

## تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش در ایران در فازهای مختلف سیگنال اقلیمی مادن - جولیان

نقیسه سیدنژادگل خطمی<sup>۱</sup>، جواد بذرافشان<sup>۲</sup>، آرزونازی قمشلو<sup>۲</sup>، پرویز ایران نژاد<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

<sup>۲</sup> دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

<sup>۳</sup> استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

<sup>۴</sup> دانشیار مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱، تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۱

### چکیده

سیگنال بزرگ مقیاس مادن- جولیان (MJO) یکی از عوامل تأثیرگذار بر رخداد بارش در نواحی حاره‌ای و حتی برون حاره‌ای است. تأثیر این سیگنال بر خصوصیات بارش عموماً در نواحی جنوبی ایران بررسی شده است. هدف این پژوهش، بررسی توزیع مکانی احتمال رخداد بارش در ایران بر اساس فازهای مختلف MJO است. داده‌های مورد استفاده متشکل از شاخص روزانه MJO و بارش روزانه پایگاه داده تحلیل مجدد ERA-Interim در محدوده جغرافیایی ایران با قابلیت تفکیک ۰/۵ درجه در شش ماه سرد سال، نوامبر تا آوریل ۱۹۷۹-۲۰۱۶ می‌باشد. فازهای مثبت و منفی MJO بر مبنای فازهای هشت‌گانه شاخص ویلر و هندون (۲۰۰۴) در نظر گرفته شده‌اند. تحلیل همزمانی وقوع بارش‌ها و فازهای مختلف MJO نشان داد که در فاز منفی MJO، احتمال رخداد بارش متناسب با عرض جغرافیایی از جنوب به شمال کشور کاهش می‌یابد. همه نقاط در محدوده مطالعاتی حداقل ۴۵ درصد بارش خود را در فاز منفی دریافت کرده‌اند. این مقدار در عرض‌های ۲۵ درجه جنوب کشور به حدود ۷۵ درصد می‌رسد. به عکس، احتمال رخداد بارش در فاز مثبت به صورت تقریباً منظم از جنوب به شمال افزایش می‌یابد و همه نقاط محدوده مورد بررسی حداقل ۲۵ درصد بارش خود را در این فاز دریافت کرده‌اند. این مقدار در شمال و به ویژه شمال غرب کشور حداکثر مقدار ۶۰ درصد دارد که نسبت به فاز منفی تقریباً ۲۰ درصد افزایش یافته است. کمترین احتمال بارش در فاز مثبت، مربوط به جنوب کشور و عرض‌های ۲۵ درجه است که احتمال رخداد بارش نسبت به فاز منفی ۵۰ درصد کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: MJO، بارش، احتمال فاز مینا، ایران

پدیده مادن - جولیان (Madden-Julian, MJO) یا نوسانات ۳۰ تا ۶۰ روزه بزرگ‌ترین عنصر تغییرپذیری درون فصلی نواحی حاره‌ای است که توسط مادن و جولیان در سال ۱۹۷۱ شناخته شد. رفتار نوسانی این سیگنال به صورت تشکیل سلول‌های همرفتی بزرگ‌مقیاس و فرونشست همرفت در نواحی حاره‌ای است که در قالب یک موج جوی شرق‌سو از غرب اقیانوس هند به سمت نواحی مرکزی اقیانوس آرام حرکت می‌کند (باند و ویچی، ۲۰۰۳ و نصرافهانی و همکاران، ۱۳۹۶). شاخص‌های مختلفی برای کمی کردن این پدیده ارائه شده است که به مرور زمان تکمیل شده‌اند. به عنوان مثال، شاخص لو و هندون (۲۰۰۰) براساس تحلیل مولفه‌های اصلی داده‌های روزانه OLR در نوار ۳۰ درجه جنوبی تا ۳۰ درجه شمالی و تابع جریان در نوار ۴۵ درجه جنوبی تا ۴۵ درجه شمالی؛ شاخص مالونی و کیل (۲۰۰۲) براساس تحلیل دو مولفه اصلی (Principal Components, PCs) بادهای منطقه‌ای سطح هم‌فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال در عرض‌های جغرافیایی پنج درجه جنوبی تا پنج درجه شمالی و روش ویلر و هندون (۲۰۰۴) با نماد WH2004 که به نوعی تجمیع روش‌های قبل آن است براساس تحلیل مولفه‌های اصلی سه متغیر OLR، بادهای منطقه‌ای در سطوح هم‌فشاری ۲۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال نزدیک استوا (نوار ۱۵ درجه شمالی و جنوبی) بنا شده‌اند. ویلر و هندون (۲۰۰۴) دو مولفه اصلی نخست را انتخاب و RMM1 و RMM2 نامیده‌اند. برآیند این دو  $Amplitude = \sqrt{RMM1^2 + RMM2^2}$  به عنوان شاخص اصلی در نظر گرفته می‌شود. مقدار  $Amplitude$  با عدد یک مقایسه می‌شود؛  $MJO_{Amp \leq 1}$  و  $MJO_{Amp > 1}$ ؛ که به ترتیب نشان دهنده سرکوب یا شدت فعالیت همرفتی مرتبط با MJO است. پدیده MJO در روش WH2004 هشت فاز دارد که فاز یک و دو در نیمه غربی اقیانوس هند، فاز سه و چهار در مرکز و شرق اقیانوس هند، فاز پنج و شش در نواحی غربی اقیانوس آرام، فاز هفت و هشت در نواحی مرکزی اقیانوس آرام به وقوع

