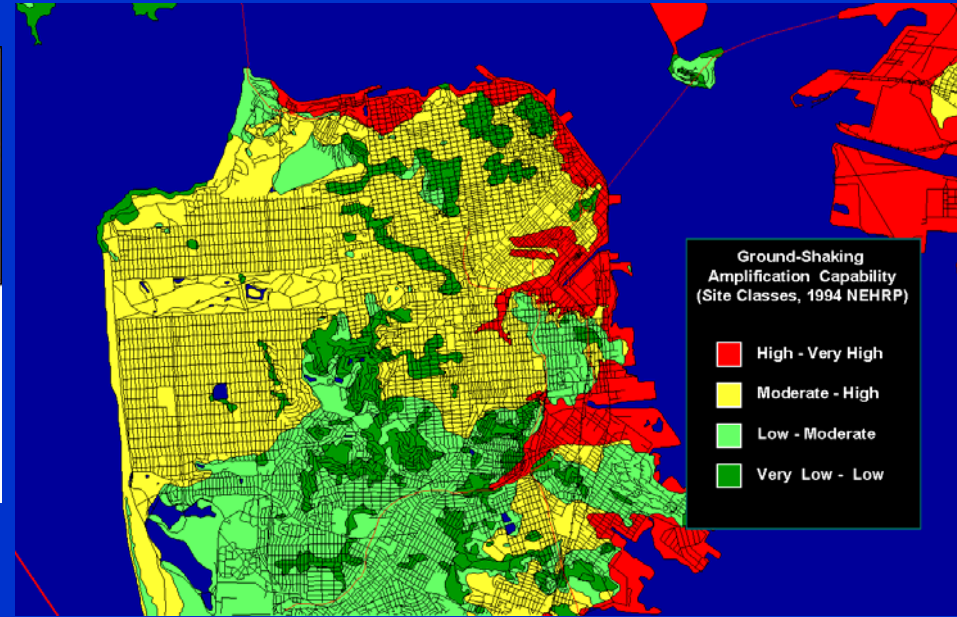
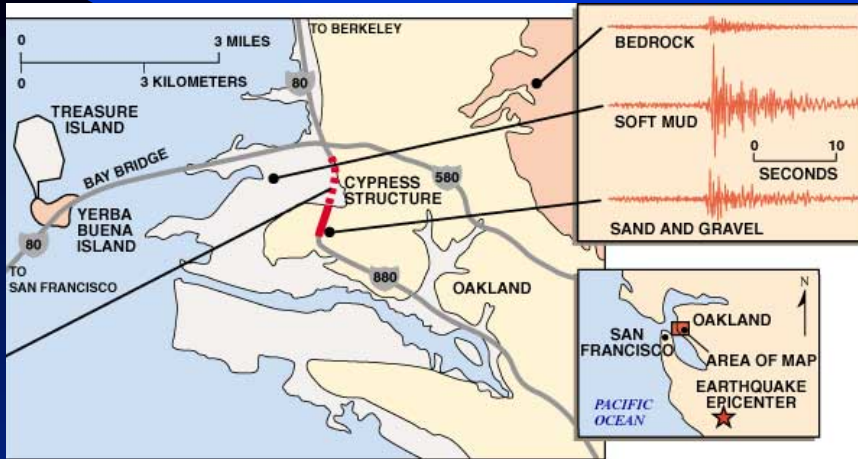




Depremle Yaşamak (SAU004)

Doç. Dr. Murat UTKUCU

Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü



FIGURE 5 The Roman Colosseum: the missing half of the outside wall collapsed in an earthquake in 1349 (Guidoboni, 1994).

**Mother & son died in earthquake
Chopsticks are at mother's hand**



FIGURE 7 A family – man, woman and 1-year-old baby – crushed under their home that collapsed by the 370 AD earthquake in Kourion, Cyprus (Soren, 1985).

Depremle Yaşamak (SAU004)

Doç. Dr. Murat UTKUCU

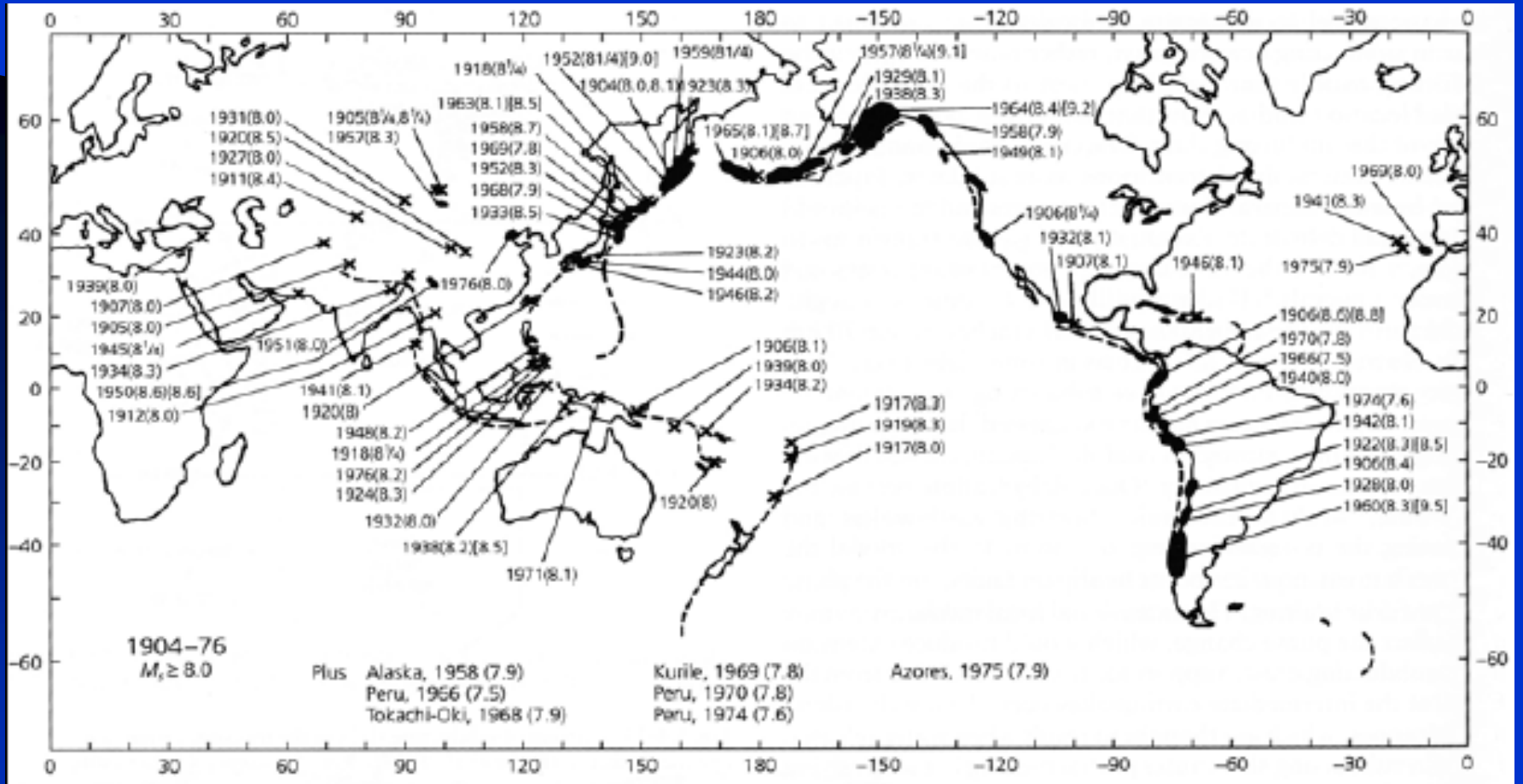
New Sichuan 6.1 Earthquake at 16:30 on August 30, 2008.

38 people died by Sept. 2

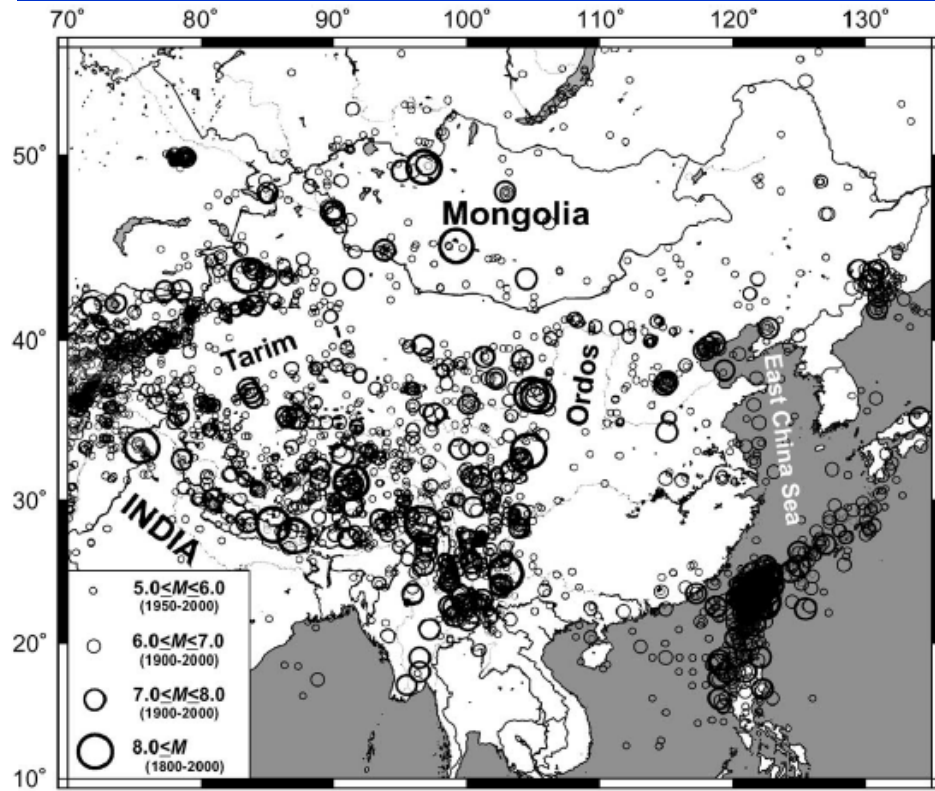
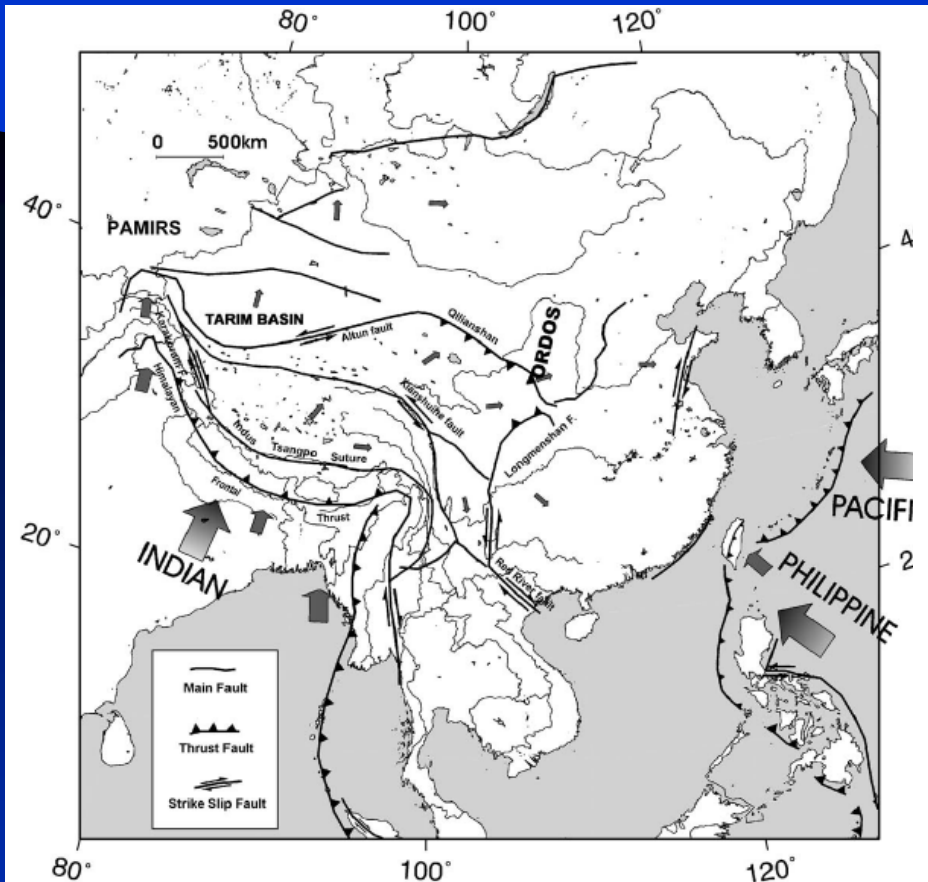
4. Deprem Tehlikesi

4.1. Giriş

- ✓ 20nci yy boyunca toplam 1.5-2 milyon can kaybına neden olan 1000'nin üzerinde ölümcül deprem meydana gelmiştir. Bu ölümlerin üçte biri Çin'de meydana gelmiştir.
- ✓ 1976 Tangshan depreminde ölü sayısı 250.000'nin üzerindedir. Depremi gece, 1 milyon üzerindeki insanın yığma evlerde yaşadığı bir şehrin altında sığ derinlikte olması kayıpları artırmıştır. Oturulan binaların %90'dan fazlası ve endüstriyel binalarında %75'i yıkılmıştır.
- ✓ 100.000'den fazla ölüme neden olan depremlerin çoğu Alp Himalayan kuşağı olarak bilinen yakınsama (sıkışma) kuşağı üzerinde meydana gelmiştir.



