



Analysis of variations in surface latent heat flux, sea surface temperature, and wind speed Case study: Tropical cyclones in the Bay of Bengal in 2020

 Seyedeh Nastaran Hashemi¹ ,
  Mahdi Mohammad Mahdizadeh² ,
  Mohammad Akbarinasab^{3*}

1- Ph.D. Student of physical oceanography, Department of atmospheric and oceanographic science (non-biologic), Faculty of marine science and technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: s.n.hashemi.stu@hormozgan.ac.ir

2- Associate professor, Department of atmospheric and oceanographic science (non-biologic), Faculty of marine science and technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: mehdizadeh@hormozgan.ac.ir

3- (*Corresponding author) Associate professor, Department of physical oceanography, Faculty of marine and environmental sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. Email: m.akbarinasab@umz.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2025/10/20

Date of last review:

2025/11/23

Date of accept:

2025/12/17

Date of online publication:

2025/12/17

Keywords:

Post-Monsoon and
 Pre-Monsoon,
 Air–Sea interactions,
 Bay of Bengal,
 Reanalysis data,
 Tropical cyclone

Extended Abstract

Introduction

Tropical cyclones are among the most destructive natural hazards in the North Indian Ocean, particularly in the Bay of Bengal. The intensification of these systems is critically influenced by air-sea interactions, specifically the exchange of surface latent heat flux (SLHF). SLHF represents the heat transfer associated with the phase change of water, exchanged between the Earth's surface and the atmosphere. An increase in SLHF correlates with a rise in the number and intensity of cyclone systems, as these systems derive their energy from the ocean. Sea surface temperature (SST) is a crucial indicator that influences climate patterns and significantly affects the development and intensity of tropical cyclones. Given that the Bay of Bengal is prone to the formation of many tropical cyclones, the aim of this study is to investigate the advection of surface latent heat flux, sea surface temperature and wind speed in tropical cyclone Amphan (May 2020) and tropical cyclone Nivar (November 2020). Tropical cyclone Amphan and tropical cyclone Nivar occurred in the pre-monsoon and post-monsoon periods, respectively. The use of reanalysis data to investigate surface latent heat flux (SLHF), sea surface temperature (SST), and wind speed, which play a crucial role in the formation and evolution of tropical cyclones, can be significant.

Materials and Methods

The Bay of Bengal is recognized as one of the world's most active basins for tropical cyclone formation, with two primary seasons for cyclone development: pre-monsoon (March, April, and May) and post-monsoon (October, November, and December). ... ► Page 30

How to Cite:

Hashemi, S.N. Mohammad Mahdizadeh, M. Akbarinasab, M. (2026). Analysis of variations in surface latent heat flux, sea surface temperature, and wind speed - Case study: Tropical cyclones in the Bay of Bengal in 2020. Scientific -Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(136), 29-45.

This research focuses on two significant events in 2020: Tropical Cyclone Amphan, which occurred from May 16 to 21 and was classified as a super cyclonic storm, and Tropical Cyclone Nivar, which developed from November 22 to 27 and was categorized as a very severe cyclonic storm by the Indian Meteorological Department (IMD). To investigate the interaction between SLHF, SST and Wind Speed during these two tropical cyclones, reanalysis data were utilized. SLHF data were obtained from the ERA5 reanalysis, which provides hourly estimates with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. For SST and wind speed, MERRA-2 reanalysis data were employed, offering a temporal resolution of 1 hour and a spatial resolution of $0.625^\circ \times 0.5^\circ$. All data were processed and analyzed using Python. The main track positions of the Amphan and Nivar tropical cyclones were extracted from IMD reports and IBTrACS data, and their tracks were mapped using ArcMap.

Results and Discussion

The analysis of the two tropical cyclones revealed distinct temporal and spatial variations in sea surface temperature (SST), surface latent heat flux (SLHF), and wind speed during their development and intensification stages. Tropical Cyclone Amphan formed on 16 May 2020 under SST values exceeding 30°C , which provided a favorable environment for rapid intensification. SLHF increased sharply from approximately 250 W/m^2 to more than 300 W/m^2 and reached values above 400 W/m^2 on 19 May, coinciding with Amphan's peak intensity. Wind speeds on 19 May, 15 m/s. Subsequently, as the cyclone approached land, SST decreased, leading to weakening. In contrast, Tropical Cyclone Nivar developed on 22 November 2020 with lower SST values (around 29°C). SLHF exhibited a gradual increase, reaching its maximum ($300\text{--}400 \text{ W/m}^2$) on 25 November. Wind speeds intensified to about 12.5 m/s. Overall, the results demonstrate that pre-monsoon conditions favor stronger heat flux exchange and more intense cyclone development compared to the post-monsoon period.

Conclusion

This study investigated the interaction between surface

latent heat flux (SLHF), sea surface temperature (SST), and wind speed during the evolution of Tropical Cyclone Amphan (pre-monsoon) and Tropical Cyclone Nivar (post-monsoon) in the Bay of Bengal. The results show that pre-monsoon conditions create a more favorable environment for cyclone intensification due to higher SST and stronger heat exchange. During Amphan's peak on 19 May, SLHF 400 W/m^2 , SST reached about 31°C , and wind speed increased to nearly 15 m/s. In contrast, during Nivar's peak on 25 November, SLHF ranged between 300 and 400 W/m^2 , SST decreased to $26\text{--}29^\circ\text{C}$, and wind speed reached approximately 12.5 m/s. Overall, the findings of 2020 indicate that the interaction between latent heat flux, sea surface temperature, and wind speed has a time-dependent nature, and the seasonal differences play a significant role in the intensity and evolution of tropical cyclones. This study practically demonstrates that seasonal variations in surface latent heat flux (SLHF), sea surface temperature (SST), and wind speed can enhance the accuracy of tropical cyclone forecasts in the Bay of Bengal.



صفحات ۴۵ - ۲۹

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۶، زمستان ۱۴۰۴



مقاله پژوهشی

doi <https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2075229.3158>

تحلیل تغییرات شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد

مطالعه موردی: کم فشارهای حاره‌ای خلیج بنگال در سال ۲۰۲۰

سیده نسترن هاشمی^۱، مهدی محمدمهدی‌زاده^۲، محمد اکبری نسب*^۳

۱- دانشجوی دکتری فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
s.n.hashemi.stu@hormozgan.ac.ir

۲- دانشیار گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
mehdizadeh@hormozgan.ac.ir

۳- (*نویسنده مسئول) دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
m.akbarinasab@umz.ac.ir

چکیده

یکی از موضوعات اصلی در مطالعه کم فشارهای حاره‌ای تأثیر تبادل شارهای گرمای هوا- دریا، به‌ویژه تبادل شار گرمای نهان سطحی است. به دلیل اهمیت خلیج بنگال در شمال اقیانوس هند از نظر رخداد و شدت کم فشارهای حاره‌ای، مطالعه کنونی سعی دارد نحوه تعامل شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد را در گذر کم فشار حاره‌ای آملان (۱۶ تا ۲۱ می ۲۰۲۰) و کم فشار حاره‌ای نیوار (۲۲ تا ۲۷ نوامبر ۲۰۲۰) بررسی نماید، تا مشخص شود این پارامترها به ترتیب در زمان پیش از مونسون (می) و پس از مونسون (نوامبر) چگونه رفتار کرده‌اند. برای این منظور، از داده‌های بازتحلیل ERA5 برای استخراج شار گرمای نهان سطحی با تفکیک پذیری مکانی $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ و زمانی ۱ ساعت، و از داده‌های بازتحلیل MERRA-2 برای دمای سطح دریا و سرعت باد با تفکیک پذیری مکانی $0.5^{\circ} \times 0.625^{\circ}$ و زمانی ۱ ساعت استفاده شد. تحلیل نقشه‌ها با استفاده از زبان پایتون انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقدار شار گرمای نهان سطحی در دوره پیش از مونسون به‌طور معناداری بیشتر از دوره پس از مونسون است. در اوج شدت آملان (۱۹ می)، شار گرمای نهان سطحی 400 وات بر متر مربع، دمای سطح دریا به حدود 31 درجه سلسیوس و سرعت باد به 15 متر بر ثانیه رسید. در مقابل، در اوج شدت نیوار (۲۵ نوامبر)، شار گرمای نهان سطحی در بازه 300 تا 400 وات بر متر مربع قرار داشت، در حالی که دمای سطح دریا بین 26 تا 29 درجه سلسیوس و سرعت باد حدود 12.5 متر بر ثانیه بود. به‌طور کلی، یافته‌های سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهند که تعامل میان شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد، ماهیتی وابسته به زمان دارد و تفاوت فصل‌ها نقش مهمی در شدت و تکامل کم فشارهای حاره‌ای ایفا می‌کند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۷/۲۸

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۴/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۹/۲۶

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۹/۲۶

واژه‌های کلیدی:

پیش از مونسون و پس از مونسون؛
تبادلات هوا- دریا؛
خلیج بنگال؛
داده بازتحلیل؛
کم فشار حاره‌ای

استناد به این مقاله:

هاشمی، س.ن؛ محمدمهدی‌زاده، م؛ اکبری نسب، م (۱۴۰۴) تحلیل تغییرات شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد - مطالعه موردی: کم فشارهای حاره‌ای خلیج بنگال در سال ۲۰۲۰؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴ (۱۳۶)، ۴۵ - ۲۹.

