

واکاوی بی‌هنجاری بارش‌های زمستانه ایران تحت تاثیر نوسان مادن جولیان طی دوره (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

کوروش محمدپور^{۱*}، زهرا حجازی زاده^۲، هوشنگ قائمی^۳، محمد سلیقه^۴

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

۲- استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

۳- استاد گروه هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران.

۴- استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

چکیده

یکی از الگوهای تغییرات بزرگ اقلیمی در مناطق حاره ای دریایی، نوسان مادن- جولیان می باشد که دوره‌های زمانی زیرفصلی ۳۰ تا ۶۰ روزه، مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری را متأثر می سازد. این پدیده تغییرپذیری کمیت‌های مختلف جو و اقیانوس، از قبیل فشار، دمای سطحی و میزان تبخیر از سطح اقیانوس در مناطق حاره را به همراه دارد. در این پژوهش ابتدا داده های روزانه بارش ۴۸ ایستگاه سینوپتیک ۲۰۲۰-۱۹۸۰، از سازمان هواشناسی دریافت و کنترل کیفی در سه سطح صفر و ۱، شامل کنترل کیفی ساختاری، حدود فیزیکی، همبستگی پارامترهای داخل گزارش، رنج اقلیمی، همبستگی زمانی و مکانی، انجام شد. با استفاده از روش ویلر و هندون، دو مولفه اصلی *RMM1* و *RMM2* مورد تحلیل قرار گرفت که بر اساس آن، دامنه دو مولفه فوق به عنوان شاخص اصلی این نوسان در نظر گرفته شد. این شاخص بر مبنای توابع متعامد تجربی میدانهای هواشناختی شامل میانگین باد ترازهای ۱۸۵۰ و ۲۰۰ میلی باری و تابش موج بلند خروجی (*OLR*) بین عرض های ۲۰ درجه جنوبی و ۲۰ درجه شمالی محاسبه شد. در ادامه روزهای فعالیت فازها با توالی ۷ روزه و مولفه بالای ۱، به عنوان مبنای خوشه بندی هر هشت فاز قرار گرفت و با محاسبه بی‌هنجاری هر فاز نسبت به بلند مدت آن در بازه زمانی *DJF* و با عبور داده ها از فیلتر میان گذر ۳۰ تا ۶۰ روزه، پهنه بندی هر فاز در عرض ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول ۴۴ تا ۶۳ شرقی تولید شد. در انتها فازهای ۱،۲،۷،۸ بعنوان فازهای موثر بارش و فازهای ۳،۴،۵،۶ بعنوان فازهای تضعیف کننده بارشهای ایران در پهنه بندی تولید شد بطوریکه هنگام تقویت *MJO* در منطقه شرقی اقیانوس هند (محور اندونزی) تضعیف مقدار بارش و بلعکس در فازهایی که *MJO* در شرق اقیانوس هند رو به تضعیف است، روند گسترش بارش در ایران رخ می‌دهد. همچنین در نتایج آزمون‌های آماری نیز، بسامد دوران‌های خشک و تر به ترتیب با رخدادهای فاز مثبت و منفی *MJO* همبستگی نشان داد.

کلید واژه‌ها: نوسان مادن- جولیان، تابش موج بلند، دورپیوند، توابع متعامد، بی‌هنجاری بارش.

مقدمه

از بین بردن شکاف بین مقیاس‌های مکانی-زمانی و آب و هوایی و شناخت عمیق سامانه‌های سیاره‌ای همواره چالش مهمی است که جامعه اقلیم‌شناسی و هواشناسی با آن روبرو است. دکتر رولاند مدن و دکتر پل جولیان از مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا (NCAR)، در سال ۱۹۷۱ با مطالعه الگوهای باد و فشار متوجه تغییرات نوسانی در فشار سطحی و میدان باد در ترازهای مختلف شدند. این دو محقق با بررسی داده‌های فشار سطح زمین و مولفه مداری میدان باد از لایه‌های مختلف جو در ایستگاه جزیره کانتون به وجود یک نوسان ۶۰-۳۰ روز در تغییرات این شاخصه‌ها پی بردند. آنها نوسانات منظم بادها را بین سنگاپور و جزیره کانتون در غرب اقیانوس آرام مرکزی استوایی مشاهده کردند. نوسان مادن-جولیان (MJO) جزء غالب تغییرات درون فصلی (۳۰ تا ۶۰ روز) در منطقه گرمسیری است. این نوسان شامل الگوهای جفت شده در مقیاس بزرگ در گردش اتمسفر و همرفت عمیق، با سیگنال‌های منسجم می‌باشد که همگی به آرامی به سمت شرق (حدود ۵ متر بر ثانیه) از منطقه اقیانوس هند بسمت اقیانوس آرام منتشر می‌شود. پژوهش‌های متعددی در دهه گذشته در زمینه مطالعه MJO انجام شده است و منصفانه است که بگوییم، MJO همچنان چالشی نافرجام برای درک ما از جو مناطق گرمسیری و توانایی ما برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرپذیری آن است. نوسان مادن-جولین (MJO) از برجسته‌ترین الگوهای گردش عمومی جو در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری بشمار میرود. از زمان کشف آن، نقش حیاتی نوسان مادن-جولیان (MJO) در چرخه هیدرولوژیکی جهانی و تأثیر فوق‌العاده آن بر آب و هوا و تغییرات آب و هوایی به خوبی شناخته شده است. نوسان مادن جولیان همچنین به عنوان منبع اصلی قابل پیش‌بینی برای تغییرپذیری سیستم زمین جهانی در مقیاس‌های زمانی زیر فصلی عمل می‌کند. با این حال، MJO در مدل‌های پیشرفته آب و هوا و پیش‌بینی آب و هوا به‌طور ضعیفی نشان داده می‌شود. علاوه بر این، علیرغم پیشرفت‌هایی که در دهه‌های اخیر انجام شده است، نظریه‌های MJO هنوز در سطح بنیادی با هم اختلاف دارند. مشکلات درک و مدل‌سازی MJO توجه قابل توجهی را از سوی جامعه پژوهشی به خود جلب کرده است. این نوسان نه تنها بر طوفان‌های شدید

و باران‌های استوایی، تأثیر دارد، بلکه بر بی‌هنجاری‌های شدید آب و هوایی در عرض‌های جغرافیایی متوسط تا بالا نیز تأثیر می‌گذارد. بهره‌گیری از این نوسان برای پیش‌بینی‌های جوی بارش‌ها در مقیاس زمانی زیرفصلی منوط به شناخت از ساختار و رفتار آن و هم‌بندهای فرایندهای دینامیکی و فیزیکی مربوط به انتشار و تحول آن اتفاق می‌افتد. واکاوی گسترده‌تر اثبات کرد که این الگو می‌تواند در نقاط فراتر از حاره نیز تأثیرگذار باشد. آن دو این نوسان را ناشی از همرفت در یک بسته گردش مداری بزرگ مقیاس با جهت غرب به شرق در مناطق حاره‌ای ثبت کردند که در لایه‌های ۸۵۰ hpa با هم‌گرایی و در لایه‌های ۲۰۰ hpa با واگرایی همراه می‌شود. آنها این نوسان را بعنوان مهمترین و قدرتمندترین محرک اقلیمی در مناطق گرمسیری با مقیاس زمانی زیر فصلی معرفی کردند. این نوسان اقلیمی می‌تواند باعث تغییرات بزرگ مقیاس مختلف جو- اقیانوس از قبیل SLP، میدان باد، میزان ابرناکی، بارشها، SST، دمای هوا و میزان تبخیر از سطح آب در مناطق گرمسیری باشد. تأثیرات گسترده MJO بر آب و هوای جهانی و تغییرات شدید آب و هوایی اثبات شده است ویلر، لاو و ژانگ (۲۰۱۶)، از جمله شروع و میرایی بادهای موسمی (هندون و همکاران، ۲۰۱۷)، پیدایش و مسیرهای طوفان‌های استوایی (هارتمن، ۲۰۰۰)، فراوانی رویدادهای شدید دما و بارش (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۳)، گردبادها (ژنسنی و همکاران، ۲۰۱۹)، یخ دریای قطبی (هندرسون و همکاران، ۲۰۱۶). MJO همچنین با دیگر حالت‌های برجسته تغییرپذیری آب و هوا، از جمله ال‌نینو/ نوسان جنوبی (تاکایابو و همکاران، ۱۹۹۹) تعامل دارد. همچنین گرمایش دهه اخیر بر روی قطب شمال، می‌تواند تا حدی به افزایش انتقال رطوبت و فرارفت دمای گرم توسط امواج سیاره‌ای راسبی نسبت داده شود که با افزایش فرکانس این نوسان مرتبط است. به دلیل تلاش‌های گسترده در جامعه تحقیقاتی آب و هوا که در بالا ذکر شد، دهه‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های قابل توجهی در جهت بهبود درک و پیش‌بینی MJO بوده‌ایم. استفاده رو به رشد از مدل‌هایی که از ابرکامپیوترها استفاده می‌کنند، تفکیک‌پذیری‌ها یا در قالب ابرپارامترسازی (رانندال و همکاران، ۲۰۰۳) ابزار قدرتمندی برای درک فیزیکی این نوسان ارائه کرد. معیاری برای طرح‌های پارامتری سازی متعارف GCM. به طور خاص، نظریه

آنها در ۳۷ سال (۱۹۷۹-۲۰۱۵) مورد ارزیابی قرار دادند. حبیب اله قائد امینی و فروغ گلکار در پژوهشی با عنوان ارزیابی تأثیر پدیده مان‌جولیان بر رخداد دوران‌های خشک و تر استان خوزستان، وقوع دوران‌های خشک و تر استان خوزستان واقع در جنوب غرب ایران در ماه‌های نوامبر تا آوریل تحت تأثیر نوسان مان‌جولیان مورد ارزیابی قرار دادند. فرهنگ احمدی گیوی، علیرضا محب الحجه، محمد علی نصراصفهان‌ی و شاهین عالم زاده در پژوهشی با عنوان تحلیل دینامیکی-آماري اثر متقابل نوسان اطلس شمالی و نوسان مودن جولیان، با بررسی برهم‌کنش متقابل آنها و با داشتن اطلاعات کافی از هریک، نتیجه گرفتند که می‌توان فاز و شدت دیگری را پیش‌بینی کرد و با بررسی آماری و دینامیکی رخداد‌های NAO و MJO بحرانی زمستان نیمکره شمالی در دوره ۳۷ ساله (۱۹۷۴-۲۰۱۱)، رابطه قابل‌توجهی بین این دو پدیده را نشان دادند. عباس رنجبر و معصومه سوری در مقاله ای با عنوان مطالعه بی‌هنجاری گردشهای جوی همراه شده با فعالیت نوسان مان-جولین و بارش زمستانه ایران، بی‌هنجاری الگوهای جوی همراه شده با فازهای مختلف شاخص همرفت حاره‌ای (MJO) و بارش رخ داده در هر کدام از الگوها بررسی شده است. مقالات خارجی عموماً در خصوص فعالیت های سیاره ای نوسان مان‌جولیان در فازهای مختلف انجام گرفته است بطور نمونه ماتیو بارلو و همکاران در پژوهشی با عنوان تعدیل بارش روزانه بر روی جنوب غربی آسیا توسط نوسان مان‌جولیان، با تجزیه و تحلیل بارشهای روزانه نشان دادند که بارش زمستانه نوامبر تا آوریل جنوب غربی آسیا توسط مان‌جولیان در فاز شرق اقیانوس هند تعدیل می شود. این پژوهش با استفاده از داده های تابش موج بلند خروجی روزانه OLR برای سالهای ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۱ و داده های ۱۳ ایستگاه در افغانستان گزارش شده است. در پژوهشی دیگر با عنوان برهم‌کنش درون فصلی نوسان مان‌جولیان و نوسان آتلانتیک شمالی که توسط کریستف کاسو انجام شده است شواهدی ارائه می دهد که نوسان درون فصلی در مناطق استوایی - نوسان مان‌جولیان در بارشهای زمستانی با نوسان آتلانتیک شمالی ارتباط دارد و این دورپیوند یکدیگر را کنترل می کنند. در پژوهشی با اهمیت با عنوان پیش بینی نوسان مان‌جولیان توسط مدل جدید ابر رایانه ای که توسط توموکی میاکاوا و همکاران انجام شده است، مدلی جدید

حالت رطوبت (آدامز و کیم، ۲۰۱۶؛ نلین و یو، ۱۹۹۴؛ ریموند و فوکس، ۲۰۰۹؛ سوبل و مالونی، ۲۰۱۳) بینش های مهمی را در مورد فرآیندهای کلیدی تنظیم کننده تنوع MJO در مشاهدات و شبیه سازی های آب و هوای فعلی و آینده ارائه کرده است (آدامز و همکاران، ۲۰۱۷). مدل سازی نظری آشفتگی های مقیاس بزرگ در مناطق استوایی با ماتسونو (۱۹۶۶) آغاز شد، که یک مدل تحلیلی آب کم عمق برای جو آدیاباتیک ایجاد کرد، یعنی بدون جفت همرفتی. تنها حالت هایی که به سمت شرق منتشر می شوند، حالت کلونین، حالت های گرانشی مرتبه بالاتر، و شاخه به سمت شرق حالت مخلوط راسی-گرانشی در جزء ضد متقارن OLR هستند. از آنجایی که MJO مقیاس و ساختار متفاوتی با حالت کلونین دارد، به نظر می رسد که در یک جو خشک معادلی ندارد. این بدان معناست که MJO تنها زمانی می تواند وجود داشته باشد که همرفت مرطوب وجود داشته باشد. بنابراین این نوسان باید یک حالت جفت شده همرفتی باشد که بیشترین ناپایداری را برای بزرگترین طول موجها داشته باشد و باید به سمت شرق منتشر شود (کری و امانوئل، ۲۰۲۲). این ممکن است ساده به نظر برسد، اما پنج دهه تحقیق نشان داده که این شرایط دشوار است. در خصوص اثرات فازهای مختلف نوسان مان‌جولیان بروی ایران بشکل نقطه ای یا استانی کارهای متنوعی انجام گرفته است و نظرات گهگاه بصورت متناقض در خصوص این اثرات ارائه شده است و اولین نقص نگاه محدود پژوهش هاست و عدم ارائه الگوی پهنه بندی مشخص در کل کشور. غالباً بروی یک پدیده در یک یا دو استان کار شده است. در اینجا به برخی از پژوهش های انجام شده در این زمینه اشاره می شود. حبیب اله قائدامینی اسدآبادی و سیدمحمدجعفر ناظم السادات در مقاله ای با عنوان بررسی تأثیر نوسانات مان‌جولیان بر بارش های ماه های فوریه تا آوریل در استان فارس، تغییرات بارش ماه های فوریه، مارس و آوریل در ۹ ایستگاه مختلف استان فارس، همزمان با وقوع پدیده MJO مورد بررسی قرار دادند. محمد رهسپاربرومند و سعید مرید در مقاله ای با عنوان تأثیرپذیری مقادیر بارش از فازهای پدیده دورپیوند مان‌جولیان مطالعه موردی حوضه کشکان، تأثیر نوسانهای مان‌جولیان بر بارشهای فصل سرد (دسامبر-می) حوضه آبریز کشکان بر پایه داده های روزانه ۸ ایستگاه اندازه گیری بارش و نمایه نیرومندی بارش (TRI) مربوط به

را از سوی جامعه پژوهشی به خود جلب کرده است. محققان بسیاری ارتباط بین شاخص‌های متنوع آب و هوایی در عرض‌های جنب‌حاره، به ویژه بارش همرفتی ناشی از نوسان مادن جولیون را بررسی کرده‌اند. در همین حال، نقش حیاتی MJO در چرخه هیدرولوژیکی زمین به تدریج توسط مطالعات متعدد پس از کار پیشگام مدن و جولیون شناسایی شده است.

روش‌ها و مواد

در اجرای فرآیند پژوهش اثرات نوسان مادن-جولیون بر بارش‌های ایران در ابتدا داده‌های روزانه بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و میزان ابرناکی از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد، مجموعه داده‌ها بر طبق الگوهای کنترل کیفی WMO، در سه سطح صفر ۲۰۱، شامل کنترل کیفی ساختاری، حدود فیزیکی، همبستگی پارامترهای داخل گزارش، رنج اقلیمی، همبستگی زمانی و مکانی، کنترل کیفی شد. در ادامه، داده‌های خروجی مدل ویلر و هندون در بازه زمانی مذکور از پایگاه داده هواشناسی دولتی استرالیا <http://www.bom.gov.au> دریافت و پردازش شد. شاخص‌های مختلفی برای بررسی این نوسان ارائه شده است. روش اولیه‌ای که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، روش ویلر و هندون بوده که در آن دو مولفه اصلی RMM1 و RMM2 مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند که براساس آن، دامنه دو مولفه فوق به عنوان شاخص اصلی در نظر گرفته شده است. این شاخص بر مبنای توابع متعامد تجربی میدان‌های هواشناختی شامل میانگین باد ترازهای ۸۵۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال و تابش موج بلند خروجی (OLR) بین عرض‌های جغرافیایی ۱۵ درجه جنوبی و ۱۵ درجه شمالی می‌باشند (ویلر و هندن، ۲۰۰۴).

$$\text{Amplitude} = \sqrt{\text{RMM1}^2 + \text{RMM2}^2}$$

در گام بعدی، داده‌های ۴۰ ساله پارامترهای بارش روزانه، دمای بیشینه، دمای کمینه و میزان ابرناکی در هر فاز به روش فازی خوشه‌بندی شده و در نرم افزارهای اکسل و مینی‌تب آماده‌سازی شد. برای بررسی استاندارد فازها و اثرات آن بر منطقه آب و هوایی ایران، داده‌های بلندمدت فازهای نوسان مادن جولیون در مرحله خوشه‌بندی به روش فازی، بصورت توالی ۷ روز و بیش از آن در نظر گرفته شده است که این

برای پیش‌بینی سیاره‌ای نوسان مادن جولیون ارائه شده است که با سرعت بالاتر و هزینه‌ای بسیار کمتر از هزینه‌های مدل‌های مرسوم، رفتار فازهای مختلف نوسان مادن جولیون را پیش‌بینی می‌کند. هیون جولی و کیونگ هوان در پژوهشی با عنوان تاثیر نوسان مادن جولیون بر میزان یخزدگی دریای قطب جنوب، به بررسی فیزیکی این پدیده پرداخته‌اند و گزارش داده‌اند که امواج راسبی ناشی از MJO از طریق جریان‌های شمالی بر فراز غرب اقیانوس هند-آفریقای مرکزی و قاره دریایی به نیمکره جنوبی انتشار می‌یابند. ناهنجاری‌های ناشی از MJO به عرض‌های جغرافیایی بالایی می‌رسند و منجر به تغییر درجه حرارت نصف‌النهار غیرطبیعی می‌شوند و در نهایت نقشی قابل توجه در میزان یخ دریای جنوب خواهند داشت. پژوهش‌های متعدد خارجی پیرامون موضوع نوسان مادن جولیون وجود دارد اما بانگاهی بر پیشینه می‌توان دریافت که عمده پژوهش‌های صورت گرفته که مربوط به ایران می‌شود بشکل محدود و بدون ارائه یک الگوی پهنه‌بندی ناشی از نوسان مادن جولیون در پهنه ایران انجام گرفته است و بطور حتم این پژوهش می‌تواند مکمل خوبی در ادامه راه شناخت اثرات نوسان مادن جولیون بر روی ایران باشد. تأثیر متقابل شارش جو در عرض‌های میانی و نواحی حاره‌ای همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است و مطالعات نیز نشان می‌دهد که همرفت عمیق در نواحی حاره‌ای، شارش جنب‌حاره را به طور مستقیم (هاسکینز و کارولی، ۱۹۸۱) و غیر مستقیم (شوبرت و پارک، ۱۹۹۱) متأثر می‌کند. در این میان، تأثیر نوسان مادن جولیون به عنوان دلیل اصلی تغییرات زیرفصلی بزرگ مقیاسی، در نواحی گرمسیری از اهمیت بالایی بهره‌مند بوده و مطالعات زیادی در این موضوع انجام شده است. نقش حیاتی نوسان مادن-جولیون (MJO) در چرخه هیدرولوژیکی جهانی و تأثیر فوق‌العاده آن بر آب و هوای شدید و تغییرات آب و هوایی به خوبی شناخته شده است. این نوسان همچنین به عنوان منبع اصلی قابل پیش‌بینی برای تغییرپذیری سیستم زمین جهانی در مقیاس‌های زمانی زیر فصلی عمل می‌کند. با این حال، MJO در مدل‌های پیشرفته آب و هوا و پیش‌بینی آب و هوا به‌طور ضعیفی نشان داده می‌شود. علاوه بر این، علیرغم پیشرفت‌هایی که در دهه‌های اخیر انجام شده است، نظریه‌های MJO هنوز در سطح بنیادی با هم اختلاف دارند. مشکلات درک و مدل‌سازی MJO توجه قابل توجهی

شماره ۱ آورده شده است. در این جدول، فاز ۱ که تولد نوسان مادن جولیان محسوب می‌شود، دارای کمینه بسامد و فاز هفت دارای بیشینه بسامد است. در قسمت دوم جدول به تعداد دوره های توالی ۷ روز و بیشتر اشاره دارد که در این میان مجدداً فاز یک کمترین دوره و فاز ۷ بیشترین دوره را به خود اختصاص داده اند.

فیلتر بصورت مجزا اثرات خالص این نوسان را بر منطقه مورد مطالعه نمایان می‌کند. در ادامه فرآیند اعمال پالایه میان گذر، علاوه بر خوشه بندی ۷ روزه، اثرات موازی سایر سامانه های آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه، بسامدهای بیشتر از ۶۰ روز و کمتر از ۳۰ روز، حذف شد. با این شرط، تعداد روزهای مربوط به هر فاز در دوره مطالعه در جدول

فاز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
تعداد	۷۵	۹۵	۱۳۰	۱۲۶	۱۲۵	۱۵۷	۱۷۸	۱۴۰
تعداد	۹	۱۱	۱۶	۱۴	۱۵	۱۹	۲۰	۱۶

شکل ۱- تعداد روزهای فازهای یک تا هشت نوسان مادن جولیان به شرط توالی ۷ روز و بیشتر (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



شکل ۱- پراکندگی ۴۸ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه

استفاده از روش درون یابی IDW نسبت به افزایش تعداد شبکه های پردازشی اقدام شد و رزلوشن نقاط مورد مطالعه افزایش مطلوبی یافت. درون یابی IDW یکی از روش های با اهمیت درون یابی بشمار میرود که هدف آن درون یابی و مشخص در روند داده پردازشی به عمل آمده بوسیله نرم افزار SQL SERVER نسبت به کدنویسی و خوشه بندی ۷ روزه با برآیند بیش از ۱ درجه، در برنامه ریزی پژوهش طراحی شده بود اقدام شد. با این الگو در نهایت خوشه های مورد نظر به روش فازی، که مربوط به بازه های زمانی تاثیرگذاری فازهای هشتم نوسان مادن جولیان در آب و هوای ایران بود، از بانک داده ها استخراج شد و در انتها خروجی این داده ها در نرم افزار مینی تب گردآوری و وارد مراحل آماری شد که داده های ۴۰ ساله پارامترهای بارش روزانه، دمای بیشینه و دمای کمینه و همینطور میزان ابرناکی همراه با OLR مورد تحلیل قرار گرفت. نقشه های بی هنجاری پارامترهای جوی مذکور برای هر یک از فازهای

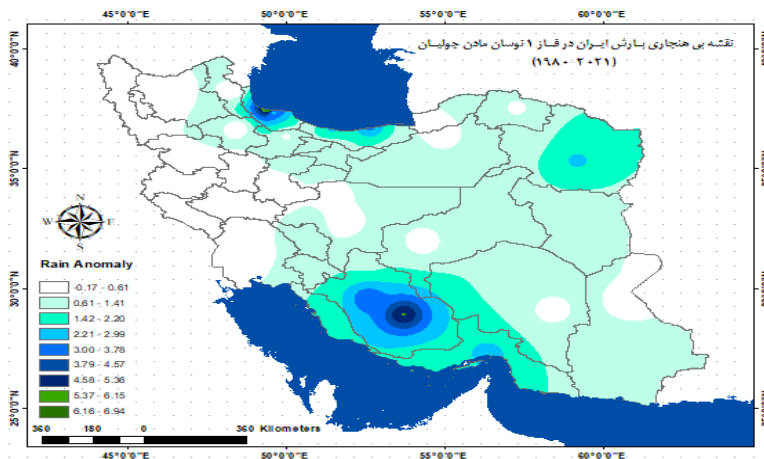
در ادامه جهت تحلیل سینوپتیکی کمیت های هواشناختی مورد مطالعه، نقشه های میدان های فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیلی و باد در سطوح استاندارد فشاری هریک از فازها، از داده های روزانه بازتحلیل جهانی پایگاه داده NCEP/NCAR طی دوره زمستانی دسامبر-ژانویه-فوریه DJF (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰)، از نصف النهار ۲۰ درجه غربی تا ۱۵۰ درجه شرقی و مدار ۲۰ درجه جنوبی تا ۷۰ درجه شمالی استخراج گردید. نقشه های بی هنجاری الگوهای جوی فوق هریک از فازهای هشتم نوسان مادن جولیان (براساس جدول ۱) با کمیت های مورد نظر تهیه شد. داده های بارش روزانه ۴۸ ایستگاه همیدی مربوط به سه ماه دسامبر، ژانویه و فوریه در طول دوره آماری چهل ساله از (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰)، از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. پراکندگی این ایستگاه ها در سطح کشور در شکل ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است با توجه به کمبود تعداد ایستگاهها در سطح کشور و تضعیف کیفیت خروجی گرافیکی پهنه بندی، با

نتایج و بحث

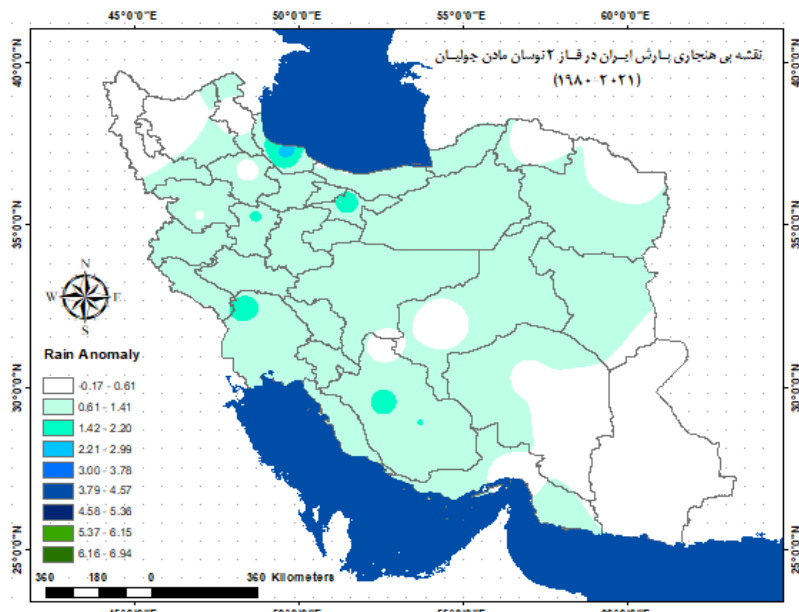
با بررسی‌های انجام شده و خروجی مدل‌ها و در نهایت تولید پهنه بندی‌های مربوط به بی‌هنجاری بارش ایران در فازهای هشتگانه MJO، داده‌های بارش روزانه کشور در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به خروجی نقشه شکل ۲، که بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۱ نوسان مادن جولیان را نشان می‌دهد، پراکندگی بارش‌ها در شرایط فاز یک با نوسان متنوعی به چشم می‌خورد که در این میان سهم بارش و بی‌هنجاری بارش در منطقه جنوب غرب و جنوب ایران مخصوصاً استانهای فارس، هرمزگان، غرب کرمان و بوشهر بیشتر است و به شکل قابل توجهی از دیگر مناطق ایران متمایز شده است. در منطقه سواحل دریای خزر عمده‌ترین دلیل بارشها متفاوت از بارشهای دیگر مناطق ایران است و در این تحلیل بدان پرداخته نمی‌شود.

در شکل ۳ که بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۲ را نمایش می‌دهد، نسبت به فاز یک بارشها تضعیف شده و بشکل یک دست در اغلب مناطق بی‌هنجاری ضعیف تری به چشم می‌خورد. با توجه به برهمکنش نوسان مادن جولیان با نوسان اطلس شمالی، زمان رخداد فازهای منفی در اکثر موارد با تاخیر حدود ۱۰ روزه شاهد بی‌هنجاری کاهش ارتفاع در منطقه اروپای شرقی و مدیترانه و شکل‌گیری بلاکینگ در غرب اروپا خواهیم بود که رخداد بارش‌های نیمه غربی را در پی خواهد داشت. در شکل ۴ که بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۳ نوسان مادن جولیان را نمایان کرده است، به شکل معناداری بارش‌ها را محدود و تقریباً بشکل محلی هستند.

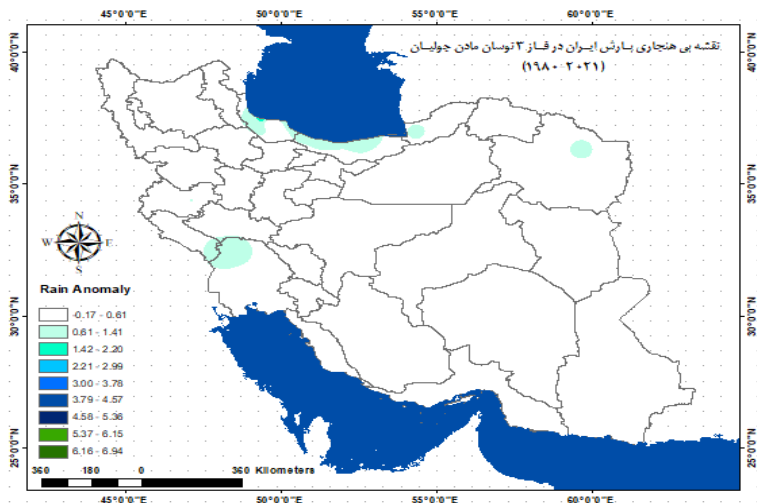
MJO نسبت به میانگین چهل سال محاسبه و نقشه‌های مربوط به هر فاز بصورت جداگانه تهیه شد. در ادامه جهت تحلیل سینوپتیکی شاخص‌های هواشناختی مورد نظر این پژوهش، نقشه‌های SLP، 500hpa و vector wind در ترازهای جوی هریک از فازها، از داده‌های روزانه باز تحلیل جهانی پایگاه داده NCEP/NCAR طی دوره زمستانی ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه مربوط به سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰، برای مدار ۲۰ درجه غربی تا ۱۶۰ درجه شرقی استخراج شد. نقشه‌های بی‌هنجاری الگوهای جوی فوق هر یک از فازهای هشتگانه نوسان مادن جولیان با کمیت‌های مورد نظر تهیه شد. داده‌هایی که در این پژوهش استفاده شده است، با تفکیک فضایی یک درجه مربوط به مولفه‌های میدان باد، ارتفاع ژئوپتانسیلی، فشار سطح دریا، دما و رطوبت مربوط به ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. نقشه‌های میانگین بی‌هنجاری روزانه NCEP-NCAR این شاخص‌ها همزمان با خوشه‌های فازهای هشتگانه و هم‌منظور داده‌های میانگین OLR از بالای جو از ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ با تفکیک فضایی ۲.۵ درجه استخراج و تولید شد. به منظور تاکید بر نقش MJO، این بی‌هنجاریها از یک پالایه میان‌گذر ریاضی ۳۰ تا ۶۰ روزه عبور داده شده‌اند که بسامد‌های بیش از ۶۰ روز و کمتر از ۳۰ روز را حذف کرد. در انتها با استفاده از شاخص ویلرو هندون RMM، که بر اساس آن دوره فعالیت هر رویداد MJO به هشت فاز مختلف تقسیم بندی شده، میانگین این بی‌هنجاری‌ها در هر یک از فازها محاسبه و تحلیل و در نهایت با استفاده از نرم افزار Arc Gis، پهنه بندی شده است.



شکل ۲- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۱ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



شکل ۳- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۲ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



شکل ۴- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۳ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

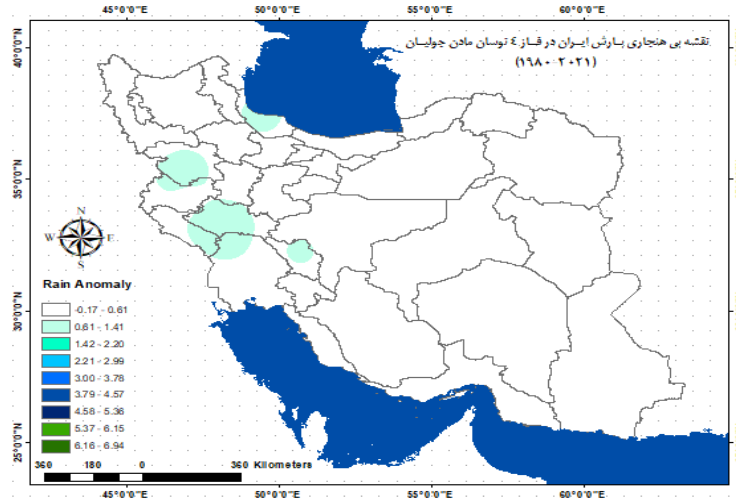
افتاد در ورودی و خروجی جت ایران را متاثر می‌سازد و همین شرایط از دلایل اصلی تاثیر گذار در بارش‌های ایران در زمان رخداد فازهای منفی است. در شکل‌های ۵ و ۶ که فازهای ۴ و ۵ را در ایران نمایش می‌دهد به دلیل قرارگیری منطقه همرفت نوسان ماندن جولیون بر روی اندونزی و وجود همگرایی در سطح ۸۵۰ میلیباری که دلیل مکش بادهای سطحی در آبهای اقیانوس هند به سمت شرق و عدم تزریق رطوبت به آبهای جنوبی ایران، نیز همچنان بی‌هنجاری منفی بارش در سطح کشور ضعیف و بشکل نقطه ای رخ می‌دهد که عواملی که در بالا ذکر شد از عوامل اصلی رخداد عدم

در فاز ۳ بارش قابل توجهی در ایران نداریم و مشخصا با شروع فازهای مثبت نوسان ماندن جولیون که شامل فازهای ۳ و ۴ و ۵ می‌باشد بیهنجاری منفی بارش در ایران متمایز از فاز منفی (۱ و ۲ و ۷ و ۸) است و تغییرات آن نسبت به یکدیگر قابل تامل است. در زمان وقوع فازهای مثبت در تراز ۲۰۰ میلیباری یک پیوستگی بین جت شمال آفریقا و آسیا رخ می‌دهد که ایران را از خروجی جت خارج می‌کند و این شرایط به سرکوب بارشها در زمان فازهای مثبت کمک میکند و میتوان از دلایل اصلی عدم بارش در زمان این فازها باشد و همینطور برعکس در زمان رخداد فازهای منفی، یک گسست بین جت شمال آفریقا و آسیا اتفاق می‌

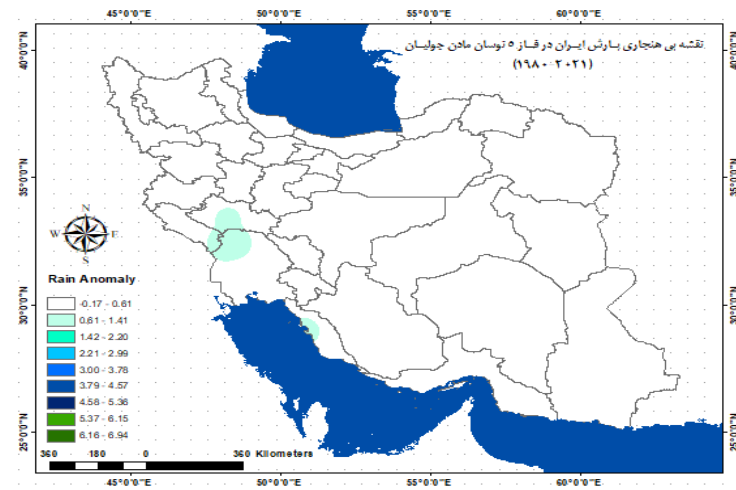
نوسانهای ۳۰ الی ۶۰ روز عبور داده شده و بقیه حذف و یا بی اثر شده‌اند. با توجه به شکل، در فاز ۱ رخداد بی‌هنجاری منفی OLR که معرف ابرناکی است، در مناطقی از مناطق گرمسیری قاره آفریقا و غرب اقیانوس هند رویت می‌شود. بی‌هنجاری مثبت OLR نیز که نشانگر آسمان بی‌ابر است، در دیگر مناطق اقیانوس هند و تقریباً در سراسر اقیانوس آرام دیده می‌شود. در فاز ۲، بی‌هنجاری‌های منفی OLR ضمن تقویت، به سمت شرق حرکت کرده است؛ در حالی که بی‌هنجاری‌های مثبت OLR بر روی اقیانوس آرام ضعیف شده‌اند. در فاز ۳، با وجود آنکه هسته اصلی همرفت در جنوب هند و بخش‌های شرقی اقیانوس هند قرار دارد، یک زیانه آن به صورت ضعیف تا نصف النهار ۲۰° شرقی ورود کرده است. در فاز ۴ از MJO هسته اصلی بی‌هنجاری‌های منفی باز به سمت شرق حرکت کرده و به محدوده قاره دریایی نزدیک شده است. در این قسمت، بی‌هنجاریهای مثبت در غرب اقیانوس هند قوی شده است. نکته حایز اهمیت در فازهای یکم تا سوم آن است که با وجود تقویت و حرکت شرق سوی بی‌هنجاریهای منفی، بی‌هنجاریهای مثبت ضمن تضعیف، تقریباً در غرب اقیانوس آرام و ساکن مانده‌اند. از این رو با نزدیکتر شدن هسته همرفت در این منطقه، گرادیان افقی بی‌هنجاری‌های منفی OLR بیشتر می‌شود که می‌تواند دلیل متراکم شدن بیشتر ابرها و در نتیجه افزایش همرفت و تشدید بارندگی در فاز ۴ باشد به علاوه، انطباق حرکات صعودی در منطقه همرفت قوی با شاخه صعودی چرخه واکر در این فاز نیز منجر به تقویت MJO می‌شود. از فاز ۴ تا فاز ۵، بی‌هنجاری‌های منفی با حرکت شرق سوی خود به غرب آرام نفوذ و همزمان بی‌هنجاری‌های مثبت تقریباً نیمه غربی اقیانوس هند را در برگرفته‌اند اقیانوس در طول فاز ۵ تا فاز ۶، بی‌هنجاریهای منفی به حرکت شرق سوی ادامه داده و به خط زمان می‌رسند. در این مرحله، بی‌هنجاری‌های مثبت در تمامی اقیانوس هند مشاهده می‌شود.

بارش در ایران بشمار می‌رود و فرونشست هوا در اکثر مناطق ایران بعنوان یک تضعیف‌کننده بارش‌های ایران بشمار می‌رود.

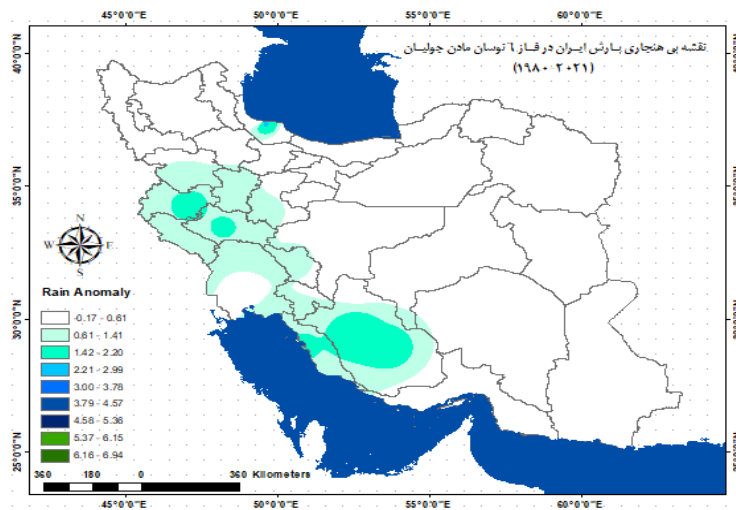
بتدریج با نزدیک شدن منطقه همرفت MJO به قاره دریایی (شکل ۷) که نمایانگر بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۶ نوسان مادن جولیان است، بارش‌هایی در منطقه غرب و جنوب غرب ایران مماس با رشته کوه زاگرس به چشم می‌خورد که استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، خوزستان، لرستان، فارس، بوشهر، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، همدان و مرکزی را به شکل مشخص متاثر ساخته است با توجه به فراوانی روزانه فعالیت نوسان مادن جولیان در فاز ۷، در این فاز شاهد بیشترین تاثیر بارشی در غرب و نیمه جنوبی ایران هستیم. همینطور در در این فاز و فاز ۸ با قرارگیری منطقه همرفت در مناطق مرکزی اقیانوس آرام و وجود شرایط تزریق رطوبت از آب‌های جنوبی ایران و بی‌هنجاری منفی ارتفاع در اروپا، شکل‌گیری بندال‌های غرب اروپا و عمیق شدن تراف‌های شکل‌گرفته مدیترانه، عمده بارشها در نیمه غربی و جنوب ایران رخ می‌دهد. استانهای سیستان و بلوچستان، جنوب کرمان، هرمزگان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، ایلام، لرستان، فارس و بوشهر متاثر از فاز هفتم MJO است که در این میان استانهای هرمزگان و فارس بی‌هنجاری بیشتری نسبت به دیگر استانهای جنوبی دارند. در شکل ۹ که رخداد بارش در فاز ۸ این نوسان را نشان می‌دهد، بی‌هنجاری قوی تری در غرب، جنوب‌غرب و جنوب ایران به چشم می‌خورد که سهم استانهای غرب هرمزگان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، کردستان، کرمانشاه، ایلام، خوزستان، ایلام، لرستان، فارس و بوشهر در این بی‌هنجاری متمایز از دیگر استانهاست. در ادامه بی‌هنجاری‌های تابش موج بلند خروجی (OLR) از بالای جو و میدان باد در سطح ۲۰۰ hpa برای فازهای MJO در شکل ۱۰ نشان داده شده است. برای خلاص شدن نقش MJO با استفاده از پالایه زمانی، فقط پدیده‌ها و



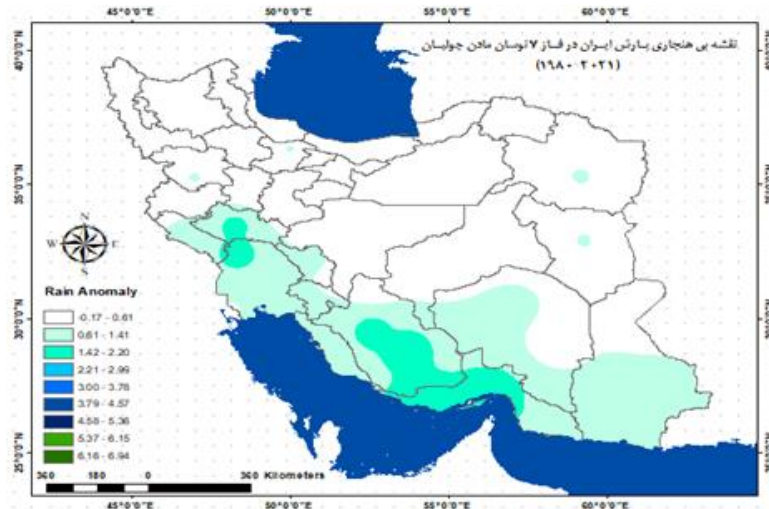
شکل ۵- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۴ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



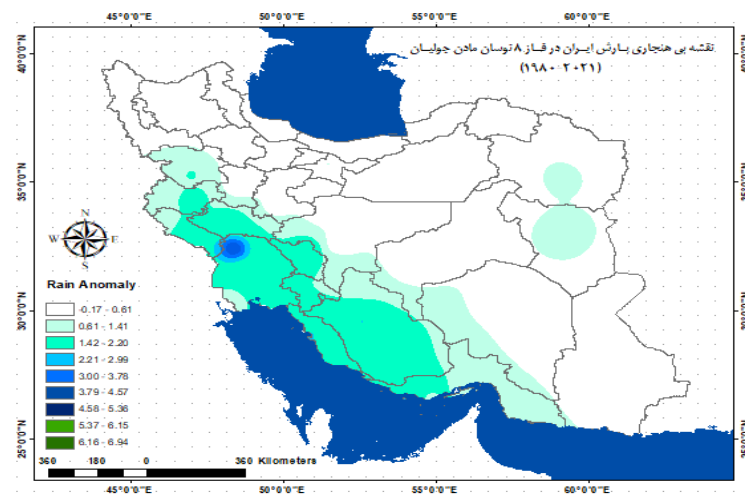
شکل ۶- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۵ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



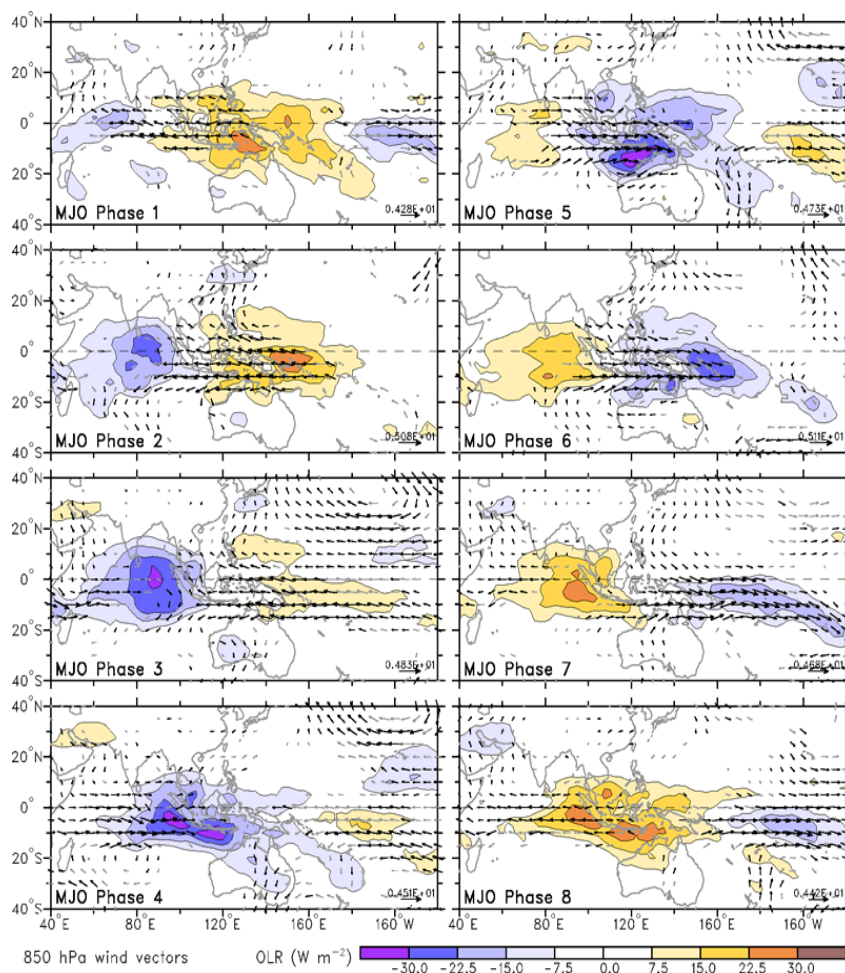
شکل ۷، نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۶ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



شکل ۸- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۷ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



شکل ۹- نقشه بی‌هنجاری بارش ایران در فاز ۸ MJO (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



شکل ۱۰- نقشه بی‌هنجاری OLR و میدان باد در تراز ۲۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در فازهای مختلف MJO در بازه زمانی ۳۰ تا ۶۰ روزه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

بی‌هنجاری‌های مثبت OLR از سمت شرق به داخل ایران نفوذ می‌کند. سپس با ورود هسته همرفت از شرق اقیانوس هند به سواحل اقیانوس آرام، این بی‌هنجاری‌های مثبت نیز بتدریج از شرق کشور خارج شده و بی‌هنجاری‌های و جایگزین آنها می‌شود. هم‌چنین در جلو منطقه همرفت که شامل بی‌هنجاری‌های OLR است، بادها عمدتاً جهت غربی داشته و از این رو به قویتر شدن همگرایی و همرفت کمک می‌کنند. به طور کلی در منطقه‌ای که همرفت قوی است، همگرایی جریان در تراز ۸۵۰ hpa و واگرایی جریان در تراز ۲۰۰ hpa وجود دارد. به علاوه، در منطقه‌ای که بی‌هنجاری OLR مثبت و واگرایی در تراز ۸۵۰ hpa و همگرایی در تراز ۲۰۰ دیده می‌شود (غضنفری لاکه، ابوالقاسم، ۱۳۸۶).

از فاز ۶ تا فاز ۷، بی‌هنجاری‌های مثبت نیمه شرقی اقیانوس هند و قاره دریایی را تحت تاثیر قرار داده است و همین‌طور یک بی‌هنجاری منفی ضعیف نیز در غرب اقیانوس هند مشخص است. در فاز ۸، این پدیده مجدداً مناطق شرقی آفریقا و غرب اقیانوس هند در حال شکل‌گیری است. نکته قابل ذکر دیگر در اما آن است که وقتی هسته اصلی سلول همرفت از شرق اقیانوس هند، خارج شده و وارد بخش‌های غربی اقیانوس آرام می‌گردد. موراکامی (۱۹۸۰) اثبات کرده است که حرکت سلول همرفتی در جهت ورود به نیمکره است که در فصل تابستان (در این شکل نیمکره جنوبی) قرار دارد. نتیجه قابل توجهی که از شکل ۱۰ بدست می‌آید آن است در فازهایی که همرفت در اقیانوس هند رو به تقویت است و در فازهایی که همرفت در شرق اقیانوس هند قوی‌تر است، زبانهای از

نتیجه گیری

کند. (غضنفری لاکه، ابوالقاسم. ۱۳۸۶) بر اساس نتایج حاصل، به نظر می‌رسد اثرات MJO مناطقی از ایران را در بر می‌گیرد که نتیجه برهمکنش بین MJO و سایر گردشهای بزرگ مقیاس جوی بخصوص نوسان اطلس شمالی NAO می‌باشد (نصراصفهانی و همکاران ۱۳۹۳). این نوسان در فازهای ۱ و ۲ و ۷ و ۸ بشکل واضحی در مناطقی از ایران تاثیرگذار است و در فازهای ۳ و ۴ و ۵ و ۶ که بعنوان فازهای مثبت شناخته می‌شوند تاثیر تضعیف‌گرانه داشته و بارشها بشکل محسوسی محدود می‌شود. با توجه به مشکل کمبود آب در کشور و اهمیت برنامه ریزی در این حوزه، آشکاری سازی الگوی پهنه بندی اثرات متنوع این نوسان در کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتایج آزمون‌های آماری، بسامد دوران‌های خشک و تر به ترتیب با رخدادهای فاز مثبت و منفی MJO همبستگی دارد (فاند امینی، اسدآبادی و گاکار ۱۳۸۷). بطوریکه در فاز مثبت، احتمال رخداد خشکسالی و در فاز منفی MJO احتمال رخداد دوره تر محتمل است. امید است تحلیل فازهای مختلف و پهنه بندی های تولید شده این پژوهش چراغ راهی برای برنامه‌ریزی‌های کلان و عمرانی کشور در مسیر آمایش سرزمینی و توسعه پایدار باشد.

منابع

1. Hejazizadeh, Zahra. Karimi, Mustafa. Parviz, Ziaian. Rafati, Samia. 2013. Investigating mesoscale convective systems (MCSs) using brightness temperature images in southwest Iran: Applied research of geographical sciences, 14th year, number 32.
2. Ghaemi, Houshang. Moradi, Mohammad. Mina, Mirian. Karampour, Mustafa. 2019. Understanding the dynamic and thermodynamic patterns of widespread heavy rainfall in Iran in the period of 1960-2010 (a case study of widespread heavy rainfall 05/12/1974): Natural Geography Research Volume 52 Spring 2019 Number 1 (series 111) 95-111.

از بین بردن مرز بین مقیاس های مکانی زمانی و شناخت عمیق تری از سامانه های سیاره ای دورپیوند، همواره بعنوان چالش مهمی است که جامعه علمی با آن روبرو است. به طور حتم، پیشرفت در پیش بینی آب و هوای میان برد و فصلی و درک ما از الگوهای بزرگ مقیاس آب و هوا و شناسایی علل خاص وقوع آن، متکی به شناخت عمیق ما از رفتار الگوهای جوی-اقیانوسی و ارتباط آنها با یکدیگر محقق می‌شود. بر اساس مسیر این پژوهش، بررسی بی‌هنجاریهای بارش های همراه شده با فازهای هشنگانه MJO طی دوره ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ نشان داد که رفتار بارشی هر یک از این فازها با یکدیگر متفاوت است و موقعیت، شدت و گستره تحت تأثیر این بی‌هنجاریها در هر فاز متغیر است. در انتها این پژوهش این نتایج حاصل شد که تأثیر MJO بر روی بارشهای ایران واضح است و با توجه به پالایه اعمال شده در این پژوهش می‌توان با درصد بالایی از اطمینان نتیجه گرفت که این پدیده در غرب اقیانوس هند شکل می‌گیرد و بسوی شرق حرکت می‌کند. بیشترین فعالیت آن بر روی منطقه اندونزی (فاز ۵) است و در میانه های اقیانوس آرام (فاز ۸) تضعیف و بتدریج میرا می‌شود. این نوسان بصورت الاکلنگی عمل می‌کند و اگر محور آن را فاز ۵ یا منطقه اندونزی در نظر بگیریم، در دو سوی آن روند شدت گیری و بعد از آن تضعیف را میتوان دنبال کرد. زمانیکه منطقه همرفت در آنها حرکت میکند قویتر و زمانیکه در خشکی حرکت میکند ضعیف تر و حرکت سریعتری دارد. وجود بی‌هنجاری های قوی و منفی تابش موج بلند خروجی OLR از بالای جو در منطقه همرفت MJO این بی‌هنجاریها عمدتاً به این دلیل است که در منطقه همرفت، ابرهای همرفتی بسیار عظیمی تشکیل می‌شود که قله آنها تا تراز ۲۰۰ میلیباری هم گسترش می‌یابد و تابش موج بلند ضعیفی دارند که در مسیر تصاویر OLR مشهود است. وجود دو سلول چرخندی در تراز ۸۵۰ hpa در دو سوی استوا و در اطراف منطقه همرفت. این دو سلول در منطقه همرفت باعث همگرایی بادهای غربی می‌شود و بادهای شرقی واقع در جلو منطقه همرفت نیز به تقویت این همگرایی کمک می‌

14. Cassou, C., 2008: Intraseasonal interaction between the Madden-Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation: *Nature*, 455, 523–527.
15. Henderson, S. A., Maloney, E. D., and Barnes, E. A., 2016, The Influence of the Madden-Julian Oscillation on Northern Hemisphere Winter Blocking: *Journal of Climate*, 29, 4597–4616.
16. Jones, C., 2000, Occurrence of Extreme Precipitation Events in California and Relationships with the Madden-Julian Oscillation: *Journal of Climate*, 13, 3576–3587.
17. Jones, C., Waliser, D. E., Lau, K. M., and Stern, W., 2004, Global Occurrences of Extreme Precipitation and the Madden-Julian Oscillation: Observations and Predictability: *Journal of Climate*, 17, 4575–4589.
18. Jones, C. and Carvalho, L. M. V., 2010, Spatial Intensity Variations in Extreme Precipitation in the Contiguous United States and the Madden-Julian Oscillation: *Science and Technology Infusion Climate Bulletin*, 211- 214
19. Johnson, N. C., Collins, D. C., Feldstein, S. B., L'HEUREUX, M. L., and Riddle, E. E., 2014, Skillful Wintertime North American Temperature Forecasts out to 4 Weeks Based on the State of ENSO and the MJO: *Weather and Forecasting*, 13, 23-38.
20. Hendon, H. H., and Salby, M. L., 1994, The life cycle of the Madden-Julian Oscillation: *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51, 2225–2237.
21. Kalnay, E., and Coauthors, 1996, The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437–471. Lau, K. M., and Wu, H. T., 2010, Characteristics of precipitation, cloud, and latent heating associated with the Madden-Julian oscillation: *Journal of Climate*, 23, 504–518.
3. Ghazanfari Lakeh, A., AhmadiGivi, F., Mohibalhjah, A., 2006. A case study of humidity and precipitation distribution over the country in the winter of 2016 and its possible relationship with the Madden Julian oscillation.
4. Ranjbarsaadabadi, A. and Suri, M., 1396. Abnormal study Atmospheric circulations associated with Madden-Julian oscillation activity and Iran's winter precipitation, *Earth and Space Physics*, 11(1), 49-65.
5. Qaidamini, H., NazimAl-Sadat, M. J. 2006, investigating the effect of Madden-Julian oscillations on the rainfall from February to April in Fars province. The second Iran water resources conference, winter 85, University of Technology Esfahan.
8. Qaidamini Asadabadi, h. and Golkar, F., 2009, evaluating the effect of the phenomenon Maden Julian (MJO) on the occurrence of dry and wet areas of the province Khuzestan 14th Iran Geophysics Conference, Institute of Geophysics, University of Tehran.
9. Nasrasafhani, M.A., Mohib al-Hajjah, A. and Ahmadi Givi, F., 2016, Effects of different phases of Madden-Julian oscillation on some quantitie
10. Meteorological Wardspehr in Southwest Asia, *Earth and Space Physics*, 43 (3), 552-539.
11. Barlow, M., Cullen, H., and Lyon, B., 2002, Drought in central and southwest Asia: La Nina, the warm pool, and Indian Ocean precipitation: *Journal of Climate.*, 15, 697–700.
12. Barlow, M., Wheeler, M., Lyon, B., and Cullen, H., 2005, Modulation of Daily Precipitation over Southwest Asia by the Madden-Julian Oscillation: *Monthly Weather Review*, 133, 3579-3594.
13. Bond, N. A., and Vecchi, G. A., 2003, The influence of the Madden-Julian oscillation on precipitation in Oregon and Washington: *Weather and Forecasting*, 18, 600-613.

22. Lin, H., Brunet, G., and Derome, J., 2009, An observed connection between the North Atlantic Oscillation and the Madden-Julian oscillation: *Journal of Climate*, 22, 364–380.
23. Lin, H., Brunet, G, Mo R., 2010, Impact of the Madden-Julian Oscillation on wintertime precipitation in Canada: *Monthly Weather Review*, 138,3822–3839
- Madden R. A., and Julian, P. R., 1971, Detection of a 40–50-day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific: *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28, 702–708.
24. Madden R. A., and Julian, P. R., 1972, Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40–50-day period: *Journal of the Atmospheric Sciences*, 29, 1109–1123.