- ✓ 1904-1976 arası $M \geq 8$ depremlerin Dünya üzerindeki dağılımı (Kanamori 1977'den). Alp-Himalaya kuşağındaki deprem episantrlarına dikkat ediniz



- ✓ Endonezya'dan Himalaya'lar üzerinden Orta Doğu'ya oradan da Batı Akdeniz ve Kuzey Afrika'ya uzanan bu kuşak üzerinde depremler sonucu meydana gelen bu yinelenen kayıplar fiziksel maruziyet ve insan incinirliliğinin birleşiminin bir sonucudur.

Risk Equation

Risk = Probable Loss (lives & dollars) =

Hazard × Exposure × Fragility



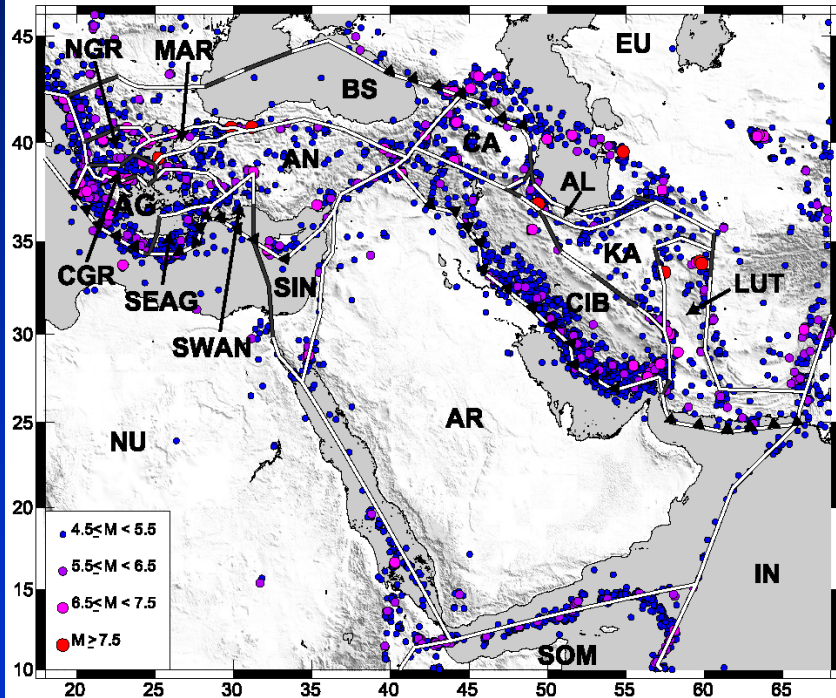
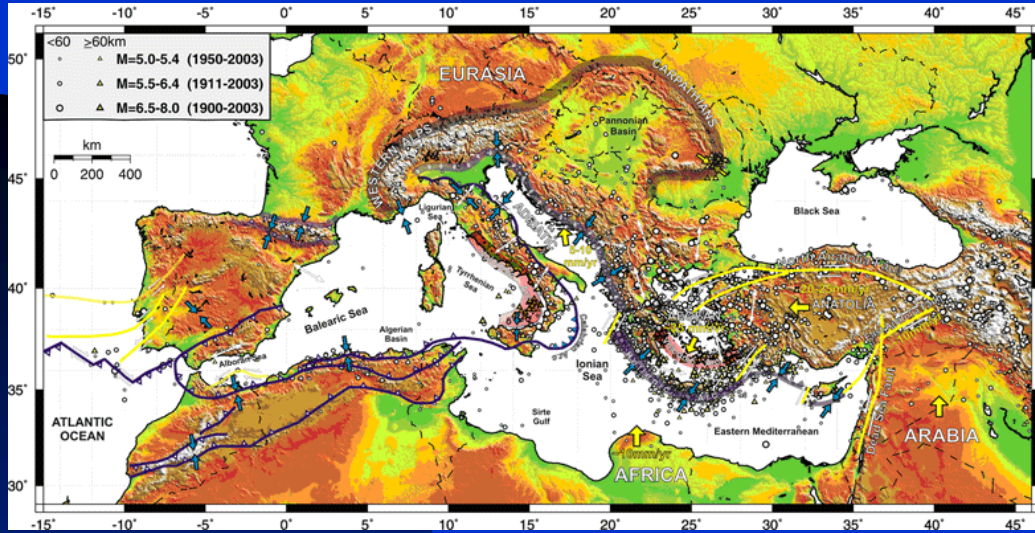
**Faulting, shaking,
landsliding, liquefaction**



**Extent & density of built
environment**



Structural vulnerability



- ✓ Deprem kuşaklarına yakın ve depremlerle ilişkili-ilişkisiz sık toprak kaymalarının olduğu dağlık topoğrafya üzerinde yoğun yerleşimler fiziksel maruziyeti oluşturmaktadır.
- ✓ İncinirlik, sağlam olmayan zeminlerdeki yapılaşma ve zayıf inşa edilmiş binalardan dolayıdır. Bunun da artan nüfus ile doğru orantılı olduğuna dikkat ediniz.

- ✓ Genel olarak en büyük depremler en büyük tehlikeye neden olurlar çünkü küçük depremlere göre:
 - Yeri daha şiddetli sarsarlar
 - Uzun süreli sarsarlar
 - Daha geniş alanları etkilerler.
- ✓ Ancak afet potansiyelleri açısından depremlerin magnitüdleri sık sık yerel koşullarca gölgede bırakılır. Örnek olarak, 1989 Macquarie Ridge depremi (M8.3) hiç kayba yol açmazken Fas'da 1960 Agadir depremi (M5.5) 12000'den fazla can kaybına yol açmıştır (Yeats vd. 1993).
- ✓ Yerel bir koşul olarak, Yerel jeolojik koşullar da (dik yamaçlarda toprak kaymaları ve alüviyal zeminlerde sıvılaşma ve çökme gibi) kayıpları önemli bir şekilde arttırırlar.
- ✓ Japonya'daki 1923 Kanto depremi ($M_w=7.9$) Tokyo ve Yokohoma şehirlerini yıkmış ve 160.000 can kaybına yol açmıştır. Çünkü, geleneksel olarak ahşap konutlarda yaşayan halk depreme öğle yemeği sırasında yanan mangallarla yakalanmıştır. 3000 kadar can kaybının olduğu 1906 San Fransisco depreminde mal kaybının %80'ni yangın nedeniyle olmuştur.

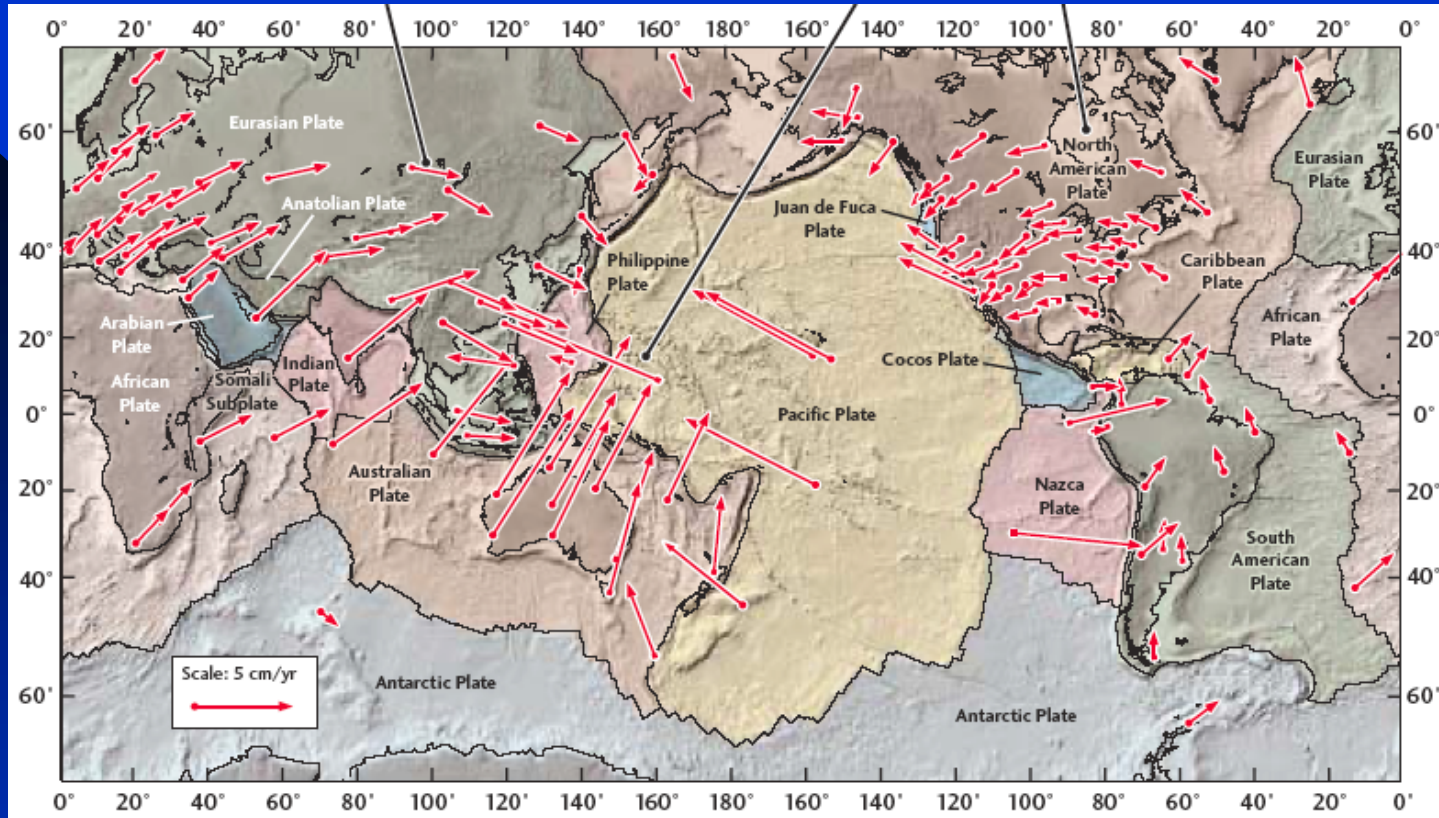
- ✓ 547 can alan 1992 Erzincan depremi (M6.8) halkın geneli Teravih namazı için göreceli olarak depreme dayanaklı camilerdeyken olmuştur.
- ✓ Ancak 1993 Maharashtra (M6.4, Hindistan) depremi halk dayanıksız barınaklarda uyurken olmuş ve 8000'nin üzerinde can kaybına ve köylerde %90'nın üzerinde ev yıkımına yol açmıştır.
- ✓ Bu deprem kırsal alanda olduğundan büyük ölçekli hiçbir şehirsiz alt yapı riskte olmamasına rağmen tarıma dayalı yaşayan fakir halktan hayatta kalanlar kendilerini tarımsal mülklerinin çoğunu kaybetmiş olarak daha çetin bir mücadele içinde bulmuştur (Tablo 6.1)

Tablo 6.1. 1993 Maharashtra depreminde 69 köyde kaybedilen tarımsal mülklerin yüzdeleri (Parasuraman 1993).

