

Küçük Bulut Damlacıklarının Donması

Büyük tatlı su kütleleri üzerinde, hava sıcaklığı hafifçe $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ün altına düştüğünde alışıldık şekilde buz oluşur. Yaklaşık $25\text{ }\mu\text{m}$ çapında bir saf su bulut damlacığı, hava sıcaklığı $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-40\text{ }^{\circ}\text{F}$) veya altına düşene kadar henüz spontane şekilde donmayacaktır.



Bu saf su donmasına (bazı çekirdeklerin yararlı etkisi olmadan), spontane donma veya homojen donma denir. Bu tip bir donmanın meydana gelmesinde, bir küçük buz yapısı oluşturabilmesi için veya bir buz embriyosu oluşturabilmesi için su damlacığı içerisinde yeteri kadar molekül rijit bir desende bir birine bağlanmalıdır. Bu buz embriyosu kritik bir boyuta kadar büyüdüğünde, bir çekirdek gibi görev yapar. Sonra damlacıktaki diğer moleküller kendilerini buz çekirdeğine bağlarlar ve su damlası donar.

Küçük buz embriyoları hemen donma noktası altındaki sıcaklıklarda suda meydana gelirler fakat bu sıcaklıklarda termal ajitasyonlar, bunların yapısını zayıflatacak kadar büyüktür. Bu buz embriyoları basitçe meydana gelirler ve sonra parçalanırlar. Daha düşük sıcaklıklarda, termal hareket düşer. Bu düşüş daha büyük buz embriyoları oluşumunu kolaylaştırır. Böylece, donma daha muhtemel olur.

Termal ajistasyonla embriyo parçalanmadan önce suyu donduracak kadar büyüyen bir buz embriyosu değişimleri, büyük su hacmiyle birlikte artar. Sonuç olarak $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha yüksek hava sıcaklıklarında homojen donma yoluyla yalnızca daha büyük bulut damlacıkları donacaktır.



Bununla birlikte $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha soğuk havada, en küçük bulut damlacıklarında bile bir buz embriyosunun kritik boyuta kadar büyüyeceği hemen hemen kesindir. Böylece, meydana gelen herhangi bir bulut damlacığının spontane şekilde donacağından dolayı, cirrus bulutları gibi (Şekil 1) ekstrem derecede soğuk havalarda oluşan herhangi bir bulut, neredeyse kesin olarak buz kristallerinden oluşacaktır.

BULUTLARIN TOHUMLANMASI VE YAĞIŞ

Bulut tohumlama denemelerinin temel amacı, bir çekirdek gibi faaliyet gösterecek küçük parçacıklar ile bir buluta enjeksiyon (tohumlama) yapılmasıdır. Böylece bulut parçacıkları yer yüzeyine yağış şeklinde düşecek kadar irileşecektir. Tohumla bulut üretmediği için her hangi ekim projesinde birinci unsur elbette ki bulut varlığıdır. Bununla birlikte her hangi bir bulut tohumlanmaz. Optimum sonuçlar için bu bulut soğuk olmalıdır. En azından bulutun bir kısmı (tercihan daha üst kısmı) süper soğumuş olmalıdır çünkü bulut parçacıklarının büyümesine sebep olmak için bulut tohumlaması buz-kristali sürecini (Bergeron süreci) kullanır.

Bulut tohumlama planlamasında, öncelikle çok küçük bir buz kristali/damlacık oranına sahip bulutlar bulunur. Sonra bu buz kristali damlacık oranını yaklaşık 1:100,000'e çıkaracak kadar yapay buz çekirdeği eklenir. Buna karşın tipik bir bulutta yağış üretimi için yaklaşık optimum oran olan buz çekirdeği/bulut yoğunlaşma çekirdeği doğal oranının yaklaşık 1:100,000 olduğuna dikkat edilmelidir.

