

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 düzendir.

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 büyütürür temiz hale getirmeye yarayan cihazlardır.

Kayıt sistemi

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

E.YALÇINKAYA

4

Sismometre

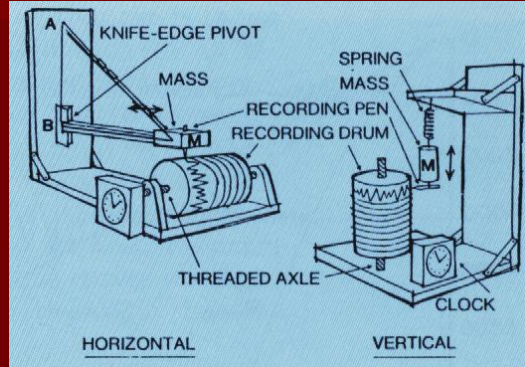
Çalışma prensibi :

■ Temel prensip :

- Yay-kütle sistemi yere sabitlenen bir çerçeve üzerine tutturulur
- Çerçeve sismik dalgalar nedeniyle hareket ettiğinde, kütle nin ataleti bu harekete uymada gecikir
- Kütle nin ucundaki kalem çerçeveyle birlikte hareket eden kayıt üzerine yazar

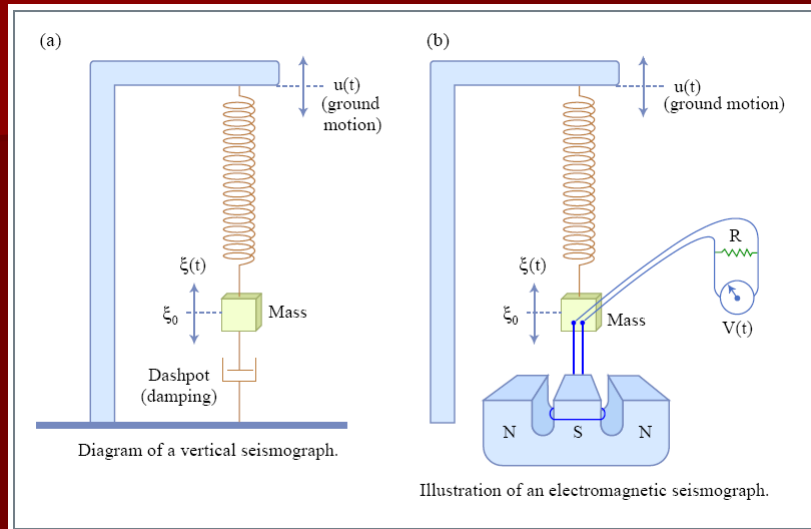
■ Kütle, sürekli salınımı engellemek amacıyla sönümlendirilir

■ Göreceli hareket binlerce katına kadar büyütülerek kaydedilir



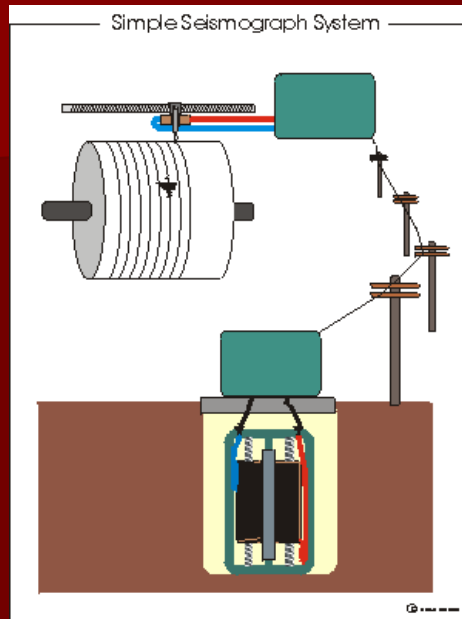
E.YALÇINKAYA

5



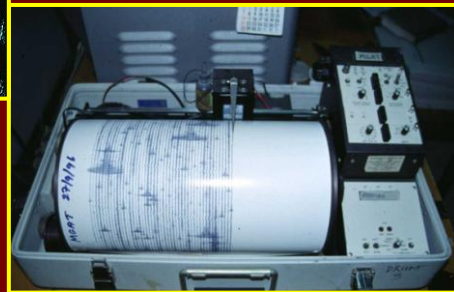
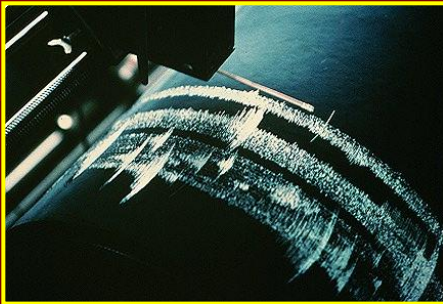
E.YALÇINKAYA

