मानसून की मूसलाधार बारिश में बिजली कम क्यों? मानसून-ट्रफ का हाथ और रडार का सूक्ष्म संकेत

पर्यावरण और भू-विज्ञान / आपदा-प्रबंधन – आंतरिक (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | समाचार संदर्भ: 20 अक्टूबर 2026 (रिसर्च मैटर्स) | प्राथमिक अध्ययन: अटमॉस्फियरिक रिसर्च, खंड 343, लेख 109295 (ऑनलाइन अगस्त 2026; प्रिंट-अंक जनवरी 2027) | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

खबरों में क्यों

भारतीय ग्रीष्म मानसून की बारिश एक पहेली रखती है: वर्षा मुसलाधार होती है, पर बिजली प्राय: कम चमकती है – जबकि पूर्व-मानसून (अप्रैल-मई) के तूफान कम बारिश में भी खूब गड़गड़ाते हैं। भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान (आईआईटीएम, पुणे), सावित्रीबाई फुले पुणे विश्वविद्यालय और आईआईटी दिल्ली के शोधकर्ताओं ने इस पहेली का उत्तर बादलों के भीतर घुसकर खोजा: ग्रीष्म मानसून में तड़ित (बिजली) को बादल की ऊँचाई या उष्णता-उप्लवन नहीं, बल्कि मानसून-ट्रफ (निम्न दाब की रेखा) से जुड़ी बड़े पैमाने की पवन-गतिकी नियंत्रित करती है। साथ ही टीम ने रडार के भीतर वह सूक्ष्म संकेत पहचाना जो बताता है कि कौन-सा तूफान-कोशिका बिजली बनाएगी। अध्ययन अटमॉस्फियरिक रिसर्च में छपा (खंड 343, लेख 109295; ऑनलाइन 29 अगस्त 2026, प्रिंट-अंक जनवरी 2027); समाचार-कवरेज 20 अक्टूबर 2026 को आई – तिथि-परतें अलग रखें: प्रयोग-विश्लेषण पहले, कवरेज लगभग दो माह बाद।

पृष्ठभूमि: बिजली-आपदा का बोझ

बिजली भारत की सबसे घातक प्राकृतिक आपदाओं में से एक है। राष्ट्रीय अपराध अभिलेख ब्यूरो (एनसीआरबी) के 2023 के आँकड़ों (अक्टूबर 2025 की मीडिया-रिपोर्ट से उद्धृत) के अनुसार 'प्राकृतिक कारणों' से हुई 6,444 मौतों में 39.7 प्रतिशत – 2,560 मौतें – केवल बिजली से हुईं; मध्य प्रदेश, बिहार, ओडिशा, उत्तर प्रदेश और झारखंड इसमें अग्रणी राज्य हैं। ऐसे में यह जानना कि मानसून के कौन-से बादल बिजली बनाते हैं, केवल वैज्ञानिक जिज्ञासा नहीं – सीधे चेतावनी-क्षमता का सवाल है। अध्ययन का क्षेत्र – कोर मानसून ज़ोन (मध्य प्रदेश, छत्तीसगढ़, महाराष्ट्र, ओडिशा के भाग) – भी ठीक वही है जहाँ तड़ित-मृत्यु का बोझ अधिक है।

नीति-परत पर नजर डालें: कैबिनेट ने 11 सितंबर 2024 को 'मिशन मौसम' को 2,000 करोड़ रुपये (दो वर्ष) की स्वीकृति दी – पूर्वी-चेतावनी, अगली-पीढ़ी के रडार और तत्काल-पूर्वानुमान (नाउकास्टिंग) उसके केंद्र में हैं; पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय के तीन संस्थान – आईएमडी, आईआईटीएम और एनसीएमआरडब्ल्यूएफ – इसे अमल में लाते हैं। यह अध्ययन उसी दिशा की प्रक्रिया-स्तर की बुनियाद है: रडार-आधारित तड़ित-पूर्वसूचना के लिए मापने योग्य संकेतक। परीक्षा-दृष्टि से यह घटना सामान्य अध्ययन-III के पर्यावरण-भूविज्ञान और आपदा-प्रबंधन खंडों को जोड़ती है – मानसून-गतिकी, उपकरण-आधारित निगरानी और जन-सुरक्षा तीनों एक साथ।

