

Fiziksel Jeoloji,TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Çeviri Serisi No: 1,
J.S.Monroe, R. Wicander, Çeviren : Kadir Dirik, Mehmet Şener'den

EARTHQUAKE



9. DEPREMLER

Jeologlar **depremi**, genelde kırıklar boyunca kayaçların ötelenmesini kapsayan faylanma sonucunda ani enerji boşalmasının neden olduğu sarsıntı ya da titreme olarak tanımlar. Depremin ardından fay boyunca süregelen düzenlemeler **artçı şoklar** olarak bilinen bir dizi deprem daha üretir. Birçoğu ana şoktan daha küçük olan bu depremler 1999 Türkiye depreminde de gördüğümüz gibi zaten zayıflamış durumda olan yapılarda önemli oranda hasara yol açabilirler.

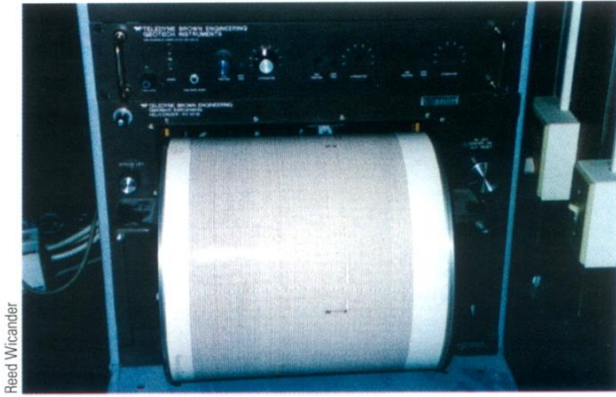
Son 4000 yılda depremlerden dolayı 13 milyon kadar insan ölmüş ve bu ölümlerin yaklaşık 2.7 milyonu son yüzyılda olmuştur (*Tablo 9.1*).

Yıl	Yer	Büyükölük (1935 öncesi tahmini)	Ölümler (tahmini)
1556	Çin (Shanxi İli)	8.0	1,000,000
1755	Portekiz (Lizbon)	8.6	70,000
1906	ABD (San Francisco, Kaliforniya)	8.3	700
1923	Japonya (Tokyo)	8.3	143,000
1976	Çin (Tangshan)	8.0	242,000
1985	Meksika (Mexico City)	8.1	9,500
1988	Ermenistan	7.0	25,000
1990	İran	7.3	40,000
1993	Hindistan	6.4	30,000
1995	Japonya (Kobe)	7.2	5,000+
1998	Afganistan	6.1	5,000+
1999	Türkiye	7,4	17,000
2003	İran	6.3	30,000

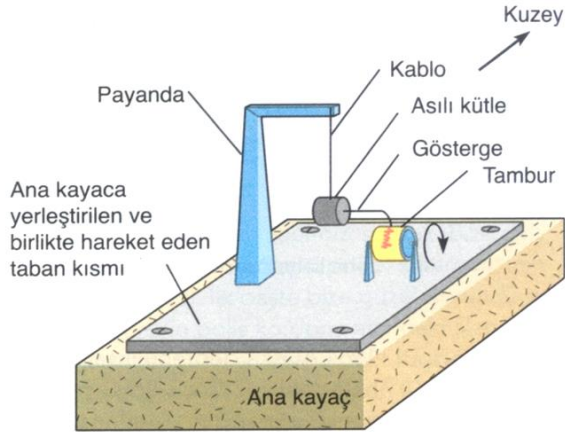
Tablo 9.1: Bazı önemli depremler.

➤ Sismoloji Nedir?

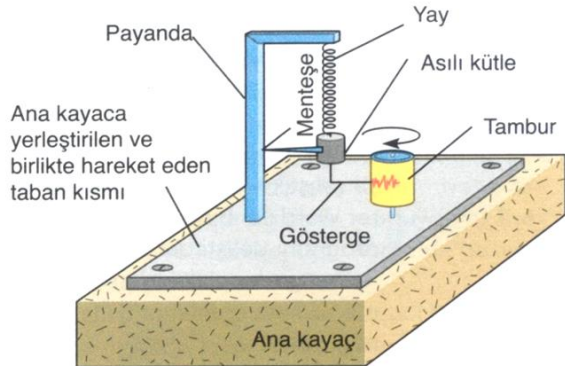
Sismoloji (deprembilim), 1880'li yıllarda depremin ürettiği titreşimleri saptayan, kaydeden ve ölçen aletler olan **sismografların** geliştirilmesiyle gerçek bir bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 9.2). Sismografin yaptığı kayda **sismogram** denir. Bugün birçok sismograf elektronik alıcılar kullanmalarına karşın, hareketleri bilgisayara aktarıp çıkaran yeni sistemler büyük ölçüde önceki sismografların şerit-şemalı sismogramların yerini almıştır.



