

## İklim araştırması

# Dijital ortamda fırtınalar kopuyor

Bilgisayarlar sayesinde, hava ve iklim tahminleri eskiye göre çok daha hassas ve isabetli. Meteoroloji istasyonları ve dünyamızın etrafında dönmekte olan uydular, süper bilgisayarların değerlendirmesi için veri topluyor.

**K**arın hayatımıza olumsuz etkilediği geçtiğimiz günlerde de görüldüğü üzere, teknolojinin baş döndürücü gelişimine rağmen insanoğlu doğa şartları karşısında hala yeterince güvende değil.

Her yıl yaklaşık 1.000 hortum, 5.000 sel baskını ve 10.000 ağır fırtına, dünya çapında 14 milyar doları bulan maddi hasara neden oluyor. Bu yüzden gelecek on, hatta yüzyılı kapsayacak, güvenilir hava tahminlerinin önemi büyük. Bu kadar geniş zaman dilimlerine ilişkin hesaplamalar da elbette pahalı ve yüksek performanslı süper bilgisayarlar, zeki iklim benzetimlerine (simulasyonlara) ihtiyaç duyuyor. Örneğin Hamburg'da yer alan Alman İklim Hesaplama Merkezi'ndeki (DKRZ) olanaklar, yararlanmak isteyen bütün iklim araştırmacılarının hizmetinde. 34 milyon Euro değerindeki hesaplama canavarı NEC SX6, bilim adamlarının hem laboratuvarı, hem de deney tüpü. Bu canavarın diğer adı Dünya Sistemi Araştırması İçin Yüksek Performanslı Hesaplama Sistemi, kısaca HLRE. Aygıtın yapılış amacıysa iklimi etkileyebilecek tüm şartların göz önüne alındığı, kapsamlı bir dünya modeli oluşturmak. Bu etkilerden bazıları topografik şartlar olduğu gibi, fiziksel süreçler; atmosferdeki, yerdeki, okyanuslardaki ya da kutup buzullarındaki biyokimyasal döngüler de olabilir. Bir atmosfer modeli, farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızı, atmosfer basıncı, sıcaklığı, nemi, güneş ışınımı, bulut özellikleri ve hava katmanının kalınlığına ilişkin denklemler içeriyor. Atmosfer modelinin elde ettiği veriler de bir okyanus modeliyle birleştirilerek bütün iklimin modeli çıkartıla-

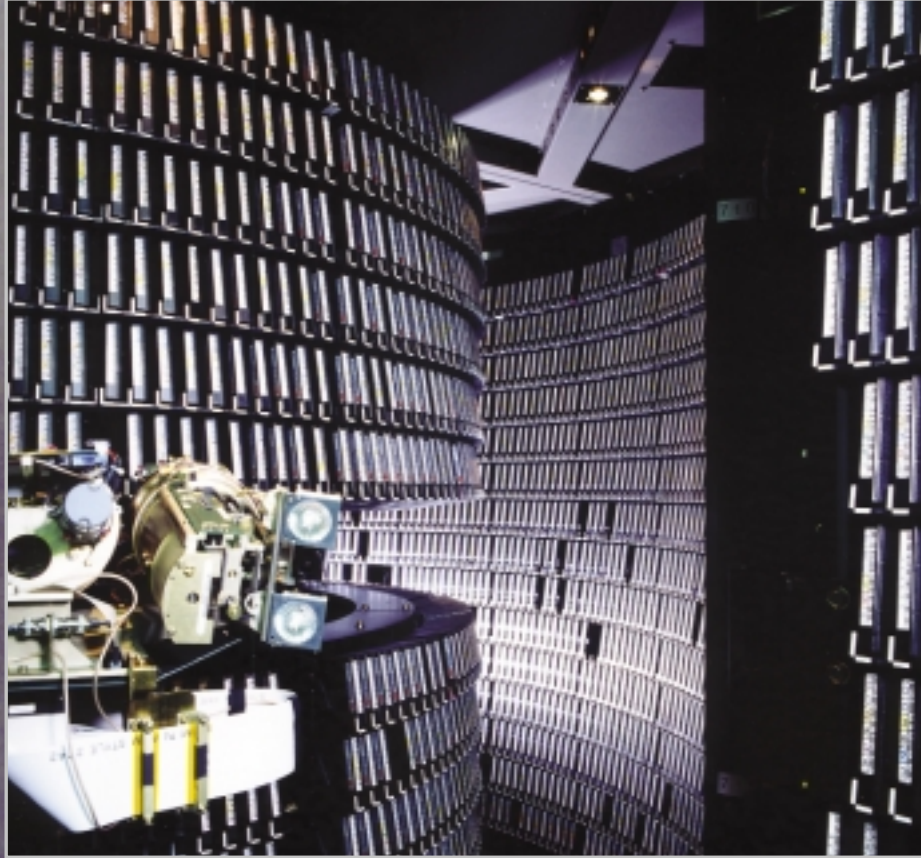
bilir. Modellerin birleştirilmesini de HLRE üstleniyor. Okyanus modelinin dünya denizlerindeki herhangi bir yerdeki su sıcaklığını hesaplaması ve atmosfer modelinin alt katmanlardaki rüzgar hızıyla hava sıcaklığını belirlemesi sonucu, hesaplayıcı, deniz akıntılarını ve buharlaşma oranını da hesaplayabiliyor. Bunlar da bulut modelini tekrar etkileyerek yer modeli için yağış durumunu gösteriyor, yani her şey birbirine bağlı. Hamburg'daki Max Planck Meteoroloji Enstitüsünde küresel iklim modelleri uzmanı olan Dr. Erich Röchner, bunu sonsuz bir hikaye olarak tanımlıyor. "Hala tümüyle yabancı olduğumuz yepyeni etkileşimler ortaya çıkıyor."

