

ढग बीजीकरणावरील सर्वसाधारण प्रश्नोत्तरांवरील दस्तऐवज



(छायाचित्र: कलाऊड बेस जवळील बर्न इन प्लेस फ्लेअर्स प्रज्वलनाने केले जाणारे जलआधारीन मेघ बीजीकरण)

तारा प्रभाकरन, गायत्री कुलकर्णी, नीलम मालप, सुदर्शन बेरा, अभिषेक गुप्ता, महेन कुंवर, शिवसाई दीक्षित, शिबानी भट्ट, मर्सी वर्गीस, बी. जयाराव, प.मुरुगवेल



भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (आईआईटीएम)

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (एम ओ इ एस)

पुणे, भारत

<http://www.tropmet.res.in/>

आई एस एस एन 0252-1075
आई आई टी एम कडून योगदान
विविध प्रकाशने क्र. 11
ईएसएसओ/आईआईटीएम/पीडीटीसी/एमपी/01(2024)/202

ढग बिजीकरणावरील सर्वसाधारण प्रश्नोत्तरांवरील दस्तऐवज

तारा प्रभाकरन, गायत्री कुलकर्णी, नीलम मालप, सुदर्शन बेरा, अभिषेक गुप्ता, महेन कुंवर,
शिवसाई दीक्षित, शिबानी भट्ट, मर्सी वर्गीस, बी. जयाराव, प.मुरुगवेल

भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय, पुणे -411008

* संबंधित पत्ता:

डॉ. तारा प्रभाकरान
भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान,
डॉ होमी भाभा रोड, पाषाण,
पुणे – 411008, भारत.
ईमेल: thara@tropmet.res.in
फोन नंबर: +91-(0)20-25904371



भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान (आई आई टी एम)
पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (एम ओ इ एस)
पुणे, भारत
<http://www.tropmet.res.in/>

दस्तऐवज नियंत्रक पत्रक

पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय (एम ओ इ एस)

भारतीय उष्णकटिबंधीय हवामानशास्त्र संस्था (आई आई टी एम)

ईएसएसओ दस्तऐवज क्रमांक

ईएसएसओ/आईआईटीएम/पीडीटीसी/एमपी/01(2024)/202

अहवालाचे शीर्षक

ढग बीजीकरणावरील सर्वसाधारण प्रश्नोत्तरांवरील दस्तऐवज

लेखक

तारा प्रभाकरन, गायत्री कुलकर्णी, नीलम मालप, सुदर्शन बेरा, अभिषेक गुप्ता, महेन कोंवर, शिवसाई दीक्षित, शिबानी भट्ट, मर्सी वर्गीस, बी. जयराव, पी. मुरुगावेल

मराठी अनुवाद

गायत्री कुलकर्णी, नीलम मालप

भाषांतराचे पुनरावलोकन

डॉ. अश्विनी कुलकर्णी

दस्तऐवजाचा प्रकार

विविध प्रकाशने

पृष्ठे आणि आकृत्यांची संख्या

33, 03

संदर्भाची संख्या

21

मुख्य शब्द

ढगांचे बीजीकरण, CAIPEEX, वारंवार विचारले जाणारे प्रश्न

सुरक्षा वर्गीकरण

खुले

वितरण

अप्रतिबंधित

प्रकाशनाची तारीख

फेब्रुवारी २०२४

गोषवारा

ढग बीजीकरणावरील सर्वसाधारण प्रश्नोत्तरांवरील हा एक सामान्य दस्तऐवज आहे

सारांश

ढग बीजीकरण हा संशोधकांसाठी तसेच सामान्य लोकांसाठी अनेक वर्षांपासून आवडीचा विषय आहे. शेती आणि अर्थव्यवस्थेला चालना देण्यासाठी पाणी टंचाई असलेल्या भागात पर्जन्यमान वाढवण्यासाठी हे एक प्रभावी तंत्र आहे. हा दस्तऐवज भारतातील ढग बीजीकरणाचा इतिहास देतो, सामान्य माणसाच्या दृष्टीने क्लाउड सीडिंगची माहिती समाविष्ट करतो, आणि सामान्य लोकांच्या, प्रशासकांच्या आणि धोरणकर्त्यांच्या मनात उद्भवणाऱ्या बहुतेक प्रश्नांची उत्तरे देतो.

अनुक्रमणिका

प्रस्तावना	2
1. ढगांचे बीजीकरण म्हणजे काय?	3
2. ढग बीजीकरणाचे प्रकार कोणते आहेत?	4
3. ढगांचे बीजीकरण कसे केले जाते? ढगांमध्ये बीज कण वितरीत करण्याचा प्रभावी मार्ग कोणता आहे?	4
4. ढग बीजीकरणासाठी कोणत्या प्रकारचे बीज कण आवश्यक आहेत?	5
5. ढग बीजीकरणाचे भौतिकशास्त्र काय आहे?	6
6. वाढणारे ढग कसे ओळखता येतील?	6
7. ढगांच्या गुणधर्माबद्दल कसे जाणून घ्यावे?	7
8. ढगांचे बीजीकरण उपयुक्त आहे का? आणि कोणत्या प्रकारच्या ढगांसाठी? काही पुरावा आहे का?	8
9. ढग बीजीकरणासाठी आर्द्रतेची उपलब्धता महत्वाची आहे का?	8
10. ढगांचे बीजीकरण कोणत्या परिस्थितीत काम करेल?	9
11. ढग बीजीकरणाची परिणामकारकता आपण कशी मोजू शकतो?	9
12. भारतात ढग बीजीकरणाचा इतिहास काय आहे?	9
13. CAIPEEX हा संशोधन कार्यक्रम काय आहे?	11
14. CAIPEEX च्या वेगवेगळ्या टप्प्यांमध्ये काय केले गेले?	12
15. पाऊस बीजीकरणामुळे कृत्रिमरित्या पडतो की नैसर्गिकरित्या पडतो हे कसे ओळखायचे?	13
16. आम्ही ढगांच्या बीजीकरणामध्ये यादृच्छिकीकरणास प्राधान्य का देतो?	14
17. कोणत्या प्रकारच्या बीजारोपणास अनुकूलता आहे (जलआधारीन / बर्फआधारित)?	15
18. ढग बीजीकरण दरम्यान किती बीजन साहित्य वापरावे? आपण हे प्रमाण नियंत्रित करू शकतो का?	15
19. ढगांवर बीजन सामग्रीच्या अतिवापराचा काय परिणाम होतो?	15
20. बीजन सामग्री कशी सुधारायची? आपण आजकाल वापरत असलेल्या बीजन साहित्यावर किती खात्री आहे?	15
21. बीजना दरम्यान ढग ओळखण्यासाठी सर्वोत्तम रडार कोणता आहे?	16
22. बर्फआधारित बीजीकरण खरोखर प्रभावी आहे का, जर होय तर आपण हे सर्व वेळ का वापरत नाही?	16

23. बीजीकरण झाल्यावर ढगांमध्ये पर्जन्य सुरु होते, पण कधी कधी पाऊस जमिनीपर्यंत पोचत नाही,असे का? 17
24. ढग बीजीकरण दरम्यान येणाऱ्या व्यावहारिक अडचणी? 17
25. भारतामध्ये बीजीकरण दरम्यान उड्डाण करण्यासाठी आवश्यक असलेले अनेक निर्बंध कसे हाताळायचे? 18
26. भविष्यात भारतात किंवा कोठेही यशस्वीपणे बीजीकरण करण्यासाठी कोणत्या प्रकारच्या पायाभूत सुविधांची आवश्यकता आहे? 18
27. पावसाचे प्रमाण वाढवण्यासाठी नेहमी ढगांचे बीजीकरण केले जाते का? पावसाचे प्रमाण कमी करण्यासाठी कोणते ढग बीजीकरण आहे का? 18
28. ढग बीजीकरण प्रक्रियेचा वापर करून दाट धुके दूर करणे शक्य आहे का? 18
29. ढग बीजीकरणाचे एरियल कव्हेरेज काय आहे? 19
30. ढग बीजीकरणामुळे मोठ्या क्षेत्रावरील एकूण पर्जन्यमान वाढू शकते का किंवा ते मोठ्या क्षेत्रावरील पावसाचे पुनर्वितरण करू शकते का? 19
31. कोणत्याही प्रकारच्या भूभागावर ढगांचे बीजीकरण करता येते का कि क्षेत्र निवडण्यासाठी काही निकष आहेत ? 19
32. पेरणीनंतर ढग बीजीकरण सामग्रीचे आयुष्य किती असते? 19
33. ढग बीजीकरणामुळे काही नैसर्गिक धोका होऊ शकतो का? 19
34. विमान वापरण्याऐवजी पर्यायी, कमी खर्चिक पद्धती कोणत्या आहेत? 20
35. ढग नसतानाही पेरणी केल्याने पाऊस पडू शकतो असा एक सामान्य समज आहे. हे खरे आहे का? 20
36. पेरणीमुळे चांगले सिंचन होऊ शकते आणि त्यामुळे जमिनीच्या वापराच्या पद्धती बदलतात याचा परिणाम काय होऊ शकतो? 20
37. ढग बीजीकरण प्रयोग पूर्व-मान्सून हंगामात संवहनी ढगांमध्ये गारांचे प्रमाण कमी करू शकतो का? 20
38. भारतातील योग्य ठिकाणे कोणती आहेत जिथे ढग बीजीकरणाचे प्रयोग केले जाऊ शकतात? 20
39. ढग बीजीकरण सामग्री आपल्या पर्यावरणासाठी सुरक्षित आहे का? 20
40. ढग बीजीकरणाच्या प्रभावीतेचा पुरावा आहे का? 21
41. मेघ बीजीकरण अभियान (ऑपरेशनल क्लाउड सीडींग) 22
42. ढग बीजीकरणासाठी संवहनी ढग एक आव्हान का आहेत? 23
43. ढग बीजीकरणाची आंतरराष्ट्रीय स्थिती काय आहे 23
44. ढगांच्या बीजीकरणामध्ये सर्वात मोठे आव्हान कोणते आहे? 24
45. ढग बीजीकरणासाठी काय शिफारशी आहेत? 24

46.बीजन धोरण काय आहे?	24
47.ग्लेशियोजेनिक सीडिंगवर संशोधन अभ्यास कसा केला जातो?	25
48.ढग बीजीकरणाची परिणामकारकता सिद्ध करण्यात मोठे आव्हान कोणते आहे?	25
49.तंत्रज्ञानात अलीकडे काय बदलले आहेत?	25
50.पर्यावरणीय मूल्यांकनासाठी काय सुचवले जाऊ शकते?	25
51.अलिकडच्या वर्षात काय प्रगती आहे?	26
52.जगभरातील हवामान बदलातील घटनांचा कालक्रम	26
53.ढग बीजीकरणासाठी कोणते मूलभूत घटक आवश्यक आहेत?	28
शब्दकोष	29
अतिरिक्त वाचन	32

मेघ बीजकरण अथवा क्लाउड सीडिंगवरील सर्वसाधरण
प्रश्नोत्तरांवरील दस्तऐवज



CAIPEEX फेज IV

मेघ बीजकरण प्रयोग

योगदाते: तारा प्रभाकरन, गायत्री कुलकर्णी, नीलम मालप, सुदर्शन बेरा, अभिषेक गुप्ता, महेन कुंवर, शिवसाई दीक्षित, शिबानी भट्ट, मर्सी वर्गीस, बी. जयाराव, प.मुरुगवेल

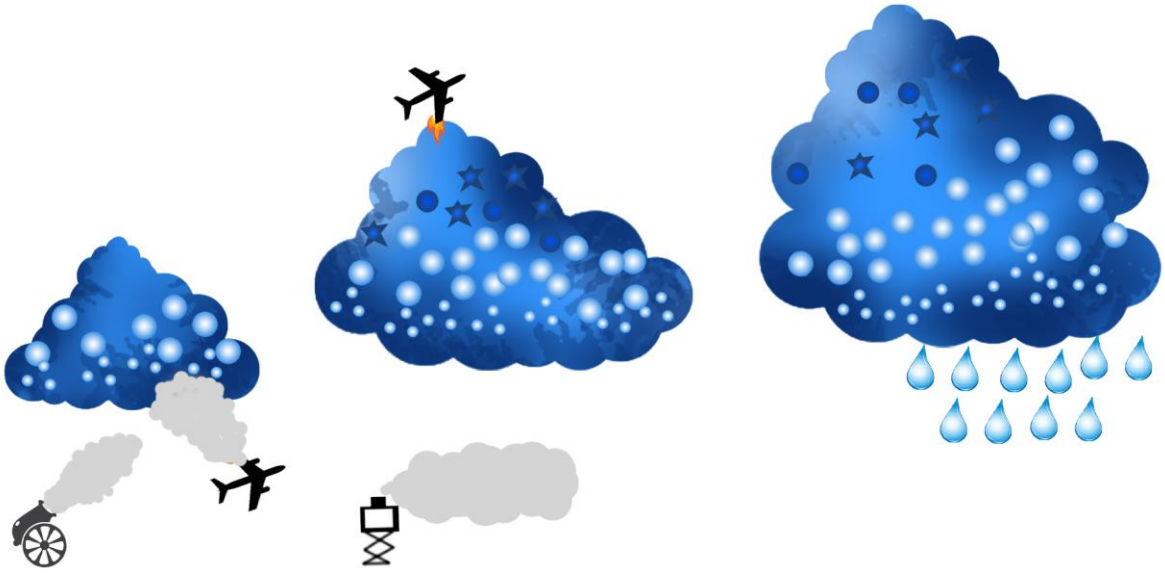
अनुवाद: गायत्री कुलकर्णी, नीलम मालप

प्रस्तावना

या दस्तवेजामध्ये मेघ बीजकरणबद्दल सामान्यतः विचारले जाणारे प्रश्न आणि त्यांची उत्तरे नमुद केली आहेत. हा दस्तऐवज CAIPEEX टीमने तयार केला आहे जो धुळीकण- मेघ परस्प्रक्रिया आणि पर्जन्य यांच्या संशोधनावर आधारित आहे. आम्हाला आशा आहे की हा दस्तऐवज इच्छुक व्यक्तींना उपयुक्त ठरेल

1. मेघ बीजकरण म्हणजे काय?

