

DEPREM MÜHENDİSLİĞİNE GİRİŞ ve DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

Zekai Celep



DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

- Deprem hareketi
- Yapıların yer hareketi etkisindeki titreşimi
- Deprem etkisindeki betonarme yapı elemanlarının davranışı
- Depreme dayanıklı yapı tasarımı
- Yurdumuzdaki önemli depremler
- Yapılarda deprem sonrası hasar belirlenmesi, onarım ve güçlendirme yöntemleri
- Mevcut binaların deprem etkisindeki davranışının değerlendirilmesi

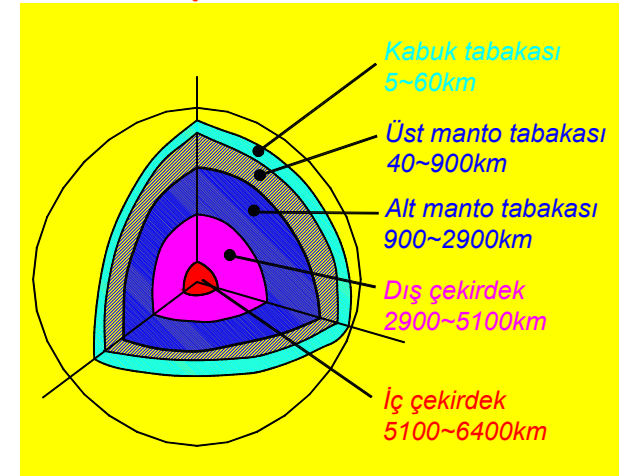
Ders kitabı

- Z. Celep, N. Kumbasar; **Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı**, Beta Dağıtım, 2004.

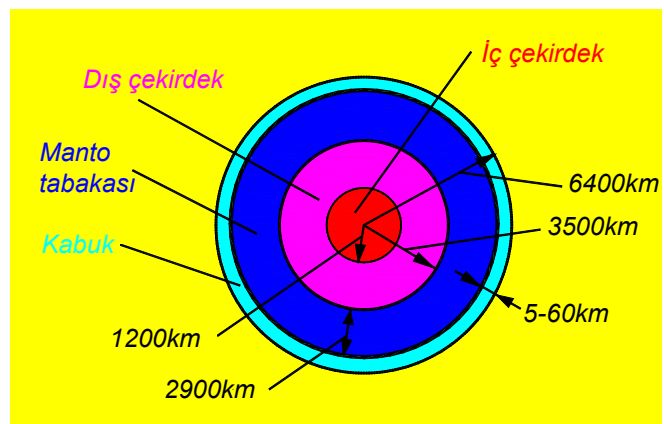
DEPREM HAREKETİ

- Sismoloji : Yer hareketini inceler
- Yapı dinamiği: Dinamik yükler altındaki taşıyıcı sistem davranışını inceler
- Sismoloji bilgilerden elde edilen bilgilere göre yer küresinin yapısı

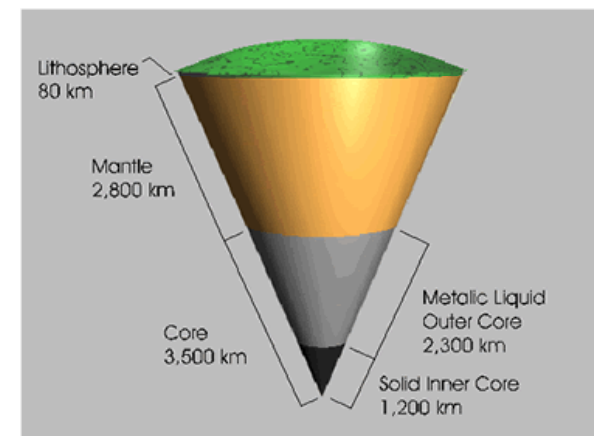
Yeryüzünden kesit



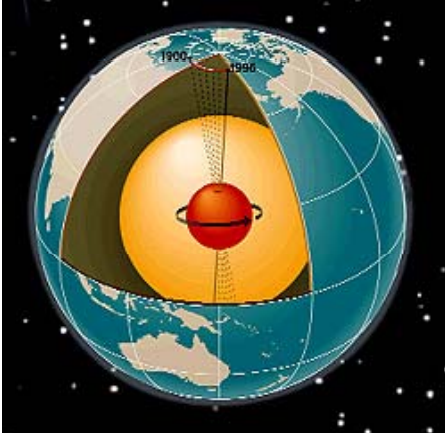
Yeryüzünden kesit



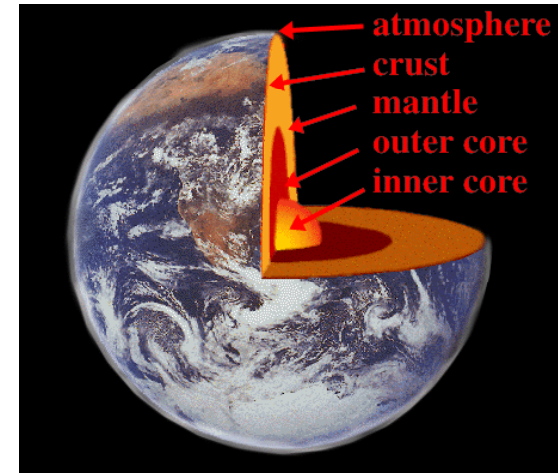
Yeryüzünden kesit



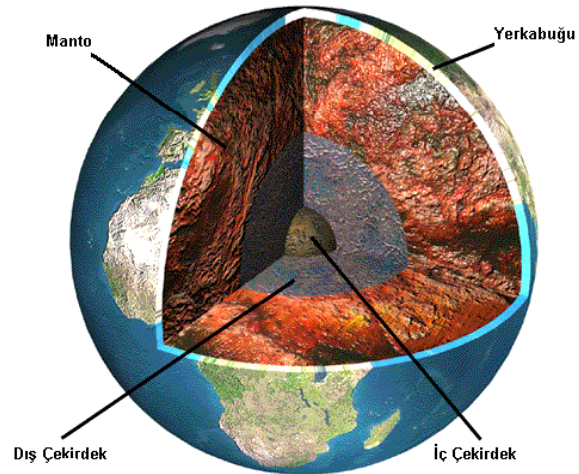
Yerküresinin kesiti



Yerküresinin kesiti



Yerküresinin kesiti



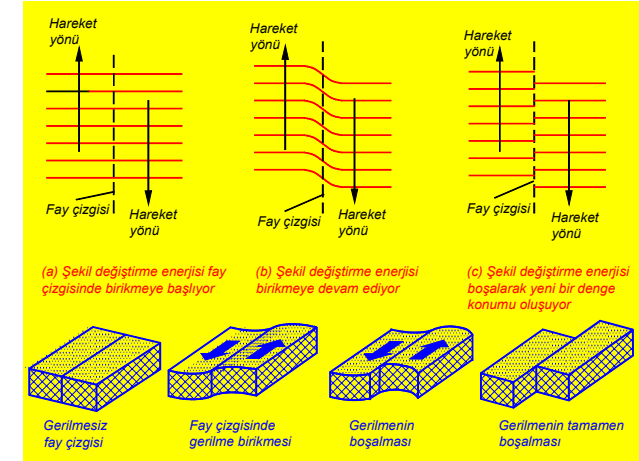
Yer küresinin yapısı

- Kabuk tabakası:
Karalarda 25~60km kalınlığında
Okyahuslarda 4~6km kalınlığında
2700~3000kg/m³
Sıcaklık 30 C/km
Kıta altında 150~250 C
Okyanus altında 300~800 C
- Manto tabakası
~2900km kalınlığında
3300~5600kg/m³
Depremlerin oluştuğu en büyük derinlik ~700km de 1000~1500 C
İç yüzünde 4000~5000 C
Basınç dış yüzde 900MPa
- Çekirdek tabakası
~3500km kalınlığında
Dış çekirdek: sıvı
İç çekirdek: katı, ~1200km kalınlığında
9700~172000kg/m³
Basınç dış yüzde 140GPa ve iç kısımlarda 3700GPa

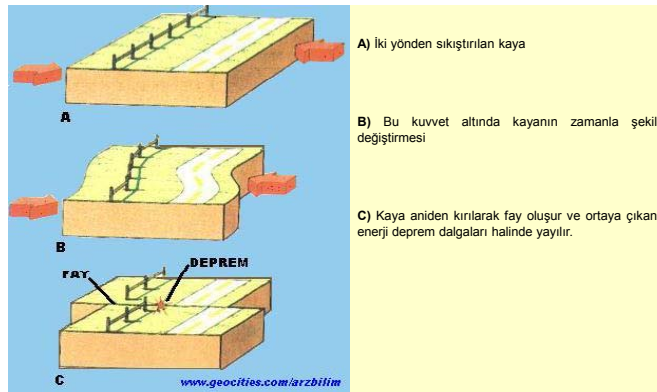
Depremi oluřumu ve özellikleri

- Yer kabuğunun soğuması
- Plakaların oluřumu
- Plaka tektoniđi
- Plakaların bir birine göre rölatif hareketi
- Elastik Geri Sekme Teorisi

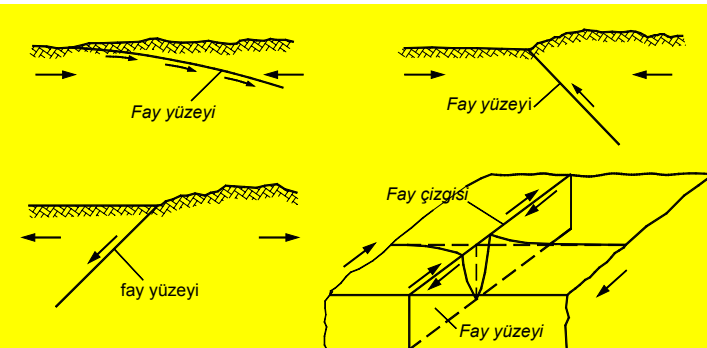
Planda deprem hareketinin oluşması



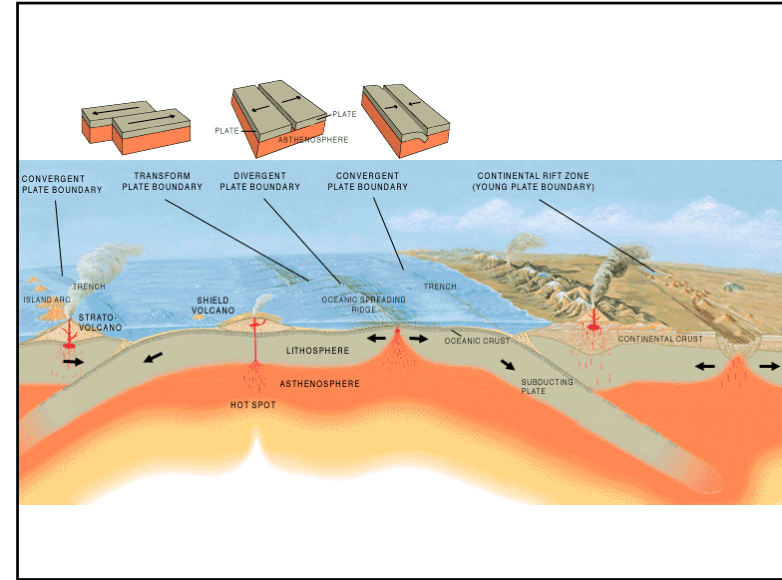
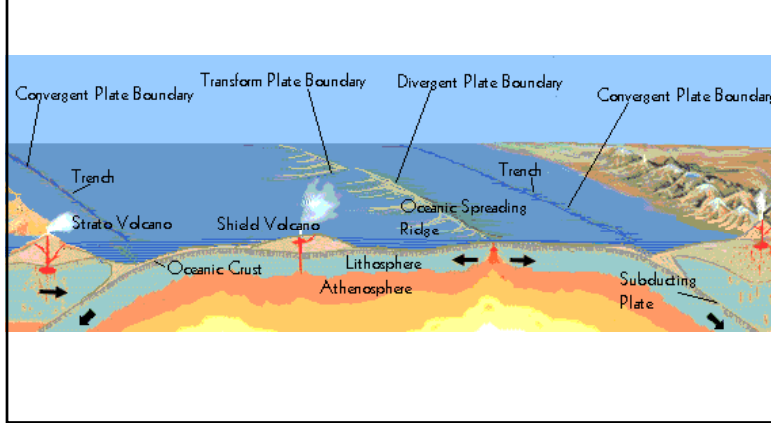
Planda deprem hareketinin oluşması



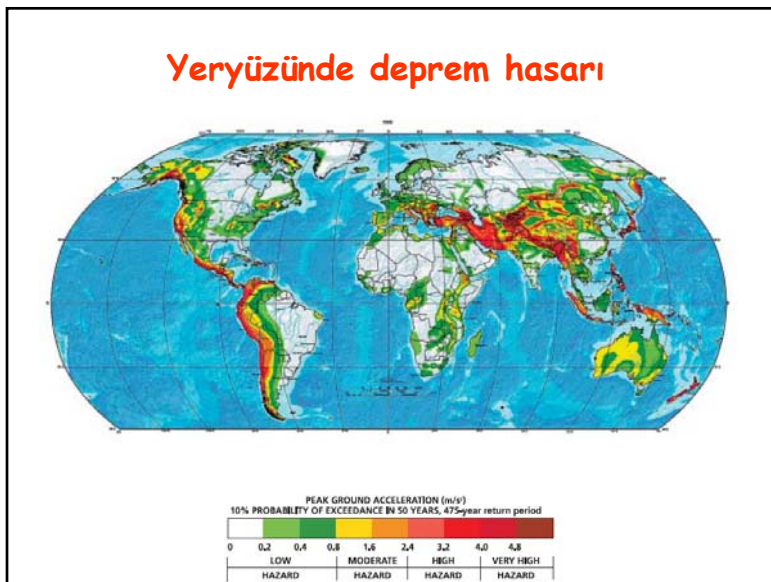
Fay hareketi ile deprem hareketinin oluşması