۱- مقدمه

بین پارامترهای دمای سطح دریا، برش قائم باد^۶، ناپایداری تروپوسفر میانی^۷ و رطوبت نسبی تروپوسفر میانی^۸ برای پیش‌بینی، پیدایش و تشدید کم‌فشار حاره‌ای هست.

در تعاملات بزرگ‌مقیاس هوا-دریا، تأثیر جو^۹ بر اقیانوس عمدتاً دینامیکی است، در حالی که تأثیر اقیانوس بر جو^{۱۰} عمدتاً حرارتی است. دمای سطح دریا نشان‌دهنده‌ی مجموع فرآیندهای حرارتی و دینامیکی اقیانوس و تعامل بین اقیانوس و جو^{۱۱} است (Bao et al., 2022). شارهای گرمایی سطحی باعث ایجاد آنومالی‌های دمای سطح دریا می‌شوند و این آنومالی‌ها نیز به نوبه‌ی خود می‌توانند شارهای گرمایی سطحی را تعدیل کنند. درک چگونگی واکنش شارهای گرمایی سطحی به آنومالی‌های دمای سطح دریا، برای درک ماهیت سیستم جو-اقیانوس ضروری است (Park et al., 2005). افزایش دمای سطح دریا عامل مستقیم و محلی اصلی در روند شار گرمای نهان سطحی است، در حالی که تقویت سرعت باد سطحی در مقیاس بزرگ، که به دلیل نقش آن در الگوی روند دمای سطح دریا است، یک عامل غیرمستقیم و غیرمحلی مهم در روند شار گرمای نهان سطحی به‌شمار می‌رود (Li et al., 2011).

روند افزایشی شار گرمای نهان سطحی را می‌توان به افزایش دمای سطح دریا نسبت داد (به‌عنوان پیامدی از گرمایش جهانی و تغییر اقلیم) (Rahul and Gnanaseelan, 2012; Singh and Roxy, 2022). در اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس، روند دمای سطح دریا به‌ترتیب توسط فرآیندهای دینامیکی و ترمودینامیکی کنترل می‌شود، در حالی که طیف گسترده‌ای از فرآیندها در روند دمای سطح دریا در اقیانوس هند نقش دارند (He et al., 2017).

یو و ولر ۲۰۰۷ و لی و همکاران ۲۰۱۱، تأکید کردند که افزایش شار گرمای نهان سطحی با افزایش دمای سطح دریا مرتبط است. با افزایش شارهای گرمایی سطحی، تعداد کم‌فشارها در خلیج بنگال افزایش می‌یابد (Murty et al., 1996).

شار گرمای نهان سطحی^۱ (که رطوبت و انرژی را از سطح اقیانوس برای رشد کم‌فشار فراهم می‌کند) نقش حیاتی در تعادل انرژی سطح اقیانوس ایفا می‌کند. این پارامتر، منبع اصلی انرژی برای شکل‌گیری و تشدید کم‌فشارهای حاره‌ای (Andreas et al., 2008; Gao & Chiu, 2010; Ooyama, 1969; Rathaur et al., 2023 و ذادق آبادی و همکاران، ۱۴۰۳) و انتقال‌دهنده‌ی گرمای نهان حاصل از تغییر فاز آب (مانند تبخیر و چگالش) بین سطح زمین و جو^{۱۲} از طریق توربولانس‌های جریان هوا^{۱۳} است (Naskar & Naskar, 2021).

شار گرمای نهان سطحی و شار گرمای محسوس سطحی^۳، در بودجه‌ی گرمایی اقیانوس نقش دارند و دمای سطح دریا^۴ را همراه با چینه‌بندی^۵ اقیانوس و جریان‌های اقیانوسی کنترل می‌کنند. این شارها، در سراسر اقیانوس‌های جهان برای راه‌اندازی مدل‌های اقیانوسی و نیز برای اعتبارسنجی آن‌ها ضروری هستند (Swain et al., 2009). بر روی اقیانوس، شار گرمای محسوس در مقایسه با شار گرمای نهان ناچیز محسوب می‌شود (Sun and Wu, 2021).

گرمای نهانی که در اثر تبخیر به جو آزاد می‌شود، الگوهای گردش جوی^{۱۴} را تغییر می‌دهد. شار گرمای نهان سطحی یک مؤلفه کلیدی در سامانه‌ی اقلیمی زمین است و نقش مهمی در تنظیم دماهای منطقه‌ای و جهانی ایفا می‌کند. این مؤلفه می‌تواند بر فراوانی و شدت کم‌فشارهای حاره‌ای، خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها تأثیر بگذارد (Krishnamurthy and Kirtman, 2009; Malik et al., 2024). دمای سطح دریا یک شاخص مهم محسوب می‌شود که الگوهای اقلیمی را تحت تأثیر قرار داده و پدیده‌های طبیعی دیگر مانند کم‌فشارهای حاره‌ای را نیز متأثر می‌کند (Malik et al., 2024). ناسکار و پاتانایک (۲۰۲۳) نشان دادند که شار گرمای نهان سطحی مؤثرترین پارامتر در

1- Surface Latent Heat Flux (SLHF)

2- Turbulent air motion

3- Surface Sensible Heat Flux (SSHf)

4- Sea Surface Temperature (SST)

5- Stratification

6- Vertical Wind Shear

7- Mid-tropospheric Instability

8- Mid-tropospheric Relative Humidity

برای دوره‌ی زمانی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ ارزیابی کردند. بیشترین انتقال گرمای نهان در منطقه شمال‌غربی دریای عرب در فصل زمستان (DJF)^۲ به دلیل بیشترین گرادیان قائم رطوبت و بادهای نسبتاً قوی رخ می‌دهد. مقادیر فصلی بالاتر شار گرمای نهان در خلیج بنگال در فصل‌های زمستان و تابستان به ترتیب به گرادیان بیشتر رطوبت و سرعت باد نسبت داده می‌شود.

باتوجه به اینکه خلیج بنگال مستعد تشکیل کم‌فشارهای حاره‌ای زیادی هست هدف مطالعه حاضر، بررسی میزان فرارفت شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد در رخدادهای کم‌فشار حاره‌ای آفغان (می ۲۰۲۰) و کم‌فشار حاره‌ای نیوار (نوامبر ۲۰۲۰) است. کم‌فشار حاره‌ای آفغان و کم‌فشار حاره‌ای نیوار به ترتیب در زمان پیش از مونسون و پس از مونسون رخ دادند. استفاده از داده‌های بازتحلیل به منظور بررسی پارامترهایی که در تشکیل و توسعه‌ی کم‌فشارهای حاره‌ای نقش بسزایی دارند (شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد)، مهم تلقی می‌شود.

۲- داده‌ها و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

هند، عمدتاً تحت تأثیر کم‌فشارهایی قرار دارد که در شمال اقیانوس هند (شامل خلیج بنگال و دریای عرب) شکل می‌گیرند. حدود ۸۰ درصد از این کم‌فشارها، در خلیج بنگال ایجاد می‌شوند (Singh, 2007). فراوانی ماهانه کم‌فشارهای حاره‌ای در هر دو حوضه‌ی دریای عرب و خلیج بنگال، ویژگی دو قله‌ای^۳ قابل توجهی را نشان می‌دهد، به طوری که بیشینه‌ها به ترتیب در ماه می و اکتبر-نوامبر رخ می‌دهند. بیشترین فراوانی کم‌فشارهای حاره‌ای در قله دوم اتفاق می‌افتد. اندازه‌ی کم‌فشارهای حاره‌ای در شمال اقیانوس هند در اوایل تابستان بزرگ‌تر از اندازه آن‌ها در فصل پاییز است. ساختار نامتقارن کم‌فشارهای حاره‌ای در شمال اقیانوس هند تحت تأثیر توپوگرافی قرار دارد. از

افزایش دمای سطح دریا و شار گرمای نهان در فصل پیش از مونسون، باعث افزایش سیکلونزایی^۱ و شدت آن‌ها در دهه اخیر شده است (Amasarao et al., 2024) و علی‌محمدی و همکاران، (۱۴۰۱). همچنین هیبرت و همکاران ۲۰۲۳ و دوآن و همکاران ۲۰۲۱، تأیید کردند که کم‌فشارهای حاره‌ای برای آغاز شکل‌گیری نیاز به گرم بودن دمای سطح دریا دارند. کم‌فشارهای حاره‌ای به صورت مستقیم (ورود به خشکی) و غیرمستقیم (ایجاد برکشند طوفان، امواج و ... سواحل را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند (تویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶). تغییرپذیری دمای سطح دریا در اقیانوس هند حتی با وجود هم‌زمانی با چرخه‌ی قوی ال‌نینو/لانینا نیز پایدار باقی می‌ماند (Khan et al., 2021). مطالعات متعددی اهمیت شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد را در مناطق مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند.

زادق آبادی و همکاران (۱۴۰۳) نقش ناهنجاری‌های فشار سطح دریا را همراه با شارهای گرمایی سطح اقیانوس در شکل‌گیری و تقویت کم‌فشارهای حاره‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش شار گرمای نهان و شار گرمای محسوس با تشدید همرفت و عمیق‌تر شدن کم‌فشارها همراه است و آستانه‌های درصدی بهترین ابزار برای شناسایی این ناهنجاری‌ها هستند.

راهول و گناناسیلان (۲۰۱۲) نشان دادند که روند افزایشی شار گرمای نهان سطحی در اقیانوس هند تحت تأثیر دمای سطح دریا و شدت باد قرار دارد. با این حال، افزایش رطوبت سطحی موجب کاهش شدت این روند می‌شود.