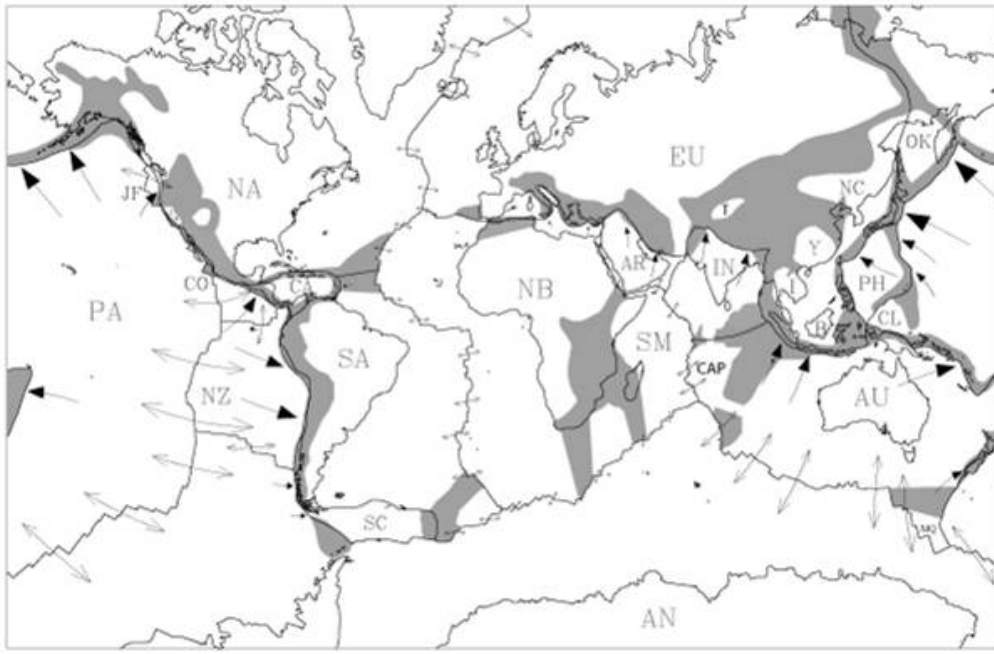
<i>Livestock</i>	<i>Per cent</i>	<i>Implements</i>	<i>Per cent</i>
Cattle	18.3	Buffalo carts	36.6
Buffalo	23.5	Tractors	48.9
Goats/sheep	47.5	Ploughs	50.2
Donkeys	43.5	Pump sets	47.8
Bullocks	12.9	Cattle sheds	67.2
Poultry	65.3	Sprayers	62.3

- ✓ 20nci yüzyılın son dönemleri devam eden deprem tehdidine çok sayıda örnek sağlamıştır.
- ✓ Örnek olarak, 1995 Kobe ($M_w=6.7$, Japonya) ve 1994 Northridge ($M_w=6.8$, ABD) depremleri yoğun nüfuslu ve gelişmiş kent merkezlerini vurmuş ve çok sayıda can kayıplarının yanı sıra on milyarlarca dolar mertebesinde ekonomik kayıplara yol açarak sosyal hayatta önemli kesintilere neden olmuşlardır.
- ✓ Sadece 1995 Kobe depremi 5300 can kaybına, 300.000 evsize ve 100 milyar \$ üzeri kayba yol açmıştır.
- ✓ Kayıplara 1995 Kobe depreminin etkin olduğu bilinmeyen bir fay üzerinde ve 1994 Northridge depreminin de haritalanmamış kör bir faydaki kırılmayla oluşmaları eklendiğinde deprem tehlikesinin ne kadar önemli bir tehdit olduğu anlaşılabilir.
- ✓ Türkiye'nin en gelişmiş ve sanayileşmiş, nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu Marmara bölgesi sınırları içinde meydana gelen 1999 İzmit ($M_w=7.4$) ve Düzce ($M_w=7.1$) depremlerinin yol açtığı afet gelişmiş yerlerin depremler karşısındaki zayıflığının önemli bir örneğidir.

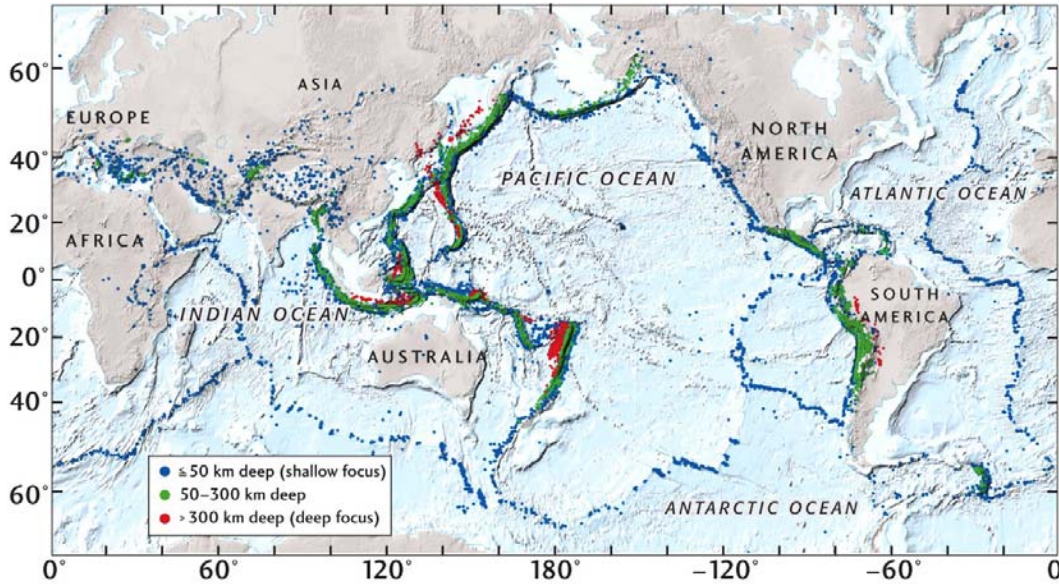
4.2. Depremlerin doğası



- ✓ Depremler yer kabuğunu oluşturan levhaların bir birine göreceli hareketi sonucu levha sınırlarında ve bunlarla ilişkili ikincil faylar üzerinde (levha sınırı diffuse olabilir) biriken elastik deformasyon enerjisinin sınırdaki/faylardaki kayaçların dayanım sınırının aşılması ile oluşan kırılmalar ile aniden boşalması ile oluşur.



- ✓ Bazı levha sınırları yaygındırlar yani diffusedirler. Levha sınırı bir çizgiden çok zon veya kuşak şeklindedir. Levha sınırının etrafındaki gri bölgelerde deformasyonun paylaşıldığı bir çok ikincil fay gelişmiştir. Çin'in büyük kısmının diffuse bir levha sınırı olduğuna dikkat ediniz.



- ✓ Boşalan enerjinin büyüklüğü depremin büyüklüğünü belirler ve magnitüd ölçeği ile ifade edilir.
- ✓ Depremlerin magnitüdüleri karşılaştırılırken aşağıdaki verilen unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır:
 1. Magnitüd ölçeği logaritmiktir. Magnitüd ölçeğindeki bir birimlik artış genlikte yaklaşık 10 katlık bir artışa karşılık gelir.
 2. Magnitüd-enerji ilişkisi magnitüdüdeki bir birimlik artış ile serbestlenen enerji 31.6 kat artmaktadır.
 3. Magnitüd ölçeklerindeki doygunluk sorunu nedeniyle çeşitli magnitüd ölçekleri geliştirilmiştir. Bir depremin magnitüdüden potansiyel yıkıcılığı üzerinde yorum yapılırken bu özelliğe dikkat edilmelidir. Cisim dalgası magnitüdü yaklaşık $m_b = 6.0$ ve yüzey dalgası magnitüdü de yaklaşık $M_S = 7.3$ büyüklüklerinde doygunluk başlangıcına ulaşmaktadır.
- ✓ Şiddet bir depremin çevrede oluşturduğu yıkıcılığın bir ölçüsüdür ve bir kaynak parametresi değildir. Örnek olarak, 1989 Macquarie Ridge depremi ($M 8.3$) Fas'daki 1960 Agadir depreminden ($M 5.5$) çok daha küçük bir şiddete sahiptir.

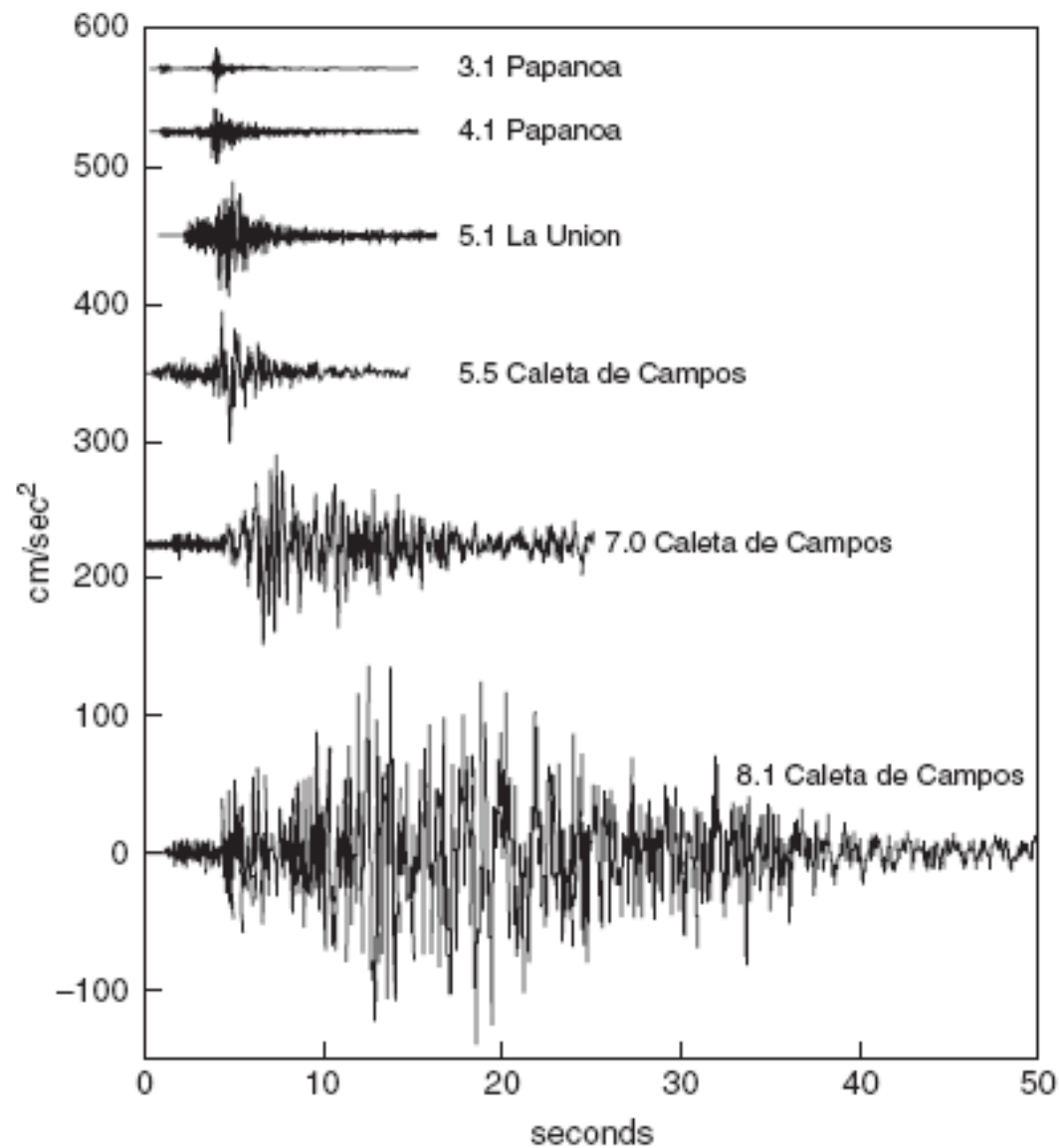


FIGURE 8 Accelerograms recorded in Guerrero, Mexico, from earthquakes of several magnitudes (from Anderson and Quaas, 1988).