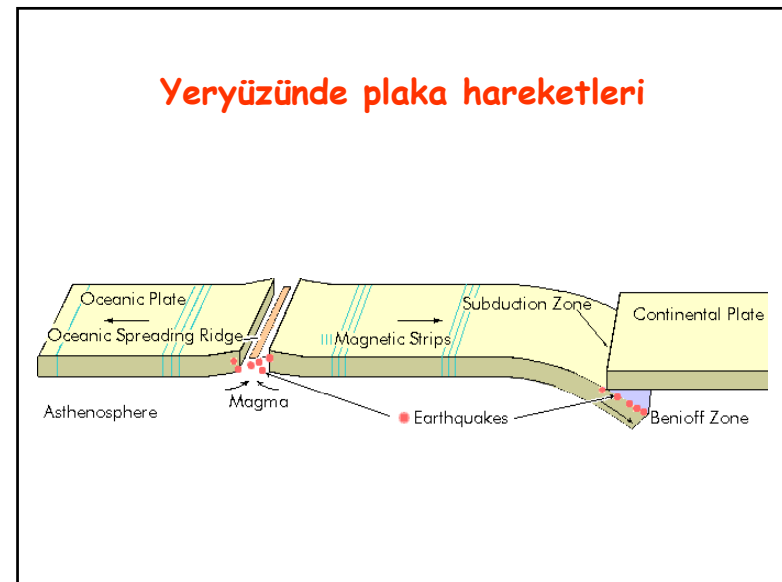
Yeryüzünden bir kesit



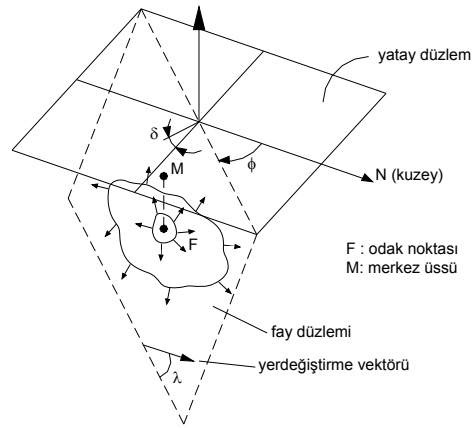
Yeryüzünde deprem hasarı



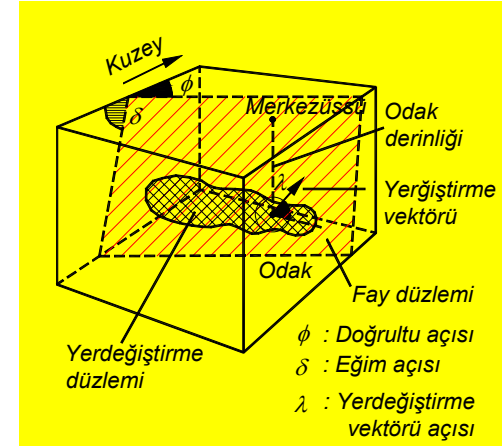
Yeryüzünde plaka hareketleri



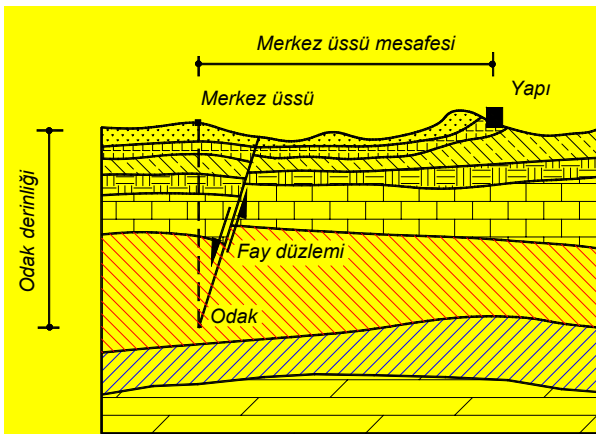
Fay düzleminin konumu ve yırtılma düzlemi



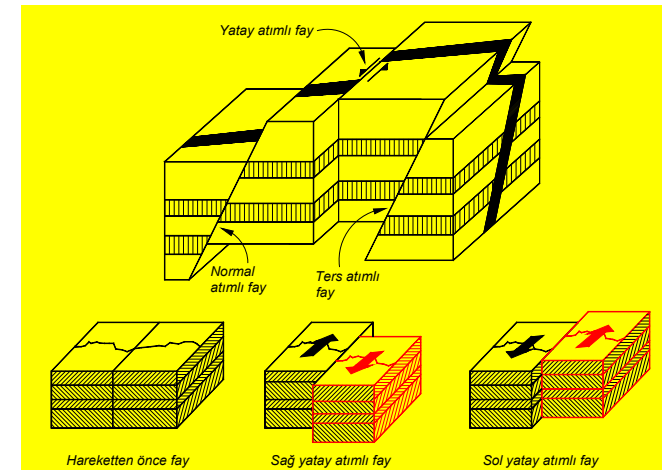
Fay düzleminin konumu ve yırtılma düzlemi

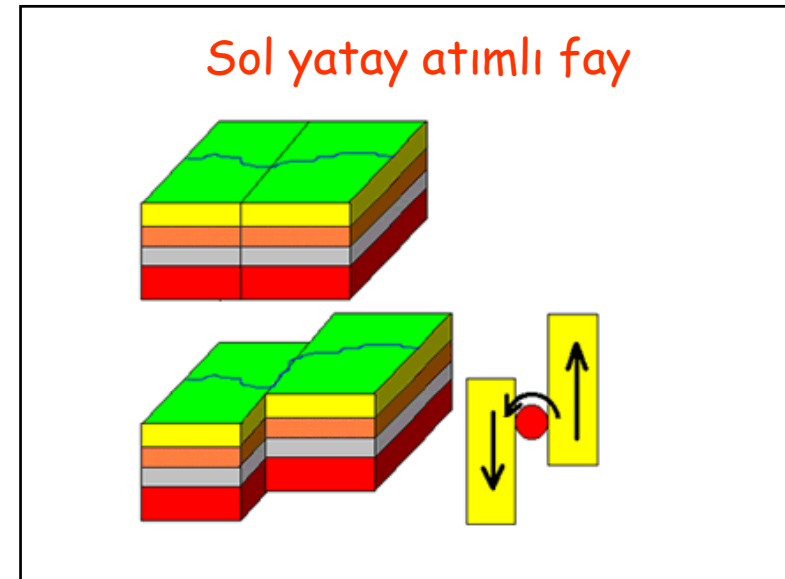
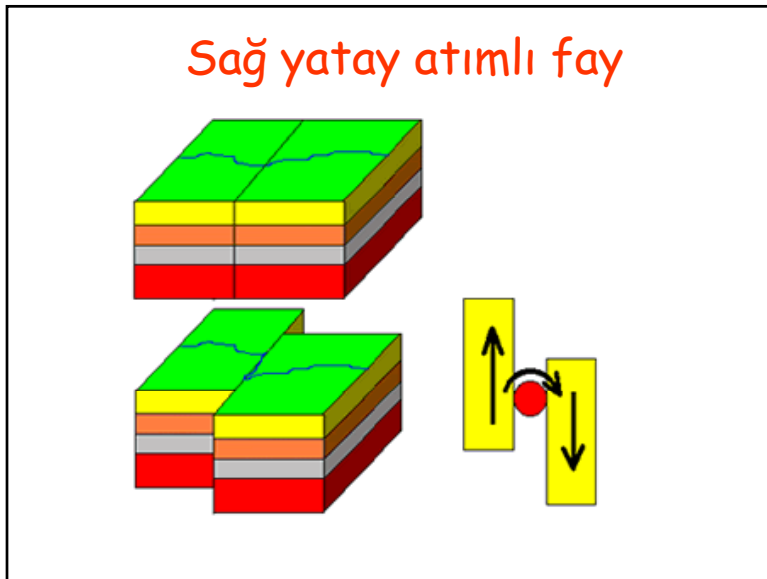
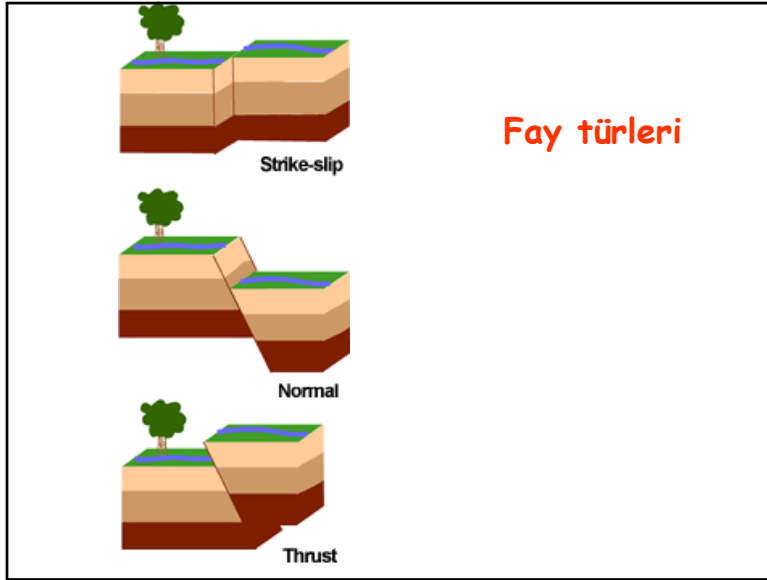


Fay düzleminin konumu ve yırtılma düzlemi



Fay türleri



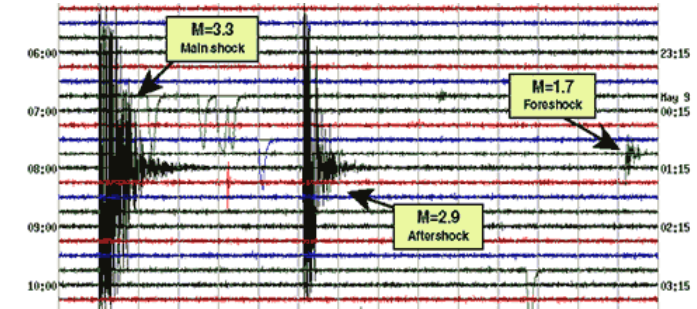


Deprem oluşması Elastik geri sekme teorisi

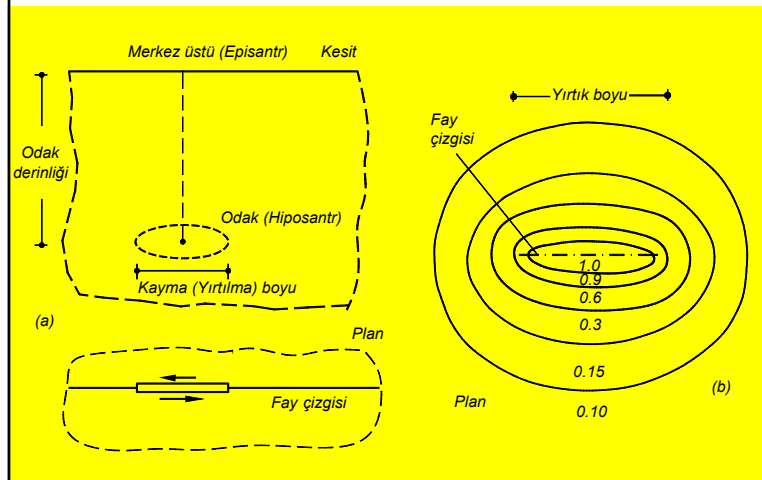
- Şekil değiştirme enerjisinin yığılması
- Enerjinin kritik seviyeye ulaşması
- Kayma ve yırtılma
- Enerjinin sönümlenerek yayılması
- Gevşeme
- Şekil değiştirme enerjisinin yığılmaya başlaması

Deprem oluşması Elastik geri sekme teorisi

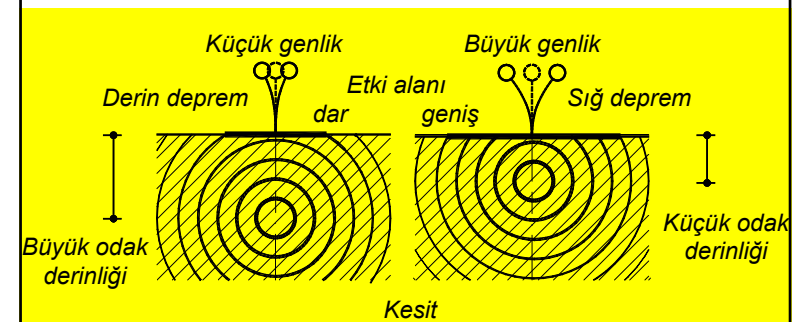
- Öncü depremler
- Artçı depremler



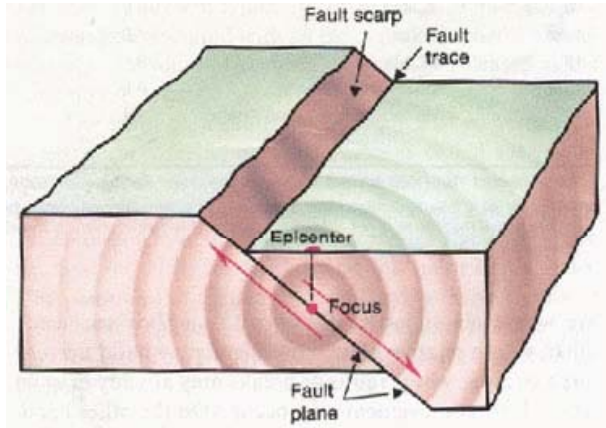
Planda eş şiddet eğrileri



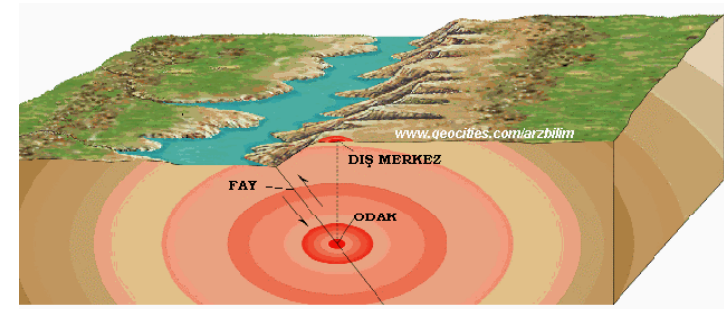
Deprem hareketi büyüklükleri



Deprem hareketi büyüklükleri



Deprem hareketi büyüklükleri

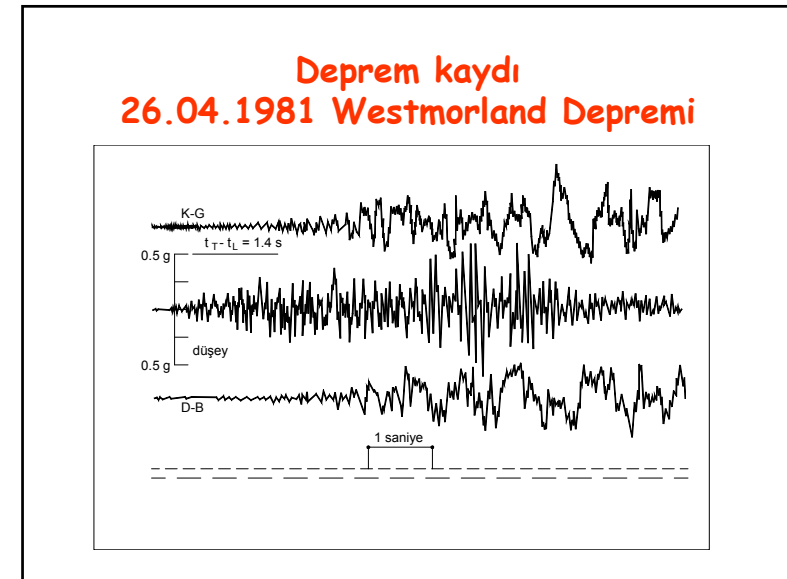
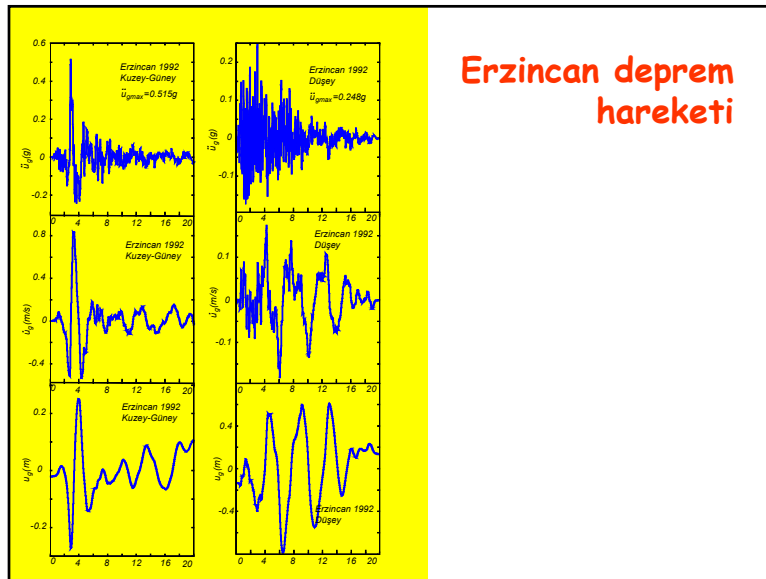
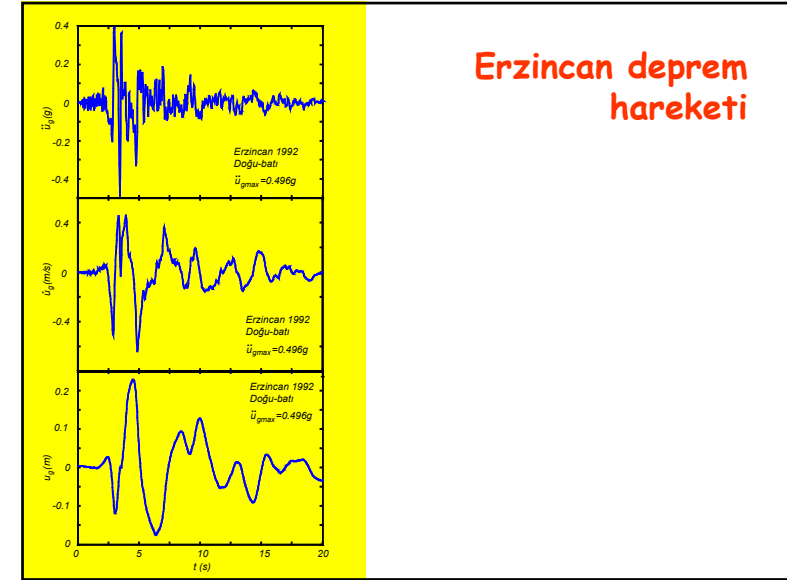
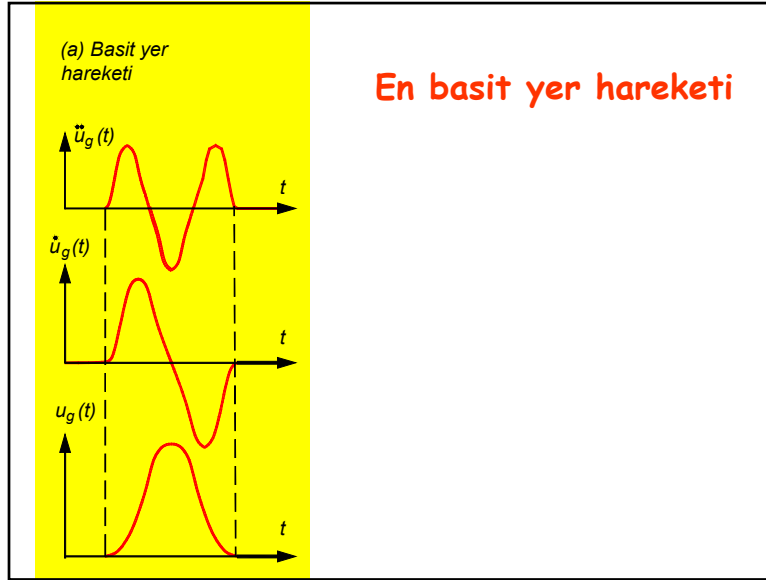


