

गंगेच्या मैदानी प्रदेशातील उष्णतेच्या लाटांमागील स्थानिक रहस्य उलगडणारे नवीन संशोधन

आयआयटी मुंबईच्या संशोधनातून असे स्पष्ट झाले आहे की गंगेच्या मैदानी प्रदेशातील उष्णतेच्या लाटांची निर्मिती होण्यास इतर ठिकाणांहून येणाऱ्या गरम हवेपेक्षा स्थानिक जमीन आणि वातावरणातील बदल अधिक कारणीभूत आहेत.



प्रतिमा श्रेय: [pexels.com](https://www.pexels.com) द्वारे अभिषेक गोयल

कोट्यवधी जनसंख्या असलेल्या गंगेच्या मैदानी प्रदेशावरील तीव्र होत चालेल्या उष्णतेच्या लाटा (हिटवेव्ह) म्हणजे केवळ असह्य तापमान नसून त्यापलीकडचे एक मोठे संकट आहे. उष्णतेच्या लाटांच्या या अतितीव्र घटना म्हणजे केवळ ऋतूनुसार येणारी तात्पुरती अडचण नाही तर जनजीवनाला असलेला थेट धोका आहे. प्रत्येक उन्हाळ्याबरोबर या उष्णतेच्या लाटा आदल्या वर्षापेक्षा आधीच येत आहेत आणि अधिक काळ टिकून राहत आहेत. दरवर्षी उष्णतेच्या लाटांमुळे निर्माण होणारे आरोग्याचे धोके आणि होणारे मृत्यू अत्यंत चिंताजनक आहेत.

या जीवघेण्या आणि उपजीविकेवर गदा आणणाऱ्या वार्षिक संकटाचे नेमके कारण काय? बऱ्याच काळापासून असा एक व्यापक समज होता की उष्ण हवा इतर ठिकाणांहून वाहत येते. मात्र, आता भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई (आयआयटी मुंबई) येथील सेंटर ऑफ स्टडीज इन रिसोर्सेस इंजिनिअरिंग आणि सेंटर फॉर क्लायमेट स्टडीज यांच्या [नवीन संशोधनातून](#) असे समोर आले आहे की गंगेच्या मैदानी प्रदेशावरील

सर्वच उष्णतेच्या लाटा एकसारख्या नसतात आणि त्यांच्या निर्मितीला कारणीभूत असलेले घटक केवळ दूरचे नसून प्रामुख्याने स्थानिक आहेत.

“हवामानाचा अंदाज वर्तवण्याच्या पारंपरिक पद्धतींमध्ये वायव्येकडील उष्ण हवा गंगेच्या मैदानी प्रदेशात वाहत येत आहे का, यावर बहुधा भर दिला जातो. आमचे निष्कर्ष असे सुचवतात की, या प्रदेशात उष्णतेच्या लाटा नेमक्या कधी आणि कुठे निर्माण होतील याचे भाकीत करण्यासाठी स्थानिक जमीन आणि वातावरणीय परिस्थितीवर लक्ष ठेवणे अधिक महत्त्वाचे ठरते. यामुळे हवामानाचा अंदाज ढोबळ प्रादेशिक इशाऱ्यांऐवजी अधिक स्थान-विशिष्ट पूर्वसूचनांच्या माध्यमातून देण्यास मदत होऊ शकते,” असे या अभ्यासाच्या मुख्य लेखिका आणि आयआयटी मुंबईमधील पीएचडी विद्यार्थिनी मनाली साहा स्पष्ट करतात.

या स्थानिक घटकांचा सखोल आढावा घेण्यापूर्वी संशोधकांनी असे नमूद केले की उष्णतेच्या लाटा विकसित होण्यासाठी ‘अँटीसायक्लोन’ म्हणजेच मोठ्या प्रमाणावरील उच्च दाबाची प्रणाली तयार होणे ही एक आवश्यक पार्श्वभूमी असते. या प्रणाली नेमक्या काय आहेत ते पाहूया.