6



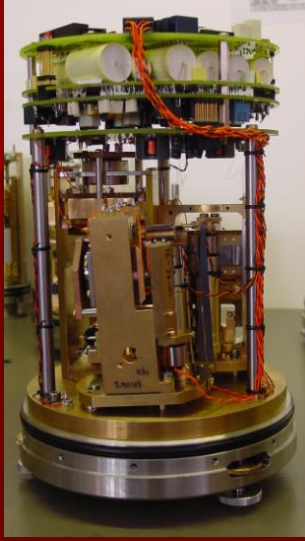
E.YALÇINKAYA

7



E.YALÇINKAYA

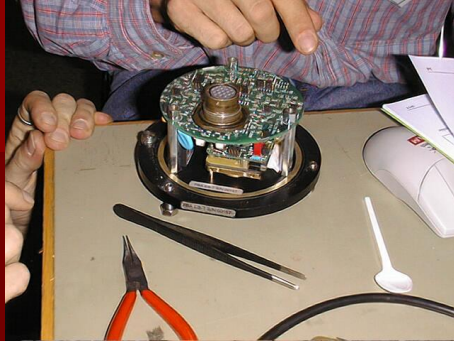
8



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

E.YALÇINKAYA

9



13 cm

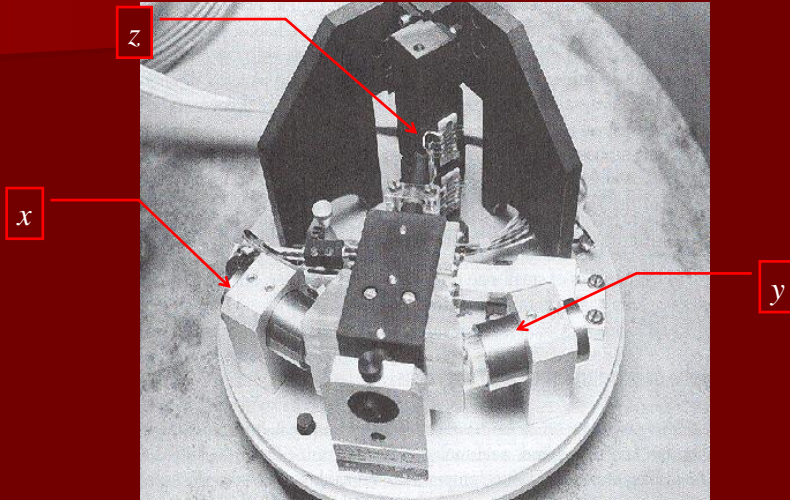


Kinometrics 3-bileşen Episensor, bir FBA ivme ölçer

E.YALÇINKAYA

10

Modern (digital) seismometer



From Prof. B.A. Bolt, *Earthquakes*. W.H.Freeman, ISBN 071673396x
E.YALÇINKAYA

11

Sismometrenin Yerleştirilmesi



E.YALÇINKAYA

12



Sismometrenin Yerleştirilmesi



E.YALÇINKAYA

13

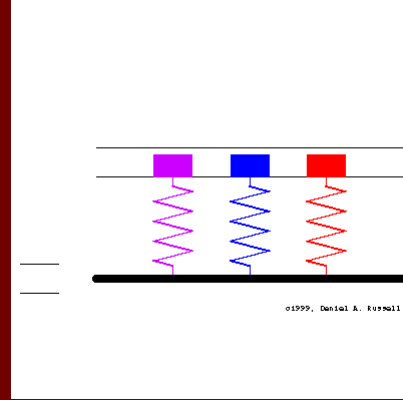
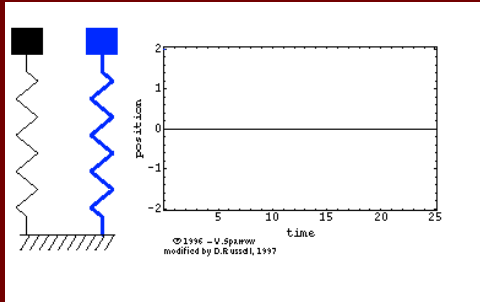
Modern bir sismograf istasyonunda;

- 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.

