



الاستمطار

مؤلف: / د. محمد سعيد حبيب

الاستمطار

Artificial rain

محمد سعيد حميد

صنعاء

يوليو 2005

الاستمطار
Artificial rain

Mohammed Saeed Hamid

رقم الإيداع بدار الكتب (162) لسنة 2001

Sana'a

July 2005



الإهداء
إلى الذين يحترمون العقل
والعلم ويرونهما
منهجاً ووسيلة للبناء.

الفهرس

1	المقدمة
4	الفصل الأول : الاستمطار نبذة تاريخية
14	الفصل الثاني : تكون السحب والمطر
14	بخار الماء والعملية الطبيعية لتكثفه
25	السحب
27	الأسباب العامة لتكون السحب
28	1 - الحركة الدوامية الانسيابية
30	2 - الحمل الحراري
33	3 - الصعود بواسطة التضاريس
35	4 - الصعود البطيء الواسع الانتشار
36	طرق نمو القطرات في السحابة
36	1- طريقة نمو القطرات بالاندماج
38	2- نمو القطرات بالطريقة الانتشارية
42	سرعة تساقط قطيرات الماء
44	أنواع السحب:
44	أنواع السحب بالنسبة للارتفاع
47	أنواع السحب بالنسبة لدرجة الحرارة والمحتوى المائي لها

48	أنواع السحب بالنسبة للمظهر الخارجي
54	مدلولات الغيوم
57	العوامل المؤثرة على الغيوم مع الارتفاع
62	السحب الملائمة للاستمطار
72	السحب الملائمة لعمليات الاستمطار في اليمن
75	الفصل الثالث: عمليات الاستمطار
75	مفهوم الاستمطار
82	عوامل البذر
86	طرق البذر
86	أ - البذر من الجو
94	ب- البذر من الأرض
94	1 - المولدات الأرضية
96	2 - البالونات الهيدروجينية
97	3 - الصواريخ
98	اختيار منطقة العمل
98	مقومات نجاح الاستمطار
101	استخدامات الرادار في عمليات الاستمطار
105	إبطال تكون البرد

109	تبيد الضباب الدافئ والبارد
110	تهدئة الأعاصير المدارية
111	إضعاف تأثير البرق
112	طرق تقييم نتائج البذر
114	المشاكل البيئية والقانونية
117	الفصل الرابع: المشاريع العربية للاستمطار
128	الفصل الخامس: التقييم العام لمشاريع الاستمطار
139	المراجع

مقدمة

تعتبر فيزياء السحب علماً واسعاً يمكن أن يقسم إلى قسمين رئيسيين مترابطين، أولهما يسمى فيزياء السحب المجرية (Micro-cloud Physics) ويتناول العمليات التفصيلية في نمو وتلاشي السحب والهطول ودراسة الظواهر الترموديناميكية والحركية وأسباب تعدد أشكال الهطول ومصادر الكهربائية فيها، وهي قابلة للدراسة المختبرية وبعضها يوجد لها تطبيقات في حياتنا العلمية . ولاسيما في التنبؤ وفي التأثير الاصطناعي على نمو السحب والهطول . أما القسم الآخر فيسمى فيزياء السحب المنظورة (Macro-cloud Physics) وهو يعالج الظواهر الكبيرة للسحب . مثل الحركات الدورانية الهوائية (Aero-dynamics) داخل وخارج السحب والعوامل المؤثرة على تعدد أشكالها وجمعياتها وتوزيعها حول أنظمة الطقس المختلفة . مثل المنخفضات والجبهات الجوية والأعاصير المدارية وتوزيع الخواص الفيزيائية داخل السحب مثل المحتوى المائي والتيارات ودرجة الحرارة للسحب وتستخدم لهذا الغرض أجهزة باهظة الثمن مثل الأقمار الاصطناعية والرادار والطائرات والراديو سونود . وباعتبار أن علم الأرصاد الجوية من العلوم التطبيقية الحديثة . فإن عمليات الاستمطار تعتبر من أحدث التطبيقات فيه ونحاول إنشاء الله في هذا الكتاب أن نعطي:

1. فكرة موجزة عن تشكل السحب بتقسيماتها المختلفة

وتكون قطرات المطر فيها.

2. التجارب العلمية التي أجريت في عمليات الاستمطار والسحب الملائمة التي يمكن استغلالها ، والعمليات الفيزيائية التي تتم داخلها واستثمارها بهدف زيادة الهطول المطري ، وتحسين توزيعه لصالح العملية الزراعية التي لا تتأثر بمجموع كمية الهطول المطري فحسب وإنما بحسن توزيعه خلال أطوار النمو ، والجدوى الاقتصادية منه.

3. فكرة عامة عن السحب التي تتكون في الجمهورية اليمنية وملاءمتها لعملية الاستمطار.

4. إعطاء صورة عن المشاريع العربية التي نفذت، والمشروع العربي المشترك المقترح في إطار التكامل الاقتصادي والعلمي.

وعلى القارئ وهو يتصفح هذا الكتاب أن يدرك حقائق عديدة منها:

1. من المستحيل تقليل وطأة الجفاف عند حدوثها بواسطة عمليات الاستمطار. ولكن يمكن ومن السهل في تقدير العلماء إعادة ملء مجمعات المياه الجوفية أو ملء الخزانات، لأن توقيت الهطول غير حاسم في هذا الصدد.

2. إن مشاريع تعديل الطقس علم ناشئ، لازال الإنسان عاجزاً عن معرفة حقائق كثيرة يمكن أن تكتشف لاحقاً لتحقق للبشرية إنجازات حلمت بها على مر القرون. إلا

أنها في كل الأحوال ستظل محدودة (وَمَا أُوتِيتُمْ مِّنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا (85)) (صدق الله العظيم) الإسراء
 3. إن تجارب الاستمطار صارت حقيقة واقعة تحقّق نجاحاً
 100% في مكان ما وتخفق في مكان آخر.

وأنا أضع هذا الكتاب المتواضع الذي يحاول إعطاء صورة مبسطة لعمليات الاستمطار والتجارب التي تمت في هذا المجال على المستوى العربي والدولي في زمن يسيطر فيه سلطان العلم كمنهج ووسيلة لسبر أغوار المجهول.. باكتشافاته المذهلة والمتسارعة وفي فترات زمنية قصيرة وقياسية جداً.. زمن الانفجارات المعرفية والذي سوف يضح إلى المكتبة العربية مجموعة من الحقائق العلمية التي يمكن للأجيال القادمة الاستفادة منها وتوظيفها بطريقة أمثل مستثمرة التطور التكنولوجي الذي سترثه من زمن السباق العلمي الذي نحن فيه. أشكر الله عزوجل الذي منحني الصبر والطاقة على إنجاز هذا الكتاب وأشكر زملائي في المهنة في الأرصاد الجوية والمهتمين بها الذين استمدت منهم روح العطاء وفي مقدمتهم الأستاذ حامد أحمد فرج رئيس مجلس إدارة الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الذي بدعته خرج هذا الكتاب إلى النور والكابتن نبيل ضيف الله الرئيس الأسبق للهيئة.

المؤلف

الفصل الأول

الاستمطار

(نبذة تاريخية)

يرى العديد من المهتمين في استراتيجية وأهداف الإدارة المتكاملة للموارد المائية إلى أهمية البحث عن موارد مائية بديلة كتحلية مياه البحر و استمطار الغيوم ، الذي يعتبر من أهم مواضيع العصر و أكثرها تعقيداً لارتباطه بمادة من أعقد المواد تركيباً وتشعباً .

فمنذ فترة غير بعيدة نسبياً ، وبالتحديد في الثلاثينات من القرن المنصرم ، كان الكيميائيون على يقين تام بأنهم يعرفون جيداً تركيب الماء ، ولكن واحداً منهم أضطر في يوم من الأيام إلى قياس كثافة الماء المتبقي بعد التحليل الكهربائي ، وكم كانت دهشته كبيرة عندما تبين له أن كثافة هذا الماء تزيد عدة أجزاء من المائة ألف عن كثافة الماء العادي.

ومع مرور الأيام اكتشف العلماء الكثير من الأسرار الجديدة عن الماء وازدادت قناعتهم يوماً بعد آخر بأن الماء مادة معقدة جداً. وبارتداد الاستهلاك له دخلت عمليات الاستمطار لإدراج هذه المادة المعقدة مجال الاستثمار منذ أن توصل العلماء في أربعينيات القرن المنصرم إلى الاكتشاف القائل "أنه يمكن تحويل قطرات السحاب المفرطة البرودة إلى بلورات جليدية بإيلاج عامل التبريد مثل الجليد الجاف أو نواة جليد اصطناعية مثل يوديد الفضة".

زيادة كمية الأمطار ولو كانت بكميات صغيرة فوق مسطحات مائية طبيعية ضخمة يعني الحصول على كميات هائلة من مياه الأمطار. وعلى سبيل المثال " فإن 1مليمتراً من المطر فوق منطقته مساحتها 1كيلومتر مربع يعني كميته من المياه تعادل مليون لتر".

ولذا أهتم الناس منذ القدم بتقنيات الطقس والمناخ بغية زيادة موارد المياه السطحية والجوفية وزيادة إنتاج المحاصيل الزراعية والتخفيف من قسوة الطقس.

وعرفوا أشكال عديدة لمعالجة شحة الموارد المائية ومنها المطر. وذهبوا إلى السحر والشعوذة. وفي كثير من الشعوب المتحضرة تقام الصلوات ومنها صلاة الاستسقاء لتجود السماء بالماء. فقد حدث في اتحاد أفريقيا قبل الحرب العالمية الثانية مثلاً في فترة حكم الجنرال سمطس والتي ساد فيها جفاف ظاهر في البلاد. فأقام الحزب المعارض ضد سمطس وحزبه دعايته على أن سمطس أغضب الله تعالى. فلما جرت الانتخابات ونجح رئيس المعارضة بفضل دعايته هذه. كان أول عمل قام به أن دعى قومه لتخصيص يوم يدعون الله تعالى فيه لإنزال الغيث. وقد حدث أن فتحت السماء أبوابها بوابل من المطر بعد ثلاثة أيام من إقامة الصلاة.

ولقد ثبت الاستسقاء بالكتاب والسنة - قال تعالى: (فَقُلْتُ اسْتَغْفِرُوا رَبَّكُمْ إِنَّهُ كَانَ غَفَّاراً (10) يُرْسِلِ السَّمَاءَ عَلَيْكُمْ مِدْرَاراً (11)) صدق الله العظيم " نوح " . وكان الرسول (صلى الله عليه وسلم) يستسقي فيدعو الله تعالى . ومن دعائه " اللهم أسقنا الغيث ولا تجعلنا من القانطين . اللهم أن بالعباد والبلاد

من الجهد والجوع والضعف ما لا نشكو إلا إليك . اللهم أنبت الزرع وأدر لنا الضرع وأنزل علينا من بركات السماء وأنبت لنا من بركات الأرض واكشف عنا البلاء ما لا يكشفه غيرك . اللهم إنا نستغفرك إنك كنت غفاراً فأرسل السماء علينا مدراراً .”

وقد ثبت كذلك عن رسول الله صلى الله عليه وسلم أنه استسقى . فقد روى البخاري في صحيحة عن أنس بن مالك رضي الله عنه أنه قال : أصابت الناس سنة ⁽¹⁾ على عهد النبي صلى الله عليه وسلم . فبينما النبي يخطب في يوم الجمعة قام إعرابي فقال : يارسول الله هلك المال وجاع العيال فادع الله لنا فرفع يديه وما نرى في السماء قزعة ⁽²⁾ . فوالذي نفسي بيده ما وضعهما حتى ثار السحاب أمثال الجبال ثم لم ينزل عن منبره حتى رأيت المطر يتحادر على حيته صلى الله عليه وسلم . فمطرنا يوماً ذلك ومن الغد وبعد الغد والذي يليه حتى الجمعة الأخرى وقام ذلك الإعرابي أو قال غيره فقال : يارسول الله تهدم البناء وغرق المال فادع الله لنا . فرفع يديه فقال : ”اللهم حوالينا ولا علينا فما يشير بيد إلى ناحية من السحاب إلا انفرجت وصارت المدينة مثل الجوبة ⁽³⁾ وسال الوادي قناة شهراً . ولم يجيء أحد من ناحية إلا حدث بالجود .

وقد ثبت كذلك أن الخلفاء الراشدين استسقوا وكانوا يمتطرون . ولا يزال الاستسقاء إلى اليوم عند المسلمين هو الوسيلة الوحيدة التي يلجأ إليها عندما تجذب البلاد .

1 - سنة: قحط وجفاف

2 - القزع: قطع من السحاب رقيق

3 - الجوبة: هي الحفرة المستديرة الواسعة أو صار الغيم محيط بأفاق المدينة .

هكذا عاجلت أو تعالج الشعوب على اختلاف نزعاتها الفكرية وموروثاتها الحضارية وثقافتها العلمية مشكلة الجفاف . وحاول علماء الطبيعة أن يكون لهم حضوراً فعلياً في سياق حل هذه المشكلة . ولذلك أجريت بعض التجارب خلال القرن التاسع عشر و التي كانت تستند إلى شيء من الحقائق وذلك بإشعال الحرائق أو إطلاق نيران المدفعية على اعتبار أن هذه العمليات تؤدي إلى تسخين الهواء الذي يرتفع بدوره إلى أعلى حيث يبرد مما يؤدي إلى تكاثف بخار الماء وتشكل السحب ومن ثم تهطل الأمطار.

وفي الفترة ما بين أعوام 1899-1902 عقدت عدة مؤتمرات عالمية لبحث التأثير على الغيوم العمودية التكوينية ومكافحة البرد حيث أنشئت جهات مختصة لمتابعة هذا الموضوع في كل من فرنسا وسويسرا وأجريت تجارب عديدة للتأثير على الغيوم باستخدام قذائف المدفعية.

وفي عام 1931 تمكن ولأول مرة في التاريخ فيرات من نيوزيلندا من إثارة المطر صناعياً حيث قذف حبيبات ثاني أكسيد الكربون الصلب في الجزء المحتوي على مياه فوق مبردة من الغيوم بواسطة الطائرة ولكن تجربته لم تفلح جيداً وكانت كمية المطر الهائلة ضئيلة . وسماكة السحابة المتكونة لم تكن كبيرة.

وفي نوفمبر 1946م تمت واحدة من أوائل التجارب العلمية في التأثير على السحب العالية البرودة من قبل العالم Schaefer عبر إيلاج أكاسيد كربونية صلبة بواسطة المختبر بالطائرة العمودية التابع للقوات الجوية الأمريكية في طبقة السحب الركامية المنخفضة التي غيرت حالة تطورها مما أدى

إلى سقوط المطر.

وأُجرت تجارب شبيهة في الأشهر اللاحقة وأعطت نتائج ماثلة . فالعالم Vonnegut استخدم بنجاح يوديد الفضة لهذا الغرض في 1947م . و Langmuir (1949 - 1950) في المكسيك وفي أستراليا 1947م .

ومع نهاية الأربعينات من القرن المنصرم أُجريت تجارب عديدة في جنوب وشرق أفريقيا وأمريكا الجنوبية والوسطى وأستراليا والهند.

وتعتبر البداية عندما أجرى الأمريكيان شيفر ولينغهور تجاربهما على الغيوم التي تحتوي على مياه فوق مبردة في غرف مبردة حيث تم تبريد الغرفة إلى درجات الحرارة المطلوبة ثم قاما بإلقاء حبيبات من مادة الجليد الجاف وفي نفس الوقت وعلى طول مسار الحبيبات في الغرفة تشكلت سلسلة من البلورات الثلجية وفسرا ذلك بأن درجات الحرارة المنخفضة للهواء الذي يكون في تماس مع الجليد الجاف - 78°م أدت إلى تجمد القطرات على طول مسار سقوط حبيبات الجليد الجاف كما أن زيادة الإشباع الناجمة عن التبريد السريع نشطت العوالق الجوية فتحوّلت إلى نويات تجمد وأن القطرات التي تجمعت حولها تجمدت أيضا . فقرر إجراء التجارب في الجو الطبيعي . وبرغم اكتشاف خصائص الجليد الجاف كمادة قادرة على تكثيف المياه فوق المبردة فقد تابع العلماء البحث عن مواد أخرى ومنهم العالم برنارد فينووغوت الذي أثبت فعالية مادة يوديد الفضة كنويات تجمد . وتوصل إلى إن يوديد الفضة هو أفضل مركب لأن تركيب شبكته البلورية شبيهة جداً بتركيب جزئ الماء . وقد لاحظ فيلون وفينووغوت أن بلورات

يوديد الفضة لعبت دور نويات جُمد حتى درجة حرارة - 3°م. كما أجريت تجارب ماثلة في مخبر البحوث العلمية في شركة جنرال الكتريك وتم استقصاء جداول المركبات الكيميائية للمواد الصلبة المتبلورة من مواد مشابهة في مواصفاتها للجليد حيث درست التركيب الشبكي - البلوري (المسافة بين الذرات في مختلف البلورات).

وتوصلوا إلى عدم نشاط غالبية المواد الصلبة في تشكيل البلورات الثلجية والذي يفسر بالمسافات الكبيرة بين الذرات . وكان هدف هذه التجارب الحصول على أكبر عدد ممكن من نويات التجمد. ومن كمية محددة من يوديد الفضة تمكن العلماء من الحصول على 10^{19} نوية جُمد من (1 كغ). وذلك بتبخير (حرق) يويد الفضة ثم تبريده بشكل مفاجئ.

وبعد التجارب المخبرية تم تنفيذ تجارب على الغيوم التي تحتوي على مياه فوق مبردة في الجو الطبيعي حيث تم استخدام مولدات مثبتة على الطائرة وكانت النتائج تكررًا لما توصل إليه شيفر بزرع الغيوم باستخدام الجليد الجاف إذ تشكلت في الغيوم المحتوية على المياه فوق المبردة فراغات تبين من خلالها هطول بلورات ثلجية وأن هذه التجارب أدت إلى ظهور موجة جديدة لصالح الاستمطار . وخاصة التجارب التي أجراها العالم لينغمور والتي بينت أنه من الممكن التأثير على الطقس في جميع أراضي الولايات المتحدة الأمريكية لقاء صرف دولارات محددة.

وأن اكتشاف فينوغيوت لمادة يوديد الفضة كمادة نشطة في إعطاء نويات جُمد جعلت إمكانية التأثير على الغيوم ذات

الحجوم الكبيرة ممكنة من وجهة النظر الاقتصادية ، وكذلك إمكانية زرع نويات التجمد من مولدات أرضية والتي بلغت تكاليفها عام 1948 (2-3 دولار) في الساعة ، في الوقت الذي كانت فيه كلفة الطائرة لزراعة الغيوم تبلغ (25 دولار) في الساعة نتيجة تسجيل براءة الاختراع من قبل شركة جنرال إلكتريك . وطلبت العديد من الجهات العامة والخاصة استثمار هذه البراءة، وخاصة المزارعين المتحدين وأصحاب المزارع الكبيرة ومزارع إنتاج المواد الغذائية والأعمال المرتبطة بالغابات وحتى مناطق الزراعات المروية حيث أبرمت عقود تغطي 10% من الأراضي الجافة في الولايات المتحدة الأمريكية حتى 1950 .

هذه التجارب صارت نقطة البداية لبحوثٍ واسعة في الاستمطار الصناعي في عدد من البلدان ، كما دخلت في حروب مايسمى بحروب المناخ في فيتنام حسب اعترافات الولايات المتحدة.

فباستخدام الثلج الجاف ويوديد الفضة أمكن في روسيا (الاتحاد السوفيتي سابقا) زيادة الهطول بنسبة تتراوح ما بين 12-15% في فصل الشتاء ، وفي الصيف ما بين 10-15% . بينما كان التأثير على السحب كبيراً في مكافحة البرد ، كأحد التطبيقات المختلفة في الاستمطار والتي تمت منها في صيف 1986 بغرض تخفيض كمية الأمطار وتبيد السحب فوق المنطقة المتأثرة بكارثة تشيرنوبل كجزء من تخفيف التأثيرات الضارة للكارثة. وكذا بمناسبة عيد النصر يوم 9مايو 1995م حين حققت تجربة بذر السحب بغرض تبديدها من فوق العاصمة موسكو نجاحاً 100% وذلك لإجتاح العرض الجماهيري والعسكري .

ومن خاليل 260 يوم مطر أجريت في ايطاليا خلال عدة أشهر من الشتاء في الأعوام 1986م-1995م أكدت النتائج التي أشار إليها عضو اللجنة العلمية لتقييم المشروع (B.Silverman) إلى أنه هناك زيادة في منطقة الهدف تصل إلى 63.5% . وفي نفس الوقت أشار تقرير اللجنة إلى زيادة عالية لقمم السحب . وأن كميات الأمطار العالية المعطاة بواسطة خاليل الرادار تؤكد من وجود تأثيرات فعلية للبذر. كما ظهرت حالات تؤكد أن المطر المحفز والمتوقع جميعه أن يسقط في منطقة الهدف وسقط خارج منطقة الهدف .

ورأت اللجنة العلمية إلى أن هناك نقاط هامة جداً تبدو واضحة للعيان لأكثر من 14000 صورة رادار قبل وأثناء وبعد البذر توضح ما يلي:

- * زيادة في قمم السحب التي رُصدت بتتابع على خط البذر في منطقة الهدف (المبذور عشوائياً).
 - * الكمية العالية من الأمطار الموضحة بالرادار وضحت وأثبتت التأثير الحقيقي للبذر.
- وأعتبرت اللجنة العلمية أن الموضوع بحاجة إلى المزيد من الدراسات.

وفي جنوب أفريقيا أعد برنامج بحوث الأمطار الوطني (NPRP) مجموعة من التجارب التي أعتبرت إنجازاً ودرساً هاماً في مشاريع بذر السحب في العواصف . وتحديدًا فيما يتعلق بالأسلوب والتقنيات المتطورة والمستخدمة في الرصد الجوي والمائي (أجهزة الشبكات الأرضية ، الرادار. الطائرات).

من هذه الأجهزة مثلاً استخدام رادار الطقس ذو الطول

الموجي 5سم لتحديد موقع الطائرة وقت إجراء العمليات المباشرة و برنامج الحاسوب TITAN الذي يحلل الكميات الهائلة من البيانات التي يعكسها الرادار والذي يقوم في نفس الوقت بالتقييم الأوتوماتيكي لعملية البذر و متابعة السلسلة الزمنية للعاصفة التي تساعد في عمليات التحليل.

والطائرة المستخدمة في مثل هذه العمليات هي من نوع (PA-31T). وتحمل 24 جهاز إطلاق للمواد الاسترطابية ومجموعة من الأجهزة الأساسية لقياس فيزياء السحب.

وازدادت أعمال البحث العلمي في هذا السياق في السنوات الأخيرة وقامت عشرات الدول بتنفيذ أكثر من 100 مشروع من مشاريع تعديل الطقس ، وخاصةً في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. وحققت العديد من تلك المشاريع نجاحاً مما أدى إلى حل مشاكل الجفاف إلى حد ما وزيادة نسبة المياه في المواسم المطرية عن معدلاتها ورفع كمية المحصول الزراعي . وذلك لارتباط علم الأرصاد الحديث بـ:

1. أنظمة الاتصالات الالكترونية الحديثة التي تمكن العلماء من تحديد ورصد الظواهر الجوية المختلفة بالدقة وتقييم أنظمة الطقس.
2. تطور برامج الكمبيوتر التي حلت العلاقات الرياضية الغير خطية المعقدة التي توصف فيزياء الغلاف الجوي. حيث أصبح من الممكن الرصد الرياضي والتنبؤ بالطاقات الهائلة المرتبطة بالعمليات الفيزيائية في الغلاف الجوي .

وقد أثبت في المختبر القدرة على التأثير في البنى المجهرية للسحب وتمت محاكاة هذه القدرة في النماذج العددية وجرى التحقق منها عن طريق القياسات الفيزيائية في بعض النظم الطبيعية كالضباب والسحب الطبقيّة والسحب الركامية. بيد أن تعقد السحب وتقلباتها مثلت أكبر صعوبة في المحاولات الرامية إلى تعديلها بالوسائل الاصطناعية. وساهمت المعرفة الفيزيائية للسحب وأنواعها ومراحل تكونها إلى إنشاء معايير جديدة لتقييم تجارب بذر السحب ، وذلك باستخدام الرادار والتوابع الاصطناعية .ومقاييس إشعاع الموجات الدقيقة والشبكات المطرية ، واستخدام الطائرات المزودة بأجهزة القياس الفيزيائية للجسيمات المجهرية وأجهزة قياس حركة الهواء. وأصبحت العديد من تلك المقومات التقنية من المقومات الأساسية لنشاط الأرصاد الجوية في بلادنا.



الفصل الثاني

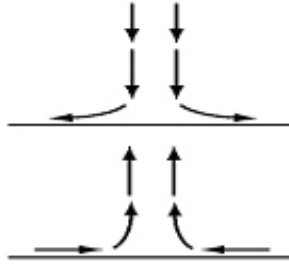
تكون السحب والمطر

بخار الماء والعملية الطبيعية لتكثفه :

كما هو معروف بأن للماء أنواع عديدة. وأيضا له أبخرة عديدة. وأبخرة الماء التي تختلف في تركيبها النظائري تتمتع بخواص متقاربة جداً، ولكنها مع ذلك مختلفة قليلاً: فكثافتها مختلفة، ومرونتها مختلفة قليلاً وهي في حالة مشبعة وعند درجة حرارة واحدة، ولها ضغوط حرجة مختلفة إلى حد بسيط جداً، وسرعة انتشارها مختلفة أيضاً.

فتحول أبخرة الماء إلى الحالة السائلة أو الصلبة، لا يتطلب تبريد الهواء فحسب، بل يتطلب كذلك احتوائه على جسيمات صلبة ودقيقة جداً، تكون بمثابة مراكز للتكثف (مثل الغبار ونواتج الاحتراق غير التام للوقود ونواتج الانفجارات البركانية وغير ذلك). ويعتمد حجم قطرات الماء المتكونة في هذه الحالة على حجوم الجسيمات الدقيقة التي يسقط عليها بخار الماء.

إن عاملي التسخين والتبخير يؤديان إلى إضافة بخار الماء إلى الهواء ونقص في كثافة الهواء، وهذه ظاهرة تساعد على صعود الهواء الرطب في الجو نظراً لانخفاض كثافته ليحل محله هواء جاف أكبر كثافة (شكل 1-2).



شكل (1-2) ورود الهواء البارد إلى الأرض وارتفاع الهواء الحار إلى الأعلى

ولذلك فإن كثافة هذه الطبقات التي يصل إليها الهواء الرطب الحار تقل ولا تقوى على حمل ما يعلوها من كتل الهواء البارد نسبياً. فلا تلبث أن تصعد ليحل محلها هواء علوي جاف أكبر كثافة. ولا يكاد هذا كسابقه يتشبع بالبخر ويسخن حتى يصعد بدوره ، وهكذا تستمر عملية التبخر من المسطحات المائية إلى الطبقات العالية في صورة تيارات الحمل.

ولأهمية معرفة كمية بخار الماء التي يمكن أن توجد في حجم معين من الهواء وتكون في حالة توازن مع سطح مستو من الماء النقي والتي تدل عليها درجة الحرارة فقط وتمثل درجة الإشباع . فقد تم حساب تلك الكمية القابلة لتكوين قطيرات السحب بواسطة معدل التبريد.

وفي كتابه "الاستمطار" يرى د.علي موسى بأن "أية كمية بخار ماء تفوق الكمية المطلوبة للإشباع تكون نظرياً قابلة لتشكيل السحب ، ويمكن أن تحسب من معادلة كلاسيوس- كلابيرون (Clausius-Clapeyron) التي تربط ضغط بخار الماء بدرجة الحرارة ، كما هو مبين فيما يلي :

$$es(T) = es(T_0) \exp\left[\frac{L_v}{R_w} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (1-2)$$

$es(T)$ = ضغط بخار الماء المتوازن (المشبع) عند درجة الحرارة (T).
 $es(T_0)$ = ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الحرارة المرجعية (T₀).
 L_v = الحرارة الكامنة في التبخر.
 R_w = ثابت الغاز النوعي لبخار الماء.

