

# DEPREMLERİN KAYIT EDİLMESİ - SİSMOGRAFLAR -

Doç.Dr. Eşref YALÇINKAYA  
(2. Ders)

Bu derste ;

- Sismograf ve bileşenleri
  - Algılayıcı
  - Sinyal koşullandırma birimi
  - Kayıt sistemi
- Sismometrenin diferansiyel denklemi  
(zoruna titreşim)
- Sismogramlar ve özellikleri

# **Sismograf ;**

**Yer hareketini algılayan ve zamanın fonksiyonu olarak kaydeden bir düzenektir.**

- 1. Algılayıcı (sismometre)**
- 2. Sinyal koşullandırma birimi**
- 3. Kayıt sistemi**

E.YALÇINKAYA

3

## **Algılayıcı (Sismometre)**

**Sismometre; yer hareketini algılayan, esas itibariyle zoruna hareket yapan bir sarkaç sistemidir.**

## **Sinyal koşullandırma birimi**

**Sismometrenin çıkışına uygulanan ve sinyali büyüterek temiz hale getirmeye yarayan cihazlardır.**

## **Kayıt sistemi**

**Sinyal koşullandırma biriminden gelen sinyali bir kağıda yada hard diske kaydeden cihazlardır.**

E.YALÇINKAYA

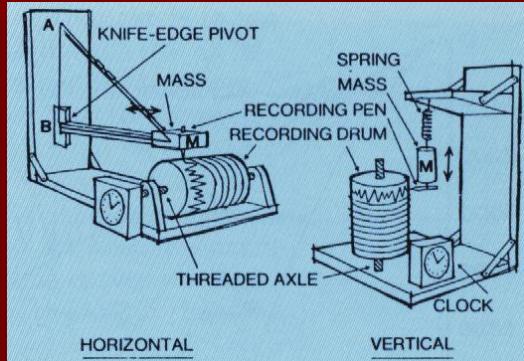
4

# Sismometre

## Çalışma prensibi :

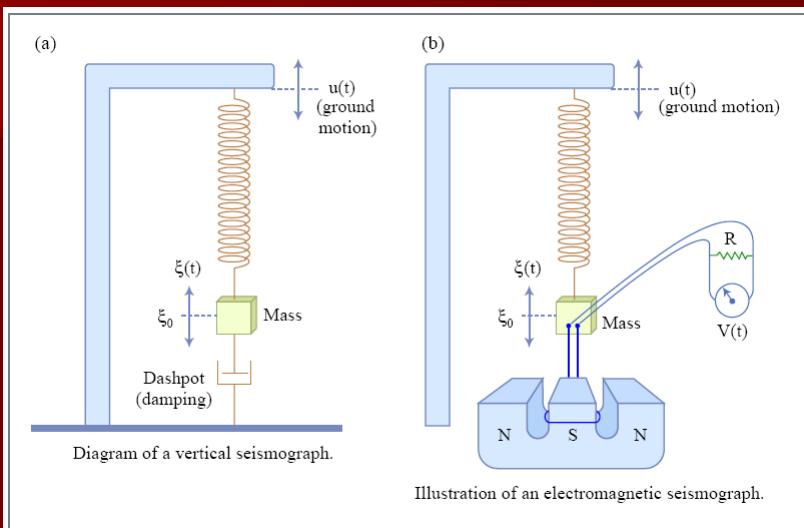
### ■ Temel prensip :

- Yay-kütle sistemi yere sabitlenen bir çerçeve üzerinde tutturulur
- Çerçeve sismik dalgalar nedeniyle hareket ettiğinde, kütlenin ataleti bu harekete uyumada gecikir
- Kütlenin ucundaki kalem çerçeveye birlikte hareket eden kayıt üzerine yazar
- Kütle, sürekli salınımı engellemek amacıyla sönümlendirilir
- Göreceli hareket binlerce katına kadar büyütülerek kaydedilir



