

# DİPSİZ KUYULAR

Bilim adamları, depremler ve yanardağ püskürmelerine, iklim değişimlerine, türlerin topluca yok olmasına ya da levha tektoniğine ilişkin kimi sorularının yanıtlarını yerin kilometrelerce derinliklerinde arıyorlar. Bu amaçla, uzun araştırmalar sonucunda seçtikleri, dünyanın farklı ve aynı zamanda ilginç noktalarına derin sondajlar uyguluyorlar. Sondajlar süresince toplanan veriler önümüzdeki yıllarda pek çok bilimsel konuyu açıklığa kavuşturacağı benziyor.

Depremler ve yanardağ püskürmelerine hangi fiziksel ve kimyasal süreçler yol açıyor? Bu olguların etkilerini hafifletecek yöntemler geliştirilebilir mi? Dünya'nın iklimi yakın geçmişte ne tür bir değişim geçirdi? Bu değişimin nedenleri nelerdi? Yeryüzüne çarpan gök cisimleri iklim değişimlerine ve türlerin topluca yok olmasına neden oldu mu? Radyoaktif atıklar güvenli bir biçimde nasıl imha edilebilir? Yeryüzünü kaplayan levhaların yapısı nasıl? Bilim adamları, özellikle de yerbilimciler, işte bu gibi sorulara yıllardan beri kesin yanıtlar arıyorlar. Yerbilimcilerin, bu ve başka sorulara yanıt bulabilmek ama-

cıyla yararlandıkları yöntemlerden biri de aslında oldukça zahmetli ve pahalı bir yöntem olan derin sondaj.

Peki, bilim adamları neden bu kadar zahmete katlanıyorlar? Yerin derinliklerine ilişkin merak ettiklerini, tıpkı hekimlerin hastalarını röntgen ya da ultrason aygıtlarıyla muayene etmeleri gibi, yeryüzeyinden uygulayacakları yöntemlerle araştıramazlar mı? Örneğin, yerin altında değişik yönlerde yayılan deprem dalgaları gezegenimizin iç yapısına ilişkin bilgi veriyor. Aynı şekilde, dünyanın manyetik alanıyla ilgili olarak yapılan ölçümler de yerin altında neler olup bittiği konusunda veri sağlı-

yor. Ancak şurası da bir gerçek ki, uzmanların bu veriler ışığında vardıkları sonuçların yüzde yüz doğru olup olmadığını ancak yeraltına yapılan derin sondajlar gösterebiliyor. Derin sondajlardan elde edilen örneklerden yerin iç yapısına ilişkin kesin bilgilere kavuşuyor, yer altının çeşitli özelliklerini kendi gözleriyle görmüş oluyorlar.

Yerkabuğuna yapılan derin sondajlar, yerkabuğunun daha ince olduğu derin denizlerde başlatılmıştı. İkinci Dünya Savaşı'nın bitiminden sonra ABD, yalnızca Ay'a yolculuğu değil, üzerinde yaşadığımız gezegenin iç yapısını da keşfetmeyi hedeflemişti. O yıl-

larda, ABD'li yerbilimcilerin en büyük amacı, yerkabuğu katmanının sona erdiği ve manto katmanının başladığı sınıra derin sondajla ulaşabilmektir. Ne var ki bu sınıra, kıtasal yerkabuğunun oldukça kalın (30-40 kilometre) olmasından dolayı derin sondajla bile ulaşmak olanaksız görünüyordu. İşte bu nedenle ABD'li araştırmacılar, sınırın yeryüzeyine yalnızca birkaç kilometre uzaklıkta olduğu ince okyanus kabuğundan derin sondaj yapmaya karar verdiler. Bunun için yaklaşık 6-8 kilometre derinliğinde bir sondaj planladılar. Aynı dönemlerde, Rusların da derin sondajlar yapmayı planladıkları ortaya çıkınca, ABD'li bilim adamları için "Mo-hole" adlı projeyi gerçekleştirmek ulusal bir mesele haline aldı ve proje için büyük miktarlarda para akıtıldı. Ne var ki proje fiyaskoyla sonuçlandı, çünkü o dönemlerde kullanılan sondaj teknolojisi okyanus tabanında derin sondaj yapmayı elverecek ölçüde gelişmemişti.

1968 yılında, ABD'nin önemli araştırma kurumları, büyük bir derin deniz sondaj programı başlattı. Bu kez hedefler daha gerçekçiydi. Bilim adamları, o

güne kadar pek bilgi edinemedikleri okyanusların altındaki yerkabuğunun bileşimini araştırmak istiyorlardı. Bundan başka, o yıllarda birçok yerbilimcinin düpedüz "saçma" bulduğu levha tektoniği teorisinin doğru olup olmadığını saptamak istiyorlardı. O yıllarda, pek çok insana göre, gezegenimizin onu saran tek bir kabuğu olmalıydı. Oysa, Alman bilim adamı Alfred Wegener'in yirminci yüzyılın başlarında ortaya attığı levha tektoniği teorisine göre, yeryüzü, sürekli hareket halinde olan birçok dev levhayla kaplı. Bu levhalar, kimi yerlerde birbirlerine doğru hareket ederken, başka yerlerdeyse birbirlerinden ayrılıyorlar ya da birbirlerine ters yönde hareket ediyorlar. Bu hareketleri sonucunda levhalar, milyonlarca, hatta milyarlarca yıl içinde binlerce kilometre yol katettiler.

Bilim adamları, işte tüm bunları araştırmak amacıyla dünyanın farklı yerlerindeki okyanus tabanına yaklaşık 1 km derinliğinde sondajlar yaptılar ve okyanus tabanının yapısına ilişkin pek çok

veri elde ettiler. İşin ilginç tarafı, okyanus tabanının değişik yerlerinden alınan örneklerden hiçbirisinin yaşı 200 milyon yılı geçmiyordu. "Derin Deniz Sondaj Programı" (Deep Sea Drilling Project - DSDP) adı altında başlatılan ve daha sonra Okyanus Sondaj Programı (Ocean Drilling Program - ODP) olarak sürdürülen bu çalışmalar ve elde edilen bilgiler, deniz tabanının gerçekten de sürekli hareket halinde olduğunu gösterdi. Dahası, yapılan araştırmalar, deniz tabanının sürekli olarak bir "dönüşüm döngüsü" geçirdiğini ortaya koydu.

Buna göre, yeryüzünün büyük bir bölümünü kaplayan büyük okyanusların ortasından geçen sırtlarda yerin altından sürekli magma yükseliyor; okyanus tabanına ulaşan magmanın soğumasıyla bu hatlar boyunca sürekli olarak "yeni" okyanus tabanı oluşuyor. Yeni okyanus tabanı oluştuğunda, daha önce oluşmuş olan okyanus kabuğu yanlara itiliyor. Bu süreç yinelenidikçe okyanus dibi levha kıtasal levhaya doğru itilmiş oluyor. Okyanus dibi levhanın yoğunluğu, daha hafif kayalar içeren kıtasal levhanınkinden daha fazla olduğu için onun altında dalıyor. Dalma-batma bölgeleri denilen bu hendeklerde okyanus kabuğu yerin çok altında yeniden ergimeye başlıyor; oluşan magma, dalma-batma hattı boyunca yarıdağlar oluşturarak yeryüzüne ulaşıyor. İşte tüm bu nedenlerden dolayı okyanus kabuğu, kıtasal yerkabuğundan hep daha genç kalıyor, yaşı 200 milyon yılı geçmiyor. Oysa kıtasal yerkabuğuna ait kayaların yaşı yer yer 3,5 milyar yıla ulaşıyor.

Kıtasal yerkabuğuna ait kayaların çok daha yaşlı olması, Dünya'nın oluşumundan (4,5 milyar yıl önce) sonra nelerin olup bittiğini anlayabilmek için karada sondaj yapılması gerektiği anlamına geliyor. Okyanus levhalarından daha hafif olan kıtasal levhalar, tıpkı buzdağlarının deniz üzerinde yüzmesi gibi, plastik özellikteki manto katmanında "yüzer" durumdadır. Bu nedenle de okyanus kabuğunun geçirdiği "dönüşüm döngüsü" kıtaları taşıyan kıtasal levhalarda görülüyor. Kıtasal levhaları oluşturan kayaların büyük bir bölümünün yaşı iki milyar yıldan daha fazla. Bundan başka, kıtalar, ya-



## Yeryüzündeki Derin Sondaj Noktaları



**San Andreas Fay Hattı:** Sondaj, büyük depremlere yol açan fay hattının olduğu yerde yapılacak ve fay düzleminden geçirilecek. Böylece bölgenin tektonik yapısına ilişkin önemli veriler elde edilecek.

**Unzen Yanardağı:** Yanardağın derinliklerine yapılacak olan sondaj şiddetli volkanik patlamaların nedenini ortaya koyacak, ayrıca püskürmeyi öngörme çalışmalarına yardımcı olacak.

**Chicxulub Krateri:** Yeryüzüne düşen bir göktaşının açtığı kraterde yapılacak olan sondaj, birçok türün yok olduğu 65 milyon yıl öncesine ilişkin önemli bilgiler sağlayacak.

**Malawi Gölü:** İlk modern insanların yaşadığı bölgede yapılacak sondaj, 1-2 milyon yıl öncesine kadar meydana gelmiş olan iklim değişimleri konusunda ayrıntılı bilgi sağlayacak.

**Titiaca-Gölü:** Sondaj, son birkaç milyon yıl boyunca

meydana gelen iklim değişimlerini gösterecek.

**Baykal Gölü:** Son 10-15 milyon yılın iklim tarihine ilişkin bilgiler elde ediliyor.

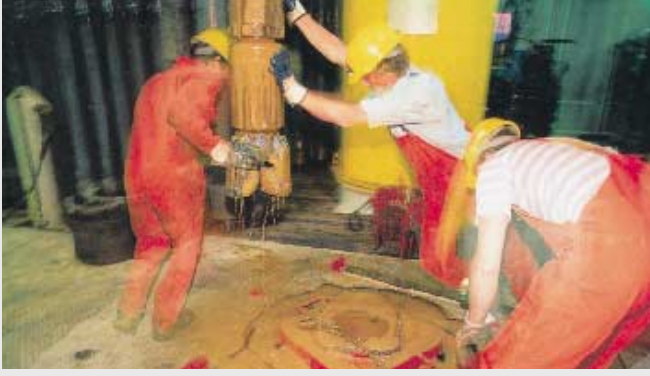
**Long Valley:** Sondaj, bölgede yakın tarihte şiddetli bir volkanik püskürmenin olup olmayacağını ortaya koyacak.

**Hawaii/Koolau:** Sondaj, volkanik adalar zincirinin oluşumunu açıklığa kavuşturacak.

**Donghai:** 5 kilometre derinliğe yapılacak olan sondaj, yüksek basınç altında oluşan minerallerin oluşumu açıklayacak.

**Girit Adası:** Bölgede, Afrika levhasının Avrasya levhasının altına dalmasıyla tetiklenen depremlerin mekanizması açıklığa kavuşacak.

**Korint Körfezi:** Bölgede, Avrasya levhasında büyük olasılıkla kırılma meydana geliyor. Sondaj, bölgede görülen depremlerin nedenlerini ortaya koyacak.



Yer bilimciler, depremler, yanardağlar dünya ikliminin geçirdiği değişimler, yeryüzünü kaplayan levhaların yapısı gibi konulardaki sorularına yanıt bulmak için yararlandıkları yöntemlerden biri de, derin sondaj. Oldukça zahmetli ve pahalı bir yöntem olan derin sondajla alınan örnekler incelenerek, yerin iç yapısı hakkında bilgi ediniliyor.

nardağlar, deprem bölgeleri ve doğal kaynaklar gibi insanların yaşamını büyük ölçüde etkileyebilen ve araştırılmaları bu yüzden büyük önem taşıyan kimi olguları da içeriyor.

ABD, bu gelişmelerden sonra, daha çok küçük çaplı sondaj projelerine ağırlık verdi. Ne var ki bu kez Ruslar büyük işlerin peşine düştüler. Değişik hammaddelerin izine rastlamak amacıyla, ülkelerinin yer aldığı Avrasya kıtasının birçok yerine derin sondajlar uyguladılar. Bunların arasında özellikle Kola Yarımadası'na açılan derin bir delik, sondaj tarihi açısından büyük önem taşıyor. Rus araştırmacılar, ilk kez bu sondaj sırasında, o güne kadar ulaşılamayan bir derinliğe, 12 261 metre derine ulaşmayı başardılar.

Ruslar, o yıllarda yaptıkları sondajlardan elde ettikleri bulgularla ilgili pek fazla açıklama yapmadılar. Bu davranışları, öteki gelişmiş ülkeleri, yerin derinliklerini daha ayrıntılı bir biçimde araştırma konusunda harekete geçirdi. Çeşitli ülkelerin araştırma kurumları, yer hareketlerinin ölçümü gibi jeofiziksel yöntemlerin yanı sıra ulusal kıta sondaj programları planlamaya ve uygulamaya başladılar. Bu ulusal kıta sondaj programları, 1980 yılından bu yana "Uluslararası Litosfer Programı" (International Litosphere Program - ILP) adı altında uluslararası bir işbirliği çerçevesinde yürütülüyor.

Uluslararası Litosfer Programı'na üye ülkeler arasında özellikle Almanya, yeraltı araştırmalarına önemli katkılar sağladı. Alman araştırmacıların, "Almanya Kıtasal Derin Sondaj Programı" (Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland - KTB) adı altında yürüttükleri projenin amacı,

çeşitli doğal kaynakların yerini saptamak değil, yalnızca bilimsel araştırma yapmaktır.

KTB projesinin ön hazırlıkları 1981 yılında başlamıştı. Bu ön hazırlık aşamasında sorun derin sondajın nerede yapılacağıydı. Yaklaşık beş yıl süren araştırmalar ve tartışmalardan sonra Alman araştırmacılar, Almanya-Çekoslovakya sınırına yakın bir noktada sondaj yapmaya karar verdiler. Seçilen nokta proje için şu açıdan önemliydi: Bölgede yaklaşık 350-320 milyon yıl önce iki kıta çarpışmış. Bu çarpışma sırasında, yerkabuğunun değişik katmanları birbiri üzerine itilmiş, derinlerdeki kimi katmanlar sıkışmanın etkisiyle sondaj borularının ulaşabildiği yüksekliklere kaldırılmış. Yani bölge, birçok tektonik birimi bir arada, yüzeye yakın konumda barındırıyor.

Araştırmacılar, 1987 yılında, deneme amaçlı, yaklaşık 4000 m derinliğindeki bir pilot sondaj gerçekleştirdiler ve bir yıl boyunca elde edilen verileri değerlendirdiler. Bu pilot uygulamasından elde edilen bilimsel veriler, 1990 yılında başlatılan ana proje uygulaması için temel oluşturdu. Bu proje için özel olarak geliştirilen sondaj parçalarının kullanıldığı derin sondaj, dört yıl aralıksız süren bir çalışma döneminden sonra,



9101 m derinliğe ulaşıldığında sona erdirildi. Araştırmacılar beklenmedik bir olguyla karşı karşıya kalmışlardı. Yeraltındaki sıcaklık, beklediklerinden çok daha hızlı artmaya başlamıştı. Uzmanlar, sıcaklığın 12-14 km derinlikte 250°C'ye ulaşmasını bekliyorlardı. Oysa sıcaklık umulmadık bir biçimde hızlı artmış, sondaj henüz 9000 m derinliğe ulaştığında 265°C'ye ulaşmıştı. En önemlisi, bu derinlikteki kayalar plastik özellik kazanmaya başlamıştı. Alman araştırmacılar, sondajı her ne kadar beklenmedik bir anda sonlandırmak zorunda kalmış olsalar da, sondaj çok başarılı geçmişti ve yeraltına ilişkin çok önemli bilgilere kavuşulmuştu.