E.YALÇINKAYA

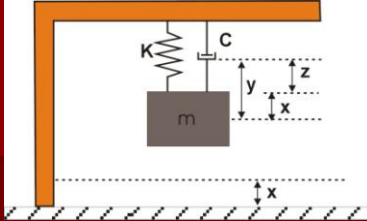
14

Sismometre Denklemi- Zoruna Titreşimler



E.YALÇINKAYA

15



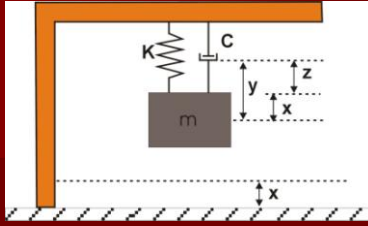
" m " kütlesi, elastik sabiti " k " olan bir yay ve sönüm sabiti " c " olan bir söndürücü sistem ile düşey sarkaç olarak tasarlanmıştır. Sarkacın çerçevesi " $x(t)$ " kadar hareket ettiğinde, kütle " $y(t)$ " kadar hareket eder ve kütlenin çerçeveye göre göreceli hareketi " $z(t)$ " :

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

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

E.YALÇINKAYA

16



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

$$m(\ddot{x} + \ddot{z}) + c\dot{z} + Kz = 0$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \beta = \frac{c}{2\sqrt{Km}}$$

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

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

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

E.YALÇINKAYA

17

$$\ddot{z} + 2\beta\omega_0\dot{z} + \omega_0^2 z = -\ddot{x} \quad \rightarrow \quad x(t) = X \sin(\omega t)$$

Bu denklemin çözümü (geçici terimi ihmal edersek) ;

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

Z ve ε ; 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

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

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

Kütlenin çerçeveye göre
göreceli hareketinin
genliği Z ;

- Yer hareketinin genliğine (X)
- Yer hareketinin frekansına (ω)
- Sarkacın doğal frekansına (ω_0)
- Sarkacın sönümüne (β)

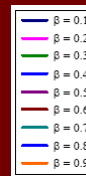
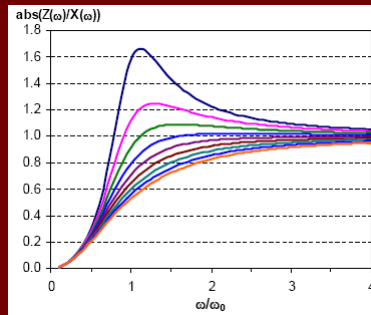
Sismometre tarafından ölçülen hareket $z(t)$, yer hareketi $x(t)$ 'ye göre faz (ε) kadar kaydırılır.

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

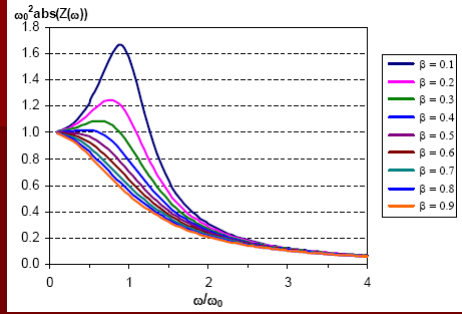


$\omega \gg \omega_0$

Sismometreler; kendi doğal frekansından daha büyük frekanslı yer hareketleri için yerdeğiştirme ölçerler ya da kaydederler. Sismometre kütlesinin göreceli hareketi yer hareketi yerdeğiştirmesi ile orantılıdır.

E.YALÇINKAYA

20



$$W \ll W_0$$

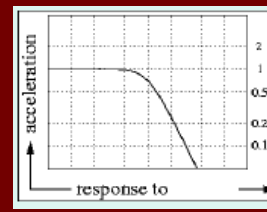
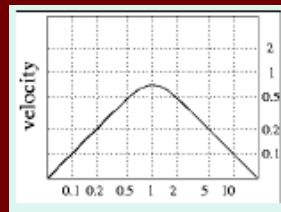
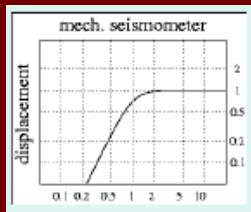
Sismometreler; kendi doğal frekansından daha küçük frekanslı yer hareketleri için ivme ölçerler ya da kaydederler. Sismometre kütlesinin göreceli hareketi yer hareketi ivmesi ile orantılıdır.

