştir.

***Sismik aktivite:** Her büyük depremin düşük şiddetli deprem dalgaları vardır, ancak ne yazık ki, bu olaylar her deprem için karakteristiktir. Çok sayıda sismograf istasyonu kullanarak beklenmedik sismik faaliyetler tespit edilebilir. Bu anomaliler bir depremin habercisi olabilir.

***Nirengi çalışmaları:** Güney California'daki nirengi noktalarındaki detaylı araştırmalar, 1979 yılında Los Angeles'in kuzeydoğudaki Deniz Kuvvetleri istasyonuna 5 cm yaklaştığını ortaya koymuştur. Nirengilerden elde edilen verilerin günümüzde genel tektonik bilgiler için faydalı olmalarına karşın, gelecekte bu verilerin anomalileri tam olarak saptamak ve depremleri tahmin etmek için kullanılacağı şiddetle muhtemeldir. Küresel Konum Belirleme cihazların günden güne geliştirilmeleri bunu destekler niteliktedir.

***Elektrik ve manyetik alan değişimleri:** Bu fenomenler depremlerin tahmini için pek fazla etkin değildir.

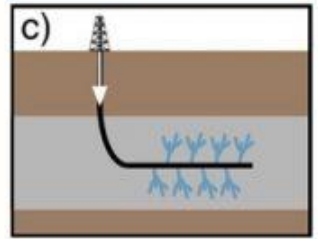
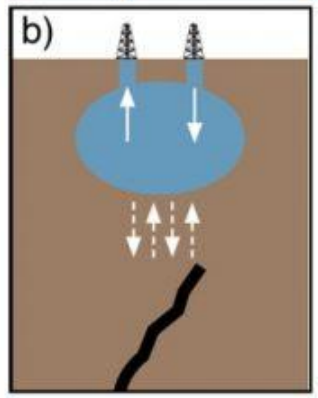
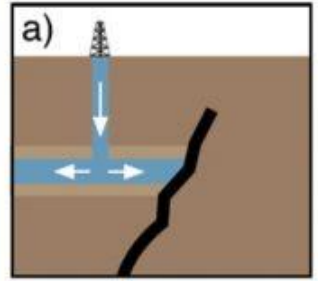
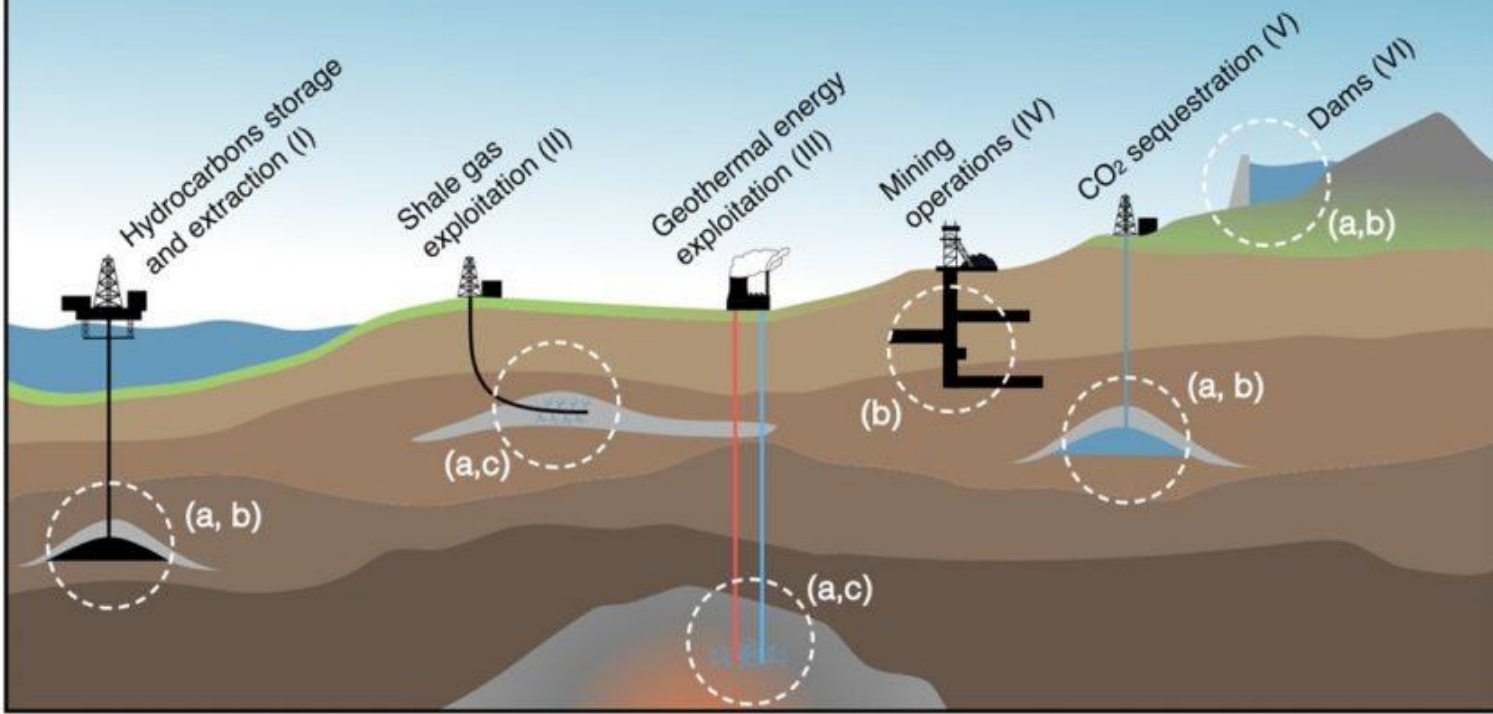
***Hayvan davranışları:** Kafeste olmak kaydıyla, kanaryalar derin yeraltı madenlerindeki gaz patlamalarını ve göçükleri önceden tahmin etmek için kullanılmaktadır. Hayvanlar derinlerdeki kırılma seslerini veya elektrik ve manyetik alanlardaki değişimleri hissedebilirler. Depremlerden önce hayvanların çok tuhaf davranışlarda buldukları rapor edilmektedir. Yılanlar depremden hemen önce yeraltından çıkmaktadır. Los Angeles'deki av köpeklerinin davranışları ile depremler arasında belirgin bir korelasyon olduğu belirtilmektedir.

