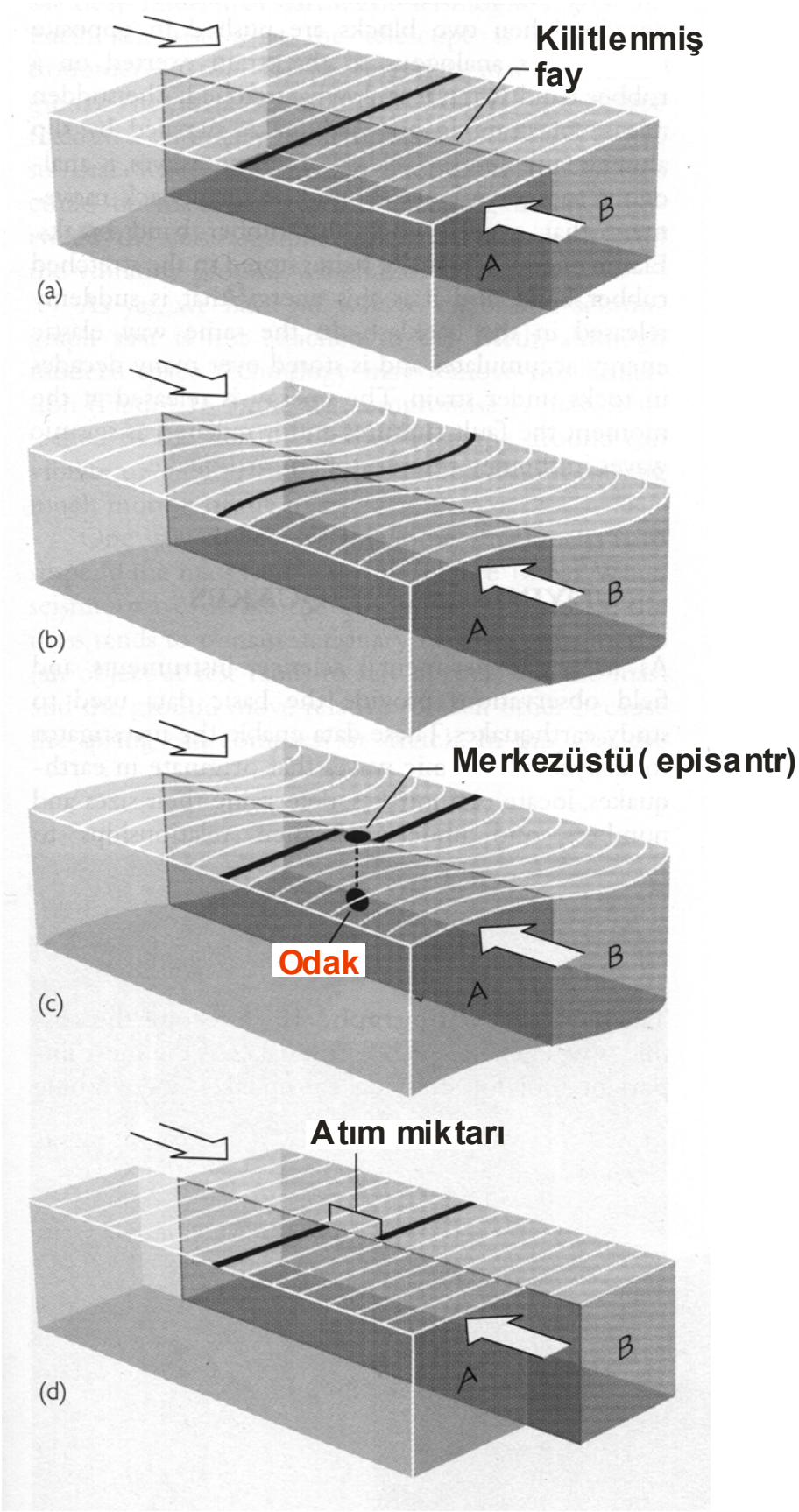
BÖLÜM 18 DEPREMLER

GİRİŞ

Deprem, yerin sarsılması veya hareket etmesidir. Deformasyon geçirmekte olan kayaçların bir fay kırığı boyunca aniden hareketleri ile olur. Fayın her iki tarafındaki bloklar hareket ederek yer titreşimlerini meydana getirirler. Bu kayma genellikle plaka sınırlarında - kabukta veya üst mantoda - oluşur.

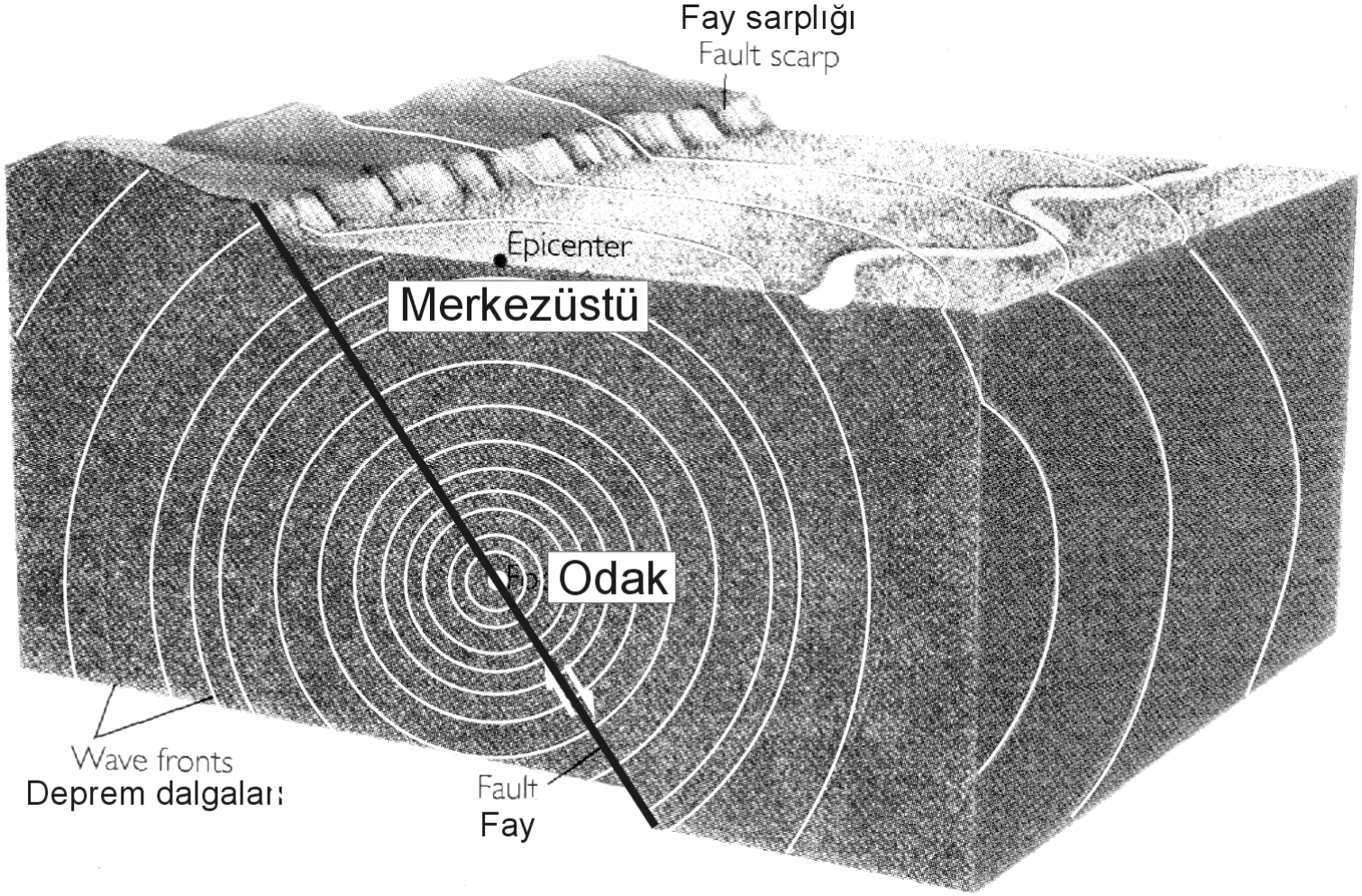
San Andreas fayı boyunca meydana gelen 1906 San Fransisko depremi, arazi incelemeleri itibarı ile o zamana kadar en iyi çalışılmış afetlerden biridir. Bu depremden çıkarılan sonuçlardan biri elastik sıçrama (elastic rebound) teorisidir (Şekil 18.1). Bu teoriye göre, deprem olana kadar fayın ayırdığı bloklar belirli bir miktarda deforme olmaktadır. Bu deformasyon, fay boyunca plaka veya blok hareketlerinin devam etmesi sonucu devam eden sıkışma ve sürtünmelerle olmaktadır. Fayın her iki tarafına ve fay izine dik olarak çizilmiş sanal doğru parçalarının zamanla eğrileşmesi ile bu deformasyonun yüzeysel şekli gösterilmiştir. Yer kabuğu içinde sürtünmelerle biriken stresler, fay boyunca bir bölgede bir sıkışmaya, kilitlenmeye yol açarlar. Sonuçta, bir müddet sonra bu kilitlenme zonunda hızlı bir hareketle (genellikle bir kaç dakika süren) ve metrelerce olabilen bir yerdeğiştirme (**atım**) ile deprem oluşur. Genellikle nokta gibi algılanan oluşma bölgesine **odak** (focus, hypocenter), bu bölgenin yeryüzüne dik izdüşümüne de **merkezüstü** (epicenter) denir. Depremin yeryüzünde en fazla hissedildiği ve hasar yapabileceği yer merkezüstüdür.



