STUDY OF OCEANIC MESOSCALE EDDIES IN THE BAY OF BENGAL USING A NUMERICAL MODEL

NAVIN CHANDRA

CENTRE FOR ATMOSPHERIC SCIENCES
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI
MAY 2025

Study of Oceanic Mesoscale Eddies in the Bay of Bengal using a Numerical Model

by

NAVIN CHANDRA

Centre for Atmospheric Sciences

Submitted

in fulfilment of the requirements of the degree of

Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

May 2025

QUOTATIONS

What we know is a drop,
what we don't know is an ocean.

- Sir Isaac Newton -

DEDICATION

Dedicated to my beloved wife, my parents, and the person who always inspires me, my elder brother.

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled **”Study of Oceanic Mesoscale Eddies in the Bay of Bengal using a Numerical Model”**, submitted by **Mr. NAVIN CHANDRA**, to the Indian Institute of Technology Delhi, for the award of the degree of **Doctor of Philosophy**, is a bona fide record of the research work done by him under my supervision. The contents of this thesis, in full or in parts, have not been submitted to any other Institute or University for the award of any degree or diploma.

Place: New Delhi
Date: 16 May, 2025

Prof. Vimlesh Pant
Research Guide
Professor
Centre for Atmospheric Sciences
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi-110016, India

ACKNOWLEDGEMENTS

First and Foremost, I owe an enormous debt of appreciation to Prof. Vimlesh Pant, my supervisor, for having faith in me. He remained there for me each phase of the way as I've worked to finish my thesis, giving encouragement, support, and direction. I was able to improve my research skills thanks to his constant encouragement of creative and independent thinking. He always motivated me to think a step ahead and work harder. He has always supported my career advancement. Engaging with him consistently yields positive effects by clearing the blocked scenario and producing superior scientific results. My research would not have been able to yield such positive outcomes without his constant supervision.

Additionally, I would like to express my deep gratitude to my SRC members: Prof. Krishna Mirle AchutaRao, Prof. A. D. Rao, Prof. Sumedha Chakma, for graciously providing their important suggestions and regularly assessing my progress. I would like to convey my highest regards to Prof. A. D. Rao for his invaluable guidance in enhancing my understanding of research ethics and aptitude through consistently overseeing him.

I express my gratitude to the Head of the Centre for Atmospheric Sciences at IIT Delhi for generously giving all the necessary logistical resources for the successful completion of my research work. I extend my thanks to IIT Delhi for granting me access to their high performance computing (HPC) facility, which was essential for conducting the numerical simulations necessary for my research. Additionally, I would like to express my gratitude to the Ministry of Human Resource and Development, Government of India for granting me a fellowship that allowed me to do my research with a calm and focused mindset.

I convey deep appreciation to my esteemed seniors, Dr. Sandeep K K, Dr. Tanuja Nigam, and Dr. Kumar Ravi Prakash, for their invaluable assistance throughout the initial stages of my doctoral studies. I would like to express my

gratitude to my colleagues from Ocean State Forecasting lab, including Dr. Vivek Seelanki, Dr. Badarvada Yadidya, Mr. Suraj Ravindran, Mr. Kunal Ajit Madkaikar, Mr. Sankar Prasad Lahiri, Mr. Pawan Tiwari, and Ms. Pragnya Makar, Mr. Arun Kumar and Ms. Anna Bella John for maintaining a positive and encouraging work atmosphere inside the lab. I would like to express my gratitude to my friends Dr. Tanvi Gupta, Mr. Amit Kumar Sharma, Mr. Rahul Chaurasia, Dr. Deepak Kumar, Dr. Varunesh Chandra for their unwavering support during the challenging periods of my PhD research.

I would like to express my gratitude to Dr. V. S. Prasad, Director of NCMRWF, NOIDA, for his unwavering support during my PhD after my appointment as Project Scientist-II. I wish to convey my gratitude for the constant assistance and encouragement from Dr. Abhijit Sarkar, Dr. Raghavendra Ashrit, and Dr. Akhilesh Kumar Mishra my reporting officers at NCMRWF, who facilitated my seamless transfer from academia to an operational environment.