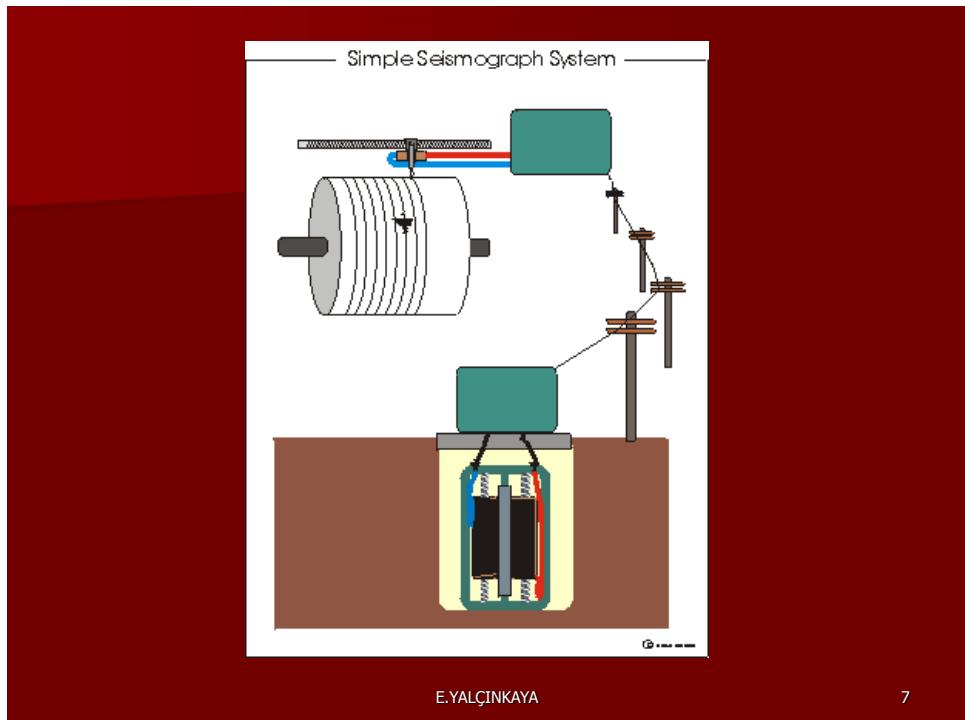
E.YALÇINKAYA

5



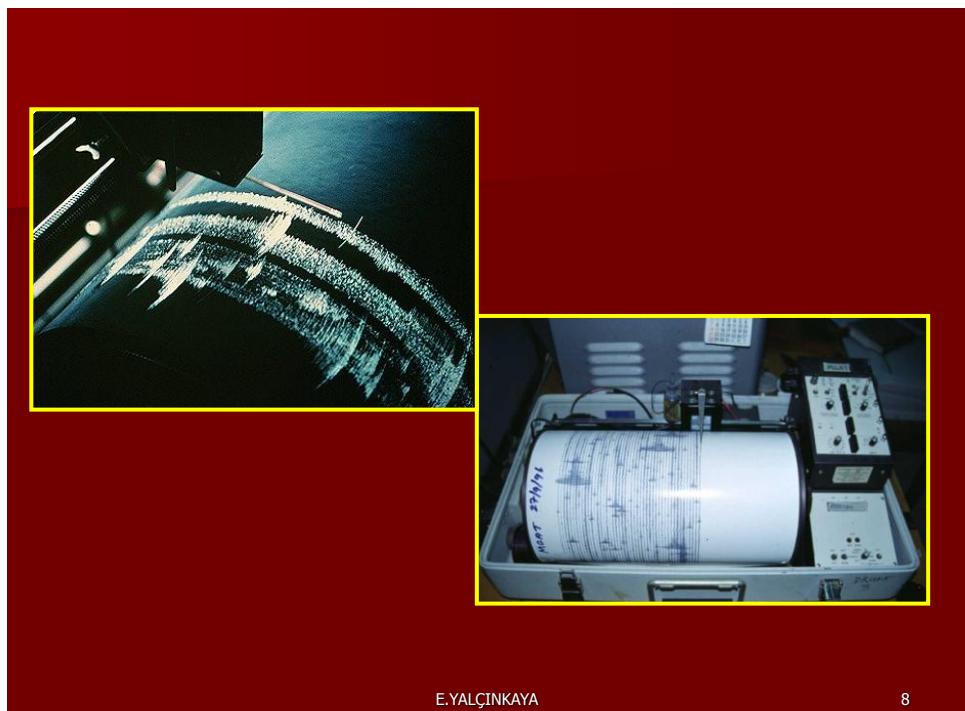
E.YALÇINKAYA

6



E.YALÇINKAYA

7



E.YALÇINKAYA

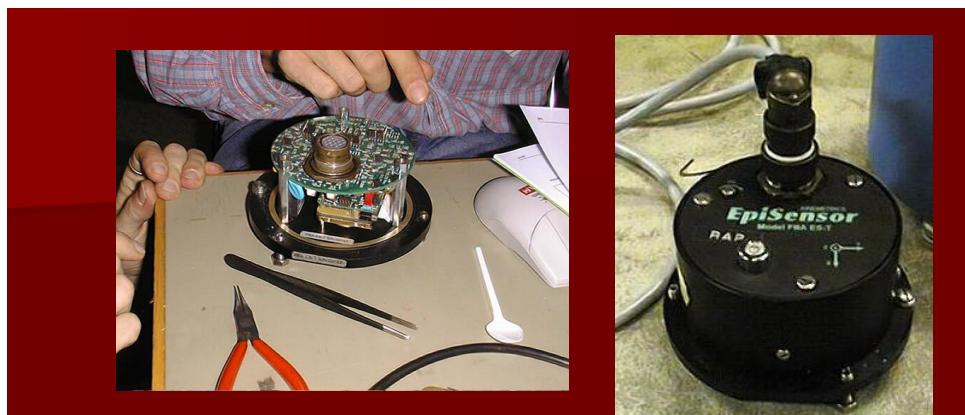
8



Sol: Guralp CMG-3T BB sensörün iç görüntüsü. Sağ: Dış görüntü.