मेघ बीजकरण हे 75 वर्षांपूर्वीचे जुने तंत्र आहे (पहिल्या दस्तऐवजीकरणाचे प्रणेते शेफर 1946 आणि वोन्नेगट 1947 हे होते) ढगांमध्ये बीज कणांचा सहाय्याने योग्य बदल करून पाऊस वाढवण्यासाठी वापरले जाते. हे बीज कण म्हणजे 'क्लाउड कंडेन्सेशन न्यूक्ली (CCN), असे एक कण असतात ज्यावर पाण्याची वाफ घनीभूत होते' किंवा 'बर्फ केंद्रक कण (IN), हे असे एक कण ज्यावर पाणी गोठते'. वातावरणातील तरंगणाऱ्या एरोसोल कणांचा उपसंच असतात. यातील CCN कणांना बाष्प कणांचे आकर्षण असते, जे पुढे ढगांमधील थेंब तयार होण्यास कारणीभूत ठरतात. बर्फाच्या केंद्रक कणांमध्ये (IN) बर्फाचे कण तयार करण्याची क्षमता असते. सामान्यतः हे कण मेघ आधार किंवा मेघ शीर्षजवळ वितरीत करण्यासाठी विमानाचा वापर केला जातो. मेघ आधार बीजीकरण हा एक असा प्रकार आहे जेथे क्युम्युलस (फुलकोबीसारखे दिसणारे) ढगांच्या तळाच्या खाली बीज कण सोडले जातात, ज्याचा तळ उबदार असतो (ढगांच्या तळाचे तापमान शून्य अंशापेक्षा जास्त उबदार असते). मेघ शीर्ष बीजकरण थंड ढगांमध्ये (जेथे तापमान शून्य अंशापेक्षा कमी आहे) केले जाते. उबदार मेघ आधार बीजकरणाला "जलआधारीन बीजीकरण" म्हणतात आणि थंड मेघ बीजीकरण "बर्फआधारीन बीजीकरण" म्हणतात.



हायग्रोस्कोपिक आणि ग्लेशियोजेनिक सीडिंगचे अर्कचित्र

2. मेघ बीजकरण प्रकार कोणते आहेत?

A. जलआधारीन बीजीकरण:

उबदार ढगांमध्ये, सोडियम क्लोराईड (NaCl), पोटॅशियम क्लोराईड (KCl), किंवा कॅल्शियम क्लोराईड चा (CaCl₂) वापर बीजकरण घटक म्हणून केला जातो आणि या पद्धतीला जलआधारीन मेघ बीजीकरण म्हणतात. जलआधारीन बीजीकरणमध्ये, पावसाच्या निर्मितीची कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी नैसर्गिक CCN पेक्षा मोठ्या सीसीएनसह (0.5 μ m ते 3 μ m कोरड्या व्यासाच्या) बीजारोपण (ड्रॉप स्पेक्ट्रम विस्तृतीकरण आणि न्यूक्लिएशन प्रक्रियेदरम्यान) एकत्रीकरणास प्रोत्साहन दिले जाते

B. बर्फआधारीत बीजीकरण:

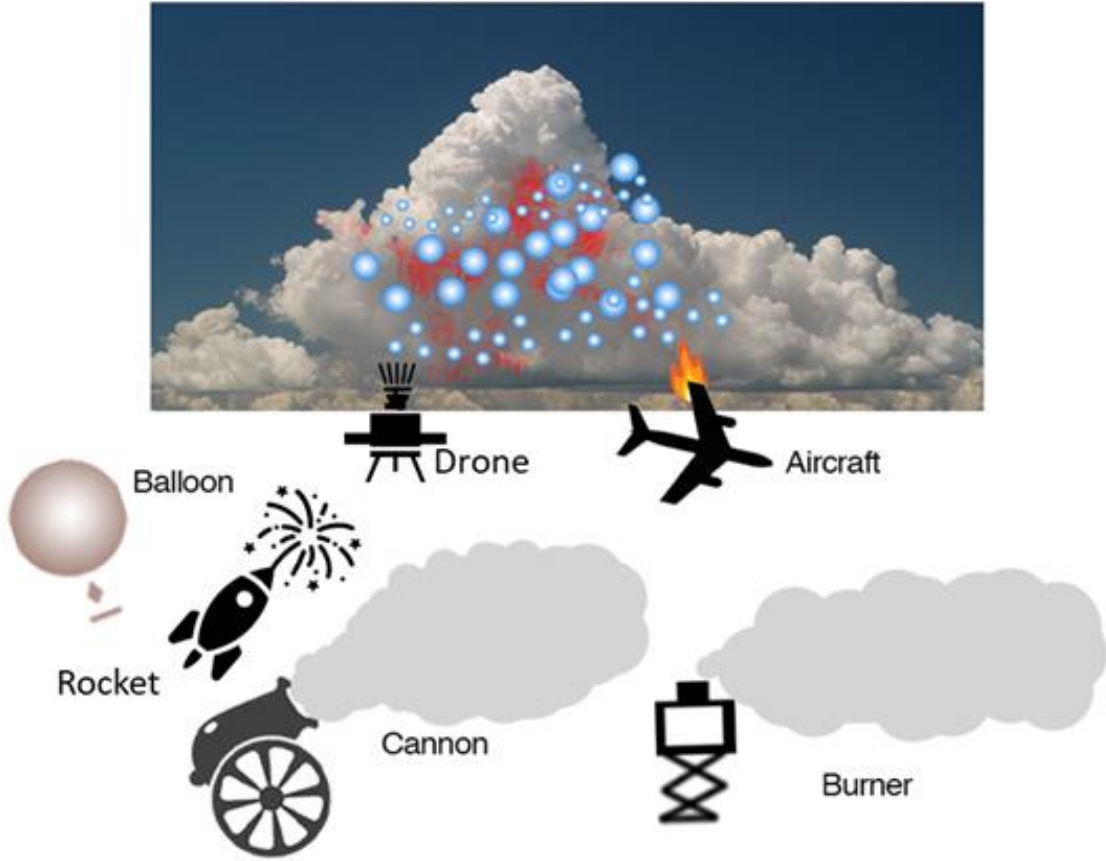
अतिशीत (0°C पेक्षा कमी) तापमान असलेल्या ढगात, सामान्यतः, सिल्व्हर आयोडाईड (AgI) हे बीजकरण घटक म्हणून वापरले जाते आणि अशा बीजन पद्धतीला ग्लेशियोजेनिक बीजकरण म्हणतात. अति थंड ढगांमध्ये बर्फाचे उत्पादन सुरू करणे आणि पर्जन्यवृष्टी वाढवणे या संकल्पेने हे बीजकरण केले जाते. बियांचे कण (AgI पेलेट्स) हे असे ठिकाण म्हणून काम करतील की जिथे 0 च्याही खाली तापमानात (सुपर कूल्ड वॉटर) पाणी साठते आणि बर्फाचे स्फटिक तयार होतात. हे बर्फाचे स्फटिक अधिक पाणी साठून तसेच वरून पडणाऱ्या इतर बर्फाच्या स्फटिकांशी टक्कर देऊन वाढतात. ते पुढे उष्ण तापमानातून खाली येतात आणि वितळून पावसाचे थेंब तयार होतात.

आदर्श मेघ बीजीकरण हे विमानाच्या पंखांना लावलेल्या फ्लेअर्सने (पायरोटेक्निक साहित्याबरोबर ज्वलनशील घटक ट्यूब मध्ये दबावात ठेवलेले घटक) केले जाते. हे फ्लेअर्स मेघ आधारवर किंवा ढगांच्या आत बीजन सामग्री वितरीत करण्यासाठी वापरले जातात.

3. मेघ बीजकरण कसे केले जाते? ढगांमध्ये बीज कण वितरीत करण्याचा प्रभावी मार्ग कोणता आहे?

मेघ बीजीकरण क्लाउड बेस जवळ किंवा ढगाच्या आत फ्लेअर्स प्रज्वलित करून केले जाते. विविध देशांमध्ये मेघ बीजकरण साठी फ्लेअर्स आणि जमिनीवरील बर्नर किंवा तोफ वापरली जाते. ढगांमध्ये बीज सामग्री पोहोचवण्यासाठी जमिनीवर आधारित प्रणाली कमी कार्यक्षम असल्याचे नोंदविण्यात आले आहे. सर्वात कार्यक्षम मार्ग म्हणजे, विमानाच्या पंखांवर (ज्याला बर्न-इन प्लेस: BIP म्हणतात) आणि विमानाच्या मुख्य भागाच्या खालच्या बाजुवर (इजेक्टबल: EJ) फ्लेअर्स बसवलेले सुसज्ज विमान वापरणे. जमिनीवरून तोफतून गोळीबार (बीजीकरण साठी) करताना मोठी समस्या ही आहे की अनेकदा लक्ष्य केलेले त्या ढगांचा वेध चुकतो, विशेषतः जेव्हा ढग लहान असतात

आणि अपड्राफ्ट्स (वरच्या दिशेला वाहणारी हवा) अरुंद असतात. जर ढगांचे तळ जमिनीच्या जवळ असतील तर जमिनीवर आधारित फ्लेअर्स यशस्वीपणे वापरले जाऊ शकतात. जमिनीवर आधारित बर्नरमधून सोडलेले बीज कण वातावरणीय सीमा थरात (बॉउंडरी लेअर) विखुरले जातात आणि पर्यावरणीय समस्या देखील निर्माण करू शकतात. एअरबोर्न सीडिंग मध्ये, मेघ बीजकरण फ्लेअर्स विमानाच्या पंखांना जोडलेल्या रॅकमध्ये बसवले जातात आणि क्लाउड बेसवर बियांचे कण वितरीत करण्याचा हा सर्वात प्रभावी मार्ग आहे.



बीजकण वितरित करण्याच्या विविध पद्धती

(रॉकेट्स, तोफखाना, हवेतील फ्लेअर्स, ग्राउंड बेस्ड फ्लेअर्स किंवा बर्नर आणि बलून)

4. मेघ बीजकरणासाठी कोणत्या प्रकारचे बीज कण आवश्यक आहेत?

हायग्रोस्कोपिक फ्लेअर्समध्ये सोडियम क्लोराईड किंवा कॅल्शियम क्लोराईड असते, जे 0.1 - 1 मायक्रोमीटर व्यासाच्या आकाराच्या श्रेणीमध्ये लहान मीठाचे कण तयार करतात. हे फ्लेअर्स पुठ्याच्या डब्यांमध्ये असतात (12 सेमी लांब 7 सेमी व्यासाचे) आणि पंखांना जोडलेले असताना ते

इलेक्ट्रॉनिक्स च्या साहाय्याने ट्रिगर करता येतात. ग्लॅसिओजेनिक फ्लेअर्स मध्ये बारीक ट्यूबमध्ये बर्फ-न्यूक्लीटिंग सिल्व्हर आयोडाइड (AgI) असते जे ढगांमध्ये बर्फाचे कण बनवू शकतात. फ्लेअरचा रेषीय ज्वलन दर ~ 0.66 मिमी प्रति सेकंद आहे.

5. मेघ बीजकरणाचे भौतिकशास्त्र काय आहे?

एरोसोल कण हे वातावरणातील तरंगणारे कण असतात. काही एरोसोल कण ज्यांना पाण्याच्या बाष्प कणांचे आकर्षण असते त्यांना क्लाउड कंडेन्सेशन न्यूक्ली (CCN) म्हणतात. वातावरणात असलेल्या CCN द्वारे ढगांचे थेंब तयार होतात. मेघ बीजकरण अस्तित्वात असलेल्या ढगात पुरेशा मोठ्या कणांसह केले जाते जे ढगांचे मोठे थेंब तयार करू शकतात. जेव्हा हे मोठे ढगांचे थेंब इतर थेंबांसोबत आदळतात आणि एकत्र होतात तेव्हा उबदार ढगांमध्ये पाऊस तयार होतो. थेंबांचा आकार जसजसा वाढत जातो तसतसे ते ढगांतून खाली पडू लागतात. पडणारे थेंब खाली येताना इतर थेंबांना आदळतात आणि एकत्र येऊन एक मोठा थेंब तयार करतात. अशा प्रकारे तयार झालेले पावसाचे मोठे थेंब ढगांच्या तळभागातून जमिनीवर पडतात.

मेघ बीजकरण दरम्यान, ढगांच्या तळाशी (क्लाउड बेसवर) विखुरलेल्या जलआधारीन केंद्रकांनी, नैसर्गिकरित्या विकसित होत असलेल्या ढगांमधील थेंबांपेक्षा मोठे थेंब तयार करणे अपेक्षित आहे. हायग्रोस्कोपिक फ्लेअर्स नैसर्गिकरित्या उपलब्ध असलेल्यापेक्षा मोठे CCN प्रदान करतात. या कणांवर पाण्याची वाफ सहजच घनीभूत होते. हे थेंब इतर थेंबांशी टक्कर आणि एकत्रीकरणाने वाढतात आणि पावसाच्या निर्मितीला गती देतात .

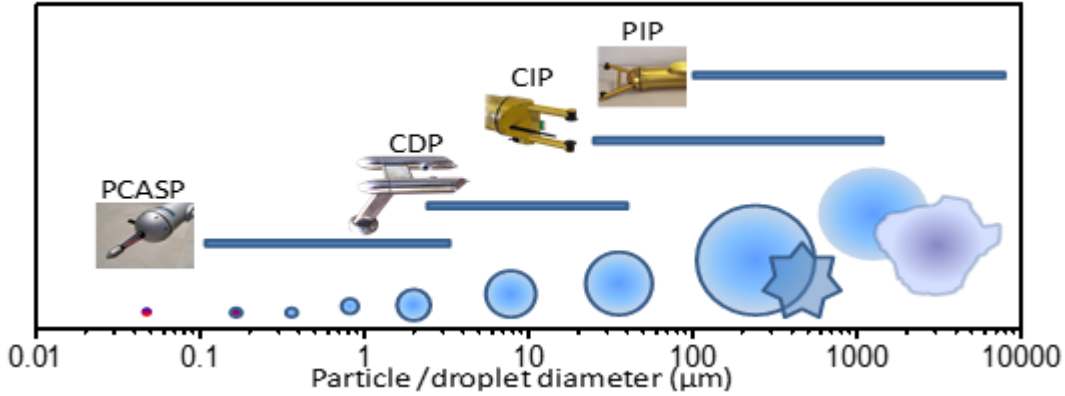
ग्लॅसिओजेनिक कणांच्या साहाय्याने थंड ढगांमध्ये मेघ बीजकरण केले जाते, ज्यामुळे बर्फाचे कण तयार होऊ शकतात. अशा प्रकारे तयार झालेले बर्फाचे कण पाणी तसेच बर्फ साचून किंवा इतर बर्फाच्या कणांशी टक्कर होऊन वाढतात. ते जड असल्याने आणि वितळण्याच्या तापमानातील ढगांच्या भागातून खाली पडत असल्याने जमिनीच्या दिशेने प्रवास करतात. बर्फाचे हे कण शून्य अंशापेक्षा जास्त तापमानात वितळतात आणि पावसाचे थेंब तयार होतात. मान्सूनच्या ढगांमध्ये उबदार आणि थंड पावसाच्या प्रक्रियेचे संयोजन महत्वाचे असते.

6. वाढणारे ढग कसे ओळखता येतील?