Deprem oluşması

- Karmaşık titreşim hareketi
- Periyodu kısa ve uzun titreşimler
- Zeminde yansıma ve kırılmalarla yayılma
- Kısa periyotlu titreşimler uzunlara göre daha çabuk sönümlenir

Deprem türleri

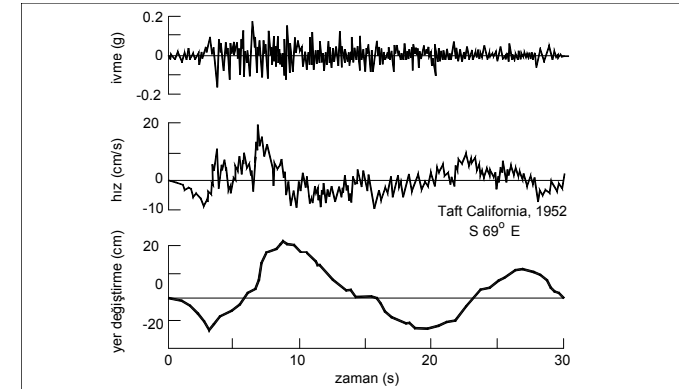
- H odak derinliğine göre:
- Sığ deprem, $H < 70\text{km}$, dar bölgede hissedilir, hasarı ağır ve yıkıcı
- Orta derinlikte deprem, $300\text{km} > H > 70\text{km}$
- Derin deprem, $700\text{km} > H > 300\text{km}$, geniş bölgede hissedilir, hasarı az ve daha az yıkıcı
- Oluşum sıklığı derinlikle azalır
- Yurdumuzda $H=10\text{km}\sim 30\text{km}$, sığ depremler



Deprem ivme, hız ve yerdeğişmesi

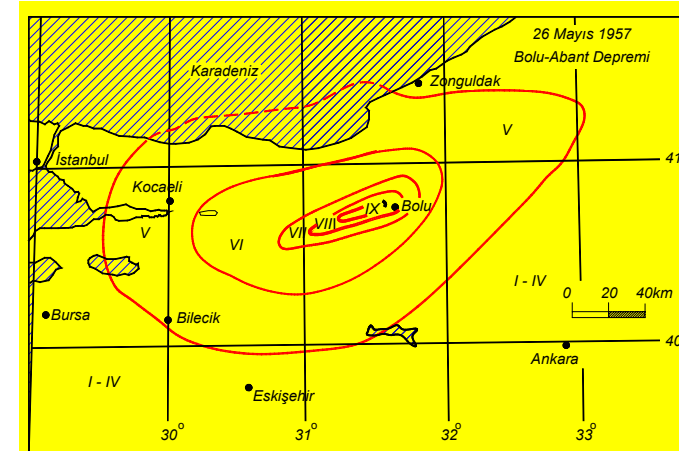
- İvme $\ddot{v}_g(t)$
- Hız $\dot{v}_g(t) = \int_0^t \ddot{v}_g(\tau) d\tau$
- Yerdeğişme $v_g(t) = \int_0^t \dot{v}_g(\tau) d\tau$

21.07.1952 Talf depremi

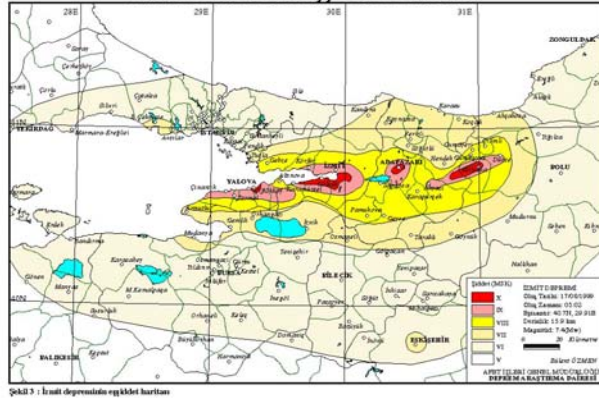


Mercalli Şiddeti	Tanım	Zemin ivmesi (m/s ²)
I	Yalnız duyarlı aletler algılar	~ 0.01
II	Özellikle üst katlarda, dinlenmekte olan kişiler tarafından hissedilir. Hassas bir biçimde asılı olan cisimler sallanabilir.	0.02 ~ 0.03
III	Bina içinde hissedilir, fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran otomobiller yanından kamyon geçmiş gibi sallanır.	0.03 ~ 0.07
IV	Bina içinde çoğunluk ve dışarıda az kimse tarafından hissedilir. Gece bazı kişiler uyanır, kap-kacak, kapı-pencere sallanır.	0.07 ~ 0.15
V	Hemen herkes hisseder. Bazı tabaklar, sıvalar, pencereler kırılır, uzun cisimler oynar.	0.15 ~ 0.30
VI	Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar, sıvalar düşer. Hafif hasarlar olur.	0.30 ~ 0.70
VII	Herkes dışarı kaçar. Yapıda sağlamlığına bağlı olarak değişen hasarlar oluşur. Otomobil sürücüleri de algılar.	0.70 ~ 1.50
VIII	Duvarlar çerçevelerden ayrılıp dışarı fırlar. Anıtlar, bacalar, duvarlar devrilir. Kum ve çamur fışkırır.	1.50 ~ 3.00
IX	Yapılar temelinden ayrılır, çatlar, eğilir. Zemin ve yeraltı boruları çatlar	3.00 ~ 7.00
X	Kargir ve çerçeve yapıların çoğu tahrip olur. Zemin çatlar, raylar eğilir. Toprak kaymaları olur.	7.00 ~ 15.00
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir, köprüler tahrip olur. Yeraltı boruları kırılır. Toprak kayar. Raylar bükülür.	15.00 ~ 30.00
XII	Hemen her şey harap olur. Toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Cisimler havaya fırlar.	30.00 ~ 70.00

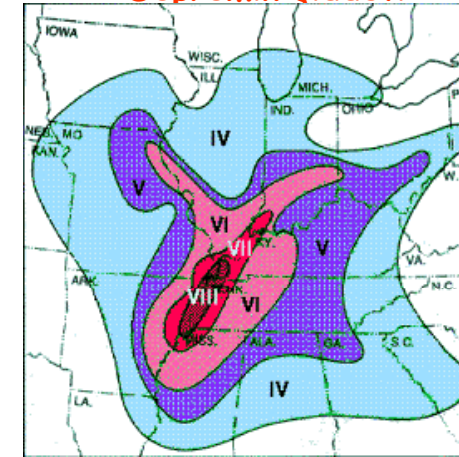
26.05.1957 Bolu Depremi



17.08.1999 Marmara Depremi



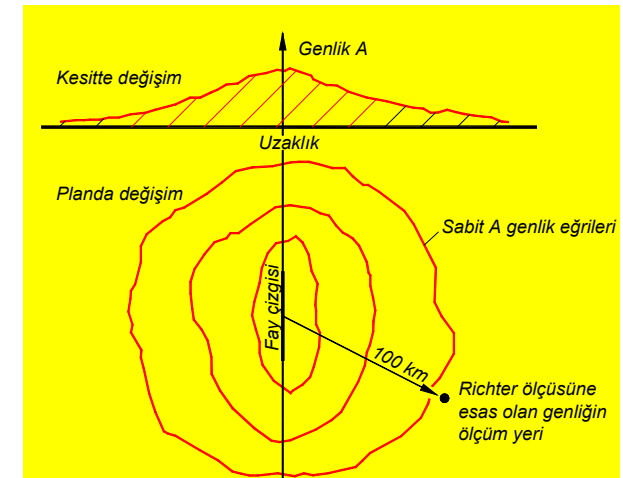
Depremin siddeti



Depremin büyüklüğü

Sembölü	Adı	Ölçüm periyodu (s)
M_L	Richter yerel büyüklüğü	0.1 ~ 1.0
M_b	Cisim dalgası büyüklüğü	1.0 ~ 5.0
M_s	Yüzey dalgası büyüklüğü	20
M_w	Moment büyüklüğü	> 200

Depremin Richter büyüklüğü



- Depremin Değiştirilmiş Mercali Şiddeti

$$I \leq I_o \leq XII$$

- Depremin Richter yerel büyüklüğü
 $A_o=0.001\text{mm}$

$$M_L = \log \frac{A}{A_o}$$

$$M_L = 0.593 I_o + 1.63$$

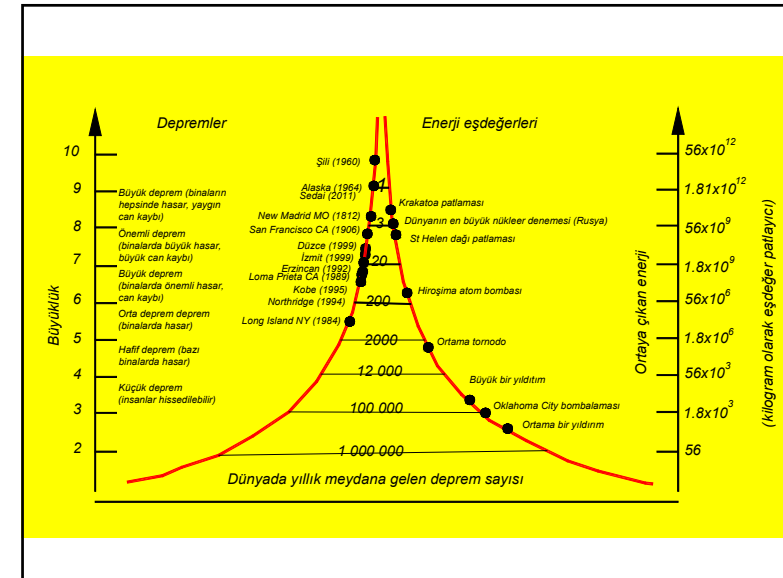
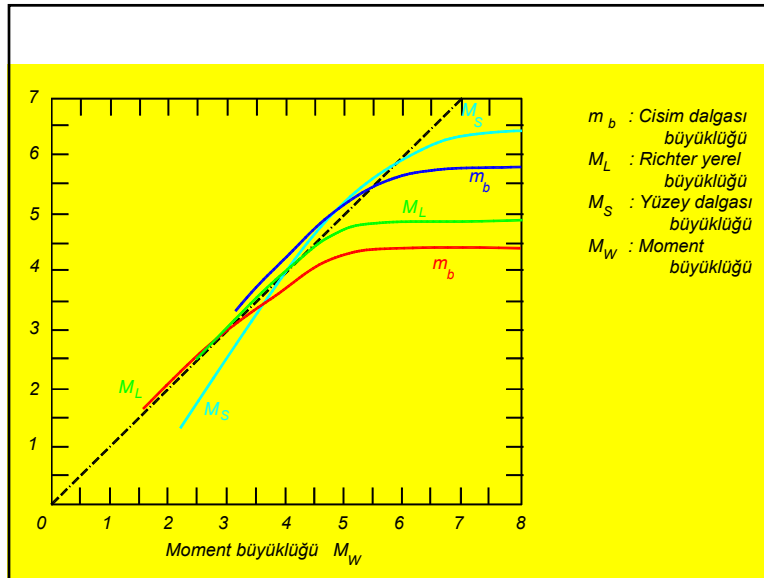
- Cisim dalgası büyüklüğü m_b