E.YALÇINKAYA

9



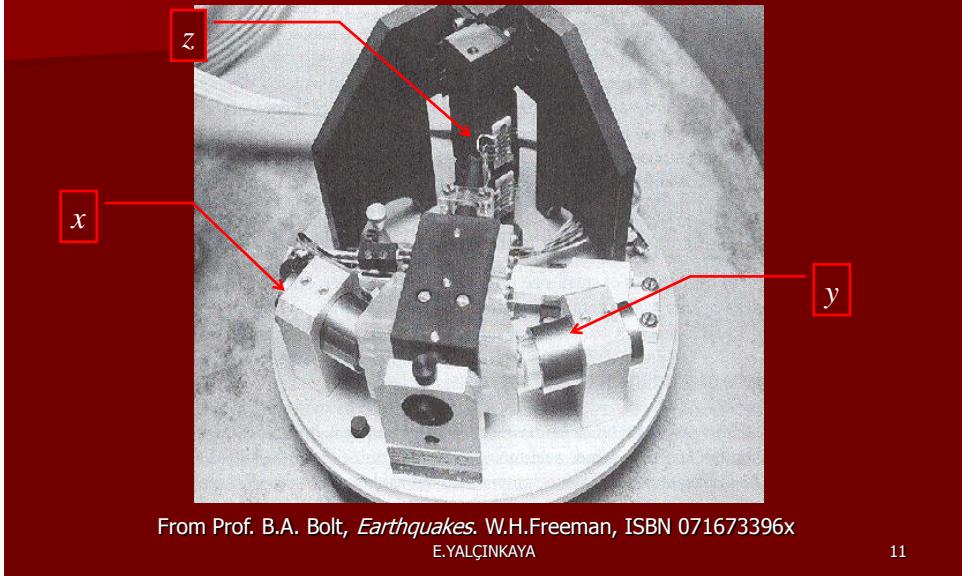
13 cm

Kinemetrics 3-bileşen Episensor, bir FBA ivme ölçer

E.YALÇINKAYA

10

## Modern (digital) seismometer



11

## Sismometrenin Yerleştirilmesi



12



Sismometrenin  
Yerleştirilmesi



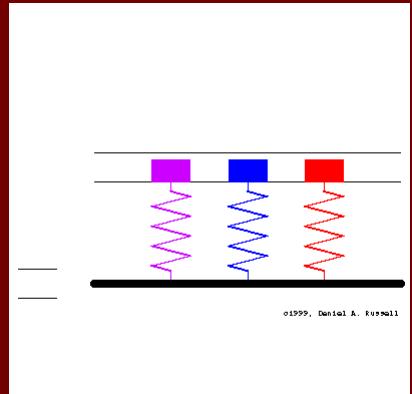
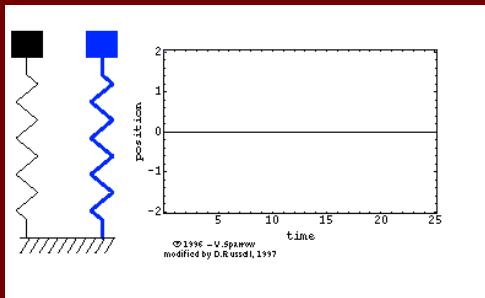
E.YALÇINKAYA

13

## Modern bir sismograf istasyonunda;

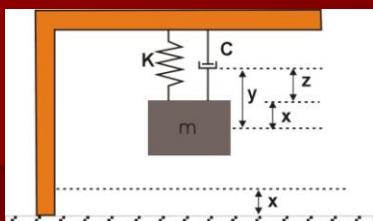
- Sismometre : Yer hareketi algılayıcısı  
(ivme, hız veya yerdeğiştirme)
- Veri kayıt sistemi: Sismometrenin algıladığı  
sinyallerin kaydedilmesi
- GPS ; Global zaman sağlayıcısı
- Enerji kaynağı; aküler, güneş panelleri
- Kablolar, paratoner sistemi, vb.

# Sismometre Denklemi- Zoruna Titreşimler



E.YALÇINKAYA

15



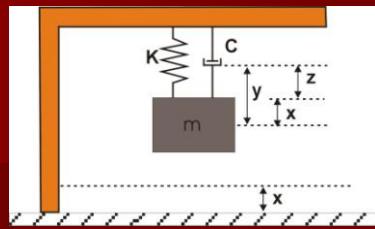
**"m"** kütlesi, elastik sabiti **"k"** olan bir yay ve sönüm sabiti **"c"** olan bir söndürücü sistem ile düşey sarkaç olarak tasarılmış. Sarkacın çerçevesi **"x(t)"** kadar hareket ettiğinde, kütle **"y(t)"** kadar hareket eder ve kütlenin çerçeveye göre göreceli hareketi **"z(t)"**;

$$z(t) = y(t) - x(t)$$

Sismometreler gelen sinyalin frekans içeriğine göre farklı tepki verirler. Bu nedenle; sismometrelerin transfer veya yanıt fonksiyonlarının (response function) önceden bilinmesi gereklidir.

E.YALÇINKAYA

16



$$m\ddot{y} = -Kz - c\dot{z}$$

$$m(\ddot{x} + \ddot{z}) + c\dot{z} + Kz = 0 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \beta = \frac{c}{2\sqrt{Km}}$$

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + Kz = -m\ddot{x}$$

$$\ddot{z} + \frac{c}{m}\dot{z} + \frac{K}{m}z = -\ddot{x} \quad \ddot{z} + 2\beta\omega_0\dot{z} + \omega_0^2z = -\ddot{x}$$

E.YALÇINKAYA

17

$$\ddot{z} + 2\beta\omega_0\dot{z} + \omega_0^2z = -\ddot{x}$$

↗  $x(t) = Z \sin(\omega t)$

Bu denklemin çözümü (geçici terimi ihmal edersek) ;

$$z(t) = Z \sin(\omega t - \varepsilon)$$

Z ve  $\varepsilon$  ; çerçeve ve kütle arasındaki göreceli hareketin genliği ve fazıdır :

$$Z = \frac{\omega^2 X}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\omega\omega_0\beta)^2}}$$

$$\varepsilon = \tan^{-1} \left( \frac{2\beta\omega\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

E.YALÇINKAYA

18

$$Z = \frac{\omega^2 X}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\omega\omega_0\beta)^2}} \quad \varepsilon = \tan^{-1} \left( \frac{2\beta\omega\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

Kütlenin çerçeveye göre  
göreceli hareketinin  
genliği  $Z$  ;

- Yer haretinin genliğine ( $X$ )
- Yer haretinin frekansına ( $\omega$ )
- Sarkacın doğal frekansına ( $\omega_0$ )
- Sarkacın sönümüne ( $\beta$ )

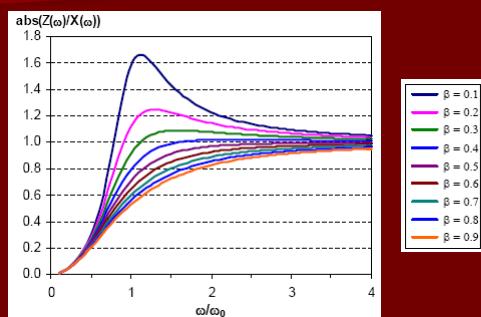
Sismometre tarafından ölçülen hareket  $z(t)$ , yer haretini  
 $x(t)$ 'ye göre faz ( $\varepsilon$ ) kadar kaydırılır.

