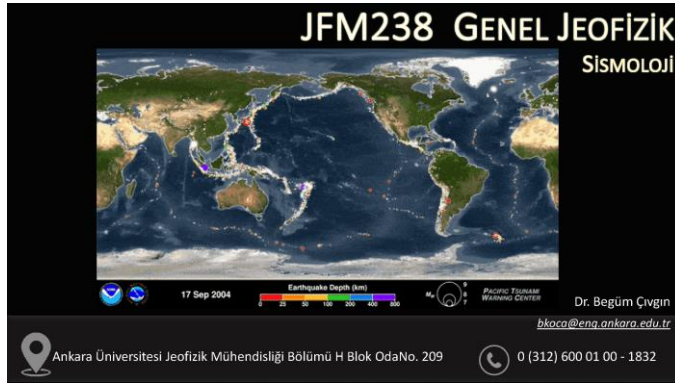


## 7-5- SİSMOLOJİ

1



2

## SİSMOLOJİ = DEPREM BİLİMİ

**Deprem:** Genellikle bir fayın kırılmasından kaynaklanan yer sarsıntısı olayı

**Kimler Deprem konusunda çalışır?**

- Sismologlar** (Dalgalar)
- Jeofizikçiler** (Mekanik, Jeodezi)
- Jeologlar** (Yapısal jeoloji, Paleosismoloji)

3

## DEPREMLER NEDEN OLUR?

### DEPREM TÜRÜ

- Yeni bir fayın oluşumu ve aniden kırılması **TEKTONİK**
- Mevcut bir fayın aniden kayması **TEKTONİK**
- Yanardağ içerisindeki magmanın hareketi / yanardağ patlaması **VOLKANİK**
- Büyük kütleli çöküntüler (mağara vb.) **ÇÖKÜNTÜ**
- Dev toprak kaymaları
- Meteor çarpması
- Yeraltı nükleer patlatmaları
- Rezervuar dolumu kaynaklı

**İnsan kaynaklı**

4

## DEPREM TERİNOLOJİSİ

- Fay (Fault):** Depreme neden olan kayma hareketinin meydana geldiği yüzey.
- Odak / Hiposentir (Hypocenter):** Depremin yer içindeki gerçek konumu, ilk hareketin başladığı nokta.
- Diş merkez / Episentir (Epicenter):** Yer içindeki odakın yeryüzündeki izdüşümü.
- Tavan blok (Hanging wall):** Fayın üstte kalan bloğu (avize asabilirsiniz!)
- Taban blok (Footwall):** Fayın altta kalan bloğu (üzerinde durabilirsiniz!)

- Deprem şiddeti:** Deprem etkilerinin hissedilen ve gözlenen ölçüsü. Deprem büyüklüğüne, uzaklığına, yer yapısına ve yapıların sağlamlığına göre değişir.
- Deprem büyüklüğü:** Depremde açığa çıkan enerji miktarının ölçüsü. Deprem kayıtları ve matematiksel bağıntılar kullanılarak hesaplanır.
- Sismometre:** Yerin titreşimlerini algılayan alettir.
- Sismograf:** Sismometre ve kayıttan oluşur, depremleri kaydeden alettir.
- Sismogram:** Depremlerin kaydedilmesi ile elde edilen grafik.

5

## DEPREM BÜYÜKLÜĞÜ

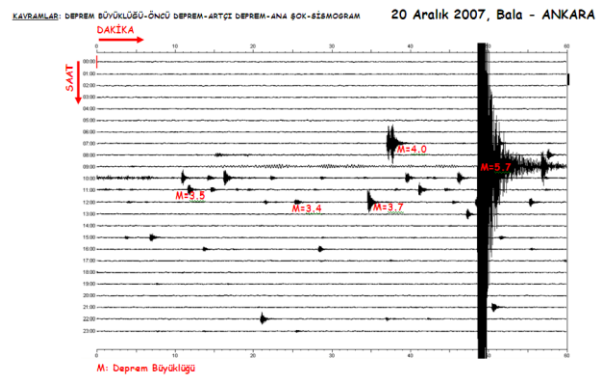
ALETSEL BÜYÜKLÜK / RİCHTER ÖLÇEĞİNE GÖRE BÜYÜKLÜK

DEPREMDE AÇIĞA ÇIKAN ENERJİ MİKTARININ ÖLÇÜSÜDÜR HER YERDE AYNIDIR !!

KAYDEDİLMİŞ EN BÜYÜK DEPREM  
MOMENT BÜYÜKLÜĞÜ=9.5 (1960, Şili)

**6.0 ≈ 5.0 × 30**

6



7

## DEPREM ŞİDDETİ

MERCALLİ ÖLÇEĞİNE GÖRE ŞİDDET

DEPREMİN ETKİLERİNİN HİSSEDİLEN VE GÖZLENEN ÖLÇÜSÜ  
HER YERDE AYNI OLMAZ !!

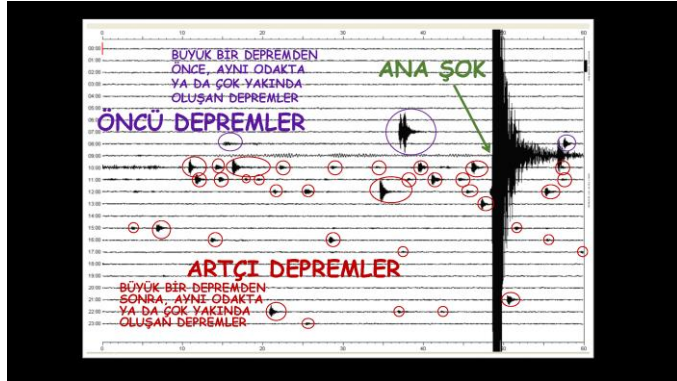
- ✓DEPREMİN BÜYÜKLÜĞÜNE,
- ✓DEPREMİN UZAKLIĞINA,
- ✓YERİN YAPISINA,
- ✓YAPILARIN SAĞLAMLIĞINA GÖRE DEĞİŞİR.

