



مركز البيان للدراسات والتخطيط
Al-Bayan Center for Planning and Studies

استمطار السُحب - مراجعة -

د. غسان سالم



سلسلة إصدارات مركز البيان للدراسات والتخطيط

عن المركز

مركزُ البيان للدراسات والتخطيط مركزٌ مستقلٌّ، غيرُ ربحيٍّ، مقرُّه الرئيس في بغداد، مهمته الرئيسة -فضلاً عن قضايا أخرى- تقديم وجهة نظر ذات مصداقية حول قضايا السياسات العامة والخارجية التي تخصّ العراق بنحو خاصٍ، ومنطقة الشرق الأوسط بنحو عام. ويسعى المركز إلى إجراء تحليلٍ مستقلٍّ، وإيجاد حلولٍ عمليّةٍ جليّةٍ لقضايا معقدةٍ تهّمُ الحقلين السياسي والأكاديمي.

ملحوظة:

لا تعبّر الآراء الواردة في المقال بالضرورة عن اتجاهات يتبناها المركز، وإنما تعبّر عن رأي كاتبها.

حقوق النشر محفوظة © 2022

www.bayancenter.org

info@bayancenter.org

Since 2014

استمطار السحب - مراجعة -

د. غسان سالم *

الخلاصة:

الماء ضرورة على كوكب الأرض، والاستهلاك العالمي للمياه يزيدُ زيادةً كبيرة. إذ يجب أن تكون هناك طرائق للحفاظ على طلب المياه مع توفير الموارد أيضاً.

تقدِّم هذه الدراسة تقنيةً واعدةً تخلق هطول الأمطار من السحب. تُعرف هذه التقنية باسم استمطار السحب. استمطار السحب هو نوع من تعديل الطقس الذي يتضمَّن تغيير كمية هطول الأمطار الذي يسقط من السحب أو نوعها. يتحقَّق ذلك عن طريق تشتيت المواد في الهواء التي تعمل بمنزلة تكثف للسحب، أو كمكوِّن للنوى الجليدية، والتي بدورها تُغيِّر العمليات الفيزيائية الدقيقة التي تحدث داخل السحابة. يمكن أن تُستَمَطَّر السحب بطرائق عديدة ومختلفة. الثلج الجاف، ويوديد الفضة، ويوديد البوتاسيوم هي المواد الكيميائية الثلاثة الأكثر استخداماً في عملية استمطار السحب. تُستَمَطَّر السحب؛ لتعزيز هطول الأمطار في منطقة ما، وتشتيت الضباب والغيوم بحيث يمكن أن يبقى المكان جافاً عن طريق التعجيل، وتقليل الغطاء السحابي، وتنقية الهواء من التلوث، والمساعدة في إطفاء حرائق الغابات عن طريق التسبُّب في هطول الأمطار.

المقدمة:

الماء ضروريُّ لبقاء جميع صور الحياة على الأرض، هو أهم مورد متجدِّد يحدث بصورة طبيعية. تُعدُّ الأنهار والخزانات والمياه الجوفية - في عديد من مناطق العالم - المصادر التقليدية الأساسية للمياه. تنهض البحيرات والأنهار أيضاً بدور مهم. إنَّ هذه الموارد في خطر؛ بسبب الطلب المتزايدة باستمرار، والتي تنتج عن تغيير أنماط استخدام الأراضي والتوسُّع السكاني. يسبِّب الضغط على إمدادات المياه؛ لفترات طويلة من الجفاف وزيادة الاستهلاك نقصاً في مياه الشرب؛ ممَّا يرفع سعرها. شهد توافر المياه تدهوراً مطرداً في جزءٍ كبيرٍ من العالم في السنوات الأخيرة. تشارك عديد من الدول التي تقع في الأجزاء شبه القاحلة من العالم في مشاريع هندسة المناخ؛ على أمل توسيع وصولها إلى موارد المياه العذبة.¹