E.YALÇINKAYA

19

$$\frac{Z}{X} = \frac{\omega^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\omega\omega_0\beta)^2}}$$

Sismometrenin  
transfer fonksiyonu

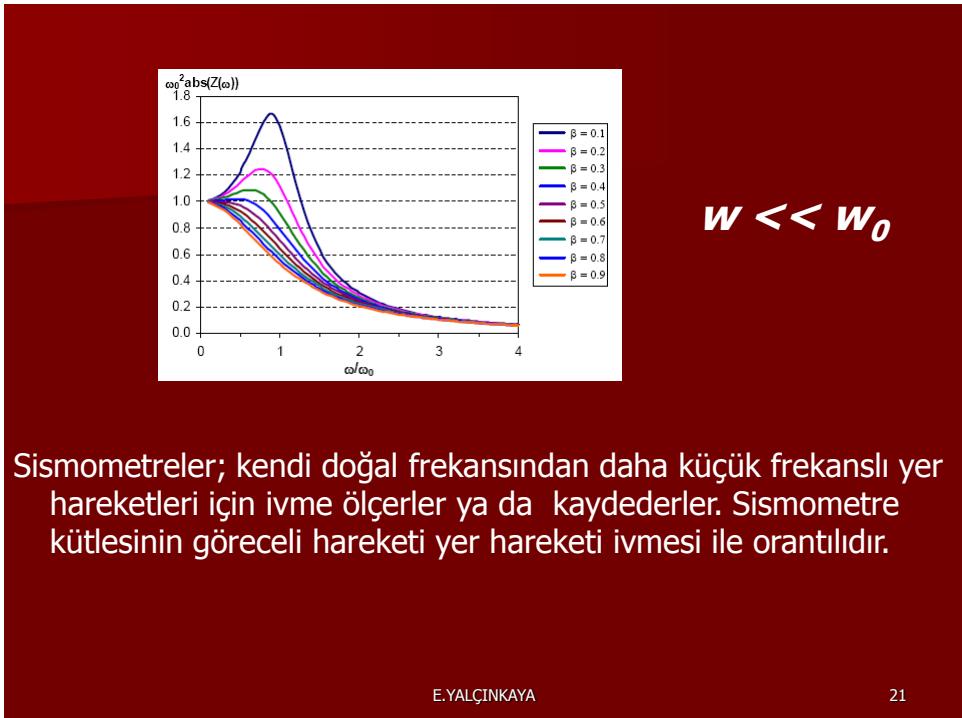


$\omega >> \omega_0$

Sismometreler; kendi doğal frekansından daha büyük frekanslı yer haretleri için yerdeğiştirme ölçerler ya da kaydedeler.  
Sismometre kütlesinin göreceli hareketi yer haretini  
yerdeğitirmesi ile orantılıdır.

E.YALÇINKAYA

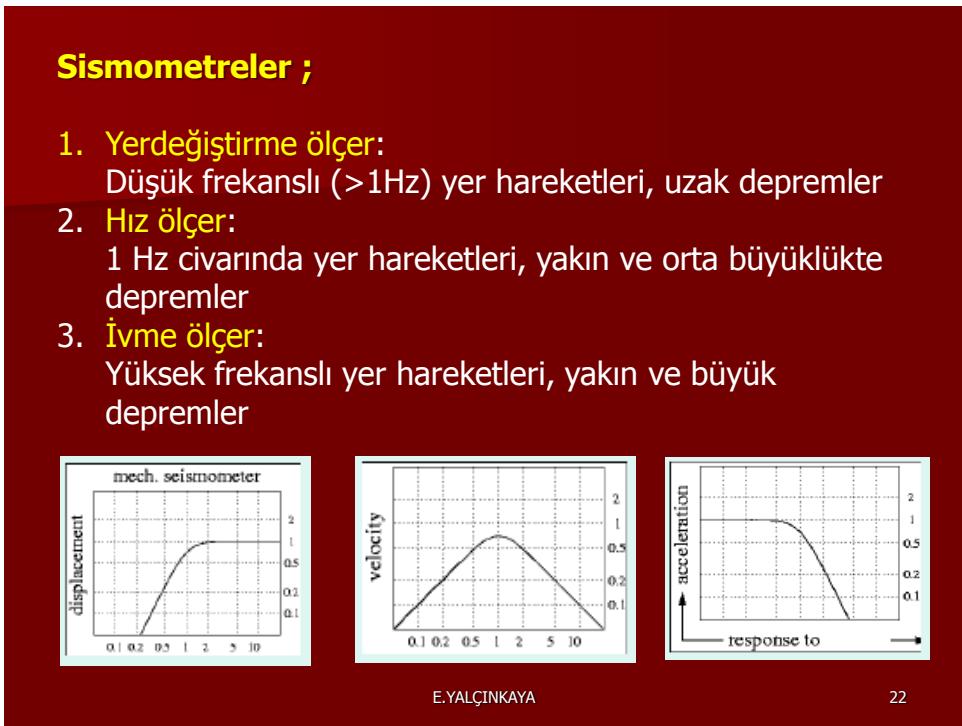
20



Sismometreler; kendi doğal frekansından daha küçük frekanslı yer hareketleri için ivme ölçerler ya da kaydedeler. Sismometre kütlesinin göreceli hareketi yer hareketi ivmesi ile orantılıdır.

