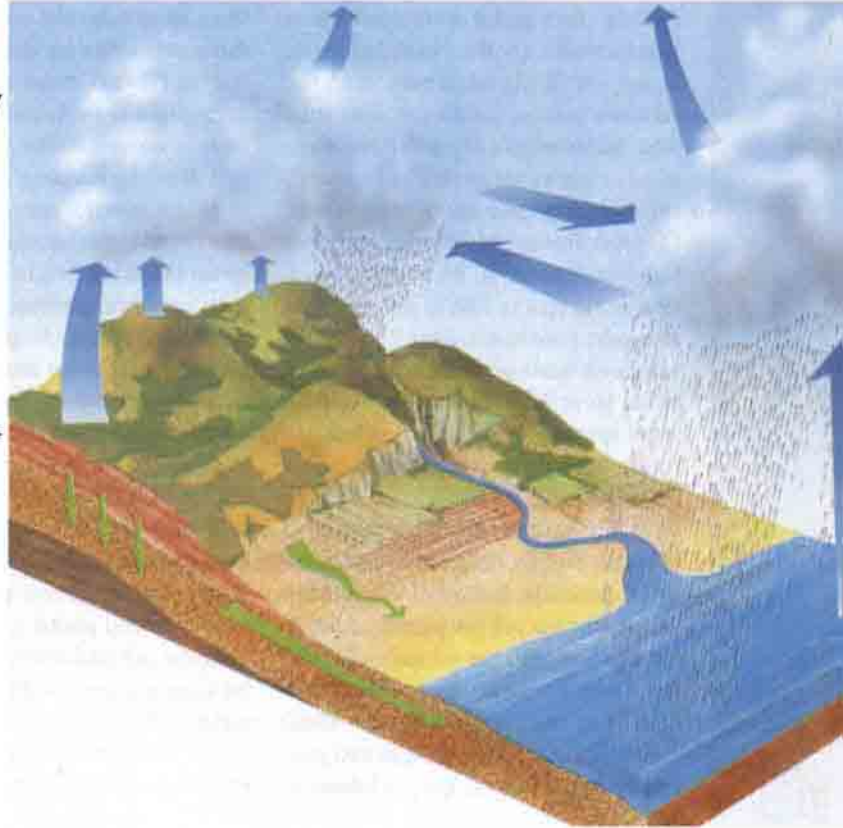


Doğa Olayları Değiştirilebilir mi ?

Kuraklık Konusunda Arayışlar Sürüyor...

Yağmur suzluk!

Yağmur, dolu, sis, şimşek, gökgürültüsü, fırtına... Bunlar, yaşamı doğrudan etkileyen hava olaylarından yalnızca birkaçı. Bugüne kadar doğa olayları karşısında yapabildiği tek şey, sonuçlarını değerlendirmek ya da sonuçlarına katlanmak olan insan; günümüzde bunlara müdahale etme olanağını araştırıyor. Konu, beraberinde getirdiği sorunların yanı sıra görüş farklılıkları ve tartışmalarla gündemdeki yerini koruyor. Hava olaylarının belki de üzerinde en çok durulan yağışlardır. Yağış, birçok parametreye bağlı olarak gerçekleşir ve ancak bilimsel yaklaşımla açıklanabilir. Buna bağlı olarak, yağış artırımının sözkonusu olduğu durumlarda ele alınması gereken parametreler de yine ancak bilimsel kaynaklı olanlardır.



HAVA olaylarına müdahale ederek kendini birtakım sorunlardan kurtarabileceğini düşünen insan, bu konunun geleceğinden de umutlu. İyi bir gözlemlerle "herkesin gördüğünü görerek, ancak daha önce kimsenin düşünmemiş olduğunu düşünerek" buluşlar zincirine arka arkaya halkalar ekleyen bilimadamları, hava olaylarına müdahale etme

yollarını da araştırmaktadırlar. Yağış miktarının artırılması, sisin dağıtılması, dolu ve şimşegin önlenmesi ya da zayıflatılması, şiddetli fırtınaların ve tropik siklonların zayıflatılması, özellikle son 25 yıldır bu konudaki bilimsel araştırmaların odağı haline gelmiştir. Hava olaylarının değiştirilmesi şeklinde açıklanabilecek Hava Modifikasyonu çalışmalarının ilk basamağı, hava olaylarının nasıl gerçekleştiğinin incelenmesidir.

