

YERİN DİBİNDEN GELEN SESLER

Azar KHALATBARI

En derin sondaj 15.000 metrelik derinliği aşmazken, dünyamızın içini nasıl araştırabileceğiz? On beş kilometre, yer mantosunun üç bin kilometrelik kalınlığı yanında ne ifade eder ki? Bereket, gezegenimizin içinden gelen gümbürtüleri dinlememizi sağlayacak bazı dolaylı usullerimiz bulunmaktadır.

Diyelim ki, gözünüzü bağladılar ve ellerinizi sırtınıza çaprazladılar. Önünüze değişik biçimlerde ve değişik malzemeden yapılmış davullar getirdiler. Bu davullardan bazıları yuvarlak, bazıları kare şeklinde, bazıları deriden, bazıları plâstikten, kasnakları ise metalden ya da tahtadan olsun; bir tokmak ile bu davullardan birine vursalar, davulun biçimini kestirebilir misiniz? İşte, dünyanın derinliklerini araştırırken böyle bir durumla karşılaşılıyor; çünkü yer yüzeyini çok iyi tanımamıza rağmen, büyük derinlikleri araştırarak bir imkânımız yoktur. Sadece davul örneğimizdeki gibi, İran'da 20 Temmuz'da meydana gelene benzer şiddetli bir deprem yeri sallarsa, yerin titreşimlerini dinleyebiliyoruz.

Şili'de 20 Mayıs 1960'ta meydana gelmiş olan 8 şiddetini aşkın depremden beri, bilim adamları yerin dibinden gelen bu heyecanlandırıcı sesleri dinlemektedir. Yerin titreşimlerinin bir kaydı olan sismogram, ilk bakışta üst üste binmiş anlaşılmasız bir sinyaller karmaşası gibi görünür. Bundan tabii bir şey yoktur; çünkü dünyamız birbirinden değişik tabakalardan yapılmıştır. Ayaklarımızın 2.900 kilometre dibindeki çekirdek tabakasının özellikleri, yer manto ya da kabuğunun özelliklerinden çok daha farklıdır.

Yerin 1.000 saniyeyi aşkın bir periyodu olan kalın tonları, bütün dünyamızı titretirken, periyodu daha az olan tiz tonları, sadece yerin bir kısmını titretebilmektedir. Bu sesler karışımına bakarak dünyamızın yapısını nasıl kestirebiliriz?

Yapılacak birinci iş, bu sesler senfonisindeki değişik bileşenleri ortaya çıkarmaktır. Fizikçiler bunu sağlamak için tıpkı prizmayla ışık ışınlarını ayırıp tayf analizi yapmaya benzer bir matematik usulden yararlanmaktadır. Bu usul, onlara fiziksel sinyalleri ne kadar karmaşık olurlarsa olsunlar, bir dizi asal sinyale ayırma imkânını sağlamaktadır. Bu şekilde elde edilen titreşimler tayfı, sinyal çıkışındaki titreşim frekanslarını ve önem ölçülerini göstermektedir. Bunlar, araştırılan cisim belirleyen ve cismin kendisine özgü frekanslardır.

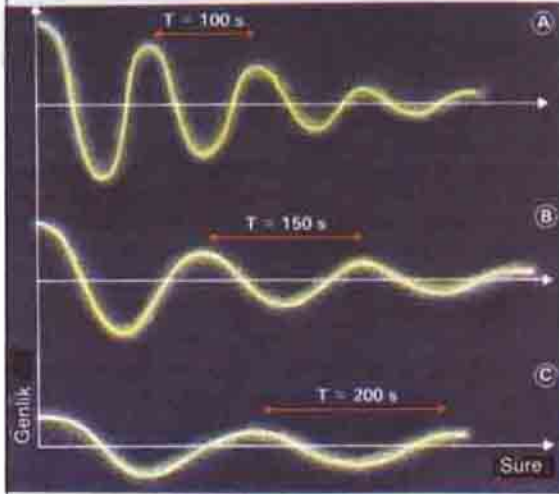
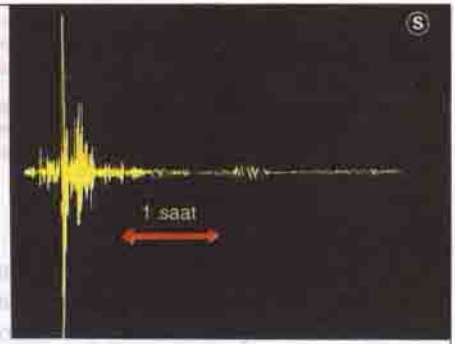
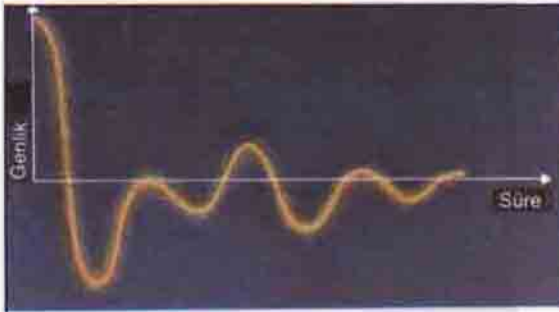


