

DEPREM

Bu yazı, deprem hakkındaki çağ dışı bazı inanç ve görüşleri bir yana bırakıp, onun Yeryuvarı'na özgü bir doğa olayı olduğu; levhalara bölünmüş taşıyıcının devingenliğinin (hareketliliğinin) sürdüğü olgusundan algılanarak, depremlerin de ne ilk ne de son olmayacağı; dünyanın birçok yerinde, benzer ya da değişik nedenlerle yinelenip güncelliğini yitirmeyeceği; depremin yıkıcı etkilerini en alt düzeye indirmek için, benzer birçok ülkede olduğu gibi, soruna bilinçli bir biçimde ve bilimsel açıdan eğilinmesi gereksinimi vurgulanmak için yazılmıştır.

ALİ KOÇYIGİT *Jeoloji-Stratigrafi Kürsüsü, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara*

Deprem ve Oluşumu

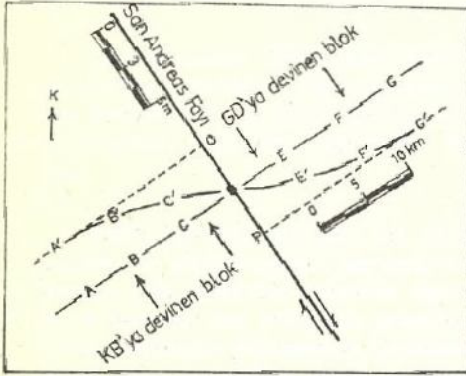
Deprem, Yeryuvarı'na özgü bir doğa olayı olup, halk arasında "Zelzele" ya da "Yer sarsıntısı" olarak bilinir. Bu olguya, bilimsel açıdan bakıldığında deprem, Yeryuvarı kayalarında biriken enerjinin, sismik dalgalar biçiminde serbestlenmesi olarak tanımlanabilir. Kuramsal olarak, potansiyel enerji, gerilim etkisinde kalan, esnek biçim değiştirme (elastic deformation) özellikli kayalarda, gerilim enerjisi olarak birikmektedir. Bu gerilimler, çeşitli nedenlerle, belirli sınırları aşarsa, kayalar kırılır ve buna koşut olarak bazı kaymalar ya da yer değiştirmeler olur. İşte bu nedenle, depremler ile, Yeryuvarı yüzeyinde izlenebilen kırık zonları (faylar) arasında yakın bir ilişki vardır. Kuraldışı-

lıkları olmakla birlikte, var olan bir fayın devinmeye başlaması ya da yeni bir fayın oluşumu, çoğunlukla, depremlerin nedeni olarak kabul edilir. Buna karşın, bazı faylar da depremlerin bir sonucu sayılmalıdır.

Reid, depremlerle ilgili oluşan fayları esnek kırılma (elastic-rebound) kuramıyla açıklamıştır (Russel, 1955). Bu kurama göre, fay oluşumundan önce, fayın her iki tarafında, yavaş yavaş esnek biçim değişimi olmakta ve gevrek, kırılğan nitelikli kayalar içinde, potansiyel enerji, gerilim enerjisi olarak birikmektedir. Gerilme kuvvetlerinin zamanla artan etkilerine karşı koyamayan kayaç, birden bire kırılarak enerjinin serbestlenmesine dolayısıyla yeni bir

fayın oluşumuna ya da eski bir fayın yeniden devinmesine neden olmaktadır. Serbestliyen enerji de, esnek deprem dalgaları olarak çevreye dağılmaktadır. Bu kuram, Kaliforniya'daki "San Andreas Fayı"nın incelenmesi sırasında toplanan verilerden yararlanmıştır. Birleşik Amerika Kıyı ve Jeodezik Araştırma Kurumu bilim adamları 1874 yılı başlarında, Orta Kaliforniya'daki saha çalışmaları sırasında, faya bitişik ve ondan uzakta bulunan çok sayıda noktanın gerçek konumlarını saptamışlardır. (Flint ve Skinner, 1974) Geçen zaman süresinde, noktaların yer değiştirmiş (ötelenmiş) oldukları ve yerkabunun yavaş yavaş biçim değiştirdiği gözlenmiştir; 18 nisan 1906 günü ise,

fayın her iki tarafı birden bire kaymış, görünüşte biçimi değişen kabuk, birincil konumunu kazanırken, birikmiş olan gerilim enerjisinin hızlı bir biçimde serbestlemesiyle de çok şiddetli bir deprem (San Fransisko depremi) olmuştur. İncelemenin, faylanmadan sonra da sürdürülmesiyle, kabuksal biçim değişiminin, tümnden yok olduğu açıklanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Esnek kırılma (elastic-rebound) kuramı. Taslak, 1906 San Fransisko depremine neden olan San Andreas Fayı boyunca yapılan ayrıntılı gözlemlere dayandırılmıştır. A'dan G'ye yedi gözlem noktası başlangıçta düz bir çizgi oluşturmaktaydı. Fay bloklarının yavaş yavaş devinimi, kabuğun biçim değişimine ve gözlem noktalarının da yeni konum (A'dan G'ye) kazanmasına neden olmuştur. Daha sonra, fayın her iki tarafının birden bire devinmesiyle, gözlem noktaları A'O ve PG' boyunca yer almış ve deprem oluşmuştur (Flint ve Skinner, 1974).

Depremlerin büyük çoğunluğu, esnek biçim değiştirme özelliği olan kayaların yer aldığı taşıyıcı kesiminde oluşmaktadır. Buna karşın, depremler, üst mantonun yersel kesimlerinde de oluşabilmektedir. Bununla birlikte, yüksek ısı ve basınç koşullarında, Yeryuvarı kayaç kütlelerinin çoğu, sınırlı biçim değişimine (plastic deformation) uğramaktadır. Kütleler, kendilerine etki eden etkenler ortadan kalksa bile, sınırlı olarak biçim değişimlerini sürdürmekte ve yavaş yavaş akmaktadır. İşte bu koşullar altında, enerji birikmesi olmamaktadır. Dolayısıyla, yukarıda değinilmiş olan kuram da, böyle koşullar altında oluşan depremlerin kökenini açıklayamamaktadır.

