

# METEOROLOJİ

## NEDEN YANILIYOR?

- Meteoroloji uzmanları havanın nasıl olacağını tahmin etmek için doğrudan doğruya atmosferi inceleyemezler: Atmosferde oluşan olaylar son derece karmaşık olduğundan, çoğu kez yanlış verilerden yola çıkılarak kurulmuş, yaklaşık matematiksel modellere başvururlar. Ancak, daha çok ölçümün yapıldığı ve gitgide gelişen bilgisayarların kullanıldığı kusursuz bir modelle bile, uzun vadeli tahminlerin gerçekleşmemesi mümkündür.

**Jeon-Louis LAVALLARD**

**B**u yıl ilkbaharın çok yağmurlu geçeceği (Hazarın 1987, yüzyılımızın en nemli ayı oldu) meteoroloji uzmanlarınca tahmin edilememiştir. Tersine, sürekli olarak güzel havalanın geleceği bildiriliyor, ama bu güzel havalar bir türlü gelmiyordu.

Meteoroloji uzmanlarının bu konuda ileri sürebilecekleri tek özür, olayların karmaşıklığıdır. Atmosfer, gelişimi her an yeni bir tahmin gerektiren dev bir termik makinedir. Ekvator yöresinde belirli rüzgâr düzenleri kurulduğundan, uzun dönemler için kararlı meteorolojik şartlar bulunuyorsa da, bizim yaşadığımız enlemlerde hava durumu çok daha çabuk değişir ve birkaç gün (belki de birkaç saat) içinde birkaç kez değişime eğilimi gösterebilir.

Yağmur, sıcaklık değişimlerine bağlı bir yoğunlaşma olayı olarak açıklanabilir. Basit olması için, yalnızca iki hava türünü gözönüne alalım: Daha çok su buharı tutmaya yatkın sıcak hava ve çok az su buharı tutabilen soğuk hava. Hemen herkes tarafından bilinen bir fizik yasası, belli bir sıcaklıkta havanın tutabileceği maksimum su buharı miktarı ile ilgilidir: İçinde çok su buharı bulunan sıcak havanın sıcaklığı düşerse, artık suyun tamamı buhar durumunda kalmaz. Buhar, sis (toprağa yakın yerlerde) ve bulut (yükseklerde) oluşturacak biçimde, mini damlacıklar yığını olarak yoğunlaşır. Sıcaklık daha da düşerse, bu mini damlacıklar birleşerek damlalar oluşur (damlalar donarsa, kar taneleri ya da mini buz kütleleri oluşur). Böylece, yağmur, kar ya da dolu yağar.

Öyleyse, meteorolojik tahmin, sıcak ve soğuk hava kitlelerinin hareketlerini incelemek ve buradan havanın nasıl olacağını çıkarmak demektir. Tahmin uzmanı özellikle, sıcak ve soğuk hava kitlelerinin birbirleri ile karşılaştıkları yerlerle ilgilenir. Bu yerler-



*Güneşli olacağı duyurulan bir hafta sonu yağmurlu geçerse bu, meteorolojik tahminlerin matematiksel kanıtlamalarla aynı kesinlikte olmaması demektir.*

de, nemle yüklü sıcak hava, soğuk hava ile karşılaştığından soğur. Bulutlar ve belki de yağmur oluşur.

Sıcak havanın, yükselme eğilimi sonucu yükseldikçe soğuması ile de bulut oluşabilir.

Hava hareketleri, basınç farkları ile yönetilir. Basıncın normalden düşük olduğu yerlere alçak basınç bölgesi (dépression), basıncın normalden yüksek olduğu yerlere yüksek basınç bölgesi (anticyclone) denir.

Sağduyumuzla düşündüğümüzün tersine en azından bizim yaşadığımız enlemlerde hava kitlelerinin yer değiştirmesi yüksek basınçlardan alçak basınçlara doğru olmaz. Bu basit hareket, yalnızca ekvator yakınlarında doğrudur. Gerçekte, Dünya'nın dönmelerini de göz önüne almak gerekir. Bu durumda, Coriolis kuvveti denen ek bir kuvvet öbür kuvvetlerle birlikte etki eder ve havayı eşbasınç çizgilerini duyarlılıkla izleyerek, alçak basınç merkezleri çevresinde döndürür. Kuzey yarıkürede, rüzgâr alçak basınç merkezlerinin çevresinde saat yelkovanının ters yönünde, güney yarıkürede ise saat yelkovanı yönünde döner.