Git gide daha incelikli olarak yapılan ölçümler, yerin üç boyutlu bir modelinin yapılmasını mümkün kılmıştır. Model, esas itibarıyla yerin özgün frekanslarına dayanarak hesaplanan lateral yapı farklılıklarını göstermektedir. Sıcaklık derecesindeki farklar, soğuk bölgeler mavi, sıcak bölgeler kırmızı olarak gösterilerek belirtilmiştir. Heterojen olduğu kabul edilen sıvı dış çekirdek kahverengi olarak görünmektedir. İç çekirdek (öz) teki girintiler yeşil, çıkıntılar ise sarı olarak renklendirilmiştir.

Şimdi ikinci bir sorun kalıyor. Bu da, birincisi kadar hassastır: Bir sesi dinleyerek, yerin böyle bir titreşim yaratacak bölümlerini belirlemek, yani kısacası sonucu gözleyerek nedeni bulmak! Yerbiliminde buna "tersine problem" denmektedir. Fizik bilgilerimiz sayesinde bunu çözebilecek matematik modeller geliştirilmişse de, önümüze önemli bir problem çıkmaktadır: Birbirinden çok değişik sebepler, birbirinin aynı sonuçlar yaratabilir. Bundan dolayı, "tersine çözüm" modellerinin başka deney ve usullerin verdiği sonuçlarla karşılaştırılması gerekir.

Altmışlı yıllara gelinceye kadar, bizim yeryüzü hakkındaki bilgilerimiz çok kabataslak idi. Yer manto ve çekirdek hakkında hemen hiçbir şey bilmiyorduk. Şili depreminden sonra, ölçüm aletleri depremin şiddetinden yerlerinden oynamış olmalarına rağmen, bize yerin asal frekansları hakkında bilgi sağlayabilmişlerdir. Bunların incelenmesi, bize ayaklarımızın dibinde neler olduğu hakkında giderek daha açık bir fikir vermiştir. Bu tarihten beri geçen yirmi yıl içinde bini aşkın özgün frekans ortaya çıkarılmıştır. Don Anderson ve Adam Dziewonski'nin bu verilerden hareketle yaptığı çalışmalardan, dünyamızın esas itibarıyla üç yoğun tabakadan yapıldığını öğrenmiş bulunuyoruz. Bu tabakalardan birincisi, yer kabuğudur ve yaklaşık olarak 30 ilâ 40 kilometrelik bir kalınlığı vardır. Bundan sonra, 2900 kilometre kalınlığındaki manto tabakası gelmektedir. En içteki çekirdek tabakasının, sıvı bir dış bölümü ve katı bir öz bölümü vardır.

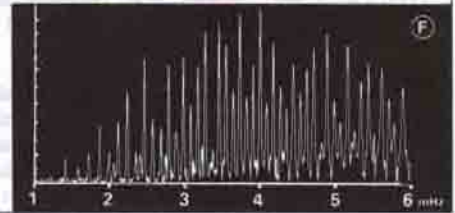
Dünyamızın bu araştırmalardan yararlanarak hazırlanmış ilk modeli, hayli inandırıcı görünmekteydi.



Iran 1990: Jeofizikçiler Bir Depremi Dinliyor: Buradaki sismogram, geçen 20 Temmuz'da İran'ın bir bölümünü yıkıma uğratmış olan şiddetli deprem sırasında Japonya'da kaydedilmiştir. Jeofizikçiler, depremin titreşim izlerinden gördüğümüz frekans tayfını tespit edebilmişlerdir. Bu tayflardan, yer için teorik modelleri geliştirilebilmiştir. Titreşimlerin kaydından frekans tayfının nasıl frekans analiziyle ortaya çıkarıldığı, solda gösterilmiştir. Farzedelim ki, sismometre, (s) deki gibi bir yer hareketi kaydetmiş olsun: Matematik metotlarla, bunun A, B ve C hareketlerinden oluştuğu belirlenir. O halde, titreşen cisme özgü frekans tayfını elde etmek için her bir titreşimin frekansını (periyotlarının tersini) aşağıdaki biçimde

$$\frac{1}{100} = 0,010 \text{ Hz.}, \quad \frac{1}{150} = 0,0066 \text{ Hz.}, \quad \frac{1}{200} = 0,005 \text{ Hz.}$$

olarak hesaplamak yeter.

