ISSN 0252-1075
Contribution from IITM
Miscellaneous Publications No. 11
ESSO/IITM/PDTC/MP/01(2024)/202

মেঘের বীজ বপন পদ্ধতির সাধারণ প্রশ্ন ও উত্তরের সাধারণ নথি

(ছবি: বার্ন-ইন-প্লেস ফ্লেয়ার দ্বারা মেঘের তলদেশে হাইগ্রোস্কোপিক বীজ বপন)

তারা প্রভাকরণ, গায়ত্রী কুলকর্ণী, নীলম মালপ, সুদর্শন বেরা, অভিষেক গুপ্তা, মহেন কুঁয়র, শিবসাই দীক্ষিত, শিবানী ভট্ট, মর্সী ভর্গীস, বী. জয়ারায়, পী. মুরুগবেল

ইন্ডিয়ান ইনস্টিটিউট্ অফ্ ট্রপিক্যাল্ মেটিওরোলজি
পৃথিবী বিজ্ঞান মন্ত্রণালয়
পুনে, ভারত
http://www.tropmate.res.in/

ISSN 0252-1075
Contribution from IITM
Miscellaneous Publications No. 11
ESSO/IITM/PDTC/MP/01(2024)/202

মেঘের বীজ বপন পদ্ধতির সাধারণ প্রশ্ন ও উত্তরের সাধারণ নথি

তারা প্রভাকরণ, গায়ত্রী কুলকর্ণী, নীলম মালপ, সুদর্শন বেরা, অভিষেক গুপ্তা, মহেন কুঁয়র, শিবসাই দীক্ষিত, শিবানী ভট্ট, মর্সী ভর্গীস, বী. জয়ারায়, পী. মুরুগবেল

ইন্ডিয়ান ইনস্টিটিউট্ অফ্ ট্রপিক্যাল্ মেটিওরোলজি, পৃথিবী বিজ্ঞান মন্ত্রণালয়, পুনে- 411021

Indian Institute of Tropical Meteorology, Ministry of Earth Sciences, Pune-411021

*সংশ্লিষ্ট ঠিকানা:

ডঃ তারা প্রভাকরণ

Indian Institute of Tropical Meteorology,
Dr. Homi Bhabha Road, Pashan,
Pune – 411008, India.
E-mail: thara@tropmet.res.in
Phone: +91-(0)20-25904371

ইন্ডিয়ান ইনস্টিটিউট্ অফ্ ট্রপিক্যাল্ মেটিওরোলজি

পৃথিবী বিজ্ঞান মন্ত্রণালয়

পুনে, ভারত

http://www.tropmate.res.in/

নথিপত্র নিয়ন্ত্রণ পাতা

পৃথিবী বিজ্ঞান মন্ত্রণালয়

ইন্ডিয়ান ইনস্টিটিউট্ অফ্ ট্রপিক্যাল্ মেটিওরোলজি

ESSO নথি সংখ্যা

ESSO/IITM/PDTC/MP/01(2024)/202

প্রতিবেদনের শিরোনাম

মেঘের বীজ বপন পদ্ধতির সাধারণ প্রশ্ন ও উত্তরের সাধারণ নথি

লেখক

তারা প্রভাকরণ, গায়ত্রী কুলকর্ণী, নীলম মালপ, সুদর্শন বেরা, অভিষেক গুপ্তা, মহেন কুঁয়র, শিবসাই দীক্ষিত, শিবানী ভট্ট, মর্সী ভর্গীস, বী. জয়ারায়, পী. মুরুগবেল

বাংলা অনুবাদ

ডঃ সুদর্শন বেরা

অনুবাদ পর্যালোচক

ডঃ সুপ্রিয় চক্রবর্তী এবং ডঃ পার্থসারথি মুখোপাধ্যায়

নথির ধরণ

বিবিধ প্রকাশনা

পৃষ্ঠা এবং ছবির সংখ্যা

31,03

তথ্যসূত্রের সংখ্যা

21

মূল শব্দ

মেঘে বীজ বপন, কাইপেক্স, প্রায়শই জিজ্ঞাসিত প্রশ্ন এবং উত্তর

নিরাপত্তা শ্রেণীবিভাগ

মুক্ত

বিতরণ

অনিয়ন্ত্রিত

প্রকাশের তারিখ

February 2024

নির্বস্তুক

এটি মেঘের বীজ বপন পদ্ধতির সাধারণ প্রশ্ন এবং উত্তরগুলির একটি সাধারণ নথি

সারসংক্ষেপ

মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং) অনেক বছর ধরে গবেষকদের পাশাপাশি সাধারণ মানুষের আগ্রহের বিষয়। এটি একটি কার্যকর কৌশল যা কৃষি এবং অর্থনীতিকে চাঙ্গা করার জন্য জলের ঘাটতি অঞ্চলে বৃষ্টিপাত বাড়ানোর জন্য ব্যবহৃত হয়? এই নথিপত্রটি ভারতে ক্লাউড সিডিংয়ের ইতিহাস সম্পর্কে বিবরণ দেয়, সাধারণ মানুষের ক্লাউড সিডিং সম্পর্কে তথ্য কভার করে এবং সাধারণ মানুষ, প্রশাসক এবং নীতিনির্ধারকদের মনে অধিকাংশ প্রশ্নের উত্তর দেয়।

বিষয়বস্তু

সূচনা 1

1. মেঘের বীজ বপন কি? 2
2. মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং) কত প্রকারের? 3
3. মেঘের বীজ বপন কিভাবে করা হয়? মেঘের মধ্যে বীজ কণা ছড়িয়ে দেওয়ার কার্যকর উপায় কী 3
4. মেঘের বীজ বপনের (ক্লাউড সিডিং) জন্য কী ধরনের বীজ কণা প্রয়োজন? 4
5. মেঘের বীজ বপনের (ক্লাউড সিডিং) পদার্থবিদ্যা কি? 5
6. কিভাবে একটি ক্রমবর্ধমান মেঘ সনাক্ত করা যায় ? 5
7. কিভাবে মেঘের বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে জানবে? 6
8. মেঘের বীজ বপন কি কাজ করে? এবং কোন ধরনের মেঘের জন্য? কোন প্রমাণ আছে? 7
9. মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং) -এর জন্য আর্দ্রতার প্রাপ্যতা কি গুরুত্বপূর্ণ? 7
10. কোন পরিস্থিতিতে মেঘের বীজ বপন কাজ করবে? 8
11. কিভাবে আমরা ক্লাউড সিডিং এর কার্যকারিতা পরিমাপ করতে পারি? 8
12. ভারতে ক্লাউড সিডিং-এর ইতিহাস কী? 8
13. গবেষণা কার্যক্রম কাইপেক্স (CAIPEEX) কী? 10
14. কাইপেক্স (CAIPEEX) গবেষণার বিভিন্ন পর্যায়ে কী করা হয়েছে? 11
15. কীভাবে আমরা বুঝতে পারি যে, বৃষ্টি বীজ বপনের কারণে হয়েছে নাকি প্রাকৃতিকভাবে হয়েছে? 12
16. ক্লাউড সিডিং-এ আমরা এলোমেলো (রেন্ডমাইজেশন) প্রক্রিয়া কেন পছন্দ করি? 13
17. কোন ধরনের বীজ বপন অনুকূল (হাইগ্রোস্কোপিক/গ্লাসিওজেনিক)? 13
18. প্রতি মেঘে বীজ বপনের সময় কত পরিমাণ বীজ উপাদান ব্যবহার করতে হবে? আমরা কি এই পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করতে পারি? 13
19. মেঘের মধ্যে অতিরিক্ত বীজ ব্যবহারের প্রভাবগুলো কী কী? 14
20. কী ভাবে বীজ উপকরণের উন্নতি করা যায়? বর্তমানে আমরা যে বীজ উপাদান ব্যবহার করছি, সেই বিষয়ে আমরা কতটা নিশ্চিত? 14
21. বীজ বপনের সময় মেঘ শনাক্ত করার জন্য সেরা রাডার (RADAR) কোনটি? 14
22. গ্লেসিওজেনিক সিডিং কি সত্যিই কার্যকর, যদি তাই হয়, তাহলে আমরা কেন সবসময় এটি ব্যবহার করি না? 15
23. বীজ বপনের পর মেঘ থেকে বৃষ্টি হয়, কিন্তু বৃষ্টি সর্বদা ভূপৃষ্ঠে পৌঁছয় না! এই ধরণের ঘটনা কেন হয়? 15
24. মেঘে বীজ বপনের ব্যবহারিক অসুবিধা কী কী? 15
25. ভারতে বীজ বপনের (সিডিং) সময় বিমান চালানোর ক্ষেত্রে অনেক বিধিনিষেধ কীভাবে সামাল দেওয়া যায়? 16
26. ভারত বা অন্য কোনও জায়গায় বীজ বপনের ক্ষেত্রে আরও সাফল্য পেতে হলে ভবিষ্যতে কী ধরনের পরিকাঠামোর প্রয়োজন? 16
27. ক্লাউড সিডিং কি সবসময় বৃষ্টি বৃদ্ধির জন্য করা হয়? বৃষ্টি দমনের জন্য কি কোনো বীজ বপন আছে? 16

28. ঘন কুয়াশা দূর করার জন্য মেঘে বীজ বপন পদ্ধতি ব্যবহার করা যায় কি? 16
29. মেঘে বীজ বপনের আঞ্চলিক পরিধি কী? 17
30. মেঘের বীজ বপন কি একটি বড় এলাকায় মোট বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি করতে পারে? না এটি একটি বড় এলাকায় বৃষ্টিপাতকে পুনর্বণ্টন করে? 17
31. কোন ধরনের ভূমির উপর মেঘের বীজ বপন করা যেতে পারে অথবা কোন এলাকা নির্বাচন করার কোন মানদণ্ড আছে কি? 17
32. মেঘে বীজ বপনের পর বীজ উপাদানের জীবনকাল কত? 17
33. ক্লাউড সিডিং কি কোনও প্রাকৃতিক বিপদ ডেকে আনতে পারে? 17
34. বিমান ব্যবহার না করে বীজ বপনের বিকল্প, সাশ্রয়ী পদ্ধতি কী? 18
35. একটি সাধারণ ধারণা রয়েছে যে, বীজ বপনের ফলে মেঘের অনুপস্থিতিতেও বৃষ্টিপাত হতে পারে। এটা কি সত্যি? 18
36. বীজ বপনের ফলে উন্নত সেচ ব্যবস্থা গড়ে উঠতে পারে এবং এর ফলে ভূমি ব্যবহারের ধরন পরিবর্তিত হতে পারে। এর ফল কী হতে পারে? 18
37. প্রাক-বর্ষা মৌসুমে মেঘের বীজ বপন কি পরিবাহী মেঘে শিলাবৃষ্টি দমন করতে পারে? 18
38. ভারতের কোন কোন জায়গায় মেঘের বীজ বপন পরীক্ষা চালানো যেতে পারে? 18
39. মেঘের বীজ বপন উপাদান কি আমাদের পরিবেশের জন্য নিরাপদ? 18
40. মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং)-এর কার্যকারিতার কি কোনো প্রমাণ আছে? 19
41. প্রয়োগগত (অপারেশনাল) মেঘের বীজ বপন 20
42. কেন পরিবাহী (কিউমুলাস) মেঘগুলো বীজ বপনের জন্য দুরূহ মনে করা হয় ? 21
43. ক্লাউড সিডিং-এর আন্তর্জাতিক অবস্থান কী? 21
44. ক্লাউড সিডিং-এর ক্ষেত্রে সবচেয়ে বড় চ্যালেঞ্জ কী? 21
45. সুপারিশ কী কী? 22
46. বীজ বপনে কৌশল কি? 22
47. গ্লেসিওজেনিক সিডিং নিয়ে গবেষণা কীভাবে করা হয়? 22
48. ক্লাউড সিডিং-এর কার্যকারিতা প্রমাণ করার ক্ষেত্রে প্রধান চ্যালেঞ্জ কী? 22
49. প্রযুক্তিতে সম্প্রতি কী কী পরিবর্তন হয়েছে? 23
50. পরিবেশগত মূল্যায়নের জন্য কী পরামর্শ দেওয়া যেতে পারে? 23
51. সাম্প্রতিক বছরগুলোতে কী কী অগ্রগতি হয়েছে? 23
52. পৃথিবী জুড়ে আবহাওয়া পরিবর্তনের ঘটনাবলির কালানুক্রম 23
53. ক্লাউড সিডিং-এর জন্য প্রয়োজনীয় মৌলিক উপাদানগুলো কী কী? 25

শব্দকোষ (Glossary)..... 26

আরও পড়ুন (Further Reading) 29

মেঘের বীজ বপন পদ্ধতির সাধারণ প্রশ্ন ও উত্তরের সাধারণ নথি

আই.আই.টি.এম. রিপোর্ট 2023

সূচনা

এই নথিতে মেঘের বীজ বপন পদ্ধতি সম্পর্কে সাধারণত জিজ্ঞাসিত প্রশ্ন এবং উত্তর রয়েছে।

এই নথিটি কাইপেক্স গবেষক দল দ্বারা প্রস্তুত করা হয়েছে যা বায়বীয় কণা ও মেঘের মিথস্ক্রিয়া এবং বৃষ্টিপাতের উপর গবেষণা সম্পর্কিত। আমরা আশা করি এই নথিটি আগ্রহী ব্যক্তিদের জন্য সহায়ক হবে

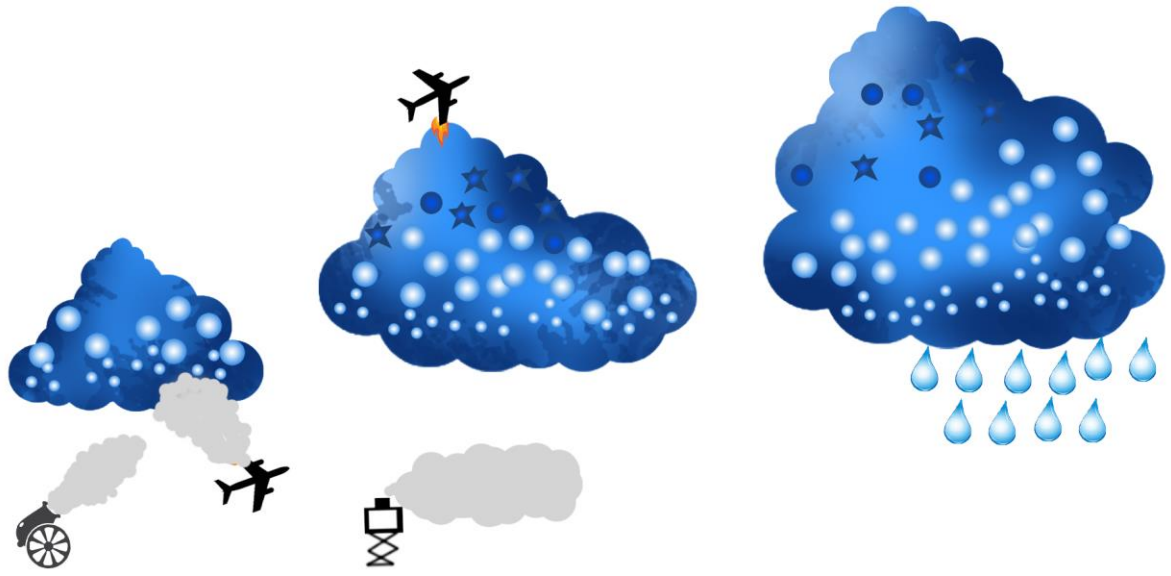
অবদানকারী লেখক নিম্নলিখিত:

তারা প্রভাকরণ, গায়ত্রী কুলকর্ণী, নীলম মালপ, সুদর্শন বেরা, অভিষেক গুপ্তা, মহেন কুঁয়র, শিবসাই দীক্ষিত, শিবানী ভট্ট, মর্সী ভর্গীস, বী. জয়ারায়, পী. মুরুগবেল

মেঘের বীজ বপন কি?