ज्या ढगांमधून आधीच पाऊस पडत नाही व ज्या ढगांचा तळ हा समतल आणि स्पष्ट असतो, त्या ढगांच्या पायथ्याशी तसेच ढगांमध्ये ऊर्ध्वगामी गती असू शकते. ढगांमधील पाण्याचे प्रमाणही जास्त असते. ढगांमधील हे गुणधर्म बीजयोग्य ढग निवडण्यासाठी विचारात घेतले जातात.

7. ढगांच्या गुणधर्माबद्दल कसे जाणून घ्यावे?

विमान, रडार, उपग्रह आणि पृष्ठभागावरील उपकरणांच्या साहाय्याने घेतलेल्या (स्वयंचलित पर्जन्यमापक, डिसड्रोमीटर इ.) निरीक्षणांद्वारे ढग आणि पावसाचे गुणधर्म निश्चित केले जातात. या प्रत्येक निरीक्षणाचे फायदे आणि तोटे आहेत. विमानातून घेतलेल्या ढगांच्या मोजमापांमुळे ढगांची सूक्ष्म रचना कळते; म्हणजे ढगांचे थेंब (१ ते दहा मायक्रोमीटर), रिमझिम (१ ते १०० मायक्रोमीटर), बर्फाचे कण (दहा ते शेकडो मायक्रोमीटर) आणि पावसाचे थेंब (काही मिलीमीटर) बद्दल माहिती कळते. हे स्कॅटरिंग किंवा इमेजिंग तत्वांच्या मदतीने मोजले जातात. ढगांच्या अधिक सूक्ष्म माहितीसाठी, पावसाच्या थेंबापासून ते ढगांच्या थेंबांच्या मोजमापांसाठी, 3-4 उपकरणे आवश्यक आहेत तपशीलांवर अवलंबून क्लाउडची श्रेणी आवश्यक आहे थेंब थेंब मोजण्यासाठी 3-4 उपकरणे आवश्यक आहेत..



लहान कोरड्या धुळीकण कणांपासून ते वेगवेगळ्या आकाराचे ढगांचे थेंब, पाऊस आणि रिमझिम थेंब आणि वेगवेगळ्या आकाराचे बर्फाचे कण यांचे निरीक्षण करण्यासाठी विमानात वेगवेगळी उपकरणे (स्पेक्ट्रोमीटर) वापरली जातात. आकृतीमध्ये उपकरणांचे चित्र देखील दिले आहे. उपग्रहांद्वारे ढग सूक्ष्म संरचना (उदा. प्रभावी त्रिज्या जी ढगांच्या थेंबाच्या आकाराचे भौमितिक माप असते), तापमान इत्यादी माहिती समजू शकते जी विविध पर्जन्य निर्मिती प्रक्रियेबद्दल माहिती काढण्यासाठी उपयुक्त आहे. रडार (जसे की सी-बँड पोलरीमेट्रिक डॉप्लर हवामान रडार) परावर्तकतेची माहिती देऊ शकतात (जे ढगातील थेंब/बर्फाच्या कणांच्या आकाराचे मोजमाप आहे), घनरूप पाण्याचे प्रमाण किंवा बर्फाचे पाणी किंवा ढगातील पावसाचे पाणी इ. निश्चित करणे. ढगांची पाऊस पाडण्याची क्षमता आणि ते किती किरणोत्सर्ग परावर्तित करतात किंवा त्यांच्यात विजा आणि तीव्र हवामान निर्माण करण्याची क्षमता आहे की नाही हे समजून घेण्यासाठी हे पॅरामीटर्स खूप उपयुक्त आहेत.

8. मेघ बीजकरण यशस्वी होते का? आणि कोणत्या प्रकारच्या ढगांसाठी? त्यासाठी काही पुरावा आहे का?

सामान्यतः ऑरोग्राफिक ढग (पर्वतीय भागात नैसर्गिकपणे हवा वर उचलण्याच्या प्रक्रियेने तयार होणारे) आणि संवहनी (कन्वेक्टिव्ह) ढग (ऊर्ध्व दिशेने वाहणाऱ्या संवहनी हवेमुळे तयार होणारे) बीजनासाठी निवडले जातात.

ऑरोग्राफिक क्लाउड्स (WMO 2018) मध्ये ग्लेशियोजेनिक सीडिंगवर विस्तृत वैज्ञानिक साहित्य उपलब्ध आहे. याविषयीचा अभ्यास प्रामुख्याने मध्य-पश्चिम अमेरिकेमधून मधून झाले आहेत आणि हे स्पष्ट करतात की ग्लेशियोजेनिक सीडिंगमुळे ढगांमध्ये पर्जन्यवृष्टी होण्याच्या प्रक्रियांची साखळी होते ज्यामुळे ढगांमधून पर्जन्यवृष्टी होऊ शकते. ओरोग्राफिकली जबरदस्तीने उचलल्या जाणाऱ्या ढगांचा विचार सीडिंगसाठी (पेरणीसाठी), पर्वतरांगांच्या वाऱ्याच्या वाहणाऱ्या दिशेने केला जातो. सक्रिय मिश्र-फेज आणि बर्फ प्रक्रिया असलेले हे मध्य-पश्चिम यूएसए मधील ढग क्लाउड सीडिंगसाठी लक्ष्य केले गेले होते. ऑरोग्राफीमुळे अतिरिक्त उचलणे, हे अति थंड द्रव पाणी निर्माण करण्यासाठी एक उपयुक्त प्रक्रिया आहे, जे या ढगांमध्ये बर्फाच्या हैड्रोमिटिओर वाढीस प्रोत्साहन देते. अमेरिकेमधील बर्फाच्छादित ढग सीडिंग संशोधन आणि ऑपरेशनल अभ्यासामध्ये, ग्लॅसिओजेनिक सीडिंगद्वारे हिमवृद्धी होण्याची प्रक्रिया चांगली प्रस्थापित आहे.

जेव्हा ढग आकारमानाने वाढत असतात तेव्हा योग्य ढगांवर मेघ बीजीकरण केले जाते (कम्युलस किंवा डीप कम्युलस किंवा एम्बेडेड संवहन वरच्या स्तरावरील ढगांमध्ये किंवा त्यांच्या वाढीच्या टप्प्यात उंच संवहनी ढगांमध्ये). मूलभूत गरज म्हणजे ढगांची उपलब्धता. CAIPEEX ने ग्लेशियोजेनिक बीजनासाठी संवहनी ढगांचा शोध प्रयोग केले आहेत.

9. मेघ बीजीकरणासाठी आर्द्रतेची उपलब्धता महत्त्वाची आहे का?

मेघ बीजीकरणासाठी आर्द्रतेची उपलब्धता खूप महत्त्वाची आहे. हा ओलावा अभिक्रमण, बाष्पीभवन इत्यादींद्वारे उपलब्ध होते. कोरड्या वातावरणात, ढगांना घनीभूत होण्यासाठी जास्त उंचीवर जावे लागते. हवेचे पार्सल जसजसे वर येते तसतसे ते विस्तारित आणि थंड होते. हवा जोपर्यंत संतृप्त होण्याच्या तापमानापर्यंत पोहचत नाही तोपर्यंत ती उंच जात राहून अधिक थंड होत राहते. संतृप्ततेचा अर्थ असा आहे की वातावरणातील उपलब्ध पाण्याची वाफ पृष्ठभागावर घनीभूत होऊ शकते (उदाहरणार्थ काचेच्या ग्लास मध्ये बर्फाचे थंड पाणी असेल तर, काचेच्या बाहेरील पृष्ठभागावरील संक्षेपण लक्षात येऊ शकते, हे सभोवतालच्या हवेत उपलब्ध असलेले पाणी आहे.

काचेच्या पृष्ठभागाजवळील हवा थंड आणि संतृप्त (100 टक्के आर्द्रतेसह) असल्याने काचेच्या पृष्ठभागावर हवेतील पाणी घनरूप झाले आहे .

जेव्हा जास्त ओलसर परिस्थिती असते तेव्हा ढग कमी उंचीवर तयार होऊ शकतात (उदाहरणार्थ पावसाळ्याच्या काळातील ढग) आणि कोरड्या परिस्थितीत जास्त उंचीवर ढग तयार होऊ शकतात. मेघ बीजकरण साठी हा मूलभूत फरक महत्वाचा आहे. जर ढगांचे तळ जास्त उंचीवर असेल जो शून्य अंश तापमानाच्या अगदी जवळ/खाली असेल, तर हायग्रोस्कोपिक सीडिंग लागू होणार नाही. थंड ढगांमध्ये ग्लेशियोजेनिक बीजन अधिक योग्य आहे.

10. मेघ बीजकरण कोणत्या परिस्थितीत यशस्वी होईल?

ढगात अस्थिरते (संवहन) ची इष्टतम पातळी असणे आवश्यक आहे आणि वातावरण मध्यम आर्द्र असणे आवश्यक आहे. या परिस्थितीमुळे ढगांची उभी वाढ होते. तथापि, जर वाऱ्याचा वेग खूप अधिक असेल तर ढग उंच वाढू शकत नाहीत आणि वाऱ्याने वाहून जातील.

11. मेघ बीजकरणची परिणामकारकता आपण कशी मोजू शकतो?

असा सामान्य समज आहे जोपर्यंत की ढगांची नैसर्गिक पर्जन्य प्रक्रिया नीट समजत नाही आणि आपण निवडलेल्या बीज कणाने बीजारोपणाचे परिणाम मोजू शकत नाही तोपर्यंत ढगांमध्ये बदल करता येऊ शकत नाहीत (याचा अर्थ नैसर्गिक पर्जन्य प्रक्रियेचे आकलन झाल्याशिवाय मेघ बीजकरणची परिणामकारकता स्थापित केली जाऊ शकत नाही. पावसाच्या वृद्धीतील कोणत्याही मूल्यांकनासाठी हे पूर्वापेक्षित आहे). म्हणजेच हवेतील बदलाला योग्य वैज्ञानिक आधार असायलाच हवा.

जगभरात अनेक संशोधन कार्यक्रम तसेच कार्यरत मेघ बीजकरणचे प्रयोग चालू आहेत, जे मेघ बीजकरणच्या उपयुक्ततेचे प्रमाण ठरवण्याचा प्रयत्न करीत आहेत. मेघ बीजकरणच्या प्रमाणीकरणासाठी रडार आणि जमिनीवर आधारित पर्जन्यमापक किंवा रेन गेजसह ढगांचे संपूर्ण दस्तऐवजीकरण आवश्यक आहे. बीजकण वितरित केलेले अनेक ढग आणि बीजकण नसलेल्या ढगांवर सतत निरीक्षणे आणि त्यांची वैशिष्ट्ये जसे की पाऊस, ढगांची खोली, पावसाचे क्षेत्रफळ, ढगातील द्रव सामग्री इ. परिणामकारकतेचे दस्तऐवजीकरण करणे महत्त्वपूर्ण आहे. यासाठी CAIPEEX मध्ये यादृच्छिक दुहेरी-अंध प्रयोग केले जातात.

12. भारतात मेघ बीजकरणचा इतिहास काय आहे?

भारतीय उष्णकटिबंधीय हवामानशास्त्र संस्थेने 70 च्या दशकात मेघ बीजकरणचा प्रयोग केला ज्यामध्ये बीजनाचा पर्जन्यवृद्धीवर किती परिणाम होतो याविषयी कोणतेही निश्चित निष्कर्ष

काढता आले नाहीत. जरी सांख्यिकीयदृष्ट्या महत्त्वपूर्ण नसले तरी, सुरुवातीचे प्रयोग, बीजनामुळे पावसात 17% वाढ झाल्याचे दर्शवितात (कपूर आणि इतर. 1974); इतर प्रयोग अनिर्णित असून (कृष्णा एट अल. 1974), बीजनाच्या परिणामात लक्षणीय अनिश्चितता दाखवतात .

मूर्ती इ., (2000) यांनी, ११ वर्षांच्या कालावधीत, जून-सप्टेंबर 1973-74, 1976, 1979-86 दरम्यान भारताच्या पश्चिम किनार्यापासून 100 किमी अंतरावर क्लाउड सीडिंग वर प्रयोग केला गेला होता. हा प्रयोग दोन 1600 km² च्या लक्ष्य क्षेत्र (उत्तर आणि दक्षिण) एका बफर क्षेत्राद्वारे विभक्त करून, प्रत्येक क्षेत्राचा आकार 1600 km² होता. यामध्ये स्ट्रॅटोक्युम्युलस आणि क्युम्युलस मेघ बीजकरण केले गेले आणि 200-300 मीटर वरील क्लाउड बेस निरीक्षणे केली गेली. 3 किमीच्या फ्लाइट ट्रॅकवर 30 किलो मीठ पेरण्यात आले. ढगांची जाडी, ढगांमधील द्रव पाण्याचे प्रमाण यावर सीडिंगचे परिणाम अवलंबून असतात. एक उत्पादनाच्या काही परिस्थितीमुळे 4% पातळीवर 24% पावसाची वाढ झाली. असे आढळून आले की हायग्रोस्कोपिक पार्टिकल सीडिंगमुळे टक्कर एकत्रीकरणाला चालना मिळते.

2003 पासून, विविध राज्य सरकार (गुजरात, महाराष्ट्र, कर्नाटक आणि आंध्र प्रदेश, तामिळनाडू) द्वारे ऑपरेशनल क्लाउड सीडिंग कार्यक्रम आयोजित केले गेले आहेत. भूतकाळातील सर्व प्रयोग क्षेत्र सीडिंगवर आधारित आहेत, आणि त्यामुळे स्वतंत्र मेघ बीजकरणच्या प्रयोगाला लागू नाहीत आणि निष्कर्ष काढणे आव्हानात्मक आहे.

भारतातील मेघांचे भौतिकशास्त्र आणि हवामान बदल संशोधन प्रयोग (संदर्भ. आईआईटीएम ची ५० वर्षे डी. आर. सिक्का आणि आयआयटीएम प्रकाशन)

१९५५: रेन अँड क्लाउड फिजिक्स रिसर्च (RCPR) ची स्थापना वैज्ञानिक आणि औद्योगिक संशोधन परिषद (CSIR), नवी दिल्ली येथे स्थापना झाली.

1967: RCPR 1967 मध्ये IITM, पुणे येथे हस्तांतरित करण्यात आले आणि IITM मध्ये पुढील घडामोडी घडल्या.

- प्रायोगिक आणि उष्णकटिबंधीय पावसाळ्यातील ढगांचे सूक्ष्म भौतिकशास्त्र आणि पर्जन्य तंत्रावरील क्षेत्रीय अभ्यास
- पाऊस वृद्धीसाठी उबदार ढगांवरील प्रयोगाचा अभ्यास
- बर्फाचे केंद्रीकरण, अतिथंड स्थितीत पाण्याचे थेंब गोठवणे आणि अतिथंड ढगांमध्ये बर्फाची संख्यात्मक प्रक्रिया वाढविणे यासाठी शास्त्रीय प्रयोग.