می‌پیوندد. اوج همرفت در شبه جزایر اندونزی در فازهای سه و چهار و بیشترین سرکوب همرفت در این منطقه در فاز هشت رخ می‌دهد (نصر اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۶). این پدیده تأثیر دورپیوندی نیز با نواحی برون‌حاره‌ای (Extratropics) دارد (لو و هندون، ۲۰۰۰؛ فرانتی و همکاران، ۱۹۹۹).

پژوهش‌های مختلفی اثر فعالیت MJO را بر پدیده بارش نقاط مختلف جهان در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال، می‌توان به تحقیقات انجام شده در آمریکا (مو و هیگینز، ۱۹۹۸؛ هیگینز و همکاران، ۲۰۰۰؛ جونز، ۲۰۰۰؛ پیگل و همکاران، ۲۰۰۲؛ بوند و ویچی، ۲۰۰۳؛ کاروالو و همکاران، ۲۰۰۴)، آفریقا (وانگ و رو، ۱۹۹۰؛ راندی و فرانک، ۲۰۰۴؛ مانولی و شامن، ۲۰۰۸) و آسیا (بارلو و همکاران، ۲۰۰۵؛ ناظم السادات و قائدامینی، ۲۰۱۰؛ زاویر و همکاران، ۲۰۱۴) اشاره کرد.

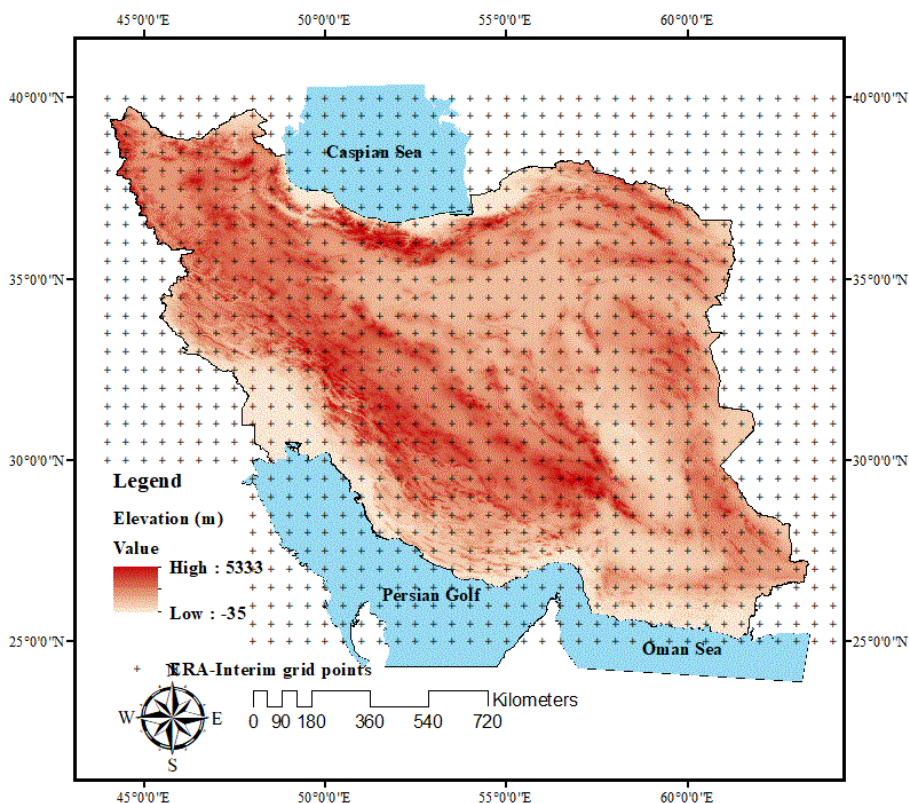
اثر MJO بر جنوب غربی آسیا و به ویژه ایران با شاخص‌های مختلفی مانند ویلر و ویکمن (۲۰۰۱)، مالونی و کیل (۲۰۰۲) و WH2004 بررسی شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که همزمان با سرکوب فعالیت همرفتی در شبه جزایر اندونزی و شرق اقیانوس هند، احتمال رخداد بارش در جنوب غرب آسیا و ایران افزایش می‌یابد و برعکس (جونز و همکاران، ۲۰۰۴؛ قائدامینی و ناظم السادات، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ و ۲۰۱۰ و پوراصغر و همکاران، ۲۰۱۵). به عنوان مثال، جونز و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند تقویت همرفت در غرب اقیانوس آرام و فرونشینی همرفت در منطقه حاره‌ای اقیانوس هند منجر به افزایش ۴۰ درصدی احتمال رخداد بارش فرین در منطقه عربستان تا افغانستان می‌شود. به عکس، وجود همرفت در شرق اقیانوس هند توأم با کاهش احتمال بارش در غرب آسیا است. بارلو و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند مقادیر بارش روزانه در فصل زمستان در فاز مثبت MJO، همزمان با افزایش همرفت در شرق اقیانوس هند، در جنوب غربی آسیا و به ویژه در افغانستان از میانگین روزانه کمتر می‌شود. هم‌چنین، در فاز منفی، همزمان با کاهش فعالیت‌های همرفتی در شرق اقیانوس هند، بارش‌های جنوب غربی آسیا از میانگین دوره بیشتر است.

