

Dünyamızın Ateşi Nasıl Ölçüldü?

Dünyamızın yaklaşık 5 milyar yıl önce, Güneş'i oluşturan gaz ve toz diski içinde çarpışıp giderek büyüyen kayaların birleşmesinden, ayrıca bu son derece şiddetli süreç sırasında diskin dışından gelen asteroid ve kuyrukluysıldızların çarparak bıraktıkları maddeden oluştuğunu biliyoruz. Bu hızlı çarpışmaların serbest bıraktığı ısı enerjisi, tüm gezegeni eritti. Gezegenimiz bugün hâlâ başta kazandığı bu enerjiyi salarak soğuyor. Meteoritlerden gelen demir gibisinden yoğun maddeler Dünya'nın merkezine gömülürken, görece hafif silikatlar, oksijen bileşimleri ve kuyrukluysıldızların getirdiği su yüzeye doğru yükseldi.

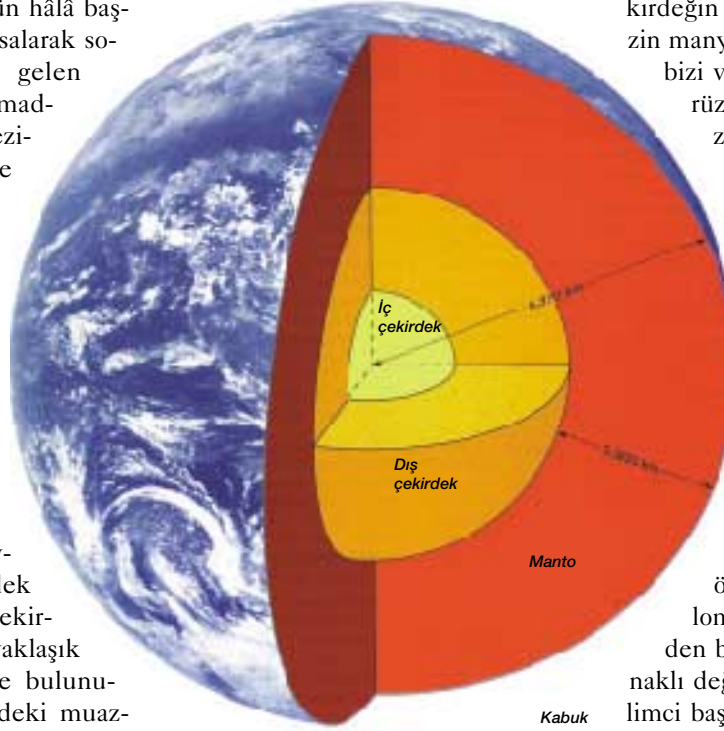
Dünya, başlıca dört katmandan oluşmuş durumda: Bunlar, iç çekirdek, dış çekirdek, manto ve kabuk. İç çekirdek esas olarak demirden oluşuyor ve öylesine sıcak ki, dış çekirdek erimiş durumda. Dış çekirdekte demirin yanı sıra, yaklaşık %10 oranında kükürt de bulunuyor. İç çekirdek, üzerindeki muazzam basınç nedeniyle sıcaklığına karşın katı durumda. Dünya'nın kütlelerinin çok büyük bir bölümü, manto tabakasında bulunuyor. Bu katman başlıca demir, magnezyum, alüminyum, ve oksijen ve silikat bileşimlerinden oluşmuş. Sıcaklığı 1000 °C'nin üstünde. Manto aslında katı, ama deforme olabiliyor. Kabuksa, öteki katmanlardan çok daha ince. Kalsiyum ve sodyum gibi hafif elementlerle, alüminyum-silikat bileşimlerinden yapıldı. Görece soğuk olan kabuk, kayalık ve kırılabilir. Bu nedenle depremlerle kırılabilir.

Dünyanın merkezini, daha doğrusu çekirdeğini nasıl keşfettik? İşte bu yüzeyde kırıklara yol açan ama daha derinlerden kaynaklanan depremlerden yararlanarak. Daha doğrusu depremlerin yol açtığı sismik dalgalarla ilgili kayıtları inceleyerek. Bir prizmanın ışığı kırıp saçtığı gibi, sismik dalgalarda değişik maddeler-