E.YALÇINKAYA

21



E.YALÇINKAYA

22

## Sismometre terimleri

- Dynamic range (Dinamik Aralık)
- Frequency range (Frekans aralığı)
- Sensivity (Duyarlılık)
- Clip level (Klip seviyesi)
- Sampling rate (Örnekleme aralığı)
- Short period (Kısa periyot)
- Long period (Uzun periyot)
- Broad band (Geniş band)
- Accelerograph (ivme ölçer)

E.YALÇINKAYA

23

### Dynamic Range-Dinamik Aralık

Bir sismometrenin dinamik aralığı ( $R_D$ ) kaydedebileceği en büyük ( $A_{\max}$ ) ve en küçük ( $A_{\min}$ ) genliklerin oranıdır.

$$R_D = A_{\max} / A_{\min}$$

Genellikle dinamik aralık, logaritmik olarak ölçülür ve desibel (dB) olarak belirtilir: 1 genlik büyülüğu 20 dB olarak temsil edilir, bunun için Eğer;

$\log_{10} (A_{\max} / A_{\min}) = 1$  ise  $R_D = 20\text{dB}$   
olur. Yani;

$$R_D (\text{dB}) = 20 \times \log_{10} (A_{\max} / A_{\min})$$

E.YALÇINKAYA

24

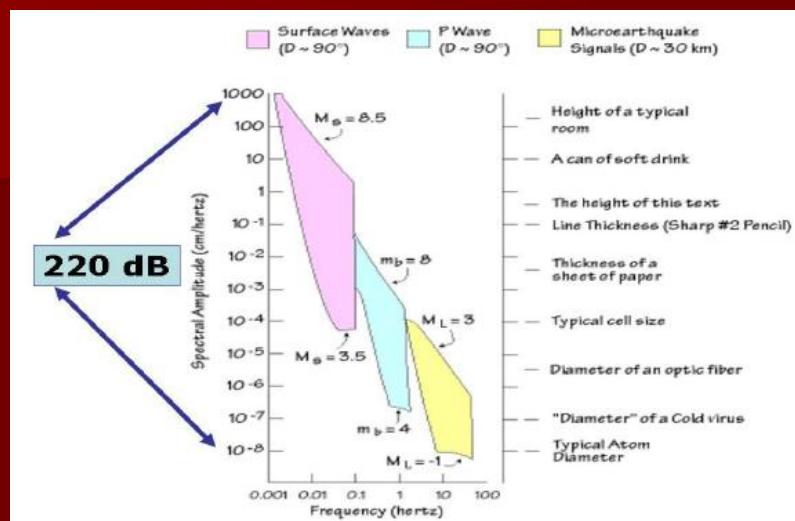
Modern genişbant sensörlerin genlik oranı 100 milyondur. Bunu formülde yerine koyarsak;

$$R_D \text{ (dB)} = 20 \times \log_{10} (A_{\max} / A_{\min}) = 20 \times \log_{10} 8 = 160 \text{ dB}$$

olduğunu görürüz. Günümüzde yapılan birçok sismometre, teorik olarak nanometre/saniye(nm/sn) ile cm/sn arasında yer hızlarını kaydedebilirler.

E.YALÇINKAYA

25

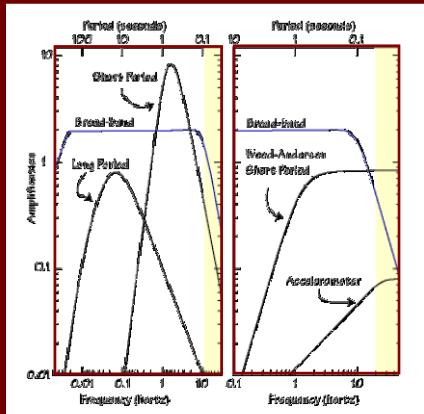


E.YALÇINKAYA

26

## Frequency range – Frekans Aralığı

İnsan kulağı 20 Hz ile 20 KHz arasını işitebilir. Sismometreler ise 0.002 Hz ile 100 Hz (yaklaşık) arasını kaydedebilirler. Bu durumda 0.002 Hz'te sismometre yaklaşık 8 dakikada bir kez yükselp düşecektir.



Sismometre tanımları ve kullanım amaçları:  
**Short period**; yüksek frekans, yakın deprem  
**Long period**; düşük frekans, uzak deprem  
**Broad band**; geniş frekans  
**Accelerometer**; yüksek frekans, yakın deprem

E.YALÇINKAYA

27

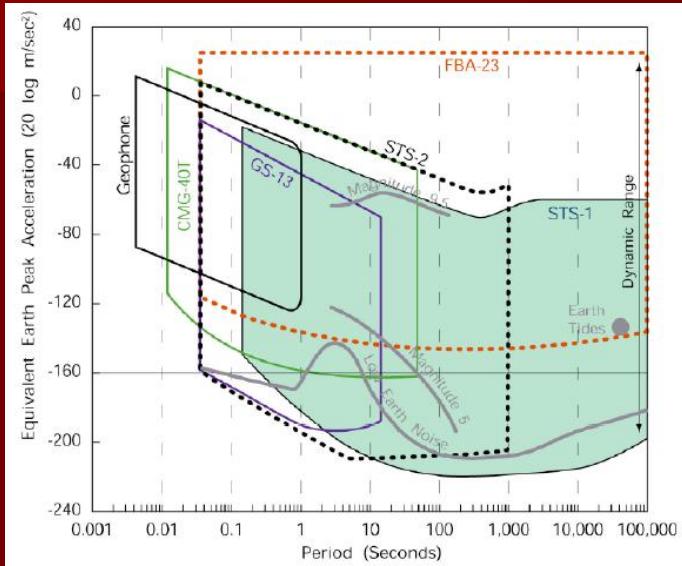
**Sensitivity (duyarlılık)**; hissedilebilecek en düşük genlik  
**Clip level (kesme seviyesi)**; kaydedilebilecek en büyük genlik