Tarihsel depremsellik kayıtlarının mevcut olmaması durumunda, fay aynalarının detaylı morfolojik çalışılması sismik riskin ortaya konması için kullanılabilir.

İnsanın neden olduğu depremler

Nükleer patlamalar dışında, insanlar herhangi bir depreme *neden olmazlar*. Fakat, insanlar çoğu durumda tektonik gerilmelerin olduğu yerlerdeki şartları değiştirmişler ve böylece, aktif bir fay boyunca hareketi başlatmışlardır. İnsan tarafından şartlarda yapılan değişikliklerden biri, izostatik yüke neden olan bir baraj göledi (rezervuar) yapımı olabilir. Daha genel bir deyişle, şartlardaki değişiklikler akışkanın boşluk basıncının artması ile sonuçlanır. Bu da iki şekilde kendini gösterir: 1)kuyularla sağlanan yapay boşalım ve 2) baraj yapımı ve sonuçta rezervuar nedeniyle ortaya çıkan hidrostatik basınç artışı.

Main industrial activities which can "induce" or "trigger" seismicity



II.5. OTURMA VE YER ÇÖKMESİ (GÖÇMESİ) - (LAND SUBSIDENCE)

Yer çökmeleri yeraltından aşırı miktarda su çekilmesi, yeraltındaki suda çözünür kayaçların su tarafından eritilmesi ve yeraltındaki yoğun madencilik faaliyetleri nedeniyle olmaktadır.

Yeraltından Akışkan Çekilmesi Sonucu Oturmalar

Yeraltı suyu çekilmesi nedeniyle oluşan oturmalar iki farklı ortam ve mekanizma altında gelişir. En yaygın oluşumlar killi akiferlerle ara katkılı olan basınçlı ve yarı basınçlı kum ve çakıl akiferlerini içeren gevşek ve yarı-gevşek sedimanlarda gözlenir. Diğer bir oluşum da, mağara ve erime çukurları çökellerini içeren çözünür kayaçlar içinde gerçekleşir: yeraltı suyundan askı desteğini kaybetmesi nedeniyle, düşen yeraltı su seviyesi mağara dolgusunun erozyonuna ve çökmesine neden olur.