(a)

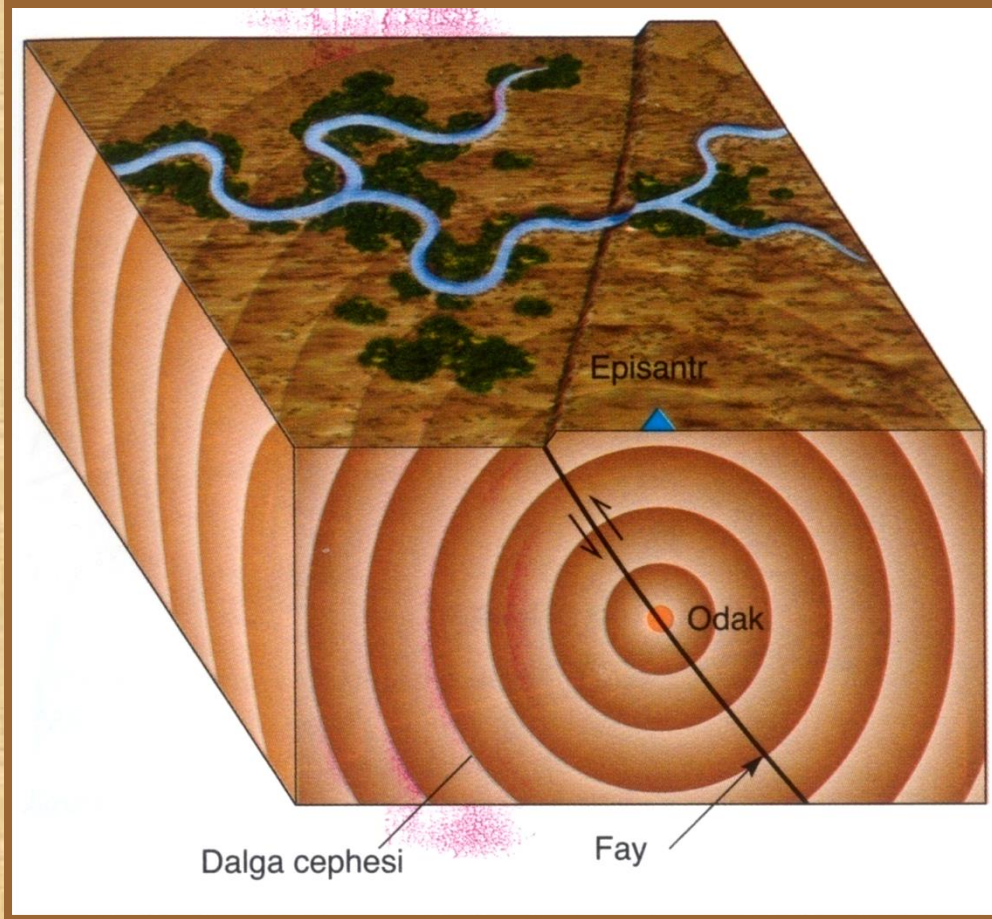


(b)



(c)

Şekil 9.2: Günümüz sismografları deprem dalgalarını elektronik olarak kaydeder. **(a)** Bir sismografin kaydettiği dalgalar. **(b)** Bir yatay hareket sismografı. Deprem sırasında düzeneğin diğer kısmı zeminle birlikte hareket ederken üzerinde gösterge bulunan ağır kütle, eylemsizliği yüzünden sabit kalır. Kolun uzunluğu yer hareketinin yönüne paralel olmadıkça gösterge, deprem dalgalarını dönmekte olan tambur üzerine kaydedecektir. Bu sismograf, batıdan doğuya doğru olan dalgaları kaydederken gerek duyulduğunda bu sismografa dik açılarda olan bir başka sismograf da kuzeyden güneye olan dalgaları kaydeder. **(c)** Bir düşey hareket sismografı. Bu sismograf da yatay hareket aletiyle aynı ilkeyle çalışır ve düşey yer hareketlerini kaydeder.



Bir deprem olduğunda enerji, **sismik dalgalar** halinde bırakıldığı noktadan dışarıya doğru dağılır (Şekil 9.3). Bu dalgalar durgun bir su birikintisine atılmış taşın etkisiyle oluşan dalgalara benzer. Buradaki dalgalardan farklı olarak deprem dalgaları kaynağından itibaren dışarıya doğru tüm yönde ilerler.

Şekil 9.3: Bir depremin odağı, kırılmanın başlayıp enerjinin boşaldığı yerdir. Odaktan Yeryüzüne çizilen dikmenin yüzeyi kestiği yer episantrdir. Deprem dalgası cepheleri, kaynağı olan deprem odağından dışa doğru tüm yönlerde ilerler.

