

DEPREM MÜHENDİSLİĞİNE GİRİŞ ve DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

Zekai Celep
İnşaat Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

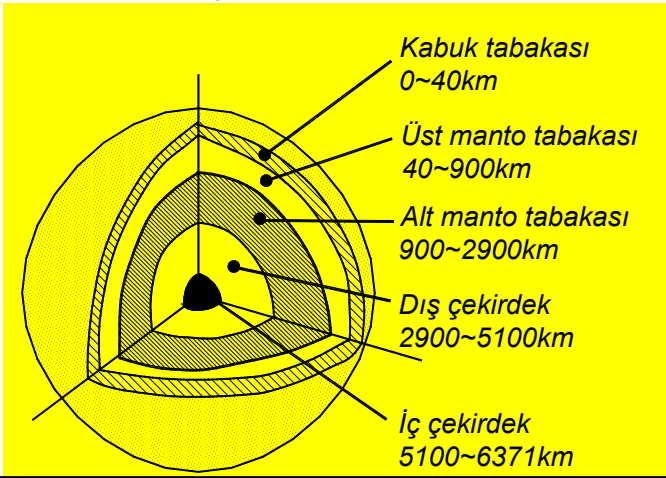
Ders kitabı

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

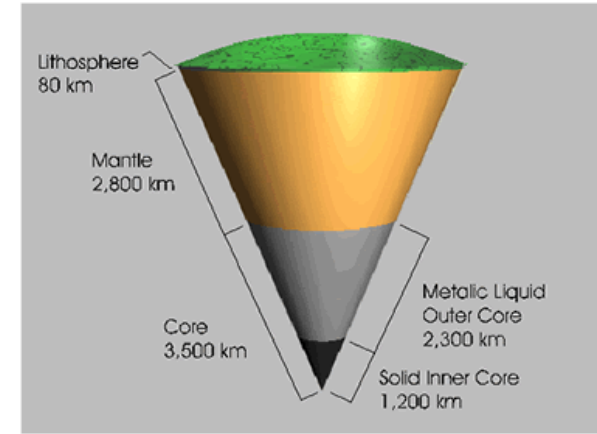
DEPREM HAREKETİ

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

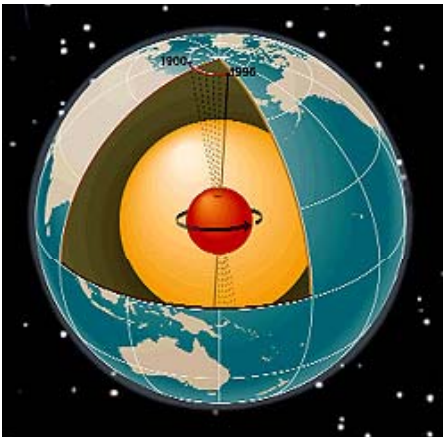
Yeryüzünden kesit



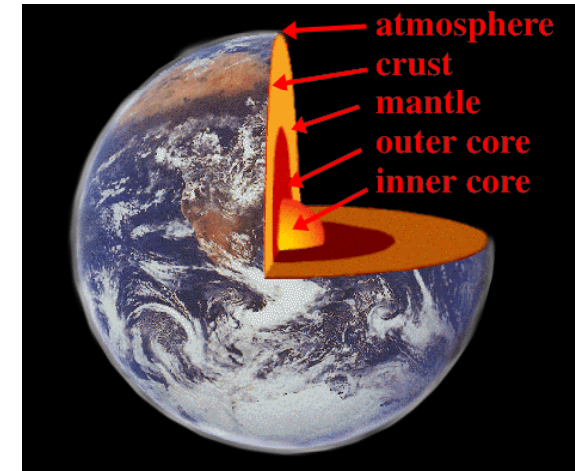
Yeryüzünden kesit

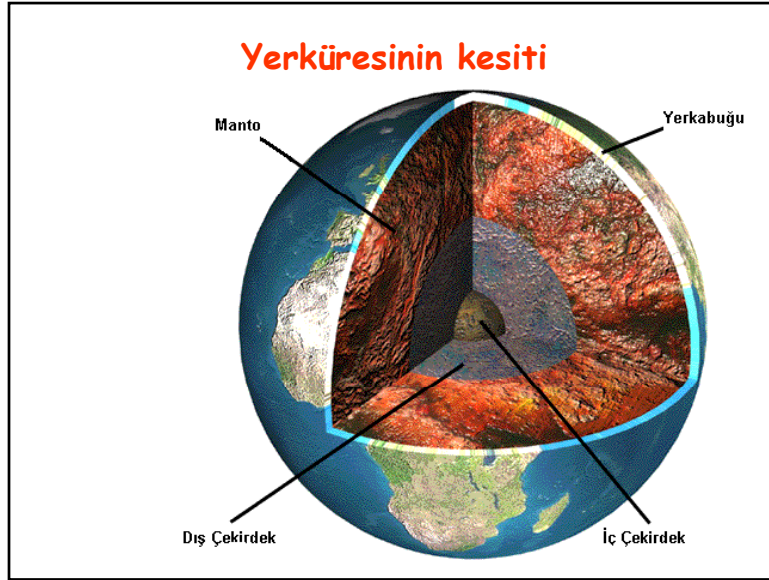


Yerküresinin kesiti



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

Depremin oluşumu ve özellikleri

- Yer kabuğunun soğuması
- Plakaların oluşumu
- Plaka tektoniği
- Plakaların bir birine göre rölatif hareketi
- Elastik Geri Sekme Teorisi

Planda deprem hareketinin oluşması

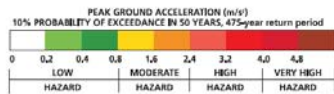
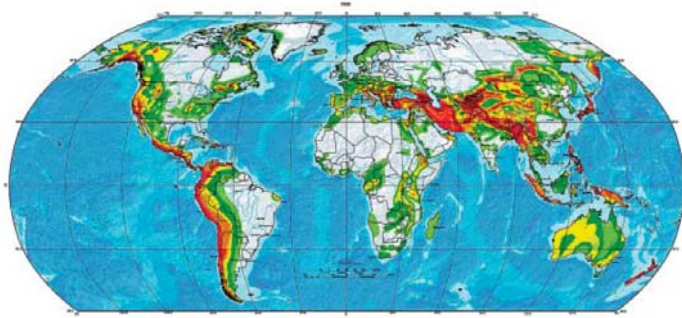
The diagram illustrates the formation of an earthquake at a fault line in three stages:

- (a) Şekil değiştirme enerjisi fay çizgisinde birikmeye başlıyor**: Strain begins to accumulate at the fault line. Labels: Hareket yönü (up), Hareket yönü (down), Fay çizgisi, Hareket yönü.
- (b) Şekil değiştirme enerjisi birikmeye devam ediyor**: Strain continues to accumulate. Labels: Hareket yönü (up), Hareket yönü (down), Fay çizgisi, Hareket yönü.
- (c) Şekil değiştirme enerjisi boşalarak yeni bir denge konumu oluşuyor**: Strain is released, returning to equilibrium. Labels: Hareket yönü (up), Hareket yönü (down), Fay çizgisi, Hareket yönü.

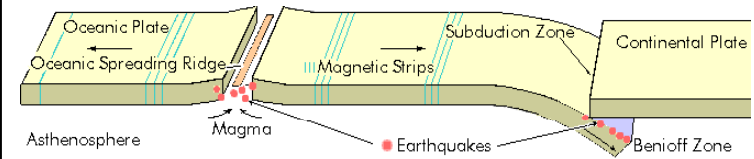
Below the diagrams are 3D block models showing the fault line and the state of strain:

- Gerilmesiz fay çizgisi
- Fay çizgisinde gerilme birikmesi
- Gerilmenin boşalması
- Gerilmenin tamamen boşalması

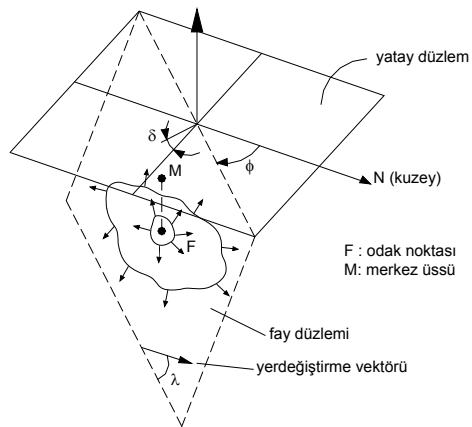
Yeryüzünde deprem hasarı



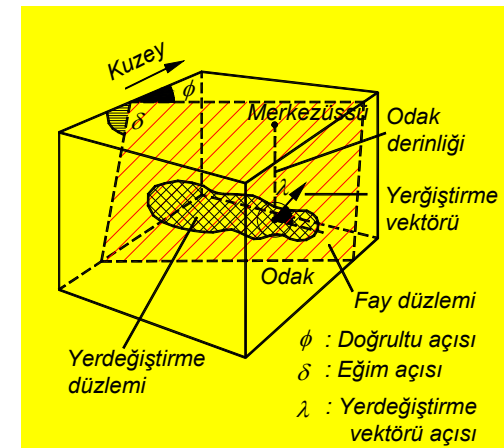
Yeryüzünde plaka hareketleri



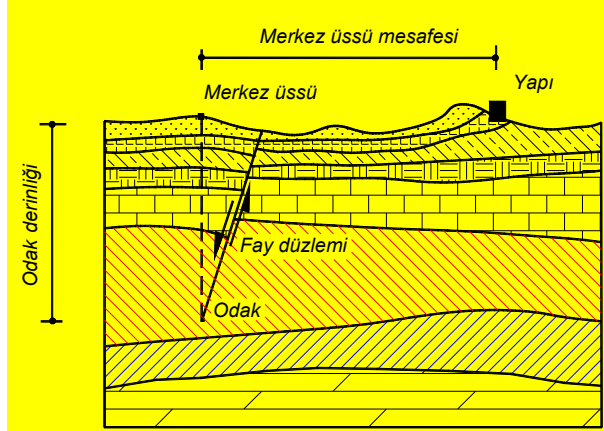
Fay düzleminin konumu ve yırtılma düzlemi



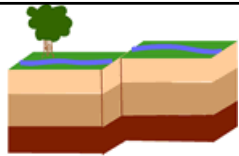
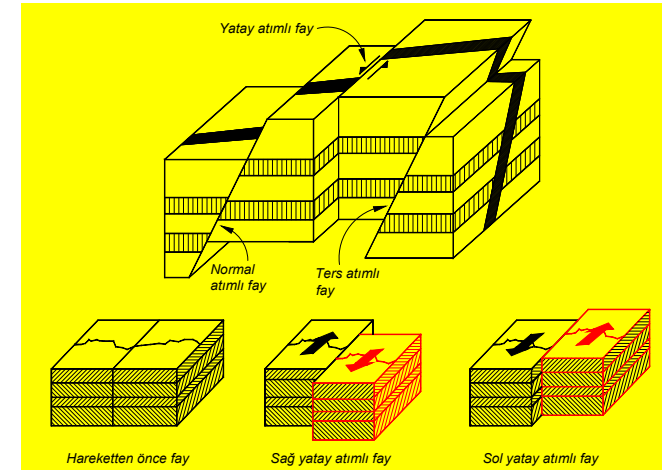
Fay düzleminin konumu ve yırtılma düzlemi



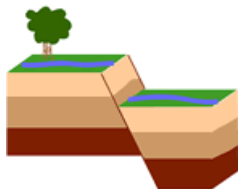
Fay düzleminin konumu ve yırtılma düzlemi



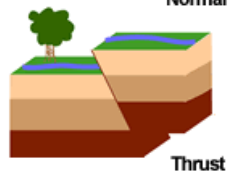
Fay türleri



Strike-slip



Normal



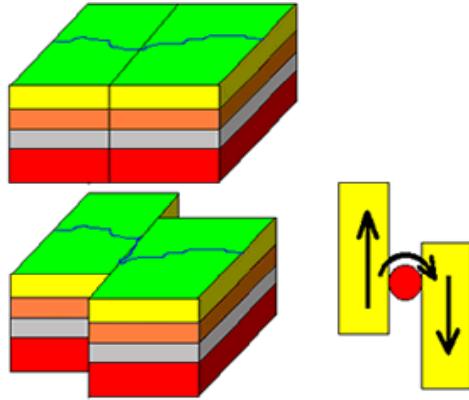
Thrust

Fay türleri

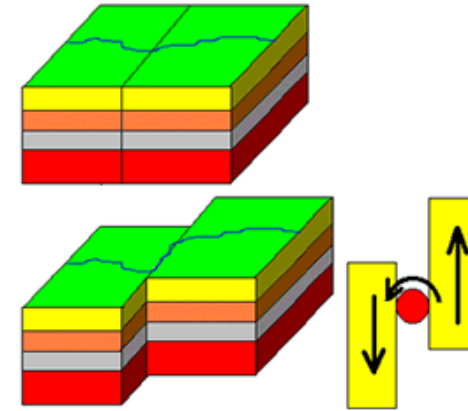
Fay türleri

- Yatay atımlı fay
 - Sağ yatay atımlı fay
 - Sol yatay atımlı fay
- Düşey atımlı fay
 - Normal düşey atımlı fay
 - Ters düşey atımlı fay

Sağ yatay atımlı fay



Sol yatay atımlı fay

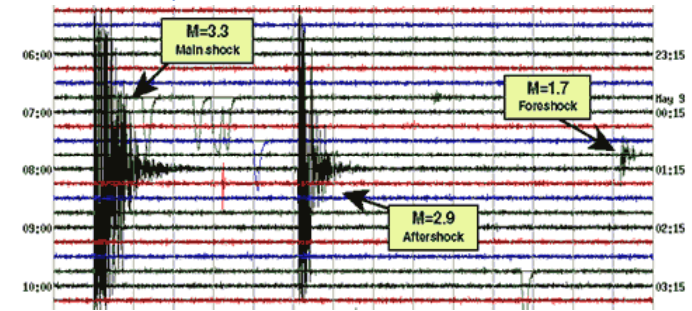


Deprem oluşması Elastik geri sekme teorisi

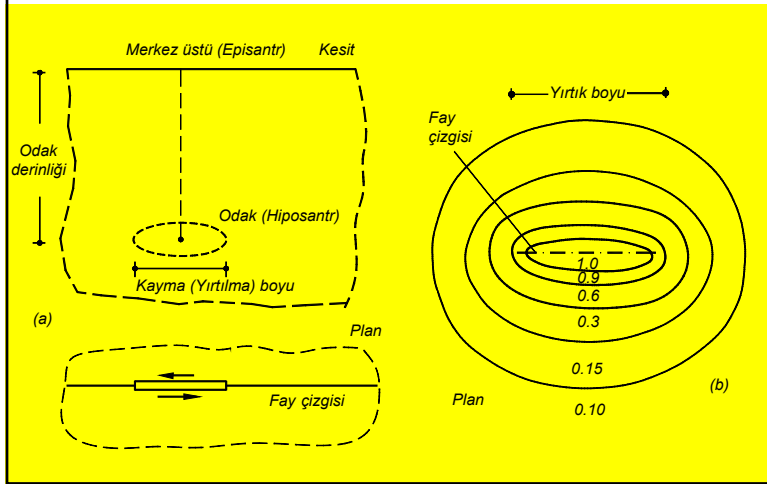
- Şekil değiştirme enerjisinin yığılması
- Enerjinin kritik seviyeye ulaşması
- Kayma ve yırtılma
- Enerjinin sönmülenererek yayılması
- Gevşeme
- Şekil değiştirme enerjisinin yığılmaya başlaması