8

## Modified Mercalli Scale vs. Richter Scale

Category	Effects	Richter Scale (örneklemeler)
I. Instrumental	Not felt	1-2
II. Just perceptible	Felt by only a few people, especially on upper floors of tall buildings	3
III. Slight	Felt by people lying down, seated on a hard surface, or in the upper stories of tall buildings	3.5
IV. Perceptible	Felt indoors by many, by few outside; dishes and windows rattle	4
V. Rather strong	Generally felt by everyone; sleeping people may be awakened	4.5
VI. Strong	Trees sway, chandeliers swing, bells ring, some damage from falling objects	5
VII. Very strong	General alarm; walls and plaster crack	5.5
VIII. Destructive	Felt in moving vehicles; chimneys collapse; poorly constructed buildings seriously damaged	6
IX. Ruinous	Some houses collapse; pipes break	6.5
X. Disastrous	Obvious ground cracks; railroad tracks bent; some landslides on steep hillsides	7
XI. Very disastrous	Few buildings survive; bridges damaged or destroyed; all services interrupted (electrical, water, sewage, railroad); severe landslides	7.5
XII. Catastrophic	Total destruction; objects thrown into the air; river courses and topography altered	8

9



10

## FAYLAR NEDEN KIRILIR?

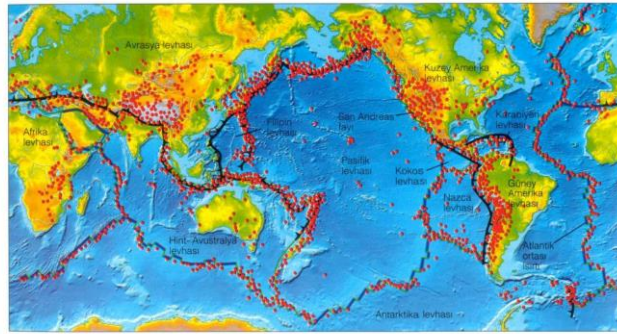
### LEVHA TEKTONİĞİ & ELASTİK GERİ SEKME KURAMI

Çekirdekte meydana gelen radyoaktif parçalanmalar sonucu açığa çıkan yüksek ısı nedeni ile üst manto'da oluşan konveksiyon akımları ile ergiyen malzeme yukarılara yükseldikçe litosferde gerilmelere ve daha sonra da zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır.

Bu levhalar astenosfer üzerinde yüzmekte olup, birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği bir hızla (yılda ~160 mm Nazca levhası) hareket etmektedirler.



11



Yakınlaşan sınır      Uzaklaşan sınır      Transform sınır

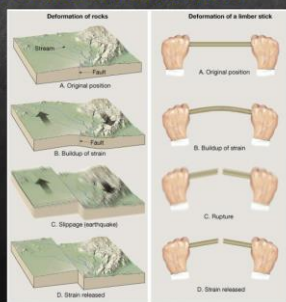
12

## FAYLAR NEDEN KIRILIR?

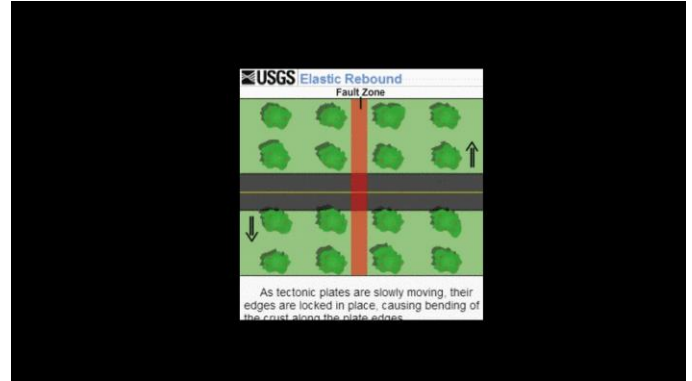
### LEVHA TEKTONİĞİ & ELASTİK GERİ SEKME KURAMI

Herhangi bir noktada, zamana bağlı olarak, yavaş yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine görece hareketine neden olmaktadır.

Bu ani yer değiştirme bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin açığa çıkması, boşalması, diğer bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır.



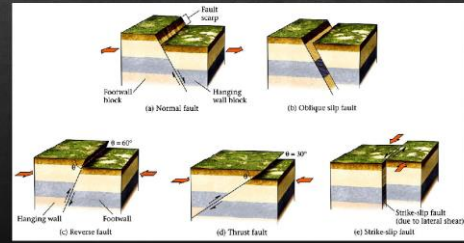
13



14

## FAYLAR

Genel olarak üç fay türü vardır: **Normal (normal)**, **Ters (reverse)** ve **Doğrultu-atımlı (strike-slip)**. Dalımı (yatayla yaptığı açı) 45° den dar olan ters faylara **Bindirme fayı (thrust fault)** denir. Farklı türlerin karışımından oluşan faylara **Oblik fay (oblique slip fault)** denir.



15



16



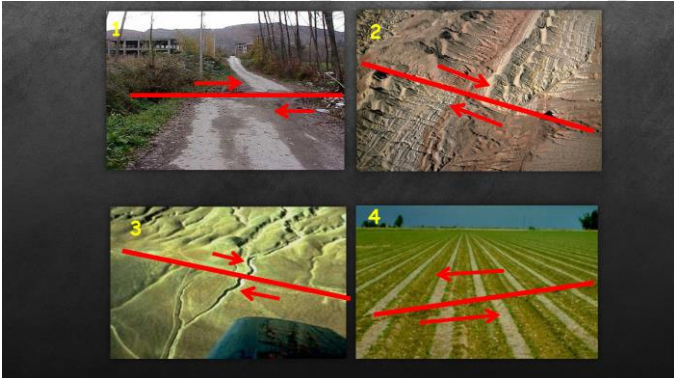
17



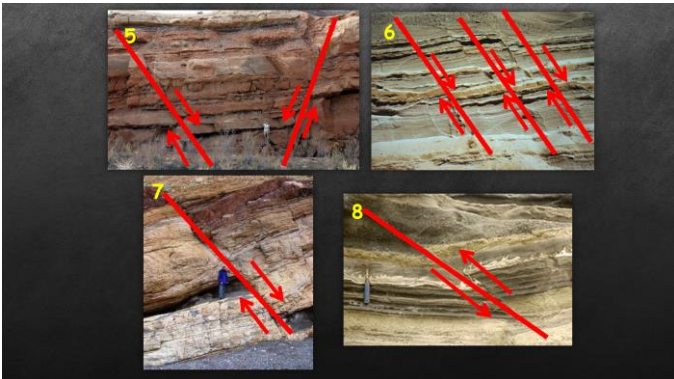
18



19



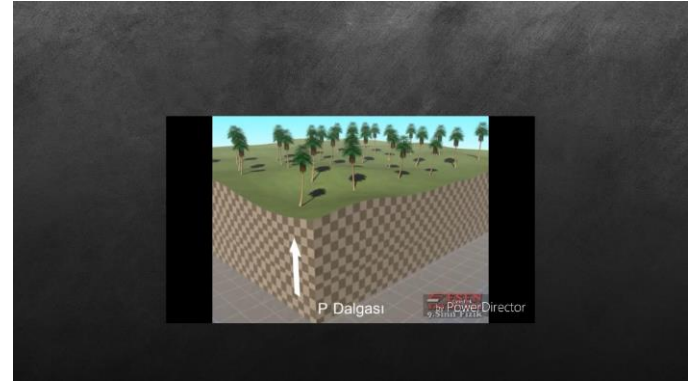
20



21



22



23

### DEPREM DALGASI TÜRLERİ

**CİSİM DALGALARI**

**P-dalgaları** ya da birincil dalgalar

- ✓ en hızlı deprem dalgalarıdır
- ✓ katı, sıvı ve gazların içinde seyahat edebilir
- ✓ sıkışma ya da itme-çekme dalgalarıdır
- ✓ ilerlediği yönde tanecikleri ileri geri hareket ettirir