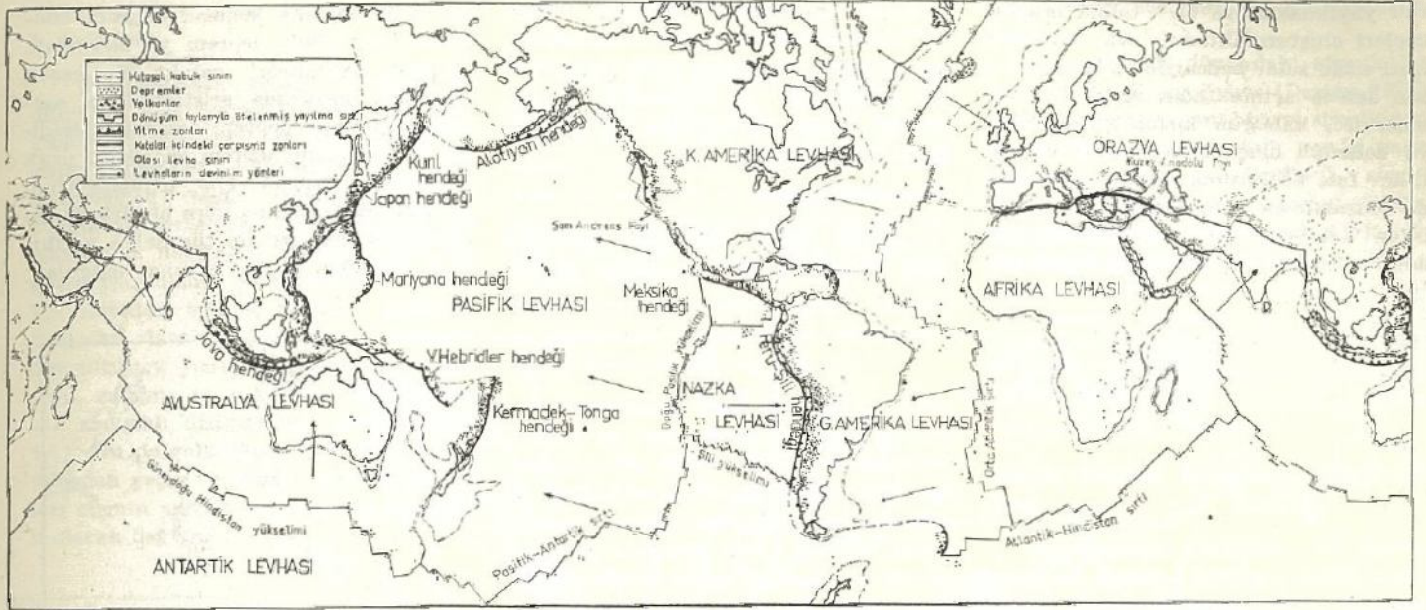
Holmes (1964), kabukta oluşan tektonik biçim değişikliklerinin nedenini, sınırlı akma biçimindeki konveksiyon akıntılarına bağlamaktadır. Radyoaktivite nedeniyle doğan yüksek ısı enerjisi, konveksiyon akıntılarını oluşturmaktadır

ve bu akıntılar yukarılara yükseldikçe soğuyarak önce yanıl biçimde devinip, daha sonra yeniden mantonun derinliklerine dalmaktadırlar. Yükselen konveksiyon akıntıları, yükselme noktalarındaki taşıyıcıda gerilmelere ve daha sonra da onun kırılarak levhaları oluşturmaya neden olmaktadır. Buna koşt olarak, okyanus içi sırtları, konveksiyon akıntılarının yükseldiği noktalara; yitme zonları ise, onların yeniden manto içine daldığı yerlere denk gelmektedir. Bir yitme zonunda, aşağıya doğru manto içine dalan levha kayaçları, önce esnek biçim değişimine uğramakta ve daha sonra da, tıpkı sıcak su içine daldırılmış bir cam bardak gibi, birden bire kırılıp parçalanmaktadır. Biçim değiştirme sırasında, kayaçlarda biriken enerjinin serbestlemesiyle ise, büyük bir olasılıkla depremler oluşmaktadır.

Depremlerin Mekanizması

Okyanus içi sırtları ve onların kıtasal uzantıları üzerinde bulunan 17 depremin oluşum mekanizması, ABD Kıyı ve Jeodezik Araştırma Merkezi'nin dünya çapındaki standart sismograf ağından ve diğer uzun periyodlu sismograf aygıtlarından elde edilen verilerin kullanılmasıyla araştırılmıştır. (Sykes, 1967). Okyanus içi sırtını kesen kırılma zonları boyunca kaydedilmiş olan on depremden her birinin çözüm mekanizması, dike yakın eğimli bir düzlem üzerinde oluşan egemen bir doğrultu atım devinimiyle ıralanmıştır (karakterize edilmiştir). Burada, P dalgalarının devinme doğrultusu, kırık doğrultusuyla hemen hemen uyusmaktadır; ayrıca, bu on deprem için önerilen çözüm yolu (doğrultu atım savı) da, daha önce, dönüşüm fayları için söylenenlerle uygunluk göstermektedir. Fakat, çeşitli kırılma zonları boyunca görülen yalnız sırt eksenini yer değiştirmesiyle karıştırdır. Aynı zamanda, depremlerin, kırılma zonları boyuncaki yerel dağılımı da, bu yalnız yer değiştirme savına aykırı görünmektedir.

Üçü Doğu Afrika'da, biri Sibirya'nın kıta sahanlığına yakın yerde, ikisi de Atlantik içi sırtında bulunan fakat kırılma zonu üzerinde yer almayan altı depremin çözüm mekanizması ise, egemen bir normal faylanmayla ıralanmıştır. Bu altı sarsıntının en büyük gerilme eksenini de, okyanus içi sırt sisteminin eksenine yaklaşık olarak diktedir. Kısaca, bu depremlerin çözüm mekanizma-



Şekil 2: Yer kabuğu'nun levha yapısıyla ilişkili etkin volkanlar ve depremler (Bardarson, 1974)

ları ile, okyanus içi sırt sisteminin ek-senindeki, deniz dibi büyüme varsayımı uyusmaktadır.

Sismik Zonlar ve Depremlerin Volkanlarla İlişkisi

Depremlerin çoğu, sismik olarak daha az etken olan bölgeleri sınırlayan ve sürekli bir ağ oluşturmak için birbirleriyle birleşen uzun, ince ve dar zonlarda oluşmaktadır. Bu sismik ağ rift vadiler, okyanus içi sırtlar, dağ kuşakları, volkan dizileri ve derin okyanus hendekleri gibi özgün yapılardan biri ya da birkaçıyla ilgilidir. Levhalar arasındaki sınırları belirleyen sismik saha-lar, çoğunlukla, depremlerin olduğu yerlerdir. Kendilerine özgü morfoloji ve jeolojisiyle soyutlanabilen, dört ayrı tür sismik zon vardır (Şekil 2).

Birinci sismik zon, okyanus içi sırtları olarak tanımlanan dar kuşaklar tarafından temsil edilir. Bu zonlar üzerinde, yüzeysel sıcak akıntılar ve bazaltik volkanizma faaliyetleri etkinliğini sürdürmekte ve sığ odaklı depremler yer almaktadır. Sırt eksenleri, etken deniz dibi yayılmasının olduğu yerlerdir. İzlanda adasında, Atlantik içi sırtı, deniz düzeyi üzerine yükselmiş olup, yayılma hızı yılda 2sm olarak ölçülmüştür (Dewey, 1972).

İkinci tip sismik zon, volkanizma faaliyetlerinin olmadığı, sığ odaklı depremler tarafından belirlenmektedir. Bu tür sismik zonun en iyi örneğini, Kali-

forniya'daki "San Andreas Fayı" bölgesi ile Türkiye'deki "Kuzey Anadolu Fay Kuşağı" oluşturmaktadır. Her iki fay boyunca, fayın doğrultusuna koşut olarak büyük yer değiştirmeler ölçülmüştür. Ketin (1976)'e göre, "San Andreas Fayı"nın en büyük atımı 300 km, "Kuzey Anadolu Fayı"nın ki ise 85-90 km dir.