4.3. Deprem tehlikeleri nelerdir?

✓ Birincil deprem tehlikeleri:

1. Yer sarsıntısı veya kuvvetli yer hareketi (strong-ground motion),
2. Yer'in yüzeyinde deprem sırasında gözlemlenen kırılma, yüzey kırığı (coseismic surface ruptures),

✓ İkincil deprem tehlikeleri:

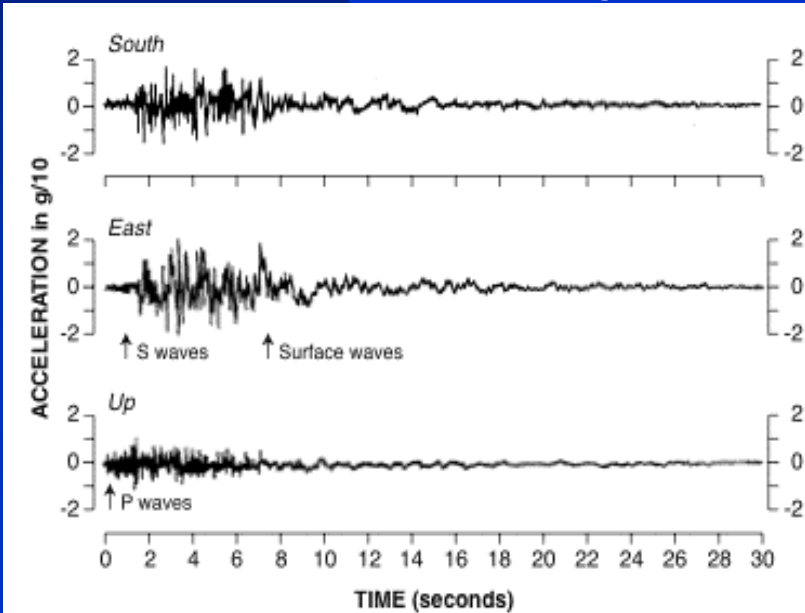
1. Zemin sıvılaşması (Soil liquefaction),
2. Yer kaymaları (Land slides), Kaya ve çığ düşmeleri (rock and snow avalanches)
3. Tsunamiler (deprem dalgaları)
4. Yangınlar

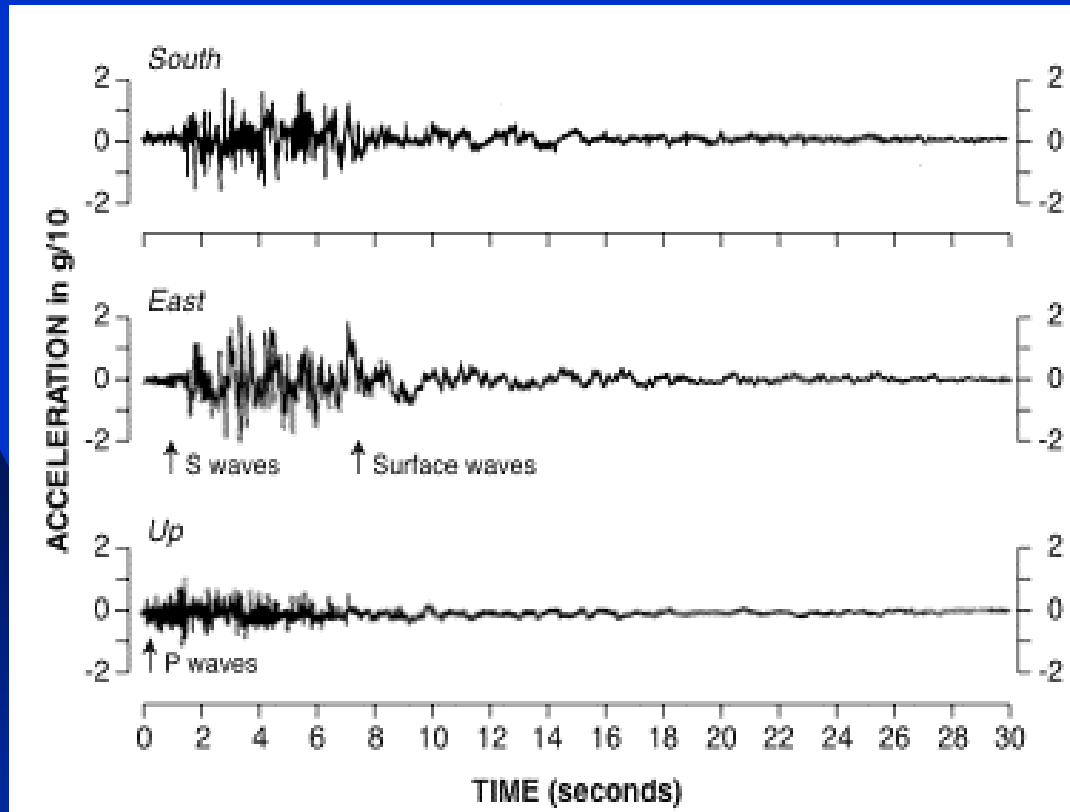
4.3.1. Birincil deprem tehlikeleri

Kuvvetli yer hareketi

- ✓ Depremlerin neden olduğu tehlikeler içinde en önemlisi faylanma sonucu oluşan elastik dalgaların oluşturduğu kuvvetli yer hareketidir.
- ✓ Kuvvetli yer hareketi depremlerin can ve mal kaybına, köprüler, tüneller gibi mühendislik yapılarında hasara ve sivilaşma gibi ikincil olaylara sebep en büyük etkisi olduğundan uzun yıllardır araştırma konusu olmuşlardır.
- ✓ Bir deprem sonucu oluşan yer hareketinin şiddetli-yıkıcı olduğu yakın-alanda P ve S dalgaları hakimdirler. Özellikle S dalgaları neden oldukları makaslama etkisi ve büyük genlikleri ile yakın alanda esas yıkıcı dalgalardır.

- ✓ Ancak bazı özel durumlarda yakın-alanda gözlenen cisim dalgalarının yerel jeoloji ile etkileşimleri (özellikle genç ve derin çökel havzaların bulunduğu yerlerde) yüksek periyodlu yıkıcı yüzey dalgalarının belirgin ve yıkıcı olduğu gözlemler de söz konusudur.
- ✓ Yapılara en büyük tehlike yatay yer hareketince neden olunur. Bu kısmen tüm yapıların yapıların yer çekimi etkisine karşı gelecek şekilde yapılmaları nedeniyledir. Özellikle takviye edilmemiş binalar 0.1 g mertebesinde yer ivmesine dayanamazlar.
- ✓ Yatay yer hareketinin diğer bir önemi de genliğinin bazen düşey yer hareketinin 2 katına ulaşmasıdır(Şekil 6.3).

