

Deprem Büyüklüğü ve Deprem Şiddeti

Doç.Dr. Eşref YALÇINKAYA
(7. Ders)

Bir Depremin Büyüklüğü Nasıl Tanımlanır?

- *(1) Maksimum Şiddet*
 - Eski bir yöntem
 - Aletsel bilgi kullanılmaz
 - Bir çok problem taşır

- *(2) Büyüklük Ölçekleri*
 - Modern yöntem
 - Aletsel bilgi kullanılır
 - Daha az problem taşır

Şiddet ;

Depremin çevredeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu nedenle, bir noktadan diğerine değişik değerler alabilir.

Bir noktadaki deprem şiddeti ;

- depremin büyüklüğüne
- jeolojik koşullara
- bina türlerine
- kaynaktan uzaklığına
- depremden etkilenen insan sayısına
- gözlem yapan kişilerin deneyimine

bağlı olarak değişebilir

Modern şiddet ölçekleri :

- EMS-98 (European Macroseismic Scale)
- MMI (Modified Mercalli Scale)
- JMA (Japan Meteorological Agency Scale)

EMS-98 :

EMS Scale of 1998 (abstracted)

I	Not felt	Not felt.
II	Scarcely felt	Felt only by very few individual people at rest in houses.
III	Weak	Felt indoors by a few people. People at rest feel a swaying or light trembling.
IV	Largely observed	Felt indoors by many people, outdoors by very few. A few people are awakened. Windows, doors and dishes rattle.
V	Strong	Felt indoors by most, outdoors by few. Many sleeping people awake. A few are frightened. Buildings tremble throughout. Hanging objects swing considerably. Small objects are shifted. Doors and windows swing open or shut.
VI	Slightly damaging	Many people are frightened and run outdoors. Some objects fall. Some houses suffer slight non-structural damage like hair-line cracks and fall of small pieces of plaster.

E. YALÇINKAYA

5

VII	Damaging	Most people are frightened and run outdoors. Furniture is shifted and objects fall from shelves in large numbers. Many well built ordinary buildings suffer moderate damage: small cracks in walls, fall of plaster, parts of chimneys fall down; older buildings may show large cracks in walls and failure of fill-in walls.
VIII	Heavily damaging	Many people find it difficult to stand. Many houses have large cracks in walls. A few well built ordinary buildings show serious failure of walls, while weak older structures may collapse.
IX	Destructive	General panic. Many weak constructions collapse. Even well built ordinary buildings show very heavy damage: serious failure of walls and partial structural failure.
X	Very destructive	Many ordinary well built buildings collapse.
XI	Devastating	Most ordinary well built buildings collapse, even some with good earthquake resistant design are destroyed.
XII	Completely devastating	Almost all buildings are destroyed.

E. YALÇINKAYA

6

Modified Mercalli Şiddet Ölçeği

- I. Hemen hemen hiç hissedilmez.
- II. Binaların üst katlarında hareketsiz haldeki insanlar dışında kimse hissetmez. Sağlam asılmamış cisimler sallanabilir.
- III. Özellikle binaların üst katlarındakiler açıkça hissederler. Pek çok kişi bunun bir deprem olduğunu farketmez. Duran motorlu araçlar hafifçe sallanabilir. Sarsıntı, bir kamyonun yol açtığını yakındır. Başlama ve bitişi insanlar tarafından hissedilir.
- IV. Gündüz olursa, binalarda bulunanların çoğu, dışındakilerinse bir kısmı hisseder. Gece olursa, bazılarını uyandırır. Tabak-çanak yerinden oynar, penceler, kapılar titrer; duvarlardan çatlama sesleri gelir. Ağır bir taşıtin binaya çarpmasına benzer bir etki uyandırır. Hareket halinde olmayan motorlu araçlar görünür bir şekilde sallanır.
- V. Hemen herkes hisseder; gece vakti pek çok insan uykudan uyanır. Tabak-çanak, pencere ve camlardan bazıları kırılır. Ağaç ve direk gibi yüksek cisimlerin sallandığı bazen farkedilir. Sarkaçlı saatler durabilir.
- VI. Herkes hisseder, pek çok kişi korkar ve dışarı fırlar. Bazı ağır mobilyalar hareket eder. Sıvalar dökülebilir ve bacalar hasar görebilir. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır.