وتستعمل هذه العلاقة لحساب $es(T)$ فوق سطوح مائية فوق مبردة (T أقل من 273.15 كل). وكذلك فوق سطوح مائية حرارتها فوق التجمد.

ولإيجاد ضغط بخار الماء المشبع فوق الجليد $e_i(T)$ عند درجة الحرارة (T) من الضروري استبدال (L_v) في العلاقة السابقة بـ (L_s) التي تمثل الحرارة الكامنة في التسامي . ولما كان ضغط بخار الماء المشبع للجليد والماء يتساويان تماماً عند الدرجة الحرارية 0.0098°م - التي اتخذت في العديد من الدراسات درجة الصفر مئوية. حيث القيمة التجريبية لضغط البخار عندها = 0.611 كيلو باسكال (6.11 مليبار) - لذا فإنه باستعمال درجة الصفر المئوي (273.2 كل) درجة مرجعية (T₀) .

فإن المعادلة السابقة بالنسبة للماء تأخذ الشكل التالي :

$$es(T) = (0.611) \exp\left[\frac{L_v}{R_w} \left(\frac{1}{273.15} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (2-2)$$

وبالنسبة للجليد الشكل :

$$es(T) = (0.611)\exp[Ls/Rw(1/273.15 - 1/T)] \quad (2-3)$$

وبما أن بخار الماء الموجود عند درجة الحرارة (T) يمارس ضغطاً جزئياً (e). فإن نسبة التشبع (s) تحدد من العلاقة التالية:

$$S = e/es(T) \quad (2-4)$$

وفي حال كون درجة الحرارة دون الصفر مئوي . فتحدد نسبة التشبع الجليدي بما يلي:

$$Si = e/ei(T) \quad (2-5)$$

وما دام الهواء دون التشبع فإن نسبة التشبع تكون دون الواحد. وعندما يصل الهواء إلى فوق التشبع تصبح قيمة (s) أكبر من الواحد.

ونتيجة لتمييز قطيرات الماء بقوة شد (توتر) سطحي (Surface Tension) كبيرة - لما هناك من طاقة مخزنة في سطح القطيرات ذات القطر (d) - فإن الطاقة المخزنة تحسب من العلاقة التالية :

$$Ey = \int C d^2 y \quad (2-6)$$

حيث:

Ey = طاقة التوتر السطحي.

y = معامل التوتر السطحي الذي يساوي 0,075 جول/م² تقريباً للسطح الفاصل بين الماء والهواء عند درجة حرارة صفر درجة مئوية ."

وأثبت علماء الأرصاد الجوية حسابياً أن الشمس تبخر على الأرض خلال دقيقة واحدة مليار طن من الماء. إذن ، ففي كل دقيقة يرتفع مليار طن من بخار الماء مع تيارات الهواء الساخن إلى طبقات الجو العليا. وكل غرام من بخار الماء يحمل معه 537 كالوري (2265 جول) من الطاقة الشمسية.

وهذه الطاقة التي تجعل مئات المليارات من الأطنان من الماء تنتقل في الجو على شكل غيوم تتحول إلى أمطار تروى سطح الأرض كله.

فالتكاثف الذي يحدث عندما يتحول بعض بخار الماء الموجود في الجو إلى نقط من الماء أو بلورات من الثلج يمثل العملية العكسية للبخار ، وينتج التكاثف من تبريد الهواء المحمل ببخار الماء لأن التبريد الوسيلة الطبيعية التي بها تقل قدرة الهواء على حمل بخار الماء . فإذا لم يكن الهواء مشبعاً ثم برد بطريقة من الطرق فإنه يقترب من حالة التشبع تدريجياً حتى يصل إليها وبعدها يبدأ التكاثف فتتحول بعض الأبخرة إلى نقط ماء أو بلورات ثلج حسب درجة الحرارة.

وتتم عملية التبريد في الجو بالطرق الآتية :

- 1- الإشعاع الحراري ، ويلعب أهم دور في تبريد سطح الأرض أثناء الليل وخاصة في الليالي الصافية الخالية من السحب .
- 2- التوصيل الحراري ، ويقصد به في هذه الحالة توصيل البرودة التي تعم سطح الأرض البارد نسبياً.
- 3- المزج ، وهو اختلاط الهواء البارد بالهواء الدافئ الرطب والذي يؤدي إلى تبريد الهواء الرطب لدرجة حدوث التكاثف .
- 4- التبريد الذاتي ، أو الانتشار في الهواء الصاعد ، وتتميز

هذه الطريقة بأنها الوحيدة التي يمكن أن تعطي تكاثفا مستمرا يؤدي لتكون السحب الممطرة ونزول المطر . بينما تقتصر الطرق الثلاث الأولى إلى تكوين الندى والضباب والشابورة . وجميعها يكون فيها التكاثف محدودا وغير مستمر .

والتكثف لا يمكن أن يتم إلا بوجود جسيمات دقيقة في الهواء والتي تسمى بنويات التكثيف .

ولقد بذل أخصائيو الأرصاد الجوية جهداً ضخماً في محاولة تحديد حجم نويات التكثيف في السحابة . وتوصلوا إلى تقسيمها بالنسبة للأحجام إلى ثلاثة أنواع :

(1) $0.1 >$ ميكرون (Aitken nuclei)

(2) $0.1 - 1.0$ ميكرون (Large nuclei)

(3) $1.0 <$ ميكرون (Giant)

في النوع الأول ($0.1 >$ ميكرون) يكون حجم نويات التكثيف صغيراً جداً وتتطلب تشبعاً حتى تصبح أكثر نشاطاً في التكثيف .

أما النوع الثاني ($0.1 - 1.0$ ميكرون) و النوع الثالث ($1.0 <$ ميكرون) فيعتبران الأساس لتوفر الماء الكافي لتكون السحابة . وتتكون قطرات الماء عادة على هذه النويات حينما تصل الرطوبة النسبية إلى 100% تقريباً ومع ذلك فإن التكثيف قد يحدث على بعض النويات الكبيرة قبل وصول الهواء إلى درجة التشبع التي تكون عالقة بالجو بسبب انتقالها إليه بواسطة الرياح (وَأَرْسَلْنَا الرِّيحَ لَوَاقِحَ فَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَسْقَيْنَاكُمُوهُ وَمَا أَنْتُمْ لَهُ بِخَازِنِينَ (22) " صدق الله العظيم" سورة "الحجر" . خاصة إذا كانت هذه النويات أسترطابية مثل

ملح البحر فله ميل لامتصاص الماء ، الذي يمكن حتى في الرطوبة النسبية المنخفضة أن يكون قطرات ماء صغيرة وهذه الخاصية تنمي عملية التكثيف.

و إذا كان الهواء نقياً تماماً من كل نويات التكثيف ووصل إلى درجة التشبع ببخار الماء فإن التكثيف قد لا يحدث حتى ولو وصلت الرطوبة النسبية إلى %200 وفي هذه الحالة يقال أن الهواء فوق مشبع.

ومن المهم أن نعرف أن ضغط التشبع بالنسبة للماء السائل أكبر من ضغط التشبع بالنسبة للثلج الذي في نفس درجة الحرارة كما هو مبين في الجدول [1-2].

جدول (2-1) ضغوط التشبع بالنسبة للماء والثلج

تحت نفس درجة الحرارة

ضغط التشبع (مم)		درجة الحرارة درجة مئوية	ضغط التشبع (مم)		درجة الحرارة درجة مئوية
بالنسبة للثلج	بالنسبة للماء		بالنسبة للثلج	بالنسبة للماء	
1.78	2.94	-6	0.0019	-	70 -
3.19	3.41	-4	0.0290	-	50 -
3.89	3.96	-2	0.200	0.39	30 -
4.58	4.58	صفر	1.60	2.16	10 -
-	19.83	25	2.340	2.25	8 -

ويمكن للأيونات الكهربائية أحياناً أن تقوم مقام نويات التكثيف إذا وصل الهواء النقي إلى درجة فوق التشبع بشكل ملموس .
وعليه يرى بعض العلماء بأنه إذا وصل الهواء النقي إلى درجة فوق التشبع وكانت رطوبته النسبية 400 %، فإنه قد يحدث التكثيف على تلك الأيونات الموجودة بالهواء.

ولقد ساد الاعتقاد بأن ذرات الغبار والرمال العالقة في الجو هي نويات التكاثف ، ولكن التجارب أثبتت بعد تحليل أجزاء من السحب في حالات عديدة أن مكوناتها أجسام متميعة تمتص الماء وتذوب فيه ، مثل الأملاح والحوامض المتطايرة في الهواء. وأهم هذه الأجسام هي:

1- أملاح البحار .

2- مركبات الأكسجين والأزوت الناجمة من مرور أشعة الشمس فوق البنفسجية خلال الجو ، ومن البرق في عواصف الرعد.

3- كلورو الكالسيوم.

4- الحوامض الناجمة من عمليات الاحتراق المختلفة.

ويعمل سبب التكاثف عندما تكون الرطوبة النسبية أقل من 100% لوجود هذه الأملاح الأستربابية وهي أيضا التي تساعد على بقاء قطرات الماء في المحلول على حالة السيولة تحت درجات من الحرارة دون الصفر ، وهي التي تسمى قطرات ماء فوق مبردة.

لذلك فإن التكثيف على بلورات ملحية أو جسيمات متبللة تؤدي إلى اختصار زمن نمو القطرات وإلى تكوين توزيع حجمي واسع بين قطيرات السحابة (Broad Droplet Spectrum) يبعجل في نمو الهطول بالتصادم والالتحام (Collision and Co-)

(alescence) ، أما النمو بالتكثيف المتجانس ، فإنه يؤدي إلى توزيع حجمي منتظم للقطيرات .

ولذا في عمليات الاستمطار يحسب الزمن لبلوغ المدى الأعلى للتكثيف لمسافة محددة على محور التيار النفاث . مثلاً على المسافة (r) :

$$Z_{max} = r^2 / 4D$$

حيث: D- معامل انتشار العوالق

ويلاحظ على أية حال أن بعض نويات التكاثف تكون صلبة ، كما أن بعضها يكون سائلاً ، فإذا حدث التكاثف في درجات حرارة أكبر من درجة الصفر المئوي فإن التكاثف يكون في صورة نقط من الماء السائل ، أما إذا حدث التكاثف في درجات حرارة أقل من درجة الصفر المئوي ولم تكن هناك نويات تكاثف صلبة تتكون نقط من الماء " فوق المبرد" وتظل هذه النقط " فوق المبردة" في حالة السيولة رغم انخفاض درجة الحرارة تحت الصفر (نقطة تجمد الماء تنخفض عن الصفر مع تناقص الضغط الجوي مع الارتفاع) .

وإذا كانت نويات التكاثف صلبة ودرجة حرارة الجو دون الصفر المئوي فإن بخار الماء العالق في الهواء يتحول مباشرة إثر تكاثفه إلى بلورات من الثلج تنمو باستمرار التكاثف في صورة صفائح رقيقة أو نجوم .

هذه البلورات الجليدية التي يمكن ملاحظتها في الطبيعة على هيئة ندف ثلج ظريفة وأشكال جميلة خلابة ترسم على

زجاج النوافذ أيام البرد القارس لتعطي فكرة عن البناء البلوري الصحيح للجليد والسرفي جمالها هذا هو وجود مستويات في الشبكة البلورية للجليد تتوضع فيها ذرات الأكسجين بحيث تشكل مسدسات متساوية الأضلاع.

ولعل ذلك هو السبب في أن الشكل الشائع لندف الثلج هو الشكل السداسي.

وهذا الجمال الرائع لندف الثلج وأشكالها المتنوعة دفع بالعلماء إلى تكريس سنوات عديدة لدراسة هذا اللغز العجيب في الطبيعة.

فقد أخذت عشرات الآلاف من الصور لندف الثلج في ظروف متباينة وأماكن متعددة : في طبقات الجو العليا وفي الغيوم وعلى الأرض في أقصى الجنوب وأقصى الشمال ، أي في كل مكان يمكن أن يتساقط فيه الثلج .

فبالإضافة إلى العدد الهائل من الندف السداسية الشكل وجدت ندف أخرى على شكل قضبان وأبر ورقائق. وبتعبير أدق فإنه ينبغي الاعتراف بعدم وجود ندف متساوية تماما في شكلها. ففي هذا التباين الهائل لا بد من أن تختلف كل ندفة ثلج عن الأخرى إما في بنائها أو شكلها أو حجمها ، كما هي مبينة في الشكل (2-2).

ولاشك أن كل هذا يعتمد على تقلبات الظروف، التي يتم فيها تشكل الندف ونموها في الجو. وثمة أشياء كثيرة غامضة في الطبيعة ترتبط مباشرة بهذا الجمال الرقيق لندف الثلج.



شكل (2-2) نموذج من البلورات الجليدية

ففي السحب يتم التكتيف في النويات بسرعة كبيرة . ويمكن للقطرة أن تنمو من حجم للنويات إلى حجم مرئي في جزء من الثانية . وتبدأ عملية النمو تبطئ إلى حد غير محتمل لإنتاج القطرات من متوسط حجم أكبر من 30 ميكرون. إن بداية نمو قطرات الماء بالتكتيف من بخار الماء سريعة. لكن نسبة النمو تتناقص عندما تصبح القطرة كبيرة وواسعة. والتي ينبغي أن يكون حجمها ما بين 40-50 ميكرون بالقرب من قاعدة السحابة.

وبما أن شكل السحب وتطورها في الغلاف الجوي في الغالب تكون نتيجة لانتشار وبرودة الهواء الرطب الصاعد. فإن التكاثر يعتمد أيضا إلى درجة كبيرة على الحالة الكهربائية لطبقة الجو التي يحدث فيها التكتيف. وإذا وجدت في طبقات الهواء المجاورة

قطرات مائية ذات شحنات كهربائية متماثلة. فإنها ستتنافر مع بعضها البعض ولا تزداد حجما. وفي هذه الحالة يجري تشكل الغيوم فقط. وعند تعاكس علامات الشحنات الكهربائية، تنجذب القطرات نحو بعضها البعض ويزداد حجمها ثم تسقط على هيئة قطر.

السحب:

هي عبارة عن جمعات لبخار الماء المتكاثف بشكل قطرات مائية أو ثلجية دقيقة سابحة في الجو ومعلقة في الهواء لصغر حجمها وخفتها وتكون مرئية بتأثير الضوء الذي تعكسه أو تحجبه جسيماتها. وهي بذلك لا تلامس الأرض مطلقا. وتحتوي السحب على كميات متفاوتة من الماء على شكل قطيرات يتراوح قطرها من 100-5 ميكرون وبتركيز -10 1000 قطيرة/سم³ ويتراوح تركيز القطيرات الكبيرة (أكبر من 100 ميكرون) بين 1-10، 0 قطيرة للتر في السحب البحرية. أما في السحب القارية فأن التركيز يقارب عشرة أضعاف هذا العدد. ويبلغ معدل كمية الماء في السحب 1غم/م³ ولكنه قد يقل عن ذلك في السحب الباردة أو الرقيقة (0.3 غم/م³) ويتجاوزه في السحب الركامية النشطة والدافئة (10-5غم/م³). إن النمو لقطرات السحب تؤثر فيها عدة عوامل منها رطوبة الهواء حول القطرات وتأثيرات شدة السطح والنويات الطبيعية وسرعة انطلاق الحرارة الكامنة التي تنتقل للهواء المحيط .

ويمكن معرفة رطوبة الهواء في الغلاف الجوي من خلال كمية بخار الماء الذي يعطي مؤشراً لتكون السحب، ثم المطر. هذه الكمية ترتبط ارتباطاً شديداً بدرجة حرارة نقطة الندى T_d في سطح الأرض، وتحسب بالمعادلة التالية:

$$\ln W = a T_d + b \quad (2-7)$$

حيث أن: a , b - ثوابت






















$\ln W$ - لوغاريتم طبيعي لكمية الماء المتكونة في الغلاف الجوي. ومن معادلات لمناطق مختلفة من الكرة الأرضية وإجراء الحسابات لمستويات مختلفة في الغلاف الجوي وعلاقتها بدرجة حرارة نقطة الندى تم التوصل إلى المعادلة الوسيطة التالية:

$$\ln W = 0.06 T_d - 0.02 \quad (2-8)$$

ويمكن أيضاً معرفة المحتوى المائي من خلال علاقة درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية.

ومن المعروف بأن كمية الرطوبة في الهواء تتغير خلال اليوم بتغير درجة الحرارة وهطول الأمطار. ويمكن للجبهات أن تنقل كتلاً هوائية مختلفة من حيث محتواها المائي.

ويوضح الشكل (2-3) كمية المحتوى المائي في الغلاف الجوي (جرام / م³)، الذي يزداد بازدياد حرارة الهواء والرطوبة النسبية والعكس بالنسبة للهواء البارد.

درجة الحرارة	المحتوى المائي للرطوبة النسبية (جرام /					
	4.85	7.27	9.41	13.65	17.31	30.4
86°F	 16%	 24%	 31%	 45%	 57%	 100%
68°F	 28%	 42%	 54%	 79%	 100%	
61°F	 36%	 53%	 69%	 100%		
50°F	 52%	 77%	 100%			
43°F	 67%	 100%				
32°F	 100%					

شكل (2-3) علاقة المحتوى المائي بالرطوبة النسبية ودرجة الحرارة في الهواء

الأسباب العامة لتكون السحب:

تتكون معظم السحب عندما يتعرض الهواء الرطب لحركة رأسية إلى أعلى . وبهذه الطريقة يبرد الهواء نتيجة للتمدد الذي يحدث عند الضغوط المنخفضة في الغلاف الجوي العلوي.

يتكون عندئذ بعض بخار الماء مكونا سحابة. وتكون هذه السحابة وغيرها من أشكال وأنواع السحب تعبيرات حقيقية للطريقة التي أرتفع بها الهواء ليشكلها. وتعتبر الأنواع المختلفة للحركة الرأسية الآتية الذكر هي التي تؤدي إلى تكون السحب :

1. الحركة الدوامية الميكانيكية.
2. تيارات الحمل.
3. الصعود بواسطة التضاريس.
4. الارتفاع البطيء واسع الانتشار.

1. الحركة الدوامية الانسيابية :

تدفع الهواء فوق سطح الأرض عادة يتأثر بقوى الاحتكاك التي تؤدي إلى تكون سلسلة من الدوامات . تتزايد هذه الحركة الدوامية مع تزايد العوائق كالمباني والأشجار والتلال الخ. والهواء في طبقة الاحتكاك يمتزج تماما بواسطة الحركة الميكانيكية . فإذا كانت الطبقة في البدء مستقرة سيبرد القسم الأعلى ويسخن القسم الأسفل. نتيجة لذلك قد ينشأ في هذه الطبقة معدل تناقص ذاتي جاف إذا ما ظل الهواء غير مشبع.

وبالمثل يمزج الاضطراب ببخار الماء في الطبقة المضطربة وعليه تميل كمية بخار الماء إلى أن تصبح متجانسة. ونتيجة لذلك قد يصير الهواء مشبعا عند مسافة ما تحت قمة طبقة الاحتكاك . عندئذ قد يحدث التكثيف على ارتفاع ما فوق الأرض معروفا بمستوى التكثيف بالخلط والذي يمثل هذا قاعدة السحابة.

وإذا تكونت سحابة نتيجة للحركة غير الانسيابية، فإن معدل التناقص الذاتي الجاف سيمتد إلى أعلى حتى قاعدة السحابة فقط. وعليه سيمتد معدل التناقص الذاتي المشبع إلى قمة الطبقة المضطربة . ولذلك سوف تمتد السحابة إلى أعلى حتى قاعدة الانقلاب الناشئ عن الحركة غير الانسيابية

عند الحد الأعلى لطبقة الاحتكاك.

في الأساس تكون السحب المتشكلة بواسطة الاضطراب طبقية، أي صفحة ممتدة من السحاب ليست لها شكلاً محدداً. وقد تستمر في شكلها هذا، أو قد يتطور سطحها الأعلى والأسفل إلى مظهر تموجي.

وعندما تحدث هذه التموجات، عندئذ يتغير سمك السحابة، وأحياناً قد ترى تكسرات. ينشأ هذا نتيجة أن السحب تتكون بواسطة التيارات الصاعدة التي تتبخر مع وجود تيارات هابطة، وتصنف هذه السحابة كطبقة ركامية.

قد تنمو أيضاً سحب الحركة غير الانسيابية أسفل السحب الممطرة، مثل الطبقي المزني، الطبقي المتوسط والركام المزني. وتكون هي السحب المهلهلة الشديدة الانخفاض المصاحبة للطقس الرديء، والمعروفة بالطبقي المتقطع أو الركام المتقطع.

وعليه يشار للسحب المتقطعة بسحب الطبقي المتقطع أو ركام متقطع على التوالي. تستمد هذه السحب رطوبتها من تبخر قطرات المطر وماء المطر عند سطح الأرض. وعندئذ تسبب الحركة غير الانسيابية عند سطح الأرض سحب منخفضة مهلهلة في الهواء، الموجود تحت منطقة تكون السحابة الرئيسية.

أحياناً يشاهد الركام الطبقي المرتفع أو الركام المتوسط عندما تتغير الرياح بالارتفاع خلال طبقة رطبة، مرتفعة فوق طبقة الاحتكاك عندئذ قد تنشأ الحركة المضطربة عند هذه الارتفاعات. ولكن عادة ما تكون بعض العوامل الأخرى مسؤولة عن سعة بخار الماء المرتفعة.

2. الحمل الحراري:

عندما يسخن الهواء قرب سطح الأرض ، تنمو تيارات الحمل الحرارية. وتسمى العملية بالحمل الحراري أو الحركة المضطربة الحرارية. تنظم هذه العملية مع الحركة المضطربة الميكانيكية أو الاحتكاكية لمزج الهواء في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي.

عموماً يميل معدل تناقص درجة حرارة الوسط المحيط إلى معدل التناقص الذاتي الجاف، بينما يبقى الهواء غير مشبع. تتكون السحابة عند هذا المستوى ، ولكن يعتمد الامتداد لنموها الرأسي على عدة عوامل . إحداها هو معدل تناقص الوسط المحيط في الهواء فوق قاعدة السحابة.

وإذا كان تناقص الوسط المحيط أكبر من معدل التناقص الذاتي المشبع، كان الغلاف الجوي غير مستقر بالنسبة لأجزاء مشبعة من الهواء. عندئذ يكون الهواء المشبع مدفوعاً للارتفاع . يستمر الهواء في الارتفاع حتى يصل إلى مستوى لا يكون بعده أسخن من الوسط المحيط.

ولذلك تنمو السحابة الركامية بهذه الطريقة وقد تتغير المسافة من القاعدة إلى القمة من كيلومتر واحد أو كيلومترين إلى عشرة كيلومترات أو أكثر. فيطلق على سحب الحمل المعزولة والمحدودة الامتداد ركام الطقس اللطيف ، يكون امتدادها الرأسي غير كاف لحدوث الهطول.

ولذلك تنتهي أحياناً التيارات الرأسية بانقلاب حراري ملحوظ فوق مستوى التكثيف للحمل الحراري . عندئذ تنتشر قمة السحابة من تحت الانقلاب وتتطور السحابة إلى ركام طبقي .

وفي بعض الحالات يتجاوز معدل تناقص الوسط المحيط فوق مستوى التكثيف معدل التناقص الذاتي المشبع خلال طبقة عميقة إذا كانت الرطوبة متوفرة فقد تمتد عندئذ السحابة إلى ارتفاعات كبيرة.

وأحيانا قد تمتد قمم السحب إلى مستويات حيث تتكون بلورات الجليد .

وتعرف السحابة الركامية ذات الامتداد الرأسي الكبير والتي تتكون قممها من بلورات جليد بالركام المزني (السحابة الرعدية) . ويعطي ستار بلورات الجليد الذي يحيط بالأجزاء العلوية من السحابة مظهرا ليفيا انسيابيا ، والذي يميزها عن سحب الركام.

قد ينمو الهطول خفيفا أو عنيفا حسب درجة عدم الاستقرار والارتفاع ودرجة الحرارة التي وصلت إليها. وأحيانا قد يكون للسحابة قاعدة أقل من كيلومتر وامتداد رأسي يصل إلى عشرة كيلومترات أو أكثر(شكل 4-2).



شكل (2-4) نوع من سحب الركام المزني

Cumulonimbus (Cb)

وأثناء الزخات قد تنشأ سحب الحركة الاضطرابية المهلهلة تحت القاعدة الرئيسية واصله أحيانا إلى سطح الأرض تقريبا . وعند وصول السحابة إلى طبقة مستقرة أو انقلاب . قد تنتشر السحابة أفقيا . فينشأ المظهر السندانى المعروف لقمة الركام المزني.

وعندما تنشأ حالات عدم الاستقرار تصبح كمية هائلة من الطاقة متوفرة من انطلاق الحرارة الكامنة . قد تتجاوز السرعات الرأسية في التيارات الصاعدة 10م/ث . وتعيق بهذه السرعة القطرات الكبيرة من السقوط إلى أسفل . أخيراً، قد تنطلق هذه القطرات إذا انقطعت التيارات الرأسية. وقد يحدث عندئذ عاصفة مطر عنيفة .

وغالبا ما تصل سحب الركام المزني إلى ارتفاعات أعلى في المناطق المدارية عن أي مكان آخر . فتكون الفرصة متوفرة للارتفاعات الأعلى وفقا للتريبوبوز العالي وامتداد قمم السحب إلى ارتفاع 16 كيلومتر أو أكثر.

وفي المناطق المدارية تكون درجة الحرارة عند مستوى التكثيف أعلى، وبناء على ذلك تكون سعة الهواء لبخار الماء أعلى. وعليه يطلق التكثيف كميات أكبر من الحرارة الكامنة . ويحدث ركام مزني ذو شدة عنيفة .

(أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يُزْجِي سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُ ثُمَّ يَجْعَلُهُ رُكَّامًا فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ وَيُنزِلُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ جِبَالٍ فِيهَا مِنْ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيُصْرِفُهُ عَنْ مَنْ يَشَاءُ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِ يَذْهَبُ بِالْأَبْصَارِ (43)) صدق الله العظيم "النور" .

وتمتاز هذه السحب بالأمطار الغزيرة والظواهر الجوية -

الكهربائية -شكل (2-5)- ويصل ارتفاعها من قرب سطح الأرض حتى 50000 قدم.



شكل (2-5) الظواهر الجوية - الكهربائية
في السحب الركامية

3. الصعود بواسطة التضاريس:

عندما يبلغ الهواء عائقاً ، فإنه يجبر على الصعود قرب سطح الأرض وعند ارتفاعات أعلى على حد سواء . وقد تتأثر طبقة عميقة من الغلاف الجوي ويتغير توزيع درجات الحرارة . فيبرد الهواء الذي أجبر على الصعود ذاتياً، وقد تتكون السحب. ويتوقف نوع السحاب المتكون بواسطة الصعود على المرتفعات على عدد من العوامل منها استقرار الهواء الذي يتكون فيه السحاب.

ففي الهواء المستقر الرطب غالباً ما يتكون السحاب الطبقي. تكون سحب الركام مميزة للهواء غير المستقر قليلاً . إذا أزداد عدم الاستقرار خلال عمق كبير من الجو. قد تنمو سحب الركام المزني. شكل (2-6).



شكل (2-6) السحب التضاريسية
(Orographic cloud)

فليست كل الرياح الهابة فوق الجبل أو الهضبة تنتج سحبا . ففي بعض الأحيان تكون سعة الهواء لبخار الماء غير كافية لتكون السحب.

وعندما تتشكل السحابة الطبقيه فإنها تتكون من قاعدة مسطحة ، وعموما ليست ذات سمك كبير في قمتهـا . وهي تشكل صفحة منبسطة تغطي الأراضي المرتفعة. ولكن يحدث انكسار فوق الأراضي المنبسطة. ويسبب نزول الهواء من الجانب المحجوب عن الرياح تسخين الهواء وعليه تنقشع السحب سريعا .

على وجه العموم، تتكون سحابة التضاريس تدريجيا في جانب الهضبة أو الجبل المواجه للرياح. وتبدو السحابة ككل ساكنة ، ولكن الهواء نفسه يستمر في الحقيقة في طريقه إلى الجانب الأخر من العائق .

