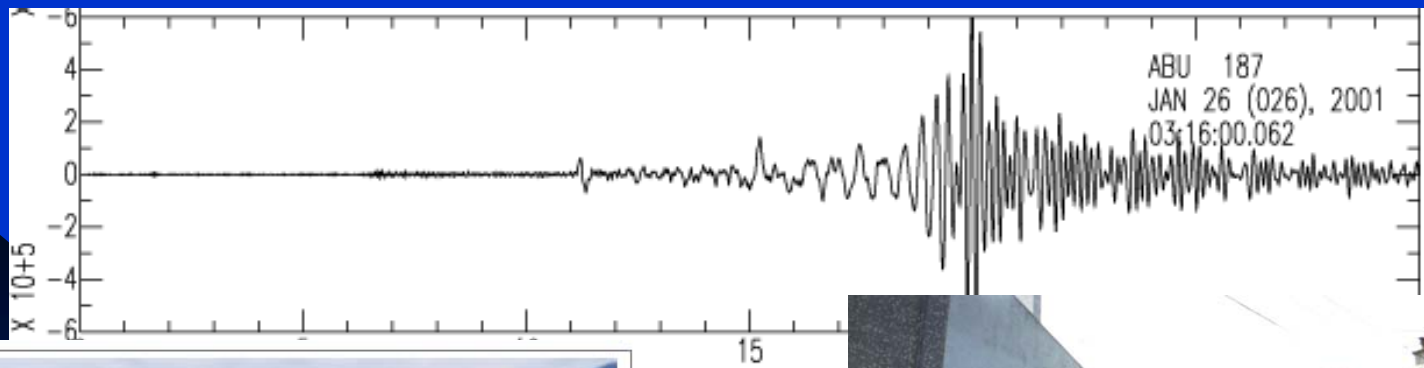




Şekil 5e. Fındıklı Köyü'nün 500 m doğusunda kademeli yüzey kırıkları.



Depremle Yaşamak (SAU004)

Doç. Dr. Murat UTKUCU

Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

2. DEPREMLER ve DEPREM BİLİM (SİSMOLOJİ)

2.1. Deprem Bilim (Sismoloji)

- ✓ Depremler “Sismoloji (Deprem Bilim)”adı verilen bilim dalının konusunu oluştururlar.
- ✓ Sismoloji, depremleri, depremlerin oluşturdukları dalgaları ve bu dalgaların içinden geçtikleri ortamların özelliklerini inceleyen ve deprem tehlikesini belirleme ve azaltılması uğraşını veren bir bilim dalıdır.
- ✓ Modern haliyle sismoloji yaklaşık 130 yıllık bir geçmişe sahiptir.
- ✓ İlk medeniyetlerde depremlerle ilgili görüş diğer doğal afetlerle aynıydı. “Depremler ilahi azabın bir göstergesiydi”.Bu görüş Avrupa’da 18nci yüzyıl içinde bile ortadan kalkmamıştı.
- ✓ Ancak, modern öncesi iki medeniyet, Çinliler ve Yunanlılar deprem yer sarsıntısı için doğa temelli açıklamalar yapmışlardır.

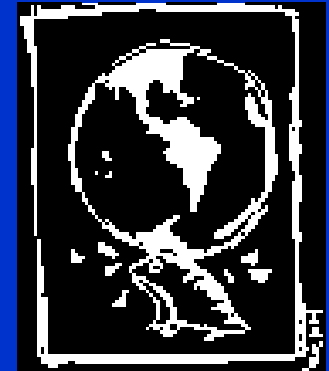
- -1800 Erken dönem
- 1800-1880 Profesyonel bilim dönemi
- 1880-1920 Yeni Sismoloji dönemi
- 1920-1960 Klasik dönem
- 1960- Modern dönem

- ✓ En etkili görüş, Aristo'nun (MÖ 320 civarında) depremlerin yer altı boşluklarında esen rüzgarlar kaynaklı olduğu görüşüydü.
- ✓ Yaklaşık aynı tarihlerde Çin'de yer sarsıntısının “gizli öz” (qi) ün engellenmesi nedeni ile oluştuğunu görüşü hakimdi.
- ✓ Han hanedanlığı imparatorluk devlet erkanı, doğal olayları imparatorluğun gerilemesiyle ilişkilendirmiştir. Bu görüş o dönemdeki deprem olaylarının sistematik bir şekilde resmi kayıtlara geçirilmesine yol açmıştır.

Eski görüşler ve efsaneler

Depremler oluşur :

- ✓ Yer'i taşıyan 8 filden biri yorulduğunda (Hindu)
- ✓ Yer'i taşıyan kurbağa hareket ettiğinde (Moğol)
- ✓ Başında yaşadığımız dev hapşırdığında ya da kaşındığında (Afrika)



Eski görüşler ve efsaneler

Depremeler oluşur :

✓Yer'i destekleyen ve okyanusa batmasına engel olan Namazu adlı dev kedi balığına bakan Tanrı Kashima'nın dikkati zayıfladığında ve Namazu hareket ettiğinde (Japonya)

✓ Tanrı Maimas Peru'daki nüfusu saymaya karar verdiğinde sert adımıyla Yer'i sarstığında... Ardından, yerliler yaşadıkları evlerden koşarak çıkarak "buradayım, buradayım" diye haykırır.



- ✓ Çin teknolojisi Zhang Heng ile ilk sismoskopu geliştirmiştir (MS 132). Meşhur bu alet sarsıntının varlığının yanısıra depremin yönünü de haber veriyordu.

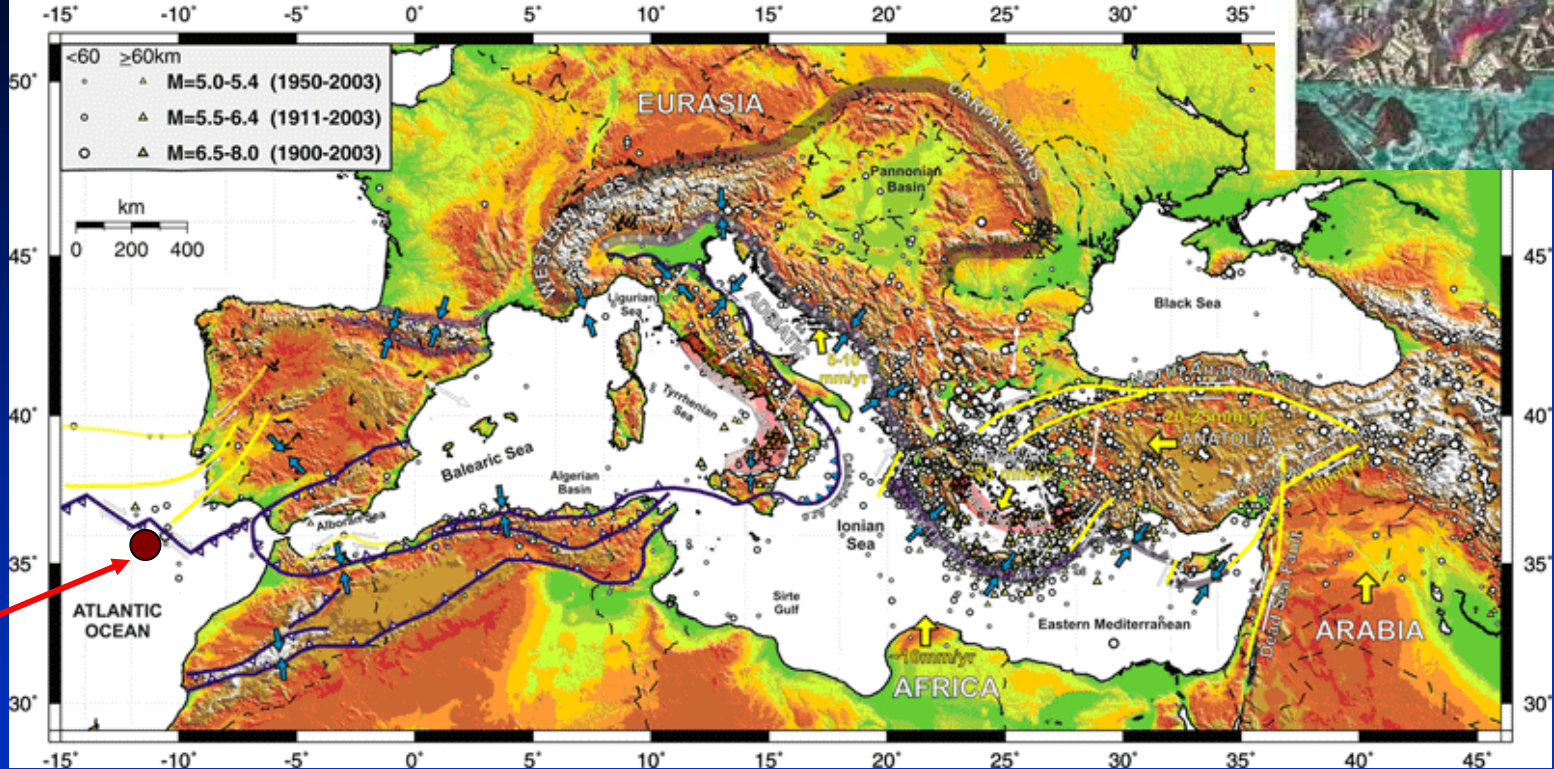
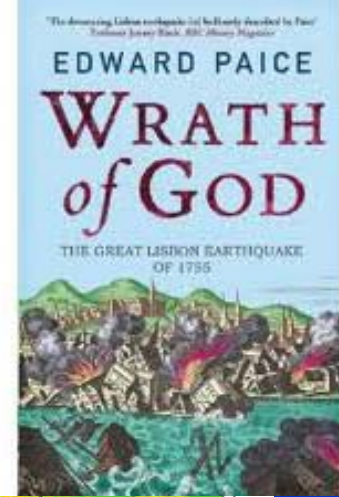


- ✓ Vazonun depremle hareketi ile üstteki ejderha ağzındaki top kurtularak aşağıda ağzını açmış bekleyen kurbağanın ağzına düşmektedir. Eğer top doğu-batı doğrultusundaki ejderhaların ağzından düşmüşse deprem dalgalarının ya doğudan ya da batıdan geldiği anlaşılmaktaydı.

- ✓ Depremler için Aristo görüşü (Yer ile ilgili diğer hususlar gibi) İslam dünyasında ve Avrupa'da orta çağ boyunca önde giden bir teori olmuştur.
- ✓ Barutun bulunması ile birlikte Aristo görüşü yavaş yavaş terk edilmeye başlanmış ve depremlerin Yer içindeki kimyasal patlamalar olabileceği düşünülmüştür.
- ✓ En popüler teori de pirit yanması ya da demirin sülfürle reaksiyonu olmuştur. Bu tür teoriler volkanik aktiviteyi de açıklamıştır.
- ✓ 18nci yüzyılda elektrik teorisindeki gelişmeler ve şimşeklere uygulanmaları depremlerin elektrik boşalımları olabileceği teorilerini ortaya çıkarmıştır.
- ✓ Sismolojik düşünmeye en büyük katkıyı yıkıcılığı ve uzak mesafelerdeki harekete sağladığı kanıtla 1755 Lizbon depremi yapmıştır.

Bir musibet bin nasihatten daha iyidir.

1755 Lisbon Depremi



1755 Lisbon Depremi

- ✓ Büyük Lisbon depremi olarak da bilinen 1755 Lisbon depremi bir Cumartesi günü sabah 9:40 civarında Atlantik Okyanusunda meydana gelmiş ve o zamanki adıyla Portekiz Krallığı'nın başkentini etkilemiştir.

- ✓ Hesaplamalar, sadece o zaman 200.000 nüfuslu Lisbon'da ölü sayısının 10,000 ile 100,000 arasında, büyük olasılıkla 30.000-40.000 civarında olduğuna işaret etmektedir. Tarihteki en ölümcül depremlerden biri...Binaların %85i yıkılmış veya yanmıştır.
- ✓ Fas'ta ölü sayısı 10.000 civarında olabilir.
- ✓ Günümüz çalışmaları depremin 3.5–6 dakika arasında sürdüğünü ve Lisbon şehir merkezinde 5 m genişliğinde devasa çatlaklara yol açtığını ifade etmektedir.
- ✓ Depremin 40 dk sonrasında dev tsunami dalgaları limanı ve şehir merkezini su altında bırakmış ve Tagus nehri boyunca ilerlemiştir.
- ✓ Kuzey Afrika kıyılarında tsunami dalga yüksekliği 20 m'yi bulmuş Atlantik aşırı kıyılar da etkilemiştir. 3m yüksekliğinde tsunami güney İngiltere'de Cornwall ve İrlanda'nın batı kıyılarında Galway'yi vurmuştur.
- ✓ Deprem, Krallıkta siyasi gerilimleri arttırmış ve sömürgecilik hırsını derin bir şekilde etkileyerek söndürmüştür.



- ✓ Depremi neden olduğu tsunami ve yangın Lisbon şehri ve bitişindeki yerleşimleri nerdeyse tamamen yıkmıştır.
- ✓ Sismologlar, günümüzde bu depremin büyüklüğünü $M_w=8.5-9.0$ aralığında hesaplamaktadırlar.





- *The Ruins of Lisbon.* Survivors lived in tents on the outskirts of the city after the earthquake, as shown in this fanciful 1755 German engraving. As a warning against looting, King Joseph I of Portugal ordered gallows to be constructed in several parts of the city



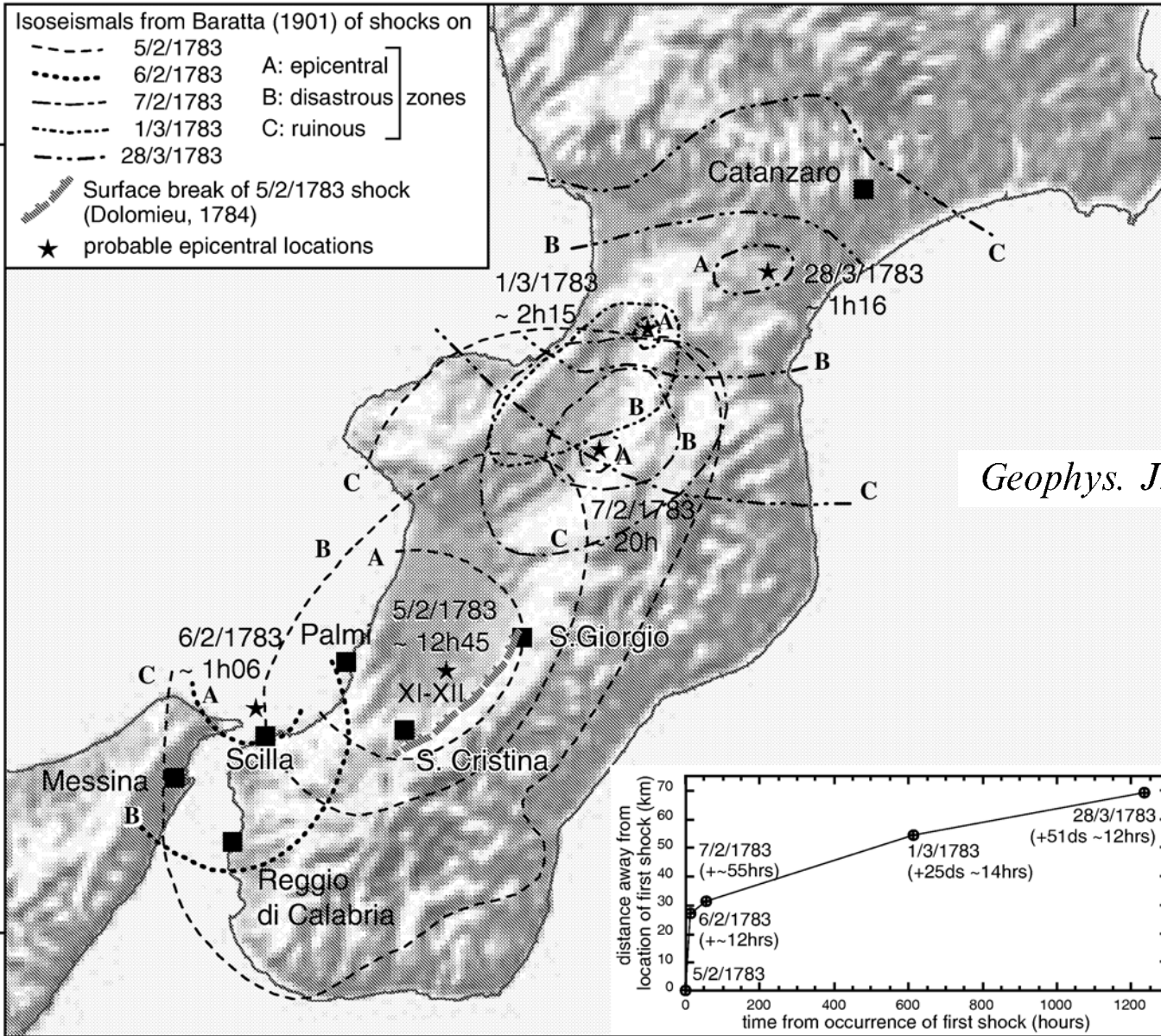
- Executions in the aftermath of the Lisbon earthquake. At least 34 looters were hanged in the chaotic aftermath of the disaster. As a warning against looting, King Joseph I of Portugal ordered gallows to be constructed in several parts of the city..