মেঘের বীজ বপন একটি 75 বছর বয়সী কৌশল (প্রথম অগ্রগামী প্রচেষ্টাগুলি শেফার, 1946 এবং ভননেগুট, 1947 দ্বারা নথিভুক্ত করা হয়েছিল) যা বৃষ্টিপাত বাড়ানোর জন্য 'বীজ' কণা দিয়ে উপযুক্ত মেঘগুলিকে সংশোধন করতে ব্যবহৃত হয়েছিল। এই বীজ কণাগুলি হল 'ক্লাউড কনডেনসেশন নিউক্লিয়াস (CCN), একটি কণা যার উপর জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়' বা 'আইস নিউক্লিয়াস কণা, একটি কণা যার উপর জল জমে বরফ সৃষ্টি হয়', যা বায়ুমণ্ডলে স্থগিত কণার একটি উপ-শ্রেণী, নাম বায়বীয় (অ্যারোসল) কণা। এই CCN গুলির জলীয় বাষ্পের প্রতি আকর্ষণ প্রবণতা মেঘের ফোঁটা তৈরিতে সাহায্য করে। বরফের নিউক্লিয়াস কণা বরফ কণা গঠন করতে পারে।

সাধারণত একটি বিমান মেঘের তলদেশে বা মেঘের শীর্ষস্থানের কাছে এই কণাগুলি ছড়িয়ে দিতে ব্যবহৃত হয়। মেঘের তলদেশে বীজ বপন পদ্ধতি হল যেখানে কিউমুলাস মেঘের (একটি ফুলকপির মতো দেখতে) গোড়ার নিচে বীজ কণা ছড়িয়ে দেওয়া হয়, যার তলদেশ সাধারণত উষ্ণ (মেঘের তলদেশের তাপমাত্রা শূন্য ডিগ্রির চেয়ে বেশি)। মেঘের শীর্ষস্থানে (উপরে) বীজ বপন করা হয় ঠান্ডা মেঘে (যেখানে তাপমাত্রা শূন্য ডিগ্রির নিচে)। উষ্ণ মেঘের তলদেশে বীজ বপনকে বলা হয় হাইগ্রোস্কোপিক (জলাকর্ষী) বীজ বপন (সিডিং) এবং ঠান্ডা মেঘের উপরে বীজ বপন গ্ল্যাসিওজেনিক সিডিং (হিমবাহী বীজ বপন) নামে পরিচিত |



হাইগ্রোস্কোপিক সিডিং (জলাকর্ষী বীজ বপন) এবং গ্ল্যাসিওজেনিক সিডিং (হিমবাহী বীজ বপন) এর ব্যঙ্গাত্মক চিত্র

মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং) কত প্রকারের?

1. হাইগ্রোস্কোপিক বীজ বপন:

উষ্ণ মেঘে, সোডিয়াম ক্লোরাইড (NaCl), পটাসিয়াম ক্লোরাইড (KCl), বা ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ($CaCl_2$) বীজ হিসাবে ব্যবহৃত হয়, এবং এই পদ্ধতিটিকে জলাকর্ষী বীজ বপন (বা হাইগ্রোস্কোপিক ক্লাউড সিডিং) বলা হয়। জলাকর্ষী বীজ বপন (বা হাইগ্রোস্কোপিক সিডিং) এ, বৃষ্টি গঠনের দক্ষতা উন্নত করার জন্য জলের ফোঁটাগুলির সমন্বিতকরণ উন্নীত করা হয় (প্রাকৃতিক CCN এর চেয়ে বড় ব্যাসের বীজ যার শুষ্ক ব্যাস 0.5 μm থেকে 3 μm বপনের মাধ্যমে নিউক্লিয়েশন প্রক্রিয়ার সময় জলের ফোঁটার স্পেকট্রাম বিস্তৃত হয়)।

2. হিমবাহী বীজ বপন:

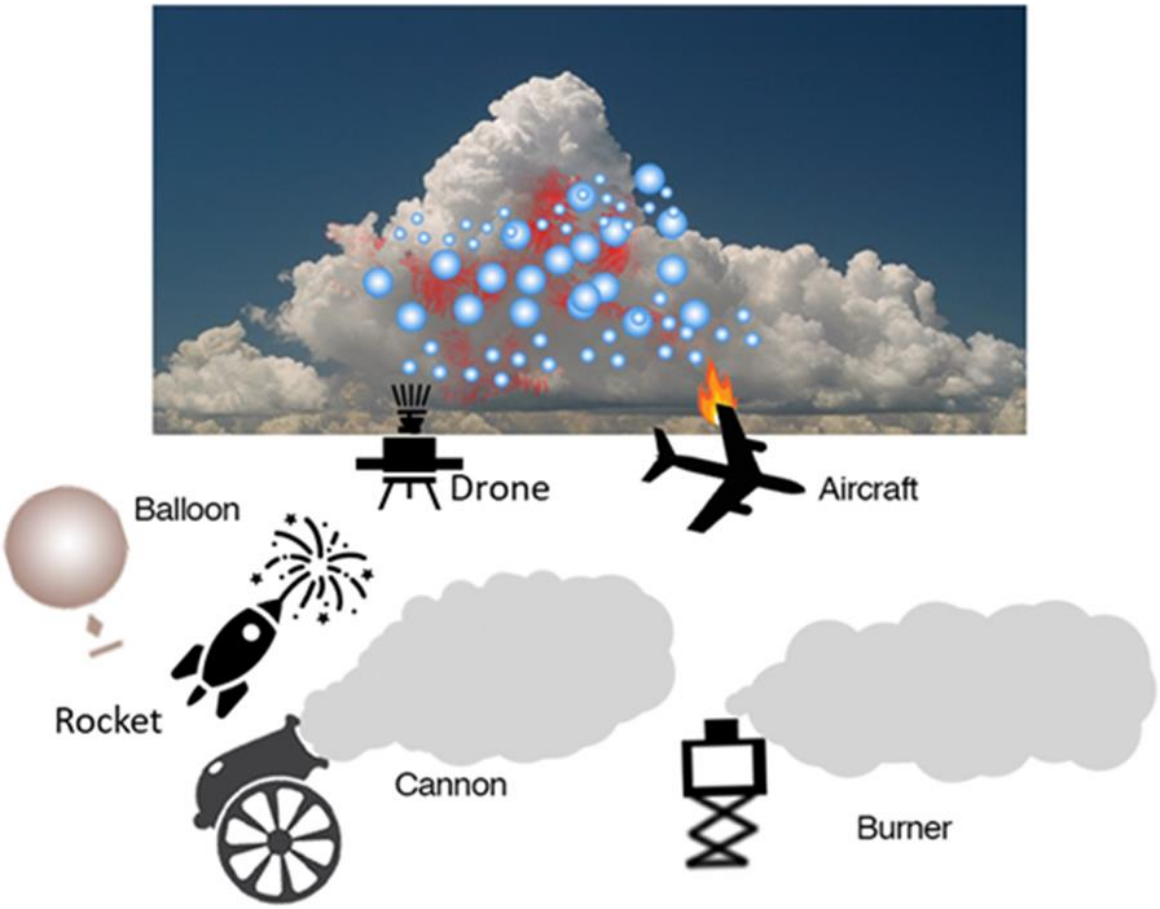
হিমাঙ্কের (0°C) নীচে তাপমাত্রা সহ একটি মেঘে, সাধারণত, সিলভার আয়োডাইড (AgI) বীজ হিসাবে ব্যবহৃত হয় এবং এই বীজ বপন পদ্ধতিকে হিমবাহী বীজ বপন (বা গ্ল্যাসিওজেনিক সিডিং) বলা হয়। ধারণাটি হল সুপার কুলড মেঘে বরফ উৎপাদন শুরু করা এবং বৃষ্টিপাত পরিমাণ বাড়ানো। বীজের কণা (AgI pellets) এমন উপাদান হিসেবে কাজ করবে যেখানে হিমাঙ্কেরও (0°C) নিম্ন তাপমাত্রায় (যাকে বলে অতি শীতল জল) জল জমে বরফের স্ফটিক তৈরি করে। এই বরফ স্ফটিকগুলি আরও জল জমা করার পাশাপাশি উপর থেকে পড়া অন্যান্য বরফের স্ফটিকগুলির সাথে সংঘর্ষ তথা সমন্বয়ের মাধ্যমে বৃদ্ধি পায়। এগুলি আরও উষ্ণ তাপমাত্রার মধ্য দিয়ে নিচে পড়ে এবং গ'লে গিয়ে বৃষ্টির ফোঁটা তৈরি করে।

সাধারণত, ক্লাউড সিডিং একটি বিমানের ডানার সাথে সংযুক্ত ফ্লেয়ার (যা একটি পাইরোটেকনিক উপাদান ও জ্বলন সহকারী পদার্থ একসাথে একটি টিউব এনকেসের ভিতরে সংকুচিত অবস্থায় থাকে) দিয়ে করা হয়। এই ফ্লেয়ারগুলি জ্বালিয়ে মেঘের তলদেশে বা মেঘের মধ্যে বীজ উপাদান ছড়িয়ে দেওয়া হয়।

মেঘের বীজ বপন কিভাবে করা হয়? মেঘের মধ্যে বীজ কণা ছড়িয়ে দেওয়ার কার্যকর উপায় কী?

মেঘের বীজ বপন মেঘের তলদেশের কাছাকাছি বা মেঘের মধ্যে ফ্লেয়ার জ্বালিয়ে করা হয়। মেঘের বীজ বপনের জন্য বিভিন্ন দেশে ফ্লেয়ার এবং স্থল-ভিত্তিক চুল্লি বা স্থল-ভিত্তিক কামান ব্যবহার করা হয়। স্থল-ভিত্তিক পদ্ধতিগুলি মেঘের মধ্যে বীজ উপাদান স্থাপনের ক্ষেত্রে কম দক্ষ বলে জানা গেছে। সবচেয়ে কার্যকরী উপায় হল একটি উড়োজাহাজ ব্যবহার করা যার

ডানায় (যাকে বলা হয় বার্ন-ইন প্লেস: বি.আই.পি.) এবং কাঠামোর নিচে (ইজেক্টেবল: ই. জে.) ফ্লেয়ার রয়েছে। স্থল থেকে কামান ফায়ারিং এর প্রধান সমস্যা হল প্রায়শই লক্ষ্যবস্তু মেঘ ছাড়িয়ে যাওয়া, বিশেষ করে যখন মেঘ ছোট হয় এবং ঊর্ধ্বাভিমুখী ক্ষেত্র একটি সংকীর্ণ অঞ্চলে থাকে। যদি মেঘের তলদেশ মাটির কাছাকাছি থাকে তবে স্থল-ভিত্তিক শিখাগুলি (ফ্লেয়ার জ্বালিয়ে) প্রযোজ্য হতে পারে। স্থল-ভিত্তিক বার্নার থেকে নির্গত বীজ কণাগুলি সীমানা স্তরে ছড়িয়ে পড়ে এবং পরিবেশগত সমস্যাও তৈরি করতে পারে। বায়ুবাহিত বীজ বপনের ক্ষেত্রে, ফ্লেয়ারগুলি বিমানের ডানার সাথে সংযুক্ত তাক এ লাগানো হয় এবং এটি মেঘের তলদেশে বীজ কণা বিতরণের সবচেয়ে কার্যকর উপায়।



বিভিন্ন বীজ বিচ্ছুরণ পদ্ধতি (রকেট, কামান, ড্রোন বা এয়ারক্রাফ্ট মাউন্ট করা শিখা, স্থল-ভিত্তিক শিখা বা বার্নার এবং বেলুন)|

মেঘের বীজ বপনের (ক্লাউড সিডিং) জন্য কী ধরনের বীজ কণা প্রয়োজন?

জলাকর্ষী (হাইগ্রোস্কোপিক) ফ্লেয়ারগুলিতে সোডিয়াম ক্লোরাইড বা ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড থাকে, যা 0.1 - 1 মাইক্রোমিটার ব্যাসের আকারের মধ্যে ছোট লবণের কণা তৈরি করে। ফ্লেয়ারগুলি কার্ডবোর্ডের নলাকার পাত্রে থাকে (12 সেমি লম্বা 7 সেমি ব্যাস) এবং ডানার সাথে সংযুক্ত থাকার সময় ট্রিগার করা হয় (জ্বালানো হয়)। গ্ল্যাসিওজেনিক ফ্লেয়ারগুলি যা বরফ-নিউক্লিয়েটিং সিলভার আয়োডাইড (AgI) ধারণকারী পাতলা নলাকার বস্তুর মধ্যে থাকে, এবং মেঘের মধ্যে বরফের কণা তৈরি করতে পারে। ফ্লেয়ারের রৈখিক জ্বলন হার ~ 0.66 মি.মি. প্রতি সেকেন্ডে।

মেঘের বীজ বপনের (ক্লাউড সিডিং) পদার্থবিদ্যা কি?

অ্যারোসল কণা হল বায়ুমণ্ডলে স্থগিত কণা। জলীয় বাষ্পের প্রতি আকর্ষণ প্রবণতা যুক্ত কিছু অ্যারোসল কণাকে ক্লাউড কনডেনসেশন নিউক্লিয়াস (CCN) বলা হয়। মেঘের ফোঁটা বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত CCN দ্বারা গঠিত হয়। ক্লাউড সিডিং একটি বিদ্যমান মেঘে করা হয় যেখানে যথেষ্ট বড় কণা রয়েছে যা বড় মেঘের ফোঁটা তৈরি করতে পারে। উষ্ণ মেঘে বৃষ্টি তৈরি হয় যখন এই বৃহত্তর মেঘের ফোঁটাগুলির মধ্যে সংঘর্ষ হয় এবং অন্যান্য ফোঁটার সাথে একত্রিত হয়। ফোঁটার আকার বাড়ার সাথে সাথে তারা মেঘের মধ্যে নিচের দিকে পড়তে শুরু করে। পতনশীল ফোঁটাগুলি নীচে যাওয়ার পথে অন্যান্য ফোঁটার সাথে সংঘর্ষ করে এবং একত্রিত হয়ে একটি বড় ফোঁটা তৈরি করে। এইভাবে গঠিত বৃষ্টির ফোঁটাগুলি মেঘের তলদেশ থেকে পড়ে যায়।

ক্লাউড সিডিংয়ের সময়, মেঘের তলদেশে বিচ্ছুরিত জলাকর্ষী (হাইগ্রোস্কোপিক) নিউক্লিয়াসগুলি প্রাকৃতিকভাবে বিকাশমান মেঘের ফোঁটার চেয়ে বড় ফোঁটা তৈরি করবে বলে আশা করা হয়। হাইড্রোস্কোপিক ফ্লেয়ারগুলি প্রাকৃতিকভাবে উপলব্ধ CCN এর চেয়ে বড় আকারের CCN প্রদান করে। জলীয় বাষ্প এই কণাগুলির উপর সহজেই ঘনীভূত হয়। এই ফোঁটাগুলি অন্যান্য ফোঁটাগুলির সাথে সংঘর্ষ এবং একত্রিত হয়ে আকারে বৃদ্ধি পায় এবং বৃষ্টির নির্মাণকে ত্বরান্বিত করে ।

ক্লাউড সিডিং ঠান্ডা মেঘেও করা হয় গ্ল্যাসিওজেনিক বীজকণা দিয়ে, যা বরফের কণা তৈরি করতে পারে। এইভাবে গঠিত বরফের কণাগুলি জলের ফোঁটা ও বরফকণা পুঞ্জীভূত করে বা অন্যান্য বরফের কণার সাথে সংঘর্ষের মাধ্যমে বৃদ্ধি পায় । তারা ভারী হওয়ায় ভূপৃষ্ঠের দিকে পড়ে যায় এবং গলে যাওয়া অঞ্চলের (melting region) মধ্য দিয়ে পড়ে। শূন্য ডিগ্রির চেয়ে বেশি উষ্ণ তাপমাত্রায়, এই বরফ কণাগুলি গলে বৃষ্টির ফোঁটা তৈরি করে। বর্ষার মেঘে, উষ্ণ এবং ঠান্ডা বৃষ্টির প্রক্রিয়ার সংমিশ্রণ গুরুত্বপূর্ণ।

কিভাবে একটি ক্রমবর্ধমান মেঘ সনাক্ত করা যায় ?

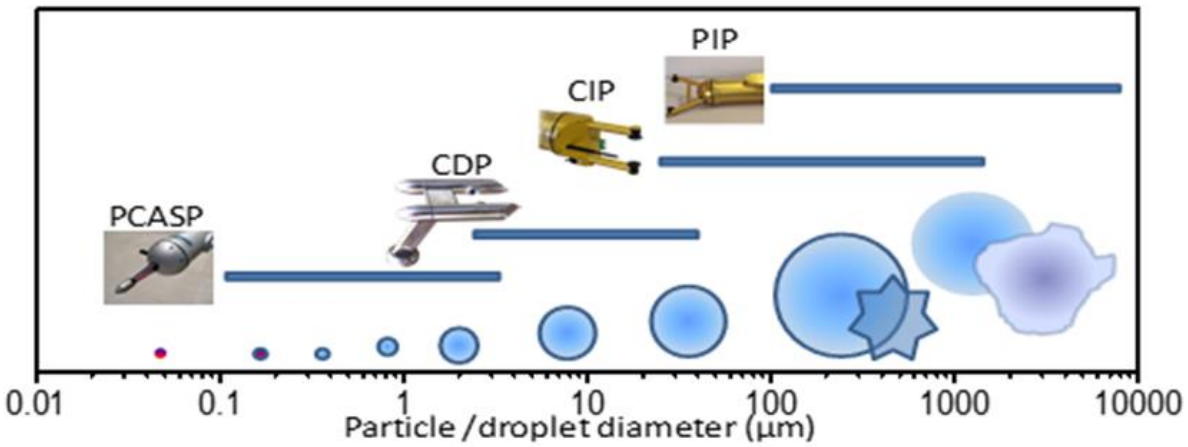
যে মেঘগুলি বৃষ্টিপাত করছে না এবং একটি স্তর তথা উন্নত মেঘের তলদেশে রয়েছে, সেই মেঘগুলির গোড়ায় এবং মেঘের মধ্যে ঊর্ধ্বমুখী গতি আছে তাদেরকে ক্রমবর্ধমান মেঘ হিসেবে ধরা হয়| সাধারণত এই ধরণের মেঘে জলের পরিমাণও বেশি হয় । মেঘের এই বৈশিষ্ট্যগুলি বীজ বপন যোগ্য মেঘ নির্বাচন করার জন্য বিবেচনা করা হয়।

কিভাবে মেঘের বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে জানবে?