### METEOROLOJİK TAHMİN MODELLERİ

Meteoroloji uzmanları tahminlerini hazırlamak için, son derece karmaşık olan gerçek atmosfer üzerinde değil, atmosferin basitleştirilmiş bir modeli üzerinde çalışırlar. Model üzerinde yapılan hesaplamalar, başlıca yüksek basınç ve alçak basınç merkezlerinin konumlarının ve gelişimlerinin belirlenmesini sağlar. Zorunlu dev hesaplamaları yapabilecek tahmin merkezlerinin sayısı 10'dan azdır.

Tahmin uzmanları, böyle sağlanan verilerden yola çıkarak, herkesin gazetede okuyabileceği, rad-

yoda dinleyebileceği ya da televizyonda görebileceği hava tahmin bültenlerini hazırlarlar. Az çok da gözleme dayanan deneyimleriyle, ülke ya da bölge gibi daha küçük ölçekler için, daha ayrıntılı bilgiler üretirler. Ancak bu matematiksel modeller, yorumlanması gereken son derece kaba bir bilgi sağlarlar. Örneğin, yerel coğrafik özelliklerin sonucu olarak, Fransa'nın dar Rhone vadisinde esen karayel rüzgârı matematiksel modellerle tahmin edilemez. Ama tahmin uzmanı, matematiksel modelin bu karayel rüzgârını oluşturabilecek bir basınç dağılımına yöneldiğini saptadığı zaman, karayeli bildirecektir.

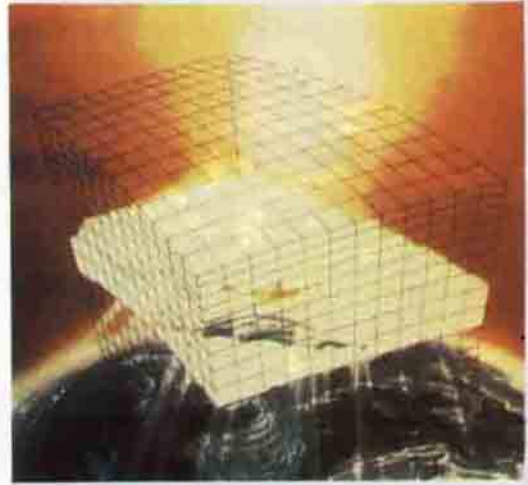
Tahmin uzmanlarının, hiçbir zaman çok kısa uzaklıklar ölçeğine inemediklerini de bilmemiz gerekir. Bir bölgede öğleden sonranın ilk saatlerinde fırtına olacağını tahmin edebilirler, ama fırtınanın tam saatini ve tam yerini kestiremezler. Kimi zaman, yerel koşullarla ilgili alışkanlıklar bu tahminin geliştirilmesini sağlarlar: Kimi dağ eğimlerinin daha ıslak olduğu bilinmektedir. Denizlerdeki gelgitlere eşlik eden kimi kıyı esintileri, yerel yağışlara ya da tersine, günün belli saatlerindeki yerel hava açmalarına neden olurlar.

Kuşkusuz tahminin niteliği, matematiksel modellerin sağladığı sonuçlara önemle bağlıdır. Yine de her zaman, hesaplanan durum ile gerçek durum arasında farklar bulunur. Bu yanlışlığın sonuçları ise çeşitlidir.

Gözlemlediğimiz hava durumu, bölgedeki hava hareketlerinin sonucudur. Bu hareketler, yüksek ve alçak basınç bölgelerinin konumları ve şiddetleri ile belirlenir. Hava, yalnızca, dolaylı olarak yüksek ve alçak basınç bölgelerine bağlıdır. Bu basınç bölgelerinin az farklı birleşimleri, eşdeğer rüzgâr düzenlerine ve dolayısıyla, aynı meteorolojik durumlara neden olabilirler. Kimi konum yanlışlarının sonuçları önemsiz olup, kimileri ise önemli olabilirler. Kimi birleşimlerde tahminler kolay, kimilerinde ise belirsiz olabilirler. Örneğin, bir Fransız meteoroloji tahmin uzmanının, soğuk kutup havasını Fransa'ya taşıyan Kuzey rüzgârının oluştuğunu biliyorsa, yüksek ve sıcak basınç merkezlerinin tam konumları ne olursa olsun, "güzel hava" tahmininde bulunmayaacağı kesindir. Buna karşılık, yüksek ve alçak basınç bölgelerinin küçük değişimlerinin, bu rüzgâr düzenini dengeleyerek, bulut ve yağış getirecek olan nem yüklü batı rüzgârını oluşturup oluşturmayacağı ise belirsizdir.