**S-dalgaları** ya da ikincil dalgalar

- ✓ P-dalgalarından biraz daha yavaştır
- ✓ sadece katı malzemelerde seyahat eder
- ✓ makaslama dalgalarıdır çünkü tanecikleri hareket yönüne dik doğrultuda hareket ettirerek içlerinde yol aldıkları malzemede makaslama gerilimi yaratırlar

24

### DEPREM DALGASI TÜRLERİ

**YÜZEY DALGALARI**

Yeryüzünde ya da yüzeyin hemen altında yol alır ve cisim dalgalarından daha yavaştır

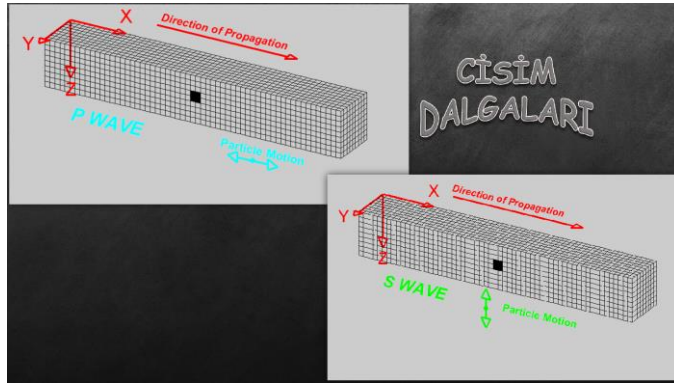
**Rayleigh dalgaları**

- ✓ su dalgaları gibi davranır
- ✓ tanecikler dalga hareketi yönündeki dikey düzlem içinde tersine dönerek aynı anda ilerler (retrograde)

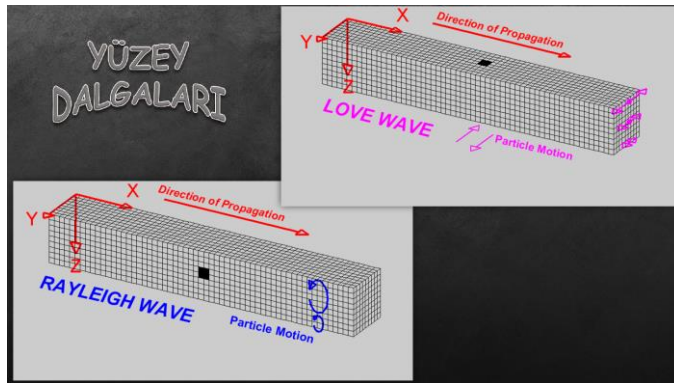
**Love dalgaları**

- ✓ tanecikler dalga ilerleyişinin yönüne dik olan yatay düzlemde ileri geri hareket ederler

25



26



27

### SİSMİK DALGA HIZLARI

Hangisi daha hızlı?

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

$K$  = Bulk modülü (hacimsel gerilime direnç veya "sıkıştırılabilirlik")  
 $\mu$  = Kesme modülü (kesme gerilimine direnç veya "şekil değişimine" karşı direnç)  
 $\rho$  = Yoğunluk

$$K = -\frac{P}{\left(\frac{\partial V}{V}\right)}$$

Koşulların her birinin sonucu

$$\mu = \frac{\tau}{\delta\theta}$$

Sıvılarda kesme direnci olmadığı için  $\mu = 0$

28

### SİSMİK DALGALARIN DÖNÜŞMESİ

Ara yüzeye gelen bir sismik dalga ışını yeni ışınlar oluşturur

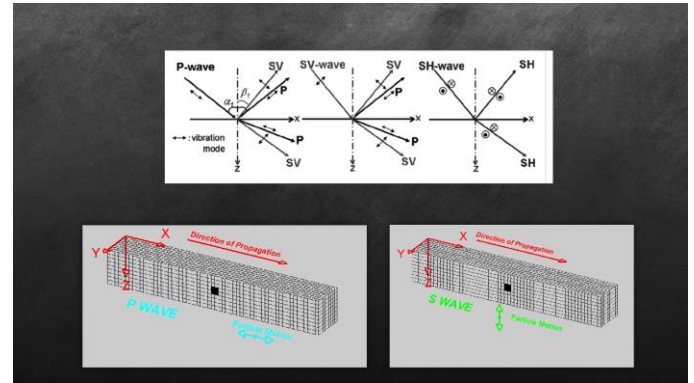
Gelen bir P veya S ışını

- Yansıyan P ışını
- Yansıyan S ışını
- Kırılan P ışını
- Kırılan S ışını

P-wave	SV	SV-wave	SV	SH-wave	SH
SV	P	SV	P	SH	SH
SV	P	SV	P	SH	SH

→ vibration mode

29



30

### SH & SV ???

#### P, SV, AND SH PARTICLE DISPLACEMENT

31

### YÜZEY DALGALARI: LOVE & RAYLEIGH

**Love:** SH dalgalarının girişimi  
 Yayınım doğrultusuna dik yatay hareket.

**Rayleigh:** P ve SV hareketlerinin girişimi  
 Yayınım doğrultusunun tersine eliptik hareket (retrograde).

32

### KABUK FAZLARI

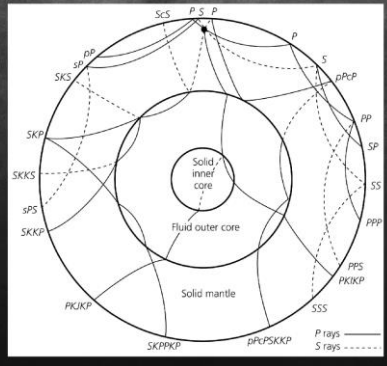
Pg, Sg Üst kabuktan doğrudan gelen  
 Pb, Sb Alt kabuktan geçen, kırılan  
 Pn, Sn Üst mantodan geçen, kırılan  
 Pn/Pn, Sn/Sn Pn/Sn serbest yüzeyden yansıyan  
 Pg/Pg, Sg/Sg Pg/Sg serbest yüzeyden yansıyan  
 PmP, SmS, PmS, SmP Moho yansıması

PmPn, SmSn PmP/SmS serbest yüzeyden yansıyan  
 (N=1,2,3...)  
 Lg Love  
 Rg Rayleigh

33

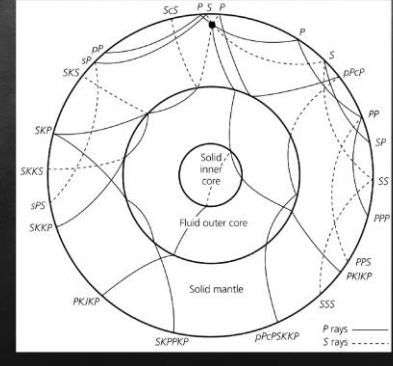
### KÜRESEL SİSMİK DALGA FAZLARI

Küresel ölçekte Yerkürenin başlıca tabakalarında yansıma veya kırılma ile dönüşen dalgalar **sismik dalga fazlarını** oluştururlar.