पृष्ठभूमि: बादल के भीतर बिजली कैसे बनती है

तूफानी बादल में तेज उर्ध्व-धाराएँ अधिशीतलित जल (शून्य से नीचे भी तरल पानी) को 'मिश्रित-प्रावस्था क्षेत्र' – लगभग माइनस 10 से माइनस 20 डिग्री सेल्सियस की परत – तक उठाती हैं। वहाँ ग्रौपेल (बर्फ के छोटे नरम गोले) और बर्फ-क्रिस्टल की टकराहट से इलेक्ट्रॉन उछलते हैं – धन और ऋण आवेश अलग होते हैं, और यही आवेश-विभाजन बिजली का विद्युत-क्षेत्र बनाता है। सूक्ष्म-भौतिकी की यह प्रक्रिया बादल के बाहरी आकार से नहीं दिखती; उसे पढ़ने के लिए द्वि-ध्रुविकरण रडार चाहिए, जो क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर दोनों तरंगें भेजकर बर्फ के कणों की आकृति, दिशा और अवस्था (तरल/ठोस) अलग-अलग पहचानता है।

तरीका: तीन आँखों से बादल के भीतर

टीम ने तीन डेटा-धाराएँ मिलाईं। पहली, देशभर में फैले 100 से अधिक संवेदकों का तड़ित-स्थान नेटवर्क – हर बिजली-घटना का सटीक स्थान और समय। दूसरी, मध्य प्रदेश के सीहोर जिले (सिलखेड़ा गाँव) में स्थित आईआईटीएम के अटमॉस्फियरिक रिसर्च टेस्टबेड (एआरटी-सीआई) का सी-बैंड द्वि-ध्रुविकरण डॉपलर रडार – यह संस्थान पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय का प्रमुख प्रेक्षण-परिसर है, जहाँ रडार जून 2021 से चालू है; छह मिनट के स्कैन से टीम ने एक-एक संवहन-कोशिका (तूफान-कक्ष) का पीछा किया और बिजली बनाने वाली और न बनाने वाली कोशिकाओं को अलग किया। तीसरी, यूरोपीय मध्यम-अवधि मौसम पूर्वानुमान केंद्र का ERA5 पुनर्विश्लेषण (1940 से अब तक, 31 किमी ग्रिड का घंटेवार वैश्विक वायुमंडलीय अनुमान) – जिससे मानसून-ट्रफ की स्थिति ट्रैक हुई। रडार की ध्रुविकरण-मापों (परावर्तकता, विभेदक परावर्तकता, सह-ध्रुविक सहसंबंध आदि) से बादल के भीतर बर्फ और पानी का सूक्ष्म चित्र बनाया गया।

मिला क्या: 34-38 dBZ की सीमा और ट्रफ का हाथ

मुख्य निष्कर्ष दो हैं। पहला, बिजली बनाने वाली मानसून-कोशिकाओं की एक मापने योग्य पहचान मिली: माइनस 10 डिग्री सेल्सियस आइसोथर्म (समताप रेखा) के ऊपर रडार-परावर्तकता लगातार 34 से 38 dBZ से अधिक होना – यानी उस ऊँचाई तक पहुँचा पर्याप्त अधिशीतलित जल और ग्रौपेल। यह संकेत बताता है कब और कहाँ बिजली बन सकती है। दूसरा, ग्रीष्म मानसून की बिजली स्थानीय उष्णता-उप्लवन (गर्म हवा के बुलबुले) से नहीं – जैसा पूर्व-मानसून के तूफानों में होता है – बल्कि मानसून-ट्रफ की स्थिति और उससे जुड़ी बड़े पैमाने की पवन-गतिकी से नियंत्रित होती है। यही कारण है कि ग्रीष्म मानसून की मुसलाधार बारिश में बिजली अपेक्षाकृत कम होती है: बड़े पैमाने की व्यवस्था बादल-विद्युत के लिए अनुकूल मिश्रित-प्रावस्था संरचना हर जगह नहीं बनने देती।