مورد استفاده آنها WH2004 و دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۷۵ شامل ماه‌های نوامبر تا آوریل است. خلاصه مطالعات انجام شده در خصوص تأثیر MJO بر بارش‌های منطقه مطالعاتی شامل ایران به شرح زیر است: ۱- کاهش فعالیت همرفتی در شرق منطقه حاره‌ای اقیانوس هند عموماً همراه با دوره‌های تر و عکس آن عموماً همراه با دوره‌های خشک در جنوب ایران است. ۲- متغیرهای مورد بررسی در مورد پدیده بارش عموماً رخدادهای فرین، بسامد رخداد دوره‌های تر و خشک و نسبت بارش در فازهای مثبت و منفی است. ۳- نقش خلیج فارس به عنوان افزایش دهنده رطوبت سامانه‌های چرخندی موثر بر رخداد بارش در جنوب کشور در فاز منفی مورد تأکید واقع شده است. ۴- رخداد دوره‌های خشک در جنوب کشور در فازهای مثبت بر اثر وزش باد خشک از عرض‌های شمالی این منطقه دانسته شده است. ۵- شدت شاخص MJO در روش WH2004 بر میزان بارش‌های حدی در فازهای مثبت و منفی اثرگذار است. ۶- مطالعات در مورد تغییرات بارش عموماً در جنوب کشور انجام شده و بررسی بارش تمام نقاط کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش تحلیل آماری تأثیرگذاری MJO بر بارش شبکه نقاط در پهنه کشور مورد توجه قرار گرفته است تا تصویر روشنی از روند هم‌تغییری بارش‌ها با این سیگنال در کشور ارائه شود. لازم به ذکر است نتایج این پژوهش مبنای تحقیقات بعدی نویسندگان این مقاله با رهیافت تحلیل شبکه است. این پژوهش اهداف زیر را دنبال می‌کند: الف: توزیع مکانی احتمال رخداد بارش در فازهای یک الی هشت و در فازهای مثبت و منفی MJO در شبکه نقاط منظم کشور، ب: تأثیر شدت فعالیت MJO بر الگوهای مکانی رخداد بارش در تمام نقاط کشور.

### مواد و روش‌ها

داده‌های روزانه بارش از پایگاه داده تحلیل مجدد ERA-Interim (Reanalysis) از مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (European Centre

قائدامینی و ناظم السادات (۱۳۸۵) فازهای منفی و مثبت روش WH2004 را بر اساس رفتار RMM1 در نظر گرفتند. آن‌ها مشاهده کردند احتمال بارش ماه فوریه و آوریل در بیشتر قسمت‌های استان فارس، همزمان با فاز منفی افزایش و همزمان با فاز مثبت MJO کاهش می‌یابد. قائدامینی و گلکار (۱۳۸۹) بر اساس دو روش مانولی-کیل (۲۰۰۲) و WH2004، بارش ماهانه هشت ایستگاه در استان خوزستان در ماه‌های نوامبر تا آوریل را بررسی و دریافتند که احتمال رخداد دوره تر در فاز منفی MJO، بین ۵۵ تا ۸۰ درصد و احتمال رخداد دوره خشک در فاز مثبت در استان بین ۵۰ تا ۹۰ درصد است. قائدامینی و ناظم السادات (۱۳۹۰) فازهای مثبت و منفی MJO بر اساس مقادیر RMM1 در نظر گرفته و با تحلیل بارش استان‌های فارس و سیستان و بلوچستان در دوره زمانی ۱۹۷۹-۲۰۰۵، دریافتند احتمال رخداد دوره‌های تر در فازهای یک و هشت از همه بیشتر و احتمال رخداد دوره‌های خشک در فاز چهار بیشتر از بقیه فازها است. ناظم السادات و قائدامینی (۲۰۱۰) دریافتند در مناطق جنوب ایران، میزان بارش دریافتی و بسامد دوره‌های تر و خشک در فاز منفی MJO نسبت به فاز مثبت به طور معنی‌داری بیشتر است. فاز منفی همراه با تقویت باد سطحی به این منطقه است که رطوبت قابل توجهی را با خود به همراه می‌آورد و همزمان، حرکت رو به بالا در لایه‌های میانی جو افزایش می‌یابد. نتایج آن‌ها توسط پوراصغر و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی بارش فصلی ۱۸۳ ایستگاه در نیمه جنوبی ایران تأیید شده است. فرارفت رطوبت از خلیج فارس در فازهای یک، دو، هفت و هشت و در مقابل، فرارفت هوای خشک از عرض‌های شمالی این منطقه در فازهای سه الی شش گزارش شده است. همچنین، ناظم السادات و شاهقلیان (۲۰۱۷) مشاهده کردند اکثر بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران، در فازهای یک، دو، هفت و هشت رخ داده است. بارش‌های سنگین در فازهای یک، دو، هفت و هشت مرتبط با دوره‌هایی است که MJO همگام با  $MJO_{Amp>1}$  و در فازهای چهار و پنج، همگام با  $MJO_{Amp\leq 1}$  است. روش