وفي بعض الأحيان تتكون السحابة عاليا فوق الهضبة أو الجبل عندما توجد طبقة من الهواء المشبع إلى حد ما عاليا. قد يسبب رفع الهواء بالتضاريس حدوث التكثيف فوق العائق.

وتكون السحابة رقيقة من نهايتها وأكثر سمكا واتساعا في مركزها. ويكون مظهرها مشابه لمظهر العدسة ، تسمى السحب العدسية.

وعليه تشير السحب العدسية إلى وجود موجات ثابتة في اتجاه عوائق الجبل المحجوب عن الرياح . ومن المهم إدراك أن التدفق التموجي قد لا يزال موجودا - حتى إذا اختفت السحابة - نتيجة انخفاض محتوى رطوبة الهواء. وكثيرا ما تؤثر هذه الموجات الساكنة على أداء الطائرات.

4. الصعود البطيء الواسع الانتشار:

تنشأ الحركة الرأسية عن التوزيعات الكبيرة للرياح ، مثل المنخفضات والمرتفعات الجوية .

وتكون هذه الحركة في المنخفض الجوي موزعة فوق مساحة واسعة جدا وعليه تكون السرعات الرأسية صغيرة نسبيا . ومع ذلك قد يستمر لأيام عديدة مسببا صعود كتل كبيرة من الهواء خلال عدة كيلومترات.

وفي أغلب الأحيان يبدأ أولا الصعود الواسع الانتشار بواسطة التباعد في التروبوسفير الأعلى . فيؤدي تدفق الكتل للخارج على ارتفاعات عالية والناشئ عن هذا التباعد إلى انخفاض في الضغط عند المستويات المنخفضة بجوار سطح الأرض . ويتكون منخفض جوي يحدث عندئذ تقارب قرب مستوى البحر ويحدث الصعود البطيء واسع الانتشار خلال أعماق كبيرة من التروبوسفير . وعندئذ يتبع ذلك نمو سحب واسعة الانتشار إذا كان الهواء رطبا بدرجة كافية.

وكثيرا ما يكون صعود الهواء واسع الانتشار خلال طبقات عميقة من الغلاف الجوي مصحوبا بالمنخفضات الجبهية القطبية. فيحدث كثيرا من العلاقات المختلفة بين الكتل الهوائية الساخنة والباردة.

طرق نمو القطرات في السحابة:

يبدأ تكون قطرات السحب بطرقٍ عديدة أهمها:

1- طريقة نمو القطرات بالاندماج:

يمثل الاندماج والاصطدام المباشر لقطيرات الماء الهائلة التي تنشأ بالقرب من قاعدة السحب الركامية عملية مهمة تنمو بواسطتها قطيرات السحب إلى حجم قطرة المطر. وتهبط القطيرات المحمولة إلى أعلى بواسطة التيارات الصاعدة. وعندما يحدث هذا تهبط القطيرات الأكبر بالنسبة إلى جاراتها الأصغر.

وبالرغم من وفرة القطيرات في السحابة إلا أن ما ينمو منها إلى قطرات الهطول لا يتجاوز جزء من المليون. مما يؤكد على وجود عملية انتقائية عالية بين قطيرات السحب. وتشكل القطيرات الكبيرة (أكبر من 30 ميكرون) .

وتكون القطيرات الصغيرة جداً غير قادرة على الاصطدام ببعضها البعض. ومع ذلك عندما يتعدى نصف قطر إحدى القطيرات حوالي 18 ميكرون. قد يحدث الاصطدام وتزايد كفاءة الاصطدام بطريقة ملحوظة للقطرات الأكبر حجما وذلك بسبب تواجد الحركة الاضطرابية. وتوفر الماء في السحب وتفاوت سرعة السقوط. وتواجد التيارات الصاعدة داخل السحابة لمدة

كافية . ويتم التصادم بين القطيرات بالاستجابة التفاضلية للقطرات إلى المجالات الثقالية أو الكهربائية أو الهوائية . وتطغى قوة الثقائل في السحب ، حيث أن القطيرات الكبيرة تسقط أسرع من الصغيرة فتصطاد بعضها ، أما القوى الأخرى فتعتبر ثانوية . وليست كل قطيرة تتصادم تلتحم ، فبعضها ينفصل والآخر يلتحم بعد التصادم.

وتعتمد فعالية الاصطدام (Collision Efficiency) على حجم القطيرات الجامعة (الكبيرة) وحجوم القطيرات المتجمعة (الصغيرة) وعلى المسافة الفاصلة بين مراكز القطيرات . كما هو موضح في العلاقة التالية :

$$E1 = [dg / (d1 + d2)]^2 \quad (2-9)$$

حيث:

E1 - فعالية التصادم.

dg - المسافة الفاصلة بين مراكز القطيرات.

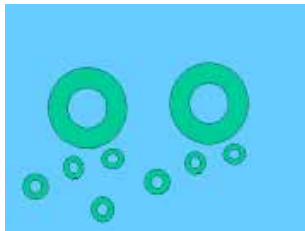
d1 - قطر القطيرات المأسورة (الصغيرة).

d2 - قطر القطيرات الأسرة (الكبيرة).

حاصل ضرب كل من فعالية التصادم (E1) بفعالية الالتحام (E2) والتي تساوي الوحدة عادة للقطيرات التي تقل عن 100 مايكرون . وتتحكم بفعالية التجميع (-Collection Efficiency) التي تؤدي إلى نمو القطيرة في عمليتي التصادم والالتحام ، وتحسب من العلاقة الآتية:

$$E = E1 E2 \quad (2-10)$$

ويكون التصادم والالتحام ضروريين لنمو الهطول من السحب الدافئة . إذ تكون درجة حرارة هذه السحب فوق الصفر وتتكون من قطيرات ماء . و يوضح الشكل (2-7) عملية التصادم والالتحام للقطرات.



شكل (2-7) تصادم والتحام القطرات

وقد تنمو القطيرات فوق المبردة للسحب الباردة بالتصادم والاندماج مع بعضها بطريقة ماثلة. أو بفعل النمو الانتشاري (Tor Bergeron) .

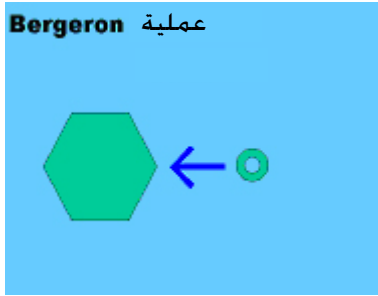
2 - نمو القطرات بالطريقة الانتشارية:

يعتمد النمو الانتشاري على حقيقة التباين في ضغط بخار الماء المشبع فوق كل السطوح الجليدية والمائية عند درجة الحرارة دون التجمد .

فقد أفترض عالم الأرصاد الجوية السويدي (Tor Bergeron) العملية التي يمكن أن تنمو بها البلورات الثلجية في السحب الباردة المختلطة . والتي تتكون من البلورات الثلجية وقطيرات الماء فوق المبردة .

وكما هو معروف بأن ضغط بخار الماء المشبع فوق الثلج

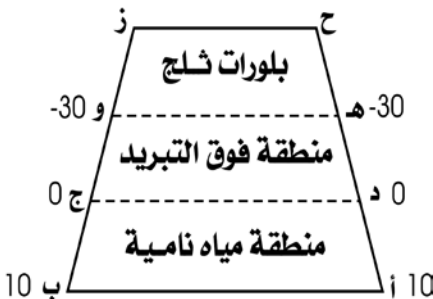
أقل من فوق الماء عند نفس درجة الحرارة.
وعندما توجد البلورات الثلجية في قطيرات سحابة مياه فوق مبردة ، يصبح الوضع غير مستقر . ولذلك يحدث تبخر لقطيرات الماء . في هذا الوقت ضغط بخار الماء يتشبع ، ويكون فوق مشبع فوق البلورات الثلجية ، ومباشرة يتحول إلى ثلج ويترسب على البلورات الثلجية.
وهكذا تنمو البلورات الثلجية على حساب قطيرات الماء (شكل 2-8).



شكل (2-8) النمو الانتشاري

على أساس هذا المفهوم ظهرت فكرة إنتاج المطر بإيلاج الجزيئات الثلجية في السحب العالية البرودة . أو من قطرات ذات قطر حوالي 50 ميكرون في قاعدة السحب الركامية المناسبة التي تؤدي إلى تكون الأمطار . وهذا يدل على أن الأمطار تحدث طبيعياً من طور الثلج عند درجة حرارة في قمة السحابة أقل من -12°C ، ومن ناحية أخرى ، ليست كل السحب عند درجة حرارة أقل من -12°C تعطي مطرا إذا لم تتوفر الشروط الملائمة لسقوطه.

فمثلاً عند السحب الركامية عندما يكتمل نموها يمكن أن تميز فيها طبقات ثلاث كما في الشكل (-2 9) الذي يعطي مقطعاً رأسياً في ركام مزنى . فالقاعدة أ ب تمثل مستوى التكاثف . وهو الارتفاع الذي يبدأ عنده التكاثف في الهواء الصاعد (10 مئوية في هذه الحالة) . ويمثل المستوى د ج نقطة الجليد أو الارتفاع الذي تنخفض عنده درجة حرارة الجو إلى الصفر المئوي . وعليه فإن أغلب مكونات المنطقة أ ب ج د هي نقطة نامية من الماء . ويمثل المستوى وهـ 30 درجة مئوية تحت الصفر . فإذا كانت هذه هي نقطة التجمد الفعلية - أي أن التكاثف داخل السحابة يمكن أن يكون في صورة نقطة من الماء فوق المبرد إلى هذا الحد فقط . بينما يكون في صورة بلورات من الثلج في درجات الحرارة التي تقل عن 30 مئوية تحت الصفر - فإن المنطقة د ج وهـ تمثل منطقة فوق التبريد . وتكون في نفس الوقت في حالة التشبع بالنسبة للنقط المائية . وفي حالة فوق التشبع بالنسبة لبلورات الثلج . أما المنطقة العليا وزحـ هـ فهي مرحلة بلورات الثلج وهي تبدو ناصعة البياض .



شكل (2-9) مراحل التبريد في ركام مكتمل النمو

هذه هي مراحل التبريد أو المناطق الثلاثة داخل السحب الركامية النامية . ولكل مرحلة منها صفاتها الطبيعية ودورها المستقل الذي تلعبه في عمليات الهطول . فليس نزول المطر أو البرد إلا نتيجة لما أَرَادَهُ اللهُ أَنْ يتم داخل هذه المناطق (وبخاصة المنطقة الوسطى) من عمليات حرارية . والذي يعتبر نتيجة لنمو مجموعات معينة من مكونات السحب بطريقة خاصة بالنسبة للمجموعات الأخرى وسقوط هذه المجموعات النامية لزيادة حجمها.

ويعتبر حجم عدد نويات القطرات المطرية مهماً في تكوين السحب وسقوط المطر . فهي مختلفة من منطقة إلى أخرى ففوق المدن معدل عددها يصل إلى 150,000 سم³ . بينما فوق المحيطات وقمم الجبال تتناقص حتى تصل 1000 سم³ . ولقد وجد بأن التكتيف المتجانس داخل الغرفة الضبابية الخالية من جسيمات الهباء (Aerosols) يحتاج إلى رطوبة نسبية (فوق إشباع) تتجاوز 400%.

ولذا لابد لسقوط المطر وتكوينه من وجود الرطوبة الكافية في الهواء ، ووجود نوية تتجمع حولها هذه الرطوبة بفعل التكتيف الناشئ عن التبريد الذي لابد من توفره كشرط أساسي لحدوث المطر . وبعد حدوث عملية التكتيف وحدوث القطيرات المائية الدقيقة وعدم تحمل الهواء على الاحتفاظ بهذه القطيرات المائية الدقيقة ، تبدأ في السقوط نحو الأرض بفعل الجاذبية وتصطدم بطريقة بقطيرات أخرى تتجمع معها لتصل إلى الأرض على هيئة قطرات من المطر تختلف أحجامها بفعل سرعة تكوينها ، فالقطيرات في الأمطار العاصفة تكون أصغر

حجماً وأهدأ في سقوطها فلا تتسبب في الضرر لقلّة الشدّة . وهي في الأمطار الرعدية ذات حجوم أكبر وسرعة أشد . وتسبب أضراراً جمة أقلها جرف التربة وحدوث الفيضانات المدمرة . وثبت علمياً أنه عندما تكون عملية التكثف بطيئة جداً فإن ذلك لا يفسر نمو قطرات المطر لأغلب السحب لاسيما للسحب الركامية . لقصر عمرها . وهي مهمة فقط لنمو القطيرات لغاية 20 ميكرون . لذلك يجب البحث عن عوامل أكثر كفاءة لنمو الهطول .

سرعة تساقط قطيرات الماء :

عندما يسقط جسم خلال الهواء فإنه يتعرض لثلاث قوى:

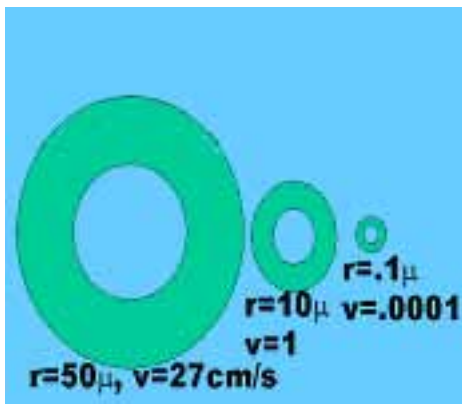
1. قوة الجاذبية الأرضية
 2. الدفع لأعلى بسبب الطفو (قاعدة أرشميدس)
 3. مقاومة الهواء لحركة الجسم
- في البداية يتسارع الجسم لأن قوة الجاذبية الأرضية أكبر من التأثير الرأسي لأعلى للقوتين الأخرين مجتمعتين . وعلى أية حال كلما تحرك الجسم بسرعة أكبر تجاه الأرض كلما زادت مقاومة الهواء له .

وفي النهاية تتزن القوى المؤثرة عليه وبالتالي يهبط بسرعة ثابتة تعرف باسم السرعة النهائية .

فمثلاً يتسارع المظلي إلى أسفل في البداية ولكنه في النهاية يهبط بسرعة ثابتة عقب فتح مظلته مباشرة . كذلك تصل أوراق الأشجار المتساقطة إلى سرعة نهائية وبنفس الطريقة تتسارع قطيرات المطر الساقطة حتى تصل إلى سرعة

قصوى في الاتجاه إلى أسفل ثم تستمر حركتها بنفس هذه السرعة .

وتشير بعض المراجع إلى أن قطر القطرات المائية المؤلفة للغيوم من 0.004 ملم إلى 0.1 ملم وتبلغ سرعتها 1 سم في الثانية بينما يبلغ بعد الواحدة عن الأخرى حوالي مليمتر واحد في الجو ذو الهواء الهادئ مع وجود تيارات صاعدة خفيفة. ويوضح الشكل (10-2) القطرات وأحجامها المختلفة.



شكل (10-2) حجم قطرات المطر وسرعتها حيث

r - قطر قطرة المطر ، v - سرعة سقوط القطرة.

وتتناسب السرعة النهائية لجسيم الماء طرديا مع حجمه ويبين الجدول (2-2) هذا التأثير.

جدول (2-2) سرعة سقوط الجسم المائي

السرعة النهائية متر/ثانية	القطر بالميكرون
0.00012	2
0.00192	8
0.27	100
0.72	200
2.06	500
4.03	1000
6.49	2000
9.09	5000
9.17	58000

أنواع السحب:

أنواع السحب بالنسبة للارتفاع :

تنقسم الغيوم دوليا بحسب ارتفاع قواعدها إلى (10)

أجناس داخل المجموعات الرئيسية التالية:

1 - الغيوم المنخفضة:

وهي عبارة عن الغيوم التي لا يقل ارتفاع قواعدها عن

200م ولا يزيد عن 2000م.

Low Clouds (Stratus)



شكل (2-11) غيوم منخفضة

2 - الغيوم المتوسطة:

وهي عبارة عن الغيوم التي يتراوح ارتفاعها ما بين 2000م إلى 6000م.

Middle Clouds (Alto cumulus)



شكل (2-12) غيوم متوسطة

3 - الغيوم العالية:

وهي عبارة عن الغيوم التي يكون ارتفاعها محصورا ما بين 6000م إلى 12000م وقد تصل إلى 18000م في المناطق الاستوائية.

High Clouds (Cirrus)

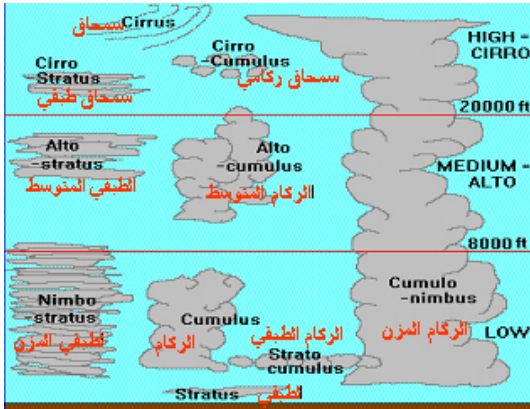


شكل (2-13) غيوم عالية

كما قسمت الأجناس إلى أنواع بلغ عددها 14 نوعاً، والأنواع إلى أصناف ويوضح الجدول (2-3) والشكل (-142) الصورة المبسطة لتوزيعات السحب بالارتفاع. ويلاحظ أن السحب العمودية وهي من السحب المنخفضة التي يمكن أن تمتد إلى 6 كم وأكثر.

جدول (2-3) تقسيم المجموعات حسب الارتفاع

تقسيم المجموعات	السحب المنخفضة	السحب المتوسطة	السحب العالية	ذات الانتشار العمودي أو النمو الرأسي، قاعدتها على ارتفاع 500م فأعلى
المنخفضة	قاعدتها بين 200-2000م	قاعدتها بين 2000-6000م	قاعدتها بين 6000-12000م	قاعدتها على ارتفاع 500م فأعلى
المنخفضة	طبقي	طبقي	سمحاقى	الركامى
المتوسطة	مزنى طبقي	متوسط	ركامى	المزنى
المتوسطة	طبقي ركامى	الارتفاع	طبقي	الركامى
المتوسطة	ركامى	ركامى	ركامى	الركامى
المتوسطة	متوسط	متوسط	سمحاقى	الركامى
المتوسطة	الارتفاع	الارتفاع	سمحاقى	الركامى
ملاحظات	قد يحدث في بعض الأحيان أن تهبط قاعدتها لتصل إلى سطح الأرض وقد يتحول الضباب بفعل الشمس والرياح إلى هذه الغيوم	قد يتراوح ارتفاعها من 2-8 كم	الارتفاع ليس واحداً في جميع العروض فهو عند القطبين بصورة عامة أقل منه عند خط الاستواء	قد تصل قمة ارتفاعها إلى منطقة السحب العالية



شكل (14-2) توزيع السحب حسب الارتفاع

أنواع السحب بالنسبة لدرجة الحرارة والمحتوى المائي لها:

1 - السحب المائية (الدافئة):

وهي السحب التي تكون عبارة عن قطرات مائية عند درجة حرارة أعلى من نقطة التجمد. وعليه لا تتكون بداخلها البلورات الثلجية وتتكون القطرات المائية فيها عن طريق عملية التصادم والاندماج. وتتكون هذه السحب في الغالب في المناطق المدارية.

2 - السحب الباردة الجليدية:

وهي السحب التي تتكون من بلورات جليدية. ويتجاوز ارتفاعها 6 كم. وفي بعض التجارب وجد أنه عند درجة حرارة ما بين 12- و 24- أشارت ذبذبات الرادار إلى وجود جزيئات مطر في 20% منها، و 72% من السحب الأبرد من 24-.

كذلك قد يتحول بخار الماء مباشرة إلى ثلج صلب دون المرور على الحالة السائلة ويتم ترسيب البخار بهذه الطريقة على نويات تسمى بنويات تسامى. وهذه النويات أيضا أقل توافر من نويات التكثيف ومع ذلك فإنها تشمل البلورات الثلجية التي قد تتواجد بهبوطها من سحب باردة عالية.

3 - السحب المختلطة:

وهي سحب تتكون من قطيرات مائية وبلورات جليدية ومن الممكن أن تكون القطيرات المائية فوق المبردة والدافئة في مستويات مختلفة من السحابة.



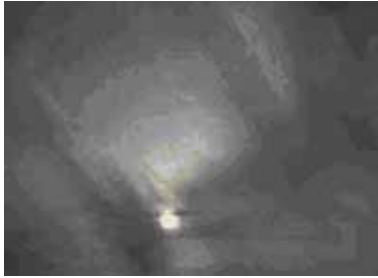
شكل (15-2) سحابة مختلطة

أنواع السحب بالنسبة للمظهر الخارجي :

1 - السحب الطبقيّة "Stratus":

وهي سحب رمادية اللون لها قاعدة منتظمة ويمكن أن تعطي رذاذا أو منشورات جليدية أو حبيبات ثلجية. ولا يسبب

السحاب الطبقي ظاهرة الهالة إلا في درجة الحرارة المنخفضة جداً.



شكل (2-16) سحب طبقية متوسطة
Altostratus (As)

2 - السحب الركامية "Cumulus" :

وهي سحب متفرقة كثيفة ولها حدود واضحة المعالم وتنمو رأسياً على شكل روابي أو أبراج أو قباب، وغالبا ما يشبه القسم العلوي المنفتح منها القرنبيط. أما قواعدها فهي داكنة وأفقية تقريبا وتكون الأجزاء المضاءة منها بنور الشمس غالبا بيضاء لامعة.



شكل (2-17) سحب ركامية Cumulus (Cu)

وفي هذا النوع يوجد : الركام المزمي (Cumulo Nimbus). التي تمتاز بالسرعة الشديدة في التكون. حيث تتشكل تلك السحب في حال كون الحركة الرأسية للهواء شديدة فوق بقعة صغيرة المسافة نسبياً. ويتمكن الهواء عندها من الارتفاع للأعلى مخترقاً طبقات السحب كافة. ومثل هذا الوضع يتحقق بالدرجة الأولى عندما يكون الهواء شديد الحرارة وقرب سطح الأرض . حيث تبدأ عندها كتلة الهواء الحار بالصعود في جو غير مستقر . ويمكن أن تستمر الحركة الهوائية بفعل كون كثافة هوائها أقل من الهواء المحيط.

ويلاحظ من الأشكال التالية سرعة تكون سحب الركام المزمي في الهواء البحري المصاحب لمنخفض جوي (هولندا /27 07/1952) . حيث يوضح الشكل (-2 18) بداية تكون السحابة المزمية نتيجة قوة تدفق كتل هوائية واختراقها لسحب الركامي الطبقي والركامي المتوسط الساعة 19.56 الموجودة بالمنطقة وفي جو غير مستقر.



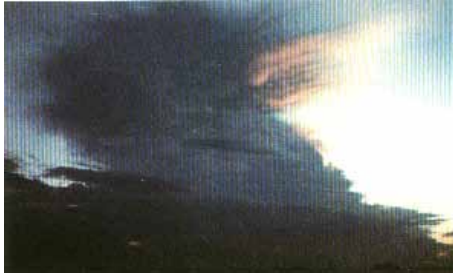
شكل (18-2) بداية تكون السحابة المزمية

وفي الشكل (19-2) تطور مفاجئ خلال 16 دقيقة حيث ارتفعت قمة السحب خلال مرحلة النضوج إلى ما يقرب من 5كم مكونة ما يميزها بالشكل السندانى نتيجة وصولها لطبقة مستقرة في الهواء العلوي الساعة 20.12.



شكل (19-2) التطور المفاجئ

وفي الشكل (20-2) وبعد 15 دقيقة أخرى الساعة 20.27 اقتربت السحب الركامية المزنية من محطة الأرصاد الجوية وتسبب قص الرياح الرأسى في امتداد قمة السحابة تجاه اليسار أيضا وذلك بعد تزايد النمو الرأسى وزيادة حالة عدم الاستقرار.



شكل (2-20) تزايد النمو الرأسي للسحابة

وفي الشكل (2-21) وبعد 14 دقيقة أخرى في الساعة 20.41 بدأ ظهور سنا البرق وانطلاق الرعد وسقوط زخات المطر وذلك مع بداية مرحلة خلل وتدهور قمة السحابة المزنية وفقدان الشكل السندانى المميز لها مع تكون سحب ركامية أخرى قرب القاعدة.



شكل (2-21) مرحلة خلل وتدهور قمة السحابة المزنية

وسبحان الله القائل : أَفَرَأَيْتُمُ الْمَاءَ الَّذِي تَشْرَبُونَ (68)
 أَنْتُمْ أَنْزَلْتُمُوهُ مِنَ الْمُزْنِ أَمْ نَحْنُ الْمُنزِلُونَ (69) لَوْ نَشَاءُ جَعَلْنَاهُ

أَجَابًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ (70) صدق الله العظيم "الواقعة".
 والقائل (وَإِنْ يَرَوْا كِسْفًا مِّنَ السَّمَاءِ سَاقِطًا يَقُولُوا سَحَابٌ
 مَّرْكُومٌ (44)) صدق الله العظيم " الطور".

3 - السحب السمحاقية Cirrus(Ci) :

وهي سحب متقطعة على شكل خيوط رفيعة أو خطوط
 أو حزم بيضاء ضيقة ولهذه السحب مظهر ليفي (شعري) أو
 حريري أو الاثنين معا. ويوضح -شكل (2-22)- نوع السحاق
 الركامي CirroCumulus (Cc)



شكل (2-22) سحب سمحاقية ركامية
 CirroCumulus (Cc)

جدول (2-4) فصائل السحب حسب مظهرها الخارجي

فصيلة السحب الطبقيّة	فصيلة السحب الركامية	فصيلة السحب السمحاقية
السحب الركامية Cirrus (Ci)	السحب الركامية Cumulus(Cu)	السحب الطبقيّة Stratus (St)
	الركام المزني Cumulonimbus(Cb)	المزني الطبقي Nimbostratus (Ns)
	الركامية المتوسطة Alto cumulus(Ac)	الركام الطبقي Stratocumulus(Sc)
	السمحاق الركامي Cirrocumulus(Cc)	السمحاق الطبقي Cirrostratus(Cs)
		الطبقي المتوسط Alto Stratus (As)

مدلولات الغيوم :

أولاً: الغيوم العالية - السمحاقية Cirrus :

السمحاق السميك Cirrus densis :

- يدل على احتمال قدوم جبهة هوائية حارة مع اضطراب جوي.

السمحاق الخصلي (ذيل الحصان) :

- يدل على احتمال قدوم منخفض جوي مع عواصف واضطراب جوي خلال 24 - 36 ساعة.

السمحاق الطبقي Cirro stratus :

- يدل على احتمال قدوم منخفض جوي مع عواصف واضطراب جوي خلال 24 - 36 ساعة.

السمحاق الركامي Cirro Cumulus (تجمعات رمال الشاطئ):

- يدل على احتمال اضطراب جوي.

- يظهر عند المساء بلون برتقالي محمر، أو متمازج من البرتقالي إلى الأحمر (شكل حراشف السمك).

سمحاق ركامي + سمحاق طبقي :

- يدل على احتمال قدوم عواصف.

ثانياً: الغيوم المتوسطة :

مزني طبقي Nimbo stratus :

- يدل على احتمال تزايد الهطول واشتداد العاصفة.

ركامي متوسط Alto Cumulus :

- دليل على قرب قدوم العاصفة.

ركامي متوسط له أبراج وقلاع Alto Castellanus :

- دليل على قرب قدوم العاصفة.

الركامي المتوسط الثديي Alto Cumulus mamatus :

- دليل على قرب قدوم العواصف بعد الظهر إذا كانت الغيوم صباحية.

- دليل على قرب قدوم العواصف ليلاً إذا كانت الغيوم مسائية.

- دليل على قدوم العواصف مع برد وزخات مطرية يرافقها برق ورعد.

الركامي المتوسط العدسي Alto Cumulus lenticularis :

- دليل اشتداد الرياح وقرب قدوم العاصفة مع زيادة رطوبة الجو .

- مكانه خلف المرتفعات.

الركامي المتوسط الشفاف Alto Cumulus translucides :

- ينشأ بعد هطول المطر .

الركام المقرب ذي الأبراج :

- ظهوره في الصباح يدل على عدم استقرار الجو .

- حدوث تيارات هوائية صاعدة .