Üçüncü tip sismik zon, Pasifik okyanusu çevresinde olduğu gibi, volkanik ada yayı ile sıkı ilişkisi olan derin okyanus hendekleriyle yakından ilişkilidir. Buradaki depremler, hendegi sınırlayan ve ortalama 45-60° lik bir açıyla, manto içine dalan taşıyıcı levhaları içindeki oluşum yerlerine göre, sığ (70 km), orta (70-300 km) ve derin odaklı, (300-700 km) olabilir. Böylece, deprem episantrları (ilk kırılmanın olduğu yerin düşey olarak üzerinde ve yüzeyde bulunan noktalar), hendekten uzaklaşarak aşağıya yerin içine doğru dalan bir jeolojik yapıyı açıklayabilmektedir. Yitme zonları ya da "Benioff Zonları" olarak tanımlanan ve etken volkanik ada yayları altında bulunan bu deprem zonlarının karmaşık bir biçimi vardır.

Dördüncü tip sismik zon ise, Burma'dan Akdeniz'e değin uzanan deprem kuşağıyla temsil edilmektedir. Bu kuşak, çoğunlukla sığ depremleri kapsayan, geniş ve dağınık kıtasal bir zondur. Bu kuşaktaki depremler, oluşumlarını büyük sıkışma kuvvetlerine borç-

lu olan yüksek sıradağlarla yakından ilişkilidir. Ender olmakla birlikte, orta ve derin odaklı depremlere bu kuşakta da rastlanmıştır. Örneğin, Romanya'da orta, Kuzey Sicilya'daki Tyrrhenian volkanları altında da derin odaklı depremler yer almaktadır.

Depremlerle volkanlar arasında da sık bir ilişki vardır. Şekil 3'e bakıldığında, dünya volkanlarının büyük çoğunluğunun, birinci ve ikinci derecede deprem kuşakları üzerinde buldukları görülmüştür. Volkanlar, özellikle, odak derinliği 90 km ye değin olan depremlerin olduğu ve genç dağ kuşaklarının yer aldığı bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu durum ise, gerek volkan ve gerekse depremlerin, Yeryuvarı'nın derinliklerinde etkinliğini sürdüren, fakat doğrudan gözlenemiyen bir seri işlemin sonucunda oluştuğunu kanıtlamaktadır.

Yeryuvarı yüzeyinden yaklaşık 16 km derinlikte, sıcak camı bir kabuk ya da kristalin bir gereç bulunmaktadır. Bu gereçler, üzerlerinde yer alan basıncın azalmasıyla ya da sıcaklığın artmasıyla ergir. Basıncın, üstte yer alan kayaların kıvrılıp kırılmasıyla azalırken, sıcaklık da radyoaktivite aracılığıyla artabilmektedir. Bu koşullarda eriyen kayaların oluşturduğu sıvı kütle (magma), çevre kayalarına oranla daha az yoğun olduğundan, bulduğu yarıklar ve çatlaklar boyunca yüzeye değin erisebilmektedir. Ya da, belli bir düzeye değin yükseldikten sonra yanıl ol-

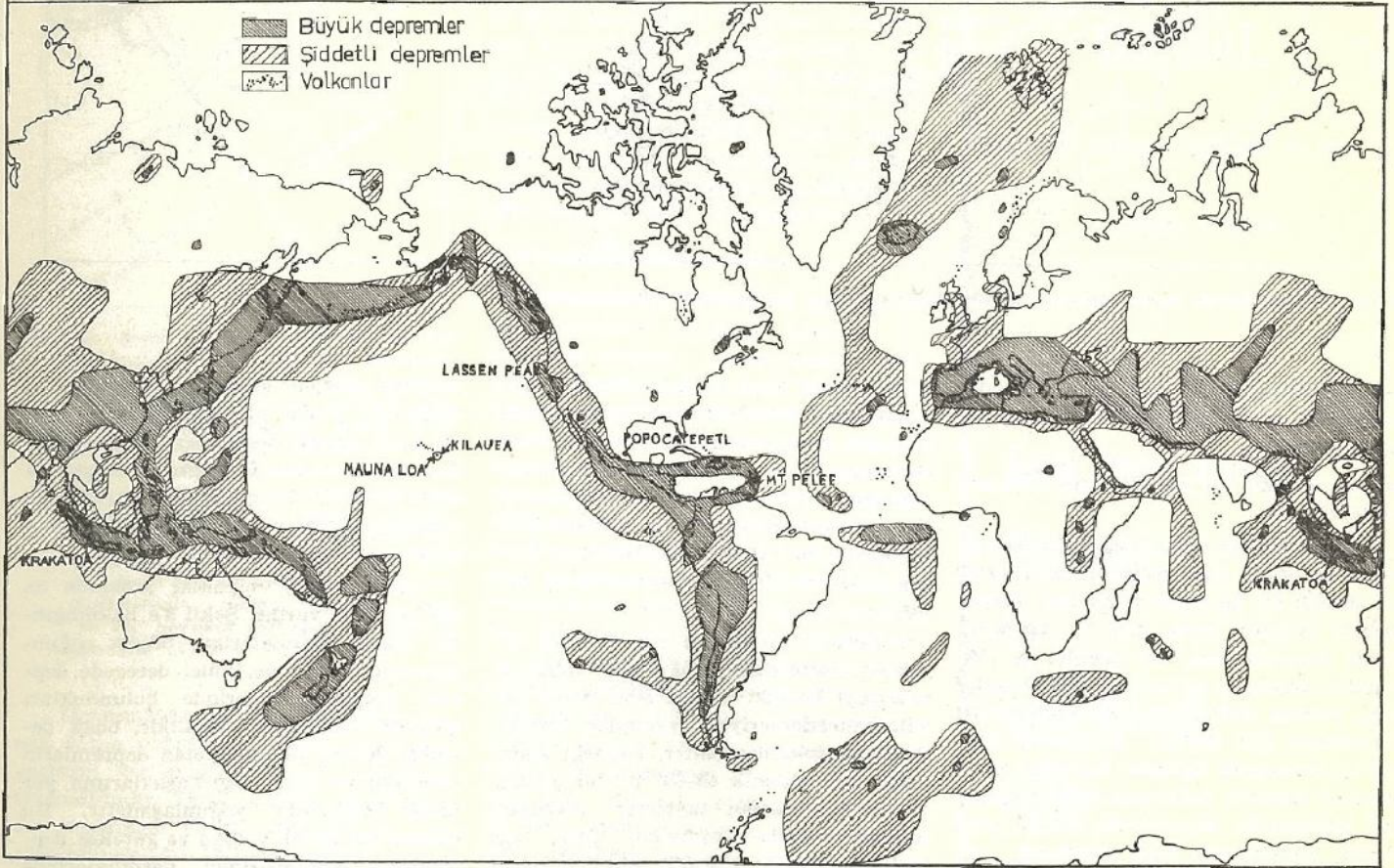
rak yayılmakta ve bir takım magma cepleri oluşturmaktadır. Bu ceplerde, içeri sızan sular nedeniyle de gaz basıncı son derece artmaktadır. Artan gaz basıncı ise, kabuğun kırılıp çatlamasına ve volkanın oluşmasına neden olmaktadır. İşte bu kırılma sonucu depremler de oluşabilmektedir. Örneğin, Guadelupe'da "La Soufriere" yanardağının patlaması, Richter ölçeğine göre 7 şiddetinde

de sarsıntılara neden olmuştur. Aynı tip magma cepleri, yitme zonlarında, manto içine alta dalan levha kayalarının ergimesiyle de oluşmakta ve adaları olarak adlandırılan volkan dizilerini beslemektedir.