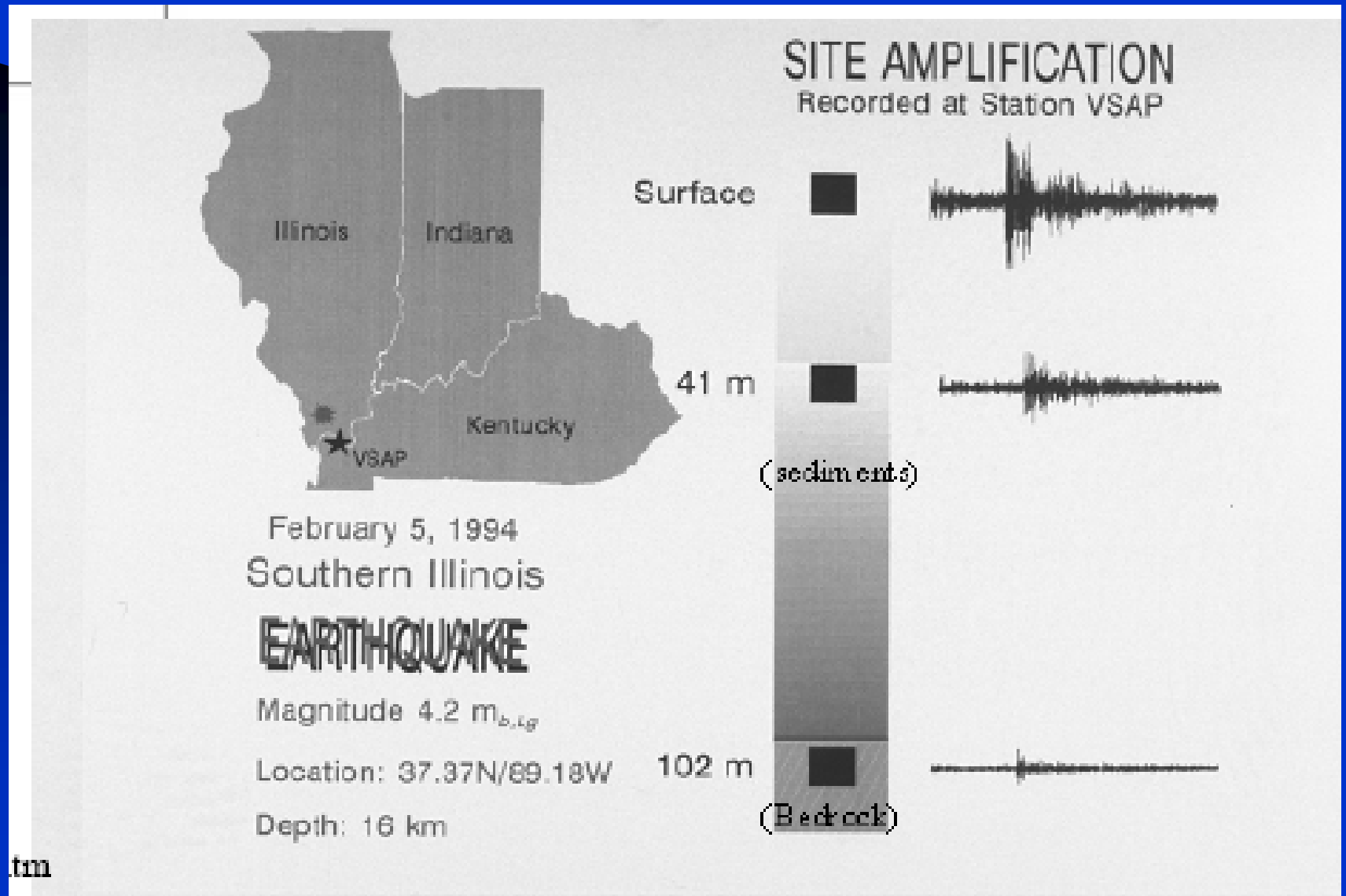


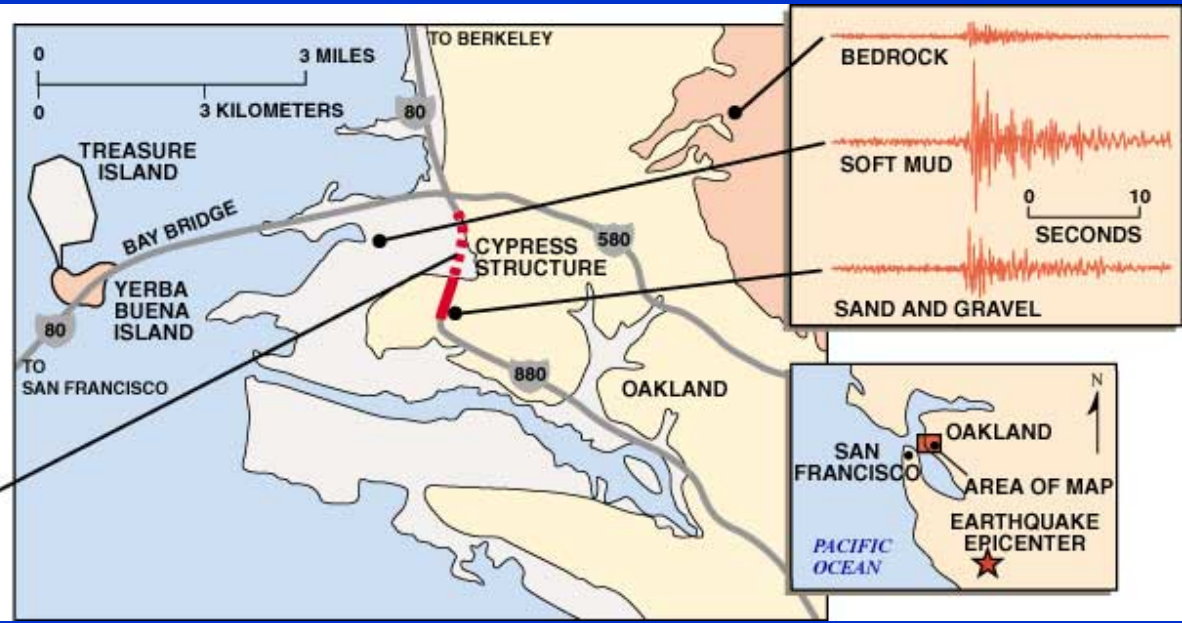


- ✓ Şekil 6.3. 1971 San Fernando depreminin 20 km uzaklıktaki 3 bileşen ivme kaydı. Düşey bileşende yer ivmesi P dalgalarının varışıyla 0.1g'ye ulaştığı görülmektedir. Bununla birlikte DB bileşeninde yer hareketi ivmesi kaydın başlangıcından 3-4 sn sonra 0.2g'yi aşmıştır. Benzer davranış KG bileşeninde de görülebilir.

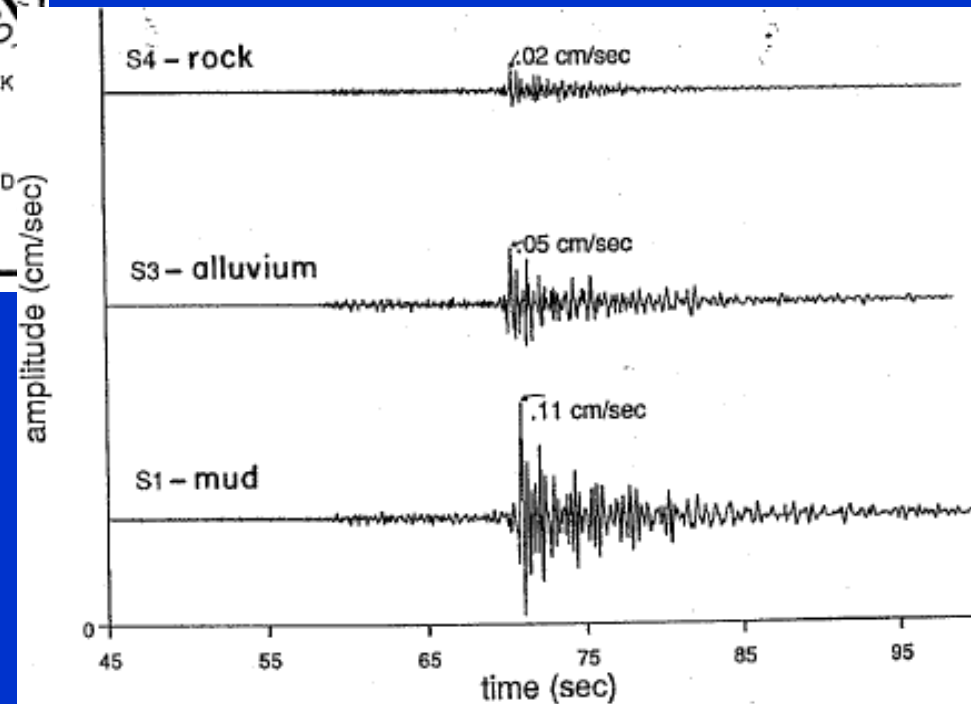
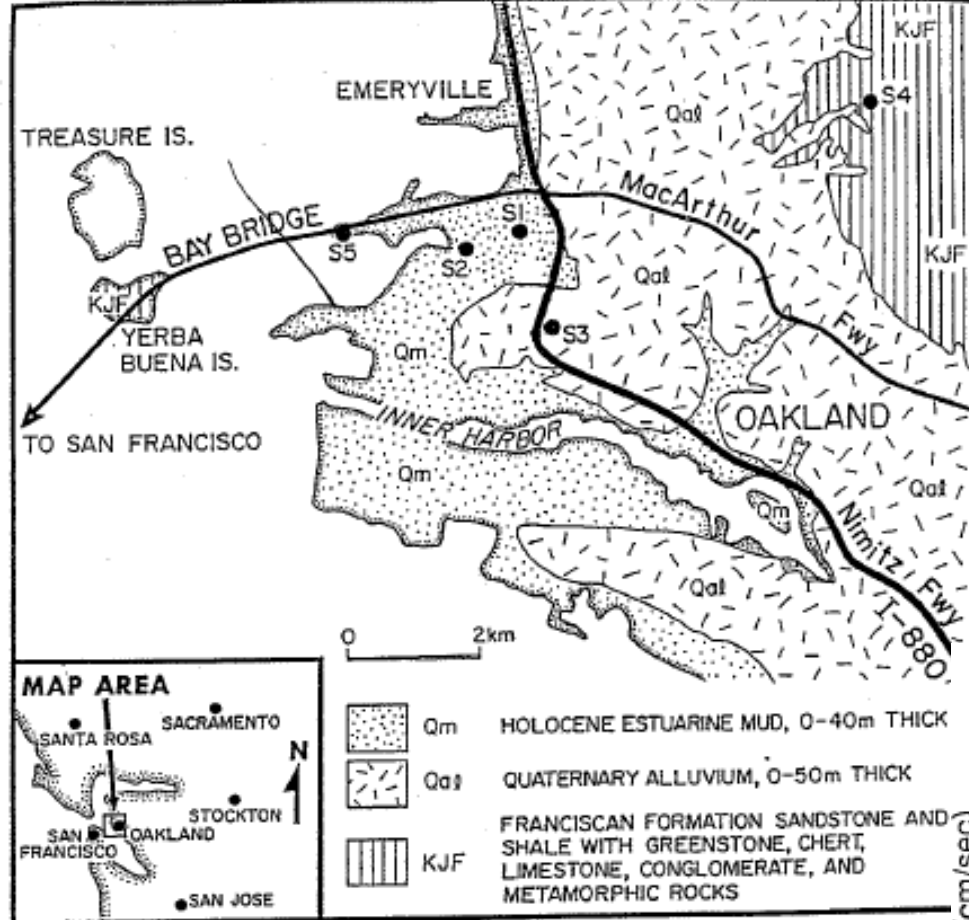
- ✓ Yapılan araştırmalar kuvvetli yer hareketlerinin yerel jeolojisi koşullarından önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu durum tabakalı ortamda dalga yayılımını yöneten fizik kanunlarının sonucunda ortaya çıkarlar.
- ✓ Yerel jeolojisi etkisi, zemin etkisi, site-effect, site amplification, soil amplification gibi isimlerle anılan bu olay bilindiği kadarıyla bir kaç şekilde olabilmektedir.
- ✓ Sismik dalgalar düşük hızlı düşük hızlı yüzeye yakın ortamlarla karşılaştığında 3 şey meydana gelir. (1) Dalga genliği artar, (2) dalga yolu düşeye doğru eğilir ve (3) dalgalar yüzeye yakın tabakalarda tuzaklanırlar.
- ✓ Verilen bir genlikteki dalga ile ilişkili enerji düşük hızlı bir ortamda yüksek hızlı bir ortamdakine göre daha düşüktür. Ancak, enerjinin korunumu ilkesine göre yüksek hızlı ortamdan düşük hızlı ortama geçildiğinde dalga enerjisi korunur.
- ✓ Nasıl mı? Düşük hızlı ortamda dalga genliğinin armasıyla. Diğer bir ifade ile,

BİR DALGA YAVAřLADIĐINDA GENLİĞİ ARTMALIDIR





- ✓ Yerel zemin koşulları yüzünden 1989 Loma Prieta depreminde (üstte) ve 1999 İzmit depremlerinde gözlemlendiği gibi depremler bazen episantırdan çok uzaklarda hasara neden olmuşlardır.





Collapsed freeway. 1989 earthquake



18.10.2012

✓ Yerel jeolojinin etkisiyle kuvvetli yer hareketi genlik büyütmesi ve bu genlik büyütmesinin hangi frekanslarda çok ya da az olduğu aynı şehir merkezi içinde içinde bile büyük farklılıklar gösterebilir. Mexico City'de 1985 Michoacan depremi (M8.1) sırasında gözlemlenen yer hareketi dağılımı bunun bir örneğidir.

✓ Yanda, şehir merkezinde yerel jeoloji ve 1995 depreminde (M7.3) gözlenmiş KG yer ivme dağılımı gösterilmiştir. 10-100m kalınlığındaki eski göl yatağında yer hareketi çokça büyütülmüştür. Kil-kum katmanlı suya doymun göl yatağı (beyaz), Lav-volkanik tüflerden oluşmuş tepelik zon (koyu gri) ve bunlar arasındaki alüvyal kum ve siltten oluşmuş geçiş zonu (açık gri).

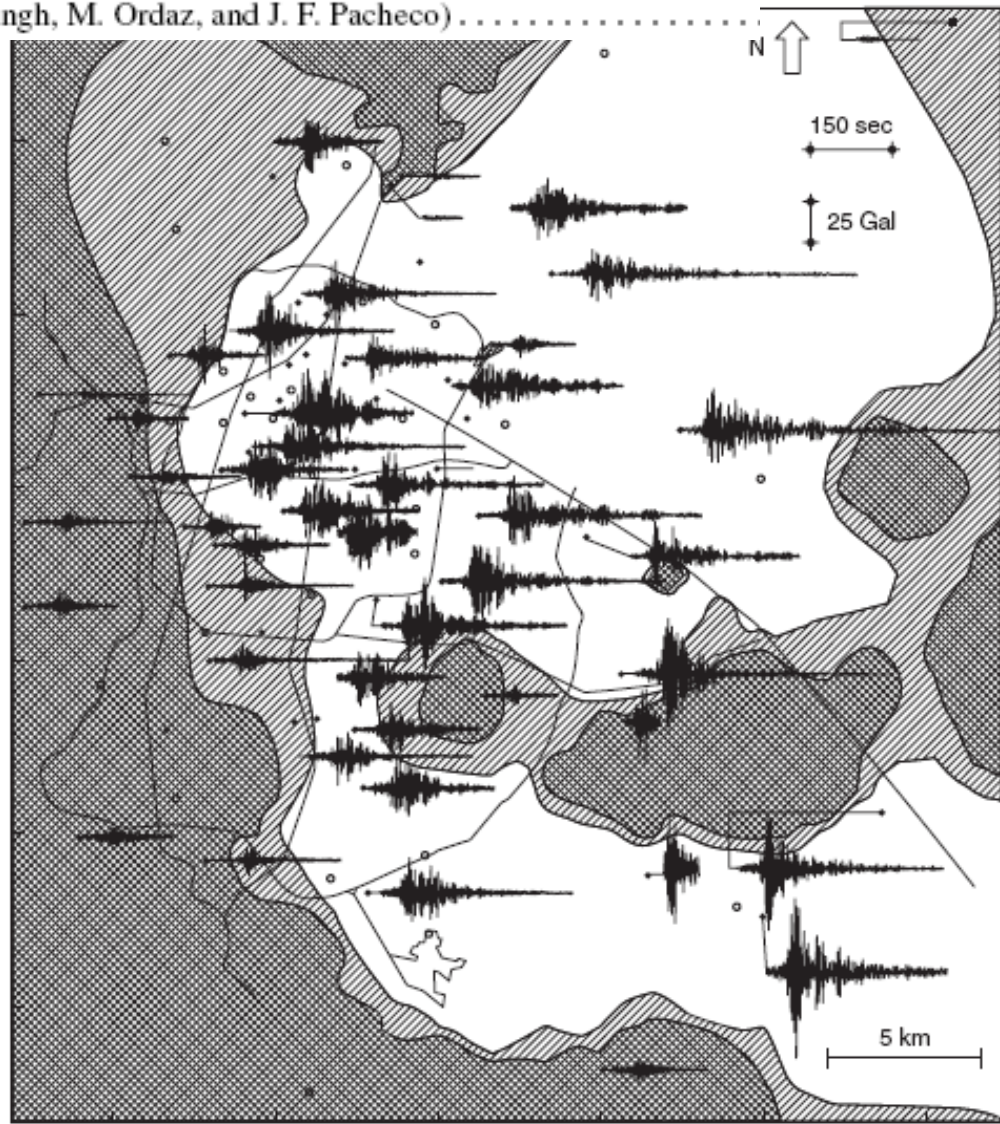


FIGURE 4 N-S accelerograms in the Valley of Mexico from the Copala earthquake of 14 September, 1995 (M_w 7.3), located a distance of about 300 km. Darkly shaded area: hill zone; lightly shaded area: transition zone; unshaded area: lakebed zone. Note that in the hill zone the accelerations are much lower and shorter in duration than in the lakebed zone.