- حدوث عواصف شديدة يرافقها برق ورعد بعد الظهر .

الركام المزني السنداني Cumulo Nimbus :

- دليل قدوم العاصفة خلال دقائق أو ساعة أو ساعتين .

- العاصفة محملة بالبرد تدوم لمدة (30) دقيقة بشكل زخات وبرق ورعد .

طبقي ركامي Strato Cumulus :

- دليل قدوم الهواء البارد مع الإيزان بقدوم العاصفة خلال الساعات القادمة مع اضطرابات جوية .

غيوم مختلطة - السماء مشوشة :

- دليل الجو غير المستقر - مع اضطراب قريب في الجو يرافقه هطول .

وتؤثر الغيوم بأشكالها المختلفة على أنواع الهطول التي يمكن أن تحدث . ويوضح ذلك الجدول (5-2) .

جدول (5-2) نوع الهطول والسحب التي تسبب هذه الأنواع من الهطول

نوع الهطول	الغيوم التي تسبب هذه الأنواع من الهطول
رذاذ أو مطر خفيف	طبقي-طبقي ركامي
ثلج مستمر/مطر مستمر	طبقة سميكة من غيوم الطبقي المتوسط أو المزني الطبقي
ثلج متقطع/مطر متقطع	طبقة سميكة من غيوم الطبقي المتوسط أو الطبقي الركامي
زخات مطر/زخات ثلج	من غيوم الركامي المتوسط والركامي المزني
برد	من غيوم الركامي المزني (السندياني)

العوامل المؤثرة على الغيوم مع الارتفاع:

صار مفهوماً بأن عوامل تشكل السحب يتوقف على رطوبة الهواء وعلى الجبهات وأنواعها وعلى درجة التبريد الادياباتيكى الجاف بالارتفاع وحالة الجو المستقر وغير المستقر والدورات الهوائية والاضطرابات السطحية وعلى تيارات الحمل مع صعود الرياح على الهضاب أو الجبال إلى الأعلى ونوعية هذه الحواجز..... الخ ، أو بالرفع الحراري الناتج عن سخونة التربة وارتفاع الهواء وتمده في الأعلى وتكاثفه .

قال تعالى (اللَّهُ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَّاحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَيَبْسُطُهُ فِي السَّمَاءِ كَيْفَ يَشَاءُ وَيَجْعَلُهُ كِسْفًا فَنَرَى الْوَدْقَ

يَخْرُجُ مِنْ خَلَالِهِ فَإِذَا أَصَابَ بِهِ مَنْ يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ إِذَا هُمْ يَسْتَبْشِرُونَ (48) صدق الله العظيم " الروم " .

حيث يبرد الهواء الصاعد إلى أعلى ويصل لحد الإشباع ويصل إلى نقطة الندى الخاصة به فيتكاثف على نويات التكاثف وتتكون الغيوم التي تكون قاعدتها مع مستوى التكاثف ولو أن ذلك يكون متأثراً بنوعية الغيم والعوامل المسببة لتكوينه والتي أهمها الرطوبة النسبية . إذ كلما ارتفعت نسبتها في الجو كانت قاعدة الغيم أكثر انخفاضا.

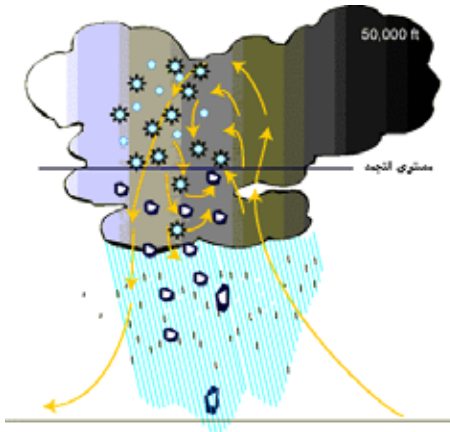
وهكذا تتم العمليات المعقدة لتكون المطر والتي جميعها تحسب وبمعادلات رياضية من البحر حتى الهطول والتي ورد ذكر بعضها في هذا الكتاب.

ومن الملاحظ أن التبخر في الغيوم يكون على الأطراف بينما يتم التكاثف في المركز . وبذلك تكون الغيوم في تحول مستمر وتتراوح كمية بخار الماء المتكاثف كقطيرات مائية في الغيوم بين (0.1 - 1 غرام) في المتر المكعب من الهواء.

فالأمطار ظاهرة مائية جوية هامة تعتمد على تساقط القطرات المائية بصورة مباشرة من هذه الغيوم والمتكاثفة في الجو وتتوقف على نوع الغيوم الموجودة في الجو وعلى درجة الحرارة . ولذا فإن الجو الغير مستقر يؤدي إلى نشوء تيارات هوائية شديدة في الغيوم الركامية التي ترتفع تصاعديا إلى الأعلى لتشكل في داخلها تيارات هوائية شديدة تمنع الذرات المائية الآخذة بالكبر من السقوط فيكبر حجمها وهي عالقة في الجو لدرجة لا تستطيع معها تلك القوة الرافعة من التغلب على وزنها فتسقط على هيئة قطرات مائية كبيرة تتأثر بالتيارات

النازلة فتهطل بشكل زخات مطرية.

وبما أن مستوى التجمد في الجو يقع على ارتفاع حوالي 1000 متر شتاءً و 3050 متر صيفاً فوق سطح البحر لذلك فإن تصاعد الهواء إلى الأعلى حاملاً معه بخار الماء يتحول إلى بلورات ثلجية عند ذلك المستوى (شكل 2-23)، والتي تنمو لحجم ملحوظ بواسطة اصطدامات البلورات الثلجية ببعضها ومع قطرات الماء فوق المشبعة (فوق المبردة). ويحدث حينها تقطير حقيقي بسبب توتر بخار الماء على سطح البلورات الثلجية، تتكون فيه قطرات تتجمع فوق الجزيئات الصغيرة السابحة في الجو وتجتاز مختلف الغيوم لتصل إلى الأرض بشكل أمطار.



شكل (2-23) مستوى التجمد في السحابة

وهكذا نجد أن هذه القطرات إذا ما زاد قطرها عن (0.1 ملم) تهطل على هيئة أمطار. بعد أن تكونت القطرات المائية الكبيرة.

وهناك محاولات عديدة لتفسير ما يدور داخل الغيوم حيث تتكون الهطولات . ولعل أهم تلك المحاولات ماجاء به Bergeron . من أن عملية النمو تتم في الغيوم حيث تتواجد في آن واحد البلورات الثلجية وقطرات الماء على درجة حرارة تحت التجمد . ويرى أن فقدان التوازن الغروي للقطرات المتجمعة في الجو هو الذي يؤدي لهطولها بشكل أمطار . لأن الغيم في نظره عبارة عن جسم غروي في داخله القطرات المائية المشحونة بالكهرباء والسابحة في الهواء.

و تنتج هذه القطرات الكبيرة مباشرة عن تجمع القطرات الصغيرة النشيطة التي تتراكم فوق بعضها وبالتالي لاختلاف الشحنة الكهربائية بين القطرات المتجاذبة مما يؤدي لتعادل شحنتها وبالتالي هطول القطرات الكبيرة التي لا يستطيع الهواء أن يتحمل ثقلها.

أما الصورة غير المباشرة لهذا التساقط فيعتمد على تفاوت درجة الحرارة . إذ يتكاثف بخار الماء المتوفر في الغيوم حول الحبيبات الأكثر برودة . أما الحبيبات الساخنة فإنها تتبخر ويتجمع بخار مائها حول الحبيبات الأخرى إلى أن تكبر الحبيبة فتتساقط.

وقد يتكاثف بخار الماء حول الحبيبات ذات البلورات الثلجية مما يؤدي لزيادة حجمها وانصهارها وتساقطها بغزارة. وتزداد غزارة أمطار التيارات الصاعدة كلما كان التباين الحراري بين درجة حرارة الهواء على سطح التربة ودرجة حرارة الطبقات المتشكل فيها كبيرا.

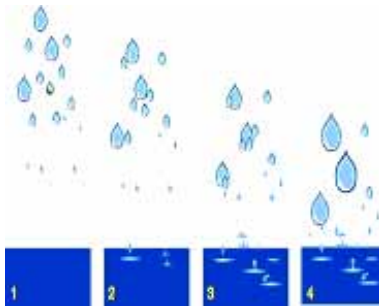
وبصورة عامة يمكن إعطاء ملخص عن نمو الهطول على

النحو التالي:

عند رفع الهواء الصاعد فوق مستوى التكثيف تنمو نويات التكثيف الأكثر نشاطا إلى قطيرات واستمرار التبريد تحت الصفر المئوي لا يؤدي بالضرورة إلى جمود القطيرات .
قد يحدث فوق التشبع إذا لم تتوافر نويات تكون الجليد في الهواء. وهذه تكون جسيمات مختلفة عن نويات التكثيف وأقل شيوعاً منها بكثير. لهذا السبب لا توجد عادة بلورات الجليد بأعداد ملحوظة عند قمم السحب التي تهبط درجات حرارتها إلى حوالي - 20°م.

يكون النمو المبدئي لقطيرات الماء بواسطة تكثف بخار الماء سريعا ولكنه يتناقص معدل النمو كلما كبرت القطيرة . وبالمثل يكون معدل نمو بلورة جليد بواسطة عملية بيرجيرون سريعا طالما هي صغيرة , ولكنه يتناقص بزيادة حجمها.
وتكون بعض أشكال عملية الاصطدام ضرورية لإنتاج جسيمات سائلة أو صلبة في حجم الهطول . وتهبط قطيرات الماء وبلورات الجليد الأكبر حجما بالنسبة للجسيمات الأصغر . فإذا كانت أكبر من حجم حرج التصقت بالجسيمات التي في طريقها (شكل 2-24).

وقد تندمج قطيرات الماء لتكون قطيرات أكبر . وقد تنمو بلورات جليد بتراكم قطيرات السائل فوق المبردة التي تتجمد باتصالها ببعضها أو بتجمعها مع بعضها مكونة شرائح ثلجية.



شكل (2-24) سرعة القطرات الكبيرة

وأخيراً تصل قطيرات الماء أو التكوينات الثلجية إلى حجم لا تكون معه تيارات الهواء الصاعدة قادرة على حملها داخل السحابة.

وقد يحدث تصادم بين جسيمات هطول ذات حجم ومعدل هبوط مختلفين وقد يؤدي ذلك إلى نمو بعض الجسيمات ومع ذلك تميل قطيرات الماء إلى التبخر عند هبوطها في أسفل قاعدة السحابة كما تميل التكوينات الثلجية إلى التسامي أو الذوبان. وإذا كانت الجسيمات قادرة على مقاومة البخار الذي تعانیه في هبوطها خلال الهواء غير المشبع تحت السحب يقال أن الهطول قد حدث. أما إذا لم تصل الجسيمات إلى سطح الأرض ولكن ظلت معلقة على مسافة ما تحت قاعدة السحابة فإنها تعرف في هذه الحالة باسم الفرجا Virga.

السحب الملائمة للاستمطار:

أكدت العديد من التجارب ، التي نفذت في عدد من بلدان العالم ، إلى أن الاستمطار من نسق السحب الطبقيّة

والركامية والركامية المتوسطة يمكن أن يحقق نجاحاً إذا كانت درجة حرارة السحابة أقل من - 3 درجة مئوية ، ويكون المحتوى المائي للسحابة أكثر من 0.05g/m^3 ، والسحب أكثر من 250 متر وسرعة الرياح أقل من 12 متر/ثانية . ومن تحاليل البيانات للسحب الركامية المنخفضة المبدورة بأكسيد الكربون الصلبة أتضح أنه عند درجة حرارة أكبر من -4°C لا يهطل المطر ، وعند درجة حرارة من -4°C إلى -12°C المطر يهطل عدة مرات ، ويهطل في كل الأحوال عند أقل من -12°C .

بينما يسقط في كل الحالات من السحب الركامية المنخفضة ، إذا كان سمكها يتجاوز 3.6 كم ، والجزء العالي البرودة 2.2 كم. ولا يسقط المطر من السحب المنخفضة إذا كان سمكها أقل من 2.1 كم وسمك الجزء العالي البرودة أقل من 0.6 كم.

وكثيراً ما يلاحظ أن السحب المفرطة البرودة هي التي تحتوي على مقادير كبيرة من المياه المفرطة البرودة - ويتضح هذا من قياسات تراكم الجليد على الطائرات ومن القياسات التي توفرها طائرات البحوث - فمقادير كبيره من المياه المفرطة البرودة في هذه السحب لا تتحول إلى هطول وتتبخر في نهاية الأمر ، ويرجع ذلك إلى أنه عندما تتشكل القطرات المائية بواسطة عمليات التكاثف حول النوى أثناء صعود الهواء الرطب فإن أنصاف أقطار هذه القطرات لا يتجاوز 20 ميكرون (0,02 ملم) كما أن سرعة سقوطها يقارب 5سم/ثا . ولذا فإن تيارات الهواء الصاعدة في هذه السحب تمنع وصول هذه القطرات إلى الأرض على شكل مطر . وحتى لو سقطت قطرات بمثل هذا الحجم من بين السحب إلى هواء غير مشبع فإنها سرعان ما تتبخر ، ففي

هواء رطوبته %90 فإن القطرات تتبخر قبل أن تبتعد مترا واحدا. ويمكن اعتبار هذه المياه المفرطة البرودة مستودع مياه غير مستغل في النسق السحابي الطبيعي. وتعتبر السحب الآتية هي السحب المرشحة بصورة عامة لعمليات بذر السحب:

1 - السحب التضاريسية:

تعتبر عملية البذر المكونة للجليد سواء كانت للسحب أو للأنساق السحابية المتكونة في طور النمو بفعل تدفق الهواء فوق الجبال أفضل العمليات لزيادة الهطول بطريقة سليمة واقتصادية. وتوفر الأدلة البحثية والتطبيقية العديدة التي نفذت منذ أن بدأت مشاريع تعديل الطقس على ذلك بوصفه علما.

ومهما يكن من شئ فإن القرائن تدل كذلك على أن نتائج تغذية السحب العابرة على السهول والوديان المنبسطة هي نتائج مائعة غير واضحة المعالم تماما. أما في المناطق الجبلية فإن العمليات تكون عادة ناجحة.

2 - السحب الطبقيّة:

بدأ العصر الحديث لتعديل الطقس ببذر السحب الطبقيّة الباردة. وتؤدي الأنساق السحابية الطبقيّة العميقة (ولكن مع وجود قمم سحابية أدفئ من -20 درجة مئوية) المصحوبة بأعاصير وجبهات إلى هطول كميات كبيرة من الأمطار. وأظهرت عدد من التجارب الميدانية وعمليات المحاكاة

العديدية وجود مياه مفرطة البرودة في بعض مناطق هذه السحب. وتتوفر الأدلة على أن البذر المولد للجليد يؤدي إلى زيادة الهطول.

ويمكن أحداث الهطول من السحب الطبقيّة الضحلة بما يؤدي إلى أن تصبح السماء صافية في منطقة البذر . وتهدف بعض المشاريع . باستخدام هذه التقنيات ، إلى زيادة سطوع الشمس على إحدى المدن ومن ثم تقليل احتياجات المنطقة الحضرية من الطاقة . ولم تحدد بعد قابلية هذه النتائج للتطبيق بوجه عام .

3 - السحب الركامية:

في أنحاء كثيرة من العالم تعد السحب الركامية السحب الرئيسية المنتجة للهطول.

هذه السحب (التي تتراوح بين الركام الصغير في الطقس اللطيف والسحب الرعدية الشديدة) يتسم انتشارها بسرعات رأسية تزيد في كثير من الأحوال على 1 متر/ثانية وتنطوي بالتالي على معدلات تكثف عالية.

ويمكن لهذه السحب أن تشتمل على أكبر محتوى من المياه المكثفة بين جميع أنواع السحب وأن تنتج أعلى معدلات الهطول. كما يمكن لتياراتها الرأسية القوية أن تبقي الجسيمات عالقة لفترة طويلة تكفي لنموها إلى أحجام كبيرة (برد، قطرات مطر كبيرة).

ولهذه الأسباب تبدو السحب الركامية مرشحة للتعديل والأكثر ملائمة لعمليات الاستمطار . إلا أن السحب الركامية

الباردة المنعزلة والتي لا تنتج المطر بصورة طبيعية يمكن تحفيزها على إنتاج المطر عن طريق بذر السحب في الطور الجليدي. بيد أن كميات المطر التي تسقط من هذه السحب المنعزلة تكون قليلة جدا.

وقد أثبتت التجارب العشوائية في مجال بذر السحب الركامية المكتظة الدافئة، التي تقترن بالعواصف الرعدية الممطرة، إمكانية زيادة كميات المطر من هذه السحب بالبذر المكثف.

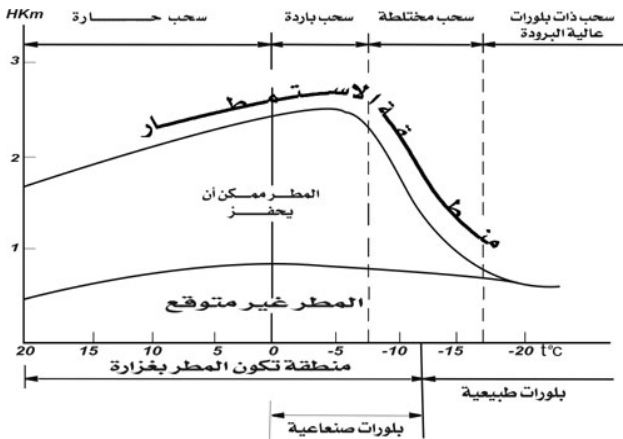
وأفادت التقارير الخاصة بتجارب عشوائية أخرى بحدوث زيادة في كميات المطر من العواصف الرعدية المتعددة الخلايا الدافئة، ولا تزال هذه النتائج قيد الاستعراض الدولي. وكما هو معروف نظرياً أن نمو القطرات في السحابة واحتمال الهطول يعتمد على مجموعة من العوامل كالحرارة وتوزيع القطرات بأحجامها المختلفة داخل السحابة والامتداد العمودي لها.

لذلك عند تحليل ظروف تكون الهطول ينبغي معرفة العلاقة غير المباشرة بين حالات الهطول أو عدم الهطول والعوامل الجوية داخل السحابة المعروفة مثل الامتداد العمودي للسحابة وحرارة قممتها وقاعدتها ومتوسط الحرارة فيها والتي تعكس علاقة غير مباشرة لمجموعة من العوامل وذلك باستخدام مجسات الغلاف الجوي.

فمثلاً لمعرفة كمية المياه في السحب الغير حملية على أساس تحليل كمية كبيرة من معطيات المجسات بواسطة الطائرات. أتضح أن هناك علاقة بين الامتداد العمودي للسحابة ودرجة الحرارة فيها وكمية الأمطار الهاطلة منها.

وأتضح أنه كلما كانت درجة الحرارة كبيرة كان الارتفاع

العمودي للسحابة كبيراً واحتمال الهطول منها كبيراً أيضاً. هذه العلاقة تعطي مؤشراً وتصوراً دقيقاً حول عملية التكثيف والتجمد . فسرعة نمو القطر تكون كبيرة كلما كانت درجة حرارة السحابة كبيرة وكان ارتفاعها العمودي كبيراً. العلاقة المنطقية تم الحصول عليها للسحب المختلطة الغير حملية ولعوامل الهطول وفي مقدمتها درجة برودة السحابة . حيث أن درجة الحرارة الصغرى عادة ترصد في الجزء الأعلى من السحابة . لذلك لبرودة السحابة علاقة قوية بين احتمال الهطول وارتفاع السحابة ودرجة حرارة قممتها . ويمكن للشكل العام (شكل 2 - 25) أن يوضح ذلك . والذي يعطي احتمالات مناطق الهطول الطبيعي ومناطق الاستمطار ومناطق عدم الهطول.



شكل (2- 25) علاقة ارتفاع السحابة باحتمالات الهطول

ويمكن لعدة أجزاء من السحب فوق الخط الفاصل لمناطق عدم الهطول أن لا تعطي هطولاً والعكس يمكن أن تكون أجزاء من السحابة الممطرة واقعة في أسفل الخط.

وهذا يعكس أن هناك عوامل أخرى مؤثرة غير ارتفاع السحابة ودرجة حرارتها تؤدي إلى الهطول وفي مقدمتها اتجاه وسرعة التيارات العمودية في السحابة والمحتوى المائي لها.

وكلما كان ارتفاع السحابة كبيراً عند درجة حرارة محددة كان احتمال الهطول غزيراً ولفترة طويلة .

وفي المنطقة الوسطى من الشكل الهطول الطبيعي غير وارد ولكن ممكن تخفيفه . إذا كان ارتفاع السحابة ليس صغيراً.

وكلما كان ارتفاع السحابة صغيراً احتمال الهطول الطبيعي ضعيفاً ومن الصعب تخفيفها وإجراء عملية الاستمطار من تلك السحابة.

والجزء الأيسر من الرسم يلاحظ منطقتين (حارة وباردة نسبياً) لا تتكون فيها البلورات الثلجية.

وأحياناً يمكن استغلالها وتخفيفها وإدراج محتوياتها . وفي الجزء الأيمن من الرسم، تنتمي السحب إلى السحب ذات القمم التي تتكون فيها وبشدة بلورات ثلجية.

وكذلك يتضح من الرسم أنه في مرحلة تكون البلورات فجأة تتهياً الظروف المناسبة لتكبير القطرات ، ويكون كافياً ارتفاع السحابة 400 - 500 متر لكي يتم الهطول منها وبالذات عندما تكون البلورات كثيرة وكبيرة.

وأخيراً هناك منطقة السحب المختلطة (البلورات الثلجية في القمة التي تساهم في تكون الهطول الطبيعي) في هذا

المنطقة تعتبر طريقة التأثير الصناعي مهمة في تكوين البلورات الثلجية وزيادتها.

وأثبت نظرياً وعملياً أنه عند درجة حرارة -5 إلى -7°C وأقل بأنها العامل الوحيد في نجاح الاستمطار (عملية البذر) حتى إذا كان ارتفاع السحابة ليس كبيراً.

فإذا كان ارتفاع السحابة أكثر من 400 - 500 متر فإنها تؤدي إلى هطول سواء كان ذلك صناعياً أو طبيعياً . ويمكن للهطول أن يصل إلى الأرض عندما لا يكون ارتفاع السحابة كبيراً والرطوبة عالية تحت السحابة. بينما عندما تكون الحرارة مرتفعة العملية تزداد تعقيداً .

ولكي نفهم جوهر ذلك ينبغي أن ندرك أن الفرق بين E-I - ضغط بخار الماء و E-b - ضغط بخار الثلج يكون كبيراً وفي حده الأعلى عندما تكون درجة الحرارة -12 وسريعاً يؤول إلى الصفر عندما تكون درجة الحرارة صفر. لذلك عند درجات الحرارة القريبة من الحد الأعلى للفرق بين E-b و E-I (-5 ... -7 وأقل) تتكون البلورات الصناعية ويرتفع عددها في السحب الباردة. وتسقط بعد أن تصل الحجم المناسب. ويعتمد ذلك أيضاً على مقدار التدرج العمودي للحرارة.

وعند اقتراب درجة الحرارة في قمة السحابة من الصفر تظهر أهمية البلورات الصناعية ليس فقط على ارتفاع السحابة ولكن على عوامل أخرى في السحابة وفي مقدمتها التوزيع العمودي للحرارة والتيارات العمودية للرياح.

أي أن الفارق الكبير ل-Eb و E-I يعني أن جزيئات البرد لم تصل في الجزء الأعلى من السحابة إلى حد الهطول. أما في الجزء الأسفل من السحابة يقترب الفارق إلى الصفر. وأحياناً سقوط

القطرات في أسفل السحابة يحدث عند درجة حرارة موجبة. ولنفترض أن طبقة السحابة التي ليست ممطرة ارتفاعها يصل إلى 800 متر.

فإذا كان التدرج الحراري كبيراً فإنه لا يعطي هطولاً. لذلك يجب قبل التأثير على السحابة الدراسة الجيدة لظروف تكبير حجم القطرات فيها. وإلا فإنه ليس هناك جدوى من عمليات الاستمطار.

وفي الجزء الأيسر من الشكل لنجاح عملية الاستمطار يمكن أن تتم بإكثار وتكبير القطرات بدون تكون البلورات (بمساعدة المواد الاسترطابية والمواد النشطة على السطوح الخ).

مما سبق يتبين أنه لم يؤخذ بعين الاعتبار ما يلي:-

- 1 - إن زيادة (إكثار وتكبير قطرات السحابة) يمكن أن تسبب مجالاً حرارياً في السحابة يكفي لمضاعفة حركة حملية في السحابة ، يؤدي إلى تغيير في الارتفاع العمودي للسحابة.
 - 2 - إنه في السحب الغير حملية تكون كمية الماء في عملية التكتيف غير كبيرة ، وعملية تكوين البلورات الصناعية أو أي طريقة أخرى لإدراج السحابة يكون تأثيرها مدى قصير جداً حيث تؤدي للهطول لفترة قصيرة وأحياناً لانحلال السحابة.
- من المهم معرفة كمية المياه الموجودة في السحابة نتيجة التيار الصاعد في السحابة أو انتقال الهواء البارد عند جمعه على السطح البارد.

ويلخص د. علي موسى إلى أن أكثر السحب قابلية للاستمطار هي السحب المطيرة بطبيعتها ، كما في سحب الركام البرجي والمتوسط النمو رأسياً والركام المتجمع ، والركام

المزني الأصلحة ، والشعري . وكذلك سحب المزن الطبقي ، والطبقي المتوسط المعتم السميك ، والركام المتوسط القلعي ، والسميك . وسحب الركام الطبقي السميكة الناشئة عموماً عن الركام المتوسط النمو رأسياً والمنتشرة ذات الأصل الطبقي . ومن السحب الأخرى الممكن استدرار محتوياتها : الركام المشوش ، والركام المتوسط ذو الأصل الركامي ، بجانب السحب الطبقيية بصنفيها السديمي المعتم والمجزأ .

وعموماً أثبتت التجارب بأن السحب الركامية هي أكثر السحب ملائمة لعمليات الاستمطار.

زيادة المطر من السحب الدافئة:

في هذه السحب تكون العمليات الفيزيائية التي ينطوي عليها ابتداء المطر وتطوره هي التكثيف والتصادم - الاندماج والانحلال. وتتم زيادة المطر في هذه السحب ببذر السحب بمادة أسترباطية (مثل نويات تكثف السحب اصطناعيا) وإما بقطرات الماء الصغيرة ، وبذلك يستفاد من كفاءة الهطول المحتملة للنسق السحابي.

ورغم أن تجارب زيادة المطر من السحب الدافئة ، التي أجريت حتى الوقت الحاضر ، تجارب ايجابية من الناحية النظرية ، فإنها لا تتضمن الملاحظات الفيزيائية الضرورية للتقييم الدقيق وبالتالي للنقل الممكن للتكنولوجيا.

ومع ذلك وجد فريق من العلماء أن الأمطار الغزيرة في المناطق الإستوائية وشبه الإستوائية تهطل من سحب درجة حرارتها فوق نقطة التجمد. لذا فقد استعملوا طريقة تلقيح هذا النوع من السحب بالماء لإسقاط المطر.

السحب الملائمة لعمليات الاستمطار في اليمن :

تعتبر الأمطار هي المصدر المائي الوحيد في اليمن إذ لا توجد في البلاد أنهار دائمة أو بحيرات وهذا المصدر المائي الوحيد يشكل حالة أفضل بالمقارنة بباقي مناطق شبه الجزيرة العربية القاحلة إلا إنه يعتبر شحيحاً في كل الأحوال.

ونظراً للظروف المميزة لليمن باعتبارها واجهة لمسطحات مائية كبيرة من الغرب والجنوب والجنوب الشرقي والتي تكون عاملاً رئيسياً في تكون الغيوم عليها على مدار العام تقريباً.

ففي المناطق الساحلية الجنوبية والجنوبية الغربية والشرقية تسود فيها التغطية في فصل الشتاء وبقية المناطق الشمالية والشمالية الغربية والمرتفعات الجنوبية والشرقية في الغالب في الصيف والخريف. وباعتبار اليمن منطقة مدارية فأنها خاضعة لسيطرة السحب الركامية المنخفضة والمتوسطة والطبقية.