Bulut tohumlamada ilk denemelerin bazıları 1940'lı yılların sonlarında Vincent Schaefer ve Irving Langmuir tarafından yürütülmüştür. Bir bulutu tohumlamak için, bir uçaktan parçalanmış kuru buz parçaları (katı karbondioksit) atmışlar. Kuru buz, $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-108\text{ }^{\circ}\text{F}$) sıcaklığına sahip olduğu için bir soğutucu madde gibi görev yapar. Son derece soğuk olduğu için kuru buz peletleri bulut içerisinde aşağı düşer ve etrafındaki havayı hızlı şekilde soğutur. Bu soğuma pelet etrafındaki havanın süper doymuş hale gelmesine neden olur.

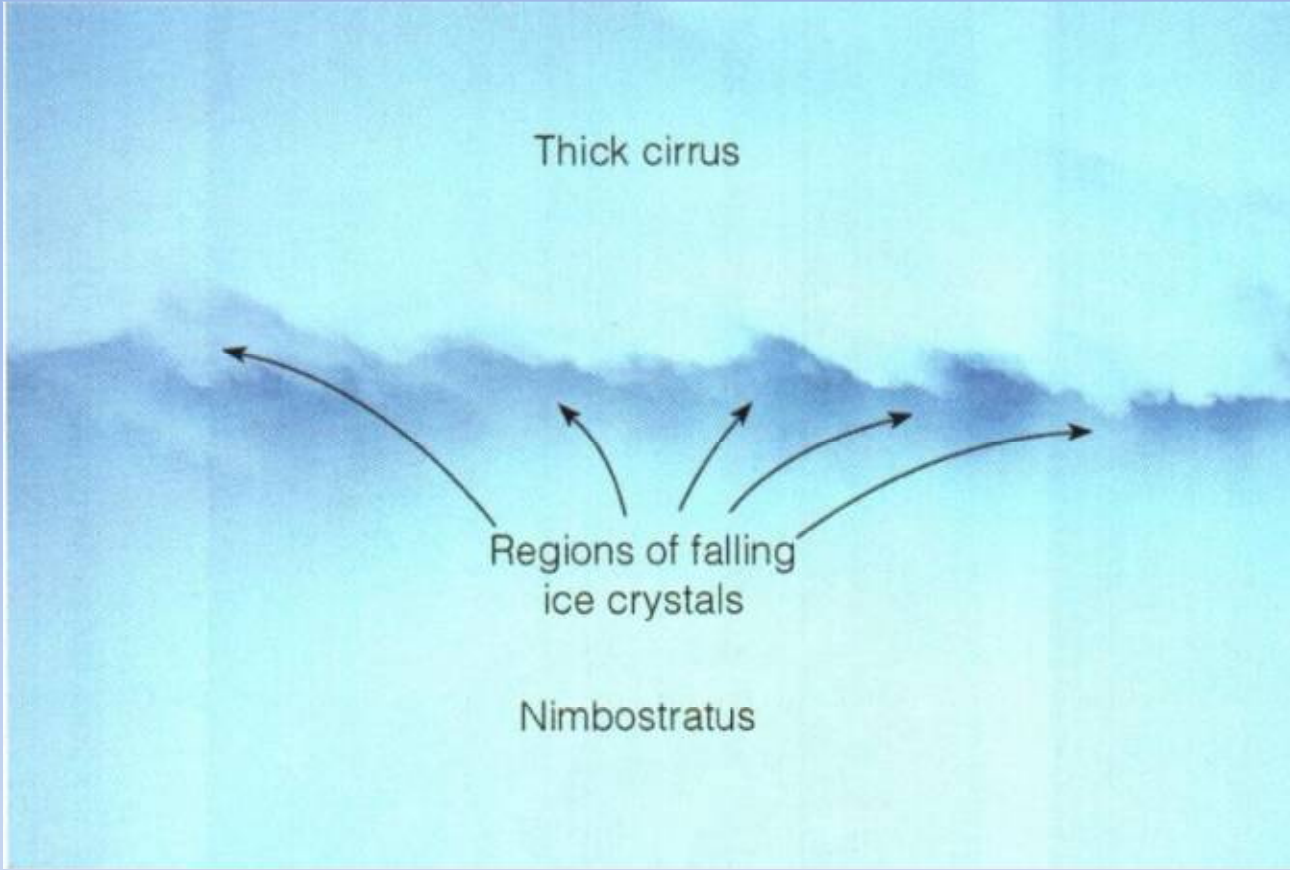
Bu süper doymuş havada, su buharı doğrudan çok küçük bulut damlacıkları oluşturur. Düşen peletler tarafından oluşturulan çok soğuk havada ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ün altında), bu küçük damlacıklar sabit şekilde küçük buz kristallerine donarak dönüşür. Sonra, yakınlarındaki sıvı damlacıklar pahasına su molekülleri kendilerini bu buz kristallerine bağlarken yeni oluşmuş bu buz kristalleri depozisyonla irileşir. Yeterince büyük bir boyuta ulaştınca yağış şeklinde düşerler.