Uzmanlar sondajdan elde ettikleri bilgileri, jeofiziksel yöntemlerle saptadıkları bulgularla karşılaştırma olanağını elde ettiler. Buna göre, bölgenin yeraltı yapısı sanılandan çok daha farklıydı. Bilimsel açıdan sürpriz sayılabilecek bir başka gelişme ise, sondajın ulaşabildiği önemli derinliklerde, çözülmüş gazlar ve tuzlar içeren suların aktığı yarık benzeri boşluklara rastlanmasıydı.

Titizlikle yürütülen KTB projesi bilimsel amaçlı derin sondajlar için örnek teşkil ediyor. Projenin her aşaması araştırmacılar için önemliydi. Sondaj sırasında elde edilen tüm örnekler sondaj kulesinin yanı başına kurulmuş olan gelişmiş laboratuvarında uzmanlar tarafından incelenmiş, elde edilen bilimsel veriler bir bilgisayar ağı yoluyla konuyla ilgilenen bilim adamlarına ulaştırılmıştı.



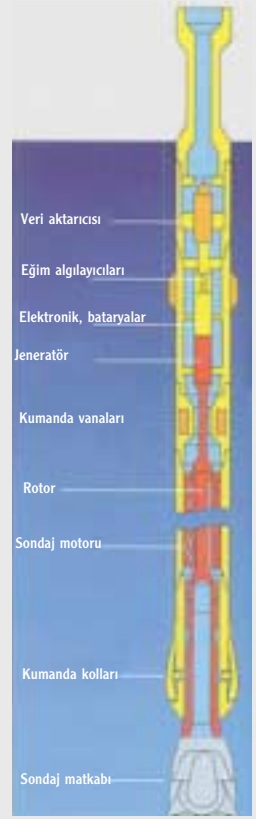
Bunların yanı sıra proje, Alman sondaj endüstrisine de dolaylı olarak önemli katkılar sağlamıştı. Özellikle petrol alanında rağbet gören yeni sondaj teknolojileri geliştirilmişti. Bunların arasında, sondajın, önemli derinliklerde bile, düz doğrultuda ilerlemesini sağlayan "dikey sondaj sistemi" önemli bir yenilik olarak kabul ediliyor.

Almanların yürüttüğü KTB projesi, Uluslararası Kıtasal Sondaj Programı (ICDP) çerçevesinde dünyanın farklı yerlerinde başlatılan önemli bilimsel projeler için çok önemli bir ön deneyim oluşturuyor. Başlatılan önemli ve ilginç derin sondaj projeleri arasında, ABD'nin batı kıyısı boyunca yer alan ve bölgede önemli depremlere yol açan San Andreas fayına, Japonya'daki Unzen Yanardağı'nın eteklerine ve 65 milyon yıl önce bir göktaşının çarpmasıyla oluşan ve aynı zamanda birçok türün yok olmasına yol açan Meksika'daki Chicxulub Krateri'ne yapılacak derin sondajlar yer alıyor.

Projelerde görev alacak bilim adamları bu kez ulusal prestij sağlayacak amaçlar peşinde koşmayacak, yalnızca insanlığa yarar sağlayabilecek bulgular elde etmeye çalışacaklar. Başlatılan yeni projelerin ortak amacı, insanları olabilecek felaketlerden daha etkili bir biçimde koruyabilmek. Önümüzdeki yıllarda, bu projeler kapsamında, önemli deprem bölgeleri ve yanardağlar araştırılacak; yakın geçmişte meydana gelmiş olan önemli iklim değişimleri saptanmaya çalışılacak; büyük tortul havuzları hammadde zenginliği açısından incelenecek.