ومن خلال الإحصائيات الأولية للسحب والأمطار في صنعاء مثلاً وجد أن السحب الركامية الطباقية تمثل المرتبة الأولى في تغطيتها لسماء المنطقة تليها الركامية المنزنية ومن ثم الركامية المتوسطة وأخيراً بقية السحب.

وعند دراسة الأمطار الهائلة على صنعاء وعلاقتها بالسحب وجد أن 95% من الأمطار تهطل من السحب الركامية الطباقية التي تبلغ تغطيتها 7-8 لأكثر من 3 ساعات بينما السحب الركامية المنزنية الغير منفصلة تعطي أمطاراً عند تغطية 7-8 لمدة ساعة ولا تعطي السحب الركامية المتوسطة أمطاراً إلا بنسبة ضئيلة جداً لا تتجاوز 15% بالرغم من تغطيتها

العظمى لأكثر من 8 ساعات في كثير من الأيام وهي نفس الحالة التي ربما يمكن أن تشاهد في مناطق أخرى من اليمن. ومن المعروف بأن التغطية في المناطق المدارية عادةً تسيطر عليها السحب الركامية ، وتبلغ قمته نهاراً ، وأدناها ليلاً. واليمن خاضعة لسيطرة تلك السحب باعتبارها واقعة في النطاق المداري وهو النطاق الذي يتسم بحرارة ورطوبة عالية تزود المحتوى المائي بفعالية كبيرة للسحب والتي غالباً ما تتشكل فيه السحب الركامية الدافئة.

والسحابة في هذه المناطق تكون غنية بالماء إلى حد أن أصغر سحابة يمكن أن تنتج مطراً غزيراً لفترة قصيرة . ويعتبر تشكل السحب الركامية الحارة ملازماً للمناطق المدارية ، والتي غالباً ما يتكرر هطول الأمطار منها ، حيث يمكن لسحابة ذات درجة حرارة في قمته 7°C أن تنتج مطراً أعلى من 10 ملم/ ساعة.

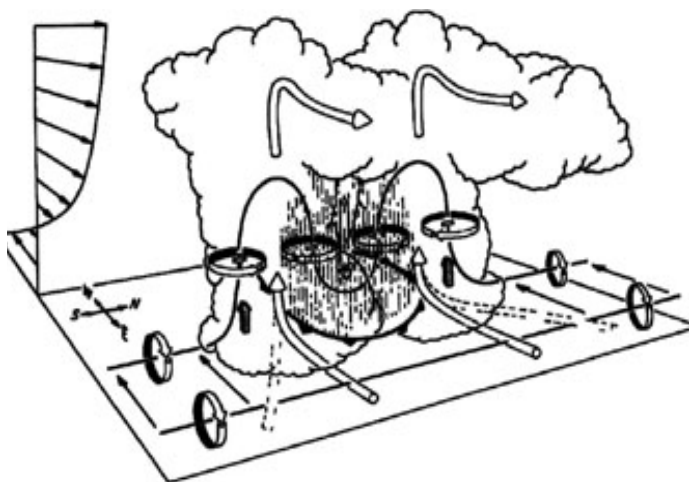
ولقد جمعت نتائج لأبحاث مختلفة للذين درسوا السحب والأمطار في المناطق المدارية ، واستنتج بأنه في شرق أفريقيا لا تتكرر الزخات المطرية من السحب الركامية المزنية ذات القمم ما بين 1-0.5 كم عند أقل من صفر درجة مئوية.

وما تقدم يمكن الاستنتاج أن مجموعة كبيرة من السحب المتشكلة على مناطق كثيرة في بلادنا هي تلك السحب الملائمة لعمليات الاستمطار. خاصة باستخدام البذر من الأرض.

وهنا تطفؤ إلى السطح جدية التفكير في البدائل الاقتصادية الممكنة للبحث عن الموارد المائية بما فيها الاستمطار ، خاصة وأن مؤشرات الموارد المائية المتاحة تشير

إلى نضوب المخزون المائي لمناطق عدة في اليمن ، في وقت يتسارع فيه معدل النمو السكاني بمقدار 3.7% سنوياً وهو من أعلى المعدلات في العالم. وهذا النمو المتسارع في عدد السكان قد عكس نفسه سلباً على جملة الاستخدامات الخاصة للموارد المائية المتاحة وخاصة في قطاع الزراعة الذي يستأثر بأكثر من 90% من هذه الاستخدامات.

إن ذلك يدعو إلى ضرورة إجراء الدراسات المناخية التفصيلية لأنواع السحب في اليمن قبل الشروع بإجراء التجارب عليها . لأن الزرع العشوائي بدون دراسات دقيقة للسحب وبمختلف أنواعه والجدوى الاقتصادية منه قد يؤدي إلى نتائج معكوسة .



الفصل الثالث

عمليات الاستمطار

مفهوم الاستمطار:

الاستمطار عبارة عن عملية فيزيائية-كيميائية تتم من خلال إيلاج أو بذرمواد صلبة (كالجليد الجاف -ثاني أكسيد الكربون CO2 - أو يوديد الفضة AgI) أو مواد أسترطابية (كملح الطعام NaCl) في السحابة أو نسق السحب الملائمة للاستمطار بهدف إدرار محتوياتها. وله تسميات عديدة كبذر السحب و تحفيز السحب وزرع الغيوم وجميعها تعني التدخل في تحفيز البنية الطبيعية للسحب بغرض محاولة إسقاط المطر من السحب الممطرة أو القابلة للأمطار . وذلك بتوليد حالات من التشبع داخلها بطرق صناعية .

وتذهب الموسوعة العربية العالمية إلى إعطاء مفهوم الاستمطار بأنه عملية إسقاط المطر من السحب بطريقة علمية بحته تجرى على السحب المتكونة في الجو. ويستخدم الناس هذه الطريقة لزيادة كمية المياه بمنطقة معينة . أو لتوفير المياه للري . أو لتوليد الطاقة الكهربائية من المحطات الكهرومائية.

وتستخدم أيضا لمنع سقوط الأمطار الغزيرة. في المناطق الزراعية خوفاً من تلف المحاصيل. ويمكن للخبراء في بعض الأحيان تخفيض شدة العواصف بتكوين السحب قبل وصولها إلى تلك المناطق.

وبمعنى آخر إنها عملية تقوم على المعرفة الدقيقة لفيزيائية السحب والتفاعلات التي تجري داخلها بهدف محاولة استثمارها ، بالاعتماد على مبدأ إيجاد نويات تجمد وتكاثف صناعية ونثرها في الغيوم باعتبار أن نويات التجمد والتكاثف الطبيعية في الغيوم غير كافية وذلك من أجل تجميد وتكاثف أكبر كمية من المياه الموجودة في الغيوم.

وعموماً تقوم فكرة زرع الغيوم على مبدأ إيجاد نويات تجمد صناعية ونثرها في الغيوم اعتماداً على فكرة أن نويات التجمد الطبيعية في الغيوم غير كافية وذلك من أجل تجميد أكبر كمية من المياه فوق المبردة الموجودة في الغيوم والتي تتراوح حرارتها بين (7- و-18°م) حيث تستخدم إما المواد المبردة مثل السائل الأزوتي والجليد الجاف (CO2) أو تستخدم المركبات الصالحة لتكون نوية تجمد ، ومن أفضل المواد المستخدمة يوديد الفضة الذي يصنع ضمن خلطات على شكل بيروتكنيك (هي مواد مفرقة على هيئة الألعاب النارية تضاف إليها المادة الفعالة) تقذف من الطائرة من قمة الغيوم لتعطي نويات التجمد داخل الغيمة أو تحرق بواسطة مولدات على الطائرة أو من مولدات أرضية لتنتشر في الغيوم من قاعدته بواسطة التيارات الصاعدة في الغيوم ذات التشكل العمودي . وتستعمل بشكل عام المواد المبردة لزرع الغيوم التطبيقية بهدف زيادة الهطول المطري كما تستخدم المواد المبردة ويوديد الفضة للتعامل مع الغيوم ذات التشكل العمودي، حيث استخدم يوديد الفضة في البداية بتركيز (50%) ثم (20%) ويستخدم حالياً بتركيز 2% . والمهم في ذلك مادة الخلط التي تؤدي إلى تفتيت جزيئات يوديد الفضة بحيث تحتوي الجزيئية

الواحدة على أقل عدد من الجزيئات مما يؤدي إلى زيادة فعالية مادة الزرع . واستخدم مؤخراً تركيزاً بنسبة 0.2% في الظروف المخبرية إلا أنه لم ينجح نهائياً في الظروف الطبيعية بسبب تقنيات تصنيعه المعقدة وحساسيته لدرجات الحرارة وسرعة اصطدامه عند قذفه مع محتويات السحابة.

ويعتبر تشكل السحب مؤشراً على حدوث تكاثف لبخار الماء . وفي حال عدم توفر العناصر الطبيعية الأساسية كافة لزيادة هذا التكاثف وتطور نمو السحب فإنه من الممكن توفير العنصر المهدوم لذلك من خلال تخفيف السحابة بعمليات البذر أو الحقن بهذه النويات حتى يتحقق التكاثف وتتكون السحب .

حيث أن عملية البذر تزيد من عدد نويات تكون السحب وتسرع من تحول بخار الماء في السحابة إلى قطرات . فالتكثيف والتثليج يطلقان كمية هائلة من الحرارة الكامنة والتي تجعل السحب تطفو أكثر ويمكن لحجمها وارتفاعها أن يتضاعف .

وكلما كبرت السحابة ازدادت التيارات الصاعدة فيها التي تسحب معها هواء رطب من المناطق المجاورة لها والأدنى وتمنحها طاقة كافية تزيد من كمية الماء في السحابة.

وبما أن السحابة أساس الهطول بمختلف أشكاله (البرد، المطر، الثلج، ... الخ) ، إلا أنه لا يهطل إلا إذا توفرت عدة عوامل في السحابة، منها وجود قطرات كافية ذات حجم مناسب (أكبر من 0.3 ملم) ، وكمية كافية من نويات التكثيف ، ووجود بلورات ثلجية ، وكثافة غزيرة من السحابة وحرارة مناسبة فيها وعملية الرفع للهواء.

فتحول السحابة إلى مطر أو ثلج يخلق إمكانية الاختلاف

في الحجم بين القطرات الكبيرة والصغيرة في السحابة . هذا الاختلاف في الحجم يسمح للقطيرات بالنمو إلى الحجم الكافي لتسقط من السحابة على هيئة ثلج أو مطر .

ويتم إدرار محتويات السحب إما من السحب الدافئة أو من السحب الباردة:

1 - السحب الدافئة:

يمكن في هذه السحب إنتاج القطرات الكبيرة صناعياً من تلك القطرات الموجودة عادةً في السحابة وذلك بالرش من القطرات الصغيرة التي أخيراً تنتشر في قطرات السحابة الموجودة لتسقط في الأخير مطراً. على أساس نظرية التصادم والاندماج.

2 - السحب الباردة:

يمكن في هذه السحب إنتاج قطرات مائية مثلجة صناعياً. فقطرات الثلج تؤدي إلى جمد النويات إذا صادفت قطرات فوق مبردة .

وتتم عمليات البذر بعد أن تتوفر جميع المعلومات الجوية عن السحب وأهمها التي توحى بنقص نويات التكثيف أو التجمد. وأمكن معالجة النقص في النويات بواسطة البذر الصناعي للسحابة المناسبة عن طريق ما يسمى بالبذر الإحصائي وجوهره هو تحقيق زيادة كفاءة الهطول من السحب المفرطة البرودة. والفرضية التي يقوم عليها هذا المفهوم هي في إيلاج تركيز أمثل من بلورات الجليد باستخدام نويات جليد مثل (يوديد الفضة) أو مادة مبردة (مثل الجليد الجاف) الذي يؤدي إلى زيادة كفاءة الهطول من إحدى السحب باستغلال مستودع

المياه المفرطة البرودة.

كما أن البذر الديناميكي والذي يعني بذر سحابة مفرطة البرودة بمقادير كبيرة بدرجة كافية من نويات الجليد أو من مادة مُبرّده لإحداث نمو السحابة بسرعة ، وسيؤدي إنطلاق الحرارة الكامنة وترسب البخار بفعل ازدياد بلورات الجليد أو جُمد القطرات المفرطة البرودة إلى زيادة قابلية السحابة للطفو. وفي الظروف المؤاتية سيتسبب هذا في تعميق السحابة وزيادة الانتقال الرأسى للمياه عبر السحابة وزيادة اتساع السحابة ، وقد يزيد من هطول المطر على الأرض.

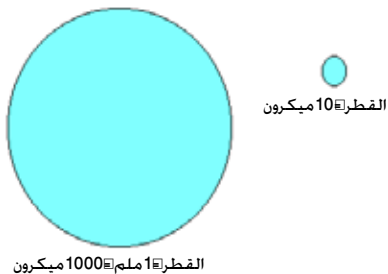
وقد أظهرت الدراسات النظرية الأخرى التي أجريت مؤخراً أن البذر الديناميكي يمكن أن يؤثر في السحب السمحاقية الجافة نسبياً والسحب الركامية الرطبة.

فالتأثير الديناميكي يحدث في الاتحاد المباشر من مكان القذف. حيث أن قذف (يوديد الفضة ، سائل النتروجين ، أكاسيد الكربون الصلبة ... وغيرها) في أكثر الأحوال تتم في الجزء الأعلى من السحب، بعد ذلك تصبح قطرات الماء الموجودة في السحابة التي قذفت مثلجه.

وأهمية بلورات الجليد في السحب العالية البرودة كبيرة بسبب مرونة بخار الماء المشبع التي تكون فوق الجليد أقل مما هي عليه فوق الماء عند نفس درجة الحرارة ، وبعد ظهور البلورات الجليدية في السحب العالية البرودة تبدأ عملية تحول بخار الماء المشبع من قطرات إلى بلورات .

وكما عرفنا سلفاً أن قطر قطرة الماء في السحابة العادية عند بداية تكونها حوالي 10 ميكرون ، وقطر قطرة المطر حوالي

1000 مكرون ، ولذلك لكي تتم عملية سقوط المطر من السحابة يجب أن يرتفع مقياس القطرة أكثر من 100 مره .



شكل (1-3) مقياس القطرة لسقوط المطر

وكبر القطرة مرتبط بشرطين رئيسيين كما فهمنا سلفاً:

(1) ترسب (تكثف) بخار الماء إلى قطرات.

(2) الاندماج للقطرات عند تصادمها .

إن نمو مقياس القطرات نتيجة للتكثيف تتم بصورة بطيئة جداً عن نموها بالاندماج. علاوة على ذلك أن القوة الهيدروميتروولوجيه لا تسمح للقطرات بالتصادم إذا كان قطر كل واحدة منها أقل من 20 مكرون.

فنظام الديناميكية الحرارية "قطر_جزيئات الثلج_بخار الماء" يتطور إلى استقرار تام مع كبر البلورات الثلجية وتبخر القطر. وهنا يبدأ الدور الهام الذي يلعبه التأثير الصناعي في البلورات الثلجية في السحب.

والهدف من التأثير على السحب الركاميه التي تنشئ نتيجة شدة صعود تيار الهواء وبالذات تيارات الحمل هو التأثير على السطح الأعلى لها بالطريقة الصناعية (البذر) ، وهذه المواد

المستخدمة هي قربه في تركيبها من الجليد. وتأثر بصوره فعالة على جزيئات البرد الواقعة بين قطرات الماء في السحابة.

فجزيء البرد الواقع بين قطرات الماء يبدأ بالنمو سريعاً على حساب عملية التبخر وعند حجم 100 ميكرون سرعته في السقوط تكون ملحوظة . وعند السقوط المتزايد للبلورات الثلجية عبر الأجزاء الأقل سيوله يتزايد تكون جزيء الثلج بفعل عمليات التكثيف ونتيجة لذلك يغادر جزيء الثلج السحب متحولاً قطرة مطر.

ويوضح الشكل (2-3) آلية سقوط البلورات الثلجية بين قطرات الماء داخل السحابة.



شكل (2-3) سقوط البلورات الجليدية

وهكذا يتم تكوين جزيئات ثلجية جديدة في منطقة الهدف لتحل محل الجزيئات التي سقطت فيزداد تكونها سريعاً في مناطق السحب الأقل كثافة مائية.

وعموماً تؤدي عمليات البذر للسحابة بنويات التثليج إلى:

1. إطلاق الحرارة الكامنة في السحابة وكبر حجمها.
 2. إطلاق الحرارة الكامنة تؤدي إلى عملية طفو إضافية للسحابة.
 3. التيارات الصاعدة في السحابة المحفزة تعجل من تكون الأبراج السحابية وصعودها.
 4. هبوط الضغط تحت أبراج السحابة المبذورة ، وحدوث عدم استقرار للهواء فيها.
 5. حدوث نوع من التحفيز للتيارات الهابطة نتيجة عدم استقرار الهواء .
 6. اتساع السحابة وتشكل أبراج جديدة نتيجة لما سبق ذكره .
 7. من المحتمل أن تندمج السحابة الجديدة بالسحب المجاورة لها.
 8. وأخيراً تؤدي الرطوبة المتزايدة في الهواء إلى تشكل المطر وبالطرق التي ورد ذكرها.
- وفي أي تقنية لإجراء عمليات الاستمطار هناك عاملان رئيسيان يجب الأخذ بهما بعد تحديد نوعية السحابة التي يمكن التعامل معها . وهما:
1. عوامل البذر.
 2. طرق البذر.

1 - عوامل البذر "عوامل التطعيم":

نظراً لأن كثير من الأمطار تسقط من السحب التي لاتصل إلى مستوى التثليج، فإن تأثير عوامل البذر على السحب

الثلجية تكون محددة الاستخدام. لأن السحابة إذا وصلت إلى مستوى التثليج فمن المحتمل أن يهطل المطر طبيعياً.

ومن هنا فإن تأثير عوامل البذر في السحب الدافئة عموماً يكون هو المطلوب أكثر من غيرها من السحب.

ومن المعروف بأن درجة التجمد تتغير مع الارتفاع حيث تنخفض عن الصفر مع تناقص الضغط الجوي وهو الذي يحدث عادةً كلما ارتفعنا عن سطح الأرض.

حيث يتم تخريص الغيوم ببذرها أو رشها بنويات تجمد . كثاني أكسيد الكربون الصلب ، أو يوديد الفضة ، أو نويات تكاثف بواسطة المواد الأستربتابية الكبيرة (الهيغروسكوبية) -كملاح الطعام- أو قطرات ماء.

ومن أهم عوامل البذر هي:

أ- ثاني أكسيد الكربون الصلب " الثلج الجاف ":

يقوم ثاني أكسيد الكربون الصلب بدور نويات التجمد وينتج بلورات جليدية -وفق نظرية بيرجيريون- فهو يبذر في الغيوم فوق المبردة - التي تحتوي على قطرات ماء فوق مبردة درجة حرارتها بين (-5°م إلى -15°م). كما في غيوم الطبقي المتوسط . فهذه النويات التي تبذر في الغيوم تشكل مراكز استقطاب لبخار الماء الذي يترسب عليها . وهذا يتم بسرعة إلى أن يصبح وزن النويات كبيراً -لما حملته من ماء متجمد أو سائل عليها- بشكل لا يقدر الهواء على حملها فتسقط على سطح الأرض بشكل صلب أو سائل.

ويرى بعض الباحثين أن انتشار استعمال الثلج الجاف لتلقيح السحب يعود لفعاليتها وبساطة استعماله وقلة

تكاليفه. فعندما يتبخر على سبيل المثال غرام واحد من الثلج الجاف في سحابة درجة حرارتها 20- درجة مئوية فإنه ينقسم إلى 10^{16} ذرة.

وبالنسبة لمعدل البذر أوضحت بعض التقارير العلمية بأن معدل البذر للسحابة المناسبة 45 كجم من الثلج الجاف ، تؤدي إلى سقوط كمية مطر ما بين 2.5 - 6 ملم في المنطقة التي تقع تحت السحابة المبدورة (في منطقة الهدف) وفي بعض الحالات تصل إلى 13 ملم.

ب- يوديد الفضة:

يعتبر يوديد الفضة من أفضل المركبات التي تستخدم في هذا الشأن لأنه يشبه في تركيبه وشكله بلورات الثلج الطبيعية . وأن غراما واحدا من هذا الملح في محلول مخفف ينتج حوالي 10^{16} ذرة عندما يتبخر هذا المحلول في لهب حار. والجدير بالذكر أن يوديد الفضة سهل الاستعمال وقليل التكاليف . خاصة إذا كان يطلق من مولدات أرضية. على أن لهذه الطريقة بعض المحاذير . فيوديد الفضة قد لا يصل كله إلى السحب التي تعلو المولدات خاصة إذا كانت الأحوال الجوية مستقرة . كما أن درجة تركيزه قد لا تكون كافية.

كما أن أشعة الشمس تقلل من فاعلية ذرات يوديد الفضة . وعندما تمر على أبخرته في الجو أزمنا كبيرة فإنه يفقد كثيراً من خصائصه ونشاطه كمساعد على التكاثر . ولقد أثبتت التجارب أن عدد الذرات المؤثرة تتناقص بنسبة 10% كل نصف ساعة . لذا فإن الدخان الذي يحتوي على يوديد الفضة

ويطلق من المولدات الأرضية يجب أن تكون درجة تركيزه عالية كي تكون الذرات التي تصل إلى السحب كافية لاستمطارها. فدرجة الحرارة المناسبة لبلورات يوديد الفضة لتصبح فعالة كنيويات تثلج هي -5°C . ويوضح الشكل (3-3) طريقة من طرق إحراق يوديد الفضة.



شكل (3-3) إحراق يوديد الفضة

ج- النويات الهيجروسكوبية:

تقوم النويات الهيجروسكوبية (كملاح الطعام) بعمل نويات تكاثف ، حيث تبذر في الغيوم الدافئة التي درجة حرارتها فوق درجة حرارة التجمد.

وقد أجريت مثل هذه التجارب في الباكستان واستخدم في ذلك مسحوق ملح الطعام المستخرج من الجبال ، وكللت التجارب ببعض النجاح في أغلب المناطق الداخلية التي وجد بالقياس أنه يعوزها كميات وفيرة من نويات التكاثف أبان الأمطار الموسمية.

وتعتبر هذه الطريقة تقريبا مناسبة في السحب الحارة والباردة أيضا.

د- قطرات الماء :

يمكن استخدام قطرات الماء لما له من تأثير إيجابي في الاستمطار الصناعي. وأثبتت ذلك التجارب في المناطق الاستوائية في أفريقيا.

ولا تعتمد هذه الطريقة على نوعية السحابة. حيث يرى البعض أنه من الممكن تطبيقها في السحب الباردة والحارة.

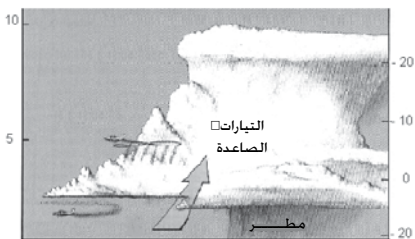
2 - طرق البذر:

أ- البذر من الجو:

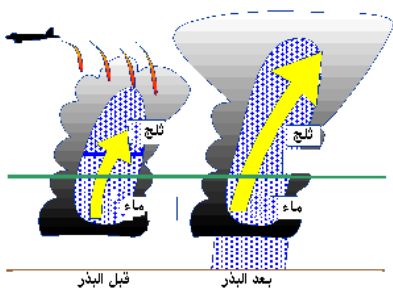
إن أفضل طريقة لإجراء أعمال الاستمطار هي استخدام الطائرات ومواد الزرع من نوع بيرو تكنيك التي تحتوي مادة يوديد الفضة والتي تكون مسارات بذرها في الاتجاه المضاد للريح بالنسبة لمناطق الهدف .

فالتائرات تطلق رذاذاً (دقائق ميكروسكوبية) من يوديد الفضة باستخدام الشعلات . فعندما تقابل هذه الأجزاء الدقيقة رطوبة باردة في السحابة يحدث تكون للبلورات الثلجية وقطرات المطر.

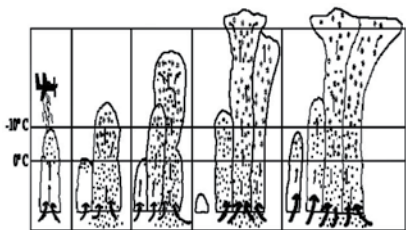
ويمكن أن يكون البذر من قاعدة السحابة عند وجود التيارات الصاعدة (شكل 4-3) أو من أعلى السحابة (شكل 5-3-أ- ب) والذي يوضح عملية البذر من أعلى السحابة وتطورها بعد عملية البذر.



شكل (3-4) يوضح طريقة البذر من قاعدة السحابة



شكل (3-5 أ-) يوضح البذر الجوي من أعلى السحابة وتطورها بعد عملية البذر



شكل (3-5 ب-) يوضح تطور السحابة بعد عملية البذر

وتتم عملية البذر الجوي من خلال العديد من الطرق منها:
 1. أن تقلع طائرتان معاً أحدهما للبحث والأخرى للبذر بعد تحديد السحابة التي يتم التعامل معها. في مستوى بيئي -10 درجة مئوية للسحابة، أو مباشرة تحت قمة السحابة. بحيث تطير طائرة البحث بمستوى منخفض بحوالي 150 متراً تحت طائرة البذر.

فمثلاً إذا اخترقت طائرة البحث شرقاً في المستوى المحدد لها سلفاً عند مقطع رياح -10 درجة مئوية، فإن طائرة البذر سوف تتبعها بنفس الاتجاه. وفي أول اختراق يتم إجراء القياسات الفيزيائية المختلفة للسحب المرشحة كقاعدة للتجربة.

والجمال الذي تتعامل معه الطائرتان هو:

(أ) قمة سحابة من 7- إلى -20م° والمقدرة من قبل طائرة البحث.
 (ب) المحتوى المائي المقاس يجب أن يساوي 0.5 جرام/م³ أو أكثر في كل 5 ثواني.

(ج) الحجم الأفقي للسحابة لا يتجاوز 10 كم .

ويتم اختراق السحابة فإذا كان الاختراق لا يتلائم والتصوير المتكون. يعاد الاختراق مرة أخرى وفي الدقيقة الثانية مباشرة. وإذا السحابة ملائمة للتصورات المبنية مسبقاً، تقوم طائرة البحوث والتي يتواجد فيها مجموعة من العلماء المتخصصين بإعطاء الأوامر لطاقتهم طائرة البذر بتنفيذ عملية البذر. والذي يقوم بدوره بعملية البذر العشوائي بحيث تغطي العملية المنطقة المحددة كاملاً. شكل (6-3) يوضح التحليق المشترك للطائرتين.



شكل (3-6) خليق مشترك لطائرة البحث وطائرة البذر

بعد أن تتم عملية البذر تحافظ طائرة البذر على مستوى ارتفاعها وعلى بعد 10-15 كم لتقوم بعملية الرصد والتصوير لتجربة البذر.

إن عملية الرصد توثق حجم السحابة وتركيبها الفيزيائي والتغيرات التي تطرأ على السحابة كما تقوم طائرة البحث بالاختراق في مسار البذر إذا أمكن .

بعد 30 دقيقة من البذر تدرس السحابة المبذورة .

تقوم طائرة البحث (T-28 ، مثلاً في جنوب داكوتا) بجمع الرصدات الفيزيائية الدقيقة في أبراج السحب الركامية التي وصلت مستوى ما بين -15 ، -20 درجة مئوية .

وتساعد طائرة البحث في :

- 1 - تحديد حالة السحب التي بحاجة إلى بذر.
- 2 - تحديد إمكانية زيادة كمية الأمطار بواسطة عملية البذر
- 3 - تحديد البداية المحتملة لسقوط المطر باستخدام القاعدة التقنية للبذر.