Yoğunlaşma ve Bulut Oluşumu

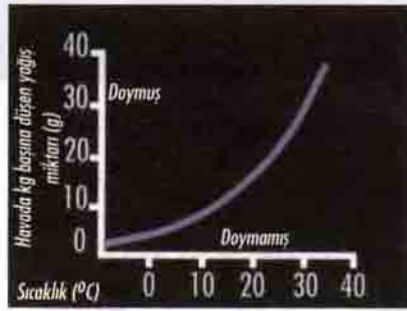
Yağışlar, atmosferde yoğunlaşmaya bağlı olarak görülmektedir. Yoğunlaşma ise atmosferde su buharının faz değiştirmesi olup, temelde havanın hacim, sıcaklık, basınç ve nem parametrelerindeki değişim ile ilgilidir. Havada bulunan katı, sıvı partiküller, iyonlar ve bileşikler gibi yabancı maddeler, su buharının yoğunlaşmasında önemli derecede etkilidirler. "Yoğunlaşma çekirdekleri" adı verilen bu maddeler, nemli bir ortamda su buharını absorbe ederler. Bunlara "higroskopik yoğunlaşma çekirdekleri" adı verilir. Nemli bir ortamda yoğunlaşmanın sağlanması için fiziksel olarak soğuma gerekmektedir. Bu da atmosferde "temas", "karışma" veya "adyabatik yükselme" ile gerçekleşir.

Temas ile soğuma, sıcak ve nemli havanın soğuk bir yeryüzeyi üzerinden geçmesiyle ortaya çıkar. Açık bir kış ya da bahar gecesinde kuvvetli radyasyon kaybı, yüzeyi hızla soğutur ve bu yüzey soğuması havanın nem miktarına, soğuyan hava tabakasının kalınlığına bağlı olarak çığ, kırağı, sis veya çisenti gibi hava olaylarına neden olur.

Karışma ile soğuma, sıcaklık ve nem miktarları farklı iki hava parselinin birbirleriyle yatay ya da dikey doğrultuda karışması ile gerçekleşir. Burada nem miktarları, yoğunlaşmanın sağlanması için önemli bir faktördür.

Adyabatik (çevre ile hiçbir ısı alışverişi olmadan) yükselme ile soğuma olayında ise, havanın, üst seviyelerde sahip olduğu düşük basınç nedeniyle genişleyerek soğuması söz konusudur. Bu soğuma nedeniyle başlangıçtaki nem miktarı doyma sınırına erişir ve yoğunlaşma gerçekleşir.

Yoğunlaşma çekirdekleri ve sudan oluşan bir damlacık, atmosferdeki nisbi nemin %75'i aşmasıyla su buharını absorbe eder. Sonuçta hacimsel olarak büyüyen damlacıklar -5 °C'nin altındaki sıcaklıklarda donarlar. Donan buz kristalleri, su damlacıkları ile birlikte bulutu meydana getirirler.



Şekil 1

Suyun Atmosferdeki Dönüşümü

Suyun yoğunlaşması fiziksel kurallara göre gerçekleşir (Şekil 1).

Belirli bir sıcaklıktaki havanın içerebildiği su buharı miktarı da sınırlıdır. Su buharıyla maksimum doymuşluğa ulaşmış hava soğutulursa, su buharının fazlası yoğunlaşarak suya dönüşür. Bu ise ancak, ortamda su damlacıklarının üzerinde toplanabilecekleri katı partiküller bulunduğu zamanlarda mümkündür.