1947'de Bernard Vonnegut gümüş iyodürün (AgI) bir bulut tohumlama maddesi olarak kullanılabileceğini gösterdi. Gümüş iyodür, buz kristaline benzer bir kristal yapıya sahip olduğu için -4°C (25°F) sıcaklıkta ve daha düşük sıcaklıklarda etkili bir buz çekirdeği gibi görev yapar. Gümüş iyodür iki birincil yolla buz kristalleri oluşumuna neden olur:

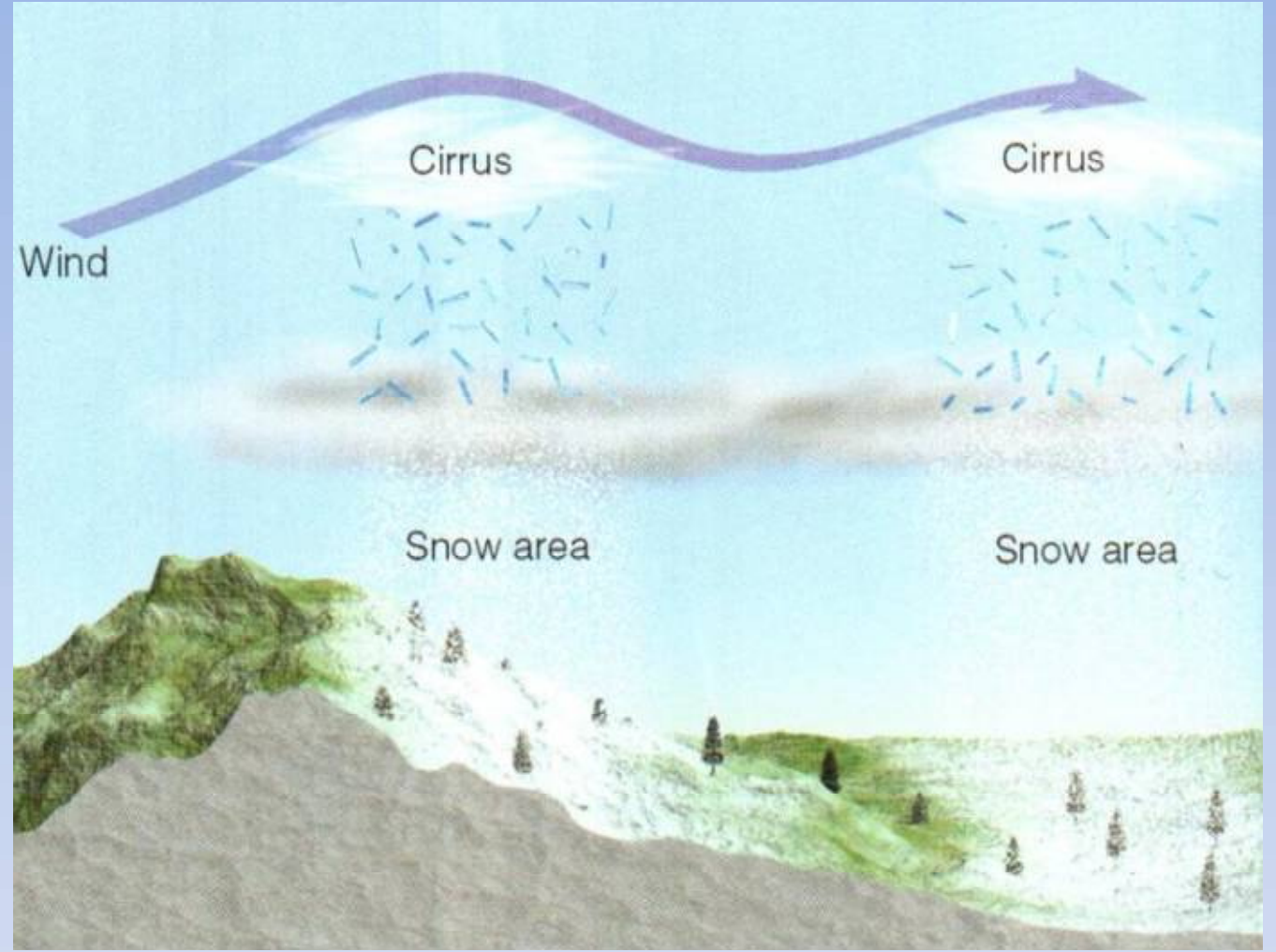
- 1- Gümüş iyodür, süper soğuk sıvı damlacıklar ile temas geldiğinde (kontakt) buz kristalleri oluşur,
- 2- Su buharı gümüş iyodür üzerine birikim yaparken buz kristalleri boyutça büyür.