E.YALÇINKAYA

21

Sismometreler ;

1. **Yerdeğiştirme ölçer:**
Düşük frekanslı (>1Hz) yer hareketleri, uzak depremler
2. **Hız ölçer:**
1 Hz civarında yer hareketleri, yakın ve orta büyüklükte depremler
3. **İvme ölçer:**
Yüksek frekanslı yer hareketleri, yakın ve büyük depremler



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 büyüklüğü 20 dB olarak temsil edilir, bunun için Eğer;

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

olur. Yani;

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

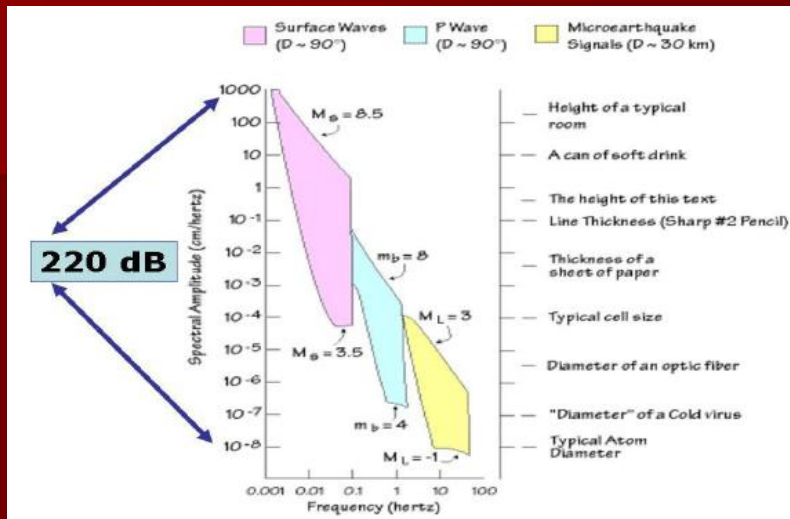
E.YALÇINKAYA

24

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

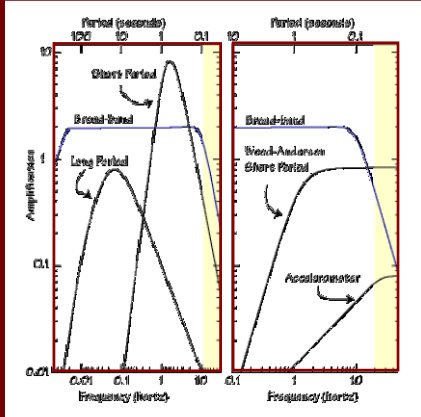
$$R_D \text{ (dB)} = 20 \log_{10} (A_{\max} / A_{\min}) = 20 \log_{10} 8 = 160 \text{ dB}$$

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



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 yükselip alçalacaktır



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

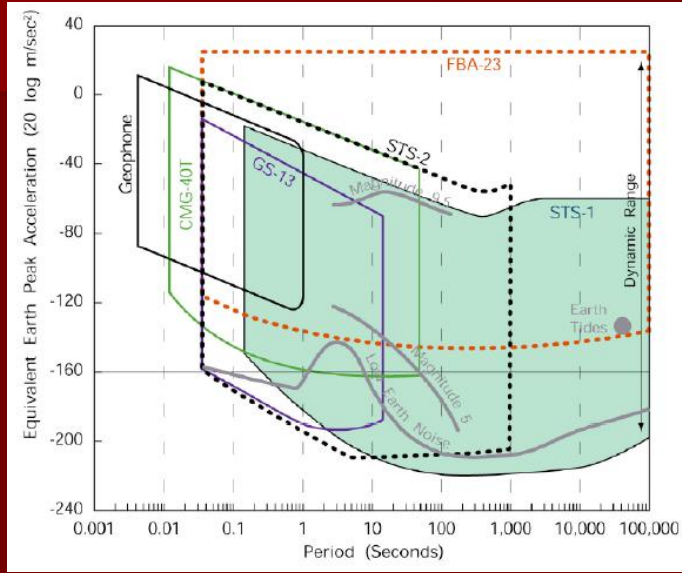
Sensitivity (duyarlılık); hissedilebilecek en düşük genlik
Clip level (kesme seviyesi); kaydedilebilecek en büyük genlik