شکل ۱. منطقه مطالعاتی مورد بررسی و موقعیت نقاط شبکه ERA-Interim

پژوهش، از آمارهای استفاده شد که سهم بارش‌های رخ داده در فازهای مختلف MJO را نشان دهد و از طرفی تحت تأثیر مقدار مطلق بارش نیز قرار نگیرد تا مقایسه بارش نقاط مختلف در فازهای مختلف MJO امکان‌پذیر باشد. احتمال بارش فاز مینا یا به عبارتی احتمال رخداد بارش در هر یک از هشت فاز روش WH2004 به صورت سهم بارش رخ داده در هر یک از فازهای هشت‌گانه به کل بارش در دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۷۹ (نوامبر تا آوریل) تعریف شد. این مقدار برای بارش هر نقطه شبکه در فازهای مختلف مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f(P_i, P_T) = \frac{P_i}{P_T}, \quad i = 1, \dots, 8, \quad (1)$$

که  $P_i$  بارش دریافتی در فاز  $i$ -ام و  $P_T$  مقدار کل بارش دریافتی در دوره زمانی مورد بررسی در نقطه مورد نظر از شبکه است.

Range Weather Forecasts, for Medium ECMWF دریافت شده اند و این داده‌ها محدوده ۴۴ تا ۶۴ درجه طول جغرافیایی و ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی (منطقه ایران) را با دقت ۰/۵ درجه پوشش می‌دهند (شکل ۱). این پایگاه داده در تحقیقات اخیر مورد توجه پژوهش‌گران کشور بوده و در مقایسه با اطلاعات مرجع زمینی قابل اعتماد گزارش شده است (رضیعی و ستوده، ۱۳۹۶، علیزاده و همکاران، ۲۰۱۷ و قاسمی و همکاران، ۲۰۱۸). اطلاعات MJO روزانه مورد استفاده نیز، نمایه ارائه شده توسط ویلر و هندون (۲۰۰۴) است. به منظور نرم‌کردن تغییرات روزانه بارش، میانگین بارش در پنجره متحرک هفتگی محاسبه شده است.

پژوهش‌های مختلفی انحراف از میانگین بارش در فازهای مختلف MJO را مورد بررسی قرار داده‌اند (پور اصغر و همکاران، ۲۰۱۵ و رنجبر و سوری، ۱۳۹۶). در این

منتخب،  $P_{Pos}$  احتمال رخداد بارش در فاز مثبت است. ذکر این نکته لازم است که در استخراج احتمالات فقط مساله همزمانی وقوع بارش با فازهای مختلف MJO مطرح است و در عین حال، ممکن است عامل یا عوامل دیگری غیر از MJO بر وقوع بارش تاثیر داشته باشند که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته‌اند.

### نتایج و بحث

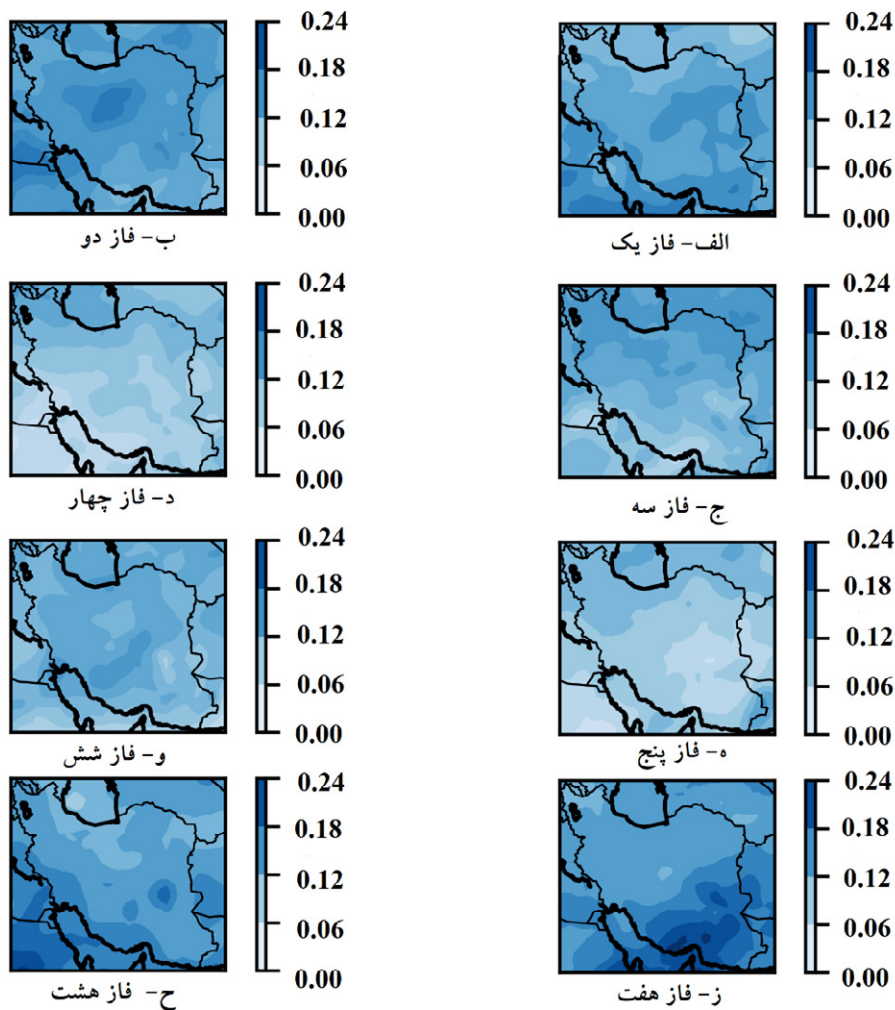
احتمال بارش فاز مبنا برای تمام نقاط شبکه در هر هشت فاز به طور جداگانه (شکل ۲) و فازهای مثبت و منفی (شکل‌های ۳ و ۴) محاسبه شد. همانطور که در شکل