Relief and reconstruction efforts

- ✓ Geniş alanlardaki etkisiyle bilimsel olarak çalışılan ilk deprem olduğundan günümüz modern sismoloji biliminin doğmasına yol açmıştır.

- ✓ J. Michell (1761) ve J. Drijhout (1765) uzak mesafelerdeki hareketlere belli bir noktadan yayılan bir dalganın yol açtığını önermişlerdir.
- ✓ Titreşimler, elastik kayaçlardaki yayılan bu dalga ile ilişkiliydi. Depremleri oluşturan kuvvete yer altındaki ateşle ani kontakten dolayı buharlaşan su neden olmuş olabilir.
- ✓ 19ncu yüz yılda bilimdeki yayılma ve profesyonelleşme, en azından birkaç bilim adamının akademik kariyerlerinin bir kısmı için deprem çalışmalarında uzmanlaşabilecekleri anlamına geliyordu.
- ✓ Bu dönemde başlayan araştırma türlerinden biri büyük hacimlerle veri toplanıp biriktirilmesi idi. Deprem çalışmaları için bunun manası ilk sistematik deprem kataloglarının oluşturulması idi.
- ✓ Bu konuda öncüler K.A. Von Hoff ve A. Perrey idi. Bu ilk kataloglar depremlerle astronomik döngüler ve meteorolojik olaylar arasında bir korelasyon olup olmadığının araştırılmasında kullanılmış ve 19ncu yüzyıldaki ana deprem çalışması temasını oluşturmuştur.

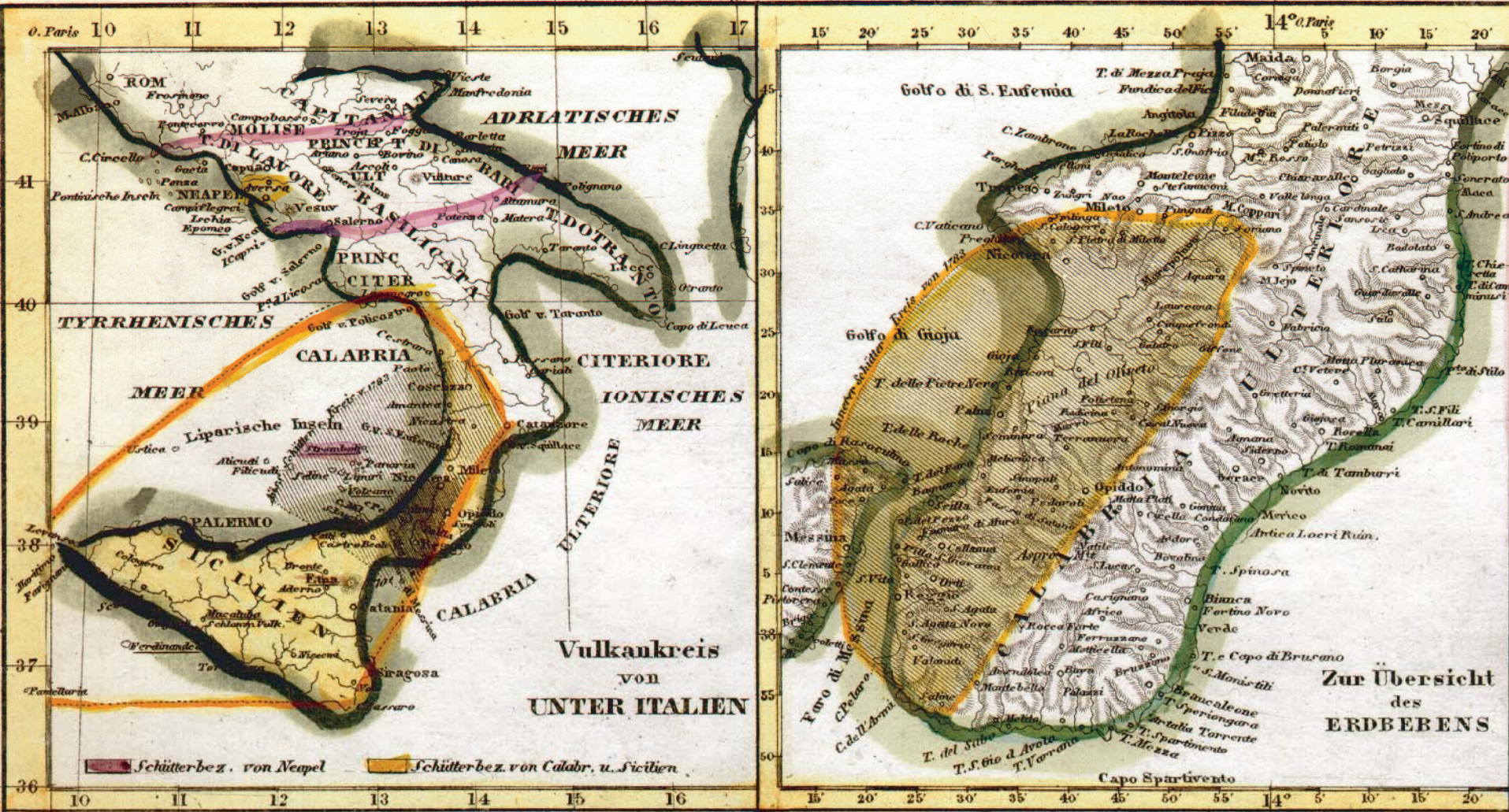
39°



E. Jacques et al.

Geophys. J. Int. (2001) **147**, 499–516

Figure 3. Mesoseismal areas of the five principal shocks of the 1783 earthquake sequence (after Baratta 1901). Stars correspond to probable epicentral locations. Curves corresponding to approximate limits of epicentral (A), disastrous (B) and ruinous (C) zones, as defined by Baratta, are shown. Inset shows distance away from location of first shock as a function of time from occurrence of first shock.



■ J. Kozák and V. Čermák, *The Illustrated History of Natural Disasters*,



Cathedral of Messina, the front nave of which was completely destroyed and the nearby campanile torn down. Illustration from the atlasbook Sarconi (1784). Print copy courtesy of C. Margottini, Rome. Copy in a private collection, Prague



“Vue de l’optique” composition prepared for a wall projection. The upper picture shows the Messina town destroyed by the 1783 earthquake. The lower picture illustrates the town of Reggio di Calabria in the Messina Strait. Hand colored copper engravings, German print of the mid 1780s. Private collection, Prague



■ J. Kozák and V. Čermák, *The Illustrated History of Natural Disasters*,

16.10.2012

Dr. Murat UTKUCU, SAÜ-Jeofizik

16

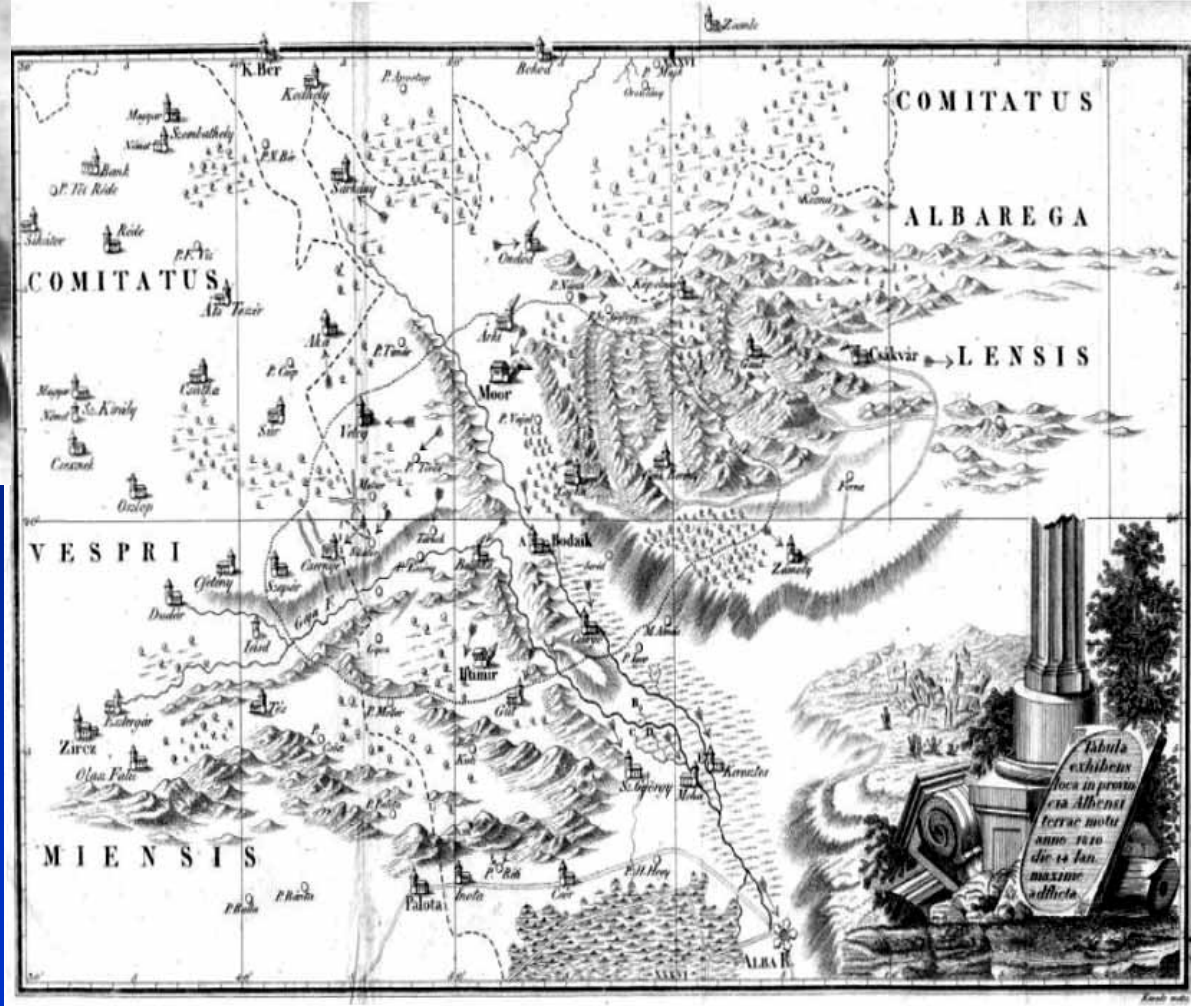


Fig. 102 “*Calabrian peasants swallowed in crevasses during the 1783 earthquake*”. Xylographic illustration of 1869. Private collection, Prague

- İlk şiddet haritası P.Kitaibel ve A. Tomcsanyi tarafından 18 Ocak 1810 Mor depremi (Macaristan) için 1814'de hazırlanmıştır.



P Kitaibel (1757–1817)



1810 Mor depremi eşşiddet haritası (ikinci versiyonu)

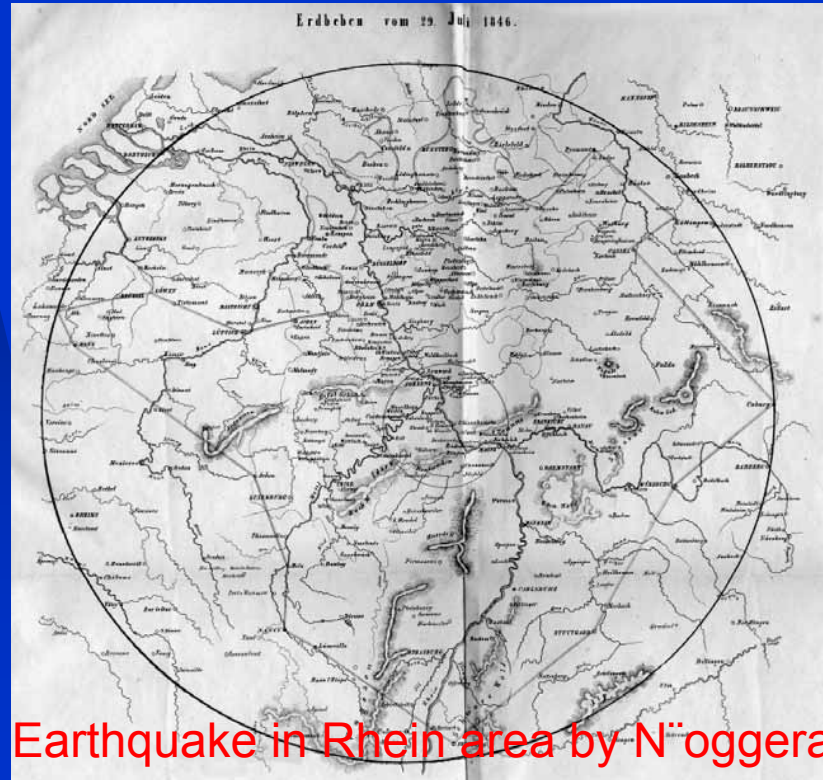


A Tomcs'anyi (1755–1831)

- ✓ 1828 de P. Egen ilk ayrıntılı şiddet ölçeğini geliştirmiştir. Bunu bir çok diğeri ve özellikle M. de Rossi -F. Forel ve G. Mercalli ölçekleri izlemiştir. Rossi-Forel ölçeği ilk yaygın kullanılan ve standardize şiddet ölçeği olmuştur.
- ✓ Eşşiddet eğrilerini (isolines) içeren ilk şiddet haritası da 1847 yılında J. Nöggerath tarafından 1846 Rhine depremi için yapılmıştır.



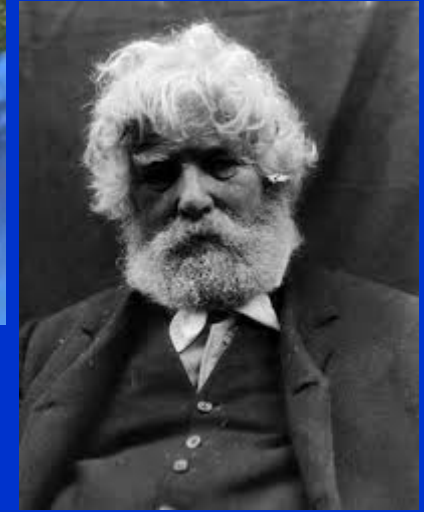
J J Nöggerath (1788-1877)



Isoseismal map of the Earthquake in Rhein area by Nöggerath

Acta Geod. Geoph. Hung. 43, 2008

- ✓ Bu dönemde depremleri jeolojik süreçlerle ilişkilendirme gayretleri de göze çarpar. C.Lyell bu konuda önde gelen bilim adamlarından olmuş ve depremlerin yer yüzünde geniş alanlarda düşey yer değiştirmelere yol açtığını 1822 ve 1835 Şili ve diğer bazı büyük deprem örnekleri üzerinden göstermiştir.
- ✓ 1888 yılında A. McKay (Yeni Zelanda da North Canterbury depreminde) ve 1891 yılında B. Koto (Japonya'da Nobi depreminde) yüzey kırıklarını ilk olarak gözlemlemiş ve bu kırıkları söz konusu depremlerle ilişkilendirmişlerdir. Bu ilişki 1906 San Francisco depremi ile kesinleşmiştir.



Alexander McKay 1841-1917

- ✓ 1888 North Canterbury depremi Hope fayın üzerinde bu çitten ölçülen haliyle 2.6 m yatay yerdeğiştirmeye neden olmuştur (solda). Bu foto bir depremce bir fay üzerinde neden olunan yatay yer değiştirmeyi gösteren ilk fotodur. Daha önce bilinen fay hareketleri düşey olduğundan, McKay yatay fay hareketini belgeleyen ilk kişidir.