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>				
Kinematics	FBA-23	DC-50Hz	5 V/g	2g
Kinematics	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

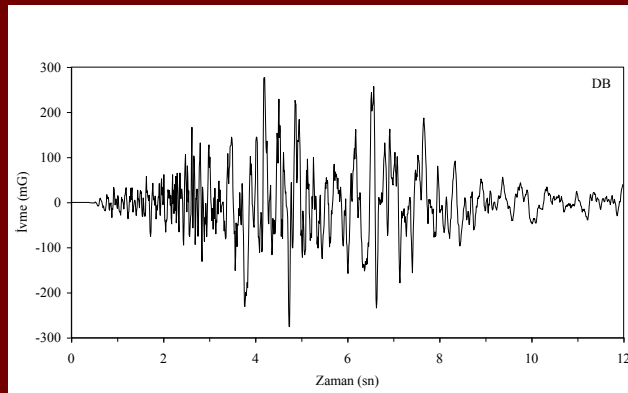


E.YALÇINKAYA

29

Sismogramlar

Sismogramlar, yer hareketinin zamana bağlı olarak kayıtlarıdır.



E.YALÇINKAYA

30

Sismogramlar

- Sismogramlar yer hareketinin genliğini;
 - ☞ Yerdeğiştirme (cm)
 - ☞ Hız (cm/sn)
 - ☞ İvme (cm/sn²)cinsinden zamana bağlı olarak gösterirler.
- Dijital olarak yapılan kayıtlarda örnek sayısı (*sampling rate*) saniyede 20 örnek ile 500 örnek arasında değişir.

E.YALÇINKAYA

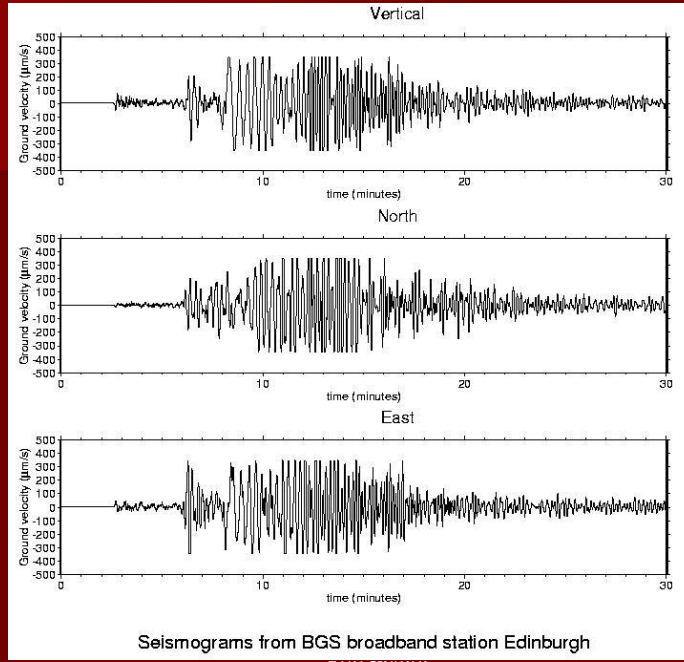
31

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 kaydederler ;
 - ☞ Düşey (yukarı pozitif)
 - ☞ Kuzey-Güney (kuzey pozitif)
 - ☞ Doğu-Batı (Doğu pozitif)
- } yataylar

E.YALÇINKAYA

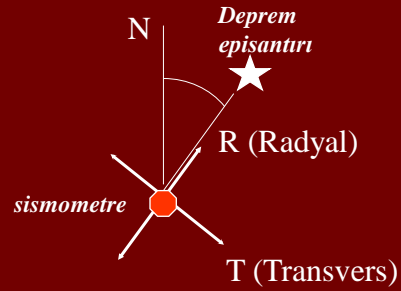
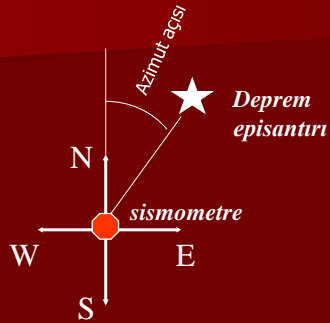
32