Şekil 18.1 Deprem oluşumu

Depremle oluşan veya yeniden hareketlenen kırık, bu anan şokun müddetince yerkabuğu içinde yayılır, ve uzunluğu 1 000 kilometreye kadar ulaşabilir.

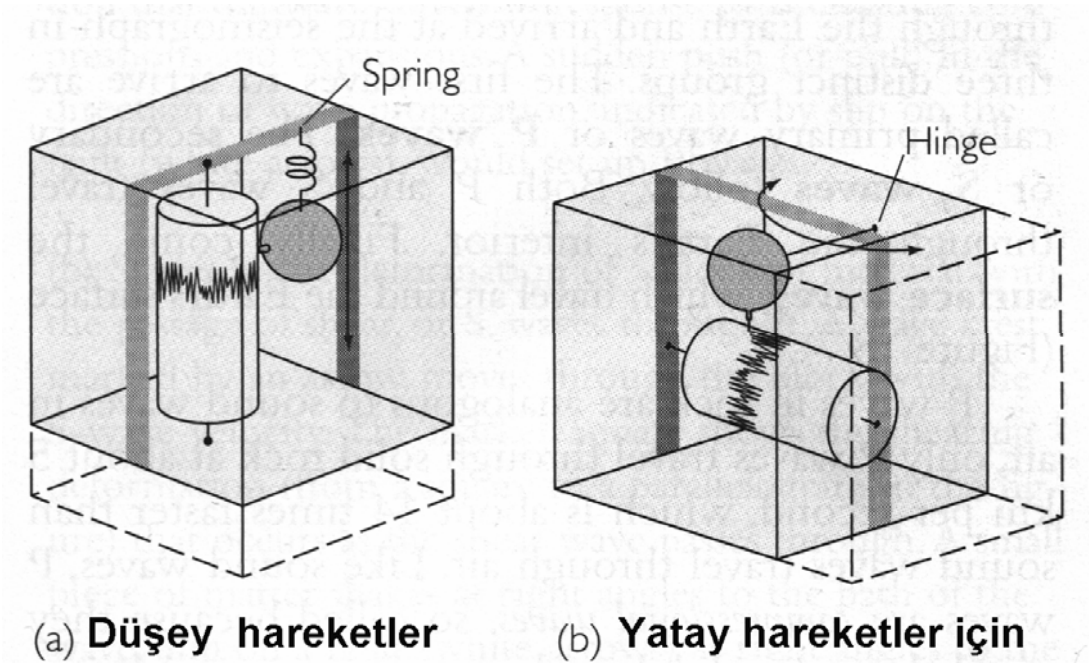
Deprem sırasında oluşan titreşim ve sarsıntılara sismik (seismos, şok, deprem) dalgalar denir (Şekil 18.2).



Şekil 18.2. Depremle ilgili kavramlar

DEPREM ÇALIŞMALARI

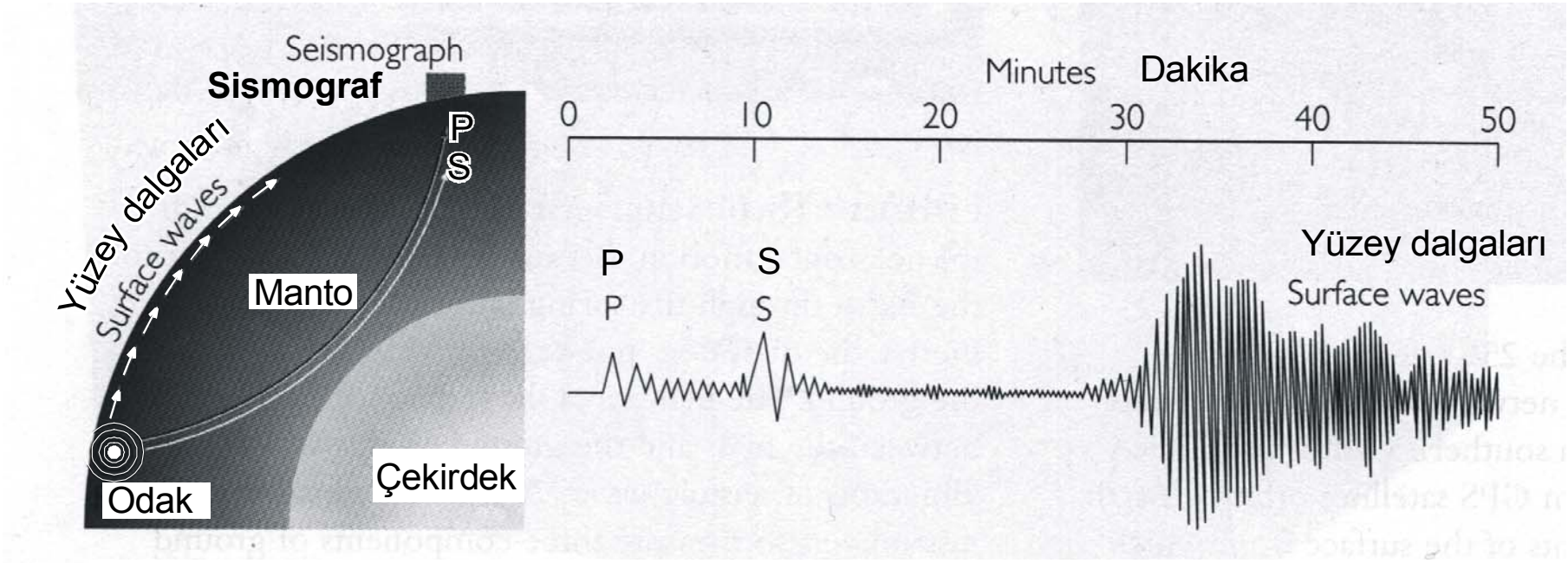
Depremde ortaya çıkan dalgaları kaydeden ve kağıda çizerek incelenmelerini sağlayan aletlere sismograf (sismometre bu işlemleri tamamen sayısal ortamda ve elektronik olarak yapan aletlerdir) denir (Şekil 18.3). Kayıtlar, ilke olarak, yer sarsıntılarını, yere mümkün olduğu kadar az bağımlı bir ağırlığın hareketler sırasında oynamaması ile sağlanır. Deprem sırasında eylemsizliği (hareketsiz cismin hareket etmeye karşı direnci) dolayısı ile, bu ağırlığa bağlanan bir yazıcı kalem, hareket eden bir kağıt düzlemine depremi "çizer". Uygulamada bu ağırlık bir yayla (Şekil 18.3a) veya bir menteşe aracılığı (Şekil 18.3b) ile yere "bağlanır". Deprem hareketleri, bu ağırlığa yere göre daha az bir ivme kazandırırlar ve kayıt yapılır. Modern sismometrelerle 10^{-18} santimetrelik yerdeğiştirmeler (atomik boyutta !) algılanabilmektedir.