کومار و همکاران (۲۰۱۷) حساسیت شار گرمای نهان سطحی را نسبت به دمای سطح دریا ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که در شمال اقیانوس هند، تغییرات شار گرمای نهان سطحی عمدتاً توسط فرآیندهای ترمودینامیکی کنترل می‌شود و مقدار آن در ماه‌های مونسون به حداکثر می‌رسد. موهان و همکاران (۲۰۲۳)، تغییرپذیری شار گرمای نهان بر روی اقیانوس هند را، با استفاده از داده‌های ERA5

2- December-January-February (DJF)

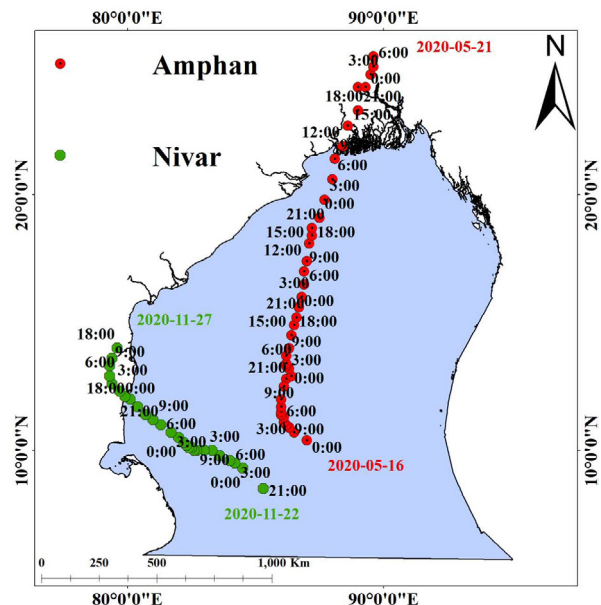
3- Bimodal

1- Cyclogenesis

جدول ۱: مختصات نقاط کم فشار حاره‌ای آمفان
(ترسیم شده در نگاره ۱) (IMD., 2020)

Date	Time	Lat	Lon
16/05/2020	0:00	10/4	87
16/05/2020	3:00	10/7	86/5
16/05/2020	6:00	10/9	86/3
16/05/2020	9:00	10/9	86/3
16/05/2020	12:00	10/9	86/3
16/05/2020	15:00	11	86/2
16/05/2020	18:00	11/1	86/1
16/05/2020	21:00	11/3	86/1
17/05/2020	0:00	11/4	86
17/05/2020	3:00	11/4	86
17/05/2020	6:00	11/5	86
17/05/2020	9:00	11/7	86
17/05/2020	12:00	12	86
17/05/2020	15:00	12/8	86/2
17/05/2020	18:00	12/5	86/1
17/05/2020	21:00	12/9	86/4
18/05/2020	0:00	13/2	86/3
18/05/2020	3:00	13/3	86/2
18/05/2020	6:00	13/4	86/2
18/05/2020	9:00	13/7	86/2
18/05/2020	12:00	14	86/3
18/05/2020	15:00	14/5	86/4
18/05/2020	18:00	14/9	86/5
18/05/2020	21:00	15/2	86/6
19/05/2020	0:00	15/6	86/7
19/05/2020	3:00	16	86/8
19/05/2020	6:00	16/5	86/9
19/05/2020	9:00	17	86/9
19/05/2020	12:00	17/4	87
19/05/2020	15:00	18/1	87/1
19/05/2020	18:00	18/4	87/2
19/05/2020	21:00	18/7	87/2
20/05/2020	0:00	19/1	87/5
20/05/2020	3:00	19/8	87/7
20/05/2020	6:00	20/6	88
20/05/2020	9:00	21/4	88/1
20/05/2020	12:00	21/9	88/4
20/05/2020	15:00	22/7	88/6
20/05/2020	18:00	23/3	89
20/05/2020	21:00	24/2	89
21/05/2020	0:00	24/2	89/3
21/05/2020	3:00	24/7	89/5
21/05/2020	6:00	25	89/6
21/05/2020	12:00	25/4	89/6

نظر اقلیمی، خلیج بنگال به دلیل دمای بالاتر سطح دریا و ورود آب شیرین بیشتر، نسبت به دریای عرب کم فشارهای حاره‌ای بیشتری را تجربه می‌کند (Xiao-Ting et al., 2020). تعداد کم فشارهای شدیدتر پیش از مونسون بیشتر از پس از مونسون است، چرا که شرایط پس‌زمینه‌ای (در مقیاس بزرگ) در این بازه زمانی مساعدتر هستند (Neetu et al., 2019). نگاره ۱، منطقه‌ی مورد مطالعه و مسیر کم فشار حاره‌ای آمفان و کم فشار حاره‌ای نیوار را نشان می‌دهد. جداول ۱ و ۲، به ترتیب مختصات نقاط کم فشار حاره‌ای آمفان و کم فشار حاره‌ای نیوار را نشان می‌دهند (براساس گزارش سازمان هواشناسی هند^۱).



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه

1- Indian Meteorological Department (IMD)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

تحلیل تغییرات شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد ... / ۳۵

تغییر اقلیم کوپرنیک، در مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوّی ECMWF تولید شده است (محمدی و فروزان فرد، ۱۴۰۳).

هرباچ و همکاران ۲۰۲۰ برای پارامتر دمای سطح دریا بیان داشتند، که اگرچه فیله‌های ERA5 به صورت ساعتی در دسترس هستند، اما مقادیر این پارامتر فقط یک بار در روز تغییر می‌کنند. دلیل این امر آن است که آن‌ها با دمای سطح دریای روزانه‌ای که از یک محصول خارجی دریافت می‌شود، مطابقت دارند. همین امر در مورد پارامتر پوشش یخ دریا^۱ نیز صادق است. با در نظر گرفتن این موضوع، نویسندگان از بازتحلیل Merra2 برای داده‌های دمای سطح دریا استفاده کردند.

پکرل و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای نتیجه گرفتند که بازتحلیل ERA5 به‌تنهایی بهترین برآوردها را برای شارهای گرمایی ارائه می‌دهد. یکی از علت‌های انتخاب داده‌های بازتحلیل، تفکیک‌پذیری زمانی و مکانی آن‌ها است (پگاه‌فر، ۱۳۹۸). در این مطالعه داده‌های شار گرمای نهان سطحی از مجموعه بازتحلیل ERA5 با تفکیک‌پذیری مکانی (۰/۲۵° × ۰/۲۵°) و زمانی ۱ ساعته به دست آمد. طبق قرارداد ECMWF، شارهای قائم به سمت پایین مثبت هستند.

Merra2 جدیدترین بازتحلیل جوّی ماهواره‌ای مدرن است. داده‌های Merra2 توسط اداره ملی هوانوردی و فضایی NASA ارائه شده است و اولین بانک داده بازتحلیل جهانی بلندمدت برای داده‌گذاری مشاهدات مبتنی بر فضا از هواویزها و برهم‌کنش آن‌ها با سایر فرآیندهای فیزیکی در سامانه اقلیمی است (Gelaro et al., 2017) و مجیدی کرهرودی و همکاران، ۱۴۰۳).

در این مطالعه، داده‌های دمای سطح دریا و سرعت باد از مجموعه بازتحلیل Merra2 با تفکیک‌پذیری مکانی (۰/۵° × ۰/۶۲۵°) و زمانی ۱ ساعته دریافت شدند. داده‌های این مطالعه، با زبان برنامه‌نویسی پایتون تجزیه و تحلیل شدند.

جدول ۲: مختصات نقاط کم‌فشار حاره‌ای نیوار

(ترسیم شده در نگاره ۱) (IMD., 2020)

Date	Time	Lat	Lon
22/11/2020	21:00	8/5	85/3
23/11/2020	0:00	9/3	84/5
23/11/2020	3:00	9/5	84/2
23/11/2020	6:00	9/6	84
23/11/2020	12:00	9/8	83/6
23/11/2020	18:00	10	83/3
24/11/2020	00:00	10	83
24/11/2020	3:00	10	83
24/11/2020	6:00	10	82/7
24/11/2020	9:00	10	82/6
24/11/2020	12:00	10/1	82/5
24/11/2020	15:00	10/1	82/4
24/11/2020	18:00	10/2	82/3
24/11/2021	21:00	10/3	82/2
25/11/2020	0:00	10/5	82
25/11/2020	3:00	10/7	81/7
25/11/2020	6:00	11	81/3
25/11/2020	9:00	11/2	81
25/11/2020	12:00	11/4	80/7
25/11/2020	15:00	11/7	80/4
25/11/2020	18:00	12	80/1
25/11/2021	21:00	12/1	79/9
26/11/2020	0:00	12/3	79/7
26/11/2020	3:00	12/6	79/4
26/11/2020	6:00	12/9	79/3
26/11/2020	9:00	13/3	79/3
26/11/2020	12:00	13/6	79/4
26/11/2020	18:00	14	79/6
27/11/2020	Weakened		

۲-۲- داده‌ها و روش پژوهش

در دهه‌های گذشته، داده‌های بازتحلیل آب و هوایی، به‌طور گسترده‌ای در بسیاری از زمینه‌ها مانند پیش‌بینی بارش، پیش‌بینی دما، پایش رطوبت خاک، پایش اقیانوس‌ها و حفاظت از محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند (کاظمی آذر و همکاران، ۱۴۰۴).