- Yüzeysel dalgası büyüklüğü M_S

- Sismik moment M_o

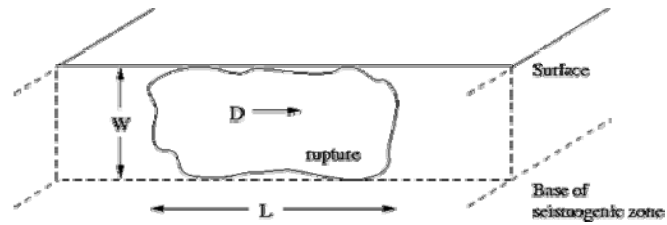
- Moment büyüklüğü M_w

- Sismik enerji E_s

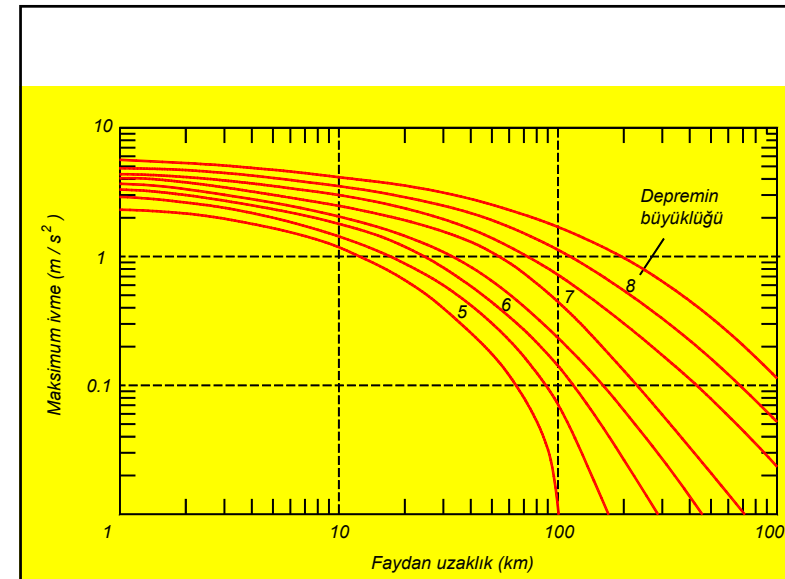
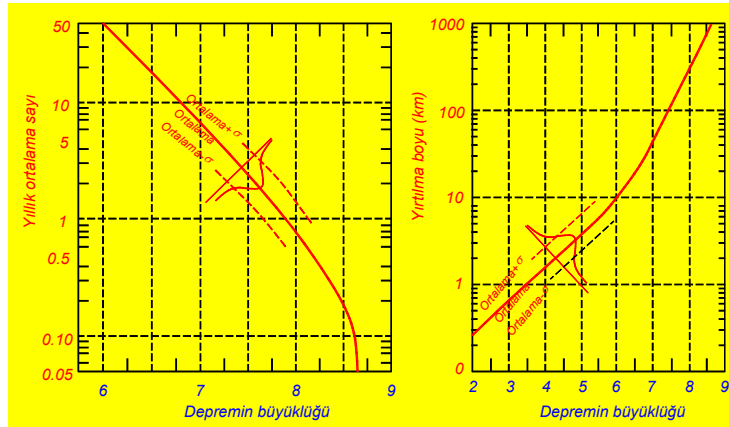
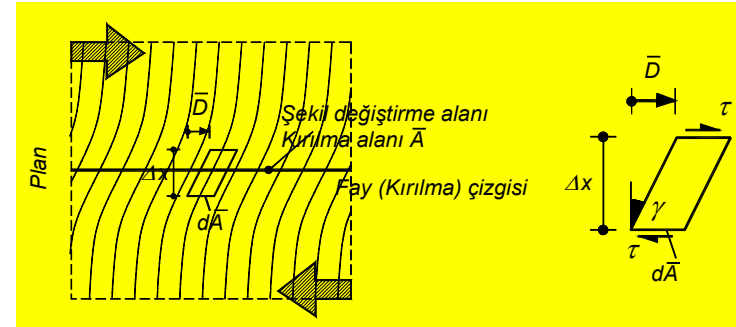


Sismik moment= $\mu A D$

μ = kayma modulu
 32 GPa (kabuk) 75 GPa (manto)
 $A = LW$ = Kayma alanı
 D = ortalama yerdeğişimne



Sismik moment= $\mu A D$



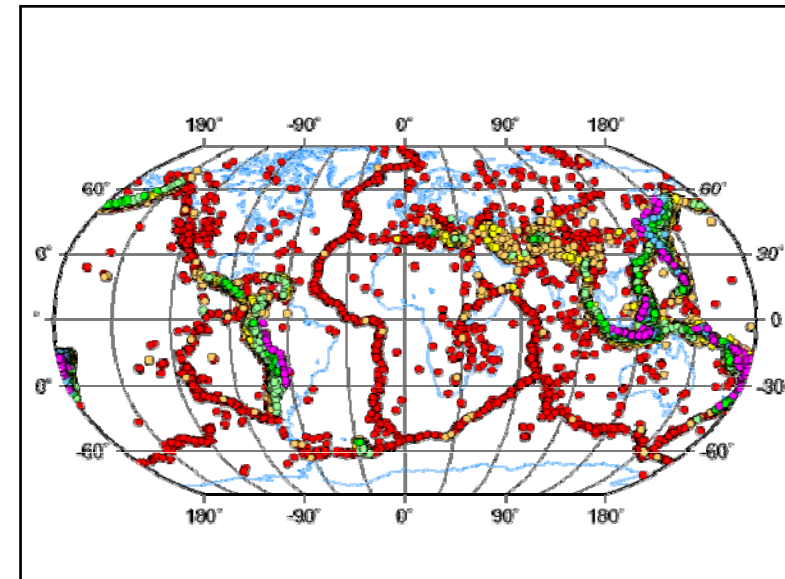
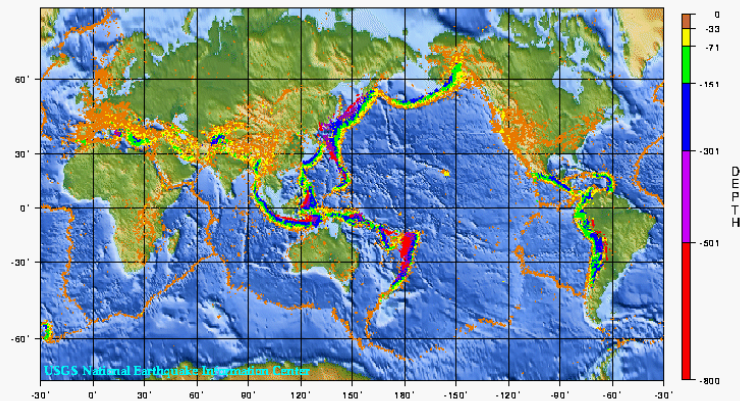
Önemli depremler

Yer	Tarih	Büyüküğü (M_s)	Şiddeti (I_o)	Derinliği (km)	Ağır hasar sayısı	Can kaybı
Erzincan	26.12.1939	7.9	X-XI	20	116720	32962
Adana-Ceyhan	27.06.1998	5.9	VIII	23	10401	145
Gölcük	17.08.1999	7.4	IX	20	20000	15225
Düzce	12.11.1999	7.2	IX	20	200	3000

Önemli depremlerin büyüklükleri

Deprem	M_s	m_b	M_w	M_o (Nm)	E_s (Nm)	birim (m/s^2)	$SI(\xi=0.02)$ (m)
Erzincan 13.03.1992	6.8	6.8	6.3	2.94×10^{18}	1.00×10^{15}	KG 3.90 DB 4.92	KG 2.014 DB 1.614
Dinar 01.10.1995	6.0	6.3	5.7	3.80×10^{17}	6.31×10^{13}	KG 2.82 DB 3.30	KG 0.813 DB 1.109
Adana- Ceyhan 27.06.1998	5.9	6.2	5.6	2.94×10^{17}	4.67×10^{13}	KG 2.16 DB 2.72	KG 0.730 DB 0.699

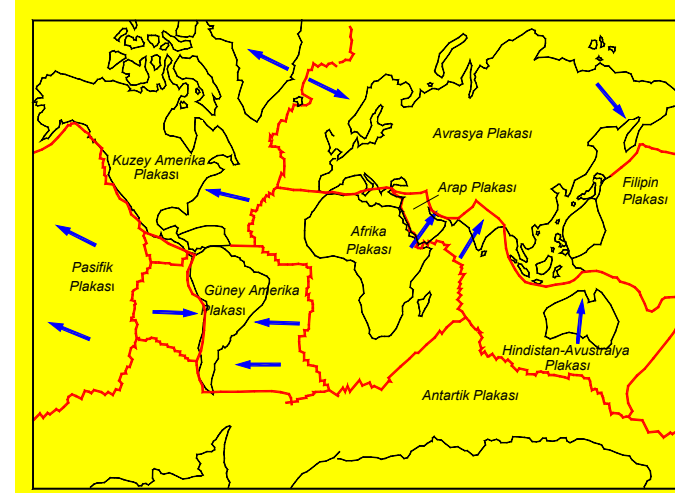
Yeryüzünde sismik olaylar 1975-1995



Tektonik plakalar

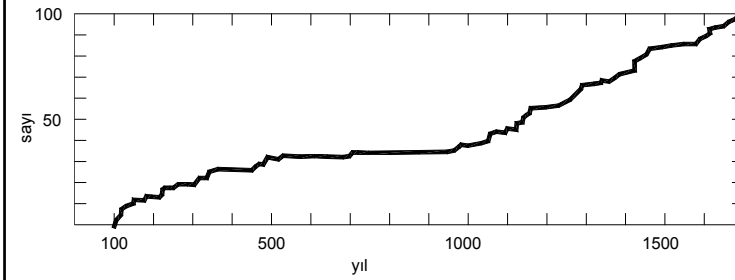


Tektonik plakalar

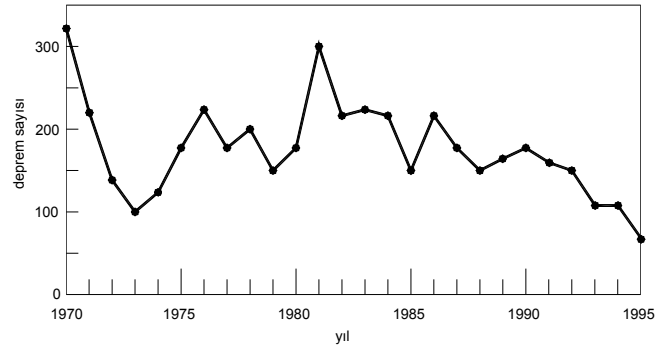


Yeryüzünde yıllık deprem sayısı	Büüklük
50,000	3.0-3.9
6,000	4.0-4.9
800	5.0-5.9
120	6.0-6.9
18	7.0-7.9
1	8.0 ve daha büyük

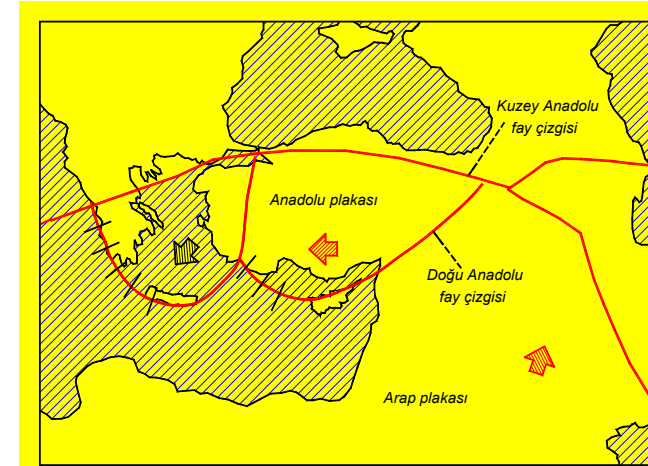
Yurdumuzdaki depremler



Yurdumuzdaki depremler



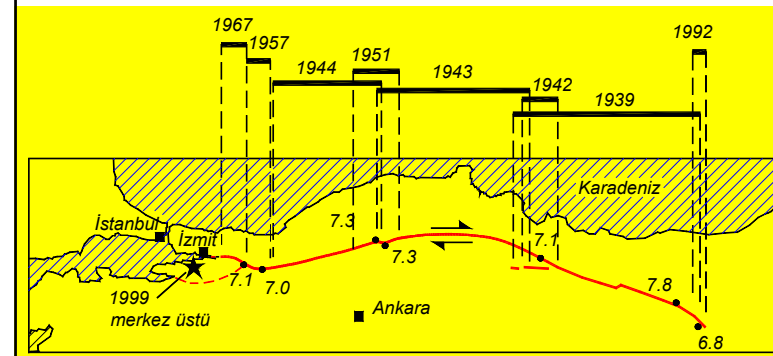
Yurdumuzdaki faylar



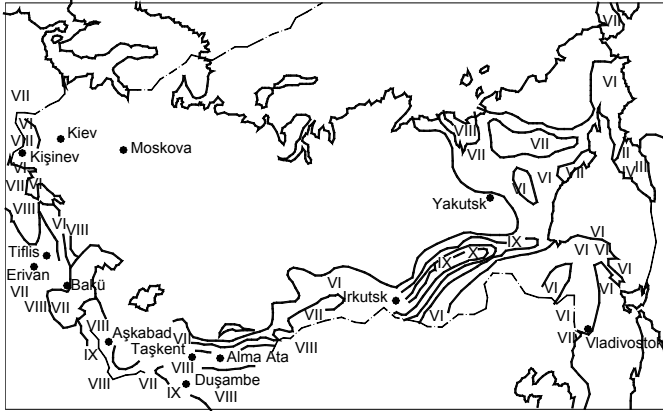
Yurdumuzdaki depremler



Kuzey Anadolu Fayının batıya doğru kırılması



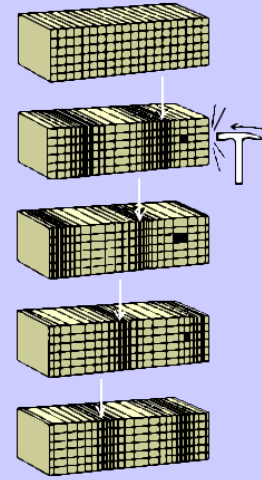
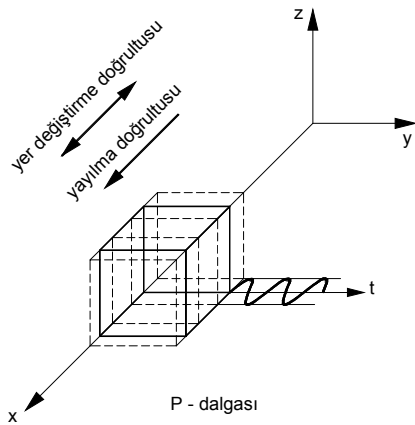
Turki Cumhuriyetlerde deprem tehlikesi



İstanbul'da deprem

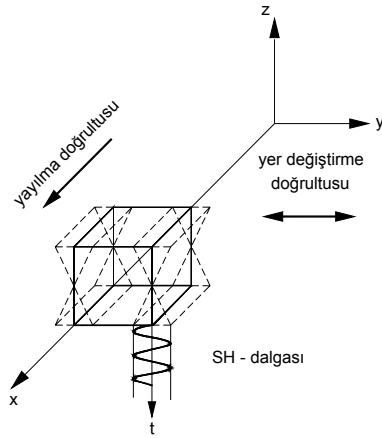
- 325, 427, 478, 553, 865, 986, 1344, 1462, 1509, 1659, 1766, 1894
- 1509 Küçük kıyamet
- 18.07.1894 IX~X şiddeti

Dalga hareketi olarak deprem Boyuna dalga

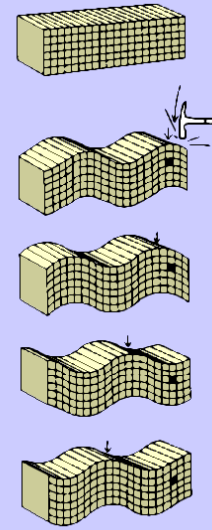


Dalga hareketi olarak deprem Boyuna dalga

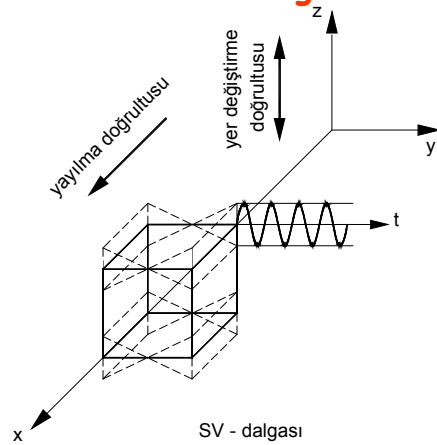
Dalga hareketi olarak deprem Enine dalga