- बीजन सामग्रीची ओळख, आणि विद्युत क्षेत्राच्या प्रभावाखाली पाण्याच्या थेंबांच्या अघात्मिक एकत्रीकरणासाठी त्यांची कार्यक्षमता

- पर्जन्य निर्मितीमध्ये विद्युत क्षेत्राची भूमिका प्रयोगांद्वारे जाणून घेण्यासाठी प्रयोगशाळेत प्रयत्न केला गेला.

1968 - 1975 हिवाळ्यामध्ये सिल्व्हर आयोडाइडचा सीडिंग एजंट म्हणून वापर करून कोल्ड मेघ बीजकरणचा प्रयोग आणि दिल्ली भोवती 50 किमीच्या परिसरात हवाई प्रतिध्वनी (echo) आणि ढगांच्या प्रतिध्वनी उंचीचे रडार निरीक्षण. प्रतिध्वनी उंचीवर आधारित विश्लेषणाने पावसात 11% वाढ दर्शविली आणि ते सांख्यिकीयदृष्ट्या महत्त्वपूर्ण होते.

1973 आणि 1977 थिरुनाल्लर (चेन्नई जवळ) नैऋत्यमौसमी आणि ईशान्यमौसमी मान्सून हंगामात जमिनीवर आधारित जनरेटरच्या आधारे क्षेत्रीय प्रयोग, पाऊस वाढविण्यासाठी हे परिणाम महत्त्वपूर्ण नव्हते.

1973-1985 संभाव्य पाऊस वाढीसाठी उबदार ढगांतील बीजनसाठी बीजक्षमतेच्या निकषांचे मूल्यांकन करण्यासाठी पुण्यातीलहवाई प्रयोग. सीडिंग एजंट म्हणून सोडियम क्लोराईड पावडर वापरून यादृच्छिक प्रक्रियेखाली बीजन. पाऊस वर्धित करण्यासाठी उबदार मेघ बीजकरणच्या कार्यक्षमतेच्या संदर्भात प्रयोग अनिर्णित होते, तथापि, बीजक्षमतेचे निकष ठरवले गेले. एरियल मेघ बीजकरण पद्धतीमध्ये पाऊस वाढवण्याची क्षमता जास्त असल्याचे आढळून आले.

खालील राज्य सरकारांनी ऑपरेशनल मेघ बीजकरण हाती घेतले आहे

- 2012 कर्नाटक राज्यातील तीन नदी खोरे प्रकल्प
- 2003-2016 आंध्र प्रदेश क्लाउड सीडिंग
- 2017, 2019 कर्नाटक राज्यातील वर्षाधारे प्रकल्प
- 2019 महाराष्ट्र पर्जन्यवृद्धी प्रकल्प

13. CAIPEEX हा संशोधन कार्यक्रम काय आहे?

जलसंपत्तीवरील ताण कमी करण्याच्या उद्देशाने ऑपरेशनल मेघ बीजकरणची राष्ट्रीय मागणी लक्षात घेऊन, भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान / पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय ने ढग आणि धूलिकणांच्या प्रगत भूमिकेवर संशोधन करण्यासाठी क्लाउड-एरोसोल इंटरॅक्शन्स आणि प्रेसिपिटेशन एन्हांसमेंट एक्सपेरिमेंट (CAIPEEX) नावाचा राष्ट्रीय क्षेत्रीय प्रयोग सुरू केला आहे, यामध्ये ढग आणि धूलिकणांची भूमिका आणि मेघ-विकिरण (radiation) प्रतिसाद, यावर प्रगत संशोधन केले जाते.

क्लाउड एरोसोल परस्परसंवाद आणि पर्जन्यवृद्धी प्रयोग (CAIPEEX) हे समजून घेऊन तयार करण्यात आले होते की मोसमी पाऊस अंतराळात आणि वेळेत विषम असतो आणि हंगामी पाऊस-वाहणारे ढग असूनही, भारतातील अनेक ठिकाणी पावसाळ्यात दुष्काळी परिस्थिती अनुभवायला मिळते. CAIPEEX प्रोग्रामला, ढग आणि धूलिकण सूक्ष्मभौतिकतर्कशास्त्राचे निरीक्षण करण्यासाठी, हवाई निरीक्षण क्षमतांच्या प्रगत तंत्रज्ञानाचं फायदा झाला. ढगांमधील थेंब आणि पावसाचे थेंब तयार होण्याची मूळ प्रक्रिया आणि धूलिकण प्रदूषणाचा या प्रक्रियांवर पडणारा प्रभाव यावर CAIPEEX मध्ये लक्ष दिले गेले आहे. CAIPEEX कार्यक्रमाची दोन मुख्य उद्दिष्टे, अ) एरोसोल-क्लाउड-पर्जन्य परस्परसंवादाचे भौतिकशास्त्र आणि गतिशीलता संबोधित करणे आणि ब) आधुनिक मेघ बीजकरण तंत्रज्ञानाचा वापर करून एरोसोल-क्लाउड परस्परसंवाद, पर्जन्य निर्मिती आणि पर्जन्यवृद्धिसाठी वैज्ञानिक पाया तयार करणे. (कुलकर्णी वगैरे., २०१२).

14. CAIPEEX च्या वेगवेगळ्या टप्प्यांमध्ये काय केले गेले?

CAIPEEX २००९ मध्ये सुरु झाले आणि आजवर हवाई निरीक्षणाचे चार टप्पे पूर्ण केले आहेत

पहिला टप्पा: ढगांचे सूक्ष्म भौतिकी मापदंड, धूलिकणांच्या आकाराचे वितरण, क्लाउड कंडेन्सेशन न्यूक्ली (CCN) सांद्रता आणि तापमान, आर्द्रता आणि वारा यांसारख्या पर्यावरणीय मापदंडांची हवाई निरीक्षणे 2009 मध्ये पुणे, हैदराबाद, पठाणकोट, बेंगळुरू, गुवाहाटी येथे ट्विन इंजिन पाईपर चेयेन विमानाच्या मदतीने केली गेली. हा प्रयोग भारताच्या विविध भागांमध्ये एरोसोल, सीसीएन आणि क्लाउड ड्रॉपलेट वैशिष्ट्यांचे सर्वेक्षण करण्यासाठी आणि क्लाउड सीडिंग करण्यासाठी योग्य स्थान निश्चित करण्यासाठी केला गेला होता.

दुसरा टप्पा: CAIPEEX च्या दुसऱ्या टप्प्यात (2010-2011 दरम्यान), सीडर आणि संशोधन विमानासह हैदराबाद या बेस स्टेशन वरून हवाई निरीक्षणे घेण्यात आली. CAIPEEX 2011 मध्ये एक इंटिग्रेटेड ग्राउंड ऑब्झर्वेशनल कॅम्पेन (IGOC) आयोजित करण्यात आले होते, ज्यामध्ये पश्चिम घाटाच्या वाऱ्याच्या विरुद्ध दिशेच्या संवहनाच्या थर्मोडायनामिकल आणि मायक्रोफिजिकल पैलूंना संबोधित करून एकात्मिक पद्धतीने जमिनीपासून ढगांपर्यंतच्या मधल्या स्तरात निरीक्षण केले गेले.

तिसरा टप्पा: CAIPEEX चा तिसरा टप्पा मे 2014 मध्ये जमिनीवरील आणि हवाई निरीक्षणांच्या संचासह 9 सप्टेंबर 2014 रोजी सुरु झाला. या टप्प्या दरम्यान वाराणसी येथून 49 तासांची हवाई निरीक्षणे घेण्यात आली. बनारस हिंदू विद्यापीठाच्या ग्रामीण परिसरातून जमिनीवरील निरीक्षणे घेण्यात आली. तिसऱ्या टप्प्यातदेखील अनेक एरोसोल आणि पर्जन्य रसायनशास्त्रची निरीक्षणे घेण्यात आली. जुलै 2015 मध्ये, कोल्हापूर, महाबळेश्वर आणि सोलापूर दरम्यानच्या त्रिकोणी भागात

75 तास हवाई निरीक्षणे घेण्यात आली. क्लाउड मायक्रोफिजिक्स, एरोसोल, ब्लॅक कार्बन, रसायनशास्त्र आणि हरितवायू (green house gases) ची ही निरीक्षणे 2018-19 साठी यादृच्छिक बीजन प्रयोगांच्या विशेषतः नियोजनाच्या दृष्टीने, ढगांची वैशिष्ट्ये समजून घेण्यासाठी आयोजित केली जातात.

चौथा टप्पा: 2018-19 च्या चौथ्या टप्प्यातील निरीक्षण मोहिमेचे मुख्य उद्दिष्ट पर्जन्यछायेच्या प्रदेशावरील नैसर्गिक आणि बीजयुक्त ढगांमध्ये ढग आणि पर्जन्य संबंधित प्रक्रियांचे उच्च दर्जाचे निरीक्षण प्रदान करणे हे होते. या प्रयोगाच्या मुख्य उद्दिष्टांपैकी एक म्हणजे ढगांच्या बीजन प्रयोगासाठी योग्य परिस्थितींचा शोध घेणे. ढगांमधील सूक्ष्म भौतिक बदलांपासून ते पाऊस तयार होण्यापर्यंत आणि अखेरीस पृष्ठभागावर पडण्यापर्यंतच्या वैज्ञानिक पुराव्याचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी प्रयोग केले गेले.

प्रयोगाचा एक भाग म्हणून, मेघ बीजकरणचे भौतिक आणि सांख्यिकीय मूल्यमापन केले गेले. सांख्यिकीय पद्धती नमुने गोळा करण्यासाठी यादृच्छिकरण प्रक्रिया वापरते. भौतिक प्रयोग बीजारोपण करण्यापूर्वी आणि त्यानंतर ढगांमध्ये होणारे बदल आणि ढगांमध्ये पर्जन्य निर्मितीचे दस्तऐवजीकरण करतो. CAIPEEX फेज IV (2018 आणि 2019) प्रयोगात कॅल्शियम क्लोराईड फ्लेअर्ससह क्लाउड बेसवर हायग्रोस्कोपिक सीडिंग करण्यात आले. काही खोल संवहनी ढगांमध्ये ग्लेशियोजेनिक सीडिंगचे काही प्रयोगही केले गेले. प्रयोगाचा एक भाग म्हणून, बारामती, औरंगाबाद आणि सोलापूर विमानतळावरून हवाई निरीक्षणे घेण्यात आली. संवहनी ढगांमध्ये उच्च दर्जाची निरीक्षणे गोळा केली गेली आणि प्रयोगात वापरल्या गेलेल्या साधनांच्या विविध श्रेणीमुळे नॅनोमीटरपासून बर्फाचे कणापर्यंत आणि काही मिलीमीटरच्या पावसाच्या थेंबांपर्यंत एरोसोल कणांचे संपूर्ण आकाराचे वितरण होते. पार्टिक्युलेट केमिस्ट्री मापन वापरून देखील नमुने गोळा करण्यात आले. या निरीक्षणांमुळे धोरण अहवालाचे दस्तऐवजीकरण करणे शक्य झाले, जे <https://www.tropmet.res.in/~lip/Publication/Technical-Reports/CAIPEEX-Report-July2023.pdf> वर उपलब्ध आहे.

15. पाऊस बीजकरणामुळे पडतो की नैसर्गिकरीत्या पडतो हे कसे ओळखावे?

पाऊस एका जटिल प्रक्रियेने तयार होतो जेथे पाण्याचे तीनही अवस्थानमध्ये पाण्याच्या अवस्थेत बदल होतात. मान्सूनच्या वातावरणात वेगवेगळ्या उंचीवर ढग असतात. जटिल प्रणालीमध्ये, तुरळक संवहनी ढगांना हवाई बीजनांसाठी लक्ष्य केले जाते. मेघांच्या गुणधर्मांचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी जमिनीवरील रडारचा वापर केला जाऊ शकतो आणि पावसाची नोंद करण्यासाठी जमिनीवरील रेन गेज नेटवर्कचा वापर केला जाऊ शकतो. योग्य ढग ओळखण्यासाठी, सीडिंगनंतर ढगाचा मागोवा

घेण्यासाठी आणि त्यायोगे पडलेला पाऊस शोधण्यासाठी, रडार आणि पर्जन्यमापक या दोन्हींचा एकाचवेळी वापर करणे अत्यावश्यक आहे. तथापि, पाऊस बीजारोपणामुळे पडला आहे की नाही हे ढगांच्या सूक्ष्मरचनेद्वारे हवाई निरीक्षणांसह तपासले जाऊ शकते आणि तपशीलवार संख्यात्मक अनुकरणांद्वारे त्यांची पूरकता देखील पाहिली जाते. सध्याची मॉडेल्स मेघ प्रक्रिया आणि सीडिंगच्या प्रभावाचे अनुकरण करण्यास सक्षम आहेत. मॉडेल निरीक्षणांसह प्रमाणित केले जाऊ शकते आणि नंतर क्लाउड सीडिंग अभ्यासासाठी वापरले जाऊ शकते.

16. आम्ही मेघ बीजकरणमध्ये यादृच्छिकीकरणास प्राधान्य का देतो?

ढग नैसर्गिकरित्या पाऊस पाडण्यास सक्षम असतात आणि जेव्हा ढग बीजित होतात तेव्हा नैसर्गिक आणि बीजित पर्जन्य वेगळे करणे अशक्य आहे.

मेघ बीजकरण ढगांमधील प्रक्रिया अजून जटील बनवते आणि प्रत्येक तपशीलाचे दस्तऐवजीकरण केले जाऊ शकत नाही. अशाप्रकारे, बीजारोपण केलेल्या आणि न-केलेल्या ढगांमध्ये निःपक्षपाती सांख्यिकीय विश्लेषण करण्यासाठी, सामान्यतः, मेघ बीजकरण प्रयोग यादृच्छिक (randomize) केले जातात. यात यादृच्छिकपणे बीजनासाठी योग्य ढग निवडणे आणि बीजकरण न करण्याचा निर्णय घेणे, यादृच्छिकीकरण पद्धतीवर आधारित आहे, जसे की इतर कोणत्याही विषयात (उदा. औषध चाचणीमध्ये) हे केले जाते जेणेकरून बीजकरणाच्या परिणामांची पावसाच्या नैसर्गिक परिवर्तनशीलतेशी तुलना करता येईल. हे तंत्र वैद्यकीय क्षेत्रातील यादृच्छिक क्लिनिकल चाचण्यांसारखेच आहे.