ERA5 یک مجموعه داده بازتحلیل جوّی جهانی است که برآوردهای ساعتی متغیرهای مختلف آب و هوا را از سال ۱۹۴۰ تاکنون ارائه می‌دهد. این پایگاه داده توسط سرویس

جدول ۳: مشخصات داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، به همراه مشخصات کم‌فشار حاره‌ای آمفان و کم‌فشار حاره‌ای نیوار

متغیر	واحد	منبع	تفکیک‌پذیری زمانی	تفکیک‌پذیری مکانی	شروع و پایان داده	فصل	تاریخ	منطقه	کم‌فشار حاره‌ای	دسته‌بندی کم‌فشارها
شار گرمای نهان سطحی	W/m ²	ERA5	۱ ساعت	۰/۲۵° × ۰/۲۵°	۲۰۲۰/۰۵/۱۶	پیش از مونسون	۱۶ تا ۲۱ می ۲۰۲۰	خلیج بنگال	آمفان	Super Cyclonic Storm (IMD., 2020)
					۲۰۲۰/۰۵/۱۷					
					۲۰۲۰/۰۵/۱۸					
					۲۰۲۰/۰۵/۱۹					
سرعت باد	m/s	Merra2	۱ ساعت	۰/۶۲۵° × ۰/۵°	۲۰۲۰/۰۵/۲۰	پس از مونسون	۲۲ تا ۲۷ نوامبر ۲۰۲۰	خلیج بنگال	نیوار	Very Severe Cyclonic Storm (IMD., 2020)
					۲۰۲۰/۰۵/۲۱					
					۲۰۲۰/۱۱/۲۲					
					۲۰۲۰/۱۱/۲۳					
دمای سطح دریا	C	Merra2	۱ ساعت	۰/۶۲۵° × ۰/۵°	۲۰۲۰/۱۱/۲۴	پس از مونسون	۲۲ تا ۲۷ نوامبر ۲۰۲۰	خلیج بنگال	نیوار	Very Severe Cyclonic Storm (IMD., 2020)
					۲۰۲۰/۱۱/۲۵					
					۲۰۲۰/۱۱/۲۶					
					۲۰۲۰/۱۱/۲۷					

شکل گرفت، که در این زمان دمای سطح دریا بیش از ۳۰ درجه سلسیوس بود. سرعت باد در ساعت ۰۰:۰۰ روز ۱۶ می، حدود ۲۰ متر بر ثانیه بود که پس از اندکی افزایش در ساعت ۰۳:۰۰، در ساعت ۰۶:۰۰ مقدارش تا حدود ۱۷ متر بر ثانیه کاهش یافت. پس از ساعت ۰۶:۰۰ سرعت باد افزایش یافت، بطوریکه در ساعت ۱۸:۰۰ به حداکثر مقدار خود یعنی بیش از ۳۰ متر بر ثانیه رسید. این افزایش شدید نشان‌دهنده تشدید سریع آمفان و تبدیل آن به یک طوفان چرخندی بسیار شدید است. طبق نمودار نگاره ۳، پس از اوج‌گیری در ۱۶ می، سرعت باد کاهش یافت.

دمای بالای سطح دریا از ویژگی‌های شاخص دوره پیش از مونسون در خلیج بنگال است (Akhter et al., 2024). شار گرمای نهان سطحی در ۱۶ می، مقادیر بیشتری را در محل تشکیل آمفان (مرکز خلیج بنگال) نسبت به اطراف نشان داد. در محل تشکیل آمفان، به دلیل افزایش تبخیر ناشی از بادهای شار گرمای نهان سطحی از ۲۵۱/۸ وات بر متر مربع تا ۳۰۲ وات بر متر مربع در تغییر است (نگاره ۴). این افزایش شار گرمای نهان سطحی به شدت‌گیری آمفان کمک کرد. براساس نگاره ۲، در ۱۷ می دمای سطح دریا به طور پیوسته بیش از ۳۰ درجه سلسیوس است که نشان‌دهنده‌ی

در جدول ۳، مشخصات داده‌ها و نیز مشخصات کم‌فشار حاره‌ای آمفان و کم‌فشار حاره‌ای نیوار بیان شده است. با استفاده از گزارش سازمان هواشناسی هند و داده‌های IBTrACS، موقعیت‌های مسیر کم‌فشار آمفان و کم‌فشار نیوار از شکل‌گیری تا تضعیف استخراج شدند و نقشه‌ی آن‌ها در محیط نرم‌افزار Arc Map ترسیم شد. از سوی دیگر، نمودارهای تغییرات دمای سطح دریا و سرعت باد براساس مختصات نقاطی که در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است، ترسیم شدند (نگاره‌های ۲، ۳، ۵ و ۶).

۳- بحث و یافته‌ها

۳-۱- تغییرات مکانی زمانی پارامترهای دمای سطح دریا، سرعت باد و شار گرمای نهان سطحی در گذر کم‌فشار حاره‌ای آمفان

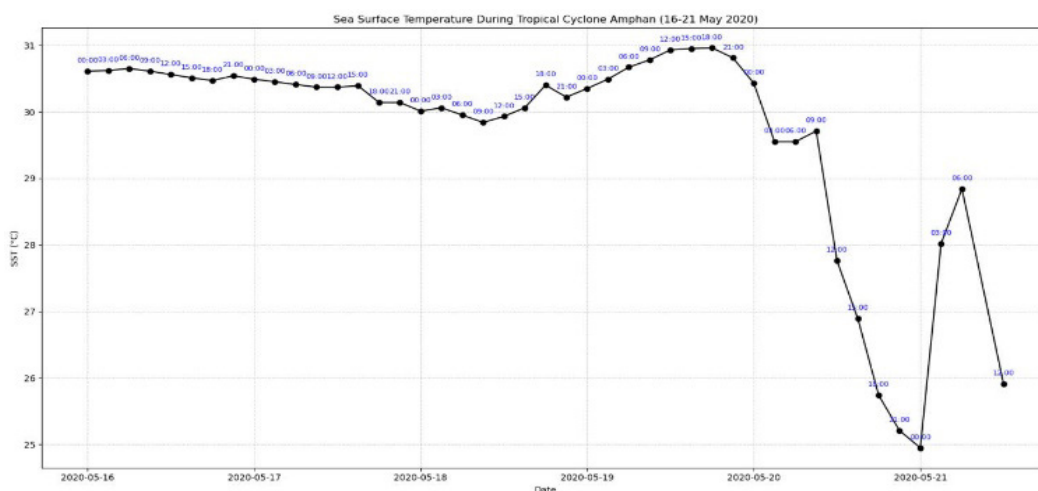
نگاره ۲، تغییرات دمای سطح دریا (سلسیوس)، نگاره ۳ تغییرات سرعت باد (متر بر ثانیه) و نگاره ۴ تغییرات شار گرمای نهان سطحی (وات بر مترمربع) را از شکل‌گیری تا تضعیف کم‌فشار حاره‌ای آمفان (۱۶ تا ۲۲ می ۲۰۲۰) نشان می‌دهند. در روز ۱۶ می یک وافشاری^۱ بر روی خلیج بنگال

1- www.ncdc.noaa.gov/ibtracs/

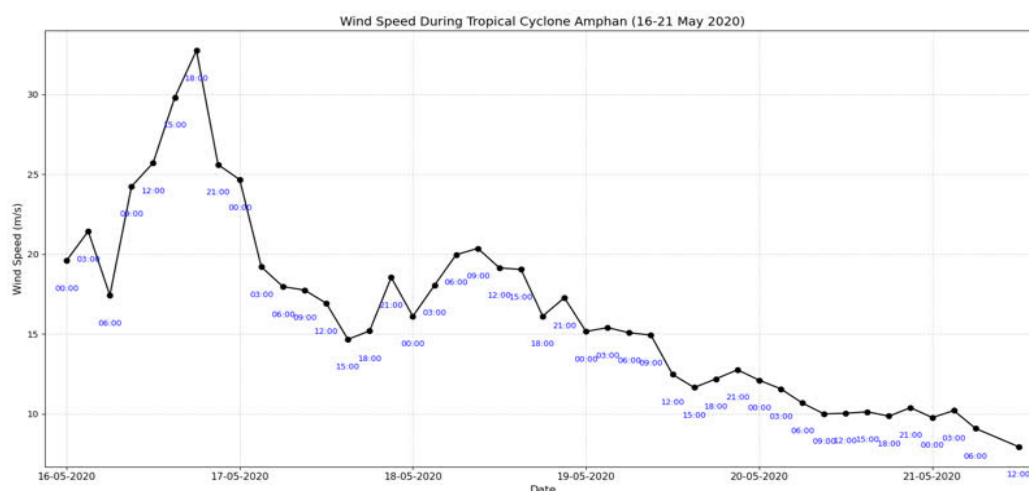
2- Depression

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

تحلیل تغییرات شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد ... / ۳۷



نگاره ۲: تغییرات دمای سطح دریا (سلسیوس)، از شکل‌گیری تا تضعیف کم‌فشار حاره‌ای آمفان (۱۶ تا ۲۲ می ۲۰۲۰)