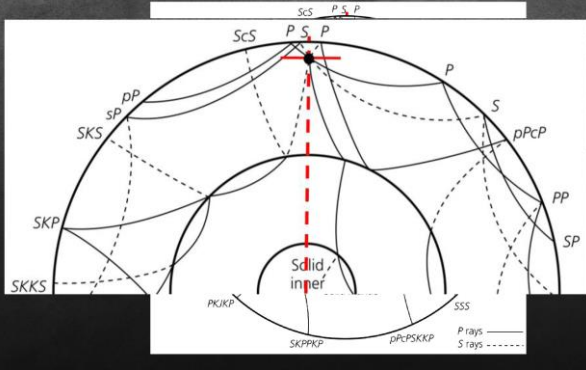
37

PKP  
SKS  
SKP  
PKS  
PKKP  
PKKS  
PSKKP??



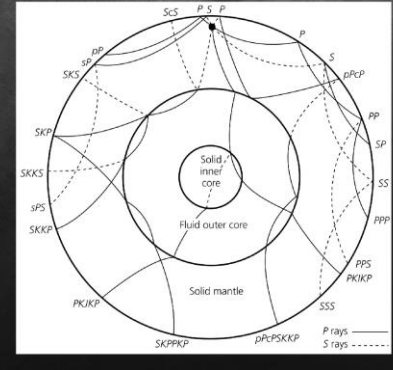
34

P  
s  
pP  
pS  
sP  
SS



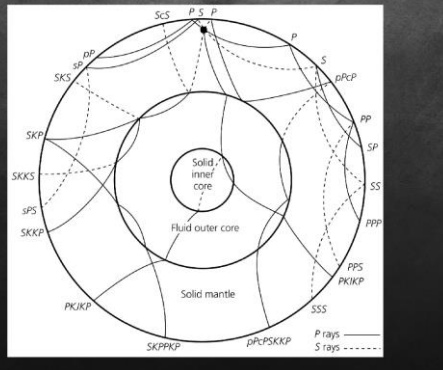
38

PKiKP  
SKiKP  
SKiKS  
PKiKS  
PKKiKP??



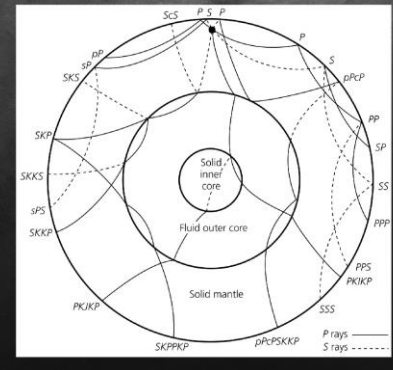
35

P, S  
PS, SP  
PPP, PPS, PSP  
SSS, SSP, SPS



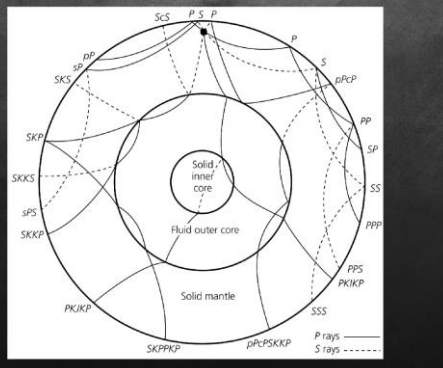
39

PKiKP  
PKJKP  
PKiKS  
SKJKP



36

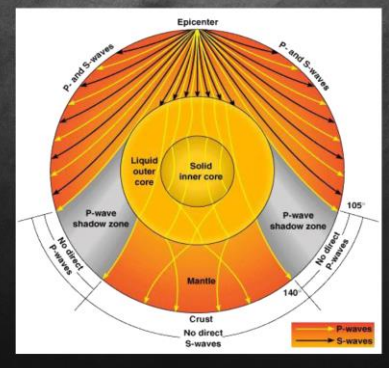
PcP  
PcS  
ScS  
ScP



40

### GÖLGE ZONU

- Doğrudan gelen **S dalgaları** sıvı dış çekirdekten geçemedikleri için deprem istasyon arası mesafe  $< 105^\circ$  ( $103^\circ$ ) ise kaydedilebilir.
- Doğrudan gelen **P dalgaları** manto-çekirdek sınırında saçılmaya uğradıkları için  $105^\circ - 140^\circ$  ( $103-143$ ) arasında kaydedilemezler