Ya zemin üzerine veya bir küçük uçağın kanatları üzerine yerleştirilmiş tutuşturuculardan bulutlara verilebilmelerinden dolayı gümüş iyodür kuru buzdan çok daha kolay taşınır. Kurşun iyodür ve bakır sülfat gibi diğer maddeler de etkili çekirdekler olmalarına rağmen bulut tohumlama projelerinde gümüş iyodür hala en yaygın şekilde kullanılan maddedir (Bulut tohumlama etkinliği üzerine ilave bilgiler 'Bulut Tohumlaması Yağışı Artırır mı?' başlığı altında verilmiştir).

Belirli şartlar altında, bulutlar doğal olarak tohumlanabilirler. Örneğin, daha alçaktaki bir bulut kümesi üzerinde cirriform bulutları uzandığında daha yüksek buluttan buz kristalleri alçalabilir ve doğrudan alttaki bulutu tohumlayabilir (Şekil 7.11). Bu alçalan buz kristalleri daha aşağıdaki bulutlar ile karışırken süper soğuk damlacıklar buz kristallerine dönüşürler ve yağış süreci hızlanır. Bazen daha alçak buluttaki buz kristalleri buluttaki bir açık alanı veya "hol"ü terk ederek çökebilirler. Cirrus bulutları bir dağ sırasının rüzgar altında dalgalar oluşturduğunda, çoğu zaman yağış bantları meydana gelir (Şekil 7.12).



Şekil 7.11 Yoğun bir cirriform bulutlarından daha alçaktaki bir nimbostratus bulutuna düşen buz kristalleri. Bu fotoğraf 6 km civarında bir yükseklikte Batı Pennsylvania'da çekilmiştir. Fotoğraf çekildiğinde yüzeye orta şiddette yağış düşüyordu.