Deprem oluşması Elastik geri sekme teorisi

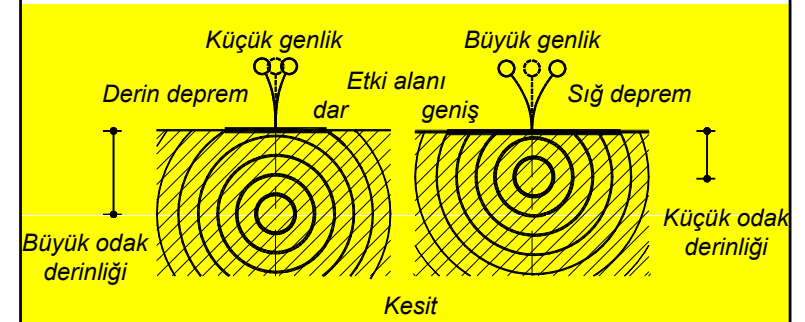
- Öncü depremler
- Artçı depremler



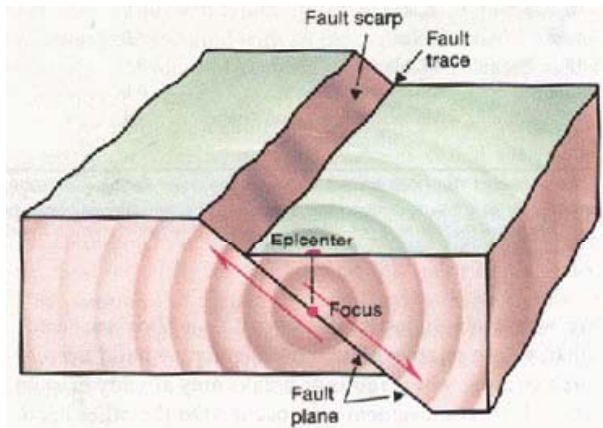
Planda eş şiddet eğrileri



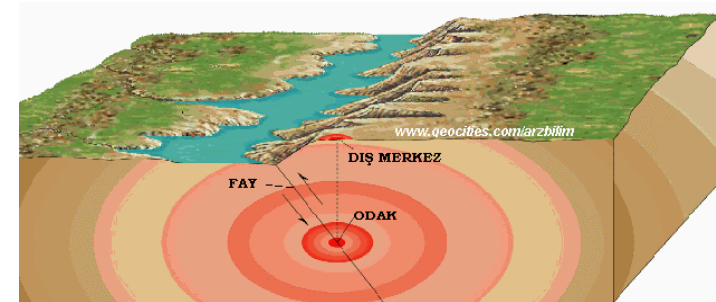
Deprem hareketi büyüklükleri



Deprem hareketi büyüklükleri



Deprem hareketi büyüklükleri



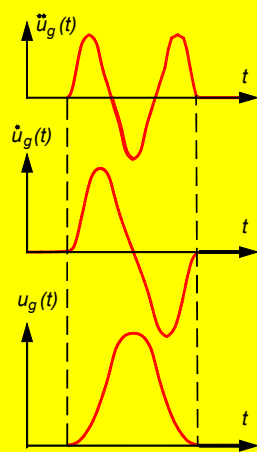
Depremi oluşması

- Karmařık titreřim hareketi
- Periyodu kısa ve uzun titreřimler
- Zeminde yansıma ve kırılmalarla yayılma
- Kısa periyotlu titreřimler uzunlara göre daha çabuk sönümlenir

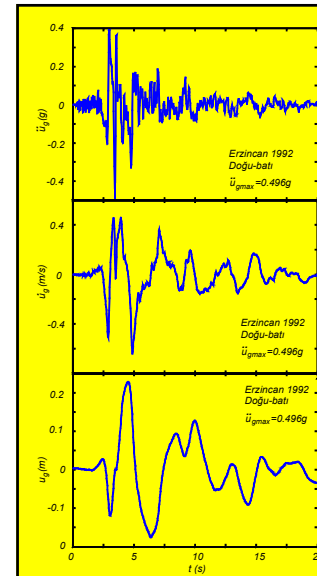
Deprem türleri

- H odak derinliđine göre:
- Siđ 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
- Oluřum sıklığı derinlikle azalır
- Yurdumuzda $H=10\text{km}\sim 30\text{km}$, siđ depremler

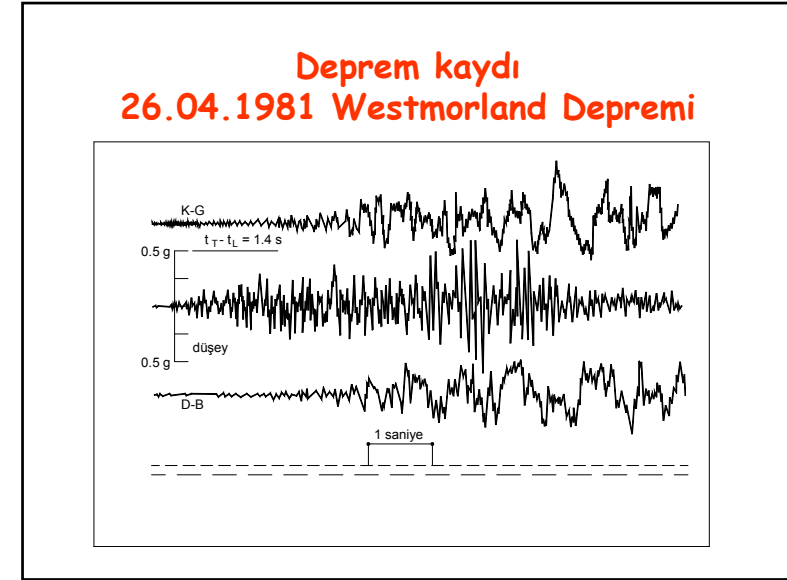
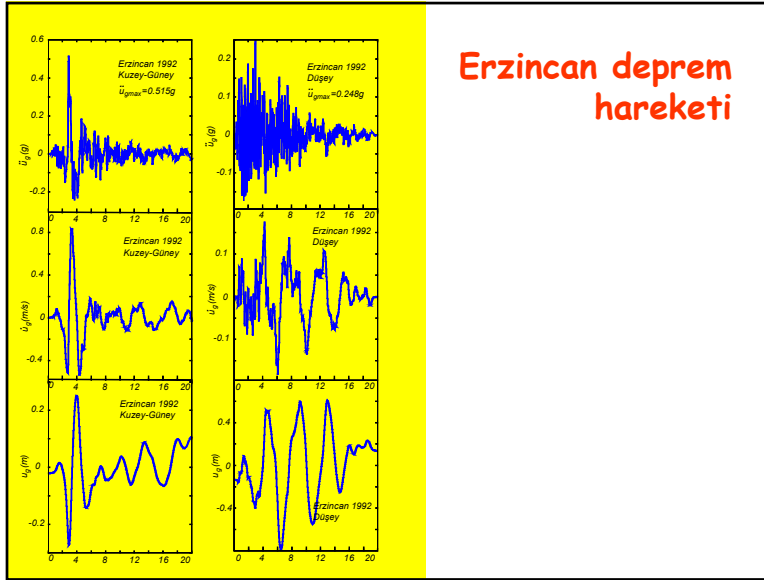
(a) Basit yer hareketi



En basit yer hareketi

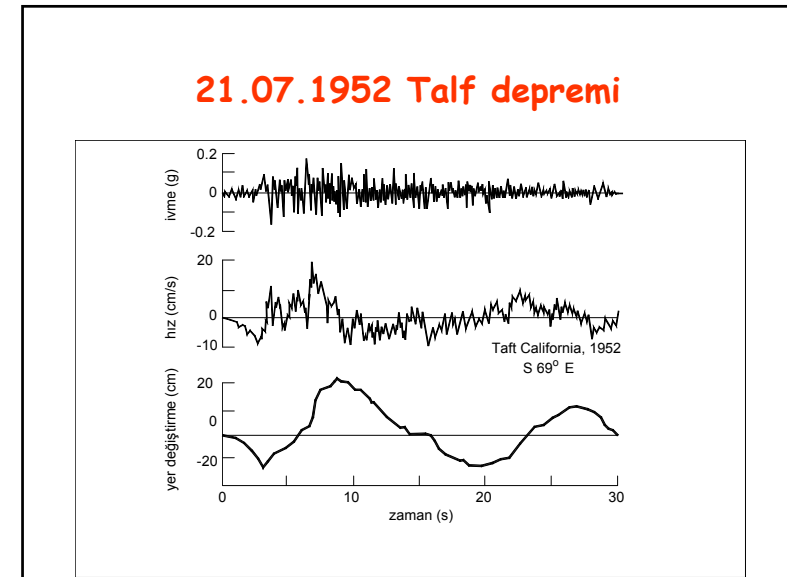


Erzincan deprem hareketi



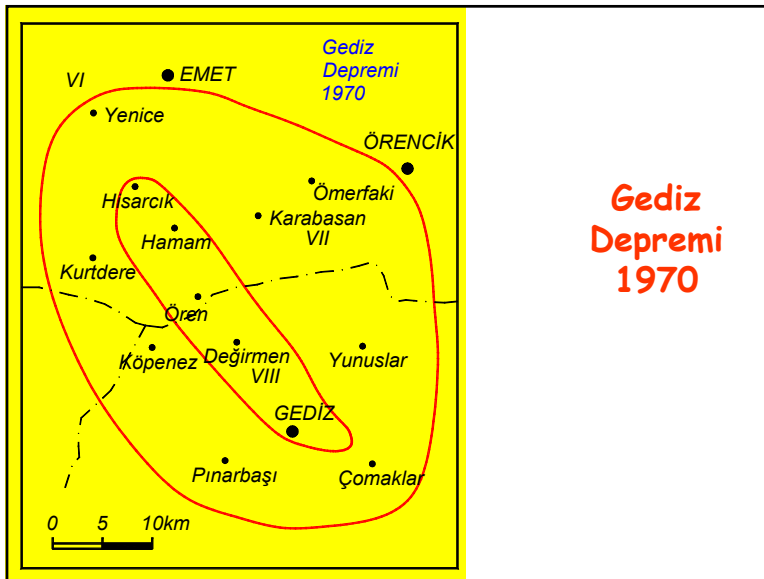
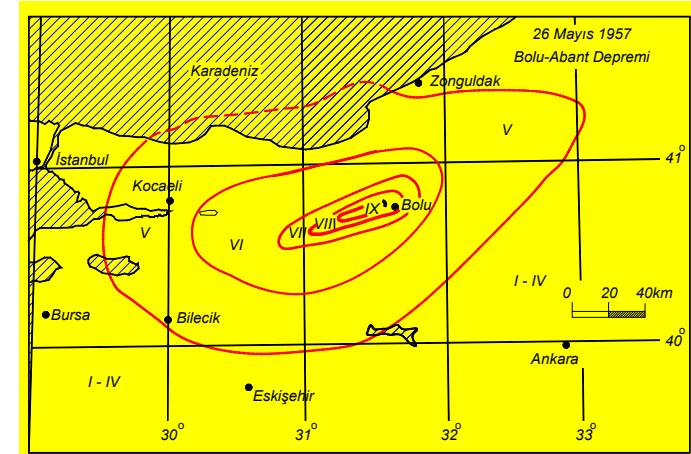
Deprem ivme, hız ve yerdeğişmesi

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



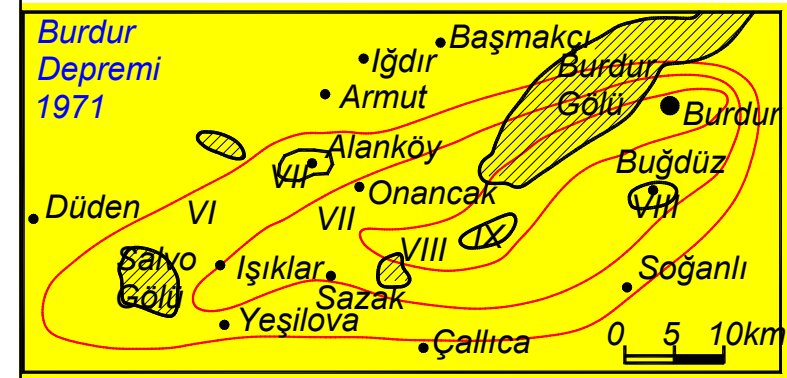
Mercalli Sıddeti	Tanım	Zemin ivmesi (m/s ²)
I	Yalnız duyarlı aletler algılar	~ 0.01
II	Özellikle üst katlarda, dinlenmekte olan kişiler tarafından hissedilir. Hassas bir biçimde asılı olan cisimler sallanabilir.	0.02 ~ 0.03
III	Bina içinde hissedilir, fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. 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 fışkırlır.	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

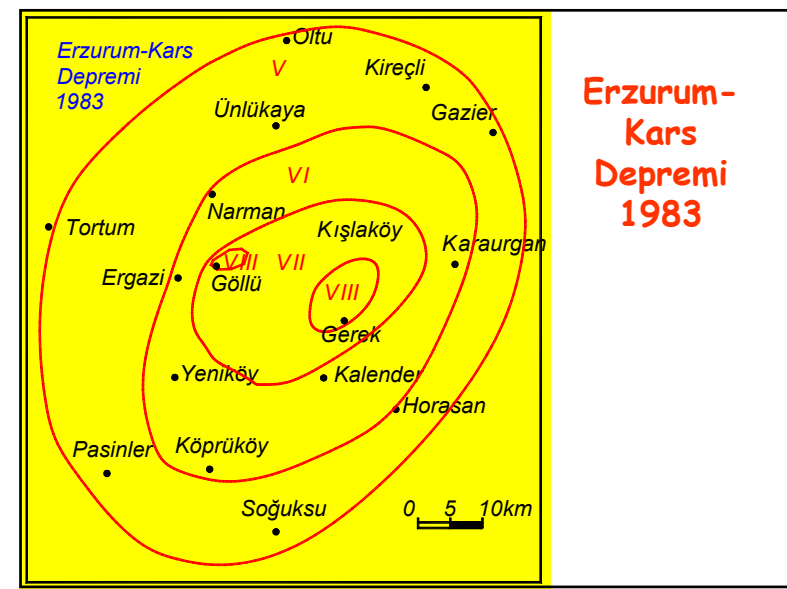
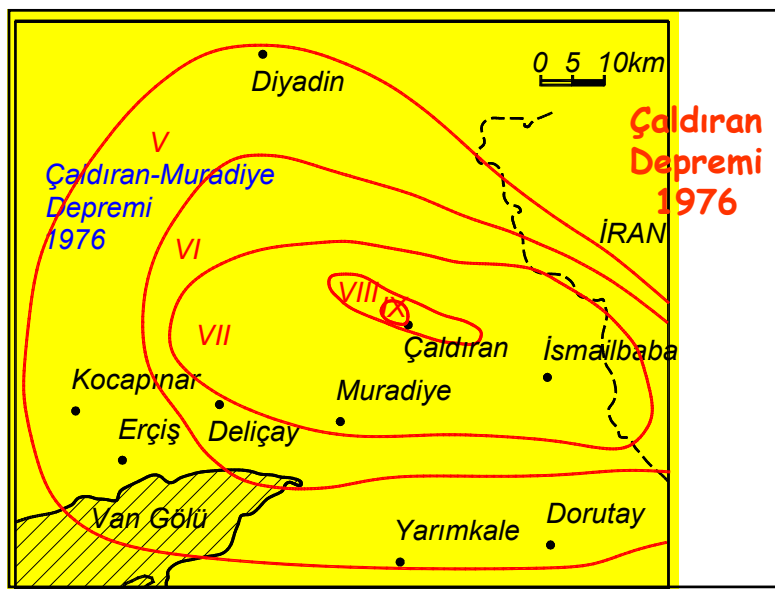
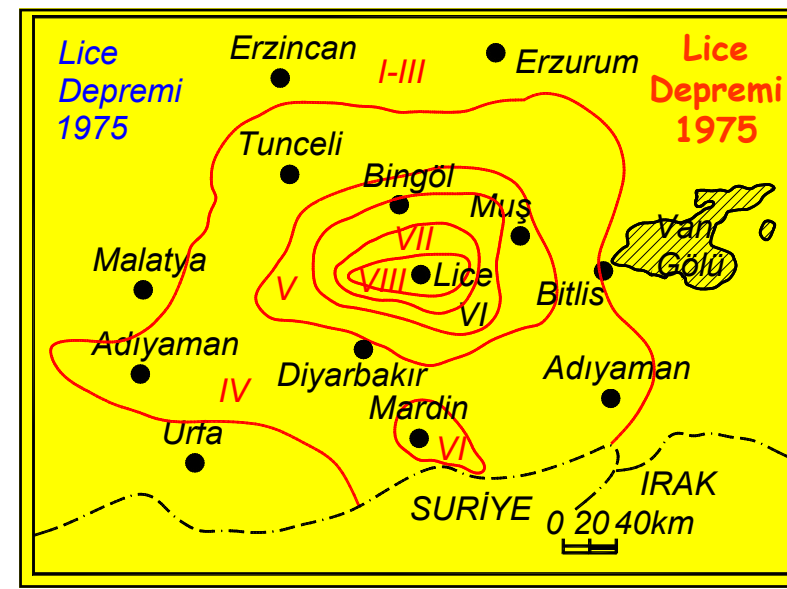
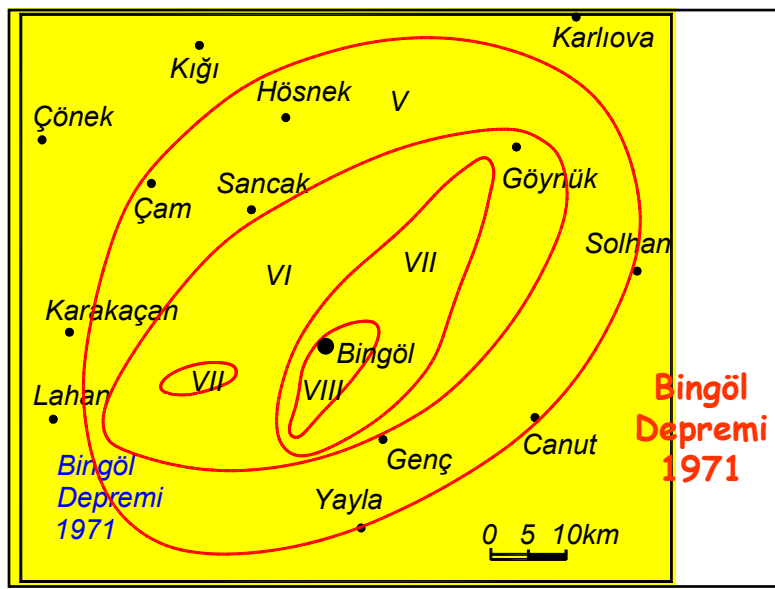
26.05.1957 Bolu Depremi