- ✓ Peki hangi frekanslarda ne kadar büyütme var? Diğer bir ifade ile zemin transfer fonksiyonları (ZTF) nasıl?
- ✓ Haritada hesaplanan ZTF'lerinin dağılımı görülmektedir. Göl yatağındaki yer hareketleri tepelik alana göre çokça büyütülmüştür. Göreceli spektral büyültmeler 0.2-0.7Hz frekansları (5-1.4 sn periyotları) arasında 50 kata kadar büyütülmüştür (Singh vd. 1988).
- ✓ Dahası yer hareketinin süresi uzundur ve harmonik bir karakter sergilemektedir.

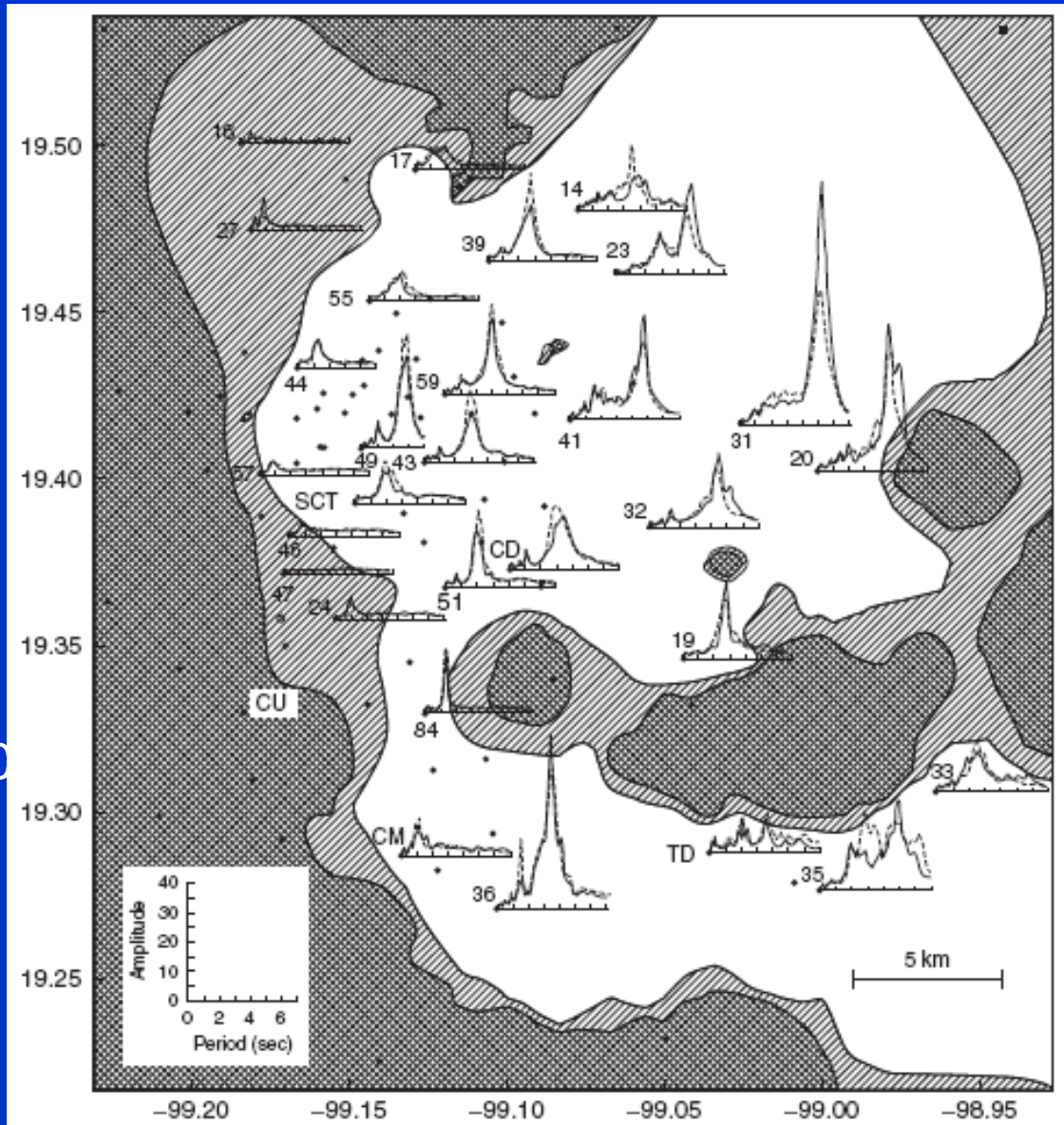
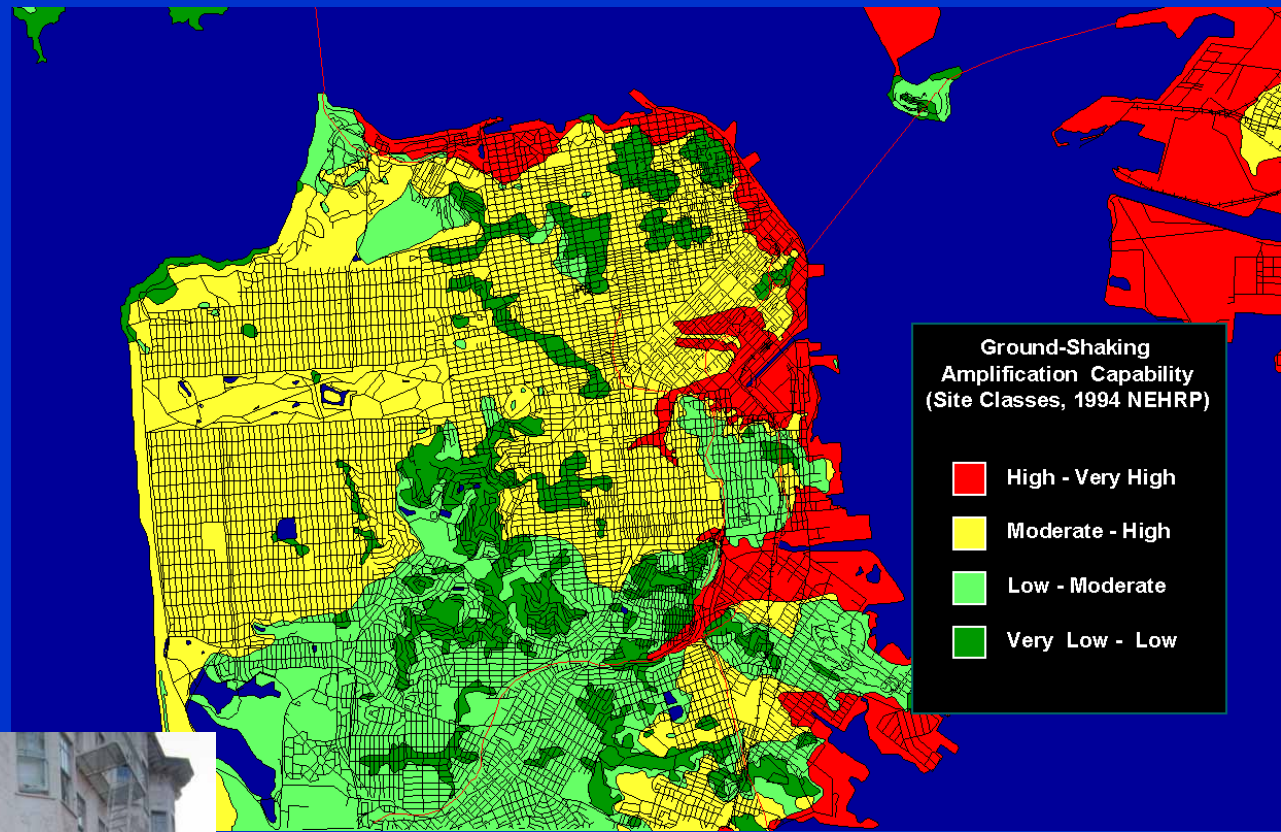
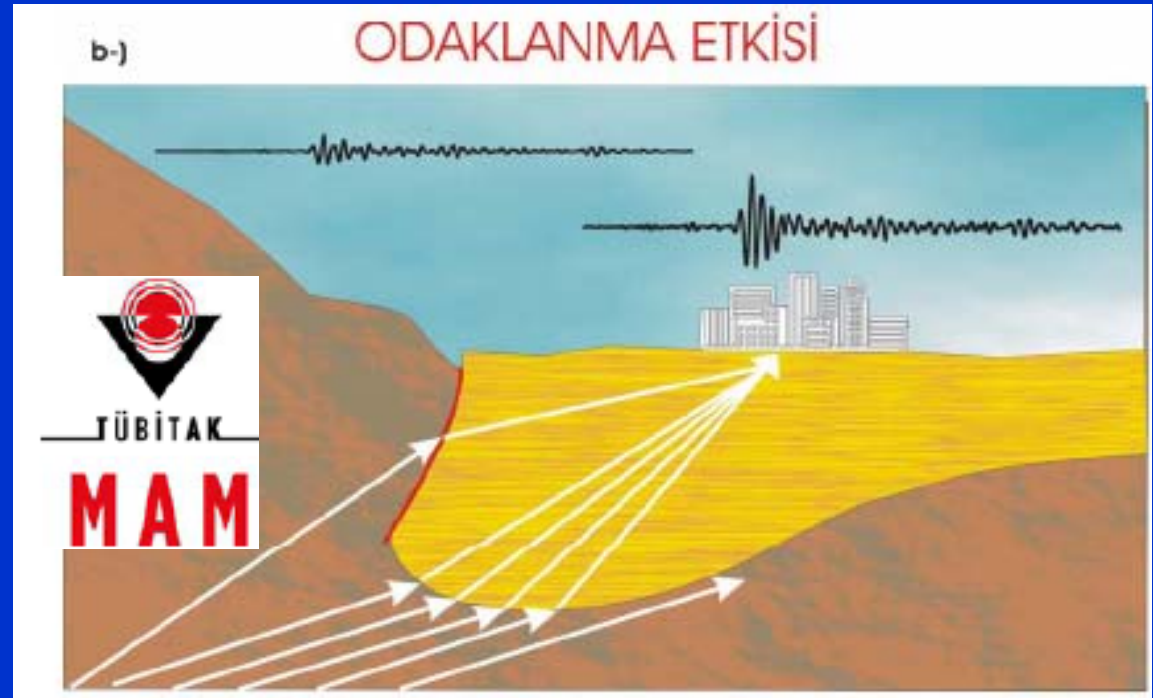
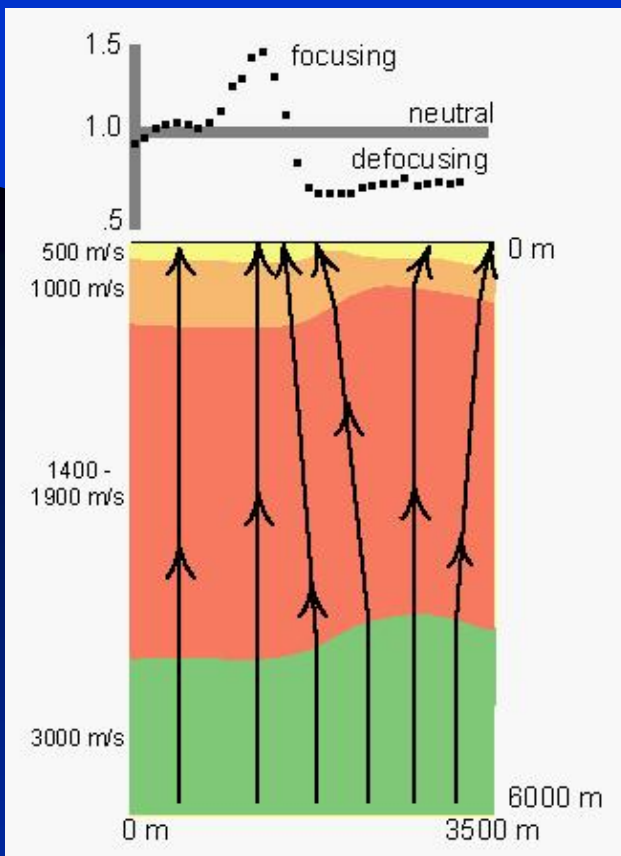


