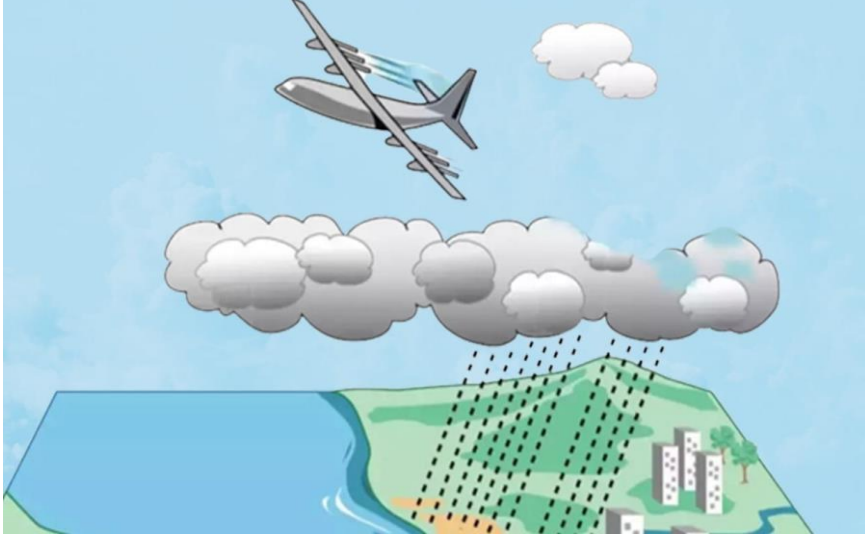


शैक्षणिक संदर्भ अंक १४८ (जून - जुलै २०२४)

ढगपेरणी (cloud seeding) - हवामानाशी जोखमीचा खेळ

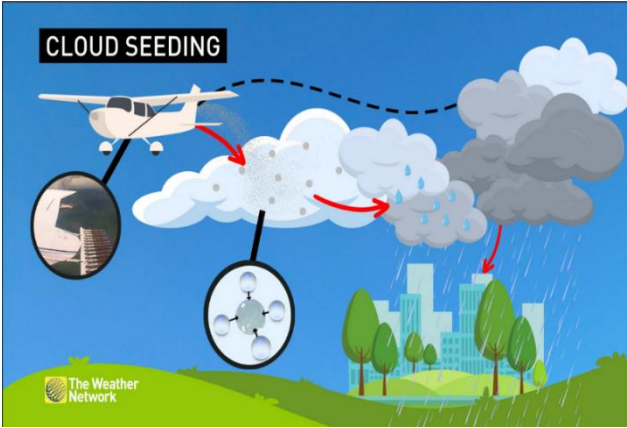
लेखक : डॉ विवेक शिळीमकर



ढगपेरणी (cloud seeding) - हवामानाशी जोखमीचा खेळ

लेखक : डॉ विवेक शिळीमकर

‘ढगपेरणी’ म्हणजेच ‘क्लाउड सीडिंग’ हे हवामानपरिवर्तनाचे तंत्र आहे. याचा वापर पर्जन्यवृष्टीमध्ये बदल करण्यासाठी होतो. बहुचर्चेत असलेले परिवर्तन म्हणजे पर्जन्यवृष्टीमध्ये वाढ करणे. पर्जन्यवृष्टी वाढविण्याच्या उद्देशाने ढगांच्या पेरणीचे माध्यम म्हणून ओळखले