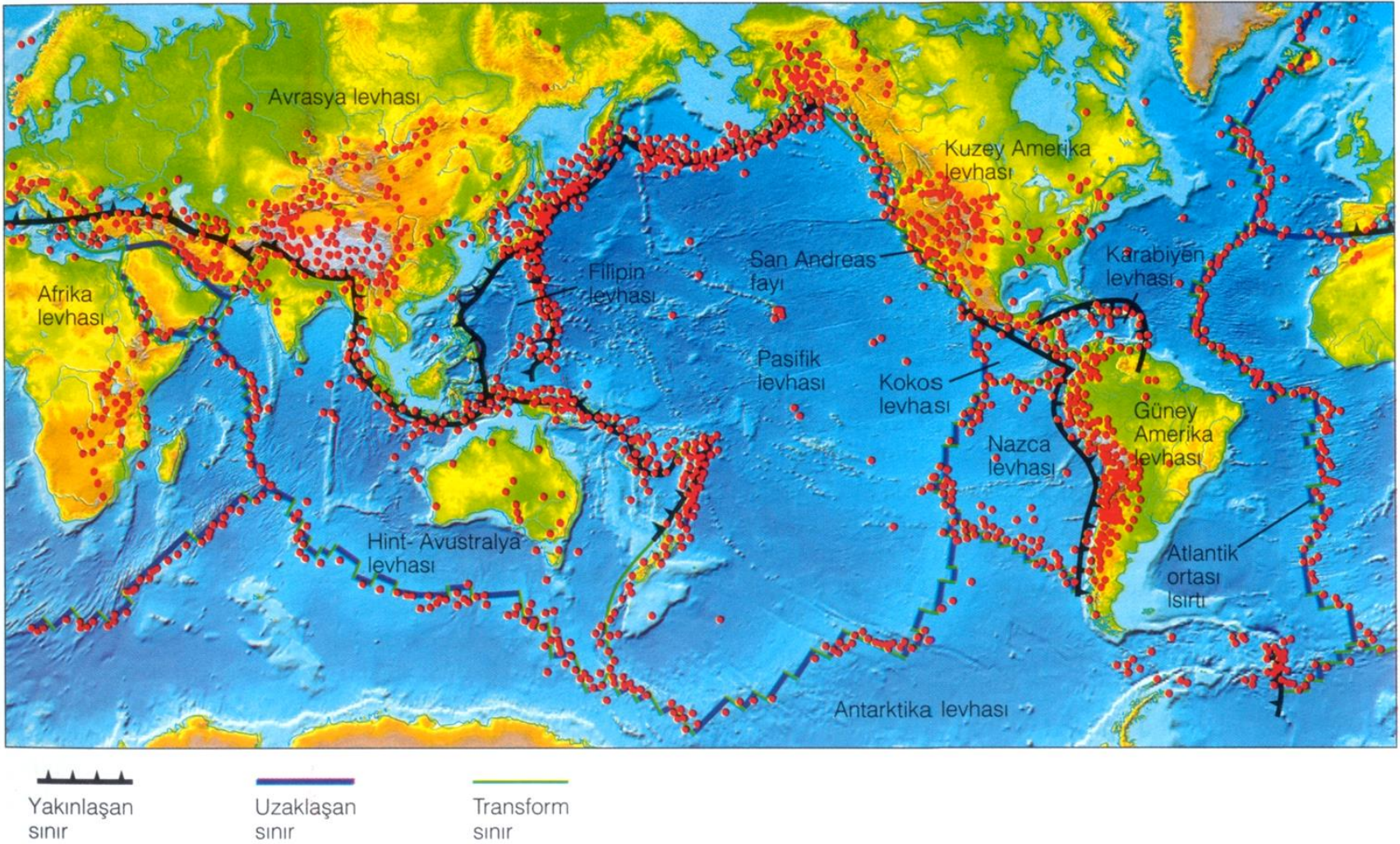
▪ Deprem Odağı (İç Merkez) ve Episantr (Dış Merkez)

Yer'in içinde kırılmanın başladığı, yani enerjinin ilk boşaldığı, nokta depremin odak noktası ya da **hiposantrı**dır. Haber bültenlerinde genellikle odak noktasından yeryüzüne dik çıkan nokta olan **episantrı** duyarız (Şekil 9.3).

Sismologlar depremleri odak derinliklerine göre üç gruba ayırırlar. **Sığ odaklı** depremlerin odak derinlikleri yüzeyden itibaren 70 km den daha az olurken, **orta odaklı** depremlerin odak derinlikleri 70 ile 300 km arasında ve **derin odaklı** depremlerin ise odak derinlikleri 300 km den daha derin olan depremleri kapsar. Depremler eşit biçimde bu gruplar arasında dağılmaz. Bütün deprem odaklarının yaklaşık %90'ının odak derinliği 100 km'nin altındadır oysa sadece %3 kadarı derin odaklıdır. Birkaç istisnaya birlikte sığ odaklı depremler en yıkıcı olanlarıdır.