ढगांमध्ये उर्जा (latent heat) निर्माण होते कारण ढगांचे थेंब संक्षेपणाने वाढतात किंवा बर्फाचे कण वाफ साचून वाढतात. अशा प्रकारे वातावरणात प्राप्त होणारी उर्जा खरोखरच ढगांचे गतिशास्त्र बदलेल. मेघमध्ये परिसंचरण होईल, ज्यामुळे ढगांचे वस्तुमान पुनर्वित्तीत होईल आणि ढगांची वाढ/अपव्यय देखील होईल. या ढगांच्या हालचाली लहान-मोठ्या असतात आणि काहीवेळा वातावरण कोरडे असल्यास आणि वातावरणीय हवा ढगात गेल्यास ढग पूर्णपणे बाष्पीभवनाने विरून जाऊ शकतात. कोरडी हवा ढगात प्रवेश करून ढगांच्या वाढत्या थेंबांचे बाष्पीभवन करते. त्यामुळे एकतर पावसाची निर्मिती रोखली जाईल किंवा लहान थेंबांसह ढग जास्त काळ अस्तित्वात राहिल. अशा प्रकारे, निसर्गातील प्रत्येक ढग वेगळा असतो, आणि त्यांच्या गतिशास्त्रामुळे त्यांचे गोंधळाचे वर्तन असते आणि म्हणूनच, मेघ बीजकरण प्रयोगांमध्ये यादृच्छिकीकरण तंत्र वापरले जाते.

17. कोणत्या प्रकारच्या बीजारोपणास पसंती दिली जाते (हायग्रोस्कोपिक/ग्लेशियोजेनिक)?

यासाठी कोणतेही विशेष प्राधान्य नाही, ते पूर्णपणे ढगाच्या प्रकारावर आणि भौगोलिक स्थानावरील त्याच्या अनुकूलतेवर आधारित आहे. ढगांमध्ये पाणी असते आणि काही ढगांमध्ये फक्त बर्फ असू शकतो. बर्फयुक्त ढग बीजारोपणास योग्य नसतात. कोणत्याही प्रकारच्या बीजारोपणासाठी ढगात पाणी असणे आवश्यक आहे. उष्णकटिबंधीय वातावरणात, सखोल क्यूम्युलस ढग बऱ्याचदा त्यांच्यातील मजबूत ऊर्ध्व हालचालींमुळे खूप अस्थिर असतात आणि ते उप-मेघ स्तर तसेच वरील स्तरांबरोबर वस्तुमान, ऊर्जा आणि पाण्याची वाफ यांची देवाणघेवाण करतात.

18. मेघ बीजकरण दरम्यान प्रत्येक ढगांसाठी किती बीजन साहित्य वापरावे? आपण हे प्रमाण नियंत्रित करू शकतो का?

एका ढगाच्या बीजकरण कार्यक्रमांमध्ये सामान्यतः 2-4 फ्लेअर्स वापरले जातात. फ्लेअर्समध्ये प्रति क्यूबिक सेंटीमीटर हवेच्या वस्तुमानात हजारो बीजकण असतात.

19. ढगांवर बीजन सामग्रीच्या अतिवापराचा काय परिणाम होतो?

ओव्हरसीडिंगमुळे ढगाचे बाष्पीभवन होऊ शकते कारण संख्येने जास्त असलेले कण वातावरणात उपलब्ध असलेल्या पाण्याचं वाफेचे सामायिक विभागणी करू शकतात आणि अशा प्रकारे तयार झालेल्या ढगांच्या कणांचा आकार पावसाचे थेंब तयार करण्यासाठी खूप लहान असू शकतो.

20. बीजन सामग्री मध्ये कशी सुधारणा करायची? आपण आजकाल वापरत असलेल्या बीजन साहित्य किती खात्रीशीर आहे?

बीज कणांची चाचणी उपलब्ध असलेल्या अनेक उपकरणांद्वारे चाचणी केली जाऊ शकते आणि मेघ निर्मितीसाठी त्यांची समर्पकता तपासली जाऊ शकते.

एरोसोल रचना आणि त्यांची हायग्रोस्कोपिसिटी आणि CCN बनण्याची प्रक्रिया (ढगांच्या आत 100% पेक्षा जास्त संपृक्ततेमध्ये बीजकण ढगांचे थेंब कसे तयार करण्याची प्रक्रिया) याचा अभ्यास करून बीज कण सुधारले जाऊ शकतात. कणांच्या आकाराची महत्त्वाची भूमिका आहे, मोठ्या आकाराचे कण त्यांच्यावरील पृष्ठभागाच्या मोठ्या क्षेत्रामुळे सहजपणे ढगांचे थेंब तयार करतात. हे मापदंड कणाच्या आकारावर आणि बीज कणांवरील रासायनिक रचना/कोटिंगवर अवलंबून असतात. उदा. पोटॅशियम आयोडाइड, सोडियम क्लोराईड आणि कॅल्शियम क्लोराईड यांचा पाण्याच्या वाफेसाठी (उच्च हायग्रोस्कोपिसिटी) नैसर्गिकतः आकर्षण असते. सभोवतालच्या हवेतील कणांच्या तुलनेत बीज कण जास्त हायग्रोस्कोपिसिटीचे असणे अपेक्षित असते जे सहजपणे ढगांचे थेंब तयार करतात.

कणांच्या आकाराची भूमिका महत्वाची असते कारण मोठ्या आकाराचे कण त्यांच्यावरील पृष्ठभागाच्या मोठ्या क्षेत्रामुळे सहजपणे ढगांचे थेंब तयार करतात. उदा. समुद्रातील मीठ त्याच्या मोठ्या आकारामुळे आणि हायग्रोस्कोपिसिटीमुळे चांगले CCN म्हणून ओळखले जातात. बीज कण निवडण्यापूर्वी कणाचा आकार आणि रचना समजून घेणे महत्वाचे आहे.

सिल्वर आयोडाईडच्या (AgI) गोळ्या पारंपारिकपणे ग्लेशियोजेनिक सीडिंगमध्ये वापरल्या जातात जेथे कण बर्फाचे कण केंद्रक म्हणून कार्य करतात. एसीटोनसह एजीआय जाळल्याने ते अधिक हायग्रोस्कोपिक बनू शकते आणि ते हायग्रोस्कोपिक सीडिंग एजंट म्हणून काम करू शकते, जे प्रथम उथळ उबदार ढगांच्या थरांवर कार्य करते (आणि बर्फ केंद्रक म्हणून देखील कार्य करू शकते). या बीजन कणांमुळे टक्कर एकत्रीकरण किंवा बर्फ निर्मिती प्रक्रिया (जसे की निक्षेप किंवा रायमिंग आणि सूक्ष्म भौतिक प्रक्रियांच्या साखळीतून पाऊस किंवा बर्फ तयार होणे) यासारख्या जलद मार्गांद्वारे पाऊस तयार होण्याची शक्यता वाढणे अपेक्षित आहे.

21. बीजन दरम्यान ढग ओळखण्यासाठी सर्वोत्तम रडार कोणता आहे?

एक्स-बँड रडारच्या तुलनेत श्रेणी, रिझोल्यूशन आणि कमी क्षीणतेमुळे मेघ बीजकरण प्रकल्पात वापरण्यासाठी सी-बँड रडारची शिफारस केली जाते. मेघ उत्क्रांती आणि पर्जन्याचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी रडार द्रुत स्कॅन करण्यास सक्षम असले पाहिजेत. बर्याचदा पेरणीनंतर १५ मिनिटांत पर्जन्यवृष्टी होते आणि ती रडार स्कॅनच्या अवकाशाच्या आत नोंदवली गेली पाहिजे आणि ढगांचा त्यांच्या आयुर्मर्यादेच्या काळात म्हणजे साधारण एक तास किंवा त्याहून जास्त काळात काढणे गरजेचे आहे.

22. ग्लेशियोजेनिक सीडिंग खरोखर प्रभावी आहे का, असेल तर आपण हे सर्व वेळ का वापरत नाही?

सीडिंगच्या अनुषंगाने ढग दोन गटांमध्ये विभागले जातात: उबदार आणि थंड ढग. उबदार ढग अस्तित्वात असतात जेथे ढगाचा वरचा थर शून्य डिग्री तापमानाच्या खाली असतो आणि त्यात फक्त द्रव थेंब असतात. थंड ढग प्रामुख्याने अस्तित्वात असतात जेथे ढगांचे शीर्ष तापमान गोठवण्याच्या पातळीपेक्षा जास्त असते तेथे तापमान $<0^{\circ}\text{C}$ (सबझिरो) असते आणि त्यात बर्फ आणि द्रव असते. सबझिरो तापमानात असलेल्या द्रवाला सुपरकूल्ड लिक्विड म्हणतात. जर एखादा घन कण सुपरकूल्ड द्रवाच्या संपर्कात आला तर ते द्राव्य कणांच्या पृष्ठभागावर उत्स्फूर्तपणे जमा होईल.

मध्य अक्षांश प्रदेशाच्या पर्वतीय प्रभावाखालील ढगांच्या दस्तऐवजीकरणातून असे निष्कर्ष निघाले आहेत की ग्लेशियोजेनिक सीडिंग स्नोपॅक वाढवते. भारतीय प्रदेशात, विशेषतः प्रायद्वीपातील पर्जन्यछायेच्या प्रदेशात, अनेक घटक पर्जन्यमानात निर्णायक भूमिका बजावतात. आपल्याकडे बहुतांशी उथळ संवहनी ढग (उबदार ढग) किंवा उष्ण आणि थंड दोन्ही प्रदेशांसह ढगांचे विविध थर असतात. उबदार ढगांमध्ये, ग्लेशियोजेनिक सीडिंगची शिफारस करत नाहीत. मान्सूनपूर्व आणि मान्सूननंतरच्या ऋतूमध्ये खोल संवहनी ढग नोंदवले जातात कारण वारे मंद होतात आणि वातावरण अस्थिर होते, ढग सशक्त होतात थंड प्रदेशाची निर्मिती करतात , गडगडाटी वादळे निर्माण होतात. सामान्यतः, ढग त्यांच्या विकासाच्या टप्प्यात त्यांच्यामध्ये पुरेशा प्रमाणात सुपरकूल्ड लिक्विडसह सीड केले जातात. थंड ढगांमध्ये, ग्लेशियोजेनिक सीडिंगमुळे बर्फाचे स्फटिक वाढतात, कारण जास्त थंड झालेले द्रव पाणी बीजकृत एरोसोलवर; तथाकथित बर्फ केंद्रक कणावर जमा होते. तथापि, अशा प्रकारे तयार झालेले हे बर्फाचे स्फटिक खाली पडण्याआधी मोठ्या आकारात वाढणे आवश्यक असते आणि जसजसे ते अतिशीत पातळी ओलांडतात तसतसे ते वितळतात आणि पावसाचे थेंब तयार करतात (जे केवळ वरच्या वातावरणातील अनुकूल परिस्थितीतच घडते). जर वातावरण खूप कोरडे असेल तर, ढगांचे बाष्पीभवन होते आणि काहीवेळा विरगा तयार करतात(पाऊस पृष्ठभागावर पोहोचत नाही) आणि मोठ्या आकाराचे बर्फाचे स्फटिक फक्त 'बर्फ' म्हणून खाली पडतील आणि वितळून जमिनीवर पोहोचणारे पावसाचे थेंब तयार होतील. थंड हवामानात, अतिशीत पातळी पृष्ठभागाच्या जवळ असते किंवा शून्य तापमानात, बर्फ पृष्ठभागावर पडतो. ग्लॅसिओजेनिक सीडिंगचा वापर अमेरिकेमध्ये स्नो पॅक वाढविण्यासाठी केला जातो.

23. बीजरोपण झाल्यावर ढगांमध्ये पर्जन्य सुरु होते , पण कधी कधी पाऊस जमिनीपर्यंत पोचत नाही,असे का?

ढग पाऊस पाडतात पण वातावरण खूप कोरडे असल्यामुळे आणि थेंबांचे बाष्पीभवन होत असल्यामुळे ते जमिनीवर पोहोचत नाही.

24. बीजरोपणा दरम्यान येणाऱ्या व्यावहारिक अडचणी?

एक प्रमुख पैलू म्हणजे ढगांचे आकारमान वेगाने वाढते आणि त्यातून पाऊस सुरु होण्यापूर्वी आपण ढगांना त्यांच्या वाढीच्या सुरुवातीच्या काळात लक्ष्य करणे आवश्यक आहे. पाऊस चालू असताना ढगांमध्ये पेरणी केल्याने सीमेच्या थरात बीज कण टाकले जातील आणि त्याचा हेतू साध्य होणार नाही. म्हणून, पेरणी करण्यासाठी योग्य वेळ ठरवणे आवश्यक आहे. पायलटला क्लाउड

बेसजवळ बीज वितरित करण्याच्या मार्गाविषयी प्रशिक्षण आणि ज्ञान आवश्यक आहे तसेच तो सक्रिय असणे आवश्यक आहे. यावेळी अनेक प्रकारे सुरक्षा घेण्याची गरज असते कारण ढगांच्या वरच्या स्तरामध्ये उड्डाण केल्याने विमानावर बर्फ जमू शकतो, जे धोकादायक आहे. प्रयोगाच्या योग्य संचालनासाठी अनेक गोष्टींची सावधगिरी बाळगणे आणि समन्वित प्रयत्न करणे आवश्यक आहे. एखाद्याला हवामानाच्या परिस्थितीचे अचूक तपशील आणि कोणत्याही नजीकच्या गंभीर हवामानाची माहिती असणे आवश्यक आहे, जे सुरक्षिततेच्या दृष्टीने चिंतेचे असू शकते. अजून एक गोष्ट म्हणजे पक्ष्यांमुळे विमानचालन धोक्यात येऊ शकते .

25.भारतात सीडिंग दरम्यान उड्डाण करण्यासाठी अनेक निर्बंध कसे हाताळायचे?

उड्डाणासाठी अनेक निर्बंध आहेत आणि अनेक परवानग्या आगाऊ घेणे आवश्यक आहे. एखाद्याने हे समजून घेतले पाहिजे की हे सुरक्षिततेसाठी आवश्यक आहे. . हे स्टॅकहोल्डर आणि अधिकारी यांच्यातील चांगल्या समजूतदारपणाने आणि संवादासह अनुसरणे आवश्यक आहे.

26.भविष्यात भारतात किंवा कोठेही यशस्वी बीजारोपण करण्यासाठी कोणत्या प्रकारच्या पायाभूत सुविधांची आवश्यकता आहे?

याची नोंद घेण्यात आली आहे की बीजारोपण करण्यापूर्वी, करताना व केल्यानंतर, ढगांची समग्र माहिती आवश्यक आहे आणि जमिनीवरील संवहन आणि त्याचे गुणधर्म यांचे संपूर्ण तपशील देऊ शकतात. बीजन आणि इतर निरीक्षणांसह सुसज्ज विमान (किमान ढगातील पाणी आणि ऊर्ध्ववारे) बीजनासाठी आणि मेघ निवडण्यासाठी आवश्यक आहे . एखाद्या ठिकाणी पडलेल्या पावसाचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी पर्जन्यमापक नेटवर्कचीही आवश्यकता असते. पर्जन्यमापकांची घनता प्रत्येक 25 x 25 किमी 2 क्षेत्रामध्ये किमान एक रेन गेज असू शकते.