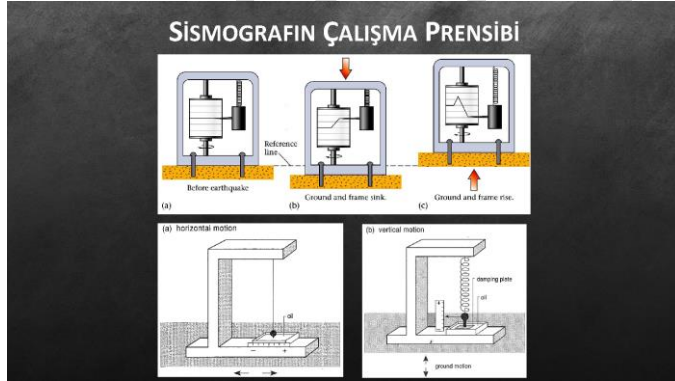
41



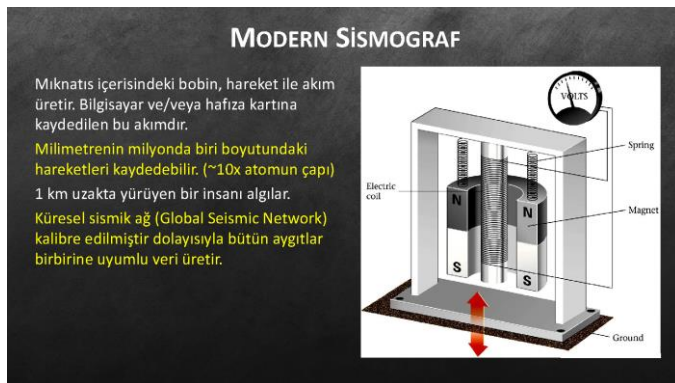
42



43



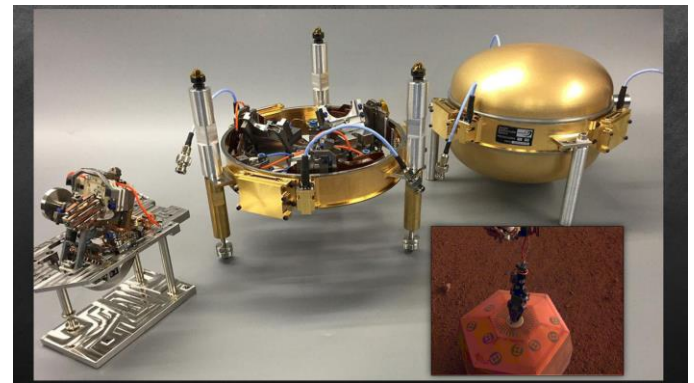
44



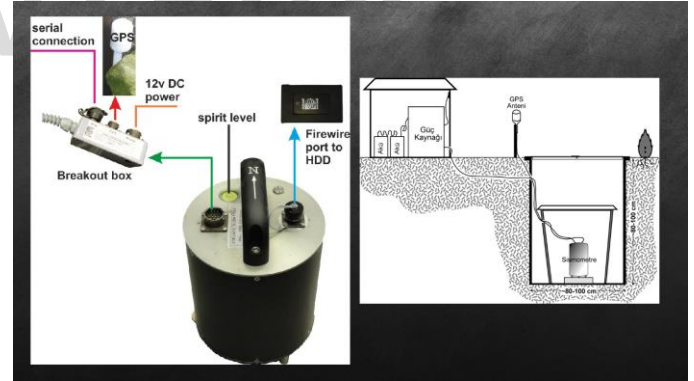
45



46



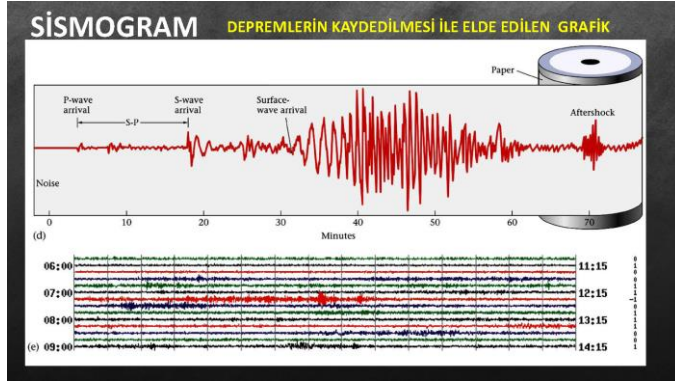
47



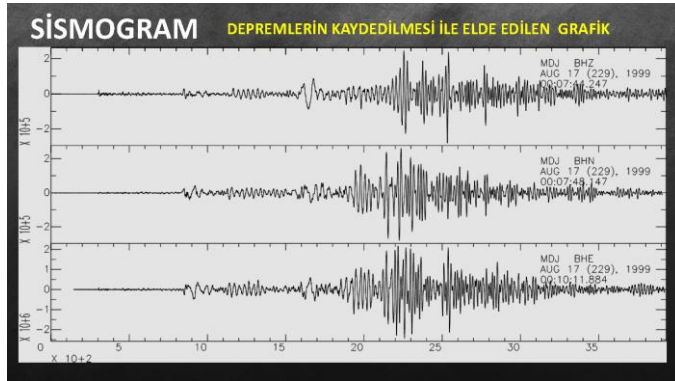
48



49



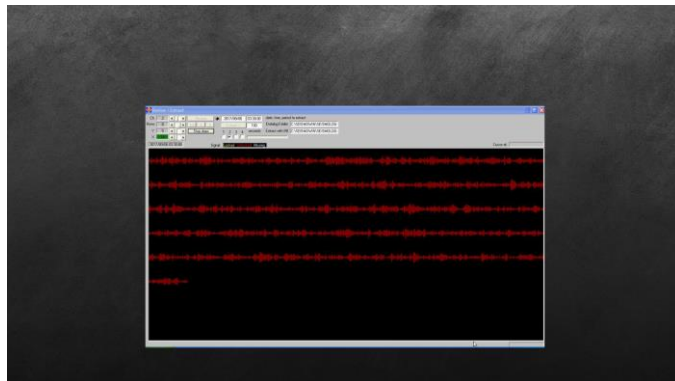
50



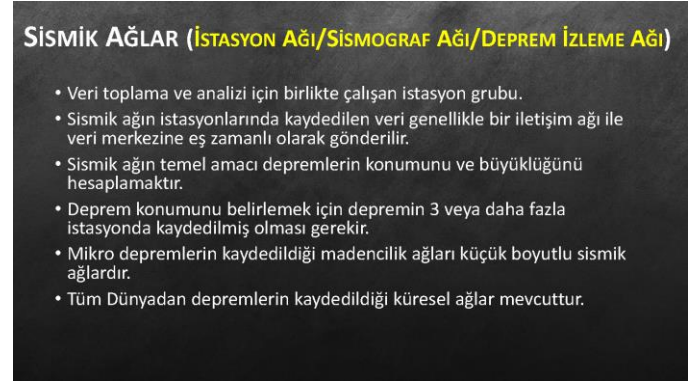
51



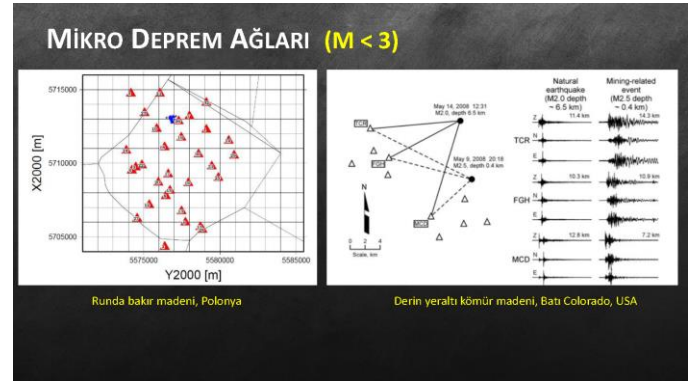
52



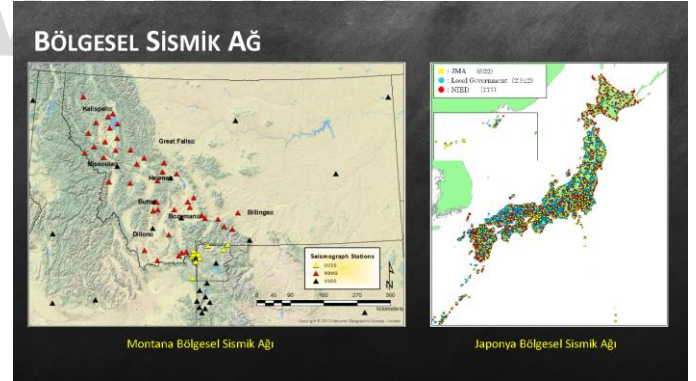
53



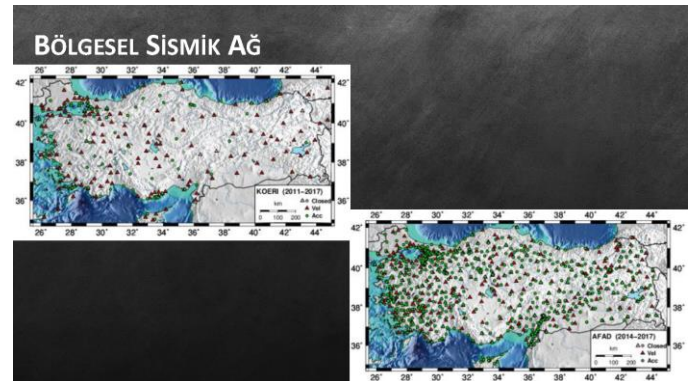
54



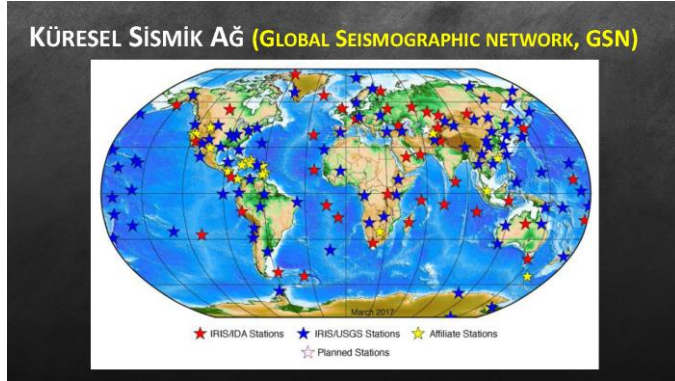
55



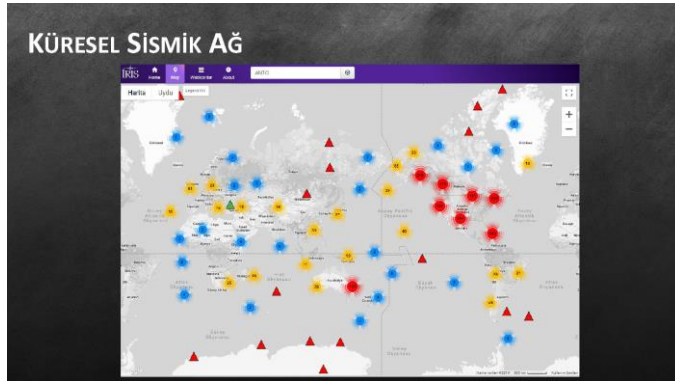
56



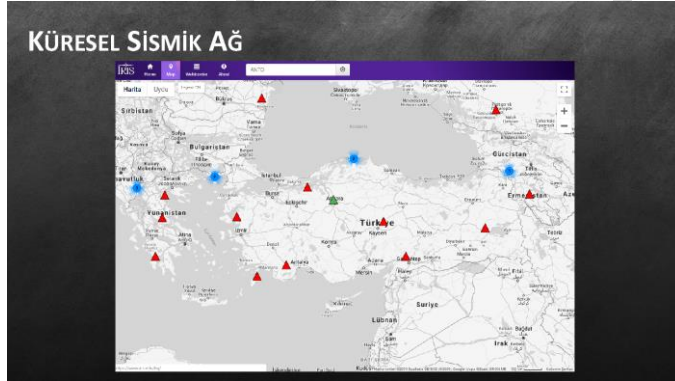