➤ Depremler Nerelerde ve Ne Sıklıkta Olur?

Dünya üzerinde deprem etkinliğinin olmadığı hiçbir yer yoktur ama depremlerin hemen hemen %95'i levhaların birbirine yaklaştığı, uzaklaştığı ya da birbirine teğet geçtiği levha sınırlarına denk düşen sismik kuşaklarda gerçekleşir. Levha kenarlarının uzağında depremsellik en alt düzeydedir. Levha kenarları ve depremlerin dağılımları arasındaki ilişki, deprem episantır yerlerinin Yer'in levha sınırlarını gösteren bir harita üzerine işlenmesi ile kolayca izlenebilir (*Şekil 9.4*).



Şekil 9.4: Deprem episentrlarının dağılımı ve levha sınırları arasındaki ilişki. Depremlerin yaklaşık %80'i Pasifik çevresi kuşağında, %15'i Akdeniz-Asya kuşağında ve geriye kalan %5'i de levha içlerinde ya da okyanus yayılma sırtlarında olur. Her nokta tek bir deprem episantırını gösterir.



Şekil 9.6: Pasifik çevresi kuşağında deprem hasarları. **(a)** 5000 den fazla insanın öldüğü Japonya, Kobe'de Ocak 1995 depreminin neden olduğu hasarın bir bölümü. **(b)** Kaliforniya, Oakland'da Ekim 1989 Loma Prieta depreminden kaynaklanan hasar. 880 no.lu Interstate'in üst güvertesini destekleyen sütunlar yenilerek üst güvertenin alt güverte üzerine çökmesine yol açmıştır. **(c)** Kaliforniya, Northridge'de Ocak 1994 depreminin bir sonucu olarak on altı insanın öldüğü Northridge Meadows apartmanlarının dış yüzlerinde görülen ciddi hasar.



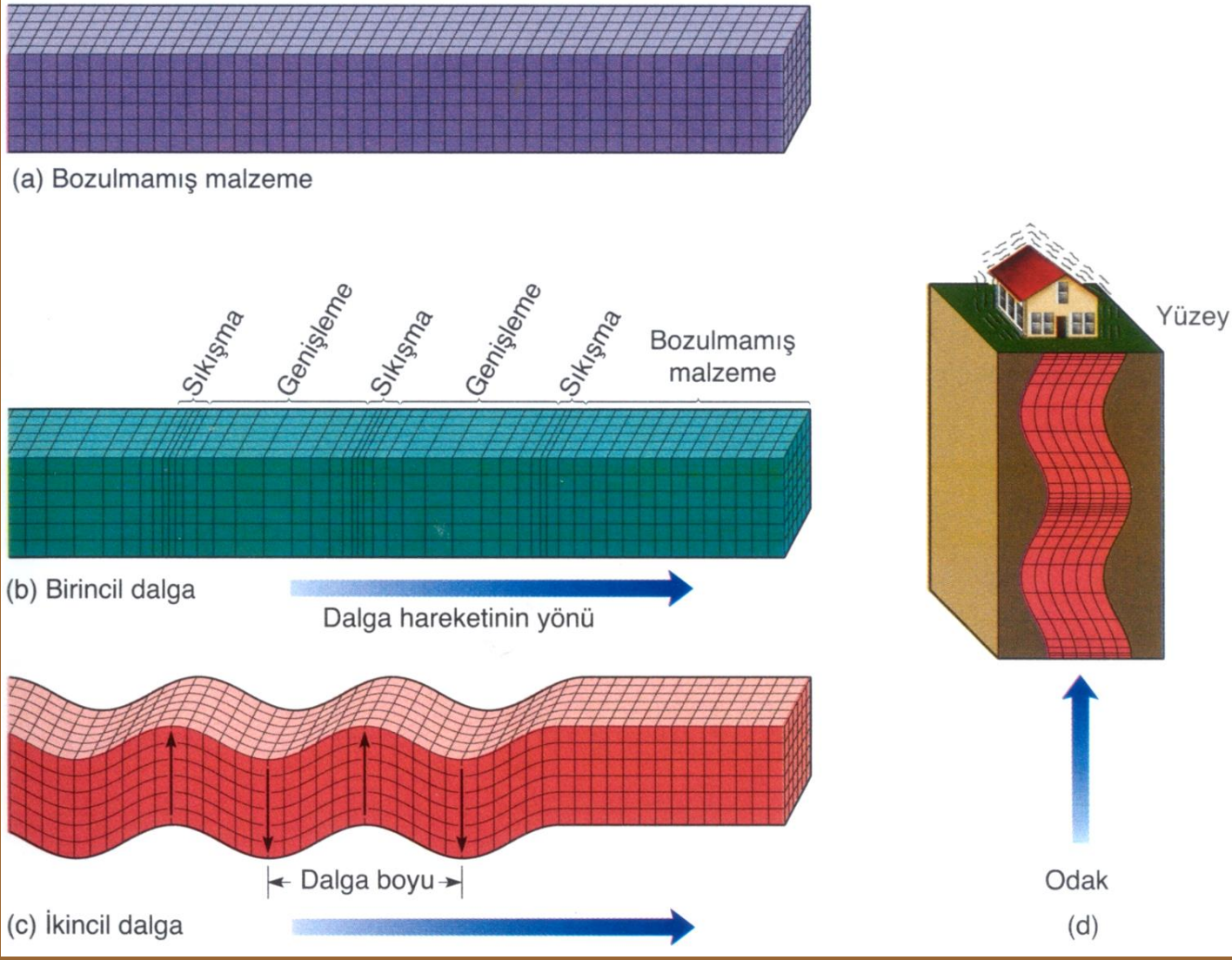
Şekil 9.7: Güney Carolina, Charleston'da 31 Ağustos 1886 depreminin yaptığı hasar. Bu deprem ABD'nin doğusunda kaydedilmiş en büyük depremdir.