মেঘ ও বৃষ্টির বৈশিষ্ট্যগুলি নির্ধারণ করা হয় বিভিন্ন পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে যেমন বিমান এবং স্যাটেলাইটে স্থাপিত যন্ত্রের দ্বারা, রাডার দ্বারা এবং ভূপৃষ্ঠ পর্যবেক্ষণ (স্বয়ংক্রিয় বৃষ্টির পরিমাপক, ডিসড্রোমিটার ইত্যাদি)। এই পর্যবেক্ষণগুলির প্রতিটির সুবিধা এবং অসুবিধা রয়েছে। বিমান দ্বারা মেঘের পরিমাপ মেঘের ক্ষুদ্রাকার গঠন (মাইক্রোস্ট্রাকচার) দেয়, যেমন মেঘের ফোঁটা (কয়েক দশ মাইক্রোমিটার), গুঁড়ি গুঁড়ি বৃষ্টি (কয়েক শত মাইক্রোমিটার), বরফের কণা (কয়েক দশ থেকে শত মাইক্রোমিটার), এবং বৃষ্টির ফোঁটা (কয়েক মিলিমিটার)। এগুলি স্ক্যাটারিং বা ইমেজিং নীতির সাহায্যে পরিমাপ করা হয়। মেঘের ফোঁটা থেকে বৃষ্টির ফোঁটা পরিসীমা পরিমাপের জন্য 3-4 টি যন্ত্রের প্রয়োজন (প্রয়োজনীয় বিবরণের উপর নির্ভর করে)।

বিমানে ব্যবহৃত বিভিন্ন যন্ত্র (স্পেক্ট্রোমিটার) ছোট অ্যারোসল কণিকা থেকে বৃষ্টি ও অতিক্ষুদ্র বৃষ্টি এবং বিভিন্ন আকারের বরফ কণিকা পর্যবেক্ষণ করতে ব্যবহৃত হয়। যন্ত্রের চিত্র নিচের ছবিতে দেওয়া আছে।

স্যাটেলাইট পরিমাপ একটি বড় এলাকায় মেঘের বৈশিষ্ট্য বোঝার জন্য বাল্ক প্যারামিটার দেয়। যেমন মেঘের মাইক্রো গঠন (যেমন কার্যকর ব্যাসার্ধ যা মেঘের ফোঁটার আকারের জ্যামিতিক পরিমাপ), যা বিভিন্ন বৃষ্টিপাত গঠন প্রক্রিয়া সম্পর্কে তথ্য অনুমান করার জন্য দরকার। রাডার (যেমন সি-ব্যান্ড পোলারিমেট্রিক ডপলার ওয়েদার রাডার) মেঘের প্রতিফলন (যা মধ্যে ফোঁটা/বরফের কণার আকারের পরিমাপ দেয়), ঘনীভূত জলের পরিমাণ বা বরফ জলের পরিমাণ বা মেঘে বৃষ্টির জলের পরিমাণ, ইত্যাদি তথ্য দিতে পারে। এই প্যারামিটার গুলি মেঘকে বোঝার জন্য, তাদের বৃষ্টি তৈরি করার ক্ষমতা এবং তারা কতটা বিকিরণ প্রতিফলিত করে তা বোঝার জন্য বা তাদের বজ্রপাত এবং বিপজ্জনক আবহাওয়া তৈরি করার ক্ষমতা রয়েছে কিনা তা বোঝার জন্য বেশ কার্যকর।



মেঘের বীজ বপন কি কাজ করে? এবং কোন ধরনের মেঘের জন্য? কোন প্রমাণ আছে?

সাধারণত পাহাড়ী মেঘ (একটি প্রাকৃতিক উত্তোলন প্রক্রিয়া সহ পাহাড়ী এলাকায়) এবং পরিবাহী মেঘ (উর্ধ্বগামী গতি থাকে) বীজ বপনের জন্য নির্বাচন করা হয়।

পাহাড়ী মেঘে হিমবাহী বীজ বপন (গ্লেসিওজেনিক সিডিং) সম্বন্ধযুক্ত অনেক বৈজ্ঞানিক সাহিত্য রয়েছে (বিশ্ব আবহাওয়া সংস্থা 2018 সালে একটি পর্যালোচনা প্রকাশ করেছে)। এই গবেষণাগুলি মূলত মধ্য-পশ্চিম মার্কিন রাষ্ট্র থেকে আসে এবং ব্যাখ্যা করে যে গ্লেসিওজেনিক সিডিং মেঘের মধ্যে বৃষ্টিপাতের সঙ্গে জড়িত শৃঙ্খল প্রক্রিয়াগুলির একটি দিকে পরিচালিত করতে পারে। মৌখিকভাবে জোরপূর্বক উত্তোলনের অধীনে মেঘগুলি বীজ বপনের জন্য পর্বতশ্রেণীগুলির বায়ুমুখী দিকে বিবেচনা করা হয়। মধ্য-পশ্চিম মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে সক্রিয় মিশ্র-দশা এবং বরফ প্রক্রিয়াগুলির সাথে যুক্ত মেঘগুলি মেঘের বীজ বপনের জন্য লক্ষ্যবস্তু ছিল। পাহাড়ী মেঘ হওয়ার কারণে উৎপন্ন অতিরিক্ত উত্তোলন, অতিরিক্ত ঠান্ডা (সুপারকুল্ড) তরল জল সৃষ্টি করার জন্য একটি বাড়তি সুবিধা, যা এই মেঘগুলিতে বরফ কণা বৃদ্ধিকে সমর্থন করে। মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে SNOWIE (Seeded and Natural Orographic Wintertime clouds: the Idaho Experiment) ক্লাউড সিডিং গবেষণা এবং ক্রিয়াপ্রণালী অধ্যয়নে হিমবাহী বীজের মাধ্যমে তুষার বৃদ্ধি ফলাফল ভালভাবে প্রতিষ্ঠিত।

উপযুক্ত মেঘের মধ্যে ক্লাউড সিডিংও করা হয় যখন ক্রমবর্ধমান মেঘ (কিউমুলাস বা গভীর কিউমুলাস বা উচ্চ স্তরের সন্নিবদ্ধ কিউমুলাস মেঘে) তাদের ক্রমবর্ধমান পর্যায়ে থাকে। মেঘের উপস্থিতিএকটি মৌলিক প্রয়োজন। পরিবাহী (convective) মেঘে গ্ল্যাসিওজেনিক বীজ বপনের জন্য CAIPEEX বিভিন্ন অনুসন্ধানমূলক পরীক্ষা সম্পন্ন করেছে|

মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং) -এর জন্য আর্দ্রতার প্রাপ্যতা কি গুরুত্বপূর্ণ?

ক্লাউড সিডিং-এর জন্য আর্দ্রতার সহজলভ্যতা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। অ্যাডভেকশন, বাষ্পীভবন ইত্যাদির মাধ্যমে আর্দ্রতা (জলীয় বাষ্প) তৈরী হয়। শুষ্ক পরিবেশে, মেঘের পার্সেলগুলিকে অবশ্যই ঘনীভূত হওয়ার জন্য অধিক উচ্চতায় পৌঁছাতে হবে। বাতাসের একটি অংশ (মেঘ) উপরে উঠার সাথে সাথে প্রসারিত হয় এবং শীতল হয়। শীতলীকরণটি চলতে থাকবে যতক্ষণ না এমন একটি তাপমাত্রায় পৌঁছে যায় যেখানে বাতাস সম্পৃক্ত হয়। সম্পৃক্ত বলতে বোঝায় যে বায়ুমণ্ডলে উপলব্ধ জলীয় বাষ্প একটি পৃষ্ঠের উপর ঘনীভূত হতে পারে (একটি উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, বরফ বা শীতল জল ভর্তি একটি গ্লাসের বাইরের পৃষ্ঠে ঘনীভূত জলের ফোঁটা। এটি কাচের চারপাশের বায়ুতে উপলব্ধ জলীয় বাষ্প, যা কাচের পৃষ্ঠে ঘনীভূত হয়েছে কারণ কাচের পৃষ্ঠের কাছাকাছি বায়ু ঠান্ডা এবং সম্পৃক্ত (100 শতাংশ আর্দ্রতা সহ)।

যদি বাতাসের আদ্রতা বেশী থাকে, মেঘ কম উচ্চতায় (বর্ষাকালের মেঘ) এবং শুষ্ক থাকলে মেঘ বেশি উচ্চতায় তৈরী হয় । এই মৌলিক পার্থক্যটি ক্লাউড সিডিংয়ের জন্য গুরুত্বপূর্ণ। যদি মেঘের তলদেশটি বেশি উচ্চতায় অবস্থিত হয়, শূন্য ডিগ্রি তাপমাত্রার খুব কাছাকাছি /নিচে,

তবে জলাকর্ষী বীজ বপন (হাইগ্রোস্কোপিক সিডিং) প্রযোজ্য নাও হতে পারে। হিমবাহজাত বীজ বপন শীতল মেঘে বেশি উপযোগী।

কোন পরিস্থিতিতে মেঘের বীজ বপন কাজ করবে?

মেঘের মধ্যে সর্বোচ্চ মাত্রার অস্থিরতা (কনভেকশন) এবং বায়ুমণ্ডলে মাঝারি মাত্রার আর্দ্রতা মেঘের বীজ বপনের ক্ষেত্রে আদর্শ মনে করা হয় । এই অবস্থাগুলি মেঘের উল্লম্ব বৃদ্ধি প্রদান করে। কিন্তু, যদি বাতাস খুব জোরে বইতে থাকে, তা হলে মেঘ হয়তো লম্বা হবে না এবং বাতাসের দ্বারা তা বাহিত হবে।

কিভাবে আমরা ক্লাউড সিডিং এর কার্যকারিতা পরিমাপ করতে পারি?

সাধারণ উপলব্ধি হল যে মেঘকে কার্যকরভাবে পরিবর্তন করা যায় না যতক্ষণ না তাদের প্রাকৃতিক ভাবে বৃষ্টিপাত প্রক্রিয়াগুলি ভালভাবে বোঝা যায় এবং যতক্ষণ না আমরা একটি পছন্দের বীজ কণার সাথে মেঘে বীজকরণ প্রভাব পরিমাপ করতে পারি (এর অর্থ হ'ল প্রাকৃতিক বৃষ্টিপাত প্রক্রিয়াগুলি না বোঝা পর্যন্ত মেঘের বীজকরণের কার্যকারিতা প্রতিষ্ঠিত হতে পারে না, এবং বৃষ্টি বৃদ্ধির যে কোনও মূল্যায়নের জন্য একটি পূর্বশর্ত)। এটি দাবি করে যে আবহাওয়ার পরিবর্তনের একটি দৃঢ় বৈজ্ঞানিক ভিত্তি থাকতে হবে।

বিশ্বজুড়ে বেশ কয়েকটি চলমান গবেষণা কার্যক্রম রয়েছে, পাশাপাশি প্রয়োগ সংক্রান্ত ক্লাউড সিডিং কার্যক্রম রয়েছে, যা ক্লাউড সিডিং কার্যকারিতা পরিমাপ করার চেষ্টা করছে। রাডার এবং ভূমি-ভিত্তিক বৃষ্টিমাপক যন্ত্র বা তুষারমাপক যন্ত্রের সাথে মেঘের সম্পূর্ণ নথিকরণ ক্লাউড সিডিংয়ের পরিমাণ নির্ধারণের জন্য প্রয়োজন। বেশ কয়েকটি বীজকরণ ও বীজকরণহীন মেঘের উপর ক্রমাগত পর্যবেক্ষণ এবং তাদের বৈশিষ্ট্য, যেমন বৃষ্টিপাত, মেঘের গভীরতা, বৃষ্টিপাতের এলাকা, মেঘের মধ্যে তরল জলের পরিমাণ ইত্যাদি, কার্যকারিতা নথিভুক্ত করার জন্য গুরুত্বপূর্ণ। কাইপেক্স (CAIPEEX) গবেষণায় এলোমেলো ভাবে (রেন্ডমাইজড) যুগ্ম-অন্ধ (ডাবল-ব্লাইন্ড) পরীক্ষা করা হয়।

ভারতে ক্লাউড সিডিং-এর ইতিহাস কী?

ইন্ডিয়ান ইনস্টিটিউট অফ ট্রপিক্যাল মেটিওরোলজি 70-এর দশকে একটি ক্লাউড সিডিং পরীক্ষা পরিচালনা করেছিল, ঐ সময় বৃষ্টিপাত বৃদ্ধির দিকে বীজের কার্যকারিতা সম্পর্কে কোনও নির্দিষ্ট সিদ্ধান্ত নেওয়া যায়নি। পরিসংখ্যানগত দিক থেকে তেমন উল্লেখযোগ্য না হলেও, প্রাথমিক পরীক্ষায় বীজ বপনের ফলে বৃষ্টিপাতের হার 17% বৃদ্ধি পায় (কাপুর এট আল. 1974); যেখানে অন্যান্য পরীক্ষা সিদ্ধান্তহীন ছিল (কৃষ্ণা এট আল. 1974), যার ফলে মেঘে বীজ বপনের ফলাফলে উল্লেখযোগ্য অনিশ্চয়তা তৈরি হয়।

মূর্তি এবং সহকর্মী (2000) জুন-সেপ্টেম্বর 1973-74, 1976, 1979-86 এর মধ্যে ভারতের পশ্চিম উপকূল থেকে 100 কিলোমিটার অভ্যন্তরীণ এলাকায় ক্লাউড সিডিং পরীক্ষা পরিচালনা করেছিলেন (একটি 11 বছর সময়ের ক্লাউড সিডিং-এর উপর)। পরীক্ষাটি area randomization দ্বারা দুটি 1600 বর্গ.কিমি. টার্গেট এলাকার মধ্যে করা হয় (উত্তর এবং দক্ষিণ) যা একটি বাফার এলাকা দ্বারা বিভক্ত, এবং প্রতিটি এলাকার আয়তন 1600 বর্গ.কিমি.। স্ট্র্যাটোকুমুলাস এবং

কিউমুলাস মেঘে লবণের বীজ বপন করা হয়েছিল এবং 200-300 মিটার মেঘের তলদেশের উপরে পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল। 3 কিলোমিটার ফ্লাইট গমন পথে (ট্র্যাকে) 30 কেজি লবণের বীজ বপন করা হয়েছিল। বীজ বপনের ফলাফল মেঘের ঘনত্ব এবং মেঘে তরল জলের পরিমাণের উপর নির্ভর। কিছু পরিস্থিতিতে 4% স্তরে 24% বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি পাওয়া গেছে। এটি জানা গেছে যে হাইগ্রোস্কোপিক বীজ কণা মেঘে জলের ফোঁটার সংঘর্ষ- সমন্বয়কে ত্বরান্বিত করে।

2003 সাল থেকে, বিভিন্ন রাজ্য সরকার (গুজরাট, মহারাষ্ট্র, কর্ণাটক এবং অন্ধ্রপ্রদেশ, তামিলনাড়ু) দ্বারা পরিচালিত ক্লাউড সিডিং প্রোগ্রামগুলি পরিচালিত হয়েছে। অতীতের সমস্ত পরীক্ষাগুলি এলাকা ভিত্তিক বীজীকরণ দ্বারা সম্পাদিত হয়েছে । বিচ্ছিন্ন মেঘ বীজীকরণ পদ্ধতি দ্বারা এই ধরণের পরীক্ষা করা যায় না এবং এই ধরণের পরীক্ষায় উপলব্ধ সিদ্ধান্ত নেওয়া বেশ কষ্টসাধ্য।

ভারতে মেঘ পদার্থবিদ্যা এবং আবহাওয়া পরিবর্তন সম্পর্কিত গবেষণামুলক পরীক্ষাগুলি (ডি. আর. সিক্কা এবং আই.আই.টি.এম প্রকাশনার আইআইটিএম-এর 50 বছর)

1955: নয়াদিল্লির কাউন্সিল অফ সায়েন্টিফিক অ্যান্ড ইন্ডাস্ট্রিয়াল রিসার্চ (সি.এস.আই.আর)-দ্বারা রেইন অ্যান্ড ক্লাউড ফিজিক্স রিসার্চ (আর.সি.পি.আর) প্রতিষ্ঠা করা হয়
1967: আর.সি.পি.আর 1967 সালে পুনের আই.আই.টি.এম-এ স্থানান্তরিত হয় এবং আই.আই.টি.এম-এ নিম্নলিখিত উন্নয়নগুলি ঘটে

- ক্রান্তীয় বর্ষায় মেঘের মাইক্রোফিজিক্স এবং বৃষ্টিপাত প্রক্রিয়া নিয়ে ল্যাবরেটরি স্টাডি এবং ফিল্ড স্টাডি
- বৃষ্টি বৃদ্ধির জন্য উষ্ণ মেঘ পরিবর্তনের গবেষণা
- বরফের নিউক্লিয়েশনের জন্য ল্যাবরেটরি পরীক্ষা, অতিরিক্ত শীতল (সুপারকুলিং) অবস্থার অধীনে জলের বিন্দুর হিমায়ন এবং সুপারকুলড মেঘে বরফের গুণন।
- বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের প্রভাবে জলের ফোঁটার সংঘর্ষ-সমন্বয়ের জন্য বীজ উপাদান এবং তাদের দক্ষতা সনাক্তকরণ
- ল্যাবরেটরি পরীক্ষার মাধ্যমে বৃষ্টিপাতের গঠনে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের ভূমিকা বোঝার চেষ্টা করা হয়েছিল।