उष्णतेच्या लाटांमागील ‘अँटीसायक्लोन’ची पार्श्वभूमी

अँटीसायक्लोन किंवा प्रतिचक्रवात या वातावरणात तयार होणाऱ्या उच्च दाबाच्या मोठ्या प्रणाली असतात. त्यांचा विस्तार अनेकदा शेकडो किलोमीटरपर्यंत असतो. त्यांची निर्मिती वातावरणातील व्यापक स्तरावरील हवेच्या अभिसरण (सर्क्युलेशन) पॅटर्नमुळे होते आणि त्यांच्यावर समुद्राचे तापमान तसेच ग्रहीय स्तरावरील हवेच्या प्रवाहासारख्या दूरवरच्या घटकांचा प्रभाव असतो. संशोधकांचा पूर्वी असा समज होता की या व्यापक प्रणाली गंगेच्या मैदानी प्रदेशात उष्ण हवा वाहून आणतात. मात्र, या प्रतिचक्रवातांची भूमिका महत्त्वाची असली तरी ती आधीच्या समजुतीपेक्षा अत्यंत वेगळी आहे असे सदर अभ्यास स्पष्ट करतो.

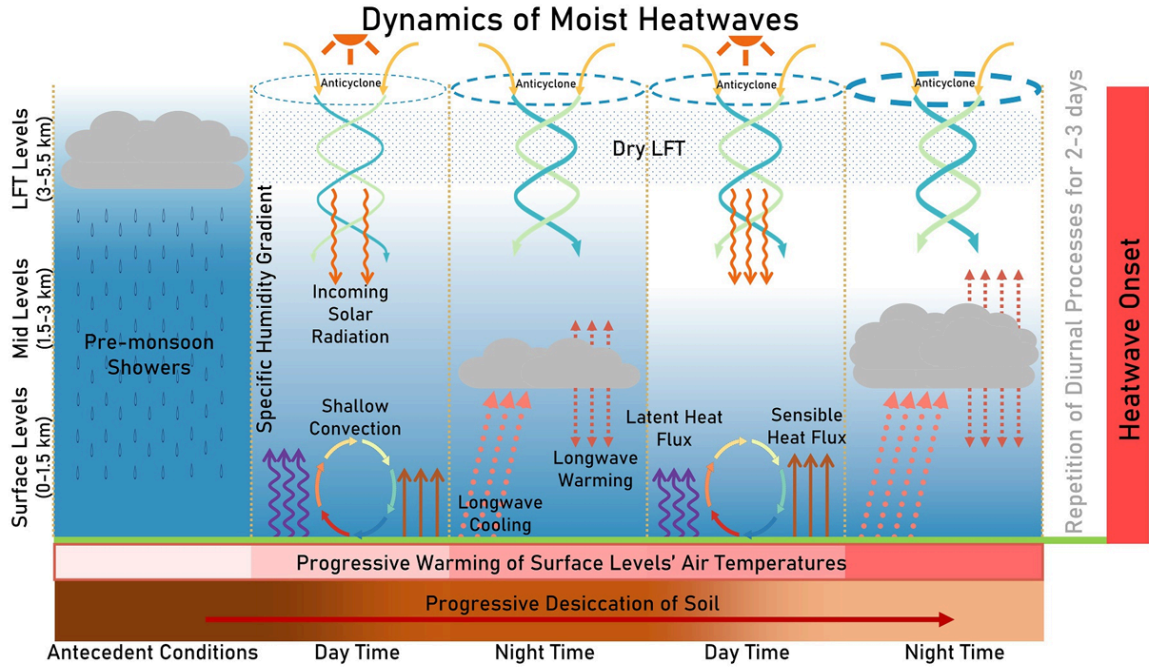
उच्च दाबाच्या प्रतिचक्रवातांमुळे गरम हवा जमिनीच्या दिशेने खाली दबली जाते, ज्यामुळे ढग तयार होण्याच्या प्रक्रियेत अडथळा निर्माण होतो. परिणामी निर्माण झालेले निरभ्र आकाश आणि सूर्याची प्रखर किरणे यामुळे उष्णतेच्या लाटांसाठी पूरक परिस्थिती निर्माण होते. अभ्यासात असे स्पष्ट करण्यात आले आहे की मान्सूनपूर्व काळातील उष्णतेच्या लाटांच्या दरम्यान गंगेच्या मैदानी प्रदेशात अशा प्रतिचक्रवात प्रणाली सातत्याने अस्तित्वात असतात ज्यामुळे उष्णता वाढण्यासाठी पोषक वातावरण तयार होते. परंतु जरी प्रतिचक्रवात स्थिती आवश्यक असली तरी स्वतःहून उष्णतेची लाट निर्माण करण्यास केवळ तेवढे पुरेसे नाही असे या निष्कर्षावरून दिसून येते. या उच्च दाबाच्या प्रणालींमध्ये स्थानिक जमीन आणि वातावरणीय परिस्थिती त्याला कसा प्रतिसाद देते, यावरूनच तिथे उष्णतेची लाट येईल की नाही हे निश्चित होते.