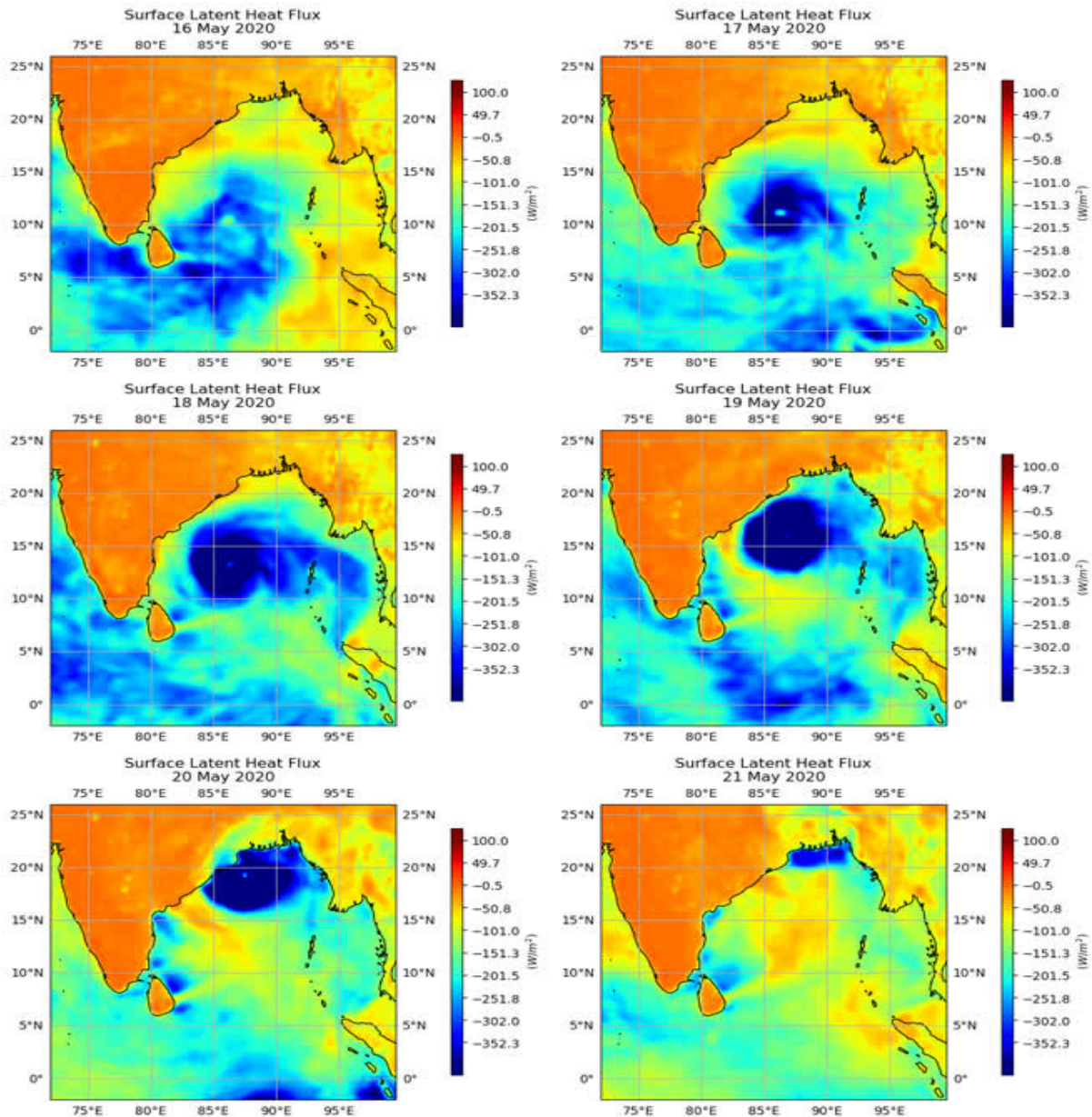


نگاره ۳: تغییرات سرعت باد (متر بر ثانیه)، از شکل‌گیری تا تضعیف کم‌فشار حاره‌ای آمفان (۱۶ تا ۲۲ می ۲۰۲۰)

اما در بعد از ظهر روند افزایشی ادامه یافت. بعلاوه نمودار سرعت نشان داد که سرعت باد همانند روز قبل، در محدوده ۱۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه تغییرات داشته است. طبق نگاره ۴ در ۱۸ می، افزایش بیشتر شار گرمای نهان سطحی در چشم طوفان مشهود است، که نشان‌دهنده‌ی تداوم تبخیر و انتقال انرژی از اقیانوس به جو است، که منجر به تشدید آمفان شد. تقریباً به مدت ۲۴ ساعت، شدت آمفان حفظ شد. براساس تغییرات دمای سطح دریا (نگاره ۲)، روند افزایش دما در ۱۹ می ادامه یافت، به طوری که از ساعت ۲۱ همین روز کاهش دمای سطح دریا رخ داد. همچنین نمودار

ورود مداوم گرما از اقیانوس به جو است. یعنی شرایط برای تداوم قدرت آمفان برقرار است. تغییرات سرعت باد در نگاره ۳ نشان داد، در ساعت ۰۰:۰۰ روز ۱۷ می سرعت باد در حدود ۲۵ متر بر ثانیه است و در بقیه ساعات، در محدوده ۱۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه باقی ماند. در ۱۷ می، شار گرمای نهان سطحی در مرکز کم‌فشار حاره‌ای آمفان بیش از ۳۰۰ وات بر متر مربع است که می‌تواند به دلیل بادهای اطراف چشم طوفان^۱ باشد (نگاره ۴). در ادامه از ساعات اولیه روز ۱۸ می، دمای سطح دریا کمی کاهش پیدا کرد،

1- Eye of the storm



نگاره ۴: تغییرات شار گرمای نهان سطحی (وات بر مترمربع)، از شکل‌گیری تا تضعیف کم‌فشار حاره‌ای آمفان (۱۶ تا ۲۲ می ۲۰۲۰)

گرمایی اقیانوس به‌طور مؤثر استفاده می‌کند. ناسکار و ناسکار (۲۰۲۱) گزارش دادند که شار گرمای نهان سطحی در اوج شدت کم‌فشار آمفان در بالاترین میزان خود قرار داشته، که در نگاره ۴ مشهود است. در ۲۰ می، آمفان کمی تضعیف شد و دمای سطح دریا با سرعت زیادی شروع به کاهش کرد و به کمتر از ۳۰ درجه

تغییرات سرعت باد نشان می‌دهد که از ۱۹ می، سرعت باد به‌طور پیوسته شروع به کاهش کرد. در این تاریخ، الگوی شار گرمای نهان سطحی با مقادیر بالا در چشم طوفان و مقادیر پایین‌تر در اطراف چشم طوفان، مشخص می‌شود (نگاره ۴)، که بیانگر آن است که آمفان به حداکثر شدت خود نزدیک می‌شود و از انرژی

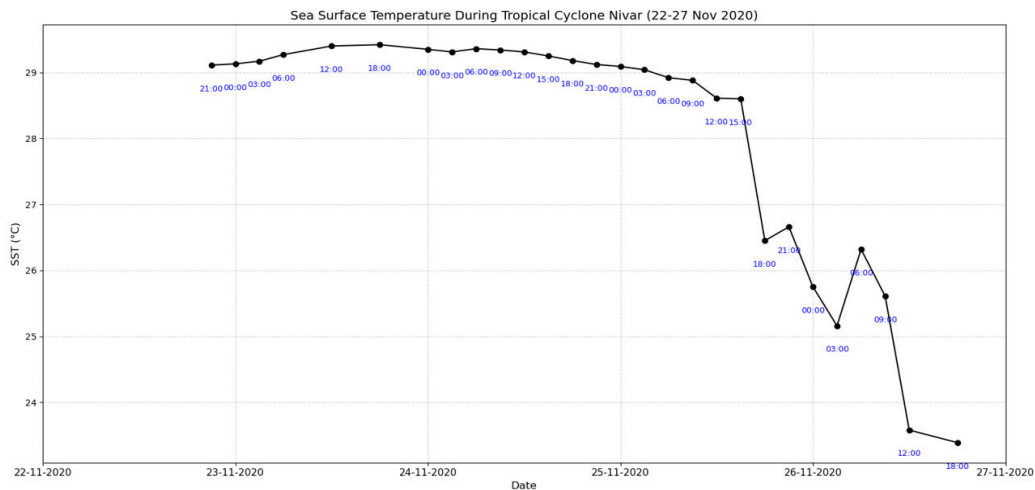
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

تحلیل تغییرات شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد ... / ۳۹

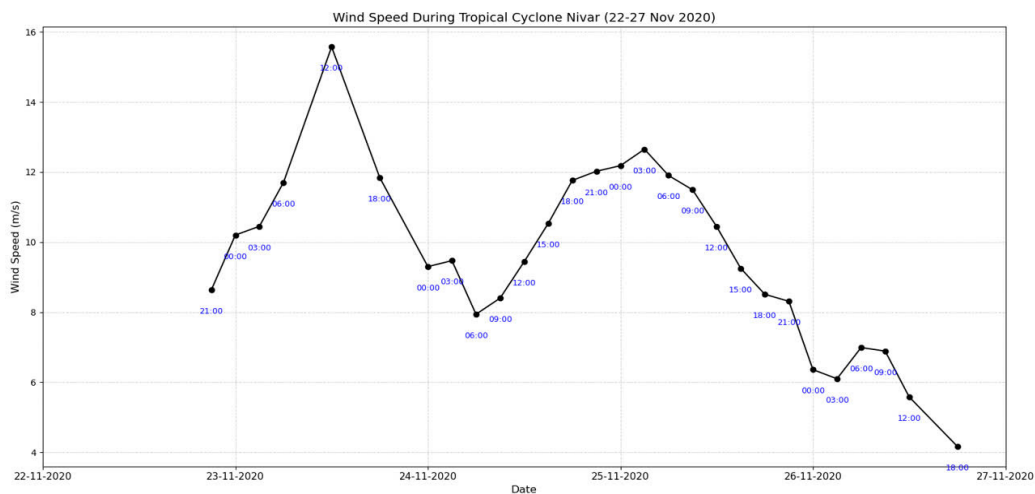
۲-۳- تغییرات مکانی زمانی پارامترهای دمای سطح دریا، سرعت باد و شار گرمای نهان سطحی در گذر کم فشار حاره‌ای نیوار

