



Not Defteri

V u r a l A l t ı n

Dünya'nın İç Yapısı

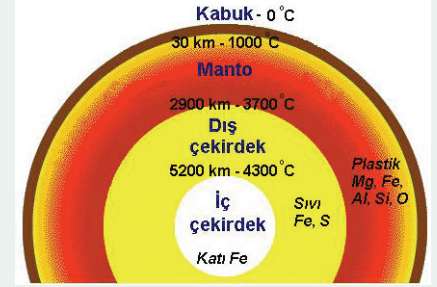
Sahi: Ne var şu bastığımız yerin altında, neler?... Karpuz değil ki yarıp da bakalım, içinde ne var ne yok. Karpuz kadar olsaydı, yarmaya gerek kalmazdı gerçi. Alırdık koltuğumuzun altına, dayadık kulağımızı, bir tarafından bir fiske vurup, çıkan sesleri dinlerdik. Tok bir ses çıkar da uzunca süre tınlarsa, bu elimizdeki cismin; içi dolu ve katı, elastik bir küre olduğu anlamına gelirdi. Yok eğer ses birkaç kez yankılandıktan sonra, bu arada hızla sönümlenip kaybolursa, bu da içinin kısmen hava veya suyla dolu, ya da görece yumuşak veya plastik olduğuna işaret ederdi. Dalgaların enerjisi hızla soğurulduğuna göre... Yankılanma niye? Ses dalgaları yoğunlukları farklı olan iki ortamın birinden diğerine geçerken; tıpkı ışık dalgalarının, daha az yoğun olan, örneğin havadan, daha yoğun olan, örneğin suya geçerken yaptığı gibi; arayüzeyden kısmen yansıyor, kısmen de kırılarak yoluna devam eder de ondan... Cismin içi her yerde aynı olsa, tek bir malzemeden oluşsa bile, en azından, onu atmosferden ayıran bir dış yüzeyi var ve bir tarafından vurduğumuzda oluşan dalgalar, içinden her yönde yayılıp da bu yüzeyin çeşitli noktalarına ulaştığında, yansımalar olur. Atmosferde zayıflayarak devam eden kırılmalar da tabii, ama zayıf...

Hem de, dışa vurulan fiskenin oluşturduğu dalgalar; birincisi, bu aynı ve tek malzemenin küresel katmanlarını birbirinin üzerine doğru itekleyen basınç dalgaları (P), diğeri ise, katmanları birbirlerinin üzerinden kayarcasına enlemesine harekete zorlayan sıyrma dalgaları ('shear', S) olmak üzere, iki türden oluşurdu. Tıpkı bir tabaktaki jölenin katmanlarının, tabağın altına bir fiske vurulduğunda, yukarıya doğru birbirini iteklemesi, tabağın yanına vurulduğunda da, birbirinin üzerinden kaymaya yeltenmesinde olduğu gibi. Aslında her iki fiske de, her iki tür dalgayı oluşturur; ama farklı güçlerde. Neyse, bunlardan P dalgaları, S dalgalarına göre daha hızlı seyahat eder ve kürenin herhangi bir başka noktasına, onlardan önce varır. Kulağımız ve zamanlamamız yeterince hassas olsaydı eğer, aradaki gecikmeyi ölçer ve bu gecikme süresinden hareketle, dalga hızlarını da biliyorsak, fiske darbesinin kulağımızdan ne kadar uzakta gerçekleştirildiğini hesaplayabilirdik. Sonra, yarıçapı bu uzaklığa eşit olan ve kulağımızı merkez alan bir daire çizerdik. Dalgaların kaynağının, yani fiske darbesinin indiği noktamın, bu dairenin üzerinde olması gerekirdi tabii. Hele başımızın aynı tarafında üç kulağımız olsaydı; hepsini birden dayar, aynı işlemi her kulak için yapar ve üç daire çizerdik. Bu dairelerden herhangi ikisi iki noktada kesişirken, üçüncüsü de mutlaka, bu iki noktadan birinden geçer ve bu sonucusu bize, fiske darbesinin indirilmiş olması gereken yeri verir. Peki ama ya cismin içi her yerde aynı olmayıp, farklı malzemelerden oluşan çok katmanlı

bir yapıya sahipse?... O zaman da sözkonusu dalgalar, daha yoğun olan katmanlarda daha hızlı seyahat eder, öte yandan, benzer yoğunluklar için, katılarda hızlanıp sıvılarda yavaşlardı. Ki bu da bize, değişik katmanların kalınlık ve özellikleri hakkında ipuçları sunardı. Fiske deyip geçmemek lazım, aslında bir fiske darbesi, böylesine karmaşık bir yapı hakkında da yeterli bilgi verebilir.