Dünyada yeraltından su çekilmesi ile oturan birçok alan bulunmaktadır. Bunlardan California eyaleti bu sorunu en fazla yaşayan kesimlerden biridir. California'daki Büyük vadinin güney kısmı çoğunlukla yer altı suyu ile sulanmaktadır. 1920 yılından bu yana, bu vadideki 11.000 km² lik bir alan 0.3 metreden fazla olacak şekilde çökmüştür. Çökmenin toplam hacminin 20 km³ olduğu sanılmaktadır. Oturma hızı öylesine yavaş ki, yeraltındaki sulama borular çatlayıp kırılana kadar anlaşılamadı. Oturma ve su çekilmesi arasında bir ilişki olduğu aşikardır. Oturma, yeraltı su çekiminin rezervuarın güvenlik verimini aşmasıyla gelişir. Oturma, Texas'ın Houston sahil alanında da tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Bu bölge yüksek sürekli olarak gelgitlerin etkisi altında kalmaktadır. Gelgitlerin yüksekliği 2 metreye kadar varmaktadır. Güney Arizona bölgesinin yer aldığı havzadan aşırı yeraltı suyu çekilmesi sonucunda, havza kenarlarında derinlikleri 10 metreye kadar varan dikey yer çatlakları oluşmaktadır.

İtalya'nın Venedik şehri, Po nehri delta alanının kum setleri üzerine inşa edilmiştir. Venedikliler şehri Hunluların akınlarından korumak amacıyla sahilin 3 km açığında kurmuşlardır. Venedik bugün anakaraya su yolları ile bağlanmaktadır. Anlaşılacağı üzere, Venedik'te otomobil gibi taşıt araçları bulunmamakta ve ulaşım sandal ve bot gibi küçük su araçları ile veya yürüyerek sağlanmaktadır. Venedik Adriyatik denizine batmaktadır. Po nehrine ait Kuvaterner yaşlı 1000 m kalınlığındaki gevşek kum, silt ve kilden oluşan sahil düzlüğü sedimanları Venedik'in altında bulunmaktadır. Venedik bu sedimanlar üzerine çakılı kazıklar üzerinde durmaktadır. Bu sebeple, şehir gelgit ve fırtınaların etkisine önemli derecede açık bir durumdadır. Şehrin batma hızı yaklaşık 0.5 cm/yıldır.