در ادامه، به بررسی تغییرات دمای سطح دریا، سرعت باد و شار گرمای نهان سطحی در گذر کم فشار حاره‌ای نیوار پرداخته شده است (به ترتیب نگاره‌های ۵، ۶ و ۷). براساس نمودار تغییرات دمای سطح دریا (نگاره ۵)، در زمان تشکیل نیوار (۲۲ نوامبر)، دمای سطح دریا بالاتر از ۲۹ درجه سلسیوس است. این دما برای تشکیل کم فشار حاره‌ای در خلیج بنگال در زمان پس از مونسون، یک دمای

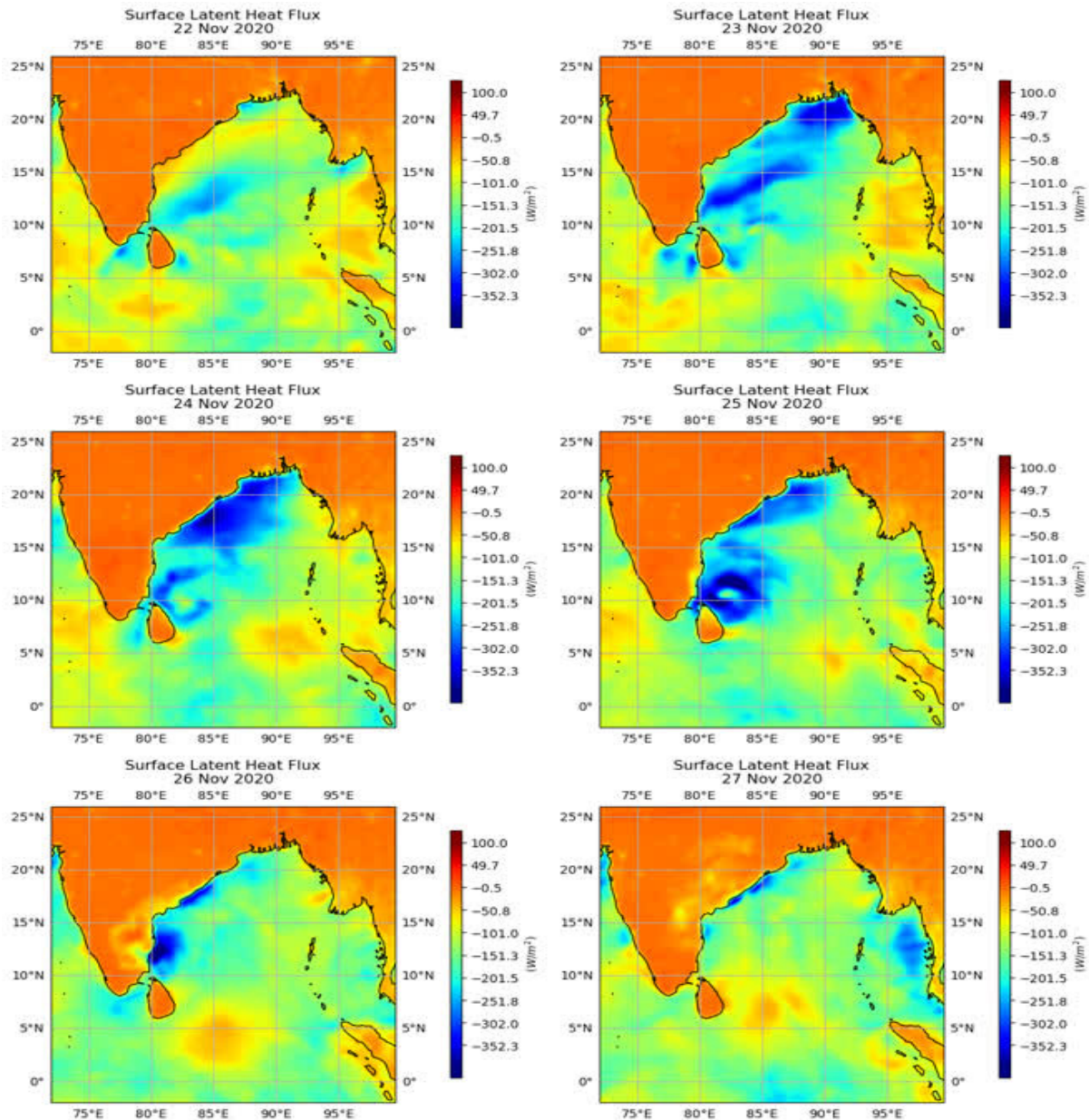
سلسیوس رسید (نمودار نگاره ۲). در این روز، با نزدیک شدن آشفان به ساحل، شار گرمای نهان سطحی به حدود ۴۰۰ وات بر متر مربع رسید. همینطور روند کاهشی سرعت باد در ۲۰ و ۲۱ می نیز ادامه یافت (نگاره ۳) و به مقادیری در حدود ۱۰ متر بر ثانیه و کمتر رسید. این کاهش پایدار در سرعت باد، نشان‌دهنده تضعیف آشفان است. در ۲۱ می، دمای سطح دریا به شدت کاهش یافت و تا ساعت ۱۲:۰۰ به حدود ۲۶ درجه سلسیوس رسید. یعنی آشفان منبع انرژی خود (آب‌های گرم اقیانوس) را از دست داد و تضعیف شد.



نگاره ۵: تغییرات دمای سطح دریا (سلسیوس)، از شکل‌گیری تا تضعیف کم فشار حاره‌ای نیوار (۲۲ تا ۲۷ نوامبر ۲۰۲۰)



نگاره ۶: تغییرات سرعت باد (متر بر ثانیه)، از شکل‌گیری تا تضعیف کم فشار حاره‌ای نیوار (۲۲ تا ۲۷ نوامبر ۲۰۲۰)



نگاره ۷: تغییرات شار گرمای نهان سطحی (وات بر مترمربع)، از شکل‌گیری تا تضعیف کم‌فشار حاره‌ای نیوار (۲۲ تا ۲۷ نوامبر ۲۰۲۰)

بعد یعنی ۲۳ نوامبر نیز به چشم می‌خورد. طبق نگاره ۶ که تغییرات سرعت باد را نشان می‌دهد، تا ساعت ۰۳:۰۰ روز ۲۳ نوامبر، سرعت باد به کمی بیش از ۱۰ متر بر ثانیه افزایش یافت. این افزایش اولیه در سرعت باد، نشان‌دهنده تشدید کم‌فشار حاره‌ای است. در ادامه، سرعت باد به افزایش خود ادامه داد و در حدود ساعت ۱۲:۰۰ روز ۲۳ نوامبر به اوج

مناسب است. این افزایش دما به تدریج شرایط را برای شدت گرفتن نیوار فراهم کرد. تغییرات سرعت باد، در ۲۲ نوامبر با مقداری در حدود ۸/۵ متر بر ثانیه آغاز شد (نگاره ۶). در نگاره ۷ برای همین روز، شار گرمای نهان سطحی الگوی مشخصی را نشان نمی‌دهد. مطابق نگاره ۵، روند افزایش دمای سطح دریا در روز

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۷)

تحلیل تغییرات شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد ... / ۴۱

می‌تواند ناشی از فراجوشی^۱ باشد. به‌علاوه، کاهش سرعت باد در ۲۶ نوامبر محسوس‌تر شد و تا ساعت ۰۳:۰۰ به حدود ۶ متر بر ثانیه رسید. الگوی شار گرمای نهان سطحی روند کاهشی را در این روز نشان داد، این کاهش در مقادیر شار گرمای نهان سطحی با کاهش دمای سطح دریا و نزدیک شدن نیوار به خشکی همزمان است. در ۲۷ نوامبر، نیوار به خشکی رسید و تضعیف شد. هاشمی و همکاران ۱۴۰۴ نشان دادند که در مسیر عبور کم‌فشار حاره‌ای نیوار، در حدود ۱ درجه سلسیوس، خنک‌شدن رخ داده است.

امانول (۲۰۰۷) مطرح کرد که اگرچه دمای سطح دریا یکی از عوامل مهم در بررسی کم‌فشارهای حاره‌ای به‌شمار می‌رود، اما پژوهش‌ها پیشنهاد کردند که نباید تنها بر دمای سطح دریا تأکید بیش از حد شود، بلکه باید توجه بیشتری به شارهای سطحی و سرعت باد داشت، زیرا این عوامل نقش اصلی را در تأمین انرژی کم‌فشارهای حاره‌ای ایفا می‌کنند.