Manufacturer	Type	Freq. Range	Sensitivity	Clip Level
<i>High Gain Broad-Band Seismometers :</i>				
Streckeisen	STS-1	0.0027-10Hz	2500 V/m/s (vert) 2300 V/m/s (horiz)	~0.8cm/s ~0.8cm/s
Streckeisen	STS-2	0.0083-50Hz	1500 V/m/s	1.3cm/s
Guralp	CMG-1T	0.0027-10Hz	1500 V/m/s	~1cm/s
Guralp	CMG-40T	0.033-50Hz	800 V/m/s	~1cm/s
Guralp	CMG-3ESP	0.0083-50Hz	2000 V/m/s	~1cm/s
Guralp	CMG-3T	0.0083-50Hz	1500 V/m/s	~1cm/s
<i>Low Gain Broad-Band (Accelerometer/Strong Motion Velocity) :</i>				
Kinemetrics	FBA-23	DC-50Hz	5 V/g	2g
Kinemetrics	EpiSensor	DC-180Hz	10 V/g	2g
Tokyo-Sokushin	VSE-355G3	~.01-70Hz	10 V/m/s	~200cm/s

E.YALÇINKAYA

28

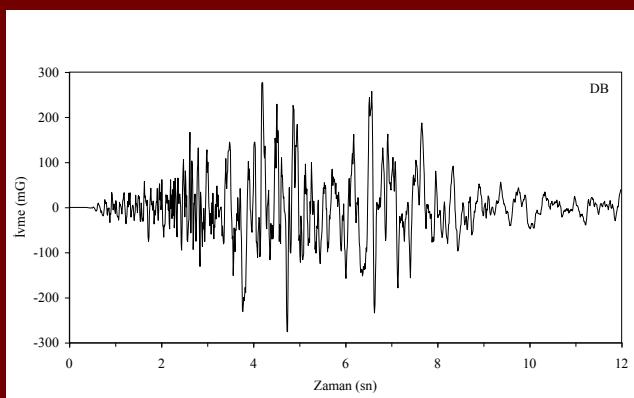
## Sismometrelerin göz ve kulakları



E.YALÇINKAYA 29

## Sismogramlar

Sismogramlar, yer hareketinin zamana bağlı olarak kayıtlarıdır.



E.YALÇINKAYA 30

# Sismogramlar

- Sismogramlar yer hareketinin genliğini;
  - ☞ Yerdeğiştirme (cm)
  - ☞ Hız (cm/sn)
  - ☞ İvme ( $\text{cm}/\text{sn}^2$ )cinsinden zamana bağlı olarak gösterirler.
- Dijital olarak yapılan kaytlarda örnek sayısı (*sampling rate*) saniyede 20 örnek ile 500 örnek arasında değişir.

E.YALÇINKAYA

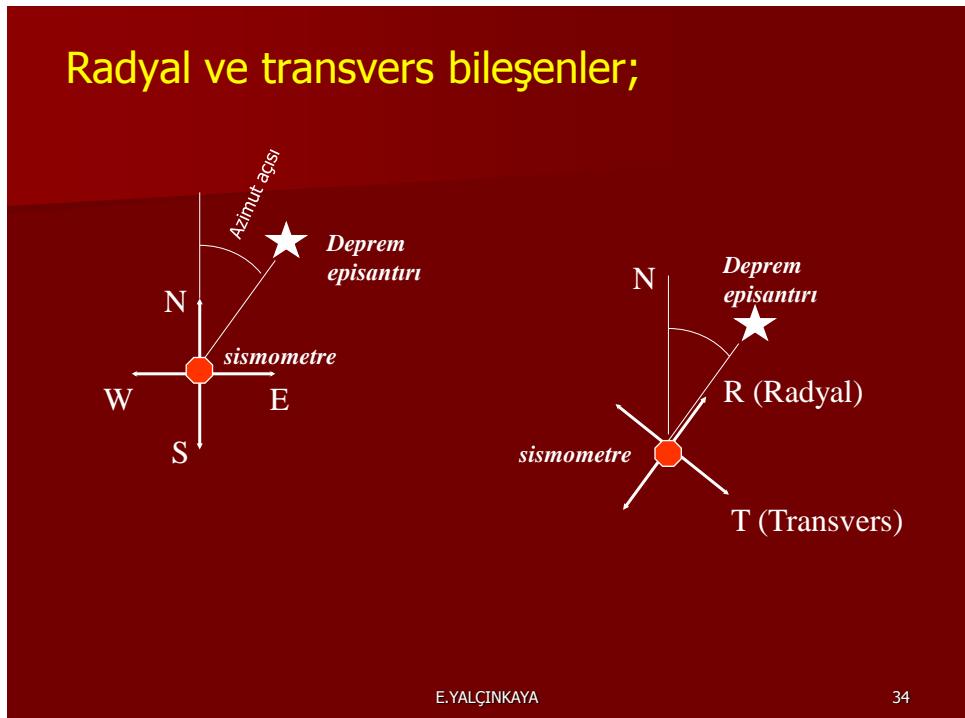
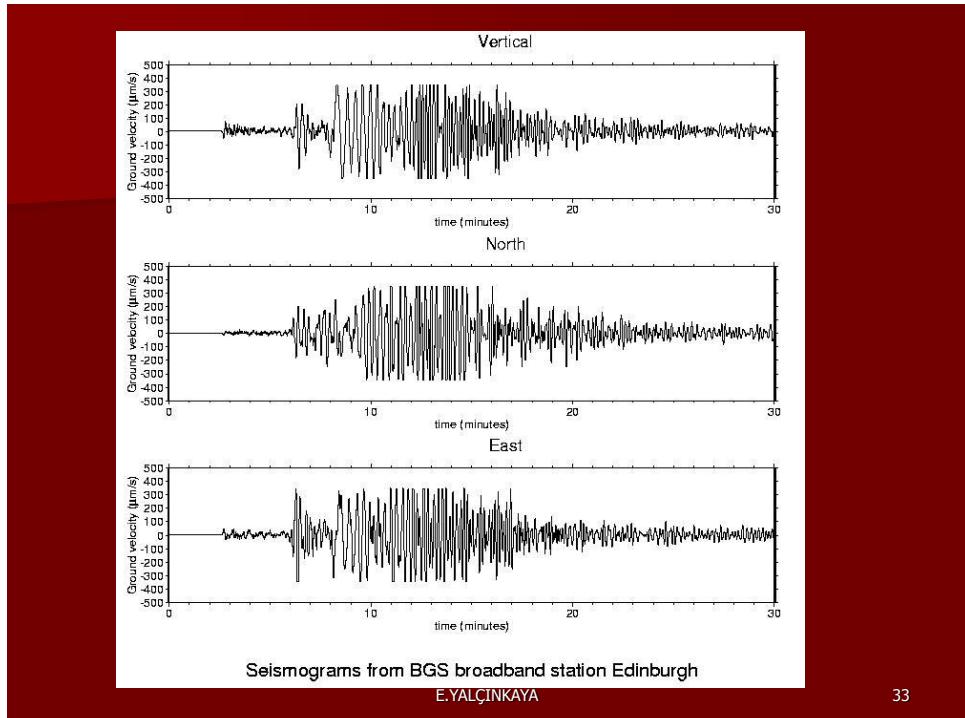
31