- ✓ 1868'de Japonya'da başlayan ıslahat hareketlerine bağlı olarak depremlerin etkin olduğu ülkede modern bilim oluşumları da başlamıştır. Japon hkmeti fiziğin ve mühendisliğin en son yöntemlerine hakim yabancı uzmanları ülkeye getirmiştir.
- ✓ Bunlar arasında ingiliz sismolog John Milne de vardı. 1876 da Japonya'ya gelen Milne, 1880 yılında oluşan bir depremin ardından sismolojiyi kendi ana araştırma konusu yapmıştır. Japon Sismoloji Birliği'ni kurmuş ve başkanı olmuştur.
- ✓ Düzenli deprem raporlarıyla Japon Meteoroloji Ajansı bu organizasyona paralel gayretler göstermiş ve 1886'da S.Sekiya dünyanın ilk sismoloji profesörü olmuştur.
- ✓ Düzenli deprem raporları Sekiya'nın halefi F. Omorinin artcı depremlerin azalım ilişkisini 1891 Nobi depremi verilerinden ortaya koymasına yol açmıştır.

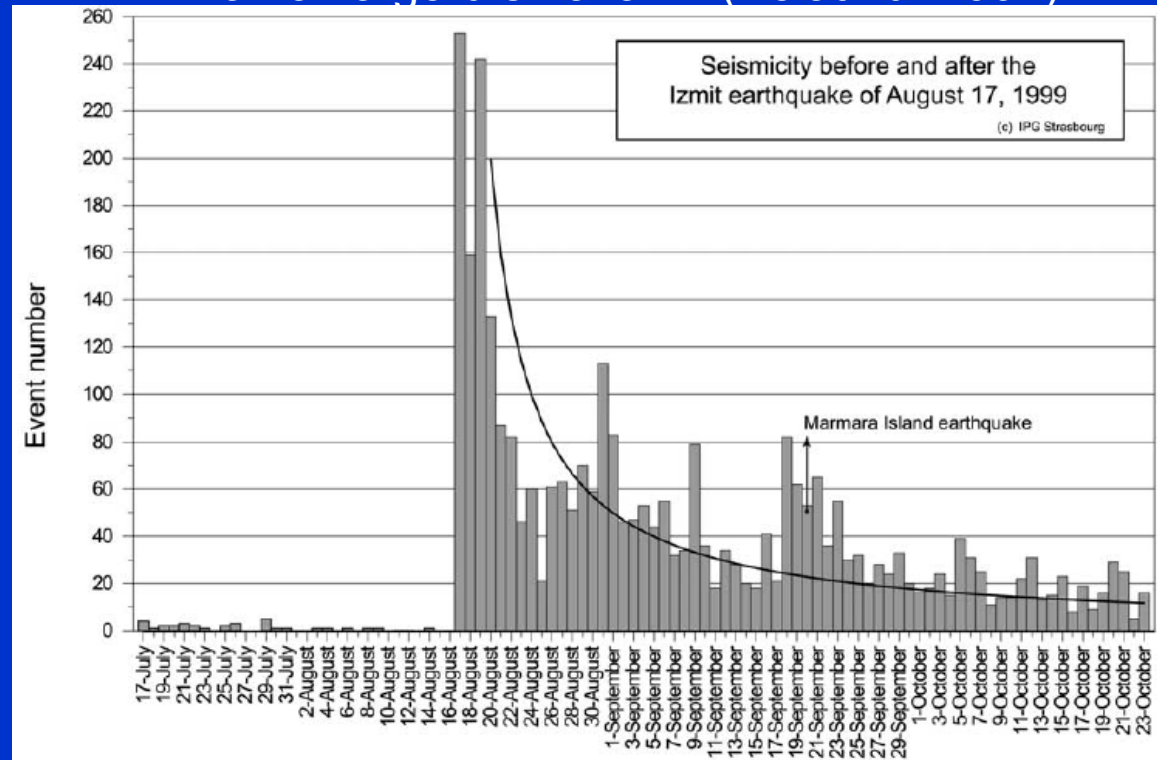
John Milne



Artçı depremler (aftershocks):

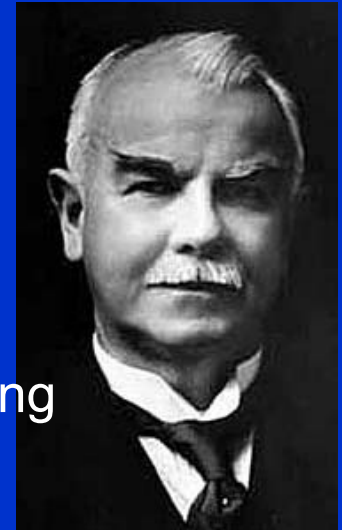
- ✓ Bir deprem silsilesinde anaşok sonrasında meydana gelen ve anaşok kırılma zonunu örten veya yakınında odaklanan küçük depremlerdir.
- ✓ Artçı depremlerin zamanla azalımı yaklaşık hiperboliktir.
- ✓ Önemli büyüklükteki depremler sonrasında sayıları bazen binlerle ifade edilen ve hızla azalan ve yıllarca sürebilen artçı deprem etkinlikleri gözlenir.
- ✓ Genellikle en büyük artçı deprem magnitüdü anaşoktan bir birimden daha fazla olacak şekilde küçüktür.

1999 İzmit depreminin artçı deprem sayısında zamanla görülen azalım (Polat vd. 2002).



- ✓ Yabancı bilim adamları 1880 öncesinde bile yer sarsıntısının zaman evrimini kayıt etme girişimlerinde bulunmuştur. Bu konuda Tokyo Üniversitesinden J.A. Ewing ve J.Milne rekabet halinde bulunmuştur..
- ✓ Ewing 1880-1881 yıllarında yer hareketinin iyi kaydını alan yatay sarkaç temelli bir alet geliştirmiştir (ilk sismograf). Kayıtlar karmaşıktı ve basit birkaç pulstan ibaret olmayıp depremin tek eksenli bir hareket olmadığını da gösteriyordu...
- ✓ Böylece sismologların yüzleştiği en önemli problem yani yer hareketi kaydının yorumlanması ve ne kadarının deprem kaynaklı ne kadarının içinden geçtiği ortam kaynaklı olduğu problemi sismolojinin merkezine yerleşmiştir.
- ✓ Milne depremi ilk kaydeden olmayabilir. Ancak, kısa zamanda öncü sismolog haline gelmiş ve sismograflarla düzenli kayıtlar alınması gerekliliğine vurgu yapmıştır.

James Alfred Ewing



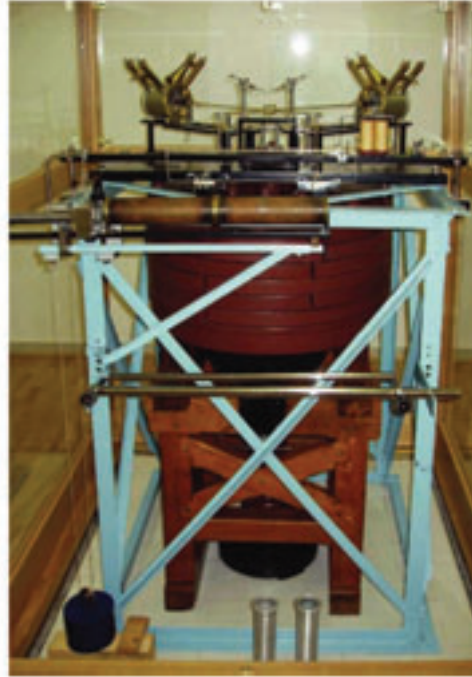
- ✓ Sismografin icadı ve bu düzenli kayıt alma gerekliliğinin anlaşılması Modern sismoloji dönemini başlatmıştır. Ancak aletsel gelişmeler yerel depremlerin düzenli kayıt altına alınması amacına yönelikti.
- Almanya'da, E. von Rebeur-Paschwitz adlı bilim adamı, astronomik gözlem amaçlı olarak gel-git kaynaklı tiltleri ölçmek için duyarlı bir yatay sarkaç temelli alet yapmıştı.
- Bu aletin aldığı kayıtlar geçici hareketlerin varlığını göstermiş ve bu hareketlerden birinin 18 Nisan 1889 Japonya depremi ile eşleştiğini belirlemiştir.

- Bu gözlem, deprem kaynaklı elastik dalgaların çok uzaklarda kayıt edilebileceğini gösteriyordu. Böylece, İtalya'da G. Agamemnone ve A. Cancani, ve Japonyada Omori ve Milne uzak depremlerin kayıt edilmesi için sismograflar geliştirilmesi için çalışmalar yaptılar.

Omori seismograph (Kamigamo)



Wiechert seismograph



Omori

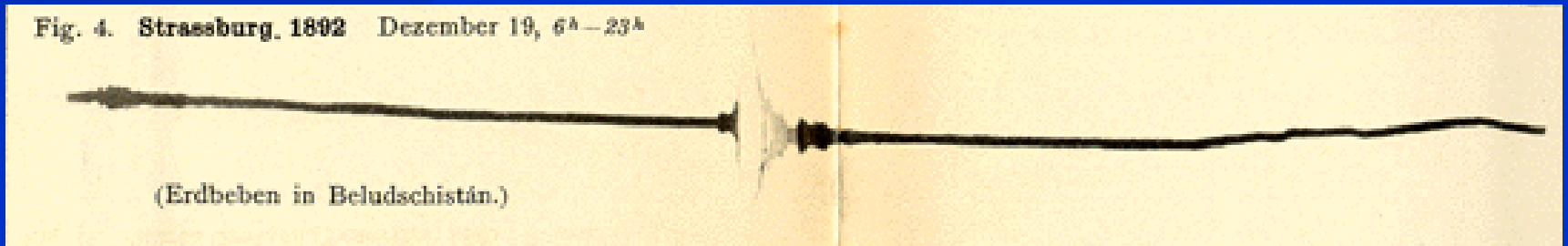
Wiechert

Figure C1. (a) Professors Fusakichi Omori and Emil Wiechert at the occasion of the Internationale Seismologische Konferenz held in Strassburg, April 11–13, 1901 (Kozák (2001), with permission). (b) Omori seismograph (horizontal) and Wiechert seismograph (horizontal).

Hiroo Kanamori,¹ Luis Rivera² and William H. K. Lee³

Dr. Murat UTKUCU, SAÜ-Jeofizik, *Geophys. J. Int.* (2010) 183, 358–374

- 1895'de İngiltere'ye dönen Milne, küresel sismoloji için azim göstermiş ve aynı yıl von Rebeur-Paschwitz ile birlikte küresel bir deprem kayıt ağı önermiştir.
- Ancak, bu öneriyi somutlaştırma işi asıl olarak Milne düşmüş ve ilk küresel sismograf ağı İngiltere ve sömürgeleri topraklarında kurulmuştur.
- Ancak, Milne'nin kurduğu ağıdaki sismograflar küçük depremleri algılamasına rağmen dalgalarını ayrıntılı kaydedemiyor ve bu durum ağın küresel amaçlarına uygun düşmüyordu.
- Bu zorluk sismolojik araştırmalar yönelmiş iki fizikçinin (W.Wiechert ve B.B. Golicyn) geliştirdiği simografların ortaya koyduğu devrim niteliğindeki ilerleme ile aşılmıştır.



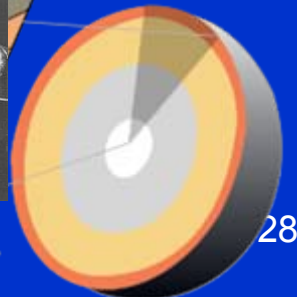
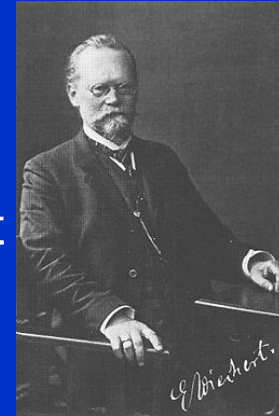
- Artık sismologları yeni bir sorunla yüzleşecelerdi.: Depremkayıtlarında gözledikleri farklı dalga fazlarını belirlemek ve bu fazları Yer içinde yayılan farklı dalgalarla ilişkilendirmek.
- Yer'in iç yapısı diri bir araştırma konusu haline gelmişti. Yer'in içine doğru sıcaklığın ve yoğunluğun arttığı biliniyordu. Ancak hangi kısmın katı veya sıvı (hatta gaz olduğu) tartışma konusuydu.
- 1904 yılında Uluslar arası Sismoloji Birliği uluslar arası işbirliğini geliştirme maksadıyla kurulmuş ancak varlığı 1nci dünya savaşı ile sona ermiştir.
- 1922 yılında tekrar kurulduğunda International Seismological Summary (ISS) adıyla bilinen bültenler küresel sismoloji için önemli katkılarda bulunmuştur. Artık küresel çapta toplanan veriler kişisel çalışan araştırmacılara açık hale gelmiştir.
- ✓ Richard Dixon Oldham (1858- 1936) bu ilk kayıtlardan yararlanarak 1906 yılında dünyanın tam zıt tarafında meydana gelen ikincil “*enine dalgaların*” Yer'in çekirdeğinden geçerken yavaşladığını açıklamıştır

- ✓ Demir-nikel karışımı bir yer çekirdeğinin varlığını ileri süren Jeofizikçi Emil Wiechert'in (1861-1928) öğrencisi olan Beno Gutenberg (1889-1960) 1909 yılında çekirdeğin çapını deprem dalgalarından 7000 km olarak bulunmuştur. Wiechert concluded from the difference between the density of surface rocks and that of the mean density that the Earth has a heavy iron core. His ideas in these 1896 and 1897 publication were of a hypothetical character <http://verplant.org/history-geophysics/Wiechert.htm>
- ✓ Wiechert Yer'in içinin içiçe geçmiş bir seri kabuktan oluştuğunu ilk öne süren Jeofizikçidir. Sismik dalgaların Yer içinde nasıl yayıldığına dair makaleler yazmış ve yapay deprem dalgalarının kullanılarak sığ incelemelerin yapılabileceği özel bir sismograf geliştirmiş ve arama jeofiziğinin şekillenmesinde rol oynamıştır
- ✓ Aynı yıl Yugoslav Jeofizikçi Andrija Mohorovicic (1857-1936) yerel deprem kayıtlarını kullanarak kabuk ve manto tabakaları arasındaki süreksizliği açıkladı.

Mohorovicic



Wiechert



- ✓ **Beno Gutenberg** (1889–1960) bilime önemli katkılarda bulunmuş bir Alman-Amerikan sismologuydu. Almanya'da doğmuş, Göttingen üniversitesinde Emil Wiechert danışmanlığında doktorasını Fizik'de yapmıştır.
- ✓ 1928'de hocası Wiechert'in ölümüyle boşalan pozisyona talip olmuş ancak muhtemelen yahudi asıllı olduğundan kabul edilmemiştir. Kadro bulma ümidini kaybedince California Institute of Technology (Caltech)'de Jeofizik profesörlüğü kadrosu bulmuştur.
- ✓ Caltech'de meşhur sismolog Charles Francis Richter'e hem akıl hocalığı yapmış hem de birlikte araştırmalar yapmışlardır.
- ✓ Bu birliktelik Caltech'i dünya çapında önde gelen bir sismoloji enstitüsü yapmıştır. Beraberce, deprem magnitüd ölçeğini, magnitüd-enerji bağıntısını ve Gutenberg-Richter bağıntısı olarak bilinen deprem istatistiğinin temel bağıntısını geliştirmişlerdir.

Beno Gutenberg



Caltech Seismological Laboratory - Windows Internet Explorer

http://www.seismolab.caltech.edu/ Caltech Seismology

Dosya Düzen Görünüm Sık Kullanılanlar Araçlar Yardım

Türk3

Caltech Seismological Laboratory

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY Search site...

Seismological Laboratory
Division of Geological and Planetary Sciences

Home Recent Quakes Earthquake Information Research Education People Facilities Seminars Seismo Life News Contact

About Us

Caltech's Seismological Laboratory, an arm of the Division of Geological and Planetary Sciences (GPS), was established in 1921. It has a distinguished history of leadership in science and serving the public interest. Internationally recognized for excellence in geophysical research and academics while also having outstanding facilities in seismic networks, high performance computing, and mineral physics, makes the Seismo Lab an ideal place for study and research. The Lab serves as a focal point for earthquake information in Southern California and the world.