E. YALÇINKAYA

7

- VII. İyi inşa edilmiş ve iyi tasarlanmış binalarda hasar gözardı edilebilecek düzeydedir; iyi yapılmış sıradan yapılarda hasar ya çok hafiftir ya da orta düzeydedir. Kötü malzeme kullanılmış ya da kötü tasarlanmış binalarda ölçüde hasar gözlenir; bazı bacalar yıkılır.
- VIII. Özel olarak depreme dayanıklı tasarlanmış binalarda çok az hasar görülür; dayanıklı, fakat deprem için özel tasarlanmamış sıradan binalarda kısmi çökme görülür. Kötü inşa edilmiş yapılarda büyük hasar görülür. Bacalar, kolonlar ve duvarlar yıkılır. Ağır mobilyalar devrilir.
- IX. Özel olarak depreme dayanıklı tasarlanmış binalarda belirgin hasar olur. Taş ya da tuğadan yapılar ve demirli betondan yapılmış olanlar hafif eğilir. Sıradan binalarda hasar büyktür; kısmen çökerler. Binalar temellerinden kayarlar.
- X. İyi inşa edilmiş ahşap yapılardan bazıları hasar görür, taş ve kafes yapılarının çoğu temelleriyle birlikte yıkılır. Demiryolları eğilir.
- XI. Birkaç yapı (özellikle taş) dışında tüm binalar ve köprüler yıkılır. Demiryolları büyük oranda eğilir ve bükülür
- XII. Mutlak bir hasar vardır. Bölge yerle bir olur, taş taş üzerinde kalmaz. Cisimler havaya fırlar.

E. YALÇINKAYA

8

I. Instrumental	Generally not felt by people unless in favorable conditions.
II. Weak	Felt only by a few people at rest, especially on the upper floors of buildings. Delicately suspended objects (including chandeliers) may swing slightly.
III. Slight	Felt quite noticeably by people indoors, especially on the upper floors of buildings. Many do not recognize it as an earthquake. Standing automobiles may rock slightly. Vibration similar to the passing of a truck. Duration can be estimated. Indoor objects (including chandeliers) may shake.
IV. Moderate	Felt indoors by many to all people, and outdoors by few people. Some awakened. Dishes, windows, and doors disturbed, and walls make cracking sounds. Chandeliers and indoor objects shake noticeably. The sensation is more like a heavy truck striking building. Standing automobiles rock noticeably. Dishes and windows rattle alarmingly. Damage none.
V. Rather Strong	Felt inside by most or all, and outside. Dishes and windows may break and bells will ring. Vibrations are more like a large train passing close to a house. Possible slight damage to buildings. Liquids may spill out of glasses or open containers. None to a few people are frightened and run outdoors.
VI. Strong	Felt by everyone, outside or inside; many frightened and run outdoors, walk unsteadily. Windows, dishes, glassware broken; books fall off shelves; some heavy furniture moved or overturned; a few instances of fallen plaster. Damage slight to moderate to poorly designed buildings, all others receive none to slight damage.
VII. Very Strong	Difficult to stand. Furniture broken. Damage light in building of good design and construction; slight to moderate in ordinarily built structures; considerable damage in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken or heavily damaged. Noticed by people driving automobiles.
VIII. Destructive	Damage slight in structures of good design, considerable in normal buildings with a possible partial collapse. Damage great in poorly built structures. Brick buildings easily receive moderate to extremely heavy damage. Possible fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls, etc. Heavy furniture moved.
IX. Violent	General panic. Damage slight to moderate (possibly heavy) in well-designed structures. Well-designed structures thrown out of plumb. Damage moderate to great in substantial buildings, with a possible partial collapse. Some buildings may be shifted off foundations. Walls can fall down or collapse.
X. Intense	Many well-built structures destroyed, collapsed, or moderately to severely damaged. Most other structures destroyed, possibly shifted off foundation. Large landslides.
XI. Extreme	Few, if any structures remain standing. Numerous landslides, cracks and deformation of the ground.
XII. Catastrophic	Total destruction – everything is destroyed. Lines of sight and level distorted. Objects thrown into the air. The ground moves in waves or ripples. Large amounts of rock move position. Landscape altered, or leveled by several meters. Even the routes of rivers can be changed.