# Sismogramlar

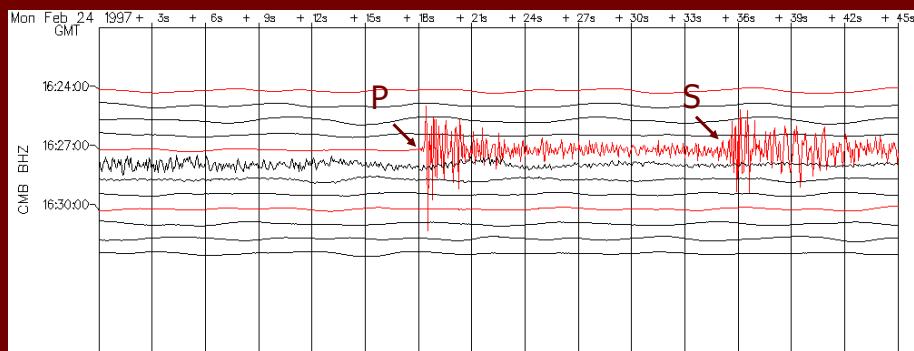
- Yer hareketi bir vektördür (yerdeğiştirme, hız, ivme farketmez). Bu nedenle yer hareketini tanımlamak için üç bileşen değere ihtiyaç vardır. Sismometreler genellikle üç bileşende yer hareketini kaydedeler ;
  - ☞ Düşey (yukarı pozitif)
  - ☞ Kuzey-Güney (kuzey pozitif)
  - ☞ Doğu-Batı (Doğu pozitif)      }      yataylar

E.YALÇINKAYA

32

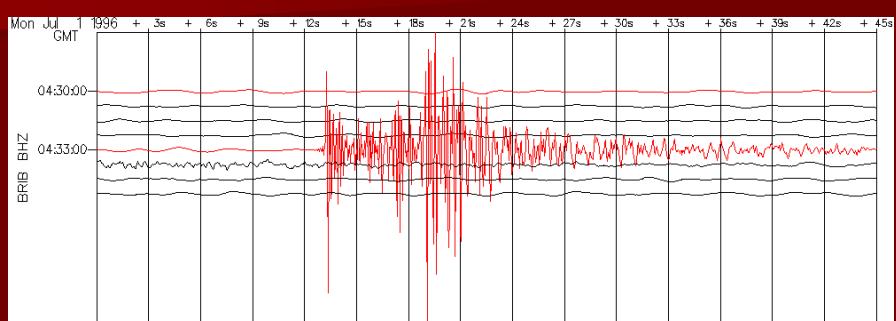


24 Şubat 1997 tarihli, saat 16:27'da meydan gelmiş, 3.6 büyüklüğünde bir depremin düşey bileşen kaydı. Saat 16:27:18 de P dalgası varışı ve 16:27:35 te S dalga varışı açık olarak görülebilmekte.