Spotlight

 **Mark Simons, Professor of Geophysics**

Mark's research focuses on combining geodetic observations with geodynamic models to understand the mechanics of the lithosphere and upper mantle. Currently, he primarily focuses on seismic, aseismic, and volcanic processes as constrained by interferometric radar and

RECENT LOCAL EARTHQUAKES

[Magnitude 3.82 NNW from Stovepipe Wells, CA 2010/09/30 03:17:02](#)

[Magnitude 4.37 NNW from Stovepipe Wells, CA 2010/09/30 01:37:37](#)

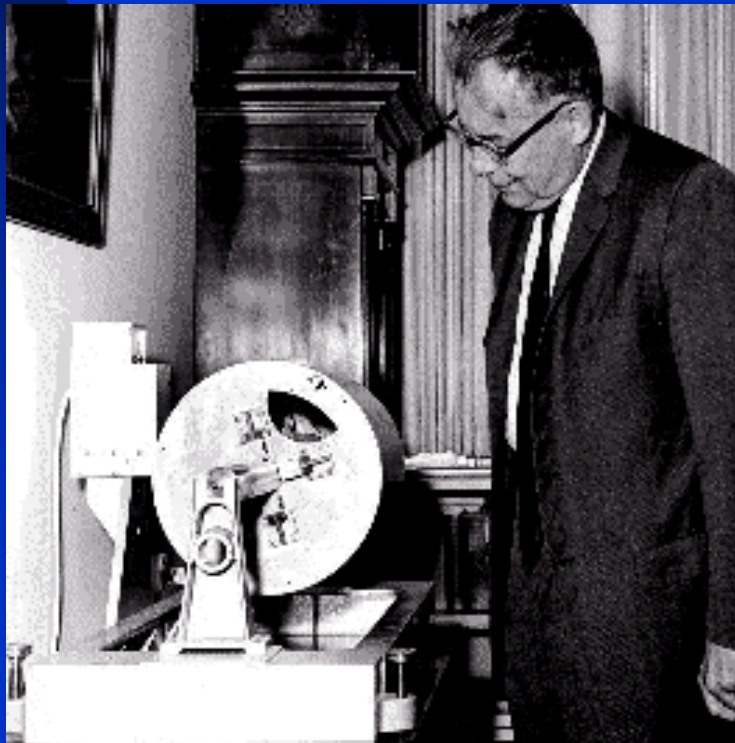
[Magnitude 3.71 S from Calexico, CA 2010/09/25 23:18:04](#)

 [About Recent Quakes](#)

Disclaimer: Local earthquakes of less than magnitude 4.0 will not have a corresponding shake map due to increased activity generated by the magnitude 7.2 El Niño-Southern Oscillation on April 4, 2010.

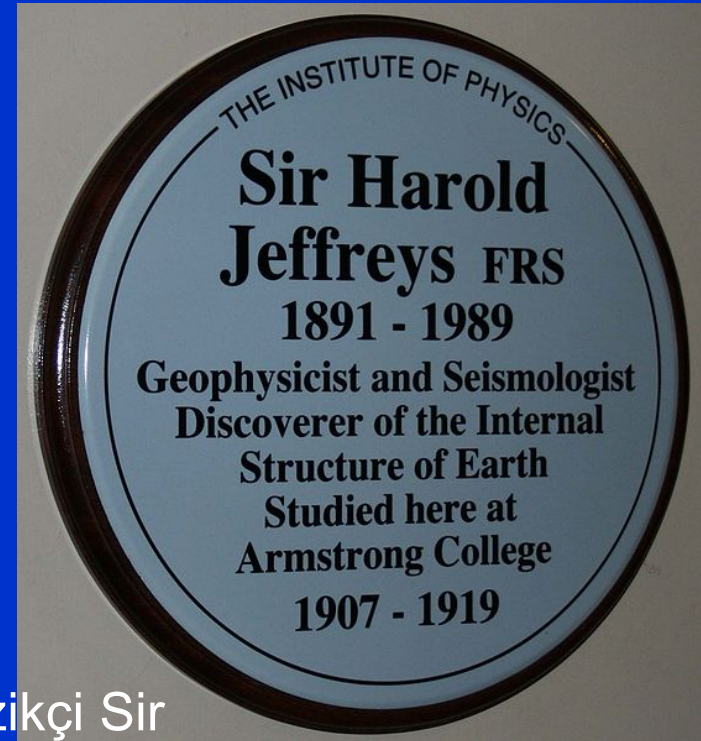
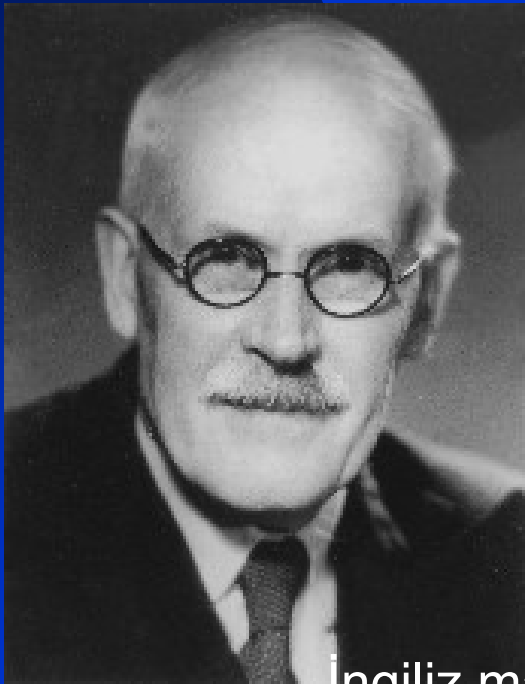
- “Caltech Sismoloji Lab” sismolojinin babalarının çalıştığı bir enstitüdür. Resimde Frank Press, Beno Gutenberg, Hugo Benioff ve Charles Richter.

- ✓ Charles Francis Richter (1900–1985) Amerikalı bir sismolog ve fizikçidir. Teorik fizik üzerine doktorasını yapmış ve daha sonra sismolojik çalışmalara merak salarak Beno Gutenberg direktörlüğündeki Caltech Sismoloji laboratuvarında çalışmaya başlamıştır.
- ✓ 1932'de Richter ve Gutenberg depremlerin göreceli büyüklüğünü belirlemede bir magnitud ölçeği geliştirmiştir.



Charles Richter

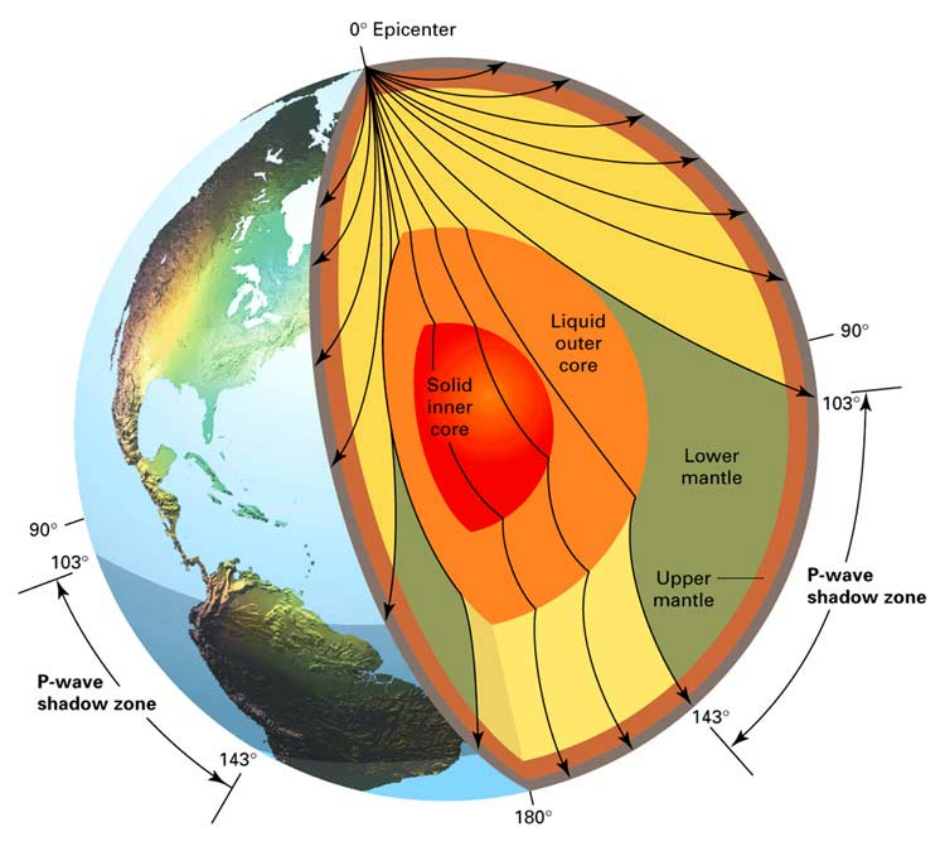
- ✓ 1926'da Harold Jeffreys (1891-1989) çekirdek içinde S dalgalarının yayılmamasından dolayı yerin çekirdeğini oluşturan metalin sıvı halde olduğunu kanıtlamıştır.
- ✓ Bu görüşten on yıl sonra Danimarka'lı Jeofizikçi Inge Lehmann batı Pasifik depremlerinin Avrupa'daki kayıtlarından çekirdeğin içinde kendinden daha yoğun bir katı bir iç çekirdek olduğunu belirlemiştir.



İngiliz matematikçi/jeofizikçi Sir
Harold Jeffreys

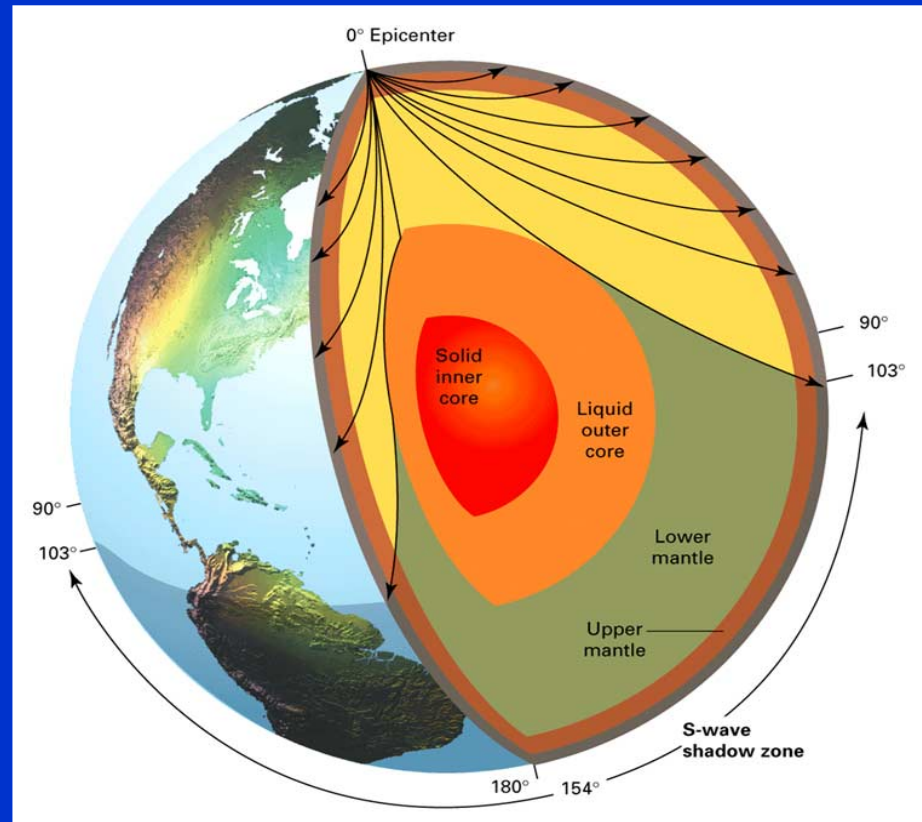
The P-Wave Shadow Zone

P-waves through the liquid outer core bend, leaving a low intensity shadow zone 103 to 143 degrees away from the source, here shown as the north pole



The S-Wave Shadow Zone

Since Shear (S) waves cannot travel through liquids, the liquid outer core casts a larger shadow for S waves covering everything past 103 degrees away from the source.



- Kendi ifadesiyle bir zamanların “tek Danimarkalı Sismolog” Inge Lehmann” 1929’da Yeni Zellanda’da oluşmuş bir büyük depremin P dalgalarını incelerken gördüğü şeye şaşırmıştır. Avrupa’daki 2 istasyonda bu depremin kayıtlarında Yer’in çekirdeği tarafından yollarının saptırılması gereken P dalgalarının var olduğunu gördü.
- Lehmann bu dalgaların Yer’in çekirdeği içine girdikten sonra bir süreksizlik oluşturan bir sınır boyunca yansıtılan P dalgaları olduğunu ileri sürdü. 1936 yılında yayınlanan makalesinde bu ileri sürümüne göre Yer’in merkezi birbirinden günümüzde Lehmann süreksizliği olarak adlandırılan 2 kısımdan oluşuyordu: (1) katı bir iç çekirdek ve (2) sıvı bir dış çekirdek. Bu görüş 1970’lerde daha duyarlı sismografların kullanılmasıyla kanıtlanmıştır.

Danimarka’lı matematikçi/jeofizikçi Inge Lehmann

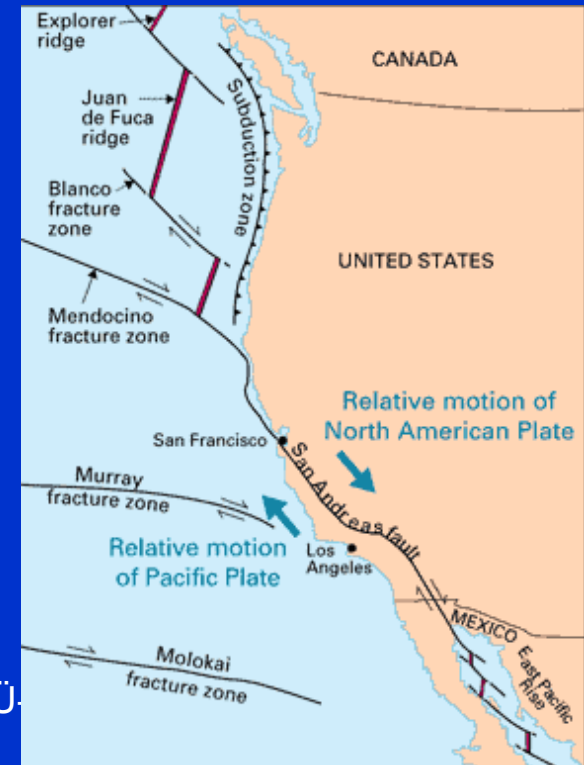


P-waves through the liquid outer core bend, leaving a low intensity shadow zone 103 to 143 degrees away from the source, here shown as the north pole

HOWEVER, P-waves traveling straight through the center continue, and because speeds in the solid inner core are faster, they arrive sooner than expected if the core was all liquid.