FIGURE 5 Average spectral ratios with respect to CU at some representative sites in the lakebed zone of the Valley of Mexico (after Reinoso and Ordaz, 1999).

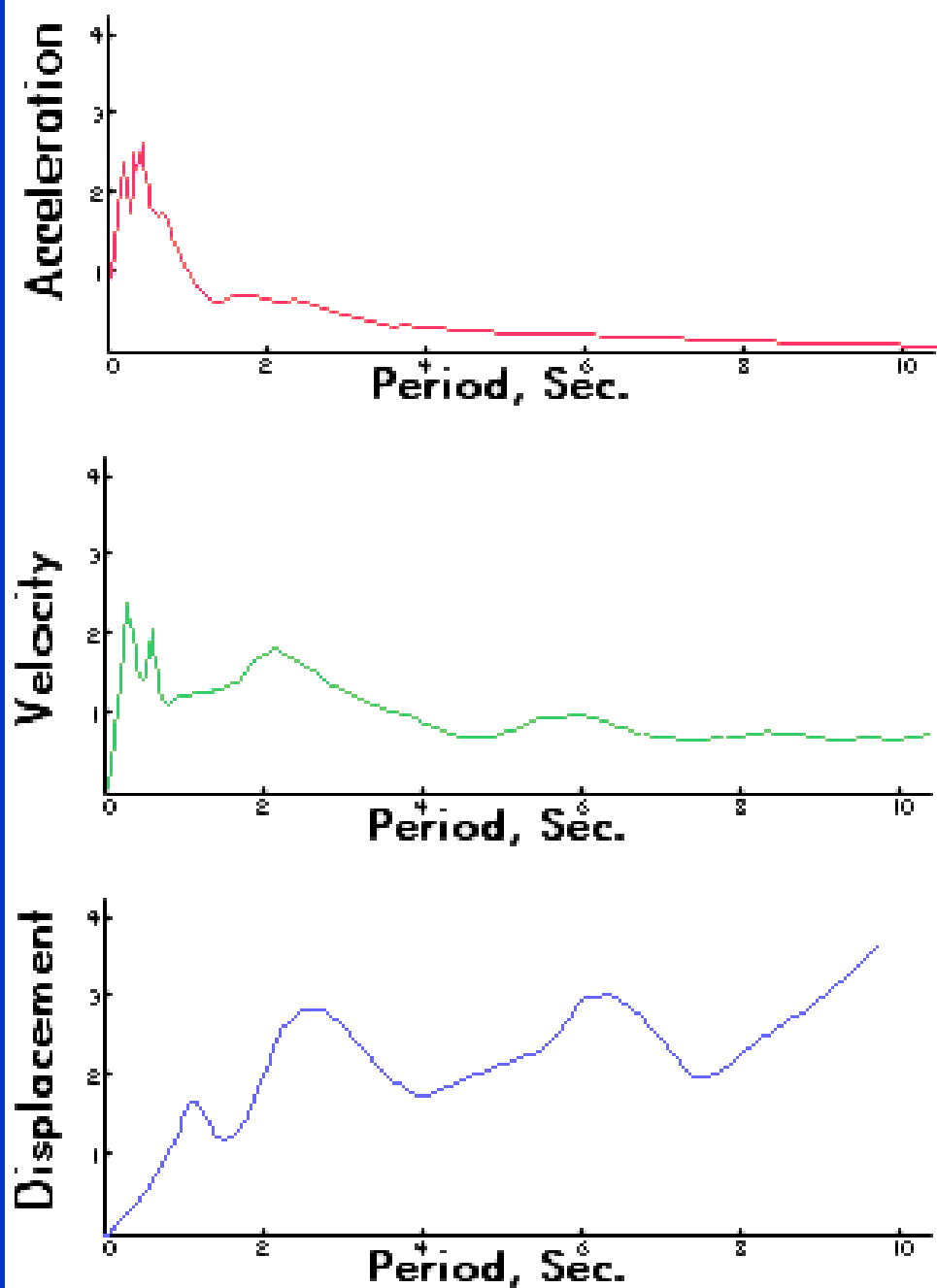


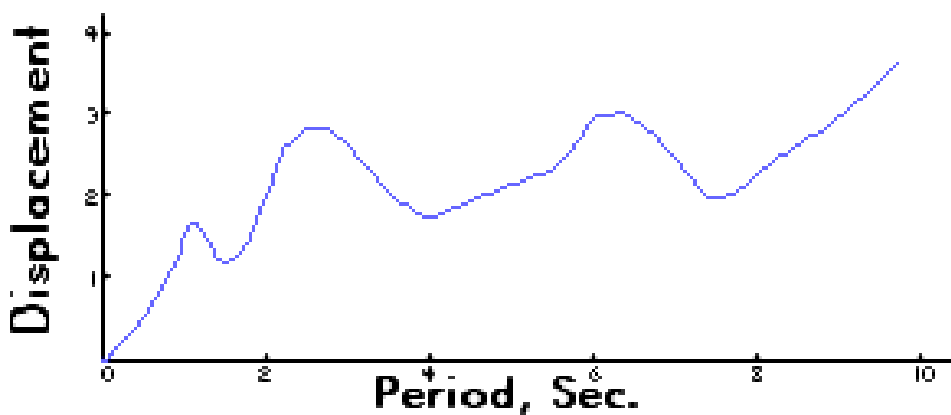
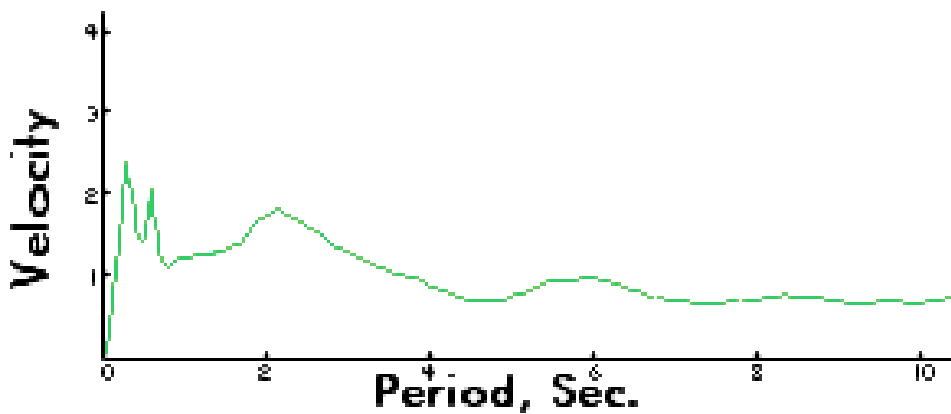
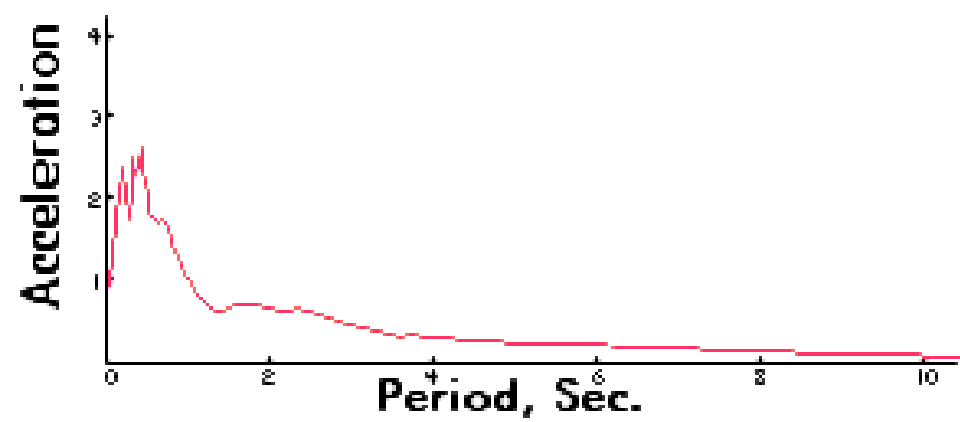
San Francisco şehir merkezinde yer hareketi büyütmesinin dağılımı. Yanda 1989 Loma prieta depreminde Marina District, San Francisco.



- ✓ Solda Yukarıya doğru yayılan sismik dalgaların yayılım yönü tabaka ara yüzeylerindeki düzensizlikler nedeniyle değişerek bazı noktalarda kesişebilir ya da bazı noktalardan uzaklaşabilir. Bilgisayar simülasyonu odaklanma etkisi 1.5 kat daha büyük genliğe neden olurken defocusing ile dalga genliği dalga yolu değişmeyen dalgaların $\frac{3}{4}$ 'üne inmektedir. Sağda San Fernando Vadisi'nin güney kenarının neden olduğu dalga odaklanması.

- ✓ Bir binanın bir deprem sırasında ne kadar miktarda ivmeye maruz kaldığı o binanın ne kadar hasar göreceğini belirlemede kritik bir faktördür. Yandaki şekildeki spektral ivmenin frekans içeriği ile nasıl bir ilişki içinde olduğunun kısmi göstergesidir.
- ✓ Bu şekilde binaların hangi frekansta en büyük ivmeye maruz kalacağı rezonans frekanslarının tespiti depremi dayanaklı inşada çok önemli bir aşamadır.





- ✓ Binaların hangi frekansta ne kadar ivmeye maruz kalacağını (tepki spektrumunun) ve en büyük ivmenin hangi frekansta olduğunu yani rezonans frekanslarının tespiti depreme dayanaklı inşada çok önemli bir aşamadır.
- ✓ Yandaki şekil tepki spektrumunun çok basit bir örneğini
- ✓ Bina periyodu uzadıkça ivme azalmakta yer değiştirme artmaktadır. Diğer taraftan kısa periyot salınımlı yani yüksek doğal frekanslı binalar daha yüksek ivmeye ve daha küçük yer değiştirmeye maruz kalırlar.

Yer ivmesi ve bina hasarları

- ✓ Göreceli olarak ele alırsak yerin ve binaların mutlak hareketleri büyük bir depremde bile çok büyük değildir. Yani binalar genellikle kendi boyutlarına göre büyük yer değiştirmelere maruz kalmazlar.
- ✓ Bu yüzden hasara yol açan yalnızca binanın yer değiştirdiği mesafe değildir. Çünkü binanın aniden hızlı bir şekilde yer değiştirmeye (ivmelenmeye) zorlanması daha önemli bir faktördür.
- ✓ Birinin ayaktayken ayaklarınızın altındaki kilimin çekildiğini düşünün. Eğer hızlıca çekerlerse (yani yüksek ivmeyle) dengenizin bozulması için kilimin fazla yer değiştirmesine ihtiyaç olmayacaktır. Diğer taraftan eğer kilim yavaşça ve çekme hızı az az artırılarak çekilirse dengeniz bozulmadan kilim çokça yer değiştirebilir. Dengeniz bozulmaz çünkü kilimin yer değiştirmesi büyük olmasına rağmen ivmesi küçüktür.