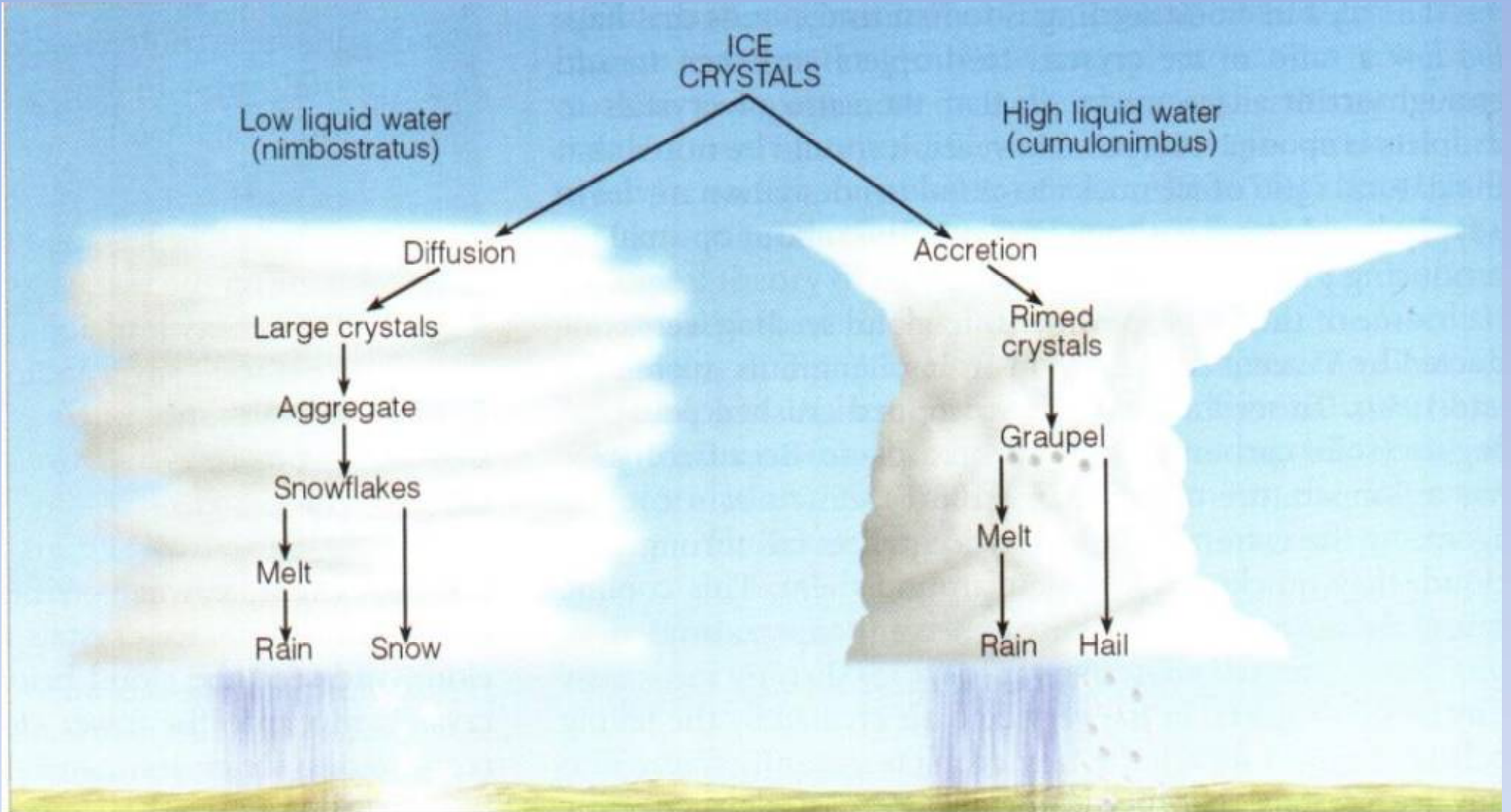


Şekil 7.12 Cirrus bulutları tarafından yapılan doğal tohumlama, bir dağ sırasının yağış altında yağış bantları oluşturabilir.