Şekil 18.3. Sismometrelerin çalışma ilkeleri

SİSMİK DALGALAR

Herhangi bir yere yerleştirilen bir sismograf, birkaç saat içinde yeryüzünde oluşan depremleri kaydetmeye başlar. Durgun bir su yüzeyine atılan taş örneğinde olduğu gibi deprem odağından itibaren yeryüzüne yayılan dalgalar zaman içinde üç dalga grubu halinde gelirler. İlk gelen dalgalara P (primary) daha sonra gelenlere de S (secondary) dalgaları denir. P ve S dalgaları yer içinde hareket ederler. En son olarakta dünyanın yüzeyini kateden yüzey dalgaları kayıt edilirler (Şekil 18.4).

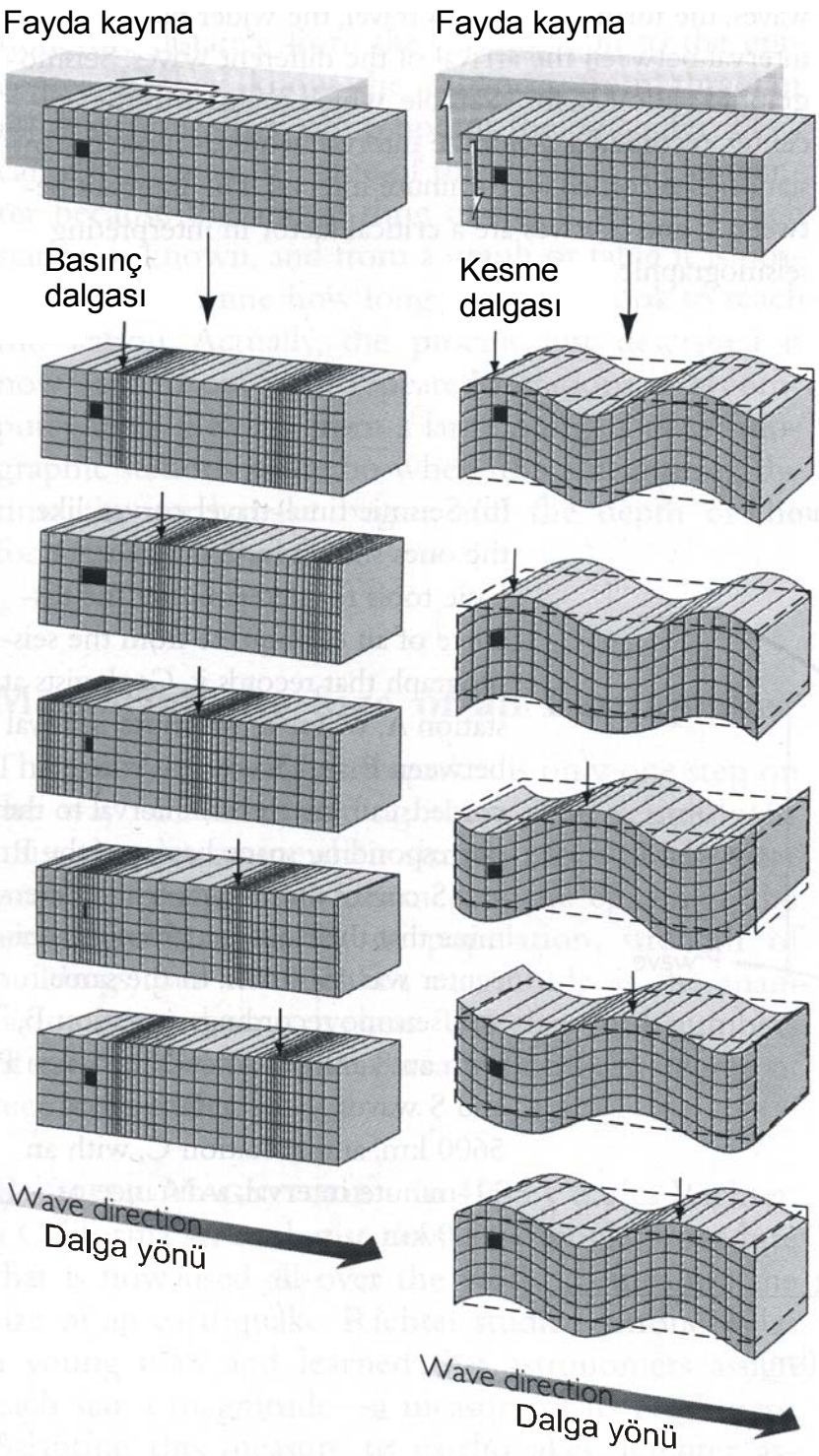


Şekil 18.4. Bir depreme ait P, S ve yüzey dalgaları. Solda, kesitte üç dalganın izlediği yollar gösterilmiştir.