Yüksek ve alçak basınç bölgelerinin tahmin edilmesini sağlamak için, atmosferin matematiksel modelinin kurulması belli anlaşmalara göre yapılır.

Modelci, atmosferi, içlerindeki şartların (sıcaklık, basınç, nem, rüzgâr hızı, v.b.) homojen olduğu kabul edilen küçük kutulara böler. Ayrıca, bu parametrelerin, örneğin her yarım saatte küçük atlamalarla değiştiğini kabul eder; bir kutuda egemen olan şartların komşu kutulardaki şartları nasıl değiştirdi-



*Meteoroloji uzmanları, atmosferi kenarları 100 km kadar olan "kutular" a bölerler ve meteorolojik şartların bu kutuların içinde sabit olduklarını kabul ederler.*

ğini gözönünde tutarak, atmosferin her zaman aralığı sonundaki gelişimini hesaplar.

Gerçekçi olması için, böyle bir modelin, çok büyük sayıda etkeni gözönünde tutması gerekir. Havanın yükselmesine ve bu nedenle soğumasına yol açan engebeleri, güneş ışığını az ya da çok ölçüde yansıtan toprağın doğasını, günün çeşitli saatlerinin işlevi olarak değişen toprağın sıcaklığını, buharlaşan su miktarını, dolayısıyla da havanın nemini düzenleyen toprağın nemini hesaba katmalıdır.

Model, gerçeğe yakın olması istendiği ölçüde karmaşıklaşır. Bu modelin gelişimi, ancak kutuların sayısı azaltılarak sınırlandırılabilen çok büyük sayıda hesaplama gerektirir. Böylece, dünyanın Cray 2 gibi en büyük bilgisayarlarını kullanarak bile, kenarları 100 km'den küçük olan kutulara inmek pek de mümkün değildir. Kutulardaki atmosfer ise, üstüste on beş dolayında katmana bölünmüştür (yere yakın olan katmanlar, yüksekliklere göre daha incedir). Bu şartlarda bile, büyük bilgisayarların hesaplama süreleri birkaç saat basamağında olmaktadır: Günde yarımşar saatlik tahmin süreleri ile, beş günlük

#### HER GÜN KULLANILAN BAŞLICA VERİLER

- 15.000 yüzey gözlemi
- Uçakla yapılan 3.000 gözlem
- Uydu ile yapılan 1.500 rüzgâr ölçümü
- Uydu ile yapılan 3.000 sıcaklık ölçümü
- Radyo yoklaması ile yapılan 1.500 ölçüm
- 800 pilot balon
- 200 şamandra gözlemi



bir tahmin için, iki buçuk saat harcanması gerekmektedir.

### HATA KAYNAKLARI

Modelin hiçbir zaman, gerçekte olup bitenin kusursuz olarak tam bir anlatımını (100 km boyutlarında bile) sağlamayacağı deneyimle kanıtlanmıştır. Üç ya da dört günlük zaman ölçeğinde, farklar bile ara sıra önemli olabilir. Çeşitli hata kaynakları şöyle sıralanabilir:

1. Kusursuz olmayan modelin yanlışlığı,
2. Başlangıç anında atmosferi belirleyen ve hesapların dayandığı verilerin yanlışlığı,
3. Hesapların yapılmasında kullanılan kutulann çok büyük boyutlarının, önemli yerel olayları hesaba katmayı engellemesi,
4. Modelin, tüm gezegeni kapsamadığı olgusu. Oysa, herhangi bir yerdeki hava durumu, atmosferin tüm Dünya üzerindeki koşullarına bağlıdır. Örneğin, Fransa'daki dört günlük tahminler, yalnız tüm Kuzey yarıküreyi kapsayan hesaplamalarla yapılır.

Pratikte, böyle modellerle yapılan tahminler, hafta sonuna erişemezler. Oldukça da sık olarak, çok daha kısa bir süre sonunda bile, tahminler gerçek hava durumundan çok uzaklaşabilirler. Neden?