27.पाऊस वाढवण्यासाठी नेहमी मेघ बीजकरण केले जाते का? पाऊस दडपण्यासाठी काही मेघ बीजकरण आहे का?

मेघ बीजकरण हवेतील फेरफारासाठी केले जाते जसे की अ) पाऊस वाढवणे, ब) पाऊस कमी करणे क) धुके/प्रदूषण कमी करणे आणि ड) गारपीट कमी करणे. हवा फेरफार विज्ञानातील संशोधनाची ही सर्व सक्रिय क्षेत्रे आहेत.

28.मेघ बीजकरण प्रक्रियेचा वापर करून दाट धुके दूर करणे शक्य आहे का?

उबदार धुक्याच्या थरांमध्ये बीजकरणासाठी अश्या परिस्थितीत पाण्याचे थेंब वापरून काही परिणामकारकता असल्याचे दिसून येते. परंतु बर्फाच्या धुक्यामध्ये, धुके दूर करण्यासाठीचे माहितीपूर्ण अभ्यास उपलब्ध आहेत.

29. मेघ बीजकरण किती क्षेत्रफळावर करता येते?

100 x 100 किमी² क्षेत्रामध्ये मेघ बीजकरण सामान्यतः एका विमानाने केले जाऊ शकते. ढग त्याच्या हस्तक्षेपाच्या ठिकाणाहून हलतील आणि सी-बँड रडारच्या मदतीने जवळपास 200 किमी डाउनविंडमध्ये त्या ढगांचे निरीक्षण केले जाऊ शकते. .

30. मेघ बीजकरणामुळे मोठ्या क्षेत्रावरील एकूण पर्जन्यमान वाढू शकते कि ते फक्त मोठ्या क्षेत्रावरील पावसाचे पुनर्वितरण करते?

बाष्पाचे प्रमाण ढगांमध्ये निश्चित असते आणि ढगांच्या बीजनामुळे खरोखरच पावसाचे पुनर्वितरण होते. लक्ष्य क्षेत्र शोधून काढण्यासाठी योग्य नियोजन करून, ढग आणि त्यांचे दैनंदिन बदल समजून घेतल्यास, बीजित संवहन, पावसाचे इतर विरळ प्रदेशांमध्ये पुनर्वितरण करू शकते. एक लक्षात ठेवले पाहिजे की सर्व बीजयुक्त ढग पाऊस देत नाहीत. पर्जन्यमानात क्षेत्र वाढवणे हे अजूनही संशोधनाचा विषय क्षेत्र आहे आणि ते अजून सिद्ध झालेले नाही. हे नैसर्गिक पर्जन्यमानातील मोठ्या परिवर्तनामुळे होते आणि बीजित पाऊस वेगळे करता येत नाही, जोपर्यंत यादृच्छिकीकरण प्रक्रियेचे पालन केले जात नाही, तपशीलवार संख्यात्मक अभ्यास आणि निरीक्षणे WMO मार्गदर्शक तत्वानुसार आधारभूत पुरावा म्हणून वापरली जातात.

31. कोणत्याही प्रकारच्या भूभागावर मेघ बीजकरण करता येते का कि क्षेत्र निवडण्यासाठी काही निकष आहेत का?

कोणत्याही भूभागावर मेघ बीजकरण करता येते, तथापि, बीजारोपण करण्यायोग्य ढग उपलब्ध असणे आवश्यक आहे. फक्त ठराविक प्रदेशांमध्ये बीजारोपण करण्यायोग्य ढग असतात आणि अशी ठिकाणे आधीच ओळखली जावीत. त्या ढगांमध्ये पाऊस येण्यापूर्वी, ढगांमध्ये द्रव पाण्याचे प्रतिनिधित्व करणाऱ्या पुरेशा संवहनासह आणि पुरेशा उंचीचे ढग, जसे कि > 1 किमी असणे आवश्यक आहे.

32. बीजनानंतर मेघ बीजकरण सामग्रीचे आयुष्य किती असते?

वातावरणात उत्सर्जित होणाऱ्या इतर एरोसोल कणांप्रमाणेच मेघ बीजकरण मटेरियल डिपॉझिशन आणि वेट स्कॅव्हेंजिंगद्वारे काढले जाऊ शकते. हे उपलब्ध पर्यावरणीय परिस्थितीवर अवलंबून असते.

33. मेघ बीजकरणामुळे काही नैसर्गिक आपत्ती येऊ शकते का?

कधीतरी मेघ बीजकरणामुळे जास्त पाऊस झाल्याची नोंद आहे. परंतु तीव्र हवामानाच्या परिस्थितीत बीजनची शिफारस केलेली नाही.

34. विमान वापरण्याऐवजी पर्यायी, किफायतशीर पद्धती कोणत्या आहेत?

अतिशय उंचीवरून बीजन करणे, ड्रोन किंवा इतर पद्धती जसे की क्लाउड बेसवर पेरणीसाठी मार्गदर्शित फुगे वापरणे.

35. ढग नसतानाही बीजन केल्याने पाऊस पडू शकतो असा एक सामान्य समज आहे. हे खरे आहे का?

नाही. पेरणीसाठी योग्य ढग आवश्यक आहेत. सर्व ढग बीजन करण्यायोग्य नसतात.

36. बीजनामुळे चांगले सिंचन होऊ शकते आणि त्यामुळे जमिनीच्या वापराच्या पद्धती बदलतात. याचा परिणाम काय होऊ शकतो?

दीर्घकालीन डेटासह प्रादेशिक प्रभावांचे मूल्यांकन केले जाऊ शकते, याचा योग्य अभ्यास होणे आवश्यक आहे.

37. क्लाउड सीडिंग प्रयोग पूर्व-मान्सून हंगामात संवहनी ढगांमध्ये गारा निष्प्रभ करू शकतात का?

हेल सप्रेशन्वर जगभरात काही प्रयोग केले गेले आहेत (उदा. अर्जेन्टिना, पश्चिम युरोप आणि यूएसए) तथापि, कोणतेही सांख्यिकीय पुरावे नाहीत आणि पुढील संशोधनाची आवश्यकता आहे

38. भारतातील योग्य ठिकाणे कोणती आहेत जिथे क्लाउड सीडिंग प्रयोग केले जाऊ शकतात?

विशिष्ट ठिकाणाच्या ढगांचे गुणधर्म आणि त्यांच्या दैनंदिन बदलाबद्दल योग्य माहितीसह या प्रकरणाचे प्रादेशिक विश्लेषण आवश्यक आहे. बीजनासाठी योग्य सर्वत्र ढग उपलब्ध नाहीत.

39. क्लाउड सीडिंग सामग्री आपल्या पर्यावरणासाठी सुरक्षित आहे का?

बीजनाच्या संभाव्य पर्यावरणीय प्रभावांबद्दलचे अभ्यास फारच मर्यादित आहेत. चांदी विषारी आहे आणि जर ते मोठ्या प्रमाणात सोडले तर ते पर्यावरण आणि मानवांसाठी वाईट आहे. AgI मेघ बीजकरण मध्ये वापरला जाणारा एक अद्राव्य किंवा न विरघळणारा पदार्थ आहे. विरघळणारे स्वरूप जास्त प्रमाणात विषारी असते, जसे की 10 ग्रॅम सिल्व्हर नायट्रेट (ज्याचा वापर सुरुवातीच्या काळात केला जात असे) माणसाने सेवन केल्यास तो जीवघेणा असतो आणि वेगवेगळ्या जीवांसाठी सुरक्षा मर्यादा बदलतात. पाण्यात विरघळू शकणारे जास्तीत जास्त प्रमाण 1.6 भाग प्रति हजार दशलक्ष (काही मायक्रोग्राम चांदीचे आयन), अन्नामध्ये (मशरूम) काहीशे मायक्रोग्राम उपलब्ध आहेत. परंतु अगदी कमी प्रमाणात (0.2 मायक्रोग्रॅम) मासे, सूक्ष्मजीव इत्यादींसाठी (जलचर) अत्यंत विषारी

असतात. क्लाउड सीडिंगमुळे चांदी 2-50 पट वाढू शकते (म्हणजे निरीक्षणातून नोंदवलेले 20 मायक्रोग्रॅम पर्यंत). आयोडीन हे AgI रेणूंच्या वस्तुमानाच्या 54% आहे आणि त्याचे विषारी परिणाम आढळत नाही.

परिणामी, WMO ने शिफारस केली आहे की पर्जन्यवृष्टीवरील प्रभावाचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी प्रत्यक्ष आणि सांख्यिकीय प्रयोग आणि न्यूमेरिकल सिम्युलेशन या दोन्हीसह बीजन मूल्यमापन केले जावे.

40. मेघ बीजकरण प्रभावी पुरावा असल्याचा आहे का?

पर्वतीय ढगांमध्ये ग्लेशियोजेनिक बीजनाचे आता चांगले दस्तऐवजीकरण केले गेले आहे. Rauber et al., (2019) यूएसएच्या पश्चिम भागात पर्वतीय ढगांमध्ये ग्लेशियोजेनिक सीडिंगची सर्वसमावेशक आणि वर्तमान स्थिती देतात. पर्वतीय ढगांना भूभागावर नैसर्गिक ऊर्ध्वगामी गती असते असते. भूप्रदेशाची वाऱ्याकडील बाजू ओलाव्याचे आणि जबरदस्तीने उचलण्याचे एककेंद्रीकरण देते. एकंदर कल्पना अशी होती की हिमवर्षाव वाढवण्यासाठी पर्वतराजींच्या वरच्या बाजूस असलेल्या ढगांमध्ये शून्य अंश तापमानाच्या खाली तापमानात (सुपर कूल्ड लिक्विड वॉटर) उपस्थित असलेल्या द्रव पाण्याचे रूपांतर अधिक बर्फाचे केंद्रके सुरू करावीत. हा प्रयोग सर्वात व्यापक आहे, जो अंतर्निहित गृहितकाला संबोधित करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या भौतिक, सांख्यिकीय आणि संख्यात्मक मॉडेलिंग घटकांचे वर्णन करतो. प्रयोगाने अनेक अत्याधुनिक साधने कार्यान्वित केली आहेत, तथापि, बर्फाचे केंद्रीकरण (अनेक यंत्रणांद्वारे) समजणे कठीण आहे. अभ्यासाने असेही सूचित केले आहे की प्रगत संख्यात्मक मॉडेलचा वापर बीजन स्थान निवडण्यासाठी केला जाऊ शकतो. ग्लॅसिओजेनिक सीडिंगच्या भौतिक मूल्यमापनाद्वारे कागदोपत्री पुरावे आहेत की AgI सह अति थंड द्रव असलेले ढग बीजन करून, ढगापासून पृष्ठभागावरील पर्जन्यवृष्टीचा माग काढणे शक्य आहे.

तथापि, हायग्रोस्कोपिक सीडिंगचा कोणतेही दस्तऐवजीकरणाचे भौतिक पुरावे नाही, विशेषतः संवहनी ढगांमध्ये जे वातावरणाशी प्रबळ गतिशील देवाणघेवाणीमुळे अधिक बेशिस्त असतात. मुख्य चेंबरावणी अशी आहे की क्लाउड सीडिंग सिग्नल नैसर्गिक परिवर्तनशीलतेपेक्षा अनेक पटींनी लहान असू शकतात आणि त्यामुळे बीजन प्रभावाचे दस्तऐवजीकरण करणे खूप आव्हानात्मक आहे. परिणामी, बीजरोपणानंतर प्रक्रियेच्या साखळीचे अनुसरण करणे पृष्ठभागावरील पर्जन्यवृष्टीसाठी आवश्यक आहे. बहुतेकदा प्रयोगापूर्वी प्रक्रियांच्या साखळीबद्दल एक गृहितक तयार केले जाते ज्याद्वारे बीजनामुळे ढगांमध्ये पर्जन्य निर्मिती होऊ शकते. यामध्ये बीजरोपीत प्लुम्सचा मागोवा घेणे, बीजरोपीत आणि बिगर बीजरोपीत ढगांमधील परस्परसंवाद शोधणे आणि अतिरिक्त-क्षेत्र प्रभाव,

म्हणजे लक्ष्य क्षेत्राबाहेर पेरणीचा प्रभाव समाविष्ट आहे. या पैलूंचा अभ्यास विशेष-अनुकूल मॉडेल प्रयोगांद्वारे केला जातो, ज्याचा आधार उत्तम-कॅलिब्रेटेड रडार निरीक्षणे आणि पर्जन्यमापकांनी केला जातो.

सिल्व्हर आयोडाइड (AgI) आणि एसीटोन बर्नर वापरून भूमी-आधारित बीजरोपण परंपरागतपणे त्यांच्या अंमलबजावणीच्या सुलभतेमुळे मेघ बीजकरणमध्ये वापरले जात असे. बहुतेकदा भूमी आधारित AGI बर्नर ढगांमध्ये बीजन सामग्री वितरीत करण्याच्या प्रक्रियेमध्ये वायुआधारित पध्दतीइतके प्रभावी नसतात. जेव्हा बीजन सामग्री जमिनीवरून वितरीत केली जाते, तेव्हा ते खालच्या वातावरणात लटकून राहू शकते आणि वातावरणीय परिस्थितीनुसार सीमा थरात हरवून जाऊ शकते आणि वाऱ्याच्या विरुद्ध प्रदेशावरील परिस्थितीसाठी योग्य असू शकत नाही. मेघमध्ये बीज सामग्री लक्षणीय प्रमाणात सोडणे हा सर्वोत्तम पर्याय आहे.

41. ऑपरेशनल मेघ बीजकरण

जगभरातील 56 पेक्षा जास्त देशांमध्ये ऑपरेशनल मेघ बीजकरण प्रयोग केला जातो (फ्लॉसमन व इतर., 2019). हवेतील फेरफाराच्या विविध शक्यतांचे आकलन करण्यासाठी हवेतील फेरफाराच्या संशोधनावरही मोठा भर दिला जातो. पर्जन्यवृष्टी वाढविण्यासाठी क्लाउड सीडिंगच्या परिमाणात्मक निष्कर्षाबाबत अजूनही अनिश्चितता आहे (WMO जागतिक हवामान संस्था, 2018b: कार्यकारी परिषद परिशिष्ट 2 ते निर्णय 53 (EC-69) मधील हवामान बदलाच्या क्रियाकलापांसाठी योजना आणि मार्गदर्शन). डब्ल्यूएमओ मेघ बीजकरण परिणामांच्या वैज्ञानिक दस्तऐवजीकरणावर लक्ष केंद्रित करणाऱ्या तपशीलवार संशोधन कार्यक्रमांची शिफारस करते आणि हा WWRP चालू योजनेतील एक विषय आहे (WMO 2010). ऑस्ट्रेलिया, चीन, भारत, रशियन फेडरेशन, थायलंड, संयुक्त अरब अमिराती आणि युनायटेड स्टेट्स ऑफ अमेरिका येथे संशोधन कार्यक्रम चालू आहेत. WMO पीअर रिव्ह्यू रिपोर्ट (2018) नुसार, कोणत्याही ऑपरेशनल बीजरोपण कार्यक्रमापूर्वी "विषारी, पर्यावरणीय, समाजशास्त्रीय आणि कायदेशीर समस्या, तसेच अतिरिक्त-क्षेत्र प्रभावांचा विचार करणे आवश्यक आहे". (अतिरिक्त क्षेत्राचा परिणाम सांप्रत बीजित क्षेत्राच्या बाहेरील पर्जन्यावर होतो).