आयआयटी मुंबईच्या या नवीन संशोधनात २०१० पासूनच्या मान्सूनपूर्व काळातील १० प्रमुख उष्णतेच्या लाटांच्या घटनांचे ‘हीट-बजेट’ पद्धत आणि ‘ईआरए५’ या १९४० पासूनच्या जागतिक हवामानाच्या तपशीलवार नोंदींच्या आधारे विश्लेषण करण्यात आले आहे. या पद्धतीमुळे तापमानातील बदलाचे वर्गीकरण इतर ठिकाणांहून येणारी उष्ण हवा, खाली दबली गेल्यामुळे गरम होत जाणारी हवा, आणि जमिनीच्या पृष्ठभागामुळे निर्माण होणारी उष्णता अशा वेगवेगळ्या घटकांमध्ये करता येते. समान हवामान परिस्थिती असलेल्या क्षेत्रांमधील उष्णतेची लाट असलेले भाग आणि जवळचेच उष्णतेची लाट नसलेले भाग यांची तुलना करून संशोधकांनी असे दाखवून दिले की स्थानिक जमीन आणि वातावरण यातील फरक अत्यंत कळीचे मुद्दे आहेत. जमिनीचे तापणे आणि हवेचे आकुंचन या दोन स्थानिक प्रक्रिया मुख्यत्वे उष्णतेच्या लाटांच्या निर्मितीला प्रभावित करतात. आर्द्रता आणि जमिनीतील ओलावा यांसारखे इतर स्थानिक

घटक उष्णतेच्या लाटेचे नेमके स्वरूप निश्चित करतात.

उष्णतेच्या 'दमट' आणि 'शुष्क' लाटा

सदर अभ्यासातून असे दिसून येते की एकाच प्रकारच्या मोठ्या प्रतिचक्रवात प्रणालींच्या प्रभावाखाली असूनही दोन अत्यंत भिन्न प्रकारच्या उष्णतेच्या लाटा तयार होऊ शकतात. संशोधकांनी त्यांचे वर्गीकरण उष्णतेच्या 'दमट' आणि 'शुष्क' लाटा असे केले आहे. हा अभ्यास अधिक सखोल माहिती देत असे दर्शवतो की उष्णतेच्या दमट लाटा स्थानिक परिस्थितीच्या एका विशिष्ट क्रमाशी संबंधित असतात. यामध्ये उष्णतेची लाट येण्याच्या काही दिवस आधी मान्सूनपूर्व सरींमुळे वातावरणात अतिरिक्त आर्द्रता येते, ओलाव्यामुळे जमिनीतून होणारे बाष्पीभवन ढग निर्मितीस कारणीभूत ठरते, रात्रीच्या वेळी खाली आलेले ढग उष्णता कोंडून ठेवतात आणि प्रतिचक्रवात तयार होताच जमिनीतून हवेत अधिक उष्णता उत्सर्जित होऊ लागते. याउलट, उष्णतेच्या शुष्क लाटा अशा भागात तयार होतात जिथे जमीन कोरडी असते आणि आकाश पूर्णपणे निरभ्र असते.



