



Assessment of Changes in the Climatic Patterns of the Persian Gulf and the Sea of Oman in Response to Madden-Julian Oscillations (MJO)

Bromand Salahi¹ , Mahdi Frotan² 

1. Corresponding Author, Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: salahi@uma.ac.ir
2. Ph.D. Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: Mahdi.frotan23@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 December 2024

Revised: 2 February 2025

Accepted: 8 February 2025

Published: 15 March 2026

Keywords:

Climate Patterns,
Madden-Julian Oscillation
Index,
Persian Gulf,
Sea of Oman,
Teleconnection Patterns.

ABSTRACT

Objective: In the present study, the relationship between the Madden-Julian Oscillation (MJO) index during the dominance of its different phases and the climate patterns prevailing in the Persian Gulf and the Sea of Oman during the period 1994 to 2023 was investigated.

Research Method: MJO index data were obtained from the Australian Bureau of Meteorology website and the eight phases of this index were separated. The days of the MJO were selected with a sequence of more than 15 days and the arrangement of each phase was plotted with the Wheeler and Hendon diagram in MATLAB software. Data related to precipitation, air temperature, Sea Surface Temperature, Sea Level Pressure, geopotential height, cloud density and Outgoing Longwave Radiation (OLR) were obtained from the NOAA website and changes in climate patterns during the dominance of each phase were examined.

Results: Phases 1 and 2 of the Madden-Julian oscillation have the highest number of continuous sequences with a duration of more than 15 days, with 9 events. The study of the OLR showed that within the activity range of each of these phases, the amount of radiant energy at the earth's surface has decreased to a minimum. This situation has led to the strengthening of convective activities and an increase in cloud density in these areas. During all periods of the dominance of the eight phases of the Madden-Julian oscillation, the presence of a thermal low-pressure system has been observed in the study area.

Conclusion: The phased Madden-Julian Oscillation has had a significant impact on the climatic patterns of the Persian Gulf and the Sea of Oman. In phases 1, 2 and 5, the phenomenon of blocking over the studied area has dominated and by blocking warm and dry air, the sea surface temperature has increased and the amount of precipitation has decreased.

Cite this article: Salahi, B., & Frotan, M. (2026). Assessment of Changes in the Climatic Patterns of the Persian Gulf and the Sea of Oman in Response to Madden-Julian Oscillations (MJO). *Journal of Geography and Planning*, 30(95), 243-260. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65185.3343>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65185.3343>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Climate change is one of the main challenges of this century and leads to an increase in extreme climate events such as droughts, floods, storms and melting ice caps. Teleconnection patterns such as the North Atlantic Oscillation, El-Nino and Madden-Julian Oscillations (MJO) are among the factors affecting these climate fluctuations. Teleconnection refers to the simultaneous relationship between climatic fluctuations in one region and changes in sea surface pressure and temperature patterns in other regions. One such teleconnection pattern is the Madden-Julian oscillation, which is known as one of the most complex climate phenomena in the tropics. The Madden-Julian Oscillations index is divided into eight phases that have widespread effects on the weather patterns of the tropics by moving the convective system from Africa to the Pacific Ocean.

Materials and Methods

This study investigated the relationship between the Madden-Julian Oscillation (MJO) index and climate parameter changes in the Persian Gulf and the Sea of Oman between 1994 and 2023. For this purpose, OLR and RMM index data were obtained from the Australian Meteorological Service and categorized into eight MJO phases. The days with the highest active convective sequence (15 days) in each geographical region were identified as the extreme days for each Madden-Julian Oscillation index phase. After identifying these days, the data were processed in MATLAB software and the arrangement of each phase of the MJO over time was plotted using the Wheeler and Hendon diagram in MATLAB software. Data related to the OLR index and climate data including precipitation parameters, air temperature and sea surface temperature, sea level pressure, geopotential height, and cloud density were received from the NOAA website in the form of NetCDF files, and maps of changes in climate parameters were drawn in GrADS software during the dominance of each phase. These maps determined the effects of each phase on the climate parameters of the region.

Discussion and Results

The results showed that the MJO has different effects on the weather patterns of the Persian Gulf and the Sea of Oman in each phase. The OLR index in the Persian Gulf and the Sea of Oman reached its highest value in all phases. This situation indicated a decrease in convective activities, which caused solar radiation to reach the earth's surface without obstacles and a lot of energy to be reflected into space, which played an important role in increasing the temperature of the studied region. Analysis of changes in the phases of oscillations 1 to 8 showed that active convective cores moved from the west of India to the central Pacific Ocean. In areas where the OLR was lower, cloud density and convective activities increased, but in the Persian Gulf and the Sea of Oman, cloud cover was less than 10 percent in all phases. Pressure systems showed that cyclonic systems dominated this region, creating cyclonic conditions and increasing the temperature of the studied region. In phases 4 and 7, the thermal cores moved towards the Indian Ocean and the temperature of the Persian Gulf and the Sea of Oman reached more than 30 degrees Celsius. The geopotential height situation showed that in phases 1, 4 and 8, the study area was located in front of the trough axis. In phases 3, 6 and 7, the geopotential height lines were orbited and the westerly winds carrying moisture from the Mediterranean Sea reached the western half of Iran and the study areas which caused an increase in precipitation and in phases 3, 4, 6, 7 and 8, scattered and concentrated precipitation occurred throughout Iran. This precipitation amount reached 50 mm on land and 10 mm in the southern seas of Iran. In phases 2 and 5, the blocking of the ridge dominated and dominated the Persian Gulf and Sea of Oman region. This situation was accompanied by the blockage of hot and dry air, leading to a significant increase in sea surface and air temperatures in these areas. In these conditions, the temperature difference was greater than in other areas and precipitation decreased sharply. In phases 1, 2 and 5, precipitation was limited to the northern strip of Iran, and no precipitation was recorded in lower latitudes and the study areas.

Conclusion

The results showed that phases 1 and 2 had the highest repetition of the sequence of more than 15 days with 9 occurrences. The OLR index showed that within the activity range of each phase, the radiant energy from the earth's surface reached its minimum and with the strengthening of convection in these areas, the density of cloud cover reached its maximum. However, in the Persian Gulf and the Sea of Oman, the value of this index reached its highest level, indicating a decrease in convective activity, an increase in direct solar radiation, and sea and land surface temperatures. During all the periods of the eight phases of the Madden-Julian oscillation, the low-pressure system was active on the ground surface over the studied areas, and in phases 3, 4, 6, 7, and 8, the studied area was located in front of the trough axis and in the path of the westerly winds carrying moisture from the Mediterranean Sea, and, with the increase in cloud density and atmospheric instability, they had positive effects on the supply of moisture and precipitation in the studied area, so that precipitations of up to 50 mm were recorded on land and up to 10 mm in the southern seas of Iran. In phases 2 and 5, the blocking of the upper

atmosphere caused the blockage of dry air and an increase in the temperature of the studied area to more than 30 degrees Celsius, and precipitations were limited only to the northern strip of Iran, and no precipitation was recorded in the southern regions.

Keywords: Climate Patterns, Madden-Julian Oscillation Index, Persian Gulf, Sea of Oman, Teleconnection Patterns.



ارزیابی تغییرات الگوهای اقلیمی خلیج فارس و دریای عمان در پاسخ به نوسانات مادن جولیان (MJO)

برومند صلاحی^۱؛ مهدی فروتن^۲

۱. نویسنده مسئول، استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: salahi@uma.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: Mahdi.frotran23@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۷</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴</p> <p>کلیدواژه‌ها: الگوهای اقلیمی، الگوهای پیوند از دور، خلیج فارس، دریای عمان، شاخص نوسان مادن جولیان.</p>	<p>هدف: در پژوهش حاضر، ارتباط شاخص نوسان مادن-جولیان (MJO) در زمان چیرگی فازهای مختلف آن با الگوهای اقلیمی حاکم بر خلیج فارس و دریای عمان طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ بررسی شده است.</p> <p>روش پژوهش: داده‌های شاخص MJO از سایت اداره هواشناسی استرالیا دریافت و فازهای هشت‌گانه این شاخص تفکیک شدند. روزهای فرین با شرط توالی بیش از ۱۵ روزه انتخاب و آرایش هر کدام از فازها با نمودار ویلر و هندون در نرم‌افزار متلب ترسیم گردید. داده‌های مربوط به بارش، دمای هوا، دمای سطح دریا، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، تراکم ابر و تشعشع خروجی موج بلند (OLR) از سایت NOAA اخذ و تغییرات الگوهای اقلیمی در زمان‌های چیرگی هر فاز بررسی شدند.</p> <p>نتایج یافته‌ها: فازهای ۱ و ۲ نوسان مادن-جولیان بیشترین تعداد توالی‌های پیوسته با مدت بیش از ۱۵ روز را با ۹ مورد رخداد به خود اختصاص داده‌اند. بررسی OLR نشان داد که در محدوده فعالیت هر یک از این فازها، میزان انرژی تابشی سطح زمین به حداقل مقدار کاهش یافته است. این وضعیت به تقویت فعالیت‌های همرفتی و افزایش تراکم ابر در این مناطق انجامیده است. در تمام دوره‌های حاکمیت فازهای هشت‌گانه نوسان مادن-جولیان، حضور یک سامانه کم‌فشار حرارتی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است.</p> <p>نتیجه‌گیری: نوسان مادن-جولیان به صورت فزاینده‌ای تأثیر قابل توجهی بر الگوهای اقلیمی خلیج فارس، دریای عمان داشته است. در فازهای ۱، ۲ و ۵، پدیده بلوکینگ بر منطقه مورد مطالعه حاکم بوده و با انسداد هوای گرم و خشک، دمای سطح دریا را افزایش داده و میزان بارش کاهش یافته است. در فازهای ۳، ۴، ۶، ۷ و ۸، شرایط چرخندگی مثبت در جلوی محور ناوه و ورود مستقیم بادهای مرطوب غربی از دریای مدیترانه، باعث افزایش بارش در مناطق مورد مطالعه شده است.</p>

استناد: صلاحی، برومند و فروتن، مهدی (۱۴۰۵). ارزیابی تغییرات الگوهای اقلیمی خلیج فارس و دریای عمان در پاسخ به نوسانات مادن جولیان (MJO). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰ (۹۵)، ۲۴۳-۲۶۰.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65185.3343>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

در قرن حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های بشر تغییر اقلیم است که از تبعات آن می‌توان به افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی مانند خشک‌سالی، سیل، طوفان، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها و ذوب یخ‌های قطبی اشاره کرد. یکی از عوامل مؤثر در این مخاطرات اقلیمی، الگوهای پیوند از دور است که نوسان‌هایی مانند نوسان اطلس شمالی، النینو و نوسان مادن-جولیان را شامل می‌شود (عزیززاده ورزقان و جوان، ۱۳۹۸: ۲۲۸). از آنجایی که بخش‌های گسترده‌ای از ایران به دلیل قرارگیری در قلمرو اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، همواره با میزان بارش اندک مواجه بوده و با کمبود آب دست‌وپنجه نرم می‌کند بررسی الگوهای پیوند از دور برای تحلیل وضعیت اقلیمی این منطقه اهمیت ویژه‌ای دارد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱۸). پیوند از دور به ارتباط هم‌زمان بین نوسانات اقلیمی یک منطقه و تغییرات الگوهای فشار و دمای سطح دریا در مناطق دیگر اطلاق می‌شود (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۴۰). یکی از این الگوهای پیوند از دور، نوسان مادن-جولیان است که به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های آب‌وهوایی در مناطق استوایی شناخته می‌شود. این پدیده از طریق سیستم‌های همرفتی با حرکت به سمت شرق، معمولاً از غرب اقیانوس هند آغاز شده و به منبع پیش‌بینی‌پذیری برای مقیاس‌های زمانی مختلف آب‌وهوایی (از بیش از سه هفته تا شش ماه) در مناطق استوایی تبدیل می‌شود (داسگوپتا و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۸۵۶۷). طول دوره عمر شاخص نوسان مادن جولیان با توجه به هسته فعال همرفت آن به هشت فاز تقسیم می‌شود. در فاز ۱، در روی بخش‌هایی از قاره آفریقا و گستره باختری اقیانوس هند سیستم همرفتی مشاهده می‌شود. وقتی این سیستم بر روی بخش‌های مرکزی اقیانوس هند کشیده می‌شود فاز ۲ و ۳ تشکیل می‌شود اما در فازهای ۴ و ۵ سیستم همرفتی در نزدیک آب‌های شرقی اندونزی و استرالیا پدید می‌آید و وقتی بر روی بخش باختری و مرکزی اقیانوس آرام ظاهر می‌شود در واقع شاخص در فاز ۶ و ۷ خود می‌باشد در فاز ۸ هسته همرفتی در بخش میانی اقیانوس آرام آخرین دوره عمر خود را به سر می‌برد و با نابودی آن سامانه فعال دیگری در غرب اقیانوس هند متولد می‌شود (ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۷). علیرغم اهمیت جهانی این شاخص، بررسی دقیق تأثیرات آن بر مناطق خاص، به‌ویژه جنوب ایران، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. خلیج فارس و دریای عمان، به دلیل ویژگی‌های اقلیمی خاص، به‌شدت تحت تأثیر تغییرات دما، فعالیت‌های همرفتی و الگوهای فشار جوی هستند. این شرایط بر مدیریت منابع آبی، زیست‌بوم‌های حساس دریایی و خشکی و حتی فعالیت‌های اقتصادی نظیر کشاورزی و ماهیگیری اثر می‌گذارد. پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف، به بررسی تأثیر نوسان مادن جولیان بر الگوهای اقلیمی در مناطق مذکور می‌پردازد و تلاش بر این است که مشخص شود چگونه فازهای مختلف این نوسان بر دما، بارش، فعالیت‌های همرفتی و شرایط فشار جوی در منطقه تأثیر می‌گذارند و چه ارتباطی میان این شاخص و چالش‌های مدیریت منابع طبیعی وجود دارد.