E.YALÇINKAYA

33

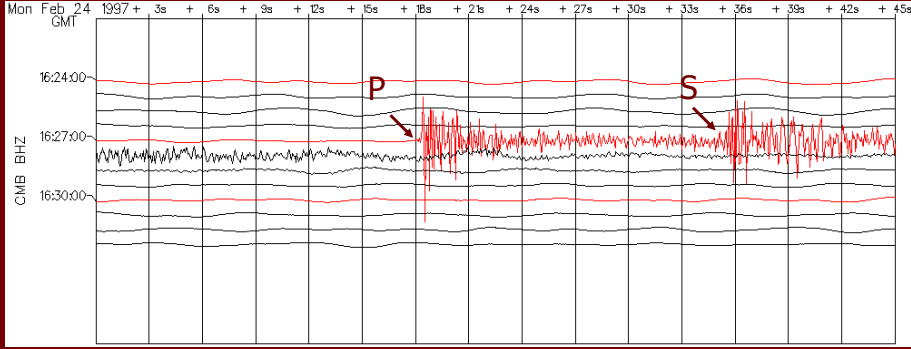
Radyal ve transvers bileşenler;



E.YALÇINKAYA

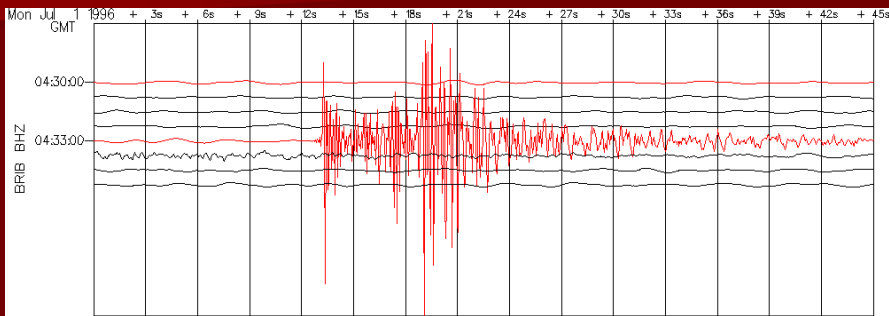
34

24 Şubat 1997 tarihli, saat 16:27'da meydana 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