## Politika bile hava şartlarını etkileyebiliyor


Politik gelişmeler de iklim hesaplamalarını etkileyebiliyor. Kükürt bileşiklerindeki aerosoller atmosferde ve sera etkisinde önemli bir rol oynuyorlar. Bu sülfat aerosolleri, esasında volkan patlamaları ve linyit kömürünün yanması sonucu ortaya çıkıyor. Çin'deki çevre politikasındaki bir değişim iklim modelini etkiledi: Hükümetin, güç santrallerine kurum filtreleri takmayı kararlaştırması sonucu, aerosol yoğunluğu üzerine yapılmış tahminleri düzeltmek gerekiyor. Bütün modellerin beraber işlendiği laboratuvar, her birinde 8 vektör merkezi işlem ünitesi, 8 Gigaflop işlem gücü ve 64 Gigabyte ana bellek olmak üzere 24 hesap noktasından oluşuyor. Bütün sistemde 1,5 Teraflop (Tera = 1 trilyon, Flop = saniyede yapılan işlem miktarı) ve 1,5 Terabyte hard disk bulunuyor. Karşılaştırma için söyleyelim, güncel bir Athlon işlemcisi 1



**Kasırğa:** Amerika'da Great Plains civarında yılda yaklaşık 1000 tornado meydana geliyor. Fırtınaların hızlı saatte 500 km'yi buluyor.

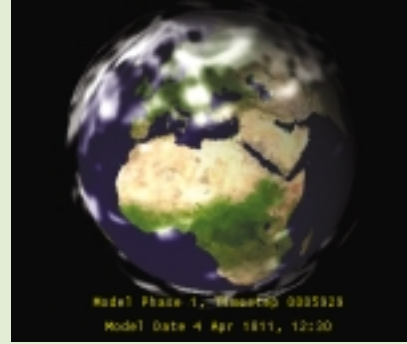


**Veri ambarı:** Alman iklim araştırma merkezinin kayıt odasında toplam 3,5 Petabyte kapasiteye sahip yaklaşık 24.000 adet veri bandı depolanıyor.