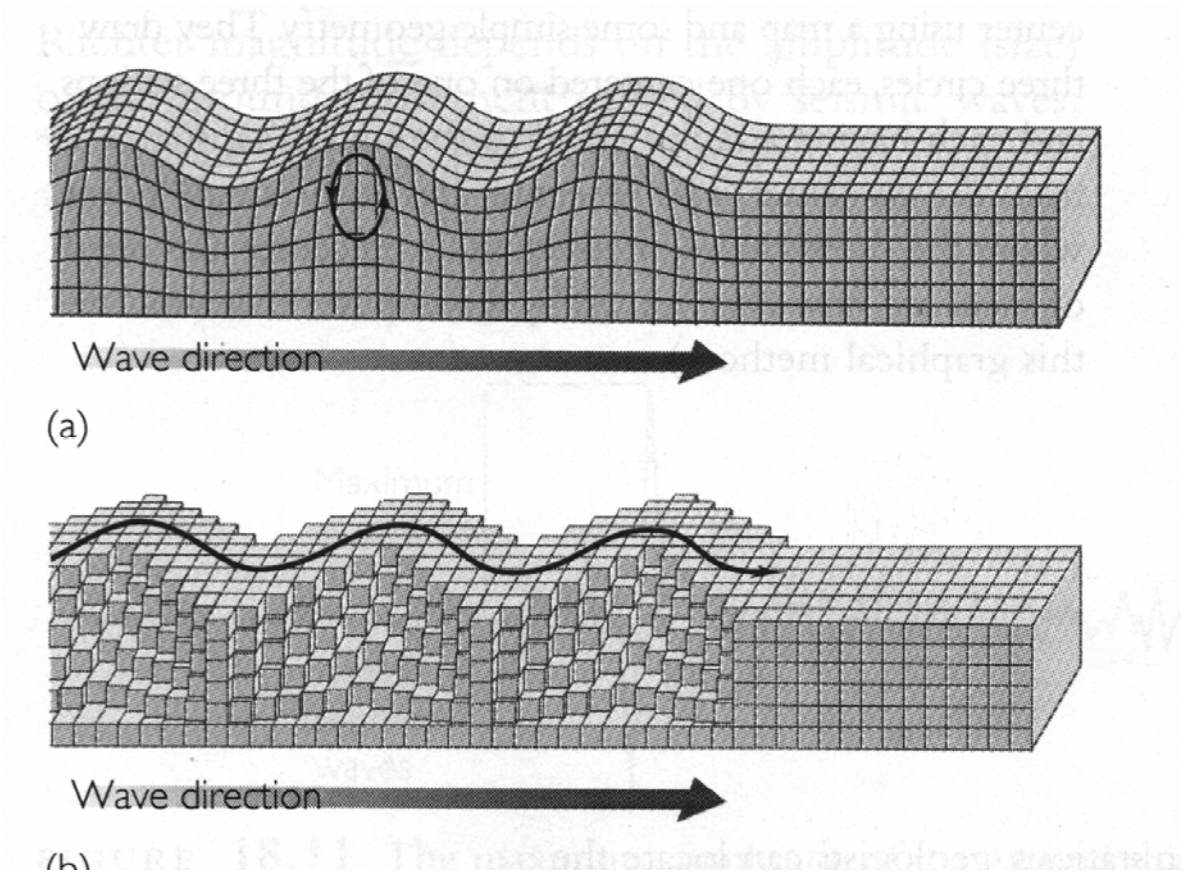
Fizik olarak, P dalgaları (Şekil 18.5a), havada hareket eden ses dalgalarını andırırlar. Ses dalgaları gibi, kompresyonel (sıkıştırıcı) dalgalardır: katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerden geçerken madde parçacıklarını dalga hareket yönünde sıkıştırır (contraction) veya serbestleştirirler (relaxation). Kayada hızları 5 km/saniye kadardır.

S dalgaları ise, katı kayaçtan geçebilirler (Şekil 18.5b). Hızları P dalgalarınınkinin yarısı kadardır. Katettikleri maddenin parçacıklarını dalga hareket yönüne göre dik yönlerde sallamaları nedeni ile S dalgalarına kesme (shear) dalgaları da denir. Kesme dalgaları sıvı ve gazlarda oluşmazlar. Yüzey dalgaları (Şekil 18.6), kumulların oluşabilmesine benzer bir şekilde serbest bir yüzey gereksinirler (kumullarda hava, bu serbest yüzeydir) ve bu nedenle arzın en üst tabakalarında seyahat ederler. Bir kısmı eğrisel hareketler şeklinde yayılırken diğer bir kısmı da yanlara doğru yayılım gösterirler.

a) P dalgası hareketi b) S dalgası hareketi



Şekil 18.5. P ve S deprem dalgalarının karşılaştırılması. a) P basınç dalgaları, birim karenin sıkışma ve genleşmesini sağlar. b) S kesme dalgaları, birim kareyi paralelkenar haline getirerek deforme eder.



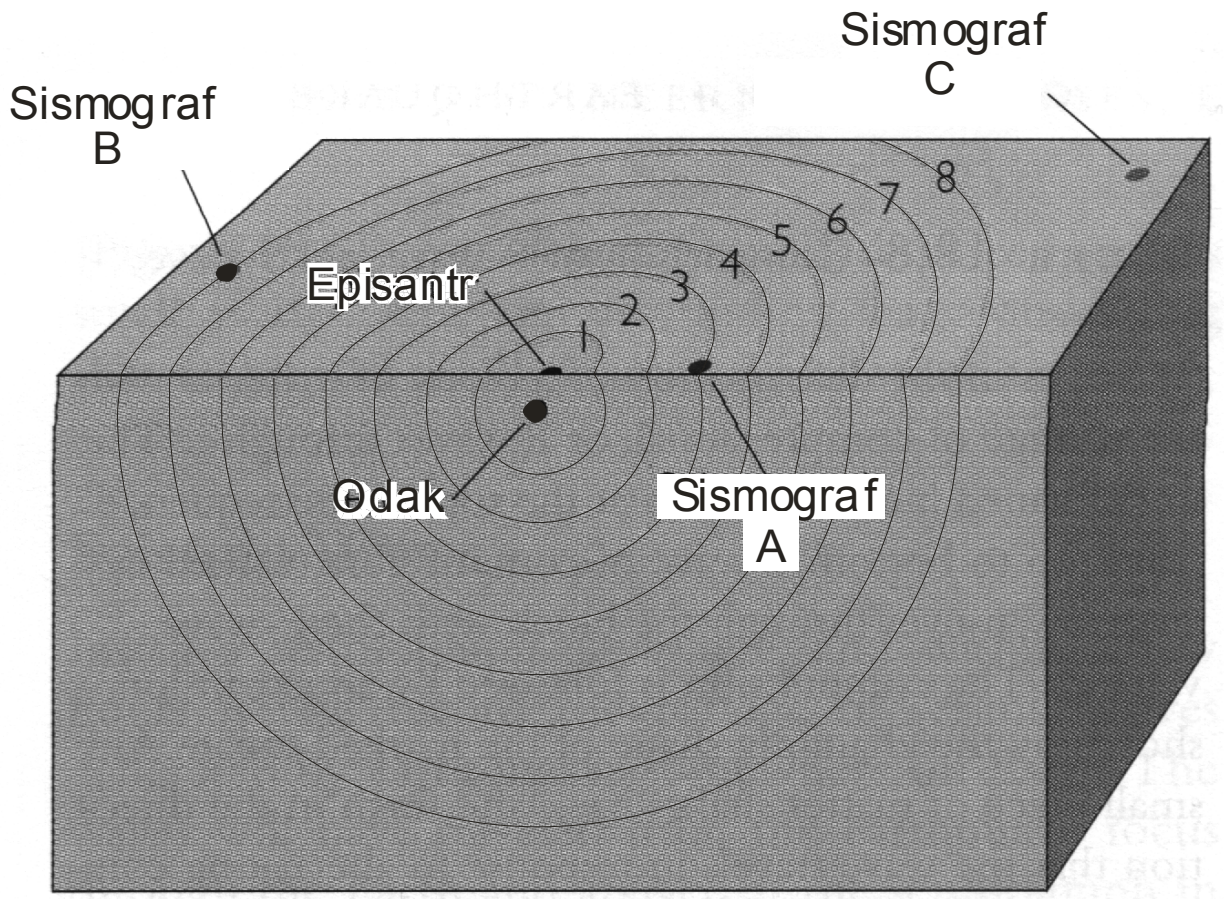
Şekil 18. 6. İki değişik yüzey dalgasına ait yayılma şekilleri.