Deprem Dalgaları

Esnek biçim değişimine uğramış olan kayalarda biriken gerilim enerjisi,

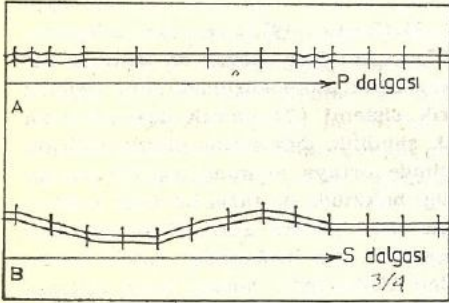
si, esnek kırılma sonucu, deprem odağından her yönü, deprem ya da sismik dalgalar biçiminde yayılır. Bu esnek dalgalar yeryüzüne eriştiklerinde, sarsıntı biçiminde deprem olarak hissedilir. Bu dalgalar, deprem enerjisini uzak mesafelere taşırlar. Hız, titreşim yönü ve diğer özelliklerine göre birbirlerinden soyutlanabilen asıl üç tür dalga vardır. 1. P dalgaları ya da boyuna dalgalar;



Şekil 3: Dünyanın aynı kesimlerinde olmaya yönelik volkanlar ve depremler (Williams, 1951)

2. S dalgaları ya da enine dalgalar; 3. L dalgaları.

P - dalgaları. Bunlar, havadaki ses dalgaları gibi, kayaç içindeki ses dalgalarıdır. Kayacın, hacim değişimine karşı gösterdiği dayanımlılıktan (mukavemetten) doğar. İçinden geçtikleri cisimlerin zerrelere sıkıştırdıkları için sıkıştırma dalgaları; sismograflara ilk gelen yani hızları en yüksek olan dalgalar oldukları için de birincil (primer) dalgalar olarak adlandırılır. Titreşim doğrultuları, yayılma yönlerine koşut olup, sıkışma ve genişleme sarsıntılarının ardışıklı diziliminden oluşur (Şekil 4A). Bu dalgalar hem katı hem de sıvılardan geçer ve hızları, içinden geçtikleri cismin sertlik ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir.



Şekil 4: Sismik dalgalar (Flint ve Skinner, 1974)

S - dalgaları. Bunlar, hacmi değiştirmeksizin, biçim değişimiyle içinden geçtikleri cisimleri bozar. P dalgalarına oranla hızları daha küçük olup, sismograflara onlardan sonra geldikleri için ikincil dalgalar olarak adlandırılır. Titreşim doğrultuları, yayılma yönlerine dik olduğu için enine dalgalar (Şekil 4B); hacim değişikliği olmaksızın olan makaslama devinimleri sırasında oluştukları için de makaslama dalgaları olarak bilinirler. S-dalgaları, cisimlerin esnek biçim değişimine karşı gösterdikleri dayanımlılıktan doğdukları için, hızları, cisimlerin sertlik ve yoğunluğuna bağlıdır; sertlik sıfır olduğunda, yani sıvı cisimlerden, geçemezler.

L - dalgaları. Uzun dalgalar ya da yüzey dalgaları olarak bilinir. Bunların hızı küçük, periyodu büyük ve uzunlukları da fazladır. Kayıt aygıtlarına en son gelen ve en büyük yıkıma neden olan dalgalardır.

Bunlar dışında bir de deniz dibi dalgaları (tsunami) vardır. Bunlar çoğunlukla, yanlış olarak med-cezir dal-

gaları olarak bilinmesine karşın, gerçekte, deniz dibi deprem dalgalarıdır.

Kırılma bölgesinden ilk yayılan dalgalar, esnek enerjinin birdenbire serbestlemesiyle oluşan P-dalgalarıdır. Bu dalgalar, sıkışma ve genişleme biçimindeki titreşimlerin ardışıklı dizilimi biçimindedir. Bir depremden sonra, sismografin dört kadranı üzerine kaydedilen birincil dalgalardan ikisi sıkışma, diğer ikisi de genişleme biçimindedir. Sıkışma ve genişleme titreşimleri, birbirlerine karşıt kadranlarda yer alır .

Devinmekte olan düzlemlerin yönelimleri, bu kadranların aracılığıyla açıklanabilir. Bu düzlemlerden biri üzerindeki birdenbire kayma, büyük olasılıkla depremi oluşturmaktadır. Devinen düzlemlerin arakesiti orta gerilme eksenine (intermediate stress axis) dir ve bu eksene koşut yönde etkin bir biçim değişikliği olmaz. Sıkışma titreşiminin yer aldığı kadranın açısı ortayı, en küçük asıl gerilme yönünü göstermekte olup, bu yöne koşut olarak uzama biçiminde şekil değişikliği olmaktadır. Genişleme biçimindeki titreşimlerin bulunduğu kadranın açısı ortayı ise, en büyük gerilme yönünü göstermekte ve bu yönde sı-

kışma biçiminde şekil değişikliği olmaktadır.

Bu çözümü, dünyadaki sismik kuşaklara uygulayan Sykes (Dewey, 1972), sırt eksenlerinde yani birinci sismik zonda gerilme; ikinci sismik zonda yanal devinme; üçüncü ve dördüncü sismik zonlarda da sıkışmanın egemen olduğunu göstermiştir. Böylece sismoloji, üç tür levha sınırının olduğunu açıklamıştır: 1. levhaların karşıt yönlerde çekildiği sınırlar (okyanus içi sırtlar); 2. levhaların birbirlerini yanal bir devinimle geçtiği sınırlar (dönüşüm fayları); 3. levhaların birbirine yaklaştığı sınırlar (yitme zonları) (Şekil 2).

Dünya Deprem Kuşağında Türkiye'nin Yeri

Günümüzde, insanları, bir deprem aygıtları sanayisi kurmayı amaçlayacak kadar bilinçlendiren ve onları, kendisiyle birlikte yaşama alışkanlığı kazanmaya yönelten bu tür doğa olayları, üzerinde yaşanan Yeryuvarı'nın başlıca iki kuşağında yoğunlaşmıştır. Depremlerin %95'i ve en şiddetlisi bu iki kuşakta olmaktadır. Bu kuşaklardan birincisi, Yeni Gine, Filipinler, Çin, Japonya ve Amerika'nın batı kesimlerini kapsayan

ve depremlerin %80'nin olduğu "Pasifik çevresi deprem kuşağı"dır. İkincil kuşak ise, Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Çin'e değin uzanan "Akdeniz deprem kuşağı" olup, depremlerin %15'i de bu kuşakta yoğunlaşmış durumdadır. Bu kuşakların bir diğer özgün niteliği de, devinimli taşıyıcı levhalarının çarpıştığı, yittiği ya da bir diğerini yanal olarak geçtiği, kısaca sıkıştırma kuvvetlerinin egemen olduğu yerler olmasıdır. Bu kuşaklar tek bir kırık biçiminde olmayıp, az ya da çok birbirine koşut olarak uzanan kırıkların oluşturduğu bir ağ gibidir. İşte bu kırık ağı, Türkiye'yi, kuzey, güney ve batıdan başlıca üç(?) kırık sistemiyle katetmiş bulunmaktadır.