Çünkü, herhangi bir fiske darbesi, tek frekanslı bir P ve S dalgası çiftine değil, çeşitli frekanslardan oluşan P ve S dalga gruplarına yol açar. Belli türden bir dalğanın bir ortamdaki hızı, dalğanın frekansını yanında; ortamın yoğunluğuna, sıcaklık ve basınç gibi fiziksel değişkenlere de bağlıdır. Dolayısıyla, dalga grupları ortam içerisinde yol katettikçe, aralarındaki sürat farkı nedeniyle, giderek ayrışır ('dispersion'). Bu arada farklı katmanlara farklı zamanlarda ulaşıp, kısmen yansımış; kısmen de yollarına devam edip, farklı açılarla kırılmışlardır. Gerçi, en genel haliyle karmaşık bir bünyenin yapısı hakkında bilinmesi gereken; barındırdığı altyapıların geometrileri ve boyutları, yoğunlukları, sıcaklık ve basınçları gibi çok sayıda bilinmeyen vardır. Ancak buna karşılık, değişik frekanslardaki dalgaların; yansıma açılarıyla kalıpları ve seyahat süreleri, bu bilinmeyenleri belirlemeye yetecek sayıda denklem sunmaktadır. Dolayısıyla, çözüm sonuçlarının elde edilmesi ve görüntüye dönüştürülerek, iç yapının üç boyutlu bir resminin; hem de farklı yoğunluk, sıcaklık ve basınç bölgelerinin farklı renklendirilmiş haliyle inşası mümkündür. Tıpkı, sesüstü dalgalardan yararlanan 'ultrason' aygıtlarıyla, insan vücudunun iç yapısının görüntülenebilmesinde, anne rahmindeki fetusun hareketlerinin dahi gözlenebilmesinde olduğu gibi. Peki de dünyaya fiskeyi kim vuracak? O kendi kendisine vuruyor zaten, dış kabuğundaki kırılmaların ürettiği deprem dalgalarıyla. Alanca daha dar kapsamlı incelemeler için, mekanik veya buharlı çekiçler, konvansiyonel patlayıcılar da kullanmak mümkün. Bu çalışma alanına 'sismoloji' deniyor. Yerkürenin yapısını anlamaya yönelik olarak, ayrıca; yüzeyindeki ısı akışı dinamikleri, manyetik ve kütleçekimi alanlarının değişimleri incelenip, çeşitli kaya ve minerallerin fiziksel özellikleri laboratuvarlarda inceleniyor. Ortaya çıkan yapı, kabaca şöyle...

Yerküremiz; bir kabuk, manto ve çekirdek kısımlarından oluşuyor. Manto ve çekirdek ayrıca, 'iç' ve 'dış' olarak nitelendirilen ikişer kısma ayrılıyor. Kabuğun kalınlığı değişken: Kitalarda 35-70, okyanus tabanlarında 5-10 km kadar. Zirve noktası Himalayalarda, 8.850 m yüksekliğindeki Everest tepesi. En çukur nokta, Pasifik Okyanusu'nun 10.911 m derinliğindeki Mariana Çukuru. Yapısı genelde aluminosilikat ağırlıklı. Kitasal kısmı çoğunlukla granit