  1968 - 1975 শীতের মরশুমে শীতল মেঘে বীজ বপনের জন্য সিলভার আয়োডাইড ব্যবহার করে পরীক্ষা এবং দিল্লির চারপাশে 50 কিলোমিটারের মধ্যে মেঘের প্রতিধ্বনি-আবরণ এবং প্রতিধ্বনি উচ্চতার রাডার পর্যবেক্ষণ করা হয়। প্রতিধ্বনি উচ্চতার উপর ভিত্তি করে বিশ্লেষণটি সামগ্রিক ফলাফল হিসাবে বৃষ্টিপাতের 11% বৃদ্ধির ইঙ্গিত দেয় যা পরিসংখ্যানগতভাবে গুরুত্বপূর্ণ ছিল।

1973 ও 1977 সালে ভূমি-ভিত্তিক জেনারেটর ব্যবহারের উপর ভিত্তি করে, দক্ষিণ-পশ্চিম ও উত্তর-পূর্ব মৌসুমী বায়ুর সময় থিরুনাল্লার (চেন্নাইয়ের কাছাকাছি) ক্ষেত্র পরীক্ষা করা হয়; বৃষ্টি বৃদ্ধির জন্য ফলাফল উল্লেখযোগ্য ছিল না।

1973-1985 সনে পুনেতে বিমান-সংক্রান্ত পরীক্ষা করা হয়েছিল সম্ভাব্য বৃষ্টি বৃদ্ধির জন্য উষ্ণ মেঘে বীজীকরণের বীজযোগ্যতা মানদণ্ড মূল্যায়নের জন্য । সোডিয়াম ক্লোরাইড পাউডার বীজ হিসেবে ব্যবহার করে এলোমেলো প্রক্রিয়ায় বীজ বপন করা হয় । বৃষ্টি বৃদ্ধির জন্য উষ্ণ মেঘের বীজ বপনের দক্ষতা সম্পর্কে পরীক্ষাগুলি অমীমাংসিত ছিল। তবে, বীজগ্রহণযোগ্যতার মানদণ্ড চিহ্নিত করা হয়েছিল। আকাশে মেঘের বীজীকরণ সিস্টেমের জন্য বৃষ্টিপাত বৃদ্ধির সম্ভাবনা বেশি পাওয়া গেছে।

নিম্নোক্ত রাজ্য সরকারগুলি ক্লাউড সিডিং-এর কাজ শুরু করেছে

- 2012 - কর্ণাটক রাজ্যের তিনটি নদী অববাহিকা প্রকল্প
- 2003-2016 অন্ধ্রপ্রদেশ ক্লাউড সিডিং
- 2017, 2019 কর্ণাটক রাজ্যে বর্ষাধারে প্রকল্প
- 2019 মহারাষ্ট্র বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি প্রকল্প

গবেষণা কার্যক্রম কাইপেক্স (CAIPEEX) কী?

ক্লাউড সিডিং এর প্রয়োগগত জাতীয় চাহিদা বিবেচনা করে, জলসম্পদের ওপর চাপ কমানোর লক্ষ্যে, আই.আই.টি.এম (পৃথিবী বিজ্ঞান মন্ত্রণালয় অধীনে) মেঘের পদার্থবিজ্ঞান এবং মেঘের মাইক্রোফিজিক্সের উপর মেঘ এবং অ্যারোসলের ভূমিকা এবং মেঘ-বিকিরণ প্রতিক্রিয়া সম্পর্কে গবেষণার অগ্রগতির জন্য ক্লাউড-অ্যারোসল ইন্টারঅ্যাকশনস অ্যান্ড প্রিসিপিটেশন এনহ্যান্সমেন্ট এক্সপেরিমেন্ট (কাইপেক্স ; CAIPEEX) নামে একটি জাতীয় ক্ষেত্র পরীক্ষা শুরু করেছে।

মেঘ-অ্যারোসোল মিথস্ক্রিয়া এবং বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি পরীক্ষা (কাইপেক্স) তৈরি করা হয়েছিল এই জ্ঞানের উপর ভিত্তি করে যে মৌসুমী বৃষ্টিপাত স্থান-কাল-ভেদে বহু বিভিন্নতা আছে| দ্বিতীয়ত বৃষ্টি বহনকারী মেঘের উপস্থিতি সত্ত্বেও বর্ষা ঋতুতে ভারতের বিভিন্ন অঞ্চল অনাবৃষ্টিতে আক্রান্ত হয়| কাইপেক্স প্রোগ্রামটি মেঘ এবং এরোসল মাইক্রোফিজিক্স পর্যবেক্ষণের জন্য বায়ুবাহিত পর্যবেক্ষণ ক্ষমতার সাম্প্রতিক প্রযুক্তিগত অগ্রগতি থেকে উপকৃত হয়েছিল। মেঘের ফোঁটা এবং বৃষ্টির ফোঁটা গঠনের ভিত্তি এবং কীভাবে অ্যারোসল দূষণ এই প্রক্রিয়াগুলিকে প্রভাবিত করে, তা CAIPEEX এ সমাধান করা হয়েছে। কাইপেক্স প্রোগ্রামের দুটি প্রধান উদ্দেশ্য ছিল ক) অ্যারোসোল-মেঘ-বর্ষণ মিথস্ক্রিয়ার পদার্থবিজ্ঞান এবং গতিবিদ্যা এবং খ) অ্যারোসোল-মেঘ মিথস্ক্রিয়ার বৃষ্টি গঠন, এবং সাম্প্রতিক ক্লাউড সিডিং প্রযুক্তি ব্যবহার করে বৃষ্টি বৃদ্ধি জন্য একটি বৈজ্ঞানিক ভিত্তি তৈরি করা (Kulkarni et all, 2012)।

কাইপেক্স (CAIPEEX) গবেষণার বিভিন্ন পর্যায়ে কী করা হয়েছে?

কাইপেক্স 2009 সালে শুরু হয়েছে এবং পর্যবেক্ষণের চারটি পর্যায় শেষ করেছে।

প্রথম পর্যায়:

মেঘের মাইক্রোফিজিক্যাল পরামিতি, যেমন বায়বীয় কণার আকার বন্টন, ক্লাউড কনডেনসেশন নিউক্লিয়াস (CCN) এর ঘনত্ব এবং পরিবেশগত পরামিতি পর্যবেক্ষণ করার জন্য ২০০৯ সালে পুনে, হায়দরাবাদ, পাঠানকোট, বেঙ্গালুরু এবং গুয়াহাটি তে এক বিশেষ পরীক্ষা করা হয়েছিল। বিশেষ পদ্ধতি তে মেঘের মাইক্রোফিজিক্যাল পরামিতি, বায়বীয় কণার আকার বন্টন, ক্লাউড কনডেনসেশন নিউক্লিয়াস (CCN) এর ঘনত্ব এবং পরিবেশগত পরামিতি পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল। যেমন তাপমাত্রা, আর্দ্রতা এবং বাতাসের গতি ও অভিমুখ ইত্যাদির পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল একটি একজোড়া (টুইন) ইঞ্জিন সহ পাইপার চাইন চাপযুক্ত বিমানের সাহায্যে। এই পরীক্ষাটি ছিল ভারতের বিভিন্ন অংশে বায়বীয় কণার আকার বন্টন, ক্লাউড কনডেনসেশন নিউক্লিয়াস (CCN) এবং মেঘে জলের বিন্দুর বৈশিষ্ট্যগুলি নিরীক্ষণ করা এবং ক্লাউড সিডিং পরিচালনা করার জন্য একটি উপযুক্ত স্থান চিহ্নিত করা।

দ্বিতীয় পর্যায়:

CAIPEEX-এর দ্বিতীয় পর্বের সময় (2010-2011 সময়কাল), একটি সীডার (যেটি বীজ ছড়িয়ে দেয়) এবং একটি গবেষণা বিমান দ্বারা হায়দ্রাবাদকে বেস স্টেশন হিসাবে ব্যবহার করে বায়ুবাহিত পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল। CAIPEEX 2011 তে একটি ইন্টিগ্রেটেড গ্রাউন্ড অবজারভেশনাল ক্যাম্পেইন (IGOC) পরিচালিত হয়েছিল, যাতে পশ্চিমঘাট পর্বত এর অনুবাত দিকে (lee side) পরিচলনের থার্মোডাইনামিক্যাল এবং মাইক্রোফিজিক্যাল দিকগুলিকে বিবেচনা করে একটি সমন্বিত উপায়ে ভূমি থেকে মেঘের স্তর পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল।

তৃতীয় পর্যায়:

CAIPEEX-এর তৃতীয় পর্যায়ে স্থল ভিত্তিক 2014-এর মে মাসে শুরু হয়েছিল, এবং বায়ুবাহিত (airborne) পর্যবেক্ষণ 9ই সেপ্টেম্বর 2014 তারিখে শুরু হয়েছিল। তৃতীয় ধাপে বারাণসী থেকে বিমান দ্বারা 49 ঘন্টা বায়ুবাহিত পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল। বেনারস হিন্দু বিশ্ববিদ্যালয়ের গ্রামীণ ক্যাম্পাস থেকে স্থল ভিত্তিক পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল। তৃতীয় পর্যায়টি বিমানে চড়ে বেশ কয়েকটি অ্যারোসল এবং বৃষ্টিপাতের রসায়ন পরিমাপও করেছে। 2015 সালে, কোলাপুর থেকে বিমান দ্বারা পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল একটি ত্রিভুজাকার অঞ্চলের মধ্যে (কোলহাপুর, মহাবালেশ্বর এবং সোলাপুরের মধ্যে) 2015 সালের জুলাই মাসে মোট 75 ঘন্টার জন্য করা হয়েছিল। ক্লাউড মাইক্রোফিজিক্স, অ্যারোসল, ব্ল্যাক কার্বন, রসায়ন এবং GHG-এর এই পর্যবেক্ষণগুলি মেঘের বৈশিষ্ট্যগুলি বোঝার জন্য নির্দিষ্ট জোর দিয়ে পরিচালিত হয় যা 2018-2019-এর জন্য এলোমেলোভাবে বীজ বপন পরীক্ষার পরিকল্পনার পরিপ্রেক্ষিতে গুরুত্বপূর্ণ।

চতুর্থ পর্যায়:

2018-19 সালের চতুর্থ পর্বের পর্যবেক্ষণমূলক অভিযানের মূল লক্ষ্য ছিল বৃষ্টিছায়া অঞ্চলে প্রাকৃতিক এবং বীজযুক্ত মেঘে, মেঘ এবং বৃষ্টিপাত সম্পর্কিত প্রক্রিয়াগুলির উচ্চ মানের পর্যবেক্ষণ প্রদান করা। এই পরীক্ষার মূল উদ্দেশ্যগুলির মধ্যে একটি হল মেঘে বীজ বপনের উপযুক্ত অবস্থার তদন্ত করা এবং মেঘের মাইক্রোফিজিক্যাল পরিবর্তন থেকে বৃষ্টির বিকাশ এবং শেষ পর্যন্ত ভূপৃষ্ঠে পড়ার বৈজ্ঞানিক প্রমাণ নথিভুক্ত করা।

এই পরীক্ষার অংশ হিসাবে, ক্লাউড সিডিংয়ের পদার্থবিদ্যাগত এবং পরিসংখ্যানগত মূল্যায়ন করা হয়েছে। পরিসংখ্যানগত পদ্ধতি নমুনা সংগ্রহ করার জন্য একটি এলোমেলোকরণ (randomization) পদ্ধতি ব্যবহার করে। পদার্থবিদ্যাগত (physical experiment) পরীক্ষায় বীজ বপনের আগে এবং পরে মেঘের পরিবর্তন এবং মেঘে বৃষ্টিপাতের বিকাশকে নথিভুক্ত করা হয়। CAIPEEX-চতুর্থ পর্যায় (2018 এবং 2019) পরীক্ষায় মেঘের তলদেশে (ক্লাউড বেস) ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ফ্লেয়ার সহ হাইগ্রোস্কোপিক বীজ ব্যবহৃত হয়েছে । গভীর পরিবাহী মেঘে গ্ল্যাসিওজেনিক বীজের দ্বারাও কয়েকটি পরীক্ষা পরিচালিত করা হয়েছিল। পরীক্ষার অংশ হিসাবে, বারামতি, ঔরঙ্গাবাদ এবং সোলাপুর বিমানবন্দর পরীক্ষা কেন্দ্র গুলি থেকে বায়ুবাহিত পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল। পরিবাহী মেঘে উচ্চ মানের পর্যবেক্ষণগুলি সংগ্রহ করা হয়েছিল এবং পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রগুলির পরিসর ন্যানোমিটার অ্যারোসল কণা থেকে কয়েক মিলিমিটার বরফের কণা এবং বৃষ্টির ফোঁটা পর্যন্ত সম্পূর্ণ আকারের বিতরণ দেয়। অ্যারোসল কণার রাসায়নিক পরিমাপের নমুনাও সংগ্রহ করা হয়েছিল। এই পর্যবেক্ষণগুলি থেকে একটি নীতি প্রতিবেদনের পত্রিকা প্রকাশিত করা হয়েছিল, যা নিম্নলিখিত সাইট এ উপলব্ধ আছে https://www.tropmet.res.in/~lip/Publication/Technical-Reports/CAIPEEX-Report-July2023.pdf|

কীভাবে আমরা বুঝতে পারি যে, বৃষ্টি বীজ বপনের কারণে হয়েছে নাকি প্রাকৃতিকভাবে হয়েছে?

বৃষ্টিপাত একটি জটিল প্রক্রিয়া যেখানে তিনটি রূপেই জলের একটি পর্যায় পরিবর্তন হয়। বর্ষার পরিবেশে বিভিন্ন উচ্চতায় মেঘ থাকে। জটিল গঠনতন্ত্রে, বিচ্ছিন্ন পরিবাহী মেঘগুলি বায়ুবাহিত বীজীকরণের জন্য লক্ষ্যবস্তু করা হয়। মেঘের বৈশিষ্ট্য নথিভুক্ত করার জন্য একটি স্থল-ভিত্তিক রাডার ব্যবহার করা হয় এবং বৃষ্টিপাত লিপিবদ্ধ করার জন্য একটি স্থল-ভিত্তিক বৃষ্টিমাপক নেটওয়ার্ক ব্যবহার করা যেতে পারে। সঠিক মেঘ সনাক্তকরণ, বীজ বপনের পর মেঘের উপর নজর রাখা এবং বৃষ্টিপাতের কারণ খুঁজে বের করার জন্য রাডার এবং বৃষ্টিমাপক উভয়ের সমবর্তী ব্যবহার আবশ্যক। তবে, প্রাপ্ত বৃষ্টিপাত বীজের কারণে হয়েছে কিনা তা বায়ুবাহিত পর্যবেক্ষণের সাথে বিস্তারিতভাবে মেঘের মাইক্রোস্ট্রাকচার দ্বারা অনুসন্ধান করা যেতে পারে এবং বিস্তারিত সিমুলেশন দ্বারা পরিপূরক হতে পারে। বর্তমানের মডেলগুলি মেঘ প্রক্রিয়া এবং বীজ বপনের প্রভাব অনুকরণ করতে পারে। মডেলটি পর্যবেক্ষণের সাথে বৈধ করা যেতে পারে এবং তারপরে ক্লাউড সিডিং অধ্যয়নের জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে।

ক্লাউড সিডিং-এ আমরা এলোমেলো (রেন্ডমাইজেশন) প্রক্রিয়া কেন পছন্দ করি?