Dalga hareketi olarak deprem Enine dalga



Dalga hareketi olarak deprem Enine dalga



Boyuna ve enine dalga hızları

$$c_L^2 = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)\rho}$$

$$c_T^2 = \frac{E}{2(1+\nu)\rho}$$

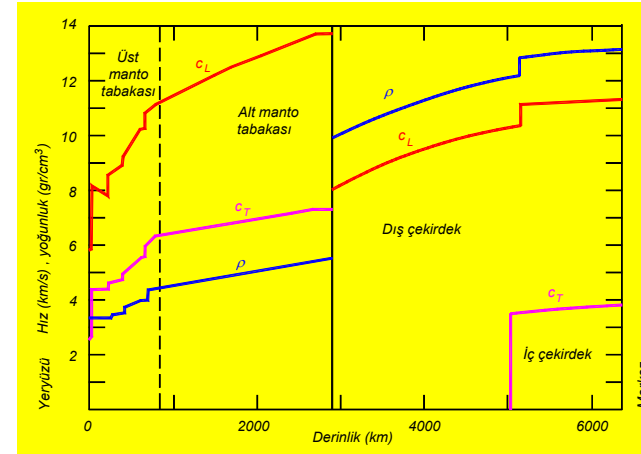
Boyuna ve enine dalga hızları

$$\frac{c_L^2}{c_T^2} = \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}$$

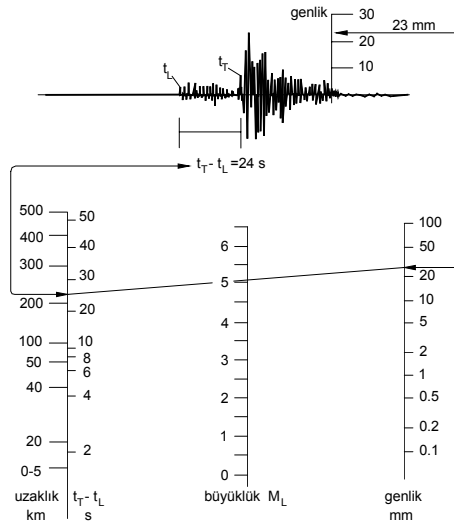
$$c_L \approx 6.0 \text{ km/s}$$

$$c_T \approx 3.5 \text{ km/s}$$

Derinliğe bağlı olarak dalga hızı ve yoğunluk



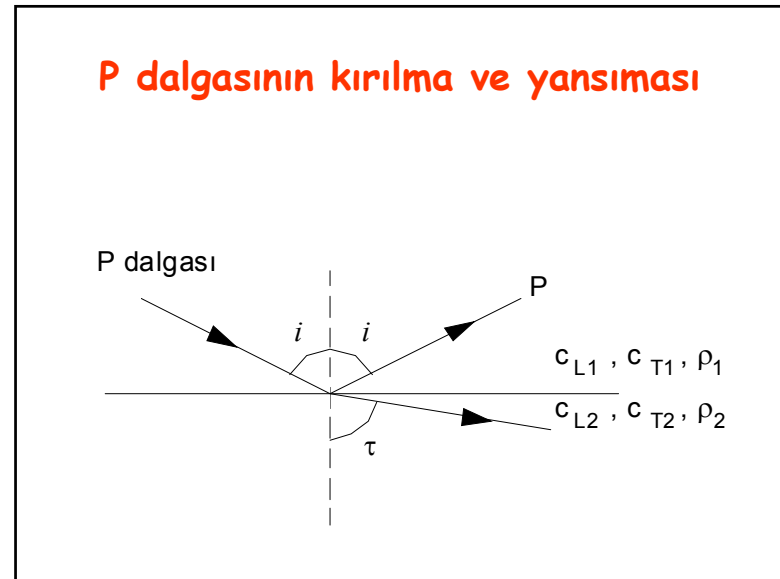
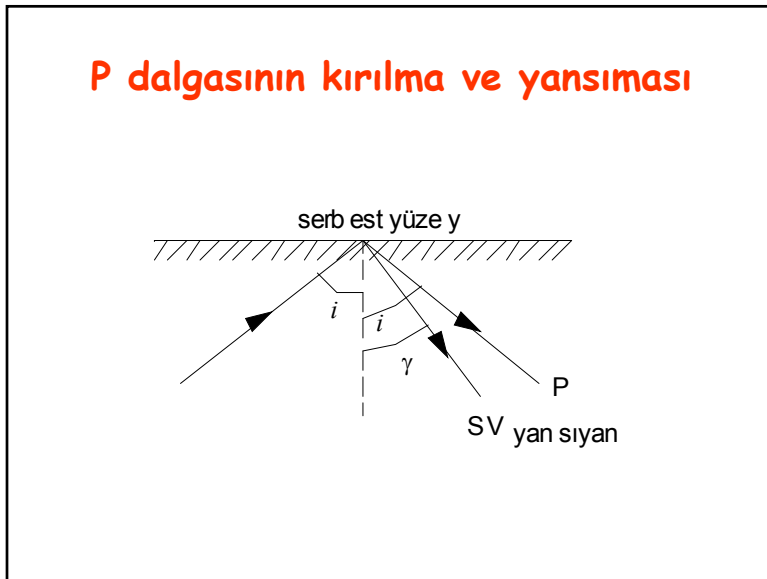
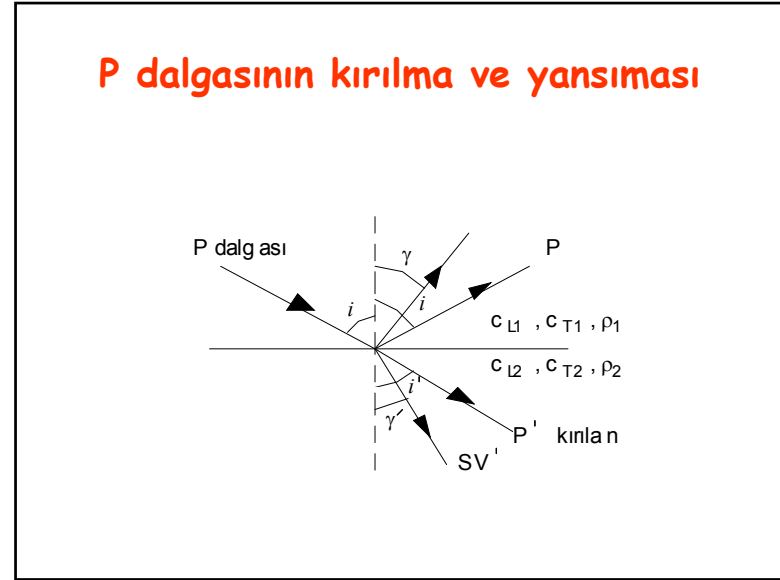
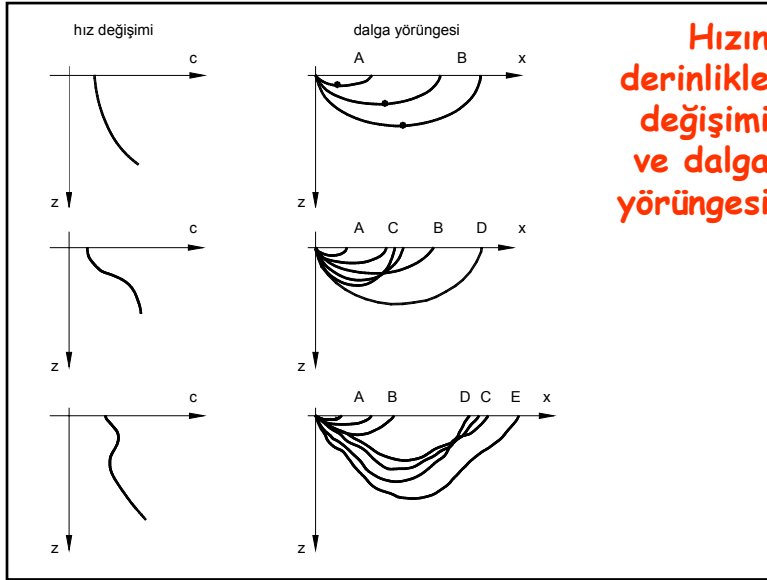
Richter büyüklüğü



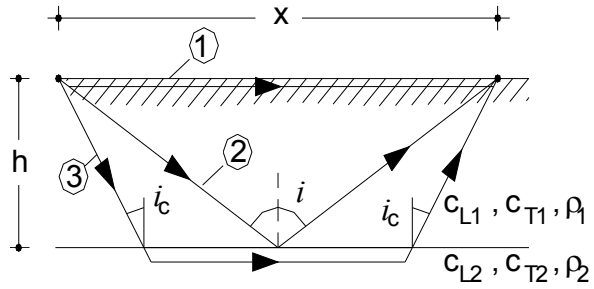
Kayıt yerine mesafenin belirlenmesi

$$d = c_L t_L = c_T t_T$$

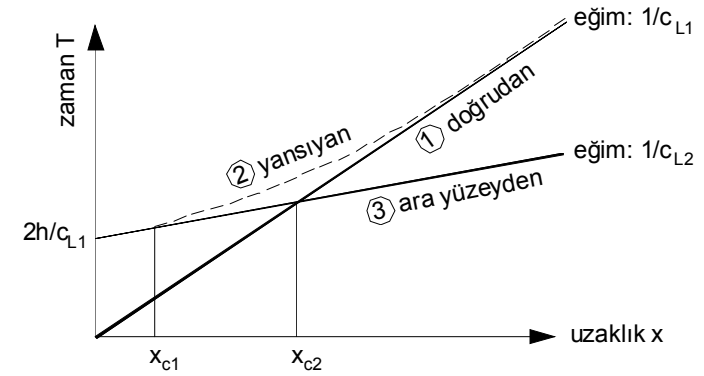
$$d = \frac{c_L c_T}{c_L - c_T} (t_T - t_L)$$



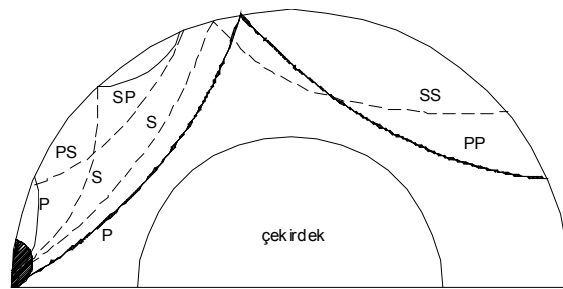
Deprem dalgasının yörüngesi



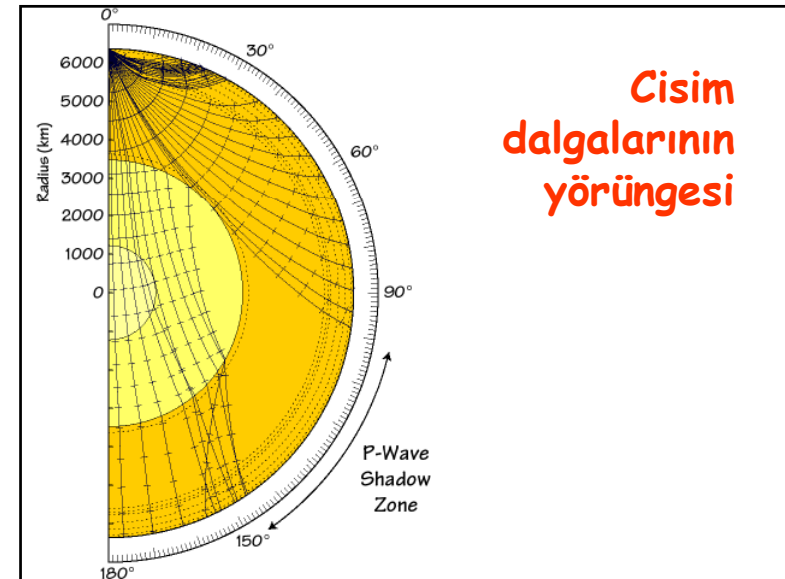
Deprem dalgasının uzaklık zaman ilişkisi