ढगांची पेरणी कशी केली जाते याचे प्रतिमा

चित्र स्रोत : द वेदर नेटवर्क

जाणारे काही पदार्थ ढगांमध्ये सोडले जातात. या पदार्थांना ‘सीडिंग एजंट्स’ म्हटले जाते. ही प्रक्रिया संघनन किंवा घनीभवन तत्त्वावर आधारित आहे. यामध्ये पेरणी केलेले पदार्थ पाण्याच्या वाफेचे संघनन होण्यासाठी पृष्ठभाग म्हणून उपयोगात येतात. यामुळे पाण्याचे थेंब किंवा बर्फाचे स्फटिक तयार होण्यास मदत होते. या हवामान परिवर्तनामुळे ढगनिर्मिती आणि पर्जन्यवृष्टीच्या नैसर्गिक प्रक्रियेला चालना मिळते. कृषीउत्पादकतेला पाठिंबा देण्यासाठी, जलस्रोतांचे पुनरुज्जीवन करण्यासाठी आणि परिसंस्थेवरील दुष्काळाचे परिणाम कमी करण्यासाठी याचा खूप उपयोग होऊ शकतो.

जगभरात वेगवेगळ्या कारणासाठी ढगपेरणीमार्फत कृत्रिम पाऊस पाडण्याचे प्रयोग केले गेले आहेत. दक्षिण कोरियामध्ये धरणांमधील पाणीसाठा आणि जलविद्युत निर्मितीमध्ये वाढ करण्याच्या हेतूने ढगपेरणी आणि कृत्रिम पाऊस पाडण्याचे अनेक प्रयोग केले गेले (Kim, Bu-Yo et. al. [२०२०](#)). या प्रयोगांदरम्यान कृत्रिम पावसात जी वाढ झाली त्यामुळे एकूण १२ अब्ज लिटर पाणी वाढले आणि या वाढीव पाण्यामुळे ४.७९ दशलक्ष kWh इतकी जास्त ऊर्जा निर्माण होऊ शकली. या सर्व ढगपेरणींच्या प्रयोगामुळे दक्षिण कोरियाला अंदाजे १.०१ दशलक्ष डॉलर्सचा फायदा झाला. या प्रयोगांचे १.५ हे लाभ/खर्चाचे गुणोत्तर या प्रयोगांची लक्षणीय कार्यक्षमता दर्शवते.

२००३ ते २०१९ दरम्यान संयुक्त अरब अमिराती (UAE)मध्ये ढगपेरणीमार्फत कृत्रिम पावसाचे प्रयोग (Al Hosari, T et. al. [२०२१](#)) पाण्याची टंचाई दूर करण्यासाठी आणि एकूणच ढगपेरणी कृत्रिम पाऊस पाडण्यात किती प्रभावी आहे, याचा अभ्यास करण्यासाठी केले गेले. या प्रयोगांचा निष्कर्ष हा निघाला की, १९८२ ते २००२ या काळातल्या नैसर्गिक पावसामध्ये २००३ ते २०१९ दरम्यान ढगपेरणी केलेल्या भागात पावसाची वार्षिक सरासरी २३% इतकी वाढली. याचबरोबर UAE मध्ये एकूणच पावसाचे प्रमाण कमी होताना दिसते, मात्र ज्या ज्या भागात ढगपेरणी केली गेली, तिथे मात्र २०११ पासून पावसाच्या प्रमाणात वाढ झाली. पावसात झालेली ही वाढ सांख्यिकीदृष्ट्या लक्षणीय होती, यामुळे ढगपेरणीच्या सकारात्मक परिणामांना पुष्टी मिळते.

एप्रिल २०२४ मध्ये, संयुक्त अरब अमिरातीमध्ये (UAE) वर्षभराचा पाऊस एकाच दिवसात झाला, ज्यामुळे लक्षणीय पूर आला. ही अतिवृष्टीची घटना ढगपेरणीमुळे झाली की

काय, असे प्रश्न उपस्थित केले गेले आणि त्यावर संवादही झाले. UAE मध्ये ढगपेरणी ही एक सामान्य प्रथा आहे आणि तिचा उपयोग ढगनिर्मिती आणि पर्जन्यवृष्टीला प्रोत्साहन देण्यासाठी केला जातो. मात्र, या तंत्राचा वारंवार वापर करूनही महापुरासाठी ढगपेरणी जबाबदार नसल्याचे तज्ज्ञांनी स्पष्ट केले आहे. नॅशनल सेंटर ऑफ मेटिओरोलॉजी (NCM) ने पुष्टी केली की, या विशिष्ट दिवशी कोणतीही ढगपेरणी केली गेली नव्हती.