Çözünür Kayaçlar Üzerinde Bulunan Alanlardaki Çökmeler

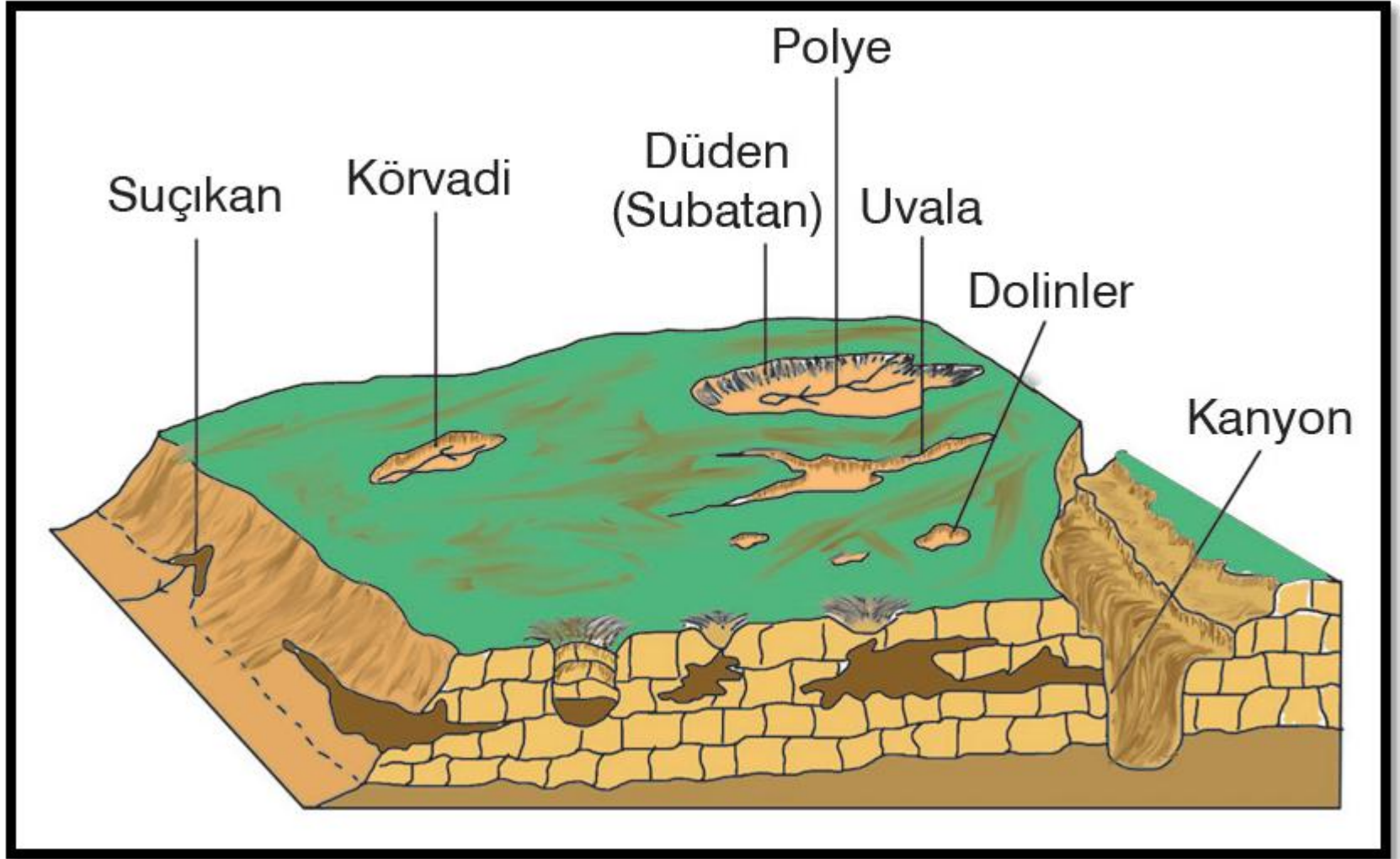
Karbonatlı arazilerdeki yer çökmeleri çözünür kayaçların kimyasal ayrışması nedeniyle olmaktadır. Kireçtaşı, dolomit ve jips en yaygın suda çözünen sedimanter kayaçlardır. Çözünme doğal bir işlemdir, ancak hidrolojik rejimde insanın neden olduğu değişiklikler çözünme ve yer çökmesini hızlandırır.

Suda çözünür kayaçların yüzelediği bölgeleri karakterize eden fenomenlerin tamamını ifade etmek üzere *karst* terimi kullanılmaktadır. Çöküntü, mağara, derin su tablası, büyük su kaynakları ve ortadan kaybolan kaynaklar tipik bir karst arazisinin özellikleridir. Erime gerçekleşikçe, yavaş olarak boşluk (mağara) oluşmaya başlar. Geniş bir hacimdeki kireçtaşının çözünmesi elbette jeolojik zaman boyunca gerçekleşecektir. Bu yapısal uyumsuzluklar, genellikle, mevcut boşluklar veya terra rosa toprakları ile ilişkilidir.

Bir erime boşluğunun üzerinde iki çeşit çöküntü gelişebilir. Kalın bir örtünün bulunduğu alanlarda çöküntü yavaş gelişecektir, ancak örtü ince ise, çökme ani olacaktır. Bu tür çökmeler ani olmakla birlikte önceden kestirilmeleri de imkansızdır (jeolojik tehlike).

Yeraltı Madenciliği Nedeniyle Olan Oturma Ve Çökmeler

Madenler üzerindeki çökmenin miktarını ve uzanımını kestirmenin matematiksel teknikleri vardır. Örneğin, belirli bir derinlikteki yatay bir tabaka işletilmekteyse, yeryüzünün belirli bir açı altında oturması beklenir veya yatay bir tabaka üzerinde büyük bir yeraltı madenciliği sürdürülüyorsa, yeryüzündeki oturma kabaca işletilen tabakanın 2/3'ne eşit olacaktır. Etkilenen yüzey alanı da, işletilen tabaka derinliğinin yaklaşık 1.5 katı kadar yatay olarak maden sahasının dışına taşacaktır



II.6. VOLKANİK FAALİYETLER

Volkanlar ve Volkanik Püskürmeler: Aktif volkanların yerleri herkes tarafından bilinmektedir. Volkanik tehlikeler lav akışları, piroklastik tefra (volkanik bombalar, sinderler, veya küller), laharlar (sıcak çamur akışları), piroklastik gravite akışlarından ibarettir.