➤ Deprem Dalgaları Nelerdir?

■ Cisim Dalgaları

Bir deprem iki tür cisim dalgası yaratır. P-dalgaları ve S-dalgaları (Şekil 9.8). **P-dalgaları** ya da **birincil dalgalar** en hızlı deprem dalgaları ve katı, sıvı ve gazların içinde yol alabilirler. P-dalgaları sıkışma ya da itme-çekme dalgalarıdır ve dalgaların kendilerinin de ilerlediği aynı yönde bir hat boyunca malzemenin ileri geri hareket ettiği ses dalgalarına benzerler (Şekil 9.8.b).

S-dalgaları ya da **ikincil dalgalar**, P-dalgalarından biraz daha yavaştır ve sadece katı malzemelerde yol alabilir. S-dalgaları makaslama dalgalarıdır çünkü malzemeyi hareket yönüne dik olarak hareket ettirerek içlerinde yol aldıkları malzemedeki makaslama gerilimi yaratırlar (Şekil 9.8.c).



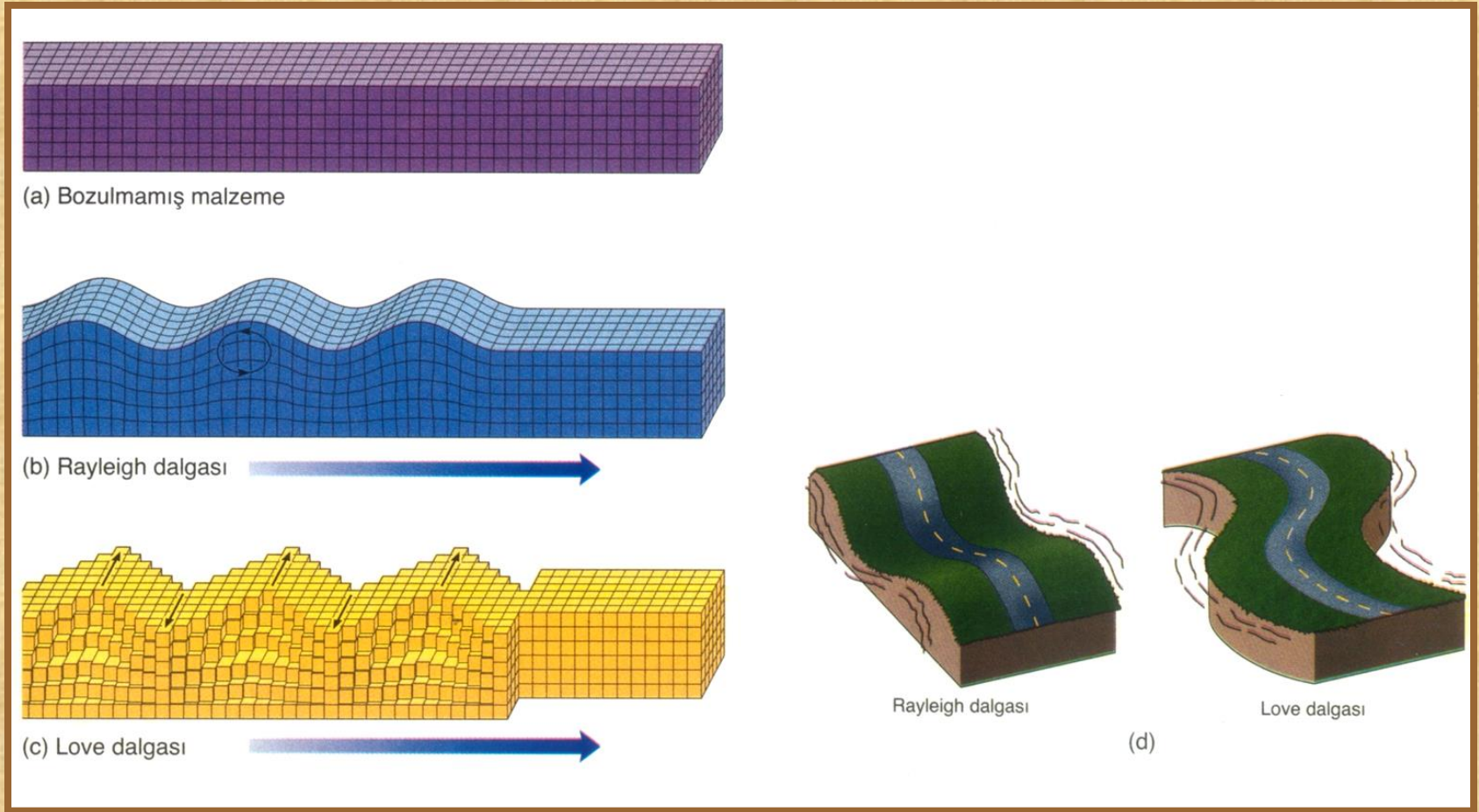
Şekil 9.8: (a) Bozulmamış malzeme. (b) ve (c) Cisim dalgalarının Yer boyunca nasıl ilerlediğini gösteriyor. (b) Birincil dalgalar (P-dalgaları) ilerlediği yönde malzemeyi sıkıştırır ve genişletir. (c) İkincil dalgalar (S-dalgaları) malzemeyi dalga hareket yönüne dik olarak hareket ettirir. (d) P- ve S-dalgaları ile yüzey yapılarına olan etkileri.

■ Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları yeryüzünde ya da yüzeyin hemen altında yol alır ve cisim dalgalarından daha yavaştır. Cisim dalgalarının sebep olduğu ani sarsıntı ve sallanmanın tersine, yüzey dalgaları genel olarak, bir kayıkta hissettiğimize çok benzeyen bir yalpalanma ya da ileri geri sallanma hareketini yaratır.

Yüzey dalgalarının birkaç türü tanımlanır. En önemli ikisi onları keşfeden kişilerin adları ile anılan **Rayleigh dalgaları (R-dalgaları)** ve **Love dalgalarıdır (L-dalgaları)**. Rayleigh dalgaları çoğunlukla daha yavaştır ve su dalgaları gibi davranır; bu dalgalar ilerlerken malzemenin taneleri dalga hareketi yönündeki dikey bir düzlem içinde elips şeklinde bir yol kat ederek su dalgalarına benzer biçimde davranırlar (Şekil 9.9.b).

Love dalgasının hareketi ise S-dalgasının hareketine benzer, ama malzemenin taneleri dalga ilerleyişinin yönüne dik olan yatay bir düzlemde sadece ileri geri hareket ederler (Şekil 9.9.c). Bu yanıl hareket tipi özellikle binaların temellerine hasar verebilir.



Şekil 9.9: Yüzey dalgaları. **(a)** Bozulmamış malzeme. **(b)** ve **(c)**, yüzey dalgalarının Yer yüzeyi boyunca ya da hemen altında nasıl ilerlediğini gösteriyor. **(b)** Rayleigh dalgaları (R-dalgaları) malzemeyi düşey düzlemde, dalga hareket yönüne paralel yönlendirilmiş bir düzlem içinde elips şeklinde hareket ettirir. **(c)** Love dalgaları (L-dalgaları) malzemeyi yatay düzlemde dalga hareket yönüne dik olan bir yatay düzlemde ileri geri hareket ettirir. **(d)** R- ve L- dalgalarının geliş yüzeyin yan yan dalgalanmasına neden olur.

➤ Depremın Büyüklüğü ve Gücü Nasıl Ölçölür?

❑ **Şiddet:** Depremın yaptığı hasar türünün ve insanların depreme gösterdiği tepkilerin nesnel bir ölçüsüdür. *Tablo 9.2’de Amerika’da en yaygın kullanılan şiddet ölçeğı olan **değıştirilmiş mercalli şiddet ölçeğı** gösterilmiştir.*

❑ **Büyüklük:** Depremleri sayısal açıdan kıyaslayacak olursak, şiddetten bağımsız olan ve bırakılan enerji miktarını ölçen bir derecelendirme kullanmamız gerekir. 1935 yılında Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü’nde bir sismolog olan Charles F. Richter böylesi bir ölçeğı geliştirmiştir. **Richter Büyüklük Ölçeğı** depremin kaynağında boşalan toplam enerji miktarı olan **büyüklüğünü ölçer.** Bu ölçek 1 ile başlayan açık uçlu bir derecelendirmedir. Bugüne kadar kaydedilen en büyük değeri 8.6 dır ve kuramsal olarak kayaçların 9’dan büyük değeri mümkün olsa da ana kayaçların o büyüklükte depremler üretecek kadar gereken enerjiyi bünyesinde barındırabilmesi pek muhtemel görünmez.