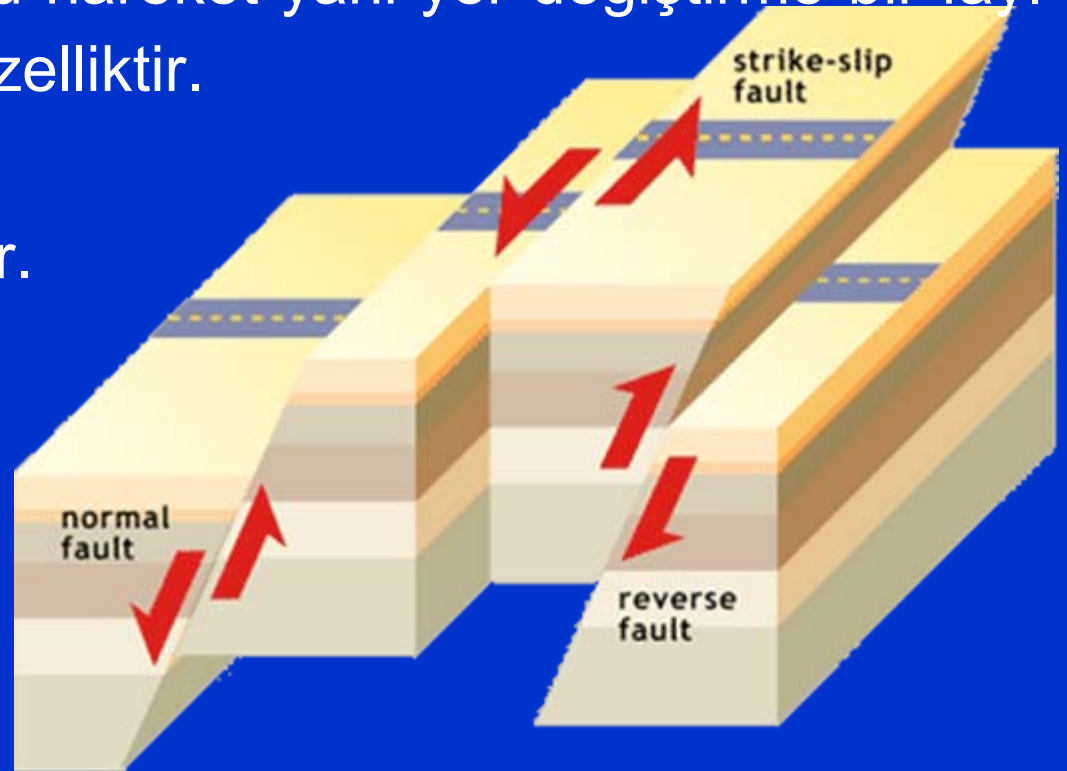
2.2. Deprem

- ✓ Yerkabuğundaki önemli süreksizlikler olan faylar boyunca biriken elastik deformasyon enerjisinin fayın sürtünen yüzeyini oluşturan kayaların dayanım sınırını aşması ile faylar üzerinde kırılma meydana gelir. Birikmiş bu elastik deformasyon enerjisinin boşalarak kabuk içinde elastik (veya sismik) dalgalar halinde yayılması ve yer sarsıntısı oluşturmaya olayına deprem adı verilir.



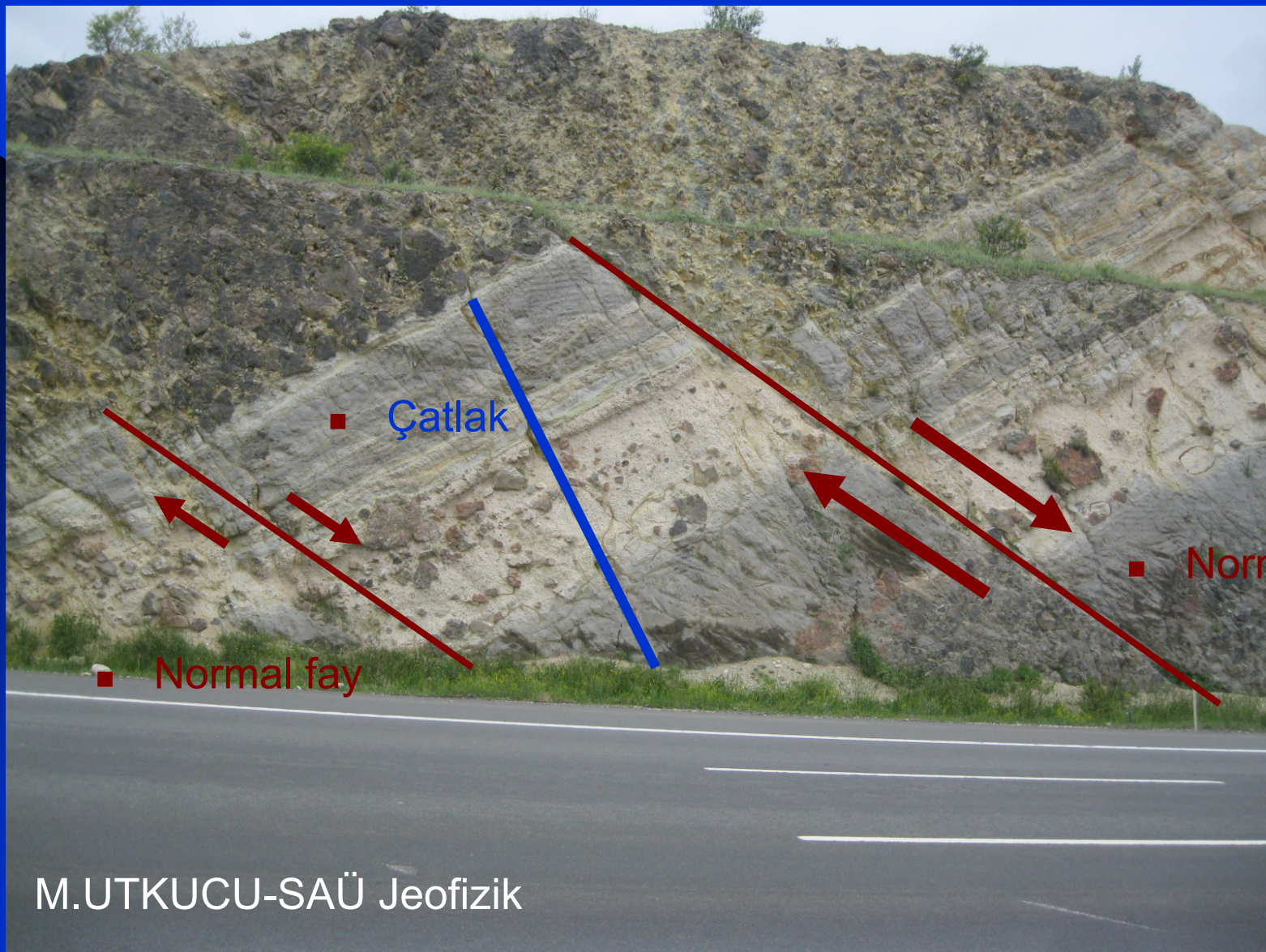
2.2.1. Faylar

- ✓ Depremler faylar boyunca oluşurlar. Fay, iki yer bloğunu birbirinden ayıran bir zayıflık zonudur.
- ✓ Tektonik kuvvetler bu blokların birbirine göre hareket etmesine yol açar. Bu hareket yani yer değiştirme bir fayı çatlaktan ayıran bir özelliktir.
- ✓ Üç temel fay türü vardır.
 - Normal fay
 - Ters (reverse) fay
 - Doğrultu atımlı (strike-slip) fay





■ Merak ediyorsunuzdur, işte size *fay*.





- Fay bloklarının hareketi sonucu farklı türde kayalar karşı karşıya gelmiş.

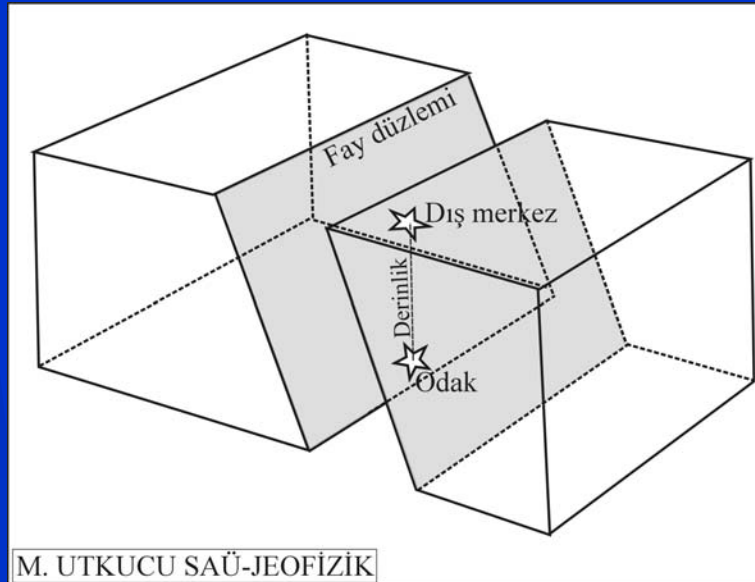


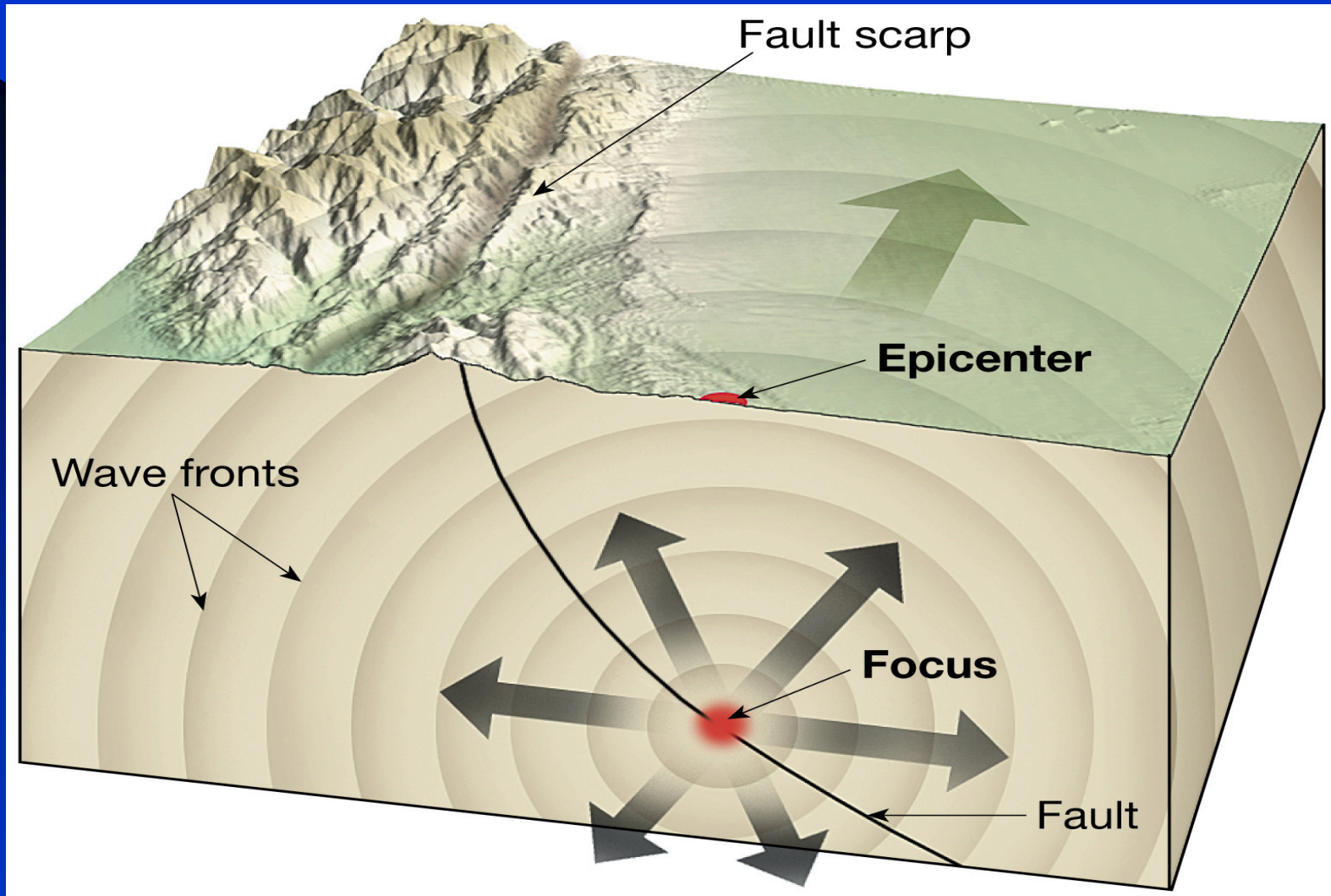
- Bilecik, Şeyh Edebali türbesi yanından geçen fay.

2.2.2. Bir depremi tanımlayan parametreler

İster deprem, ister patlama olsun bir depremi tanımlayan parametreler şunlardır:

- ✓ *Dış merkez(epicenter)*: Deprem kırılmasının yer altında başladığı noktaya odak (hypocenter) adı verilir. Odağın yeryüzüne olan izdüşümü de dış merkez adını alır ve enlem ve boylam ile tanımlanır.
- ✓ *Odak derinliği(hypocenter depth)*: Yeryüzeyinden deprem odağına olan derinliktir. Odak derinliği “km” cinsinden belirtilir.

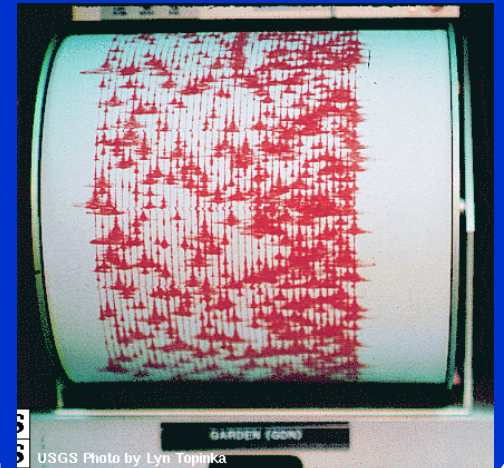
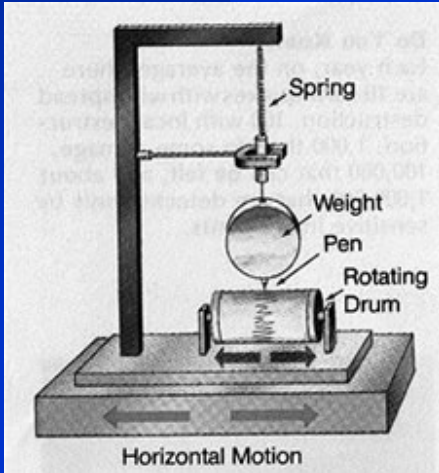




- ✓ *Depremi veya patlamanın oluş zamanı (origin time): Uluslararası saate göre (Greenwich ana zamanı) depremin oluş zamanıdır.*
- ✓ *Depremi büyüklüğü (magnitüdü). Depremi açığa çıkardığı enerjinin bir ölçüsüdür.*

2.2.3. Depremleri kayıt edilmesi: Sismograflar

- ✓ Bir deprem sonucu oluşan yer hareketini sürekli olarak kayıt eden düzeneğe sismograf adı verilir. Sismografin yaptığı sürekli kayıda da sismogram adı verilir. Bir sismograf 3 ana kısımdan oluşur;



Sismometre:

- ✓ Yerde oluşan harekete tepki gösteren ve esası bir sarkaç olan cihazdır.
- ✓ Normal olarak bir sismometre yerdeki hareketin herhangi bir bileşenini ölçer. Bu nedenle yerdeki hareketin tam olarak tanımlanabilmesi için hareketin KG, DB ve düşey bileşenlerinin ölçülmesi gerekir.
- ✓ Sismometre yer hareketinin ivme, hız veya yer değiştirmesini ölçebilir.

Sinyal koşullandırma birimi: Sismometrenin çıkışına uygulanan ve sinyali büyütür ve süzgeçleyerek temiz hale getiren cihazdır.

Kayıt sistemi:

- Sinyal koşullandırma biriminin çıkışına uygulanır. Kayıt analog olarak bir kağıda, bir filme ya da günümüzde olduğu gibi sayısal olarak sabit bilgisayar diskine veya diskete yapılabilir.
- Kayıt sisteminin önemli bir parçası zaman birimidir. Güvenilir zaman ölçmeleri için kayıt üzerine güvenilir doğrulukta işaretlenmiş zaman işaretlerine ihtiyaç vardır.