- 4 - إجراء التطبيق لمختلف (المعالجات) في السحب الركامية وتوثيق تأثيرها باستخدام طائرة البحث وبيانات الرادار.
- 5 - تحديد عمليات النمو الطبيعي للمطر و المطر المحفز. وينبغي أن تكون كمية البذر ليوديد الفضة قليلة حتى لا تحدث مخاطر بيئية .
- وأفضل النتائج يمكن الحصول عليها باستمطار السحب الحملية.
- وبشكل عام يمكن للطائرات استخدام جميع عوامل البذر ولكن من عيوب هذه الطريقة تكلفتها العالية (الشكلان 7-3أ و 7-3ب يوضحا طائرتان أثناء عملية بذر السحب).
- وفي المراحل الأولى للتجارب كانت العيوب تتركز في عدم تأمين الاتصال بين المختصين في الأرض والآخرين في الطائرة خلال عملية البذر.



شكل(7-13) طائرة أثناء عملية بذر السحب



شكل (7-3 ب) طائرة أثناء عملية بذر السحب

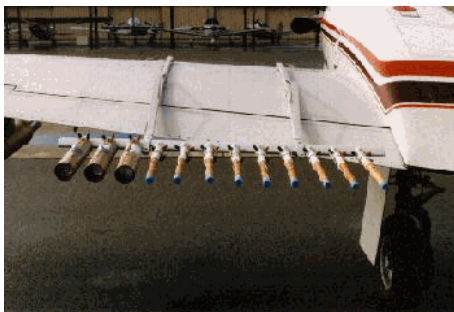
ولكن مع وجود التطور التكنولوجي ، أصبحت هناك طرق عديدة للبذر الجوي بما يتلائم ونوعية السحابة التي يجب أن تبذر وضمان الاتصال بين المختصين في الأرض وفي الطائرة خلال عملية البذر.

حيث أن هناك طرق وأجهزة مختلفة فمثلاً يتم نشر مسحوق يوديد الفضة باستخدام الشعلة التي تحتوي على 20 جرام من المحلول وتحتوي الشعلة على المئات من الشعلات موضوعة في حامل خاص تحت جسم الطائرة متصل بجهاز إطلاق إلكتروني داخل الطائرة (شكل-3 8).



شكل (8-3) يوضح منصات أجهزة البذر لأطلاق الشعلات موضوعة أسفل جسم الطائرة

ويوضح الشكل (9-3) منصات الاحتراق الموضوعة على أجنحة الطائرة . وتستطيع أن تحمل أي حجم من شعلات يوديد الفضة أو المواد الأسترطابية . وتستخدم عادة هذه الشعلات الموضحة في الشكل لبذر قاعدة السحابة .
وكل جناح يحمل 12 شعلة . وهذه المنصات يمكن أن تقذف منفردة أو مجتمعة من خلال وحدة تحكم في غرفة القيادة .



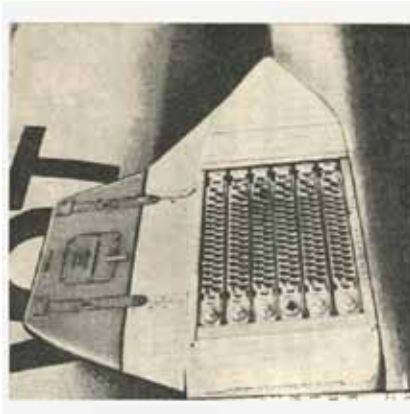
شكل (9-3) يوضح منصات الاحتراق المثبتة في جناح الطائرة

وهناك المولدات الضاغطة ليوديد الفضة الشكل (10-3)، وهي عادة تستخدم في بذر قاعدة السحابة .
توضع هذه المولدات في كل جناح من أجنحة الطائرة ، وكغيرها ترتبط هذه المولدات بوحدات تحكم وإطلاق .
حيث تقوم هذه المولدات بحرق محلول الأسيتون ويوديد الفضة الذي ينتج عنه دخان ينتشر في نهاية الأمر في السحابة.



شكل (10-3) يوضح مولدات يوديد الفضة
المكيفة بالضغط

وهناك الصواريخ (جو- جو) المحمولة على الطائرات (شكل
11-3) الفعالة الاستخدام في مساحات محددة ولكن لمخاطرها
تمنع في كثير من الحالات.



شكل (11-3) صواريخ (جو- جو) المحمولة على الطائرات

ب - البذر من الأرض :

1 - المولدات الأرضية:

العاملون في الاستمطار عادةً يوظفون مولدات أرضية لإطلاق دخان يوديد الفضة (AgI) في عدة مواقع لإنزال مطر فوق منطقة الهدف . حيث يستمر يوديد الفضة (AgI) في الارتفاع عالياً حتى يتحول إلى بلورات جمد داخل السحابة. ومن غير المعروف كم عدد الجزيئات التي تصل إلى السحابة تحت الحالات الجوية المختلفة.

وهذه الطريقة مناسبة فقط عند استخدام تقنيات يوديد الفضة (AgI) وتعتبر هذه الطريقة الأرخص والأبسط بين كل الطرق.

ويستفاد من محطات المولدات الأرضية في نثر الغيوم خلال الليل بشكل خاص حيث لا تعمل الطائرات ليلاً . كذلك لتغطية مساحات واسعة والتي لا تستطيع تغطيتها طائرة واحدة . بالإضافة إلى أنه بإمكان المولدات الأرضية الاستمرار في عمليات نثر الغيوم يوماً ونصف دون توقف في الظروف الجوية المناسبة.

حيث يبدأ تكون يوديد الفضة (AgI) كذرات جمد عند درجة حرارة 4- حتى 7- مئوية . وتعتبر فرص نزول المطر منه أقل من الثلج الجاف . الذي ينتج بلورات ثلجية مباشرة عندما تهبط درجة الحرارة عن صفر درجة مئوية.

ولنجاح تأثير عمليات البذر من الضروري أن يكون للسحب سمك كافي (1,5 كم تبعاً للمحتوى المائي السائل والحرارة) . حيث تتحول السحابة من الحالة السائلة إلى الحالة

الثلجية.

فإذا كانت درجة حرارة قمم السحب -7 درجة مئوية أو أبرد فإن فرصة إسقاط المطر تصل إلى نسبة 100% في منطقة القذف. إلا أن هذه الفرصة تقل تدريجياً كلما ارتفعت درجة الحرارة إلى أن تصل صفر درجة مئوية . أما في درجات الحرارة التي تصل إلى 15- درجة مئوية أو دون ذلك فإن النتائج تفقد أهميتها حيث تغدو الفرصة مواتية جداً لسقوط الأمطار بصورة طبيعية دون حاجة إلى تلقيح السحب.

وهناك العديد من الأنواع للمولدات الأرضية . فالشكل (3-12) مولد أرضي صمم لبذر يوديد الفضة على السحب التضاريسية . والذي يقوم بحرق خليط من الأستيون ويوديد الفضة الذي يطلق خيوط (ريشية) دخانية تصل إلى قاعدة السحابة.



شكل (3-12) نموذج للمولد الأرضي ليوديد الفضة النقال

وتتوفر حالياً ثلاثة أنواع من هذه المولدات:

- 1 - مولد متحرك على عربة (مراقبة أوتوماتيكية) الشكل (3-13).

2 - مولد نقال (بالمراقبة الأوتوماتيكية بدون عربة)

3 - مولد يدوي (بدون مراقبة أوتوماتيكية أو عربة)

فأنظمة المولدات الأرضية الحديثة النقالة والمتحركة تستخدم تقنيات الأقمار الصناعية المتكاملة في العمليات الدقيقة وبنظام تحكم آلي.



شكل (13-3) نموذج للمولد الأرضي

ليوديد الفضة المتحرك

أما المولدات اليدوية فهي شبيهة بالمولدات النقالة، ماعدا أنها لا تحتاج إلى تلفون عبر الأقمار الصناعية، ووحدة عمليات دقيقة، ومصدر طاقة ثابت، ووحدة تجميع بيانات طقس. حيث تعمل هذه العمليات يدوياً بواسطة المختص.

2 - البالونات الهيدروجينية:

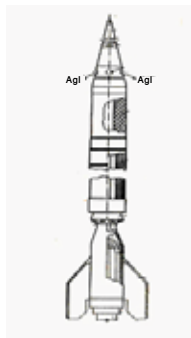
مميزات هذه الطريقة أن نقطة الإطلاق يمكن اختيارها بدقة

مسبقاً، وتعتبر أيضاً رخيصة من حيث التكلفة.

ومن عيوبها أن وزن مواد البذر التي ستحملها البالونات تكون صغيرة . بالرغم من أنه يمكن تعويض ذلك بإطلاق عدد من البالونات . وهذا يعني بأن كميات مواد البذر (البودرة) المستخدمة في كل شحنة تكون صغيرة . ومن المحتمل أن يشكل خطراً على حركة سير الطائرات إن وجدت بالقرب من منطقة الهدف . ويجب في عمليات البذر أن يحدد اتجاه الرياح ومنطقة الهدف لكي يتم البذر قبل وصول السحابة إلى منطقة الهدف . وهذا يعني ضرورة حساب سرعة واتجاه الرياح وحجم السحابة وغيرها من العوامل ذات العلاقة بتكون وحركة السحابة . ولا يسقط المطر من السحابة المبدورة عادة قبل 20-30 دقيقة.

3 - الصواريخ:

تستخدم الصواريخ المختلفة مثل صواريخ (أرض - جو ، جو - جو) كوسيلة لوصول عوامل البذر المختلفة بغرض إدرار محتويات السحب أو إبطال البرد .
فمثلاً الصاروخ الذي يحمل اسم "السحابة" الموضح بالشكل (14-3) ذات المميزات الآتية : العيار 125 ملم . الطول 2110 ملم . الكتلة 35 كجم ويبلغ أعلى مدى له 12 كم وطول الخط الجوي للدخان 8 كم . ويكفي لصاروخ واحد 5 كجم من مادة البذر .



شكل (14-3) صاروخ أرض- جو "السحابة"

وتصمم هذه الصواريخ بطريقة تضمن الانتشار الدائري لمواد البذر ولدى كبير من خلال خروج الهواء في الفتحات المبينة في مقدمة الصاروخ وتليها فتحات خروج مواد البذر.

اختيار منطقة العمل:

بناءً على المعطيات المناخية تقسم البلد إلى مناطق مناخية على أساس كميات الهطول . وباستخدام مجموعة من العوامل المناخية الزراعية يمكن تحديد المناطق الرطبة والجافة والتي على أساسها تحدد المناطق التي ينبغي أن تكون هدفاً لعمليات الاستمطار. وعادة تؤخذ المناطق الجافة وشبه الجافة كمناطق تجارب بغية زيادة الموارد المائية فيها.

مقومات نجاح الاستمطار:

بالرغم من الاختلاف في وجهات النظر في وسط المهتمين بتقنيات البذر . إلا أن المبادئ الأساسية لا يمكن الاختلاف عليها

فيما يتعلق بمقومات نجاح عملية الاستمطار وهي:

1 - وجود الكادر الفني المؤهل والمتكامل من أخصائيين في الفيزياء والأرصاد والكيمياء والإحصاء الرياضي إلى جانب الطيارين الماهرين.

2 - توفير التجهيزات الضرورية لتأمين نجاح عمليات الاستمطار وتمثل هذه التجهيزات فيما يلي:

* الأجهزة الفنية:

(أ) شبكة محطات مطرية .

(ب) طائرة خاصة فيها مختبرات لقياس عناصر الأرصاد وعمليات الاستمطار.

(ج) محطات أرضية للبذر بطريقة الإحراق.

(د) شبكة متكاملة لقياس عناصر الغلاف الجوي.

(هـ) رادار طقس.

* معلومات الأرصاد وأهمها:

(أ) دراسة أولية للظروف المناخية الزراعية للمنطقة .

(ب) خارطة الطقس للفترة التي يتم فيها بذر السحب.

(ج) المعلومات بواسطة التيفوجراف للفترة التي يتم فيها بذر السحب.

(د) معلومات العناصر والظواهر الجوية عبر الأقمار الصناعية.

ولكي تجري على نحو صحيح عملية بذر السحب أو تجربة

بحث في هذا الصدد يجب أن تتحقق على الأقل الأمور التالية:

1 - تحديد حاله مناسبة ، وهذا يعني أن تكون الظروف الجوية والحركة الدورانية مناسبة لتحمل النويات إلى الهواء

- البارد والمشبع القادم إلى منطقة الهدف تحت مستوى التثليج.
- 2 - نجاح انتقال عامل البذر وانتشاره إلى مناطق السحاب المفرطة البرودة أو وضعه فيها بصورة مباشرة .
- 3 - توافر ما يكفي من الوقت والسائل والبخار المفرطي البرودة لإنتاج الجسيمات ذات الحجم المناسب للهطول.
- 4 - حقن أو نثر البذر في السحابة بكميات متساوية على جميع أجزاء السحابة.
- 5 - تساقط الجسيمات على الأرض في نهاية الأمر في الموقع المرغوب قبل أن تتبخر أو تتسامى كلياً أو تنتقل خارج المنطقة المستهدفة.
- 6 - إن درجة حرارة قمة السحب وعمقها ليسا هما العنصران الوحيدان اللذان يتوقف عليهما نجاح عملية تلقيح السحب لإسقاط المطر. بل إن عمر السحب يجب أن يكون كافياً حتى تنمو القطرات لتصبح في حجم قطرات المطر.
- 7 - معرفة فرص سقوط المطر بالبذر بواسطة الثلج الجاف التي تعتمد على درجة الحرارة في قمة السحابة. حيث أنه عند -7°C أو أبرد يكون احتمال هطول المطر 100%. وعند درجة الحرارة من -7°C حتى صفر فرص النجاح تتناقص.
- 8 - يعتمد بدء سقوط المطر على كثافة السحابة، والذي يتطلب فترة 10 دقائق لنمو القطع الثلجية تتبعها دقيقة لكل 800 قدم من حجم السحابة. ويصل المطر إلى الأرض إذا كان ارتفاع قاعدة السحابة منخفضاً، و متناسب شدة

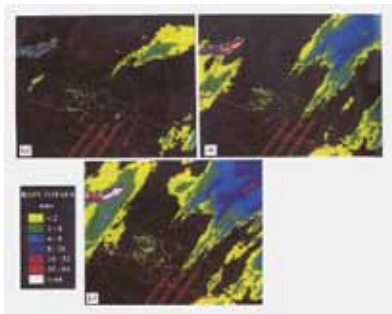
المطر طردياً بالنسبة لكثافة السحب ويمكن أن تسقط من 0.25 إلى 5 بوصة من المطر خلال 40 إلى 60 دقيقة بعد البذر.

9 - عندما تكون الحالات الجوية ملائمة فإن السحب تتحول في عملية البذر إلى ركام مزني.

استخدامات الرادار في عمليات الاستمطار:

يتم مراقبة السحابة بواسطة الرادار قبل وأثناء وبعد عمليات البذر. وبهذه المراقبة يمكن تحديد كميات المياه في السحابة ونوعيتها ومقدار الزيادة بعد البذر.

الشكل (15-3) يوضح تطور السحابة التي أجريت لها عملية البذر في إيطاليا في يوم 18 يناير 1994 حيث يلاحظ في الشكل هذا التطور في ثلاثة مراحل خلال خمس ساعات : (a) ساعة واحدة (b) ثلاث ساعات (c) خمس ساعات بعد البذر. الرياح العلوية جنوبية غربية 74 كم/ ساعة ، مستوى البذر حوالي 2.3 كم ودرجة الحرارة 0°م.



شكل (15-3) السحابة التي أجريت لها عملية البذر في إيطاليا.

ونظراً لعدم كفاية الوسائل التنبؤية تستخدم التتابع الصناعية المخصصة لمتابعة حركة الغيوم وتطورها . حيث تستخدم صور الأشعة الحمراء (IR) والصورة المرئية (VIS) وصور بخار الماء في الغيوم (WP) وتمكن هذه الأنواع الثلاثة من الصور من التقصي العام لمواصفات الغيوم التي تقترب من منطقة المشروع . ويستخدم رادار الطقس من أجل كشف الغيوم وتركيبها الحجمي حيث يمكن كشف قمة الغيوم بدائرة نصف قطرها /250كم/ من مركز الرادار ويتم الكشف لارتفاعات مختلفة لمعرفة التركيب العمودي للغيوم.

يتمكن الرادار من مراقبة الهطولات من الغيوم حتى مسافة 100 كم كما يقوم بمراقبة تطور الغيوم قبل الزرع وأثنائه ويرشد الطائرات إلى أماكن تواجد الغيوم.

وتتميز رادارات الطقس عن غيرها بأن أهدافها عبارة عن تجمع من الجسيمات . وهذه أهداف لا تعكس الأشعة كما هو الحال في أهداف الرادارات العادية بل أن هذه التجمعات تشتت الأشعة ولذلك لا يرتد نحو الرادار إلا نسبة ضئيلة للغاية من الأشعة التي يبثها نحو الهدف.

ولذلك يرصد الرادار تجمعات الجسيمات العالقة في الجو لو أمكنها أن ترد إليه نسبة محسوبة من الأشعة التي يبثها الرادار نحوها وتتوقف نسبة الأشعة المرتدة من الجسيمات على كل من حجم وطبيعة الجسيمات وطول موجة أشعة البث المستخدمة في الرادار. فالموجة الأقصر تتعرف على جسيمات أصغر.

وتعتبر السحب الممطرة هي التي تستهدف للرصد

الراداري وذلك للأسباب التالية :

- 1 - أنها سحب نشطة ويرتبط ظهورها بوجود التوزيعات الجوية ذات التأثير المعنوي.
- 2 - إن المكونات الكبيرة التي تحتويها من القطرات تعكس نسبة من الأشعة الرادارية يمكن أن يحسها وإن كانت على بعد مئات الكيلومترات.
- 3 - إن السحب غير النشطة (غير الممطرة) يحتاج لكشفها إلى استخدام موجات أقصر وهذه الموجات سرعان ما تضحل ولا يصل مداها إلا إلى عشرات الكيلومترات ، وهذا يحد من الاستفادة منها ، فضلا عن أن السحب غير النشطة عادة لا تنطوي على خطورة إلا في بعض حالات السحب المنخفضة التي يمكن أن تؤثر على عمليات الهبوط في المطارات وهذه قد يتعذر على الرادار كشفها. وتبدو صور السحب على شاشة الرادار كبقع بيضاء تتفاوت درجات بياضها بحيث تتناسب درجة البياض طرديا مع درجة نشاط السحابة وهطولها ، وأهم الصور التي يتيحها الرادار هي:
- 1 - صور تبين توزيع تكوينات السحب في المستوى الأفقي PLAN POSITION INDICATOR (PPI) وبعد هذه السحب عن مركز الرادار . وللحصول على هذه الصور يثبت هوائي الرادار بزاوية ارتفاع معينة ثم يدور الهوائي ليبيث ومضاته ويتلقى المرتد منها من السحب في جميع الاتجاهات - وعادة ما يثبت الهوائي على زاوية ارتفاع قدرها نصف درجة للحصول على توزيع الهطول عند السطح - ذلك لتفادي العوائق الأرضية .

2 - صور تبين ارتفاعات السحب وبعدها عن مركز الرادار في اتجاه معين (RHI) RANGE HEIGHT INDICATOR وللحصول على هذه الصور يثبت هوائي الرادار في اتجاه معين ثم يتحرك ارتفاعا وانخفاضا في زاوية ارتفاع بين صفر و90 ليرصد هطول السحب وارتفاعاتها في الاتجاه الذي يشير إليه عاكس الهوائي وبعدها عن مركز الرادار.

ويربط الرادار بحاسب خاص أو بحاسب الكتروني شخصي يعطي الصور في شكل خطوط متساويات شدة الومضات المرتدة من السحب ويتيح هذا إمكانية حساب الهطول باستخدام معادلة رياضية ، والفكرة المستخدمة لهذا الغرض ، هو إيجاد العلاقة بين Z مؤشر لكمية المطر المنعكسة من الرادار ، وشدة المطر R وهي على النحو التالي:

$$Z = a R^n \quad (3-1)$$

حيث أن: n ، a ثوابت تعتمد على نوع الهطول في السحابة (ماء ، ثلج).

وتم التوصل إلى هذه الثوابت ووجد أن n يتراوح مقداره بين (1.4 - 2.3) و a بين (500-130) ، ولكن الرقم الشائع لقيمة (a) هو قرابة 200 وقيمة n بحدود 1.6 ، وهي تمثل حالة السحب المنتظمة المطر في المناطق المعتدلة .

كما يمكن أن يتيح الرادار صورا متعددة الألوان يرتبط كل لون بشدة هطول معينة وهو ما يمكن من خلاله أيضا حساب الهطول على مناطق السحب الممطرة.

ولقد درست إمكانية قياس كمية المطر وتوزيعها على مساحات واسعة حول محطة الرادار. وذلك لغرض التعويض عن الطرق المستخدمة حالياً في قياس المطر والتي تكون غير دقيقة. وحتاج إلى شبكة واسعة من مقاييس المطر. وباستخدام رادار واحد يمكنه أن يقيس كمية المطر الساقطة ضمن مساحات واسعة (آلاف الكيلومترات المربعة) حوله.

فجميع التقنيات السابقة الذكر يمكن استخدامها في مشاريع البذر الأخرى ومنها :

1. تفتيت البرد

2. تبديد الضباب الدافئ والبارد

3. تهدئة الأعاصير

4. إضعاف تأثير البرق

إبطال تكون البرد :

يلحق البرد أضراراً كبيرة بالمحاصيل. في أواخر الستينات من القرن المنصرم قدرت الأضرار التي يسببها البرد سنوياً على مستوى العالم 2 مليون دولار أمريكي. والدراسات الحديثة أثبتت أن أمريكا فقدت ما بين 1994-2000 معدل 2.5×10^9 دولار في السنة وفي الاتحاد السوفيتي سابقاً بمعدل 8×10^8 دولار أمريكي. وفي نفس الوقت ما ينفق على مشاريع مكافحة البرد على مستوى العالم أقل من 1000 مليون دولار.

وفي أمريكا في يوم واحد فقط في 11 يوليو 1995 م وصلت الخسارة إلى 625 مليون دولار.

وللحد من هذه الخسائر اقترحت فرضيات كثيرة لإبطال تكون البرد. وتمثلت أكثر الفرضيات المنطقية شيوعاً في هذا الصدد في تحقيق منافسة معززة بين حبات البرد ونوياتها في الحصول على الرطوبة المتاحة . وتعرف هذه الفرضية بفرضية "المنافسة المفيدة" . ومنذ وقت قريب ركزت الجهود على تحويل أكبر قدر ممكن من المياه المفرطة البرودة في الخلايا المغذية للتيارات الصاعدة الرئيسية المنتجة للبرد إلى جليد.

وقد تؤدي استراتيجيات البذر هذه إلى إزاحة المطر للخلفية "المغذية" أو إنتاج المزيد من الجليد في الخلية ، مما يؤدي أساساً إلى حرمان التيار الصاعد المنتج للبرد من طاقة إضافية .

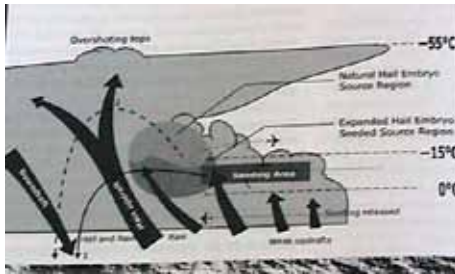
وأكثر المفاهيم المقنعة لمكافحة البرد هو البذر في منطقة المصدر. حيث تكون غالبية المحتوى المائي سائل مفرط البرودة.

ويركز بذر السحب لتحقيق هذه التأثيرات على المناطق المحيطة لتنظيم العواصف الكبيرة. ويعتقد عموماً أن من غير المجدي أن يتم البذر مباشرة في التيار الصاعد الرئيسي المكون للبرد لأن النويات في معظم هذه الحالات ينتهي بها الأمر إلى أن تصبح بلورات جليد صغيرة في السحاب السندانى ولا يستنفذ سوى قدر ضئيل من السائل المفرط البرودة.

وفي بعض الأحيان قد تتوافر للخلايا المغذية ذاتها إمكانية أن تتطور إلى عاصفة ناشجة وقادرة على إنتاج البرد. وعندئذ يمكن لطريقة البذر المذكورة أعلاه أن تحدث هطولات مبكرة وتنتج برداً أقل.

فالرفع الضعيف للرياح في منطقة مصدر الأجنة (5- إلى 15° م) لا يساعد على تكوين المطر ومن ثم يسقط بدون

مشاركة لعملية تكون البرد ويوضح (شكل 16-3) مناطق البذر المفترضة.



شكل (16-3) بذر من قاعدة السحابة لإبطال البرد

إن الطريقة الرئيسية في التأثير الصناعي على البرد داخل السحابة هي عملية تلافى (أبعاد) تكون حبات البرد الكبيرة عبر إطلاق صواريخ أو قذائف محملة بعامل تطعيم كيويديد الفضة إلى داخل السحابة بعد -15-20 دقيقة من بداية تكون البرد والذي يعتبر أكثر فعالية وبالذات عندما يكون القذف محكماً إلى داخل بؤرة تكون البرد .

وموقع هذه البؤرة وغيرها يحدد من خلال تحديد إحداثياتها بأجهزة رصد الكترونية ومن ثم تبلغ محطة إطلاق القذائف والصواريخ لإطلاق القذائف إلى داخل السحابة.

إن إيلاج عامل التطعيم يؤدي إلى نشوء عدد هائل من الذرات (1 جرام ينتج 10^{12} - 10^{16} ذرة) الذي يؤدي إلى تحول في حالة السحابة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية.

ويحدث حينها أن تتبلور قطرات الماء فوق المبردة . وهذا يمنع من تكون حبات برد كبيرة.

وحبات البرد الصغيرة تذوب في الطبقات الدنيا والحارة من الهواء مكونة المطر.

إن قطر تأثير القذيفة الواحدة يصل إلى 14 كم، ويكفي عند القذف 50 - 100 جرام من المواد الكيميائية لـ 1 كم³ من السحابة.

وفي الآونة الأخيرة فقط أجريت عمليات المحاكاة بالنماذج العددية للسحب بغية اختبار هذه المفاهيم. وهي تؤيد عموماً هذه المفاهيم العامة وتوضح أيضاً التفاعلات الهامة التي يمكن أن تحدث بين الخلايا المبدورة والعاصفة الناضجة. ومن الممكن أن تؤدي التفاعلات غير الملائمة إلى ازدياد في البرد مع تناقص في المطر من نماذج السحب. والوضع الفعلي شديد التعقيد عادة. ولكن العلماء الأكفاء في مجالي التطبيقات والبحوث يعملون بلا كلل على تحديد الأوقات والمواقع ومقادير البذر الملائمة لإجراءات التعديل الفعال.

وعلى الرغم من أنه تم إحراز تقدم على مدى الأعوام القليلة الماضية، حيث وأن بعض مشاريع إبطال تكون البرد تشير إلى وجود دلائل على النجاح في هذا الصدد، فإن الأمر يقتضي إجراء المزيد والمزيد من البحوث في جميع مراحل إبطال تكون البرد. ويتضمن هذا تحسن التنبؤات بحدوث البرد وتحسن التصاميم التجريبية والفهم الأفضل لمنشأ نويات حبات البرد ونموها وبنية عواصف البرد ودينامياتها.

أما من حيث التقنيات والطرق المستخدمة في إبطال تكون البرد، فهي نفس التقنيات والطرق المستخدمة في محاولات إدراج السحب مع الاختلاف فقط في نوعية السحابة التي يتم بذرها

والمتابعة الدقيقة في كل ساعة لتطور العاصفة فيها.



شكل (17-3) نموذج لصواريخ منطلقة
نحو السحابة لإبطال البرد

تبيد الضباب الدافئ والبارد:

اتضحت فعالية تقنيات معينة في تبيد الضباب الدافئ والبارد. والتقنية التي يعول عليها أكثر من غيرها هي الطريقة الحرارية التي تستخدم مصادر حرارية شديدة (مثل المحركات النفاثة) لتدفئة الهواء مباشرة وتبخير الضباب. ويتكلف تركيب هذه الأجهزة واستخدامها مبالغ كبيرة. وتستخدم أجهزة من هذا القبيل في بعض المطارات. وثمة تقنية أخرى يستفاد منها من وقت إلى آخر هي استخدام الطائرات العمودية لمزج الهواء الجاف من المستويات العليا بغية تبخير الضباب الدافئ.