Bu kırık sistemlerinden biri, Türkiye'nin kuzey kesimini, yaklaşık D-B doğrultusunda kateden ve güncel devinimliliği (Şekil 5) nedeniyle dünya literatüründe geniş ölçüde yer alan "Kuzey Anadolu fayı"dır. Bu fayın, batıda Ege denizinden doğuda İran sınırına değin izlenebilen uzunluğu, yaklaşık 1600 km dir (Ketin, 1976). Anadolu'nun en önemli tektonik kuşaklarından biri olan "Kuzey Anadolu Fay Kuşağı", değişik yer bilimciler tarafından ayrı ayrı yorumlanmış ve de yorumlanmaktadır. Örneğin, Ketin (1968, 1976)'e göre, "Kuzey Anadolu Fayı", sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır; Dewey ve Bird (1970), Smith (1971), Dewey (1972) bu fayı bir dönüşüm fayı olarak nitelemişlerdir;

McKenzie (1972)'ye göre, Anatolia tablası (Anadolu levhacılığı), Pontid Tablası'na (Karadeniz Levhacığı) oranla batıya doğru devinmekte ve bu iki levhacığın bugünkü sınırları "Kuzey Anadolu Etken Fayı"nın oluşturmaktadır; Tokel (1973)'e göre, Pontid ve Anatolid'in çakışmasıyla oluşan bir sismik zon olup, Anatolid Levhacığı'nın bugün bile devinimli olduğu yatay atımlı bir faydır; Tokay (1974)'a göre "Kuzey Anadolu Fay Zonu" ve Arkotdağ renkli melanjının bulunduğu kesim (Yeniçağa-İlgaz arası), levha tektoniği açısından, daha önce bir derin deniz çukuru (trench) olup, zonun güneyinde Anatolia, kuzeyinde ise, şerit biçiminde uzanan Pontia yer almaktaydı ve Pontia hiç olmazsa Üst Jura'dan Eosen'e değin bir ada yayı niteliğindeydi. Bu zonun sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay biçimine dönüşümü ise, Miyosen'den sonra olmuştur; Arpat (1976, kişisel görüşme)'a göre, daha önceleri bir yitme zonu olup, bugün yanal atımlı bir faydır.

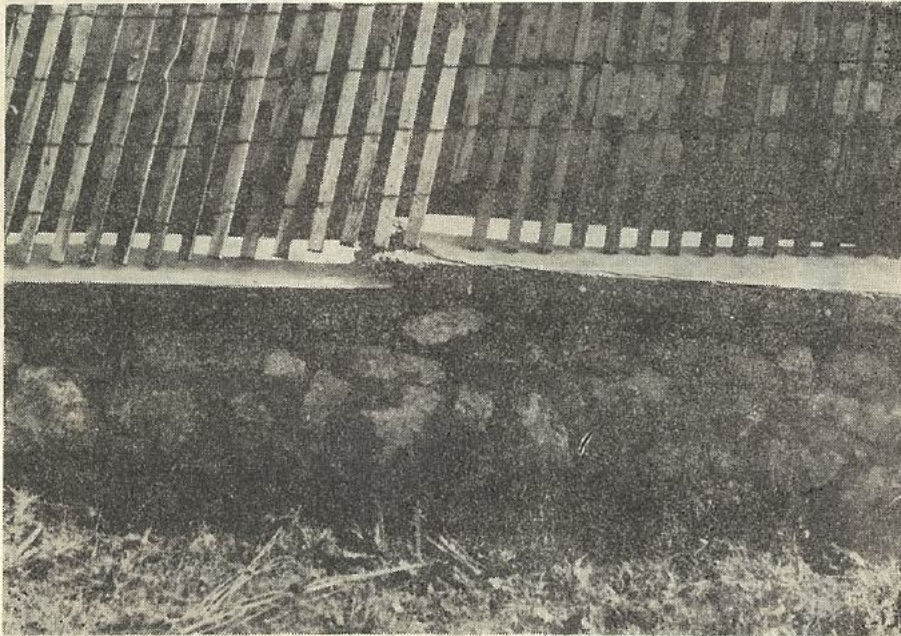
Le Pichon ve diğerleri (Bingöl 1976), Saros körfezi doğusunun, önemli makaslama bileşeni ile K42°, D26° civarında bir kutba göre devindiğini, batısının ise genişleme özelliği gösterdiğini önermişlerdir. Bu durumda, "Kuzey Anadolu Fayı"nın atım yönü, Saros körfezinde terslenmiş durumdadır.

İkinci bir kırık sistemi ise, kabaca, Girit güneyi, Marmaris, Kıbrıs, Maraş

ve Erzincan'dan geçen ve "Kuzey Anadolu Fayı" ile birleşen tektonik hattır. Bu tektonik zon, kısmen sıkışma (yitme), kısmen de sol yönlü yanal atımlı bir fay niteliğindedir. Bu tektonik zondan ayrılan diğer bir kırığın da Kızıldeniz'e değin sürdüğü sanılmaktadır. Kızıldeniz'e değin sürdüğü sanılan, Akabe körfezi, Lut gölü, Ürdün nehri, Teberya gölü, Asi nehri, Amik ovası, Maraş'ın 15 km güneydoğusu, Gölbasi, Hazar gölü kenarı, Bingöl ve Karlıova boyunca uzanan bu hattın Karlıova-Bingöl arasındaki kesimi, "Karlıova-Bingöl Fayı" (Seymen ve Aydın, 1972); Türkiye sınırları içinde kalan tüm kesimi ise, "Doğu Anadolu Fayı" (Arpat ve Şaroğlu, F., 1975) olarak adlandırılmış olup, Kızıldeniz'e değin olan tüm uzantısıyla birlikte bir dönüşüm fayı olarak düşünülmektedir.

McKenzie (1972)'ye göre, Adapazarı-Kaş (Antalya) çizgisi de tektonik bir yön olarak nitelendirilmektedir. Üçüncü kırık sistemi (?) olarak düşünülen bu hat, şimdilik, diğerlerine oranla belirgin biçimde ortaya konmuş değildir ve niteliği hakkında da fazla bir bilgi yoktur. Yine aynı yazara göre, Kaş-Adapazarı çizgisinin batı kesiminde kalan kesim "Ege Plakacığı"; birinci kırık sisteminin kuzeyindeki kesim "Karadeniz Plakacığı"; birinci ve ikinci kırık sistemleri arasında kalan alan da "Anadolu Plakacığı" olarak adlandırılmış olup, "Ege Plakacığı" GB'ya, "Anadolu Plakacığı" ise B'ya doğru devinmektedir. Alptekin (1973), bölgede yapılmış fay düzlemi çözümünü sonuçlarına dayanarak (Şekil 6), Batı Anadolu'nun GB'ya doğru devindiğini önermiş ve Batı Anadolu'da genellikle gerilme faylanmalarının egemen bulunduğunu, fakat az da olsa yatay bileşenlerin de gelişmiş olduğunu göstermiştir. Bingöl (1976) ise, bölgedeki episantrların yer yer karmaşıklığını ve deprem mekanizmalarının düzensizliğini bölgede üç tür devinimin egemen oluşuyla yorumlamış; tüm Anadolu'nun, günümüzde, Ege adalarıyla birlikte bir plaka oluşturduğunu ve GB'ya doğru devindiğini önermiştir.