E.YALÇINKAYA

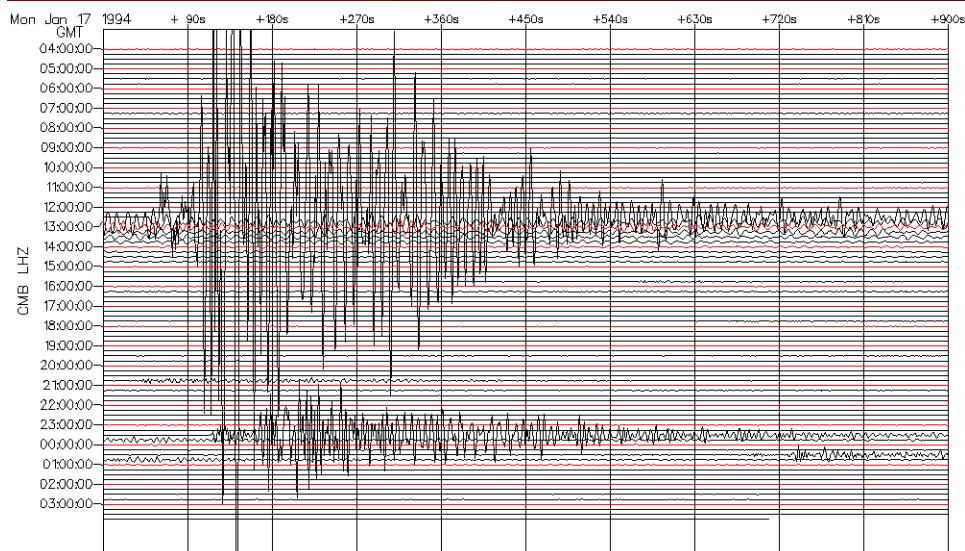
35



E.YALÇINKAYA

36

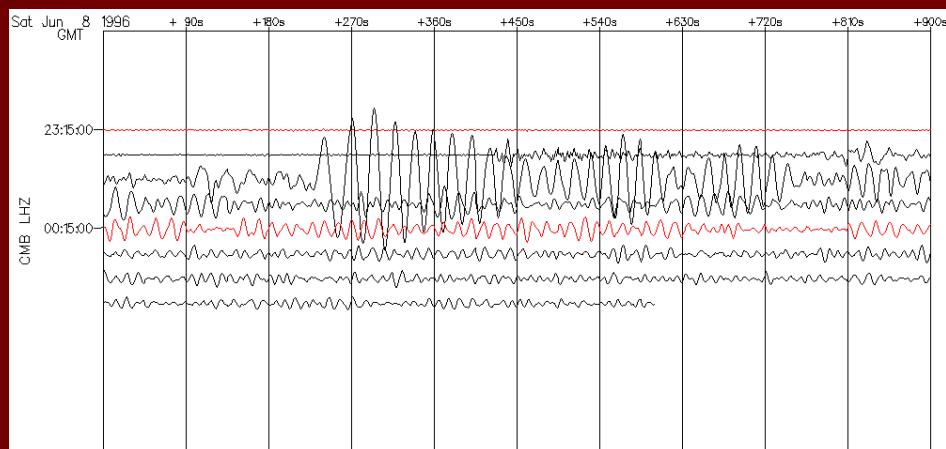
17 Ocak 1994 Northridge depremi (M6.7). Yaklaşık 525 km uzaklıktaki BKS istasyonu kaydı. 23:33 te artçı şok kaydı (M 5.6).



E.YALÇINKAYA

37

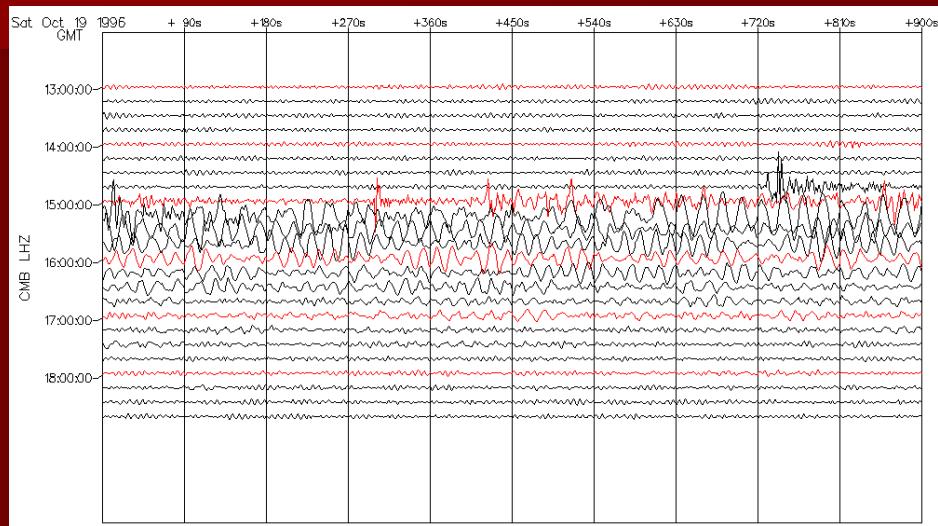
Andreanof Islands depremi (M6.9) 08 Haziran 1996 saat 23:19.  
İstasyona uzaklık yaklaşık 4700 km. En büyük genlikli dalgalar uzak, sığ  
ve büyük depremlerde tipik olarak görülebilen yüzey dalgaları.



E.YALÇINKAYA

38

6.9 Tonga Islands 19 Ekim 1996. Uzaklık yaklaşık 8900 km ve depremin odak derinliği yaklaşık 590 km. Derin deprem olması nedeniyle yüzey dalgaları oldukça zayıf.

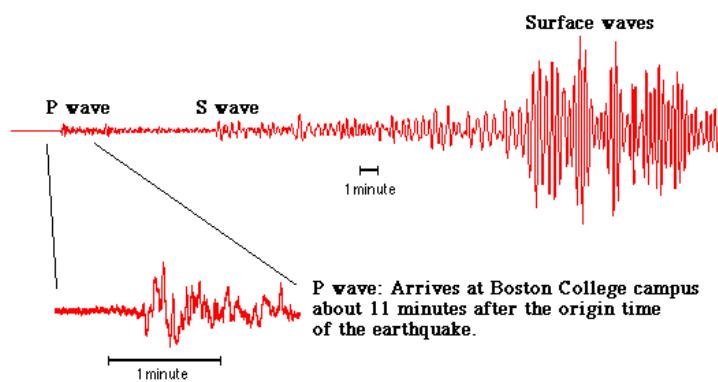


E.YALÇINKAYA

39

Seismogram of the Izmit, Turkey Earthquake (08/17/99, Ms 7.8)

Recorded by Weston Observatory Seismic Station in Devlin Hall  
Department of Geology and Geophysics  
Boston College



E.YALÇINKAYA

40

## Günün Özeti

- Sismograflar ve bileşenleri
- Sismometrenin denklemi
- Sismogramlar ve özellikleri

E.YALÇINKAYA

41

## Gelecek ders

- Elastisite teorisi



E.YALÇINKAYA

42