

Gezegelimizin En Büyük Okyanusu

DÜNYA'NIN ÇEKİRDEĞİ

Ayaklarımızın 2900 km altında yer almış olan Yer çekirdeği, gezegelimizin en büyük okyanusudur; ayrıca içine girilmesi imkânsız ve son derece esrarengizdir. Bu büyük sıvı demir kütleinin içinde, Yer'in manyetik alanını oluşturan hareketler olmaktadır. Tam merkezde, olağanüstü sıcaklık ve basınç altında bulunan katı çekirdek vardır; buradaki maddeye etki eden kütleçekim kuvveti hemen hemen yok gibidir. Tam merkezdeki maddenin kökeni nedir? Manyetik alanı oluşturan enerji nereden gelmektedir?

Çekirdekle onu saran katı manto arasındaki etkileşimler nelerdir? Yüksek basınç fiziği, mikrogravite, manyetizma ve deprembilim gibi bilim dallarındaki gösterişli ilerlemeler sayesinde, bugün, bu sorulara büyük ölçüde cevap verilmeye çalışılmaktadır.

Gezegelimizin en büyük okyanusu, başka deyişle Yer çekirdeği, içine girilememesinden dolayı, büyük bir merak konusudur. En derin sondajların 12 km yi geçmemesine karşılık yer çekirdeği ayaklarımızın 2900 km altında bulunmaktadır. Böylesine uzakta olsa da, Dünya'nın hacminin % 16'sını dolduran bu büyük sıvı kütle, yerkürenin dinamiğinde temel bir öge oluşturmaktadır. Biyosfer üzerinde de önemli bir rolü vardır. Gerçekten de, Yer'in manyetik alanı, Yer çekirdeğinin içinde oluşmaktadır. Bu alanın varlığı, canlılar için çok önemlidir; çünkü onları Güneş'in elektromanyetik ışımından korumaktadır. Ayrıca, çekirdeğin hareketlerindeki değişimler, Dünya'nın dönüşünü; bu ise, iklimin gidişini değiştirebilir. Bu manyetik alanın ters dönme frekansının değiştiği jeolojik çağlarda, tektonik plakaların (kayma plakaları) yeniden aktiflik kazandığı sanılmaktadır. Demek ki, Yer çekirdeğinin özelliklerini daha iyi tanımak gerekmektedir.

Doğrudan kanıtların olmadığı durumlarda kullanabileceğimiz bilgiler de, Yer'in manyetik alanının

incelenmesinden elde edilmektedir. Ancak bu alanı çok da iyi tanımıyoruz: Nasıl oluştu? Ne zaman ortaya çıktı? Nasıl gelişti? Neyse ki, bu yazıda göreceğimiz gibi, deprembilimde ve mekanikteki son on yıllık teknik ilerlemeler, çekirdeğin nasıl oluşup geliştiğini ve bu öykünün Yer'in gelişimini nasıl etkilediğini daha iyi anlamamızı sağlamaktadır.

Depremler, 20. yy'nın başlarından beri, Yer'in iç yapısının anlaşılmasını sağlamıştır. Doğal ya da yapay yer hareketleri, iki tür dalga oluşturmaktadır: Dalganın ilerleme doğrultusunda titreşen **basınç dalgaları** (ses dalgaları gibi) ve ilerleme doğrultusuna dik titreşen **testere dalgaları**. Bu iki tür dalganın hız değişimlerinin incelenmesi, yerküre içinde, dalga hızlarının birdenbire değişmesine neden olan birçok "kesiklilik" olduğunu göstermiştir. Buna göre, hepsi birbirinin içinde yer alan bir dizi küresel zarf vardır: Kıtalar altındaki kalınlığı 30 km ve okyanuslar altındaki kalınlığı 10 km kadar olan **Yer kabuğu**; Yer kabuğunun tabanından 2 900 km derinliğe kadar