I would want to convey heartfelt gratitude to my life partner, Dr. Barnali Das, for consistently demonstrating unwavering trust in me and always standing by my side. Additionally, I would want to express my gratitude to my parents and family members for their unwavering support and encouragement throughout my doctoral studies. I would want to express my sincere gratitude to my esteemed brother, Dr. Vipin Chandra, for consistently serving as a source of inspiration in my life, encouraging me to always strive for greatness.

Place: New Delhi

Date: 16 May, 2025 **_Navin Chandra_**

ABSTRACT

Mesoscale oceanic eddies are a fundamental component of the oceanic circulation system. They play a key role in the process of mixing oceanic tracers, including temperature, salinity, and nutrients. Mesoscale eddies are ubiquitous in the oceans and they have an essential role in facilitating the horizontal and vertical mixing. At any given time, approximately 20% of the global ocean surface is occupied by the eddies. Eddies with positive relative vorticity are referred to as cyclonic eddies (CE), whereas those with negative relative vorticity are known as anticyclonic eddies (AE). In the northern hemisphere, the AE rotates clockwise, while the CE rotates anticlockwise. Mesoscale eddies refer to eddies with a space-scale ranging from 10 to 100 km, whereas submesoscale eddies refer to eddies with a space-scale ranging from 1 km to 10 km. Features with a spatial scale of less than 1 km are referred to as microscale. Mesoscale eddies can have kinetic energy that is ten times higher than the parent current from which they originate. The formation, lifespan, and kinetic energy of these swirling currents are primarily influenced by the intensity of surface currents, the stratification of the ocean, and the bathymetry of the area.

The dynamics of the Bay of Bengal (BoB) is highly complicated. It goes through a semi-annual reversal of monsoon winds leading to significant change in surface circulation. During the winter season, a large clockwise circular formation known as an anticyclonic gyre develops throughout the whole BoB. During the summer, this pattern transforms into an anticlockwise circular pattern known as a cyclonic gyre. During the transition period from summer to winter or vice versa, two counter-rotating gyres forms. The BoB receives a huge amount of freshwater discharge from rivers in the northern part during the monsoon and postmonsoon periods. The dynamics of the BoB is mainly controlled by stratification and the formation of barrier layer (BL) during the monsoon and postmonsoon periods. The surplus freshwater it receives from the rivers is exchanged with the Indian Ocean

(IO) from the south of the BoB with the help of the Indian Monsoon Current (IMC) and the East India Coastal Current (EICC). The BoB dynamics is not only influenced by local forcings but also by forcings generated in the equatorial IO region, e.g., Kelvin Waves (KW) and Rossby Waves (RW). During an Indian Ocean Dipole (IOD) event, an equatorial IO phenomenon, the oscillation of sea surface temperature (SST) influences both the local forcings, e.g., wind and precipitation, and the remote forcings, e.g., KW, RW, and coastally trapped KW. Under the varying IOD conditions, the nature of the forcings also undergoes changes, which in turn impact the circulation and mesoscale activities in the BoB.

The study involves the climatological analysis of the mesoscale oceanic eddies of the BoB using a regional numerical ocean model (ROMS). Using a high-resolution ($\frac{1}{18^\circ} \times \frac{1}{18^\circ}$) Regional Ocean Modelling System (ROMS) output, the mesoscale eddies in the BoB were detected, and their variability was examined. The model results show good agreement with the available observations for different variables on the surface as well as for the subsurface. An investigation is conducted on the seasonal distribution of eddies, examining their geographical characteristics and propagation path. The formation of eddies in the western BoB is dictated by the variability in EICC. In the northern BoB (NBoB) the freshwater discharge from the rivers and bathymetry are important factors in the formation of eddies and their characteristics. Throughout the year, the radius of AEs is consistently larger than that of CEs, with its peak occurring in the pre-monsoon season. AEs exhibit a more pronounced association between their size and energy when compared to CEs. The contribution of mesoscale eddies to the total kinetic energy of the BoB's varies from 7.2% in March to 19.1% in November. The numerical experiments with positive and negative IOD phases of atmospheric forcing reveal the influence of anomalous circulation during IOD years on mesoscale eddies and their kinetic energy in the BoB relative to a normal year. A notable disparity in the eddies' characteristics was observed in both negative IOD (nIOD) and positive IOD (pIOD) years when compared to normal years. In pIOD or nIOD, the number of eddies was increased, but their average lifespan was reduced in the BoB. The increase in eddies was higher (38%) in nIOD than pIOD (11.2%) when compared to normal (non-IOD) years. The contribution of eddies to the total