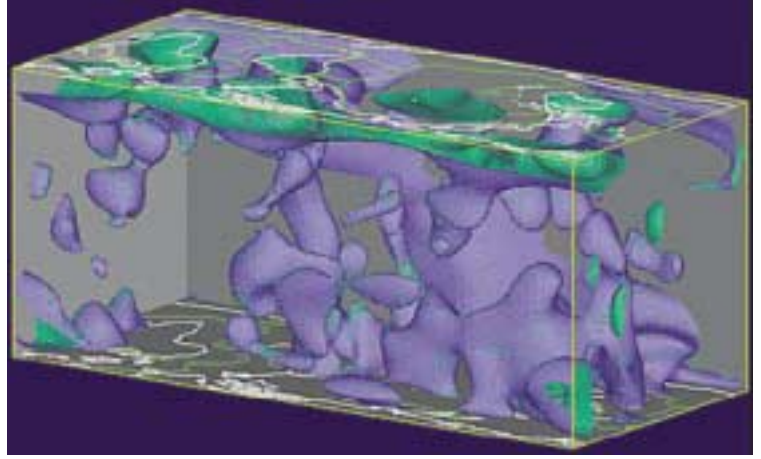
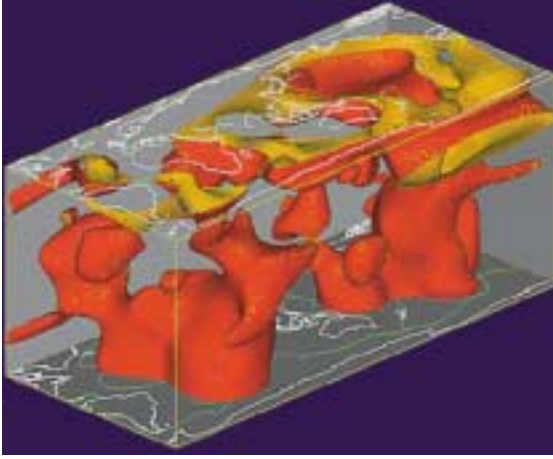
ği yol üzerinde sıvı bir katman bulunduğu sonucunu çıkarmışlar.

Üzerinde yaşadığımız gezegenin katı ve eriyik demir çekirdeği, merkezden gezegen yarıçapının yüzde 55'ine kadar uzanıyor. Başka bir deyişle çekirdeğin dış kenarı, ayaklarımızın altından 2900 km derinde. Buna karşın, bu demir çekirdeğin insanlık üzerindeki etkileri muazzam. Çekirdeğin sıvı dış kısmı, gezegenimizin manyetik alanını yaratıyor. Bu da bizi ve öteki tüm canlıları Güneş rüzgârından koruyor. Ayrıca bazı kuramlara göre de üzerindeki mantonun alt kenarına yeterli sıcaklık aktarıyor.

Buysa, tektonik hareketler, yanardağ oluşumu ve depremleri düzenleyen manto ısı dolanımını (konveksiyon) etkiliyor. Ancak bütün bu etkilerin büyüklüğü, çekirdeğin, üzerindeki mantodan ne kadar daha sıcak olduğuyla yakından ilintili. Ancak bu sıcaklığı ölçmek kolay değil. 2900 kilometrelik bir çukur kazıp içinden bir termometre sallamak olanaklı değil. Ancak bir Fransız yerbilimci başkanlığındaki bir uluslararası ekip, kuramsal verilerden hareket ederek "sanal bir termometre" aracılığıyla çekirdeğin sıcaklığını ölçtü. D. Alfé ve arkadaşlarının yerbilime yaptıkları katkının önemini anlamak için, önce Dünya'nın mantosunun sıcaklığını bir düşünmek gerekli. Derin bir maden kuyusundan aşağı bir kilometre kadar inebilecek olsaydınız, sıcaklığın, Dünya yüzeyindeki sıcaklıktan 20-30 °C daha yüksek olduğunu fark edecektiniz. Bu dikey ısı iletimi, Dünya'nın her saniye 42 trilyon joule değerinde ısı yitirmesini sağlayan mekanizmalardan biri. An-



den oluşan katmanların temas yüzeylerinde bükülüp yansıyor. Ayrıca depremdaki farklı dalgaların, Dünyamızın katmanları içinde aldıkları yol farklı. Basınç (P) dalgaları, hem sıvı, hem de katı maddeler içinden geçip kırılıyorlar. S dalgalarıysa, hava ve su gibi akışkanların içinde yol alamıyor. Dünyanın öte yüzünde meydana gelen bir depremin yol açtığı dalgaları inceleyen uzmanlar, P dalgalarının ulaşabildiği bir ölçüm aracına, S dalgalarının gelmediğini fark etmişler. Bundan da dalgaın izledi-



Gezegemizin katmanları sürekli ve dinamik bir süreç içinde bulunuyorlar. Soldaki şekilde kırmızı topaklar yoğunluğu görece az maddeden oluşan ve yüzeye doğru yükselen daha sıcak "sorguçlar". Şekilde doğrudan çekirdekten çıkan bir sorgucun Doğu Pasifik yükseltisi altında yayıldığı görülüyor. Dünya çekirdeğinin ısısının en büyük bölümü, hızla yayılan Doğu Pasifik yükseltisi aracılığıyla bırakılıyor. Sağdaki şekilde mavi topaklar mantoya gömülen görece yoğun maddeyi gösteriyor. Okyanus altındaki tektonik levhalar bu yolla mantoya daldıktan sonra, Okyanus sırtlarından yüzeye yükselen erimiş kaya yeni kabuk oluşturuyor.