یافته‌های این مطالعه نشان دادند که تغییرات شار گرمای نهان سطحی در زمان پیش از مونسون (ماه می، کم‌فشار حاره‌ای آفغان) بیشتر از زمان پس از مونسون (ماه نوامبر، کم‌فشار حاره‌ای نیوار) است، که به معنی ارتباط قوی بین شار گرمای نهان سطحی و شدت کم‌فشار حاره‌ای هست (تبادل قوی بین اقیانوس و جو). این یافته با نتایج تحقیق ناسکار و پاتانایک ۲۰۲۳، که بیان کردند مقادیر شار گرمای نهان سطحی در فصل پیش از مونسون، بیشتر از فصل پس از مونسون هستند، مطابقت دارد.

در ادامه با بررسی دامنه‌ی تغییرات دمای سطح دریا در زمان پیش از مونسون (ماه می، کم‌فشار حاره‌ای آفغان) مشخص شد که مقدار این پارامتر، بین ۲۵ تا ۳۱ درجه سلسیوس است. این در حالی است که دامنه‌ی تغییرات دمای سطح دریا در زمان پس از مونسون (ماه نوامبر، کم‌فشار حاره‌ای نیوار) حدوداً بین ۲۳ تا ۲۹/۵ درجه سلسیوس است. این نتایج هم‌راستا با نتایج پژوهش مک‌فادن و همکاران

خود، یعنی تقریباً ۱۵/۵ متر بر ثانیه رسید. این نقطه، دوره حداکثر شدت نیوار را در این سری زمانی نشان می‌دهد. این اوج در سرعت باد، با دوره اوج دمای سطح دریا (بالا‌تر از ۲۹/۵ درجه سلسیوس) و الگوی شار گرمای نهان سطحی همزمان است. این همبستگی تأکید می‌کند که SST بالا و انتقال گرمای قوی، مؤلفه‌های اصلی تشدید کم‌فشار هستند. براساس نگاره ۷ در ۲۳ نوامبر، شار گرمای نهان سطحی مقادیر نسبتاً بالایی را در شمال و شمال‌شرق خلیج بنگال نشان می‌دهد (۲۵۰ تا ۳۵۰ وات بر متر مربع)، که بیانگر تبخیر و تقویت کم‌فشار است.

در ساعات ابتدایی ۲۴ نوامبر، دمای سطح دریا به بیش از ۲۹ درجه سلسیوس رسید. طبق نمودار تغییرات سرعت باد (نگاره ۶) پس از اوج، سرعت باد شروع به کاهش کرد و تا ساعت ۰۳:۰۰ روز ۲۴ نوامبر به حدود ۹/۵ متر بر ثانیه رسید. با این حال، سرعت باد دوباره تا ساعت ۱۲:۰۰ روز ۲۴ نوامبر افزایش یافت. در این روز طبق نگاره ۵، مقادیر بالای شار گرمای نهان سطحی در اطراف نیوار دیده می‌شود (بیش از ۳۰۰ وات بر متر مربع)، که نشان‌دهنده افزایش تبخیر و انتقال حرارت به‌دلیل وزش باد است. این انتقال انرژی، به تقویت کم‌فشار کمک کرد.

در ۲۵ نوامبر، دمای سطح دریا شروع به کاهش کرد، همچنین سرعت باد دوباره افزایش یافت و در ساعت ۰۳:۰۰ به اوج ثانویه خود، یعنی حدود ۱۲/۵ متر بر ثانیه رسید. پس از این اوج ثانویه، سرعت باد به‌صورت پایدار کاهش یافت و تا ساعت ۱۲:۰۰ روز ۲۵ نوامبر به حدود ۱۰/۵ متر بر ثانیه رسید. این کاهش پایدار نشان داد که نیوار در حال از دست دادن منبع انرژی خود است.

طبق نگاره ۷، در همین روز الگوی شار گرمای نهان سطحی همچنان یک منطقه با مقادیر بالا را نشان داد (بیش از ۳۵۰ وات بر متر مربع).

در ۲۶ نوامبر، دمای سطح دریا با سرعت بیشتری کاهش یافت و به کمتر از ۲۷ درجه سلسیوس رسید. این کاهش

گرمای نهان سطحی به‌طور معناداری بیشتر از دوره پس از مونسون (کم‌فشار نیوار) است. به‌طور خاص، در اوج شدت آصفان در تاریخ ۱۹ می ۲۰۲۰، شار گرمای نهان سطحی به ۴۰۰ وات بر متر مربع و دمای سطح دریا به ۳۱ درجه سلسیوس رسید. در مقابل، در اوج نیوار در تاریخ ۲۵ نوامبر ۲۰۲۰، شار گرمای نهان سطحی بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ وات بر متر مربع بود، در حالی که دمای سطح دریا در این زمان بین ۲۶ تا ۲۹ درجه سلسیوس قرار داشت. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهند که سرعت باد نیز در هر دو کم‌فشار نقش مهمی در تقویت یا تضعیف آن‌ها ایفا کرده است. در اوج شدت آصفان، سرعت باد به ۱۵ متر بر ثانیه رسید، در حالی که سرعت باد در اوج نیوار، حدود ۱۲/۵ متر بر ثانیه بود. با توجه به این یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده به بررسی تأثیر عوامل اقلیمی دیگر پرداخته شود. همچنین، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی پیشرفته برای شبیه‌سازی تعاملات بین این پارامترها و تأثیرات آن‌ها بر روی کم‌فشارهای حاره‌ای می‌تواند به درک بهتر تعاملات جوئی و اقیانوسی کمک نماید.

(۲۰۰۹) است. به نحوی که آن‌ها بیان کردند، کم‌فشار حاره‌ای در خلیج بنگال، عمدتاً در ماه‌های اکتبر تا دسامبر و می تا ژوئن رخ می‌دهند. دمای نسبتاً بالا در سطح دریا (۲۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس)، ناپایداری ترمودینامیکی در جو و برش باد در تروپوسفر پایین از شرایط مساعد برای تشکیل کم‌فشارهای حاره‌ای در این ماه‌ها هستند.

همچنین بررسی سرعت باد نشان داد که بادهای شدیدتر در دوره پیش‌مونسون به افزایش تبخیر و افزایش شدید SLHF کمک کرده و شرایط را برای تشدید بیشتر آصفان فراهم کرده‌اند (دامنه تغییرات تقریباً بین ۷ تا ۳۴ متر بر ثانیه)، در حالی که در نیوار سرعت باد نسبتاً کمتر بوده و بنابراین تبادل گرمایی ضعیف‌تری رخ داده است (دامنه تغییرات تقریباً بین ۴ تا ۱۵/۵ متر بر ثانیه).

مطالعه‌ی تغییرپذیری دمای سطح دریا در مناطق حاره‌ای و فرآیندهای برهم‌کنش هوا-دریا در این مناطق می‌تواند به درک بهتر از نوسانات اقلیمی و بهبود پیش‌بینی اقلیم منطقه‌ای کمک کند (He et al., 2017).

۴- نتیجه‌گیری

کم‌فشارهای حاره‌ای، از موضوعات مهم در زمینه انتقال انرژی بین اقیانوس و جو هستند. امروزه نقش منابع دریایی و ساحلی، برای اطلاع‌رسانی هشدارهای اولیه و ارائه چشم‌اندازهای اقلیمی غیرقابل انکار است. خلیج بنگال به‌علت فراوانی تشکیل کم‌فشارهای حاره‌ای، یک منطقه منحصراً بفرده حساب می‌آید. در گذر کم‌فشارهای حاره‌ای، انتقال گرما از سطح دریا به‌صورت تبخیر از طریق شار گرمای نهان سطحی رخ می‌دهد. در این مطالعه تلاش شد تا با استفاده از قابلیت داده‌های بازتحلیل ERA5 و Merra2 در گذر کم‌فشار حاره‌ای آصفان و کم‌فشار حاره‌ای نیوار (که به‌ترتیب در زمان پیش از مونسون و پس از مونسون رخ دادند)، تعاملات بین شار گرمای نهان سطحی، دمای سطح دریا و سرعت باد مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهند که در دوره پیش از مونسون (کم‌فشار آصفان)، شار

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of climate*, 30(14), 5419-5454. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1

10- Ghavidel, R. Y., Abbasi, E., & Farajzadeh, M. (2017). The Properties of Tropical Storm Hazards in Southeast Costs of Iran. (In Persian)

11- Hashemi, S. N., Mohammad Mahdizadeh, M. and Akbarinasab, M. (2025). Oceanic Response to Tropical Cyclones: Analyzing Sea Surface Temperature Variations During Tropical Cyclone Nivar in the Bay of Bengal. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(45), 113-132. doi: 10.22111/jneh.2025.50002.2069. (In Persian)

12- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 146(730), 1999-2049. doi: 10.1002/qj.3803

13- He, Z., Wu, R., Wang, W., Wen, Z., & Wang, D. (2017). Contributions of surface heat fluxes and oceanic processes to tropical SST changes: Seasonal and regional dependence. *Journal of Climate*, 30(11), 4185-4205. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0500.1>

14- Hibbert, K., Glenn, E., Smith, T. M., & González-Cruz, J. E. (2023). Changes to sea surface temperatures and vertical wind shear and their influence on tropical cyclone activity in the Caribbean and the main developing region. *Atmosphere*, 14(6), 999. doi: 10.3390/atmos14060999

15- India Meteorological Department. (2020). Super Cyclonic Storm "Amphan" over the southeast Bay of Bengal (16th-21st May 2020): Summary.

16- India Meteorological Department. (2020). Very Severe Cyclonic Storm, "NIVAR" over the Bay of Bengal (22nd -27th November 2020): A Report.