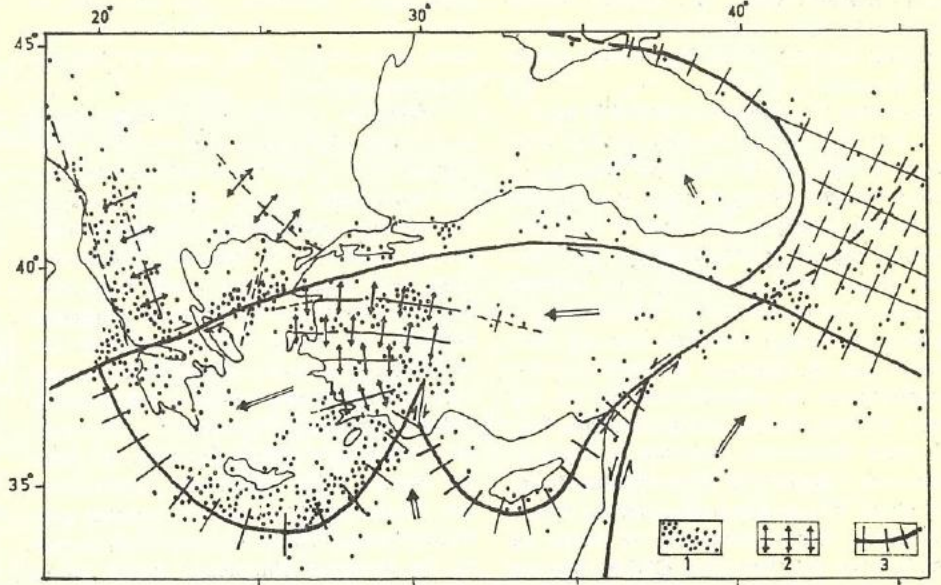
Türkiye'nin Levha Tektoniği'ndeki, dolayısıyla dünya deprem kuşağındaki yeri, yaklaşık olarak bu üç tür kırık sistemiyle belirlenmiş durumdadır. Afrika ve Arap yarımadasının güneyden kuzeye doğru alt bindirmeleri etkisinde kalan Türkiye'de, Anadolu Levhacığı B-GB'ya doğru devinmektedir. Diğer taraftan, Orta ve Batı Toroslar'da, Mi-



Şekil 5: İsmetpaşa Karayolları Bakımevi'nin güney bahçe duvarında, tektonik kırık sonucu oluşan bindirme.

yosen ve Pliyosen'den beri görülen yükselmelerin, Afrika Levhası'nın alt bindirmesiyle ilgili olabileceği kuvvetle olasıdır. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu kesimi de, Arap yarımadasının bir uzantısı biçiminde olup, onun bindirme etkisi altındadır. Doğu Anadolu ise bir seri sıkışma bölgesi durumundadır (Şekil 6). Nitekim "Kuzey Anadolu Fayı"nın Erzurum'un doğusundaki uzantısı bu özellikte nitelenmiştir (McKenzie, 1972). Yaklaşık D-B doğrultulu çekim faylarıyla ırılanan Batı Anadolu'nun da, bir enerji serbestleme bölgesi olduğu kuvvetle olasıdır. Deprem episantrlarının bu bölgedeki yoğunluğu da (Şekil 6) bu durumu kanıtlar gözükmemektedir.

Türkiye deprem kuşağı haritasına bakıldığında (Şekil 7), birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinin, yukarıda değinilmiş olan kırık sistemleriyle (özellikle "Kuzey Anadolu Fay Zonu"yla) hemen hemen çakışmış olduğu görülür. Bu kuşakların devingenliği, jeofizik ve jeolojik verilerle kanıtlanmış olduğundan, Türkiye'de deprem ne ilk ne de son olmayacaktır. Acı fakat gerçek olan diğer bir olgu da, Türkiye'nin büyük sa-



Şekil 6: Türkiye için levha tektoniği modeli (Alptekin, 1973)
 1. Sığ odaklı depremler
 2. Gerilim olayları
 3. Sıkışma olayları

nayi merkezlerinin de, birinci derece deprem kuşağı, yani, yüksek depremsellik riski taşıyan etken fay kuşağı içinde yer almasıdır.

Depremler Önceden Kestirilebilir mi?

Türkiye, dünya deprem kuşağı üzerinde bulunması bakımından yalnız değildir. Çünkü dünya deprem kuşaklarında birçok ülke yer almaktadır. Batı bölgesinin deprem kuşağı üzerinde olmasından dolayı ABD, Orta Asya'nın deprem kuşağı olmasından dolayı SSCB, tümüyle deprem kuşağı üzerinde olmalarından dolayı Çin ve Japonya, depremi önceden kestirebilme ve yıkıntılarını en alt düzeye indirgeyebilme çalışmalarında başta gelen ülkelerdir. Özellikle, çok yoğun yerleşme yerlerinin deprem bölgelerinde oluşu ve yapılarının (kerpiç evler) depreme dayanıklılığının az oluşu ile Türkiye'ye çok benzeyen Çin'de, deprem sorununun çözümlüne, kısa süre önce başlanmış olmasına rağmen, bugün ulusal bir seferberlik sayılabilecek düzeye erişilmesi, birçok depremin doğurabileceği insan kaybının önlenmiş olması, hele hele onbinden fazla eğitilmiş deprem uzmanının yanında en o kadar da amatör

sismoloğun bulunuşu, bu sorunun denli bilimsel ve bilinçli eğitim gereksinimi gösterdiğini, en yalın bir biçimde vurgulamaktadır.

