



delerden hiçbiri işe yaramamıştı. Derken sıcak bir temmuz günü soğuk kutunun sıcaklığının normaldeki kadar soğuk olmadığını farketti ve kutunun sıcaklığını düşürmek için, kutuya kuru buz kütlesi yerleştirdi. Birkaç dakika içinde soğuk bulutta buz kristalleri görüldü. Bu işe yaramıştı çünkü su damlacıkları -40 °C'nin altındaki bir sıcaklığa kadar soğutulduklarında, ortamda buz kristalleri olsa da olmasa da donarlar. Böylece Schaefer'in buluşu hava modifikasyonu çalışmaları için bir başlangıç oldu.

Hava modifikasyonlarının günümüzdeki uygulama alanlarına aşağı-

daki örnekler verilebilir: Sisin dağıtılması, buharlaştırılması ya da konvektif sirkülasyonun sağlanması için, ateş veya ısı kaynaklarının kullanılması, uçak ve helikopterle su püskürtülmesi, jet motorları ya da suni rüzgar üreten diğer kaynaklar gerekmektedir. Dolu önleme işleminde de, buluta uygulanan tohumlama işlemi ile mevcut sıvı su, buz çekirdeği üzerinde dağıtılarak dolu tanesinin büyümesi engellenebilir. Şimşegın bastırılması ise, temelde şimşegın neden olan pozitif ve negatif kutuplaşmayı önleyici maddelerin bulutlara uygulanmasıyla gerçekleştirilir.

Tüm hava modifikasyonlarının uygulanmasında, meteorolojik araştırmaların büyük önemi vardır. Hava modifikasyonlarına uygun yer, zaman ve bulut seçimi bu araştırmaların sonuçlarına göre yapılır. Uygulanmasına karar verildiği takdirde tohumlama maddesinin miktarı ve bulutun hangi bölgesine uygulanacağı belirlenir. Daha sonra deneme bölgesinde, deneme boyunca her gün yağış artırım potansiyelini tahmin etmek, bu amaçla buluta tohumlamanın uygulanıp uygulanmayacağına karar vermek ve sonuçta denemenin fiziksel olarak değerlendiril-

mesini yapmak üzere meteorolojik ölçümlere geçilir. Hava modifikasyonu işlemleri, bulut içerisine dışarıdan müdahale etmek şeklinde açıklanabilecek "bulut tohumlaması" yöntemiyle yapılır. Bu amaçla, bulut içi mikrofiziksel işlemlerin modifikasyonunda buluta yoğunlaşma çekirdekleri veya buz çekirdeği görevini üstlenecek tohumlama maddeleri katılabilir. Tohumlamada kullanılan bir diğer yöntem ise bulut sistem termodinamiğinin modifikasyonuna ilişkindir; bu yöntemde, buluta doğrudan doğruya uygun ısı verilerek bulutun enerji dengesinin değişimi sağlanır.

Tohumlama işleminde, bulutun sıcak veya soğuk olmasına göre farklı uygulamalar söz konusudur. Sıcak bulutlara tohumlama; sıcak yağmur işleminin basamaklarını izleyerek damlacıkların büyümesi, tuz parçacıklarının yoğunlaşma çekirdekleri olarak atılması veya uçaktan direkt olarak buluta su püskürtülmesiyle gerçekleştirilir. Sonuçta higroskopik yoğunlaşma çekirdeği sayısı artarken, su püskürtülmesiyle de farklı büyüklüklerde bir dizi damlacık oluşur. Soğuk bulutların tohumlanmasında gümüş iyodür (AgI) veya kuru buz (katı CO₂) kullanılır. Bu

Bulut Tohumlanması

Mehmet Karaca
(TÜ Maden Fakültesi)

1980'lere geldiğinde insanın uygun koşullar altında yağmur üretimi konusunda az fakat ekonomik açıdan önemli sayılabilecek bir kontrol elde edebileceği anlaşıldı ve buna bağlı olarak bulut tohumlanması deneyleri ivme kazandı. Bu yöntemle dolunun bastırılması, sisin dağıtılması konusunda başarı elde edildiği bildirilmiştir.

Tohumlama; uçakla bulut içine girmenin tehlikeli olduğu durumlarda, bulut tabanı altından veya yeryüzeyinden püskürtme yoluyla ya da bir tür karışımı bulut içerisine patlayıcı ile birlikte göndererek de gerçekleştirilebilir. Türkiye'de kullanılan "yağmur bombası" kav-

ramı, bulutta düşey hareketlerin fazla olduğu ve bulut içerisine girmenin riskli olduğu durumlarda başvurulan ve "patlatma" adı verilen bulut tohumlama yönteminden türemiştir. Bu kavramın bulut tohumlama yönteminin yerine kullanılması yanlıştır; ayrıca bilimsel de değildir. Püskürtme ve patlatma yalnızca bulut tohumlama yöntemleridir.

Yaygın olarak kabul edilmiş bir başka yanlış bilgi ise, bulut tohumlamanın, tohumlama yapılan yerlere bol yağış getireceği ve hatta sellere yol açabileceği; diğer yerlerde ise kuraklıklara neden olacağı yolundadır.

Bergeron-Findeisen yağış teorisine dayanılarak 1946'da başlatılan bulut tohumlama işlemleri, güvenilirlik düzeylerinin istatistiksel verilerle açıklanabilmesi için birçok yerde, uzun bir zaman periyodunda (yaklaşık 5 yıl) uygulanmış ve bu büyük ölçekli uygulamalar, başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Dünyanın çeşitli yerlerindeki hedef alanlarda yapılan bu deneyler sonucunda, istatistiksel olarak belirli yağış artışları sağlanamazken; bazı yerlerde yağış azalmaları saptanmıştır. Büyük ölçekli çalışmalarda başarılı olarak değerlendirilebilecek tek sonuç; İsrail'de uygulanan bağımsız deneylerin 1961-1967 arasındaki ilk bölümünde hedef alanlarda %15'lik, 1969-1975 arasındaki ikinci bölümünde ise %13'lük bir yağış artışı gerçekleşmiş olmasıdır. Bu artışların bütünüyle rastlantısal olma olasılıkları ise %0.9 ve %2.8 şeklinde belirtilmiştir.

Bu konuda özellikle gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmalar, genelde bulutun çok karmaşık olan yapısının ve yağmurun oluşum mekanizmalarının araştırılması yönündedir. Bulguların güvenilirliğinden emin olabilmek için öncelikle elde edilen yağıştaki değişimi iklim olaylarından arındırabilmek, bunun için de en az 5 yıllık istatistiklere gerek vardır.