Şiddet haritaları nasıl hazırlanır :

- Anket ve gözlem verisi kullanılarak
- İnternet üzerinden bilgi toplayarak
- Aletsel kayıt bilgileri kullanılarak

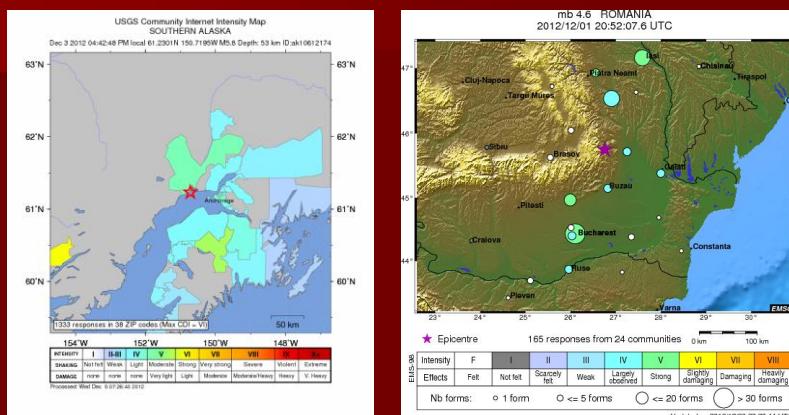
Makroismik anket soruları :

- Neredeydin? Ne yapıyordun?
- Sarsıntıyı tanımlamışın?
- İnsanlar ve hayvanlar üzerinde etkileri nelerdir?
- Objeler ve yapılar üzerinde etkileri nelerdir?

E. YALÇINKAYA

11

Did you feel it? – Tell Us !



You felt this earthqauke. Tell us!

E. YALÇINKAYA

12

Classification of damage to masonry buildings	
	Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.
	Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.
	Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).
	Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.
	Grade 5: Destruction (very heavy structural damage) Total or near total collapse.

E. YALÇINKAYA

13

Şiddet	Zemin İvmesi (gal) (0.1-0.5 sn periyod aralığı için)	Yer Titresiminin (0.5-2 sn periyod hızı cm/sn aralığı için)	YAPI TIPLERİ		
			Ax (Kırsal konutlar)	Bx (Tuğla yapılar)	Cx (Betonarme yapılar)
V	12-15	1.0-2.0	%5 Hafif hasar	-	-
VI	25-50	2.1-4.0	% 5 Orta Hasar % 50 Hafif Hasar	%5 Hafif hasar	-
VII	50-100	4.1-8.0	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	%5 Orta hasar	% 5 Hafif hasar
VIII	100-200	8.1-16.0	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı	%5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	% 5 Ağır hasar % 50 Orta Hasar
IX	200-400	16.1-32.0	% 50 Fazla Yıkıntı	% 5 Fazla Yıkıntı %50 Yıkıntı	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar
X	400-800	32.1-64.0	% 75 Fazla Yıkıntı	%50 Fazla Yıkıntı	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı

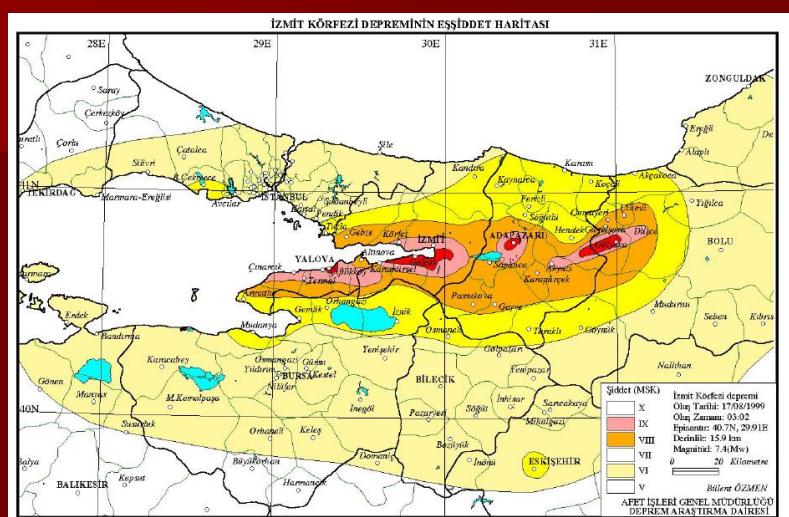
Yararlanılan Kaynaklar
www.usgs.gov

E. YALÇINKAYA

14



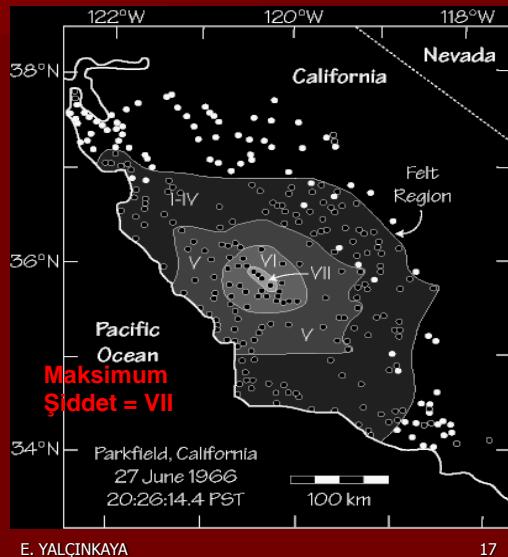
15



16

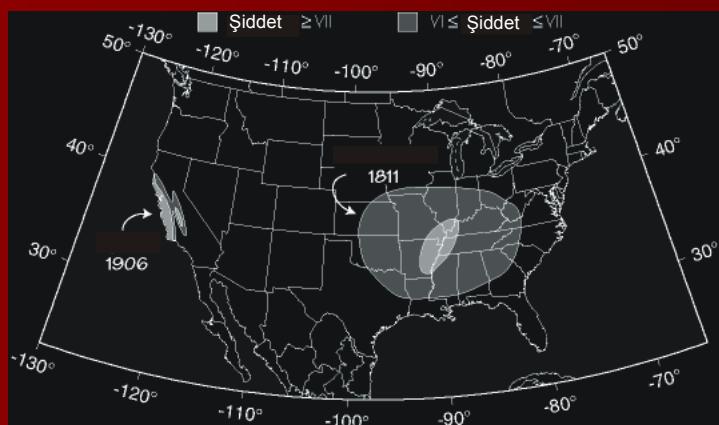
Maksimum Şiddet

- ☞ Maksimum şiddet, daha çok tarihsel depremlerin büyüklüklerini ve episantlarını belirlemek amacıyla kullanılır.



17

1906 SF ve 1811 New Madrid

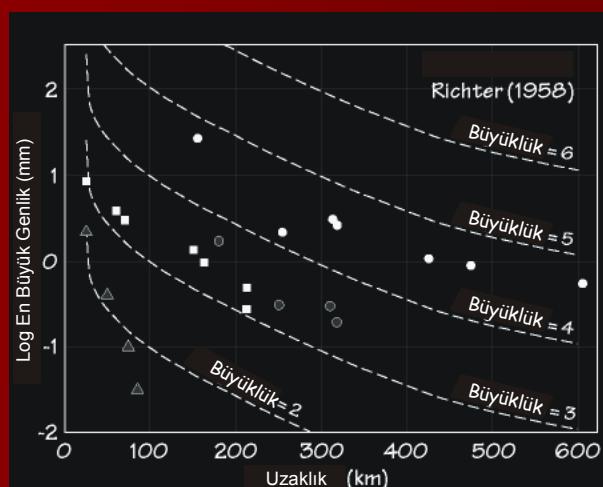


Bu depremlerin büyüklüklerinin birbirine çok yakın olmasına karşın, şiddet konturları birbirinden çok farklıdır.

Deprem Büyüklük Ölçekleri

1930'larda Japonya'da Wadati, Amerika'da Richter, farklı depremlere ait kayıtlarda maksimum genliklerin farklı olduğunu fakat genliklerin uzaklıkla azalımlarının benzer özellikler gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Richter'in Gözlemleri



Genel olarak magnitüd bağıntısı;

$$M = \log(A/T) + f(\Delta, h) + c_s + c_r$$

A ; kullanılan fazın yerdeğiştirme genliği (mikron)

T ; baskın periyod (sn)

$f(\Delta, h)$; kaynak derinliği ve alıcı uzaklığuna bağlı azalım düzeltmesi

C_s ; alıcının bulunduğu yerel zemin koşullarıyla ilgili düzeltme

C_r ; kaynak bölgesi ile ilgili düzeltme

E. YALÇINKAYA

21

Logaritmik Ölçek

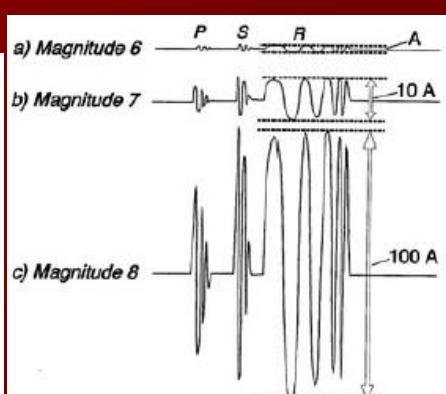
☞ Logaritmik bir ölçekte büyülüklük

Büyüdükteki bir birimlik bir değişiklik, yer titreşimi genliğinde 10 katı bir değişikliğe karşılık gelir.