Gigaflop değerine erişebiliyor. Verilerin hızlı bir şekilde kaydedilmesi ve ihtiyaç durumunda tekrar ulaşılabilmesi için üç ayrı NEC TX7 hesaplayıcısı önbellek olarak hizmet veriyor. Geriye de bu sırada verileri merkezi hesaplayıcı ve yaklaşık 60 Terabyte sabit disk arasında yönetmek kalıyor. Bütün verilerin kaydedilmesi için robot destekli dev bir sistem devreye giriyor. Dört siloda toplam kayıt kapasitesi 3,5 Petabyte olan yaklaşık 24.000 manyetik bant kaseti bulunuyor (bkz.resim  189). Robot kollar gerektiğinde bantları raflardan çekiyor. 2003 Eylül ayından bu yana bantlara bir Petabyte'tan fazla iklim simülasyon verisi girildi ve günde yaklaşık 3-4 Terabyte yeni veri ekleniyor. "Laboratuvardaki Dünya"nın Faydası: HRLE iklimimizin geleceği için bir kristal küre görevi yapıyor. Araştırmacılar 30 yıldır devamlı olarak gelişen programlama dili Fortran'da sayı sütunları oluşturuyorlar. İşlemci, bu veri girişinden üç boyutlu modeller ortaya çıkarıyor. Bu sayede örneğin New York ve Napoli'deki iklimlerin, iki şehir aynı enlemde bulunmasına rağmen neden farklı olduğu anlaşılabilir. ABD metropol-leri yazın parlak güneş ışınları altında kavrulup kışın da bembeyaz yılbaşları kutlarken, Napoli'de sıcak yazlarıyla Akdeniz iklimi ve en fazla yağmurlu kışlar yaşanıyor. Hesaplamalar sırasında çalışanların ilk görevi hassaslıktır. Sırf virgülden sonraki basamaklarda yapılan hatalar bile iklim simülasyonunu mahvedebilir. Bu, meteorolog Edward Lorenz'in başına 1961'de yaptığı deneyde iki kez geldi. Meteorolog, fazla zaman almaması için deney verilerinin tekrarlanmasıyla virgülden sonra altı basamak yerine sadece üç basamak hassasiyetle çalıştı. Sonuç: Hesaplanan hava tamamıyla farklı çıktı ve bu durum Kelebeğin Kaos Teorisi'ni do-

## DAĞITIK BİLGİ İŞLEM İLE HAVA TAHMİNİ

Siz de isterseniz iklim modellerinin hesaplanmasında rol alabilirsiniz: [www.climateprediction.net](http://www.climateprediction.net) adresinde İngiliz araştırmacılar, 1811 den 2065'e kadar iklim modellemesini yapabilecek, bilgisayarınızda çalıştıracağınız bir yazılım sunuyorlar. Her paylaşımcı, toplamda gerçekçi bir sonucu hedeflemek için diğerlerinden ufak sapmaları olan kendi modeliyle yer alıyor. Araştırmanın yararı nedir dersiniz, bir süper bilgisayarın bu hesaplamaları örneğin sadece on defa yaptığı yerde, paylaşımcılar milyonlarca hassas sapma hesaplayarak daha gerçekçi bir yaklaşım sağlıyor.



**Global:** Anime yeryüzü küresi üzerinde bulutlanmalar gözlenebiliyor.

ğurdu: Pekin'de kanatlarını çırpan bir kelebek, Avrupa'da havayı etkileyebilir. Gerçekten dünya çapında havayı çıldırtacak bölgesel fenomenler bulunuyor. Örneğin El Nino (aşağıya bakınız) Güney Pasifik'te oluşuyor ve Orta Avrupa'da devamlı yağmurlara neden oluyor.

### Hassas ölçümler: Birim alanlara bölerek inceleme

İklim modelinin coğrafi sonucu da bilgi miktarı kadar



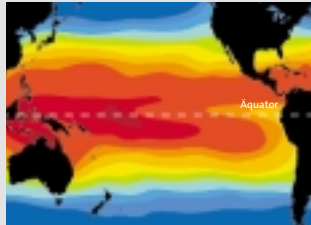
»Başarılı hava tahminleri için fazla babadan kalma yöntemlere, uzun yılların deneyimine ve sağlam altıncı hislere ihtiyaç duyuyoruz.