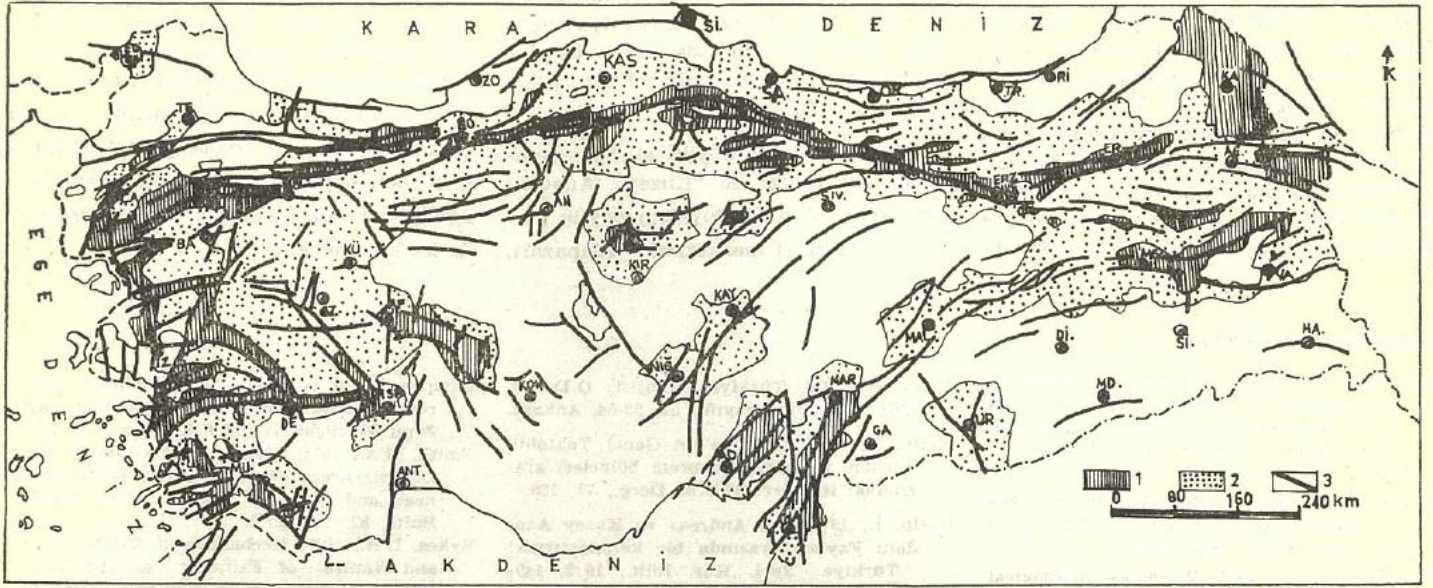
Sesören (1976), bu konuyla ilgili bazı çalışmaları şöyle özetlemiştir: 1949 yılında Sibirya'nın Garm bölgesinde olan bir depremden sonra, deprem öncesi, yörede olan jeolojik değişiklikleri incelemek amacıyla bu bölgeye gönderilen ekip 1971 yılına değin orada kalmıştır. Bu uzun inceleme ve gözleme süresinin sonunda, en büyük deprem olasılığı belirtisinin, Yeryuvarı kabuğundan geçen titreşimlerin hızlarındaki değişiklikler olduğu sonucuna varılmıştır. Titreşimler, yerkabuğu içinde, özellikle iki değişik sismik dalga biçiminde yayılmaktadır. Bunlardan P dalgaları, içinden geçtikleri kayada önce sıkışmaya daha sonra da devinme yönlerine koşturularak genişlemeye neden olmaktadır. S dalgaları ise, kayacı, devinme yönlerine dik doğrultuda oynatmaktadır. Yine ayrıca, P dalgaları, S dalgalarına oranla daha çabuk yol almakta ve bu nedenle sismograf aygıtına ilk olarak gelmektedir. Sovyet bilim adamlarının buluşla-

rına göre, depremden birkaç gün, birkaç hafta, hatta bir ay kadar bir süre önce, P ve S dalgalarının sismografa ulaşmaları arasında geçen normal sürede azalmalar olmaktadır. Sonuç olarak, depremden kısa bir süre önce, bilinmeyen bir nedenden ötürü, dalgaların sismografa geliş süreleri yeniden eski normal durumlarına dönüşmektedir. Depremden önce, dalgaların sismografa geliş süreleri arasındaki fark ne kadar değişik olursa, oluşan deprem de o denli yeğin (şiddetli) olmaktadır.

Bu bulgulardan sonra, Amerika'lı yerbilimciler de yaptıkları çalışmalarla, kayacın kırılma noktasına yaklaşması sırasında, kayacın özelliklerinde beklenmeyen bazı değişikliklerin olduğunu saptamışlardır. Bu değişmelerden ilki, kayacın elektriksel direncinin artması, ikincisi ise, kayacın içinden geçen dalgaların hızlarının azalmasıdır. Bu iki değişme, büyük bir sıkışma etkisinde kalan kayacın içinde, sayılamıyacak kadar ince ve genellikle mikroskopik olan çatlakların açılması biçiminde yorumlanan "Dilatancy" olayı ile ilgili görülmüştür.

Sovyetler'in bulgularından sonra Stanford Üniversitesi Jeofizikçileri de, yapmış oldukları yeni çalışmalar sonucunda şu noktaları önermişlerdir: Bir kristalin kayacın içerisinde ilk çatlaklar açıldığı zaman, kayacın çatlaklara karşı direnci artmakta ve bu nedenle geçici bir süre için depremin oluşumu ertelenmektedir. Ayrıca, sismik dalgaların kırıklı kayada, sağlam kayada olduğu gibi hızla yol alamamalarından ötürü, bu dalgaların hızlarında azalmalar olmaktadır. Zamanla, yeraltı suyu, çatlakların arasına yerleşmeye başlayınca, sismik dalgaların hızı bu kez normale dönmektedir. Çatlakların arasına giren su, kayacın dayanıklılığını azaltmakta, bu işlem, kayacın çatlaklarının açılarak suyun geçişine izin vermesine değin sürmekte ve bu açılma da depreme neden olmaktadır.

Gerçekten, "Dilatancy" olayı, deprem öncesi ve deprem sırasında oluşan birçok değişimleri açıklar görünmektedir. Kayacın içerisinde çatlakların açılmasıyla, çatlakların içine hava girmekte ve havanın elektrikliğe karşı iyi bir iletken olmamadan ötürü de, kayacın elektriksel direnci artmaktadır. Ayrıca çatlaklar, kayacın içerisine giren suyun miktarını artırmakta ve suyun radon gazını emmesini sağlamaktadır. Kayacın çatlayıp kırılmasından ötürü hacmi genişlemekte ve bu yüzden "Dilatancy" olayı, depremden önce yerkabuğunun



Şekil 7: Türkiye'nin önemli epirojenez yapıları ve deprem alanlarının dağılışı (İlhan, 1976).

1. Birinci derecede deprem bölgeleri

2. İkinci derecede deprem bölgeleri

3. Önemli fay çizgileri ve alanları

kabarmasına, eğilmesine, kırılmasına, kısaca biçim değişimine neden olmaktadır.

Bu başarılı bulgular, bilim adamlarının, depremleri olmadan önce kestirebilme uğraşlarını hızlandırmıştır. Depremleri önceden kestirebilme işlemlerine bir başlangıç olmak üzere, Amerika'da Kaliforniya yöresinde bulunan Bear vadisinde örnek bir otomatik algılayıcı istasyonları şebekesinin yapımına başlanmıştır. Bu şebeke, magnetometreler, tiltmetreler ve sismograflar içermektedir. Ayrıca kuyularda radon miktarının ölçümleri ve kayalardaki elektriksel direnç ölçümleri de bu sistemin yanında yer almaktadır. Yine Amerika'da Los Angeles yöresinde bulunan diğer bir sistem tamamlanıp, bilgisayar şebekesine bağlandığı zaman, depremler hakkında önceden iki uyarıda bulunabilecektir. Bu uyarılara göre, eğer geniş bir alan üzerinde sürekli olarak P dalgalarının hızı ve magnetik alandaki değişimler ile "Dilatancy" olayının etkileri saptanacak olursa, bu durumda, büyük bir deprem olabilecektir; ve deprem bir iki ay gibi kısa bir süre içinde beklenilebilecektir. Eğer "Dilatancy" olayının etkileri küçük bir alan içinde belirlirse, o zaman, kısa süre içinde küçük bir deprem olabilecektir. "Dilatancy" etkilerinin normale dönmesi ise, depremin olabileceğine ikinci bir uyarı olarak