A magnitude 8.7 earthquake is 794 times BIGGER on a seismogram than a magnitude 5.8 earthquake. The magnitude scale is logarithmic, so

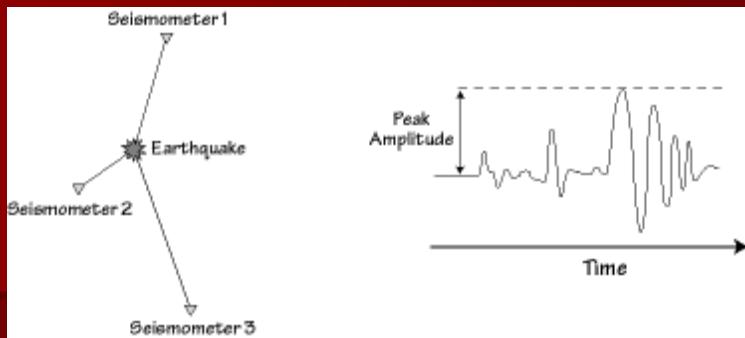
$$(10^{**8.7})/(10^{**5.8}) = \\ (5.01*10^{**9})/(6.31*10^{**6}) = \\ .794*10^{**3} = 794$$

$$\text{OR} = 10^{**}(8.7-5.8) = 10^{**2.9} = \\ 794.328$$



Sismogramlardaki En Büyük Genlik

- En büyük genlik, kayıtlarda sıfır çizgisinden ölçülen en büyük uzaklıktır.

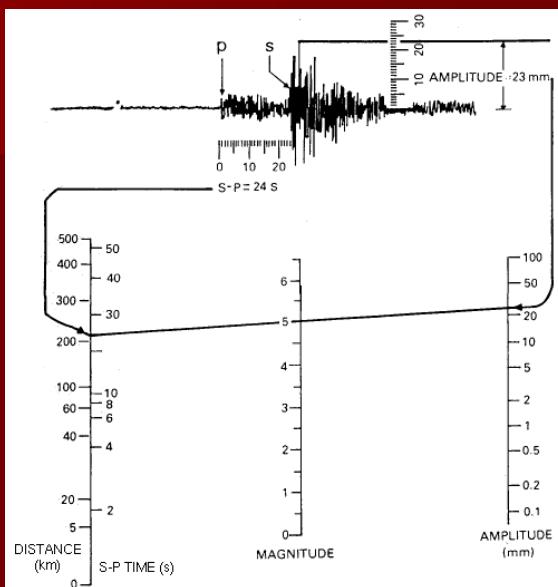


Büyüklük Ölçekleri

1. Lokal Magnitüd (M_L)
2. Cisim Dalgası Magnitüdü (m_b)
3. Yüzey Dalgası Magnitüdü (M_S)
4. Süreye Bağlı Magnitüd (M_D)
5. Moment Magnitüdü (M_w)

Lokal Magnitüd (M_L) (Richter Magnitüdü)

- ☞ Richter bir referans değeri A_o belirledi
 - ◆ $M_L = \log A - \log A_o$
 - A ; sismogramdaki genlik, A_o ; bir referans depremi için gözlenen genlik.
- ☞ Güney California için
 - ◆ $M_L = \log A + 2.76 \log(\Delta) - 2.48$
 - Δ ; mesafe (km).



Lokal Magnitüd (M_L)

- California depremleri için rölatif büyüklükleri veren pratik bir ölçektir.
- Genlik; Wood-Anderson adı verilen özel bir sismograf tarafından alınan kayıttan ölçülen en büyük genliktir (genellikle S dalgası).
- Son yıllarda kullanımının oldukça azalmasına karşın, Wood-Anderson sismografının hakim periyodu 0.8 sn olup bir çok yapının hakim periyoduna yakın olduğundan M_L özellikle mühendislik sismolojisinde yararlı bir büyüklük olmuştur.

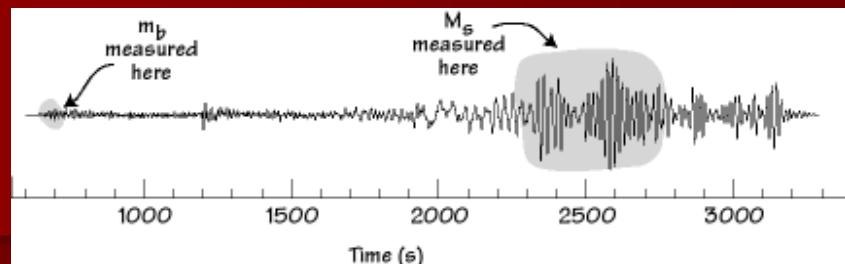
E. YALÇINKAYA

27

Telesismik M_S ve m_b

☞ İki en önemli modern büyüklük ölçüği:

- ◆ M_S , Yüzey dalgası büyülüğu (Rayleigh dalgası)
- ◆ m_b , Cisim dalgası büyülüğu (P-dalgası)



Cisim dalgası magnitüdü (m_b)

$$m_b = \log(A/T) + Q(\Delta, h)$$

- A ; genlik (mikron): ilk gelen birkaç saniyelik P dalgasından okunur
- T ; periyod (sn) : genellikle periyodu 1 sn civarındaki dalgalar kullanılır
- Q : uzaklık ve derinliğe bağlı düzeltme

E. YALÇINKAYA

29

Yüzey dalgası magnitüdü (M_s)

$$M_s = \log(A/T) + 1.66 \log \Delta + 3.3$$

$$M_s = \log A_{20} + 1.66 \log \Delta + 2.0$$

- A ; genlik (mikron): düşey bileşen Rayleigh dalgasından okunur
- T ; periyod (sn) : genellikle periyodu 20 sn civarında olan Rayleigh dalgaları kullanılır
- Δ : uzaklık (derece)

E. YALÇINKAYA

30

Süreye bağlı magnitüd (M_D)

$$M_D = -0.87 + 2.0 \log \tau + 0.0035\Delta$$

- τ ; depremin devam süresi (sn)
- Δ ; episantr uzaklığı (km)

- Depremin belirli bir genlik değerini aştığı ve tekrar bu değerin altına düşüğü an arasındaki zaman kullanılır.
- Küçük ve yerel depremler için kullanılır.

E. YALÇINKAYA

31

Magnitüd Farklılıkları

☞ İdeal olarak istenen her bir deprem için aynı büyüklük değerinin bulunmasıdır, yani;

$$\blacklozenge M_S = m_b = M_L$$

☞ Fakat bu her zaman gerçekleşmez:

İzmit 17/8/99: $M_S = 7.8$, $m_b = 6.3$

Taiwan 20/9/99: $M_S = 7.7$, $m_b = 6.6$

E. YALÇINKAYA

32

Niçin Büyüklük Ölçekleri Farklı?

En basit cevap:

- Depremler çok karmaşık bir fiziğe sahip olaylardır ve tek bir değerle tam olarak tanımlanamazlar.

E. YALÇINKAYA

33

Niçin Büyüklük Ölçekleri Farklı?

Daha karmaşık cevap:

- Her büyülük farklı frekansta dalgalar kullanılarak hesaplanır.
- Genlikler için yapılan uzaklık düzeltmesi jeolojiye bağlıdır.
- Derin depremler büyük yüzey dalgaları üretmezler – M_S derin depremler için küçük hesaplanır.
- Bazı depremler aynı genlige sahip olmalarına karşın diğerlerinden daha uzun sürerler.

E. YALÇINKAYA

34

Niçin Büyüklük Ölçekleri Farklı?

En karmaşık cevap:

- Büyüklük ölçekleri doyuma ulaşır
- Bu, deprem büyüklüğüne aldırmaksızın büyülüük ölçeklerinde bir üst sınırın var olduğunu gösterir
- Örneğin M_s (yüzey dalgası büyüklüğü) 8.2-8.3 değerini aşmaz

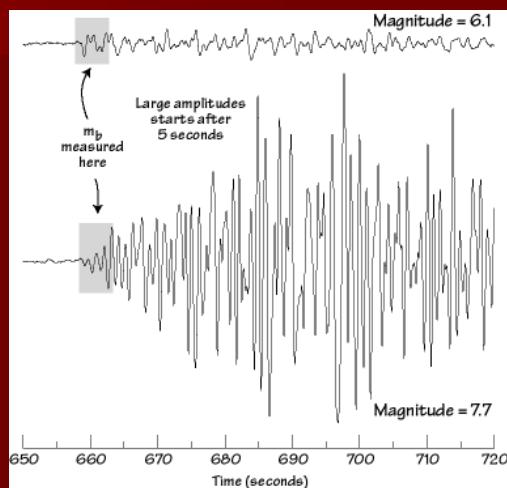
E. YALÇINKAYA

35

Örnek: m_b “Doyum”

☞ m_b seyrek olarak 6.7 değerini aşar- yani “doyuma” ulaşır.