2.2.4. Deprem dalgaları

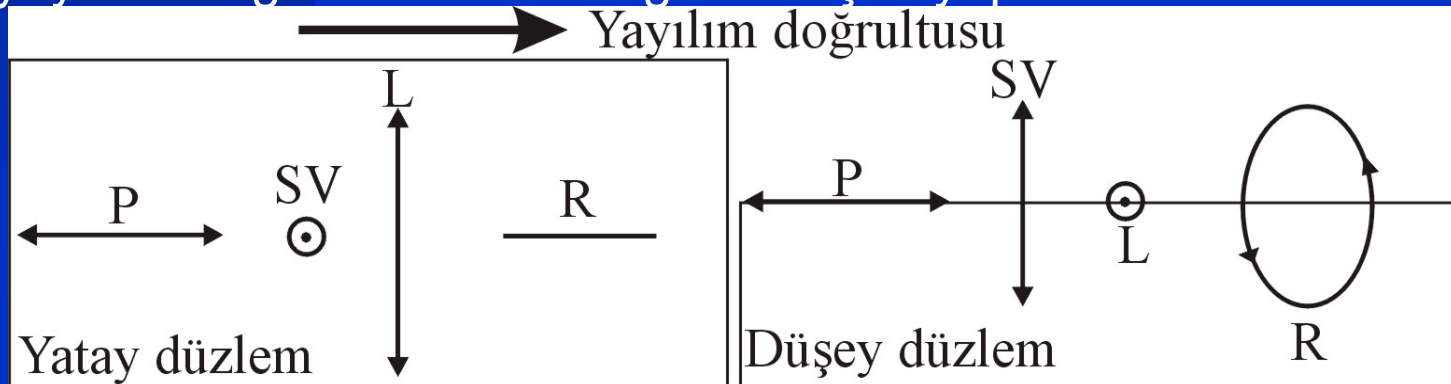
- ✓ Deprem dalgalarının başlıca iki türü vardır.

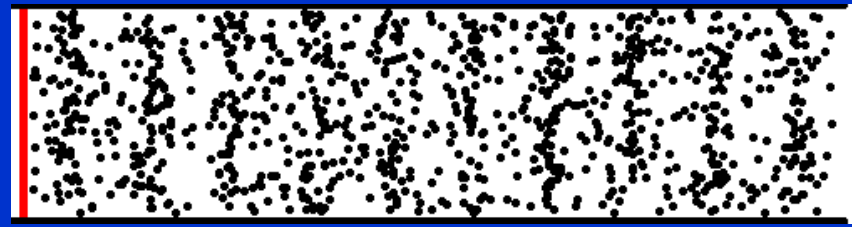
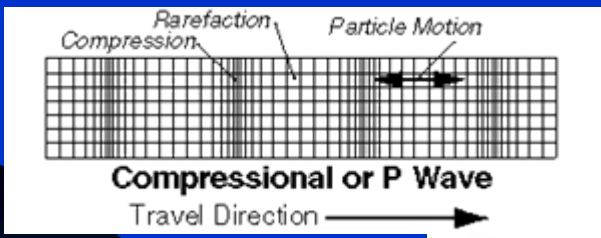
Cisim dalgaları

- ✓ Yerküre'nin iç kısmında yayılabilen dalgalardır. İki türü vardır;

P dalgaları(boyuna dalgalar):

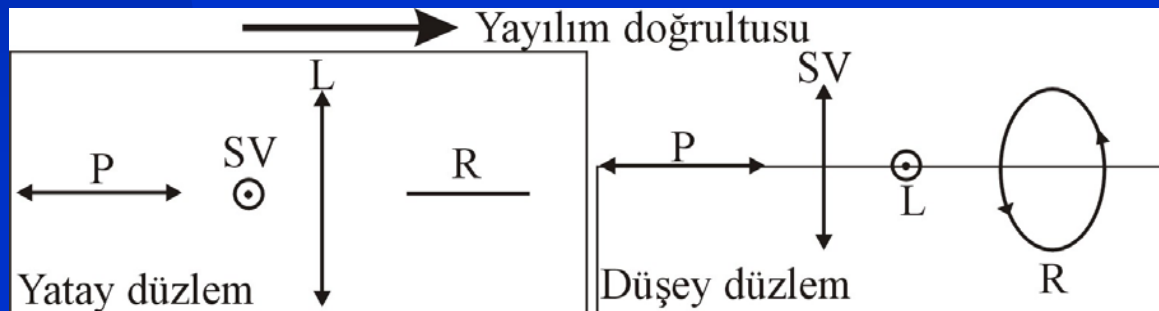
- ✓ Bir deprem sonrasında sismograf istasyonunda ilk kayıt edilen dalgalardır.
- ✓ Tanecik hareketi dalganın yayılma doğrultusundadır. P dalgası tarafından etkilenen bir tanecik denge durumunu yitirerek dalganın yayılma doğrultusunda ileri geri titreşim yapar.

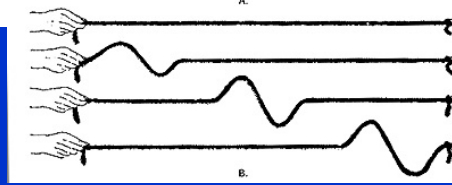
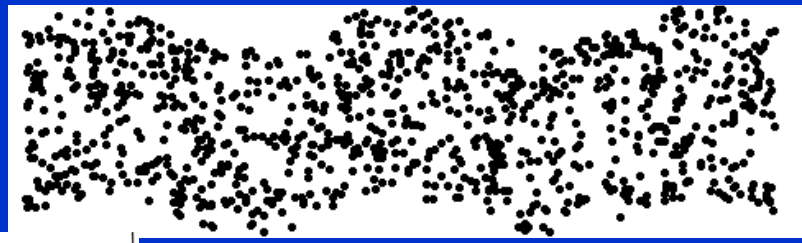
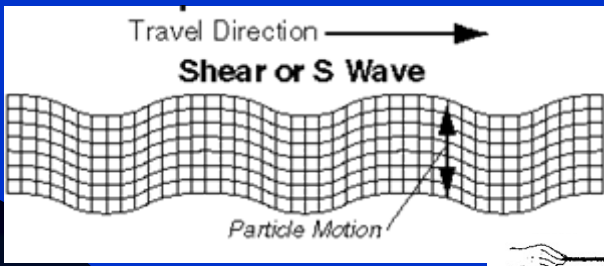




S dalgaları (enine dalgalar):

- ◆ Bir deprem sonrasında sismograf istasyonunda ikinci olarak kayıt edilirler.
- ◆ Tanecik hareketi dalganın yayılma doğrultusuna dik olan bir düzlem içerisinde.
- ◆ Yatay (SH) ve düşey (SV) bileşenleri vardır.

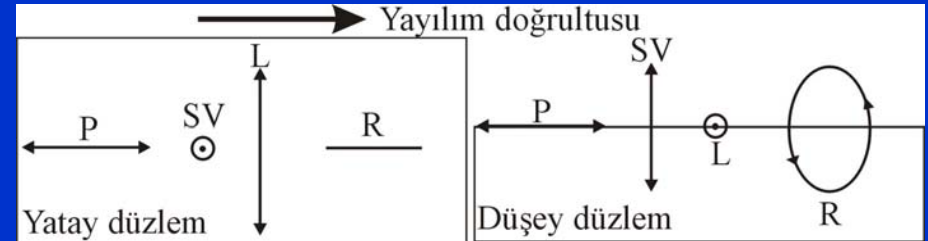




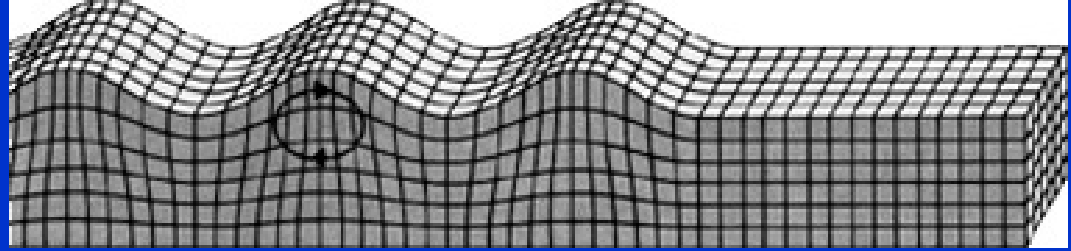
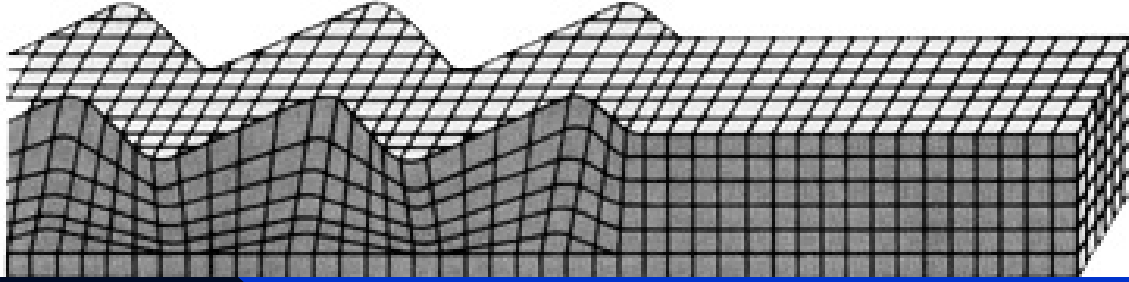
Yüzey dalgaları

- ✓ Yer'in serbest veya yüzeye yakın tabakaları boyunca yayılan dalgalardır. Başlıca türleri;

Love (L) dalgaları:



- ✓ Yer'in serbest yüzeyi boyunca yayılırlar.
- ✓ Tanecik hareketi SH dalgalarında olduğu gibidir
- ✓ Düşey ve yayılma doğrultusunda yatay bileşeni yoktur.
- ✓ Hızları S dalgalarından küçük Rayleigh dalgalarından büyüktür.
- ✓ Sadece yatay bileşen sismograflarda kaydedilirler.



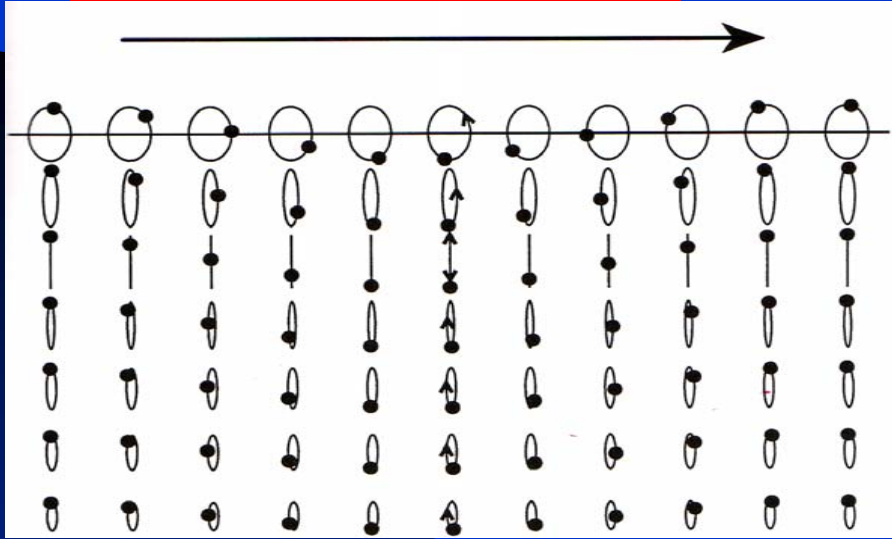
Rayleigh (R) dalgaları:

- Tanecik hareketi büyük eksenini düşey olan bir elips çizer. Elipsin küçük ekseninin büyük eksene oranı 1/3'dür.
- Elips düzlemi yayılma doğrultusundaki düşey bir düzlem üzerinde bulunur.
- Genlikleri derinlikle üstel olarak azalır. Hareketin hem düşey ve hem de yayılma doğrultusunda yatay bileşeni vardır.

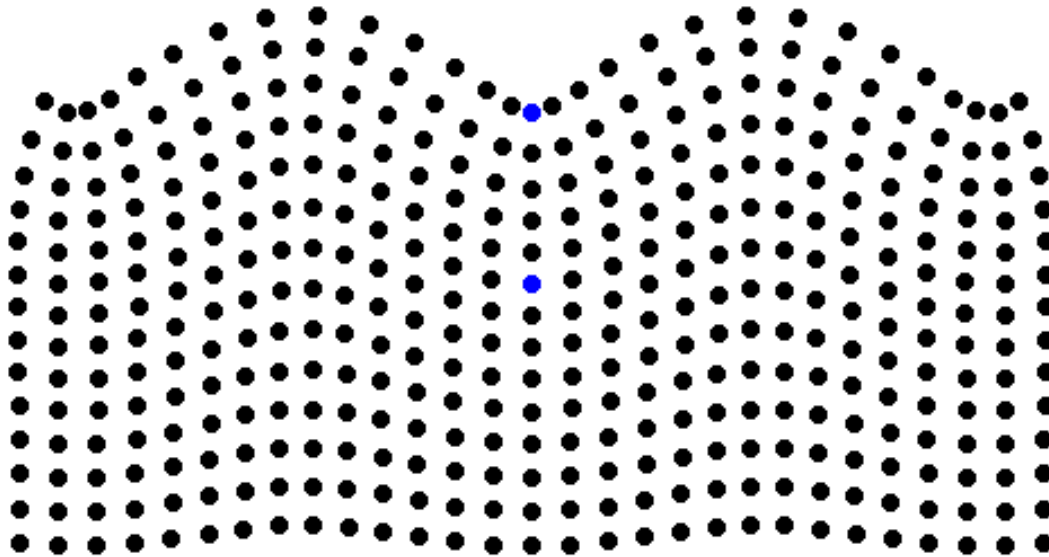
$$P > S > L > R$$

- Genel olarak, sismogramlarda hakim olan yüzey dalgaları Love ve Rayleigh dalgalarıdır.

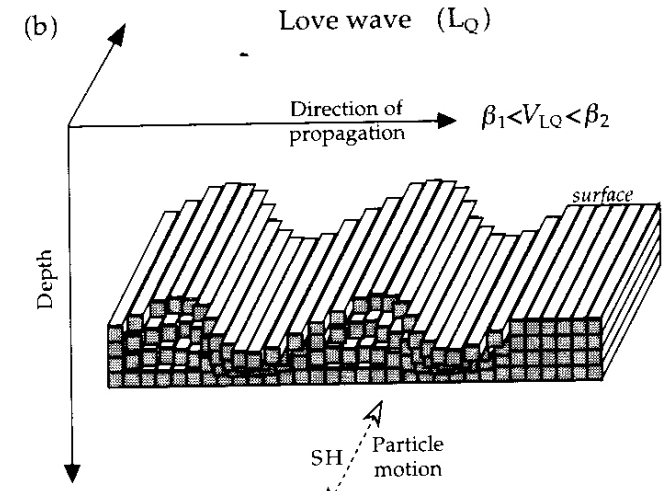
Rayleigh dalgası

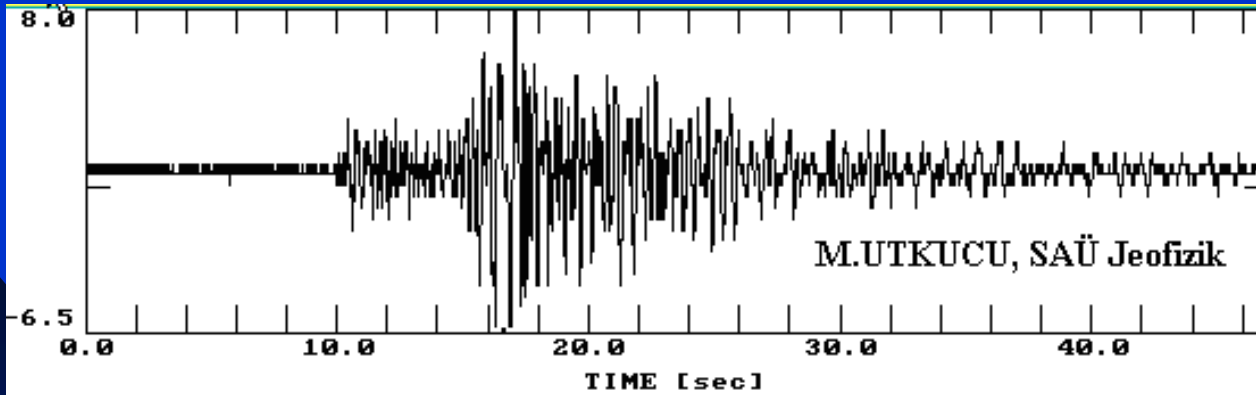


- ✓ Rayleigh dalgalarında tanecik hareketi büyük eksenini düşey olan bir elips çizer. Tanecik hareketi şekilde görüldüğü gibi saat yönünün tersi yöndedir ve genliği derinlikle üstel olarak azalır.
- ✓ Love dalgalarında ise tanecik hareketi SH dalgalarındaki gibidir ve yine genliği derinlikle hızla azalır.