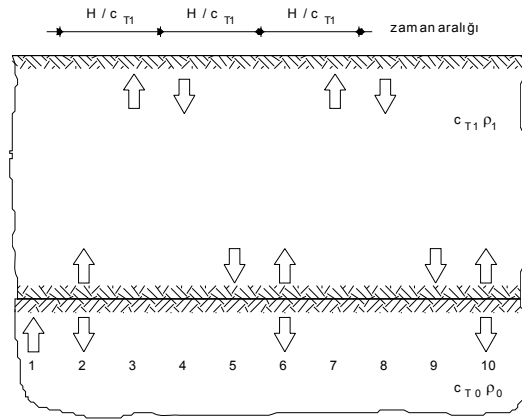
Cisim dalgalarının yörüngesi



Cisim dalgalarının yörüngesi



Tabakalı ortamda dalga yayılması

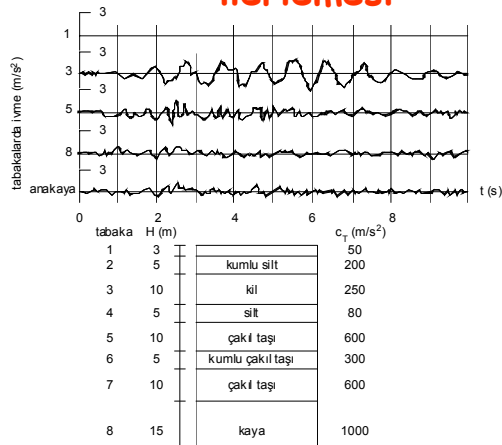


Tabakalı ortamda dalga yayılması ve karakteristik periyot

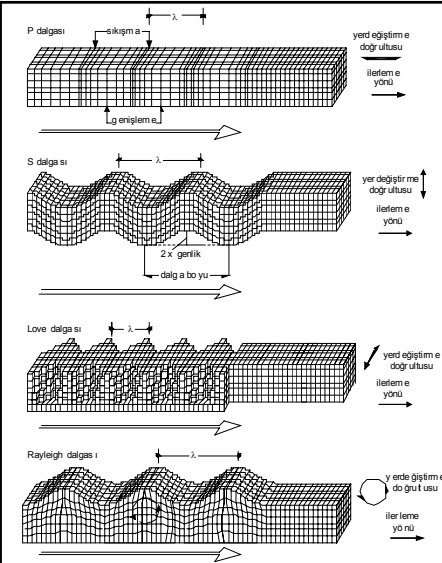
$$\frac{T}{2} = \frac{2H}{c_{T1}}$$

$$T = \frac{4H}{c_{T1}}$$

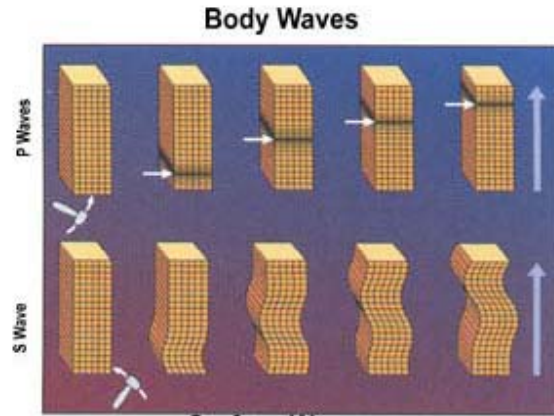
Anakayadan üst tabakalara ilerlemesi



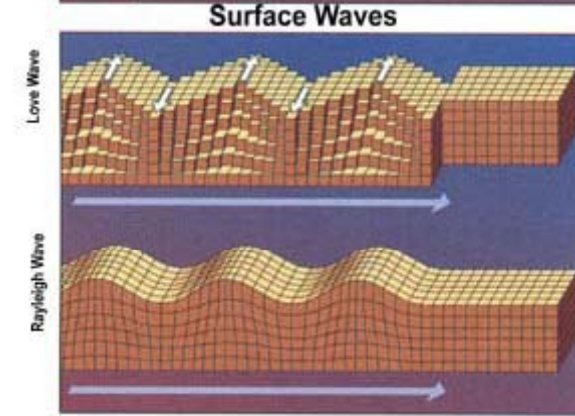
Dalga türleri



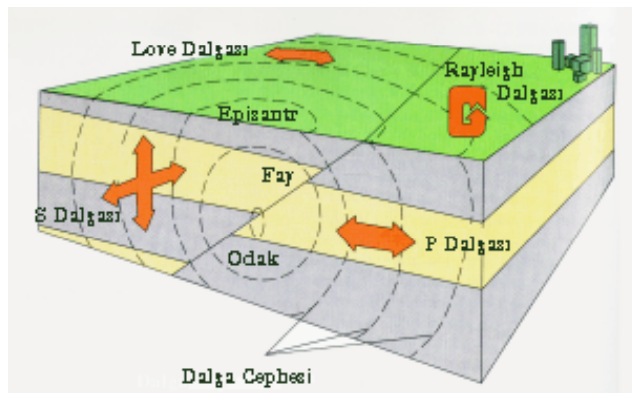
Cisim dalgaları



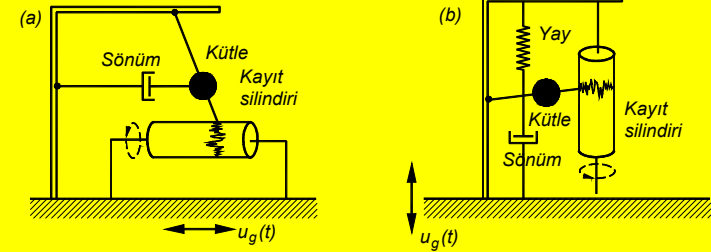
Yüzey dalgaları



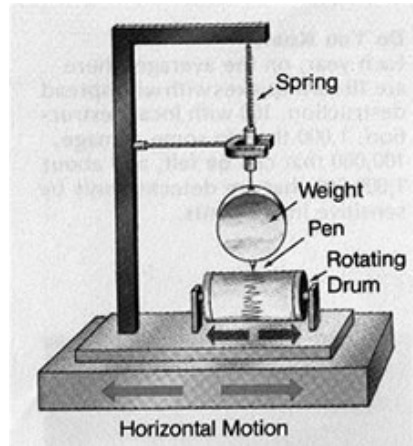
Deprem dalgaları



Deprem hareketinin ölçümü Basit sismograf



Basit sismograf



Kinematics FBA-23 accelerograph



Bir serbetlik dereceli sistem

$$m \ddot{v} + c \dot{v} + k v = -m \ddot{v}_g$$

$$v_g = v_{go} \sin \bar{\omega} t$$

$$\xi = \frac{c}{2m\omega} \quad \omega^2 = k/m \quad \beta = \bar{\omega} / \omega = T / \bar{T}$$

Bir serbestlik dereceli sistem

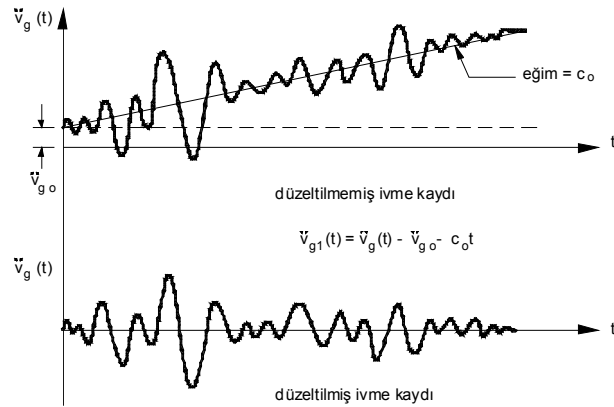
$$v(t) = \frac{v_{go}}{\omega^2} \frac{\bar{\omega}^2}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} [(1-\beta^2) \sin \bar{\omega} t - 2\xi\beta \cos \bar{\omega} t]$$

$$\beta \gg 1 \quad v(t) \approx -v_{go} \sin \bar{\omega} t = -v_g(t) \quad \text{Yer degistirme}$$

$$\beta \ll 1 \quad v(t) \approx +v_{go} \beta^2 \sin \bar{\omega} t = -\frac{\ddot{v}_g(t)}{\omega^2} \quad \text{İvme}$$

$$\beta \approx 1 \quad v(t) \approx -v_{go} \frac{\bar{\omega} \cos \bar{\omega} t}{2\xi\omega} = -\frac{\dot{v}_g(t)}{2\xi\omega} \quad \text{Hiz}$$

Deprem ivme kaydının düzeltilmesi



Yapının periyodunun ölçümü

- Deprem kayıtlarının kullanılması
- Rüzgâr ve taşıt yüklerinin etkisi
- Patlamalar
- Dışmerkez kütle titreşimi
- Yüksek devirli motor
- Serbest titreşime zorlama

Bir serbestlik dereceli sistem

$$m \ddot{v} + c \dot{v} + k v = -m \ddot{v}_g$$

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2}$$

$$\xi = \frac{c}{2m\omega} \quad \omega^2 = k/m$$

$$\ddot{v} + 2\xi\omega \dot{v} + \omega^2 v = -\ddot{v}_g(t)$$

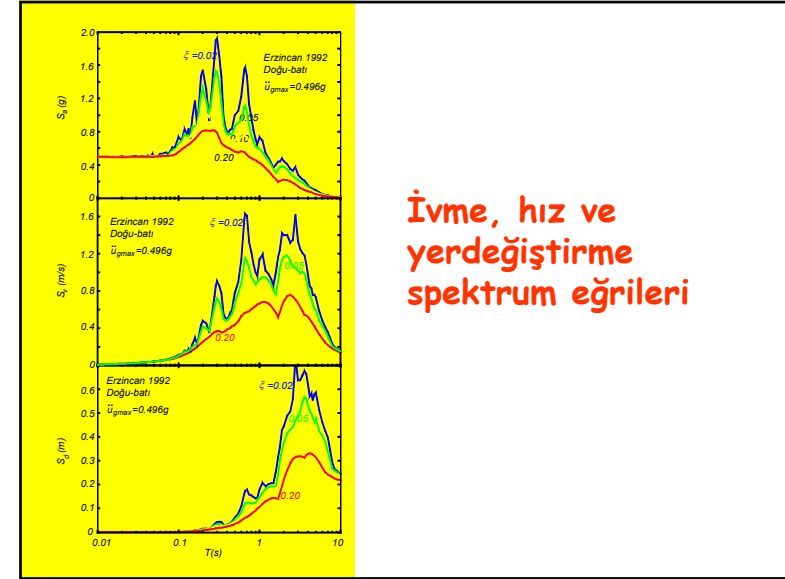
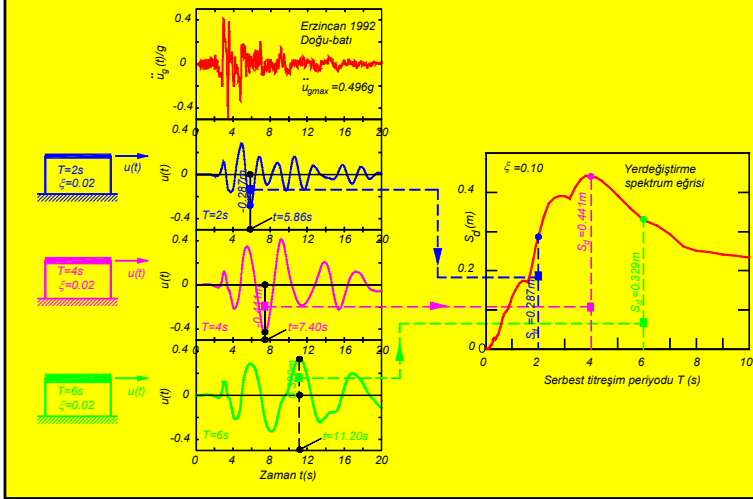
Bir serbestlik dereceli sistem

$$v(t, \xi, \omega) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{v}_g(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \sin[\omega_D(t-\tau)] d\tau$$

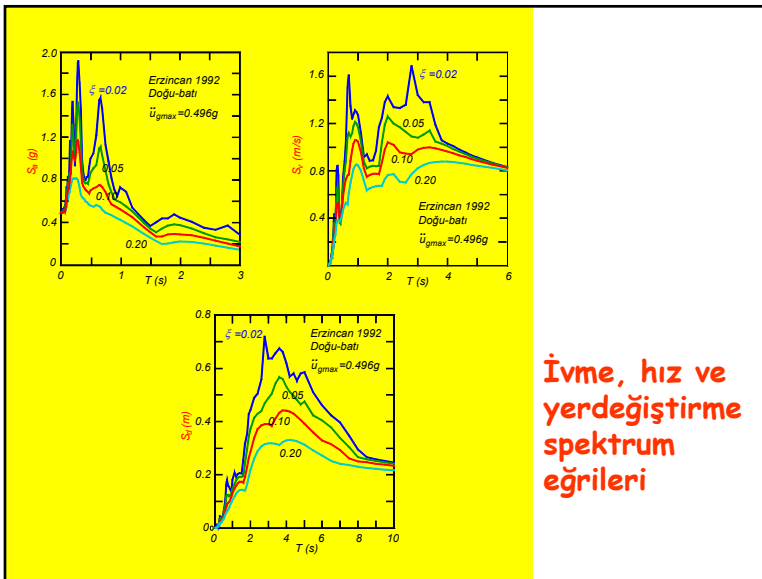
$$\dot{v}(t, \xi, \omega) = -\int_0^t \ddot{v}_g(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \cos[\omega_D(t-\tau)] d\tau - \xi\omega v(t, \xi, \omega)$$

$$\ddot{v}(t, \xi, \omega) + \ddot{v}_g(t) = -\omega^2 v(t, \xi, \omega) - 2\xi\omega \dot{v}(t, \xi, \omega)$$

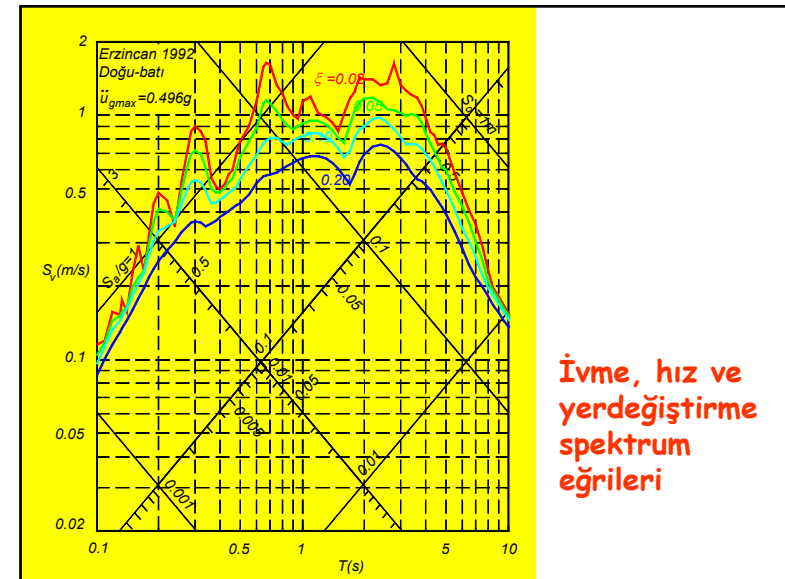
Yerdeğiştirme spektrumunun elde edilmesi



İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri



İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri



İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri

2.11. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ

Tek serbestlik dereceli sistemin davranışı, dinamik kuvvet dengesinden

$$m\ddot{u}(t) + c(t)\dot{u}(t) + k(t)u(t) = p(t) \quad (2.128)$$

denklemleri ile belirlenir. Bu denklemde sönüm ve yay katsayısının zamana bağlı olduğu durumda kapalı harmonik çözüm elde edilmesi genellikle mümkün olmaz. Bu durumda hareket denkleminin sayısal olarak çözümü gerekli olur. Yukarıda t zamanında geçerli olan denkleme, $t + \Delta t$ zamanında meydana gelen artımların yansıtılması sonucu yerdeğiştirme artımının

$$m\Delta\ddot{u}(t) + c(t)\Delta\dot{u}(t) + k(t)\Delta u(t) = \Delta p(t) \quad (2.129)$$

denklemini sağlaması gerektiği görülür. Burada yerdeğiştirmede $\Delta u(t) = u(t + \Delta t) - u(t)$ ve dış kuvvette $\Delta p(t) = p(t + \Delta t) - p(t)$ meydana gelen artımlar göz önüne alınmıştır. Bu artım denkleminin çözülmesi için değişik hesap yöntemleri geliştirilmiştir:

c. Doğrusal ivme yöntemi:

Bu yöntemde $\dot{u}(t + \Delta t)$ hızı kuvvet serisine açılarak ilk üç terim göz önüne alınır,

$$\dot{u}(t + \Delta t) = \dot{u}(t) + \ddot{u}(t)\Delta t + \ddot{\ddot{u}}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} \quad (2.147)$$

bulunur. Buna karşı gelen yerdeğiştirme integrasyonu

$$u(t + \Delta t) = u(t) + \dot{u}(t)\Delta t + \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} + \ddot{\ddot{u}}(t)\frac{(\Delta t)^3}{6} \quad (2.148)$$

elde edilir. İvmenin göz önüne alınan adım içinde doğrusal değiştiği kabul edilirse, $\ddot{\ddot{u}}(t) = \Delta\ddot{u}(t)/\Delta t$ - *sabit* yukarıdaki ifadeler,

$$\Delta\dot{u}(t) = \ddot{u}(t)\Delta t + \Delta\ddot{u}(t)\frac{\Delta t}{2} \quad \Delta u(t) = \dot{u}(t)\Delta t + \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} + \Delta\ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{6} \quad (2.149)$$

biçimine getirilebilir. Bu bağıntılardan ivme ve hız artımları çözümlerse

$$\Delta\ddot{u}(t) = \frac{6}{(\Delta t)^2}\Delta u(t) - \frac{6}{\Delta t}\dot{u}(t) - 3\ddot{u}(t) \quad \Delta\dot{u}(t) = \frac{3}{\Delta t}\Delta u(t) - 3\dot{u}(t) - \frac{\Delta t}{2}\ddot{u}(t) \quad (2.150)$$

elde edilir. Bu sonuçların (2.129) daki artımlara ait hareket denkleminin yerleştirilmesi ile, yerdeğiştirmedeki artım $\Delta u(t)$ için

$$k^*\Delta u(t) = \Delta p^*(t) \quad (2.151)$$

denklemini elde edilir. Burada $k^*(t)$ *Etkili Yay Katsayısı* ve $\Delta p^*(t)$ *Etkili Yükleme Artımı*.

$$k^*(t) = k(t) + \frac{3}{\Delta t}c(t) + \frac{6}{(\Delta t)^2}m$$

$$\Delta p^*(t) = \Delta p(t) + m\left[\frac{6}{\Delta t}\dot{u}(t) + 3\ddot{u}(t)\right] + 2c(t)\left[3\dot{u}(t) + \frac{\Delta t}{2}\ddot{u}(t)\right] \quad (2.152)$$

olarak tanımlıdır. Sayısal çözümün geri kalan kısmı sabit ortalama ivme yönteminde olduğu gibidir.

Bulunan (2.151) ifadesi, $u(t + \Delta t) = u(t) + \Delta u(t)$ ve hareket denklemini kullanılarak

$$p^*(t + \Delta t) = p(t + \Delta t) + c\left[\frac{3}{\Delta t}u(t) + 2\dot{u}(t) + \frac{\Delta t}{2}\ddot{u}(t)\right] + m\left[\frac{6}{(\Delta t)^2}u(t) + \frac{6}{\Delta t}\dot{u}(t) + 2\ddot{u}(t)\right] \quad (2.153)$$

olmak üzere

$$k^*u(t + \Delta t) = p^*(t + \Delta t) \quad (2.154)$$

olarak da yazılabilir.