BULUTLARDA YAĞIŞ

Soğuk kuvvetli konvektif bulutlarda, bulut oluşumundan sonra ya çarpışma-birleşme süreciyle veya buz-kristali süreciyle (Bergeron) yalnızca birkaç dakika içerisinde yağış başlayabilir. Bir kere süreç başlarsa çoğu yağışlar akresyon yoluyla gelişir. Stratus gibi tabakalı sıcak bulutlarda yaygın şekilde yağış kaydedilmemesine rağmen, tabakalı sıcak bulutlar çoğu zaman nimbostratus ve altostratus gibi tabakalı soğuk bulutlarla birlikte bulunurlar. Bu yağışın birincil olarak buz-kristali süreciyle (Bergeron) meydana geldiği düşünülür çünkü bu bulutların sıvı su muhtevası genelde konvektif bulutlardan daha düşüktür.

Bu düşük nem, çarpışma-birleşme sürecini daha az etkin yapar. Nimbostratus bulutları hava sıcaklığının oldukça düşük olduğu seviyelere normalde yeterince uzanacak kadar kalındırlar ve yağış oluşturulmasında buz-kristali süreci (Bergeron) için genellikle uzun süre bulunurlar. Şekil 7.13, düşük ve yüksek sıvı su içerikli bulutların her ikisinde buz kristallerinin nasıl yağış ürettiğini göstermektedir.



Şekil 7.13 Düşük ve yüksek sıvı su içeriğine sahip bulutlarda buz kristallerinin gelişimi ve yağış üretimi

Bulutların Tohumlanması Yağışları Artırır mı?

Yağış artışında gümüş iyodürle suni tohumlama etkinliği nasıldır? Bu soru meteorolojistler açısından çok tartışmalı bir sorudur. Bir kere bulutları tohumlama denemelerinin sonuçlarının değerlendirilmesi zor olması tüm tartışmaların başında gelir. Bir tohumlanmış bulut yağış ürettiğinde düşecek yağışın ne kadarını ekilmemiş olan bulutun sahip olduğu sorusu sürekli şekilde sorulmaktadır.

Bulut tohumlama denemeleri değerlendirildiğinde bulut tipi, sıcaklığı, nem içeriği, damlacık büyüklük dağılımı ve bulut içerisindeki yukarı hava akım hızları gibi diğer faktörler dikkate alınmalıdır.

Bazı denemelerin bulut tohumlamasının yağışı artırmadığını ileri sürmesine rağmen diğer bazı denemeler doğru şartlarda tohumlamanın yağışı %5-20 arasında artırabileceğini belirtir gibi görünmektedir. Bu şekilde ihtilaflar sürüp gitmektedir.

Bazı cumulus bulutları tohumlanmalarının artında “patlar” şekilde gelişme gösterirler. Damlacıklar donduğunda açığa çıkan gizli ısı, bulutun ısınması işlevini görür. Bu ısınma daha büyük kaldırma kuvvetine neden olur. Bulut hızlıca gelişir ve daha çok yağış üretebilecek daha kalıcı bir buluta dönüşür.

Aşırı tohumlamanın aşırı sayıda buz kristalleri üretebilmesinden dolayı bulut tohumlama işi bir parça hilelidir. Bu olay meydana geldiğinde, bulut buzlanmış hale gelmekte (tüm sıvı parçacıklar buza dönüşmekte) ve çok küçük olan buz parçacıkları yağış şeklinde düşmemektedir. Çok daha az sayıda sıvı su damlacığı bulunmasından dolayı buz-kristali (Bergeron) süreci yoluyla büyüyemezler, daha ziyade ince tabakalı bir bulutta açık bir alan bırakarak buharlaşırlar. Kuru buzun süper soğuk bir bulutta en fazla sayıda buz üretebilmesi için planlı aşırı tohumlamada en uygun maddedir. Böylece, hava alanlarında soğuk sisin dağıtılabilmesi için kullanılan en yaygın maddedir.