Başlıca hata kaynağını, başlangıç durumunu belirlemek için bilgisayara girilen veriler oluşturur. Tüm Dünya'ya (ya da tüm yarıküreye) yayılmış, her birinin meteorolojik durumu, günde iki kez ölçülen yarım düzine parametre ile belirlenen yüz bin dolayında kutuyu tanımak gerekir. Bu verilerin düzenli olarak toplanmadığı açıktır. Her gün kullanılan verilerin çizelgesi, tahminlerin çok yanılacağını gösterir. Daha da kötüsü, gelişmiş ülkeler üzerindeki verilerin oldukça çok sayıda olmalarına karşın, gelişme-

*Dünya'nın Meteoroloji uydusundan alınmış bir görüntüsü. Renkler, uydunun sıcaklıklarla ilgili bilgi sağlayan kızılötesi kanalı ile belirlenmiştir (sarı = sıcak; yeşil, mavi, pembe, beyaz = soğuk). Bu klişeler, her yarım saatte bir görüntü verdiklerinden, bulut sistemlerinin ve bu sistemlerin gelişiminin incelenmesine imkân sağlar.*

miş ülkeler için veriler azdır. Özellikle hava yolları ya da düzenli olarak kullanılan deniz yolları üzerinde bulunmayan bölgeler için ise hemen hemen hiç veri yoktur.

Uzmanlar, her hesaplama için, başlangıç şartlarını yeni yapılmış ölçümlere dayanarak yeniden tanımlamak yerine, altı ya da on saat önce hesaplanmış olan durumdan başlamayı yeğlerler ve verileri kendilerine iletilen yeni ölçüm sonuçlarını kullanarak değiştirmekle yetinirler.

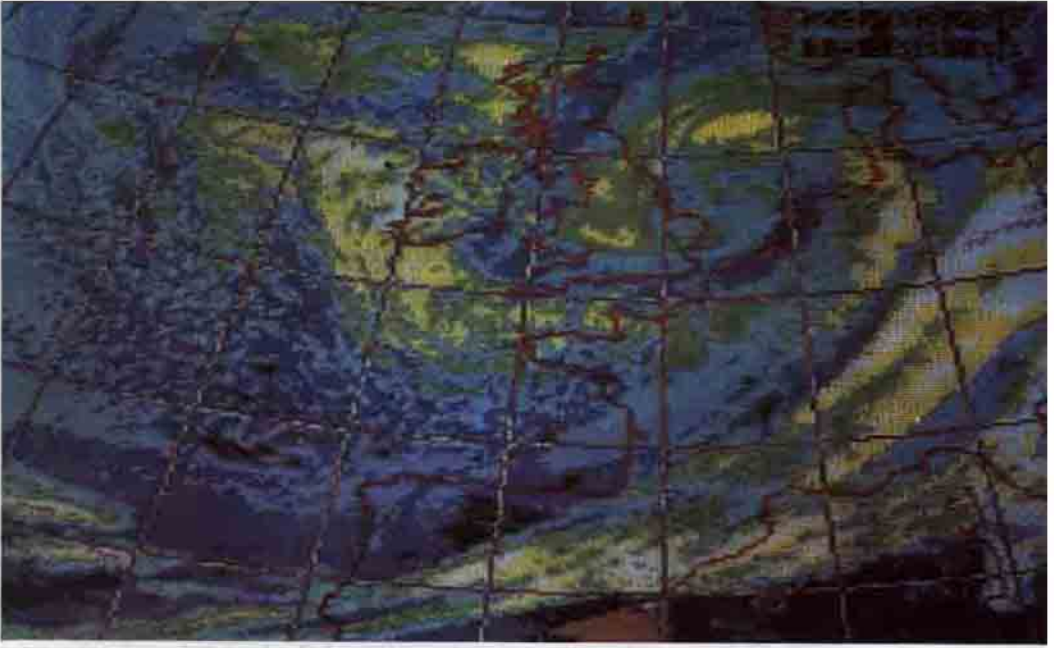
Bu değiştirme, karmaşık bir süreçtir. Bir değeri öbürünün yerine kullanmak yeterli değildir. Her fizik ölçümü gibi, meteorolojik ölçümlerde de hata bulunur. Yaklaşık olarak tam hesaplanmış bir değeri, tamamen yanlış ölçülmüş bir değer ile değiştirmekten kaçınmak gerekir. Böylece, ölçülmüş değerlerin yaklaşık % 5'i gözden çıkarılmalıdır.

Kuşkusuz, yanlış ölçümlerin elemesi, bilgisayar ile otomatik olarak yapılmalıdır. Arasına bilgisayarcı olağandışı olarak değerlendirildiği için elenen kimi değerlerin gerçek olduğu ve önemi daha sonra ortaya çıkacak yeni bir olayı (örneğin bir kasırgayı) bildirdiği de olur.