Merkezüstünün (episantr) saptanması

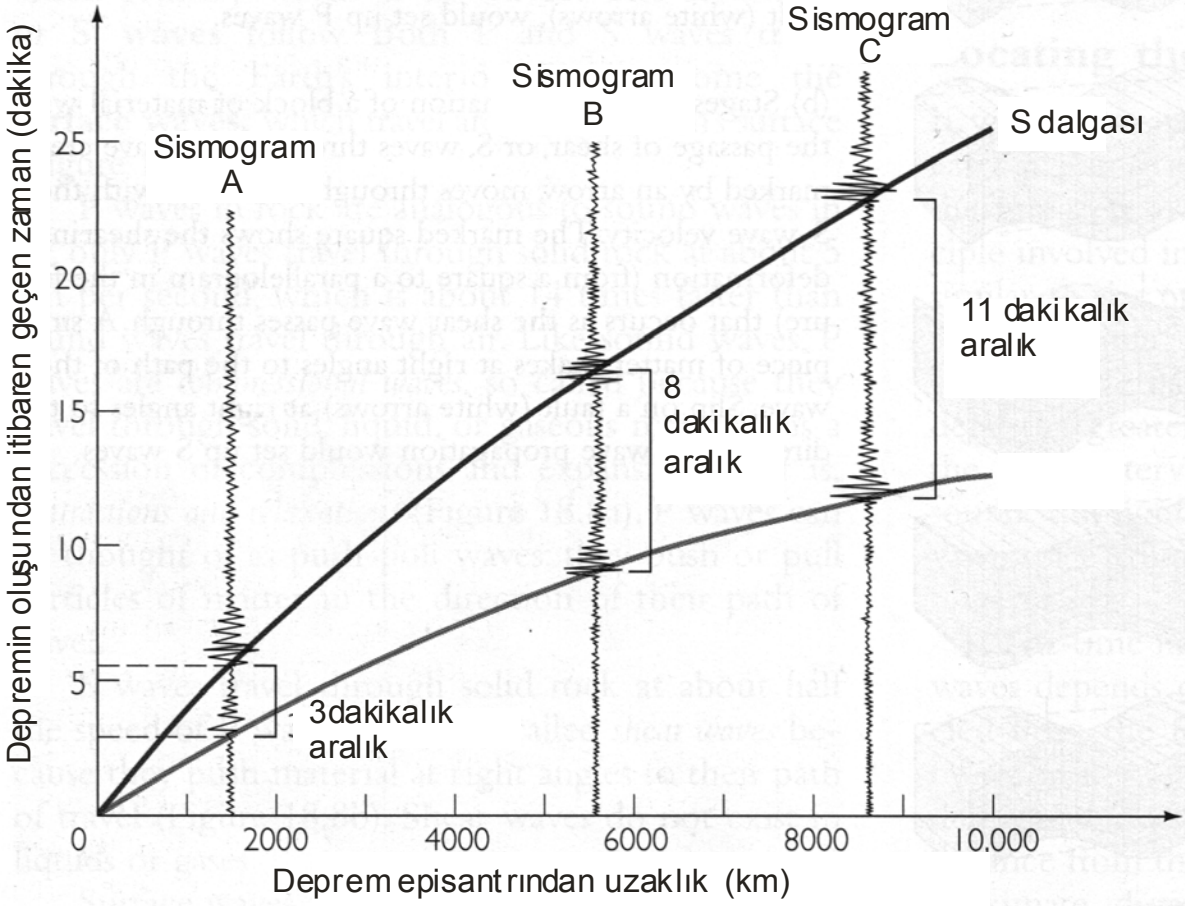
Bir depremin merkezüstünün saptanabilmesi için, deprem olgusunun iyi anlaşılmış olması gerekir. Bunun üzerinde sismograflardan sağlanan verilerle yürütülen çalışmalar ve varılan sonuç, şu örnekle açıklanabilir. Bir fırtına esnasında oluşan yıldırımın ne kadar uzakta olduğunu anlamak için, ses hızı bilindiğine göre, yıldırımın ışığı ile gökgürültüsünün duyulması arasındakı zaman farkının ölçülmesi gerekir. Deprem örneğinde, yıldırım ışığı P, gökgürültüsü ise S dalgaları ile eşdeğerdir.

P ve S dalgaları arasındaki zaman mesafesi, bu dalgaların yerkabuğu içindeki seyahat mesafesi ile orantılıdır. Diğer bir deyiş ile, dalgaların oluştuğu deprem odağı ne kadar uzak ise, P ve S dalgaları arasındaki zaman aralığı da o kadar uzun olacaktır.

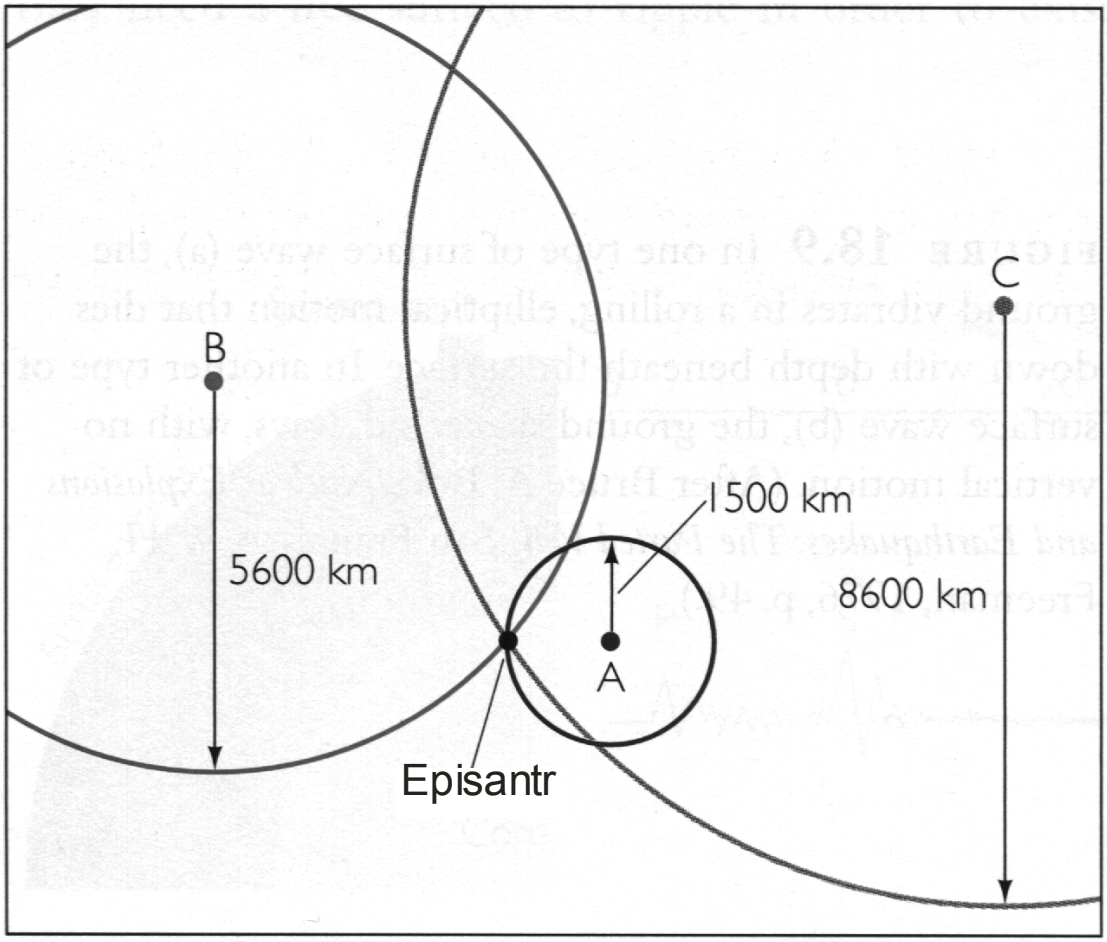
Şekil 18.7'de, sanal bir deprem odağı, odaktan yayılan dalgalar, bu dalgaları kaydeden üç istasyon, bu kayıtlar ve bunlardan itibaren odak saptanması yöntemi anlatılmıştır. Modern kayıt ve işlem istayonlarında, bu işlemler bilgisayarlarla ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak - yani tüm kayıtların işlenerek en uygun merkezüstü, deprem oluş zamanı ve odak derinliği ile, depremin hangi kuvvetler etkisi altında oluştuğu - yürütülmektedir (ayrıntılı bilgiler için bakınız NEIC/USGS veya Japon ERI siteleri).