सीमाएँ और सावधानियाँ

कई बातें संयत रखें। पहली, पेपर का पूर्ण पाठ पेड-एक्सेस है – हम पूरा पाठ नहीं पढ़ सके; यहाँ के प्रायोगिक विवरण कवरेज और क्रॉसरेफ-अभिलेख पर आधारित हैं। दूसरी, 34-38 dBZ की सीमा कोर मानसून ज़ोन के ग्रीष्म-मानसून तूफानों का क्षेत्र- और ऋतु-विशिष्ट संकेत है – इसे देश के हर क्षेत्र या पूर्व-मानसून पर सीधे लागू न करें; यह एक सीमा-रेंज है, एकल कटऑफ नहीं। तीसरी, निष्कर्ष प्रेक्षण-विश्लेषण पर आधारित हैं – 'ट्रफ नियंत्रित करता है' एक सहसंबंध-आधारित बड़े पैमाने की व्याख्या है; मॉडल-स्तरीय कारणता-परीक्षा अलग कदम होगा। चौथी, 'मानसून में बिजली कम' तुलना-वाला निष्कर्ष है, बिजली की अनुपस्थिति नहीं – मानसून में भी तड़ित घातक रहती है; 2023 के 2,560 मृत्यु-आँकड़े याद रखें। पाँचवीं, एआरटी-सीआई एक ही स्थल-परिसर है; तड़ित-नेटवर्क राष्ट्रव्यापी होते हुए भी द्वि-ध्रुविकरण रडार-कवरेज सीमित है – पूरे देश के लिए सामान्यीकरण भविष्य का काम। छठी, तिथि-परतें: अध्ययन ऑनलाइन 29 अगस्त 2026, प्रिंट-अंक जनवरी 2027, कवरेज 20 अक्टूबर 2026 – 'ताजा खोज' नहीं, प्रकाशित काम की विलंबित चर्चा। सातवीं, नाउकास्टिंग लाभ एक संभावित अनुप्रयोग है – परिचालन-उपयोग में आने से पहले स्वतंत्र सत्यापन और आईएमडी-एकीकरण चाहिए।

आगे क्या देखना होगा?

तीन चीजें: (1) संकेतक का परिचालन-परीक्षण – क्या 34-38 dBZ-सीमा लाइव रडार-फीड पर तड़ित-चेतावनी की सटीकता बढ़ाती है, यह आगामी मानसून में परखा जाना है; (2) कवरेज-विस्तार – मिशन मौसम के अंतर्गत अगली-पीढ़ी के रडार-जाल के फैलने से यही प्रक्रिया-ज्ञान और अधिक क्षेत्रों में जाएगा; (3) मॉडल-एकीकरण – द्वि-ध्रुविकरण प्रेक्षणों को संख्यात्मक मौसम-मॉडल के साथ जोड़ना, जिससे तूफान-विद्युत का पूर्वानुमान नाउकास्टिंग से आगे छोटी-अवधि तक बढ़े। जलवायु-परिवर्तन के युग में तूफानी-विद्युत के बदलते पैटर्न की निगरानी भी इसी बुनियाद पर टिकेगी।

तिथियों का क्रम

एआरटी-सीआई का सी-बैंड रडार जून 2021 से प्रचालन; मिशन मौसम की कैबिनेट-स्वीकृति 11 सितंबर 2024; पेपर क्रॉसरेफ-दर्ज 29 अगस्त 2026; प्रिंट-अंक जनवरी 2027 (खंड 343); कवरेज 20 अक्टूबर 2026। तीनों तिथि-परतें – प्रेक्षण-शुरुआत, प्रकाशन और समाचार – अलग हैं।

पाठक के लिए संदर्भ-बिंदु

तीन बातें याद रखें। पहली, मिश्रित-प्रावस्था क्षेत्र (माइनस 10 से माइनस 20 डिग्री सेल्सियस) और ग्रौपेल-बर्फ टकराहट – तड़ित-उत्पत्ति की सूक्ष्म-भौतिकी के दो परीक्षा-योग्य शब्द। दूसरी, dBZ रडार-परावर्तकता की इकाई है – जितनी अधिक, उतने घने/बड़े हाइड्रोमीटियर; 34-38 dBZ की सीमा-संकेत इसी अध्ययन का मुख्य योगदान है। तीसरी, संस्था-युग्म: आईआईटीएम पुणे (पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय) का एआरटी-सीआई सिलखेड़ा, सीहोर (मध्य प्रदेश) में है – कोर मानसून ज़ोन का स्थल-चयन ही अध्ययन-डिज़ाइन का हिस्सा है; आईएमडी और आईआईटीएम की भूमिका-अंतर प्रिलिम्स में पूछा जाता रहा है।

मुख्य परीक्षा अभ्यास प्रश्न

'मानसून-सुरक्षा अब केवल बारिश के पूर्वानुमान की नहीं, बादल के भीतर की प्रक्रियाओं के नापने योग्य संकेतकों की बात है।' इस कथन की समीक्षा, हालिया रडार-आधारित तड़ित-अध्ययन के आलोक में कीजिए; और बताइए कि ऐसे अध्ययन मिशन मौसम के लक्ष्यों को कैसे आगे बढ़ाते हैं। (सामान्य अध्ययन-III: पर्यावरण-भूविज्ञान / आपदा-प्रबंधन; 250 शब्द, 15 अंक)

उत्तर की रूपरेखा:

भूमिका में: मानसून की एक पहेली से शुरू करें: ग्रीष्म मानसून में बारिश मुसलाधार पर बिजली अपेक्षाकृत कम, जबकि पूर्व-मानसून (अप्रैल-मई) के तूफान कम बारिश में भी खूब गड़गड़ाते हैं। बताएँ कि आईआईटीएम पुणे, सावित्रीबाई फुले पुणे विश्वविद्यालय और आईआईटी दिल्ली के शोधकर्ताओं ने रडार-आधारित अध्ययन (अटमॉस्फियरिक रिसर्च, खंड 343) से बादल के भीतर के संकेतक खोजे। तड़ित का बोझ रखें: एनसीआरबी 2023 के आँकड़ों (अक्टूबर 2025 की मीडिया-रिपोर्ट से उद्धृत) में प्राकृतिक कारणों से हुई 6,444 मौतों में से 2,560 (39.7 प्रतिशत) बिजली से हुईं।

मुख्य भाग में: कथन की समीक्षा करें: केवल बारिश के पूर्वानुमान के बजाय बादल के भीतर मापने योग्य संकेतक। अध्ययन की तीन डेटा-धाराएँ बताएँ: 100 से अधिक संवेदकों का तड़ित-स्थान नेटवर्क, सीहोर (मध्य प्रदेश) के आईआईटीएम परीक्षण-स्थल का सी-बैंड द्वि-ध्रुविकरण डॉपलर रडार और ERA5 पुनर्विश्लेषण। निष्कर्ष रखें: माइनस 10 डिग्री सेल्सियस आइसोथर्म के ऊपर रडार-परावर्तकता का लगातार 34 से 38 dBZ से अधिक होना बिजली बनाने वाली कोशिकाओं का संकेत है, और ग्रीष्म मानसून की बिजली मानसून-ट्रफ से जुड़ी बड़े पैमाने की पवन-गतिकी से नियंत्रित होती है, स्थानीय उष्णता-उप्लवन से नहीं। सीमाएँ साथ रखें: यह सीमा-रेंज है, एकल कटऑफ नहीं; कोर मानसून ज़ोन के ग्रीष्म-मानसून तूफानों तक सीमित है; ट्रफ की भूमिका सहसंबंध-आधारित व्याख्या है; द्वि-ध्रुविकरण रडार-कवरेज सीमित है; पूर्ण पाठ पेड-एक्सेस है और नहीं पढ़ा जा सका; मानसून में बिजली कम है, अनुपस्थित नहीं। फिर मिशन मौसम से जोड़ें: कैबिनेट ने 11 सितंबर 2024 को इसे 2,000 करोड़ रुपये (दो वर्ष) की स्वीकृति दी; चेतावनी, अगली-पीढ़ी के रडार और नाउकास्टिंग इसके केंद्र में हैं, और यह अध्ययन रडार-आधारित तड़ित-पूर्वसूचना के लिए मापने योग्य संकेतक की बुनियाद देता है। नाउकास्टिंग लाभ को संभावित अनुप्रयोग ही लिखें, जिसके लिए स्वतंत्र सत्यापन और आईएमडी-एकीकरण चाहिए।

निष्कर्ष में: कथन को सावधानी से स्वीकार करें: संकेतक मापने योग्य है, पर परिचालन-उपयोग आगे की बात है। आगे के कदम बताएँ: लाइव रडार-फीड पर आगामी मानसून में परीक्षण, मिशन मौसम के रडार-जाल के साथ कवरेज-विस्तार और संख्यात्मक मौसम-मॉडल के साथ एकीकरण। जो लाभ अभी सिद्ध नहीं हुए, उन्हें सिद्ध न बताएँ।

स्रोत

- प्राथमिक पेपर: Ghosh R, Vaidya PR, Domkawale MA, Varikoden H, Pawar SD, “Linking polarimetric radar-derived storm structure to lightning activity in monsoon-trough convection over the Indian Core Monsoon Zone”, Atmospheric Research, खंड 343, लेख 109295, DOI 10.1016/j.atmosres.2026.109295 (पेड-एक्सेस; पूर्ण पाठ नहीं पढ़ा जा सका)।
- क्रॉसरेफ अभिलेख: api.crossref.org/works/10.1016/j.atmosres.2026.109295 – लेखक-सूची, खंड/लेख-संख्या, ऑनलाइन दर्ज 29 अगस्त 2026, प्रिंट-अंक जनवरी 2027 (तिथि-पुष्टि)।
- रिसर्च मैटर्स (20 अक्टूबर 2026): “Why do the Indian Summer Monsoon storms pack surprisingly less lightning? New study has an answer” – मुख्य कवरेज; विधि, 100+ संवेदक, छह-मिनट स्कैन, 34-38 dBZ, माइनस 10 डिग्री आइसोथर्म, ट्रफ-नियंत्रण निष्कर्ष यहीं से।
- आईआईटीएम संस्थागत पृष्ठ: अटमॉस्फियरिक रिसर्च टेस्टबेड-सेंट्रल इंडिया (tropmet.res.in) – सिलखेड़ा, सीहोर (मध्य प्रदेश); सी-बैंड द्वि-ध्रुविकरण रडार जून 2021 से; तड़ित-स्थान नेटवर्क; मंत्रालय-संबंध।
- प्रेस सूचना ब्यूरो (11 सितंबर 2024, Release ID 2053898): मिशन मौसम – 2,000 करोड़ रुपये, दो वर्ष; आईएमडी-आईआईटीएम-एनसीएमआरडब्ल्यूएफ कार्यान्वयन।
- इंडियन एक्सप्रेस (1 अक्टूबर 2025, एनसीआरबी ADSI-2023 कवरेज): 2023 में ‘प्राकृतिक कारणों’ से 6,444 मौतें; बिजली से 2,560 (39.7 प्रतिशत); राज्य-वार बोझ।
- ECMWF, “ERA5 Reanalysis” (ecmwf.int) – पुनर्विश्लेषण डेटासेट का संदर्भ (1940 से, 31 किमी, घंटेवार)।
- सीमाएँ: पूर्ण पाठ अपठित; सीमा-संकेत क्षेत्र/ऋतु-विशिष्ट; ट्रफ-नियंत्रण सहसंबंध-आधारित; एकल-परिसर प्रेक्षण; नाउकास्टिंग-लाभ संभावित अनुप्रयोग; एनसीआरबी आँकड़े मीडिया-कवरेज से उद्धृत; तिथि-परतें अलग।

अक्सर पूछे जाने वाले प्रश्न (FAQ)

संक्षिप्त उत्तर: तूफानी बादल में तेज उर्ध्व-धाराएँ अधिशीतलित जल (शून्य से नीचे भी तरल पानी) को ‘मिश्रित-प्रावस्था क्षेत्र’ – लगभग माइनस 10 से माइनस 20 डिग्री सेल्सियस की परत – तक उठाती हैं। वहाँ ग्रौपेल (बर्फ के छोटे नरम गोले) और बर्फ-क्रिस्टल की टकराहट से इलेक्ट्रॉन उछलते हैं – धन और ऋण आवेश अलग होते हैं, और यही आवेश-विभाजन बिजली का विद्युत-क्षेत्र बनाता है।

प्रश्न: तूफानी बादलों में बिजली कैसे बनती है?

तूफानी बादल में तेज उर्ध्व-धाराएँ अधिशीतलित जल (शून्य से नीचे भी तरल पानी) को ‘मिश्रित-प्रावस्था क्षेत्र’ – लगभग माइनस 10 से माइनस 20 डिग्री सेल्सियस की परत – तक उठाती हैं। वहाँ ग्रौपेल (बर्फ के छोटे नरम गोले) और बर्फ-क्रिस्टल की टकराहट से इलेक्ट्रॉन उछलते हैं – धन और ऋण आवेश अलग होते हैं, और यही आवेश-विभाजन बिजली का विद्युत-क्षेत्र बनाता है।

प्रश्न: अध्ययन ने किन डेटा-धाराओं को जोड़ा?

टीम ने तीन डेटा-धाराएँ मिलाईं। पहली, देशभर में फैले 100 से अधिक संवेदकों का तड़ित-स्थान नेटवर्क – हर बिजली-घटना का सटीक स्थान और समय।

प्रश्न: मानसून और पूर्व-मानसून के तूफानों में किस अंतर का अध्ययन हुआ?

भारतीय ग्रीष्म मानसून की बारिश एक पहेली रखती है: वर्षा मुसलाधार होती है, पर बिजली प्रायः कम चमकती है – जबकि पूर्व-मानसून (अप्रैल-मई) के तूफान कम बारिश में भी खूब गड़गड़ाते हैं। भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान (आईआईटीएम, पुणे), सावित्रीबाई

फुले पुणे विश्वविद्यालय और आईआईटी दिल्ली के शोधकर्ताओं ने इस पहेली का उत्तर बादलों के भीतर घुसकर खोजा: ग्रीष्म मानसून में तड़ित (बिजली) को बादल की ऊँचाई या उष्णता-उप्लवन नहीं, बल्कि मानसून-ट्रफ (निम्न दाब की रेखा) से जुड़ी बड़े पैमाने की पवन-गतिकी नियंत्रित करती है।