فاز منفی MJO شامل فازهای یک، دو، هفت و هشت و فاز مثبت شامل فازهای سه الی شش MJO است. احتمال بارش فاز مبنا در فازهای مثبت و منفی در روش WH2004 به صورت زیر محاسبه می‌شود:

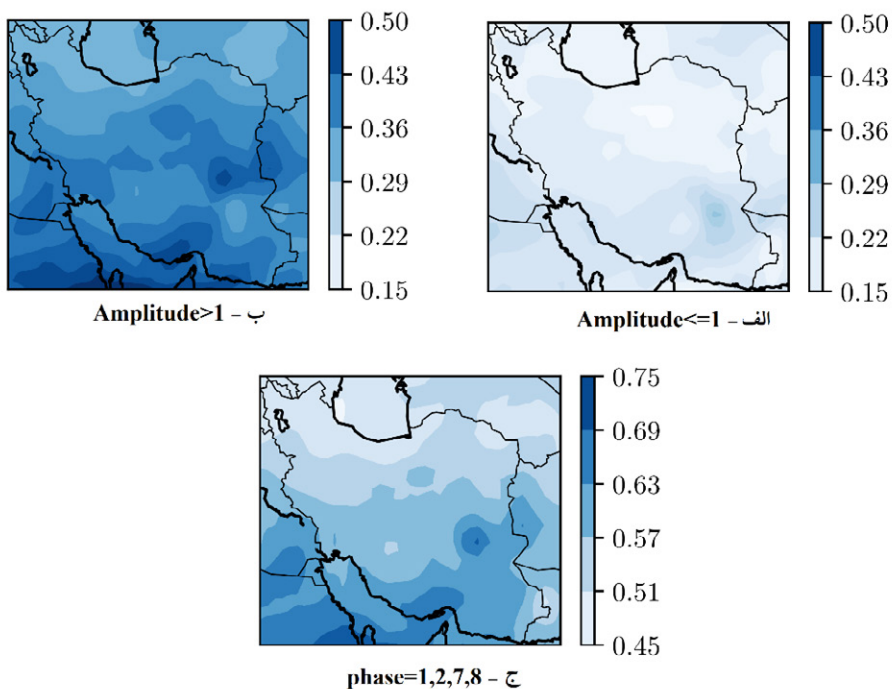
$$f(P_{Neg}, P_T) = \frac{\sum_{i=1,2,7,8} P_i}{P_T}, \quad (2)$$

$$f(P_{Pos}, P_T) = \frac{\sum_{i=3,4,5,6} P_i}{P_T}, \quad (3)$$

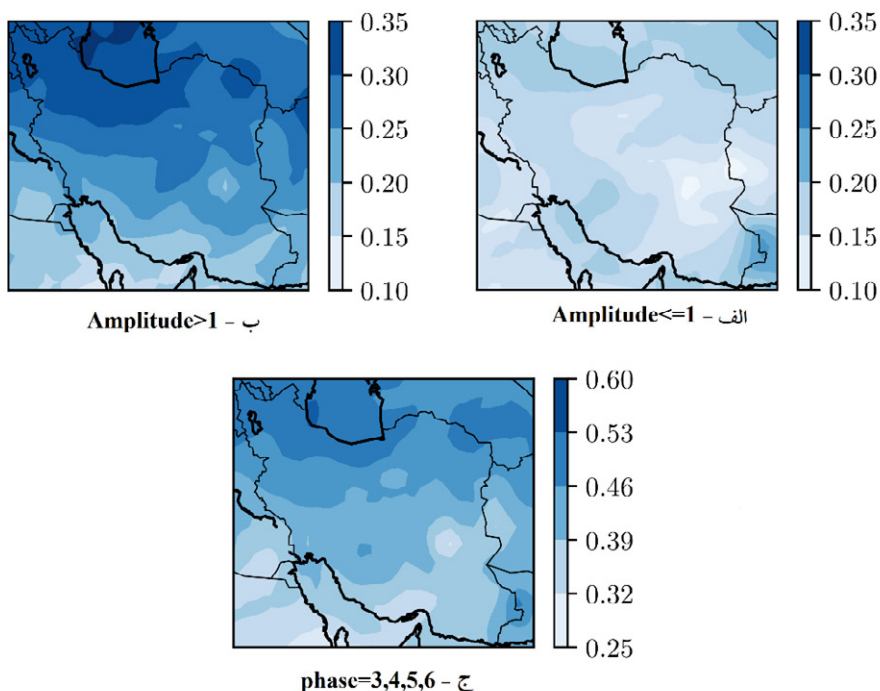
که  $P_{Neg}$  احتمال رخداد بارش در فاز منفی،  $P_i$  مقدار بارش در فاز  $i$  ام،  $P_T$  مقدار بارش در کل دوره آماری