মেঘ প্রাকৃতিকভাবে বৃষ্টিপাত করতে সক্ষম এবং মেঘে যখন বীজ বপন করা হয়, তখন প্রাকৃতিক এবং বীজ দ্বারা সৃষ্ট বৃষ্টিপাতকে আলাদা করা অসম্ভব।

ক্লাউড সিডিং মেঘের মধ্যে একটি জটিল মিথস্ক্রিয়া প্রবর্তন করে এবং যেটি বিশদ নথিবদ্ধ করা যায় না। এইজন্য, বীজযুক্ত এবং অ-বীজযুক্ত মেঘের মধ্যে নিরপেক্ষ পরিসংখ্যানগত বিশ্লেষণ করার জন্য, সাধারণত ক্লাউড সিডিং পরীক্ষাগুলি এলোমেলো ভাবে করা হয়। এটির মধ্যে, বীজ বপনের জন্য উপযুক্ত মেঘ এবং বীজ না দেওয়ার সিদ্ধান্ত এলোমেলোভাবে নির্বাচন করা হয়, একটি রেন্ডমাইজেশন পদ্ধতির উপর ভিত্তি করে, ঠিক অন্য যে কোনও শৃঙ্খলার মতো (উদাহরণস্বরূপ, ওষুধের পরীক্ষায়) এটি করা হয় যাতে বীজ বপনের প্রভাবকে বৃষ্টিপাতের প্রাকৃতিক পরিবর্তনশীলতার সাথে তুলনা করা যায়। এই কৌশলটি চিকিৎসা ক্ষেত্রের রেন্ডমাইজড ক্লিনিকাল ট্রায়ালের অনুরূপ।

মেঘের মধ্যে শক্তি উৎপাদন সুপ্ত তাপ দ্বারা হয় যখন জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে মেঘের ফোঁটাগুলি বৃদ্ধি পায় বা বরফ কণা বাষ্প জমার দ্বারা বৃদ্ধি পায়। এভাবে বায়ুমণ্ডলে প্রাপ্ত শক্তি প্রকৃতপক্ষে মেঘের গতিপ্রকৃতি পরিবর্তন করবে। মেঘের মধ্যে সঞ্চালন থাকবে যা মেঘের ভরকে পুনরায় বিতরণ করবে এবং মেঘের বৃদ্ধি / অপচয়ের দিকেও পরিচালিত করবে। এই মেঘের গতি ছোট - বড় হয় এবং কখনও কখনও পরিবেশ শুকনো থাকলে তা মেঘকে পুরোপুরি বাষ্পীভূত করে দিতে পারে। শুকনো বাতাস মেঘে প্রবেশ করবে এবং এটি ক্রমবর্ধমান মেঘের ফোঁটাগুলিকে বাষ্পীভূত করবে। এটি হয় বৃষ্টিপাতের গঠনকে দমন করবে অথবা ছোট মেঘের ফোঁটা সহ মেঘকে দীর্ঘ সময় ধরে থাকতে দেবে। এইভাবে, প্রকৃতির প্রতিটি মেঘ আলাদা, এবং গতিশীলতার কারণে তাদের বিশৃঙ্খল আচরণ রয়েছে এবং তাই, ক্লাউড সিডিং পরীক্ষায় রেন্ডমাইজেশন কৌশল ব্যবহার করা হয়।

কোন ধরনের বীজ বপন অনুকূল (হাইগ্রোস্কোপিক/গ্লাসিওজেনিক)?

এখানে কোনও নির্দিষ্ট পছন্দ নেই, এটি সম্পূর্ণরূপে মেঘের ধরন এবং একটি ভৌগলিক অবস্থানে এর উপযুক্ততার উপর নির্ভর করে। মেঘের মধ্যে বিভিন্ন পরিমাণে তরল জল থাকে, এবং কিছু মেঘের মধ্যে কেবল বরফ থাকতে পারে। হিমায়িত মেঘ (শুধুমাত্র বরফ) বীজ বপনের জন্য উপযুক্ত নয়। যে কোনো ধরনের বীজ বপনের জন্য মেঘে তরল জল থাকতে হবে। ক্রান্তীয় পরিবেশে, গভীর ঘন মেঘ সাধারণত তাদের মধ্যে শক্তিশালী উল্লম্ব গতির কারণে খুবই বিশৃঙ্খল (turbulent) হয়, এবং তারা মেঘের নিম্ন স্তরের পাশাপাশি উপরের স্তরগুলির সাথে ভর, শক্তি এবং জলীয় বাষ্প বিনিময় করে।

প্রতি মেঘে বীজ বপনের সময় কত পরিমাণ বীজ উপাদান ব্যবহার করতে হবে? আমরা কি এই পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করতে পারি?

সাধারণত একটি মেঘে প্রতি বীজ বপনের জন্য 2-4 টি শিখা (ফ্লেয়ার) ব্যবহার করা হয়। এক ঘন সেন্টিমিটার বায়ুর মধ্যে কয়েক হাজার বীজ কণা রয়েছে।

মেঘের মধ্যে অতিরিক্ত বীজ ব্যবহারের প্রভাবগুলো কী কী?

অতিরিক্ত পরিমাণ বীজ বপন মেঘকে বাষ্পীভবন করতে পারে কারণ অনেক কণা বায়ুমণ্ডলে উপলব্ধ জলীয় বাষ্প ভাগ করতে পারে এবং এইভাবে গঠিত মেঘ কণার আকার খুব ছোট হতে পারে যা ফোঁটাগুলির মধ্যে সংঘর্ষ এবং বৃষ্টির ফোঁটা গঠনের জন্য প্রতিকূল।

কী ভাবে বীজ উপকরণের উন্নতি করা যায়? বর্তমানে আমরা যে বীজ উপাদান ব্যবহার করছি, সেই বিষয়ে আমরা কতটা নিশ্চিত?

বিভিন্ন যন্ত্রের সাহায্যে বীজ কণাগুলি পরীক্ষা করা যেতে পারে এবং মেঘ গঠনের জন্য তাদের উপযুক্ততা পরীক্ষা করা যেতে পারে।

বীজ কণাগুলি অ্যারোসোলের গঠন এবং তাদের হাইগ্রোস্কোপিসিটি এবং সি.সি.এন ক্রিয়াকলাপ অধ্যয়ন করে উন্নত করা যেতে পারে (কণাগুলি কীভাবে মেঘের অভ্যন্তরে 100% এর উপরে ক্রমবর্ধমান সম্পৃক্ততার অধীনে মেঘের ফোঁটা তৈরি করতে পারে)। মেঘের ফোঁটা তৈরি করতে বীজ কণাগুলির কার্যকারিতা নির্ধারণের জন্য এই পরামিতিগুলি গুরুত্বপূর্ণ। এই পরামিতিগুলি বীজ কণার আকার এবং রাসায়নিক গঠন / আবরণের উপর নির্ভর করে। পটাশিয়াম আয়োডাইড, সোডিয়াম ক্লোরাইড, এবং ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় বাষ্পের (উচ্চ হাইগ্রোস্কোপিসিটি) সাথে একটি প্রাকৃতিক আকর্ষণ রয়েছে। বীজ কণাগুলি বাতাসের প্রাকৃতিক কণার তুলনায় উচ্চ আর্দ্রতা প্রবণকারী (উচ্চ হাইগ্রোস্কোপিসিটি) বলে মনে করা হয় যা সহজেই মেঘের ফোঁটা তৈরি করবে। কণার আকারের একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রয়েছে কারণ বড় আকারের কণাগুলি তাদের উপর একটি বড় পৃষ্ঠ এলাকার কারণে সহজেই মেঘের ফোঁটা তৈরি করবে। সামুদ্রিক লবণ যেমন বড় আকারের এবং হাইগ্রোস্কোপিসিটির কারণে এটি একটি ভাল সি.সি.এন। বীজ কণা বেছে নেওয়ার আগে কণার আকার এবং গঠন বোঝা গুরুত্বপূর্ণ।

AgI (সিলভার আয়োডাইড) পেলেটগুলি ঐতিহ্যগতভাবে গ্ল্যাসিওজেনিক সিডিংয়ে ব্যবহৃত হয় যেখানে কণাগুলি বরফ নিউক্লিয়েশন কণা হিসাবে কাজ করে। এসিটোনের সাথে AgI পোড়ানো হলে এটি আরও হাইগ্রোস্কোপিক হতে পারে এবং হাইগ্রোস্কোপিক বীজের প্রতিনিধি হিসাবে কাজ করতে পারে, প্রথমে অগভীর উষ্ণ মেঘ স্তরগুলিতে কাজ করে (এবং বরফ নিউক্লিয়াস হিসাবেও কাজ করতে পারে)। এই বীজ কণাগুলি ব্যবহারের ফলে সংঘর্ষ-সমন্বয় বা বরফ গঠনের প্রক্রিয়াগুলির মতো দ্রুত পথগুলির মাধ্যমে বৃষ্টি গঠনের সম্ভাবনা বৃদ্ধি করে বলে আশা করা হয় (যেমন জমা বা রাইমিং এবং বৃষ্টি বা তুষার মাইক্রোফিজিক্যাল প্রক্রিয়াগুলির শৃঙ্খলের মাধ্যমে তৈরি হয়)।

বীজ বপনের সময় মেঘ শনাক্ত করার জন্য সেরা রাডার (RADAR) কোনটি?

এক্স-ব্যান্ড রাডারের তুলনায় পরিসীমা এবং রেজোলিউশন এবং কম ক্ষয় এর কারণে মেঘ বীজ বপন প্রকল্পে সি-ব্যান্ড রাডার ব্যবহারের জন্য সুপারিশ করা হয়। রাডারগুলি মেঘের বিবর্তন এবং বৃষ্টিপাতের পরিমাণ নথিভুক্ত করার জন্য দ্রুত স্ক্যান করতে সক্ষম হওয়া উচিত। প্রায়শই বৃষ্টিপাত বীজ বপনের 15 মিনিটের মধ্যে হয় এবং এটি রাডার স্ক্যান ব্যবধান সময়ের মধ্যে

নথিভুক্ত করা উচিত এবং মেঘগুলিকে তাদের জীবদ্দশায় খুঁজে বের করতে হবে, যা এক ঘন্টা বা তার বেশি সময় ধরে চলতে পারে।

গ্লেসিওজেনিক সিডিং কি সত্যিই কার্যকর, যদি তাই হয়, তাহলে আমরা কেন সবসময় এটি ব্যবহার করি না?

বীজ বপনের ক্ষেত্রে, মেঘ দুটি গ্রুপে বিভক্ত: উষ্ণ এবং ঠান্ডা মেঘ। উষ্ণ মেঘ সেখানে বিদ্যমান যেখানে মেঘের শীর্ষ (cloud top) হিমাঙ্ক স্তর-এর নিচে থাকে (এর মানে মেঘের শীর্ষ স্তর-এর তাপমাত্রা > 0°C) এবং শুধুমাত্র তরল জলের ফোঁটা থাকে। ঠাণ্ডা মেঘগুলি প্রাথমিকভাবে বিদ্যমান যেখানে মেঘের উপরের তাপমাত্রা হিমাঙ্কের নিচে থাকে (তাপমাত্রা < 0°C) এবং এতে বরফ এবং তরল জল উভয়ই থাকে। শূন্যর নিচের তাপমাত্রায় উপস্থিত তরলকে সুপার কুলড (super-cooled) তরল বলে। যদি একটি কঠিন কণা সুপার কুলড তরলের সংস্পর্শে আসে তবে এটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে কণার পৃষ্ঠে জমা হবে।

নথিভুক্ত প্রমাণ রয়েছে যে, মধ্য অক্ষাংশের পাহাড়ি মেঘে হিমবাহের বীজ স্নোপ্যাককে (তুষার) বাড়িয়ে তোলে। ভারতীয় ভূভাগে, বিশেষত বৃষ্টিচ্ছায় অঞ্চলে, বৃষ্টিপাতের ক্ষেত্রে বেশ কয়েকটি কারণ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ভারতে, বেশিরভাগ অগভীর পরিচলন মেঘ (উষ্ণ মেঘ) বা উষ্ণ এবং শীত অঞ্চলের বিভিন্ন স্তরের মেঘ আছে। উষ্ণ মেঘে, গ্লেসিওজেনিক বীজ বপনের সুপারিশ করা হয় না। প্রাক-বর্ষা এবং বর্ষা-পরবর্তী সময়ে গভীর সংবহনশীল মেঘ লক্ষ্য করা যায় কারণ বাতাস কম হয় এবং বায়ুমণ্ডল অস্থিতিশীল হয়। মেঘগুলি শক্তিশালী হয় এবং উঁচুতে উঠে ঠান্ডা অঞ্চল গঠন করে এবং বজ্রঝড়ের দিকে পরিচালিত করে। সাধারণত, মেঘগুলি তাদের বিকাশের পর্যায়ে (development stage) পর্যাপ্ত সুপারকুলড তরল সহ বীজ বপন করা হয়। ঠাণ্ডা মেঘে, গ্ল্যাসিওজেনিক বীজ বরফের স্ফটিক বৃদ্ধি করতে দেখা যায়, কারণ বীজযুক্ত অ্যারোসলের (তথাকথিত বরফ নিউক্লিয়াস কণা) উপর অতিরিক্ত শীতল তরল জল জমা হয়। তবে, এইভাবে গঠিত বরফের স্ফটিকগুলি নিচে পড়তে শুরু করার জন্য বড় আকারে বেড়ে উঠে এবং হিমাঙ্কের স্তর অতিক্রম করার সাথে সাথে তারা গলে যায় এবং বৃষ্টির ফোঁটা তৈরি করে (যা শুধুমাত্র উপরের বায়ুমণ্ডলে উপযুক্ত পরিস্থিতিতে ঘটবে)। যদি পরিবেশ খুব শুষ্ক হয়, মেঘগুলি বাষ্পীভূত হয় এবং কখনও কখনও ভারগা (virga একটি বৃষ্টিপাত যা মেঘের নীচ থেকে পড়ে কিন্তু পৃথিবীর পৃষ্ঠে পৌঁছানোর আগেই বাষ্পীভূত হয়ে যায়), তৈরি করতে পারে যার বৃষ্টি পৃথিবীর পৃষ্ঠে পৌঁছায় না। বড় আকারের বরফের স্ফটিকগুলি কেবল 'তুষার' হিসাবে পড়ে যাবে এবং গলে বৃষ্টির ফোঁটা তৈরি করবে যা মাটিতে পৌঁছবে। ঠাণ্ডা জলবায়ুতে, হিমাঙ্কের স্তর ভূপৃষ্ঠের কাছাকাছি থাকে বা উপশূন্য তাপমাত্রায় তুষার ভূপৃষ্ঠে পড়ে। তুষার প্যাক বাড়ানোর জন্য মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে গ্ল্যাসিওজেনিক বীজ ব্যবহার করা হয়।

বীজ বপনের পর মেঘ থেকে বৃষ্টি হয়, কিন্তু বৃষ্টি সর্বদা ভূপৃষ্ঠে পৌঁছয় না! এই ধরণের ঘটনা কেন হয়?

মেঘ বৃষ্টিপাত করে কিন্তু পরিবেশ খুব শুষ্ক হওয়ায় বৃষ্টির ফোঁটাগুলি বাষ্পীভূত হয়ে যায় ফলে মাটিতে পৌঁছায় না।

মেঘে বীজ বপনের ব্যবহারিক অসুবিধা কী কী?

একটি প্রধান দিক হ'ল মেঘগুলি দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং মেঘগুলি বৃষ্টি শুরু হওয়ার আগে তাদের বৃদ্ধির প্রাথমিক অংশে আমাদের টার্গেট করতে হবে। বৃষ্টিযুক্ত মেঘে বীজ বপনের ফলে বীজের কণাগুলি সীমানা স্তরে (boundary layer) ধুয়ে যাবে এবং উদ্দেশ্য পূরণ হবে না। সুতরাং, হস্তক্ষেপ করার জন্য সঠিক সময় নির্ধারণ করা প্রয়োজন। পাইলটকে মেঘের তলদেশের কাছে ঊর্ধ্বমুখী ক্ষেত্রে বীজ বপনের উপায় সম্পর্কে ভালভাবে প্রশিক্ষিত এবং জ্ঞানী হতে হবে এবং প্রয়োজনীয়তাগুলিতেও সক্রিয় হতে হবে। উচ্চ স্তরের মেঘে ওড়ার ফলে বিমানে বরফ জমতে পারে, যা বিপজ্জনক। পরীক্ষাটি সুষ্ঠুভাবে পরিচালনার জন্য বেশ কিছু সতর্কতা অবলম্বন করতে হবে এবং এরজন্য সমন্বিত প্রচেষ্টা প্রয়োজন। আবহাওয়ার অবস্থা এবং আসন্ন তীব্র আবহাওয়ার সঠিক বিবরণও জানা উচিত, যা নিরাপত্তার জন্য উদ্বেগজনক হতে পারে। পাখিদের উপস্থিতি বিমান নিরাপত্তার ক্ষেত্রে উদ্বেগজনক হতে পারে।

ভারতে বীজ বপনের (সিডিং) সময় বিমান চালানোর ক্ষেত্রে অনেক বিধিনিষেধ কীভাবে সামাল দেওয়া যায়?

বেশ কিছু উড়ান সম্পর্কিত নিষেধাজ্ঞা রয়েছে এবং বেশ কিছু অনুমতি আগে থেকে নিতে হবে। এটা বুঝতে হবে যে, এগুলো নিরাপত্তার জন্য প্রয়োজন। এ ক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট ব্যক্তি ও কর্তৃপক্ষের মধ্যে ভালো বোঝাপড়া ও সংলাপের মাধ্যমে তা অনুসরণ করতে হবে।

ভারত বা অন্য কোনও জায়গায় বীজ বপনের ক্ষেত্রে আরও সাফল্য পেতে হলে ভবিষ্যতে কী ধরনের পরিকাঠামোর প্রয়োজন?

এটি লক্ষ্য করা গেছে যে, বীজ বপনের আগে, সেই সময় এবং পরে মেঘ সম্পর্কে তথ্য একটি প্রয়োজনীয় ব্যাপার এবং স্থল-ভিত্তিক রাডার পরিচলন মেঘের বৈশিষ্ট্যগুলির অভূতপূর্ব বিবরণ দিতে পারে। বীজ বপনের উপযুক্ত মেঘ নির্বাচন করার জন্য বিভিন্ন পর্যবেক্ষণ (মেঘের জল এবং ঊর্ধ্বাভিমুখী গতির ন্যূনতম মান) করতে একটি সুসজ্জিত বিমান দরকার। একটি স্থানে প্রাপ্ত বৃষ্টিপাতের নথি করার জন্য একটি বৃষ্টি পরিমাপক নেটওয়ার্কেরও প্রয়োজন রয়েছে। CAIPEEX অনুযায়ী, বৃষ্টির পরিমাপক ঘনত্ব প্রতি 25x25 বর্গকিলোমিটার এলাকায় ন্যূনতম একটি পরিমাপক হতে হবে।

ক্লাউড সিডিং কি সবসময় বৃষ্টি বৃদ্ধির জন্য করা হয়? বৃষ্টি দমনের জন্য কি কোনো বীজ বপন আছে?