Tefra düşmeleri genellikle aktif bir volkanın etekleri ve hemen bitişiğindeki düzlüklerle sınırlıdır. Örneğin, M.Ö. 79 yılında, Vezüv yanardağı Pompei ve Herkül şehirlerini 3 m kalınlığındaki sıcak kül lapillisi ve volkanik bombalar altına gömmüştür. Lav akışları Hawaii adasındaki Mauna Loa ve Kilauea volkanlarında oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Bazaltik (bazik) tipte püskürmeler riyolitik (asidik) tipte olanlara göre genellikle daha az şiddette olmaktadır. Hawaii'de karşılaşılan **aa** veya **pahoehoe** tipteki bazaltik lav akışları sadece yolları ve arazileri çok yavaş yutacak kadar zararlıdır. Sismik aktivite genellikle püskürmenin öncüsüdür. İstatistiksel aktivite kayıtları ve tehlikeler, önceki akışların yaşları ve uzanımlarının kullanılması ile derlenirler.

pahoehoe lav akması



aa lav akması

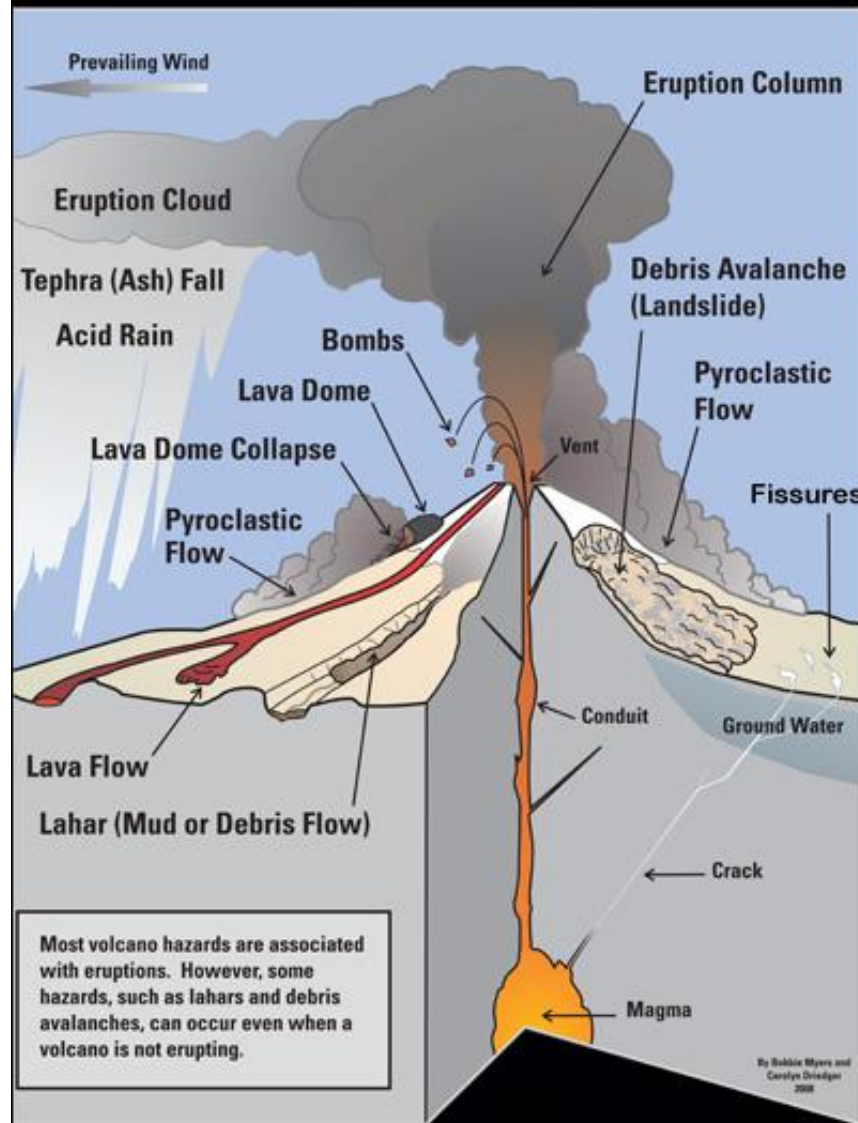


Dünyanın en yüksek stratovolkanı (karma volkan) olan Ekvator'daki Cotopaxi yanardağından 1877 yılında türeyen bir laharın, 270 km uzaklıkta Pasifik kıyısındaki Esmeralda şehrine ulaştığı tespit edilmiştir. Piroklastik gravite akışları volkanik faaliyetlerin en tehlikeli olanlarıdır. Havaya püskürtülen sıcak küller havadan daha yoğun olduğundan volkanın kenarına doğru büyük bir hızla düşerler. 1902 yılında, Martinik adasındaki St. Pierre şehri Pelee dağından türeyen 820°C sıcaklıktaki piroklastik gravite akışları ile kaplanmıştır. Zindanda bulunan bir mahkum dışında, adada bulunan diğer 29.933 kişi hayatını kaybetmiştir. Java yakınındaki Krakatoa yanardağının felaket türü patlamaları 4800 km uzaklıktan duyulmuş ve ortaya çıkan kül tabakası bütün dünyayı kaplamıştır. Endonezya'daki Tambora volkanının 1815 yılındaki püskürmesi havaya 50 km³ kaya fırlatmıştır. Püskürme ve bunun takip eden tsunami yaklaşık 90.000 kişiyi telef etmiştir. Akdeniz'deki eski adı There adası olan Santorini M.