پیشینه پژوهش

مطالعات خارجی

در مورد نوسان مادن جولیان در سطح دنیا و ایران مطالعات فراوانی انجام گرفته است از جمله این که دنزومور و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر نوسان شبه دوسالانه (QBO) بر دامنه نوسان مادن جولیان در قاره دریایی را در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۷ مورد مطالعه قرار دادند آن‌ها ابتدا رویدادهای نوسان مادن جولیان (MJO) را از طریق شاخص^۱ OLR و^۲ RMM شناسایی نمودند. مقایسه دامنه‌های RMM توسط جفت فاز QBO بر روی قاره دریایی (فازهای ۴ و ۵ RMM) نشان داد که رویدادهای^۳ MJO زمستانی شمالی، قوی‌ترین دامنه‌ها را در طول باندهای میان استراتوسفری شرقی و ضعیف‌ترین دامنه‌ها را در طول استراتوسفر میانی غربی داشته است. چن و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر نوسانات درون فصلی تابستان شمالی را بر چرخه روزانه بارندگی ساحلی در

1. Outgoing Longwave Radiation
2. Real-time Multivariate MJO Index
3. Madden-Julian Oscillation

جنوب چین در طول فصل بارش شدید با استفاده از شاخص نوسان ماندن-جولیان، بارش ماهواره‌ای بررسی نمودند نتایج نشان داد بارش ساحلی در طول فاز ۱، ۲۵٪ بیش‌تر از میانگین منطقه‌ای بوده اما در فاز ۴ و ۵ بارش ۳۹ تا ۴۶ درصد سرکوب شده است. در فاز ۸، نیز ناهنجاری‌های مثبت بارندگی در منطقه فراساحلی با اوج‌گیری از صبح تا اوایل بعد از ظهر مشاهده شده درحالی‌که ناهنجاری‌های منفی بارندگی در منطقه داخلی با سرکوب بیش‌تری در اواخر بعد از ظهر رخ داده است. پردیگون مورالس و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر نوسان ماندن جولیان را بر تنوع بارش و خشک‌سالی در تابستان را در مکزیک مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها فرکانس‌های هر فاز MJO را با مجموعه داده‌های بارندگی Chirps و الگوهای جوی مورد مطالعه کرده و به این نتیجه دست یافتند که در زمان حاکمیت فازهای خشک (تر) MJO بارش کاهش (افزایش)، گردش‌های غیرعادی پادسیکلونی (طوفانی) در ۸۵۰ هکتوپاسکال، ناهنجاری‌های ارتفاع ژئوپتانسیل مثبت (منفی) ۵۰۰ هکتوپاسکال، ناهنجاری‌های باد شمال شرقی (جنوب غربی) ۸۵۰ هکتوپاسکال بر فراز جنوب مکزیک و یک جریان در سطح پایین به سمت غرب (به سمت شرق) در پشتوانه شمال شرقی اقیانوس آرام رخ می‌دهد. پنگ و همکاران (۲۰۱۹)، رویدادهای شدید هیدرولوژیکی را در ارتباط با شاخص MJO مورد بررسی قرار دادند آن‌ها از شاخص تنش تبخیری (ESI) برای نشان دادن شرایط خشک و مرطوب شدید استفاده نمودند و نشان دادند همبستگی قوی بین MJO و شرایط خشک و مرطوب شدید، به‌ویژه در مناطق موسمی مانند جنوب آسیا، آمریکای جنوبی و شرق آفریقا وجود دارد هم‌چنین بیان داشتند مکانیسم اساسی تأثیر MJO بر شرایط خشک و مرطوب شدید با تغییر بارش، دمای هوا و رطوبت خاک تعدیل شده توسط MJO مرتبط بوده است. آناند و کریشنا ویسا (۲۰۲۰)، ارتباط بین بارندگی شدید و نوسان ماندن-جولیان در هندوستان را مورد مطالعه قرار دادند آن‌ها برای این کار از داده‌های بارندگی TRMM و شاخص RMM برای طبقه‌بندی فازهای MJO در طی سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۱۵ استفاده کردند و نشان دادند تأثیر عمیق MJO بر بارش‌های شدید پس از موسمی در جنوب شبه‌جزیره هند و مناطق خلیج بنگال بیش‌تر بوده و رگرسیون لجستیک و تغییرات احتمال تجمعی این نتایج را تأیید نموده‌اند. هوانگ و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی پیش‌بینی فصلی رودخانه‌های جوی و بارش غرب ایالات متحده با روابط شاخص ENSO و MJO پرداختند و بیان نمودند در حوضه اقیانوس آرام شمالی، تغییرات عرضی مربوط به ENSO در ARها مشاهده شده است، اما ENSO تأثیر کمی بر فرکانس میانگین AR در سطح حوضه داشته است در غرب ایالات متحده نیز به دلیل تأثیرات شاخص‌ها و مجموعه داده‌های ENSO، برخی عدم قطعیت در اتصال ENSO-AR وجود داشته است. با این حال، رویدادهای شدید ال‌نینو، به‌طور مداوم با افزایش فعالیت AR در زمین مرتبط بوده است و بسته به فاز MJO و تأخیر زمانی، MJO می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی منجر به افزایش یا سرکوب فعالیت AR در مجموعه‌های بزرگ شود. بین لوحیم و همکاران (۲۰۲۱)، تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی‌های تاریخی بر روی حوضه رودخانه مودا (MRB)، مالزی، از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۹ را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI¹) و شاخص استاندارد جریان (SSI²) انجام دادند و ارتباط آن‌ها را با برخی از شاخص‌های پیوند از دور مورد بررسی قرار دادند و با روش همبستگی اسپیرمن چنین نتیجه گرفتند که شاخص ENSO در مقایسه با IOD³ و MJO، به‌ویژه در طول دوره خشک، تأثیر بیشتری بر تشکیلات خشک‌سالی بر روی MRB داشته است. چن و همکاران (۲۰۲۴)، به مدل‌سازی نوسان ماندن جولیان و نوسان شبه دوهفته‌ای در پیدایش طوفان گرمسیری بر فراز خلیج بنگال و دریای چین جنوبی برای ماه‌های می تا ژوئن سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۲۱ پرداختند و چنین نتیجه‌گیری نمودند که افزایش فاز همرفتی در هر دو شاخص با پیدایش طوفان‌های حاره‌ای همراه است بدین ترتیب که MJO در مقیاس بزرگ عمدتاً رطوبت را تأمین می‌کند، درحالی‌که QBWO در مقیاس کوچک عمدتاً به گردهابه کمک می‌کند اما در مواقع کاهش همگرایی رطوبت این طوفان‌ها کاهش می‌یابند.

مطالعات داخلی

ناظم‌السادات و قائد امینی اسدآبادی (۱۳۹۰)، به ارزیابی تأثیر نوسان ماندن جولیان (MJO) بر رخداد دوره‌های خشک و تر در

1. Standardized Precipitation Index
2. Standardized Streamflow Index
3. Indian Ocean Dipole

استان فارس در دوره ۱۹۷۵-۲۰۰۵ پرداختند آن‌ها پس از انتخاب فازهای فعال و ضعیف شاخص مذکور، نشان دادند در فاز منفی MJO بارش فصلی به‌طور معنی‌داری حدود ۲/۵ تا ۶ برابر بیش‌تر از فاز مثبت شده و دوره‌های خشک و تر به ترتیب با فازهای مثبت و منفی همراه بوده است. سبزی‌پرور و نادری‌مقدم (۱۳۹۳)، اثر نوسان ماندن جولیان (MJO) را بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در مناطق جنوبی ایران در سال‌های ۱۳۵۸-۱۳۸۷ بررسی نمودند. آن‌ها ابتدا با روش پنمن مانیتک فائو تبخیر و تعرق مرجع را برای برخی ایستگاه‌ها به دست آوردند و با روش همبستگی پیرسون و اسپیرمن ارتباط شاخص MJO بر ET0 در ایستگاه‌ها و فازهای هشت‌گانه MJO را بررسی نمودند نتایج نشان داد زمانی که هسته همرفت نوسان ماندن جولیان از لحاظ موقعیت مکانی نزدیک به غرب ایران بوده، بیش‌ترین تأثیر را روی تبخیر و تعرق گذاشته و در ماه ژوئیه و در فاز ۱ و ۸ بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار مشاهده شده است. رنجبر سعادت‌آبادی و سوری (۱۳۹۶)، بی‌هنجاری‌های گردش جوی که با فعالیت نوسان ماندن جولیان و بارش‌های زمستانه ایران حاکم بوده است مورد مطالعه قرار دادند و برای این کار از داده‌های روزانه میدان‌های فشار، ارتفاع ژئوپتانسیلی، سمت و سرعت باد از مرکز NCEP/NCAR و داده‌های روزانه بارش ۴۷ ایستگاه همدیدی کشور برای ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه استفاده نمودند نتایج نشان داد بیش‌ترین تغییرات منفی بارش هم‌زمان با رخداد فاز ۴ و ۵، MJO بوده است در فاز ۶ و ۸ تغییرات بارش زمستانی ایران مثبت بوده است. مهرآور و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی پیوند نوسان‌های ماندن جولیان با النینو-نوسان‌های جنوبی و بازخورد آن بر بارش‌های پاییزه استان فارس در طی سال‌های ۱۹۷۴-۲۰۱۳ پرداختند نتایج کار آن‌ها نشان داد احتمال رخداد فاز مثبت و منفی نوسان ماندن جولیان در زمان النینو یکسان بوده که با افزایش کارکردهای همرفتی در غرب اقیانوس هند همراه بوده و در نتیجه وزش بادهای مرطوب از اقیانوس هند به سمت خلیج فارس افزایش بارش را در پی داشته است؛ اما در دوران لائینا بیش‌تر فاز مثبت MJO حاکم بوده و در بارش‌های استان فارس چندان تغییری دیده نشده است. سیدنژاد گل‌خطمی و همکاران (۱۳۹۸)، به تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش در ایران در فازهای مختلف سیگنال اقلیمی ماندن جولیان در طی سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۱۶ پرداختند آن‌ها برای این کار از داده‌های متشکل از شاخص روزانه MJO و بارش روزانه پایگاه داده تحلیل مجدد ERA-Interim در محدوده جغرافیایی ایران استفاده نمودند و نشان دادند در فاز منفی MJO، احتمال رخداد بارش متناسب با عرض جغرافیایی از جنوب به شمال کاهش می‌یابد اما در فاز مثبت احتمال رخداد بارش به‌صورت تقریباً منظم از جنوب به شمال افزایش می‌یابد. رهسپار برومند و مرید (۱۳۹۸)، به بررسی تأثیرپذیری بارش حوضه کشکان از فازهای پدیده دورپیوند نوسان ماندن جولیان پرداختند و یافته‌های آن‌ها نشان داد با چیرگی فازهای ۷ و ۸ شاخص MJO در مرکز و شرق اقیانوس آرام، بارش بیش‌تر شده و با رخداد فاز ۳ و ۴ در شرق اقیانوس هند و بخش‌های غربی اقیانوسیه بارش در سطح حوضه مورد مطالعه کم‌تر شده است. فالاح‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، ارتباط الگوهای پیوند دور را با خشک‌سالی‌های حوضه قره‌قوم به‌صورت هم‌زمانی، با تأخیر ۶ و ۹ ماهه مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند در بررسی هم‌زمانی، شاخص انسو، چند دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان جنوبی، نینو ۳ و ۴/۳، بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار را با شاخص بارش استاندارد شده داشته است. در بررسی ۶ ماهه با شاخص نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چندمتغیره انسو، نوسان ماندن جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ درجه شرقی رابطه مستقیمی داشته و اما در بررسی ۹ ماهه ارتباط معکوس معنی‌داری با شاخص آرام شرقی، نوسان جنوبی و نوسان ماندن جولیان در مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی نشان داد و با شاخص نینو ۳، چند متغیره انسو و نوسان ماندن جولیان در مناطق ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه شرقی رابطه مستقیم معنی‌داری نشان داد. محمدپور و همکاران (۱۴۰۲)، بی‌هنجاری بارش‌های ایران را تحت تأثیر نوسان ماندن جولیان طی دوره (۲۰۲۰-۱۹۸۰) مورد واکاوی قرار دادند. آن‌ها روش ویلر و هندون را به‌عنوان شاخص اصلی در نظر گرفتند و روزهای فعالیت فازها با توالی ۷ روزه و مؤلفه بالای ۱ را به‌عنوان مبنای خوشه‌بندی فازها قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد در فازهای ۱، ۲، ۷ و ۸ بارش‌های ایران افزایش و در فازهای ۳، ۴، ۵ و ۶ بارش کاهش یافته است اما نتایج آماری نشان داد فازهای مثبت و منفی با دوران خشک و تر همبستگی داشته است.