Donma noktası üzerinde sıcaklıklara sahip sıcak bulutlarda yağmur üretebilme teşebbüsüyle tohumlama yapılmaktadır. Küçük su damlacıkları ve higroskopik tuz parçacıkları bulut tabanına (veya tepesine) enjekte edilir. Bu parçacıklar (tohum damlacıkları) yukarı akımlar yoluyla bulut içerisine taşındıklarında büyük bulut damlacıkları oluşur. Hatta çarpışma birleşme süreciyle çok daha büyürler. Açık şekilde higroskopik parçacıklar ile tohumlamanın etkinliğinin belirlenmesinde tohum damlacık çapı başlıca bir rol oynar. Bununla birlikte bu yöntem kullanılarak alınan sonuçlar yetersiz kalmaktadır.

Bulut tohumlaması bilinçsiz yapılabilir. Bazı endüstriler havaya daha yüksek konsantrasyonlarda yoğunlaşma çekirdeği ve buz çekirdeği salar. Bu parçacıklar şehirlerde ve şehirlerin rüzgar altı kısımlarında artan yağışlardan sorumlu olduğunu konu hakkında yapılan çalışmalar göstermiştir. Diğer taraftan, belirli tip tarımsal atıkların yakılmasının duman içeren birçok yoğunlaşma çekirdeği üretebildiğini de çalışmalar göstermiştir. Bunlar daha az yağış veren bulutlar üretirler çünkü bu bulutlar çeşitli fakat çok küçük damlacıklar içerirler.

Özetle, bazı durumlarda bulut tohumlanması fazla yağışa, diğer bazı durumlarda daha az yağışa yol açabilir. Bazı durumlarda ise yağış miktarlarında hiçbir değişiklik oluşturmaz. Bulut tohumlanması hakkında bir çok soru henüz çözümlenmemiştir.

Kısa Özet

Buraya kadar bulut damlacıklarının yağış şeklinde yağacak kadar nasıl gelişebildikleri hakkında önemli kavramlar ve fikirler ele alındı. Çeşitli yağış tiplerini incelemeden önce buraya kadar sunulan önemli kavramların bir kısmı burada özet şekilde sunulmuştur.

Bulut damlacıkları yağmur şeklinde yağmayacak kadar aşırı derecede küçüktürler.

Daha küçük bulut damlacığı demek onun eğriliğinin daha büyük olması ve buharlaşmasının daha muhtemel olması demektir.

Bulut damlacıkları bulut yoğunlaşma çekirdekleri üzerinde oluşur. Tuzlar gibi higroskopik çekirdekler bağıl nem %100'den daha az olduğunda yoğunlaşmanın başlamasına izin verirler.

Donma noktası üzerindeki havada bulut damlacıkları hızla düşecek kadar büyüyebilirler ve daha büyük damlalar yollarına çıkan daha küçük damlacıklar ile çarpışarak birleşirler.

Yağmur oluşumunun buz-kristali (Bergeron) sürecinde, buz kristalleri ve sıvı bulut damlacıklarının her ikisi, donma sıcaklığı altında bir arada bulunmalıdırlar. Sıvı ve buz doygun buhar basıncı arasındaki fark, su buharının sıvı damlacıktan (küçülen) buz kristaline (gelişen) doğru difüzyonuna neden olur.

Orta enlemlerde düşen yağmurun çoğunluğu buz kristali süreci (Bergeron) sonucu oluşmuş karın erimesinden kaynaklanır.

Şayet bulut süper soğuk ve uygun bulut damlacığı/buz kristali oranı bulunuyor ise yalnızca yağışa hazırlanan bulutta gümüş iyodür ile bulut tohumlaması etkili olabilir.