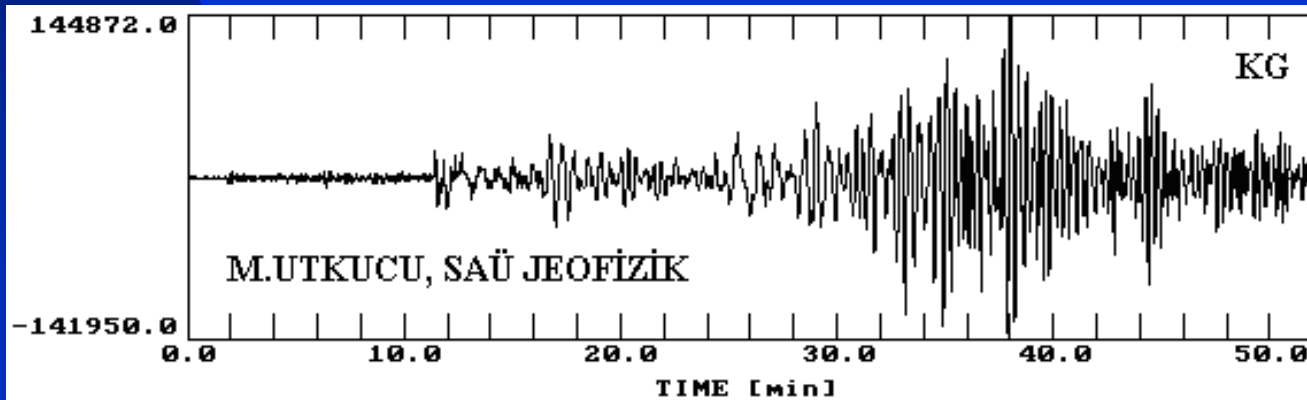


©1999, Daniel A. Russell





- ✓ Nemrut volkanı yakınında meydana gelmiş 03.11.1997 depreminin ($m_b=4.8$) Malazgirt'teki yakın alan ivme kaydı (Kuzey-Güney bileşenidir). Kayıttaki P ve S dalgası hakimiyetine dikkat ediniz..



- ✓ 12.11.1999 Düzce depreminin ($M_W=7.1$) $\Delta = 73.77^\circ$ dış merkez uzaklığındaki SUR sismograf istasyonundaki Kuzey-Güney bileşeni hız kaydı. Kayıta yüzey dalgalarının hakimiyetine dikkat ediniz.

■ $t_P - t_o = 1.73(t_S - t_P)$

$D_i = (t_P - t_o) V_P$

t_P = P dalgası varış zamanı

t_o = Orijin zamanı

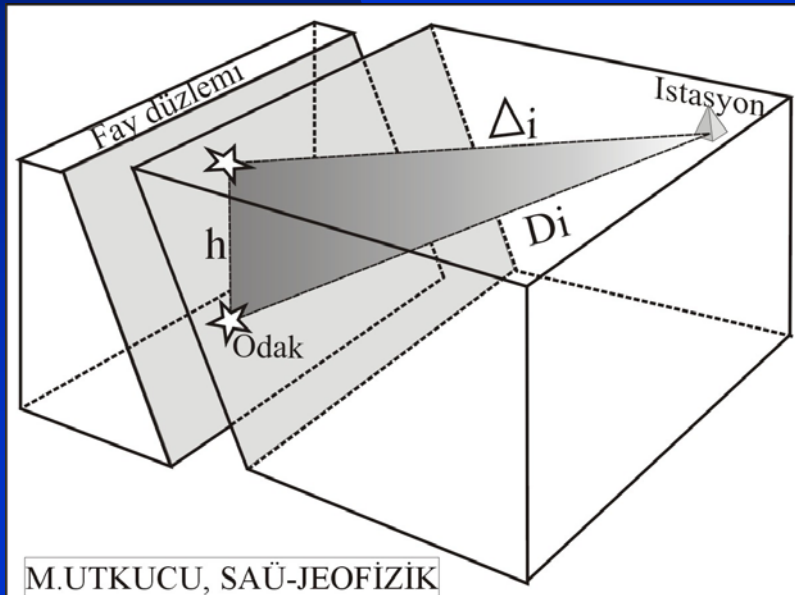
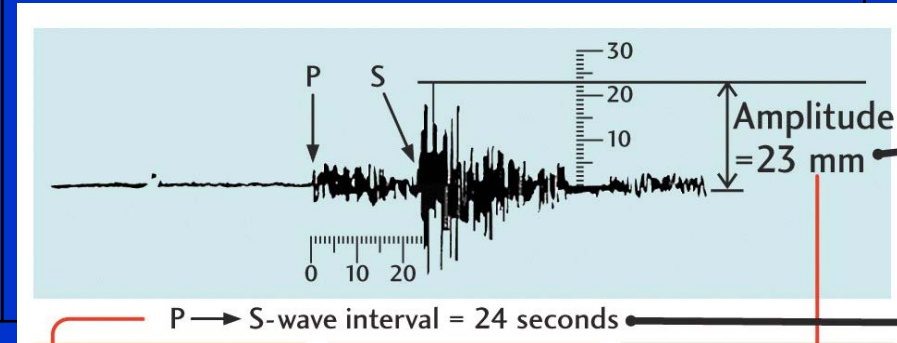
t_S = S dalgası varış zamanı

D_i = Odak-istasyon uzaklığıdır.

Odak derinliği; $h^2 = D_i^2 - \Delta_i^2$

Δ_i = Dış merkez-istasyon uzaklığıdır

P ve S dalgası varışlarının ve en büyük dalga genliğinin belirlenmesi



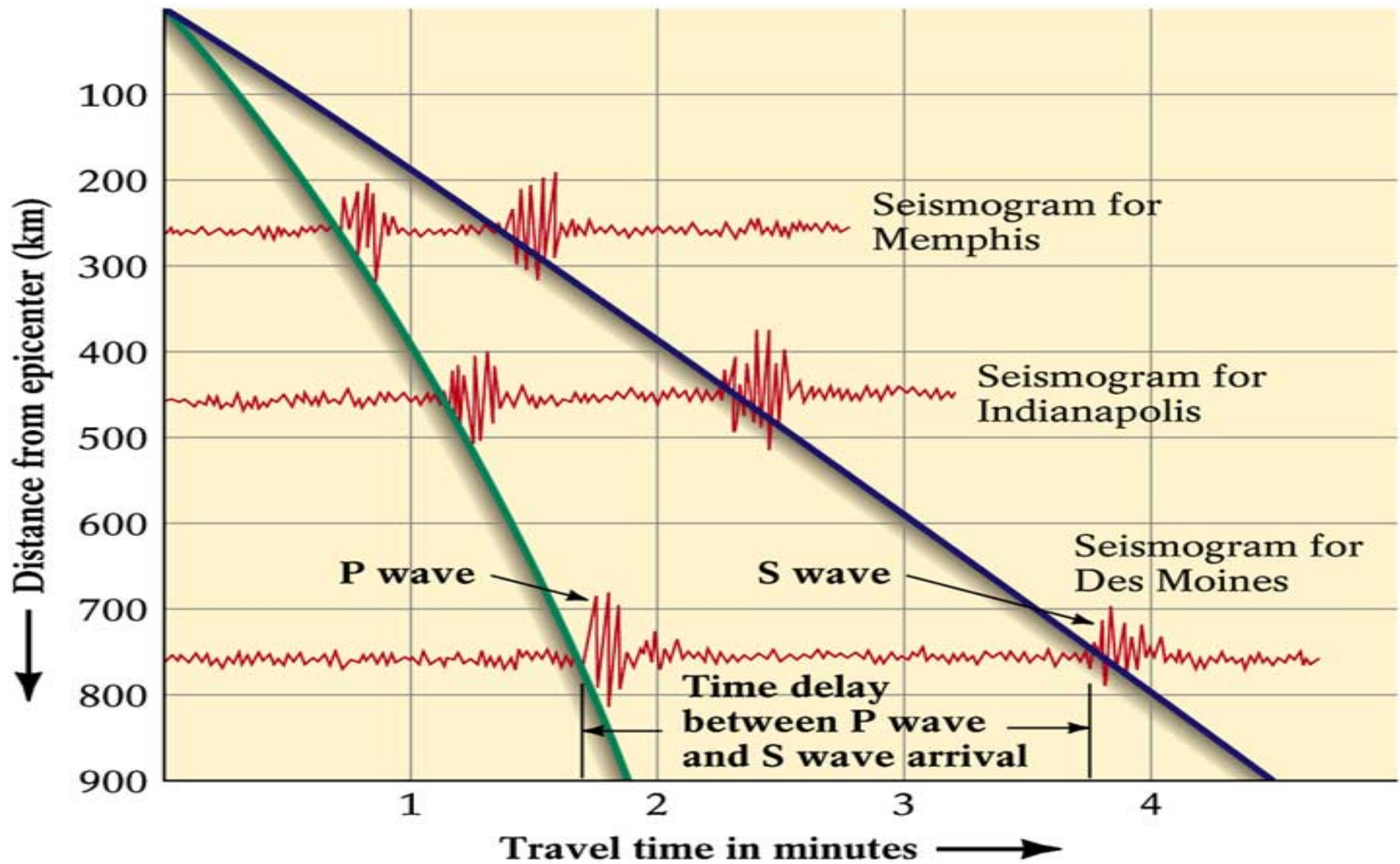
Dış merkez ve odak belirlenmesinde kullanılan geometri.

Şekil’de verilen geometriden odak derinliği;

$h^2 = D_i^2 - \Delta_i^2$ formülü ile

bulunur. Burada;

Δ_i = Dış merkez-istasyon uzaklığıdır



(a)

Deprem dış merkezinin 3 istasyon yardımıyla belirlenmesi



2.2.5. Depemlerde büyüklük, şiddet ve enerji

Büyüklük (magnitüd)

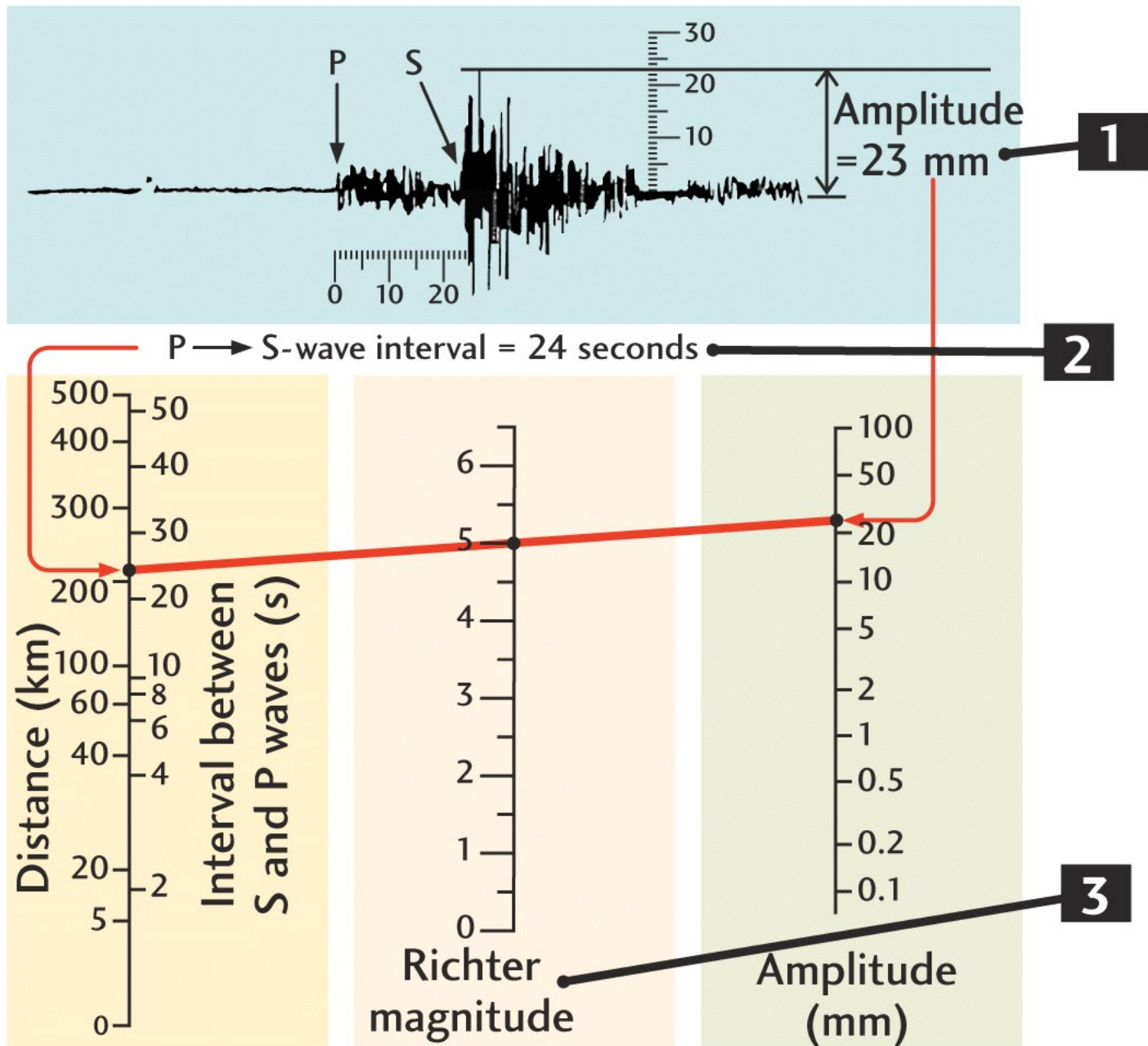
- Magnitüd bir depremi (veya patlamayı) büyüklüğünü belirleyen bir ölçü olup farklı istasyonlarda farklı kayıtlar veya dalga gruplarından elde edilen değerlerin bir hata limiti içinde birbirinin aynı olması gerekir.
- Magnitüdün önemi depremleri boşalan enerji miktarlarına göre sınıflandırma olanağı sağlamasıdır.
- Genel olarak tüm magnitüd ölçekleri

$$M = \log (A/T) + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$

bağıntısı ile verilir. Burada:

- A magnitüd ölçeğinin temel alındığı dalga fazının mikron cinsinden genliğini,
- T ölçümün yapıldığı dalganın periyodunu, f dış merkez uzaklığı ve odak derinliğinin etkisini içeren bir düzeltme,
- Cs istasyonun yeri (yerel zemin koşullarından kaynaklanan büyültme) için uygulanan bir düzeltme ve
- Cr kaynak bölgesi için uygulanan bir düzeltmedir. .

- Logaritmik ölçek kullanılmasının nedeni sismik dalga genliklerinin büyük ölçekte değişmesinden ileri gelmektedir. Örnek olarak magnitüdde bir birimlik artma yer hareketinin genliğinde 10 katlık bir artışa karşılık gelmektedir.
- Genel olarak 4 çeşit magnitüd ölçeği günümüzde kullanılmaktadır. Bunlar:
 1. Yerel (local) magnitüd (M_L)
 2. Cisim dalgası (body wave) magnitüdü (m_b)
 3. Yüzey dalgası (surface wave) magnitüdü (M_s) ve
 4. Süre magnitüdü (M_D)
 5. Moment magnitüdü (M_w)'dır.
- Magnitüd ölçeklerinin doğası gereği aynı deprem farklı magnitüd türleri için farklı değerlere sahip olabilir. .



How big can an earthquake be?

- In oceanic lithosphere earthquakes occur as deep as about 40 km, in the continents they are rarely below 20 km. But suppose we had a great circle fault and a seismogenic zone down to 50 km. What would the moment-magnitude be?