Çekirdeğin gölge bölgesi

Dünya'nın iç yapısı, deprebilim yöntemleri ile belirlenebilir. Dört temel katman bulunmuş durumdadır: Yer kabuğu, manto, dış çekirdek ve tohum.

modele göre, katı çekirdek, Dünya soğudukça, sıvı çekirdeğin kristalleşmesi ile yavaş yavaş büyümektedir. Kristalleşen maddenin doğası ise tartışma konusudur: Ya saf demir olabilir ya da sıvı çekirdekteki göre çok daha az oranlarda bulunan hafif elementlerle demirin alaşımı... İki durumda da, bu kristalleşmenin sonucu olarak, katı çekirdeğin hemen dışında bulunan sıvı, kristalleşmiş katıdan dışarı atılan hafif elementlerce zenginleşir. Sıvı çekirdekten sızarak çekirdek-manto arayüzeyine kadar çıkan bu hafif elementler, bu yüzeyin altında tuzaklanabilir. Bu konuya yine döneceğiz.

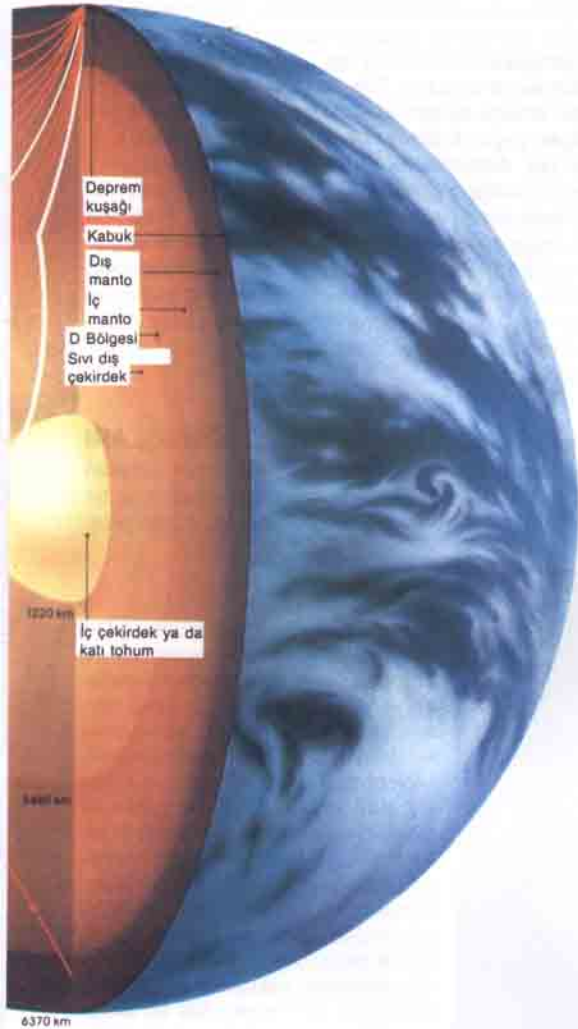
Çekirdeğin farklı yapıtaşlarını tanımak ilginçtir; ancak Dünya'nın dinamik modelini kurmaya yeterli değildir. Bunun için, farklı iç enerji kaynaklarını tanımak ve derinliğin fonksiyonu olarak sıcaklığın nasıl değiştiğini bilmek gerekir. Oysa, bu sıcaklıkların doğrudan ölçümü hiç mümkün olmamıştır. Kullanılabilen tek bilgi, Yer küre yüzeyinde ölçülen ısı akısından (yaklaşık 80 miliwatt/m²) türetilen, Yer'den kaçan enerjidir.