ढगपेरणीमार्फत कृत्रिम पाऊस पाडण्याचे असेच १०३ प्रयोग २०१८ आणि २०१९ दरम्यान CAIPEEX (Cloud Aerosol Interaction and Precipitation Enhancement Experiment) या प्रकल्पांतर्गत महाराष्ट्रातही केले गेले. हे प्रयोग करण्यासाठी महाराष्ट्रातील पाण्याची बारमाही कमतरता असणाऱ्या सोलापूर जिल्ह्याची निवड केली गेली होती. हे प्रयोग ढगपेरणीचा प्रभावीपणा आणि पाण्याची कमतरता दूर करण्यासाठी येणाऱ्या खर्चाचा अंदाज काढण्यासाठी केले गेले. हे प्रयोग यशस्वी ठरले आणि ढगपेरणीमुळे पावसामध्ये साधारण १८% किंवा ८६७ दशलक्ष लिटर एवढी वाढ झाली. १०३ प्रयोगांनंतर पावसाच्या एकूण प्रमाणात झालेली वाढ आणि प्रयोगांसाठी आलेला एकूण खर्च याचे प्रमाण १८ पैसे प्रतिलिटर एवढे होते (पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय [अहवाल](#), जुलै २०२३). या खर्चामध्ये कृत्रिम पाऊस पाडण्याबरोबर ढगपेरणीची परिणामकारकता आणि संशोधन यांचासुद्धा समावेश होता. त्यामुळे फक्त कृत्रिम पाऊस पाडायचा झाल्यास होणाऱ्या खर्चात लक्षणीय कपात होऊ शकते, असे मत संशोधन करणाऱ्या संस्थेने व्यक्त केले आहे.

या सर्व प्रयोगांमधून ढगपेरणी आणि कृत्रिम पावसामुळे पाण्याची टंचाई कमी करता येऊ शकते आणि आर्थिकदृष्ट्या त्याचे फायदे होऊ शकतात याची पुष्टी होते. या व्यतिरिक्त,

त्याच कृत्रिम पावसाचा कोणत्या उद्देशासाठी वापर केला जाईल त्यानुसार आर्थिक फायदे बदलू शकतात, जसे की, जंगलातील आग रोखणे, धुके पसरवणे, प्रदूषणाचे किंवा छोट्या



हवेतील प्रदूषण किंवा धुळीचे कण कमी करण्यासाठी अशा प्रकारे पाण्याचे फवारे हवेत मारले जातात आणि पाण्याबरोबर धुळीचे कण जमिनीवर पडतात.
स्रोत : The Times of India

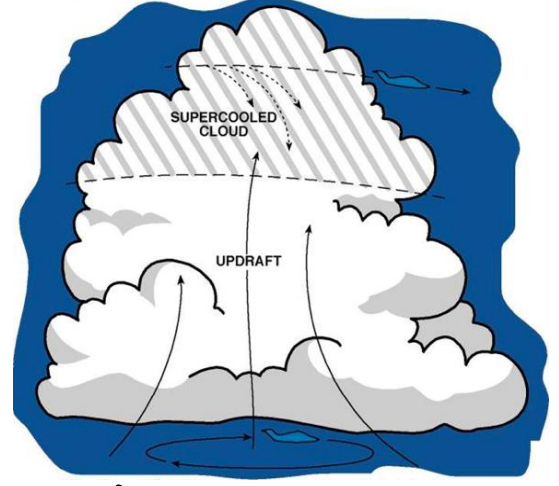
धुळीच्या कणांचे (PM2.5, PM10) प्रमाण कमी करणे इत्यादी. राजधानी दिल्लीमध्ये धूलिकणांचे प्रमाण कमी करण्यासाठी छोट्याछोट्या चौकांमध्ये असे प्रयोग करण्यात आले आहेत. मात्र मोठ्या प्रदेशात जास्त प्रमाणावर प्रदूषण कमी करायचे असेल, तर कृत्रिम पाऊस हा चांगला पर्याय आहे.