Yoğunlaşma, gerekli yükseklikteki havanın soğuyabildiği durumlarda kolaylıkla gerçekleşir.

Yoğunlaşmada 4 temel mekanizma rol oynar:

- Birincisinde sıcak hava soğuk havanın üzerine çıkar (Şekil 2).

- İkincisinde konveksiyon söz konusudur (Şekil 3). Toprakta güneş ışınları etkisiyle ısınan hava kabarcıkları, daha sıcak ve daha az yoğun oldukları için yükselirler.

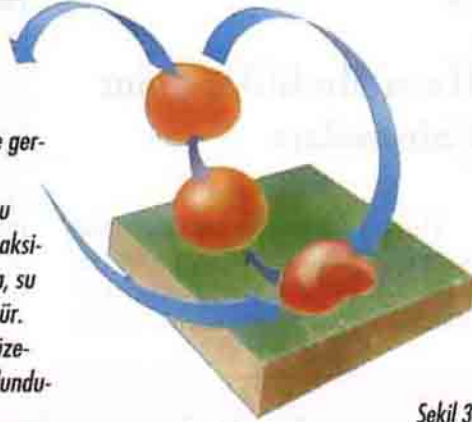
- Üçüncüsünde yüksek basınçlı iki hava kütlesi bir alçak basınç merkezi üzerinde birbirlerine yaklaşır ve yükselirler (Şekil 4).

- Dördüncüsü ise meteorolojik bir olaydır. Hareket halindeki hava kütlesi bir dağa çarpınca, eğer yeterince kinetik enerjiye sahipse, yükselir (Şekil 5). Bu yoğunlaşma yağış ile sonuçlanır. Dağın diğer yamacında alçalan hava daha sıcak ve daha kurudur.

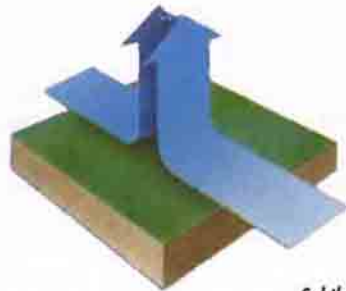
Şekil 6'da su döngüsü, değişik kaynaklar ele alınarak gösterilmiştir. Dünyadaki suyun %97'si okyanuslarda, %0.035'u ise atmosferdedir.



Şekil 2



Şekil 3



Şekil 4



Şekil 5

Yağış Oluşumu

Su damlacıkları veya buz kristallerinin yeryüzeyine ulaşabilmesi için çaplarının en az 1 mm olması gerekmektedir. Bu büyüklük, damlacık veya kristalin buharlaşmasını engeller ve ağırlığı nedeniyle yeryüzüne doğru hareketi sırasında belli bir hıza ulaşmasını sağlar. Gerekli büyüklüğe ulaşmada yoğunlaşma çekirdeklerinin su buharı absorptasyonu yeterli değildir. Bu noktada farklı oluşum teorileri mevcuttur:

Çarpışma-Birleşme Teorisi

Yoğunlaşma çekirdekleri üzerine absorptlanan su buharının yoğunlaşması ile damlacıklar büyür. Böylece damlacığın diğer damlacıklarla çarpışma olanağı artar. Bazı damlacıklar kısa sürede hızla büyüyebilirler. Küçük damlacıkların toplanmasıyla daha iri damlacıklar oluşur. Böylece kesit alanı ve düşüş hızında artış olur. Düşmeye başlayan bir damla gittikçe büyüyeceğinden, daha yüksek düşme hızına sahip olacaktır. Damlalar, bulutu terkedecek boyuta erişince de yağış olarak yeryüzüne

düşerler. Ancak bulut altındaki ortamın özelliklerine bağlı olarak bulutu terkeden her damla yağış oluşturmayabilir.