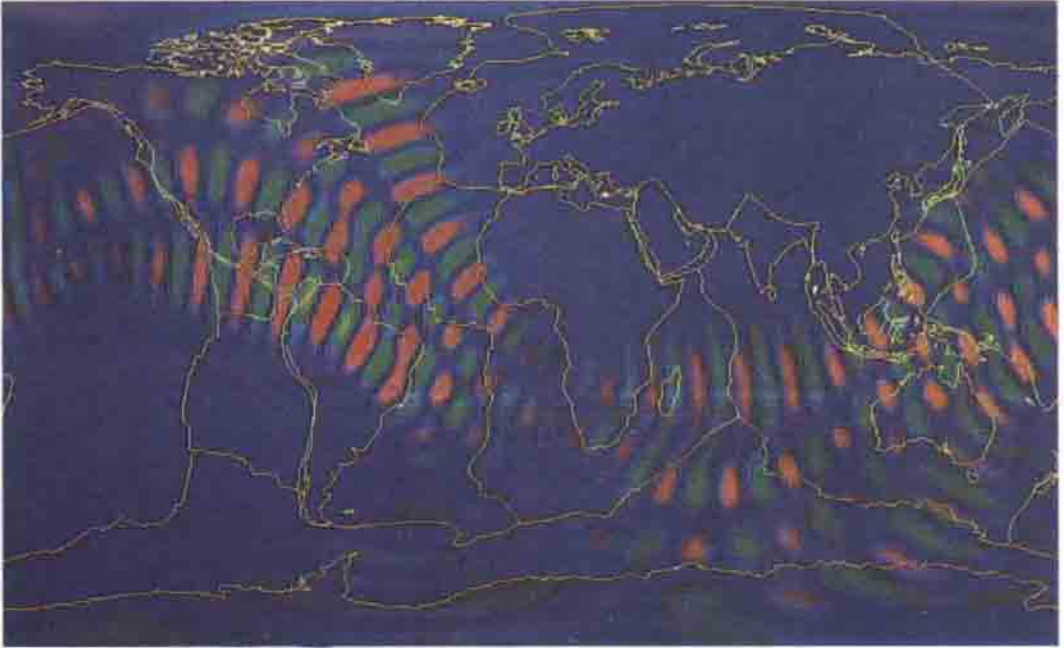


Yerin neresinde olursak olalım, belirli bir derinlikten sonra, aynı kayalara ve aynı sıcaklığa rastlayacağız. Bu yapı birliği, küresel simetri olarak adlandırılmaktadır. Üstelik, teorik modelin öngördüğü sesler ile gerçek sesler arasında sadece çoğu kere % 1'i aşmayan bir fark bulunmaktadır.

Bu % 1'lik farkla bile yetinmeyen sismologlar, dünyanın çeşitli yerlerinde daha da ince ölçümler yapmışlardır. Bu ölçümler, bazı titreşimlerin birbirine pek yakın, sanki aynı frekansın katlanmasıyla oluştuğunu göstermiştir. Anılan olay, yerin tam küresel olmamasına ve dönüş etkisine bağlanmaktadır. Bunun üzerine, yerin küresel simetriyi bozan daha gerçekçi üç boyutlu modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, dünyanın hem merkezden yüzeye, hem de uçtan uca yapısında farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Derinlik aynı bile olsa, yer mantosunun sıcaklığı, kıtaların altında okyanusların altındakinden farklıdır. Bu sıcaklık farkları, kaynamakta olan bir tenceredekine benzer binlerce ki-

lometrelik konveksiyon akımları yaratmaktadır. Bu akımların akışkan mantodaki hareketi, sadece yılda birkaç santimetre kadardır. Çekirdekle mantonun ortak yüzeyinde meydana çıkan ve mantodan yüzeye hareket ederek volkanik etkinliklere sebep olan akımların hızı ise, 100 ilâ 1000 kat daha düşüktür ve bunların mantodan yer yüzüne kadar erişmeleri için şöyle bir 20 milyon yıl geçmesi gerekmektedir.