Şekil 18.7a. Kontur sayıları, bir depremden yayılan ve kaydedilen ilk P ve S dalgalarının geliş zaman farklarıdır. P dalgalarının hızının, S dalgalarınkinin yaklaşık iki katı olması nedeni ile, mesafe arttıkça aradaki zaman farkı da artar.



Şekil 18.7b. Sismik zaman - yol diyagramı ile bir depremin istasyona olan uzaklığı saptanabilir. Üç istasyon (A, B ve C: Şekil 18.7) kayıtları, bu eğrilerle karşılaştırıldığında, örneğin A istasyonu için, merkezüstü uzaklığı 1500 km kadar bulunur. Diğer (B ve C) istayonlardan elde edilen kayıtlardan da 5600 km ve 8000 km saptanır.



Şekil 18.7c. Değişik istasyonlardan yapılan okumalardan deprem merkezüstünün saptanması.

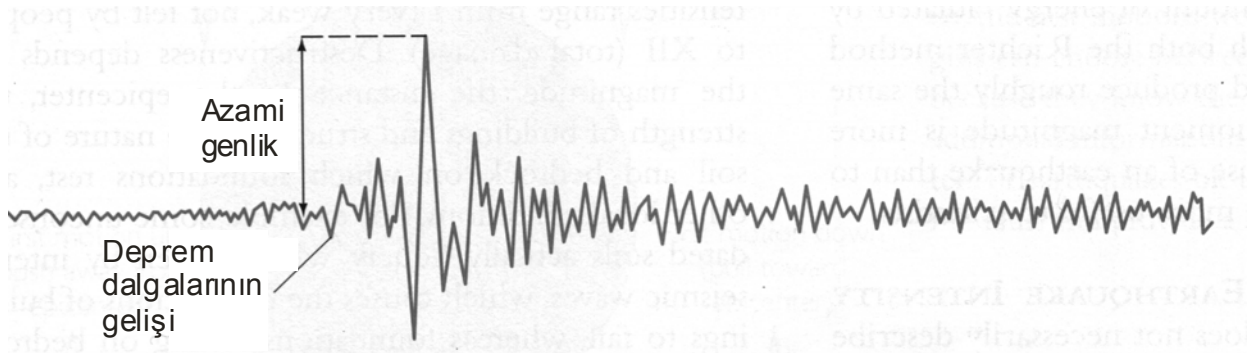
Bir depremin büyüklüğünü ölçmek

Yerbilimciler için bir depremin oluştuğu yeri bilmek kadar o depremin büyüklüğünü veya magnitüdünü saptamakta önemlidir. Bir yerleşim alanı veya stratejik öneme sahip bir bölgede (baraj, nükleer santral, vs) gelişebilecek bir depremin büyüklüğü inşaatların yapımı ile ilgili parametreleri etkileyecek unsurların başında gelir.

Richter büyüklüğü

1935 yılında Kaliforniya'lı bir sismolog olan Charles RICHTER, astronomide kullanılan ve yıldızların parlaklıklarını bir sayı (kadir) ile ifade etme yöntemini depremlere

uyguladı. Buna göre, Richter her depreme bir sayı (Richter büyüklüğü) atfetti. Bu sayı, deprem sırasında çizilen kayıttaki eğrinin azami (maksimum) yüksekliği olan genlik (amplitude) ile orantılıdır (Şekil 18.8). Yıldızların çok değişik sayılarla ifade edilen parlaklık değerleri gibi, depremlerinde çok değişik aralıklarda büyüklükleri vardır. Bunun için Richter ölçeğini değiştirdi ve logaritmik bir ölçek kullandı. Buna göre, iki depremin arasında yer sarsıntısı genlikleri açısından aralarında 10 kat fark varsa bu fark Richter ölçeğinde 1 farka karşılık gelir. Örnek olarak, bir depremde kayıt genliği 2 mm, bir diğerinde ise 20 mm olsun. Richter ölçeği itibarı ile bu depremlerin ilkinin büyüklüğü 2 ise, ikincisininki 3 olacaktır. Depremler sırasında ortaya çıkan enerji açısından düşünüldüğünde ise, birbirini izleyen iki Richter büyüklüğü arasında (örneğin 2 ve 3) 33 katlık bir fark vardır. Diğer bir deyişle, 3 büyüklüğünde bir depremin enerjisini 33 tane 2 büyüklüğünde deprem yaratabilir.



Şekil 18.8. Bir depreme atfedilen Richter büyüklüğünün saptanması için kullanılan yer sarsıntısının azami genliği.

Uzak mesafeler kateden sismik dalgalarda meydana gelen zayıflamalar nedeni ile, odağa uzak istasyonlarda bu uzaklıkla orantılı düzeltmeler yapmak gerekmektedir. Richter'in hazırladığı listeler yardımı ile bu düzeltmeler yapılabilmektedir.

Moment büyüklüğü (moment magnitude)

Klasik hale gelen ve halen kullanılan Richter ölçeğinden sonra sismologlar, bir depremden belirli uzaklıkta bir yerin nasıl sallandığından öte, o depremin odağında neler olduğu ile ilgili yeni bir büyüklük kavramı (moment büyüklüğü) geliştirdiler. Buna göre

oluşturulan yeni ölçekte, depremde oluşan atım miktarı, fay boyunca ve deprem kırığından etkilenen alan ve kayaçların direnci ile ilgili unsurlar ele alınmaktadır.

Moment büyüklüğü, fiziksel anlamda, bir depremle ortaya çıkan enerji ile yakından ilgili bir kavramdır. Her ne kadar moment büyüklüğü ve Richter büyüklüğü ile benzer sonuçlara ulaşılsa da, moment büyüklüğü bir depremin sonuçlarından çok nedenleri ile ilgili olması nedeni ile bilim insanları tarafından daha tercih edilmektedir.