पावसाच्या प्रमाणात वाढ करण्यात ढगपेरणीची भूमिका बऱ्यापैकी माहिती असली, तरी गडगडाटी वादळे आणि गारपीट रोखण्यासाठी सुद्धा त्याचा वापर होऊ शकतो, हे वाचून अनेकांना आश्चर्याचा धक्का बसेल. हे वाचल्यावर साहजिक प्रश्न पडणार की, एकाच प्रक्रियेने दोन विरुद्ध परिणाम कसे होतील? जेव्हा ढगांमध्ये पुरेशा प्रमाणात बाष्प असताना, पावसाचे थेंब तयार होऊन पाऊस पडण्यासाठी अनुकूल सीडींग एजंट नसतात, तेव्हा पाऊस पडत नाही. या वेळी अशा ढगांमध्ये सीडींग एजंट्सची पेरणी करून पावसाचे थेंब तयार होण्यासाठी अनुकूल वातावरण तयार केले जाते आणि कृत्रिम पाऊस पडतो.

गारा या मिश्र अवस्थेच्या ढगांमध्ये तयार होतात, ज्यामध्ये अतिथंड पाण्याचे थेंब (0°C पेक्षा कमी तापमानाचे पाणी) आणि बर्फाचे कणदेखील असतात. हे ढग सामान्यतः

तीव्र गडगडाटी वादळांशी संबंधित मोठ्या कम्युलोनिम्बस प्रणालीचा भाग असतात. बर्फाचे कण किंवा गोठलेले पावसाचे थेंब गारांचा गाभा म्हणून काम करतात. जेव्हा अतिथंड पाण्याचे थेंब बर्फाच्या केंद्रकांच्या संपर्कात येतात (गोठण्यास सुलभ करणारे कण) किंवा इतर बर्फाच्या कणांशी त्यांची टक्कर झाल्यास गारा तयार होण्यासाठी गरजेचा गाभा तयार होतो.

गारांचा गाभा एकदा तयार झाला की, गारांचा आकार मोठा होत जातो. जोपर्यंत कम्युलोनिम्बस ढगांमधला अपड्राफ्ट (ढगांच्या पायापासून ते टोकापर्यंत जोराने वाहणारा वारा) त्या गारांना वर तरंगत ठेवतो, तोपर्यंत गारांचा आकार वाढतो.



अखेरीस गारांचा पाऊस पडतो. गारांचा आकार हा ढगांमध्ये असणाऱ्या गारांच्या गाभ्यांच्या संख्येवर अवलंबून असतो. जेवढी गाभ्यांची संख्या कमी, तेवढा गारांचा आकार मोठा. या ज्ञानावर आधारित गारांचा पाऊस रोखण्यासाठी किंवा गारांचा आकार कमी करण्यासाठी काही प्रयोग केले गेले. या प्रयोगांमध्ये रडारच्या माध्यमातून गारा तयार होणारे ढग ओळखले जातात आणि अशा ढगांमध्ये गारांच्या गाभ्यासाठी आवश्यक सीडींग एजंट्स ढगांच्यावरून सोडले जातात. यामुळे ढगामध्ये गारांच्या गाभ्यांची संख्या वाढते आणि हे सीडींग एजंट्स ढगांमधील अतिथंड पाणी वापरतात. यामुळे ढगांमधील प्रत्येक गाभ्याला उपलब्ध असलेल्या पाण्याचे प्रमाण कमी होते आणि गारांचा आकार कमी होतो (Farshad Jalili Pirani et. al. [२०२३](#)). परिणामी अतिवृष्टी किंवा गारांमुळे होणारे नुकसान कमी होते. ज्या प्रदेशात गारपिटीमुळे पिकांना आणि उपजीविकेला धोका निर्माण होतो, तेथे ढगपेरणी करून

कृषीउत्पन्नाचे संरक्षण करण्यासाठी आणि नुकसान कमी करण्यासाठी प्रयत्न केला जाऊ शकतो. या प्रक्रियेत अतिवृष्टी किंवा गारपीट रोखली जात असल्यामुळे, विध्वंसक हवामान घटनांच्या प्रभावांना रोखण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी ढगपेरणीचा हा पैलू खूप महत्त्वाचा आहे.