Jeofizikçilerin sağladığı bu sonuçlar, astrofizikçileri de harekete geçirmiş ve astrofizikçiler benzer usullerle Güneş ile gezegenler hakkında bilgi edinmeye çalışmışlardır. Beş dakikalık bir periyodu olan güneş titreşimleri, önce 1962'de gözlenmiştir. Bunu belirlemek, fotometri sayesinde mümkün olabilmektedir. Eğer tam olarak belirlenmiş bir frekansa sahip bir güneş ışını gözlenirse, bu frekansın Güneş'in büzülme ve genişleme hareketlerine bağlı olarak hafifçe değiştiği görülür. Bundan da titreşimlerin frekansı hesaplanabilir. Astrofizikçiler Güneş'te değişik frekanslı binlerce titreşim tespit etmişlerdir. Bun



Bir yer sarsıntısı sırasında, yalnız deprem bölgesinde hasar değil, bütün yer yüzünde titreşimler meydana gelir. Yer yüzeyinde değişik genlik ve frekanslı titreşimler üst üste biner. Sismolog Philippe Lognonné, beş dakikalık periyodu olan titreşimin yer yüzündeki teorik yayılım modelini hazırlamıştır. Modelde deprem dalgasının çukurları yeşil, tepe noktaları ise kırmızıyla gösterilmiştir. Sekiz şiddetinde bir depremde genlik, sarsıntıdan hemen sonra 20-30 mikrona çıkmakta, sonra devamlı olarak azalmaktadır. Bu titreşimin özellikleri, yer mantosunun yapısıyla ilişkilidir.

lar, Güneş'in üst konvektif tabakası olan kurona hakkında bilgiler sağlamıştır. Kuronanın yüzeyinde sıcaklığın sadece 5000 °C olmasına karşılık, içte bu sıcaklık 1 milyon dereceye kadar çıkmaktadır. Güneş depremleri ise, üst tabakadaki konvektif akımlardan doğmakta, periyotları da 5 dakika ile 20 saat arasında değişmektedir.

Ay'a gelince, ay titreşimlerini ölçebilecek ilk sismometre, Ay'a ilk insanın ayak bastığı 1969 Temmuz'nda yerleştirilmiştir. Bu sismometrenin kaydettiği ay depremlerini inceleyen sismologlar, Ay'ın Dünya'ninkinden çok daha gevşek bir iç yapıya sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonraki Apollo astronotları tarafından yerleştirilen sismometrelerin sağladığı bilgilerden, Ay'ın bir çekirdek tabakasının olmadığı, sadece bir kabuk ve manto tabakasından oluştuğu anlaşılmıştır.

Şimdi sıra Mars'a gelmiştir. Mariner sondaları, Mars yüzeyinde 25 kilometre yüksekliğinde ve 600 kilometre genişliğinde volkanlar, derin vadiler, çöller ve kutuplarda buz örtüleri tespit etmişlerse de, Mars'ın iç yapısı hakkında henüz bilgi sahibi değiliz. Fransız Uzay Araştırmaları Merkezi (CNES), Ruslar ile işbirliği yaparak 1994'te bir Fransız-Rus ortak sondasını Mars'a indirmeyi planlamıştır. Bu son- da ile Mars'a yerleştirilecek olan bir sismometre, Mars titreşimlerini kaydedecektir.

Jüpiter ve Satürn'ün resimleri, Voyager uzay araçları tarafından çekilmiştir. Bunların, yoğunluğu

çok düşük gaz kürelerinden oluştuğu anlaşılmaktadır. Jüpiter, esas itibarıyla helyum ve hidrojen- den yapıldır. Bununla birlikte, iç yapısı hakkında hemen hiçbir şey bilinmemektedir. Sadece kutuplarındaki yüz- de altılık yassılma, Jüpiter'de ekvator bölümünün genişlemesine sebep olan ağır bir iç çekirdek oldu- ğuna işaret etmektedir. Fransız bilim adamlarının geliştirdiği bir teorik modele göre Jüpiter, konvektif gaz- lardan bir üst tabaka, sıvı hidrojen- den bir manto ve silikatlardan yapı- lı bir çekirdekte oluşmuştur. Bu- nun böyle olup olmadığı, 1996'da Cassini aracının Jüpiter'e yaklaşıracağı fotometre ile belirlenebilecektir. Arada Jüpiter'in zayıf titreşimlerinin, yer ra- sathanelerinden ölçümüne de çalışılmaktadır.

Gök cisimlerinin özgün titreşimlerinin incelenme- si, onların iç yapısını anlamamızı sağlayabilecek tek yol gibi görünüyor. Herhalde astrofizikçiler gezegen- lere gelen sesleri dinlemekten hiç bıkmıyacaklardır.

Sciences et Avenir'den kısaltarak çev.:
Dr.Ergin KORUR

**Düşünce rüzgâr, bilgi yelken,
insanlık bir kayıktır.**

A.W. Hare