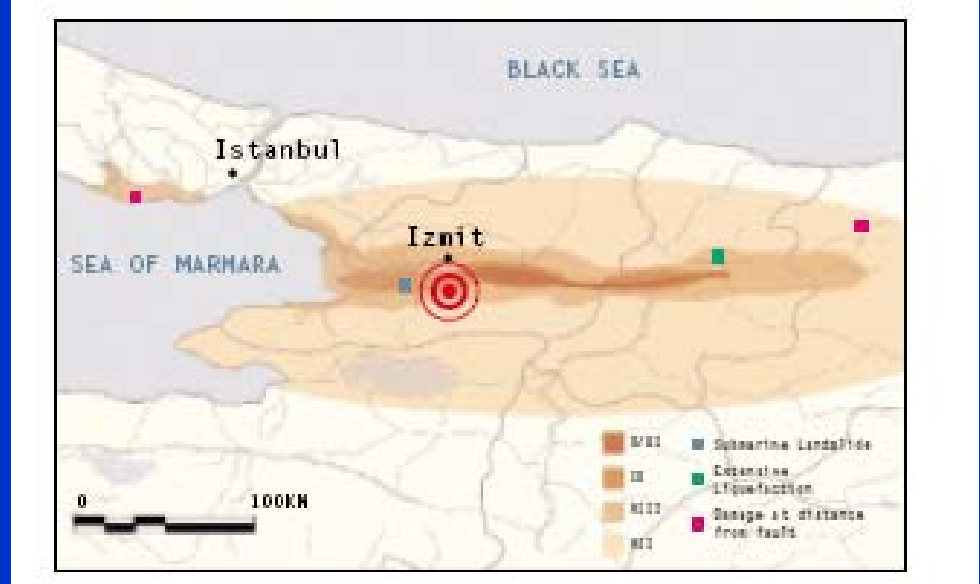


10.5

- 
- Now suppose that the seismogenic zone included the whole earth (including the core!) and that we had an earthquake large enough to fault the entire Earth on a fault plane that divided the Earth into two? What would its moment-magnitude be?

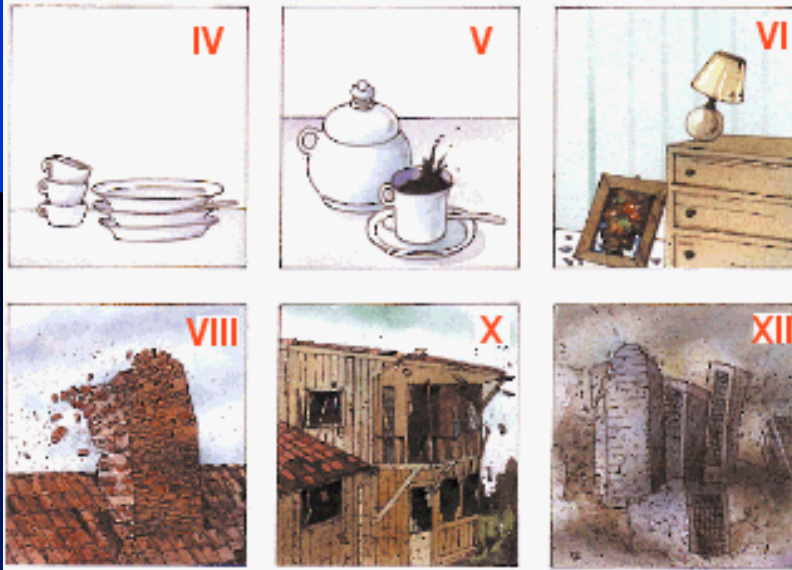
12.5

Şiddet



- ✓ Şiddet bir kaynak parametresi olmamasına rağmen depremlerin bir kaynak parametresi olan büyüklük (magnitüde) doğrudan ilişkilidir.
- ✓ Depremlerde “büyüklük” ile “şiddet” farklı kavramlardır. Yukarıda da değinildiği gibi büyüklük aletsel kayıtlardan saptanan bir ölçüdür. Buna karşılık şiddet depremin çevredeki etkilerinin (makrosismik etkilerinin) bir ölçüsüdür.
- ✓ Her depremin belli bir büyüklüğü vardır. Buna karşılık şiddet gözlem noktasına veya gözlem yapan kişiye göre değişir.
- ✓ Şiddet dış merkez yakınında en büyük değere sahiptir ve dış merkezden uzaklaştıkça azalır. Bu azalma her yönde aynı değildir. Bu yüzden eşşiddet eğrileri düzgün bir görünüme sahip değildir. .

- Genel olarak ilk kullanılan şiddet ölçeği 10 derecelik Rossi-Forel şiddet ölçeğidir. Daha sonraları daha gelişmiş 12 derecelik Mercalli kullanılmaya başlanmıştır. Bu ölçek daha sonra ABD yapı özelliklerine göre geliştirilerek “Modified Mercalli Intensity (MMI)” şiddet ölçeği geliştirilmiştir.
- Örnek olarak, bir deprem bir yerde herkesçe hissedilmiş, insanlar dışarı çıkmış, ağır mobilyalar kımıldamış, bir kaç siva dökülme ve baca hasarı yaşanmışsa hasar “hafif” olarak nitelendirilir ve MMI ölçeğine göre şiddet derecesi “VI” dir. Toptan bir yıkım ve hasar varsa, deprem dalgaları denizde olduğu gibi yerde görülüyorsa, cisimler havaya fırlıyor ve görüş çizgisi ve seviyesi değişiyorsa MMI ölçeğine göre şiddet derecesi “XII” dir.
- Bir depreme ait şiddet değerlerinin ve eşşiddet eğrilerinin saptanması için ya deprem bölgelerine özel ekipler gönderilir veya deprem bölgesindeki halka özel anket formları gönderilir.



Örnek olarak, bir deprem bir yerde herkesçe hissedilmiş, insanlar dışarı çıkmış, ağır mobilyalar kımıldamış, bir kaç sıva dökülme ve baca hasarı yaşanmışsa hasar “hafif” olarak nitelendirilir ve MMI ölçeğine göre şiddet derecesi “VI” dır. Toptan bir yıkım ve hasar varsa, deprem dalgaları denizde olduğu gibi yerde görülüyorsa, cisimler havaya fırlıyor ve görüş çizgisi ve seviyesi değişiyorsa MMI ölçeğine göre şiddet derecesi “XII” dir.

16.10.2012

Modified Mercalli Scale		Richter Magnitude Scale
I	Detected only by sensitive instruments	1.5
II	Felt by few persons at rest, especially on upper floors; delicately suspended objects may swing	2
III	Felt noticeably indoors, but not always recognized as earthquake; standing autos rock slightly, vibration like passing truck	2.5
IV	Felt indoors by many, outdoors by few, at night some may awaken; dishes, windows, doors disturbed; motor cars rock noticeably	3
V	Felt by most people; some breakage of dishes, windows, and plaster; disturbance of tall objects	3.5
VI	Felt by all, many frightened and run outdoors; falling plaster and chimneys, damage small	4
VII	Everybody runs outdoors; damage to buildings varies depending on quality of construction; noticed by drivers of automobiles	4.5
VIII	Panel walls thrown out of frames; fall of walls, monuments, chimneys; sand and mud ejected; drivers of autos disturbed	5
IX	Buildings shifted off foundations, cracked, thrown out of plumb; ground cracked; underground pipes broken	5.5
X	Most masonry and frame structures destroyed; ground cracked, rails bent, landslides	6
XI	Few structures remain standing; bridges destroyed, fissures in ground, pipes broken, landslides, rails bent	6.5
XII	Damage total; waves seen on ground surface, lines of sight and level distorted, objects thrown up into air	7

Dr. Murat UTKUCU, SAU-Jeofizik

Depremlerde enerji

- Magnitüdün en büyük önemi depremleri boşalan enerji miktarlarına göre sınıflandırılmasına olanak sağlamasıdır. Depremlerde boşalan enerji ile m_b ve M_S arasında aşağıdaki bağıntılar vardır.

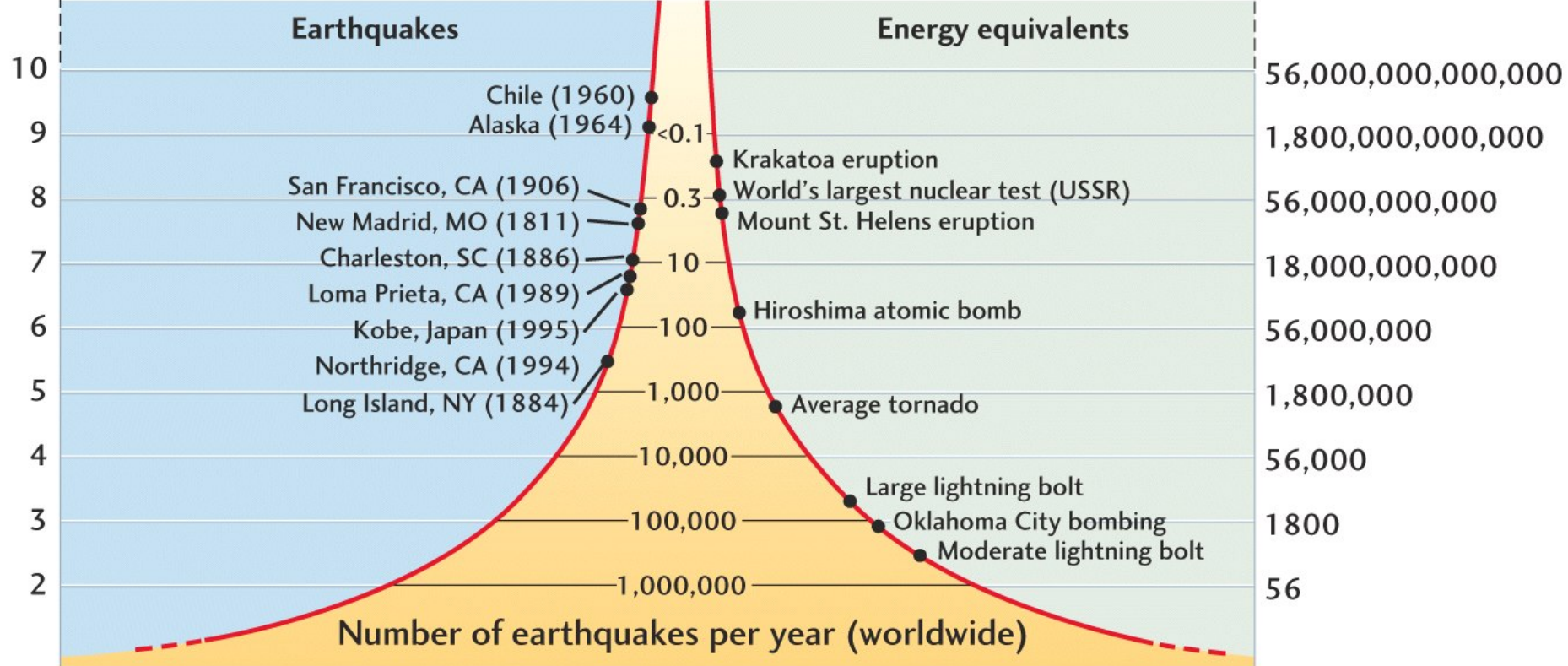
$$\text{Log } E = 5.8 + 2.4 m_b$$

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 M_S$$

- Depremlerden açığa çıkan enerji oldukça büyüktür. Örneğin $M_S=6.8$ büyüklüğündeki bir depremden açığa çıkan enerji 10^{22} erg'dir. Enerji ile yüzey dalgası arasında verilen yukarıdaki bağıntı depremlerin devasa boyut aralıkları hakkında fikir vermektedir.
- Örnek olarak $M_S=7.0$ büyüklüğündeki bir depremden açığa çıkan enerji $M_S=6.0$ büyüklüğündeki bir depremden açığa çıkandan 32 kat daha fazladır. Depremlerin magnitüdüleri ile enerji boşalımları ve moment serbestlenmeleri arasındaki ilişki hakkında Şekil 6.16'da bir karşılaştırma yapılmıştır.

Magnitude

Energy release
(equivalent kilograms of explosive)

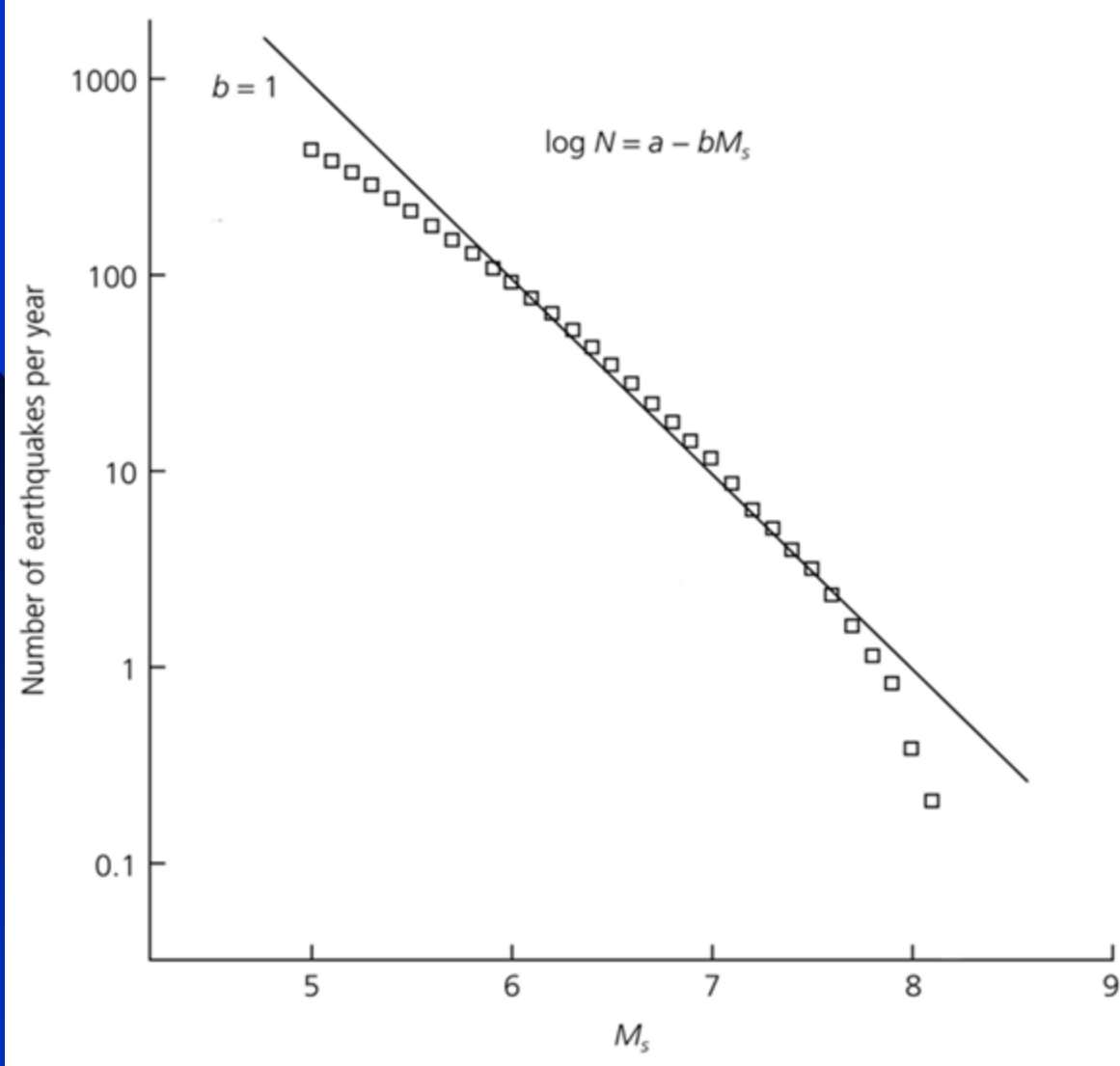


2.2.6. Deprem istatistiği: Depremlerde magnitüd-frekans ilişkisi

- Depremlerin sayısı ile magnitüdüleri arasındaki ilişkiyi belirleyen Gutenberg-Richter bağıntısı bağıntı deprem istatistiğinin temel bağıntısıdır. Bu nedenle depremsellik çalışmalarında önemli bir yer tutar.
- Bu bağıntı: $\text{Log } N(M)=a-bM$

şeklindedir ve depremlerin oluş sayısının deprem magnitüdü arttıkça hızlı bir şekilde azaldığını ifade eder (Şekil 6.19). Burada:

- N belli bir magnitüdden büyük deprem sayısı,
 - M magnitüd ve
 - a ve b'se sabitlerdir.
 - “a” sabiti deprem faaliyetinin düzeyi ile ilişkilidir ve incelenen bölgenin genişliğine ve gözlem düzeyine bağlıdır. “b” sabiti kabuktaki gerilme ile ters orantılı olup deprem oluşumun fiziği ile ilişkilidir.



- 1968-1997 yılları arasında USGS NEIC katalogunda kayıtlı tüm $M_s \geq 5.0$ depremler için magnitüd frekans ilişkisi. b değeri yaklaşık 1'dir (Stein and Wyssession, 2003)

Gelecek ders görüşmek üzere...

TEŞEKKÜRLER

Dr. Murat UTKUCU