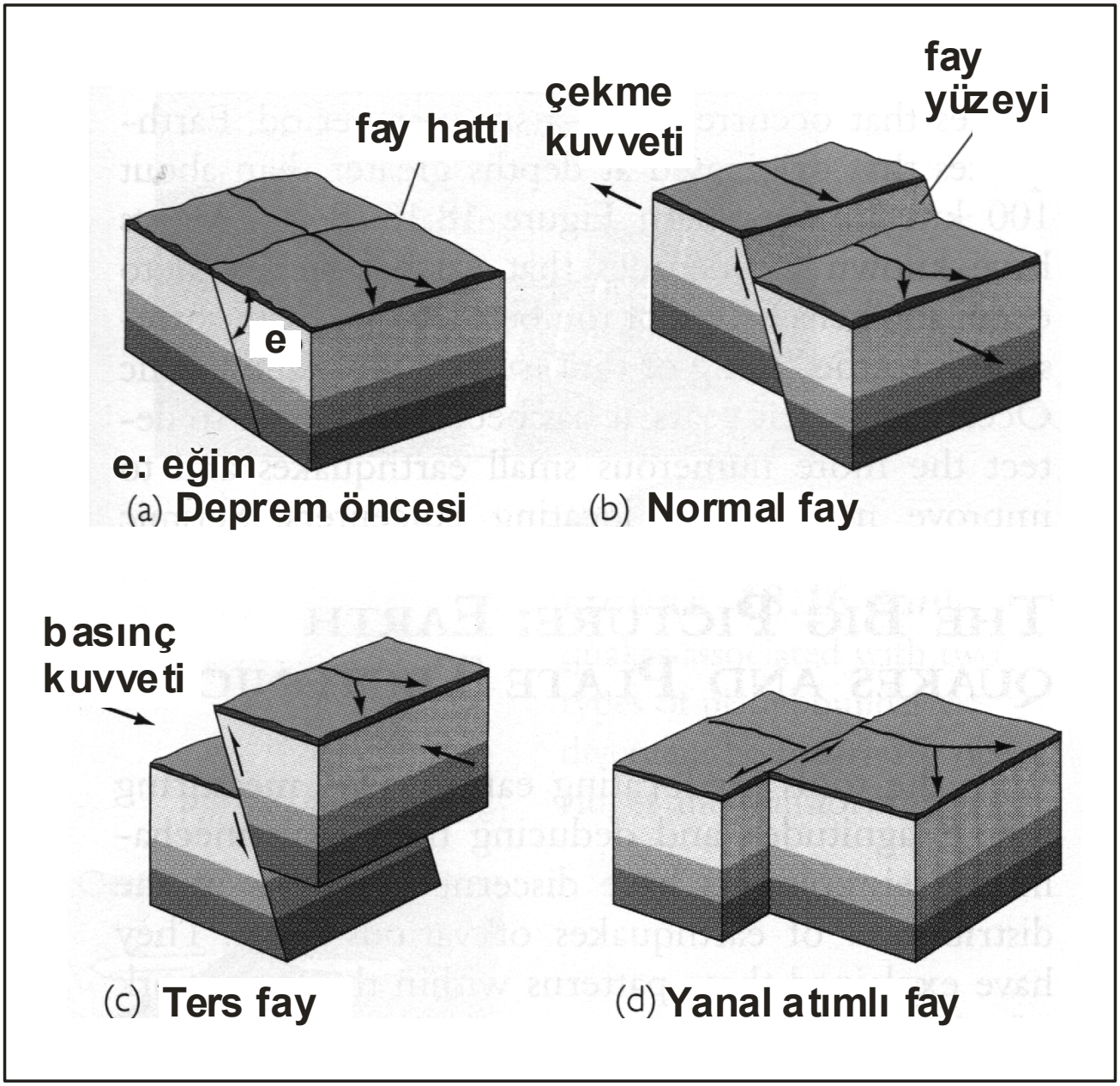
Deprem şiddeti ile ilgili diğer unsurlar

Bir depremin yarattığı hasarı anlayabilmek için deprem büyüklüğü yeterli bir kavram değildir. Zira en yakın şehre 2 000 km uzaklıkta meydana gelen ve 8 büyüklüğünde bir deprem herhangi bir hasara yol açmazken, bir şehrin yakınında oluşacak 6 büyüklüklü bir deprem büyük hasara yol açabilir.

Değiştirilmiş Merkalli Şiddet Cetvelinde bir deprem ile oluşan hasarlar ele alınmaktadır. Bu cetvelde şiddetler I (çok hafif) ile XII (afet) arasında değişmektedir. Şiddetin sayısal hale gelmesi, insanların hissetmeleri ve oluşan hasarla ilgilidir. Hasarlar deprem büyüklüğü, merkezüstüne uzaklık, bina ve yapıların dayanımı, temellerin oturduğu zemin ve kayaların türü gibi unsurlara bağlıdır. 1906 San Fransisko depreminin Merkalli ölçeğinde şiddeti XI idi.

PLAKA TEKTONİĞİ ve DEPREMLER

Depremler çekme kuvvetleri veya basınç (sıkıştırma) kuvvetleri altında (Şekil. 18.9), yeryüzünün üst kesimlerinde çeşitli derinliklerde gelişirler. Çekme kuvvetleri altında kalan plakalar, veya bloklar, normal faylar boyunca birbirlerinden ayrılırlar (Şekil. 18.9b). Basınç kuvvetleri ise plakaları birbirilerine yaklaştırır, ve ters faylar boyunca depremler yaratırlar (Şekil. 18.9c). Birbirlerine göre yana doğru hareket eden plakaların arasında ise bir transform fay bulunur (Şekil. 18.9d). Bu üç tür plaka sınırında, sığ veya derin depremler gelişebilirler.



Şekil 18.9. Deprem yaratan başlıca üç tip fay ve bunları doğuran kuvvetler. a) deprem öncesi durum; b) çekme kuvvetlerine bağlı normal fay; c) basınç (sıkıştırma) kuvvetlerine bağlı bindirme (ters) fayı; d) kesme kuvvetlerine bağlı yanal (veya doğrultu) atımlı fay.