17- Kazemiazar, F., Rezaie, H., & Mirabbasi, R. (2025). Performance evaluation of monthly ERA5 and ERA5-Land Reanalysis precipitation data in the upstream of the Zayandehroud reservoir basin. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 19(1), 75-87. (In Persian)

18- Khan, S., Piao, S., Zheng, G., Khan, I. U., Bradley, D., Khan, S., & Song, Y. (2021). Sea surface temperature

References

1- Akhter, S., Qiao, F., Chowdhury, K. A., Yin, X., & Ahmed, M. K. (2024). Simulation of the upper oceanic response to the super cyclonic storm Amphan in the Northern Bay of Bengal. *Journal of Sea Research*, 198, 102484. doi: 10.1016/j.seares.2024.102484

2- Ali Mohammadi, M., Pakhireh Zan, M. and Khwarazmi, S. (2022). Investigating the Changes in the Nature of Tropical Cyclones Due to Climate Change. *Nivar*, 46(116-117), 28-43. doi: 10.30467/nivar.2022.322810.1210. (In Persian)

3- Amasarao, A., Sunitha, P., Rao, S. R., Sekhar, K. C., & Mmame, B. (2024). Role of surface and sub-surface ocean parameters on cyclonic storms over Arabian Sea in the recent decades. *Natural Hazards*, 120(13), 11969-11985. doi: 10.1007/s11069-024-06676-0

4- Andreas, E. L., Persson, P. O. G., & Hare, J. E. (2008). A bulk turbulent air-sea flux algorithm for high-wind, spray conditions. *Journal of Physical Oceanography*, 38(7), 1581-1596. doi: 10.1175/2007JPO3813.1

5- Bao, X. W., Wan, X. Q., Gao, G. P., & Wu, D. X. (2002). The characteristics of the seasonal variability of the sea surface temperature field in the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea from AVHRR data. *Acta Oceanologica Sinica*, 24(5), 125-133.

6- Duan, W., Yuan, J., Duan, X., & Feng, D. (2021). Seasonal variation of tropical cyclone genesis and the related large-scale environments: Comparison between the Bay of Bengal and Arabian Sea sub-basins. *Atmosphere*, 12(12), 1593. doi: 10.3390/atmos12121593

7- Emanuel, K. (2007). Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation. *Journal of Climate*, 20(22), 5497-5509. doi: 10.1175/2007JCLI1571.1

8- Gao, S., & Chiu, L. S. (2010). Surface latent heat flux and rainfall associated with rapidly intensifying tropical cyclones over the western North Pacific. *International Journal of Remote Sensing*, 31(17-18), 4699-4710. doi: 10.1080/01431161.2010.485149

9- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., ... & Zhao, B. (2017). The modern-

- 27- Murty, V. S. N., Sarma, Y. V. B., & Rao, D. P. (1996). Variability of the oceanic boundary layer characteristics in the northern Bay of Bengal during MONTBLEX-90. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Earth and Planetary Sciences*, 105(1), 41-61. doi: 10.1007/BF02880758
- 28- Naskar, P. R., & Naskar, S. (2021). Synoptic and dynamical characteristics of super cyclone Amphan. *Mausam*, 72(1), 237-252. doi: 10.54302/mausam.v72i1.142
- 29- Naskar, P. R., & Pattanaik, D. R. (2023). Variations of central pressure of intense tropical cyclones over the Bay of Bengal with latent heat flux and other parameters. *Journal of Earth System Science*, 132(2), 44. doi: 10.1007/s12040-023-02065-6
- 30- Neetu, S., Lengaigne, M., Vialard, J., Samson, G., Masson, S., Krishnamohan, K. S., & Suresh, I. (2019). Premonsoon/postmonsoon Bay of Bengal tropical cyclones intensity: Role of air-sea coupling and large-scale background state. *Geophysical research letters*, 46(4), 2149-2157. <https://doi.org/10.1029/2018GL081132>
- 31- Ooyama, K. (1969). Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones. *Journal of Atmospheric Sciences*, 26(1), 3-40. doi: 10.1175/1520-0469(1969)026<0003:NSOTLC>2.0.CO;2
- 35- Park, S., Deser, C., & Alexander, M. A. (2005). Estimation of the surface heat flux response to sea surface temperature anomalies over the global oceans. *Journal of climate*, 18(21), 4582-4599. doi: 10.1175/JCLI3521.1
- 36- Pegahfar, N. (2019). A synoptic-scale investigation of entropy fluxes during Tropical Cyclone Gonu. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(2), 459-472. doi: 10.22059/jesphys.2019.272345.1007077. (In Persian)
- 37- Pokhrel, S., Dutta, U., Rahaman, H., Chaudhari, H., Hazra, A., Saha, S. K., & Veeranjaneyulu, C. (2020). Evaluation of different heat flux products over the tropical Indian Ocean. *Earth and Space Science*, 7(6), e2019EA000988. doi: 10.1029/2019EA00098
- 38- Rahul, S., & Gnanaseelan, C. (2012). Net heat flux over the Indian Ocean: trends, driving mechanisms, and uncertainties. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(4), 776-780. doi: 10.1109/variability over the tropical Indian Ocean during the ENSO and IOD events in 2016 and 2017. *Atmosphere*, 12(5), 587. <https://doi.org/10.3390/atmos12050587>
- 19- Krishnamurthy, V., & Kirtman, B. P. (2009). Relation between Indian monsoon variability and SST. *Journal of Climate*, 22(17), 4437-4458. doi: 10.1175/2009JCLI2520.1
- 20- Kumar, B. P., Cronin, M. F., Joseph, S., Ravichandran, M., & Sureshkumar, N. (2017). Latent heat flux sensitivity to sea surface temperature: Regional perspectives. *Journal of Climate*, 30(1), 129-143. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0285.1
- 21- Li, G., Ren, B., Yang, C., & Zheng, J. (2011). Revisiting the trend of the tropical and subtropical Pacific surface latent heat flux during 1977–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D10). doi: 10.1029/2010JD015444
- 22- Majidi Karhroudi, F. S., Gharaylou, M. and Sabetghadam, S. S. (2024). Evaluation of the performance of the ERA5 and MERRA2 reanalysis datasets in estimating snow depth over Northwestern Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1), 251-263. doi: 10.22059/jesphys.2023.358474.1007521. (In Persian)
- 23- Malik, P., Vachharajani, B. H., & Panicker, D. V. (2024). Logistic curve modelling of sea surface temperature and latent heat flux variability in the Tropical Indian Ocean. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 107, 101467. doi: 10.1016/j.dynatmoce.2024.101467
- 24- McPhaden, M. J., Foltz, G. R., Lee, T., Murty, V. S. N., Ravichandran, M., Vecchi, G. A., ... & Yu, L. (2009). Ocean-atmosphere interactions during cyclone nargis. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 90(7), 53-54. doi: 10.1029/2009EO070001
- 25- Mohan, S., Ruchith, R. D., Rahul, S., & Shanas, P. R. (2023). Latent heat flux variability over the tropical Indian Ocean. *International Journal of Climatology*, 43(13), 6225-6242. doi: 10.1002/joc.8202
- 26- Mohammadi, M., & Forozanfard, M. (2024). Evaluating ERA5 Reanalysis for Climate Trend Analysis in Sistan and Baluchestan, Iran. *Scientific Journal of Golestan University*, 5(19). doi: 10.30488/ccr.2024.458748.1218. (In Persian)

- 46- Zadehabadi, A., Mohammadi, A., & Malakooti, H. (2024). Surface exchanges in the stages of evolution of tropical storms in the North Indian Ocean. *Marine Technology*, 11(37), 37-47. (In Persian)
- 47- LGRS.2012.2223194
- 39- Rathaur, N. R., Singh, A., & Patel, P. K. (2023). Analysis of major cyclone storms 'mocha 2023', 'Mandous 2022' of recent years over India. *World Journal of Advanced Research and*, 19(3), 1287-1297. doi: 10.30574/wjarr.2023.19.3.1929
- 40- Singh, O. P. (2007). Long-term trends in the frequency of severe cyclones of Bay of Bengal: observations and simulations. *Mausam*, 58(1), 59-66. doi: 10.54302/mausam.v58i1.1131
- 41- Singh, V. K., & Roxy, M. K. (2022). A review of ocean-atmosphere interactions during tropical cyclones in the north Indian Ocean. *Earth-Science Reviews*, 226, 103967. doi: 10.1016/j.earscirev.2022.103967
- 42- Sun, X., & Wu, R. (2021). Seasonality and time scale dependence of the relationship between turbulent surface heat flux and SST. *Climate Dynamics*, 56(9), 3173-3186. doi: 10.1007/s00382-021-05631-0
- 43- Swain, D., Rahman, S. H., & Ravichandran, M. (2009). Comparison of NCEP turbulent heat fluxes with in situ observations over the south-eastern Arabian Sea. *Meteorology and atmospheric physics*, 104(3), 163-175. doi: 10.1007/s00703-009-0023-x
- 44- Xiao-Ting, F., Ying, L. I., Ai-Min, L., & Long-Sheng, L. (2020). Statistical and comparative analysis of tropical cyclone activity over the Arabian Sea and Bay of Bengal (1977-2018). *Journal of Tropical Meteorology*, 26(4), 441-452. doi: 10.46267/j.1006-8775.2020.038
- 45- Yu, L., & Weller, R. A. (2007). Objectively analyzed air-sea heat fluxes for the global ice-free oceans (1981-2005). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(4), 527-540. doi: 10.1175/BAMS-88-4-527

COPYRIGHTS

©2026 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)