Tüm gezegenler gibi, Dünya'nın da, ilkel toz bulutu halinden başlayarak, bir iç sıcaklığı vardır. Bu toz bulutunun gazları ve tozları karşılıklı kütleçekimi ile bir araya gelirken potansiyel enerji açığa çıkmıştır. Bu toplanma sürdükçe, gitgide irileşen gök cisimleri olarak ön (proto) - gezegenler oluşmuştur. Açığa çıkan kütleçekim enerjisinin sağladığı yarı (kuasi) - tam kaynaşma (füzyon) ile, Dünya oluşmuştur: Daha hafif olan ışığı kırıcı elementler (silikatlar) dışarı doğru çıkarak, katı manto tabakasını; daha ağır ve eriyebilen demir ise, içerde kalarak, çekirdeği oluşturmuştur. Demek ki çekirdek, Dünya'nın oluşumunun en başından beri ortaya çıkmıştır. En içteki tohum (katı çekirdek) ise, sıvının soğuyarak kristalleşmesinden oluşmuştur. Bugün de, sıvı çekirdek, kristalleşme ısısını ve kütleçekim enerjisini açığa çıkararak, soğumaya ve kristalleşmeye devam etmektedir.

Bu soğumanın, Dünya'dan kaçan toplam ısı akısına katkısı, yalnızca, % 20 kadardır. Dünya'da üretilen ısının çoğu, Yer kabuğu ve manto katmanlarında tuzaklanmış bulunan radyoaktif elementlerin bozunmasından ortaya çıkmaktadır.

ÇEKİRDEĞİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Dünya'nın dönmesinden dolayı, çekirdekte de bir yassılaştırma vardır. Dünya'nın kendisinin kutuplardan yassılaştığı gibi, çekirdeğin de kutupsal yarıçapı, 9 km'lik ekvatorial yarıçapından daha kısadır. Derinlik arttıkça, sıvı çekirdek, deprem dalgalarına çok "saydam" bir ortam gibi davranır: Dalgalar hem sönümsüz olarak hem de sapmadan ilerler. Bu ortamın az ağıdalı (az viskoz) ve homojen olması demektir.



uzanan **manto katmanı** (bu katmanın en altında, 200 km kadar kalınlıkta, özellikleri iyi tanınmayan ve D bölgesi denen heterojen bir tabaka bulunmaktadır) ve en içte, içteki **katı çekirdek** ya da **tohum** ve onu saran dıştaki sıvı bölüm olmak üzere iki bölümden oluşan **çekirdek**.

DIŞ ÇEKİRDEK, DEMİRDEN VE ÇOK AZ ORANLARDA NİKEL, OKSİJEN VE KÜKÜRTTEN OLUŞMUŞTUR

Kesin değilse de, dış çekirdekte var olan sıcaklık ve basınç koşullarında, ana madde olan demir içinde, oksijen ve kükürt çözülmüş olarak (demir sülfürler ve demir oksitler halinde) bulunabilirler. % 6-12 oranında kükürt ve % 7-8 oranında oksijen, sıvı çekirdeğin özelliklerini vermeye yeterlidir.

Durum, katı çekirdekte nasıldır? Bileşimi dış çekirdekte aynı mıdır? Üzerinde anlaşmaya varılmış bir

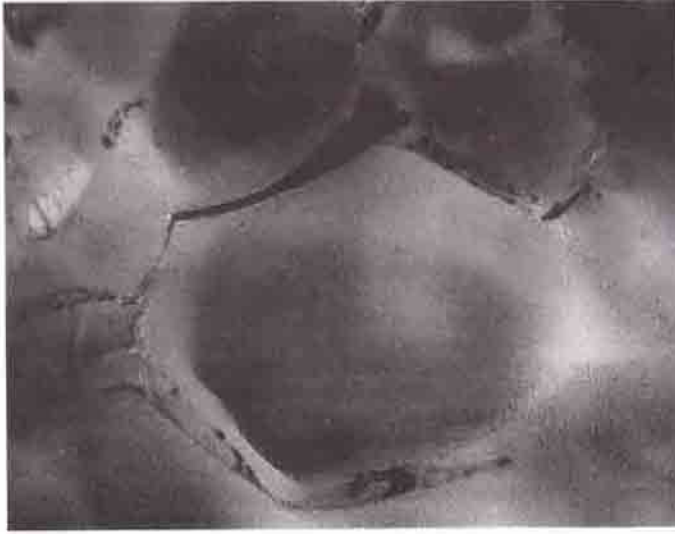
Tohumun (katı çekirdeğin) son on yıllık incelemeleri, en beklenmedik sonuçları getirmiştir. Sıvı çekirdeğin yavaş kristalleşmesinin sonucu olarak, tohumun küresel simetrik bir yapısı olacağı bekleniyordu. Ancak, deprem dalgalarının ilerleme sürelerinin çözümlenmesi, tohumu kuzey-güney eksenini boyunca geçen dalgaların, ekvator boyunca geçenlerden daha hızlı ilerlediğini gösterdi. Bu, ya tohumun, kuzey-güney eksenini boyunca uzanmış olması, ya da anizotrop olması (başka deyişle, özelliklerinin doğrultuya bağlı olarak değişiyor olması) demektir. Kesin olmasa da, deneylerin ikinci hipotezi destekledikleri ortaya çıktı.