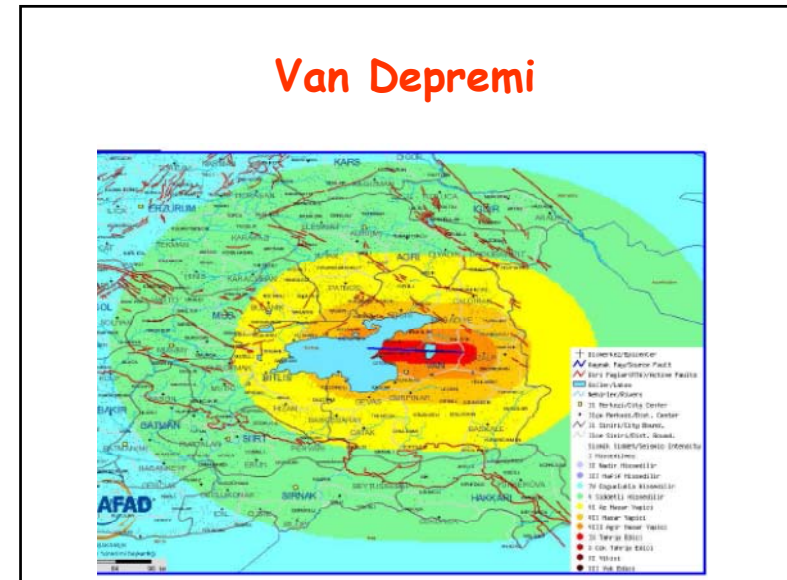
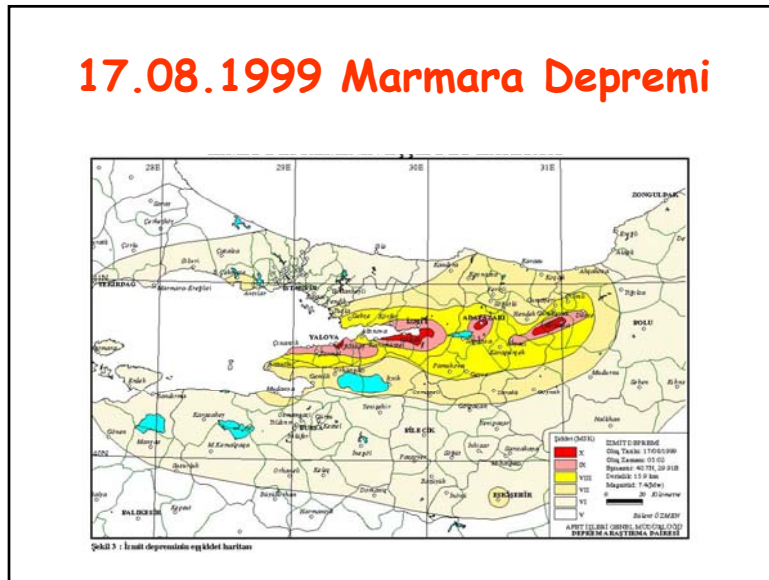
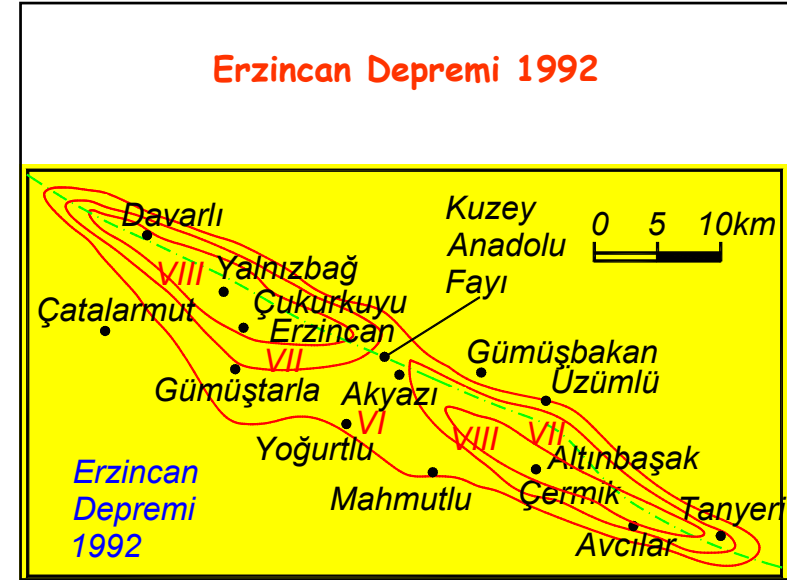
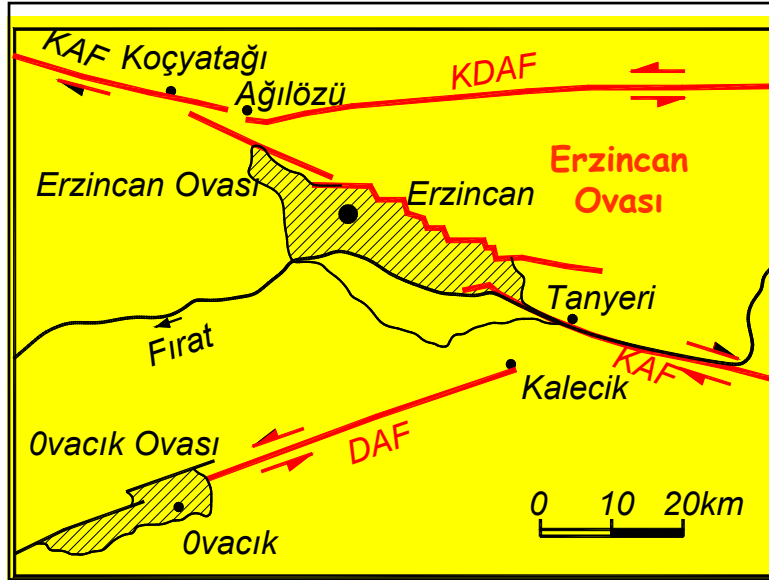


Gediz Depremi 1970

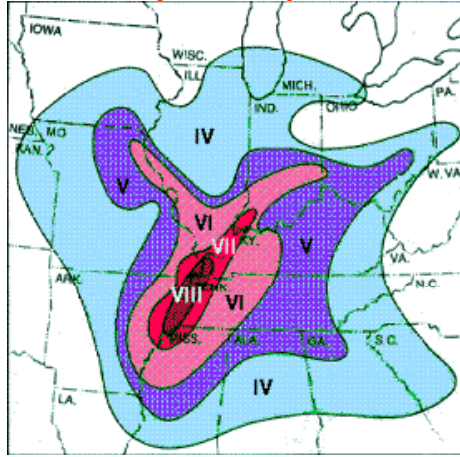
Burdur Depremi 1971







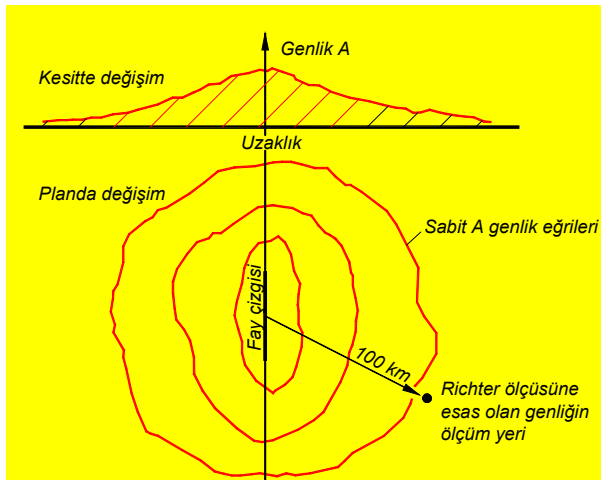
Deprem siddeti



Deprem büyüklüğü

Sembolü	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

Deprem Richter büyüklüğü



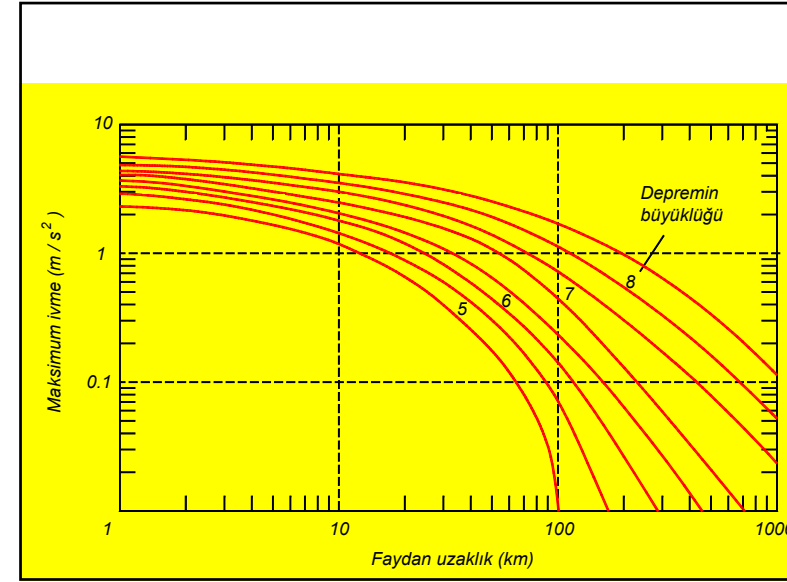
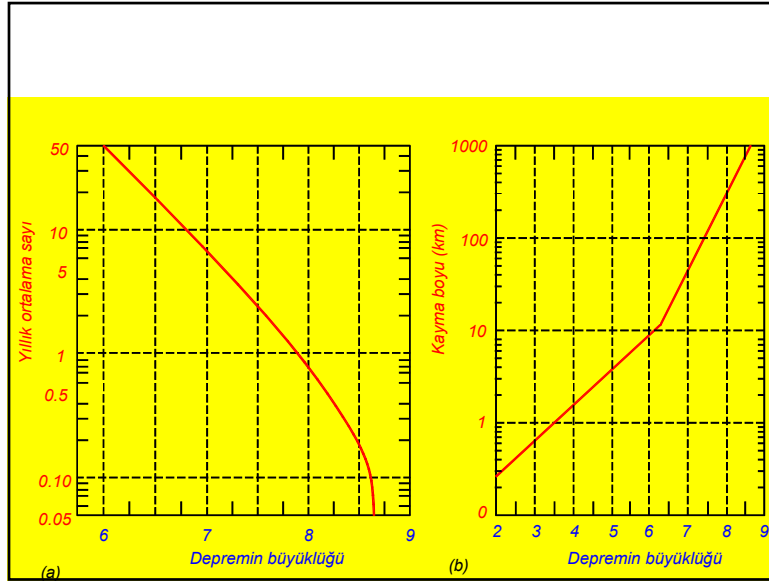
• Deprem Değiştirilmiş Mercali Şiddeti

$$I \leq I_o \leq XII$$

• Deprem Richter yerel büyüklüğü $A_o = 0.001 \text{ mm}$

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

$$M_L = 0.593 I_o + 1.63$$



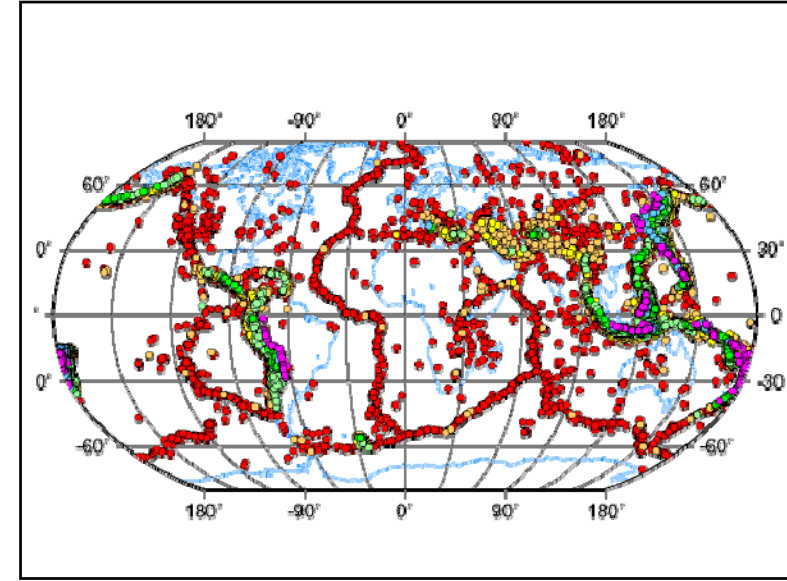
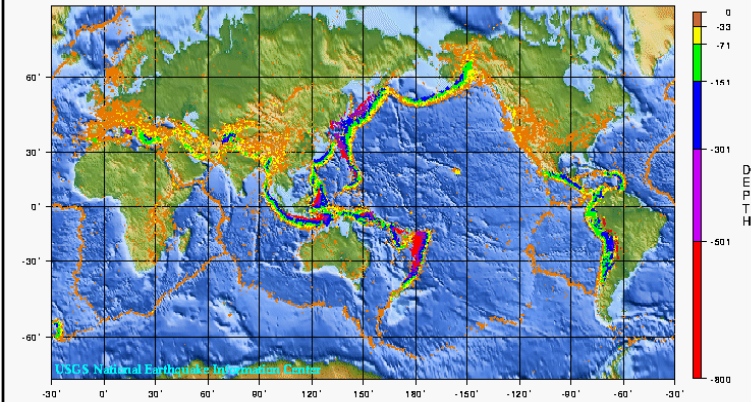
Önemli depremler