eddy kinetic energy (EKE) of the BoB increased from about 10% in normal years to about 25% in either of the IOD phases. The most significant impact of the IOD is observed at the thermocline depth. During the IOD years, the Andaman Sea (AdS) region experienced the most significant variations at thermocline depth over eddies' zones.

Oceans acts as the repository for the atmosphere, and the atmospheric motions drives the ocean.To study the effects of oceanic mesoscale eddies on the atmosphere, a fully coupled atmosphere-ocean model (COAWST) was used. The atmospheric columns lying over the AEs and CEs was analyzed for their thermodynamical properties. Model results reveal that the lower atmosphere is highly influenced by the relative vorticity of the oceanic mesoscale eddies. Different variables, such as relative humidity, moist static energy (MSE), water vapor mixing ratio, and equivalent potential temperature in the lower atmosphere, show a significant difference for the air column over AEs and CEs. There is a significant correlation between the relative vorticity of oceanic mesoscale eddies and the atmospheric column over them.

The presence of AEs or CEs modulates ocean heat content over their effective depth in the ocean. This thermal energy significantly contributes to the tropical cyclone heat potential (TCHP) of the ocean, which is crucial for the intensity and longevity of a cyclone whenever it traverses over the AEs or CEs. Presence of AEs in the path of a cyclone can rapidly intensify it and can change its category from severe to very severe in a short time, the vice-versa occurs in case of CEs. To study the role of mesoscale eddies in influencing the intensity and longevity of tropical cyclone, numerical experiments with the coupled model COAWST were performed for the case of FANI cyclone which formed in the BoB on 26 April 2019 and remained active till 5 May 2019. It was a unique tropical cyclone that remained continuously intensified for a long duration in the shallow depth and made landfall in the extremely severe cyclonic storm (ESCS) category. The mean duration for cyclones in the BoB is normally 22 hours but FANI remained in the ESCS category for about 60 hours. The presence of very high tropical cyclone heat potential due to the presence of warm core eddies facilitated high latent heat flux consistently at the air-sea interface resulting in availability of high MSE leading to prolonged intensified stage of FANI cyclone.

सारांश

मेसोस्केल समुद्री भंवर समुद्री परिसंचरण प्रणाली का एक मूलभूत घटक हैं। वे तापमान, लवणता और पोषक तत्वों सहित समुद्री ट्रेसर के मिश्रण की प्रक्रिया में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। मेसोस्केल भंवर महासागरों में सर्वव्यापी हैं और क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर मिश्रण को सुविधाजनक बनाने में उनकी आवश्यक भूमिका है। किसी भी समय, वैश्विक महासागर की सतह का लगभग 20% भाग भँवरों के कब्जे में होता है। सकारात्मक सापेक्ष भंवर वाली भँवरों को चक्रवाती भँवर कहा जाता है, जबकि नकारात्मक सापेक्ष भंवर वाली भँवरों को प्रतिचक्रवाती भँवर कहा जाता है। उत्तरी गोलार्ध में, प्रतिचक्रवाती भंवर दक्षिणावर्त दिशा में घूमते हैं, जबकि चक्रवाती भंवर वामावर्त दिशा में घूमते हैं। मेसोस्केल एडीज़ से तात्पर्य 10 से 100 किमी तक के स्पेस-स्केल वाले एडीज़ से है, जबकि सबमेसोस्केल एडीज़ से तात्पर्य 1 किमी से 10 किमी तक के स्पेस-स्केल वाले एडीज़ से है। 1 किमी से कम स्थानिक पैमाने वाली विशेषताओं को माइक्रोस्केल कहा जाता है। मेसोस्केल भँवरों की गतिज ऊर्जा उस मूल धारा से दस गुना अधिक हो सकती है जिससे वे उत्पन्न होती हैं। इन घुमावदार धाराओं का निर्माण, जीवनकाल और गतिज ऊर्जा मुख्य रूप से सतही धाराओं की तीव्रता, महासागर के स्तरीकरण और क्षेत्र की समतापमापी से प्रभावित होती है।