cak, bugüne değin yanıtları çok iyi bilinmeyen sorular, bu ısınma eğiliminin derinliğe bağlı olarak ne kadar sürdüğü ve yüzeye ulaşan sıcaklığın ne kadarının çekirdekten kaynaklandığıydı. Derine inildikçe sıcaklık her kilometrede 20-30 derece artsaydı, birkaç yüz kilometre derinliğe inildiğinde kayaların buharlaşmaya başlaması gerekirdi. Oysa mantonun büyük bölümünde sıcaklık, termal konveksiyon yoluyla etkili bir biçimde dolanıyor. Bu mekanizma da derinliğe bağlı ısı artışını 2000 kat azaltıyor. Ancak dikey konveksiyon hızlarının fiziki sınırlarla yavaşlatıldığı durumlarda derinliğe bağlı doğrusal bir artış olabiliyor. Silikatlardan oluşan mantoyu, demir ve alaşımlardan oluşan çekirdekten ayıran sınırın yoğunluk farkı, atmosferle yer kabuğu arasındaki yoğunluk farkının iki katı. Bu durumda çekirdekten gelebilecek olan ısı mantonun tabanında termal bir sınır katmanı oluşturacaktır. Bu sınır boyunca ortaya çıkacak sıcaklık artışına tahmini bir değer vererek, yerbilimciler çekirdekten gelen toplam ısı akışıyla, çekirdeğin fiziki ve kimyasal özellikleri konusunda bilgiler edinebilirler.

Jeofizik, petrolojik, ve jeokimyasal verilerden yola çıkan bilim adamları, yüksek basınç deneyleri ve jeodinamik modellemelerden de yararlanarak, mantonun tabanındaki sıcaklığın 2500-3000 K arasında olması gerektiğini düşünüyorlar.

Çekirdeğin sıcaklığına gelince, bu konudaki öngörüler, katı iç çekir-

dekle sıvı dış çekirdek arasındaki sınırla, çekirdekteki malzemenin erime sıcaklığı olacağı varsayımına dayanıyor. Çekirdeğin %90 demir, %10 da daha hafif maddelerden oluştuğu ve (her ne kadar çekirdekteki oksijenin erime sıcaklığını yükselttiğini gösteren bazı kanıtlar olsa da) karışık maddelerin erime sıcaklığını düşürdüğü göz önünde tutulunca, demirin, iç çekirdek sınırındaki basınçta ya da yaklaşık değerlerde ölçülecek erime sıcaklığı, çekirdeğin sıcaklığı için bir üst sınır belirleyebilir. Bu gibi ölçümler, şok eritme, ya da elmas örs yüksek basınç hücrelerinde mikroskobik demir örneklerinin ısıtılması yoluyla yapılmışsa da deneylerin verdiği sonuçlar hayli tartışmalı. Sonuçlar arasında 2000 K'e kadar ulaşan farklar ortaya çıkıyor.

Alfe ve ekibiye, gözlemsel değerler yerine ab initio diye adlandırılan bir molekül dinamiği yöntemi kullanarak daha kesin bir değere varıyor. Bu yöntem, bir atomdaki tüm parçacıkların etkilerinin hesaplanması güçlüğü

karşısında kuantum kuramında basit parçacık modelleri (ör: hidrojen) için kullanılan Schrödinger Denklemi'nin yerine, Yoğunluk Fonksiyonu Kuramıyla yapılan hesaplamalara dayanıyor. Pek çok basitleştirmeye dayanan bu kuram, materyaldeki değişik parçacıklar yerine tek bir parçacığın, elektronun yoğunluğunu temel alıyor. Bu başarılı hesap yöntemiyle, molekülleri meydana getiren parçaların atom numaraları ve bilinen temel sabitler (Planck sabiti, elektron yükü vb.) esas alınarak denge yapıları, toplam enerjiler, durum denklemleri, titreşim enerjileri gibi hesaplanması güç değerler, gözlemlere uyan bir biçimde ortaya çıkarılabiliyor. Yöntemin başarısı, gezegenimizin sıcak içindeki uç koşullar altında çeşitli maddelerin sergilediği özellikleri inceleyen bilim adamlarınca giderek daha çok benimsenmesine yol açıyor.

Alfe ve ekibi, hem bu yöntemi hem de yeni geliştirilen bir "termodinamik entegrasyon" yöntemini birlikte kullanarak, katı ve sıvı demirin serbest enerjilerini, basınç ve sıcaklığın fonksiyonu olarak hesaplamışlar. Bu enerjileri karşılaştırarak da, varolan deney verilerine koşut kesinlikte bir erime eğrisi bulmuşlar. İç çekirdek sınırında 6670 ± 600 K sıcaklık gösteren bu eğrinin, şok dalgası ve elmas örs hücresi deney ölçümleriyle uyum içinde bulunduğu, Alfe ve arkadaşlarının vurgulanıyor.

Raşit Gürdilek



Mantonun, kabuk yakınındaki 50-100 km kalınlığındaki üst bölgesi özellikle yumuşak ve esnek. Kabuk üstündeki bir buzul kütlesi ya da sıradağ gibi ağır bir yük, litosferin, astenosfer içine batmasına yol açar. Buzul eridiğinde ya da dağlar aşındığında litosfer binlerce yıl süren bir süreç içinde yeniden yükselir.

Kaynaklar
Nature, 30 Eylül 1999
<http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/lonie/class/100/interior.html>