Yer çekirdeği incelemelerinin ortaya çıkardığı başka bir problem de, yazının başında söylediğimiz gibi, Yer'in mıknatısal alanının kökenini anlamaktır. Bu alan, sıvı çekirdeğin içindeki hareketlere bağlı mıdır? Bu olayı açıklayabilecek bir model kurulabilir mi? Bir maddenin mıknatıslanması, Curie noktası denen bir sıcaklığın (demir için, 770°C) üzerinde ortadan kalktığına göre, Dünya'nın çok sıcak demir çekirde-

bağlanır; sıvı ısındıkça hafifleyerek, Archimedes kaldırma kuvvetinin etkisiyle yukarı doğru çıkar; fizikokimyasal açıklamada ise, olay, maddenin faz değişimlerine bağlanır; Tohum ve sıvı çekirdek arasındaki sınırda oluşan kristalleşmenin, tohuma doğru göçen yoğun kristaller oluşturduğu, kalan hafif sıvının ise, Archimedes etkisiyle çekirdeğin yüzeyine doğru çıktığı öngörülmektedir. Radyoaktif izotopların bozunması ve tohumun kristalleşmesi sırasında ısı açığa çıkması gibi, çeşitli kaynakların ısı sağlanmasına karşılık, bu ısı, "Jeodinamo" olayını sürdürmeye yeterli görünmemektedir. Sıvı çekirdeğin, jeodinamo olayını sürdüren büyük hareketlerinin fizikokimyasal doğada olacağı daha olası görünmektedir.

ÇEKİRDEĞİN HAREKETİ VE SONUÇLARI

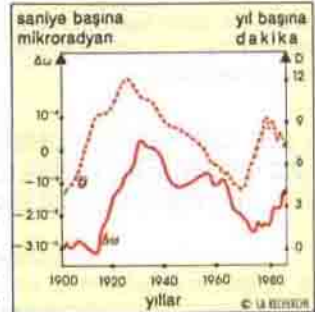
Deprem dalgaları ile Dünya'yı dinlemek, akışkan çekirdeği tanımamızı sağlıyorsa da, bu yalnızca, bir fotoğraf gibi, duruk (statik) bir görüntü olmaktadır.



Dünya'nın derinliklerinin kimyasal ve mineralojik bileşimleri nedir? Bunu belirlemek için, iç mantonun temelinde, yani çekirdeğin dış yüzeyinde egemen olan basınç ve sıcaklık koşulları, laboratuvarında gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle, manto ve çekirdek arasındaki sınır ilginçtir; çünkü bu bölge, mantonun katı silikatları ile çekirdeğin sıvı demiri arasındaki değiş-tokuş bölgesi gibi davranmaktadır. Elektron mikroskobu ile alınmış bu fotoğrafta, silikat tanecekleri arasında demirin nasıl sızdığı görülmektedir; merkezde, yaklaşık 0,8 mikron (1 mikron = 10⁻⁶ metre)'luk bir silikat taneciği ve çevresinde ince siyah bir tabaka olarak silikat içinden sızan demir görülmektedir.