Tor Bergeron Teorisi

Sıcaklığı 0 °C'nin altındaki bulutlarda damlacıklar aerosoller üzerinde toplanarak buz kristallerini; buz kristalleri de birbirine yapışarak karı oluştururlar. Kar, doğrudan yere düşebildiği gibi düşerken eriyebilir de. Sıvı su miktarı yüksek olan konvektif bulutlarda buz kristallerinin büyümesi, çoğunlukla iri bulut damlacıklarının yapışması ile gerçekleşir. Bu yapışma buzlanmaya, buzlanma işlemi ise sıkışmaya yol açar ve önce yumuşak dolu (grapel), daha sonra da dolu'yu oluşturur.

Hava Modifikasyonu Çalışmaları

Hava modifikasyonu çalışmalarındaki ilk bilimsel gelişme 1946 yılında Vincent J. Schaefer'in buluşudur. Schaefer, soğuk buluta düşen



kuru buzun, buz kristallerinin oluşumuna olanak sağladığını gözlemlemiştir. Araştırmacı, gerçekte soğuk bulutta donmamış damlacıkların buz kristallerine dönüşümünü başlatacak birşeyler bulmaya çalışıyordu; ancak kuru buz uygulamasıyla bu sonuca varacağını tasarlamamıştı. Haftalar boyunca, içinde donmamış damlacıklar bulunan bir bulutu, buz kristalleri içeren buluta dönüştürmek üzere uygulanabilecek bir madde bulmak için uğraştı. Bu amaçla "soğuk kutu" adı verilen, siyah kaplı bir ev dondurucusu kullanıldı. Buluta çeşitli maddeleri serpererek denemeler yapmış ama mad-

Bulut Modifikasyonu ve Gelişimi

Selahattin Incecik
İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi

İklim değişikliklerinin çeşitli boyutlarda yaşandığı dünyamızın, özellikle batı enlemlerinde yer alan bölgelerinde, yağış eksikliğinin sonucu olarak su kaynaklarında büyük yetersizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu durum son yıllarda Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün gündeminde yer almış ve WMO, hava modifikasyon programını resmen kabul etmiştir.

Atmosferin yağış oluşturmada her zaman verimli olmaması; mevcut su kaynaklarını artırmaya yönelik olan "Yağış Artırım Projeleri"nin önem kazanmasına yol açmıştır. Bu projeler, özellikle orta enlemlerde yer alan bölgeler için büyük olasılıkla yakın gele-

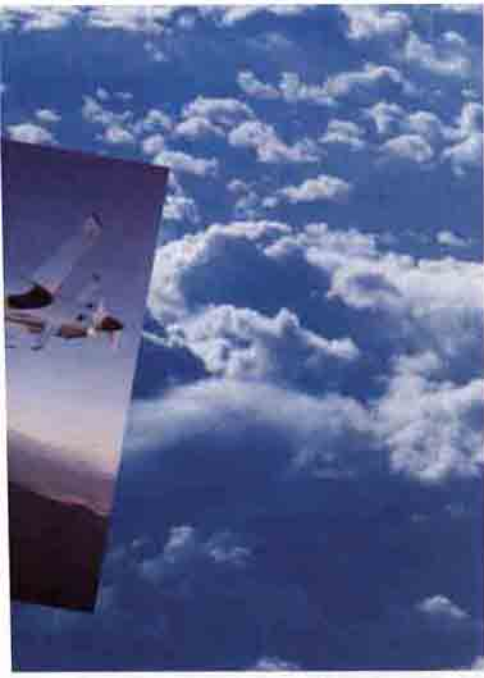
ceğin vazgeçilmez teknolojik uygulamalarından biri olacaktır. Son yıllarda ülkemizin özellikle kuzey ve batı bölgelerinde önemli derecede yağış eksikliği yaşanmaktadır. Bu nedenle bulutlardan daha fazla yağış almaya yönelik çalışmalar, diğer bir deyişle "yapay yağmur projeleri" büyük ilgi görmektedir. Bu çalışmalara; yağışların oluşum mekanizmasının 1933 yılında Norveç'li meteorolog Tor Bergeron tarafından açıklanmasının ardından başlanmıştır. 1946 yılında New York General Electric laboratuvarlarında yapılan çalışmalar ise bu konunun temel taşlarını oluşturmuştur.