सोबतची आकृती उष्णतेच्या दमट लाटांची निर्मिती स्पष्ट करते. आयआयटी मुंबईच्या संशोधनातून असे दिसून आले आहे की, अशा उष्णतेच्या लाटा मान्सूनपूर्व पावसाच्या सरी आणि रात्री ढगाळ वातावरण असणाऱ्या प्रदेशांमध्ये विकसित होतात. रात्रीच्या वेळी, जमिनीलगत असलेले ढग दीर्घलहरी प्रारणांद्वारे उष्णता वाढवण्यास कारणीभूत ठरतात. या आकृतीमधील बाणांची लांबी संबंधित प्रक्रियांच्या तीव्रतेतील बदल दर्शवते. (स्रोत: सहा, दीक्षित आणि कार्तिकेयन, २०२६)

उष्णतेच्या शुष्क लाटांच्या बाबतीत जमीन तापणे हा प्रभावित करणारा मुख्य घटक असतो. मात्र त्याउलट उष्णतेच्या दमट लाटांमध्ये जमिनीची उष्णता, आर्द्रता आणि ढग निर्मितीची प्रक्रिया यांच्यात अधिक गुंतागुंतीच्या प्रक्रिया घडतात. परिणामी, अशा लाटा प्रत्येक वेळी केवळ तापमानाच्या आधारे ओळखता येतील असे नाही. त्यांचे भाकीत वर्तवण्यासाठी स्थानिक पातळीवर वेगवेगळ्या उंचीवरील आर्द्रतेच्या सखोल निरीक्षणांची आवश्यकता असू शकते.

दोन प्रकारच्या उष्णतेच्या लाटांमधील फरकाचे महत्व स्पष्ट करताना साहा म्हणतात, “दोन्ही प्रकारच्या

उष्णतेच्या लाटा जीवघेण्या ठरू शकतात. उष्णतेच्या दमट लाटा मानवी शरीरासाठी साधारणपणे अधिक धोकादायक असतात, कारण अशा हवामानात घामाद्वारे शरीर थंड होण्याची प्रक्रिया प्रभावी ठरत नाही. परंतु, उष्णतेच्या शुष्क लाटांमुळे मृत्यूचे प्रमाण अनेकदा जास्त असते, कारण त्या दीर्घकाळ टिकतात आणि त्यांचा परिणाम मोठ्या क्षेत्रावर होतो. सध्या भारतीय हवामानशास्त्र विभागाकडून उष्णतेच्या लाटेची व्याख्या मुख्यत्वे तापमानाच्या आधारे केली जाते. दमट व शुष्क लाटांमधील फरक स्पष्टपणे विचारात घेतला जात नाही. मात्र, आमचा अभ्यास असे दर्शवतो की उष्णतेच्या दमट आणि शुष्क लाटांची कारणे पूर्णपणे भिन्न आहेत आणि हा फरक ध्यानात घेतल्यास पूर्वसूचना देणारी यंत्रणा अधिक सक्षम होऊ शकते.”

पूर्वसूचनेच्या यंत्रणा होऊ शकतील आणखी सक्षम

समस्या स्थानिक आहे, पण त्याच्या निराकरणाचा मोठा भागही तिथेच दडलेला आहे. उष्णतेची लाट कधी येणार आणि ती कोणत्या प्रकारची असेल, हे सांगू शकणाऱ्या स्थानिक पूर्वसंकेतांचा संच संशोधकांनी ओळखला आहे. यामध्ये जमीन कशी तापते, मान्सूनपूर्व पावसाचे स्वरूप कसे आहे, जमिनीलगतची आर्द्रता किती आहे, हवा किती कोरडी आहे आणि रात्रीच्या वेळी ढग तयार होत आहेत का, यांसारख्या बाबींचा समावेश आहे. वेगवेगळ्या ठिकाणांवरील, उंचीवरील आणि ठराविक कालावधीतील या संकेतांचे अधिक तपशीलवार निरीक्षण केल्यास, हवामान शास्त्रज्ञांना पूर्वसूचना देणारी यंत्रणा अधिक प्रगत करणे आणि स्थान-विशिष्ट इशारे देणे शक्य होईल.