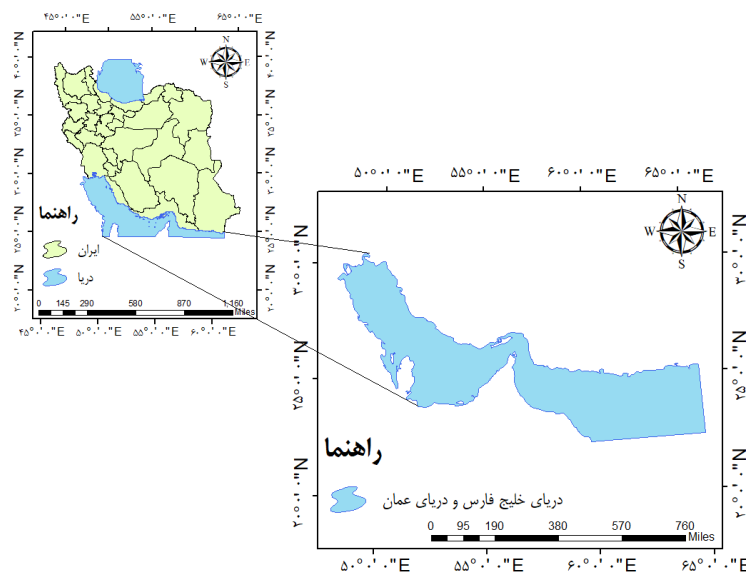
بسیاری از مطالعات بر تأثیر نوسان ماندن جولیان بر بارش و تغییرات دما و تبخیر و تعرق در ایران تأکید دارند، اما تحقیقات محدودی در خصوص اثرات آن بر مناطق جنوب ایران انجام شده است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر نوسان MJO بر

تغییرات اقلیمی در دریای خلیج فارس و دریای عمان انجام شده است. اهمیت این تحقیق در تأثیر نوسانات اقلیمی بر این مناطق و پیامدهای آن برای زندگی اقتصادی و اجتماعی، به ویژه در بخش کشاورزی و منابع آبی است. این تحقیق به طور خاص به این سؤال پاسخ خواهد داد که آیا نوسان ماندن جولیان در منطقه دریای خلیج فارس و دریای عمان تأثیرات مشابهی با سایر مناطق ایران یا دنیا دارد یا خیر و این تأثیرات می‌تواند چه تغییراتی را در اقلیم (بارش، دما، فشار و غیره) در این نواحی ایجاد کند.

روش پژوهش

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دریای خلیج فارس کم عمق و به صورت نیمه بسته است که توسط تنگه هرمز به دریای عمان متصل می‌شود بیشترین عمق آن ۹۰ متر و متوسط دمای آن در تابستان ۳۲ تا ۳۴ درجه سانتی‌گراد و در زمستان ۱۸ تا ۲۰ درجه می‌باشد؛ اما دریای عمان در محدوده طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۰ درجه و عرض جغرافیایی ۲۲ تا ۲۷ درجه قرار دارد. متوسط دمای دریای عمان ۲۷ درجه سانتی‌گراد است (کارمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۶). شکل ۱، نقشه موقعیت جغرافیایی باختر جنوبی ایران را در سطح کشور نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح ایران

روش‌شناسی

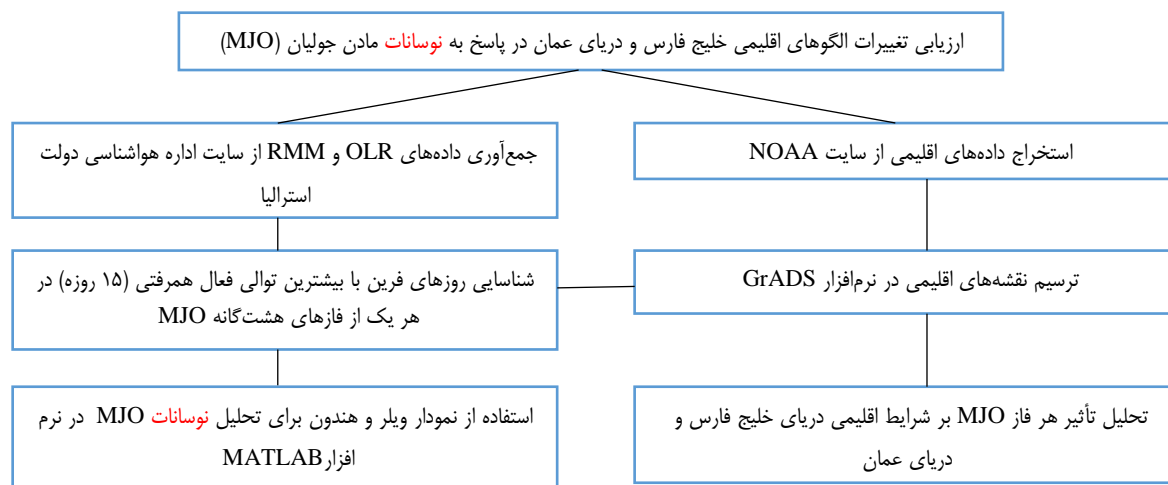
پژوهش حاضر به بررسی ارتباط شاخص نوسان ماندن جولین (MJO) با تغییرات پارامترهای اقلیمی حاکم بر دریای خلیج فارس و دریای عمان در دوره‌های مختلف چیرگی فازهای این شاخص در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ پرداخته است. برای انجام این تحقیق، ابتدا داده‌های مربوط به شاخص‌های OLR و RMM که نمایانگر وضعیت شاخص نوسان ماندن جولین هستند، از سایت اداره هواشناسی دولت استرالیا^۱ تهیه شد. این داده‌ها در قالب فازهای هشت‌گانه نوسان ماندن جولین دسته‌بندی شدند تا روند فعالیت هر فاز در طول زمان مشخص گردد. یکی از روش‌های اصلی برای تحلیل نوسان ماندن جولین، روش ویلر و هندون است که در آن دو مؤلفه RMM1 و RMM2 به‌عنوان شاخص‌های کلیدی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این روش، دامنه فعالیت شاخص نوسان ماندن جولین از طریق ترکیب دو مؤلفه مذکور محاسبه می‌شود و به‌عنوان شاخص اصلی شدت فعالیت MJO در

1. <http://www.bom.gov.au>

نظر گرفته می‌شود. این شاخص مبتنی بر توابع متعامد تجربی است که میدان‌های هواشناسی شامل میانگین باد در ترازهای ۸۵۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال و تابش موج بلند خروجی (OLR) را در عرض‌های جغرافیایی ۱۵ درجه شمالی و جنوبی تحلیل می‌کند. شدت فعالیت MJO بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۲: ۴).

$$\text{Amplitude} = \sqrt{\text{RMM1}^2 + \text{RMM2}^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در ادامه روزهایی که در هر منطقه جغرافیایی بیشترین توالی فعال همرفتی (۱۵ روزه) را داشتند، به‌عنوان روزهای فرین برای هر یک از فازهای شاخص نوسان ماندن جولین شناسایی شدند. انتخاب دوره زمانی ۱۵ روزه به‌عنوان دوره فرین بر اساس مطالعات پیشین و ویژگی‌های زمانی نوسانات ماندن جولین صورت گرفت، چرا که این دوره‌ها معمولاً بیشترین تأثیر را بر تغییرات متغیرهای اقلیمی دارند. پس از شناسایی این روزها، داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB پردازش شدند و نحوه قرارگیری هر فاز از MJO در طول زمان با استفاده از نمودار ویلر و هندون ترسیم گردید. علاوه بر این، داده‌های مربوط به شاخص OLR با واحد W/m^2 (وات بر متر مربع) به‌صورت فایل‌های NetCDF از سایت NOAA دریافت شد. همچنین داده‌های اقلیمی شامل پارامترهای بارش (میلی‌متر)، دمای هوا و دمای سطح دریا (درجه سلسیوس)، فشار سطح دریا (هکتوپاسکال)، ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) و تراکم ابرها (درصد) در مقیاس زمانی روزانه و مقیاس مکانی $2/5$ درجه عرض و طول جغرافیایی از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی NCEP/NCAR استخراج گردید. سپس با استفاده از این داده‌ها و در زمان چیرگی هر فاز، نقشه‌های مربوط به تغییرات پارامترهای اقلیمی در نرم‌افزار GrADS ترسیم شدند. این نقشه‌ها برای بررسی نحوه تأثیر هر فاز MJO بر شرایط اقلیمی منطقه دریای خلیج فارس و دریای عمان به‌کار گرفته شدند. در شکل ۲، فلوجارت فرایند تحقیق ترسیم شده است.

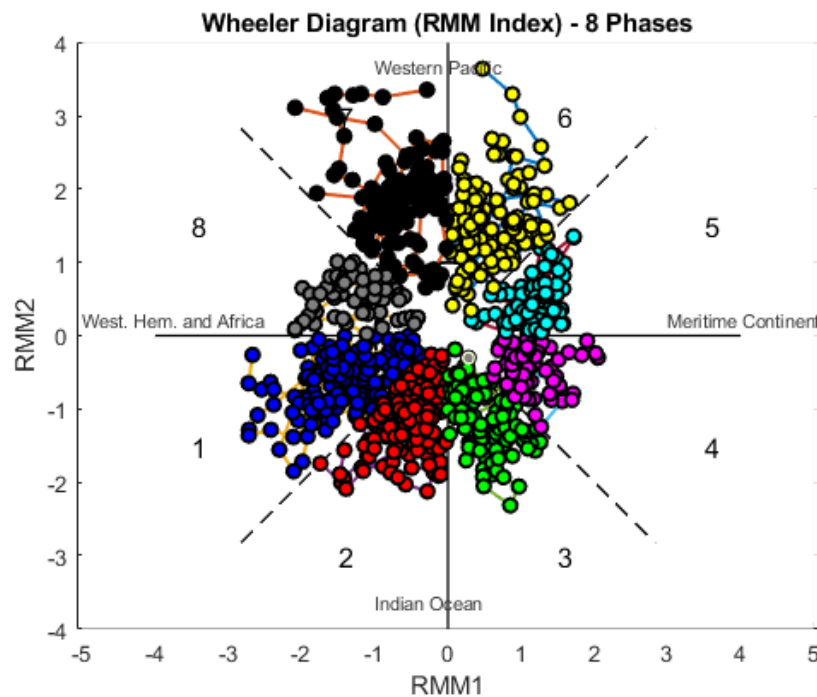


شکل ۲. نمودار جریان‌ی روش تحقیق

نتایج و بحث

در شکل ۳، آرایش تمام رخداد‌های نوسان ماندن جولیان در طی فازهای هشت‌گانه با تداوم بالای ۱۵ روزه به نمایش گذاشته شده است. محور افقی مربوط به مقادیر RMM2 و محور عمودی مربوط به مقادیر RMM1 بوده که تحت عنوان شاخص RMMI یا نمودار ویلر شناخته می‌شود. فاصله نقاط از مبدأ نقشه بیان‌گر شدت فعالیت نوسان ماندن جولیان بوده و دوری نقاط از مبدأ نمودار، تقویت نوسان ماندن جولیان را در طی آن فاز نشان می‌دهد و بالعکس. می‌توان گفت فاز ۱ نوسان ماندن جولیان بر روی بخش‌هایی از قاره آفریقا و غرب هند ظاهر می‌شود که در تصویر مربوطه با رنگ آبی متمایز شده است. این فاز با تعداد ۹ بار رخداد به شرط توالی ۱۵ روزه و بیش‌تر در طی سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۲۳ داشته است و توزیع ماهانه آن در طول ایام سال به‌صورت پراکنده بوده است. با عنایت به حرکت پادساعتگرد در این نقشه نقاط مربوط به فازهای بعدی، وضعیت نوسان ماندن جولیان را

توصیف نموده است. فازهای ۲ و ۳ بر روی اقیانوس هند تشکیل شده که به ترتیب هر کدام ۹ و ۷ بار توالی ۱۵ روزه و بیش‌تر داشته‌اند که فاز ۲ از اردیبهشت تا مهر و فاز ۳ در فصول پاییز و زمستان مشاهده شده‌اند. در ادامه این حرکت، بر روی اندونزی و قاره دریایی فازهای ۴ و ۵ پدید آمده‌اند و با شرط مذکور به ترتیب تعداد ۴ و ۵ رخداد در ایام پاییز و زمستان به وقوع پیوسته‌اند. فاز ۶ و ۷ نیز هر کدام با تعداد ۸ رخداد با توالی بیش‌تر از ۱۵ روزه بر روی نیمه غربی اقیانوس آرام ظاهر شده است که فاز ۶ به غیر از فصل بهار در همه ایام سال مشاهده شده و فاز ۷ در زمستان و بهار اتفاق افتاده است اما فاز هشتم این شاخص در دوره آماری مورد مطالعه با تعداد دفعات ۴ بار و شرط ۱۵ روزه و بیش‌تر در اقیانوس آرام مرکزی فعال بوده و به غیر از فصل پاییز در همه ایام سال پراکندگی داشته است.

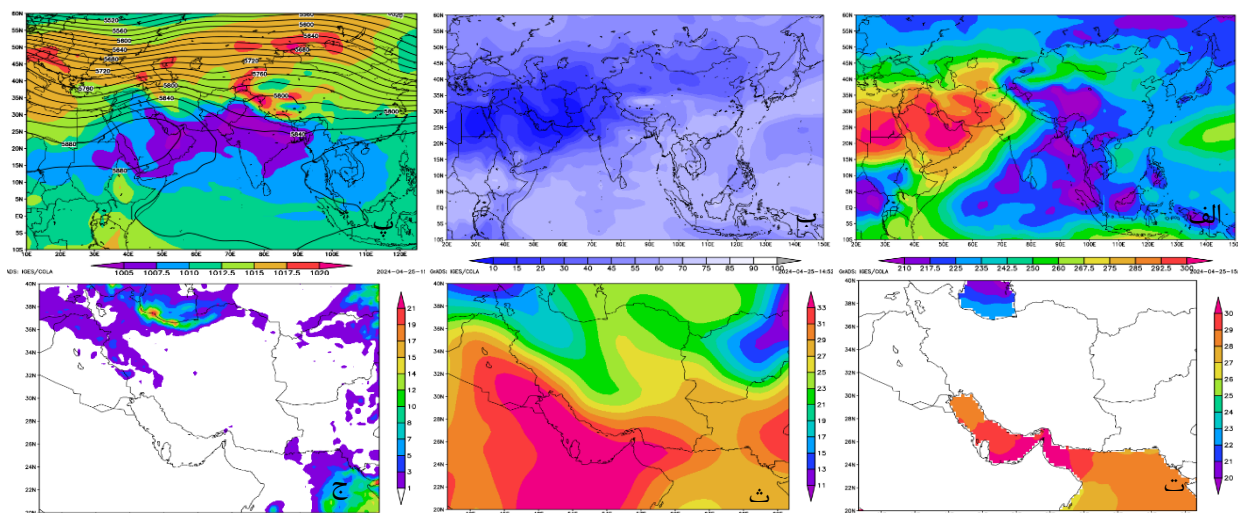


شکل ۳. آرایش فازهای هشت‌گانه نوسان مادن جولیان با رخداد‌های بیش‌تر از ۱۵ روزه در دوره سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۲۳ (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز یک شاخص نوسان مادن جولیان

در شکل (۴، الف) فعالیت تشعشع طول موج بلند خروجی OLR را در زمان‌های حاکمیت فاز یک شاخص نوسان مادن جولیان مشاهده می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد در نیمه جنوبی ایران میزان انرژی تابشی از سطح زمین و جو به فضا به بیشینه خود رسیده و مقدار آن در جنوب دریای خلیج فارس ۳۰۰ وات بر مترمربع بوده است. کاهش فعالیت همرفتی و تابش انرژی خورشیدی بدون مانع به سطح زمین در این مناطق باعث افزایش ساعات آفتابی و دما خواهد شد. بر عکس این حالت در شرق و جنوب غرب هند فعالیت‌های همرفتی به اوج خود رسیده و بیان‌گر جوی ناپایدار در این مناطق بوده است. در شکل ۴، ب، وضعیت تراکم پوشش ابرها در جو بر حسب درصد نشان داده شده است. در این نقشه، مشاهده می‌شود که در دریای خلیج فارس و دریای عمان هیچ‌گونه فعالیت همرفتی وجود ندارد و آسمان صاف و جوی پایدار در این مناطق حاکم است. این وضعیت بر اساس داده‌های OLR تأیید می‌شود، زیرا کاهش فعالیت همرفتی منجر به عدم وجود ابر و وضعیت پایدار جوی می‌شود. این وضعیت پایداری جوی و عدم وجود ابر در دریای خلیج فارس و دریای عمان، باعث افزایش تابش خورشیدی و دما در سطح دریا و زمین می‌شود. وضعیت فشار تراز سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بدین‌گونه بوده که یک سامانه کم‌فشاری با دو کانون ۱۰۰۵ هکتوپاسکال در جنوب ایران و شمال هند تشکیل یافته و امتدادی از دریای سرخ تا شرق هند داشته است. هوای گرم

حاکم بر این مناطق منجر به تشکیل این سامانه و صعود هوا شده است اما خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل نشان می‌دهد در روی ایران محور پشته حادث شده و به‌طوری که در نیمه غربی ایران و روی دریای خلیج فارس چرخندگی هوا مثبت بوده و جریانات هوا صعودی بوده است اما در شرق ایران و روی دریای عمان عکس این قضیه حاکم بوده و نزول جریانات غربی به سمت عرض‌های پایین مشهود بوده است. دمای سطح دریای خلیج فارس و دریای عمان در زمان رخداد این فاز (شکل، ت) ۲۸ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده و تنگه هرمز به نسبت افزایش دمای بیش‌تری داشته و دمای آن به ۳۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است؛ اما دمای سطح زمین (شکل، ث) نشان داد دریای خلیج فارس و کشورهای اطراف آن جزو گرم‌ترین نقاط کره زمین بوده و دمایی در حدود ۳۳ درجه سانتی‌گراد داشته‌اند در نتیجه می‌توان گفت افزایش دما در سطح دریا و سطح زمین ناشی از افزایش تابش خورشیدی و کاهش پوشش ابرها است که با سامانه کم‌فشاری و جریانات صعودی در منطقه همراه است. با نزدیک شدن به عرض‌های شمالی ایران از شدت دما نیز کاسته شده است. در شکل ج، وضعیت بارش نشان می‌دهد که روی دریای خلیج فارس و دریای عمان هیچ‌گونه بارشی دیده نمی‌شود و تنها در شمال ایران میزان بارندگی تا ۲۱ میلی‌متر مشاهده شده است. عدم بارش در روی مناطق مورد مطالعه با نقشه‌های تابش OLR و تراکم ابرها مرتبط است. عدم وجود فعالیت همرفتی و پوشش ابرهای ناپایدار منجر به نبود بارش در این نواحی شده است.

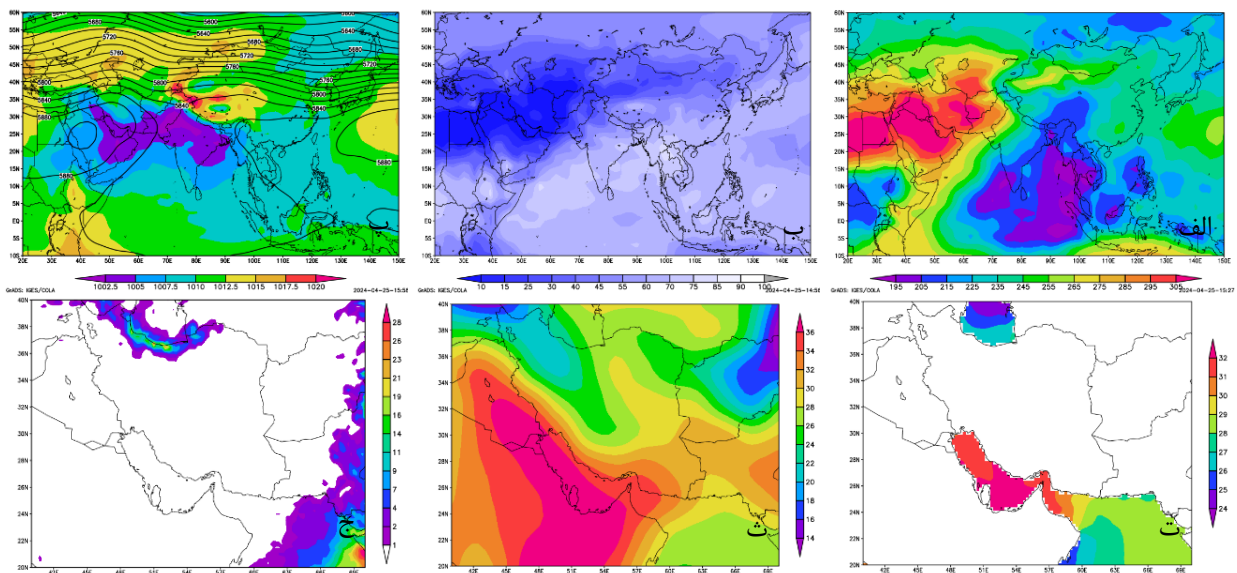


شکل ۴. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا SST، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز یک نوسان مادن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز دو شاخص نوسان مادن جولیان

در زمان‌های رخداد فاز ۲ نوسان مادن-جولیان (شکل ۵، الف)، وضعیت شاخص OLR بدین‌گونه بوده که فعالیت‌های همرفتی شدید از حیث مداری و نصف‌النهاری بزرگ‌تر شده و به‌صورت متمرکز و پهناور در جنوب آسیا مشاهده شده و مقدار OLR به ۱۹۵ وات بر مترمربع رسیده است. این کاهش قابل‌توجه در شاخص OLR نشان‌دهنده تقویت فرآیندهای همرفتی و انتقال انرژی از سطح به لایه‌های فوقانی جو در این منطقه است این وضعیت بیانگر تأثیر قابل‌توجه این پدیده بر تمرکز انرژی و توسعه سامانه‌های ابری گسترده در جنوب آسیا است. این در حالی است که در روی مناطق مورد مطالعه و همچنین نواحی شرق و غرب ایران، به دلیل عدم فعالیت همرفتی، میزان تابش انرژی خورشیدی از سطح زمین به بیشینه خود یعنی ۳۰۵ وات بر مترمربع رسیده است. نبود فعالیت همرفتی و کاهش قابل‌توجه پوشش ابری در این نواحی، علاوه بر تأکید بر پایداری جوی، به‌وضوح نشان‌دهنده اثرات سامانه‌های بلاکینگ در منطقه است که مانع ورود سامانه‌های بارشی به ایران شده و به افزایش دما در سطح زمین دامن زده است. در شکل ب، نبود پوشش ابر در روی ایران و مناطق مورد مطالعه نوید پایداری هوا و آسمان آرام و صافی

داشته است اما به سمت اقیانوس هند و جنوب آسیا بر میزان تراکم ابر افزوده شده و به طوری که در بخش‌هایی از این مناطق تا ۱۰۰ درصد آسمان را پوشش ابر فرا گرفته است. این توزیع ناهمگون پوشش ابری نشان‌دهنده نقش تقویت‌کننده نوسان ماندن-جولیان در افزایش فعالیت‌های همرفتی جنوب آسیا و تأثیر آن بر مهار فرآیندهای جوی در نواحی هم‌جوار مانند ایران است. وضعیت فشار تراز دریا نشان داد در این فاز سامانه کم‌فشاری با کانون ۱۰۰۲/۵ هکتوپاسکال در جنوب ایران پدید آمده و تا شرق هند امتداد داشته است. حرکت درون‌گرد این سامانه و گرمای حاکم بر این مناطق صعود هوا را در پی داشته است. این سامانه کم‌فشار علاوه بر ایجاد گرمایش، به‌عنوان یک عامل دینامیکی مؤثر بر افزایش ناپایداری در جنوب ایران و شرق هند عمل کرده، اما به دلیل وجود بلاکینگ در خلیج فارس، این ناپایداری‌ها در سطح محدود باقی مانده‌اند. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این شکل نیز نشان داد یک بلاکینگ فراز مانع در روی دریای خلیج فارس باعث به دام انداختن هوای گرم شده و این عامل بر افزایش دمای هوا دامن زده است. حضور این بلاکینگ علاوه بر تشدید گرما در مناطق جنوبی ایران، مانع از ورود سامانه‌های بارشی به بخش‌های وسیعی از ایران شده و الگوی اقلیمی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. حتی در شکل مربوط به دمای سطح دریا (شکل ت)، به‌وضوح مشخص است که خلیج فارس با متوسط دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دریای عمان دمای زیادی داشته است. اختلاف دمای سطح دریا بین خلیج فارس و دریای عمان، نشان‌دهنده انتقال انرژی گرمایی بیشتر در خلیج فارس است که این اختلاف دمایی نقش مهمی در ایجاد گرمایش موضعی ایفا می‌کند. در شکل ث نیز دمای سطح زمین در روی خلیج فارس به بیشینه خود رسیده و هسته گرمایی با ۳۵ درجه سانتی‌گراد پدید آمده است و با دوری از این هسته گرمایی و محدوده فعالیت بلاکینگ مذکور از میزان دمای هوا کاسته شده است. وضعیت بارش نیز تقریباً مشابه فاز یک بوده و در کل پهنه جغرافیایی ایران به‌جز شمال کشور فعالیت‌های بارشی مشاهده نشده است و میزان متوسط بارش در این نواحی به ۲۶ میلی‌متر رسیده است. این الگوی بارشی مشابه، به استمرار تأثیر سامانه‌های بلاکینگ و نقش کاهنده آن‌ها بر فرآیندهای بارشی در ایران اشاره دارد.

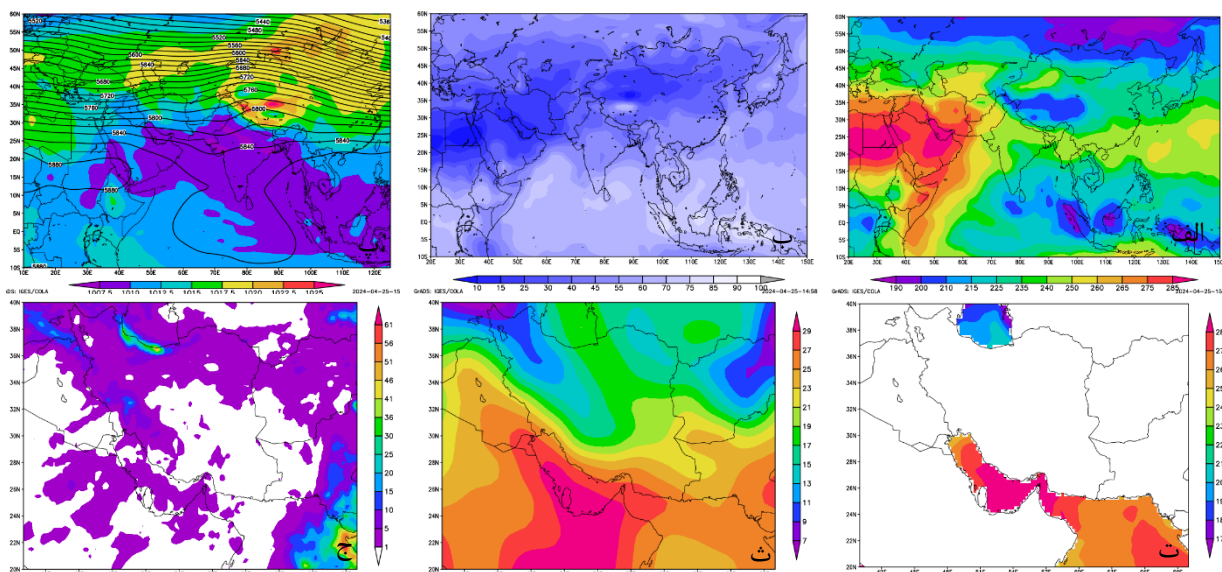


شکل ۵. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا (SST)، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز دو نوسان ماندن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز سه شاخص نوسان ماندن جولیان

در شکل (۶ الف)، وضعیت شاخص OLR در زمان حاکمیت فاز سه نوسان ماندن-جولیان نشان داده شده است. در این فاز، انرژی تابشی از سطح زمین به فضا در جنوب آسیا و غرب استرالیا به کمینه مقدار خود یعنی ۱۹۰ وات بر مترمربع رسیده و این مناطق

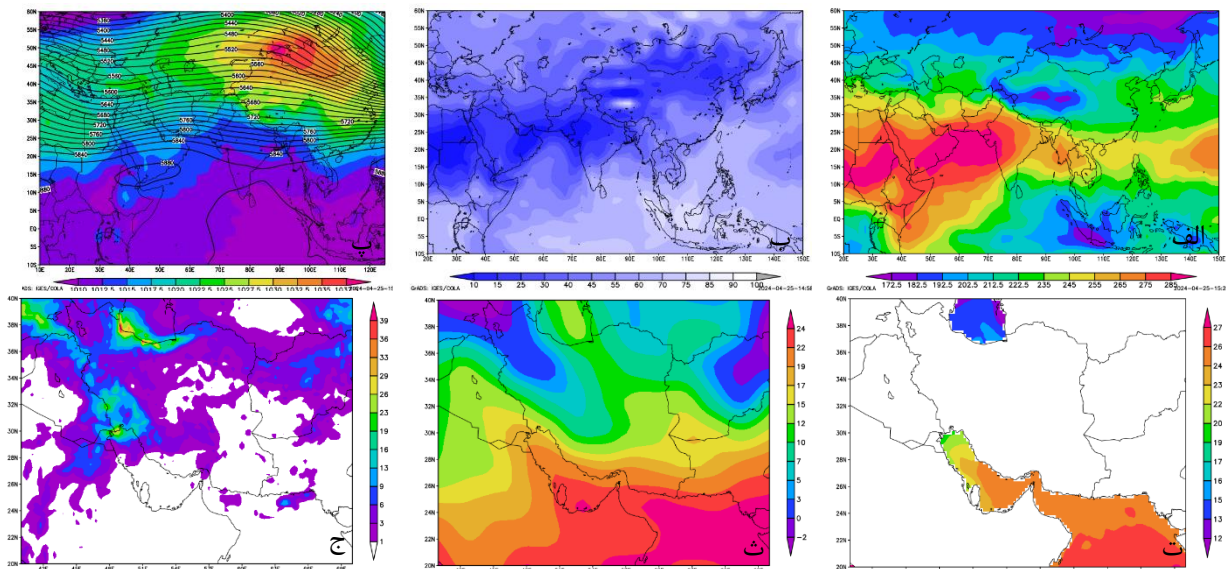
به کانون فعالیت‌های همرفتی تبدیل شده‌اند. کاهش چشمگیر شاخص OLR در این مناطق نشان‌دهنده انتقال انرژی گرمایی و رطوبت به لایه‌های فوقانی جو و شکل‌گیری سامانه‌های ابری گسترده است. این تغییرات به‌وضوح ارتباط دینامیکی بین فاز سه نوسان مادن-جولیان و تشدید فعالیت‌های همرفتی در جنوب آسیا و اقیانوس هند را نشان می‌دهد. در سوی دیگر، در نیمه جنوبی ایران، به‌ویژه روی دریای خلیج فارس، انرژی تابشی از سطح زمین به فضا به بیشینه مقدار خود رسیده است. این مقدار بالا، همراه با نبود فعالیت همرفتی، نشان‌دهنده آسمان صاف و آرام در این منطقه است. در شکل ب، تراکم پوشش ابر در کل جو روی دریای خلیج فارس در کمینه‌ترین حالت خود بوده و عاری از تشکیل هر گونه ابری است. در مقابل، به سمت اقیانوس هند و جنوب آسیا، غلظت ابر به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته و آسمان این مناطق را کاملاً ابری کرده است. با توجه به شکل پ، سامانه کم‌فشاری با قدرت $1007/5$ هکتوپاسکال بر کل پهنه جنوبی آسیا سایه انداخته است. این سامانه کم‌فشار، با ایجاد ناپایداری جوی، منجر به افزایش صعود هوا و تقویت سامانه‌های بارشی و ابری در این مناطق شده است. گرمای حاکم بر این نواحی، نقش مستقیمی در توسعه و پایداری این سامانه دارد که بر سایر مناطق هم‌جوار نیز تأثیرگذار بوده است. وضعیت آرایش خطوط مداری در تراز 500 هکتوپاسکال نشان می‌دهد که کل ایران تحت تأثیر جریان‌های غربی قرار گرفته است. این جریان‌ها نقش مؤثری در انتقال رطوبت دریای مدیترانه به جو منطقه داشته‌اند که می‌تواند شرایط لازم برای وقوع بارش در برخی نواحی را فراهم کند. بررسی وضعیت دمای سطح دریا (شکل ت) نشان می‌دهد که در محدوده فعالیت سامانه کم‌فشار مذکور، دمای سطح دریا به اوج خود رسیده است. این در حالی است که دمای دریای خلیج فارس و دریای عمان در محدوده 27 تا 29 درجه سانتی‌گراد در نوسان بوده است. این اختلاف دما در پهنه‌های آبی منطقه، بر تفاوت در توزیع انرژی و نقش آن در ناپایداری جوی تأثیرگذار بوده است. وضعیت دمای سطح زمین نیز نشان داد که در روی دریای خلیج فارس هسته گرمایشی با دمای بیش از 29 درجه سانتی‌گراد پدید آمده است. این هسته گرمایی، همراه با اختلاف دمایی 15 درجه سانتی‌گرادی نسبت به شمال غرب ایران، نشان‌دهنده توزیع ناهمگون انرژی حرارتی در سطح زمین و تأثیر حاکمیت سامانه کم‌فشار در مناطق جنوبی کشور است. در نهایت، وضعیت بارش در شکل ج نشان می‌دهد که بارش‌های متمرکزی در شمال ایران با میزان متوسط بارندگی بیش از 50 میلی‌متر رخ داده است. این بارش‌ها، تحت تأثیر جریان‌های غربی و نفوذ سامانه‌های مدیترانه‌ای بوده است. در مقابل، بارش‌های پراکنده در جنوب ایران و دریای خلیج فارس، با میانگین بارش حدود 5 میلی‌متر، تأثیر کم‌فشاری‌های منطقه‌ای و ناپایداری محدود را منعکس می‌کند.



شکل ۶. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا (SST)، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز سه نوسان مادن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز چهار شاخص نوسان مادن جولیان

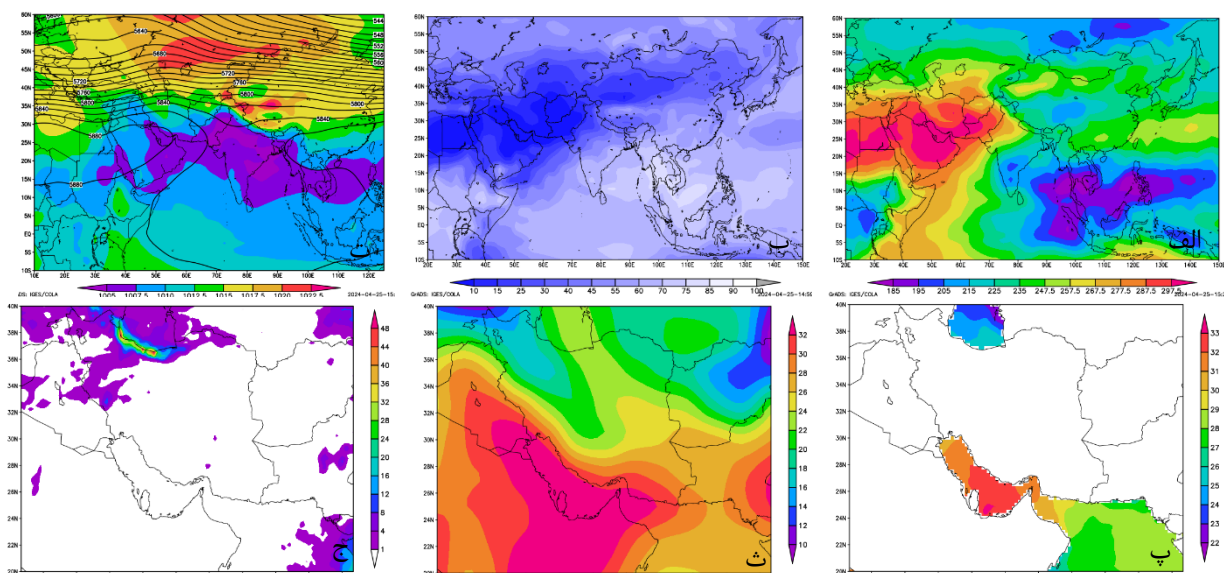
وضعیت شاخص OLR در زمان‌های رخداد فاز چهار نوسان مادن جولیان در شکل (۷، الف) نشان می‌دهد یک کانون فعال همرفتی در آسیای جنوب شرقی با $177/5$ وات بر مترمربع تشکیل یافته و جریانات عمودی هوا تقویت گشته و انرژی تابشی از سطح زمین به فضا به کمینه خود رسیده است اما از شمال آفریقا تا هند شرایط متفاوتی پدید آمده و انرژی تابشی از سطح زمین به اوج خود رسیده و از $287/5$ وات بر مترمربع تجاوز کرده است. در شکل ب، تراکم ابر در نواحی مذکور، به‌ویژه جنوب دریای خلیج فارس، به حداقل مقدار خود رسیده و آسمانی صاف و عاری از ابر مشاهده می‌شود. در مقابل، در آسیای جنوب شرقی غلظت ابر به بیشترین مقدار خود رسیده است که نشان‌دهنده تأثیر تقویت‌شده همرفت و جریانات صعودی در این مناطق است. این وضعیت توزیع پوشش ابر، اثرات سامانه‌های بزرگ‌مقیاس را بر پایداری و ناپایداری جو در عرض‌های مختلف تأیید می‌کند. وضعیت فشار تراز دریا برای روزهای حاکمیت فاز چهار نوسان مادن جولیان، در شکل پ، نشان می‌دهد سامانه پرفشاری در آسیای میانه تشکیل یافته و در نیم‌کره جنوبی تماماً سامانه کم‌فشاری با 1010 هکتوپاسکال سیطره یافته است و جریانات هوا از عرض‌های شمالی به سمت عرض‌های جنوبی حرکت داشته‌اند. نیمه جنوبی ایران تحت پوشش زبانه کم‌فشار مذکور بوده است و جریانات هوا صعودی شده است آرایش خطوط مداری نشان می‌دهد یک محور ناوه در شمال شرق آفریقا تشکیل یافته و قرارگیری مناطق مورد مطالعه در جلوی محور تراف مذکور چرخندگی مثبت هوا را در پی داشته و صعود جریانات هوا را رقم زده است این عامل زمینه‌ساز تقویت ناپایداری و افزایش امکان وقوع بارش در این مناطق شده است. در شکل ت، دمای سطح دریا نشان می‌دهد در زمان حاکمیت این فاز در سمت غرب دریای خلیج فارس دما 20 درجه سانتی‌گراد بوده و با نزدیک شدن به مرکز سیکلون جنوب آسیا بر میزان دمای سطح دریا نیز افزوده شده و در نزدیکی اقیانوس هند به دمای 27 درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است این تغییرات دمایی، به‌وضوح نشان‌دهنده نقش الگوهای جوی در توزیع گرما و تأثیر آن بر فعالیت‌های همرفتی منطقه است. مشابه این وضعیت در شکل ث، برای دما سطح زمین نیز صادق است و دما از شمال غرب دریای خلیج فارس به سمت اقیانوس هند افزایش تدریجی از 14 تا 26 درجه سانتی‌گراد داشته است. این تغییرات، بر تأثیر سامانه کم‌فشار، تأکید می‌کند. در نهایت، وضعیت بارش نشان می‌دهد که بارش در اکثر مناطق ایران گسترده بوده است. بیشینه بارش‌ها در شمال ایران و شمال غرب دریای خلیج فارس، بین 25 تا 40 میلی‌متر رخ داده است. به سمت مرکز و جنوب ایران، شدت بارش کاهش یافته است. این توزیع مکانی بارش، به‌وضوح اثر سامانه‌های مدیترانه‌ای و نقش ناوه‌ها و تراف‌های جوی در تأمین رطوبت و ایجاد شرایط ناپایدار جوی را نشان می‌دهد.



شکل ۷. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا (SST)، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز چهار نوسان مادن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز پنج شاخص نوسان مادان جولیان

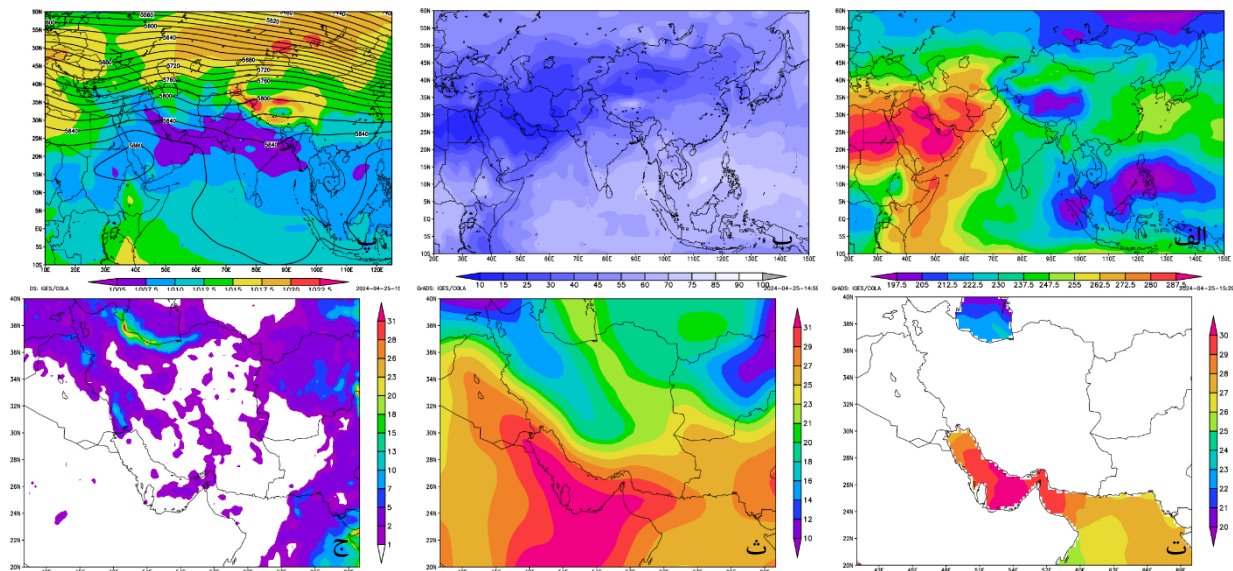
وضعیت تشعشع طول موج بلند خروجی (OLR) در فاز پنجم نوسان مادان-جولیان در شکل (۸، الف) نشان می‌دهد که هسته همرفت جوی حرکت شرق‌سوی قابل توجهی نسبت به فازهای قبلی داشته است. در این فاز، کمینه مقدار OLR در آسیای جنوب شرقی، با میزان تابش کمتر از سطح زمین به فضا، نشان‌دهنده تقویت همرفت و فعالیت‌های صعودی قوی جوی است. در مقابل، در نیمه جنوبی ایران، به‌ویژه روی دریای خلیج فارس، مقدار OLR به بیشینه مقدار خود یعنی ۲۹۷/۵ وات بر مترمربع رسیده است. این مقدار بیانگر کاهش فعالیت‌های همرفتی و شرایط پایدار جوی در این مناطق است که تأثیر مستقیمی بر وضعیت دمایی و بارشی منطقه داشته است. در شکل ب، شرایط ابرناکی در این فاز بررسی شده است. مناطقی نظیر جنوب ایران که مقادیر بالای OLR را تجربه می‌کنند، نشان‌دهنده تشکیل ابرهای کم‌تر و آسمان صاف هستند. در مقابل، در آسیای جنوب شرقی، حرکات عمودی هوا به‌واسطه همرفت تقویت‌شده، موجب افزایش تراکم پوشش ابر شده و آسمانی ابرناک را ایجاد کرده است. این وضعیت، همراه با فعالیت یک سامانه کم‌فشار در این منطقه، صعود هوای گرم و ناپایداری جوی بیشتری را به همراه داشته است. هرچند این سامانه نسبت به فاز چهارم وسعت کمتری دارد، اما همچنان بر نیم‌کره جنوبی تسلط داشته و جریانات هوا را از عرض‌های شمالی به سمت جنوب آسیا هدایت کرده است. آرایش خطوط مداری نیز مانند فازهای قبلی بوده و تنها تفاوتی که مشاهده می‌شود این است که در جنوب غرب آسیا یک بلاکینگ فراز مانع باعث به دام انداختن هوای گرم موجود در جو شده و این عامل در تشدید دمای هوا در روی دریای خلیج فارس مؤثر می‌باشد که در شکل ت، دمای سطح دریا و در شکل ث، دمای سطح زمین مهر تأییدی بر این ادعا داشته که دما در خلیج فارس به بیش‌ترین حد خود رسیده و گرم‌ترین دما را با بیش از ۳۲ درجه سانتی‌گراد در کل نقشه از آن خود کرده است. از طرفی دیگر تشکیل هسته گرمایی حاکم بر جنوب ایران دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد را بر این مناطق تحمیل نموده جزو داغ‌ترین مناطق کره زمین محسوب شده است؛ اما وضعیت بارش در شکل ج نشان می‌دهد که در این فاز، بارش‌های متمرکزی فقط در شمال ایران رخ داده است. بیشینه بارش در شمال کشور به ۴۸ میلی‌متر و در بخش‌هایی از شمال غرب به ۸ تا ۱۰ میلی‌متر رسیده است. در عین حال، روی دریای خلیج فارس و دریای عمان، به دلیل تسلط شرایط پایدار و نبود همرفت، هیچ‌گونه بارشی ثبت نشده است. این الگوی بارشی، اثر تسلط سامانه‌های پایدار و بلاکینگ در جلوگیری از فعالیت‌های جوی در مناطق جنوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۸. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا SST، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز پنج نوسان مادان جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز شش شاخص نوسان مادن جولیان

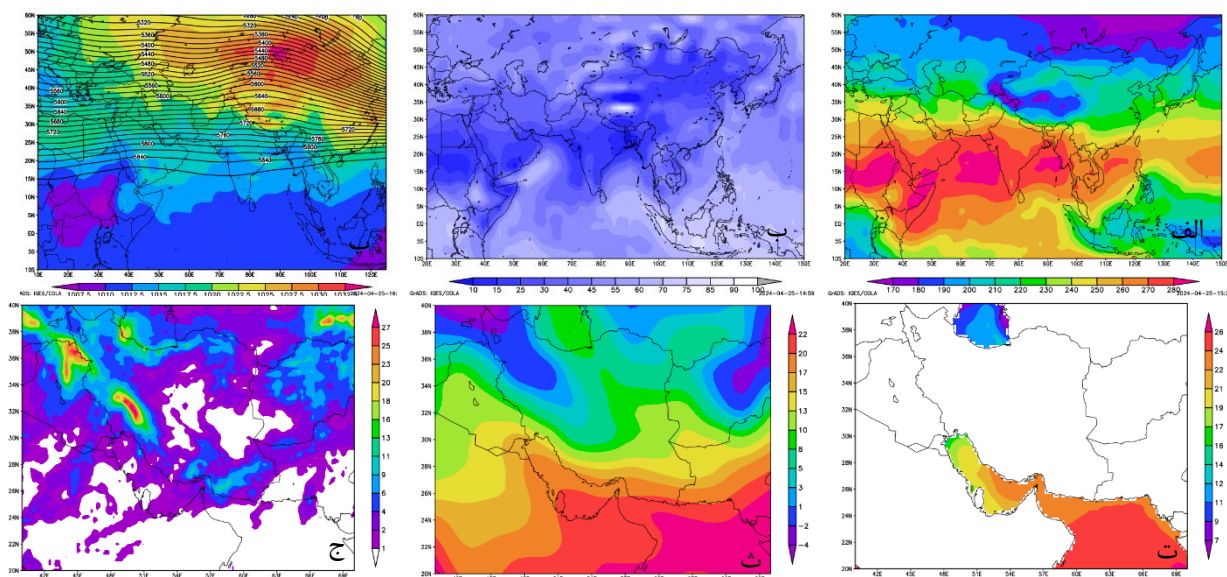
در فاز ششم نوسان مادن جولیان (شکل ۹، الف) مشاهده می‌کنیم که هسته همرفت واقع در جنوب شرق آسیا مجدداً حرکت شرق‌شو داشته و با ۱۹۷/۵ وات بر مترمربع کم‌ترین میزان تشعشع طول موج بلند خروجی را داشته است و این به‌منزله تقویت همرفتی و ناپایداری هوا در این مناطق بوده است اما در شمال آفریقا و خاورمیانه شاهد آسمان صاف و جوی پایدار هستیم و انرژی تابشی از سطح زمین به بیشینه خود یعنی تا ۲۸۷/۵ وات بر مترمربع رسیده است. وضعیت پوشش ابر (شکل ۹، ب) حاکی از آسمان صاف و عدم وجود پوشش ابر در مناطق جنوب ایران و دریای خلیج فارس است که با مقادیر بالای OLR همخوانی دارد. در مقابل، در آسیای جنوب شرقی، با تقویت حرکات عمودی هوا، میزان تراکم ابر به اوج خود رسیده و ۱۰۰ درصد آسمان را ابرهای بارشی پوشانده‌اند. در شکل ۹، پ، وضعیت فشار تراز دریا نشان می‌دهد که سامانه کم‌فشار جنوب آسیا نسبت به فازهای قبلی تضعیف شده و وسعت مکانی آن کاهش یافته است. این سامانه، هرچند محدودتر، همچنان با ایجاد حرکات عمودی قوی در جو، به صعود هوا و شکل‌گیری ناپایداری کمک می‌کند. در این فاز، آرایش خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌صورت مداری و موازی بوده است. این ساختار نقش قابل‌توجهی در هدایت بادهای غربی نمناک از دریای مدیترانه به سمت ایران داشته و در تقویت رطوبت جو و افزایش بارش‌ها مؤثر بوده است. وضعیت دمایی نیز تأثیر حاکمیت سیستم‌های جوی را برجسته می‌کند. در شکل ۹، ت، دریای خلیج فارس تحت تأثیر سیکلون حرارتی جنوب ایران، دمایی بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده است. این شرایط دمایی، همراه با ساعات آفتابی طولانی و جو پایدار، منجر به افزایش محسوس دما شده است. وضعیت دمای سطح زمین (شکل ۹، ث) نیز این روند را تأیید می‌کند، جایی که هسته‌های گرمایشی با دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد بر روی خلیج فارس و مناطق مجاور آن مشاهده می‌شود. این پدیده موجب ایجاد جوی گرم و خشک در منطقه شده است. در شکل ج، وضعیت بارش کل جو نمایش داده شده است همان‌طور که پیش‌تر گفته شد هجوم مستقیم بادهای غربی نمناک در ریزش بارش‌ها می‌تواند مؤثر باشد در این شکل مشاهده می‌شود بارش‌هایی در شمال، نیمه غربی، مرکز و جنوب ایران به‌صورت متمرکز و پراکنده اتفاق افتاده و اما در روی منطقه مورد مطالعه در ورودی دریای خلیج فارس و تنگه هرمز بارش‌هایی به میزان ۵ میلی‌متر رخ داده است.



شکل ۹. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا (SST)، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز شش نوسان مادن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز هفت شاخص نوسان مادن جولیان

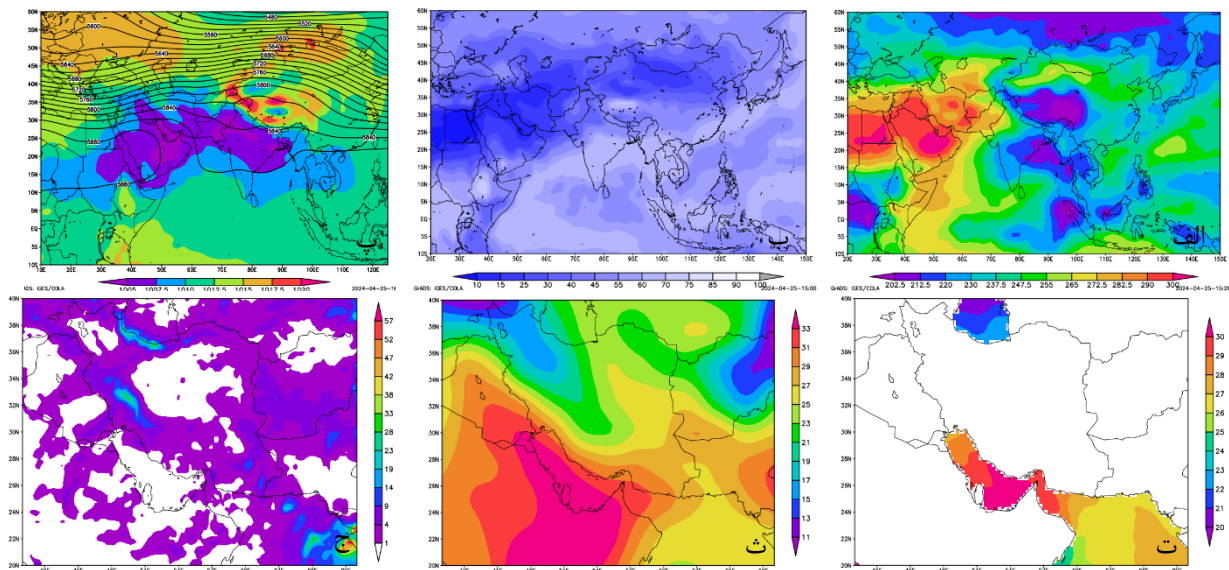
با رخداد فاز هفتم نوسان مادن-جولیان (شکل ۱۰، الف)، هسته همرفتی جنوب شرق آسیا به سمت اقیانوس آرام حرکت کرده است. این جابجایی شرق‌سو موجب حاکمیت جوی پایدار از شمال آفریقا تا جنوب چین شده و آسمان صاف و بدون ابر در این مناطق غالب شده است. بیشینه مقادیر OLR به صورت چند کانون در این مناطق با ۲۸۰ وات بر مترمربع مشاهده شده است که نشان‌دهنده خروج انرژی تابشی بیشتر از سطح زمین به فضا و عدم وجود پدیده‌های جوی بازدارنده است. تصویر مربوط به تراکم پوشش ابری برای جنوب آسیا و شمال آفریقا آسمان صاف و عاری از ابر را نشان داده و برای جنوب ایران بین ۱۵ تا ۳۰ درصد از آسمان قابل مشاهده تراکم ابر مشاهده شده است این در حالی است که به سمت جنوب دریای عرب شاهد ابرهای متراکم‌تری بوده‌ایم. این تفاوت در توزیع پوشش ابری، تأثیر مستقیم موقعیت سامانه‌های جوی و میزان ناپایداری‌ها را منعکس می‌کند. در شکل پ، وضعیت فشار تراز دریا نشان می‌دهد مشابه فاز ۵، در این فاز نیز در نیم‌کره جنوبی سامانه کم‌فشاری گسترانده شده و یک سامانه پرفشار قدرتمندی در آسیای میانه تشکیل یافته و جبهه‌ای که میان این دو سامانه به وجود آمده بر روی کشور ایران فعال شده و به اغتشاشات جوی دامن زده است. آرایش خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل نیز در این فاز به صورت مداری و به موازات هم بوده و هر موقع ایران در تیررس جریان‌ات غربی قرار گرفته شاهد رخداد بارش‌هایی در اکثر مناطق ایران بوده‌ایم. وضعیت دمای سطح دریا (شکل ۱۰، ت) نشان می‌دهد که دما از شمال غرب به سمت جنوب شرق خلیج فارس و دریای عمان افزایش یافته و در نزدیکی اقیانوس هند به بیشینه خود رسیده است. این فاز، کم‌ترین حرارت دمایی خلیج فارس و دریای عمان را نسبت به سایر فازهای نوسان مادن-جولیان نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که دما از ۱۹ درجه سانتی‌گراد در شمال غرب به ۲۶ درجه سانتی‌گراد در جنوب شرق متغیر بوده است. وضعیت دمای سطح زمین در این فاز تقریباً مشابه فاز ۴ نوسان مادن جولیان بوده و در شکل ث، مشاهده می‌کنیم به سمت عرض‌های پایین بر میزان دمای هوا افزوده شده ولی عقب‌نشینی این نوار گرمایی باعث شده کشور ایران و مناطق مورد مطالعه از دمای متعادل‌تری برخوردار باشد و دما از ۱۸ درجه سانتی‌گراد در روی دریای خلیج فارس به ۲۲ درجه سانتی‌گراد روی دریای عمان در نوسان باشد. وضعیت بارش در زمان وقوع فاز مذکور در شکل ج، نمایش داده شده است همان‌طور که پیش‌تر گفته شد و مشخص است به دلیل هجوم مستقیم بادهای غربی نمناک به ایران بارش‌ها در اغلب نقاط کشور رخ داده؛ به طوری که در شمال و نیمه غربی ایران بیشینه بارش به ۲۷ میلی‌متر رسیده است همچنین در روی دریای خلیج فارس و دریای عمان نیز شاهد رخداد بارش‌هایی به میزان ۱۰ میلی‌متر نیز بوده‌ایم.



شکل ۱۰. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا SST، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز هفت نوسان مادن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

فاز هشتم شاخص نوسان مادن جولیان

در آخرین فاز شاخص نوسان مادن جولیان وضعیت شاخص OLR در شکل (۱۱، الف) نشان می‌دهد چندین کانون فعال همرفتی در شرق هند و جنوب شرق آسیا تشکیل یافته و تقویت شرایط همرفتی صعود هوا و جو ناپایداری را به ارمغان آورده است البته این مراکز همرفت به شدت فازهای قبلی نبوده و کمینه این شاخص به ۲۰۲/۵ وات بر مترمربع در نواحی مذکور رسیده است؛ اما از شمال آفریقا تا شرق ایران میزان این شاخص در حالت بیشینه خود بوده و انرژی تابشی از سطح زمین بدون ممانعت پدیده‌های جوی به فضا بازتاب شده‌اند. نبود پوشش ابر و یا میزان اندک آن در مناطق مذکور و ایران مهر تأییدی بر این ادعا داشته و در کل پهنه جغرافیایی ایران غلظت ابر بین ۱۵ تا ۲۵ درصد از کل آسمان قابل مشاهده بوده است. وضعیت فشار تراز دریا در شکل پ، بدین گونه بوده که از شرق آفریقا تا جنوب چین سامانه کم‌فشار طویلی با کانون مرکزی ۱۰۰۵ هکتوپاسکال واقع در جنوب ایران ظاهر شده و حرکت جاذب به مرکز آن باعث مکش جریانات هوا از نواحی مجاور به سمت خلیج فارس شده است آرایش خطوط مداری نیز همچنان مشابه فازهای قبلی حاکی از چرخندگی مثبت هوا در ایران بوده و به دلیل قرارگیری در جلوی محور فرود ناوه و اگرایی در وردسپهر تقویت گشته است از طرفی دیگر بسته پرند منحنی ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر باعث مسدود نمودن هوای گرم عرض‌های پایین شده که در تشدید دما مؤثر می‌باشد. این وضعیت در دمای سطح دریا و دمای سطح زمین در اشکال ت و ث، به خوبی نمایان است و مشاهده می‌شود دمای خلیج فارس به بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و عامل آن را می‌توان در کم‌فشار حاکم و بلاکینگ فراز مانع دانست. هسته‌های گرمایشی با ۳۳ درجه سانتی‌گراد در روی خلیج فارس نیز نتیجه این عوامل اقلیمی بوده و به‌نوعی داغ‌ترین نقاط کره زمین محسوب شده است. در این فاز وضعیت بارندگی نیز بدین گونه بوده که به غیر از مرکز و جنوب دریای خلیج فارس در سایر نقاط ایران بخصوص منطقه مورد مطالعه بارش‌هایی تا ۱۰ میلی‌متر به‌طور متوسط اتفاق افتاده و در شرق و شمال ایران این میزان به بیش از ۲۰ میلی‌متر نیز رسیده است.



شکل ۱۱. الف) نقشه شاخص OLR در کل جو، ب) تراکم پوشش ابر در کل جو، پ) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ت) دمای سطح دریا (SST)، ث) دمای سطح زمین، ج) میزان بارش موجود در کل جو، در طی چیرگی فاز هشتم نوسان مادن جولیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتیجه‌گیری

بررسی دقیق رخدادهای نوسان مادن جولیان در فازهای هشت‌گانه طی دوره آماری ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳، الگوهای مشخصی از پراکندگی مکانی و زمانی این پدیده را به تصویر می‌کشد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که نوسان مادن جولیان در مناطق

جغرافیایی مختلف و در فصل‌های متفاوت، به شکل‌های گوناگونی بروز می‌کند. فاز ۱، فعالیت نوسان ماندن جولیان با ۹ رخداد (توالی ۱۵ روزه) و توزیع زمانی نامنظم در طول سال همراه بوده است. فازهای ۲ و ۳ نیز به ترتیب با ۹ و ۷ رخداد، الگوهای فصلی متمایزی را نشان می‌دهند؛ به طوری که فاز ۲ از اردیبهشت تا مهر و فاز ۳ عمدتاً در پاییز و زمستان رخ داده است فازهای ۴ و ۵، با تعداد کمتری رخداد (۴ و ۵ بار) و فاصله‌های زمانی طولانی‌تر (حدود ۱۵ روز)، تمرکز فعالیت نوسان ماندن جولیان را در پاییز و زمستان نشان می‌دهند. فازهای ۶ و ۷ هرکدام با ۸ رخداد، توزیع نسبتاً منظمی از این نوسان را در طول سال دارند. با این حال، فاز ۶ در تمام فصول به جز بهار مشاهده شده، در حالی که فاز ۷ عمدتاً در زمستان و بهار فعال بوده است؛ اما فاز هشتم این شاخص با ۴ رخداد به جز در فصل پاییز، در تمامی فصول سال مشاهده شده است. بررسی ارتباط الگوهای اقلیمی با نوسانات ماندن جولیان نشان داده است که در تمام فازهای این نوسانات، شاخص OLR در منطقه خلیج فارس و دریای عمان به بیشترین مقدار خود رسیده است. این وضعیت به معنای کاهش فعالیت‌های همرفتی است و بیانگر آن است که تابش خورشیدی بدون مانع به سطح زمین می‌رسد و بخش زیادی از این انرژی به فضا بازتاب می‌شود. این پدیده نقش قابل توجهی در افزایش دمای منطقه مورد مطالعه داشته است. تحلیل تغییرات فازها (۱ تا ۸) نشان می‌دهد که هسته‌های فعال همرفتی از غرب هند به سمت مرکز اقیانوس آرام حرکت کرده‌اند. در نقاطی که مقدار OLR کمتر بوده و فعالیت‌های همرفتی شدت یافته است، تراکم ابر در لایه‌های جوی افزایش داشته و در مقابل، در مناطق با مقادیر بالای OLR، پوشش ابر به حداقل رسیده است. برای مثال، در خلیج فارس و دریای عمان، پوشش ابر در تمامی فازها کمتر از ۱۰ درصد بوده است. بررسی وضعیت سامانه‌های فشار نشان داده است که در تمام فازها، سیستم‌های سیکلونی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان غالب بوده‌اند. این سامانه‌ها باعث شرایط چرخندی هوا در منطقه شده و با جابه‌جایی مراکز کم‌فشار، دمای هوا نیز تحت تأثیر قرار گرفته است. به‌ویژه، در فازهای ۴ و ۷، هسته‌های داغ گرمایی به سمت اقیانوس هند حرکت کرده‌اند. در زمان چیرگی این سامانه‌ها، دمای خلیج فارس و دریای عمان به بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و این منطقه را به یکی از گرم‌ترین نقاط کره زمین تبدیل کرده است. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل نشان داد در فازهای ۱، ۴ و ۸ مناطق مورد مطالعه در قسمت جلوی محور ناوه قرار گرفته و در فازهای ۳، ۶ و ۷ خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل مداری گشته و به موازات آن که بادهای غربی که حامل رطوبت دریای مدیترانه بوده‌اند نیمه غربی ایران و منطقه مورد مطالعه را در تیررس خود قرار داده‌اند و بر میزان بارش‌های کشور افزوده شده است همان‌طور که در فازهای ۳، ۴، ۶، ۷ و ۸ بارش‌های متمرکز و پراکنده در کل پهنه جغرافیایی ایران به وقوع پیوسته و این میزان در خشکی‌ها به ۵۰ میلی‌متر و در دریا‌های جنوبی ایران تا ۱۰ میلی‌متر رسیده است؛ اما در فازهای ۲ و ۵ بلوکینگ فراز مانع بر منطقه مورد مطالعه چیره گشته و در ناحیه پشته آن که روی دریای خلیج فارس واقع شده؛ به دلیل انسداد هوای خشک و گرم بر میزان دمای سطح دریا و دمای هوا به‌طور قابل توجهی افزوده است و اختلاف دمای زیادی نسبت به سایر مناطق داشته است. حاکمیت شرایط خشک هوا باعث کاهش بارش‌های کشور نیز شده و کما اینکه در فازهای ۱، ۲ و ۵ بارش‌ها محدود به نوار شمالی ایران بوده و به سمت عرض‌های پایین و مناطق مورد مطالعه هیچ‌گونه بارشی مشاهده نشده است. نتایج این پژوهش در برخی از فازها با یافته‌های دیگر محققان همخوانی داشته است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق و پژوهش‌های پیشین از جمله مطالعات سبزی‌پرور و نادری‌مقدم (۱۳۹۳)، رنجبر سعادت‌آبادی و سوری (۱۳۹۶)، رهسپار برومند و مرید (۱۳۹۸) و محمدپور و همکاران (۱۴۰۲)، تأکید شده است که در فازهای ۶، ۷ و ۸، بارش‌ها افزایش می‌یابند، در حالی که در فاز ۵ کاهش بارش در ایران مورد تأیید قرار گرفته است.

منابع

- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس و سوری، معصومه (۱۳۹۶). مطالعه بی‌هنجاری گردش‌های جوی همراه شده با فعالیت نوسان مادن-جولین و بارش زمستانه ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱(۱)، ۴۹-۶۵.
https://www.ijgeophysics.ir/article_46715.html
- رهسپار برومند، محمد و مرید، سعید (۱۳۹۸). تأثیرپذیری مقادیر بارش از فازهای پدیده دورپیوند مادن-جولیان (MJO) مطالعه موردی حوضه کشکان. *هجدهمین همایش ملی برنج کشور*. ۷۷-۱۶. <http://85.185.105.103/p/Article>
- سبزی پرور، علی‌اکبر و نادری مقدم، فرزاد (۱۳۹۳). اثر نوسان مادن-جولیان (MJO) بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در مناطق جنوبی ایران. *هواشناسی کشاورزی*، ۲(۱)، ۳۲-۴۴. https://www.agrimet.ir/article_54935.html
- سیدنژاد گل‌خطمی، نفیسه؛ بذرافشان، جواد؛ نازی قمشلو، آرزو و ایران‌نژاد، پروین (۱۳۹۸). تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش در ایران در فازهای مختلف سیگنال اقلیمی مادن-جولیان. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۲(۳)، ۱۹۲-۲۰۱.
https://www.ims-jmas.net/article_128094.html
- عزیززاده ورزقان، محمدرضا و جوان، خدیجه (۱۳۹۸). تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش در حوضه دریاچه ارومیه و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۷۰)، ۲۲۸-۲۴۷.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_10339_1064.html
- فلاح‌زاده، مونا؛ رضایی، پرویز؛ اسلامیان، سعید و عباسی، علی‌رضا (۱۳۹۸). ارتباط الگوهای پیوند از دور با خشک‌سالی؛ مطالعه موردی حوضه قره‌قوم. *فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۴(۲)، ۱۵۳-۱۶۴.
<http://dx.doi.org/10.29252/geores.34.2.153>
- قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج‌زاده اصل، منوچهر و حاتمی زرنه، داریوش (۱۳۹۵). نقش اثرات الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر در نوسان پذیری دماهای بیشینه ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰(۵۶)، ۲۳۹-۲۵۵.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_4991.html
- قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج‌زاده، منوچهر و کاکاپور، سعید (۱۳۹۳). بررسی اثر الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۴۹)، ۲۱۷-۲۳۰.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_2205.html?lang=fa
- کارمی، هاجر؛ اکبری‌نسب، محمد و صفرراد، طاهر (۱۳۹۷). آشکارش جبهه‌های دمایی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از تصاویر مودیس. *علوم و فنون دریایی*، ۱۷(۳)، ۳۴-۴۴. <http://hdl.handle.net/1834/14763>
- محمدپور، کورش؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ سلیقه، محمد و قائمی، هوشنگ (۱۴۰۲). واکاوی بی‌هنجاری بارش‌های ایران تحت تأثیر نوسان مادن جولیان طی دوره (۲۰۲۰-۱۹۸۰). *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۵۵(۱۴)، ۱-۱۴.
https://clima.irimo.ir/article_168630.html
- مهرآور، صدیقه؛ قائد امینی، حبیب‌اله و ناظم‌السادات، سیدمحمدجعفر (۱۳۹۷). بررسی پیوند نوسان‌های مادن-جولیان با النینو-نوسان‌های جنوبی و بازخورد آن بر بارش‌های پاییزه استان فارس. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۲(۲)، ۱۰۹-۱۲۶.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080336.1397.12.2.9.0>
- ناظم‌السادات، سید محمدجعفر و قائد امینی اسدآبادی، حبیب‌اله (۱۳۹۰). ارزیابی تأثیر پدیده مادن جولیان (MJO) بر رخداد دوره‌های خشک و تر در استان فارس. *علوم آب و خاک*، ۱۵(۵۵)، ۱۳-۲۶.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.55.2.0>
- ناظم‌السادات، سیدمحمدجعفر؛ رستم‌پور، آرزو و شاهقلیان، کوکب (۱۳۹۵). الگوهای همدیدی در دوران همراه و بدون بارش هم‌زمان با چیرگی فاز ۱ دیده: MJO مطالعه موردی جنوب باختری ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۰(۱)، ۷۳-۸۷.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080336.1395.10.1.6.1>

- Anandh, P.C., Krishna Vissa, N. (2020). On the linkage between extreme rainfall and the Madden–Julian Oscillation over the Indian region. *Royal Meteorological Society*, 27(2), <https://doi.org/10.1002/met.1901>
- Bin Luhaim, Z., Leong Tan, M., Tangang, F., Zulkaflī, Z., Pan Chun, K., Yusop, Z., Mundher Yaseen, Z. (2021). Drought Variability and Characteristics in the Muda River Basin of Malaysia from 1985 to 2019. *Atmosphere*, 12(9), 1210, <https://doi.org/10.3390/atmos12091210>
- Chen, W., Siong Ho, Ch., Yang, S., Wu, Z., Chen, H. (2024). Modulations of Madden–Julian Oscillation and Quasi-Biweekly Oscillation on Early Summer Tropical Cyclone Genesis over the Bay of Bengal and South China Sea. *Journal of Climate*, 37(6), 1951-1964. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0376.1>
- Chen, X., Zhang, F., Ruppert, J.H. (2019). Modulations of the Diurnal Cycle of Coastal Rainfall over South China Caused by the Boreal Summer Intraseasonal Oscillation. *Journal of Climate*, 32(7), 2089-2108. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0786.1>
- Dasgupta, P., Metya, A., Naidu, C.V., Singh, M., Roxy, M. K. (2020). Exploring the long-term changes in the Madden Julian Oscillation using machine learning. *scientific reports*, 10(18567), <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75508-5>
- Densmore, C.R., Sanabia, E.R., Barrett, B.s. (2019). QBO Influence on MJO Amplitude over the Maritime Continent: Physical Mechanisms and Seasonality. *Monthly Weather Review*, 147(1), 389-406. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0158.1>
- Huang, H., Patricola, Ch.M., Bercos-Hickey, E., Yang, Zh., Rhoades, A.M., Risser, M.D., Collins, W.D. (2021). Sources of Subseasonal-To-Seasonal Predictability of Atmospheric Rivers and Precipitation in the Western United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(6), 1-24. <https://doi.org/10.1029/2020jd034053>
- Peng, J., Dadson, S., Leng, G., Duan, Zh., Jagdhuber, T., Guo, W., Ludwig, R. (2019). The impact of the Madden-Julian Oscillation on hydrological extremes. *Journal of Hydrology*, 571, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.055>
- Perdigón-Morales, J., Romero-Centeno, R., Barrett, B.S., Ordóñez, P. (2019). Intraseasonal Variability of Summer Precipitation in Mexico: MJO Influence on the Midsummer Drought. *Journal of Climate*, 32(8), 2313–2327. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0425.1>