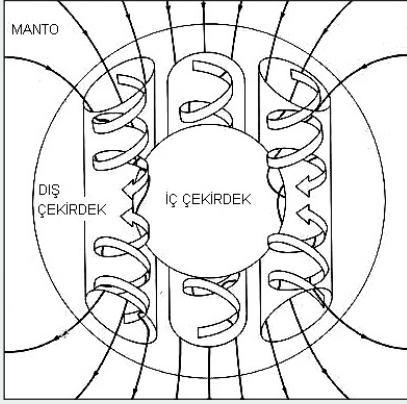


ten oluşuyor. Yani bu kayalar bolca, 'açık renkli' anlamında 'felsik' olarak nitelendirilen feldspar ve kuartz minerallerini içeriyor. Okyanus tabanlarındaki kabuk ise, bazalt ağırlıklı. Bazalt, 'koyu renkli' anlamında 'mafik' olarak nitelendirilen, olivin ve plagioklaz feldspar gibi mineralleri içeriyor. Kitasal ve okyanus dibi kabuklarının, kalınlığı ve bileşimi yanında, ortalama yoğunlukları da farklı: Kitasal kabuğun 2.8, okyanus kabuğunun 3.3 g/cm³. Daha ince olan okyanus kabuğunun daha yoğun olması, kitasal kabuğu bir bakıma dengeyor. Yerkürenin bir de, mekanik özelliklere göre tabakalandırılması sözkonusu. Bu açıdan bakıldığında; kabukla birlikte, mantonun katı ve elastik olan dış kısmından oluşan katmana 'litosfer' deniyor. Litosferin hemen altında, sismik dalgaların süratinde ani bir artış var. Kaya tipinin, görece az yoğun ve fazla yoğun geçişine işaret eden bu sıçrama bölgesine, bulucusunun adına atfen 'Mohorovicic süreksizliği' deniyor. Bu süreksizliğin kitalar altındaki, 15-20 ila 70-80 km arasında değişen derinliği, ortalama 35 km. Okyanusların altında ise, tabanın 7 km kadar altında. Dolayısıyla, dünyaya göre litosferin kalınlığı yaklaşık olarak, yummurtaya göre kabuğunun kalınlığı kadar ince. Geçmişte, yerkabuğunda bir delik açarak Moho'ya ulaşma önerileri yapılmıştı. Sovyetler Birliği zamanında Kola Yarımadası'nda bu amaçla açılmasına başlanan bir delik, maliyetler derinlikle birlikte üstel olarak arttığından, 12'ci kilometreden sonra terkedildi. Neyse...

Kabuğun ardından, ağırlıklı olarak demir magnezyum silikatlarından oluşan 2900 km kalınlığındaki manto geliyor. Derinlikle birlikte sıcaklık ve basınç artıyor. Kabuğun 100-200 km altındaki sıcaklık, kayaların ergime noktasına yakın. Ancak basınç yüksek olduğundan, kayalar tümüyle eriyemiyor ve katı ile sıvı arasında, viskozitesi yüksek ve akışkanlığı az, plastik bir halde bulunuyor. Litosferde bir çatlak veya oyuğun oluşması halinde, atmosferin düşük basıncıyla karşılaştıklarında, hızla eriyip dışarı fırlıyor ve volkan etkinliklerine yol açıyorlar. Plastik özelliği nedeniyle sismik dalgaları düşük hızla ileten bu 'düşük hız bölgesi'nin altında, dış mantonun 'geçiş bölgesi' var. Bu bölgede, kayaların yoğunluğu iki ayrı derinlikte ansızın artarak, sismik dalgaların hı-

Not Defteri

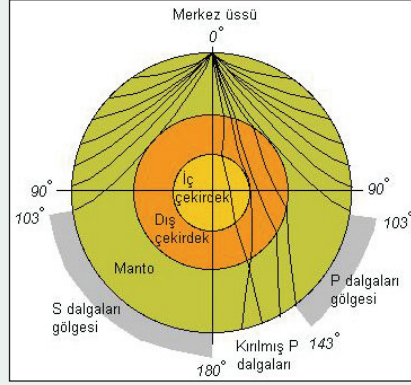
zında paralel artışlara yol açıyor. Geçiş bölgesinin altındaki iç manto, demir ve magnezyum silikat minerallerinin basit formlarından oluşuyor. Ancak bu basit formlar, derinlere inildikçe, kütlece çok daha yoğun formlara dönüşüyor. Yeriçi ısısının büyük bir kısmı mantoda. Büyük konveksiyon hücreleri ısı aktarımını sağladıkları gibi, plaka tektoniği süreçlerinin, yani yerkabuğu parçalarındaki hareketliliğin itici gücünü oluşturuyor.