شکل ۲. توزیع مکانی احتمال رخداد بارش فاز مبنا- MJO



شکل ۳. توزیع مکانی احتمال بارش در فاز منفی MJO شامل فازهای یک، دو، هفت و هشت: الف-  $MJO_{Amplitude \leq 1}$ ، ب-  $MJO_{Amplitude > 1}$ ، ج- فاز منفی به طور کلی.



شکل ۴. توزیع مکانی احتمال بارش در فاز مثبت MJO شامل فازهای سه، چهار، پنج و شش: الف-  $MJO_{Amplitude \leq 1}$ ، ب-  $MJO_{Amplitude > 1}$ ، ج- فاز مثبت به طور کلی.

ج-۲، د و ه نشان داده شده است، احتمال رخداد بارش در فاز سه، چهار و پنج از جنوب به شمال کشور افزایش یافته است. کمترین احتمال رخداد بارش در فازهای سه الی پنج مربوط به جنوب کشور است. این موضوع ممکن است مرتبط با کاهش فرارفت رطوبت از منابع آبی جنوب کشور باشد (پوراصغر و همکاران، ۲۰۱۵؛ ناظم السادات و شاهقلیان، ۲۰۱۷). کمترین احتمال رخداد بارش در کشور مربوط به فاز پنج و سپس فاز چهار است. رنجبر و سوری (۱۳۹۶) نیز با بررسی انحراف از میانگین بارش در ایستگاه‌های همدیدی کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۰ و ماه‌های دسامبر تا فوریه دریافتند که به طور کلی میزان بارش دریافتی در فازهای چهار و پنج نسبت به سایر فازها بسیار کمتر است که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد، هرچند دوره زمانی مورد بررسی آن‌ها با این پژوهش متفاوت است. اگر چه در فازهای سه تا پنج MJO در بیشتر نقاط کشور معمولاً شرایط برای بارش مساعد نیست، با این وجود احتمال رخداد بارش در شمال غرب کشور نسبت به سایر نقاط بیشتر است. این در حالی است که بارش‌های بی‌سابقه رخ داده در فرودین ۱۳۹۸ در غرب کشور که منجر به سیل و خسارت‌های فراوان در کشور شد، هم‌گام با فازهای چهار الی شش ماندن جولیان بوده که بیانگر پیچیدگی سازوکار بارش‌ها است و نقش عواملی از جمله تغییر اقلیم و عوامل متعدد جوی دیگر را در رخداد این بارش‌ها دخیل دانسته‌اند (احمدی، ۱۳۹۸).

احتمال رخداد بارش در فاز هفت، در جنوب کشور و جنوب شرق کشور بیشتر از بقیه نقاط است (شکل ۲-ز). رنجبر و سوری (۱۳۹۶) نیز دریافتند که در فاز هفت انحراف از میانگین بارش در این مناطق دارای مقدار مثبت و از سایر نقاط بیشتر است. فاز هشت نیز همراه با بیشترین احتمال بارش در جنوب غربی کشور است که با یافته‌های رنجبر و سوری (۱۳۹۶) نیز تقریباً مطابقت دارد و به طور کلی از جنوب غربی به شمال شرقی احتمال رخداد بارش به صورت تقریباً منظم کاهش می‌یابد (شکل ۲-ح). احتمال رخداد بارش در فاز یک نیز به طور کلی از جنوب به شمال کاهش می‌یابد و در شرق کشور بیشتر

از سایر نقاط است (شکل ۲-الف). رفتار فازهای هفت، هشت و یک ممکن است ناشی از افزایش فرارفت رطوبت از منابع آبی جنوب کشور و تغذیه رطوبتی سامانه‌های ورودی از غرب کشور باشد (پوراصغر و همکاران، ۲۰۱۵ و ناظم السادات و شاهقلیان، ۲۰۱۷). احتمال رخداد بارش در فاز دو نیز در واقع حالت بینابینی از رفتار کلی فازهای مثبت و منفی دارد (شکل ۲-ب). به طور کلی می‌توان گفت که احتمال رخداد بارش در جنوب کشور در فازهای یک، هفت و هشت به طور قابل توجهی بیشتر از مقدار آن در همین منطقه در فازهای سه الی شش و بیشتر از احتمال بارش سایر نقاط کشور در همان فازهای یک، هفت و هشت است. این احتمال از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. احتمال رخداد بارش در فازهای سه الی شش نیز از جنوب به شمال افزایش می‌یابد.