Uzmanlar için tahminlerin uzun vadede iyileştirilmesi ne yazık ki çok pahalı olan birkaç yoldan geçer:

1. Meteorolojik ölçümlerin çoğaltılması, keskinliklerinin artırılması ve yerküre üzerine iyi dağılmış verilerin elde edilmesi.
2. Tüm Dünya'yı kapsayan hesaplara geçilmesi.
3. Üzerinde hesapların yapıldığı kutulann boyutlarının küçültülmesi. 100 km kenarlı bir küp boyutunda meteorolojik koşulların her yerde aynı olduğunu söylemek, kuşkusuz aşırı basitleştirme değildir. Bu, daha küçük boyutlardaki olayların hesaba katılmasını engeller. Bu modellerde, örneğin Alp'ler, gerçek bir sıradağ yerine, olduğundan daha küçük yükseklikte, bir yayla olarak görünür.

Ne yazık ki, kutulann boyutlarının küçültülmesinin fiyatı çok yüksektir. Kutuların her bir boyutunu yarıya indirmek, kutulann sayısını 8 (2'nin küpü) katına çıkarmaya eşdeğerdir. Bu durumda, ardışık ikidurum (iki yeni kutudaki hava durumu) arasındaki zaman aralığının da ikiye bölünmesi gerekir. Böylece hesabı yapılacak farklı anlardaki ve farklı kutu-



lardaki hava durumu sayısı öncekinin 16 katına çıkmış olur.

Oysa meteoroloji uzmanları, çok büyük bilgisayarlar kullandıklarından, hesabi yapılacak durum sayısını artıramazlar. Hesaplamaya daha fazla zaman harcayan bir tahmin modeli de, gerçek durumdan uzaklaşabilir.

Şimdi, başka çağdaş yollar da kullanılmaktadır: Örneğin, Dünya ölçeğinde büyük kutularla ve yerleşim merkezleri üzerinde ise daha sıkı örgülerle hesaplar yapmak bunlardan biridir. Büyük kutularla yapılan hesap, yerküre ölçeğinde başlıca yüksek ve alçak basınç merkezlerinin yerleşimleri gibi büyük ölçeklerdeki olayların anlatımını sağlar. İnce örgü hesabı ise, hava durumu tahmin edilecek bölge için daha ayrıntılı bir bilgi verir. Ama bu yöntem, iki modelin birbirine uydurulması sırasında önemli sorunlar çıkarabilir.

### MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Modelleri iyileştirmek imkânı vardır. Ama modeller üzerindeki ilerlemeler (modellerin karmaşıklığının artması olarak ortaya çıkar), öbür etkenler üzerindeki ilerlemelere bağlıdır. Kutuların boyutlarının küçültülmesi, o boyutlara dek gözden kaçmış ve ölçülen ortalama değerlerde gizli kalmış olan yeni olayların hesaba katılmasını gerektirir.

Hava durumu, giderek yeni imkânlar sağlandıkça, uzun vadede tam doğru olarak tahmin edilebilecek midir? Ne yazık ki, cevap olumsuzdur. Kusursuz bir model bile, uzun vadede hiçbir zaman kusursuz bir tahmin veremeyecektir.

*Meteoroloji ekranı üzerindeki, uydu ile alınan bu kırmızı çizgi görüntü, Batı Avrupa üzerindeki sıcaklık alanlarının çözülmesini gösteriyor.*

Bu durum, hesabın başlangıç şartlarını belirleyen meteorolojik ölçümlerdeki kaçınılmaz hatalara bağlıdır. Kusursuz olduğu varsayılan bir modele, az farklı ama deneysel hatalar çerçevesinde gerçek başlangıç şartları ile uyumlu iki başlangıç şartları kümesi girdirelim ve modeli işletelim.

Başlangıçta herşey iyi gider. İki hesaplama arasındaki farklar minimumdur. Ama bu durum yavaş yavaş bozulur. On gün kadar bir süre sonunda iki tahmin birbirinden tümüyle farklı olur. Böylece, tahminin artık hiçbir anlamı kalmayacağından, model böyle uzun vadeli tahminler için kullanılamaz.

Bugün kullanılan biçimleri ile, meteorolojik modeller yönteminin doğal kuramsal bir sınırı vardır ve bu sınırın aşılması ise imkânsız görünmektedir.

**Science et Avenir'den çev.: Dr. Hanaslı GÜR**

*Bilgi sermayemdir.  
ilim silahımdır.  
Sabır elbisem,  
Kanâat ganimetimdir.*