2900 km derinlikte, mantodan çekirdeğe geçiş başlıyor. Sıcaklık 3700 °C'yi, basınç da 125 Gpa (GigaPascal veya milyar kg/m.s²) düzeyini aşıyor. Bu koşullar altında, nikel demir alaşımından oluşan dış çekirdek erimiş olmak zorunda. Bu yüzden, 2300 km kalınlığındaki dış çekirdeğe girişte, %30'a yakın bir yoğunluk artışına karşın, sismik dalgaların P türünün süratinde, bir o kadarlık bir düşüş gözleniyor. Bu durum ancak, ortamın sıvı halde olmasıyla mümkün. Nitekim, S dalgaları bu katman tarafından, tıpkı sıvılarda olduğu gibi, iletilmiyor. Dış çekirdeğin sıvı hali, yerin manyetik alanından da sorumlu. Çünkü, litosferde yerin manyetik alan şiddetine yol açacak kadar mıknatıslı mineral yok. Alttaki katmanlarda ise, sıcaklıklar, mıknatıslık özelliğinin ortadan kalktığı 'Curie sıcaklığı'nın üzerinde. Dolayısıyla, yerin manyetik alanını atomların manyetik dipollerinin eşyönlüleşmesiyle açıklamak imkansız. Geriye bir olasılık kalıyor. O da, dış çekirdekteki sıvı akıntılarının yol açtığı, 'kendi kendisini ayakta tutan' bir dinamo etkisi. Bu çerçevede, yerin kendi eksenini etrafında dönmesi nedeniyle, dış çekirdeğin alt ve üst yarısında zıt yönlere spiral akıntılarının oluştuğu, bu akıntılarının taşıdığı sıvı demirin elektrik iletkenliğinin, keza zıt yönlü spiral akımlar oluşturduğu düşünülüyor. Böyle bir akım şemasının, yandaki şekilde görüldüğü gibi, yerin dönme eksenine yaklaşık paralel bir manyetik alan oluşturması mümkün. Akış dinamiğindeki değişimlerin, manyetik alanın yönünü değiştirmesi de...

Son olarak, 5200 km'ye inildiğinde, sıcaklık 4300 °C'yi aşarken, çekirdeğin iç kısmına girilmiş oluyor. 1200 km kalınlığındaki bu katman, hemen tümüyle demir. Sıcaklığın, dünyanın merkezinde 5200 °C'ye ulaşmasına karşın, basınç 325 Gpa'lı aşmış olduğundan, iç çekirdek katı halde.

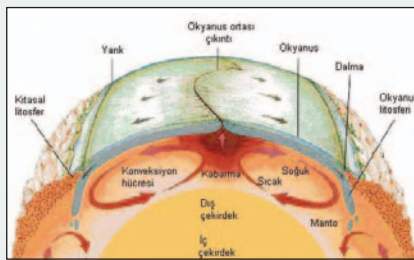
Şimdi bu verilerin ışığında, yerin altında neler oluyor, kısaca bakalım...



Yerkürenin herhangi, örneğin yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi bir 'merkez üssü'nde yer alan depremin yol açtığı dalgalar, mantonun içinden seyahat ederek, sağda ve solda 103° açı konumlarına kadar ulaşabiliyor. Daha sonra, 143° açı konumuna kadar, P dalgalarının ulaşamadığı bir 'P dalgaları gölgesi' var. Bundan daha büyük açı konumlarına ancak, çekirdekten geçerek kırılan P dalgalarının ulaşması mümkün. S dalgaları ise zaten, sıvı dış çekirdek tarafından iletilemediklerinden, 103° açı konumundan öteye geçemiyorlar. Gölge alanları daha geniş...

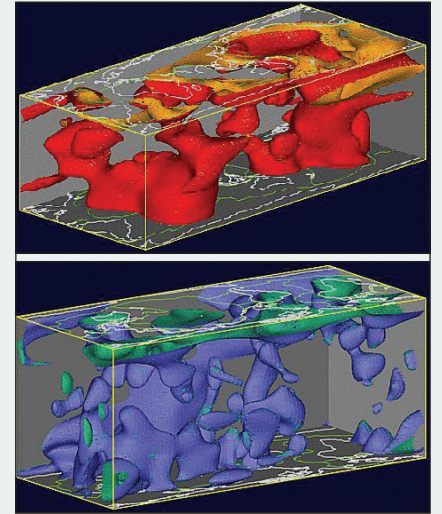
Litosfer yedisi büyük, bir düzine kadar plakalara ayrılmış durumda. Bu plakalardan bazıları, kısmen kıtasal olup, kısmen de okyanus tabanını kapsıyor. Tektonik kuvvetler nedeniyle, birbirlerine göre hareket halindedir. Litosferin parçaları adeta, dış mantonun kısmen sıvı olan en üst, 'astenosfer' katmanını üzerinde yüzüyor. Bazı plakalar birbirine yaklaşırken, diğer bazıları birbirinden uzaklaşıyor. Plakaların birbirine yaklaştığı sınırlara 'yakınsak' ('convergent'), uzaklaştığı sınırlara 'ıraksak' ('divergent') sınır deniyor. Plakaların bir de, sınır boyunca birbirlerine göre kayma hareketi var. Ki buna da, 'muhafazakar' ('conservative') sınır deniyor. Kuzey Anadolu ve Kaliforniya'daki San Andreas fay hatları, bu sonucuna birer örnek...