Tablo 9,3’de dünya çapında çeşitli büyüklüklere sahip depremlerin yıllık ortalama sayısı gösterilmiştir.

I	<i>Çok özel şartlarda birkaç kişi dışında hissedilmez.</i>
II	<i>Özellikle binaların üst katlarında sadece dinlenen bazı insanlar tarafından hissedilir.</i>
III	<i>Özellikle binaların üst katlarında olmak üzere ev içinde oldukça fazla hissedilir, ama çoğu kimse bunun deprem olduğunu düşünmez. Duran otomobiller hafifçe sallanır.</i>
IV	<i>Gündüz vakti ev içinde çoğu kimse, dışarıda ise birkaç kişi tarafından hissedilir. Geceleyin bazılarını uyandırabilir. Binaya ağır kamyon çarpmış hissi verirken duran otomobiller oldukça sallanır.</i>
V	<i>Neredeyse herkes tarafından hissedilir, çoğunu uykudan uyandırır. Bazı tabaklar, pencereler, vb. kırılabilir. Duvar sıvası çok az çatlayabilir. Ağaçların, direklerin ve diğer uzun nesnelerin zarar görmesi mümkündür.</i>
VI	<i>Herkes hisseder, çoğu kişi korkar ve evden kaçır. Bazı ağır eşyalar yer değiştirir. Bacalar hasar görür ve sıva dökülebilir. Hafif hasar.</i>
VII	<i>Herkes dışarı kaçır. İyi tasarlanmış ve yapılmış binalarda çok hafif hasar, iyi yapılmış sıradan binalarda hafif-orta hasar; kötü yapılmış ya da iyi tasarlanmamış binalarda çok hasar olabilir; bazı bacalar kırılır. Otomobil sürenler tarafından fark edilir.</i>
VIII	<i>Özel tasarımlı yapılarda az hasar, normal binalarda önemli hasarlar ve olası çökmeler, zayıf yapılmış binalarda büyük hasar görülür. Bacalar, anıtlar, duvarlar yıkılır. Ağır eşyalar devrilir. Az miktarda kum ve çamur fışkırması izlenebilir.</i>
IX	<i>Özel tasarımlı yapılarda önemli hasarlar olur. Binalar temellerinden kayır. Yerde belirgin çatlaklar görülür. Yer altı boruları kırılır.</i>
X	<i>İyi yapılmış bazı ahşap binalar yıkılır; taş binaların çoğu yıkılır; yer aşırı biçimde çatlar. Raylar eğilir. Nehir kenarları ve dik yamaçlarda heyelanlar olur. Sular nehir kıyılarından taşır.</i>
XI	<i>Çok az bina (taş binalar) ayakta kalır. Köprüler yıkılır. Yerde geniş yarıklar görülür. Yer altı boruları tamamen hizmet dışı kalır.</i>
XII	<i>Tümüyle hasar. Yüzeyde dalgalanmalar görülür. Eşyalar havaya savrulur.</i>

Tablo 9.2: Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Ölçeği

Büüklük	Etkileri	Yıllık Ortalama Sayı
2.5'tan az	<i>Hissedilmez ama kaydedilir.</i>	900.000
2.5-6.0	<i>Genellikle hissedilir; az-orta hasar verir.</i>	31.000
6.1-6.9	<i>Özellikle yoğun nüfuslu yerlerde yıkıcı potansiyele sahip.</i>	100
7.0-7.9	<i>Büyük depremler; ciddi hasar verir.</i>	20
8.0'dan büyük	<i>Çok büyük depremler; tümüyle yıkımla sonuçlanır.</i>	Her 5 yılda 1

Tablo 9.3: Dünya çapında çeşitli büyüklüklere sahip depremlerin yıllık ortalama sayısı.

➤ Depremlerin Yıkıcı Etkileri

❑ Yer Sarsıntısı

❑ Yangın

❑Tsunami

❑ Zemin Yenilmesi



Şekil 9.16: 1964 depremi sırasında Japonya, Niigata'da bu binaların çökmesi, suya doymun toprak üzerindeki yer sarsıntısı etkilerine dramatik bir örnektir. Depreme dayanıklı olarak tasarlanan binalar oldukları yerde yana yatmışlardır.