Jörg Kachelmann, Meteorolog

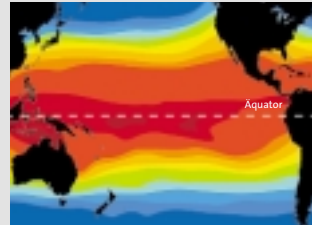
önemli. İklim simülasyonlarını uygulayabilmek için araştırmacılar, dünyayı ve atmosferi üç boyutlu birim alanlarına ayırıyorlar. Bu alanlar ne kadar küçük olursa, tahmin de o kadar kesinlik taşıyor. Tabii bu da daha fazla işlem gücü anlamına geliyor. İşlemcinin gücü de bu kesinlik üzerinde rol

## EL NİÑO FELAKETİ

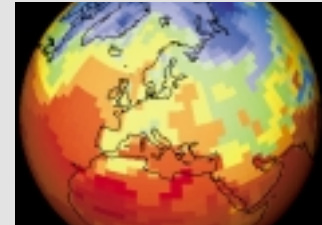
► El Niño sadece Pasifik Okyanusunda ortaya çıktı ve çoğunlukla Noel zamanında, birkaç yıl arayla meydana geldi. Bu fenomen ağırlıklı olarak ekvatora yakın su kütlelerinde ortaya çıktı: Batıda Endonezya civarından, doğuda Güney Amerika'nın Pasifik sahilleri arasındaki bir bölgede.



Normalde Pasifik, batıda, doğusuna göre daha çok ısıdır. Bunun nedeni Passat rüzgarlarının gücüyle su değişikliğine zorlanması. En yüksek sıcaklıklar da ekvator civarında ortaya çıkıyor.

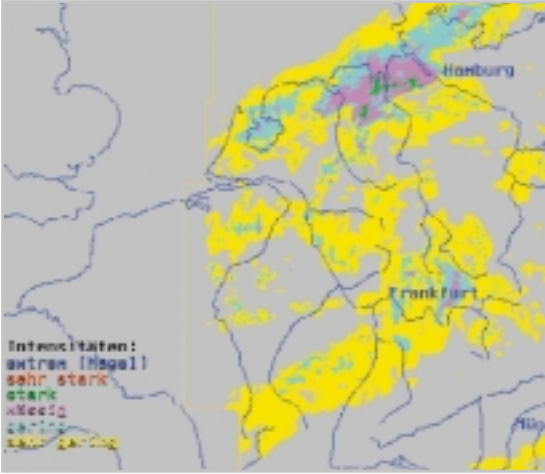


Bir El-Niño fırtınası sürecinde Passat rüzgarları etkisini kaybediyor. Bu yüzden doğu Pasifik'te yüksek su sıcaklıkları oluşuyor. Kaliforniya'dan Peru'ya kadar olan bölgede böylece aşırı yağış var.

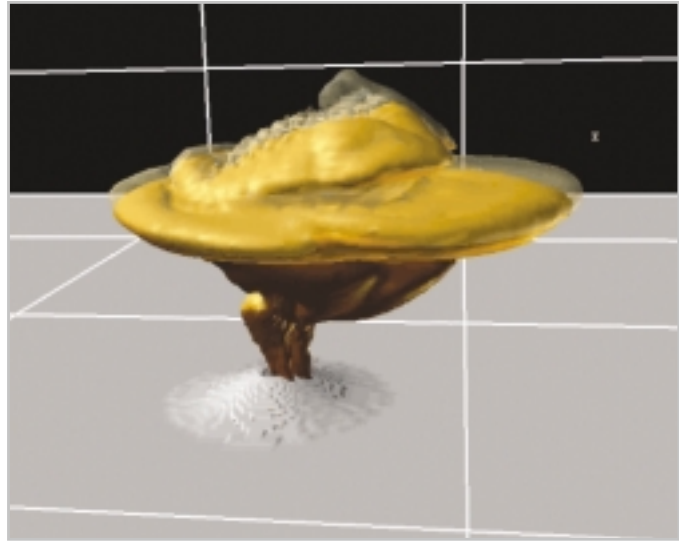


Batı Pasifik'te aşırı kuraklıklar meydana geliyor, bu da çoğunlukla orman ve çalı yangınlarından kaynaklanıyor. Teleiletişim üzerinden El Niño hatta Avrupa'daki havayı bile etkileyebiliyor.