बंगाल की खाड़ी की गतिशीलता अत्यधिक जटिल है। यह मानसूनी हवाओं के अर्ध-वार्षिक उलटफेर से गुजरती है जिससे सतही परिसंचरण में महत्वपूर्ण परिवर्तन होता है। सर्दियों के मौसम के दौरान, पूरे बंगाल की खाड़ी में एक बड़ी दक्षिणावर्त गोलाकार संरचना विकसित होती है जिसे एंटीसाइक्लोनिक गाइर के रूप में जाना जाता है। गर्मियों के दौरान, यह पैटर्न वामावर्त वृत्ताकार पैटर्न में बदल जाता है जिसे चक्रवाती गाइरे के नाम से जाना जाता है। गर्मियों से सर्दियों या इसके विपरीत संक्रमण काल के दौरान, दो विपरीत-घूर्णी गाइर बनते हैं। मानसून और मानसून के बाद की अवधि के दौरान बंगाल की खाड़ी को उत्तरी भाग की नदियों से भारी मात्रा में मीठे पानी का निर्वहन प्राप्त होता है। बंगाल की खाड़ी की गतिशीलता मुख्य रूप से स्तरीकरण और मानसून तथा मानसूनोत्तर अवधि के दौरान अवरोध परतों के निर्माण द्वारा नियंत्रित होती है। नदियों से प्राप्त अतिरिक्त मीठे पानी को भारतीय मानसून धारा और पूर्वी भारत तटीय धारा की सहायता से बंगाल की खाड़ी के दक्षिण से भारतीय तटीय जल के साथ आदान-प्रदान किया जाता है। बंगाल की खाड़ी की गतिशीलता न केवल स्थानीय दबावों से प्रभावित होती है, बल्कि भूमध्यरेखीय हिंद महासागर क्षेत्र में उत्पन्न दबावों से भी प्रभावित होती है, जैसे केल्विन तरंगें और रॉस्बी तरंगें। हिंद महासागर द्विध्रुवीय घटना के दौरान, भूमध्यरेखीय हिंद महासागर की घटना, समुद्र की सतह के तापमान का उतार-चढ़ाव स्थानीय बलों, जैसे हवा और वर्षा, और दूरस्थ बलों, जैसे केल्विन तरंगें, रॉस्बी तरंगें और तटीय रूप से फंसी केल्विन तरंगों दोनों को प्रभावित करता है। बदलती हिंद महासागर द्विध्रुवीय स्थितियों के तहत, बलों की प्रकृति में भी परिवर्तन होता है, जो बदले में बंगाल की खाड़ी में परिसंचरण और मेसोस्केल गतिविधियों को प्रभावित करता है।