Ö. 1450 yılında püskürmüştür. Bunun sonucunda Girit adasındaki Minoan uygarlığı ortadan kalkmıştır. Belki de, bu uygarlık gizemli kayıp Atlantis'in ta kendisiydi. Bilinen en büyük Kuvaterner püskürmesi kuzey Sumatra'da günümüzden 75.000 yıl önce meydana gelmiştir. Büyük Toba, Hint Okyanusuna yaklaşık 2.800 km³ riyolit külü kusmuştur. 1982 yılında Meksika'daki El Chichon yanardağı, belki de bu yüzyılda kaydedilen en masif ve en yüksek toz perdesinin oluşmasına yol açmıştır. İnce sülfürik asit damlaları 30 km'lik bir yükseklikte tespit edilmiştir. 14 Haziran 1991 tarihinde, Filipinlerdeki Pinatubo yanardağının sebep olduğu ve kalınlıkları 200 metreye kadar ulaşan piroklastik akımlar yaklaşık 18 km yol almıştır. Ortaya çıkan stratosferik bulut, 20° kuzey ve 20° güney enlemleri arasında dünyayı çevrelemiştir. Çevredeki alanlar yaklaşık 2-3 gün boyunca karanlıkta kalmıştır (Güneş ışığından mahrum).

Birleşik Devletlerdeki St. Helens yanardağı (Oregon eyaleti) kıta Amerikasının en tehlikeli volkanik dağı olarak tanımlanmaktadır. En son 5000 yıl önce püsküren St. Helens yanardağı 18 Mayıs 1980 saat 8.30'da tekrar patlamıştır. Ancak patlamadan birkaç ay önce küçük ölçekli deprem ve püskürmeler göstermiştir. Püskürme dağın kuzey eteğindeki bir heyelanla başlamıştır. Bu heyelan da alttaki mağmanın basıncını hafifleterek dev bir patlamaya neden olmuştur. Bu senaryoyu haftalar önce tahmin eden jeolog Barry Voight, özel bir uçaktan kraterin üzerini incelerken yaklaşık 15 saniye içinde kraterin kuzey yamacında yer kayması başlamıştır. Böylece, basıncın ortadan kalkmasıyla mağmaya yakın olan yeraltı suyu buhar olarak dışarı çıkararak püskürmeye olanak tanımıştır. Kayan yer kütesinin hacmi yaklaşık 3 km³ olarak belirlendi. Yine yaklaşık 400 km²'lik bir alandaki bütün ağaçlar tefra ve sıcak volkanik gazlar tarafından yerle bir edildi. Piroklastik gravite akışın hızı saate 320 km'nin üzerindeydi.