Tohumlamada, yer jeneratörlerinin gümüş iyodür gibi kimyasalları bulut içine enjekte etmek için uygun sistemler oldukları kabul edilmektedir.

Bir çözeltilde yakılarak oluşturulan gümüş iyodür (AgI) hüzmeleri, bulut içerisinde ajan görevini yapan aktif çekirdekleri meydana getirmektedirler. Örneğin 1gr gümüş iyodür'ün -20 °C'de 10-15 adet aktif çekirdek sağlayabildiği belirlenmiştir. Bu tür projelerin verimliliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Uygulama bölgesi olarak sahil kesimlerinde alınan %5-30'luk verim iç bölgelerdekine göre daha yüksektir.

Atmosferik nem özelliklerinin farklı olması, topografik özellikler, bulut tipleri, bulut tohumlama karan için ele alınan ölçütler ve kullanılan tohumlama malzemeleri bu verim farkının nedenleri arasındadır.

Dünya üzerinde otuzu aşkın ülkede çeşitli amaçlarla yıllardır uygulanan bu teknik, aynı zamanda zirai alanlarda büyük ekonomik kayıplara yol açan dolu olayının önlenmesinde de kullanılmaktadır.



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 günü-müzdeki 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 denenimin 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 başvuru 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.



maddeler bulut içinde, buz çekirdeği gibi davranırlar. -3 °C'deki ve daha soğuk bulutlar, kuru buz uygulanması ile yağışlandırılabilirler. Daha sıcak bulutlarda kuru buz iyi sonuç vermemektedir.

Ortamda hiç bulut yokken, bulut oluşturmak için tohumlama yapılmaz. Bu işlem yağışa geçmekte gecikmiş ya da normal şartlarda yağış veremeyecek bulutlara uygulanır.

'Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), tohumlama yöntemlerini şöyle sıralamıştır: 1.Yerden bulut içine top ya da roket ile tohumlama; 2. Bulutun alt seviyesinde yukarıya doğru olan hava akımlarının bol olduğu yerden uçakla tohumlama; 3. Bulutun üstünden tohumlama; 4. Bulut içinden -5 °C izoterminin geçtiği yükseklikten yatay olarak homojen bir şekilde uçakla tohumlama. Bu yöntemlerden sonuncusunun başarı şansı diğerlerine oranla daha yüksek, birincisinin ise en düşüktür. Tohumlama maddelerinin dağıtımı, uygulanan tohumlama yönteminin başarısında büyük önem taşımaktadır. Tohumlama maddelerinin roketle buluta bomba şeklinde gönderilip, bulut içinde belli bir yükseklikte patlatılması bir dağıtım yöntemidir. Aynı dağıtım yöntemi; uçakla bulut içerisinden ya da üstünden uçularak, tohumlama maddesini belli aralıklarla bulut içine atma şeklinde de yapılabilir. Bu yöntem, tohumlama maddesinin bulutta homojen dağılımını

engelleyebileceğinden, verimi düşürebilmektedir. Bir başka dağıtım yöntemi ise bulut içine bir ya da daha fazla uçakla 2 km yükseklik farkı ile yapılan tohumlama olup, homojen bir tohumlama sağlar.