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

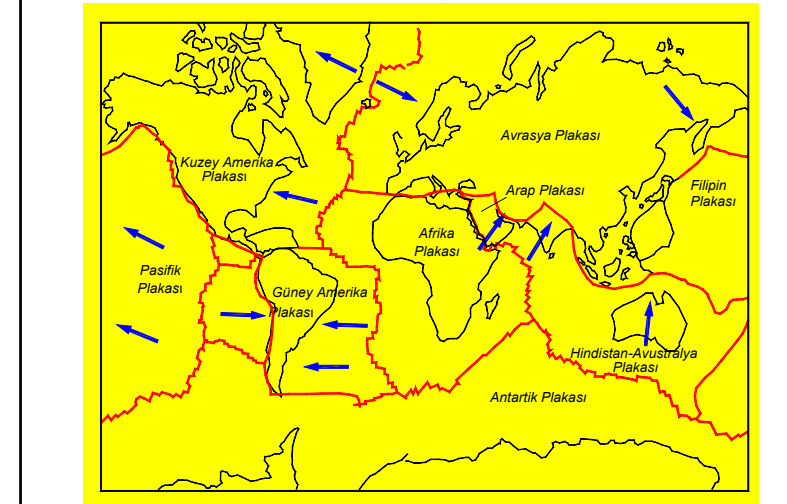
Yeryüzünde sismik olaylar 1975-1995



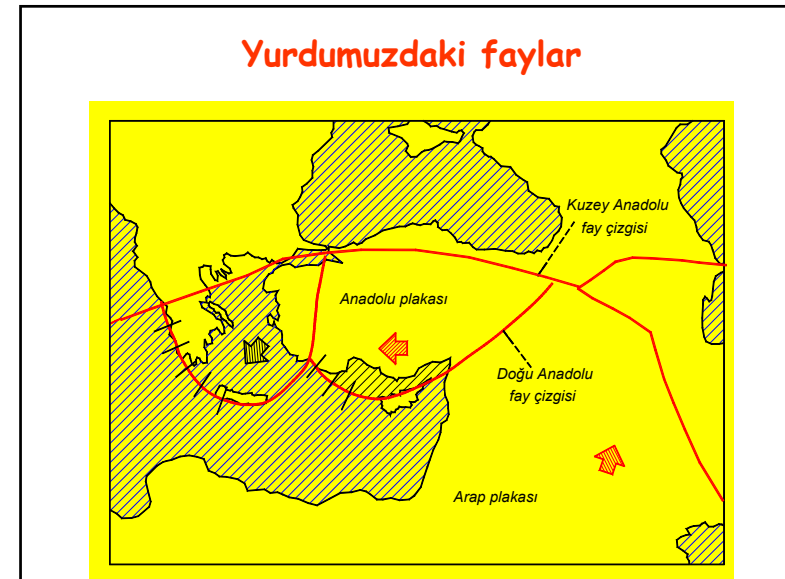
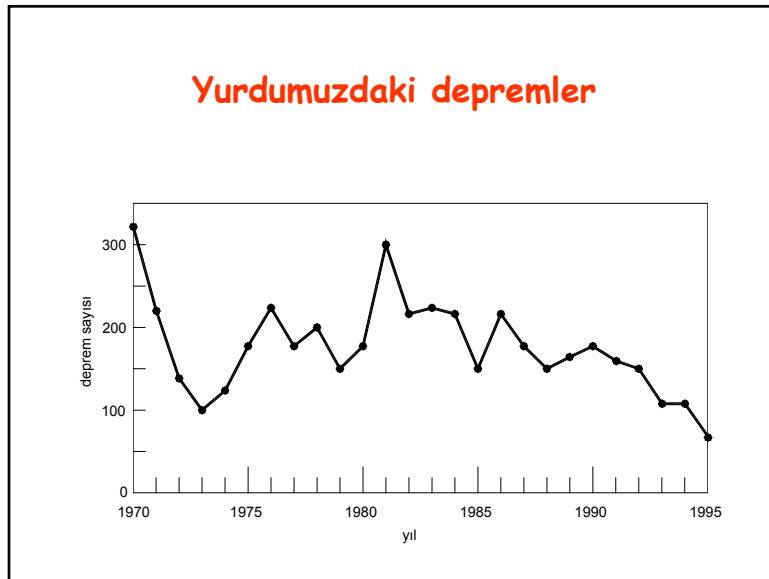
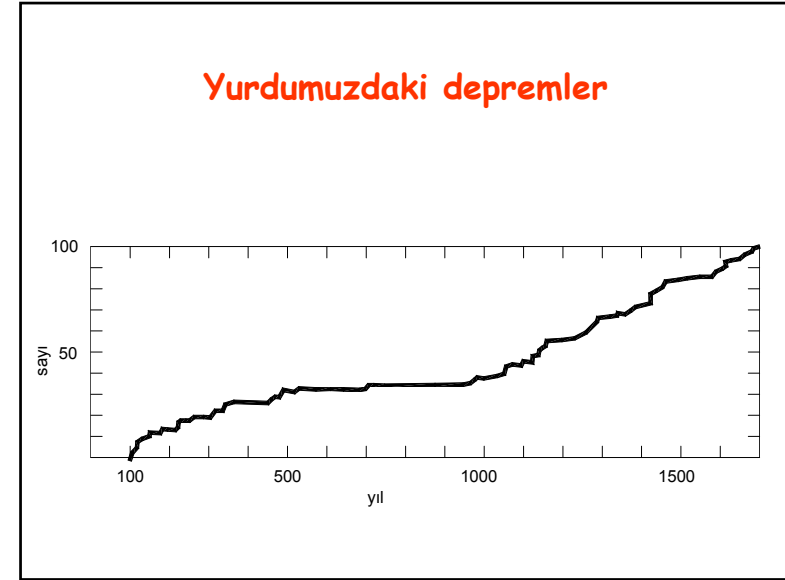
Tektonik plakalar



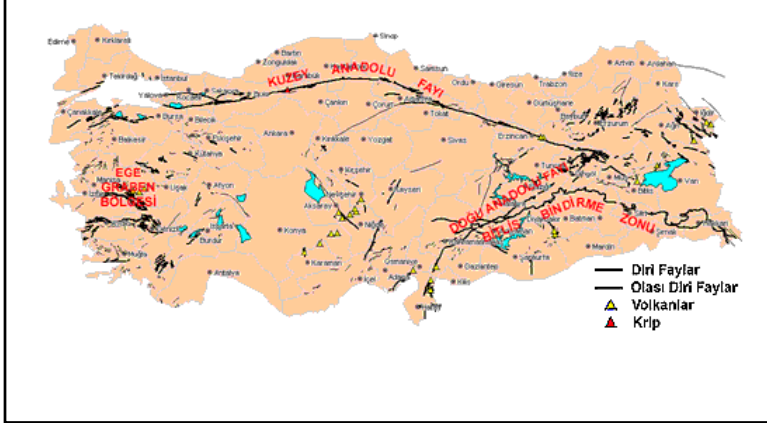
Tektonik plakalar



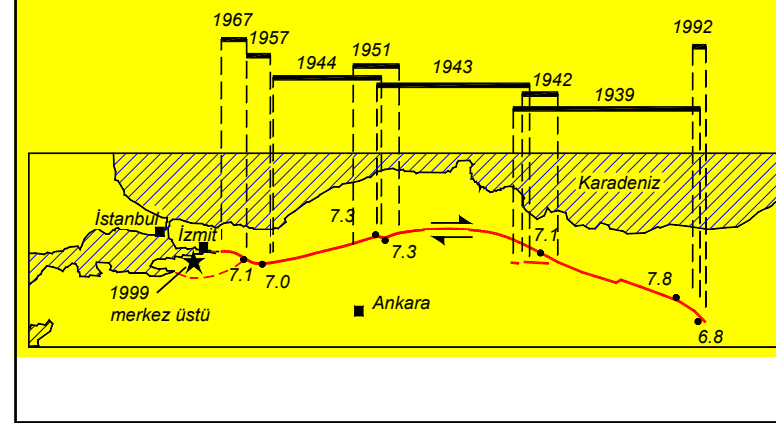
Yeryüzünde yıllık deprem sayısı	Büüklük
50,000	3.0-3.9
6,000	4.0-4.9
800	5.0-5.9
120	6.0-6.9
18	7.0-7.9
1	8.0 ve daha büyük



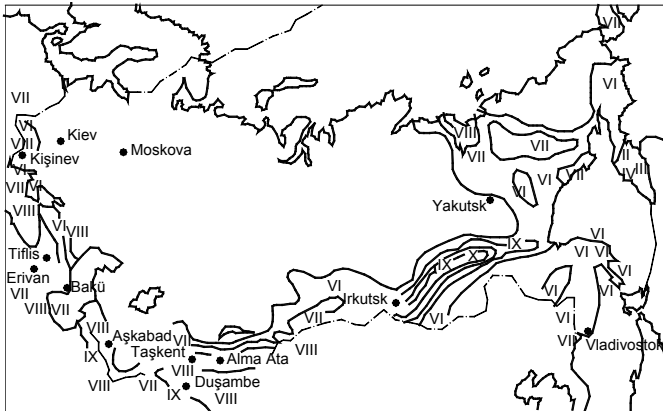
Yurdumuzdaki depremler



Kuzey Anadolu Fayının batıya doğru kırılması



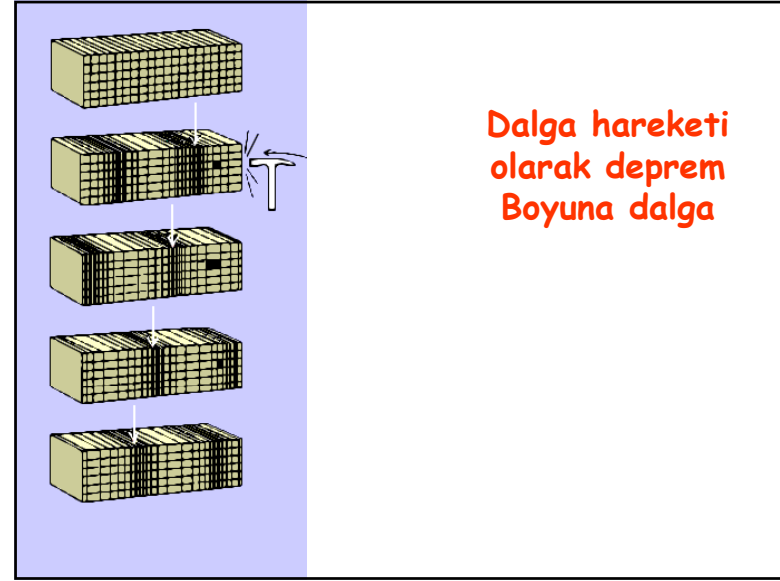
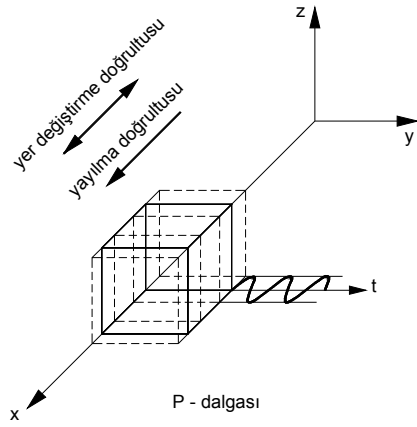
Turki Cumhuriyetlerde deprem tehlikesi



İstanbul'da deprem

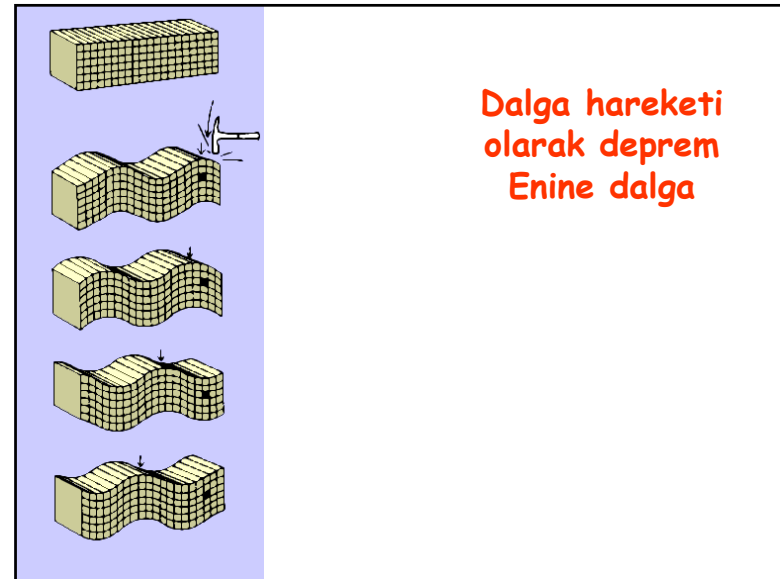
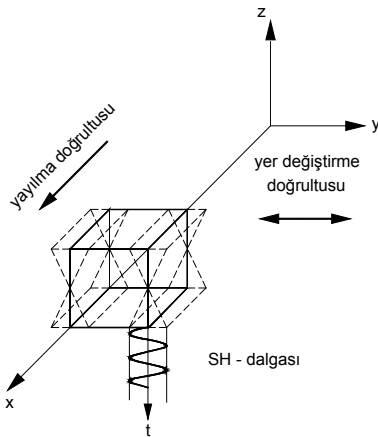
- 325, 427, 478, 553, 865, 986, 1344, 1462, 1509, 1659, 1766, 1894
- 1509 Küçük kıyamet
- 18.07.1894 IX~X şiddeti

Dalga hareketi olarak deprem Boyuna dalga



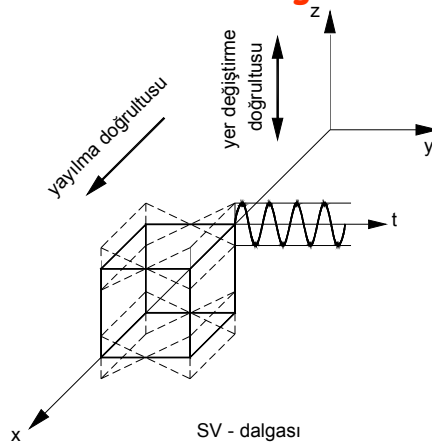
Dalga hareketi olarak deprem Boyuna dalga

Dalga hareketi olarak deprem Enine dalga



Dalga hareketi olarak deprem Enine dalga

Dalga hareketi olarak deprem Enine dalga



Boyuna ve enine dalga hızları

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

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

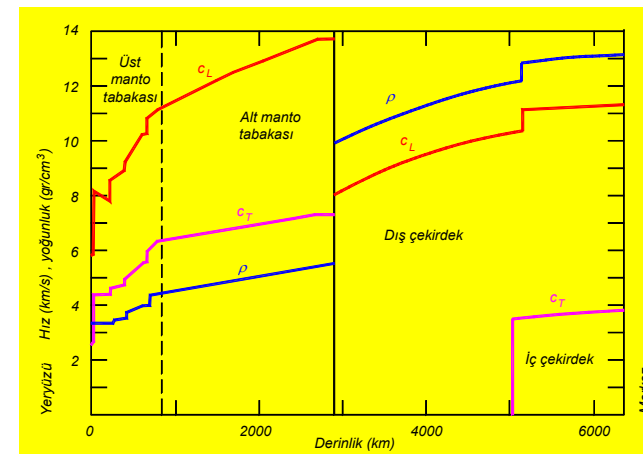
Boyuna ve enine dalga hızları

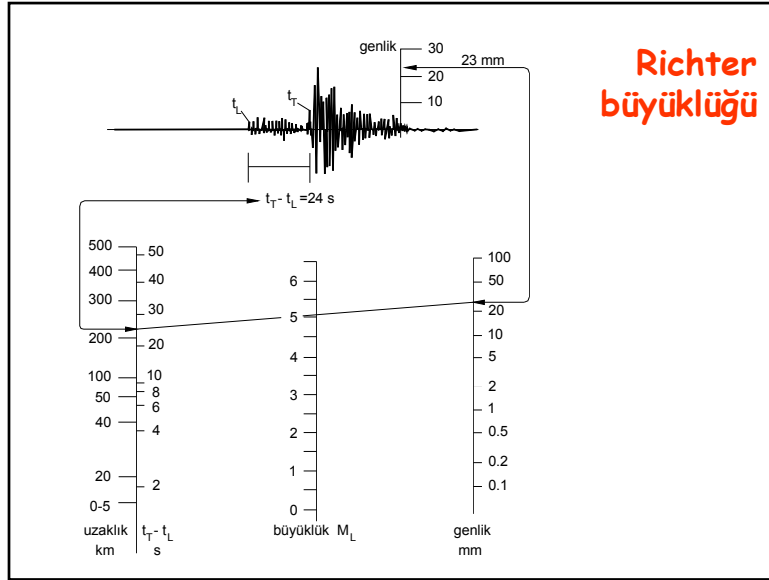
$$\frac{c_L^2}{c_T^2} = \frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}$$

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

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

Derinliğe bağlı olarak dalga hızı ve yoğunluk

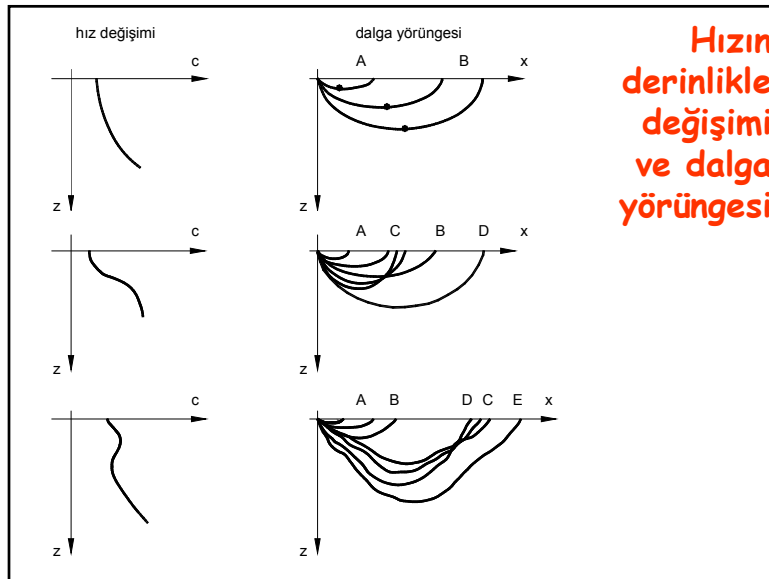




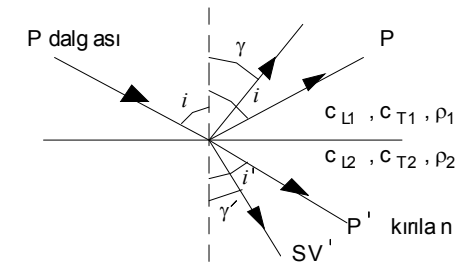
Kayıt yerine mesafenin belirlenmesi

$$d = c_L t_L = c_T t_T$$

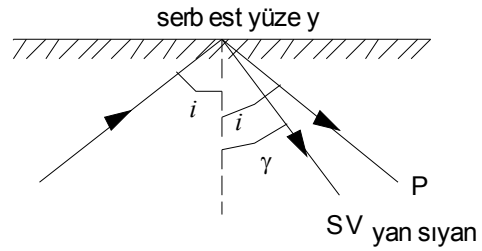
$$d = \frac{c_L c_T}{c_L - c_T} (t_T - t_L)$$