Beklendiği gibi doğrusal ivme yöntemi, sabit ivme yöntemine göre sayısal yaklaşımı daha iyidir. Ancak doğrusal ivme yöntemi şartlı kararlıdır. Kararlı sayısal sonuçların elde edilmesi için zaman adımının $\Delta t \leq \sqrt{3}T/\pi = 0.551T$ olması gerekir. Bu yöntemde de adım aralığının seçiminde dış etkinin uygun şekilde temsil edilmesine de dikkat etmek gerekir.

```

=====
% YD23
% Ogrenci ornegi / spektrum egrisinin elde edilmesi
clear
% Kayitlarin sayisinin 4155 ve zaman araligi 0.005s kabul edilmiştir.
for it = 1:4155; t(it) = 0.005*(it-1); end;
% Ivme kayitlarinin okunmasi
a=[.1451325E-03 .1440087E-03 .1445897E-03 .1428288E-03 .1390652E-03,
-.2917123E-02 -.2869659E-02 -.2821339E-02 -.2772174E-02 -.2722177E-02]';
% Kayitlarin sayisinin 4155 ve zaman araligi 0.005s kabul edilmiştir.
g=9.81;
% Verilen ivme degerleri g biriminde verildiği için g ile carpiliyor
ugddot=a*g;
% Ivmenin zamana bagli degisimi ciziliyor
plot(t(:), ugddot(:));
pi=4.0*atan(1.0);
% Sonum oranı kabul ediliyor
for isonum=1:4;
    ksi=0.05*isonum;
% Peryot kabul ediliyor
for iperiyot=1:501;
    T(iperiyot)=0.01*iperiyot;
Sd(isonum, iperiyot)=0.0;
Sv(isonum, iperiyot)=0.0;
Sa(isonum, iperiyot)=0.0;
deltat=0.005;
M=1.0;
K=M*4.0*pi*pi/(T(iperiyot)*T(iperiyot));
deltat=0.005;
C=ksi*2.0*M*(2.0*pi/T(iperiyot));
P=-M;

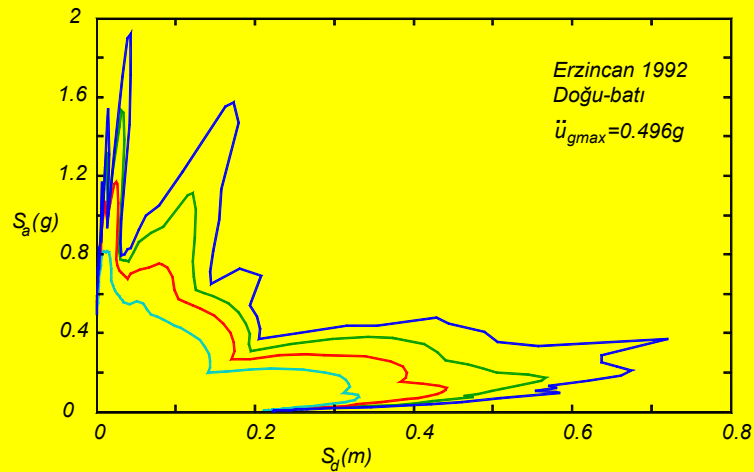
```

```

Kstar=K+3*C/deltat+6*M/(deltat*deltat);
u(1)=0;
udot=0;
uddototoplam=0;
for it=1:4154;
    deltagddot=ugddot(it+1)-ugddot(it);
    uddot=+P*ugddot(it)/M-C*udot/M-K*u(it)/M;
    deltap=+P*deltagddot;
    deltapstar=deltap+M*(6*udot/deltat+3*uddot)+C*(3*udot+0.5*deltat*uddot);
    deltau=deltapstar/Kstar;
    deltauudot=3*deltat/deltat-3*udot-0.5*deltat*uddot;
    u(it+1)=u(it)+deltau;
    udot=udot+deltauudot;
    uddototoplam=-2.0*ksi*udot*2.0*pi/T(iperiyot)-u(it+1)*4.0*pi*pi/(T(iperiyot)*T(iperiyot));
% Spektrumlar olusturuluyor
if (Sd(isonum, iperiyot) < abs(u(it+1))) Sd(isonum, iperiyot)=abs(u(it+1)); end;
if (Sv(isonum, iperiyot) < abs(udot)) Sv(isonum, iperiyot)=abs(udot); end;
if (Sa(isonum, iperiyot) < abs(uddototoplam)) Sa(isonum, iperiyot)=abs(uddototoplam); end;
end;
ugddot(it+1)=ugddot(it);
%plot(t(:), u(:));
end;
end;
% Spektrumlar ciziliyor
%plot(T(:), Sd(1,:), T(:), Sd(2,:), T(:), Sd(3,:), T(:), Sd(4,:));
%plot(T(:), Sv(1,:), T(:), Sv(2,:), T(:), Sv(3,:), T(:), Sv(4,:));
plot(T(:), Sa(1,:), T(:), Sa(2,:), T(:), Sa(3,:), T(:), Sa(4,:));

```

Spektrum eğrileri



Deprem spektrumları

$$S_v(\xi, T) = \left\{ \int_0^t \ddot{v}_g(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \sin[\omega(t-\tau)] d\tau \right\}_{\max}$$

$$S_d(\xi, T) = [v(t, \xi, \omega)]_{\max} \approx \frac{1}{\omega} S_v(\xi, T)$$

$$S_a(\xi, T) \approx \omega S_v(\xi, T) \approx \omega^2 S_d(\xi, T)$$

Deprem spektrumları

- Yerdeğiştirme spektrumu (rölatif)

$$S_d(\xi, T) = [\dot{v}(t, \xi, \omega)]_{\max}$$

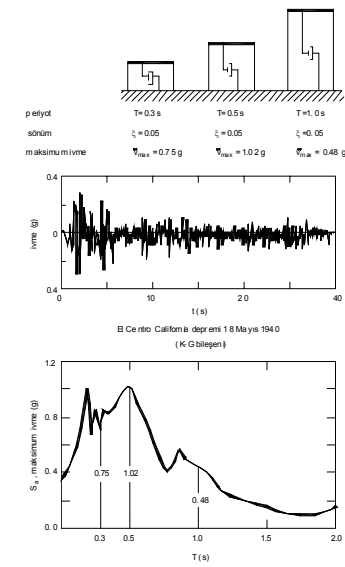
- Hız spektrumu (rölatif)

$$S_v(\xi, T) = [\ddot{v}(t, \xi, \omega)]_{\max}$$

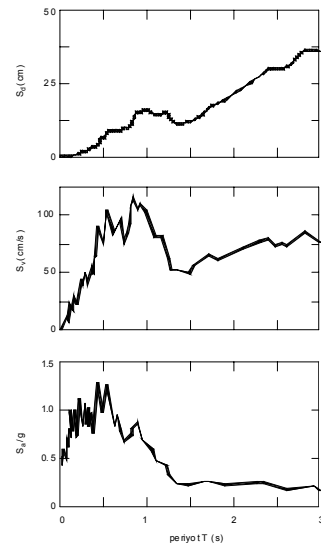
- İvme spektrumu (mutlak)

$$S_a(\xi, T) = [\ddot{v}(t, \xi, \omega) + \ddot{v}_g(t)]_{\max}$$

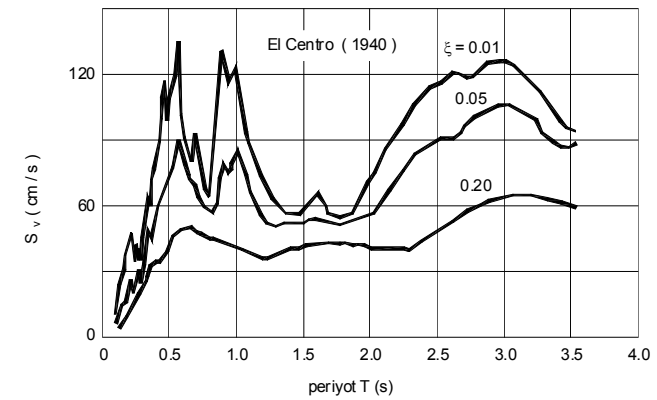
İvme spektrumunun elde edilmesi



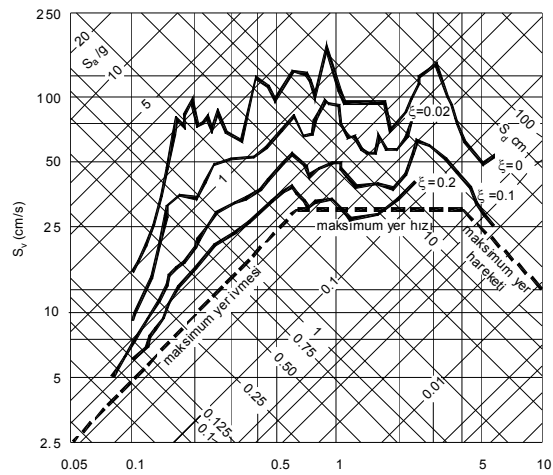
Deprem spektrumları



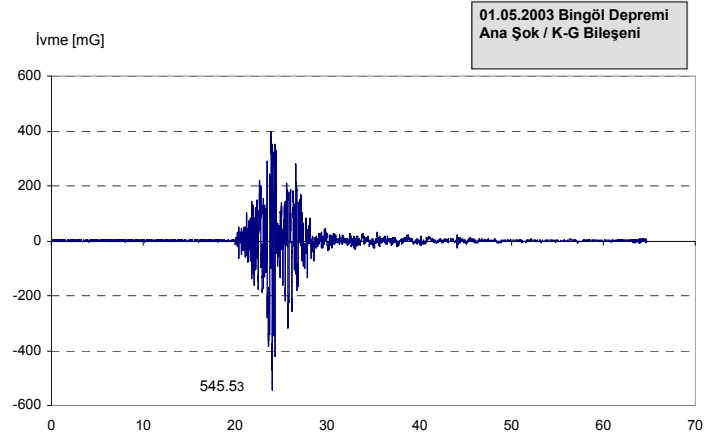
Deprem spektrumları



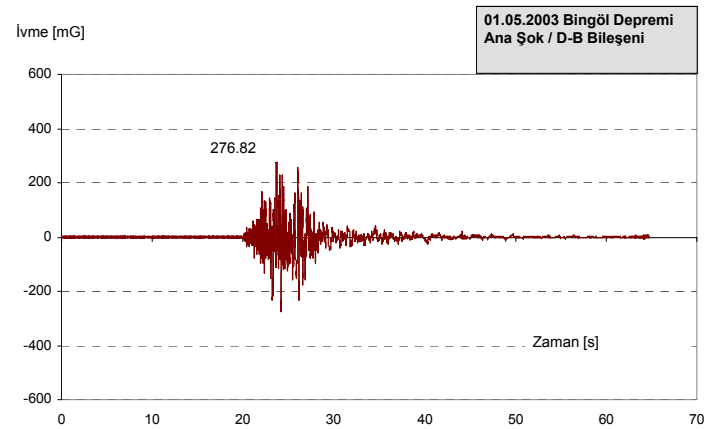
Deprem spektrumları



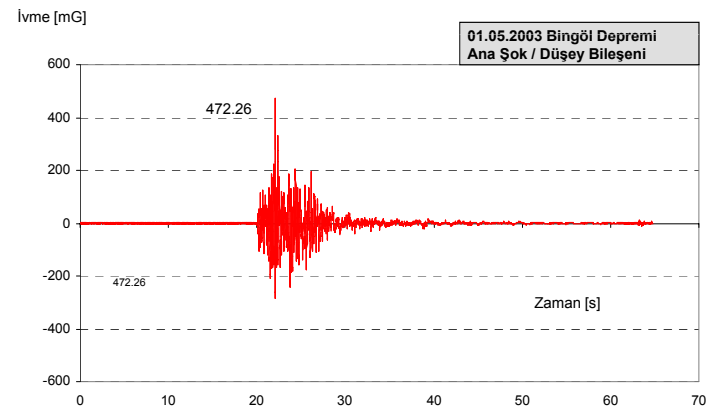
01.05.2003 Bingöl Depremi

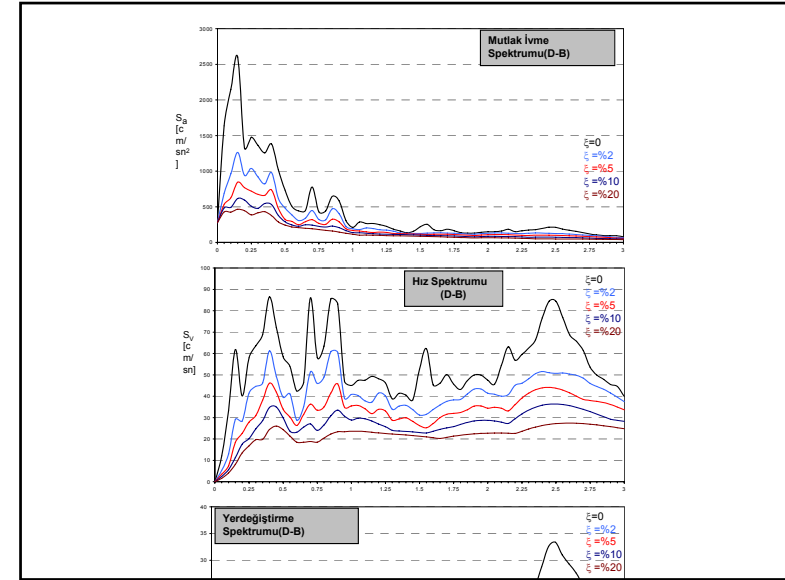
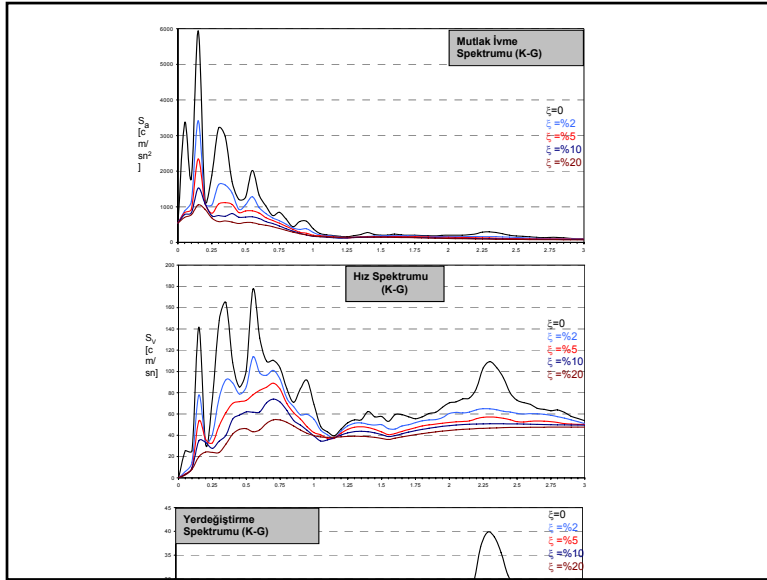


01.05.2003 Bingöl Depremi



01.05.2003 Bingöl Depremi





Deprem spektrumları

$$fI_{\max} = m S_a$$

$$fS_{\max} = k S_d = m \omega^2 S_d = m S_a = S_a \frac{w}{g}$$

$$[E(t, \omega)]_{\max} = \frac{1}{2} k v_{\max}^2 = \frac{1}{2} k S_d^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 S_d^2 = \frac{1}{2} m S_a^2$$