ढगपेरणीचे दोन्ही पैलू आर्थिकदृष्ट्या फार महत्त्वाचे आणि फायद्याचे आहेत. CAIPEEX प्रकल्पामुळे जसा कृत्रिम पाऊस कसा फायद्याचा आहे हे समजले, तसेच अतिवृष्टी किंवा गारांच्या पावसामुळे होणारे नुकसान कसे कमी करता येईल यावर अधिक संशोधन भारतात व्हायला हवे. ढगांच्या पेरणीद्वारे पाण्याची टंचाई दूर करण्याबरोबर, सध्या भारतभर होणाऱ्या अतिवृष्टीच्या घटना कमी करता आल्या, तर पिकांचे आणि परिणामी भारतीय अर्थव्यवस्थेचे नुकसान कमी करता येईल.

§§§

लेखक : डॉ विवेक शिलीमकर, पुणे विद्यापीठातून हवामानशास्त्रात पदव्युत्तर पदवी, होक्काईदो विद्यापीठात पीएच. डी, इन्फ्रा क्लाऊड टेक्नोलॉजी प्रा. लि. येथे कार्यरत.

इ-मेल : vivek.shilimkar@gmail.com

(कळीचे शब्द : ढगपेरणी, क्लाउड सीडिंग, सीडिंग एजंट्स, कृत्रिम पाऊस, कम्युलोनिम्बस ढग, गारा)

शैक्षणिक संदर्भ द्वैमासिकाविषयी

शैक्षणिक संदर्भ हे पालकनीती परिवाराचे द्वैमासिक ऑगस्ट १९९९ पासून संदर्भ सोसायटी प्रकाशित करत आहे. २०१८ सालापासून 'शैक्षणिक संदर्भ' हा इ-अंक इ-मेल आणि व्हॉट्सॅपच्या माध्यमातून आपल्यापर्यंत आम्ही नियमित पोहोचवत आहोत.

आपल्याला आमचे अंक वाचायचे असल्यास आपला इ-मेल पत्ता आणि व्हॉट्सॅप क्रमांक (ऐच्छिक) आम्हाला sandarbh.marathi@gmail.com वर पाठवावा. दर आठवड्याला एक लेख व दर दोन महिने पूर्ण झाल्यावर आठ लेखांचा एकत्रित एक अंक असे आपल्याला पीडीएफ स्वरूपात मिळतील. आपला व्हॉट्सॅप क्रमांक कळवल्यास आपल्याला Sandarbh Readers या आमच्यावाचक गटामध्ये सामील केले जाईल. तेथेही आपण लेख व अंक वाचू शकाल.

www.sandarbhociety.org या वेबसाईटला जरूर भेट द्या. जुने अंक त्यावर पीडीएफ स्वरूपात उपलब्ध आहेत. वाचू शकता, डाऊनलोड करू शकता.

या उपक्रमासाठी आपली ऐच्छिक देणगी संदर्भ सोसायटीकडे खालील अकाउंटमध्ये जमा करू शकता, केल्यानंतर वरील इ-पत्त्यावर तशी मेल करा.. अधिक माहिती वेबसाइटवर उपलब्ध आहे.

इ-पेमेंट : Sandarbh Society

Account No.: 20047006634

Bank of Maharashtra, Mayur Colony, Pune

IFS Code: MAHB0000852

- संपादक मंडळ, शैक्षणिक संदर्भ व विश्वस्त मंडळ, संदर्भ सोसायटी