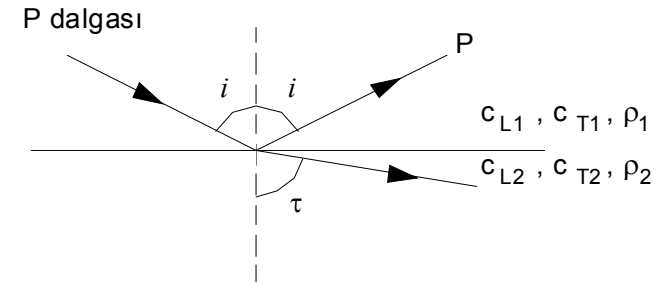
P dalgasının kırılma ve yansımaları



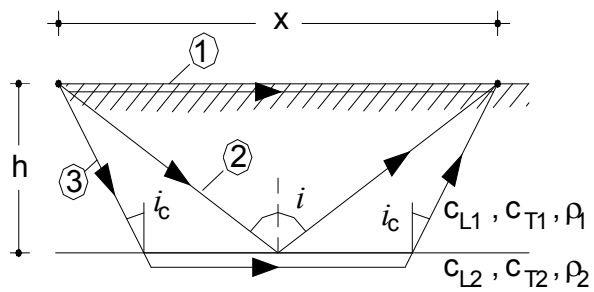
P dalgasının kırılma ve yansıması



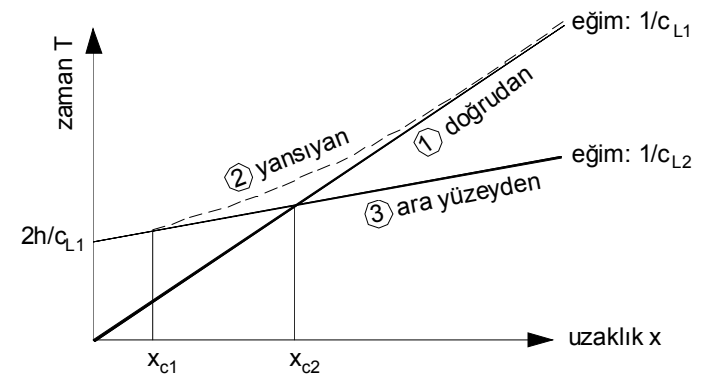
P dalgasının kırılma ve yansıması



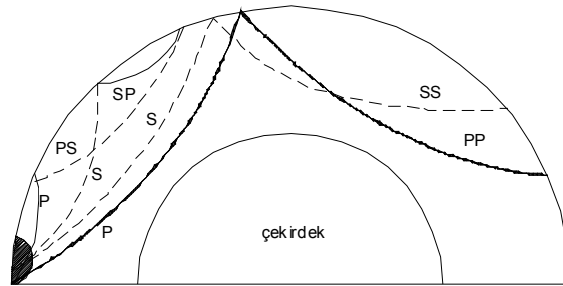
Deprem dalgasının yörüngesi



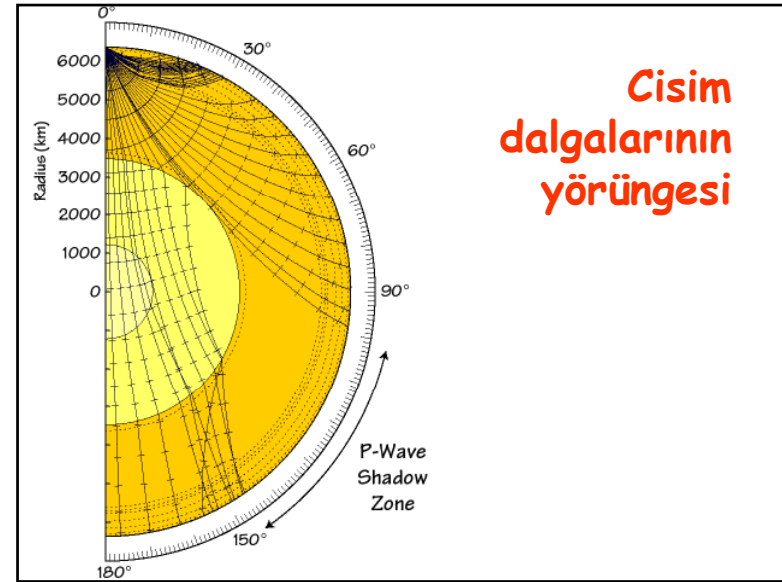
Deprem dalgasının uzaklık zaman ilişkisi



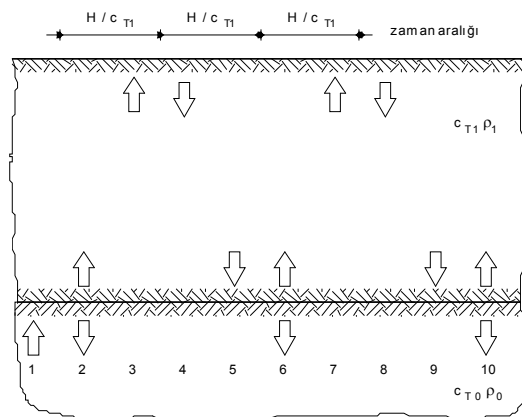
Cisim dalgalarının yörüngesi



Cisim dalgalarının yörüngesi



Tabakalı ortamda dalga yayılması

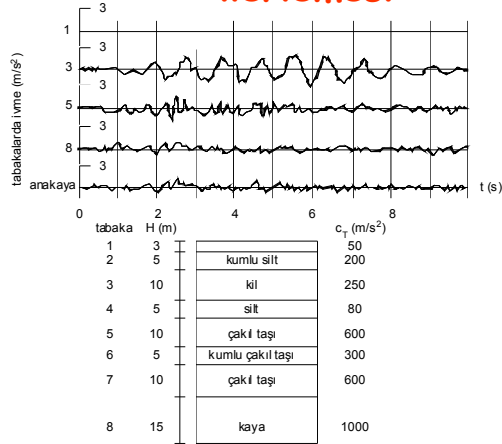


Tabakalı ortamda dalga yayılması ve karakteristik periyot

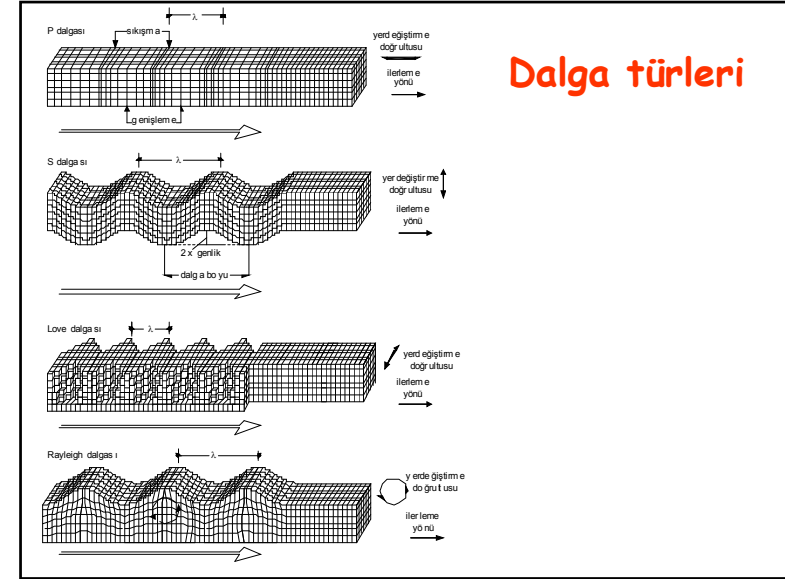
$$\frac{T}{2} = \frac{2H}{c_{T1}}$$

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

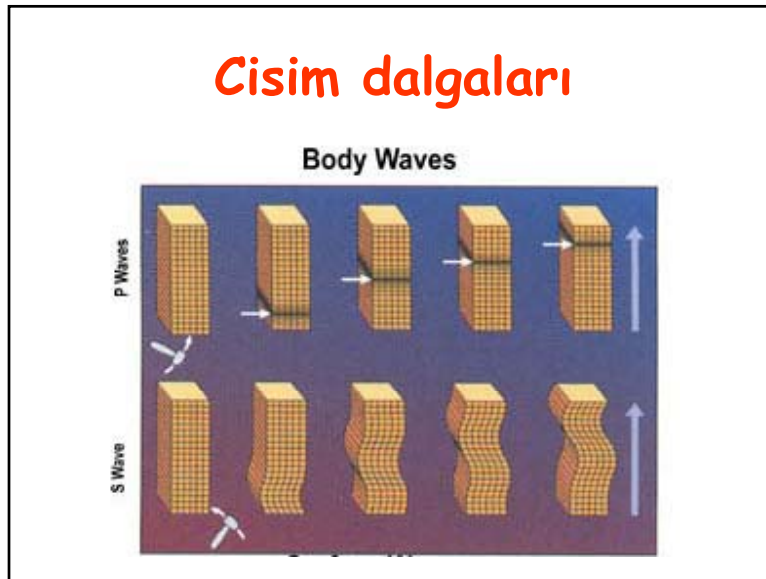
Anakayadan üst tabakalara ilerlemesi



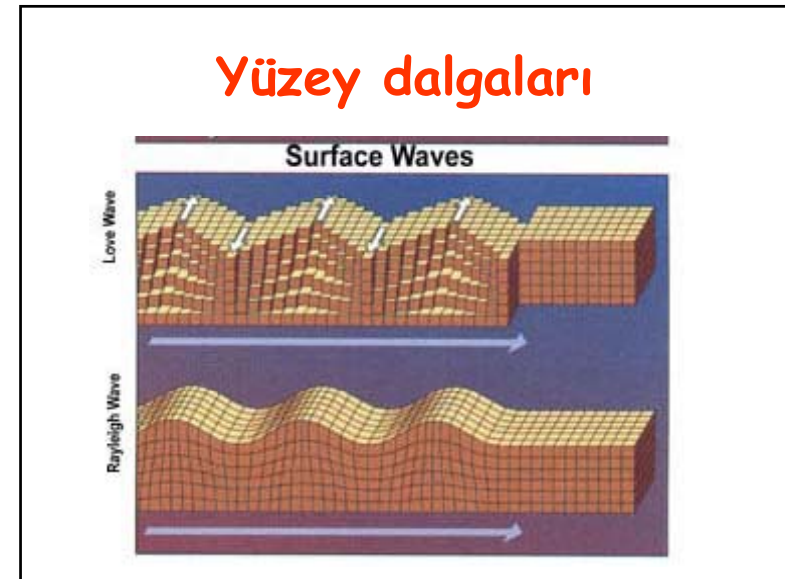
Dalga türleri



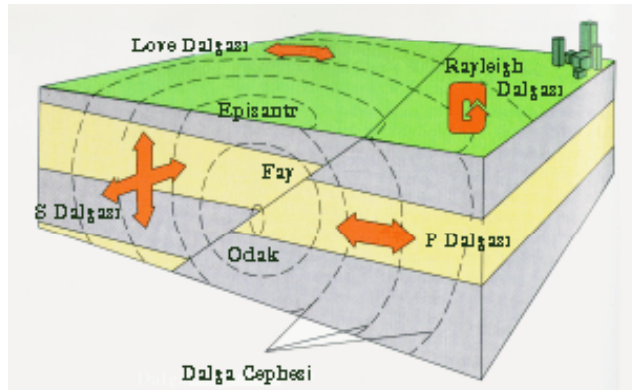
Cisim dalgaları



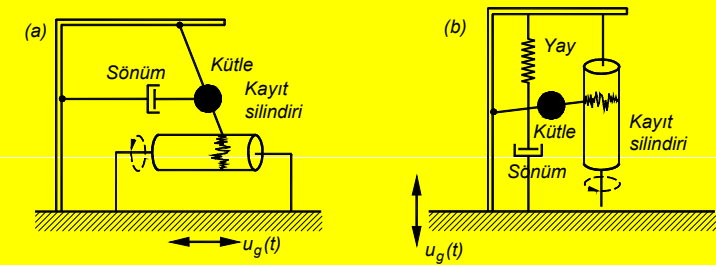
Yüzey dalgaları



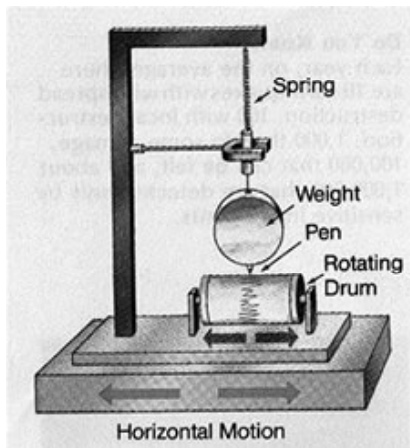
Deprem dalgaları



Deprem hareketinin ölçümü Basit sismograf



Basit sismograf



Kinematics FBA-23 accelerograph



Bir serbestlik dereceli sistem

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

$$v_g = v_{g0} \sin \bar{\omega} t$$

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

Bir serbestlik dereceli sistem

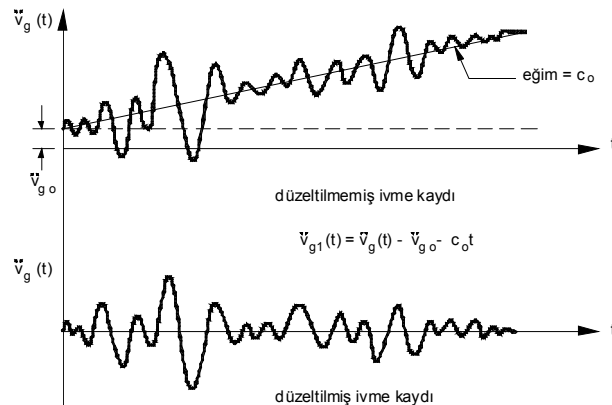
$$v(t) = \frac{v_{g0}}{\omega^2} \frac{\bar{\omega}^2}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} [(1-\beta^2) \sin \bar{\omega} t - 2\xi\beta \cos \bar{\omega} t]$$

$$\beta \gg 1 \quad v(t) \approx -v_{g0} \sin \bar{\omega} t = -v_g(t) \quad \text{Yer deg istirme}$$

$$\beta \ll 1 \quad v(t) \approx +v_{g0} \beta^2 \sin \bar{\omega} t = -\frac{\ddot{v}_g(t)}{\omega^2} \quad \text{İvme}$$

$$\beta \approx 1 \quad v(t) \approx -v_{g0} \frac{\bar{\omega} \cos \bar{\omega} t}{2\xi\omega} = -\frac{\dot{v}_g(t)}{2\xi\omega} \quad \text{Hiz}$$

