

## Unravelling the mechanism of extreme (more than 30 sigma) precipitation during August 2018 and 2019 over Kerala, India.

Parthasarathi Mukhopadhyay, Peter Bechtold, Yuejian Zhu, R. Pahi Murali Krishna, Siddharth Kumar, Malay Ganai, Snehlata Tirkey, Tanmoy Goswami, M. Mahakur, Medha Deshpande, V.S. Prasad, C.J. Johny, Ashim Mitra, Raghavendra Ashrit, Abhijit Sarkar, Kumar Roy, Elphin Andrews, Radhika Kanase, Shilpa Malviya, S. Abhilash, Manoj Domkawle, S.D. Pawar, Ashu Mangain, V.R. Durai, Ravi S. Nanjudiah, Ashish K. Mitra, E.N. Rajagopal, M. Mohapatra, and M. Rajeevan

**केरल, भारत में अगस्त 2018 और 2019 के दौरान अत्यधिक (30 सिग्मा से अधिक) वर्षा के तंत्र को उजागर करना**  
पार्थासारथी मुखोपाध्याय, पीटर बेचटोल्ड, यूजियन झू, आर. पाही मुरली कृष्णा, सिद्धार्थ कुमार, मलय गनई, स्नेहलता तिकी, तन्मय गोस्वामी, एम. महाकुर, मेधा देशपांडे, वी.एस. प्रसाद, सी.जे. जॉनी, आशिम मित्रा, राघवेंद्र आश्रित, अभिजीत सरकार, कुमार रॉय, एल्फिन एंड्रयूज, राधिका कनासे, शिल्पा मालवीय, एस. अभिलाष, मनोज डोमकावले, एस.डी. पवार, आशु ममगैन, वी.आर. दुरई, रवि एस. नंजुदिया, आशीष के. मित्रा, ई.एन. राजगोपाल, एम. महापात्रा और एम. राजीवन

### सार:

अगस्त 2018 और 2019 के दौरान भारत के दक्षिणी राज्य केरल में अभूतपूर्व भारी वर्षा हुई, जिसके कारण व्यापक बाढ़ आई। हमारा लक्ष्य इन घटनाओं की संवहनी प्रकृति और बड़े पैमाने पर वायुमंडलीय बल की विशेषता है, जबकि तीन अत्याधुनिक वैश्विक भविष्यवाणी प्रणालियों द्वारा उनकी भविष्यवाणी की खोज करना: पर्यावरण पूर्वानुमान के लिए राष्ट्रीय केंद्र (एनसीईपी) आधारित भारत मौसम विज्ञान विभाग (आईएमडी) परिचालन वैश्विक पूर्वानुमान प्रणाली (जीएफएस), मध्यम दूरी के मौसम पूर्वानुमान के लिए यूरोपीय केंद्र (ईसीएमडब्ल्यूएफ) एकीकृत पूर्वानुमान प्रणाली (आईएफएस), और एकीकृत मॉडल-आधारित एनसीयूएम को राष्ट्रीय मध्यम अवधि मौसम पूर्वानुमान केंद्र (रा.म.अ.मौ.पू.के.) में चलाया जा रहा है। उपग्रह, रडार और बिजली के अवलोकन से पता चलता है कि इन बारिश की घटनाओं में क्यूम्युलस कंजेस्टस और उथले संवहन का बोलबाला था, जिसमें मजबूत क्षेत्रीय प्रवाह था, जिससे घाट पर्वत श्रृंखला पर भौगोलिक रूप से बड़ी हुई वर्षा हुई; 2019 के आयोजन के दौरान छिटपुट गहरा संवहन भी मौजूद था। ECMWF (ERA5) द्वारा उत्पादित पांचवें प्रमुख वैश्विक पुनर्विक्षेपण का उपयोग करते हुए एक नमी बजट विश्लेषण और पूर्वानुमान उत्पादन ने अगस्त जलवायु विज्ञान की तुलना में मुख्य बारिश की घटनाओं के दौरान 800 hPa से नीचे नमी अभिसरण में उल्लेखनीय वृद्धि का खुलासा किया। हालांकि, कुल स्तंभ-एकीकृत अवक्षेपणीय जल प्रवृत्ति अगस्त के पूरे महीने में छोटी पाई जाती है, जो नमी अभिसरण और वर्षा द्वारा सूखने के बीच संतुलन को दर्शाती है। बारिश की विसंगतियों के लिए रॉस्बी वेव फिल्टर लगाने से यह दिखाया गया है कि बड़े पैमाने पर नमी अभिसरण केरल के ऊपर पश्चिम की ओर फैलने वाली बैरोट्रोपिक रॉस्बी तरंगों से जुड़ा है, जिससे इन घटनाओं की भविष्यवाणी में वृद्धि हुई है, खासकर 2019 के लिए। नियतात्मक और सामूहिक वर्षा पूर्वानुमानों के मूल्यांकन से घाटों के पहाड़ों और समुद्र तट पर व्यवस्थित वर्षा अंतर का पता चला। सामूहिक भविष्यवाणियां नियतात्मक पूर्वानुमानों की तुलना में अधिक कुशल थीं, क्योंकि वे अगस्त 2019 के लिए 5 दिन से अधिक और 2018 के लिए 3 दिन तक वर्षा विसंगतियों (जलवायु विज्ञान से तीन मानक विचलन से अधिक) की भविष्यवाणी करने में सक्षम थे।

### Abstract:

During August 2018 and 2019 the southern state of India, Kerala, received unprecedented heavy rainfall, which led to widespread flooding. We aim to characterize the convective nature of these events and the large-scale atmospheric forcing, while exploring their predictability by three state-of-the-art global prediction systems: the National Centers for Environmental Prediction (NCEP)-based India Meteorological Department (IMD) operational Global Forecast System (GFS), the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Integrated Forecast System (IFS), and the Unified Model-based NCUM being run at the National Centre for Medium Range Weather Forecasting (NCMRWF). Satellite, radar, and lightning observations suggest that these rain events were dominated by cumulus congestus and shallow convection with strong zonal flow leading to orographically enhanced rainfall over the Ghats mountain range; sporadic deep convection was also present during the 2019 event. A moisture budget analyses using the fifth major global reanalysis produced by ECMWF (ERA5) and forecast output revealed significantly increased moisture

convergence below 800 hPa during the main rain events compared to August climatology. The total column-integrated precipitable water tendency, however, is found to be small throughout the month of August, indicating a balance between moisture convergence and drying by precipitation. By applying a Rossby wave filter to the rainfall anomalies it is shown that the large-scale moisture convergence is associated with westward-propagating barotropic Rossby waves over Kerala, leading to increased predictability of these events, especially for 2019. Evaluation of the deterministic and ensemble rainfall predictions revealed systematic rainfall differences over the Ghats mountains and the coastline. The ensemble predictions were more skillful than the deterministic forecasts, as they were able to predict rainfall anomalies (greater than three standard deviations from climatology) beyond day 5 for August 2019 and up to day 3 for 2018.