همانطور که ذکر شد، فاز منفی MJO فازهای یک، دو، هفت و هشت هستند. این فازها به ترتیب اشاره به سرکوب فعالیت‌های همرفتی در شرق اقیانوس هند، مجمع الجزایر اندونزی و غرب اقیانوس آرام دارند. توزیع بارش فاز منفی نشان می‌دهد که احتمال رخداد بارش به صورت یک نوار افقی تقریباً منظم و به تدریج از جنوب به شمال کاهش می‌یابد (شکل ۳-ج). این روند کاهشی به روشنی بیانگر این است که هرچقدر فاصله از منطقه حاره‌ای بیشتر باشد، اثر MJO نیز کاهش می‌یابد، زیرا همانطور که در قسمت‌های قبل ذکر شد، منابع آبی جنوب کشور نقش تغذیه رطوبت سامانه‌های ورودی از غرب و جنوب غربی کشور را دارند (پوراصغر و همکاران، ۲۰۱۵؛ ناظم السادات و شاهقلیان، ۲۰۱۷). احتمال رخداد بارش در شرق کشور (شمال استان سیستان و بلوچستان) نسبت به بقیه نقاط هم عرض خود بیشتر است. همه نقاط حداقل ۴۵ درصد بارش خود را همزمان با فاز منفی دریافت می‌کنند و این مقدار در نقاط جنوب کشور تا ۷۵ درصد نیز می‌رسد. اگر رخداد بارش‌های همزمان با این فاز را به دو حالت  $MJO_{Amp \leq 1}$  و  $MJO_{Amp > 1}$  افراز کنیم (شکل ۳-الف و ب)، مشاهده می‌شود که این دو تفاوت چشم‌گیری دارند و اختلاف

در فاز چهار MJO، شرایط جوی به گونه‌ای است که چرخند زائی در شرق مدیترانه را تضعیف می‌کند (رنجبر و سوری، ۱۳۹۶ و نصر اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین، به طور کلی به نظر می‌رسد که رخداد بارش در کشور و به ویژه شمال کشور در فاز مثبت کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های همرفتی در نواحی حاره، فرارفت رطوبت از این نواحی، سامانه‌های ورودی از غرب کشور قرار گیرد و بیشتر تحت تأثیر عوامل جوی تأثیرگذار و چرخندهای ورودی از شمال کشور باشد.

### جمع‌بندی

احتمال رخداد بارش در شبکه نقاط منظم ایران در فازهای مختلف سیگنال بزرگ مقیاس اقلیمی MJO مبتنی بر روش WH2004 بررسی شد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل بارش روزانه از پایگاه داده بازتحلیل ERA-Interim از مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) دریافت شده‌اند. داده‌های بارش ERA-Interim مربوط محدوده ۴۴ تا ۶۴ درجه طول جغرافیایی و ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی (منطقه ایران) است. دوره زمانی شامل سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۷۹ و ماه‌های سرد سال نوامبر تا آوریل سال بعد است (NDJFMA). سیگنال MJO بر پایه شاخص WH2004 که دارای هشت فاز است تحلیل شد. توزیع بارش فاز مبنا برای هر هشت فاز بیانگر این است که فازهای سه تا پنج، احتمال رخداد بارش از جنوب به شمال افزایش می‌یابد و رفتار هر سه آن‌ها منظم و به صورت نوار افقی افزایشی است. فاز شش، نیز احتمال رخداد بارش در نواحی مرکزی کشور بیشتر از سایر نقاط است. احتمال رخداد بارش در فازهای یک، هفت و هشت در جنوب کشور بیشتر و این احتمال از جنوب به شمال کشور کاهش می‌یابد. اما این فازها رفتار منظمی ندارند. احتمال بارش در فاز دو نیز مانند فاز شش در واقع حالت بینابینی از رفتار کلی فازهای مثبت و منفی دارد.

فاز منفی MJO شامل فازهای یک، دو، هفت و هشت

آنها در برخی نقاط تا ۳۵ درصد می‌رسد (شکل ۳-الف و ب). احتمال رخداد بارش در حالت  $MJO_{Amp>1}$  بیشتر است و به نظر می‌رسد افزایش فعالیت‌های همرفتی در فاز منفی MJO همراه با افزایش احتمال رخداد بارش است. همچنین، در فاز منفی، انتقال رطوبت از خلیج فارس و دریای عمان به جنوب کشور افزایش می‌یابد (پوراصغر و همکاران، ۲۰۱۵). ناظم السادات و شاهقلیان (۲۰۱۷) نیز نقش خلیج فارس در تغذیه رطوبتی سامانه‌های ورودی از غرب و در نتیجه ایجاد بارش‌های سنگین را در پژوهش خود نشان دادند. آن‌ها به طور کلی دریافتند بارش‌های سنگین در فاز منفی بیشتر از فاز مثبت رخ می‌دهند.