ولتبيد الضباب الدافئ استخدمت أيضا مواد استرطابية. فالبذر الاسترطابي بكلوريد الصوديوم، على سبيل المثال، يسبب تكون قطرات يمكنها عند هبوطها إلى الأرض أن تجرف

قطيرات ضبابية كثيرة . بالإضافة إلى ذلك فإن الرطوبة النسبية تنخفض انخفاضاً طفيفاً أثناء التكثيف على الجسيمات الاسترطابية وتتبخر القطيرات الضبابية جزئياً فتعود الرطوبة النسبية إلى 100% . والمبادئ الفيزيائية التي تتركز عليها هذه التقنيات مفهومة جيداً . وأحياناً تلاحظ في هذه التجارب زيادة في الرؤية . ولكن طريقة البذر وموقعه والتوزيع الحجمي لمواد البذر أمور حاسمة وصعبة التحديد في كل حالة على حدة .

ويمكن تبديد الضباب المفرط البرودة عن طريق تكبير وترسيب بلورات الجليد عن طريق بذر الضباب بنويات الجليد الاصطناعية من نظم أرضية القاعدة أو محمولة جواً . وتستخدم هذه التقنية استخداماً عملياً في العديد من المطارات التي يكون معدل حدوث الضباب المفرط البرودة مرتفعاً نسبياً فيها . وتتوقف التقنيات المناسبة على الرياح والحرارة وعوامل أخرى . وقد يشاع استخدام الجليد الجاف في النظم المحمولة جواً . وتلجأ نظم أخرى إلى التمدد السريع للغاز المضغوط (البروبين) لتبريد الهواء بما يكفي لتكون بلورات الجليد . وفي عدد قليل من المطارات في بعض البلدان يستخدم النترجين السائل في النظم الأرضية القاعدة . ونظراً لسهولة قياس تأثيرات هذا النوع من أنواع البذر وارتفاع إمكانية التنبؤ بها فقد اعتبر بوجه عام أن التحقق الإحصائي العشوائي غير ضروري .

تهدئة الأعاصير المدارية:

تؤدي الأعاصير إلى رفع كميات الأمطار في مناطق كثيرة من أنحاء العالم. وتسبب أضراراً كبيرة بالممتلكات والأرواح . وقد

أجريت تجارب تعديل الأعاصير في الستينات وأوائل السبعينات وكان الهدف من ذلك هو إما أضعاف تدرجات الضغط قرب مركز العاصفة وإما إحداث نمو السحب المعزز في الحزم المطرية الخارجية . والفكرة التي ينطوي عليها النهج الأول هي أن من شأن البذر وإطلاق الحرارة الكامنة إطلاقاً معززاً في السحب النشطة الموجودة في جدار عين العاصفة أن يضعف تدرجات الضغط الأفقي المنخفض المستوى وأن يقلل بالتالي من شدة الرياح.

وقد أظهرت عمليات الرصد ومعاينات السحب في ثلاثة أعاصير في منطقة المحيط الأطلسي في عامي 1978م_1980م باستخدام الطائرات، انخفاض المحتويات من المياه السائلة المفرطة البرودة وغزارة تركيز بلورات الجليد نسبياً عند درجات الحرارة المرتفعة نسبياً (5- مئوية) مما يلقي الشك على قدرة الإنسان على تعديل تطورات الإعصار بدرجة كبيرة. وتؤكد على ذلك الكوارث المتتالية التي تشهدها العديد من البلدان جراء الأعاصير والفيضانات.

إضعاف تأثير البرق:

يولي الباحثون إضعاف تأثير البرق قدرًا من الاهتمام. نتيجة لما تسببه من حرائق للغابات التي يشعلها البرق. ولأهمية خفض هذا الخطر أثناء إطلاق المركبات الفضائية، أقترح بحث إمكانية تخفيض المجالات الكهربائية داخل العاصفة حتى لا تصبح قوية بما فيه الكفاية لحدوث تفريغات البرق. ولتحقيق هذا تم إيلاج قدر من الهشيم (ألياف لدائنيه معدنه) أو يوديد

الفضة (الإنتاج تركيزات كبيره من بلورات الجليد) في العواصف الرعدية . ويفترض أن الهشيم يوفر نقاطا لتفريغ الإكليل وبذلك يضبط المجال الكهربائي بالتحكم عند قيم أقل من القيم اللازمة لحدوث البرق. بينما يفترض أن زيادة تركيز بلورات الجليد تغير توزيع الشحنة الكهربائية داخل السحب. وقد استخدمت التجارب الميدانية هذه المفاهيم وأيدتها نتائج النمذجة العددية.

رغم أن النتائج مشجعة إلا إنها ليست ذات دلالة إحصائية. وقد استخدمت التجارب الميدانية الصواريخ لإطلاق الأسلاك المعدنية الرقيقة إلى السحب المتنامية لإحداث نوبات البرق الغير مكتملة وتوجيهها. وتشير الأدلة الفيزيائية إلى إحراز قدر من النجاح في هذا الصدد.

ما تقدم يتضح أن الجهود العلمية في هذه المجالات لازالت قيد البحث ولم تتوصل المعرفة العلمية للإنسان فيه إلا إلى الشي اليسير جداً.

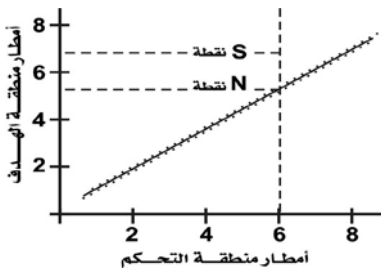
طرق تقييم نتائج البذر:

لإجراء التقييم لنتائج البذر يتم الاعتماد على الطرق الإحصائية للمقارنة بين منطقة البذر وتسمى المنطقة المستهدفة ومنطقة أخرى تختار بعناية وتسمى منطقة التحكم (منطقة المقارنة) كما هو موضح في الشكل (18-3). ويشترط أن تكون المنطقتان متشابهتين في نماذج الطقس والمناخ ويجب أن تكون درجة التعرض إلى الرياح والارتفاع متشابه بين المنطقتين. وكمية الأمطار التي تسقط على المنطقتين من وجهة نظر إحصائية ذات ارتباط عال. وإذا كان معامل الارتباط

منخفضاً جداً فإن ذلك يعكس إخفاق النتائج المحققة ويمكن اختيار أكثر من منطقة تحكم على شرط أن تكون على مقربة من بعض ومغطاة بشبكة كثيفة من المحطات المطرية.

وعندما يتم البذر. فلا بد من أن يكون البذر مركزاً على منطقة الهدف. وإذا ما كان البذر فعالاً. فمن المتوقع عندئذ حدوث زيادة في الأمطار على منطقة الهدف دون حدوث مثل هذه الزيادة على منطقة التحكم.

يظهر من الشكل (3-18) الوضع النموذجي. حيث قاد البذر إلى زيادة في الهطول فوق منطقة الهدف في سنة رصدت الأمطار فيها. كما كانت الأمطار فوق منطقة التحكم ظاهرة في تزايدها. وإذا لم يكن هناك بذر. فإن كمية الأمطار فوق منطقة الهدف سيشار إليها بالنقطة (N). حيث يشار إلى كمية الأمطار فوق منطقة الهدف في سنة البذر بالنقطة (S). وهكذا. فإن الشكل البياني يظهر أن البذر يسبب خلق فارق بين (S) و (N).



شكل (3-18) المقارنة بين منطقة الهدف ومنطقة التحكم

وتجري عادة مقارنة للهطول خلال فترة البذر بالهطول خلال فترات تاريخية ولكنها لا توحى بالثقة عموماً، بيد أنه يمكن تحديد المناطق المستهدفة ومناطق المقارنة واستخدام أساليب مختلفة لتحليل البيانات عن مشروع بذر السحب. إن استخدام أساليب المقارنة المختلفة على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم، وفرت بعض الأدلة على فعالية بذر السحب.

وتعتبر المقاييس المباشرة والموضوعية لكميات الهطول ولاختبار طرق تعديل الطقس هي الطرق الأكثر نجاحاً. ومنذ عام 1993م بدأت الولايات المتحدة الأمريكية إجراء القياسات الداخلية للسحابة باستخدام منصات محمولة تسمح ببحث العملية الميكانيكية الدقيقة لتكون المطر من السحب الحملية.

حيث كان حتى ذلك الوقت يعتمد على المحطات المطرية الأرضية ومن ثم محطات الرادار الأرضية للطقس لمعرفة استجابة عمليات البذر. وهذه العملية تأخذ وقتاً طويلاً.

المشاكل البيئية والقانونية:

تشير بعض الأبحاث والدراسات إلى أن عمليات زرع الغيوم تؤثر سلباً على البيئة ويمكن إيجاز أهم تلك المشاكل البيئية والقانونية على النحو التالي:

1. إن استخدام المواد الكيميائية كيوديد الفضة والرصاص بكميات كبيرة يمكن أن يؤثر سلباً على المدى البعيد على البيئة الزراعية وذلك لعدم انحلالها وترسبها في التربة .

2. قد تتضرر مناطق خارج منطقة الهدف عند فشل عمليات البذر أو تسبب فيضانات في منطقة الهدف.

3. يمكن أن تؤدي عمليات الاستمطار إلى مشاكل قانونية- إقليمية بين عدد من الدول المتجاورة ، وهي ما تسمى " الآثار خارج المنطقة " . ولدى بعض البلدان أحكام لتنظيم القيام بأنشطة تعديل الطقس . وفي الوقت نفسه يقوم المجتمع الدولي بوضع إرشادات لحل النزاعات الدولية الناشئة عن أنشطة تعديل الطقس . بيد أنه لا بد من التشديد على أن تعديل الطقس لازال إلى حد بعيد ضمن أنشطة حقل البحوث. وعند وضع أي نظام قانوني يستهدف تنظيم أنشطة تعديل الطقس يجب مراعاة أن يكون هذا النظام وثيق الارتباط بالمعارف العلمية في هذا المجال.

ولازال السؤال الشائع مطروحاً: هل برامج تعديل الطقس تزيد من الأمطار في منطقة على حساب منطقة أخرى مجاورة لها؟

إن ذلك عبارة عن فكرة مغلوطة . فالسحب تحتوي على 1% من الرطوبة في الغلاف الجوي بصورة عامة، ومع ذلك إذا حدث وأن أثرت عملية البذر على السحابة وضاعفت من حجمها، فإنها ستحتوي على 2% من الرطوبة المتوفرة في الجو وتبقى حوالي 98%.

وليست هناك حتى الآن دراسة علمية توضح الاعتقاد الشائع بأن الاستمطار يمكن أن يكون لصالح منطقة على

حساب منطقة مجاورة لها.

ويمكن للتقنيات الحديثة والمتطورة أن تساهم في حل مثل هذه النزاعات إن وجدت. حيث تلعب نظم الحاسب الآلي دورا كبيرا في معالجة البيانات الكبيرة واختيار الفرضيات الخاصة بتعديل الطقس والمناخ والمجال الذي تجرى فيه العمليات.

ويمكن لتجربة ما أن تتراوح بين 5 سنوات وأكثر من 10 سنوات مع التسليم بالأخطار الكامنة في تكنولوجيا غير مكتملة التطور وعلى سبيل المثال ينبغي عدم إغفال أن البذر قد يؤدي في ظروف معينه إلى زيادة البرد أو تقليل الهطول. بيد أن المشاريع التطبيقية المصممة والمنفذة كما ينبغي تسعى إلى اكتشاف هذه التأثيرات غير المواتية وتقليلها إلى أدنى حد.



الفصل الرابع

المشاريع العربية للاستثمار

في عام 1998م وضع مقترح بمشروع عربي مشترك للاستثمار من قبل المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (جامعة الدول العربية) ووزارة الزراعة والإصلاح الزراعي (الجمهورية العربية السورية) والمديرية العامة للأرصاد (الجمهورية العربية السورية). وانطلق واضعوا هذا المقترح من أن المنطقة العربية عانت من النقص الحاد في الموارد المائية، وأن السعي لتحسين الموارد المائية وترشيدها واستخدامها من المهام الأساسية للمراكز البحثية المعنية بدراسة المياه. واعتبرت هذه المهمة في أولويات اهتمام الحكومات لتوفير متطلبات التنمية الزراعية والصناعية والاجتماعية من المياه العذبة سعياً لتحقيق ما أمكن من الأمن المائي العربي.

ومنذ الثمانينات من القرن الماضي أجرت العديد من الدول العربية مجموعة من التجارب في الاستثمار. حيث أجرى الأردن بعض التجارب الناجحة في مشروع الاستثمار خلال الأعوام 1986-1989م في ثلاث مواسم مستخدماً:-

1. نثر الغيوم جواً بطائرة المشروع بإحدى الوسيّلتين :
أ) نثر محلول يوديد الفضة-يوديد الصوديوم المذابين في الأسيتون النقي وبتركيز ثابت 2% بالوزن وذلك باستخدام

مولدين مثبتين تحت جناحي الطائرة ومتصلين بجهاز تحكم موجود داخل الطائرة ، فيتم النثر من إحداها أو كليهما معاً حسب الحاجة ويستخدم هذا في حالة الغيوم الطبقيّة .

(ب) نثر المحلول المذكور أعلاه باستخدام ما يعرف بالشعلة. وتحتوي الشعلة الواحدة على 20غم من المحلول وتعمل الطائرة منها ما يقارب المائة شعلة. موضوعه في حامل خاص محمول تحت بطن الطائرة ويتصل الحامل بجهاز إطلاق إلكتروني داخل الطائرة. وتستخدم الشعلة في حالة وجود الغيوم الركامية فقط.

2. تثبيت المولدات الأرضية في مواقع مناسبة يتم اختيارها بعناية ، حيث تتوفر لأنوية يوديد الفضة التي يتم إطلاقها من المولدات الأرضية ، عملية رفع إلى أعلى لتصل الغيوم لتتحول داخلها إلى أنوية أجماد ، فتتجمع قطيرات الماء في الغيمة حولها لتزيد حجم بلورات الثلج إلى ما يكفي لسقوطها من الغيمة كقطرة مطر كبيره.

أما في منطقة الجزيرة العربية والخليج العربي فقد تم إنجاز مشروع مشترك في الاستمطار بين دولة الإمارات العربية المتحدة وروسيا الاتحادية الذي درس مختلف جوانب عمليات الاستمطار معتمداً على مناخ السحب ، ومناخ المنطقة، وخرائط الطقس للفترة مابين أواخر 1995م وأوائل 1996م وتم تعريف السحب فوق دولة الإمارات إلى أربع مجموعات على أساس:

1 - انعكاس ترددات الرادار.

2 - حجم السحب.

- 3 درجة حرارة قمة السحب.
 - 4 تقدير نمو حجم السحب بعد إيلاج المؤثر.
 - 5 سرعة السحب...وغيره.
- وأشارت النتائج الأولية إلى أن ظروف الاستمطار الصناعي في دولة الإمارات من المجموعة الثانية حوالي 70% ومن المجموعة الثالثة 30%.
- وتتلخص المجموعة الثانية فيما يلي:
- 1 مستوى درجة الحرارة في قمة السحابة ما بين 6- و9- درجة مئوية.
 - 2 يقدر ارتفاع حجم السحابة فيها بعد التأثير ما بين 100 إلى 200 متر.
 - 3 سرعة نمو السحابة إلى الأعلى بسرعة تزيد عن 0,05 كم/دقيقه.
 - 4 قطرات المطر تكون ملحوظة من خارج الطائرة أو من صور الرادار.
- وهذه السحب في هذه المجموعة هي الركامية المتوسطة (Ac) والركامية الطبقيّة المنخفضة (Sc) والسحب الركامية المنزنية (Cb) الضعيفة.
- أما المجموعة الثالثة فهي مجموعة السحب الركامية المنزنية (Cb) . وتتلخص في التالي:
- 1 مستوى درجة الحرارة في قمة السحابة ما بين 9- و20- درجة مئوية.
 - 2 يقدر ارتفاع حجم السحابة فيها بعد التأثير ما بين 200 إلى 600 متر.

- 3 - سماكة السحابة أكبر من 3كم.
 - 4 - سرعة نمو السحابة إلى الأعلى بسرعة تزيد عن 0,1 كم/دقيقه.
 - 5 - زخات المطر المرصودة من الطائرة أو من صور الأقمار الصناعية 3ملم/ساعة.
- وأكدت التجارب التي أجريت في الإمارات العربية المتحدة بأنه تم رصد كميات من المطر من السحب الركامية الطبقيّة والركامية المتوسطة وذلك في ساعات الليل والصباح . وكانت الرياح غربية وبسرعة 20م/ث (على ارتفاع 500 مليبار) . ومن تحاليل التيفجراف أتضح أنه في الأيام الممطرة المحتوى المائي لطبقة السحب العالية البرودة كانت كافية. والعجز في الرطوبة في هذه الطبقة ليس كبيراً . ومعدل سمكها 2كم. وسجلت تسعة أيام مطر في شهر ديسمبر من 15 مرة فيها سحب عالية البرودة بسمك أكبر من 0.6كم وحرارة في حدودها العليا أقل من -4 درجة مئوية. وفي الجمهورية العربية السورية نفذت تجربتان في عامي 1991 وفي موسم 1991-1992.

التجربة الأولى:

نفذت التجربة الأولى خلال الفترة من 13 مارس وحتى 25 إبريل 1991 بالتعاون مع المرصد الجوي المركزي الروسي باستخدام الطائرة الخبيرة اليوش /18/ وكان هدف التجربة إجراء دراسات حول الغيوم التي تتواجد فوق سورية لمعرفة خصائصها واختيار التقنيات والطرق المناسبة لأعمال الاستمطار.

ونفذت الطائرة /58/ ساعة طيران من خلال /13/ طلعة واستعمل أثناء التجربة /456/ طلقة ب.ف.50- (تحتوي كل منها على 320جرام/ من المادة الفعالة) و164 طلقة من نوع ب.ف.26- (تحتوي كل منها على /40جرام/ من المادة الفعالة).

بينت نتائج تقييم أعمال التجربة أن زيادة الهطولات مقارنة بالهطولات الطبيعية بلغت 2.45 مليار م³ خلال فترة التنفيذ . ونفذت التجربة على كامل الأراضي السورية.

التجربة الثانية :

نفذت التجربة الثانية بموجب عقد خاص تضمن استئجار أربع طائرات روسية تحتوي على أجهزة مراقبة الغيوم. استخدمت محطتي استقبال صور الأقمار الصناعية ومحطتي رادار طقس ونفذت أعمال الاستمطار خلال أربعة أشهر (كانون أول ، كانون ثاني ، شباط ، آذار) حيث تم تنفيذ 360 ساعة طيران من خلال 93 طلعة طائرة . أطلق خلالها 2964 طلقة بيروتكنيك كبيرة من نوع ب.ف.50- و6792 طلقة صغيرة من نوع ب.ف.26-.

وقد بينت نتيجة تقييم أعمال الاستمطار ولكامل فترة الاستمطار أن كميات الهطول الإضافية الناجمة عن أعمال الاستمطار قد بلغت 3.2 مليار م³ وبالتالي بلغت نسبة الزيادة 10.4% من الهطولات الطبيعية المتوقعة.

وبناءً على تقييم التجارب العلمية التي عملت في هذا الحقل في العديد من دول العالم ومنها عدد من الدول العربية اقترحت وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في الجمهورية العربية السورية في اجتماع اللجنة الهيدرولوجية العربية السادس

الذي عقد في عمان عام 1995م إقامة ندوة عربية حول الاستمطار بالتعاون بين المركز العربي -أكساد- ووزارة الزراعة كما أوصت اللجنة العربية للأرصاد الجوية في دورتها الثانية عشر في القاهرة 1996م بتنظيم ندوة عربية لتبادل الخبرات بين الدول العربية المنفذة لأعمال زرع الغيوم والاستفادة من التطورات العالمية في هذا المجال بمشاركة خبراء من منظمة الأرصاد العالمية. والتي عقدت في شهر أكتوبر 2003 في دمشق.

وأقترح المركز العربي -أكساد- ووزارة الزراعة والإصلاح الزراعي ، والمديرية العامة للأرصاد الجوية ، والقوى الجوية في الجمهورية العربية السورية تنفيذ مشروع استمطار عربي لزيادة الهائل المطري صناعياً عن طريق زرع الغيوم بهدف إلى :

1. زيادة كميات الهائل المطري وتحسين توزيعه لصالح الزراعة والزراعة البعلية إذ أن غلة المحاصيل البعلية لا تتأثر بمجموعة كمية الهائل المطري فحسب و إنما بحسن توزيع الهائل المطري خلال أطوار نمو المحصول.
2. زيادة غزارة الهطولات في العواصف المطرية من أجل زيادة الجريان السطحي في الأحواض المائية المغذية للمسطحات المائية وبالتالي زيادة المخزون المائي في السدود وزيادة تغذية الأحواض المائية الجوفية.
3. إيجاد كادر علمي عربي يتابع التطورات العلمية العالمية في مجال الاستمطار ويطور الأعمال التي ينفذها كل بلد والاستفادة من التقنيات الحديثة والتطور العلمي العالمي في مجال زرع الغيوم للمساهمة في تحقيق الأمن المائي العربي للدول المشاركة في المشروع.

المبررات الاقتصادية للمشروع:

نظراً لتزايد الطلب على المياه العذبة اللازمة للاستخدامات الزراعية والصناعية والمنزلية وللمحدودية الموارد المائية في معظم الدول العربية ولتحقيق متطلبات التطور الزراعي والصناعي وتأمين مياه الشرب لعدد من السكان المتزايد ، وبسبب العجز المائي الواضح فإنه من الضروري السعي لتحقيق الأمن العربي . وقد أوضحت الدراسات التي أجريت عام 1995م أن ما يقارب من ثلث سكان العالم يعاني من ضغوط معتدلة أو شديدة في الاستهلاك المائي ومن المتوقع أن يزيد إلى ثلثين عام 1925م خاصة في الدول النامية التي تعاني من سوء إدارة الموارد المائية وعظم التأثير الاجتماعي والاقتصادي على سكان هذه الدول.

وفيما يخص المنطقة العربية فهي تعاني من العجز في مواردها المائية ، فسكانها يمثلون خمس سكان العالم ويستهلكون أقل من 1% من إجمالي المياه في العالم ، كما أن 67% من مواردها المائية تأتي إليها من خارج حدودها السياسية ، وبالتالي فهي تعاني من محدودية التحكم في مواردها المائية بالإضافة إلى ندرة الأمطار وفقد أو سرقة أو اغتصاب المياه بالقوة المسلحة.

وكان للجفاف الذي تكرر في العقود الأخيرة انعكاساته السلبية على تفاقم أزمة المياه إذ ينعكس موسم الأمطار الشحيح مباشرة على الزراعة خاصة الزراعة البعلية كما يؤثر على المخزون الجوفي فيؤدي إلى استنزاف مياه الآبار في الأحواض السطحية .

انطلاقاً من هذه المعطيات التي لا بد للدول العربية من

اتخاذ الإجراءات الممكنة لتحسين الوارد المائي وسد الفجوة بين الطلب على المياه والكمية المتاحة وذلك باتجاهين متواكبين كما حددها المشروع :

- الأول : العمل على استثمار جميع الموارد المائية المتاحة وعدم هدرها وترشيد استعمالات المياه للأغراض المختلفة وخاصة الزراعية منها .

- الثاني : زيادة الواردات المائية بزيادة الهائل المطري عن طريق التأثير الفعال على الغيوم صناعياً حيث لجأت العديد من دول العالم إلى هذه الطريقة لتحسن الهائل المطري وخاصة البلدان الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة . إذ تتراوح فعالية أعمال زرع الغيوم بين %20-5 من الهطولات الطبيعية في مساحات كبيرة ولفترات زمنية طويلة (شهر - موسم) وحتى %300 من غيوم محددة . كما تختلف الفعالية حسب التقدم العلمي والتقني للجهات المنفذة وتوفر الغيوم المناسبة لإعمال الزرع .

وباعتبار أن مساحة الأراضي القابلة للزراعة في الوطن العربي تقدر بـ 10,806 مليون كم (%12.7 من إجمالي مساحة الوطن العربي) يزرع منها فعلياً 447 ألف كم (%28 من إجمالي الأراضي القابلة للزراعة) . ويستثمر منها 126.5 ألف كم في الزراعة المروية (%28) والباقي أي 320.5 ألف كم في الزراعة البعلية (%71.7) .

تتركز الزراعة المطرية (البعلية) من (الحبوب والبقوليات والنباتات الرعوية....) في الوطن العربي في المناطق الجافة وشبه الجافة . لذا فهي ترتبط ارتباطاً مباشراً بكمية الهطولات السنوية وتوزعها أثناء فصل النمو ولقد أدى اختلاف كميات الهطول ما بين سنة وأخرى إلى تأثيرات مباشرة على إنتاجية الزراعة البعلية.

ومن المعلوم أن هطولات المناطق الجافة وشبه الجافة غير منتظمة خلال فصل الهطول حيث تمر أحياناً عدة أسابيع دون أن يحدث الهطول . أوقد تتركز الهطولات خلال بداية أو منتصف أو نهاية الفصل الماطر وتتضرر بذلك المحاصيل النباتية والنباتات الرعوية لأن هناك فترة حرجة للنبات يحتاج فيها للماء (مرحلة الطور الجنيني للقمح والشعير والشوفان) وفي بعض الأحيان تحدث الهطولات المبكرة فتتمو البادرات النباتية . ثم ينحبس الهطول فترة طويلة من الزمن فتجف التربة وتصل رطوبتها إلى نقطة الذبول الدائم فتموت البادرات النباتية . لاسيما بالنسبة للنباتات الحولية دون أن تكتمل دورة حياتها والوصول لمرحلة تشكل البذور . وبالتالي لن تنمو هذه الأعشاب خلال الأعوام التالية مما يؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي . لذا لابد من معالجة هذه المسألة من خلال أعمال زرع الغيوم وزيادة الهطول المطري منها. وتقنين وترشيد استعمالات المياه في الزراعة بالتقليل من

الفاقد في المجمعات المائية (السدود) وفي قنوات نقل الماء وعلى مستوى الحقل باستخدام طرق الري الحديثة ، وتطوير طرق الري التقليدي من الأهمية بمكان ،

كما تلجأ العديد من دول المناطق الجافة إلى تأمين المياه العذبة بترشيد استثمار الموارد المتاحة وحثية مياه البحر واستخدام مياه الصرف الصحي والمياه العادمة بعد معالجتها إلا أن هذه الطرق إضافة إلى كلفتها العالية لن تسد النقص الحاد ولا تلبي الطلب المتزايد على المياه العذبة للاستخدامات المختلفة ولذلك لابد من تطوير طرق زيادة الواردات المائية من الأمطار بطريقة زرع الغيوم وتطوير التقنيات وتبادل الخبرات بين الدول العربية المنفذة لمثل هذه المشاريع ، وقد يكون تنفيذ مشروع استمطار عربي تشارك به عدة دول مشروعاً رائداً في طريق تأمين الأمن المائي العربي.

وفي تقدير واضعي المشروع للجدوى الفنية لأعمال زرع الغيوم بأنها تختلف باختلاف المناخ في منطقة المشروع إي عدد المنخفضات الجوية التي تمر فوق منطقة المشروع خلال الموسم ، ومواصفات الغيوم التي تتواجد خلال فترة التنفيذ ، وكذلك فإن لطرق الزرع والتقنيات المستخدمة في زرع الغيوم أهمية بالغة على النتائج المرجوة لزيادة الهطول المطري.

وتتوفر الظروف المناخية لأعمال زرع الغيوم في الدول

العربية الواقعة في شمال أفريقيا وشرق البحر المتوسط خلال موسم الأمطار الممتد من تشرين الثاني وحتى أيار ، وفي السودان واليمن وعمان يمكن إجراؤها خلال الفترة من آذار حتى تشرين أول.

وفي تقديرنا بأن إنجاز المشاريع العلمية المشتركة صارت ضرورة مهمة بالنسبة للدول العربية في زمن المشاريع العلمية الكبيرة باعتبارها تحد من هدر المال في المشاريع المنفصلة وتحقق وبلا شك نتائج مثمرة في إطار التكامل الاقتصادي العربي.