Hazırlanan projeler arasında en önceliklisi olarak California'daki Long Valley Kalderası seçilmiş. Burası, yaklaşık 760.000 yıl önce şiddetli bir biçimde patlamış olan bir yanardağın krater duvarlarının püskürme sırasında içe çökmesiyle oluşmuş. Kalderanın eni yaklaşık 20 kilometre. Bölgede 1980 yılından itibaren görülmeye başlayan ve magmanın yeraltından yükselmeye başladığının işareti olan yer sarsıntıları ve yüzeyde oluşan kabarmalar yanardağın yeniden etkinliğe geçtiğinin belirtileri.

Derinliği üç kilometre olarak planlanan sondaj, yeraltında neler olup bittiği ve bir püskürmenin olup olmayacağı konusunda net bilgi sağlayacak. Daha sondajın



başında, araştırmacılar bir sürprizle karşılaşmışlar: 2400 metreden daha derinlerde bile termometre hep 100°C'yi gösteriyordu. Oysa uzmanlar bu derinliklerde sıcaklığın 300°C'ye ulaşacağını tahmin etmişlerdi. Uzmanlar şu aralar bu olgunun nedenlerini bulmaya çalışıyorlar. Kayaçların ısı iyi iletmemelerinden yola çıkarak, yükselmekte olan magmanın henüz 3000 metre derinliğe ulaşmadığını tahmin ediyorlar.

Japonya'daki Unzen Yanardağı'nda önümüzdeki yıl başlatılması planlanan derin sondaj projesi de araştırmacıların karşısına yeni soru işaretleri getireceği benziyor. 1792 yılında şiddetli bir biçimde püsküren yanardağ 15.000 insanın ölümüne yol açmıştı. 1990'lı yıllarda yanardağda yeniden etkinlik gözlemlenmişti ve önemli zarara neden olmuştu. Planlanan sondajın doğrudan 1200 metre derinliğindeki, sıcaklığı 500°C'ye ulaşan yanardağın bacasına doğru yapılması planlanıyor. Bilim adamları, magmanın içerdiği gazın özelliklerini bulmaya çalışacaklar. Aça-

cakları sondaj deliğine, yanardağın ne zaman püsküreceğini saptayabilmek için algılayıcılar yerleştirmeyi amaçlıyorlar.

Yerbilimciler son yıllarda her ne kadar karadaki araştırmalara ağırlık verdiyseler de bu derin deniz ortamlarını gözden çıkardıkları anlamına gelmiyor. Son 40 yılda, okyanus tabanına 2000'den fazla sondaj yapıldı. Ne var ki bunların hiç biri 2.111 metreden daha derinlere ulaşamadı. Japonların 2004 yılında devreye sokmayı planladıkları yeni bir sondaj gemisi, bu alanda da yeni bir dönemin başlayacağını gösteriyor. En modern sondaj teknolojisinin kullanılacağı bu araştırmalar, okyanu kabuğunun 7000 metre derinliklerine ulaşmayı hedefliyor. Tüm bunlar, deniz derinliğinin 4000 metre dolayında olduğu yerlerde gerçekleştirilecek. Bu araştırmalarda da amaç, iklim değişimlerine, deprem olasılıklarına, doğal gazın varlığına ilişkin bilgi edinmek.

İnsanlığın yirminci yüzyılda teknolojik anlamda elde ettiği olağanüstü başarıları bakılırsa, gezegenimizin manto katmanına sondajla ulaşma düşü günün birinde düş olmaktan çıkacağı benziyor.

Ayşe gül Yılmaz

**Kaynaklar**  
"Nachrichten aus der Unterwelt", bild der wissenschaft, Ocak 2001.  
<http://www.icdp.gfz-potsdam.de/html>  
<http://www.g-o.de>