सामान्यतः पर्वतीय ढग (नैसर्गिक उचलण्याच्या प्रक्रियेसह पर्वतीय भागांवर) आणि संवहनी ढग (संवहनी ऊर्ध्वगामी वायु गती असलेले) बीजनासाठी निवडले जातात. पर्वतीय क्लाउड्स (WMO 2018) मध्ये ग्लेशियोजेनिक सीडिंगवर विस्तृत वैज्ञानिक साहित्य आहे. हे अभ्यास मुख्यतः मध्य-पश्चिम यूएसए मधून आलेले आहेत आणि सुस्थापित संशोधन कार्यक्रम हे स्पष्ट करतात की ग्लेशियोजेनिक बीजनमुळे ढगांमध्ये पर्जन्यनिर्मिती होण्याच्या दृष्टीने प्रक्रियेची साखळी होऊ शकते

(फ्रेंच व इतर., 2018). ओरोग्राफिकली उचलल्या जाणार्या ढगांचा विचार पेरणीसाठी पर्वतराजीच्या वाऱ्याच्या बाजूने केला जातो. सुपर कूलड लिक्विडसह मध्य-पश्चिम यूएसए मधील हे ढग स्नोपॅक वाढवण्यासाठी क्लाउड सीडिंगसाठी लक्षित होते.

ऑरोग्राफिक ढगांमध्ये मेघ बीजकरणने पर्जन्य निर्मितीसाठी काही आश्वासने दर्शविली आहेत. अशा पावसाच्या वाढीचे मात्रात्मक मूल्यमापन नुकतेच उपलब्ध झाले आहे. हे मुख्यत्वे या वस्तुस्थितीमुळे होते की बीजारोपण परिणामांमुळे होणारा पाऊस (जर असेल तर) नैसर्गिक पर्जन्यमानापेक्षा वेगळा नाही. ही वस्तुस्थिती मेघ बीजकरणच्या परिणामामध्ये महत्त्वपूर्ण अनिश्चिततेचा परिचय देते. परिणामी, WMO ने शिफारस केली आहे की पर्जन्यवृष्टीवरील प्रभावाचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी बीजन मूल्यमापन भौतिक आणि सांख्यिकीय प्रयोग आणि संख्यात्मक सिम्युलेशन दोन्हीसह केले जावे.

42. मेघ बीजकरणसाठी संवहनी ढग एक आव्हान का आहेत?

संवहनी ढगांमध्ये मेघ बीजकरणची परिणामकारकता निश्चित करणे हे मुख्यतः या क्लाउड सिस्टम्सच्या जटिल गतिशीलतेशी संबंधित अडचणीमुळे एक आव्हान बनले आहे. संवहनी ढगांमध्ये फ्लेअर सीडिंगशी संबंधित बीजन तपासणीचे पारंपारिक पद्धतींसह दस्तऐवजीकरण करणे शक्य नाही.

हे देखील लक्षात घेतले पाहिजे की प्रत्येक प्रकारचे ढग बीजन करण्यायोग्य नसतात आणि ऑपरेशनल सीडिंगपूर्वी क्लाउड मॉर्फोलॉजिकल आणि हवामानशास्त्रीय वैशिष्ट्यांचे मूल्यांकन करणे आवश्यक आहे. संवहनी ढगांचे जलद परिवर्तनामुळे, योग्य वेळी त्यांना लक्ष्य करणे अधिक कठीण करते. सीडिंगचा प्रकार आणि स्थान, ढगांच्या पायाची उंची, ढगांची खोली आणि ढगांमधील द्रव पाण्याचे प्रमाण, पर्जन्यवृष्टीचे दैनंदिन चक्र इत्यादी गोष्टी निर्णय घेण्यामध्ये खूप महत्त्वाच्या असतात.

43. मेघ बीजकरणाची आंतरराष्ट्रीय स्थिती काय आहे

जगभरात हवेतील फेरफाराकडे अधिक लक्ष दिले जात आहे कारण पर्जन्यवृद्धी, धुके कमी करणे, प्रदूषण फैलावणे, हवामान व्यवस्थापन इ. अशा उपक्रमांमध्ये 56 देश गुंतलेले आहेत. पर्जन्यवृद्धीच्या विज्ञानाची सध्याची सर्वसमावेशक स्थिती, WMO समीक्षकांच्या पुनरावलोकन अहवालात, Flossmann व इतर (2018) मध्ये दर्शविली आहे. सीडिंगचा प्रभाव समजून घेण्यासाठी क्लाउड डायनॅमिक्स आणि त्याचे मायक्रोफिजिक्स यांच्यातील परस्परसंवाद हा सर्वात आव्हानात्मक विषय आहे. मेघ बीजकरण कणांच्या वितरणानंतर ढगातील हायड्रोडायनामिक बदलांची कल्पना एरोसोल-क्लाउड-पर्जन्य संवाद म्हणून केली जाते, जिथे अधिक एरोसोल कण (क्लाउड कंडेन्सेशन

न्यूक्ली) त्यांच्या मेघ सक्रियतेच्या गुणधर्मावर अवलंबून ढगांचे थेंब किंवा बर्फाचे कण बनू शकतात आणि उपलब्ध असलेल्या वेगवेगळ्या सुपरसॅच्युरेशनवर प्रसार प्रक्रियेने वाढू शकतात.

हवेच्या प्रत्येक स्तंभामध्ये 26 मिमी m^{-2} पाणी असते व त्याचबरोबरोर वातावरणात पाण्याची एकत्रित वाफ $13 \times 10^3 \text{ km}^3$ असते. पाऊस म्हणून हे सर्व पाणी वातावरणातून जमिनीपर्यंत पावसाच्याच स्वरूपात येते असे नाही. ग्लोबल वॉर्मिंगची परिस्थिती ही कल्पना मांडते की कोरडी ठिकाणे अधिक कोरडी होतात आणि ओली ठिकाणे अधिक ओली होतात. मेघ बीजकरण (UN 2020) द्वारे पर्जन्यवृद्धीसह विविध मार्गांनी गोड्या पाण्याच्या स्रोतांची आवश्यकता शोधली जाते.

44. मेघ बीजकरणामध्ये सर्वात मोठे आव्हान कोणते आहे?

पावसाच्या वाढीतील सर्वात मोठे आव्हान म्हणजे नैसर्गिक आणि फेरफार केल्यानंतरचे पर्जन्यमान वेगळे करण्यात येणारी अडचण हे लक्षणीय नैसर्गिक परिवर्तनशीलतेमुळे येणारी (NRC, 2003), जे नॉन-लिनियर प्रक्रिया आणि क्लाउड मायक्रोफिजिक्स आणि डायनॅमिक्सच्या परस्परसंवादाद्वारे नियंत्रित केले जाते.

45. काय शिफारशी आहेत?

नॅशनल रिसर्च कौन्सिल (NRC, USA) ने या समस्येसाठी तीन-घटकांच्या दृष्टिकोनाची शिफारस केली आहे a) भौतिक प्रयोग b) सांख्यिकीय प्रयोग आणि c) संख्यात्मक बीजन प्रयोग. असे सुचवण्यात आले आहे की नमुन्याच्या आकारामध्ये लक्ष्य क्षेत्राप्रमाणे विविध पर्यावरणीय आणि पार्श्वभूमी असलेले एरोसोल परिस्थिती समाविष्ट आहे आणि बीजनच्या परिणामाच्या पुनरावृत्ती करण्यायोग्य स्वरूपाचे दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी असंख्य प्रकरणे आवश्यक आहेत. प्रगत तंत्रज्ञानामुळे, पर्जन्य प्रक्रियेतील घटनांच्या भौतिक साखळीचे दस्तऐवजीकरण करता येते आणि पर्जन्य निर्मिती प्रक्रियेचे अनुसरण करण्यासाठी आणि प्रमाणित करण्यासाठी प्रगत बीजन मॉडेल्सने अभ्यास करता येतो. पर्जन्य रसायनशास्त्र आणि पर्जन्यमानातील बीज सामग्रीचा मागोवा घेण्यासाठी ट्रेसर्ससह, विविध प्रकारच्या निरीक्षणांच्या नेटवर्कद्वारे पर्जन्यमानाचे थेट मोजमाप करण्याची शिफारस करण्यात आली आहे.

46. बीजन धोरण काय आहे?

विविध प्रकारचे बीजन धोरण केले जाते, जे अनेक लक्षित क्लाउड प्रकारावर अवलंबून असते, ज्यापैकी हिवाळ्यातील ओरोग्राफिक आणि उन्हाळ्यातील संवहनी ढगांना सर्वाधिक मागणी असते. मिडवेस्टर्न युनायटेड स्टेट्समधील हिवाळ्यातील ऑरोग्राफिक सीडिंगवर बराचसा अभ्यास उपलब्ध

आहे जेथे ग्लेशियोजेनिक बीजन कार्यान्वित केले जाते. SNOWIE प्रकल्प मध्ये तीन-घटकांच्या दृष्टिकोनातून समस्येचे निराकरण करण्याचा प्रयत्न केला गेला. भूआधारित पेरणीच्या आधारावर, व्योमिंग प्रयोगाचे अलीकडील परिणाम पेरणीच्या परिणामामुळे पर्जन्यमानात 5% वाढ दर्शवतात.

47. ग्लेशियोजेनिक सीडिंगवर संशोधन अभ्यास कसा केला जातो?

ग्लेशियोजेनिक सीडिंगमध्ये, एजीआयचा बर्फ केंद्रक म्हणून हवेमध्ये वापरल्यानंतर क्लाउड मायक्रोफिजिकल प्रक्रियेची तपासणी केली जाते. सीडिंगची परिणामकारकता, विमान आणि ग्राउंड-आधारित रिमोट सेन्सिंग उपकरणांवरील तपशीलवार निरीक्षणांवर आधारित विंटर ऑरोग्राफिक क्लाउड्समध्ये, इडाहो (SNOWIE) प्रयोगातून मूल्यांकित करता आली .

48. मेघ बीजकरणाची परिणामकारकता सिद्ध करण्यात मोठे आव्हान कोणते आहे?

पेरणीमुळे पर्जन्यवृष्टीचे प्रमाण शोधणे आणि त्याचे प्रमाणीकरण हे पर्जन्यमानातील नैसर्गिक परिवर्तनशीलतेपासून वेगळे करणे जवळजवळ अशक्य आहे. नैसर्गिक पर्जन्यवृष्टीच्या मोठ्या परिवर्तनशीलतेमध्ये पर्जन्यवृष्टीमध्ये बीजन तपासणी एक अतिशय लहान संकेत असेल. मेघ बीजकरण अंमलबजावणीच्या परिणामकारकतेचे मूल्यांकन करताना ही सर्वात महत्वाची समस्या आहे.

49. तंत्रज्ञानात अलीकडे काय बदलले आहेत?

ढगांची त्रि-आयामी रचना आणि उत्क्रांती पाहण्यासाठी नवीन आणि सुधारित उपकरणे आणि चांगल्या संख्यात्मक मॉडेलिंग क्षमतांनी क्लाउड सीडिंगच्या पर्जन्यवृद्धीसाठी असलेल्या संभाव्यतेचे मूल्यांकन करण्याची क्षमता प्रदान केली आहे.

50. पर्यावरणीय मूल्यांकनासाठी काय सुचवले जाऊ शकते?

लक्षित ठिकाणी बर्फ किंवा पर्जन्यवृष्टीचे विश्लेषण करून चांदी आणि इतर खनिजांच्या अस्तित्वाचे निरीक्षण करावे लागते. लक्ष्य क्षेत्रावरील परिस्थितीच्या आधारे बीज कण विखुरणे, वाहून जाणे आणि जमा होणे हे समजून घेणे आवश्यक आहे. बऱ्याच घटनांमध्ये, ट्रेसरचा वापर सीडिंग एजंट्ससह केला जातो. भूआधारित पेरणीने हवेतील पेरणीच्या तुलनेत पृष्ठभागावर बीज कणांचे उच्च ट्रेसर शोधण्यात योगदान दिले आहे.

51. अलिकडच्या वर्षांत काय प्रगती आहे?

रिमोट आणि इन सिटू ऑब्झर्वेशनल टूल्स, पोलरीमेट्रिक रडार, डॉप्लर लिडार आणि विमानातील रडार, सेल-ट्रॅकिंग सॉफ्टवेअर (टायटन), मेगावॉट रेडिओमीटर, विमानातील इन्स्ट्रुमेंटेशन, क्लाउड कंडेन्सेशन न्यूक्ली आणि आइस-न्यूक्लीटिंग कणांची निरीक्षणे, ढग आणि पर्जन्य तयार होण्याच्या शास्त्राबद्दलची सखोल माहिती आणि मूल्यमापन साधने (प्लुम ट्रॅकिंग, सीडिंग इफेक्ट्स इ.) या सर्व गोष्टी एकत्रितपणे बीजरोपण केलेल्या ढगांबद्दल विस्तृत माहिती देतात.