(a)



(b)

Şekil 9.17: **(a)** 1976 Çin, Tangshan depreminde ölen yaklaşık 242,000 kişinin çoğu yıkılan binaların altında kalarak can vermiştir. Birçok bina genelde esnemeyen, güçlendirilmemiş tuğladan yapılmış ve deprem sırasında hemen yıkılmıştır. **(b)** Hindistan, 1993 yılında son 50 yılda geçirdiği en kötü depremi geçirmiştir. En azından 30.000 kişi yıkılan binlerce tuğla ve taş evin altında kalarak ölmüştür.



Şekil 9.18: San Francisco Marina ilçesinde 1989 Loma Prieta depremi sırasında kopan gaz hatlarının neden olduğu yangın.



Şekil 9.19: Hawaii Adası Hilo kentinin sakinleri, kıyıdaki yola çarparak arkalarından gelen tsunamiden kaçıyor. 1 Nisan 1946'da Aleut Adalarında olan bir depreme bağlı olarak gelişen bu tsunami ve Hilo'da önemli ölçüde bir maddi hasar ile birlikte 159 kişinin hayatına mal olmuştur.



Şekil 9.20: Bir sanatçının gözüyle 1964 depremi sonrasında Alaska, Anchorage bölgesini vuran tsunaminin resmi. Resim görgü tanıklarının anlatımlarına dayanır.

➤ Bir Depreme Hazırlanmak İçin Neler Yapılabilir ?

Deprem tehlikesine açık bir bölgede yaşayan, böyle bir alanı ziyaret eden ya da taşınan birisi depremde doğabilecek riskleri ve kayıpları azaltacak belirli tedbirler alabilir (*Tablo 9.4.a, b ve c*).

a) Depremden Önce	
1	<i>Yaşadığınız ve çalıştığınız bölgenin jeolojik risklerinden haberdar olun.</i>
2	<i>Evinizin, sağlam bir biçimde temeline bağlı olduğundan ve duvarların, zeminlerin ve çatının tamamının da birbirine sıkıca bağlantılı olduğundan emin olun.</i>
3	<i>Kitaplıklar gibi ağır mobilyaları duvarlara vidalayın; kopmayan, yarı-esnek gaz boruları kullanın; su ısıtıcılarını ve fırınları borularından ayrılmamaları ve gaz hattı kaçağı ya da yangını engellemek için duvara tutturun. Tuğla bacaların, çatıya tutturulabilen bir dirseği ya da köşebendi olmalıdır.</i>
4	<i>Birkaç günlük içme suyu ve konserve stoğunu sağlayın ve el feneri, radyo pilleri ve bir yangın söndürücü edinin.</i>
5	<i>İlk yardım çantanızı hazırlayın, ilk yardım bilgilerinizi geliştirin.</i>
6	<i>Evdeki gaz, elektrik, su akımının nasıl kesileceğini öğrenin.</i>
7	<i>Her şeyin ötesinde deprem vurduğunda nasıl bir hareket tarzı geliştireceğinizi planlayın.</i>

Tablo 9.4.a

b) Deprem Sırasında

1	<i>Sakin olun ve paniğe kapılmayın</i>
2	<i>Bina içindeyseniz mümkünse bir sıra ya da masanın altına girin ya da bir odanın yapı bakımından en sağlam yerleri olan kapı girişi ya da odanın köşesinde durun; pencerelerden ve düşen molozlardan uzak durun.</i>
3	<i>Yüksek bir binadaysanız, merdivenlere ya da asansörlere doğru kaçmayın.</i>
4	<i>Zayıf ya da eski bir binanın içindeyseniz, orada kalmak yerine binanın dışına çıkmaya çalışın. Dışarıda düşme olasılığı olan enerji hatlarını ve diğer molozları hesaba katın.</i>
5	<i>Eğer dışarıdaysanız mümkünse binalardan uzakta açık bir alana gidin.</i>
6	<i>Eğer bir otomobilin içindeyseniz, arabada kalın, mümkünse yüksek binalar, üstgeçitler ve köprülerden uzak durun.</i>

Tablo 9.4.b

c) Deprem Sonrasında

1	<i>Yaralı değilseniz, sakın olun ve durumu değerlendirmeye çalışın.</i>
2	<i>Yaralı olanlara yardım edin.</i>
3	<i>Yangın ya da yangın riskleri olmadığından emin olun.</i>
4	<i>Evdeki gaz, elektrik ve suya gelen hasarı gözden geçirin ve gaz kokusu geliyorsa, gaz vanalarını kapatın.</i>
5	<i>Telefonu sadece acil durumlarda kullanın.</i>
6	<i>Gereksiz biçimde caddelerde dolaşmaya ya da gezmeye çıkmayın.</i>
7	<i>Heyelan ve kıyı alanlarından uzak durun.</i>
8	<i>Artçı şoklara hazırlıklı olun.</i>

Tablo 9.4.c