57



58



59



60

### DEPREM KAYITLARINDAN NE ELDE EDERİZ?

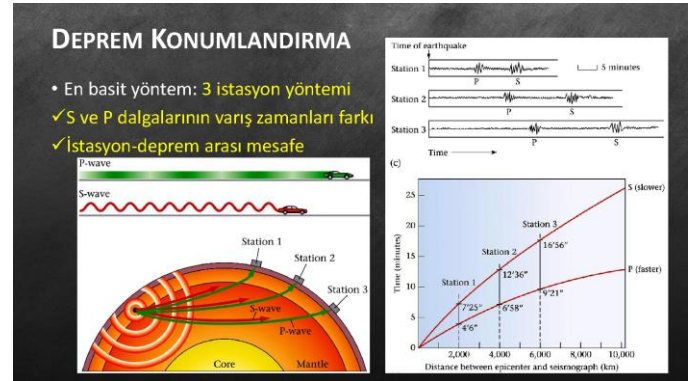
- **DEPREM ODAK PARAMETRELERİ**
  - KONUM: Episantr Enlem ve Boylamı, Kaynak Derinliği
  - Oluş Zamanı
  - Büyüklük
- **ODAK MEKANİZMASI ÇÖZÜMÜ**

61

### DEPREM KONUMLANDIRMA

- Hiposantrın hesaplanması aslında bir ters çözüm problemidir. Eldeki bilgiler, bir sismik olaydan (deprem, patlatma, vb) yayılan sismik dalgaların yeryüzünde coğrafik koordinatları belli sismoloji istasyonlarına varış zamanlarıdır. Bu bilgilerden tersine giderek varsayılan yer modelinden sismik olayın oluş zamanı, coğrafik koordinatları ve derinliği bulunur.