Pasifik ve Atlantik okyanuslarının ortasından geçen birer ıraksak sınır var. Örneğin Atlantik ortası sınırının altında yer alan 'sıcak nokta'daki mantodan kaboran magma, Avrupa ve Amerika plakalarını dışarıya doğru iterek birbirinden uzaklaştırıyor. Magmanın, bu arada oluşan yarıklardan çıkan kısmı, katılarak yeni kabuk oluşturuyor. Çıkamayıp geri dönen kısmı ise, tekrar dibine dalarak, konveksiyon hücrelerini ayakta tutuyor. Bu yüzden çıkıntı boyunca iki tarafta dağ silsileleri oluşmuş durumda ve dipteki kabuk sürekli yenileniyor. Buna, 'deniz tabanının yayılması'



deniyor. Oluşan bazalt kayalar bir miktar manyetik mineral içerdiklerinden, dünyanın manyetik alanı o sıralar hangi yönde ise, o yönde mıknatıslık kazanarak donuyorlar. Öte yandan, manyetik kutuplar periyodik olarak yer değiştirdiğinden, okyanus ortası çıkıntının iki yanındaki kayalar, çıkıntıya paralel şeritler halinde, değişik yönlerde mıknatıslanmış bölgeler sergiliyor. Çıkıntının zıt taraflarındaki aynı dönemde oluşmuş olan 'karşılıklı şerit çiftleri' eşyönlü, aynı tarafında olup da birbirini izleyen şeritler ise zıt yönlerde olmak üzere... Plaka tektoniği kuramının bir diğer kanıtı da bu.

Sonuç olarak, okyanus tabanındaki en eski kayalar, ancak 100-65 milyon yıl öncesi arasındaki Kretasaz ('Cretaceous') dönemine kadar gidiyor. Eski kabuk ise, 'dalma bölgesi' de denilen yakınsak sınırlarda, mantoya dalıp ('subduction') eriyor. Okyanus kabuğu örneğin, kıtasal bir plakaya karşı ilerlediğinde, daha yoğun olduğundan alta dalarak, daldığı hat boyunca bir çukur oluşturuyor. Derine indikçe ısınır ve bu arada bulduğu çatlaklardan geri fıskırıp 'ada yayları'na vücut veriyor. Dalmaya devam eden parçaları ise, soğuk kütleler halinde mantonun derinliklerine doğru yol almaktadır. Bazen de iki kıtasal plaka yakınsak sınırdaki buluştuğunda, biri diğeri göre ağır basıp alta dalamadığından, birbirlerini omuzlayarak, kırılma ve yükselmelere yol açarlar. Asya palakasıyla Hint plakasının çarpışma sürecinde oluşan Himalayalar örneğinde olduğu gibi.



Yukarıdaki şekilde üstte, düz halde görülmüş olan mantoya güneydoğudan bakıldığında, içinden yükselmekte olan, görece hafif, dev sıcak kütleler görülüyor. Gerçi haritaları seçmek güç ama bunlardan, doğrudan sıvı dış çekirdekten kaynaklanmış olan birisi, Doğu Pasifik Çıkıntısı'nın yayılmasını beslemektedir. Altta ise, kuzeybatıdan bakıldığında, mantoya gömülmemekte olan soğuk kütlelerin görüntüsü var. Dünyanın karnındaki bebekler bunlar. Tek kelimeyle büyüleyici. Nereden nereye, karpuzun içindeki tınlamadan...

Anlaşılan, dünyamız için için kaymıyor. Da peki, dışarıda ne yapıyor? Atmosferde...