ği (çeşitli modellerin verdiği ortalama sıcaklığı, 5 700°K'dir) sürekli bir mıknatıs gibi davranamaz. Bu nedenle, Yer'in mıknatısal alanının kökeninin, iyi bir elektriksiz iletken olan sıvı çekirdeğin içinde oluşan madde akımlarına bağlı olacağı düşünülmektedir. Mıknatısal alanı, sıvı çekirdeğin oluşturup sürdürmesi olayına, genel olarak "jeodinamo" denmektedir. Bazı çok eski kayaların mıknatıslanmasının incelenmesi, bu sürecin 3,5 milyar yıl önceden beri var olduğunu ortaya koymaktadır. Şimdiki en önemli sorulardan biri, sıvı çekirdeğin bu büyük hareketlerini başlatan ve sürdüren kuvvetlerin doğasını anlamaktır. Bunun için, biri ısıl, öbürü fizikokimyasal olan iki açıklama ileri sürülmüştür. Her ikisinde de, sıvının hareketinde, daha hafif sıvının çekirdeğin yüzeyine doğru yükseliyor; ağır olan sıvının ise, tersine olarak, tohuma doğru gömülüyor olması gibi bir karsızlık vardır. Isıl açıklamada bu olay sıcaklığı

Çekirdek ve manto arasındaki çiftlenimler, Dünya'nın dönme hareketini etkilemektedir. Bu grafik üzerinde, 1900'den beri Avrupa'da alınmış verilere göre, Dünya'nın dönme hızındaki değişimler (sürekli çizgi ve Δw eksenini) ve mıknatısal alanın doğrultusundaki (mıknatıs iğnesinin coğrafya kuzeyi ile yaptığı açı) değişimler (noktalı çizgi ve D eksenini) gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, mıknatısal alandaki değişimden on-oniki yıl kadar sonra, Dünya'nın dönmesinde de bir değişim olmaktadır.



Ama başka jeofizik gözlem yöntemleri ile, çekirdeğin dinamik yapısını da anlamak mümkündür. Gerçekten de, göreceğimiz gibi, çekirdek hareket etmekte ve Dünya'nın dönüşünü, dolayısı ile, gün uzunluğunu ve kutupsal dönme ekseninin yönelimini hafifçe etkilemektedir.

Gün uzunluğu, çok çeşitli periyodik nedenlerle değişmektedir. Birkaç yüz milyon yıldan beri, yüzyıl başına 2 milisaniye uzamaktadır; bu uzama, Yer'in kendi eksenini çevresindeki dönmesinde bir yavaşlamaya karşı gelmektedir (Bkz. TÜBİTAK, **Bilim ve Teknik**, Temmuz 1988, "Dünya Neden Daha Yavaş Dönüyor?"). Bu yüzyıllık değişimlere ek olarak da, milisaniye basamağında, daha hızlı dalgalanmalar vardır; bunlar, ya düzensiz (birkaç günde ya da birkaç haftada bir oluşan), ya da periyodiktir (gün, ay, yıl ya da onyıl ölçeğinde). Bu değişimler nasıl açıklanabilir? Gün uzunluğunun artması, başlıca, Ay ve Güneş'in kütleçekim etkisiyle kara ve okyanusların dalgalanmalarına bağlıdır. Gün uzunluğundaki dalgalanmaların nedenleri ise iyi bilinmemektedir: Dünya'nın dönüşünü etkileyen pek çok olay arasında, atmosfer ve okyanus hareketleri, Yer çekirdeğinin hareketleri ve çekirdek hareketlerinin oluşturduğu elektromanyetik olaylar bulunmaktadır.