62

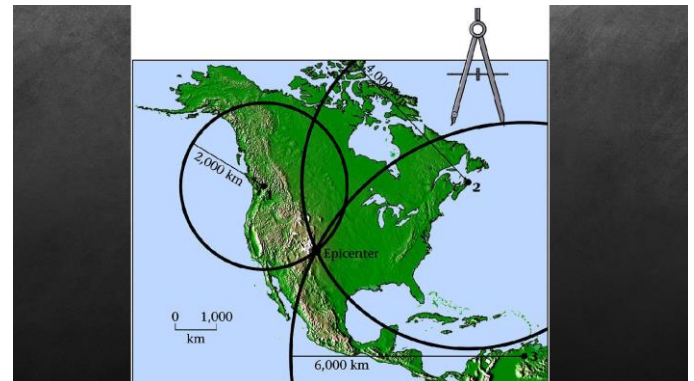


63

### 3 İSTASYON YÖNTEMİ

- 1 istasyon deprem konumu için sonsuz olasılık verir
- 2 istasyon 2 olası konum verir
- 3 istasyon 1 konum verir
  - Hata içerir
- Deprem konumu (epicenter) dairelerin kesiştiği noktadır

64

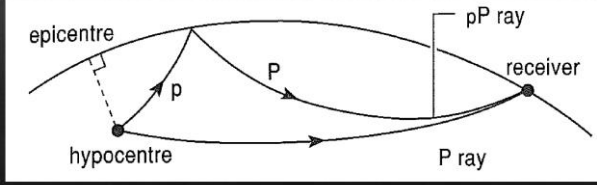




65

## DEPREM DERİNLİĞİ

- pP (derinlik fazı) varış zamanı kullanılır
- P-pP arasındaki zaman farkı belirlenir ve bazı bağıntılar yardımı ile derinlik hesaplanır.



66

## BÜYÜKLÜK (MAGNİTÜD)

- Depremün büyüklüğünü aletsel verilere dayanarak saptayan, Richter tarafında 1935 de ortaya atılmış bir büyüklüktür.
- Magnitüt, depremin uzaklığına, kayıt aletinin türüne vb bağlı değildir.
- Değişik alet ve uzaklıktaki depremlerin magnitütlerini hesaplamak için genel formül

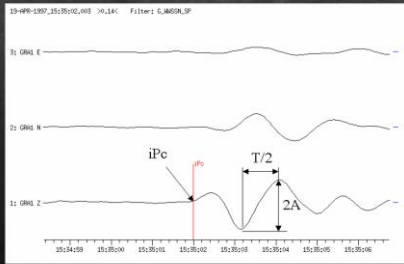
$$M = \log\left(\frac{A}{T}\right) + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$

M Magnitüt  
A mikron cinsinden yerin genişliği  
T dalganın periyodu  
 $\Delta$  derece cinsinden episantr uzaklığı  
h km olarak odak derinliği

f fonksiyonu teorik ve deneysel sonuçlara dayanarak bulunan bir fonksiyondur  
C<sub>s</sub> istasyondaki özel durumlar, örneğin yerel yapı gibi, şartlar için istasyon düzeltmesi  
C<sub>r</sub> farklı deprem mekanizmaları ve farklı deprem bölgeleri için bölgesel düzeltme

67

$$M = \log\left(\frac{A}{T}\right) + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$



68

## BÜYÜKLÜK TÜRLERİ

- $M_w$  : Moment büyüklüğü (en güvenilir büyüklük, sismik momentten hesaplanır) [deprem üreten kaynağın büyüklüğünün bir ölçüsü]
- $M_D$  : Süreye bağlı büyüklük
- $M_L$  : Yerel büyüklük
- $M_S$  : Yüzey dalgası büyüklüğü
- $m_b$  : Cisim dalgası büyüklüğü

69

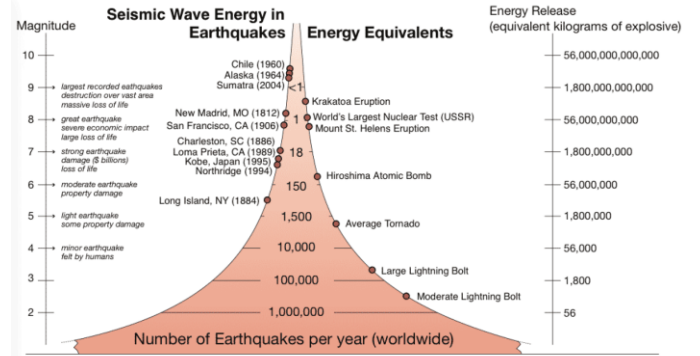
## DEPREM ENERJİSİ (E)

$$\log E = 5.8 + 2.4 m_b$$

$$\log E = 11.8 + 1.5 M_S \quad (M_S \text{ 1 birim artarsa enerji } 31.62 \text{ kat artar})$$

1960 Şili depreminde ( $M_w$  9.5) açığa çıkan enerji  $10^{26}$  erg dolayındadır. Bu enerji, 300 veya daha fazla megatonluk nükleer bir patlamaya eşdeğerdir. 1999 Kocaeli depreminde ( $M_S$  7.4) açığa çıkan enerji ise  $10^{22.9}$  erg dolayındadır.

70



71

## ODAK MEKANİZMASI ÇÖZÜMÜ

### \* Tek bir deprem kaydının kullanılması

1. P dalgası ilk hareketlerinin kullanılması: Çok sayıda istasyon gerektirir. İstasyonların dağılımına bağlıdır.
2. P dalgası ilk hareketi ve genliğinin kullanılması: Beş veya daha fazla istasyon gerektirir.
3. P ve S dalga şekillerinin kullanılması: Beş veya daha fazla dalga şekli gerektirir.
4. Tüm dalga şeklinin kullanılması: Bir veya daha fazla istasyon gerektirir.

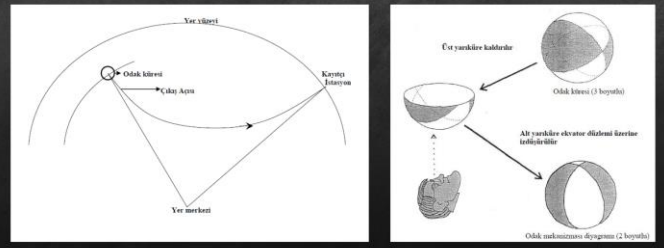
### \* Birden fazla deprem kaydının kullanılması

Aynı bölgede olmuş çok sayıda depremin odak mekanizmalarının benzer olduğu varsayımı yapılarak her bir depreme ait P dalgasının ilk hareketi aynı odak mekanizması diyagramı üzerine çizilebilir. Bu tip bir odak mekanizması diyagramı kullanarak, küresel alana ait karma odak mekanizması belirlenebilir.

72

## ODAK MEKANİZMASI ÇÖZÜMÜ

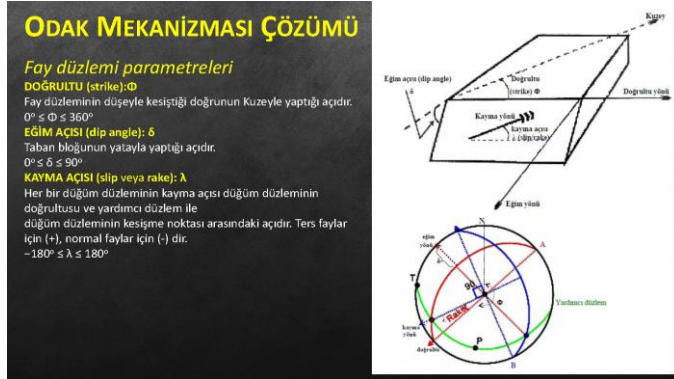
Odak küresi, odağı saran küçük hipotetik bir küredir. Dolayısı ile, ışınların, odak küresinden, odağı terk ettikleri açıyla geçtikleri kabulü yapılabilir.