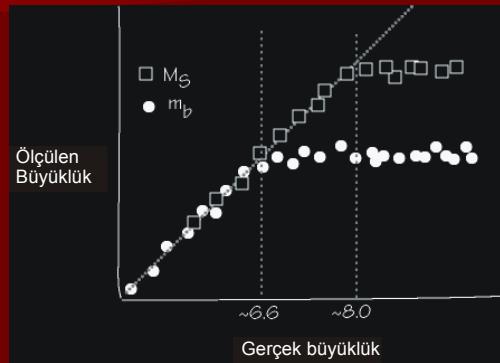
☞ m_b , her zaman kaydın ilk 5 saniyeden hesaplanmalıdır.



E. YALÇINKAYA

36

Doyum



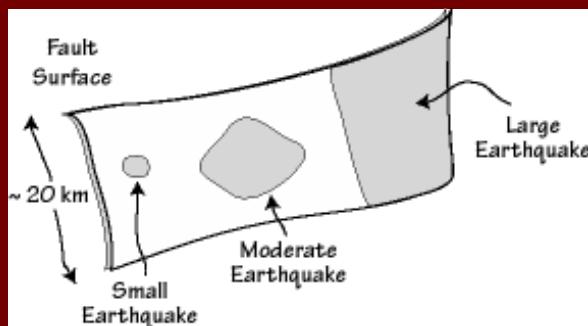
E. YALÇINKAYA

37

Doyuma Ne Sebep Olur?

☞ Kırılma işlemi

- Küçük depremler küçük alanları kırarlar ve nispeten kısa periyotlu dalgalarдан oluşurlar
- Büyük depremler büyük alanları kırarlar ve nispeten uzun periyotlu dalgalarдан oluşurlar



E. YALÇINKAYA

38

m_b ve M_s hala faydalı mıdır?

EVET!

- Çoğu deprem doyum oluşturamayacak kadar küçüktür
- Açıga çıkan enerji ve m_b - M_s büyüklükleri arasında empirik ilişkiler mevcuttur
- m_b - M_s oranı verilen bir sismogramın bir depremden mi yoksa nükleer bir patlatmadan mı kaynaklandığını gösterebilir

E. YALÇINKAYA

39

Daha iyi bir ölçek var ?

Evet, *sismik moment* – M_0

- Büyüklük sınırlamasından kurtulmak için 1960'larda keşfedildi
- Fiziksel olarak enerji birimine sahip (Nm, cal, J)
- Depremin büyüklüğüne işaret eden üç faktörün çarpımıdır

$$M_0 = (\text{kayma modülü}) \times (\text{kırılma alanı}) \times (\text{kayma miktarı})$$

$$M_0 = \mu AD$$

E. YALÇINKAYA

40

$$M_0 = \mu AD$$

μ ; kabuk için 3.0×10^{11} dyne.cm

A ; kırılma alanı (cm^2)

D ; fay üzerinde ortalama atım miktarı (cm)

İzmit-Gölcük depremi için ;

$$A = 145 \times 20 = 290 \text{ km}^2$$

$$D = 4 \text{ m}$$

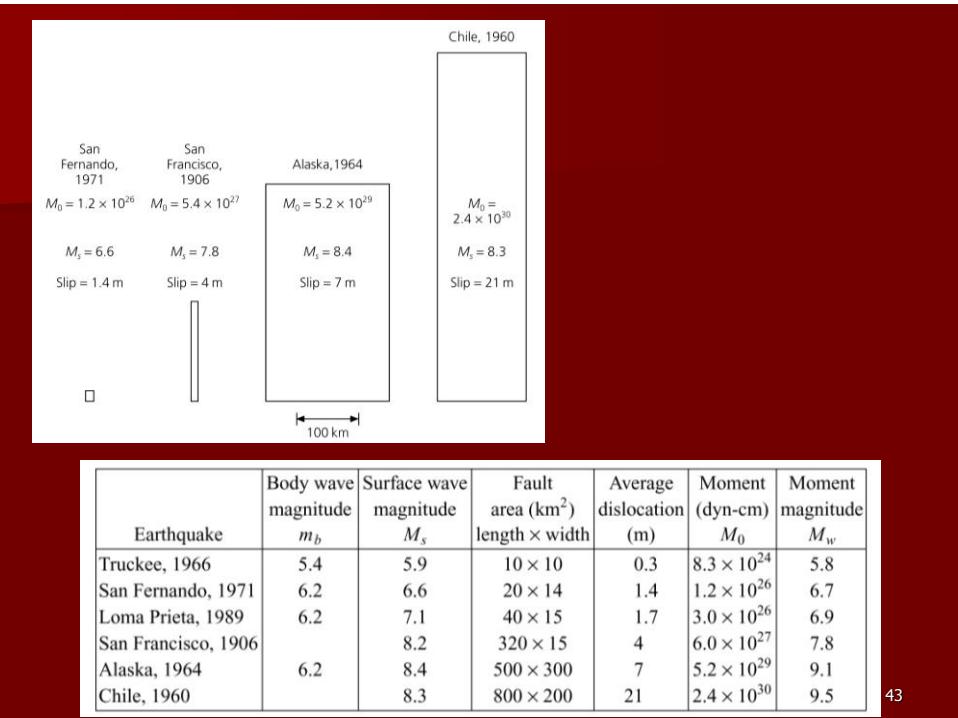
$$M_0 = 3.0 \times 10^{11} * 290 \times 10^{10} * 4 \times 10^2$$