52. जगभरातील हवामान बदलातील घटनांचा कालक्रम

१९४०:

- कोरड्या बर्फामुळे अतिथंड द्रव ढगात हिमनग निर्माण होतो (शेफर 1946)
- सिल्व्हर आयोडाइड (AgI), हिमसंपृक्त अतिशीत ढग (वोनेगट 1947)
- राष्ट्रीय विज्ञान अकादमी अहवाल, WMO अहवाल आणि इतर अनेक.
- हवेच्या फेरफारावरील विशेष आयोग (1966)
- लक्ष्य आणि नियंत्रण पद्धती वापरून सदोष सांख्यिकीय विश्लेषणे (रंगनो 1979)

• १९७०:

- एअरबोर्न ऑप्टिकल अरे प्रोब आणि रडारचा वापर (ध्रुवीकरण) यातील प्रगती
- भारतीय क्लाउड फिजिक्स अभ्यास आणि भारतीय उष्णकटिबंधीय हवामानशास्त्र संस्थेद्वारे मेघ बीजकरण प्रयोग

• १९८०-९० चे दशक:

- (केर १९८२ च्या अहवालानंतर), मेघ बीजकरण संशोधनासाठी निधी नाही
- वायोमिंग आणि इडाहो मधील ओरोग्राफिक क्लाउड सिस्टम, दक्षिण आफ्रिका आणि थायलंडमधील संवहनी वादळांपासून पर्जन्यवृद्धी संशोधन (सिल्व्हरमन २००१ अ, २००३)
- 1980 मध्ये चिनी गारा निष्प्रभाकरण्याचा प्रयोग. सध्या, बीजिंग वेदर मॉडिफिकेशन ऑफिस, चीन हे जगातील मेघ बीजकरण वर काम करणारे सर्वात मोठे केंद्र असल्याचे मानले जाते आणि देशभरात 37,000 लोक क्लाउड सीडिंग वर काम करत आहेत

• २००३

- NAC अहवाल: मेघ बीजकरणचे मूल्यांकन करण्यासाठी नवीन तंत्रज्ञानाचा संभाव्य वापर
- ढगांच्या संरचनेचे आणि या ढगांचे मॉडेल तयार करण्यासाठी विमान आणि रडारच्या मदतीने भौतिक मूल्यमापन

• २००८

- बीजिंग उन्हाळी ऑलिंपिक पाऊस निष्प्रभीकरण कार्यक्रम
- CAIPEEX फेज I २००९, CAIPEEX फेज II (२०१०-२०११)

• २०१५:

- निरीक्षण तंत्रज्ञान आणि मॉडेलिंग क्षमता यामध्ये लक्षणीय प्रगती (विविध प्रकारचे रडार, रेडिओमीटर, एअरबोर्न प्रोब) (Geerts et al. २०१५)
- CAIPEEX फेज III (२०१४-२०१५) नमुना प्रयोग

• २०१६:

- ५६ देशांमध्ये हवेतील फेरफार प्रयोग सक्रिय होते (ब्रंटजेस २०१६, WMO).

• २०१८:

- WMO समवयस्क पुनरावलोकन अहवाल २०१८: घटनांच्या भौतिक साखळीने बर्फ आणि अवस्था -फेज ढगांवर पुढील संशोधनाची आवश्यकता दर्शविली. अधिक संशोधनाचा शिफारस करण्यात आली.
- यूएसए मध्ये ३६ सक्रिय हवेतील फेरफार कार्यक्रम. जवळपास निम्मे प्रकल्प उन्हाळ्यात आणि निम्मे हिवाळ्यात चालतात. प्रकल्पांना राज्य सरकार, स्थानिक सरकार, खाजगी क्षेत्र आणि विमा कंपन्यांकडून निधी दिला जातो. काही प्रकल्पांमध्ये संशोधनाचा घटक समाविष्ट असतो.

• २०१९:

- स्नोपॅक जलाशय वाढवण्यासाठी विंटरटाइम मेघ बीजकरण, नॉर्थ डकोटामधील गारपीट-दमन ऑपरेशन्स, टेक्सासमधील संवहनी वादळांपासून पावसाची वृद्धी, ऑस्ट्रेलियाच्या

हिमाच्छादीत पर्वतांसाठी ओरोग्राफिक ढग (मंटन आणि वॉरेन २०११), CAIPEEX (CAIPEEX २००९) असे अनेक कार्यक्रम अस्तित्वात आहेत.

• २०२०

- ग्लेशियोजेनिक सीडिंगसाठी SNOWIE कडून जमिनीवर हिमवृद्धीबद्दल दस्तऐवजीकरण

• २०२१

- यादृच्छिकीकरण प्रयोग वापरून CAIPEEX कडून संवहनी क्लाउड हायग्रोस्कोपिक सीडिंगसाठी दस्तऐवजीकरण
- ढगामध्ये बीज कणांचा मागोवा

53.मेघ बीजकरणसाठी कोणते मूलभूत घटक आवश्यक आहेत?

हवेतून करण्यात येणारे क्लाउड सीडिंग आणि भूआधारित मेघ बीजकरणसाठी वेगवेगळ्या आवश्यकता आहेत

हवेतील बीजारोपण

हवेतील बीजारोपण विमानाने केले जाऊ शकते जे जमिनीपासून जास्त उंचीवर फ्लेअर बर्न करून ढगांचे बीजन करू शकते. जेव्हा क्लाउड बेस अधिक उंचीवर असतो किंवा ढगाच्या शीर्षस्थानी बीजन करावे लागते तेव्हा हवेतून मेघ बीजकरणची आवश्यकता असते.

बीजारोपणाचे विमान हे एक सुधारित विमान असेल ज्याच्या दोन्ही पंखांच्या खाली फ्लेअर रॅक जोडलेले असतील आणि विमानाच्या आत इलेक्ट्रॉनिक सर्किटद्वारे ट्रिगर करतील. पायलट विदुत बटनाने फ्लेअर्स प्रज्वलित करतात.

बीजारोपण करणाऱ्या विमानाचे किमान तपशील खालीलप्रमाणे असू शकतात:

पॅरामीटर	तपशील (महत्तम वजनावर)
किमान सर्वात कमी ऑपरेटिंग उंची	500-1000 फूट AMSL (समुद्रसपाच्या वर)
किमान सर्वोच्च ऑपरेटिंग उंची	पूर्ण भार आणि संपूर्ण इंधनासह 25000 ते 28000 फूट एएमएसएल (टीप: विमान क्लाउड टॉप सीडिंग करण्यास सक्षम असावे)

नमुना गती	60-120 मी/से
चढाई दर	400 - 500 फूट / मिनिट
सहनशक्ती	4-5 तास
पल्ला	किमान 2000 किमी
विशेष आवश्यकता	एअर इनलेट्स (आयसोकिनेटिक इनलेट आणि रिव्हर्स फ्लो इनलेट) इन्स्ट्रुमेंट रॅक
उपकरणे	सूचीबद्ध इन्स्ट्रुमेंट इनलेट्स आणि संबंधित बदलांसाठी प्रमाणन
संशोधन शक्ती	> 5kW at 28VDC > 2kW at 220VAC 60Hz > 1kW at 115VAC 60Hz

विमान आयात करण्यासाठी आणि चालवण्यासाठी अनेक परवानग्या आवश्यक आहेत. परवानग्यांचा संच नागरी विमान वाहतूक महासंचालनालय (Directorate General of Civil Aviation), भारतीय विमानतळ प्राधिकरण (Airport Authority of India), महसूल गुप्तचर संचालनालय (Directorate of Revenue Intelligence), गृह मंत्रालय (Ministry of Home Affairs), सीमाशुल्क, संरक्षण मंत्रालय, प्रादेशिक आणि स्थानिक विमानतळ प्राधिकरण, स्थानिक कायद्याची अंमलबजावणी इ. विविध प्राधिकरणांचा आहे

शब्दकोष

एरोसोल/ धूलिकण: वातावरणातील निलंबित कण, घन किंवा द्रव कणांपासून बनलेले

एकत्रीकरण: अशी प्रक्रिया ज्याद्वारे बर्फाचे स्फटिक एकत्र चिकटतात आणि त्यांचे आकार आणि वस्तुमान वाढते

बर्न-इन-प्लेस फ्लेअर: मेघ बीजकरण फ्लेअर जे विमानाच्या पंखावर बसवले जाते आणि शॉर्ट सर्किटने प्रज्वलित होते.

ढगाचा थेंब: पाण्याचे थेंब ज्याचा आकार 2-50 मायक्रोमीटर असतो आणि हवेत तरंगत असतो. ढगांच्या थेंबांचे एकत्रीकरणाने मेघ बनते.

क्लाउड कंडेन्सेशन न्यूक्ली (CCN): एरोसोल कण ज्यांना पाण्याच्या बाष्पाचे आकर्षण असते आणि ते अतिसंतृप्त परिस्थितीत ढगांचे थेंब तयार करू शकतात

मेघ बीजकरण फ्लेअर: कॉम्प्रेस्ड मेघ बीजकरण मटेरियल जे जे जाळून धूर तयार होतो त्यात असंख्य CCN असतात

क्लाउड बेस: समुद्रसपाटीच्या वरची उंची जिथे एरोसोल कणांवर वातावरणातील पाण्याच्या वाफेच्या संक्षेपणामुळे ढगांचे थेंब तयार होतात.

क्लाउड डेपथ: क्लाउड टॉप आणि क्लाउड बेस हाइट्समधील फरक

मेघ बीजकरण: वातावरणात उपस्थित असलेल्या अतिरिक्त ज्ञात आणि उपयुक्त एरोसोलचा वापर, जे पावसाच्या थेंब निर्मितीची प्रक्रिया प्रभावित करण्याच्या उद्देशाने वेगवेगळ्या आकाराचे ढगांचे थेंब तयार करू शकतात.

आघाती एकत्रीकरण: प्राथमिक प्रक्रिया, मुख्यतः ढगाच्या आतल्या अस्थिर प्रवाहामुळे प्रभावित होते, ज्याद्वारे उबदार पाऊस तयार होतो. बारीक ढगांच्या थेंबांची मंद आणि अस्थिर हालचाल त्यांना एकमेकांवर आदळते आणि ते एकत्र येऊन मोठे थेंब बनवते. पुरेसे मोठे (24 मायक्रोमीटरपेक्षा जास्त आकाराचे) ढगांचे थेंब गुरुत्वाकर्षणामुळे ढगातून पडतात. या काळात, ते इतर लहान थेंबांवर आदळतात आणि आकाराने आणखी मोठे होतात आणि शेवटी पावसाचे थेंब तयार होतात.

डॅड्राइट्स: ढगातील मूळचे बर्फाचे कण जे वातावरणात पाण्याची वाफ जमा करून बर्फाच्या न्यूक्लिएटिंग कणांवर (बर्फ निर्मितीसाठी CCN) वाढतात. हे त्या प्रदेशात तयार होतात जेथे सभोवतालचे तापमान -12 ते -16°C दरम्यान असते

मूल्यमापनाची जागा: नैसर्गिक पर्जन्यमान तपासून मेघ बीजकरणचे मूल्यांकन केले जाते असा प्रदेश

इजेक्टबल फ्लेअर: फ्लेअर्स जे विमानातून, विस्तारित होणाऱ्या ढगात सोडले जातात

ग्लेशियोजेनिक बीजन: ढगांच्या थंड भागात बर्फ तयार करणाऱ्या कणांचा (बर्फ निर्मितीसाठी CCN) प्रवेश करणे. हे सहसा ढगाच्या शीर्षस्थानी केले जाते ज्यामध्ये पुरेसे द्रव पाणी असते

ढगाचे ग्लेशिएशन: कोणत्याही द्रव पाण्याशिवाय संपूर्ण बर्फाचे कण तयार होण्याची प्रक्रिया. या प्रक्रियेमुळे बर्फाचे ढग तयार होतात

मिश्र-अवस्था ढग: ढग ज्यामध्ये पाणी आणि बर्फ दोन्ही असतात

हायगोस्कोपिक सीडिंग: मेघ बीजकरण बीजकण वितरित करणे ज्यामुळे पाण्याचे थेंब तयार होऊ शकतात. हे सहसा ढगाच्या पायथ्याशी विखुरलेले असतात, परंतु काहीवेळा काही विशिष्ट परिस्थितींमध्ये ढगाच्या आत देखील असू शकतात

H-M प्रक्रिया : ढगांमध्ये हॅलेट-मॉसॉप प्रक्रिया -3 ते -10 °C तापमानाच्या श्रेणीमध्ये होते जेथे अतिशीत द्रव थेंबांचे उत्स्फूर्त विघटन होते आणि परिणामी स्प्लंटरिंगमुळे अनेक बर्फ स्फटिक तयार होतात. मान्सूनच्या ढगांमध्ये ही सामान्यतः आढळणारी प्रक्रिया आहे

बर्फ केंद्रक कण (INP): वातावरणात बर्फ तयार करणारे कण

संख्यात्मक अनुकरण: वातावरणातील स्थिती, ढगांचा विकास आणि पावसाची निर्मिती यांचे वर्णन करणारी गणितीय समीकरणे संगणकाच्या मदतीने सोडवली जातात. हा संख्यात्मक प्रयोग स्वारस्य असलेल्या विभागावर मेघ बीजकरणाच्या प्रभावाचा अभ्यास करण्यासाठी वापरला जाऊ शकतो

भौतिक प्रयोग: ढगांच्या थेंबांची वाढ आणि पावसाच्या थेंबांची निर्मिती नोंदवण्यासाठी मेघ बीजकरणाचा प्रभाव अत्याधुनिक साधनांनी प्रत्यक्ष तपासला जातो.

पोलरीमेट्रिक रडार: सी-बँडमधील डॉपलर रडार जो दुहेरी-ध्रुवीकृत आहे आणि ढगांमधील पाऊस आणि बर्फाच्या कणांचे भूमितीय (आकार, माप, इ.) आणि यांत्रिक (विस्थापन, वेग इ.) गुणधर्म मोजण्यास सक्षम आहे.

यादृच्छिकरण प्रयोग: प्रमाणित यादृच्छिकीकरण प्रक्रियेचा वापर करून ढग यादृच्छिक पद्धतीने सीड केले जातात. सांख्यिकीय चाचण्यांचा वापर सीड केलेल्या ढगांच्या विरुद्ध बीजन न झालेल्या ढगांमधून पडणाऱ्या पावसाच्या प्रमाणाची तुलना करण्यासाठी केला जातो.

पावसाचे थेंब: 1-6 मिमी आकाराचे पाण्याचे थेंब एकतर बर्फ वितळल्यामुळे किंवा ढगांच्या थेंबांच्या टक्करने तयार होतात.

दुय्यम बर्फाचे उत्पादन: बर्फाच्या न्यूक्लियेशन प्रक्रियेव्यतिरिक्त अप्रत्यक्ष प्रक्रियेद्वारे ढगात बर्फाच्या कणांची निर्मिती

सुपर कूल केलेले पाणी: ढगांमधील शून्याखाली तापमान असलेल्या भागातील घनरूप पाणी

टार्गेट साइट: पर्जन्य वृद्धीसाठी ज्या भागात मेघ बीजकरण केले जाते

अनुलंब वेग: एखाद्या स्थानावरील अनुलंब वेग, विशेषतः ढगाच्या आत किंवा सर्वसाधारणपणे वातावरणात, वरच्या (खालच्या) दिशेने वेग असलेल्या हवेच्या प्रवाहाला अपड्राफ्ट (डाउनड्राफ्ट) म्हणतात.

उबदार ढगाचा थर: ढगांचा थर ज्यामध्ये तापमान 0°C पेक्षा जास्त असते.

अतिरिक्त वाचन :

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>. (Operational 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](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>.