Tohumlama maddesi olarak kullanılan gümüş iyodür'ün, uygulamada çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır: Bu maddenin bulut içine katılmasının kolay oluşu, yüksek sıcaklıkta buharlaşma ve uçuşa özelliğinden yararlanması, tohumlama işleminin homojenliğine katkıları açısından önemlidir. Işıktan etkilenmesi ve aktifliğinin kaybolması ise bir dezavantajdır. Ancak çevresinde su absorpsiyonu sonucu oluşan film tabakası, bu aktivite kaybını azaltabilmektedir. Gümüş iyodür'ün tohumlamada kilometre başına kullanılmasi gereken miktarı, kuru buzun aynı etkiyi yaratmak amacıyla kullanılmasi gereken miktarından 5 kat daha fazladır. Ayrıca 100 yılı aşan bir tohumlama sürecinin sonucunda, sularda kalıcı etkisinin olabileceği belirtilmiştir.

Hava modifikasyonu denemeleri uzun araştırmaları gerektirmektedir. Örneğin, İspanya'da gerçekleştirilmiş olan PEP projesinde bu araştırmalar, uygulamaya kadar dört aşamada kademeli olarak planlanmış ve çalışmalar yaklaşık 18 yıl sürdürüldükten sonra sona erdirilmiştir. Bu aşamalar şu şekilde sıralanabilir:

- Ön Planlama: Geliştirilmiş tohumlama teknolojisinin uygulanacağı fiziksel bir hipotezin oluşturulması;
- Fiziksel Plan: Tohumlama denemelerinde işlemin başarısının hesaplanmasında ve alanın uygunluğunun belirlenmesinde yardımcı olacak meteorolojik ölçümlerin yapılması;
- İstatistiksel Plan: Belirlenen kontrol alanı ile hedef alandaki ölçümlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve tohumlamanın uygun olup olmadığının belirlenmesi;
- Deneme Aşaması: T o h u m l a m a

hipotezinin geliştirilip, test edilmesi.

Daha sonra geçilen uygulama aşamasını takiben, istatistiksel ve fiziksel değerlendirme yapılır; veri lerin belirlenmesinin ardından da analiz sonuçları değerlendirilerek yağış artırımı konusundaki başarıyı belirleyecek bir sonuca gidilir.

İnsanlar yıllardır tohumlama ile bulut üzerinde hakimiyet kuracaklarına inanmış olmalarına rağmen, beklenen derecede kontrol şu ana kadar elde edilebilmiş değildir. Doğa, gerekli koşulları sağlamadığı sürece, istenen yere, istenen miktar ve sürede yağış sağlanması şimdilik olanaksız görülmektedir. Bunun yanında tohumlama işlemleri kuşkusuz bir çok soruyu da beraberinde getirmektedir. Daha fazla yağmurun herhangi bir zararı olur mu? Eğer zarar sözkonusuysa, bunun niteliği ne olabilir? Bu konuda tahmine dayalı bulgulardan çok bilimadamlarınca ispatlanmış verilerin belirlenmesi, hâlâ deneme aşamasında olan tohumlama çalışmalarının gelişimine olanak tanıyacaktır.

Didem Sanyel

Kaynaklar

- Dalmaz M., Kısayürek E., Barla M. C., Durukanoğlu F. Türkiye'de Tahrik Edilmiş Yağış Etüdü, İstanbul, 1976
- Luthens F. K., Tarbuck E. J. The Atmosphere: An Introduction to Meteorology, 1989
- Huston, M.W., Delwiler, A.G., Kopp, F.J., Stith J.L., Observations and Model Simulations of Transport and Precipitation Development in a Seeded Cumulus Congestus Cloud., Jour. Appl. Meteor., 30, 1991.
- Richard, A.K., Cloud Seeding: one Success in 35 Yeras., Science, 217, 1982.
- Rodda, J., Global Environmental Change & Land Surface Processes in Hydrology: The Trials & Tribulations of Modeling & Measuring., NATO ARW, Tucson, Arizona, 17-21 May 1993.
- Rosenfeld, D., Farbstein, H. Possible Influence of Desert Dust on Seedability of Clouds in Israel., Jour. Appl. Meteor., 31, 722-731, 1992
- TC Çevre Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Hava Modifikasyonu, Ankara, 1991