$$M_0 = 3.48 \times 10^{26} \text{ dyne.cm}$$

Moment Magnitidü, M_W

- ☞ Karşılaştırmalar yapmak için sismik momentten hesaplanan moment magnitüdünü kullanırız.

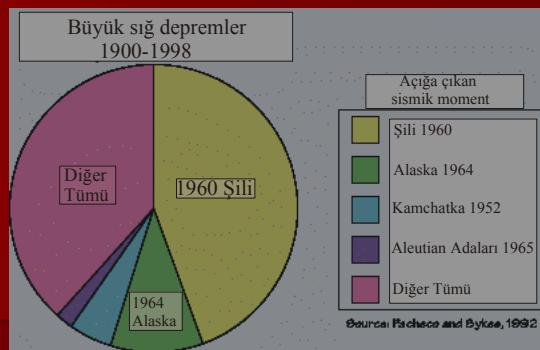
$$M_W = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$$



En Büyük Depremler

M_w ; büyük depremleri karşılaştırmak için en iyi seçimdir. Çünkü, doyuma ulaşmaz.

1960 Şili	9.5
1964 Alaska	9.2
1952 Kamchatka	9.1
1965 Aleutians	9.0



Enerji

Bir deprem sırasında açığa çıkan toplam enerji iki kısma ayrılır :

1. sismik dalga enerjisi
2. ısı enerjisi

$$E = E_S + E_f$$

E. YALÇINKAYA

45

$$\log E_S = 11.8 + 1.5M_S$$

$$\log E_S = 5.8 + 2.4m_b$$

Bu bağıntılara göre ; büyüklükte bir birim değişiklik, açığa çıkan enerjide yaklaşık 30 kat farka yol açar.

The magnitude scale is really comparing amplitudes of waves on a seismogram, not the STRENGTH (energy) of the quakes. So, a magnitude 8.7 is 794 times bigger than a 5.8 quake as measured on seismograms, but the 8.7 quake is about 23,000 times STRONGER than the 5.8! Since it is really the energy or strength that knocks down buildings, this is really the more important comparison. This means that it would take about 23,000 quakes of magnitude 5.8 to equal the energy released by one magnitude 8.7 event. Here's how we get that number:

One whole unit of magnitude represents approximately 32 times (actually $10^{1.5}$ times) the energy, based on a long-standing empirical formula that says $\log(E)$ is proportional to $1.5M$, where E is energy and M is magnitude. This means that a change of 0.1 in magnitude is about 1.4 times the energy release. Therefore, using the shortcut shown earlier for the amplitude calculation, the energy is,

$$32 * 32 * 32 / 1.4 = 23,405 \text{ or about } 23,000$$

The actual formula would be:

$$((10^{1.5})^{8.7}) / ((10^{1.5})^{5.8}) = 10^{(1.5)(8.7-5.8)} = 10^{(1.5)(2.9)} = 22,387$$

E. YALÇINKAYA

46

ÖZET

- Büyüklük, yer titreşim genliğinin bir ölçüsüdür.
- Depremleri çalışmak için birden çok büyüklik ölçüği kullanılır.
- Tüm büyüklik ölçekleri aynı logaritmik ölçüye sahiptirler.
- Farklı periyotlu titreşimler ve farklı dalga tipleri kullanıldığından, büyüklik ölçekleri her zaman aynı değeri vermezler.

Büyüklik	Sembol	Dalga	Periyod
Lokal (Richter)	M_L	S veya Yüzey Dalgası	0.8 s
Cisim Dalgası	m_b	P	1 s
Yüzey Dalgası	M_s	Rayleigh	20 s
Moment	M_w	Kırılma Alanı, Slip	100's-1000's

Gelecek ders

- Depremlerin istatistiği



E. YALÇINKAYA

48