kabul edilmektedir. Hesaplara göre bir deprem, değişikliklerin olduğu sürenin 1/10'u gibi bir zaman içinde oluşmaktadır. Örneğin, "Dilatancy" değişiklikleri yetmiş gün süreyle kaydedilmişse ve sonradan birdenbire normale dönmüşse, depremin, yaklaşık bir haftalık bir süre içinde olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Kısaca depremleri önceden kestirebilme çalışmaları çeşitli yöntemleri içermektedir. Bunların başlıcaları, depremlerden önce gözlenen bazı fiziksel ve jeolojik değişimlerdir. Bunları, Nazıkoğlu (1976) şöyle özetlemektedir: 1. gerilme altında kayalarda açılmış çatlaklar ve yarıklar, 2. kayaların elektriksel ve ısısal öz iletkenliklerinin, çoğalan çatlaklarda artan hava miktarı dolayısıyla ve sürtünmeden ötürü değişmesi; 3. çatlaklara dolan suda radon gazı (bir radyoaktif gaz) miktarının artması; 4. yerel magnetik alanda, kayaların elektriksel öz iletkenliklerinin değişimi sonucu, izlenen değişimler (piezomagnetik ya da sismomagnetik değişimler); 5. yeraltı su tablasındaki birdenbire değişimler sonucu kuyulardaki su düzeyinin değişmesi; 6. kayıt istasyonlarına depremden sonra ilk gelen dalga olan P dalgasının hızında görülen normalin altında bir azalma ki bu depremden hemen önce yeniden eski durumuna dönüşür; 7. çatlakların oluşması sonucu kayaların hacminin artmasıyla, kabukta görülen bi-

çim değişikliği; 8. bazı hayvanların sezgi yeteneklerinin yüksek olması ve bu nedenle o hayvanların davranışlarındaki değişimler.

Bütün bu değişikliklerin, uzun sürecek bir zaman aralığında, duyarlı sismik aygıtlarla gözlenip kaydedilmesi ve bilimsel yöntemlerle yorumlanması sonucunda, depremlerin önceden kestirebilmesi kuvvetle olasıdır.

SONUÇLAR

Bugün depremlerin %95'i ve en şiddetlileri, yitme zonlarına koşut bir kuşak boyunca yoğunlaşmış bulunmaktadır. Bunlar, dünyanın birinci ve ikinci derecede deprem kuşağını oluşturmaktadır. Yitme zonlarının, Yeryuvarı'nın büyük sıkışma alanlarını temsil ettiği, artık yadsınamaz bir olgudur. Bu durumda, depremlerin asıl nedeni, levhaların çarpışması, biri diğeri altına girerken (dalarken) ya da birbirlerine göre yanıl olarak yer değiştirirken sürtünmeleri, kayaçların esnek biçim değiştirmeleri ve en sonunda da kırılıp parçalanmalarıdır. İşte bu biçim değişikliği sırasında kayaçlarda biriken büyük gerilme enerjisi, kırılma sonucu serbestliyerek, yeryüzüne deprem biçiminde yansımaktadır.

Üzerinde yaşanan Yeryuvarı'nın katı taşıyıcı kısmı, tek bir bütün olmayıp, birçok levha ve levhacıklardan oluşmuştur. Bunlar duraylı olmayıp,

günümüze değin devinegelmiştir. Bu devinimler duramayacağından, bunlara bağlı olan depremler de ne ilk ne de son olacaktır. Yurdumuzda da, dünya deprem kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle, bu tür doğa olayları güncelliğini yitirmeyecektir. Bu nedenle, bir taraftan kendimizi depremle yaşamaya alıştırmak, diğer taraftan da onun etkilerinden korunmak, hiç değilse en alt

düzeyde etkilenmek için, gerekli önlemleri daha fazla zaman yitirmeden almamızdır. Bunu yaparken, de kaderciliği bir yana bırakıp, soruna bilimsel bir açıdan yaklaşılmalıdır.

Dünyanın en büyük sismik zonlarından bir tanesi de "Kuzey Anadolu Fay Zonu" olup, Türkiye'nin büyük yerleşme ve sanayi merkezleri (Adapazarı,

İzmit, Bursa) bu etken fay kuşağı içinde yer almaktadır. Bu zon üzerinde sismik aygıtlarla yapılacak bilimsel çalışmalar, yalnızca Türkiye'deki deprem etkilerini azaltmakla kalmıyacak, aynı zamanda, dünyada daha önce başlatılmıyş olan, depremi önceden kestirebilme uğraşlarına da kesinlikle önemli derecede katkısı olacaktır.

DEĞİNİLEN BELGELEER

- Alptekin, Ö., 1973, Focal mechanism of earthquakes in Western Turkey and their tectonic implications: Doktora tezi, New Mexico Mining and Technology Inst., yayınlanmamış.
- Arpat, E. Şaroğlu, F., 1975, Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar: Tür-Jeol. Kur. Bül., 18/1, 91,101.
- Bardarson, H.R., 1974, Volcanoes: Geological Museum, Institute of Geological Sciences, HMSO, London.
- Bingöl, E., 1976, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi: M.T.A. Derg., 86, 4-15.
- Dewey, J. F., 1972, Plate Tectonics: Scientific American, 226, 5, 56-68.
- Dewey, J.F. ve Bird, J.M., 1970, Mountain Belts and The New Global Tectonics: J. Geophys. Res., 75, 14, 2625-2647.
- Flint, R.F. ve Skinner, B.J., 1974, Physical Geology: New York, John Wiley and Sons, Inc., 329-351.
- Holmes, A., 1964, Principles of Physical Geology: New York, Ronald Press.

- İlhan, E., 1976, Türkiye Jeolojisi: O.D.T.Ü. Müh. Fakültesi yayını, 51, 53-54, Ankara.
- Ketin, İ., 1968, Türkiye'nin Genel Tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler: M.T.A. Derg., 71, 129.
- Ketin, İ., 1976, San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma: Türkiye Jeol. Kur. Bül., 19/2, 149-154.
- McKenzie, D.P., 1972, Active Tectonics of the Mediterranean Region: Geophys. J. Roy. Astr. Soc., 30, 109-185.
- Nazikoğlu, Z., 1976, Depremler çağımızda önceden bilinebilir mi?: Düşünenlerin düşünceleri sütunu, 26 Mayıs 1976 tarihli Milliyet Gazetesi.
- Russel, W. L., 1955, Structural Geology for Petroleum Geologists: The Maple Press Company, 102-104, New York.
- Sesören, A., 1976, Depremi önceden bilebiliriz: 26 Kasım/1976 tarihli Hürriyet Gazetesi.

- Seymen, İ. ve Aydın, A., 1972, Bingöl Deprem Fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkileri: M.T.A. Derg., 79, 1-8.
- Smith, G.A., 1971, Alpine deformation in the Oceanic areas of the Tethys, Mediterranean and Atlantic: Geol. Soc. Amer. Bult., 82, 2039-2070.
- Sykes, L.R., 1967, Mechanism of Earthquakes and Nature of Faulting on the Mid-Oceanic Ridges: J. Geophys. Res., 72, 8, 5-29.
- Tokay, M., 1974, Arkotdağ Formasyonu'nun Litolojisi, Kökeni ve Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Muhtemel Bağlantısı: TBTA, Temel Bilimler Araştırma Grubu Proje No. 43.
- Tokel, S., 1973, Doğu Pontidler'in Mesozoyik ve Tersiyer'deki gelişmesi, bu gelişmelerin Kuzey Anadolu Sismik Zonu ile muhtemel ilgileri: Cumhuriyet'in 50. yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliği, 1-5, Ankara.
- Williams, H., 1951, Volcanoes: Scientific American, 3-11.