Volkanik ürünler	Volkanik ürünleri oluşturan işlevler ve volkanik tehlike özellikleri	Volkanik tehlikelerin fiziksel lokasyonları
Döküntü düşmeleri	Dik volkanik yamaçların yıkılması. Yüksek bir hızla aşağıya doğru hareket.	Volkanların kısmi olarak topoğrafya ile kontrol edilen etekleri. Zayıf veya termal yolla altere olmuş kayalardan oluşan dik yamaçlardan püskürme olmaksızın harekete geçebilir. Büyük döküntü kaymaları vadi aşağısına doğru kadar uzanabilir.
Piroklastik akımlar	Sıcak kaya parçalarının doğrudan püskürmesi veya patlaması veya lav akması veya domunun yıkılması. Gazca zengin bulut hareketi ile taşınan kül parçaları volkandan 10 ile 100 km/saatlik bir hızla çıkarlar.	Çoğunlukla topoğrafya kontrollüdür. Etki yamaç aşağı ve vadi aşağısına doğru ise 'ye kadar uzanabilir. Yakın alanlar sıcak kül bulutlarının etkisi altında kalabilir.
Yatay patlama ve piroklastik sürüklenme	Kayaç parçalarının volkanın bir tarafından patlamalı olarak püskürmesi (magma ve gaz olabilir veya olmayabilir). Ani; döküntüler yüzlerce km/saatlik bir hıza ulaşabilir.	Patlama yönü patlamanın yayılımını kontrol eder; sürüklenmenin topoğrafya kontrolü üzerinde çok az bir etkisi vardır. Patlamalar 180°'lik bir alanı etkisi altına alabilir. Sürüklenmeler genellikle bacadan uzağa kadar ulaşabilir.
Lav akmaları	Ergimiş lavın patlamasız çıkışı; ergimiş lavlar yavaşça yamaç aşağıya doğru akarlar. Akış önleri genellikle bir insanın yürüme hızında hareket eder.	Çoğu akımlar topoğrafyayı takip eder ve bacadan itibaren en fazla uzağa varabilir.
Lav domları	Patlamasız, yüksek viskoziteli (yapışkan), yavaşça çıkan ve baca yukarısında biriken lavlardan kaynaklanır.	Yayılmı daha çok üst kotlar ve bacanın birkaç km çevresi ile sınırlıdır. Genellikle riyolitik volkanizma bölgelerinde yaygındır. Bacadan uzak alanlarda bile tehlikeli olacak şekilde yıkılabilir ve infilak edebilir.
Laharlar (döküntü akmaları)	Sıcak malzemenin buz, kar veya nehirler üzerine püskürmesi; krater göllerinin de püskürmeli olarak hareketi veya henüz oluşmuş piroklastik döküntüler üzerine aşırı şekilde yağmur yağması; ani; patlama yayılımı hızı onlarca km/saat olabilir.	Yayılmı daha ziyade vadi tabanları ile sınırlıdır. Etki alanı onlarca km olabilir.
Seller	Kökeni döküntü akmalarına benzer. Genellikle saatte 'nin altında bir hızla hareket eder. Buzul yarılmalarının gözlenmesi pek mümkün değildir (En son 1998 yılında İzlanda'da bu tür bir sel gerçekleşmiştir).	Vadi tabanları ile sınırlıdır. Yüzlerce km'ye kadar etki alanı vardır.
Tefralar	Parçaların düşey kolunu tarafından oluşur ve gaz rüzgar ile km'lerce öteye taşınabilir. Püskürme anidir; patlama yayılım hızı onlarca km/saat olabilir.	Volkanın yakını veya rüzgar tarafında olan alanlarda; püskürme hacmi ve yüksekliği, rüzgar hızı ve yönüne bağlı olarak etki yüzlerce km'ye kadar hissedilebilir; küresel olarak iklim değişebilir; çoğu büyük tefra püskürmeleri riyolitik volkanlarda görülür.
Gazlar	Patlayıcı veya patlayıcı olmayan püskürmeler sonunda oluşur. Gazlar sıcak olup ve genellikle kükürt, karbondioksit ve diğer zararlı bileşikleri içerirler. Saatteki hızı onlarca km olabilir. Feratik püskürmeler (gaz ile oluşan; magmanın doğrudan püskürmemekte) volkanlarda beklenmedik patlamalara yol açmaktadır.	Dağılım rüzgarın hızı ve yönü ile kontrol edilmektedir. Volkan yakınında büyük tehlikeler söz konusudur. Koku, duman ve hafif etkiler birkaç km'ye kadar etkili olabilir. Büyük hacimde ise, iklim küresel olarak değişebilir.

Geologic Hazards of Volcanoes





Lahar

Lav akması



Volkanik Tehlikeler



Kül düşmesi



Piroklastik akma

Toprak kayması



Son olarak, tamamıyla volkanik bir ada olan İzlanda'da 1999 yılında püsküren lavların etkisiyle buzullar erimiş ancak eriyen sular yerleşim birimlerinin bulunmadığı kısımlardan Atlantik Okyanusu'na katılmıştır.