মেঘে বীজ বপন করা হয় (ক) বৃষ্টি বৃদ্ধি, (খ) বৃষ্টিপাত হ্রাস, (গ) কুয়াশা/দূষণ দমন, এবং (ঘ) শিলাবৃষ্টি দমনের মতো আবহাওয়া পরিবর্তনের প্রয়োগে। এগুলি সবই আবহাওয়ার পরিবর্তন বিজ্ঞানে একটি সক্রিয় গবেষণার ক্ষেত্র।

ঘন কুয়াশা দূর করার জন্য মেঘে বীজ বপন পদ্ধতি ব্যবহার করা যায় কি?

উষ্ণ কুয়াশার স্তরগুলিতে বীজ বপনের জন্য এই ধরনের পরিস্থিতিতে জলের ফোঁটা ব্যবহারে কিছুটা কার্যকারিতা রয়েছে বলে মনে হয়। কিন্তু বরফ কুয়াশায় কুয়াশা বিচ্ছুরণের জন্য নথিভুক্ত গবেষণা রয়েছে।

মেঘে বীজ বপনের আঞ্চলিক পরিধি কী?

মেঘে বীজ বপন সাধারণত 100 x 100 বর্গ কিমি এলাকায় একটি বিমান দিয়ে করা যেতে পারে। মেঘটি তার বীজ বপনের স্থান থেকে সরে যাবে এবং সি-ব্যান্ড রাডারের নজরদারি অঞ্চলে প্রায় 200 কিলোমিটার এলাকায় নিম্ন বায়ু অবস্থানের দিকে পর্যবেক্ষণ করা যেতে পারে।

মেঘের বীজ বপন কি একটি বড় এলাকায় মোট বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি করতে পারে? না এটি একটি বড় এলাকায় বৃষ্টিপাতকে পুনর্বণ্টন করে?

বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ স্থির এবং মেঘের বীজ বপন প্রকৃতপক্ষে বৃষ্টিপাতের পুনঃবণ্টন করতে দেখা গেছে। নির্দিষ্ট লক্ষ্যবস্তু এলাকা চিহ্নিত করার জন্য যথাযথ পরিকল্পনা এবং মেঘ এবং তাদের দৈনন্দিন পরিবর্তনগুলি বোঝার মাধ্যমে, বীজযুক্ত পরিচলন মেঘ বৃষ্টিপাতকে অন্যান্য বৃষ্টি বিরল অঞ্চলে পুনর্বণ্টন করতে পারে। মনে রাখতে হবে যে, সমস্ত বীজযুক্ত মেঘ বৃষ্টি সৃষ্টি করে না। বৃহৎ এলাকায় বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি এখনও একটি গবেষণার ক্ষেত্র এবং এটি প্রমাণিত নয়। এটি প্রাকৃতিক বৃষ্টিপাতের বৃহৎ পরিবর্তনশীলতার কারণে এবং বীজযুক্ত বৃষ্টিকে প্রাকৃতিক বৃষ্টিপাতের থেকে আলাদা করা যায় না, যদি না একটি র‍্যাণ্ডাম্যাইজেশন পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়, WMO নির্দেশিকা অনুসারে বিস্তারিত সংখ্যাসূচক অধ্যয়ন এবং পর্যবেক্ষণগুলি সহায়ক প্রমাণ হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

কোন ধরনের ভূমির উপর মেঘের বীজ বপন করা যেতে পারে অথবা কোন এলাকা নির্বাচন করার কোন মানদণ্ড আছে কি?

ক্লাউড সিডিং যে কোনও ভূমিতে করা যেতে পারে, তবে, বীজ বপনযোগ্য মেঘ উপলব্ধ থাকতে হবে। শুধুমাত্র নির্দিষ্ট কিছু অঞ্চলেই বীজ বপনযোগ্য মেঘ থাকবে এবং এই ধরনের স্থানগুলি আগে থেকেই চিহ্নিত করতে হবে। এক কিলোমিটারের বেশি গভীরতার মেঘকে পর্যাপ্ত পরিচলনের (convection) সাথে উপস্থিত থাকতে হবে যা মেঘের ভিতরে বৃষ্টির আগে মেঘের মধ্যে তরল জলের প্রতিনিধিত্ব করে।

মেঘে বীজ বপনের পর বীজ উপাদানের জীবনকাল কত?

বায়ুমণ্ডলে নির্গত অন্য যে কোনও অ্যারোসল কণাগুলির মতো জমাট হয়ে এবং সিক্ত স্কেভেঞ্জিংয়ের (ধোয়া) মাধ্যমে মেঘ-বীজের উপাদানটি অপসারণ করা যেতে পারে। এটি পরিবেশগত অবস্থার উপর নির্ভর করে।

ক্লাউড সিডিং কি কোনও প্রাকৃতিক বিপদ ডেকে আনতে পারে?

মেঘের বীজ বপনের ফলে মাঝে মাঝে উচ্চ বৃষ্টিপাতের খবর পাওয়া যায়। কিন্তু তীব্র আবহাওয়ায় বীজ বপনের পরামর্শ দেওয়া হয় না।

বিমান ব্যবহার না করে বীজ বপনের বিকল্প, সাশ্রয়ী পদ্ধতি কী?

উচ্চতর উচ্চতা থেকে বীজ বপনে, ড্রোন ব্যবহার করা বা অন্যান্য পদ্ধতি যেমন মেঘ তলদেশে বীজ বপনের জন্য নির্দেশিত বেলুন ব্যবহার করা হয়।

একটি সাধারণ ধারণা রয়েছে যে, বীজ বপনের ফলে মেঘের অনুপস্থিতিতেও বৃষ্টিপাত হতে পারে। এটা কি সত্যি?

না। বীজ বপনের জন্য উপযুক্ত মেঘের প্রয়োজন হয়। সব মেঘই বীজ বপনের যোগ্য নয়।

বীজ বপনের ফলে উন্নত সেচ ব্যবস্থা গড়ে উঠতে পারে এবং এর ফলে ভূমি ব্যবহারের ধরন পরিবর্তিত হতে পারে। এর ফল কী হতে পারে?

আঞ্চলিক প্রভাবগুলি দীর্ঘমেয়াদী তথ্য দিয়ে মূল্যায়ন করতে হবে, এটি এখনো পর্যন্ত গবেষণার জন্য উন্মুক্ত উন্মুক্ত।

প্রাক-বর্ষা মৌসুমে মেঘের বীজ বপন কি পরিবাহী মেঘে শিলাবৃষ্টি দমন করতে পারে?

শিলাবৃষ্টি দমন নিয়ে বিশ্বজুড়ে কয়েকটি পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয়েছে (যেমন আর্জেন্টিনা, পশ্চিম ইউরোপ এবং মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র) তবে, কোন পরিসংখ্যানগত প্রমাণ নেই এবং এই বিষয়টি বিশদ ভাবে জানার জন্য আরও গবেষণার প্রয়োজন।

ভারতের কোন কোন জায়গায় মেঘের বীজ বপন পরীক্ষা চালানো যেতে পারে?

আমাদের এই বিষয়ে একটি আঞ্চলিক বিশ্লেষণ প্রয়োজন যা মেঘের বৈশিষ্ট্য এবং তাদের দৈনন্দিন বৈচিত্র্য সম্পর্কে যথাযথ তথ্য দেবে। বীজ বপন যোগ্য মেঘ সব জায়গায় পাওয়া যায় না।

মেঘের বীজ বপন উপাদান কি আমাদের পরিবেশের জন্য নিরাপদ?

বীজ বপনের সম্ভাব্য পরিবেশগত প্রভাব সম্পর্কিত গবেষণা সাহিত্য খুব সীমিত। মেঘের বীজ বপনের জন্য রূপার একটি যৌগ silver iodide (AgI) ব্যাপক ভাবে ব্যবহৃত হয় । এই যৌগটি বিষাক্ত, জলে দ্রবীভূত হয় না এবং বেশি পরিমাণে নির্গত হলে তা বাস্তুতন্ত্র ও মানুষের জন্য ক্ষতিকর। দ্রবণীয় রূপটি উচ্চ পরিমাণে বিষাক্ত, বলা যায় 10 গ্রাম সিলভার নাইট্রেট (যা প্রথম দিকে মানুষের দ্বারা ব্যবহৃত হত) মারাত্মক এবং বিভিন্ন জীবের জন্য সুরক্ষার সীমা আলাদা। জলে দ্রবীভূত হওয়ার সর্বোচ্চ পরিমাণ হল প্রতি হাজার মিলিয়নে 1.6 অংশ (কয়েক মাইক্রোগ্রাম রৌপ্য আয়ন), খাদ্যে (মাশরুম) কয়েকশ মাইক্রোগ্রাম পাওয়া যায়। কিন্তু অল্প পরিমাণেও (0.2 মাইক্রোগ্রাম) মাছ, অণুজীব ইত্যাদির (জলজ জীব) জন্য অত্যন্ত বিষাক্ত। মেঘের বীজ বপনের ফলে Ag এর 2-50 গুণ বৃদ্ধি পেতে পারে (যা পর্যবেক্ষন থেকে 20

মাইক্রোগ্রাম পর্যন্ত উল্লেখ করা হয়)। আয়োডিন AgI অণুর ভরের 54% থাকে এবং এটি বিষাক্ততার মাত্রায় পাওয়া যায় না।

এখন পর্যন্ত বিজ্ঞান সাহিত্যে পর্যাপ্ত প্রমাণ নেই যে ক্লাউড সিডিং পরিবেশের পক্ষে ক্ষতিকর । যদিও এটি সুপারিশ করা হয় যে, ক্লাউড সিডিং করা হলে তার পরিবেশগত প্রভাবের মূল্যায়ন করা উচিত।

মেঘের বীজ বপন (ক্লাউড সিডিং)-এর কার্যকারিতার কি কোনো প্রমাণ আছে?

পাহাড়ি (ওরোগ্রাফিক) মেঘের মধ্যে হিমবাহজাত বীজ বপনের (গ্লেসিওজেনিক সিডিং) বিষয়টি এখন ভালভাবে নথিভুক্ত। রাউবার এট অল., (2019) মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের পশ্চিম অংশে পাহাড়ি মেঘে হিমবাহজাত বীজ বপনের একটি বিস্তৃত এবং বর্তমান অবস্থার তথ্য দেয়। পাহাড়িভাবে বাধ্য করা মেঘের একটি প্রাকৃতিক উত্তোলন রয়েছে ভূখণ্ডের উপর। পাহাড়ের যে দিক (windward side) প্রতক্ষ্য বাতাসের সংস্পর্শে আসে সেই দিক আর্দ্রতার অভিসরণ (moisture convergence) ঘটায় এবং জোরপূর্বক উত্তোলনে সয়াহতা করে । সামগ্রিক ধারণাটি ছিল পর্বতশ্রেণীর উজানে শূন্যডিগ্রীর নিচের তাপমাত্রায় উপস্থিত মেঘের তরল জলকে (সুপারকুল্ড তরল জল) রূপান্তরিত করে আরও বরফ নিউক্লিয়াস প্রবর্তনের মাধ্যমে বরফের বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি করা। এই পরীক্ষাটি সবচেয়ে ব্যাপক, যা অন্তর্নিহিত অনুমানকে সম্বোধন করার জন্য ব্যবহৃত বাস্তব, পরিসংখ্যানগত এবং সংখ্যাগত মডেলিং উপাদানগুলি চিত্রিত করে। এই পরীক্ষাটি বেশ কয়েকটি অত্যাধুনিক যন্ত্র প্রয়োগ করেছে, তবে বরফের নিউক্লিয়েশন (বেশ কয়েকটি পদ্ধতির মাধ্যমে) বোঝার বিষয়টি এখনও অধরা রয়ে গেছে। গবেষণায় আরও ইঙ্গিত দেওয়া হয়েছে যে উন্নত মডেলগুলি বীজ বপনের অবস্থান নির্বাচনের জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে। গ্লেসিওজেনিক সিডিং-এর ভৌত মূল্যায়নের মাধ্যমে প্রমাণ পাওয়া যায় যে, AgI সুপারকুলড তরলযুক্ত মেঘে বীজ বপন এর মাধ্যমে মেঘ থেকে ভূ-পৃষ্ঠে বৃষ্টিপাতের গমনপথ চিহ্নিত করা যায়।

তবে হাইগ্রোস্কোপিক বীজ বপনের কোনও নথিভুক্ত ভৌত প্রমাণ নেই, বিশেষত পরিবাহী মেঘে যা পরিবেশের সাথে প্রভাবশালী গতিশীল মিথস্ক্রিয়ার কারণে আরও বিশৃঙ্খল হয়। প্রধান সতর্কবার্তাটি হ'ল মেঘে বীজ বপনের সংকেত প্রাকৃতিক পরিবর্তনশীলতার চেয়ে কয়েক ক্রম ছোট হতে পারে এবং বীজ বপনের প্রভাবটি নথিবদ্ধ করা খুব চ্যালেঞ্জিং। ফলস্বরূপ, বীজ বপনের পরে প্রক্রিয়াগুলির শৃঙ্খল অনুসরণ বৃষ্টিপাতের জন্য অপরিহার্য। প্রায়শই পরীক্ষার আগে একটি অনুকল্প তৈরি করা হয় প্রক্রিয়াগুলির শৃঙ্খল সম্পর্কে যার মাধ্যমে বীজের কারণে মেঘে বৃষ্টিপাত হতে পারে। এর মধ্যে রয়েছে বীজযুক্ত শিখার উপর নজর রাখা, বীজযুক্ত এবং বীজহীন মেঘের মধ্যে মিথস্ক্রিয়া খুঁজে বের করা, এবং অতিরিক্ত ক্ষেত্রের প্রভাব, অর্থাৎ লক্ষ্য এলাকার বাইরে বীজ বপনের প্রভাব। এই দিকগুলি বিশেষভাবে উপযুক্ত মডেল পরীক্ষায় অধ্যয়ন করা হয়েছে এবং ভালভাবে ক্রমাঙ্কিত রাডার পর্যবেক্ষণ এবং বৃষ্টি পরিমাপক দ্বারা সমর্থিত।

ভূমি-ভিত্তিক বীজ বপনের কাজ সহজতর হওয়ার কারণে ঐতিহ্যগতভাবে ক্লাউড সিডিং-এ সিলভার আয়োডাইড (AgI) এবং এসিটোন বার্নার ব্যবহার করা হতো। প্রায়শই স্থল-ভিত্তিক সিলভার আয়োডাইড বার্নারগুলি মেঘে বীজ বপনের উপাদান বিতরণে বায়ুবাহিত পদ্ধতির মতো কার্যকর নয়। যখন বীজ বপনের উপাদান ভূমি থেকে নিক্ষেপ করা হয়, তখন এটি নিম্ন বায়ুমণ্ডলে স্থগিত হয়ে যেতে পারে এবং বায়ুমন্ডলীয় অবস্থার উপর নির্ভর করে সীমানা স্তরে হারিয়ে যেতে পারে এবং বৃষ্টি ছায়া অঞ্চলের অবস্থার জন্য উপযুক্ত নাও হতে পারে। সবচেয়ে ভালো উপায় হল মেঘের মধ্যে বীজ উপাদান সনাক্তযোগ্য ঘনত্বে মুক্ত করা।

প্রয়োগগত (অপারেশনাল) মেঘের বীজ বপন

বিশ্বব্যাপী 56 টিরও বেশি দেশে অপারেশনাল ক্লাউড সিডিং অনুশীলন করা হয় (ফ্লেসম্যান এট অল., 2019)। এছাড়াও, বিভিন্ন আবহাওয়া পরিবর্তনের সম্ভাবনা যাচাইয়ের জন্য আবহাওয়ার পরিবর্তন সংক্রান্ত গবেষণার ওপরও বিশেষ জোর দেওয়া হয়েছে। বৃষ্টিপাত বৃদ্ধির জন্য ক্লাউড সিডিং এর পরিমাণগত প্রভাব সম্পর্কে এখনও অনিশ্চয়তা রয়েছে (ডব্লিউ.এম.ও. বিশ্ব আবহাওয়া সংস্থা, 2018b: নির্বাহী পরিষদের সংযুক্তি এর 2 নং-সিদ্ধান্ত নং 53 (ইসি-69) পরিশিষ্টে আবহাওয়া পরিবর্তনের কার্যক্রমের জন্য পরিকল্পনা ও নির্দেশনা)। ডাব্লিউ.এম.ও. ক্লাউড সিডিং প্রভাবগুলির বৈজ্ঞানিক নথিপত্র -র উপর মনোনিবেশ করে বিস্তারিত গবেষণা প্রোগ্রামের সুপারিশ করে এবং এটি ডাব্লিউ.ডাব্লিউ.আর.পি. -র বর্তমান পরিকল্পনার (ডাব্লিউএমও 2010) একটি বিষয়। অস্ট্রেলিয়া, চীন, ভারত, রাশিয়ান ফেডারেশন, থাইল্যান্ড, সংযুক্ত আরব আমিরশাহি এবং মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে গবেষণা কার্যক্রম চলছে। WMO পিয়ার রিভিউ রিপোর্ট অনুযায়ী (2018), "toxicological, ecological, sociology, and legal issues, as well as extra-area effects, need to be considered before any operational seeding program"। (বীজিত এলাকার বাইরে বৃষ্টিপাতের উপর অতিরিক্ত ক্ষেত্রের প্রভাব আগ্রহের বিষয়)।