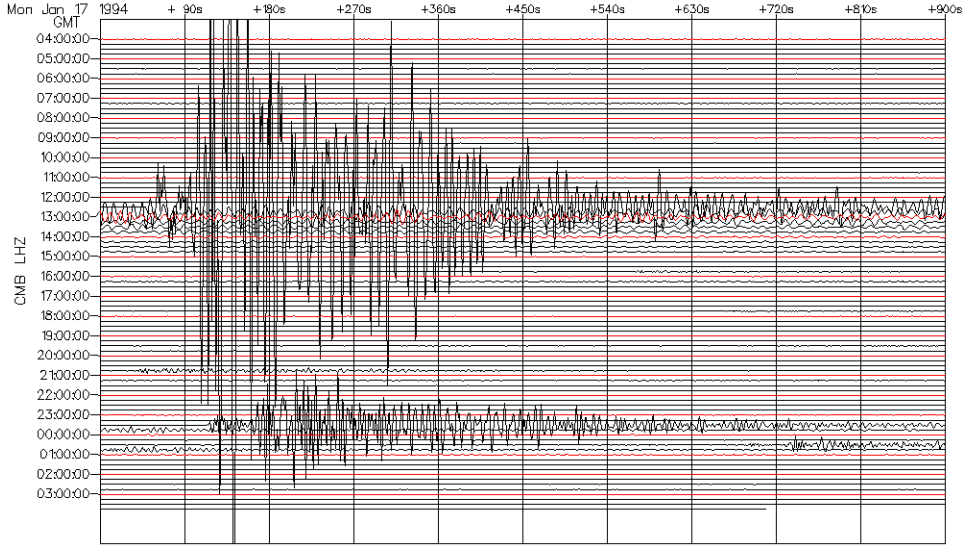
35



E.YALÇINKAYA

36

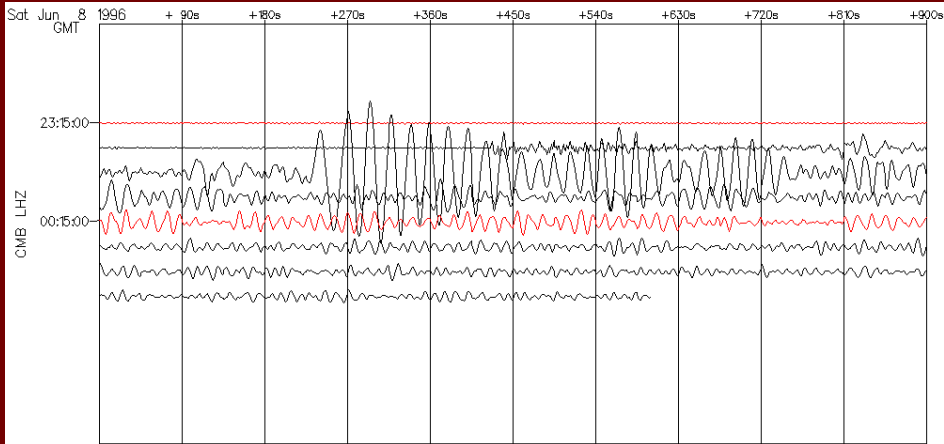
17 Ocak 1994 Northridge depremi (M6.7). Yaklaşık 525 km uzaklıktaki BKS istasyon kaydı. 23:33 te artçı şok kaydı (M 5.6).



E.YALÇINKAYA

37

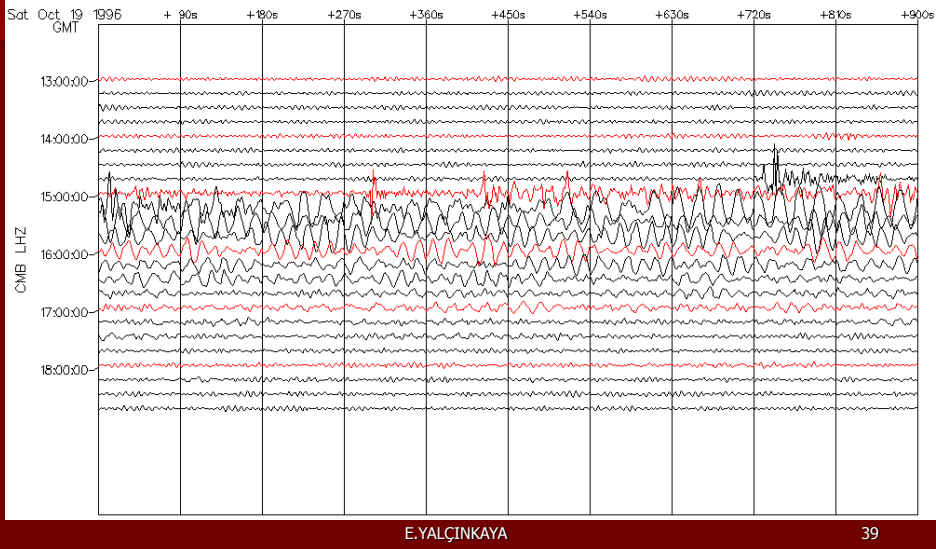
Andreanof Islands depremi (M6.9) 08 Haziran 1996 saat 23:19.
İstasyona uzaklık yaklaşık 4700 km. En büyük genlikli dalgalar uzak, sığ ve büyük depremlerde tipik olarak görülebilen yüzey dalgaları.



E.YALÇINKAYA

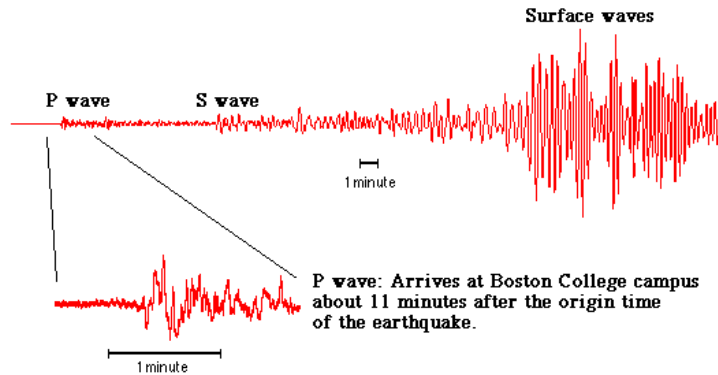
38

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.



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



Günün Özeti

- Sismograflar ve bileşenleri
- Sismometrenin denklemi
- Sismogramlar ve özellikleri

E.YALÇINKAYA

41

Gelecek ders

- Elastisite teorisi



E.YALÇINKAYA

42