**Hava radarı:** Alman meteoroloji hizmeti internette güncel hava radarını gösteriyor. Turkuaz renkli yerlerde hafif yağmur bekleniyor.



**Volkan patlaması:** Sanal atmosfer tramplarına ayrılmış durumda. Alanlar ne kadar küçükse, sonuç da o kadar kesin oluyor. Burada Filipinlerdeki Pinatubo yanardağının patlaması görülüyor.

oyunuyor. İncelenen alanın yarı büyüklüğüne indirilmesi, hesaplamalardaki noktalarının dört , gereken işlemci performansının yaklaşık on katına çıkmasına neden oluyor. Max-Planck Enstitüsündeki araştırmacılar, Orta Avrupa ikliminin hesaplanabilmesine yetecek kadar küçük birim alanlarıyla çalışıyorlar. Gelecek 100 yıl için doğru tahminlerin yapılmasında yaklaşık olarak 200 km genişlikte birim alanların kullanılması yeterli. Küçük alanlarda kısa vadeli sonuçlar için yarım paralel genişliğinde (yaklaşık 55 km) bir çözünürlük yeterli oluyor. Yokohama’da bulunan (pek alçakgönüllü sayılmayacak ismiyle) “Earth Simulator” adlı bir bilgisayar daha çok tahmin imkanı sağlayarak Hamburg’lu canavarı gölgede bırakıyor. Earth Simulator Research and Development Center’da (Dünya Simülatörü Araştırma ve Geliştirme Merkezi) kullanılan bilgisayar, dünyanın en büyük bilgisayarı ve NEC tarafından üretilmiş. Bu bilgisayar kendisi için özel olarak tasarlanmış 3.250 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki Yokohama Institute for Earth Sciences binasında bulunuyor. 640 hesap noktası ve 5.120 işlemciden oluşan bilgisayar, 40 Teraflop işlem gücüne sahip. Her hesap noktası için 16 Gigabyte büyüklüğünde ortak arşiv hizmet veriyor ve bütün sistem için arşiv 10 Terabyte’tan fazla veri topluyor. Japon dünya modelinin çözünürlüğü küçük coğrafi alanlarda da tahminlerin yapılmasını mümkün kılıyor. Hamburg’da uygulanan 200 km çözünürlükte, küçük boyutlu bazı hava olayları gözden kaçabiliyor.

Örneğin okyanuslarda birim alanlar için çok küçük sayılacak, yaklaşık 30 km çapında girdaplar (Eddie akımları) ortaya çıkar. Bazen de bulutlar çok küçük alanlara yayılırlar. Bu olaylar parametrelere bağlı tanımlanarak, tam bir kafes hücresi içerisinde yaklaşık olarak hesaplanıyor. Bilim adamları bu durumda bir kafes hücresi için tamamıyla bulutlu ya da bulutsuz demek yerine, yaklaşık yüzde otuz kesinlik taşıyan ortalama bir değer belirtiyorlar. Tahminlerin güvenilir olması için birçok deney “Monte Carlo Simülasyonları” olarak yürütülüyor: Aynı deney, bir yerine yaklaşık on defa, başlangıç değerlerinde (örneğin sıcaklık veya rüzgar gücü) çok küçük

değişiklikler yapılarak tekrarlanıyor ve alınan değerlerden bir ortalama elde edilerek, sonucun ne kadar kesinlik taşıyacağı belirleniyor. Araştırmacıların, iklim simülasyonlarını takip ediyor olmalarından, modellerin hassaslık sıkıntısı içinde olmadığını anlayabiliriz. Örneğin El Nino kasırgası bu şekilde çok kesin ve gerçekçi şekilde modellenebiliyor. İnsanoğlunun doğaya yaptığı müdahaleler karşısında dev bilgisayarlar ve