وأخيراً ينبغي لنا هنا في اليمن إجراء عمليات رصد وتحليل وتوثيق لمناخ السحب بأنواعها المختلفة وذلك لأجراء المزيد من الدراسات التفصيلية لها في المستقبل ، وتحديد حدود مختلف أنواعها ودراسة حركة الرياح والتيارات الصاعدة والهابطة فيها ، ودرجة حرارتها وسمكها ، ويعتبر ذلك من أولويات الأنشطة التي يجب القيام بها لتكوين قاعدة معلوماتية على أساسها يكون الاستغلال أمثل لمختلف السحب المرشحة لعمليات الاستمطار.



الفصل الخامس

التقييم العام لمشاريع الاستمطار

بالرغم من الصعوبات الكبيرة في مشاريع الاستمطار والتي أكدتها العديد من الأبحاث لارتباطها بالطبقات العليا للجو والتي تعتمد التغيرات فيها على مجموعة من عوامل الأرصاد الجوية والجيوفيزيائية وتغيرها عدة مرات خلال اليوم الواحد ، وارتباطها أيضا بالنشاط الإشعاعي للشمس وتغير الموسم ، إلا أنه نفذت أعمال الاستمطار بهدف زيادة الهائل المطري في العديد من الدول العربية والإقليمية خاصة ليبيا والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة والأردن وسوريا والمغرب.

كما تنفذ بشكل استثماري في فلسطين المحتلة منذ عام 1948م وفي تركيا وغيرها.

والنتائج الإحصائية الموثوق بها عززت قياسات السحابة التي تؤدي إلى رضى عام بنتائج التجارب في السحب الركامية الشتوية في فلسطين المحتلة ، والتي تشير إلى زيادة الأمطار بنسبة 15% في منطقة الهدف.

وفي المملكة المغربية نفذت تجارب الاستمطار واستخدمت بشكل أساسي المولدات الأرضية كما استخدمت مولدات يوديد الفضة على الطائرة وأستخدم رادار الطقس لمراقبة الغيوم ولم تكن النتائج مرضية بالقدر الكافي وقد يعود السبب في ذلك

لاعتمادها على المولدات الأرضية بصورة أكثر والتي لا تمكن من زرع نويات التجمد في الأماكن المناسبة من الغيوم .

وفي دائرة الأرصاد الجوية الأردنية قام مدير مشروع الاستمطار بدراسةٍ بحثية غير إحصائية لعمليات مشروع الاستمطار خلال الموسمين المطريين للفترة الواقعة ما بين نوفمبر 1986م وحتى ابريل 1988م مع دراسة للجدوى الاقتصادية للمشروع ووجد أن الزيادة عن عمليات الاستمطار للموسم المطري الاول 86/87م تساوي 720 مليون متر مكعب من المطر والزيادة في كمية المطر للموسم الثاني 87/88م تساوي 1226 مليون متر مكعب. وبمعرفة تكاليف مشروع الاستمطار وحساب تكلفة المتر المكعب الواحد من المطر الذي تم الحصول عليه من مشروع الاستمطار الأردني وجد أن النسبة بين تكلفة المتر المكعب الواحد من مشروع الاستمطار إلى تكلفة المتر المكعب الواحد من سلطة المياه هي 1:207 أي أنه يدفع ديناراً أردنياً واحداً للحصول على ما قيمته 207 دينار من مشروع الاستمطار وهي نسبة استثمارية عالية جداً. ويكفي للدلالة على الفائدة المرجوة أن زيادة في الهطولات الطبيعية بحدود 10-15% نتيجة أعمال الاستمطار بهدف زيادة الهاتل المطري تؤدي إلى زيادة في إنتاج القمح في سورية بحدود 8-12 مليون دولار أمريكي.

وتشير المعلومات المناخية لدولة الإمارات إلى أن مجموع الأمطار السنوية فيها 110,7 ملم . 99,3 ملم (89,7%) تحدث خلال الشتاء والربيع من ديسمبر إلى أبريل و11,4 ملم (10,3%) خلال الصيف والخريف من مايو حتى نوفمبر. 69.5 ملم تأتي من السحب المناسبة للاستمطار الصناعي . ولذلك فزيادة كمية الأمطار بنسبة 15%

تعطي 475 مليون/متر مكعب. و بالنسبة لسعر المياه (3-2 دولار/ جالون) تعطي زيادة سنوية بمقدار 1500-950 مليون دولار.

كما تؤكد النتائج أن تكلفة 1 متر مكعب من الماء الساقطة على هيئة مطر نتيجة الاستمطار في الاتحاد السوفيتي سابقاً 0.2-0.8 كبيك ، وفي جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية 1 متر مكعب من الماء نتيجة الأستمطار 10 سنت . وفي شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية 1 ملي متر مطر في موسم نمو القمح تعطي إضافة إلى المحصول 7 كيلوجرام للهكتار الواحد. ولتقييم نتائج تجارب الاستمطار قام فريق من أكاديمية العلوم الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية بإجراء تحليل وتقييم لثمان عشرة عملية تجارب لإسقاط المطر صناعياً. وقد دلت هذه الدراسة على أن عملية واحدة فقط لم تعط أية زيادة في الأمطار في حين أن الزيادة في 17 عملية الباقية تراوحت بين 5% إلى 75%. وقد انتهى هذا الفريق العلمي إلى حقيقة استحالة إجراء تقدير كمي دقيق لنتائج هذه العمليات إلا أنه يمكن من خلال هذه العمليات ومن غيرها اعتبار أن الزيادة في كمية الهطولات يمكن أن تصل إلى نسبة 10% إذا توفرت ظروف جوية معينة وذلك باستخدام يوديد الفضة لاستمطار السحب.

وفي الفترة (1986-1990) أجريت في غرب تكساس تجارب اختبار لـ34 سحابة، بذرت منها 17 سحابة بيوديد الفضة واتضح من نتائج البذر أن السحب المبدورة أعطت زيادة في كمية المطر بنسبة 230% بالنسبة للسحب الغير مبدورة والواقعة في نفس البيئة الجوية من حيث الارتفاع والنوع .

وفي كوبا أعطت السحب ذات القمم مابين 10°م إلى 20°م

زيادة في كمية الأمطار بنسبة 65%.

وتعتبر عملية البذر المكونة للجليد سواءً كانت للسحب أو للأنساق السحابية المتكونة في طور النمو بفعل تدفق الهواء فوق الجبال أنها توفر أفضل إمكانيات الزيادة بطريقه سليمة واقتصادية .

ويؤدي بذر الأنساق السحابية الطبقيّة العميقة (ولكن مع وجود قمم سحابية أدفئ من 20- مئوية) المصحوبة بأعاصير وجبهات إلى هطول كميات كبيره من الأمطار.

وعموما أكدت التجارب حتى الآن أن نجاح عمليات الاستمطار تتراوح بين 5-20% من الهطولات الطبيعية في مساحات كبيرة ولفترات زمنية طويلة (شهر-موسم) ومن الغيوم الركامية قد تصل 100% ولكنها تقل بالنسبة للسحب الطبقيّة . ويمكن أن تصل إلى 300% من غيوم محددة . ويختلف هذا النجاح حسب التقدم العلمي والتقني للجهات المنفذة . حيث أن تكلفة بذر السحب تختلف بشكل كبير من تجربة إلى أخرى لارتباطها بعدد من العوامل كطريقة البذر ومواد البذر وتكرار الحالات المناسبة لأعمال البذر وفترة مشروع البذر.

ووجد أن أغلبية المشاريع تصل نسبة الجدوى الاقتصادية بالنسبة إلى تكلفة المشروع 20:1 في أكثر الحالات.

فهذه المشاريع تحتاج إلى قاعدة معلومات كافية لا تقل عن عشر سنوات في مناخ السحب، من حيث سرعتها، واتجاه حركتها، ودرجة حرارة قمتها، وكمية الرطوبة فيها وعدد البلورات الثلجية المتوفرة فيها وحركة الرياح خصوصا الحركة الصاعدة والهابطة داخلها.

وينبغي أيضا التسليم بأن تجربة أو عملية استمطار ناجحة مهمةٌ صعبةٌ تتطلب كفاءة علمية عالية وموظفي أكفاء، فقيادة الطائرات بأمان في مناطق السحب الشديدة البرودة أمر صعب، ومرتفع التكلفة، وتتطلب هذه القيادة ملاحين جويين أكفاء وطائرات مجهزه بمعدات إزالة الجليد . ولديها القدرة الكافية على حمل كميات الجليد الثقيلة التي تتجمع عليها في بعض الأحيان.

فقد يتكون الثلج الخفيف أحيانا على الطائرات السريعة أثناء انحدارها وخاصة خلال السحب. فيغطى زجاج نوافذها ويجعلها معتمة فلا يبصر الطيار ما حوله. وقد يعوق جهاز اللاسلكي (ايربال هوائي) عن أداء وظيفته فيعطل الاتصالات على أمواج الأثير. وعندما تكون درجة الحرارة تحت الصفر (نقطة التجمد) داخل السحب يمكن أن تتكون طبقات من الجليد على الأجنحة تزيد من ثقل الطائرة من جهة . وتحدث سلسلة من الاهتزازات لعدم الترسب بانتظام لهذا الجليد من جهة أخرى . ويختل الشكل الانسيابي للطائرة كذلك مما يضعف قدرتها على الحمل والطيران .

وتزداد الخطورة عندما تترسب الثلوج على الطائرة إذا تساقطت عليها أمطار لا تلبث أن تتجمد بدورها ويتضاعف الحمل. ويحدث ذلك خاصةً إذا كان الجو بارداً وكانت قواعد السحب الممطرة منخفضة وقريبة من سطح الأرض . وعلى الطيار عندما يرى الجليد آخذاً في التكوين أن يبادر بالتصرف السليم . وذلك مثلاً بالصعود إلى الجو الصافي أو الهبوط . وفي حالة السحب الركامية النامية قد يستلزم الصعود التحليق

على ارتفاعات أكبر من عشرة كيلومترات . وقد ظهر أن لبعض المعاجين خاصية مقاومة تكوين الجليد عليها . وقد أستعين بها في تقليل خطر الجليد على الطائرات بدهان حافات الأجنحة ونحوها بهذه المعاجين .

وقد أدخلت في هذا الحقل المعدات الجديدة -مثل الطائرات المزودة بأجهزة القياس الفيزيائي للجسيمات المجهرية وأجهزة قياس حركة الهواء ، والرادار (بما في ذلك رادار دوبلر والقدرة الأستقطابية) ، والتوابع الاصطناعية ، ومقاييس إشعاع الموجات الدقيقة ، وراسمات جانبية الرياح ، وشبكات مقاييس المطر المؤتمتة. وبهذه التكنولوجيا الجديدة يمكن إعداد مناخات سحب وهطول أفضل عند التفكير في وضع مشاريع الاستمطار أو غيرها من مشاريع تعديل الطقس.

أما في إبطال تكون البرد يرى العلماء أن هطول البرد متغير إلى حد كبير في الزمان والمكان (من ثانية إلى ساعة ومن سنة إلى أخرى... ومن 100 م² إلى 100,000 م²). والمدى الزماني والمكاني لحركة القطيرات وتحولها من حالة التبدد إلى التكثف صغيرة جداً وأن وسائل قياس وتقدير وتفسير سقوط البرد وتركيبه غير كافية وتؤدي إلى تعثرات في تقييم أنشطة إبطال تكون البرد. ومن الحقائق التي توصل إليها العلماء بأنه لا توجد هناك سحابتان متشابهتان في التركيب أو الحركة الديناميكية التي تمكننا ببساطة من المقارنة بينهما ولكل سحابة وضعها الخاص تقريبا.

والمعرفة في سحب العواصف معقد جدا للغاية وبعيدة من أن تكون مكتملة حتى يومنا هذا والنظام الذي طوره الروس

والمستخدم من الجميع والذي يعتمد على أعلى انعكاس وعند أعلى محاكاة 45 DBZ يحدث فقط عند 2كم فوق خطوط الصفر المئوي لتساوي درجة الحرارة. وهذا يعطي نتائج مشوشة في التقييم للبرد الممكن مكافحته.

والصعوبة في المقارنة بين كمية البرد المبذور وكمية البرد الغير مبذور بسبب عدم معرفة كمية البرد الذي هطل فيما بعد. يدعو بالضرورة إلى المقارنة الإحصائية.

والمنهج الإحصائي لازال غير مكتمل والمعتمد على المزارعين وشركات التأمين وغيره من المهتمين.

وهناك من التطبيقات الإحصائية التي تعتمد على البيانات التي تزودها شبكة المعلومات الخاصة بالبرد وأجهزة الرادار . وبعضها تستخدم نظام الرادار في متابعة مسارات العواصف مثل برنامج الحاسوب TITAN .

إن المنظمة العالمية للأرصاد ترى بأن فهم خبرائها للعواصف لم يسمح لهم بعد الثقة بالتنبؤات لتأثير البذر في مكافحة البرد.

وبالرغم من توفر التكنولوجيا ، فإن كثير من البحوث لم تنجز مما يضع عقبة جدية أمام أي تطور. ولذا فإن التعاون الدولي والتبادل المنتظم للمعلومات بين مجموعات النشاط في هذا الحقل مهم في زيادة الدعم المادي للبحوث والاقتراب من حل أعقد الأسئلة العلمية البارزة.

وينطبق ذلك على جملة برامج تعديل الطقس.

وبصورة عامة يمكن إيجاز نتائج بذر السحب بما يلي:

* زيادة واضحة في كمية الأمطار مع مرور الوقت من السحب الحملية المبدورة.

* البذر يمكن السحب من إنتاج كمية كبيرة من الأمطار. كما ثبت من القياسات للكميات الكبيرة من المطر في السحب المبدورة التي نمت في نفس البيئة الجوية بالنسبة للسحب الغير مبدورة.

* البذر في الوقت والمكان الغير مناسبين يمكن أن يؤدي إلى نقص في كمية الأمطار.

وأخيراً لابد من التسليم بحقائق غريبة جداً في تركيبه الماء وخواصه الفيزيائية والكيميائية. والتي يمكن أن تكون سبباً في كثير من التعقيدات في التعامل معه في طبقات الجو العليا والدنيا.

فالماء يتمتع وهو في حالة سائلة بخواص عجيبة جداً تدفعنا إلى التشكيك بصحة معرفتنا البسيطة والتي تبدو واقعية لأول وهلة بأن هناك حالة سائلة واحدة فقط للماء وهي السائل المعروف للجميع. حيث أثبت العلماء بأن الماء هو المادة الوحيدة في العالم التي تتقلص أولاً بعد انصهارها ثم تبدأ بالتمدد كلما ارتفعت درجة الحرارة. وكثافة الماء تكون أكبر ما يمكن عند درجة حرارة تساوي 4م⁰. ويعزى هذا الشذوذ النادر في خواص الماء إلى أن الماء السائل هو في الحقيقة محلول معقد ذو تركيب غريب تماماً.

فعند انصهار الجليد تتكون في البداية جزيئات محتفظة ببقايا من البنية البلورية الهشة للجليد ومنحلة في الماء العادي ذي الجزيئات الصغيرة. ولهذا السبب تكون كثافة الماء في البداية

منخفضة . ومع ارتفاع درجة الحرارة تتفكك الجزيئات الكبيرة وتزداد كثافة الماء نتيجة لذلك . ويستمر الحال على هذا النحو حتى يبدأ التمدد الحراري العادي. وعندئذ تنخفض كثافة الماء من جديد . وإذا صح هذا التعليل فإنه من المحتمل أن توجد عدة حالات للماء. ولكن لا أحد يعرف كيف يفصل بينها. وليست هناك أية دلائل تشير إلى احتمال تحقيق ذلك في المستقبل . ولهذه الخاصية الغريبة للماء دور هام في الحياة . فالملاحظ في الأحواض المائية قبل حلول فصل الشتاء أن الماء المبرد تدريجياً يهبط إلى الأسفل طالما أن درجة حرارة الحوض المائي كله لم تصل إلى الدرجة 4 مئوية. ومع انخفاض درجة الحرارة فيما بعد يبقى الماء الأكثر برودة في الأعلى ويتوقف حرك الماء . وينشأ نتيجة لذلك وضع غير طبيعي : إذ تظهر الطبقة الرقيقة من الماء البارد وكأنها تقوم بوظيفة "غطاء دافئ" لجميع الحيوانات التي تعيش تحت الماء . ففي الدرجة 4 مئوية لن تشعر هذه الحيوانات بأي إزعاج.

فالجليد يطفو على سطح الماء . وفي المحيطات تعوم جبال ضخمة من الجليد وتغطي البحيرات في فصل الشتاء بطبقة سميكة من الجليد . إذن فبال تأكيد أن الجليد أخف من الماء.

ولنحاول أن نتصور ماذا سيحل بالعالم فيما لو كان الماء يتمتع بخواص عادية وكان الجليد كأية مادة عادية أخرى أثقل من الماء السائل . ففي فصل الشتاء تتجمد الطبقة العليا من الماء في الحوض المائي وتتحول إلى جليد يغوص في الماء ويهبط تدريجياً حتى يصل إلى قعر الحوض . وفي الصيف لن يتمكن هذا الجليد من الذوبان لأنه محاط بغلاف سميك من الماء البارد.

وهكذا تتجمد تدريجياً جميع البحيرات والأحواض المائية

والأنهار وتتحول في نهاية الأمر إلى كتل ضخمة من الجليد . وأخيرا تتجمد البحار وبعدها المحيطات ويتحول عالمنا الأخضر الجميل إلى سهول من الجليد تغطي هنا أو هناك بطبقة رقيقة من الماء الذائب.

ويعرف علماء الكيمياء أن ستة أنواع على الأقل من الجليد تم اكتشافها في مخابر الكيمياء ومع ذلك لم يصبح كل شئ معروفاً عنه . ففي العلم لا يجوز القول أبداً عن أي موضوع كان . بأنه قد درس كلياً ولم يبق فيه شئ مجهول.

وفي السنوات الأخيرة بدأ يتطور فرع جديد هام من فروع العلم والمعرفة وهو فيزياء الجليد. فالجليد مادة متينة ورخيصة الثمن وصالحة للبناء . فمنه تبنى البيوت والمستودعات وهو يشكل طرقاً آمنة طبيعية ومعابر ومهابط للطائرات . ومن ناحية أخرى فهو يسبب كوارث طبيعية .

وقد اكتشفت أشياء غريبة كثيرة أثناء دراسة عمليات تشكل الجليد وسلوكه في الطبيعة . فالجليد القطبي "يصرخ" في حالة متوترة. إذ عندما يبدأ تشوه الجليد القطبي تسمع . قرقرة خفيفة وأنين هادئ يشهد تدريجياً متحولاً إلى أصوات مختلفة . فالجليد تارة يبكي وتارة يئن ومرة يدوي ومرة يزمجر ويرتفع "صوته" تدريجياً حتى يصبح كأنغام آلة الأرغن الموسيقية.

والجليد قبل تحطمه تحت جهود حرجة يصفر ويتهدد ويتأوه . ولقد تبين أنه توجد علاقة بين طبيعة "صوت" الجليد ودرجة حرارة الهواء. ولكن هذا الفرع الهام من فيزياء الجليد ليس مدروساً بعد دراسة كافية.

وثمة الغاز أكثر تختفي في الدراسات المتعلقة بطاقة عمليات تشكل الجليد في الطبيعة. فالكمية الهائلة من الحرارة التي تتحرر أثناء جُهد الماء تخفف من البرد القارس في الشتاء . وبالعكس فإن الحرارة الممتصة من الجو أثناء ذوبان الثلوج تؤخر حلول فصل الربيع . وثمة علاقة تربط بين تغير كتلة الجليد وتغير المناخ على الأرض. ولكنه من غير الممكن حاليا إجراء حساب دقيق لعلاقة الطقس بالسعة الطاقية الكبيرة لهذه العمليات الضخمة. نظرا لأن هذه العمليات تحتوي على أشياء كثيرة مجهولة. وإليك مثلا بعض الألفاظ الأخرى حول الثلج والجليد . فقد ذكرت في المخطوطات القديمة أساطير جاء فيها أن المساحات الواسعة من الجليد تملك أحيانا القدرة على الإنارة فترة طويلة في الظلام بعد تعرضها لأشعة الشمس. ولعله من المهم حقا معرفة إذا كانت هذه الظاهرة صحيحة أم لا ؟ ومتى تحدث وكيف يمكن تفسيرها ؟ وهناك مشاهدات تفيد بأن الثلج يضيء عند إدخاله إلى غرفة مظلمة بعد تعرضه لأشعة الشمس في جو من البرد القارس تبلغ درجة الحرارة فيه عدة درجات تحت الصفر . ويقال بأن أولى حبات البرد تضيء أيضا وكأنها تملك ضياء كهربائيا . وهذه قضية هامة يجب التأكد منها وتفسيرها !

وأردت هنا بهذه الخاتمة لهذا الفصل أن أشير إلى أنه بالرغم من التقدم الذي حدث في مجال تعديل الطقس الذي تم ذكره إلا أن الأسرار التي لازالت لم تكشف بعد عن الماء ستحد إلى حد ما من أي تقدم يحلم به الإنسان في هذا المجال إن لم تكثف وتنظم الجهود العلمية الدولية والاقتراب أكثر فأكثر من معرفة الجزء اليسير من أسرارهِ ويبقى الجزء العسير لا يبلغ علمه إلا خالقه القائل (وَفَوْقَ كُلِّ ذِي عِلْمٍ عَلِيمٌ (76)).

صدق الله العظيم " سورة يوسف "

المراجع العربية:

1. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (جامعة الدول العربية)-وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي(الجمهورية العربية السورية)-المديرية العامة للأرصاد (الجمهورية العربية السورية)- 1999م "مشروع الاستمطار بهدف زيادة الهائل المطري صناعيا"-دمشق- آذار/1999م - ص2. 3. 4. 5. 11. 13. 15.
2. المنظمة العالمية للأرصاد الجوية 1993-م-مطبوع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية رقم (780) - جنيف- ص 143-152.
3. الموسوعة العربية العالمية(1)-1996 مؤسسه أعمال الموسوعة للنشر والتوزيع- الرياض- المملكة العربية السعودية -ص688.
4. أنعام كمال طهبوب1989-م-"تقرير مشروع الاستمطار في الأردن"-الأردن-عمان ص6-2
5. بتريانوف إ. 1987-م- الماء: تلك المادة العجيبة دار مير للطباعة والنشر- موسكو- ص42. 64. 93.
6. بوجومولوف ب. 1983- "جيولوجيا الماء ومبادئ الجيولوجيا التطبيقية" دار مير للطباعة والنشر-موسكو- ص30
7. حسن عبد التواب أبو طالب - 2000 المؤتمر الخامس "الأرصاد الجوية والتنمية المستدامة" - دار النشر- مركز المعلومات بالهيئة العامة للأرصاد الجوية - القاهرة- ص340. 343.
8. حسين أحمد -2003- Cloud Classification - الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية - جمهورية مصر العربية-القاهرة .

9. ريتاللاك ب.ج. "موجز محاضرات لتدريب العاملين في الأرصاد الجوية - من الفئة الرابعة-المجلد الأول-علم الأرض-" المنظمة العالمية للأرصاد الجوية -رقم 266 مطبوع فني رقم 150 ص217, 222-224
10. صالح جيتاوي وآخرون-1981- مبادئ الأرصاد الجوية.وزارة المواصلات- الإدارة العامة للطيران المدني- إدارة الأرصاد الجوية - الأردن -عمان-ص63-74
11. علي عيدروس ، أحمد محمد محرن -1999 " إدارة الموارد المائية في اليمن " -المجلة اليمنية للبحوث الزراعية - العدد 12 يونيو 1999م-ص102 ، 106 ، 111.
12. علي موسى -1986- "المعجم الجغرافي" دار الفكر- دمشق- ص39, 77.
13. علي موسى ،1993. الاستمطار ، دار الفكر المعاصر -بيروت "لبنان" ، دار الفكر -دمشق "سوريا" ص20-16 ، 33-34
14. فرج البسيوني -1997-رادار الطقس، الأرصاد الجوية- السنة الثانية-العدد الثامن-أكتوبر-1997 جمهورية مصر العربية-القاهرة- ص44-46.
15. فياض النجم ، حميد مجول -1982- فيزياء الجو والفضاء ، الجزء الأول ، الأنواء الجوية ، الجمهورية العراقية ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي . ص151 ، 158 ، 164 ، 171 ، 328.
16. لؤي أهدي -1974-1973 "علم المناخ والأرصاد الجوية" ص301, 303, 310-309, 562-560.
17. محمد جمال الدين الفندي -1975 "الأرصاد الجوية" مطبعة

- جامعة القاهرة ص 118, 121, 126, 127, 148, 149, 154, 157, 159.
18. محمد سعيد حميد -1999- "هل يمكننا تعديل الطقس" كتاب العربي 48 " دمار البيئة دمار الإنسان" وزارة الإعلام: مطبعة حكومة الكويت. ص 137
19. محمود عزو صفر -1984- المناخ والحياة ، الإدارة العامة للطيران المدني -إدارة الأرصاد الجوية-دولة الكويت. ص199.

المراجع الأجنبية:-

1. Abele Nania -1998- " The Italian rain enhancement Project: A Meteorologist's view", July 1998, Bulletin volume 47 No.3, Geneva - Switzerland - pp.280-283
2. Andrea Adani- 2003-"Aircraft requirements for cloud seeding"- programme on physics and chemistry of clouds and weather modification research -Report series-No.42-regional seminar-(Damascus,17-20 October 2003)-WMO-TD No 1227-Geneva - Switzerland,
3. Astapenko P.D. -1986- "How artificial rain affect on practices" Hydromet-Publisher. Leningrad (Russian Language),PP.299-301
4. Bedritsky A.I. and Chernkov A.A.-1996-"cloud Seeding to protect Moscow from rain on 9May 1995 -WMO Bulletin, Volume 45 No.1-January 1996, Geneva - Switzerland, pp.60-64

5. Edward Linacre -1992- "Climate data and resources" A reference and guide- London and New York-,pp. 252, 258
6. Cherkov U.I.1986, "Agrometeorology"Hydromet-Publisher. Leningrad (Russian Language),p.126
7. Iowa State University, 1999,Master of Science in Agronomy, Distance Education Program,.
8. Joint Project of UEA and Russia -1996- "Artificial Rain in UEA"- pp 2-6,8-9
9. Kachrin L.G. -1990- "The principals of physical affect on atmosphere" Hydromet-Publisher. Leningrad (Russian Language),pp 80-83,156-157,160-161
10. klingo V.V. 1985-" Artificial rain"- Human and nature 86" Hydromet-Publisher. Leningrad (Russian Language),pp63-64
11. Mateev L.T.-1984-"General meteorology course-physics atmosphere-"Hydromet-Publisher. Leningrad (Russian Language),pp 356-357,402,542-545
12. Mladjen Curic- 2003-"The physics of clouds and precipitaion" - programme on physics and chemistry of clouds and weather modification research -Report series-No.42-regional seminar-(Damascus,17-20 October 2003)-WMO-TD No 1227-Geneva - Switzerland,.
13. Tarakanov G.G.,1980,"Tropical meteorology"- Hy-

- dromet-Publisher. Leningrad (Russian Language) (pp. 55-64)
14. Rumen D. Bojkov, 2004, WMO Bulletin, Volume 53 No.2-April 2004, Geneva - Switzerland, pp.146-150
 15. WMO, 1954, Artificial inducement of precipitation with special reference to the arid and semi-arid regions of the world, WMO-No24. TP. 7, Geneva - Switzerland,p.5
 16. WMO, 1987, International Cloud Atlas, Volume II - Geneva - Switzerland,pp.5- 19, 44-45
 - 17.. WMO, 1999, programme on physics and chemistry of clouds and weather modification research ,WMP report No.31, WMO/TD No.936- Geneva - Switzerland,pp.37-40

مواقع على الأنترنت:

1. <http://www.nawcinc.com/wmfaq.html> (23/05/2005)
2. E.Linacre and B.Geerts <http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap09/seeding.html> (23/05/2005)
3. <http://www.atmos-inc.com/weamod.html> 23/05/2005
4. Chuck Doswell, What about weather modification? <http://www.cordell-ok.net/~doswell/wxmod/wxmod.html> 28/05/2005
5. <http://www.water.utah.gov/planning/CLDSEED/FACTS96.PDF> (28/05/2005)
6. <http://www.weathermod.com> (30/06/2005)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