1. R. Ariketi, «Cloud Seeding,» Research Gate, 2019.

من الطبيعي أن نعتقد أنَّ الماء سيكون بإمدادات وفيرة، وموجود دائماً؛ لأنَّ الماء يشكِّل (70%) من كوكبنا. ومن ناحية أخرى، فإنَّ المياه العذبة التي نشربها، ونستحمُّ بها، ونستخدمها لري حقولنا الزراعية نادرة للغاية؛ إذ (3%) فقط من المياه على الأرض هي مياه عذبة، ومن هذه (3%) فإنَّ ثلثيها محبوس في الأتهار الجليدية، أو يتعدَّر على البشر الوصول إليها. لهذا السبب، هناك ما يقرب من (1.1) مليار شخص حول العالم لا يحصلون على المياه، وما مجموعه (2.7) مليار شخص يعانون من ندرة المياه لشهر واحد على الأقل من السنة. يؤثِّرُ الصرف الصحي غير الكافي على (2.4) مليار شخص وهو مشكلة أخرى؛ لذا، فإنَّ هؤلاء الأفراد معرَّضون لخطر الإصابة بالأمراض التي تنقلها المياه، مثل: (الكوليرا، وحمى التيفويد) من بين أمراض أخرى. تؤدِّي أمراض الإسهال وحدها - في كلِّ عام - بحياة مليوني شخص، معظمهم من الأطفال.²

تكوين السحابة

تتكوَّن السُّحب نتيجةً لبخار الماء الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة على الأرض. يرتفع البخار عن طريق التغيرات في درجات الحرارة على أعلى نقط مختلفة، وحينما يتحرَّك إلى الأعلى، فإنَّه يبرد. توجد الجسيمات من أنواع مختلفة وتُحمَلُ عن طريق الهواء؛ إذ تصطدم بالبخار. يتكتَّفُ البخار حول جزيئات الهواء في عملية كيميائية تعرف باسم تكثيف النوى. تنتج هذه العملية جزيئات أكبر من قطرات الماء؛ لأنَّ قطرات الماء خفيفة الوزن، فهي تستمرُّ في الطيران، وتشكِّلُ الغيوم التي نعرفها. تتطلب هذه العملية ظروفاً جوية معينة، من أهمِّها الرطوبة النسبية. يتطلَّب تكوين السُّحب رطوبة نسبية عالية تتراوح من (60% - 100%). لفهم سبب أهمية ذلك، ضع في حسابناك الضغط الجزئي على أنَّه عدد جزيئات الماء في الوسط، والضغط الكلي والجزئي هو سعة ذلك الوسط؛ لذا إذا كان الوسط يحتوي على عدد كبير من الجزيئات، تكون الكثافة النسبية عالية؛ والعكس صحيح. يبسر وسهولة، إذا كان عدد القطرات مرتفعاً، فمن المرجَّح أن تتكوَّن الغيوم.^{3 4}

2. Christner, B. C., Morris, C. E., Foreman, C. M., Cai, R. and Sands, D. C., Ubiquity of biological ice nucleators in snowfall. Science. 319(5867): 1214 (2008).
3. J. Fan, L. R. Leung, D. Rosenfeld, Q. Chen, Z. Li, J. Zhang, and H. Yan, «Microphysical effects determine microphysical response for aerosol,» PNAS, vol. 110, no. 48, pp. E4581-E4590, 2013.
4. J. Fan, L. R. Leung, D. Rosenfeld, Q. Chen, Z. Li, J. Zhang, and H. Yan, «Microphysical effects determine microphysical response for aerosol,» PNAS, vol. 110, no. 48, pp. E4581-E4590, 2013.

منهجية استمطار السحابة:

تحدث العاصفة الممطرة حينما تتجمّع الرطوبة حول الجسيمات الموجودة بصورة طبيعية المحمولة في الهواء، مثل: الغبار والرمل، ممّا يؤدي إلى وصول الهواء إلى نقطة التشبّع؛ إذ لم يعد بإمكانه الاحتفاظ بالرطوبة وتساقط القطرات على صورة مطر. يؤدي استمطار السحب إلى تسريع العملية بصورة أساسية عن طريق إضافة مزيد من «النوى» التي يمكن أن تتكتّف حولها قطرات الماء. يمكن استخدام الأملاح، أو الثلج الجاف، أو يوديد الفضة كنواة. يوديد الفضة، ويوديد البوتاسيوم، والجليد الجاف (ثاني أكسيد الكربون في حالة صلبة) هي المركبات الأكثر استخداماً في عملية استمطار السحب.

يمكن أن تُنتج بلورات ثلجية عند درجات حرارة أعلى من يوديد الفضة. أصبح استخدام المواد الاسترطابية، مثل ملح الطعام، أكثر انتشاراً نتيجة للأبحاث الإيجابية. حينما تتراوح درجات الحرارة داخل السحب بين (19 و 4) درجات فهرنهايت، و(7 و 20 درجة مئوية)، يحدث مزيداً من تساقط الثلوج أثناء استمطار السحب. سيتسبب إدخال مادة كيميائية ذات بنية بلورية مماثلة لتلك الموجودة في الجليد، مثل يوديد الفضة في تجميد النوى، يُنظر الشكل 1.



شكل 1 / مخطط استمطار السحب

تُستَمَطَّرُ السُّحُبُ عن طريق ثلاث طرائق متميزة - تُستخدم كل تقنية اعتماداً على الظروف الجوية للغيوم، ونوع السُّحُب المستهدفة-، والطرائق الثلاث هي: (استمطار سحابة استرطابية، واستمطار سحابة ساكنة، والاستمطار الديناميكي للسُّحُب).

استمطار سحابة استرطابية

يُشير مصطلح استرطابي إلى قدرة المادة على امتصاص رطوبة الماء من الهواء، وفي هذه الحالة أن امتلاك هذه الخاصية أمر بالغ الأهمية لاستمطار السُّحُب لأغراض التكتيف. يستخدم استمطار سحابة استرطابية في السُّحُب الدافئة، السائدة في الإمارات العربية المتحدة، ولأنَّ السُّحُب عبارة عن ركام الحمل الحراري، فإنَّ الإمارات العربية المتحدة تستخدم هذه الطريقة. تستخدم هذه المنهجية معادن الملح مثل الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم. يُعتقد أنَّ معادن الملح هذه هي الأجنَّة التي تتكوَّن منها قطرات المطر. إذ إنَّها تزيد من حجم القطرات، ممَّا يسرِّع من التكتيف الكيميائي، ويزيد من احتمالية هطول الأمطار.⁵

استمطار سحابة ساكنة

إنَّ نشر يوديد الفضة، المعروف أيضاً بالجليد الجاف في السُّحُب هو طريقة استمطار السُّحُب الساكنة. على عكس استمطار السُّحُب الاسترطابية، يُطبَّق استمطار السُّحُب الساكنة على السُّحُب ذات الأساس البارد بدرجات حرارة تتراوح من (-10 -25). ومن ثمَّ، يجب استخدام المواد الجليدية في هذه المنهجية؛ لأنَّها تزيد من تركيز بلورات الجليد في السُّحُب، إمَّا عن طريق تكوين بلورات جديدة أو عن طريق تجميد قطرات باردة. ولا يتضمَّن الاسم (استمطار السُّحُب الساكنة) حركة الهواء؛ لأنَّ جميع الظروف مستقرة أثناء العملية. هناك قيود على الظروف الجوية التي يجب أن تكون موجودة حتى يُجرى استمطار السُّحُب الساكنة. ولا يمكن تطبيق هذه المنهجية في كل مكان، والحصول على نتائج ناجحة في منطقة ما لا يضمن أن يحدث الشيء نفسه في منطقة أخرى ما لم تشبه ظروف الغلاف الجوي.⁶

5. Cooper, W. A., and Lawson. R. P., Physical interpretation of results from the HIPLEX-1 experiment. Journal of Climate and Applied Meteorology 23(4): 523-540 (1984).

6. Cooper, W. A., and Lawson. R. P., Physical interpretation of results from the HIPLEX-1 experiment. Journal of Climate and Applied Meteorology 23(4): 523-540 (1984).

الاستمطار الديناميكي للسحب

لعلَّ الفرقَ الرئيس بين استمطار السحب الساكنة والديناميكي الذي يؤثر على العملية تأثيراً كبيراً هو حركة الهواء. إنَّ الهدف من استمطار السحب الديناميكي هو زيادة التيارات الهوائية العمودية، ممَّا يسمح بمرور كمية كبيرة من قطرات الماء عبر السحب، ممَّا يزيد من فرص هطول الأمطار. تُستَـمَطَّرُ السُّحبُ الديناميكي، مثل استمطار السحب الساكنة، على السُّحب الباردة، والمواد المستخدمة الجليدية أيضاً. ومع ذلك، يتطلَّب الاستمطار الديناميكي للسُّحب مواد أكثر بكثير من استمطار السُّحب الساكنة؛ لزيادة احتمالية هطول الأمطار. الاستمطار الديناميكي للسحب عبارة عن منهجية معقَّدة تتضمَّن قائمة طويلة من الخُطوات، يجب تنفيذ كلِّ منها بصورة صحيحة، أو يجب تكرار العملية بأكملها.⁷

مزايا استمطار السُّحب:

1. يُنتجُ المطر في المناطق التي تشتد فيها الحاجة إلى الأمطار، قد يكون استمطار السُّحب هو الطريقة الوحيدة لإنتاج المطر. في المناطق التي يكون فيها هطول الأمطار قليلاً، يستخدم يوديد الفضة للحث على إنتاج المطر. المطر ضروري للحفاظ على المنطقة رطبة وخصبة لنمو المحاصيل والنباتات الأخرى.
2. زيادة النشاط الاقتصادي: حيثما تسقط الأمطار توجد منتجات زراعية. يمكن للمزارع التي تنتج أكثر أن تفيد الاقتصاد المحلي وتطعم الناس (وحتى الحيوانات). يمكن أن يؤدي استمطار السُّحب إلى تحسين الظروف المعيشية في المناطق القاحلة بصورة كبيرة.
3. ينظم الطقس: يسمح لنا استمطار السُّحب، من بعض النواحي، بالتحكم في الطقس في منطقة معينة. إنَّها تفعل أكثر من مجرد إنتاج المطر؛ كما أنَّه ينظِّم بخار الماء، ويمنع الأضرار التي يسببها البرد المدبِّر والعواصف.
4. يجعل الأماكن الجافة قابلة للعيش: يتمتَّع السكان المحليون بقدرة رائعة على التكيف مع بيئتهم الطبيعية. ومع ذلك، فإنَّ الأماكن غير المضيافة التي نادراً ما تزورها الأمطار يمكن أن

7. Cooper, W. A., Brintjes, R. T. and Mather, G. K., Calculations pertaining to hygroscopic seeding with flares. Journal of Applied Meteorology 36(11): 1449-1469 (1997).

تكون معادية للسياح والأجانب. إذ يمكن جعل هذه الأماكن صالحة للسكن عن طريق استمطار السحب.⁸

عيوب استمطار السحب

1. تتطلب مواد كيميائية قد تكون ضارة: المواد الكيميائية المستخدمة في استمطار السحب لديها القدرة على الإضرار بالبيئة، لا سيما النباتات التي تهدف استمطار السحب إلى حمايتها. لم يكن هناك بحث مهم في الآثار البيئية لليود الفضي. هنالك نوع من تسمم يسببه اليود، إذ يعاني المريض من سيلان الأنف، والصداع، والطفح الجلدي، وفقر الدم، والإسهال من بين أعراض أخرى. اكتُشِفَ لاحقاً أنه شديد السميّة للأسماك، والماشية، والبشر.

2. ليست خالية من العيوب: يستلزم استمطار السحب وجود غيوم ممطرة. لن يعمل على أي تشكيل سحابة أخرى، وقد تنتقل السحب المستمطرة إلى موقع آخر، وتتسبب في هطول الأمطار في الموقع المقصود. ونتيجة لذلك، يمكن مناقشة ما إذا كان استمطار السحب فعالاً حقاً في إنتاج المطر أم لا.

3. غلاء الثمن: إنتاج مطر صناعي مكلف للغاية. إذ يجب نقل المواد الكيميائية إلى الهواء عبر الطائرات، والتي يصعب الوصول إليها في المناطق ذات الدخل المنخفض. قد تكون هناك حاجة لاستمطار السحب في المناطق المنكوبة بالفقر التي تعاني من الجفاف، أو المجاعة.

4. تسبب مشكلات الطقس: إذا لم تُنظَّم أو يُتَحَكَّم بها بصورة صحيحة، فيمكن أن يؤدي استمطار السحب إلى ظروف مناخية غير مرغوب فيها - إن لم تكن مدبرة تماماً-، مثل: الفيضانات، والعواصف، ومخاطر البرد، وما إلى ذلك. لا تحتوي الأماكن التي لا تسقط عليها أمطار غزيرة أو التي لا تسقط على الإطلاق عادةً على البنية التحتية للتعامل مع كثير من الأمطار. هذه المناطق قد تغمرها المياه بسرعة؛ نتيجة استمطار السحب، ممّا يسبب ضرراً أكثر من منفعة.⁹

8. S. Malik, H. Bano, and R. A. R. S. Ahmad, «Cloud Seeding; Its Prospects and Concerns in the Modern World,» nt. J. Pure App, vol. 6 (5), no. 2320 – 7051, pp. 791-796, 2018.

9. N. Regoli, «12 Important Pros and Cons of Cloud Seeding,» Connect Us, 23 August 2015. <https://connectusfund.org/12-important-pros-and-cons-of-cloud-seeding>.

العيوب	المزايا
هناك احتمالية لحدوث اكتئاب خفيف إلى متوسط؛ لأنَّ الطقس الغائم والقائم قد يثبِّط الأفكار والمشاعر.	يساهم مساهمةً كبيرةً في ديمومة الغطاء النباتي، لا سيَّما للإنتاج الزراعي، إذ يعتمد معظم المزارعين في مناطق العالم الثالث على الزراعة البعلية.
إذا كانت الأمطار حمضية بصورة مفرطة، ويمكن أن تلحق أضراراً جسيمة بالنباتات والأشجار والصخور.	يوفِّر الوصول إلى مياه الشرب النظيفة.
تؤدِّي الأمطار الغزيرة التي طال أمدها إلى فيضانات خطيرة، ممَّا يعرِّض كثيرين لخطر شديد.	يُعاد تدوير المياه من جميع أنحاء العالم، وإعادة توزيعها على الأرض.
يتسبَّب المطر أيضاً في التعرية، ممَّا يؤدِّي إلى تجريد الطبقة الغنية من التربة.	المطر له وظيفة مهمة في إزالة الغبار والمخلفات من الهواء وإزالة السموم منه.

شكل 2 : مزايا وعيوب الاستمطار

الاستنتاج:

مع تأثير الاستمطار على التربة الزراعية، فهو فعَّال من حيث التكلفة. قبل استخدام استمطار السُّحب، يجب على الحكومات والناس تبني إستراتيجيات مختلفة وتنفيذها؛ لإدارة مصادر المياه، مثل تجميع مياه الأمطار، وإعادة التغذية الاصطناعية لطبقات المياه الجوفية، والاستخدام المتزامن للمياه السطحية والجوفية، هناك سبب آخر هو أنَّه اكتُشِفَ أنَّ استمطار السُّحب غير فعَّال الآن؛ لأنَّه يؤثِّر تأثيراً أساسياً على السُّحب التي تظهر بالفعل علامات المطر. لذا، من غير المعروف ما إذا كان هو سبب المطر. عموماً، تُعدُّ محاولة علاج الجفاف معركة مستمرة، واستمطار السُّحب هو أحدث التقنيات المستخدمة لهذا الغرض. قد يكون تحديد ما إذا كانت التقنية جيدة أم سيئة أصعب ممَّا تعتقد. ترتبط فرص تحقيق معدلات عالية من التقدُّم في الزراعة والنمو الصناعي ارتباطاً مباشراً بتوافر موارد المياه في الدولة، لذا يصبح استمطار السُّحب ضرورة لمعالجة هذا الوضع الحرج.

قائمة المراجع:

- [1] R. Ariketi, "Cloud Seeding," Research Gate, 2019.
- [2] Christner, B. C., Morris, C. E., Foreman, C. M., Cai, R. and Sands, D. C., Ubiquity of biological ice nucleators in snowfall. *Science*. 319(5867): 1214 (2008).
- [3] Klein, D. A., Environmental impacts of artificial ice nucleating agents, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, pp 256 (1978).
- [4] J. Fan, L. R. Leung, D. Rosenfeld, Q. Chen, Z. Li, J. Zhang, and H. Yan, "Microphysical effects determine microphysical response for aerosol," *PNAS*, vol. 110, no. 48, pp. E4581-E4590, 2013.
- [5] S. Malik, H. Bano, R. A. Rather and S. Ahmad, "Cloud Seeding; Its Prospects and Concerns in the Modern World," *Int. J. Pure App*, vol. 6 (5), no. 2320 – 7051, pp. 791-796, 2018.
- [6] Cooper, W. A., and Lawson. R. P., Physical interpretation of results from the HIPLEX-1 experiment. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23(4): 523-540 (1984).
- [7] Cooper, W. A., Brientjes, R. T. and Mather, G. K., Calculations pertaining to hygroscopic seeding with flares. *Journal of Applied Meteorology* 36(11): 1449-1469 (1997).

[8] S. Malik, H. Bano, and R. A. R. S. Ahmad, "Cloud Seeding; Its Prospects and Concerns in the Modern World," *nt. J. Pure App*, vol. 6 (5), no. 2320 – 7051, pp. 791-796, 2018.

[9] N. Regoli, "12 Important Pros and Cons of Cloud Seeding," *Connect Us*, 23 August 2015. <https://connectusfund.org/12-important-pros-and-cons-of-cloudseeding>.