Görüldüğü üzere, büyük miktarda yıkıcı bir etkisi olan volkan püskürmelerini önlemenin bir yolu yoktur. Ancak alınacak tedbirlerle zarar az da olsa hafifletilebilir. Bu tedbirlerden bazıları:

a)Yerleşim yerlerinin mümkün olabildiğince aktif yanardağlardan uzak yerlere kurulması. Maalesef, insanlar çok eski zamanlardan bu yana birçok şehir ve kasabayı aktif dahi olsa yanardağların eteklerine kurmuşlar ve bu şehirler günümüze kadar büyüyerek gelmişlerdir.

b)Aktif volkanların bulunduğu Japonya ve İtalya'da olduğu gibi, volkan patlamasının tam olarak zamanını bildirmese de, en azından yakın bir zamanda volkanik bir faaliyetin olabileceğine dair bilgi sağlayan ve yüzeyde kurulan seviye ölçerlerin kullanılması. Bu aletler, volkan püskürmesinden belirli bir süre önce yeraltında oluşan yer kabuğu hareketlerini esas alarak kabukta meydana gelen kabarmaları / şişmeleri tespit edebilmektedir.

c)Gelişmiş bir uyarı sisteminin kullanılması. Yerleşim biriminin volkan patlamasından itibaren mümkün olan en kısa süre içinde tahliye edilmesini gerekir. Japonya'nın güneyindeki bir adada ilkokula giden çocuklar her gün başlarına kask takmakta ve böylece ani olarak gelişebilen piroklastik akmalara karşı kendilerini korumaktadırlar.

II.7. BUZULLAR VE ÇIĞ DÜŞMELERİ

Buzul faaliyetleri yeryüzünün en gizemli jeolojik işlevleridirler. Buzullar dünyanın soğuk bölgelerinde bulunmaktadır, örneğin Antarktika, Kuzey Kutbu ve Kanada'daki Labrador vadisi gibi. Buzulların neden olduğu çevresel etkiler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

a)Buzulların küresel ısınma nedeniyle erimeleri. Bu işlev yeryüzünde kalıcı etkilere neden olabilir, deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle birçok yerleşim ve tarım alanı su altında kalabilir.

b)Kutup bölgelerindeki buz dağlarından kopan buzullar (aysbergler) denizlerde geliştiği güzel bir şekilde dolaşarak gemilerin seyirlerini etkilemekte ve hatta petrol platformları için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Kuzey denizinde deniz tabanına sabit olarak inşa edilen birçok petrol platformu serseri aysbergler tarafından yıkılmıştır. Ancak 2 sene önce yaklaşık 6 milyar Amerikan dolarına mal olan ve yapımı 5 sene süren Hibernia adlı petrol platformu ise her türlü aysberg etkisine karşı dayanıklıdır.

c)Çığ düşmeleri de buzulların neden olduğu tehlikelerden biridir. Özellikle üzeri karla kaplı dağ yamaçlarında kurulan yerleşim birimleri çığ tehdidini yakından hissetmektedir.

İki tür çığ düşmesi vardır. Bunlar, gevşek kar düşmesi ve kütle halinde çığ düşmesi. Gevşek kar düşmesi bir nokta veya küçük bir alandan başlar. Hareket aşığıya doğru devam ettikçe, hız ve kar miktarı artmaktadır. Gevşek kar çok az bir sürtünme ile şekilsiz bir kütle olarak hareket eder. Kütle halinde çığ düşmesinde ise, büyük miktarda bir kar alanı kütleli olarak hareket eder. ığların vereceği azaltmanın yolları şunlardır:

1-Alplerde olduğu gibi, çığ yollarının elik setlerle kaplanması. Fazla estetik görünmeyen bu tedbir, çığ hızını önemli derecede düşürmektedir.

2-ığ yolu üzerinde yine çığ hızını düşürmek için çukurların açılması.

3-Fişek veya top mermisi kullanmak suretiyle yapay çığ oluşturulması. Bu sayede gerçekte çığ düşmesi sonucunda oluşacak zararların kontrollü olarak ortadan kaldırılması. Örneğin, kapanan yollar kenarda beklemekte buldozerler vasıtasıyla hızlı bir şekilde açılabilir.

4-Yamaçların hemen yakınından geçen otoyolların betonarme elik köprülerle kapatılması.