সাধারণত পার্বত্য (ওরোগ্রাফিক) মেঘ (প্রাকৃতিক উত্তোলন প্রক্রিয়া সহ পার্বত্য অঞ্চলের উপর) এবং পরিবাহী মেঘ (পরিবাহী ঊর্ধ্বমুখী বায়ু গতি রয়েছে) বীজ বপনের জন্য নির্বাচিত হয়। ওরোগ্রাফিক মেঘে (WMO 2018) গ্লেসিওজেনিক সিডিং নিয়ে ব্যাপক বৈজ্ঞানিক সাহিত্য রয়েছে। এই গবেষণাগুলি প্রধানত মধ্য-পশ্চিম মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র থেকে আসে এবং সুপ্রতিষ্ঠিত গবেষণা প্রোগ্রামগুলি দেখায় যে গ্লেসিওজেনিক সিডিং প্রকৃতপক্ষে মেঘের মধ্যে বৃষ্টিপাত পরিচালিত করতে প্রক্রিয়াগুলিকে একটি শৃঙ্খলের দিকে পরিচালিত করতে পারে (ফ্রেঞ্চ এট অল., 2018)। যে মেঘগুলি পর্বত শ্রেণীর প্রতিবাদী পাশে অরোগ্র্যাফি দ্বারা বাহিত হয়ে উপরেরদিকে ধাবিত হয় সেইসব মেঘ কেই বীজ বপনের জন্য মনোনীত করা হয়। উদাহরণ স্বরূপ মধ্য-পশ্চিম মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে তুষারপাত বাড়ানোর জন্য সুপারকুল্ড তরল যুক্ত মেঘগুলিকে ক্লাউড সিডিংয়ের জন্য টার্গেট করা হয়েছিল ।

পার্বত্য মেঘের মধ্যে ক্লাউড সিডিং বৃষ্টিপাত গঠনের জন্য কিছু প্রতিশ্রুতি দেখিয়েছে। এ ধরনের বৃষ্টি বৃদ্ধির পরিমাণগত মূল্যায়ন সম্প্রতি পাওয়া গেছে। এর প্রধান কারণ হচ্ছে, বীজ বপনের ফলে সৃষ্ট বৃষ্টিপাত (যদি থাকে) প্রাকৃতিক বৃষ্টিপাত থেকে পৃথক করা যায় না। এই তথ্যটি ক্লাউড সিডিং এর ফলাফলে উল্লেখযোগ্য অনিশ্চয়তার সৃষ্টি করে । ফলস্বরূপ, WMO সুপারিশ

করে যে বৃষ্টিপাতের উপর প্রভাব নথিভুক্ত করার জন্য একটি ভৌতিক এবং পরিসংখ্যানগত পরীক্ষা এবং সংখ্যাগত সিমুলেশন উভয়ের সাথে বীজ বপনের মূল্যায়ন করা উচিত।

কেন পরিবাহী (কিউমুলাস) মেঘগুলো বীজ বপনের জন্য দুরূহ মনে করা হয় ?

মূলত এই মেঘ সিস্টেমগুলির জটিল গতিবিদ্যার সাথে সম্পর্কিত অসুবিধার কারণে পরিবাহী মেঘগুলিতে বীজের কার্যকারিতা নির্ধারণ একটি চ্যালেঞ্জ হয়ে দাঁড়িয়েছে। পরিবাহী মেঘের মধ্যে অগ্নিশিখার মাধ্যমে বীজ বপনে বীজের প্রভাব প্রচলিত পদ্ধতির দ্বারা নথিভুক্ত করা যায় না।

এটাও উল্লেখ করা যেতে পারে যে, প্রতিটি ধরনের মেঘ বীজ বপনযোগ্য নয় এবং বীজ বপনের পূর্বে মেঘের অঙ্গসংস্থানিক ও জলবায়ুগত বৈশিষ্ট্যের মূল্যায়ন প্রয়োজন। পরিবাহী মেঘের দ্রুত রূপান্তর তাদের সঠিক সময়ে টার্গেট করাকে আরও কঠিন করে তোলে। বীজ বপনের ধরন ও অবস্থান, মেঘের নিম্নদেশের উচ্চতা, মেঘের গভীরতা ও মেঘে তরল জলের পরিমাণ, বৃষ্টিপাতের দৈনন্দিন চক্র ইত্যাদি সিদ্ধান্ত গ্রহণের ক্ষেত্রে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

ক্লাউড সিডিং-এর আন্তর্জাতিক অবস্থান কী?

সারা বিশ্বেই আবহাওয়ার পরিবর্তনের দিকে বেশি নজর দেওয়া হচ্ছে। বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি, কুয়াশা দমন, দূষণ বিচ্ছুরণ, আবহাওয়া পরিচালন ইত্যাদির জন্য 56টি দেশ এ ধরনের কার্যক্রমের সঙ্গে জড়িত। বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি বিজ্ঞানের বর্তমান অত্যাবশ্যক অবস্থাটি ফ্লসম্যান এট অল, (2018, 2019) ডব্লিউ.এম.ও. এক্সপার্ট টিম অন ওয়েদার মডিফিকেশনের দ্বারা ডব্লিউ.এম.ও. পিয়ার রিভিউ রিপোর্টে -এ বর্ণিত হয়েছে। বীজ বপনের প্রভাব বোঝার ক্ষেত্রে মেঘ গতিবিদ্যা এবং এর আণবিক মাপের ভৌত প্রক্রিয়ার (মাইক্রোফিজিক্সের) মধ্যে মিথস্ক্রিয়া সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। মেঘের বীজ কণা প্রবর্তনের পরে মেঘের মধ্যে হাইড্রোডাইনামিক পরিবর্তনগুলি একটি অ্যারোসল-মেঘ-বর্ষণ মিথস্ক্রিয়া হিসাবে অনুমান করা হয়, যেখানে আরো এরোসোল কণা (মেঘ ঘনীকরণ নিউক্লিয়াস; CCN) তাদের মেঘ সক্রিয়করণ বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে মেঘের ফোঁটা বা বরফ কণা গঠন করতে পারে এবং উপলব্ধ বিভিন্ন সুপারস্যাচুরেশনের হিসাবে বিকিরণের মাধ্যমে বৃদ্ধি পায়।।

বায়ুর প্রতিটি কলামে প্রতি বর্গ মিটার ক্ষেত্রে 26 মিলিমিটার জল রয়েছে । বায়ুমন্ডলে সমষ্টিগত ভাবে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ $13x10^3$ ঘন কিমি। ভূপৃষ্ঠে বৃষ্টির আকারে বায়ুমণ্ডল থেকে সব জল দূরীভূত করা যায় না । বিশ্ব-উষ্ণায়ন এই ধারণার প্রবর্তন করে যে শুষ্ক স্থানগুলি শুষ্ক হয়ে যাচ্ছে এবং আর্দ্র স্থানগুলি আর্দ্র হয়ে যাচ্ছে। ক্লাউড সিডিংয়ের মাধ্যমে বৃষ্টি বৃদ্ধিসহ বিভিন্ন উপায়ে সুস্বাদু জলের সম্পদ খোঁজার প্রয়োজনীয়তার কথা বলা হয়েছে (জাতিসংঘ (UN) 2020)।

ক্লাউড সিডিং-এর ক্ষেত্রে সবচেয়ে বড় চ্যালেঞ্জ কী ?

বৃষ্টিপাত বৃদ্ধির ক্ষেত্রে সবচেয়ে বড় চ্যালেঞ্জটি হ'ল প্রাকৃতিক (natural) এবং পরিবর্তিত (modified) বৃষ্টিপাতকে পৃথক করার অসুবিধা কারণ প্রাকৃতিক পরিবর্তনশীলতা উল্লেখযোগ্য (এন.আর.সি, 2003), যা মেঘের মাইক্রোফিজিক্স এবং ডায়নামিক্সের অ-রৈখিক প্রক্রিয়া এবং মিথস্ক্রিয়া দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

সুপারিশ কী কী?

মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের জাতীয় গবেষণা পরিষদ (NRC, USA) এই সমস্যার জন্য তিন উপাদানের সুপারিশ করেছে| ক) ভৌত পরীক্ষা খ) পরিসংখ্যানগত পরীক্ষা এবং গ) সংখ্যাগত বীজ বপন পরীক্ষা। এটি পরামর্শ দেওয়া হয়েছে যে নমুনার মধ্যে বিভিন্ন ধরনের পরিবেশ এবং প্রাকৃতিক অ্যারোসল থাকবে যা লক্ষ্য এলাকার অনুরূপ এবং বীজ বপনের ফলাফলের পুনরাবৃত্তিযোগ্য চরিত্র নথিভুক্ত করার জন্য অসংখ্য নমুনা প্রয়োজন। গবেষণাগুলি বৃষ্টিপাত প্রক্রিয়াতে ঘটনাগুলির ভৌতিক শৃঙ্খল নথিভুক্ত করার জন্য ইন সিটু পরিমাপের নির্দেশ করেছে| এইসব ক্ষেত্রে মেঘকে পরীক্ষা করার জন্য উন্নত প্রযুক্তির ব্যবহার এবং বৃষ্টিপাত গঠন প্রক্রিয়ার অনুসরণ এবং যাচাই করার জন্য উন্নত বীজ বপন মডেলগুলির ব্যবহার করতে হবে। বৃষ্টিপাতে বীজ উপাদান গমনপথ অনুসরণ করার জন্য ট্রেসার এবং বৃষ্টিপাতের রসায়নসহ বিভিন্ন ধরনের পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে বৃষ্টিপাতের সরাসরি পরিমাপের সুপারিশ করা হয়েছে।

বীজ বপনে কৌশল কি?

বিভিন্ন ধরনের বীজ বপন কৌশল চিহ্নিত করা হয়েছে, প্রধানত লক্ষ্য মেঘের প্রকারের উপর নির্ভর করে, যার মধ্যে শীতকালীন ওরোগ্রাফিক এবং গ্রীষ্মকালীন পরিবাহী মেঘগুলি সর্বাধিক চাহিদা রয়েছে। মধ্য-পশ্চিমাঞ্চলীয় মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র থেকে শীতকালীন ওরোগ্রাফিক মেঘে বীজ বপনের উপর একটি সমৃদ্ধ সাহিত্য রয়েছে যেখানে গ্লেসিওজেনিক বীজ বপন প্রয়োগগতভাবে করা হয়। SNOWIE প্রকল্পে, তিন-উপাদান পদ্ধতির মাধ্যমে সমস্যাটি সমাধানের চেষ্টা করা হয়েছিল। ভূমি-ভিত্তিক বীজ বপনের ভিত্তিতে, ওয়াইওমিং (Wyoming) পরীক্ষার সাম্প্রতিক ফলাফলগুলি বীজ বপনের প্রভাবে বৃষ্টিপাতের 5% বৃদ্ধির ইঙ্গিত দেয়।

গ্লেসিওজেনিক সিডিং নিয়ে গবেষণা কীভাবে করা হয়?

গ্লেসিওজেনিক সিডিং-এ, বরফ নিউক্লিয়াস হিসাবে AgI-এর বায়ুবাহিত প্রয়োগের পরে মেঘে মাইক্রোফিজিক্যাল প্রক্রিয়াগুলির পরীক্ষা করা হয়। বীজ বপনের কার্যকারিতার অনুমান আইডাহো (SNOWIE) পরীক্ষা (শীতকালীন অরোগ্রাফিক ক্লাউডে) থেকে বিমান এবং স্থল-ভিত্তিক রিমোট সেন্সিং যন্ত্রগুলিতে বিশদ যন্ত্র সহ পর্যবেক্ষণের উপর ভিত্তি করে করা হয়েছে।

ক্লাউড সিডিং-এর কার্যকারিতা প্রমাণ করার ক্ষেত্রে প্রধান চ্যালেঞ্জ কী?

বীজ বপনের কারণে বৃষ্টিপাতের শনাক্তকরণ ও পরিমাণ নির্ণয় করা প্রায় অসম্ভব কারণ এটিকে বৃষ্টিপাতের প্রাকৃতিক পরিবর্তনশীলতা থেকে বিচ্ছিন্ন করা যায় না। প্রাকৃতিক বৃষ্টিপাতের বড় পরিবর্তনশীলতায় বৃষ্টিপাতের মধ্যে বীজ বপনের প্রভাব একটি খুব ছোট সংকেত হবে। ক্লাউড সিডিং বাস্তবায়নের কার্যকারিতা মূল্যায়নের ক্ষেত্রে এটি সবচেয়ে বড় সমস্যা।

প্রযুক্তিতে সম্প্রতি কী কী পরিবর্তন হয়েছে?

মেঘের ত্রিমাত্রিক গঠন এবং বিবর্তন পর্যবেক্ষণের জন্য নতুন এবং উন্নত যন্ত্রপাতি এবং উন্নত সংখ্যাগত মডেলিং ক্ষমতা বৃষ্টিপাত বৃদ্ধির জন্য মেঘের বীজ বপনের সম্ভাবনা মূল্যায়নের ক্ষমতা প্রদান করেছে।

পরিবেশগত মূল্যায়নের জন্য কী পরামর্শ দেওয়া যেতে পারে?

বীজ বপনের লক্ষ্যস্থলে তুষারপাত বা বৃষ্টিপাতে রূপা ও অন্যান্য খনিজের উপস্থিতির বিশ্লেষণ করতে হবে। বীজ কণার বিচ্ছুরণ, পরিবহন, এবং স্থাপিত হওয়া নিক্ষেপ এলাকার অবস্থার উপর ভিত্তি করে বুঝতে হবে। বেশ কয়েকটি ক্ষেত্রে, বীজ বপনকারী উপাদানের সাথে ট্রেসার (চিহ্ন অনুসন্ধানকারী) ব্যবহার করা হয়। ভূমি-ভিত্তিক বীজ বপন, বায়ুবাহিত বীজ বপনের চেয়ে ভূপৃষ্ঠে অধিক ট্রেসার সনাক্ত করতে অবদান রেখেছে।

সাম্প্রতিক বছরগুলোতে কী কী অগ্রগতি হয়েছে?

রিমোট সেন্সিং এবং ইন সিটু পর্যবেক্ষণমূলক যন্ত্রপাতি, পোলারিমেট্রিক রাডার, ডপলার লিডার (lidar) আর এয়ারবোর্ন রাডার, সেল-ট্র্যাকিং সফটওয়্যার (i.e., Thunderstorm Identification, Track-ing, Analysis, and Nowcasting (TITAN); Dixon and Weiner 1993), Microwave রেডিওমিটার, বায়ুবাহিত যন্ত্র, মেঘ ঘনীভবন নিউক্লিয়াস এবং বরফ-নিউক্লিয়েটিং কণা পর্যবেক্ষণ, বীজ বপনের প্রভাব সামিল করে মেঘ এবং বৃষ্টিপাত-এর পদার্থবিদ্যা মডেলিং, উন্নত টার্গেটিং এবং মূল্যায়ন সরঞ্জাম (প্লুম ট্র্যাকিংয়, বীজের প্রভাব, ইত্যাদি-র জন্য মডেল) এই সবগুলিই বীজযুক্ত মেঘ এবং সংশ্লিষ্ট বৃষ্টিপাতের উপর আরও বোধগম্যতা সরবরাহ করে।

পৃথিবী জুড়ে আবহাওয়া পরিবর্তনের ঘটনাবলির কালানুক্রম

1940:

- শুকনো বরফ অতিশীতল তরল মেঘে বরফ কণা সৃষ্টি করে (Schaefer 1946)
- সিলভার আয়োডাইড (AgI), অতিশীতল মেঘে বরফ কণা সৃষ্টি করে (ভোনেগুট 1947)
- ন্যাশনাল একাডেমি অফ সায়েন্সেস রিপোর্ট, ডাব্লুএমও রিপোর্ট, এবং আরও অনেক কিছু।
- বিশেষ কমিশন অন ওয়েদার মডিফিকেশন (1966)
- লক্ষ্য এবং নিয়ন্ত্রণ পদ্ধতির ব্যবহার করে পরিসংখ্যান বিশ্লেষণ ত্রুটিপূর্ণ ছিল (রংনো 1979)

1970:

- বায়ুবাহিত অপটিক্যাল অ্যারে প্রোব এবং রাডারের ব্যবহার (ধ্রুবীকরণ) উন্নত স্তর হচ্ছে

- আইআইটিএম দ্বারা ভারতে ক্লাউড সিডিং পরীক্ষা এবং মেঘ পদার্থবিদ্যা অধ্যয়ন

1980 -90s:

- (1982 সালে কেরের রিপোর্টের পর), ক্লাউড সিডিং গবেষণার জন্য কোনো তহবিল নেই
- ওয়াইওমিং এবং আইডাহোতে ওরোগ্রাফিক ক্লাউড সিস্টেম, দক্ষিণ আফ্রিকা ও থাইল্যান্ড থেকে সংবহনশীল ঝড় থেকে বৃষ্টিপাত বৃদ্ধির গবেষণা (সিলভারম্যান 2001a,2003)
- 1980 সালে চীনা শিলাবৃষ্টি দমন পরীক্ষা। বর্তমানে, চীনের বেইজিং ওয়েদার মডিফিকেশন অফিস, বিশ্বের বৃহত্তম বলে মনে করা হয়, যেখানে সারা দেশে 37,000 লোক ক্লাউড সিডিং দিকটি নিয়ে গবেষণা করছে
- আইআইটিএম পরিচালিত 11 বছরের ক্লাউড সিডিং (মুর্টি এট আল, 2000)

- **2003**
  - এন.এ.সি. রিপোর্ট: ক্লাউড সিডিং মূল্যায়নের জন্য নতুন প্রযুক্তির সম্ভাব্য প্রয়োগ
  - বিমান ও রাডারের সাহায্যে মেঘের কাঠামোর ভৌত মূল্যায়ন এবং এই মেঘগুলির মডেল করা

- **2008**
  - বেইজিং গ্রীষ্মকালীন অলিম্পিকে বৃষ্টি দমন কর্মসূচি
  - কাইপেক্স (CAIPEEX) পর্ব -I (2009), কাইপেক্স পর্ব -II (2010-2011)
- **2015:**
  - পর্যবেক্ষণ প্রযুক্তি এবং মডেলিং সক্ষমতায় উল্লেখযোগ্য অগ্রগতি (বিভিন্ন ধরনের রাডার, রেডিওমিটার, এয়ারবোর্ন প্রোব) (Geerts et al. 2015)
  - কাইপেক্স (CAIPEEX) তৃতীয় পর্যায় (2014-15) পাইলট পরীক্ষা
- **2016:**
  - 56 টি দেশে আবহাওয়া পরিবর্তনের সক্রিয় অপারেশন ছিল (ব্রুইন্টজেস 2016, ডাব্লুএমও)।

- **2018:**
    - ডব্লিউএমও পিয়ার রিভিউ রিপোর্ট 2018: শারীরিক শৃঙ্খল ঘটনাগুলি বরফ এবং মিশ্র-ফেজ মেঘের উপর আরও গবেষণার প্রয়োজনীয়তা প্রদর্শন করেছিল। আরও গবেষণা করার পরামর্শ দেওয়া হয়েছে।
    - মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে 36 টি সক্রিয় আবহাওয়া পরিবর্তন কর্মসূচি হচ্ছে। প্রায় অর্ধেক প্রকল্প গ্রীষ্মকালে এবং বাকি অর্ধেক শীতকালে পরিচালিত হয়। প্রকল্পগুলো রাজ্য সরকার, স্থানীয় সরকার, বেসরকারি খাত এবং বীমা কোম্পানি দ্বারা অর্থায়ন করা হয়। কিছু প্রকল্প একটি গবেষণা উপাদান অন্তর্ভুক্ত করে।
- **2019:**
    - বেশ কয়েকটি প্রোগ্রাম রয়েছে, তুষারপাত হত্তয়া জলাধার বাড়ানোর জন্য শীতকালীন ক্লাউড সিডিং, নর্থ ডাকোটায় শিলাবৃষ্টি-নিপীড়ন অভিযান, টেক্সাসে পরিবাহী ঝড় থেকে বৃষ্টি বৃদ্ধি, অস্ট্রেলিয়ার তুষারময় পর্বতমালার ওরোগ্রাফিক মেঘ (ম্যানটন এবং ওয়ারেন 2011), কাইপেক্স; CAIPEEX (2009 সাল থেকে),
- 2020
    - গ্লেসিওজেনিক সিডিং এর জন্য (SNOWIE থেকে) ভূমিতে তুষার বৃদ্ধির উপর নথিবদ্ধ প্রমাণ
- 2021
    - কাইপেক্স থেকে রেন্ডমাইজেশন এক্সপেরিমেন্ট ব্যবহার করে পরিবাহী মেঘে হাইগ্রোস্কোপিক সিডিংয়ের নথিবদ্ধ প্রমাণ
    - মেঘের মধ্যে বীজ কণা ট্র্যাকিং

ক্লাউড সিডিং-এর জন্য প্রয়োজনীয় মৌলিক উপাদানগুলো কী কী?

বায়ু-ভিত্তিক ক্লাউড সিডিং এবং স্থল-ভিত্তিক ক্লাউড সিডিং এর বিভিন্ন প্রয়োজনীয়তা রয়েছে

বায়ু-ভিত্তিক বীজ বপন

বায়ুবাহিত মেঘের বীজ বপন একটি বিমান দিয়ে করা যেতে পারে যা ভূপৃষ্ঠ থেকে অনেক বেশি উচ্চতায় জ্বলন্ত শিখা দিয়ে মেঘের বীজ বপন করতে পারে। এই প্রয়োজনটি আসে যখন মেঘের তলদেশ অনেক উচ্চতায় থাকে বা মেঘের শীর্ষ থেকে বীজ বপন করতে হয়।

ক্লাউড সিডিং-এর বিমানটি হবে একটি পরিবর্তিত বিমান, যার উভয় ডানায় ফ্লেয়ার তাক সংযুক্ত থাকবে এবং বিমানের ভেতরে ট্রিগারিং ইলেকট্রনিক সার্কিট থাকবে। পাইলটরা ইলেকট্রনিক সুইচের মাধ্যমে আগুনের শিখা জ্বালিয়ে দেবে।

বীজ বপনকারী বিমানের সর্বনিম্ন সবিস্তার বিবরণী নিম্নরূপ হতে হবে.

Parameter/পরামিতি	**specification (at maximum gross weight)/ সবিস্তার বিবরণী (সর্বোচ্চ মোট ওজনে)**
Minimum lowest operating altitude	500-1000 ft AMSL
Minimum highest operating altitude	25000 to 28000 ft AMSL with full load and full fuel (Note: The aircraft should be able to do the cloud top seeding)
Sampling Speed	60-120 m/s
Ascent rate	400 – 500 ft /min
Endurance	4 – 5 hours
Range	2000 km minimum
Special requirements	Air inlets (isokinetic inlet and reverse flow inlet) instrument racks
Instruments	Certification for listed instrument inlets and related modifications
Research power	> 5kW at 28VDC > 2kW at 220VAC 60Hz > 1kW at 115VAC 60Hz

বিমান আমদানি ও পরিচালনার জন্য একাধিক অনুমতির প্রয়োজন হয়। অনুমতিগুলি বিভিন্ন কর্তৃপক্ষ যেমন DGCA, AAI, DRI, MHA, কাস্টমস, প্রতিরক্ষা মন্ত্রক, আঞ্চলিক এবং স্থানীয় বিমানবন্দর কর্তৃপক্ষ, স্থানীয় আইন প্রয়োগকারী ইত্যাদির কাছ থেকে নেওয়া হয়।

শব্দকোষ (Glossary)

অ্যারোসল (Aerosol): Suspended particles in the atmosphere, composed of either solid or liquid particles

পুঁজিকৃত হওয়া (Aggregation): The process by which ice crystals stick together and grow in size and mass

বার্ন-ইন প্লেস ফ্লেয়ার (Burn-in-place flare): Cloud seeding Flare that is fitted on the wing of the aircraft and ignited with a short circuit.

মেঘের ফোঁটা (Cloud droplet): Water drops having a size in the range of 2-50 micrometer and suspended in the air. An aggregation of cloud droplets forms the cloud.

ক্লাউড কনডেনসেশন নিউক্লিয়াস (Cloud condensation nuclei (CCN)): Aerosol particles that have an affinity for water vapour and can form cloud droplets under supersaturated conditions

ক্লাউড সিডিং ফ্লেয়ার (Cloud seeding Flare): Compressed cloud seeding material which is burnt to produce smoke containing numerous CCN

মেঘের তলদেশ (**Cloud base):** Height above the MSL where clouds start forming due to condensation of water vapour in the atmosphere on the aerosol particles

মেঘের গভীরতা (Cloud depth): Difference between the cloud top and cloud base heights

ক্লাউড সিডিং (Cloud seeding): The use of additional known and well-characterized aerosols, other than those present in the atmosphere, that can form different-sized cloud droplets with the intention to influence the process of raindrop formation

সংঘর্ষ-একত্রিত (**Collision-coalescence):** Primary process, affected mainly by the turbulent flow inside a cloud, through which warm rain formation occurs. The seemingly chaotic movement of fine cloud droplets makes them collide and coalesce to form bigger droplets. The large enough (having size >24 micrometres) cloud droplets feel the force of gravity and fall through the cloud. During this fall, they collide with other small droplets and become even larger in size finally leading to the formation of raindrops

ডেনড্রাইটস (Dendrites): Pristine ice particles in the cloud that grow on the ice nucleating particles (CCN for ice formation) by depositing water vapour in the atmosphere. These are formed in the region where the ambient temperature is between -12 to -16^{o}C

মূল্যায়ন সাইট (Evaluation site): Region where cloud seeding evaluation is carried out by checking the natural rainfall

ইজেক্টেবল ফ্লেয়ার (Ejectable flare): Flares that are dropped from the aircraft's fuselage into a growing cloud

গ্ল্যাসিওজেনিক (হিমবাহী) বীজ বপন (**Glaciogenic seeding):** Introducing ice-forming particles (CCN for ice formation) in the cold region of the clouds. This is usually carried out at the top of the cloud having a sufficient liquid water content

মেঘের বরফে পরিণত হওয়া (Glaciation of a cloud): The process of formation of complete ice particles without any liquid water left over. This process forms ice clouds

মিশ্র-দশা মেঘ (Mixed-phase clouds): Clouds with the presence of both cloud water and ice

হাইগ্রোস্কোপিক (জলাকর্ষী) বীজ বপন (**Hygroscopic seeding):** Introducing cloud seeding particles that could lead to the formation of water drops. These are usually dispersed at the base of the cloud, but sometimes may as well be introduced inside the cloud under certain conditions

H-M প্রক্রিয়া (H-M Process): Hallet-Mossop (H-M) process in clouds occurs in the temperature range -3 to -10 ^{o}C where the spontaneous breakup of freezing liquid drops and the resulting splintering leads to the production of many ice crystals. This is a commonly observed process in the monsoon clouds

গ্ল্যাসিওজেনিক কণা (**Ice nuclei particle (INP)):** Ice-forming particles in the atmosphere

সংখ্যাগত সিমুলেশন (**Numerical simulations):** Mathematical equations describing the atmospheric state, cloud development, and rain formation are solved with the help of a computer. This numerical experiment may be used to study the impact of cloud seeding over a region of interest

পদার্থবিদ্যাগত পরীক্ষা (**Physical experiment):** The impact of cloud seeding is checked physically with sophisticated instruments to register the growth of cloud droplets and the formation of raindrops

পোলারিমেট্রিক রাডার (Polarimetric radar): A dual-polarised C-band Doppler radar that can measure the geometric (shape, size, etc.) and mechanical (displacement, velocity, etc.) properties of the rain and ice particles in a cloud

রেন্ডমাইজেশন পরীক্ষা (Randomization experiment): The clouds are seeded in a random manner following standard randomization procedures. Rainfall from the seeded and unseeded clouds are compared for statistical tests

বৃষ্টির ফোঁটা (Raindrop): Water drops with sizes from 1- 6 mm. These are formed by the melting of ice or the collision coalescence of cloud drops

সেকেন্ডারি বরফ উৎপাদন (Secondary ice production): The formation of ice particles in the cloud via indirect processes other than the ice nucleation process

অতিরিক্ত ঠান্ডা (সুপারকুল্ড) তরল জল (Supercooled water): The condensed water in the sub-zero region of the cloud

টার্গেট সাইট (Target site): The region where cloud seeding is done for rain enhancement

উল্লম্ব বেগ (Vertical velocity): Vertical velocity at a location, typically within the cloud or in the atmosphere, in general. A stream of air with upward(downward) vertical velocity is called an updraft(downdraft).

উষ্ণ মেঘের স্তর (Warm cloud layer): The layer of cloud wherein the temperature is above $0^{o}C$.

আরও পড়ুন (Further Reading):

1. Review on advances in Precipitation enhancements (Summary of the assessment report by WMO on the convective cloud and winter orographic cloud seeding) https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/100/8/bams-d-18-0160.1.xml
2. Quest for Effective hygroscopic cloud seeding https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/49/7/2010jamc2307.1.xml
3. Book on Cloud Seeding by J.R. Kulkarni https://www.flipkart.com/cloud-seeding/p/itm1f498f030c184
4. Rain Enhancement Technology: Making Sense of the "Cloud Seeding" Program in India - https://doi.org/10.1177/02704676209637

5. WMO document of weather modification; Updated in the meeting of the Expert Team on Weather Modification Research Phitsanulok, Thailand, 17-19 March 2015
6. WMO, 2018: Plans and guidance for weather modification activities. Executive Council: Sixty-ninth session, WMO Rep. WMO-1196, 261–264.
7. WMO, 2018: Peer review report on Global Precipitation Enhancement Activities. WWRP- No. 2018-1. https://filecloud.wmo.int/share/s/_ujeyRLhRxGYsN05nO6X_Q
8. Prabhakaran et al., 2023 Indian cloud seeding scientific experiment, BAMS **https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0291.1** (provides a comprehensive result of CAIPEEX Phase IV with randomization experiment results on the hygroscopic seeding. A complete list of various hygroscopic seeding experiments are found in the appendix
9. Pokharel, B., and Coauthors, 2021: A modelling examination of cloud seeding conditions under the warmer climate in Utah, USA. Atmos. Res., 248, 105239, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105239. (This paper provides glaciogenic seeding in the USA)
10. Kulkarni, J. R., S. B. Morwal, and N. R. Deshpande, 2019: Rainfall enhancement in Karnataka state cloud seeding program "Varshadhare" 2017. Atmos. Res., 219, 65–76, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.020. (Opertional cloud seeding evaluation from Karnataka)
11. Kulkarni, J. R., and Coauthors, 2012: The cloud aerosol interaction and precipitation enhancement experiment (CAIPEEX): overview and preliminary results. Curr. Sci. 102(3), pp. 413-425 (Overview of CAIPEEX Phase I experiment)
12. Abshaev, A. M., A. Flossmann, S. T. Siems, T. Prabhakaran, Z. Yao, and S. Tessendorf, 2022: Rain enhancement through cloud seeding. Unconventional Water Resources, Springer International Publishing, 21–49 https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-90146-2_2. (A book chapter on the cloud seeding)
13. T.P. DeFelice, D. Axisa, John J. Bird, C. Alexander Hirst, Eric W. Frew, R.P. Burger, D. Baumgardner, Gerhard Botha, Henno Havenga, Dan Breed, S. Bornstein, C. Choate, Ceu Gomez-Faulk, Michael Rhodes, Modern and prospective technologies for weather modification activities: A first demonstration of integrating autonomous uncrewed aircraft systems, Atmospheric Research, Volume 290, 2023, 106788, ISSN 0169-8095, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106788. (Illustrates the use of drones for cloud seeding)

14. Dixon, M., and G. Wiener, 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting—A Radar-based Methodology. J. Atmos. Oceanic Technol., 10, 785–797, https://doi.org/10.1175/1520-0426(1993)010<0785:TTITAA>2.0.CO;2. (Can use this freely available software to analyse the radar data and develop information the storm tracks)
15. Geerts, B., Q. Miao, Y. Yang, R. Rasmussen, and D. Breed, 2010: An Airborne Profiling Radar Study of the Impact of Glaciogenic Cloud Seeding on Snowfall from Winter Orographic Clouds. J. Atmos. Sci., 67, 3286–3302, https://doi.org/10.1175/2010JAS3496.1. (A comprehensive study using radar illustrating the cloud seeding impact)
16. Hosari, A., T., and Coauthors, 2021: The UAE Cloud Seeding Program: A statistical and physical evaluation. Atmosphere (Basel)., 12, 1013, https://doi.org/10.3390/atmos12081013. (Illustrates the statistical evaluation of operational cloud seeding in UAE with radar)
17. Murty, A. S. R., Coauthors, 2000: 11-year warm cloud seeding experiment in Maharashtra State, India. J Wea Mod, 32, 10–20 (Results of Indian cloud seeding experiment over 11 years)
18. Nagaraja, K. and Manikiam, B., 2020: Cloud seeding in Karnataka–initial results, VayuMandal, 46(2) (Operational cloud seeding by Karnatake)
19. UN-Water, 2020: UN-Water Analytical Brief on Unconventional Water Resources. Geneva, Switzerland. (Illustration of unconventional water resources by United Nations and cloud seeding is one of the methods)
20. CAIPEEX policy report on cloud seeding (A report prepared for policy makers and common public on the results of the CAIPEEX IV scientific investigation and the randomied cloud seeding. https://www.tropmet.res.in/~lip/Publication/Technical-Reports/CAIPEEX-Report-July2023.pdf

21. Schaefer, Vincent J. "The Early History of Weather Modification." *Bulletin of the American Meteorological Society* 49, no. 4 (1968): 337–42. http://www.jstor.org/stable/26252023.