आयआयटी मुंबई मधील प्राध्यापक कार्तिकेयन लंका सांगतात, “एकदा का एखाद्या प्रदेशात मोठ्या प्रमाणावरील प्रतिचक्रवात प्रणाली स्थिरावली की हवामान शास्त्रज्ञ या स्थानिक पूर्वसंकेतांचे बारकाईने निरीक्षण करू शकतात. ज्या ठिकाणी हे संकेत सामान्य स्थितीपेक्षा वेगळे दिसू लागतील, तिथे आगामी दिवसांत उष्णतेची लाट येण्याची शक्यता अधिक असू शकते.”

असे असले तरीही भारतातील बहुतेक कार्यान्वित पूर्वसूचना यंत्रणा आणि उष्णता कृती आराखडे सध्या केवळ जमिनीच्या पृष्ठभागावरील तापमानाच्या पातळीवर आधारित आहेत. सदर संशोधक गट या अभ्यासातील निष्कर्षांच्या आधारे उष्णतेच्या लाटेची पूर्वसूचना देणारी स्वतःची यंत्रणा आणि हवामान अंदाजासाठी निर्णय-समर्थन साधन विकसित करण्याची योजना आखत आहे.

या संशोधन गटाचा भाग असलेले आयआयटी मुंबई मधील हवामान शास्त्रज्ञ प्राध्यापक विशाल दीक्षित म्हणतात, “अभ्यासातून ओळखल्या गेलेल्या पूर्वसंकेतांचा वापर करून ‘मशीन लर्निंग’वर आधारित एक निर्णय-समर्थन प्रणाली विकसित करण्याचे आमचे उद्दिष्ट आहे. ही प्रणाली संपूर्ण भारतात उष्णतेच्या लाटांची पूर्वसूचना आणि स्थान-विशिष्ट अंदाज सुधारण्यासाठी सध्या कार्यान्वित असलेल्या यंत्रणांना मदत करू शकेल.”

संशोधकांच्या मते, गंगेच्या मैदानी प्रदेशातील उष्णतेच्या लाटांच्या भौतिक प्रक्रियांचा अभ्यास करणारे मोजकेच संशोधन उपलब्ध आहे. मात्र, हवामान बदलामुळे उष्णतेच्या लाटांची वारंवारता आणि तीव्रता वाढत असल्याने या प्रक्रिया समजून घेणे आता अधिक महत्त्वाचे झाले आहे. आयआयटी मुंबईच्या या अभ्यासाने वेळेवर आणि विश्वसनीय हवामान अंदाज व इशारे देणाऱ्या यंत्रणेसाठी आवश्यक असलेले निरीक्षणक्षम घटक उपलब्ध करून दिले आहेत, मात्र या अंतर्दृष्टीचे प्रत्यक्ष कार्यान्वित प्रणालीत रूपांतर होण्यासाठी काही काळ लागू शकतो.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Local Land-Atmosphere Interactions Precondition Moist and Dry Heatwaves Under Large-Scale Subsidence Over the Indo-Gangetic Plains
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1029/2025GL118998
List of all researchers with affiliations	Manali Saha, Centre of Studies in Resources Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Vishal Dixit, Centre for Climate Studies, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Lanka Karthikeyan, Centre of Studies in Resources Engineering and Centre for Climate Studies, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India.
Email of researcher/s	Manali Saha <manalisaha@iitb.ac.in> Vishal Dixit <vdixit@iitb.ac.in> Karthikeyan Lanka <karthikl@iitb.ac.in>
Writer name	Deekshith Pinto
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Lead image: Photo by Abhishek Goel via pexels.com Inline image: Authors of the study
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#Heatwaves, #IndoGangeticPlains, #ClimateStudies
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	LinkedIn: Deekshith Pinto (www.linkedin.com/in/deekshith-pinto-sustainability)

	Twitter: deekshith_np
Social Media handles of researchers	<p>LinkedIn: Manali Saha: https://www.linkedin.com/in/manali-saha-2b135a21a/</p> <p>Vishal Dixit: https://www.linkedin.com/in/vishal-dixit-iitb/</p> <p>Karthikeyan Lanka: https://www.linkedin.com/in/karthikeyan-lanka-22377060/</p> <p>Twitter: Karthikeyan Lanka: @KarthikeyanL07 Vishal Dixit: @v2dixit</p>
Funding information (Source: Research paper)	None
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai