

DOI: <https://doi.org/10.22034/jmas.2026.532607.1244>

اثر نوسان دو قطبی هند بر روی شدت نوسان مادن-جولیان در ارتباط با گردش جو ایران و خاورمیانه

حسن حاجی محمدی^{۱*}، فرامرز خوش اخلاق^۲

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۱

چکیده

دورپیوندها با اثرگذاری بر روی یکدیگر می توانند به وقوع شرایط بی‌هنجار جوی در منطقه فعالیت و مناطق همجوار تاثیرگذار باشند. در همین راستا و به منظور بررسی اثر نوسان دو قطبی هند بر روی شدت نوسان مادن-جولیان در ارتباط با گردش جو ایران و خاورمیانه از داده‌های شبکه‌بندی‌شده مرکز پیش‌بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) و برای گردش جو-اقیانوس و از داده‌های RMM برای شدت شاخص مادن-جولیان بین سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۲۰ استفاده شد. برای درک سازوکار جوی از کمیت‌های دینامیکی پتانسیل سرعت و باد واگرا بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که قوی‌ترین IOD به وقوع پیوسته در سال ۲۰۱۹ بوده که از می تا نوامبر ادامه داشته است. در این دوره در اغلب ماه‌ها MJO در فازهای ۷ تا ۳ قرار داشته که نشان از فعالیت این سامانه در اقیانوس هند و آفریقا دارد. با استمرار این وضعیت مشاهده شد که بی‌هنجاری دمای سطح دریا نسبت به میانگین بلندمدت خود به بیش از ۴ درجه سلسیوس رسیده و از سویی کاهش شدیدی در مقدار OLR بر روی آفریقا، هند و جنوب آسیا مشاهده گردید. همبستگی‌ها نشان داد که مقادیر امگا و OLR در محدوده حاره آسیایی متأثر از تغییر در بی‌هنجاری دمای سطح دریا بوده که حاکی از ارتباط بالا و معنادار بین دمای سطح اقیانوس هند در بازه زمانی یاد شده با شاخص‌های معرف بود. نتایج نشان داد که با افزایش دمای سطح اقیانوس هند به شدت از مقدار امگا و طول موج بلند تابشی بر روی ایران کاسته شده که به افزایش جریانات بالاسو بر روی خاورمیانه و ایران منتج شده است. نتایج حاصل از گردش دینامیک جو نشان داد که در ترازهای زیرین و میانی و ردسپهر بر روی خاورمیانه و آفریقا چاهه انرژی تشکیل شده که به شار جرم و انرژی از جنوب اقیانوس آرام و در مناطق جنوبی قاره آفریقا به داخل این چاهه انرژی شارش یافته که در نهایت سبب افزایش جریانات همرفتی و بالاسو در مناطق مذکور شده و سبب رخداد بی‌هنجاری بزرگ در گردش جو منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای شده است.

== **کلمات کلیدی:** شاخص دو قطبی هند، شاخص مادن-جولیان، پتانسیل سرعت و باد واگرا، بارش،

ایران

مقدمه

در طول چند دهه اخیر، نقش حیاتی اقیانوس هند در تنوع آب و هوای جهانی در جامعه تحقیقاتی آب و هواشناسی شناخته شده است (اومنهوفر و همکاران، ۲۰۲۴؛ یاماگاتا و همکاران، ۲۰۲۴). تاثیر پدیده‌هایی مانند شاخص دو قطبی هند (IOD) بر سایر مناطق اقیانوسی سبب شده تا مدل های جفت شده منطقه ای بر اساس تغییرات دمای سطح اقیانوس هند به برهم کنش بین جو-اقیانوس و بازخوردهای آن بر روی خشکی ها پردازد (هوود و همکاران، ۲۰۲۴). دو قطبی اقیانوس هند، به عنوان دومین حالت غالب دمای سطح دریا شناسایی شده است. بی‌هنجاری‌ها دمای سطح دریا در اقیانوس هند گرمسیری از طریق تحلیل عملکرد متعامد تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد (ساجی و همکاران، ۱۹۹۹). اعتقاد محققین بر این باور است که این نوسان بر آب و هوای مناطق موسمی آسیا و سایر مناطق دور افتاده تأثیر می‌گذارد (یاماگاتا و همکاران، ۲۰۰۴؛ کای و همکاران، ۲۰۱۱؛ کای و همکاران، ۲۰۱۴؛ لی و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی ها نشان داد که فاز مثبت (سرد) با بی‌هنجاری دمای سطح دریا در جنوب شرق اقیانوس هند و فاز منفی (گرم) در غرب اقیانوس هند تشکیل می‌گردد (ساجی و همکاران، ۱۹۹۹؛ اندو و توزوکا، ۲۰۱۶؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ b۲۰۲۰). افزایش شیب بی‌هنجاری دمای سطح دریا در شرق و غرب اقیانوس هند سبب گردش بی‌هنجار چرخه واکر نیز در منطقه شده که بازوی فرونشستی آن در شرق و جریانات بالاسوی همرفتی در غرب اقیانوس هند را در پی دارد. این وضعیت سبب برقراری دوره خشک در اندونزی و بارش های سیل آسیا در شرق آفریقا می‌گردد (آنامالای، ۲۰۰۳؛ یاماگاتا و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴). این نوسان یک پدیده جوی-اقیانوسی بوده که توسط جریانات سطحی بی‌هنجار آغاز می‌گردد. در همین حال بازخورد تئوری بیرکنس و بازخورد دمای سطح دریا-تبخیر-باد نقش مهمی در

توسعه IOD دارد (بیرکنس، ۱۹۶۹؛ لو، ۲۰۲۰؛ ویرتکی، ۱۹۷۵؛ ژی و فیلاندر، ۱۹۹۴؛ ژی، ۱۹۹۸). نوسان مادن جولیان (MJO) حالت غالب تنوع درون فصلی (۳۰ تا ۹۰ روز) در جو استوایی است (مادن و جولیان، ۱۹۷۱). این نوسان یک اختلال در مقیاس سیاره‌ای است که شامل بی‌هنجاری‌های همرفتی، همراه با گردش غیرعادی بوده که با هم، با سرعت متوسط تقریباً ۵ متر بر ثانیه به سمت شرق منتشر می‌شوند (مادن و جولیان، ۱۹۷۲). از آنجا که، این نوسان طی دهه‌های گذشته موضوع اکثر تحقیقات بوده اما ابعاد پنهان آن همچنان باقی است. در این بین چندین مدل پیشنهاد شده‌اند، اما هیچ کدام نتوانسته است بسامد، جریان مداری ناحیه‌ای و سرعت انتشار به سمت شرق MJO را به صورت کمی ثبت کند. (ژنگ، ۲۰۰۵). یکی از نکات بسیار مهم این است که میزان تغییرات دمای سطح دریا بر MJO تأثیر می‌گذارد. این عدم قطعیت باعث شده است که بسیاری از مطالعات به بررسی رابطه MJO با ENSO پردازند (کرسلر و همکاران، ۱۹۹۵؛ ژنگ و گاتسچاک، ۲۰۰۲؛ هندون و همکاران، ۲۰۰۷). با این حال تحقیقات اندکی در راستای ارتباط بین نوسان دو قطبی هند و شاخص MJO صورت پذیرفته است. بر اساس تحقیقات به دست آمده مشخص شده که شاخص دو قطبی هند مانند همتای خود در اقیانوس آرام با بی‌هنجاری در دمای سطح دریا به صورت فصلی و سالانه به تغییرات گردش جو-اقیانوس در منطقه اقیانوسی هند استوایی تأثیرگذار است (ساجی و همکاران، ۱۹۹۹). این شاخص در طوب تابستان نیمکره شمالی توسعه یافته، در پاییز به اوج خود رسیده و در زمستان افول می‌کند (وبستر و همکاران، ۱۹۹۹). چندین مطالعه نتایج اولیه ای را در این زمینه ارائه کرده‌اند که چگونه IOD ممکن است بر MJO تأثیر بگذارد. شینودا و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که تغییرپذیری جریان های مداری تراز زیرین بین ۶ تا ۹۰ روز در زمانی که شاخص IOD مثبت بوده متوقف

شده و در دوره شاخص منفی سرعت جریان افزایش یافته است. در همین راستا سوراج و همکاران (۲۰۰۹) طی یک شبیه سازی با استفاده از مدل های جفت شده گردش عمومی جو نشان دادند که همبستگی معناداری بین تغییرپذیری با بسامدهای بالا و پایین در بازه ۲ تا ۹۰ روزه در اقیانوس هند وجود دارد. آنها این رابطه را به تغییرات در برش عمودی باد نسبت دادند، که به موجب آن برش عمودی باد شرقی در بسامد پایین تغییرپذیری در باد بسامد بالا را افزایش می دهد. کوگ و همکاران (۲۰۰۹) پس از تجزیه و تحلیل واریانس مشاهده شد که در طول ۲ تا ۷۰ روزه باد مداری در طول رویدادهای مختلف IOD دریافتند که MJO در طول IOD منفی تقویت شده و در طول IOD مثبت تضعیف می گردد. ویلسون و همکاران (۲۰۱۴) معتقدند که اثرگذاری IOD بر روی MJO در فازهای مختلف از طریق شار رطوبتی ترازهای زیرین و گرمای نهان ایجاد شده توسط بی هنجاری مثبت آب می باشد. بر همین اساس طی تحقیقات اخیر صورت پذیرفته توسط ژائو و همکاران (۲۰۲۴) این نظریه به اثبات رسید که تغییر در فازهای IOD می تواند محرک یا متوقف کننده MJO توسط بی هنجاری در شار گرمای نهان شود.

در ایران تحقیقی که به صورت متمرکز به برهم کنش بین IOD و MJO پرداخته شود، صورت نگرفته و برخی تحقیقات به صورت مجزا به صورت آماری نقش IOD و MJO بر روی بارش های ایران انجام شده که می توان به جهان بخش و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود. ایشان به بررسی تاثیر پدیده دو قطبی دمایی اقیانوس هند بر تغییرپذیری بارش های فصلی استان های جنوبی کشور پرداختند و دریافتند که بین شاخص دو قطبی اقیانوس هند و نوسان های بارش فصل پاییز طی دوره کمتر از سه سال همبستگی متقابل و معنی داری را در ایستگاه های اهواز، چابهار، بوشهر و آبادان نشان می دهد. بررسی نقش

شاخص دو قطبی اقیانوس هند در تغییرات بارش های فصل پاییز ایستگاه های جنوبی کشور حاکی از وجود رابطه مثبت در نوسان های بارش منطقه است. نظری رادثانی و همکاران (۱۴۰۰) به اثرهای رویدادهای خالص و ترکیبی پدیده های ENSO و IOD بر نوسان های بارش پاییزه در شمال باختری ایران پرداختند. آنها دریافتند که با جابجایی رویدادهای خالص IOD از فاز مثبت به منفی، ۱۸ ایستگاه در این پهنه افزایش و پنج ایستگاه کاهش بارش پاییزه را بروز دادند. در زمان همراهی پدیده النینو با فاز مثبت IOD بارش در کل پهنه تا ۶۰ درصد افزایش داشته است و خشک سالی پاییزه بیشتر در دورانی رخ داده که پدیده لانینا با فاز منفی IOD همراه بوده که در سنجش میانگین بارش رخداد دوره های تر و خشک پاییزه را روشن می سازد. محمدپور و همکاران (۱۴۰۲) به پهنه بندی بی هنجاری بارش های فصل سرد ایران تحت تأثیر MJO در دوره آماری ۱۹۸۰ الی ۲۰۲۰ پرداختند. نتایج نشان داد که فازهای ۷، ۸، ۹، ۱ به عنوان فازهای مؤثر بارش (MJO قوی) و فازهای ۴، ۳، ۵، ۶ به عنوان فازهای تضعیف کننده بارش های ایران هستند.

هدف پژوهش حاضر، بررسی نقش نوسان دو قطبی اقیانوس هند (IOD) در شدت و رفتار نوسان مادن-جولیان (MJO) و تحلیل اثرات این برهم کنش بر گردش جو ایران و خاورمیانه است. با وجود مطالعات متعدد درباره تأثیر جداگانه IOD و MJO بر اقلیم منطقه ای، اغلب پژوهش ها به صورت مجزا به بررسی این پدیده ها پرداخته اند و ارتباط دینامیکی میان آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر تحقیقات پیشین، تمرکز خود را بر رابطه MJO با ENSO یا تأثیر IOD بر بارش های موسمی محدود کرده اند و از تحلیل هم زمان شاخص های جوی و اقیانوسی در چارچوب دینامیک منطقه ای غافل مانده اند. این پژوهش با بهره گیری از عوامل دینامیکی و شاخص های ترکیبی، درصدد است تا با رویکردی

تلفیقی، خلأ موجود در مطالعات پیشین را پر کرده و درک دقیق‌تری از سازوکارهای مؤثر بر نوسانات اقلیمی ایران و خاورمیانه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این محدوده مطالعه با هدف بررسی همزمان اثر دو پدیده مهم اقلیمی-اقیانوسی IOD (دوقطبی اقیانوس هند) و MJO (نوسان مادن-جولیان) بر روی بارش و الگوهای جوی ایران تعریف شده است. محدوده IOD شامل دو ناحیه غربی (10° تا 50° شرقی، 10° جنوبی تا 10° شمالی) و شرقی (90° تا 110° شرقی، 10° جنوبی تا 0°) است، در حالی که MJO عمدتاً در حاره و نیمه‌حاره از 20° جنوبی تا 20° شمالی و طول‌های 40° تا 150° شرقی پوشش داده شده است. Iran Box نیز با گستره 25° تا 40° شمالی و 40° شرقی تا 60° شرقی، هسته مطالعاتی را شکل می‌دهد. این تفکیک فضایی امکان ارزیابی جداگانه و تعاملی سیگنال‌های حاره‌ای مؤثر بر اقلیم ایران را فراهم می‌کند (شکل ۱).

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه متشکل از شاخص MJO و داده‌های سطوح جوی شبکه‌بندی شده

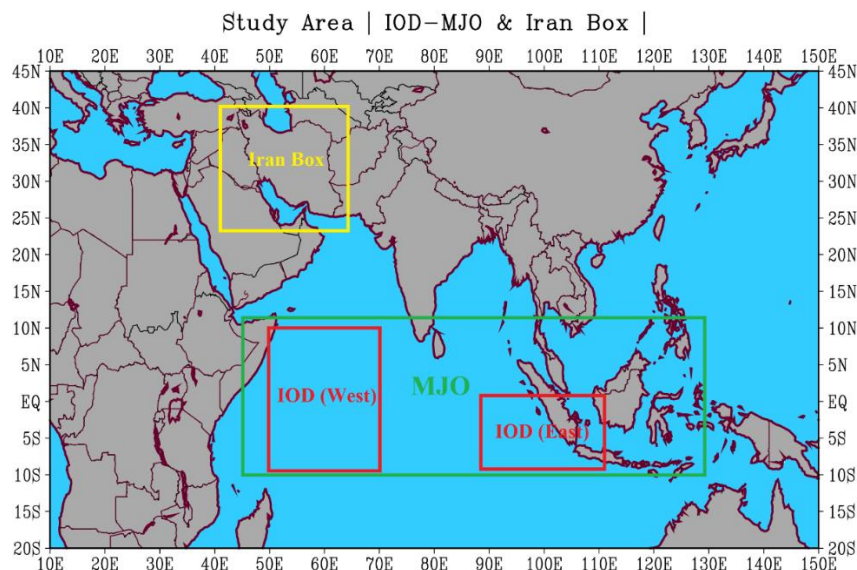
می‌باشد. شاخص MJO مورد استفاده در این مطالعه، به‌صورت دو سری زمانی شامل RMM1 و RMM2^۱ در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ است که توسط ویلر و هندون^۲ (۲۰۰۴) پیشنهاد شده است. این شاخص از یک جفت توابع متعامد تجربی (EOFs) میدان‌های ترکیبی باد مداری در ۲۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و همچنین میانگین داده‌های OLR مشاهده شده توسط ماهواره بین عرض‌های ۱۵ درجه جنوبی تا ۱۵ درجه شمالی، محاسبه می‌شود (شاخص MJO به‌صورت آنلاین در RMM موجود است:

<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/graphic/realtime/realtime.txt>. همچنین برای داده‌های شبکه‌بندی‌شده شامل ارتفاع ژئوپتانسیلی، شاخص طول موج بلند تابشی (OLR)، دمای سطح دریا (SST)، شاخص امگا، مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد از مجموعه داده‌های بازتحلیل مرکز پیش‌بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) با تفکیک مکانی $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ درجه مکانی در بازه زمانی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ استفاده شد.

برای بارش‌های ایران نیز از مجموعه داده بارش‌های CHIRPS^۳ با توان تفکیک $25^{\circ} \times 25^{\circ}$ کیلومتر استفاده شد.

1- Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Station data

Real-time Multivariate MJO series 1 and 2. ^۱ Wheeler & Hendon ^۲



شکل ۱. محدوده های مورد مطالعه در تحقیق

روش پژوهش

شاخص MJO

با توجه به میزان و گسترش شاخص RMM، MJO قوی را می توان از MJO ضعیف تشخیص داد. دوره های MJO با $\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2} > 1$ و با مشخصه گسترش شرق سو و پیوسته، به منزله MJO قوی در نظر گرفته می شود (پوهل و متیوس^۴، ۲۰۰۷) و MJO ضعیف به صورت $\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2} < 0.9$ در نظر گرفته می شود.

شاخص IOD

به منظور محاسبه این شاخص از مقادیر دمای سطح دریا استفاده شد. بدین صورت که مقادیر بی هنجاری دمای سطح دریا برای شرق و غرب اقیانوس هند در محدوده های ۵۰ تا ۷۰ درجه شرقی و از ۱۰ درجه عرض جنوبی تا ۱۰ درجه عرض شمالی برای محدوده غربی IOD و ۹۰ تا ۱۱۰ درجه شرقی و ۰ تا ۱۰ درجه جنوبی برای محدوده شرقی محاسبه گردید (شکل ۱).

در ابتدا مقادیر بلندمدت^۵ IOD محاسبه گردید. پس از آن شدیدترین بی هنجاری و بادوام ترین آن استخراج شد تا بر اساس آن اثرات بی هنجاری مثبت دمای سطح دریا در اقیانوس هند بر روی MJO مشخص گردد. در ادامه با استفاده از روش همبستگی اقدام به ارتباط سنجی بین SST محدوده فعالیت IOD و OLR و مقادیر Omega در محدوده ایران شد تا اثرگذاری این نوسان بر روی گردش جو منطقه ای مشخص گردد. بدین صورت که همبستگی زمانی بین مقادیر SST و OLR محدوده فعالیت این دو نوسان و مقادیر Omega ایران گرفته شد تا ارتباط این دو نوسان در بازه زمانی یاد شده بین فعالیت جریانات بالاسو در ایران مشخص گردد.

به منظور درک سازوکار دینامیکی جو منطقه از شاخص های پتانسیل سرعت و باد واگرا استفاده شد.

پتانسیل سرعت:

در تعریف پتانسیل سرعت (رابطه ۱) باید اشاره کرد که یک تابع نرده ای با گرادینان آن برابر با بردار سرعت u یک جریان بی چرخش است.

^۵ -Long Term (LTM)

^۴ - Pohl & Matthews

اگر $\chi(X, Y, Z)$ پتانسیل سرعت باشد،

$$u = -\nabla\chi \quad (۱)$$

اگر جریان نیز غیر واگرا باشد، پتانسیل سرعت معادله لاپلاس را برآورده می‌کند (رابطه ۲):

$$\nabla^2\chi = 0 \quad (۱)$$

در اینجا χ پتانسیل سرعت، ∇ عملگر دل می‌باشد. سرعت در همه جا نسبت به سطوح با پتانسیل سرعت ثابت نرمال است. اگر پتانسیل سرعت وجود داشته باشد، توصیف حرکت با استفاده از پتانسیل به جای سرعت برداری ساده‌تر است، زیرا اولی یک تابع نرده‌ای منفرد بوده، در حالی که دومی مجموعه‌ای از سه تابع نرده‌ای می‌باشد (هولتون، ۱۹۷۲).

گردش و اگر و باد واگرا:

به منظور بررسی انتقال جرم از مولفه باد واگرا استفاده شد (روابط ۳ تا ۵). برای بررسی گردش سلولی در منطقه حاره به عنوان سلول‌های بسته در صفحات $X-Z$ و $Y-Z$ باد واگرا برای آشکارسازی در صفحه کاملاً افقی کاربرد دارد (کریشنامورتی، ۱۹۷۱ و ۱۹۷۳).

$$V = V_\psi + V_\chi = k \times \nabla\psi + \nabla\chi \quad (۳)$$

$$\nabla^2\psi = \xi \quad (۴)$$

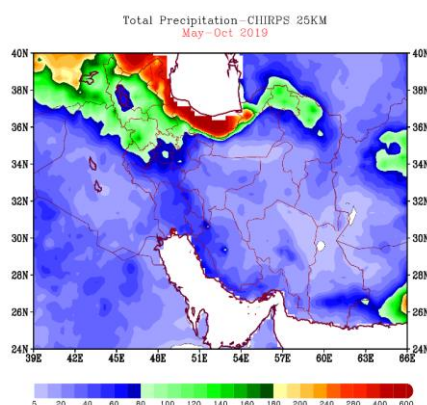
$$\nabla^2\chi = D \quad (۴)$$

در این معادله V بردار افقی باد، V_ψ و V_χ به ترتیب اجزای چرخشی و واگرایی باد افقی هستند. ψ تابع جریان، χ پتانسیل سرعت، ξ مولفه عمودی تاوایی و D جزء افقی واگرایی می‌باشد.

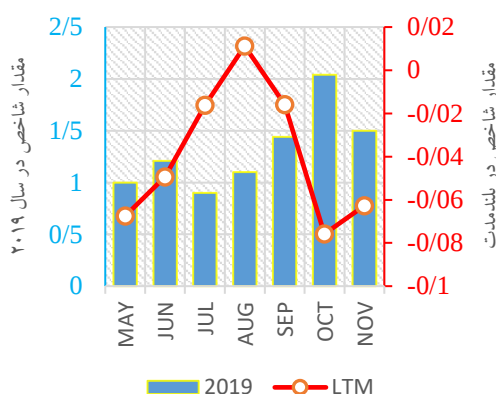
بحث و نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده شد که در سال ۲۰۱۹ بی‌هنجاری بسیار قوی دمای سطح دریا در مناطق غربی و شرقی اقیانوس هند بوجود آمده که سبب شده تا شاخص IOD نسبت به میانگین بلندمدت خود دماهای بسیار بالایی را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بادوام‌ترین و شدیدترین بی‌هنجاری IOD بین ماه‌های می تا نوامبر سال ۲۰۱۹ بوقوع پیوسته است. در این دوره در برخی ماه‌های به مانند اکتبر بی‌هنجاری دما به بیش از ۲ درجه سلسیوس رسیده است که میانگین بلندمدت بی‌هنجاری دما در این ماه زیر صفر است. بررسی‌ها حاکی از آن بود که از می تا اکتبر در ۶ ماه آن بی‌هنجاری دمای سطح دریا بالای ۱ درجه سلسیوس است (شکل ۲ الف). در این دوره مجموع بارش منطقه‌ای نیز بر اساس داده‌های

CHIRPS محاسبه گردید. نتایج گویای بارش‌های سنگین در شمال، شمال‌غرب و شمال‌شرق ایران و در جنوب غرب ایران بوده که بارش‌ها بین ۷۰ تا ۱۶۰ میلیمتر در مناطق بیشینه مشاهده می‌شود. این هسته‌های بیشینه را می‌توان به صورت تفکیکی و نقطه‌ای در جنوب غرب، ساحل مرکزی و غربی دریای خزر، استان‌های غربی و شمال شرق ایران مشاهده نمود (شکل ۲ ب). در ادامه سعی شد تا تغییرپذیری بزرگی که در دمای سطح دریا در منطقه حاره بوجود آمده را مورد بررسی قرار گیرد که چگونه بر روی شاخص MJO و جریانات همرفتی آن تاثیر داشته و تقویت و تضعیف این سامانه گردش جو منطقه‌ای را در جنوب غرب آسیا به چه صورت متاثر ساخته است.



ب



الف

شکل ۲. الف: نمودار وضعیت شاخص IOD در بلندمدت (LTM) خطی، و وضعیت این شاخص در سال ۲۰۱۹ میلادی؛ ب: مجموع بارش ایران از می تا اکتبر ۲۰۱۹

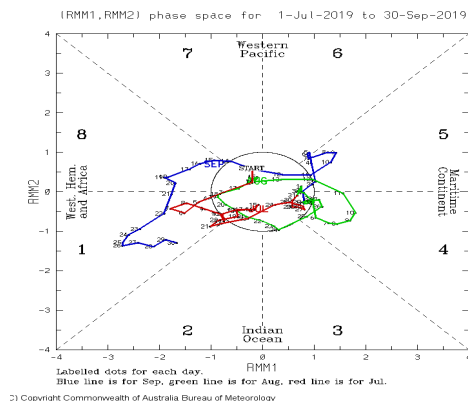
جوی مساعدی برای همگرایی قوی بین شرق آفریقا تا هند فراهم شده است.

۱- بررسی وضعیت MJO

با بررسی نمودار MJO مشاهده شد که از آپریل تا جون در فازهای مختلف این نوسان با تقویت آن همراه شده و نشان از فعالیت جریانات بالاسو است و فقط در اواخر ماه جون تضعیف شده است. به جز فازهای ۵ و ۶ در سایر فازهای MJO در مناطق مختلف حاره استوایی کاملاً مشهود است. در بازه زمانی جولای تا سپتامبر، فقط در ماه سپتامبر و در فاز ۸ و ۱ این نوسان فعالیت بیشتری داشته که نشان از تقویت همرفت در اقیانوس هند می-باشد. در ماه اکتبر فقط در فاز ۱ و ۲ MJO بی‌هنجار بوده ولی در ماه نوامبر از فاز ۵ تا ۸ این وضعیت ادامه داشته که از اواسط ماه نوامبر تا اواخر دسامبر از شدت MJO کاسته شده است (شکل ۳). وقوع این وضعیت در MJO نشان می‌دهد که با بی‌هنجاری دمای سطح دریا در اقیانوس هند مقادیر عظیمی از شار گرمای نهان وارد جو شده و شرایط را برای همرفت های عمیق فراهم کرده است. از طرفی با همسو شدن این جریانات با موسمی تابستانه هند شرایط

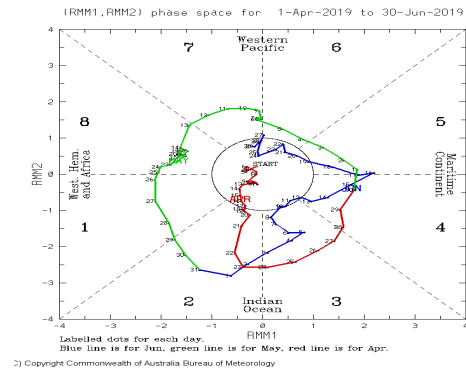
۲- بررسی وضعیت بی‌هنجاری دمای سطح دریا و شاخص OLR

با بررسی شکل ۴ مشاهده شد که در ماه می تغییرات بزرگی در بی‌هنجاری دمای سطح دریا در محدوده دریای عرب و شمال اقیانوس هند تا شرق آسیا بوقوع پیوسته که دمای سطح دریا به بیش از ۴.۵ درجه سلسیوس نسبت به میانگین بلندمدت خود افزایش داشته و این وضعیت در دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان نیز با شدت بیشتر مشهود است. طی این دوره ۳ هسته بی‌هنجاری منفی شاخص OLR در شرق آفریقا، هند و شرق آسیا به واسطه فعالیت جریانات همرفتی بوجود آمده که کاهش مقدار OLR را دی پی داشته که در برخی مناطق به کمتر از ۸۰- وات بر متر مربع رسیده است.



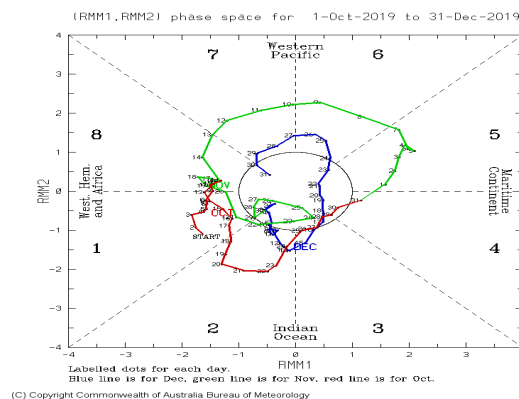
2) Copyright Commonwealth of Australia Bureau of Meteorology

ب



2) Copyright Commonwealth of Australia Bureau of Meteorology

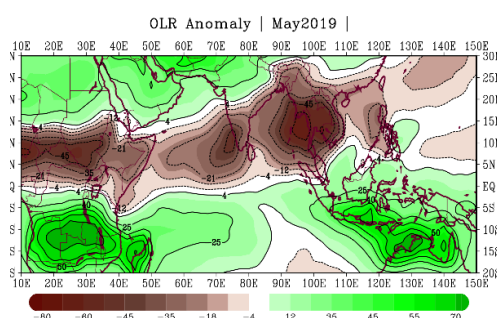
الف



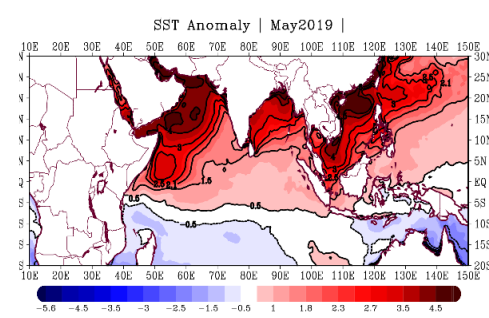
(C) Copyright Commonwealth of Australia Bureau of Meteorology

ج

شکل ۳. نمودار موقعیت و شدت MJO در دوره بی‌هنجاری IOD در سال ۲۰۱۹- هر شکل نماینده ۳ ماه از سال ۲۰۱۹ می باشد. الف: آپریل تا جون ۲۰۱۹؛ ب: جولای تا سپتامبر ۲۰۱۹؛ ج: اکتبر تا دسامبر ۲۰۱۹



ب



الف

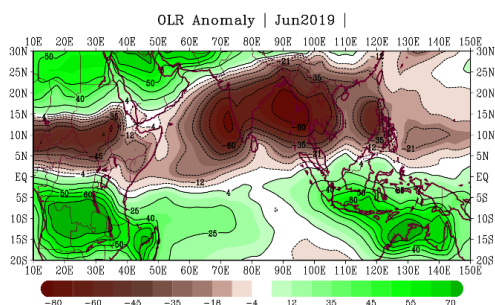
شکل ۴. وضعیت بی‌هنجاری دمای سطح دریا و بی‌هنجاری OLR برای می ۲۰۱۹؛ الف: بی‌هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی‌هنجاری شاخص OLR

دما از ۰.۵ تا بیش از ۴.۵ درجه سلسیوس در راستای عرض جغرافیایی افزایش یافته که بیشینه آن در جنوب شرق آسیا است. بواسطه افزایش بی‌هنجاری دما در منطقه یاد

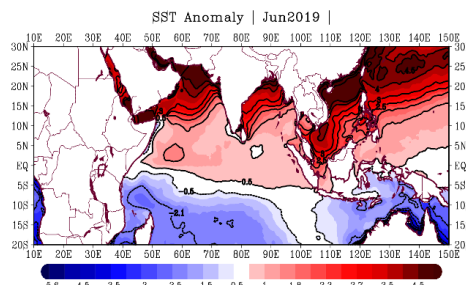
در شکل ۵ بی‌هنجاری دمای سطح دریا در ماه جون بین عرض‌های ۵ تا ۲۰ درجه شمالی بسیار افزایش یافته که از دامنه تغییرات بالایی برخوردار است. این تغییرات

شرق آفریقا همچنان وضعیت کاهش OLR مشاهده می شود.

شده کمینه مقدار OLR نیز در این منطقه تشکیل شده که به هسته واقع در غرب هند متصل شده است. از طرفی در



ب

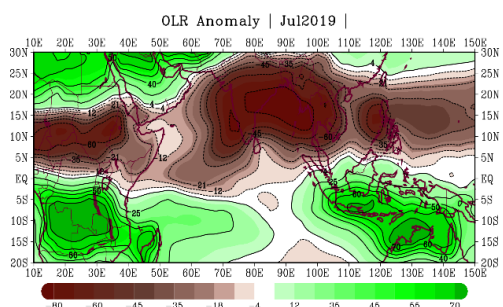


الف

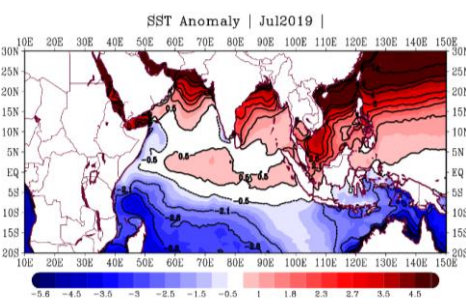
شکل ۵. وضعیت بی‌هنجاری دمای سطح دریا و بی‌هنجاری OLR برای جون ۲۰۱۹؛ الف: بی‌هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی‌هنجاری شاخص OLR

فعالیت جریان‌ات بالاسو را نشان می‌دهد. از طرفی در این دوره موسمی هند نیز فعال بوده و با قرارگیری MJO و موسمی و از طرفی بی‌هنجاری دمای سطح دریا سبب تقویت این جریان‌ات همرفتی شده است. در سو دیگر و در آفریقا نیز با استمرار جریان‌ات همرفتی ناشی از فعالیت های شدید در منطقه حاره آسیایی اغلب مناطق همجوار از این اغتشاشات متاثر شده اند (شکل ۶).

در ماه جولای در نیمکره جنوبی بی‌هنجاری منفی در دمای سطح دریا بوجود آمده که در ضلع مقابل خود در نیمکره شمالی بی‌هنجاری مثبت شدید به خصوص در غرب اقیانوس آرام و شمال اقیانوس هند تشکیل شده که یک شیب شدید نصف النهاری در دمای سطح دریا بوجود در پی داشته است. با تمرکز بی‌هنجاری مثبت دمای سطح دریا در منطقه شرق آسیا یک هسته بی‌هنجاری منفی از OLR در منطقه تشکیل شده که بیشینه



ب: بی‌هنجاری شاخص OLR



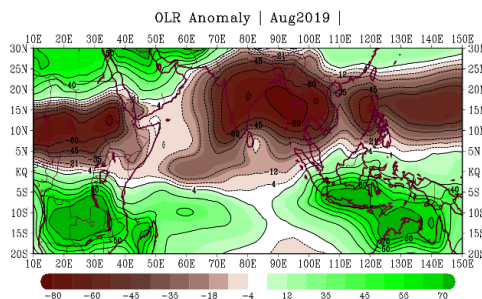
الف: بی‌هنجاری دمای سطح دریا

شکل ۶. وضعیت بی‌هنجاری دمای سطح دریا و بی‌هنجاری OLR برای جولای ۲۰۱۹؛ الف: بی‌هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی‌هنجاری شاخص OLR

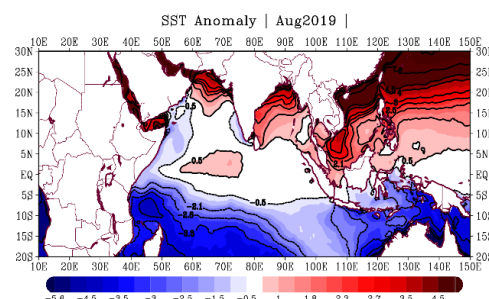
شرق و جنوب شرق آسیا متاثر از این افزایش شدید در بی‌هنجاری دما سطح دریا شده است. همچنان در این ماه کمینه بی‌هنجاری OLR در شرق و جنوب شرق آسیا بوده و به کمتر از ۸۵- وات بر متر مربع رسیده است. این

در آگوست ۲۰۱۹ بی‌هنجاری منفی دمای سطح دریا در نیمکره شمالی به عرض های بالاتر نفوذ کرده و در شرق آفریقا دمای سطح آب کاهش یافته است. از طرفی در غرب اقیانوس آرام دما به شدت افزایشی شده و مناطق

کاهش های ناگهانی حاصل تغییرات در مقدار انرژی در دریا بوده و برهم کنش جو و اقیانوس را به خوبی نشان می دهد (شکل ۷).



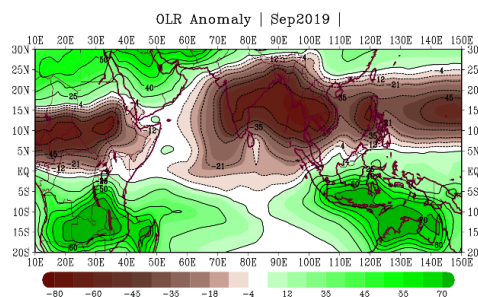
ب



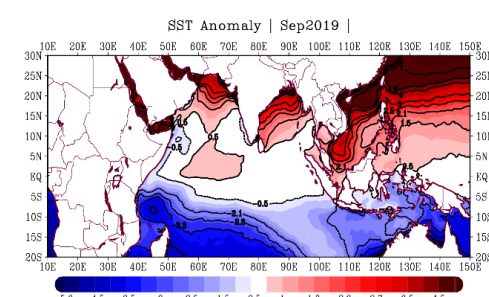
الف

شکل ۷. وضعیت بی هنجاری دمای سطح دریا و بی هنجاری OLR برای آگوست ۲۰۱۹؛ الف: بی هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی هنجاری شاخص OLR

جغرافیایی حاکم بوده که فقط در سواحل شرقی آفریقا این وضعیت به واسطه کاهش دمای سطح آب افت نموده اما در داخل آفریقا به واسطه ابرناکی و تداوم آن همچنان مقدار این شاخص نسبت به میانگین بلندمدت خود کاهشی می باشد (شکل ۸).



ب

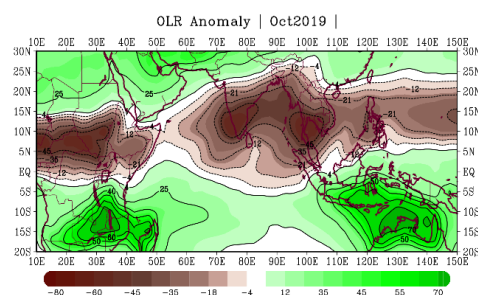


الف

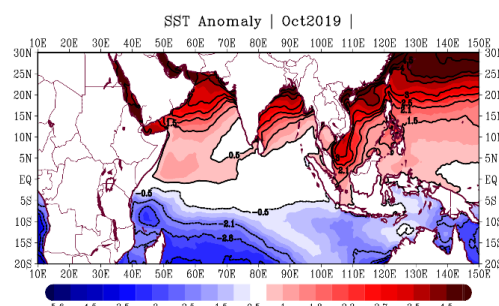
شکل ۸. وضعیت بی هنجاری دمای سطح دریا و بی هنجاری OLR برای سپتامبر ۲۰۱۹؛ الف: بی هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی هنجاری شاخص OLR

پیوسته بی هنجاری منفی OLR بین عرض های استوا تا ۱۵ درجه شمالی در خشکی های آفریقا، هند و جنوب شرق آسیا کاملاً دلالت بر فعالیت سامانه های همرفتی به واسطه افزایش شدید دمای سطح آب دریا داشته که در این بین نکته جالب تر این است که شدت جریانات همرفتی در خشکی ها بیش از دریاها و اقیانوس ها است.

در شکل ۹ در اغلب مناطق دریای عرب و قسمت های غربی اقیانوس هند دمای سطح دریا به شدت افزایش یافته که شرایط مذکور با نزدیک شدن به سواحل تقویت می شود. در همین حال در نیمکره جنوبی از شدت بی هنجاری منفی دمای سطح دریا کاسته شده و یک عقب نشینی بین ۲ الی ۵ درجه عرض جغرافیایی نیز در این بی هنجاری مشاهده می گردد. در این دوره سلول



ب

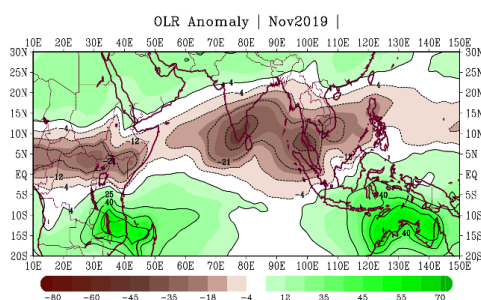


الف

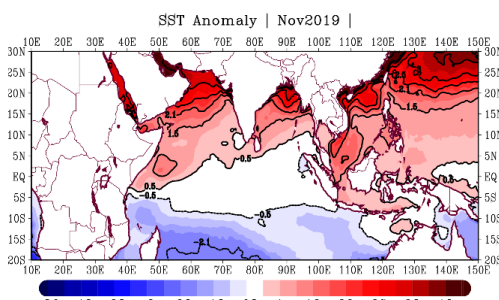
شکل ۹. وضعیت بی‌هنجاری دمای سطح دریا و بی‌هنجاری OLR برای اکتبر ۲۰۱۹؛ الف: بی‌هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی‌هنجاری شاخص OLR

بی‌هنجاری دمای سطح دریا نسبت به ماه‌های قبل کاهش یافته و بین ۱ تا ۳ درجه سلسیوس می‌باشد. با کاهش دمای سطح دریا مقدار شاخص OLR نیز به‌خصوص در خشکی‌ها کاهش یافته مقدار آن بین ۴- تا ۳۰- وات بر متر مربع رسیده است (شکل ۱۰).

در نوامبر ۲۰۱۹ برای محدوده منتخب مشاهده شد که بی‌هنجاری دمای سطح دریا همچنان مثبت بوده و تا استوا این وضعیت ادامه دارد که در سواحل شرقی آفریقا بی‌هنجاری دمای سطح دریا به بیش از ۱ درجه سلسیوس رسیده است. از طرفی در شرق و جنوب شرق آسیا



ب



الف

شکل ۱۰. وضعیت بی‌هنجاری دمای سطح دریا و بی‌هنجاری OLR برای نوامبر ۲۰۱۹؛ الف: بی‌هنجاری دمای سطح دریا؛ ب: بی‌هنجاری شاخص OLR

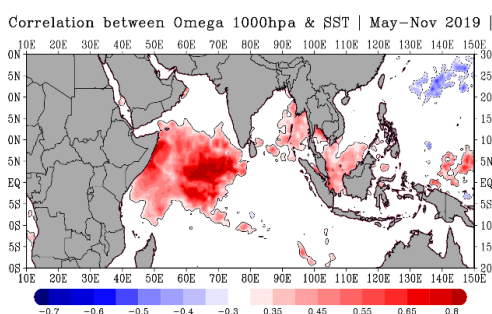
۳-همبستگی بین دمای سطح دریا و تغییر کمیت‌های جوی

نتایج نشان داد که ارتباط مستقیمی بین دو کمیت ذکر شده و تغییرات دمای سطح دریا مشاهده می‌شود. بدین صورت که با افزایش بی‌هنجاری دمای سطح دریا شدت MJO افزایش یافته و سبب تقویت همرفت در قسمت‌های غربی، شمالی و شرق اقیانوس هند شده است. از طرفی مشاهده شد که بیشینه همبستگی که بالای ۰.۸۵ می‌باشد، منطبق بر قسمت‌های استوایی اقیانوس هند بوده و با افزایش دمای سطح دریا مقادیر OLR و شاخص امگا

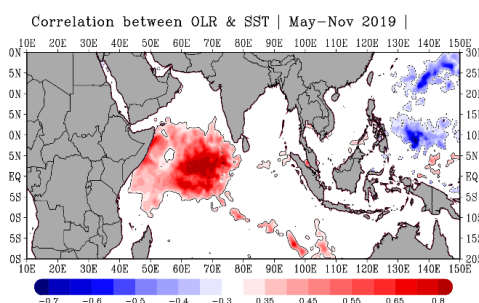
به منظور ارتباط سنجی بین تغییرات MJO و دمای سطح دریا سعی شد برای اینکه، برای محدوده عرض‌های جغرافیایی ۰ تا ۱۵ درجه شمالی و طول‌های ۱۰ تا ۱۲۰ درجه شرقی مقادیر همبستگی برای بازه زمانی می تا نوامبر ۲۰۱۹ محاسبه گردید. در این محاسبه از دو کمیت امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و شاخص OLR برای نوسان مدن جولیان استفاده گردید.

منفی شده است. قرارگیری MJO در فازهای ۸ تا ۳ که منطبق بر اقیانوس هند و شرق آفریقا بوده گواهی بر این ادعا است. با بی‌هنجار شدن MJO در این فازها و از طرفی رخداد بی‌هنجاری مثبت بسیار قوی و مداوم دمای سطح دریا در اقیانوس هند نشان از آن دارد که با وقوع این

وضعیت شرایط جوی فعال در منطقه (MJO) بیش از پیش متاثر از جریانات اقیانوسی بوده و شاخص IOD یک پیش بین مناسب برای انرژی و تقویت MJO در منطقه می باشد (شکل ۱۱).



ب



الف

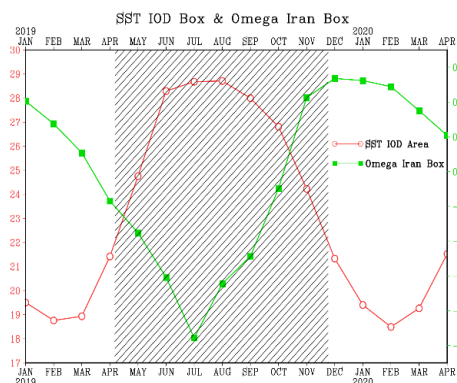
شکل ۱۱. نقشه های همبستگی بین دمای سطح دریا با کمیت های شاخص MJO. الف: نقشه همبستگی بین بی‌هنجاری دمای سطح دریا و OLR؛ ب: نقشه همبستگی بین بی‌هنجاری دمای سطح دریا Omega

بوجود آمده است. افزایش ابرناکی به واسطه استقرار سیستم های ناپایدار در منطقه سبب شده برای اینکه در اکثر مناطق همبستگی منفی شکل گیرد که کمینه این همبستگی در محدوده غرب عربستان به وجود آمده است. در شکل ۱۳ ب همبستگی منفی بین شاخص امگا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با تغییرات دمای سطح دریا تشکیل شده که مقادیر همبستگی منفی بر روی دریای مدیترانه، جنوب غرب ایران و نواحی غربی عربستان (محدوده دریای سرخ) به کمتر از -0.8 رسیده است. این همبستگی منفی حاکی از آن است که اغلب سیستم های ناپایدار تشکیل شده در منطقه با جریانات بالاسو در محدوده یاد شده بوده و فقط در قسمت هایی از ایران مرکزی و جنوب شرق ایران مقادیر مثبت همبستگی مشاهده می شود. بر اساس نقشه بارش که در شکل ۲ ب بود، بیشینه بارش در منطقه شمالی ایران بوده که در نقشه تولید شده مقادیر امگای منفی قوی در این محدوده مشاهده می گردد. از طرفی سیستم های تاثیرگذار بر روی بارش های

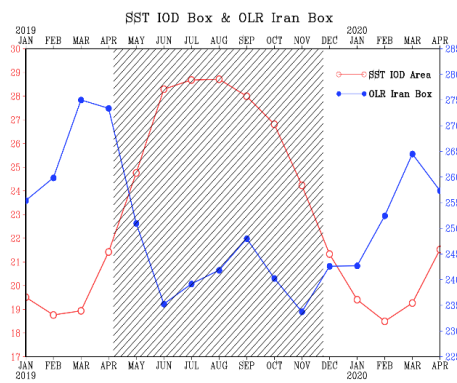
در قدم بعدی سعی شد تا به ارتباطسنجی بین تغییرات دمای سطح دریا در محدوده IOD و مقادیر امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و OLR در محدوده ایران پرداخته شود. نتایج نشان داد که از اواخر ماه آپریل با افزایش دمای سطح دریا بر روی اقیانوس هند، بر روی محدوده ایران مقادیر شاخص OLR با کاهش شدید همراه شده است. این کاهش به گونه ای بوده که از مقدار ۲۷۵ وات بر متر مربع به ۲۳۵ وات بر متر مربع کاهش یافته است. در همین راستا دمای سطح دریا از ۲۱ درجه سلسیوس به ۲۹ درجه سلسیوس رسیده است. مقادیر امگا نیز از صفر در ماه آپریل به -0.04 کاهش یافته است. مشاهده می شود که ارتباط بالایی بین تغییرات دمای سطح دریا در اقیانوس هند و بواسطه آن تغییر در گردش جو منطقه حاره (MJO) سبب دگرگونی در جریانات جوی بر روی ایران شده است (شکل ۱۲).

در شکل ۱۳ الف مشاهده شد که با افزایش دمای سطح دریا در محدوده IOD همبستگی منفی در اغلب مناطق خاورمیانه و به خصوص ایران با شاخص OLR

جنوب غرب و غرب حاصل واداشت های جوی-
اقیانوسی در منطقه حاره می باشند.

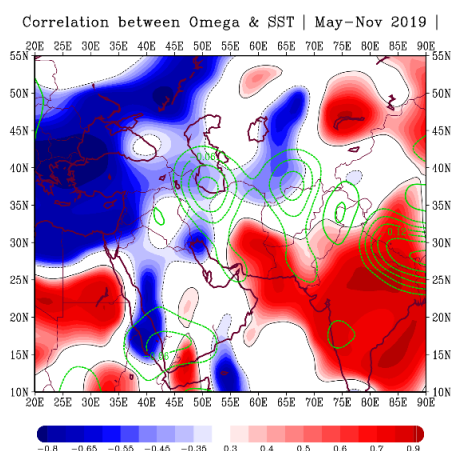


ب

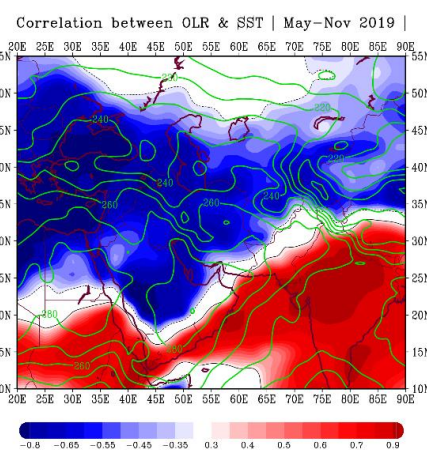


الف

شکل ۱۲. نمودار هافمولر بین دمای سطح دریا در محدوده IOD (خط قرمز دمای سطح دریا) و کمیت های OLR (خط آبی) و Omega (خط سبز امگا) بر روی ایران-مناطق حاشور خورده محدوده IOD بی هنجار است. الف: نمودار ترکیبی دمای سطح دریا منطقه IOD و OLR ایران؛ ب: نمودار ترکیبی دمای سطح دریا منطقه IOD و Omega ایران



ب



الف

شکل ۱۳. نقشه همبستگی بین الف) SST (سلسیوس) و شاخص OLR (وات بر متر مربع) و ب) مقادیر امگا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (پاسکال بر ثانیه) و OLR SST برای بازه زمانی می تا نوامبر ۲۰۱۹

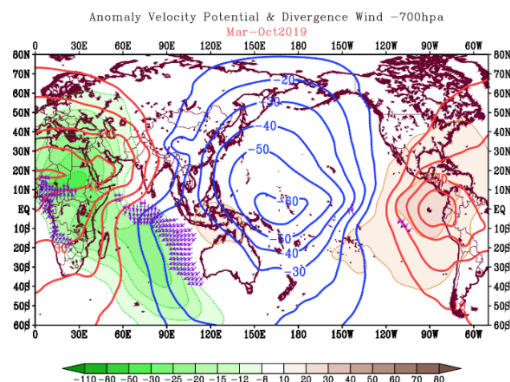
سرعت و باد واگرا و مقادیر بی هنجاری های این دو
کمیت استفاده گردد تا به تبیین سازوکار دینامیکی
گردش جو بزرگ مقیاس و منطقه ای پرداخته شود. نتایج
نشان داد که در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هسته همگرایی
جرم قوی در جنوب شرق آسیا بوجود آمده که تا شمال

۴- تغییرات پتانسیل سرعت و بادواگرا

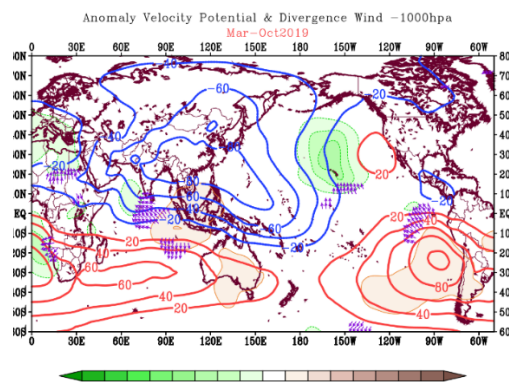
بررسی های دینامیکی سعی دارد تا برهم کنش
گردش بزرگ مقیاس و نحوه اثرگذاری واداشت های
مختلف بر روی گردش بزرگ مقیاس جو را تبیین نماید.
در همین راستا سعی شد برای اینکه از کمیت های پتانسیل

است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این بی‌هنجاری منفی بر روی سواحل شرقی آفریقا بوده و اغلب مناطق خاورمیانه را نیز در بر گرفته است. بررسی‌ها حاکی از همگرایی‌های قوی بر روی آفریقا، خاورمیانه و ایران در بازه زمانی می تا نوامبر ۲۰۱۹ بوده که همرفت‌های شدید و عمیقی را در مناطق یاد شده در پی داشته است. اما وضعیت در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که بی‌هنجاری مثبتی بر روی آفریقا و جنوب غرب آسیا به‌وجود آمده که نشان از واگرایی جرم به واسطه جریانات بالاسو در منطقه بوده و شار حاصل از این واگرایی جرم در شرق اقیانوس هند و غرب استرالیا شارش نموده است (شکل ۱۴).

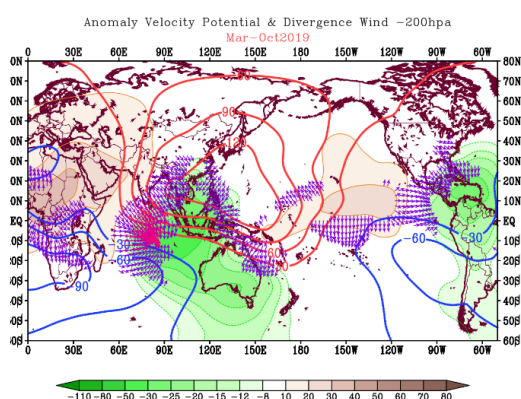
آفریقا ادامه دارد. از طرفی در نیمکره جنوبی بر روی جنوب اقیانوس آرام و اقیانوس هند واگرایی جرم صورت پذیرفته است. در این تراز مشاهده شد که بر روی قسمت‌هایی از آفریقا بی‌هنجاری منفی در پتانسیل سرعت به‌وجود آمده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ۳ سلول بر روی آفریقا، جنوب شرق آسیا و آمریکای جنوبی به‌وجود آمده که به ترتیب واگرایی، همگرایی و واگرایی جرم را نشان می‌دهند اما بی‌هنجاری منفی در آفریقا برای پتانسیل سرعت به‌وجود آمده که کاهش شدید این کمیت را نسبت به میانگین بلندمدت خود نشان می‌دهد. این بی‌هنجاری منفی تا نیمه غربی ایران نیز گسترش یافته



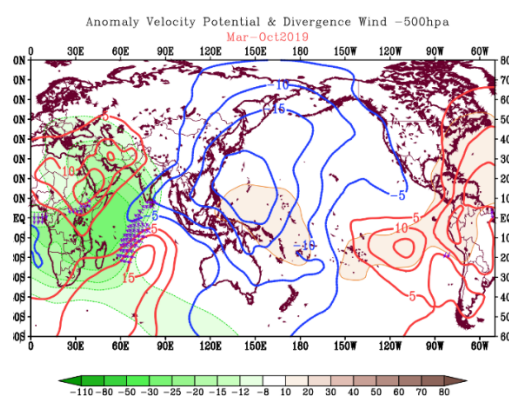
ب



الف



د



ج

شکل ۱۴. نقشه‌های پتانسیل سرعت (مقادیر رنگی) و باد واگرا (بردارها) برای ترازهای ۱۰۰۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال (متوسط گیری شده بین مارس تا اکتبر ۲۰۱۹). خطوط مقدار متوسط پتانسیل سرعت برای دوره می تا نوامبر ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد؛ الف: پتانسیل سرعت و باد واگرا و بی‌هنجاری آن برای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال؛ ب: پتانسیل سرعت و باد واگرا و بی‌هنجاری آن برای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال؛ ج: پتانسیل سرعت و باد واگرا و بی‌هنجاری آن برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ د: پتانسیل سرعت و باد واگرا و بی‌هنجاری آن برای تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از اثر نوسان دو قطبی هند بر روی شدت نوسان مادن-جولیان در ارتباط با گردش جو ایران و خاورمیانه نشان داد که در طی بازه زمانی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ شدیدترین و قوی ترین IOD در سال ۲۰۱۹ به وقوع پیوسته که بی‌هنجاری در دمای سطح اقیانوس هند به شدت نسبت به میانگین بلندمدت خود دستخوش تغییرات شده است. رخداد این بی‌هنجاری که بین ماه‌های می تا نوامبر بوده سبب شده تا بی‌هنجاری بزرگی در گردش جو در منطقه حاره و برون حاره بوقوع پیوندد. طی این دوره در نیمکره شمالی در محدوده شرق آفریقا تا شرق آسیا دمای سطح دریا نسبت به میانگین بلندمدت خود در برخی ماه‌ها شیب تغییرات بی‌هنجاری دما در راستای مدارات ۰ تا ۵ درجه شمالی به بیش از ۵ درجه سلسیوس رسیده است. با افزایش دما سطح دریا مقدار شار انرژی وارد شده به جو افزایش یافته و طی آن گرمای نهان تبخیر افزایش شدید داشته و سبب شده تا پدیده فعال در منطقه (MJO) با افزایش فعالیت خود در اقیانوس هند و آفریقا همراه گردد. استمرار این وضعیت باعث شده تا نوسان مادن-جولیان در فازهای ۷ تا ۳ با تقویت همرفت های عمیق همراه گردد و این شرایط سبب ابرناکی و بارش‌های مستمر در اغلب مناطق ساحلی آفریقا، هند و جنوب آسیا گردد. بیشینه ارتباط بی‌هنجاری دمای سطح دریا در اقیانوس هند حاکی از آن بوده که با افزایش دمای سطح دریا مقادیر امگا کاهش یافته و به تقویت جریانات بالاسو منتج شده است. وجود ارتباط مستقیم و قوی بین دمای سطح دریا با شاخص امگا و OLR نشان داد برای بررسی ارتباط بین بی‌هنجاری جوی-اقیانوسی می‌توان شاخص IOD را به عنوان پیش بین رفتارهای جوی در منطقه حاره در محدوده اقیانوس هند دانست. از سویی نتایج نشان از آن داشت که بر روی ایران و خاورمیانه تغییرات IOD سبب شده تا با افزایش جریانات بالاسو به

واسطه تقویت سامانه های ناپایدار همراه شود. این جریانات ناپایدار اغلب در مرکز خاورمیانه بوده و با سامانه های ناپایدار و عمیق بر روی عراق و شمال عربستان شرایط برای صعود دینامیکی بسته هوا و با جنوبی شدن جریانات در ترازهای زیرین شرایط را برای رخداد بارش در ایران فراهم نماید. این بی‌هنجاری در دمای سطح اقیانوس هند به قدری شدید بوده که با وقوع این وضعیت با کاهش شدید طول موج بلند تابشی در منطقه همراه شده که اغلب مناطق خاورمیانه را متاثر ساخته است. گردش دینامیکی جو منطقه ای گویای این امر بوده که با افزایش دمای سطح دریا در غرب اقیانوس هند یک چاه انرژی در ترازهای زیرین تا تراز میانی و ردسپهر در آفریقا و خاورمیانه صورت پذیرفته که شارش جرم از جنوب اقیانوس هند و غرب آفریقا را در پی داشته و سبب شده تا یک سیستم همرفتی بسیار قوی را در مناطق یاد شده بوجود آورد. با حاکمیت این وضعیت شار انرژی نهان در منطقه از آب های گرم اقیانوس هند به داخل خشکی فراهم شده و سبب تقویت سیستم همرفتی که MJO نیز بخش اعظمی از آن را تشکیل می دهد، شده است. اومنهور و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که گردش جو اقیانوس هند مستقیماً از دمای سطح اقیانوس هند متاثر است. این تاثیرگذاری با افزایش و کاهش گرمای نهان بر روی موسمی و MJO تاثیرگذار است. در تحقیق حاضر نیز به این نتیجه اشاره شد. از سویی یاماگاتا و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که محرک اصلی سامانه جوی در اقیانوس هند شاخص IOD بوده که به مانند چرخه انسو که از پدیده النینو/لانینا تاثیر می پذیرد، می تواند شاخصی مهم برای پیش بینی رفتار جریانات جوی باشد.

- Krishnamurti, T. N., (1971). Tropical east-west circulations during the northern summer. *Journal of Atmospheric Science*, 28, 1342-1347.
- Krishnamurti, T. N., Kanamitsu M., Koss W. J. & Lee J. D., (1973). Tropical east-west circulations during the northern winter. *Journal of Atmospheric Science*, 30, 780-787.
- Li, G., Xie, S. P., & Du, Y. (2015). Monsoon-induced biases of climate models over the tropical Indian Ocean. *Journal of Climate*, 28(8), 3058-3072.
- Lu, B., & Ren, H. L. (2020). What caused the extreme Indian Ocean Dipole event in 2019?. *Geophysical Research Letters*, 47(11), e2020GL087768.
- Madden, R. A. & P. R. Julian (1971). Detection of a 40–50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *Journal of Atmospheric Science*, 28, 702–708.
- Madden, R. A. & P. R. Julian (1972). Description of global scale circulation cells in the Tropics with a 40–50 day period. *Journal of Atmospheric Science*, 29, 1109–1123.
- Pohl, B., & Matthews, A. J. (2007). Observed changes in the lifetime and amplitude of the Madden–Julian oscillation associated with interannual ENSO sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 20(11), 2659-2674.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751), 360-363.
- Shinoda, T., & W. Han (2005). Influence of the Indian Ocean Dipole on atmospheric subseasonal variability, *Journal of Climate*, 18, 3891–3909.
<https://doi.org/10.1175/JCLI3510.1>
- Sooraj, K. P., D. Kim, J. S. Kug, S. W. Yeh, F. F. Jin, & I. S. Kang (2009). Effects of low-frequency zonal wind variation on high frequency atmospheric variability over the tropics, *Climate Dynamic*, 33, 495–507.
<https://doi.org/10.1007/s00382-008-0483-6>
- Ummenhofer, C. C., Taschetto, A. S., Izumo, T., & Luo, J. J. (2024). Chapter 7: Impacts of the Indian Ocean on regional and global climate. In C. C. Ummenhofer, & R. R. Hood (Eds.), *The Indian Ocean and its role in the global climate system* (pp. 145–168). Amsterdam: Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822698-8.00018-4>
- Wyrtki, K. (1975). El Niño—the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *Journal of Physical Oceanography*, 5(4), 572-584.
- Webster, P. J., A. M. Moore, J. P. Loschnigg, & R. R. Leben (1999). Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997–98. *Nature*, 401, 356–359.
- Wilson, E. A., Gordon, A. L., & Kim, D. (2013). Observations of the Madden Julian oscillation during
- جهانبخش، س.، ساری صراف، ب.، قائمی، ه. و پوراصغر، ف. (۱۳۹۰). بررسی تاثیر پدیده دو قطبی دمای اقیانوس هند بر تغییرپذیری بارش های فصلی استان های جنوبی کشور. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۶(۴)، ۲۷–۴۶.
- نظری رادثانی، م.؛ وطن پرست، ف.؛ ناظم السادات، م.؛ صلاحی، ب. (۱۴۰۰). اثرهای رویدادهای خالص و ترکیبی پدیده های ENSO و IOD بر نوسان های بارش پاییزه در شمال باختری ایران. *نشریه هواشناسی و علوم جو*. ۴(۳)، ۱۹۳–۲۰۹.
- محمدپور، ک.؛ حجازی زاده، ز.؛ سلیقه، م.؛ قائمی، ه. (۱۴۰۲). واکاوی بی هنجاری بارش های ایران تحت تأثیر نوسان مادن–جولیان طی دوره (۲۰۲۰–۱۹۸۰). *پژوهش های اقلیم شناسی*، ۵۵، ۱–۱۴.
- Annamalai, H., Murtugudde, R., Potemra, J., Xie, S. P., Liu, P., & Wang, B. (2003). Coupled dynamics over the Indian Ocean: Spring initiation of the zonal mode. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(12-13), 2305-2330.
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly weather review*, 97(3), 163-172.
- Cai, W., Sullivan, A., Cowan, T., Ribbe, J., & Shi, G. (2011). Simulation of the Indian Ocean Dipole: A relevant criterion for selecting models for climate projections. *Geophysical Research Letters*, 38(3).
- Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Weller, E., Wu, L., Ashok, K., ... & Yamagata, T. (2014). Increased frequency of extreme Indian Ocean Dipole events due to greenhouse warming. *Nature*, 510(7504), 254-258.
- Endo, S., & Tozuka, T. (2016). Two flavors of the Indian Ocean dipole. *Climate Dynamics*, 46, 3371-3385.
- Holton, J. R., (1972). An Introduction to Dynamic Meteorology. *Academic Press*, 319pp.
- Hood, R. R., Kohler, K. E., McCreary, J. P., & Smith, S. L. (2003). A four-dimensional validation of a coupled physical–biological model of the Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(22–26), 2917–2945.
- Hendon, H. H., M. C. Wheeler, & C. Zhang (2007). Seasonal dependence of the MJO-ENSO relationship. *Journal of Climate*, 20, 531–543.
<https://doi.org/10.1175/JCLI4003.1>

“Dipoles, temperature gradients, and tropical climate anomalies”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(10), 1418-1422.

Yamagata, T., Behera, S.K., Luo, J.-J., Masson, S., Jury, M.R. & Rao, S.A. (2004). Coupled Ocean-Atmosphere Variability in the Tropical Indian Ocean. In *Earth's Climate* (eds C. Wang, S.P. Xie and J.A. Carton). <https://doi.org/10.1029/147GM12>

Zhang, C. (2005), Madden Julian Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 43, RG2003. <https://doi.org/10.1029/2004RG000158>

Kessler, W. S., M. J. McPhaden, & K. M. Weikmann (1995). Forcing of Kelvin waves in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research*. 100(C6) 10613–10631. <https://doi.org/10.1029/95JC00382>

Zhang, C., & Gottschalk J. (2002). SST anomalies of ENSO and the Madden-Julian oscillation in the equatorial Pacific. *Journal of Climate*, 15, 2429–2445.

Zhang, L. Y., Du, Y., Cai, W., Chen, Z., Tozuka, T., & Yu, J. Y. (2020). Triggering the Indian Ocean Dipole from the southern hemisphere. *Geophysical Research Letters*, 47(15), e2020GL088648.

Zhang, Y., Li, J., Zhao, S., Zheng, F., Feng, J., Li, Y., & Xu, Y. (2020) b. Indian Ocean tripole mode and its associated atmospheric and oceanic processes. *Climate Dynamics*, 55, 1367-1383.

Indian Ocean dipole events. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(6), 2588-2599.

Wheeler, M. C., & Hendon, H. H. (2004). An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Monthly weather review*. 132(8), 1917-1932.

Xie, S. P. (1998). Ocean-atmosphere interaction in the making of the Walker circulation and equatorial cold tongue. *Journal of climate*. 11(2), 189-201.

Xiao, Y., Tan, X., & Tang, Y. (2024). Definition of springtime easterly wind bursts in the Indian Ocean and their roles in triggering positive IOD events. *Environmental Research Communications*, 6(3), 031005.

XIE, S. P., & Philander, S. G. H. (1994). A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific. *Tellus A*, 46(4), 340-350.

Yamagata, T., Behera, S., Doi, T., Luo, J.-J., Morioka, Y., & Tozuka, T. (2024). Chapter 5: Climate phenomena of the Indian Ocean. In C. C. Ummenhofer, & R. R. Hood (Eds.), *The Indian Ocean and its role in the global climate system* (pp. 103–119). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822698-8.00009-3>

Yamagata, T., Behera, S. K., Rao, S. A., Guan, Z., Ashok, K., & Saji, H. N. (2003). Comments on

The effect of the Indian Dipolar Oscillation on the intensity of the Madden-Julian Oscillation in relation to the atmospheric circulation of Iran and the Middle East.

Hassan Haji Mohamadi^{*1}, Faramarz Khoshakhlagh²

¹ Ph.D. Climatology Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: Hassan.mohamadi7@ut.ac.ir

Received: 5 July 2025, Accepted: 21 June 2026

ABSTRACT

Teleconnections can influence the occurrence of abnormal weather conditions in the activity area and neighboring areas by influencing each other. In this regard, and in order to investigate the effect of the Indian Dipolar Oscillation on the intensity of the Madden-Julian oscillation in relation to Iranian precipitation, the gridded data of the National Center for Environmental Prediction/Atmospheric Sciences (NCEP/NCAR) for the atmosphere-ocean circulation and the RMM data for the intensity of the Madden-Julian index between 1991 and 2020 were used. To understand the atmospheric mechanism, dynamical quantities of potential velocity and divergent wind were used. The results showed that the strongest IOD occurred in 2019, which lasted from May to November. During this period, the MJO was in phases 7 to 3 in most months, indicating the activity of this system in the Indian Ocean and Africa. As this situation continued, it was observed that the sea surface temperature anomaly reached more than 4 degrees Celsius compared to its long-term average, and on the other hand, a sharp decrease in the OLR index was observed over Africa, India, and South Asia. Correlations showed that the omega index and OLR in the Asian tropics indicated a high and significant relationship between the Indian Ocean surface temperature in the mentioned time period and the representative indices. The results showed that with the increase in the Indian Ocean surface temperature, the amount of omega and long-wave radiation over Iran has been greatly reduced, which has resulted in an increase in upward currents over the Middle East and Iran. The results of the atmospheric dynamic circulation showed that an energy sink has formed in the lower and middle levels of the troposphere over the Middle East and Africa, which has been transport with mass and energy from the South Pacific Ocean and the southern regions of the African continent, which has ultimately increased convective and upward currents in the aforementioned regions and caused a major anomaly in the regional and trans-regional atmospheric circulation.

Keywords: Indian Dipole Index, Madden-Julian Index, Potential Velocity and Divergent Wind, Precipitation, Iran

HOW TO CITE THIS ARTICLE?

Haji Mohamadi. H., & Khoshakhlagh, F. (2026). The effect of the Indian Dipolar Oscillation on the intensity of the Madden-Julian Oscillation in relation to the atmospheric circulation of Iran and the Middle East. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 8(2), 31-48. <https://doi.org/10.22034/jmas.2026.532607.1244>

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