इस अध्ययन में क्षेत्रीय संख्यात्मक महासागर मॉडल (ROMS) का उपयोग करके बंगाल की खाड़ी के मेसोस्केल महासागरीय भंवरों का जलवायु संबंधी विश्लेषण शामिल है। उच्च-रिज़ॉल्यूशन $(\frac{1}{18^\circ} \times \frac{1}{18^\circ})$ क्षेत्रीय महासागर मॉडलिंग प्रणाली (ROMS) आउटपुट का उपयोग करके, बंगाल की खाड़ी में मेसोस्केल भंवर का पता लगाया गया, और उनकी परिवर्तनशीलता की जांच की गई। मॉडल के परिणाम सतह के साथ-साथ उपसतह पर विभिन्न चरों के लिए उपलब्ध अवलोकनों के साथ अच्छे समझौते को दर्शाते हैं। ज्यामितीय और गतिशील दोनों दृष्टिकोणों का उपयोग भंवरों की पहचान करने और उन्हें ट्रैक करने के लिए किया जाता है, जो फ्रंटल जेट को हटाने में सहायता करते हैं। भंवरों के मौसमी वितरण पर एक जांच की जाती है, जिसमें उनकी भौगोलिक विशेषताओं और प्रसार पथ की जांच की जाती है। बंगाल की खाड़ी के पश्चिमी भाग में भंवरों का निर्माण पूर्वी भारत तटीय धारा की परिवर्तनशीलता से निर्धारित होता है। बंगाल की खाड़ी के उत्तरी भाग में नदियों से निकलने वाला ताजा पानी और बैथिमेट्री भंवरों के निर्माण और उनकी विशेषताओं में महत्वपूर्ण कारक हैं। पूरे वर्ष के दौरान, प्रतिचक्रवाती भंवरों की त्रिज्या चक्रवाती भंवरों की तुलना में लगातार बड़ी होती है, और इसका चरम मानसून-पूर्व मौसम में होता है। चक्रवाती भंवरों की तुलना में प्रतिचक्रवाती भंवर अपने आकार और ऊर्जा के बीच अधिक स्पष्ट संबंध प्रदर्शित करते हैं। □□□ की कुल गतिज ऊर्जा में मेसोस्केल भंवरों का योगदान मार्च में 7.2% से लेकर नवंबर में 19.1% तक भिन्न-भिन्न है। वायुमंडलीय बल के सकारात्मक और नकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव चरणों के साथ संख्यात्मक प्रयोगों से हिंद महासागर द्विध्रुव वर्षों के दौरान असामान्य परिसंचरण के प्रभाव का पता चलता है, जो सामान्य वर्ष की तुलना में बंगाल की खाड़ी में मेसोस्केल भँवरों और उनकी गतिज ऊर्जा पर पड़ता है। सामान्य वर्षों की तुलना में नकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव और सकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव दोनों वर्षों में भंवरों की विशेषताओं में उल्लेखनीय असमानता देखी गई। सकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव या नकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव में, भंवरों की संख्या में वृद्धि हुई, लेकिन □□□ में उनका औसत जीवनकाल कम हो गया। सामान्य वर्षों की तुलना में नकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव में भंवरों में वृद्धि (38%) सकारात्मक हिंद महासागर द्विध्रुव (11.2%) की तुलना में अधिक थी। BoB की कुल भंवर गतिज ऊर्जा में भंवरों का योगदान सामान्य वर्षों में लगभग 10% से बढ़कर हिंद महासागर द्विध्रुव के किसी भी चरण में लगभग 25% हो गया। हिंद महासागर द्विध्रुव का सबसे महत्वपूर्ण प्रभाव थर्मोकलाइन गहराई पर देखा जाता है। हिंद महासागर द्विध्रुव वर्षों के दौरान, अंडमान सागर क्षेत्र ने भंवर क्षेत्रों की तुलना में थर्मोकलाइन गहराई पर सबसे महत्वपूर्ण बदलाव का अनुभव किया। महासागर और वायुमंडल वायु-समुद्र इंटरफेस में विभिन्न गुणों का आदान-प्रदान करते हैं। महासागर वायुमंडल के भंडार के रूप में कार्य करते हैं, और वायुमंडलीय गति महासागर को संचालित करती है। वायुमंडल पर महासागरीय मेसोस्केल भँवरों के प्रभावों का अध्ययन करने के लिए, एक पूरी तरह से युग्मित वायुमंडल-महासागर मॉडल (COAWST) का उपयोग किया गया था। प्रतिचक्रवात भँवरों और चक्रवाती भँवरों के ऊपर स्थित वायुमंडलीय स्तंभों का उनके ऊष्मागतिकीय गुणों के लिए विश्लेषण किया गया। मॉडल के परिणाम बताते हैं कि निचला वायुमंडल महासागरीय मेसोस्केल भँवरों

की सापेक्ष भंवरता से अत्यधिक प्रभावित होता है। विभिन्न चर, जैसे सापेक्ष आर्द्रता, नम स्थैतिक ऊर्जा, जल वाष्प मिश्रण अनुपात और निचले वायुमंडल में समतुल्य संभावित तापमान, एंटीसाइक्लोनिक भँवरों और चक्रवाती भँवरों के ऊपर वायु स्तंभ के लिए एक महत्वपूर्ण अंतर दिखाते हैं।

महासागर और वायुमंडल आपस में अत्यधिक जुड़े हुए हैं और इन्हें स्वतंत्र रूप से कार्य करने वाली इकाई नहीं माना जा सकता है। महासागर वायुमंडल के भंडार के रूप में कार्य करता है, और वायुमंडलीय हलचल महासागर को चलाती है। वायुमंडल पर समुद्री मेसोस्केल भंवरों के प्रभावों का अध्ययन करने के लिए, एक पूर्णतः युग्मित क्षेत्रीय मॉडल (COAWST) का उपयोग किया गया था। प्रतिचक्रवाती भंवर और चक्रवातीय भंवर के ऊपर स्थित वायु स्तंभों का उनके थर्मोडायनामिक गुणों के लिए विश्लेषण किया गया था। यह पता चला है कि निचला वातावरण समुद्री मेसोस्केल भंवरों की सापेक्ष भंवर से अत्यधिक प्रभावित होता है। विभिन्न चर, जैसे कि सापेक्ष आर्द्रता, नम स्थैतिक ऊर्जा, जल वाष्प मिश्रण अनुपात, और निचले वायुमंडल में समतुल्य संभावित तापमान, रतिचक्रवाती और चक्रवातीय भंवर पर स्थित वायु स्तंभ के लिए एक महत्वपूर्ण अंतर दिखाते हैं। समुद्री मेसोस्केल भंवरों की सापेक्ष भंवरशीलता और उनके ऊपर स्थित वायुमंडलीय वायु स्तंभ के बीच एक महत्वपूर्ण संबंध है।

प्रतिचक्रवाती भँवरों या चक्रवाती भँवरों की उपस्थिति महासागर में उनकी प्रभावी गहराई पर महासागर की ऊष्मा सामग्री को नियंत्रित करती है। यह ऊष्मीय ऊर्जा महासागर की उष्णकटिबंधीय चक्रवाती ऊष्मा क्षमता में महत्वपूर्ण रूप से योगदान देती है, जो चक्रवात की तीव्रता और दीर्घायु के लिए महत्वपूर्ण है, जब भी यह प्रतिचक्रवाती भँवरों या चक्रवाती भँवरों से होकर गुजरता है। चक्रवात के मार्ग में प्रतिचक्रवाती भँवरों की उपस्थिति उसे तेजी से तीव्र कर सकती है तथा कुछ ही समय में उसकी श्रेणी गंभीर से बहुत गंभीर में बदल सकती है, चक्रवाती भँवरों के मामले में इसके विपरीत होता है। उष्णकटिबंधीय चक्रवात की तीव्रता और दीर्घायु को प्रभावित करने में मेसोस्केल भंवरों की भूमिका का अध्ययन करने के लिए, FANIचक्रवात के मामले में युग्मित मॉडल COAWST के साथ संख्यात्मक प्रयोग किए गए, जो 26 अप्रैल 2019 को बंगाल की खाड़ी में बना और 5 मई 2019 तक सक्रिय रहा। यह एक अनूठा उष्णकटिबंधीय चक्रवात था जो उथली गहराई में लंबे समय तक लगातार तीव्र बना रहा और अत्यंत गंभीर चक्रवाती तूफान की श्रेणी में आया। बंगाल की खाड़ी में चक्रवातों की औसत अवधि सामान्यतः 22 घंटे होती है, लेकिन FANI लगभग 60 घंटे तक अत्यंत गंभीर चक्रवाती तूफान की श्रेणी में रहा। गर्म कोर भँवरों की उपस्थिति के कारण बहुत उच्च उष्णकटिबंधीय चक्रवात ताप क्षमता की उपस्थिति ने वायु-समुद्र इंटरफेस पर लगातार उच्च गुप्त ऊष्मा प्रवाह को सुगम बनाया, जिसके परिणामस्वरूप उच्च आर्द्र स्थैतिक ऊर्जा की उपलब्धता हुई, जिसके कारण FANI चक्रवात की तीव्र अवस्था लंबे समय तक बनी रही।