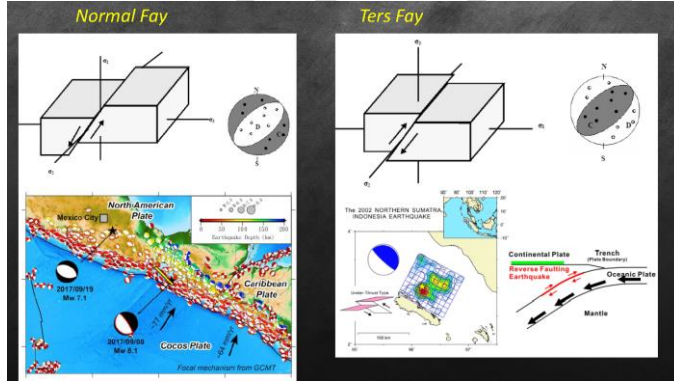
73



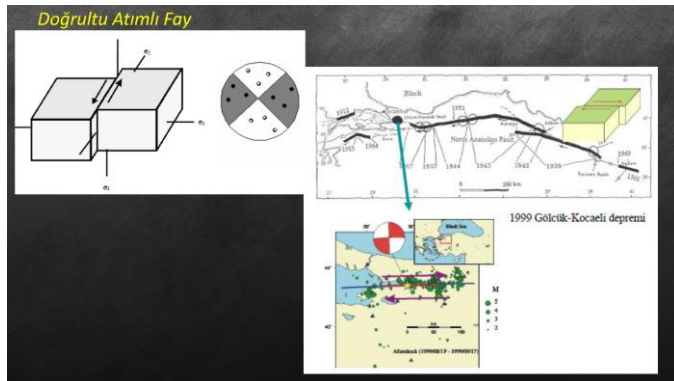
74



75



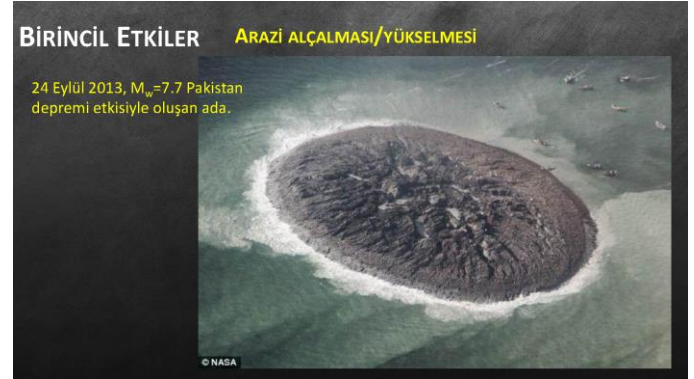
76



77



78



79



80



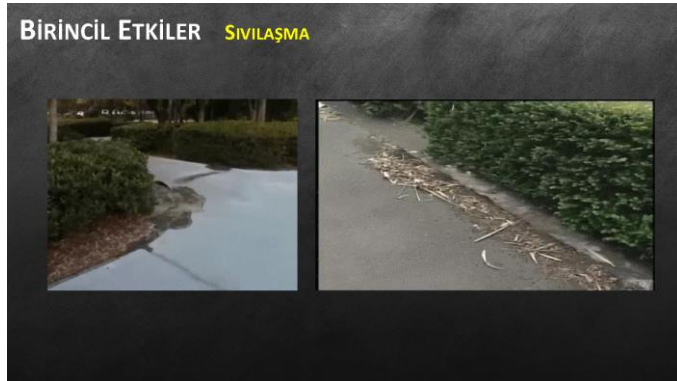
81



85



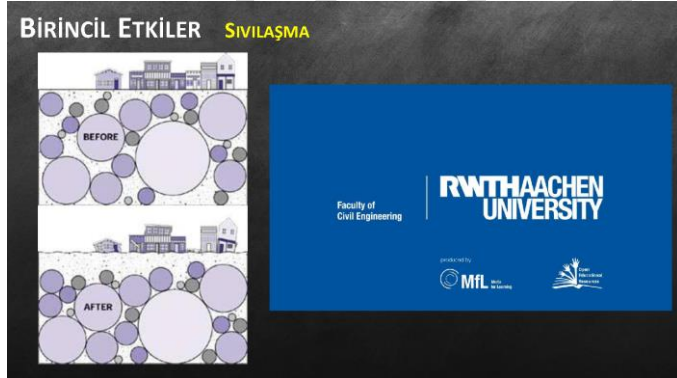
82



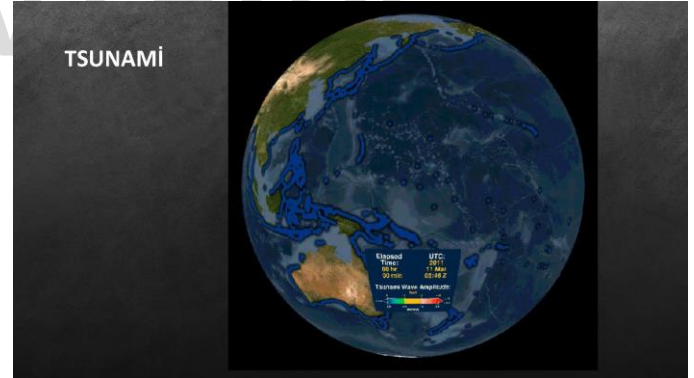
86



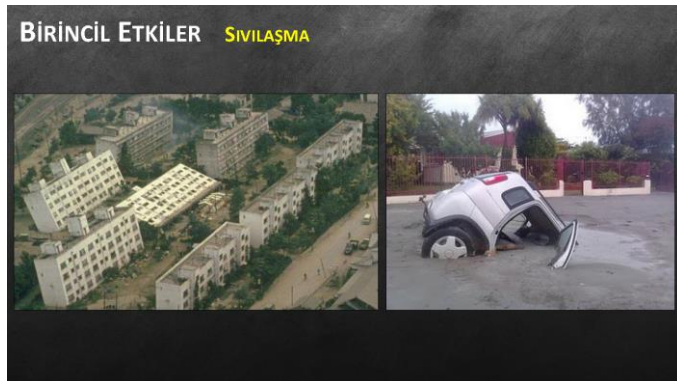
83



87



84



88





B. CIVGIN