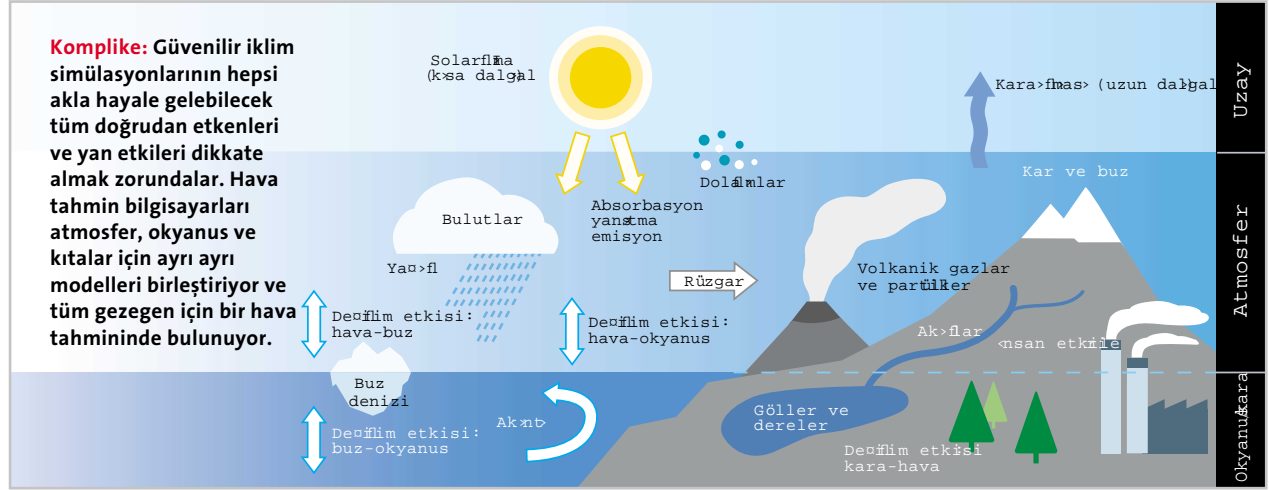
» İnsanlar, şimdiye kadar davrandıkları gibi davranmaya devam ederlerse, tüm iklim modellerindeki dominant etken olacaklar

Prof. Mojib Latif, Kiel Üniversitesi, Meteorolog

hesaplamalar her zamankinden daha önemli oluyor. 2002 yılındaki fırtına ve 2003’teki kuraklığın insan müdahalesinin bir sonucu mu olduğu, yoksa doğal fenomenlere mi geri döndüğü halen net değil. Bunlar bir iklim değişikliğini işaret etmiyor, zira toplamda maksimum ve minimum değerler birbirini dengeliyorlar. Uzun vadelere ilişkin modeller, yaşadığımız enlemde havanın daha kuru olduğu bir iklime, kuraklık ve yoğun yağışlar gibi aşırı olayların görülmesine işaret ediyor. Yani hava tahminlerini hesaplamak daha da zor olacak.

**Hava tahmini: İnsan faktörü hala büyük rol oynuyor**

Kiel Üniversitesi Deniz Araştırmaları Enstitü’sünden Profesör Mojib Latif, DKRZ bilgisayarıyla El Nino fenomeni (E190) için güvenilir öngörülerde bulunabiliyor. Bazı yıllar Pasifik okyanusu noel zamanı çok ısınıyor ve böylece bütün dünya iklimini etkiliyor (El Nino İspanyolca’da hristiyan çocuğu anlamında). Latif, El Nino’nun etkisini göstereceği yılları zaten önceden belirleyebiliyordu. Ona göre, insanoğlu hesaplamalarda bir rol oynadığı sürece, uzun vadeli hava tahminleri pek geçerlilik taşımayacak: “Politikanın ve ekonominin nasıl gelişeceğini bilmiyoruz,” diyor bilim adamı. İnsanlar şimdiye kadar davrandıkları gibi davranmaya devam et-



tikleri sürece, bütün iklim modellerinde baskın etken olacaklar. “Yarın güneşin parlayıp parlamayacağını, pahalı süper bilgisayarlar elbette bilemeyebilirler.” Bu, aynı zamanda hava durumu sunucusu olan Jörg Kachelmann gibi meteorologların işi.