Deprem spektrumları

$$T \rightarrow 0 \quad S_a \rightarrow \ddot{v}_g \max$$

$$S_v \rightarrow 0$$

$$S_d \rightarrow 0$$

$$T \rightarrow \infty \quad S_a \rightarrow 0$$

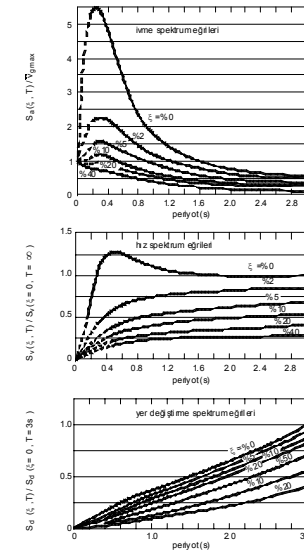
$$S_v \rightarrow \dot{v}_g \max$$

$$S_d \rightarrow v_g \max$$

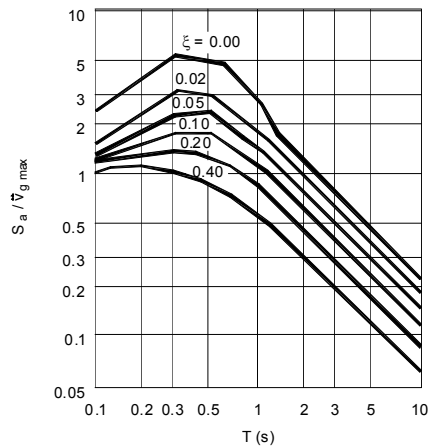
Deprem spektrumları

- Sönüm oranları küçüldükçe periyoda hassas bir değişim
- Sönüm oranları büyüdüğüce daha yumuşak değişim
- Gerçek ve yaklaşık pektrumlar arasındaki fark büyük periyotlarda ve sönümlerde belirgin
- Sönümsüz sistemde gerçek ve yaklaşık ivme spektrumları aynı

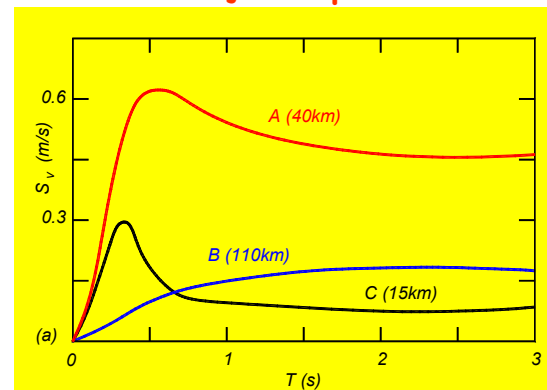
Ortalama deprem spektrumları



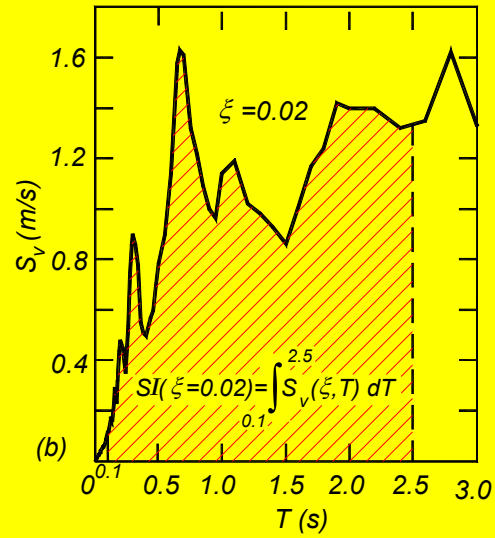
Zayıf zeminler için ortalama deprem spektrumu



Hız spektrumunun mesafe ve büyüklük ile değişimi: A ve B büyük deprem C küçük deprem

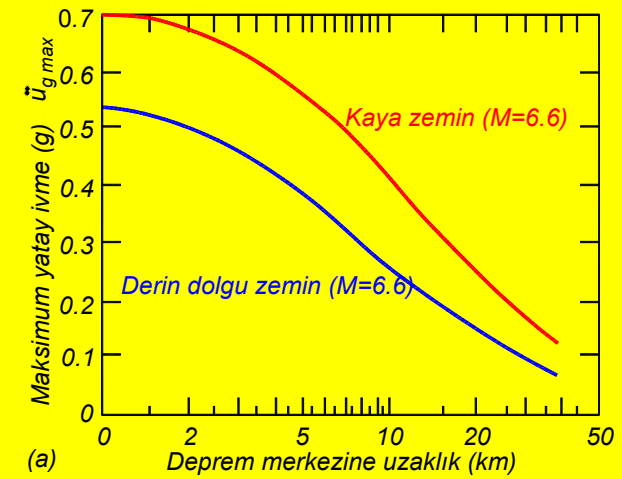
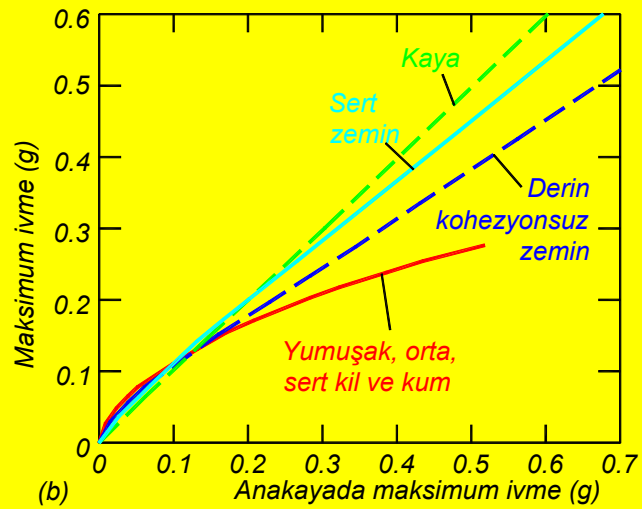


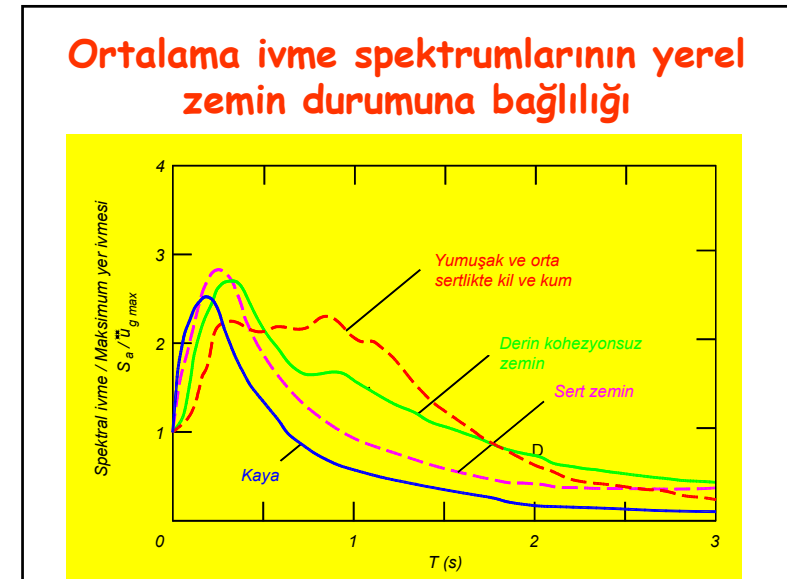
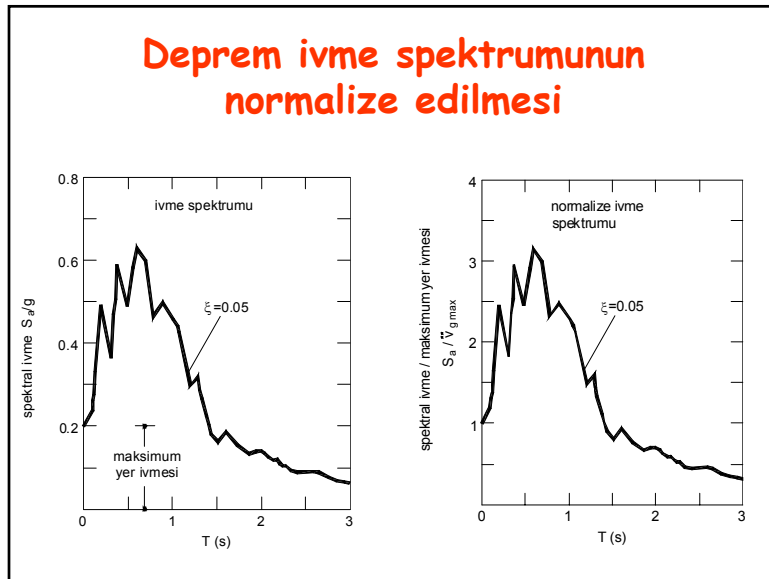
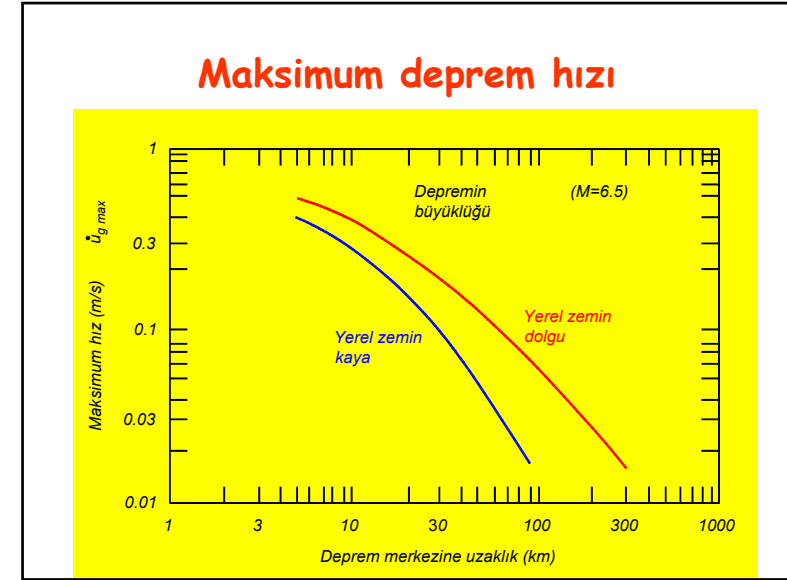
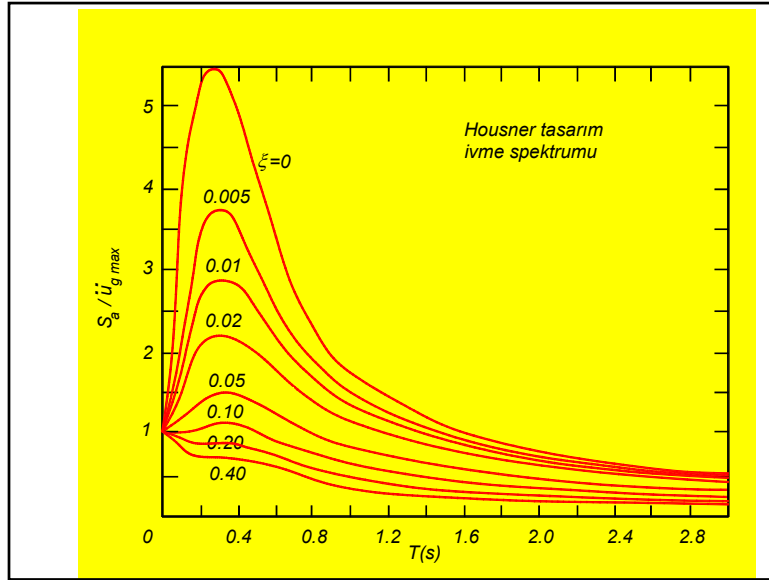
Spektrum şiddeti



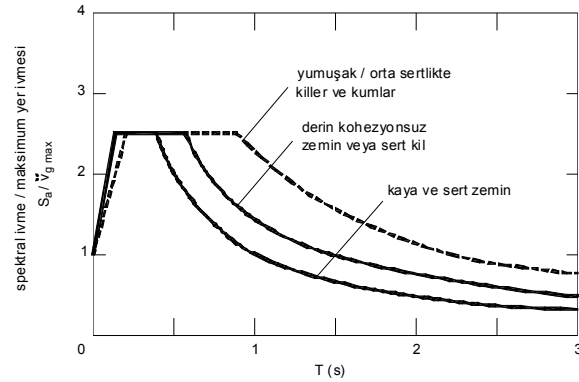
Bazı depremlerin büyüklük ve şiddetleri

Yer	Tarih	Richter Büyüklüğü (M)	Spektrum Şiddeti (m) SI ($\xi = 0$)	Spektrum Şiddeti (m) SI ($\xi = 0.02$)	Maksimum deprem ivmesi $\ddot{v}_{g \max} / g$
El Centro	18.05.1940	6.7	8.35	0.826	0.33
El Centro	30.12.1934	6.5	5.88	0.637	0.26
Olympia	13.04.1949	7.1	5.82	0.674	0.31
Taft	21.07.1952	7.7	4.69	0.582	0.18
Vernon	10.03.1933	6.3	4.62	0.518	0.19

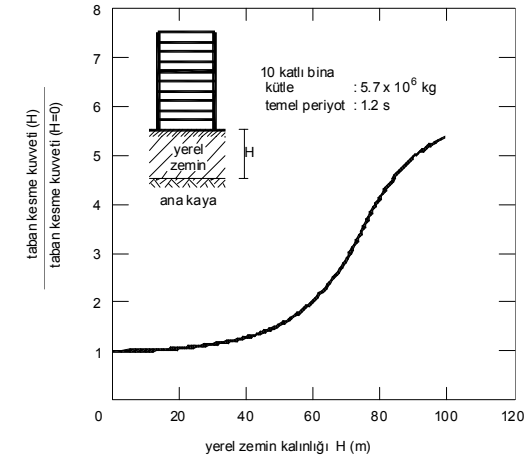




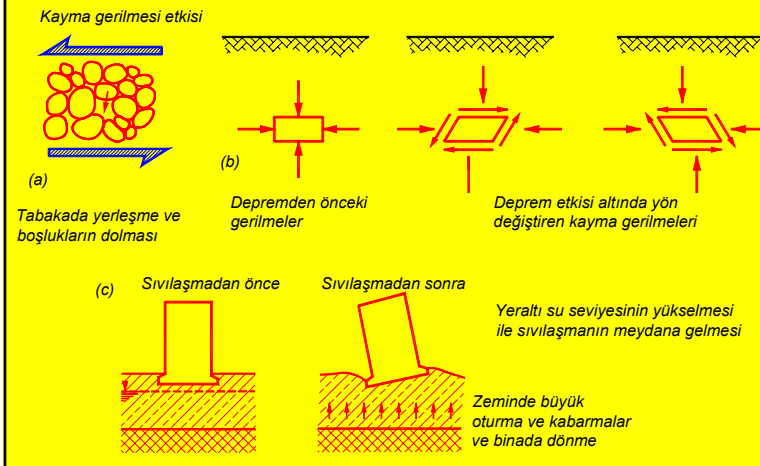
Ortalama ivme spektrumlarının yerel zemin durumuna bağıllığı



Yerel zemin kalınlığı ve deprem taban kesme kuvveti



Zemin sıvılaşması



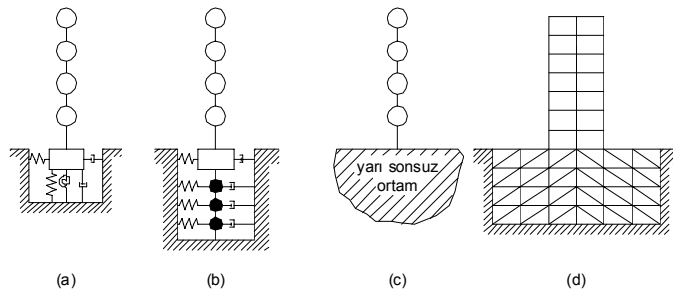
Zemin sıvılaşması /Niigata 1964



Zemin sıvılaşması



Depremde zemin yapı etkileşimi



Tsunami dalgaları