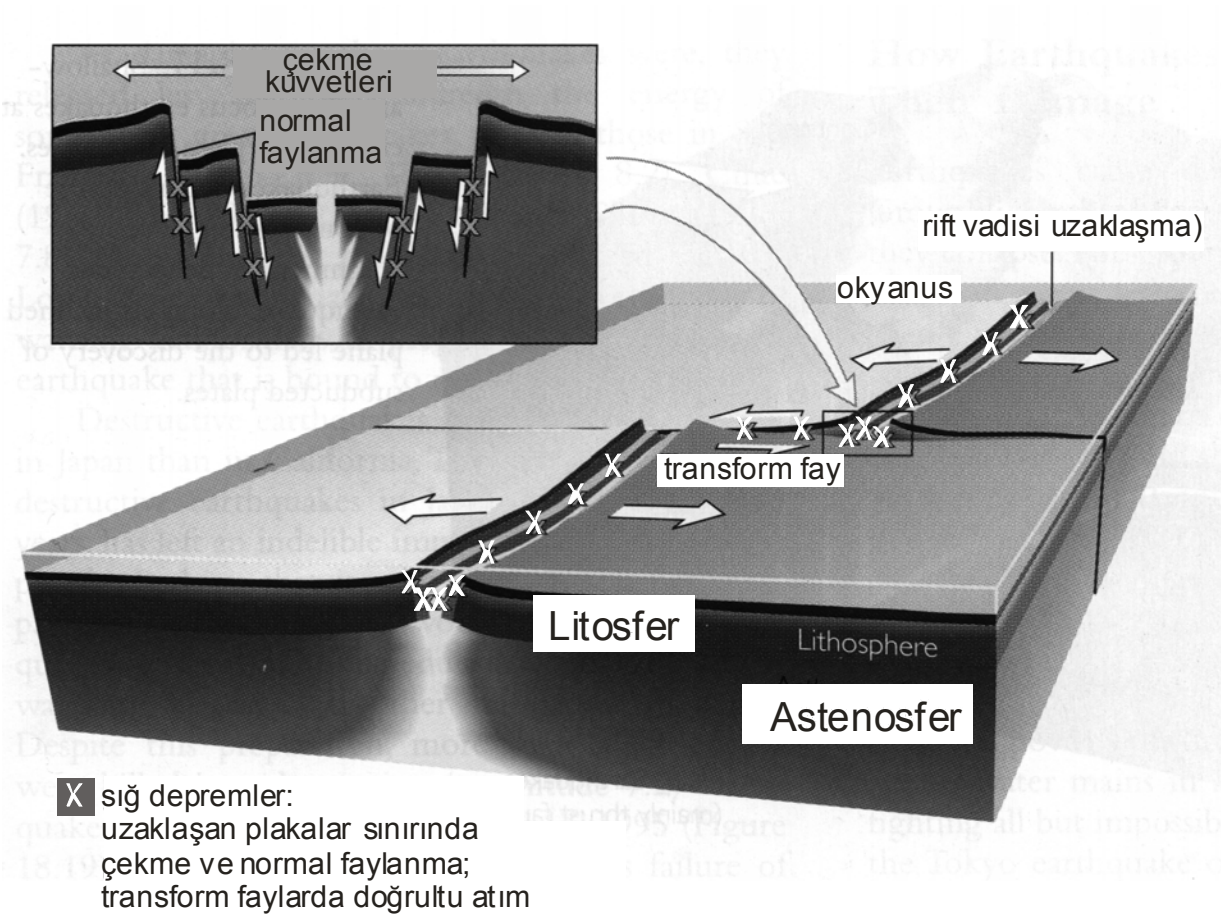
Uzaklaşan plaka sınırlarında ve transform faylar boyunca genellikle sığ depremler oluşur (Şekil 18.10). Yaklaşan plakalarda ise hem sığ hem de derin (Şekil 18.11) depremler oluşabilir.

Deprem hasarları

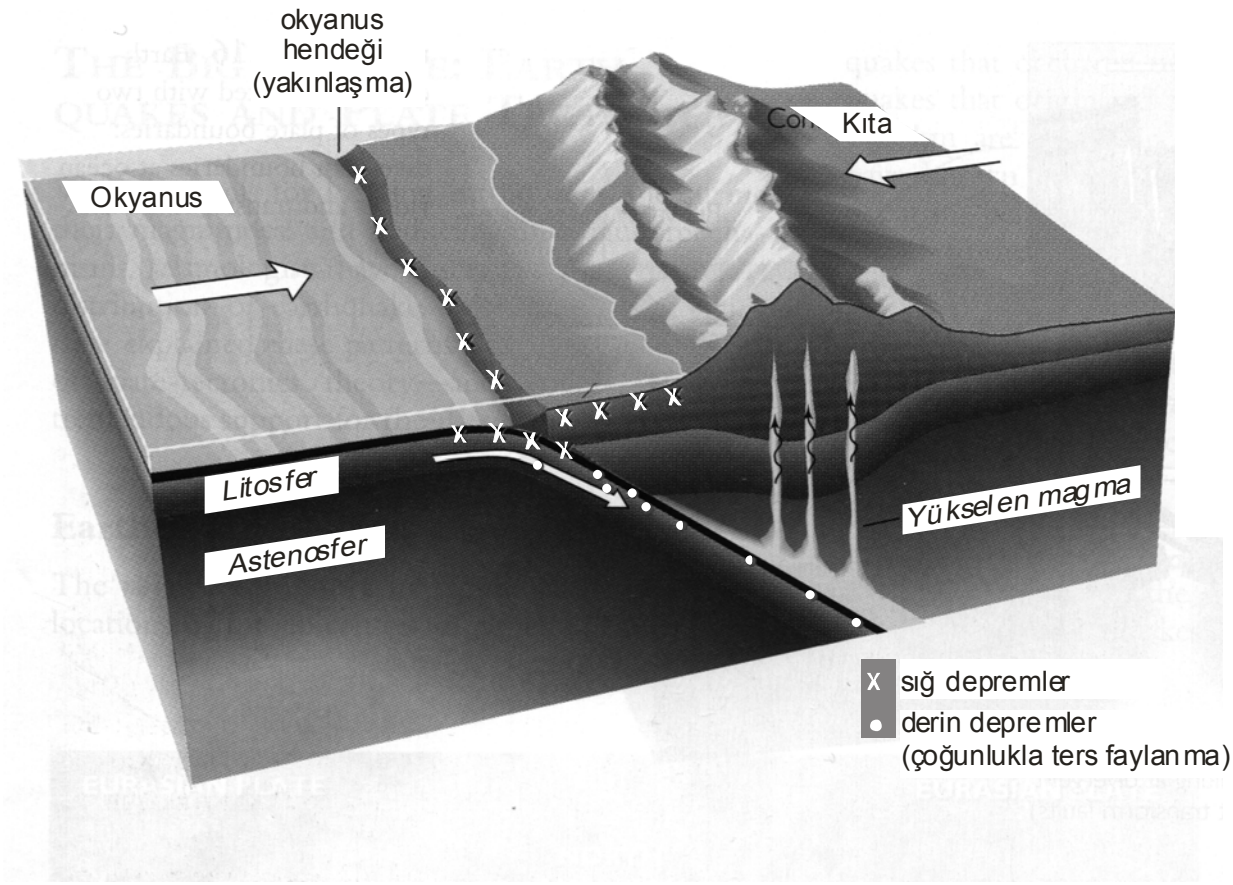
Depremlerde hasarlar, sarsıntı sırasında ve sonrasında, özellikle merkezüstüne yakın yerlerde yapıların yıkılması ile meydana gelir. Binalardan düşen malzemelerle gaz ve elektrik hatlarından çıkan yangınlarla da yaralanmalar ve ölümler oluşmaktadır.

Depremin kıyıya yakın yerlerde oluşması durumunda ise, tsunami adı verilen dalgalar gelişebilir (Şekil 18.12). Tsunamiler okyanuslarda saatte 800 km hızla hareket eden, ve sığ kıyıya vardığında yükseliği 20 metreye ulaşabilen deprem dalgalarıdır, ve kıyıda önemli hasarlar yaratabilirler (2004 yılı sonu Güney Asya depremi).

Açıklayıcı ve tamamlayıcı bilgiler için INTERNET adresleri:
Kandilli Rasathanesi : www.koeri.boun. edu.tr
Amerikan:USGS/NEIC:wwwneic.cr.usgs.gov/Japonya:www.eri.u-tokyo.ac.jp



Şekil 18.10. Plaka sınırlarında oluşan iki tür deprem: okyanusal sırtta (rift vadisi) plakaların uzaklaşmasından kaynaklanan normal faylarla plakaların yan yana kaydığı transform fay.



Şekil 18.11. Birbirlerine yaklaşan plakalarda oluşan sığ ve derin depremler. Deprem oluş nedeni sıkışmadır. Derin odakların dizilimi dalan plakayı simgelemektedir.