- ✓ 1985 Michoacan depreminde Mexico City’de yaşananlar bu olayın en vurucu örneğidir. Bu deprem sırasında Mexico City’de yıkılan bir çok bina 5-20 kat civarında yüksekliğe sahipti. Yani doğal frekansları 0.5-2.0Hz civarındaydı. Bu 20 katlı binaların salınım frekansı ile 1985 depremi yer hareketinin frekans içeriği uyuşarak rezonans oluşmuştur.
- ✓ Farklı yükseklik ve doğal salınım frekansına sahip diğer binalar hasar görmüş 20 katlı binaların yan tarafında olmalarına rağmen çoğunlukla hasar görmemiştir. N katlı bir yapının hakim salınım periyodu $N/10$ ’dur.

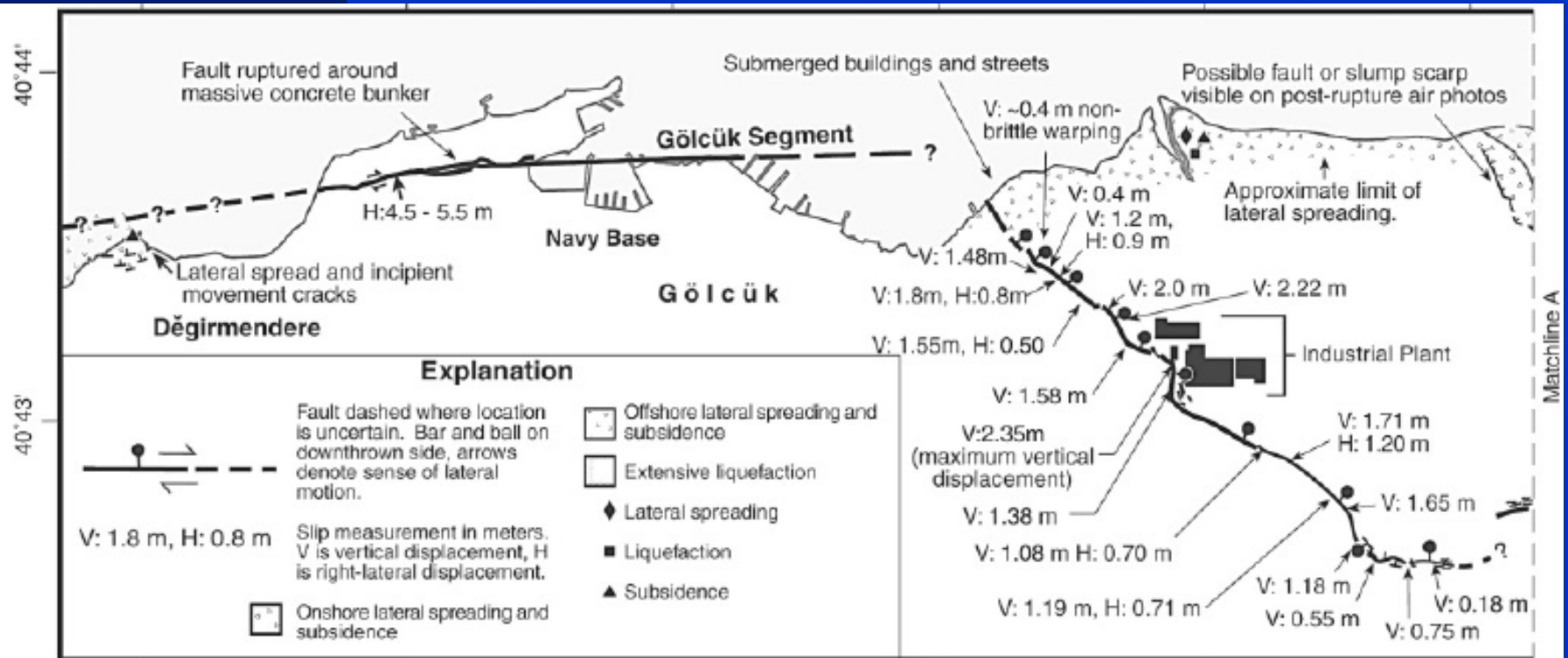
<u>Bina yüksekliği</u>	<u>Tipik doğal periyot</u>
2 kat	.2 seconds
5 story	.5 seconds
10 story	1.0 seconds
20 story	2.0 seconds
30 story	3.0 seconds

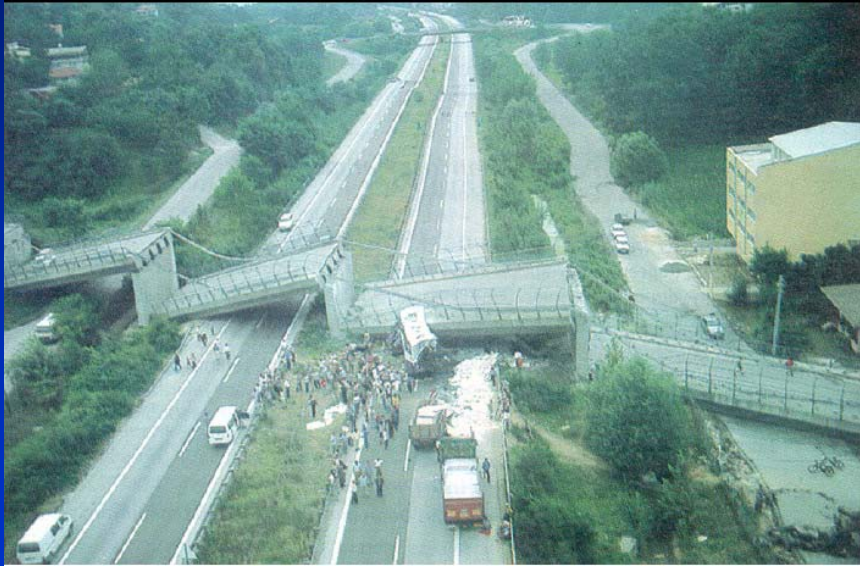
1985 (M 8.1) Mexico City Earthquake



- ✓ Eğer doğal salınım periyodu sismik dalgalarınıninkine yakınsa rezonans oluşur ve binanın sallanmasını artırır.

Yüzey kırığı



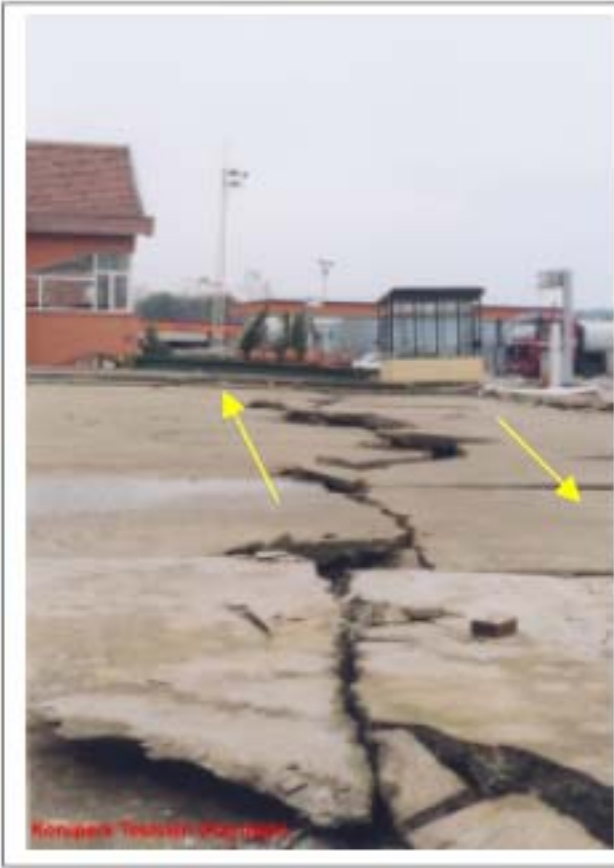


- ✓ Deprem dalgalarına hasarsız atlatacak sağlamlıktaki mühendislik yapıları altından yüzey kırığı geçmesi nedeniyle yıkılır ya da hasar görür.
- ✓ Üstte 1999 Düzce depremi Bolu Tüneli yaklaşım viyadüklerinin altından geçmiş ve hasar oluşturmuştur. Sağda 1999 izmit depreminde Arifiye otoyol üst geçidinin yıkılması.



✓ 1999 İzmit depremi yüzey kırığının etkilerine örnekler.





Şekil 6b. Korupark Dinlenme Tesisleri bahçesinde kademeli olarak gelişmiş ikincil yüzey kırıkları (Kaynaşlı).

Şekil 6c. Korupark Dinlenme Tesisleri'nde faylanma ve sıvılaşma sonucu yukarı kaldırılmış market binası (Kaynaşlı).

- 1999 Düzce depremi sonrası (Demirtaş vd., DAD Raporu).



Şekil 6j. Faylanma sonucu tamamen yıkılmış bir yapı (Karaçalı Mah.-Kaynaşlı).

Şekil 6k. 2 m sağ yanal olarak ötelenmiş İstanbul-Ankara Karayolu (Karaçalı Mah.-Kaynaşlı).

- 1999 Düzce depremi sonrası....



Şekil 5d. Fındıklı Köyü'nde 290 cm sağ yanal ötelenmiş bir yol ve bahçe çiti.



Şekil 5e. Fındıklı Köyü'nün 500 m doğusunda kademeli yüzey kırıkları.

1999 Düzce depremi sonrası, Fındıklı köyü (demirtaş vd. DAD Raporu).



- ✓ Gölyaka, Hacıyakup köyünde 1999 Düzce depremi yüzey kırığından görüntüler 2-3 m'lik düşey yer değiştirme görülmekte. Soldaki fotoda Prof. Dr. H.Koral. Yüksek Lisansta bu dersin benzerini ondan almıştım (fotolar: M.UTKUCU)

The survival of the pipeline in the Denali Fault earthquake was the result of careful engineering to meet stringent earthquake design specifications based on geologic studies done in the early 1970's by the U.S. Geological Survey, Woodward-Lundgren and Associates, and others in conjunction with the Alyeska Pipeline Service Company. Those studies located the Denali Fault within a 1,900-foot corridor crossing the pipeline route and estimated that the pipeline could be subjected to a magnitude 8.0 earthquake in which the ground might slip 20 feet horizontally and 5 feet vertically. These estimates proved to be remarkably accurate for the 2002 magnitude 7.9 earthquake, in which the rupture crossed the pipeline within the 1,900-foot corridor, and the fault shifted about 14 feet horizontally and 2.5 feet vertically.



Locality 3 on Map. Aerial view of the Trans-Alaska Pipeline and Richardson Highway, looking north. Rupture along the fault resulted in approximately 2.5 meters (8 feet) displacement of the highway, with the north side moving east relative to the south side. Photo by Patty Crow, DGGS.

- ✓ Yüzey kırığına karşı bilim ve mühendisliğin bir zaferi M=7.9, 2002 Denali (Alaska) depremi sırasında yaşanmıştır. Trans-Alaska petrol boru hattı Denali fayını geçtiği yüzey kırığından doğacak zararları azaltmak için fayın aşıldığı 650 m'lik koridorda oynak bir yapıda yapılmıştır. Deprem sırasında boru hattı altında yer hareket etmiş ve şiddetli sarsıntı boru hattının desteklerinden bir kaçına zarar vermiştir ancak hat kırılmamıştır. Proje 3 Milyon \$ mal olmuş ancak boru hattı kırılseydi tamiri ve çevre temizlik ile birlikte zararın 100 milyon \$'ı kat kat aşabilecekti.

Gelecek ders görüşmek üzere...

TEŞEKKÜRLER

Dr. Murat UTKUCU