Contents

List of Tables

List of Figures

ABBREVIATIONS

ACC	Antarctic Circumpolar Current
AdS	Andaman Sea
AE	Anticyclonic Eddy
AEs	Anticyclonic Eddies
AI	Andaman Island
AS	Arabian Sea
BL	Barrier Layer
BoB	Bay of Bengal
BOMA	Bureau of Meteorology, Australia
CAPE	Convective Available Potential Energy
CBoB	Central Bay of Bengal
CC	Correlation Coefficient
CE	Cyclonic Eddy
CEs	Cyclonic Eddies
COAWST	Coupled Ocean-Atmosphere Wave Sediment Transport Model
CIN	Convective Inhibition
DJF	December-January-February
EKE	Eddy Kinetic Energy
EPE	Eddy Potential Energy
EICC	East India Coastal Current
ENSO	El Nino Southern Oscillation
IO	Indian Ocean
IOD	Indian Ocean Dipole
IMC	Indian Monsoon Current
ISM	Indian Summer Monsoon
JJA	June-July-August
KPP	K-Profile Parameterization

KW	Kelvin Wave
LSM	Land Surface Model
LFC	Level of Free Convection
LHF	latent Heat Flux
MAM	March-April-May
MCT	Model Coupling Toolkit
MLD	Mixed Layer Depth
MSE	Moist Static Energy
NBoB	Northern Bay of Bengal
NEC	North Equatorial Current
NIOA	North Indian Ocean Atlas
ON	October-November
PBL	Planetary Boundary Layer
PCC	Pearson Correlation Coefficient
PW	Precipitable Water
RAMA	Research Moored Array for African-Asian-Australian
RH	Relative Humidity
RV	Relative Vorticity
RMSE	Root Mean Square Error
ROMS	Regional Ocean Modelling System
RW	Rossby Waves
SBoB	Southern Bay of Bengal
SCRIP	Spherical Coordinate Remapping Interpolation Package
SHF	Sensible Heat Flux
SKE	Surface Kinetic Energy
SLP	Sea Level Pressure
SMC	Summer Monsoon Current
SNR	Signal to Noise Ratio
SON	September-October-November
SSH	Sea Surface Height
SSHA	Sea Surface Height Anomaly
SST	Sea Surface Temperature

SSS	Sea Surface Salinity
TCHP	Tropical Cyclone Heat Potential
THF	Turbulent Heat Flux
WMC	Winter Monsoon Current
WRF	Weather Research and Forecast
WBC	Western Boundary Current

NOTATION

English Symbols

$Tcline$	Surface or bottom boundary layer thickness
$Vstretching$	Vertical Stretching Function
$Vtransform$	Vertical transformation Function
P_{DIFF}	Percentage Difference
W_{MR}	Water Vapor Mixing Ratio
K_M	Vertical turbulent eddy viscosity coefficient
K_C	Vertical turbulent eddy diffusivity coefficient
R_d	gas Constant
S_s	Shear component of Strain
S_n	Normal Component of Strain
$X_{e1,e2}$	Euclidean Distance
R^2	Coefficient of determination
KE_g	Geostrophic Kinetic Energy

Greek Symbols

θ_s	Sigma Coordinate surface stretching parameter
θ_b	Sigma Coordinate bottom stretching parameter
θ	Potential Temperature
θ_m	Moist Potential Temperature
θ_e	Equivalent Potential Temperature
ω	Vertical Velocity
γ	heat capacity ratio of dry air
ϕ	Geopotential Height
ξ	Vertical component of relative vorticity
η	Sea Surface Height
μ	Median
σ	Standard Deviation