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

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

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

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

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

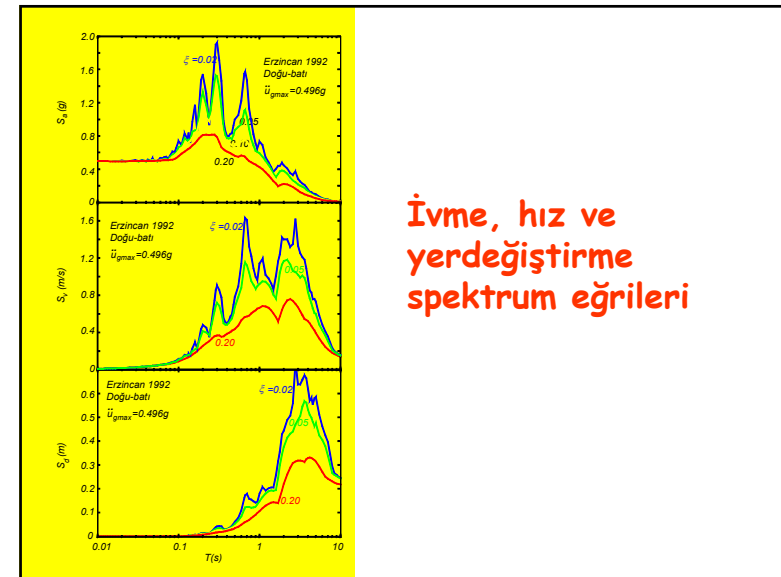
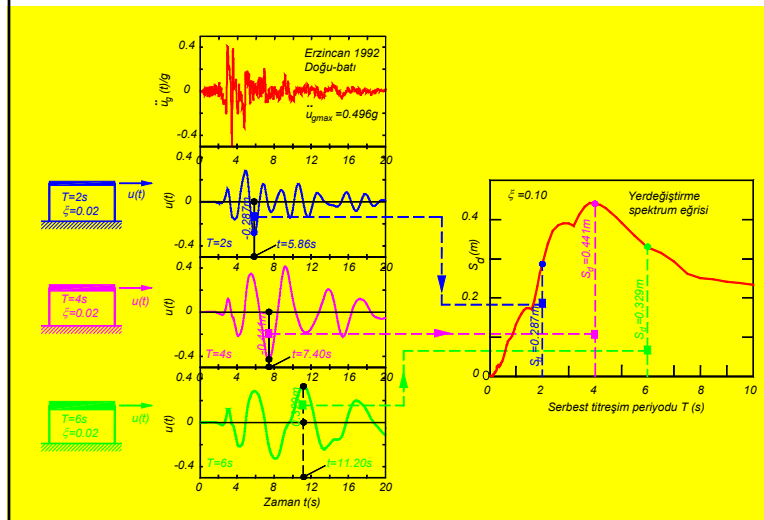
Bir serbestlik dereceli sistem

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

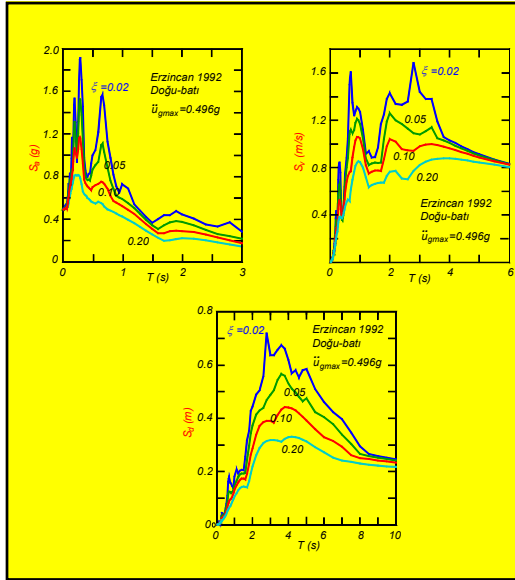
$$\dot{v}(t, \xi, \omega) = -\int_0^t \ddot{v}_g(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \cos[\omega_D(t-\tau)] d\tau - \xi\omega v(t, \xi, \omega)$$

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

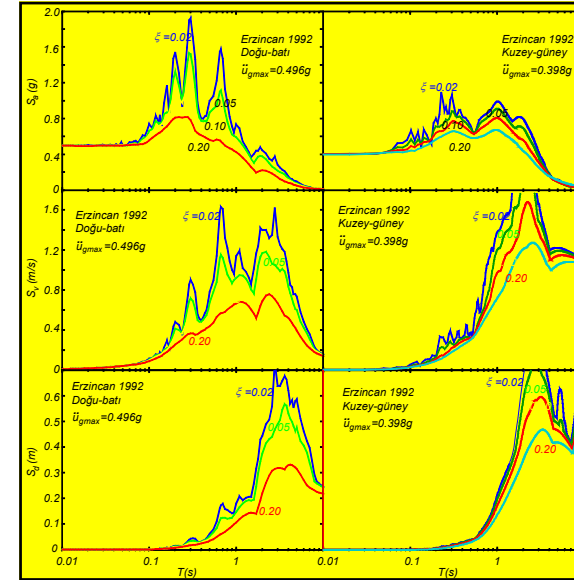
Yerdeğiştirme spektrumunun elde edilmesi



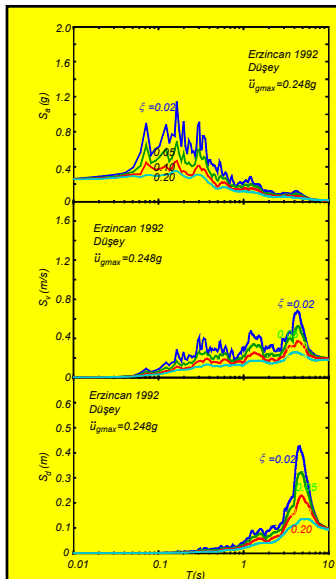
İvme, hız ve
yerdeğiştirme
spektrum eğrileri



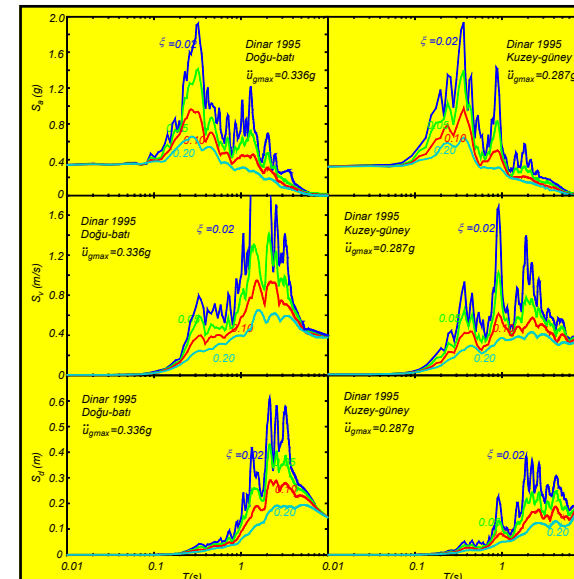
İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri



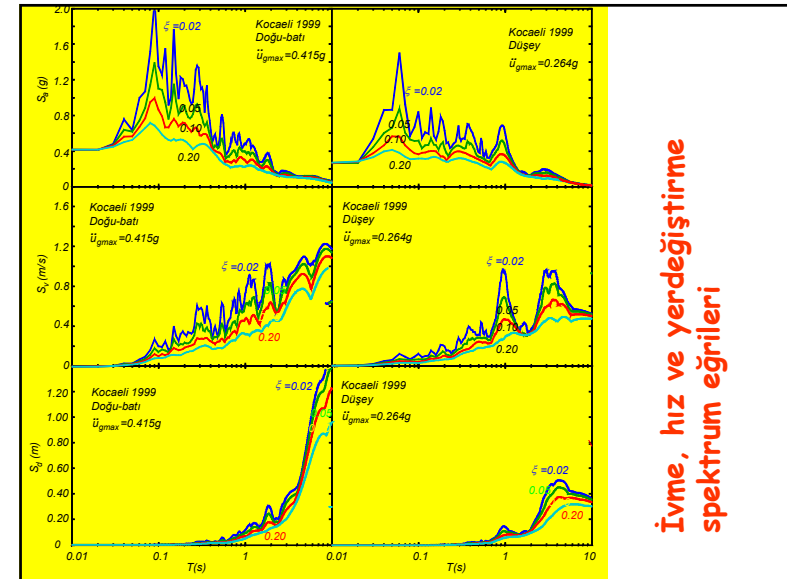
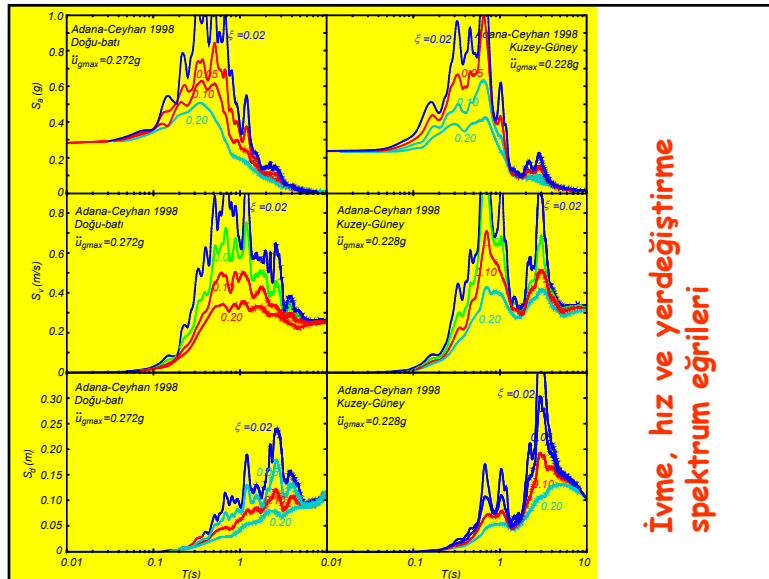
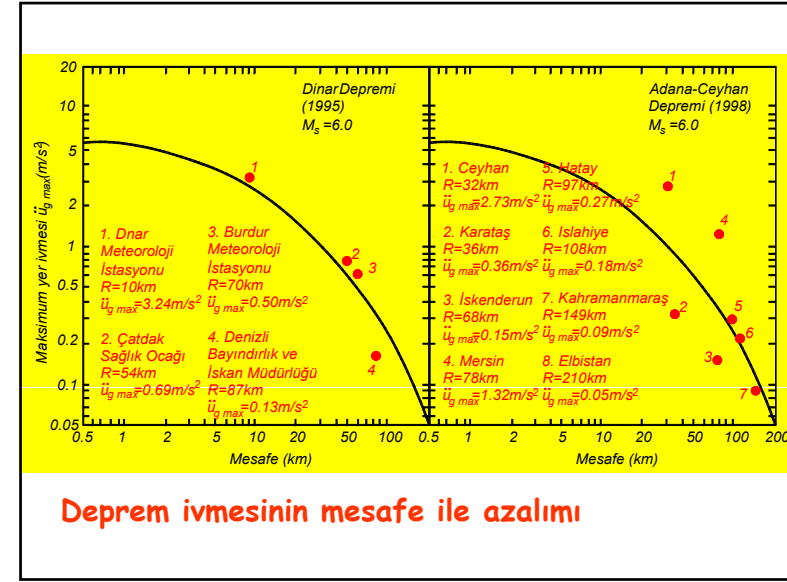
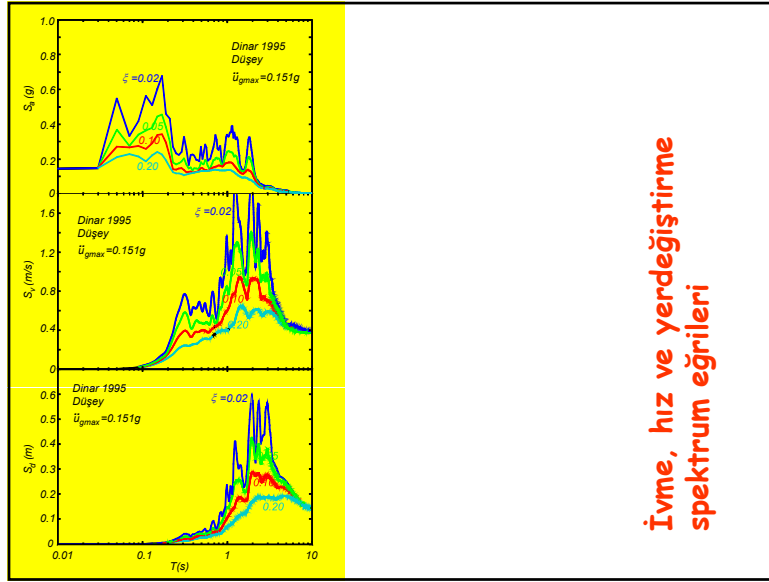
İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri

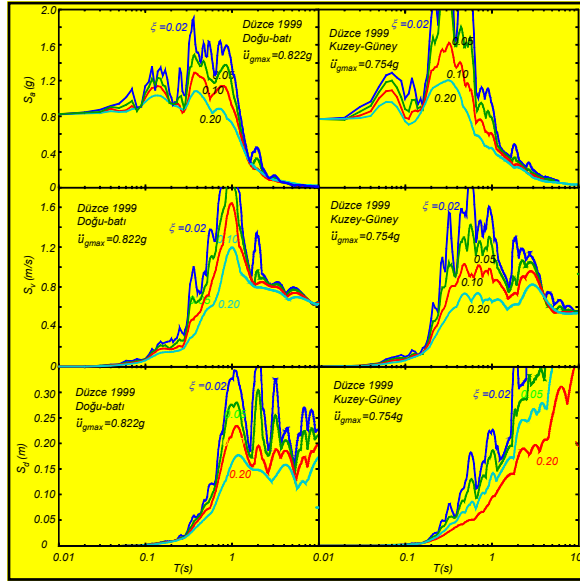


İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri

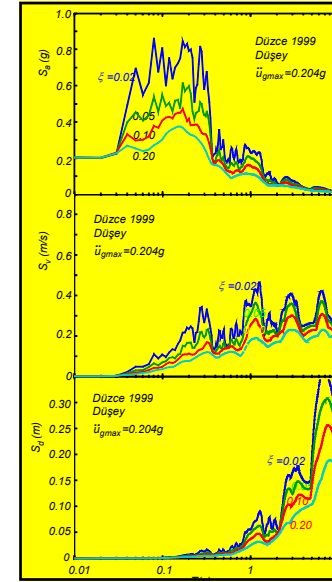


İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri

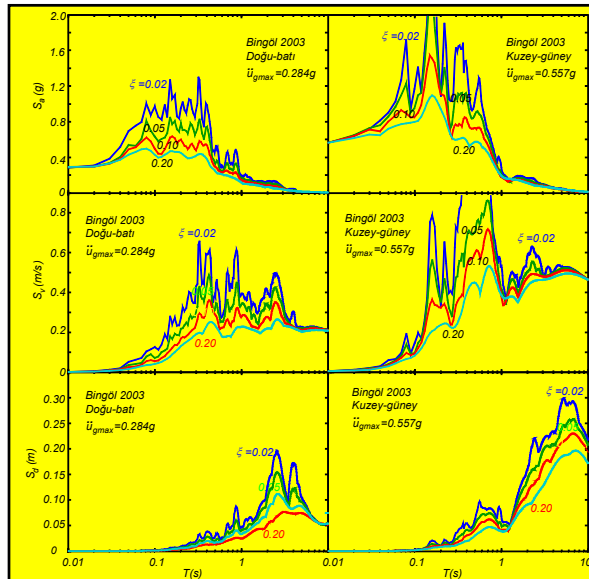




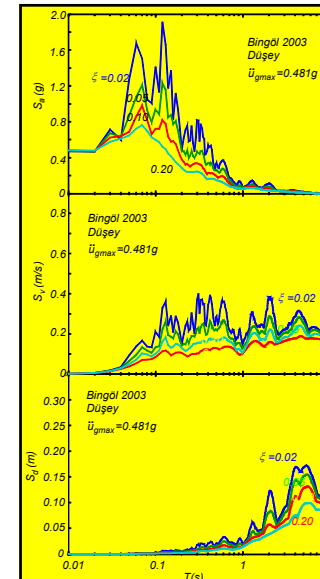
**İvme, hız ve yerdeğiştirme
spektrum eğrileri**



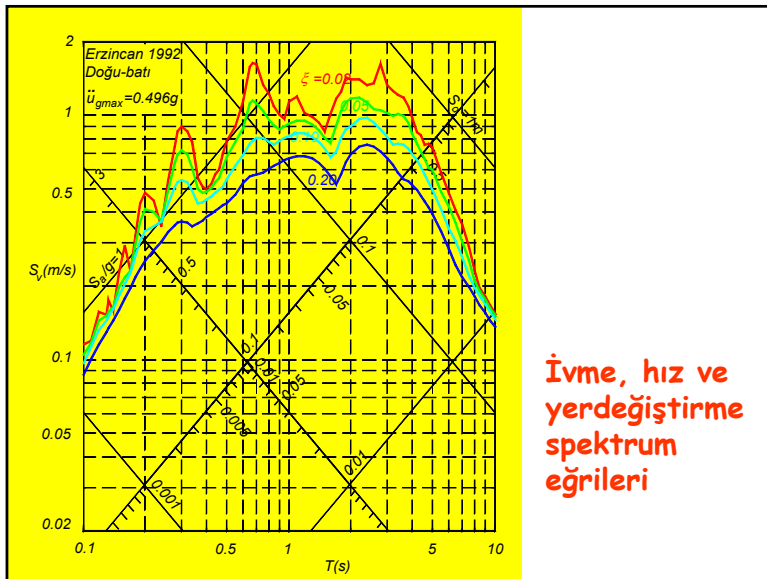
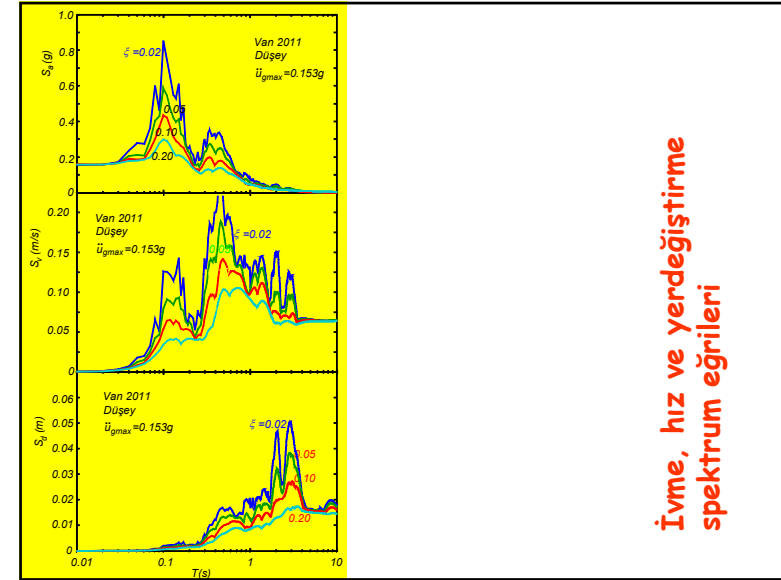
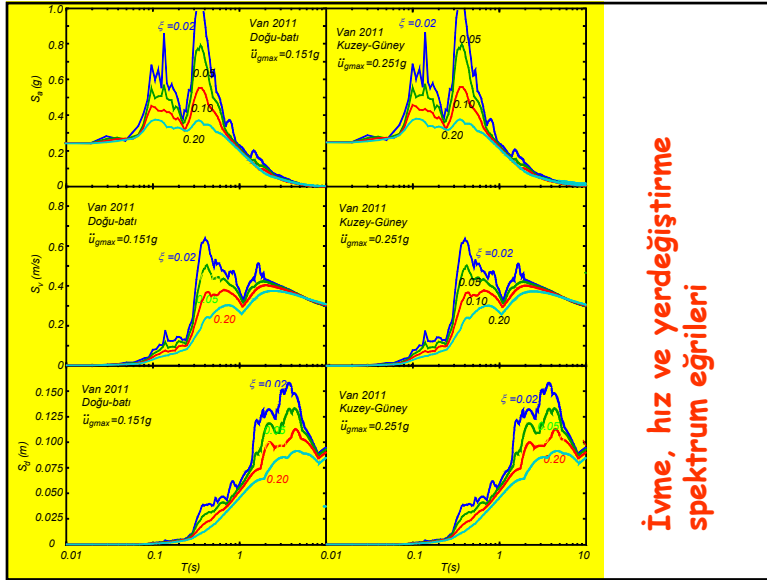
**İvme, hız ve yerdeğiştirme
spektrum eğrileri**



**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

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

denklemini ile belirlenir. Bu denkleminde 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 denklemin, $t + \Delta t$ 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 alınırsa,

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

bulunur. Buna karşı gelen yerdeğiştirme integrasyonu

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

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

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

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 denkleminde yerleştirilmesi ile, yerdeğiştirmedeki artım $\Delta u(t)$ için