Mekanığın temel yasalarından biri, yalıtılmış bir sistemin açısal momentumunun korunmasıdır. Dünya'nın kendi eksenini çevresindeki hareketinin açısal momentumu, Dünya'nın kendi eksenine göre eylemsizlik momenti (Dünya'nın külesine ve yarıçapına bağlıdır) ile bu hareketin açısal hızının çarpımına eşittir. Çekirdek-manto-okyanuslar-atmosfer sistemi, uzayda yalıtılmış olarak incelenebileceğine göre, bu sistemin toplam açısal momentumu sabit olmalıdır. Bunun sonucu olarak, sistemin farklı bölümlerinin eylemsizlik momentleri ve hareketlerindeki tüm değişimler, Dünya'nın dönme hızını değiştirir (rafadan ve katı olarak pişirilmiş yumurtaların aynı biçimde dönmeyeceği gibi). Manto ve atmosfer arasındaki ve daha az olmak üzere manto ve okyanuslar arasındaki açısal momentum alışverişi kısa vadeli değişimleri iyi açıklar. Oysa, on yıllık gibi yavaş değişimler, yüzey etkileri ile açıklanamaz; sıvı çekirdek ve katı manto arasındaki momentum alışverişlerini araştırmak gerekir. Ayrıca, miknatısal alanın yüzyıllık değişimleri ile Dünya'nın dönmesindeki on yıllık değişimler arasında da bir ilişki (correlation) vardır. Şunu da belirtmek gerekir ki, çekirdek ve manto arasında, etkileşimler ya da "çiftlenim" mekanizmaları bulunmaktadır ki, aralarında açısal momentum alışverişi olabilsin. Böyle etkileşimler olmasaydı, Dünya yüzündeki gözlemlerleri de çekirdeğin dinamiğinden etkilenmezdi. Dünya'nın bu iki bölümü arasında dört tür çiftlenim bulunduğu düşünülmektedir: Kütleçekim çiftlenimi, basınca bağlı topografik çiftlenim, ağdalık (viskozluk) çiftlenimi ve elektromanyetik çiftlenim.

Örneğin, Ay ve Güneş'in çekimleri ile oluşan büyük dalgalar manto tabakasının çekirdeğe gömülmesine neden olmakta; bu ise, çekirdeğin mantoya göre dengesini sağlamaktadır. Böylece, çekirdeğin yalpalama (presesyon) hızı mantonunkine eşit olmaktadır. Dünya, bu yalpalama sırasında, tutulma eksenini (tutulma düzlemine dik eksen) çevresinde, 26 000 yılda 23° 30'lik açıklıkta bir koni çizer. Demek ki, Dünya, çekirdeği ile birlikte bir katı cisim gibi yalpalama yapar.

SONUÇ

İçine girilememesine karşılık, Dünya'nın en büyük okyanusu olan çekirdeğinin ve onun fiziksel dinamiğinin belirgin özelliklerinin anlaşılmasına başlanıldığını söyleyebiliriz. Bunlar, ölçüm tekniklerinin gelişmesi (miknatısal alanı ölçen uydular, yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında deney yapılabilecek laboratuvarlar, uzaysal jeodezi yöntemleri ile Dünya'nın dönme parametrelerinin belirlenmesi, süperiletken kütleçekimölçer ağlarının gelişmesi gibi) ile kesinleşecektir. Ayrıca, Dünya'nın çekirdeğinin tanınması, Güneş sisteminin öbür gezegenlerinin tanınması yoluna da ışık tutacaktır.

*La Recherche, Haziran 1991'den çev.:
Yrd.Doç.Dr. Hanaslı GÜR*

PİS SUDAN ÇIKAN KİLOLARCA ALTIN



Suyu tasarrufl etmek: Geçtiğimiz yılın sıcak geçen haftaları boyunca bu sözü sık sık duyduk.

Siemens, Almanya Speyer'de, üretimdeki su kullanımını yarıya indiren ve değerli atık maddeleri geri kazanan yeni bir pis su arındırma sistemi geliştirdi. Bir yılda atık maddelerden yedi kilo altın, yetmiş kilo palladyum ve yüzlerce kilo bakır elde edildi. Tesis, komple olarak yaklaşık 3 milyon marka maloldmaktadır.