Kachelmann, Sylt ve Oberstdorf arasında bulunan 440 ölçüm istasyonu sayesinde, Almanya'nın her şehir ve eyaleti için fırtına tahminlerini hatasız yapabiliyor ([www.unwetterzentrale.de](http://www.unwetterzentrale.de)). Kachelmann ve şirketinin sırrı, beş yıllık istatistiklerde ve çok miktarda deneyimde gizli. Meteorologların pahalı bilgisayarlardan vazgeçmekte olduğunu söyleyen Kachelmann, tahminlerdeki isabeti hala babadan kalma yöntemlerle, el işçiliğiyle ölçüm yapmaya borçlu. “İyi hava tahminleri satın alınamaz.” Bu yüzden, bilgisayarların verdiği sonuçlar insanlar tarafından kontrol ediliyor ve sonuçlar Kachelmann'ı haklı çıkaracak cinsten. Güvenilir hava tahminlerinin kapsamı, bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelere rağmen 70'lerden bu yana 24 saatten yalnızca 48 saate yükselebildi.

### Sigorta şirketleri de iklim araştırmalarıyla ilgileniyor

Sadece kısa vadeli hava raporlarına değil, uzak gelecekteki iklim tahminlerine de bağlanan birçok şey var. Örneğin dünyanın en büyük sigorta şirketi olan Münchner Rück, Dünya Risk Araştırma Grubu'nda sadece iklim araştırmalarıyla ilgilenen 23 kişi çalıştırıyor. Bir sigortacı, sözgelimi gelecekte daha çok sel baskını olup olmayacağını bilmek zorunda. Peki gelecekte iklim nasıl olacak? Hamburg ve Yokohama'daki

süper bilgisayarlar bize geleceğe ilişkin hiç değilse genel bir fikir sağlıyorlar. Tahminlerin en kadar güvenilir olduğunuysa gelecekte karşılaştığımız sonuçlar gösterecek. Röchner gelecek 100 yıl içinde deniz seviyesinin 50 cm'den fazla yükselmeyeceğine kesin gözüyle bakıyor. Bu kadar kesin konuşmasının nedeni, sera etkisine yol açan hataların çok uzun süre önce başlamış olması. 100 yıl sonra nelerin olacağı ise bugünden öngörülecek gibi değil. Kyoto Protokolü'nün yaygınlık kazanması durumunda uzak geleceğe umutla bakmak mümkün olabilir. Ancak o zamana kadar “kötü hava yoktur, yanlış giyinmiş insan vardır” sözünü aklımızdan çıkarmamız gerekiyor. ■

SR / Garo Antikacıoğlu, agaro@chip.com.tr

### İKLİM VE HAVA BAĞLANTILARI

[www.meteor.gov.tr](http://www.meteor.gov.tr) Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü sayfası, hava tahmini konusunda resmi açıklamalara ulaşabileceğiniz bir kaynak.

[www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr) Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, deprem ve astronomi bilgilerinin yanı sıra hava raporları ve haritalar da sunuyor.

[www.nws.noaa.gov](http://www.nws.noaa.gov) Amerikan Meteoroloji Merkezi'nin ana sayfası. Hava tahminleriyle birlikte ayrıntılı haritalar.

### SÜPER BİLGİSAYARLAR KARŞI KARŞIYA

Dünyanın en büyük 500 bilgisayarı sıralamasında zirvede Japon Earth Simulator bulunuyor. İkinci sıradaki bilgisayar ise daha az barışçıl amaçlar için kullanılıyor: Kendisi Los Alamos atom bombası laboratuvarında bulunuyor.

Sıra	1	2	3	4	69
Üretici	NEC	Hewlett-Packard	Virginia Tech University	Dell	NEC
Computer	Earth Simulator	ASCI Q - AlphaServer SCES45/1,25 GHz	1.100 Dual 2.0 Apple G5 „Big Mac“	PowerEdge 1750 P4 Xeon 3,06 GHz	HLRE
Teraflops	35,9	13,9	17,6	9,8	1,5
İşlemci sayısı	5.120	8.192	2.200	2.500	192
İşletici	Earth Simulator Center	Los Alamos National Laboratory, Los Alamos	Virginia Tech University	National Center for Supercomputing Applications	Alman iklim araştırma merkezi
Ülke	Japonya	ABD	ABD	ABD	Almanya