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

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

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

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

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 $\Delta t \leq \sqrt{3} T / \pi = 0.551 T$ olması gerekir. Bu yöntemde de adım aralığının seçiminde dış etkinin uygun şekilde temsil edilmesine de dikkat etmek gerekir.

```

%=====
% YD23
% Öğrenci örneği / spektrum eğrisinin elde edilmesi
clear
% Kayıtların sayısının 4155 ve zaman aralığı 0.005s kabul edilmiştir.
for it = 1:4155; t(it) = 0.005*(it-1); end;
% İvme kayıtlarının okunması
a=[.1451325E-03 .1440087E-03 .1445897E-03 .1428288E-03 .1390652E-03,
-.2917123E-02 -.2869659E-02 -.2821339E-02 -.2772174E-02 -.2722177E-02];
% Kayıtların sayısının 4155 ve zaman aralığı 0.005s kabul edilmiştir.
g=9.81;
% Verilen ivme değerleri g biriminde verildiği için g ile carpılıyor
ugddot=a*g;
% İvmenin zamana bağlı değişimi çiziliyor
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;

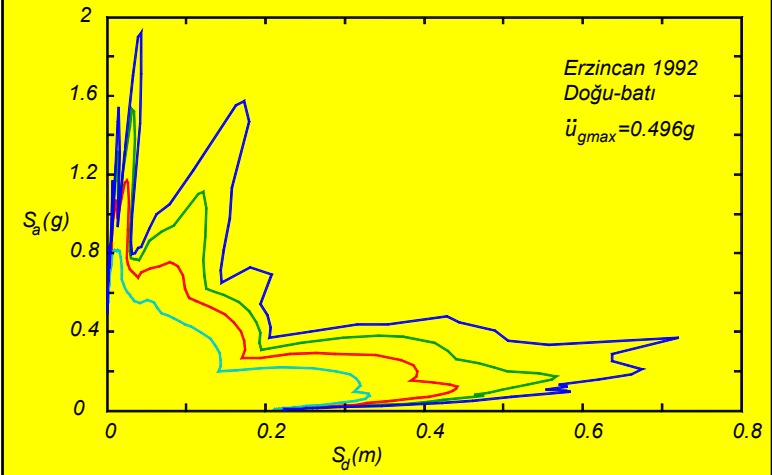
```

```

Kstar=K+3*C/deltat+6*M/(deltat*deltat);
u(1)=0;
udot=0;
uddotoplam=0;
for it=1:4154;
deltaugddot=ugddot(it+1)-ugddot(it);
uddot=+P*ugddot(it)/M-C*udot/M-K*u(it)/M;
deltap=+P*deltaugddot;
deltapstar=deltap+M*(6*udot/deltat+3*uddot)+C*(3*udot+0.5*deltat*uddot);
deltatau=deltapstar/Kstar;
deltaudot=3*deltatau/deltat-3*udot-0.5*deltat*uddot;
u(it+1)=u(it)+deltatau;
udot=udot+deltaudot;
uddotoplam=-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(uddotoplam)) Sa(isonum,iperiyot)=abs(uddotoplam); end;
end;
ugddot(it+1)=ugddot(it);
%plot(t(:), u(:));
end;
end;
% Spektrumlar çiziliyor
%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)

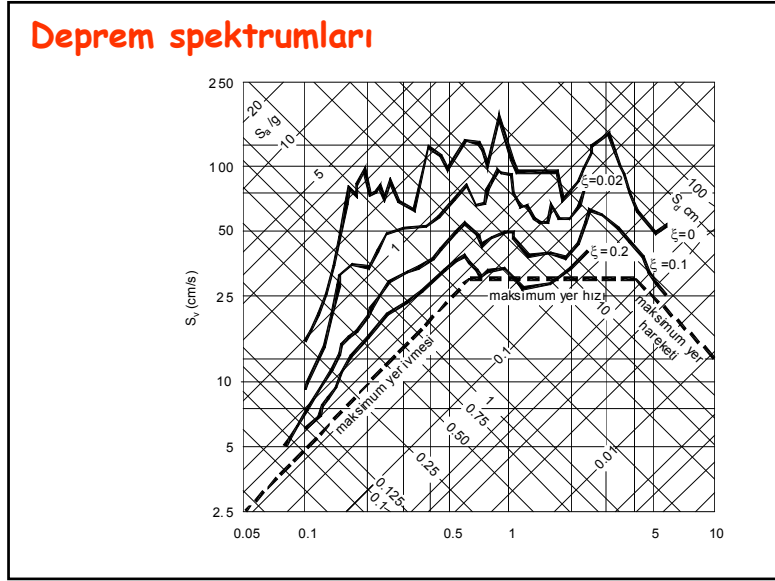
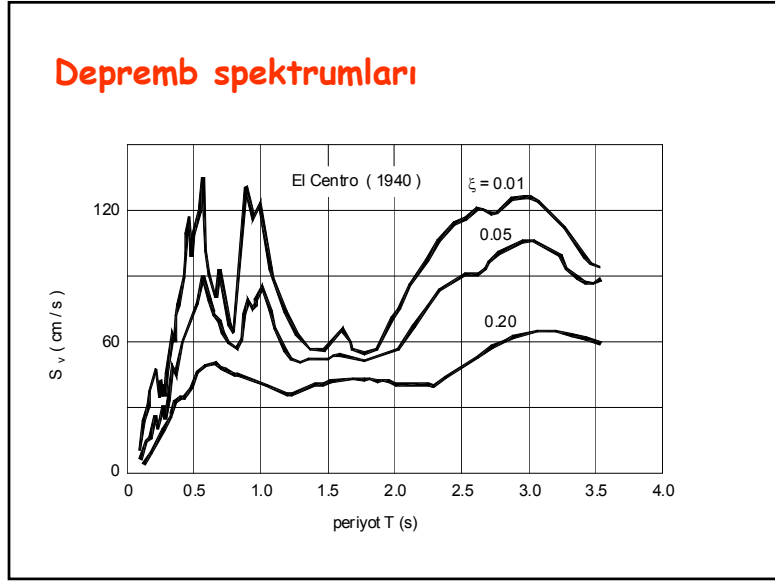
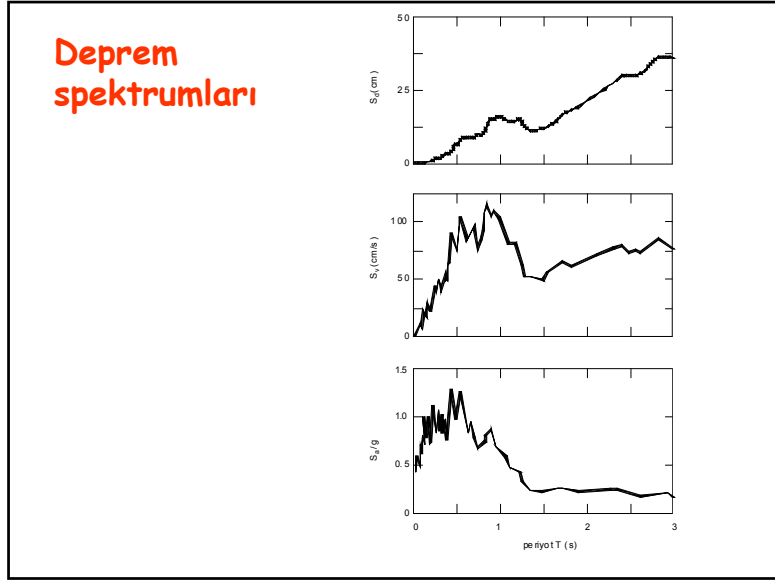
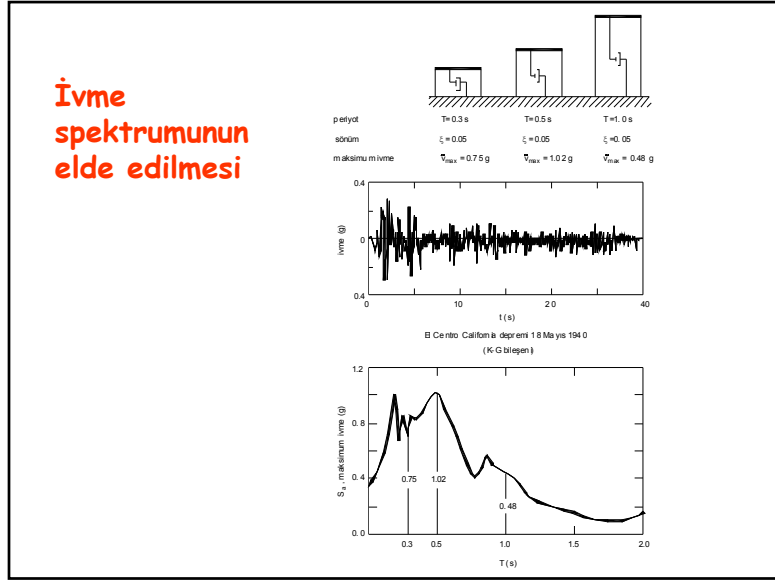
$$S_d(\xi, T) = [v(t, \xi, \omega)]_{\max}$$

- Hız spektrumu (rölatif)

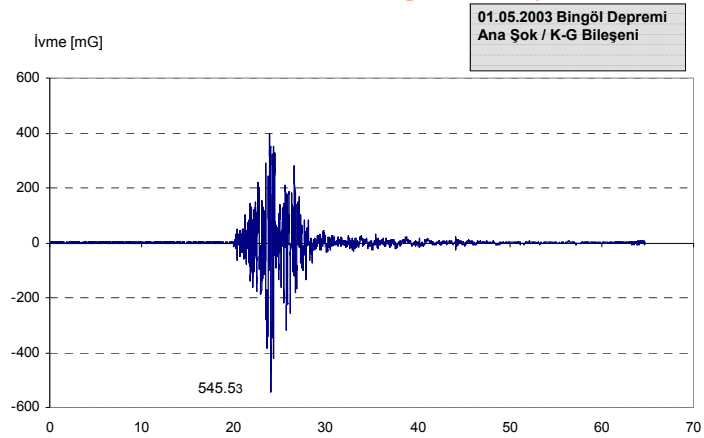
$$S_v(\xi, T) = [\dot{v}(t, \xi, \omega)]_{\max}$$

- İvme spektrumu (mutlak)

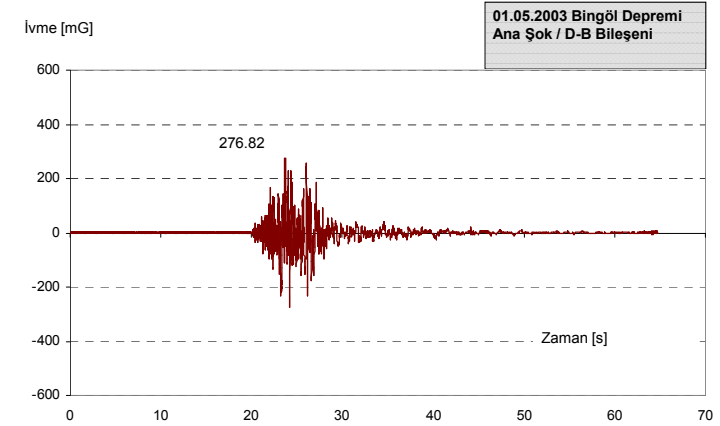
$$S_a(\xi, T) = [\ddot{v}(t, \xi, \omega) + \ddot{v}_g(t)]_{\max}$$



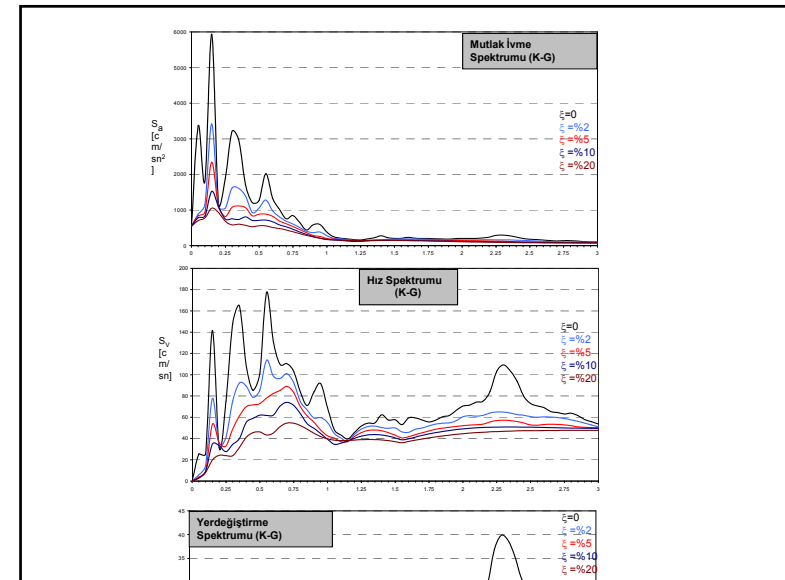
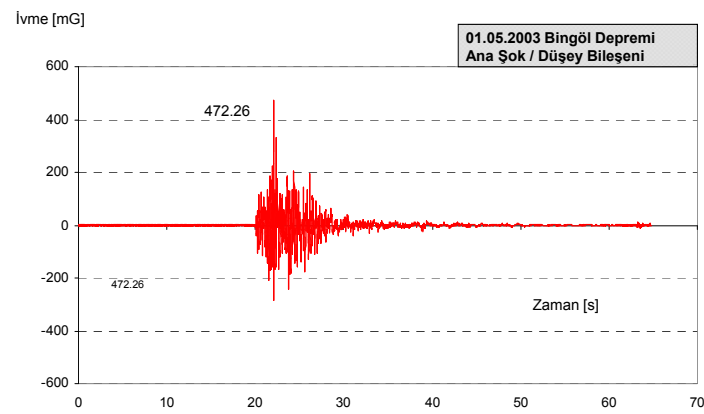
01.05.2003 Bingöl Depremi

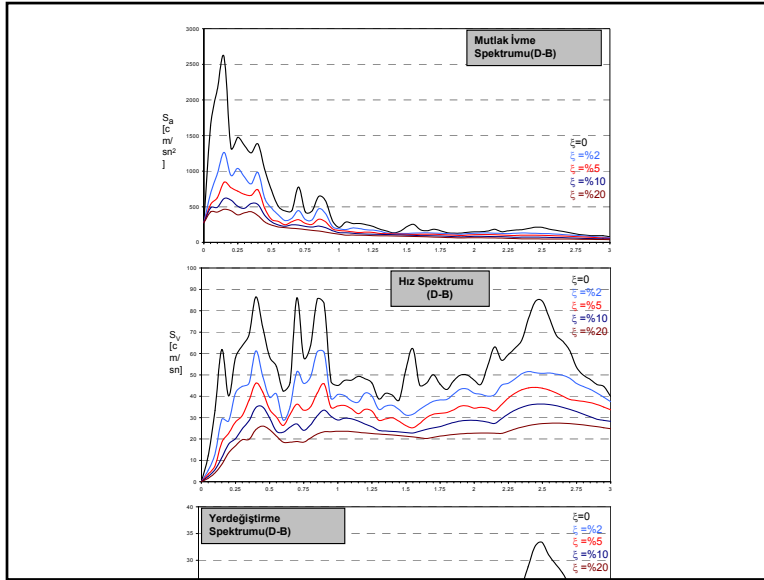


01.05.2003 Bingöl Depremi



01.05.2003 Bingöl Depremi





Deprem spektrumları

$$f_{I \max} = m S_a$$

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

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

Deprem spektrumları

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

$$S_v \rightarrow 0$$

$$S_d \rightarrow 0$$

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

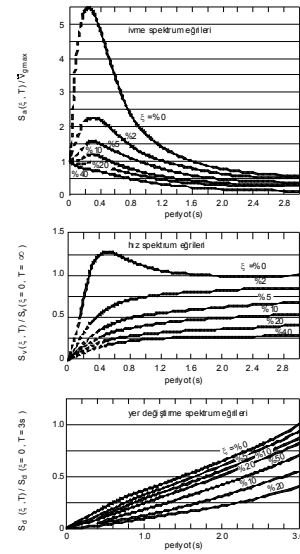
$$S_v \rightarrow \dot{v}_g \max$$

$$S_d \rightarrow v_g \max$$

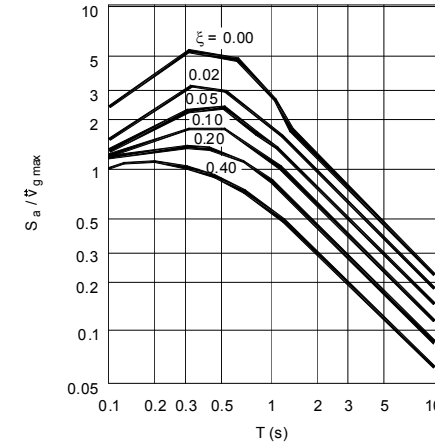
Deprem spektrumları

- Sönüm oranları küçüldükçe periyoda hassas bir değişim
- Sönüm oranları büyüdükçe 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

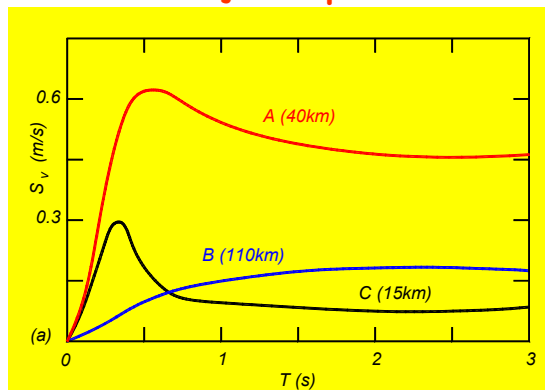


Zayıf zeminler için ortalama deprem spektrumu

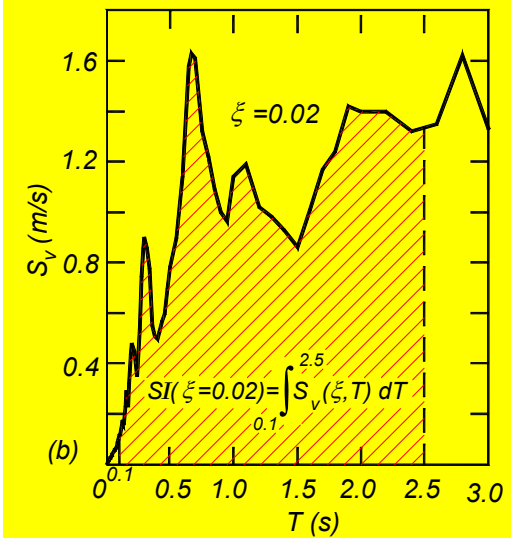


Hız spektrumunun mesafe ve büyüklük ile değişimi:

A ve B büyük deprem
C küçük deprem

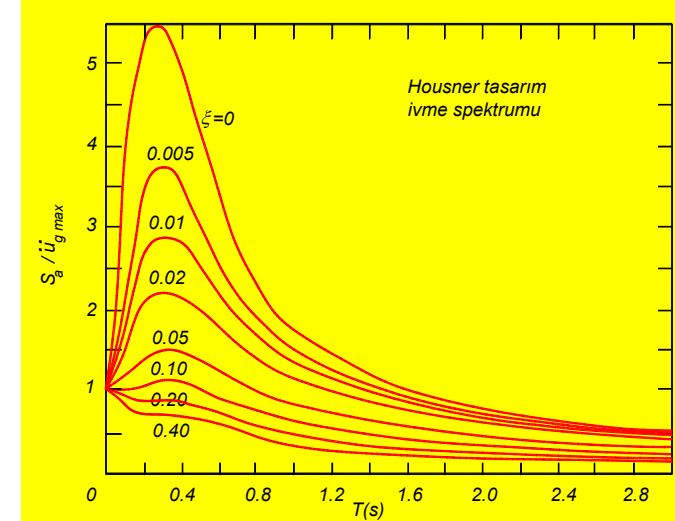
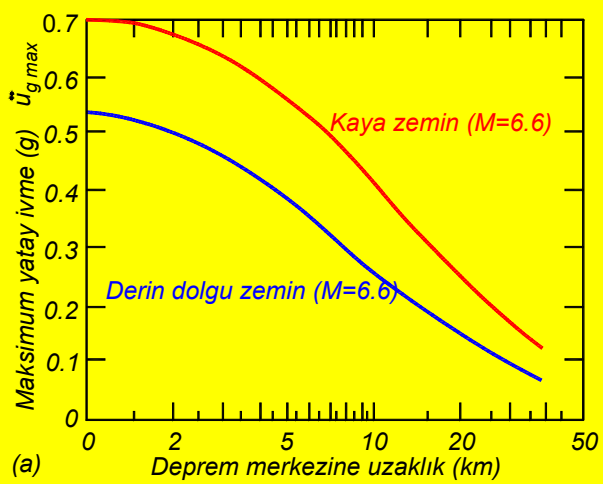
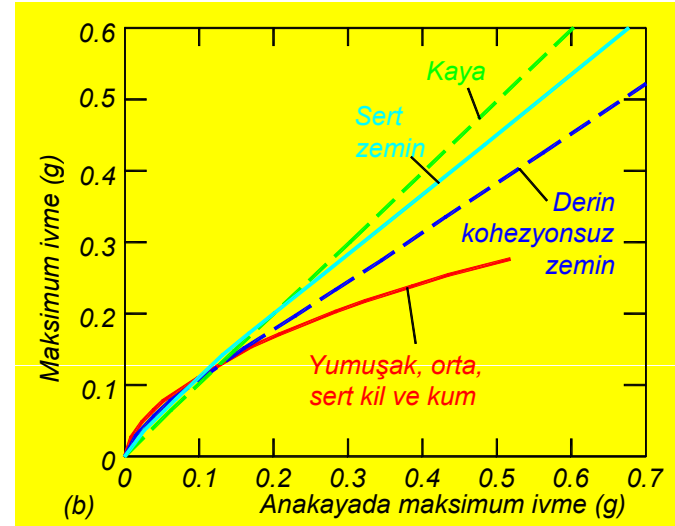


Spektrum şiddeti

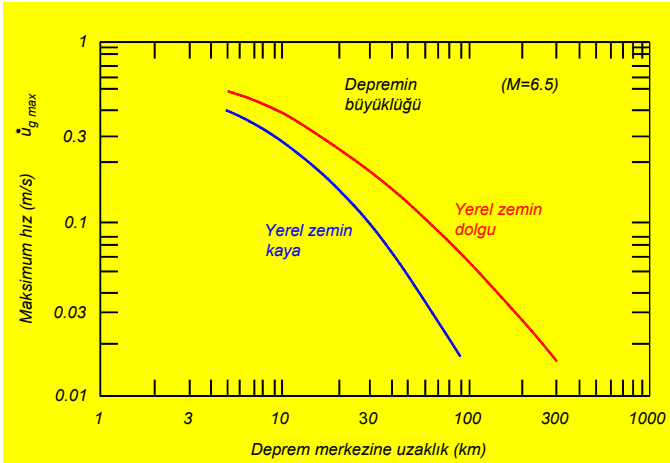


Bazı depremlerin büyüklük ve şiddetleri

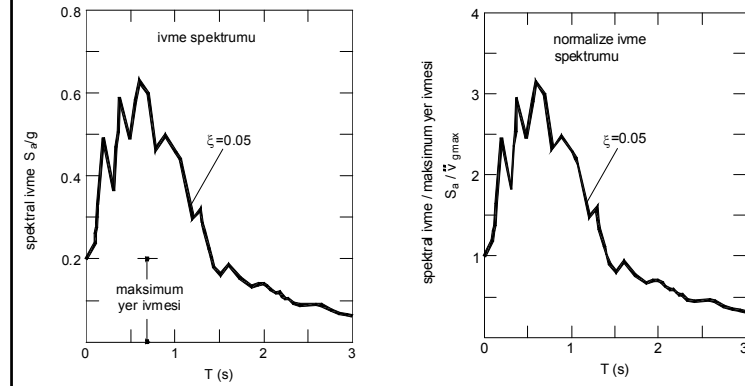
Yer	Tarih	Richter Büyüklüğü (M)	Spektrum Şiddeti (m) SI ($\xi = 0$)	Spektrum Şiddeti (m) SI ($\xi = 0.02$)	Maksimum deprem ivmesi $\ddot{u}_g \text{ max} / g$
El Centro	18.05.1940	6.7	8.35	0.826	0.33
El Centro	30.12.1934	6.5	5.88	0.637	0.26
Olympia	13.04.1949	7.1	5.82	0.674	0.31
Taft	21.07.1952	7.7	4.69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



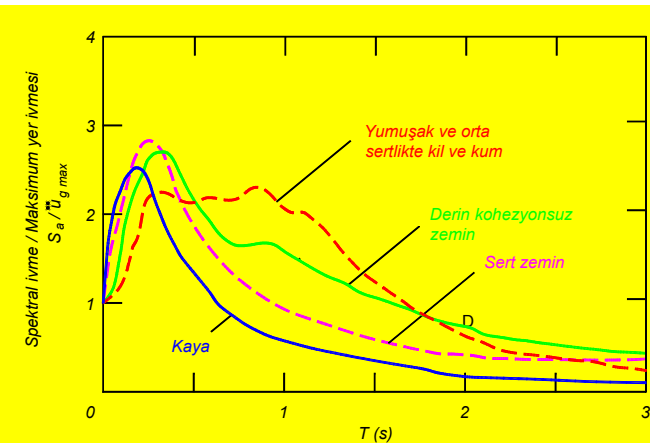
Maksimum deprem hızı



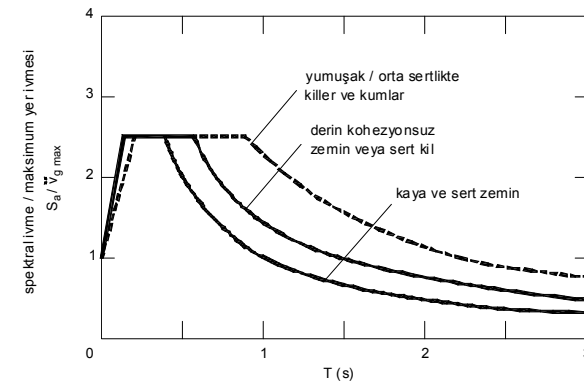
Deprem ivme spektrumunun normalize edilmesi



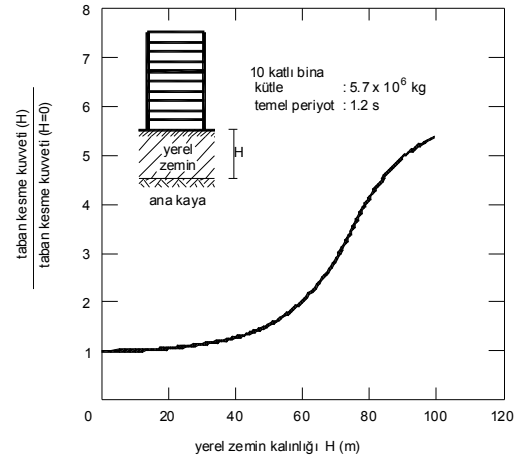
Ortalama ivme spektrumlarının yerel zemin durumuna bağlılığı



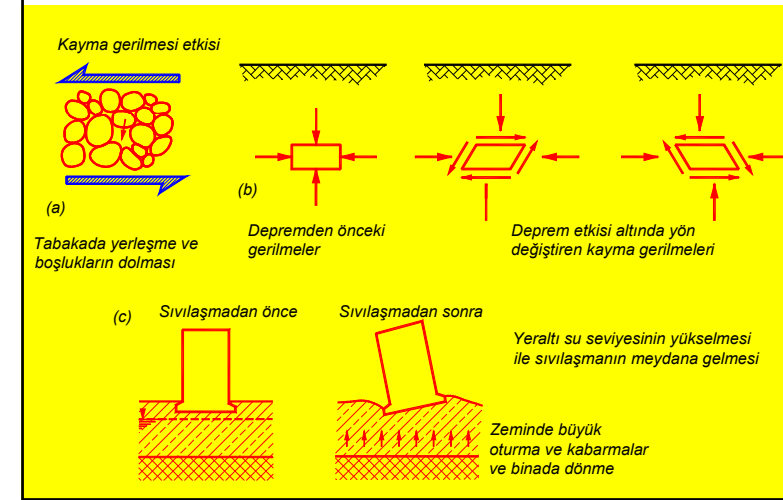
Ortalama ivme spektrumlarının yerel zemin durumuna bağlılığı



Yerel zemin kalınlığı ve deprem taban kesme kuvveti



Zemin sıvılaşması



Zemin sıvılaşması /Niigata 1964

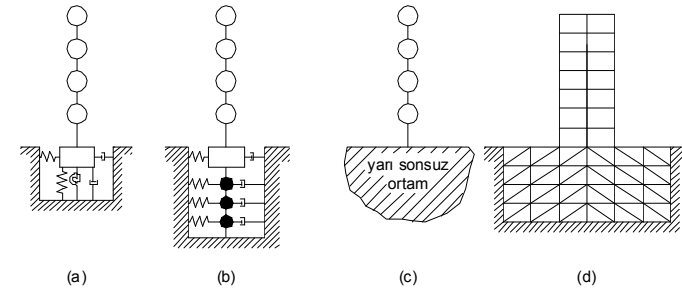


Zemin sıvılaşması





Depremde zemin yapı etkileşimi



Tsunami dalgaları