همانطور که پیش‌تر نیز ذکر شد، فاز مثبت، فازهای سه الی شش شاخص WH2004 هستند. این فازها اشاره به تشکیل یاخته‌های همرفتی در شرق اقیانوس هند، مجمع‌الجزایر اندونزی و غرب اقیانوس آرام دارند. توزیع بارش فاز مثبت (شکل ۳-ج) نشان داد که بیشترین احتمال رخداد بارش در شمال کشور است که به صورت یک نوار افقی تقریباً منظم از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. با دقت در شکل (۳-ج) مشاهده می‌شود که دو بخش جداگانه در شمال-شمال غرب و شمال شرق کشور وجود دارد که باید منابع متفاوتی برای افزایش بارش داشته باشند. همه نقاط کشور حداقل ۲۵ درصد نقاط کشور بارش خود را همزمان با این فاز دریافت می‌کنند که در مناطق شمالی کشور به ۶۰ درصد نیز می‌رسد. اگر رخداد بارش‌های همزمان با این فاز را به دو حالت  $MJO_{Amp\leq 1}$  و  $MJO_{Amp>1}$  افراز کنیم (شکل ۴-الف و ب)، مشاهده می‌شود که احتمال رخداد بارش در حالت  $MJO_{Amp>1}$  نسبت به  $MJO_{Amp\leq 1}$  بیشتر است و این تفاوت به حدود ۲۰ درصد در مناطق شمالی کشور می‌رسد. کمترین رخداد بارش مربوط به نقاط جنوبی کشور است. رنجبر و سوری (۱۳۹۶) در پژوهش خود دریافتند که فاز سه MJO همراه با فعالیت ضعیف ناوه مدیترانه است و عامل اصلی بارش‌ها در نواحی شرقی و بخش جنوبی البرز بایستی ناوه‌های عبوری از عرض‌های شمالی‌تر باشند. همچنین، پژوهش‌ها نشان داده است که



### داد داده های مورد استفاده

اطلاعات بارش روزانه پایگاه داده ERA-Interim از آدرس <http://apps.ecmwf.int/datasets/> و شاخص MJO از پایگاه <https://www.cpc.ncep.noaa.gov> دریافت شده‌اند.

### مراجع

- احمدی، م.، ۱۳۹۸، واکاوی چند بعدی دلایل و ریشه‌های اصلی موثر بر رویداد سیلاب فراگیر غرب کشور در نوروز ۱۳۹۸، سایت آب و هواشناسی و پیوند از دور، <https://teleclimate.webs.com>.
- رضیعی، ط. و ستوده، ف.، ۱۳۹۶، بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوی (ECMWF) در پیش بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران، فیزیک، زمین و فضا، ۴۳ (۱)، ۱۳۳-۱۴۷.
- رنجبرسعادت‌آبادی، ع. و سوری، م.، ۱۳۹۶، مطالعه بی‌هنجاری گردش‌های جوی همراه شده با فعالیت نوسان مادن-جولین و بارش زمستانه ایران، فیزیک زمین و فضا، ۱۱ (۱)، ۴۹-۶۵.
- قاندامینی، ح.، ناظم‌السادات، م.ج.، ۱۳۸۵، بررسی تأثیر نوسانات مادن-جولین بر بارش‌های ماه‌های فوریه تا آوریل در استان فارس، دومین کنفرانس منابع آب ایران، زمستان ۸۵، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- قاندامینی‌اسدآبادی، ح. و گلکار، ف.، ۱۳۸۹، ارزیابی تأثیر پدیده مادن جولین (MJO) بر رخداد دوران‌های خشک و تر استان خوزستان. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- نصراصفهانی، م.ع.، محب‌الحجه، ع. و احمدی‌گیوی، ف.، ۱۳۹۶، آثار فازهای مختلف نوسان مادن-جولین بر برخی کمیت‌های هواشناختی وردسپهر در جنوب غرب آسیا، فیزیک زمین و فضا، ۴۳ (۳)، ۵۳۹-۵۵۲.
- Alizadeh-Choobari, O., Adibi, P. and Irannejad, P., 2017, Impact of the El Niño–Southern Oscillation on the climate of Iran using ERA-Interim data, *Climate Dynamics*, **51** (7-8), 2897-2911.
- Barlow, M., Lyon, B. and Cullen, H., 2005, Modulation of daily precipitation over Southwest Asia by Madden-Julian Oscillation, *Monthly Weather Review*, **133**, 3579-3594.
- Bond, N. A. and Vecchi, G., 2003, The influence of the Madden-Julian Oscillation on precipitation in Oregon and Washington, *Weather And Forecasting*, **18**, 600-613.
- Carvalho, L. M. V., Jones, C. and Liebmann, B., 2004, The south Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall, *Journal of Climate*, **17** (1), 88-108.
- Ghasemi-Karakani, E., Fattahi, E. and Malekian, A., 2018, Validation of ERA-Interim Dataset of European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in Iran, *Terrestrial Systems Research: Monitoring, Prediction and High*

روش WH2004 است. توزیع بارش در این فاز نشان داد که احتمال رخداد بارش به صورت یک نوار افقی تقریباً منظم از جنوب به شمال کشور کاهش می‌یابد. همه نقاط حداقل ۴۵ درصد بارش خود را در این فاز دریافت می‌کنند و این مقدار در نقاط جنوب کشور تا ۷۵ درصد نیز می‌رسد. این موضوع احتمالاً ناشی از افزایش فرارفت رطوبت از منابع آبی جنوب به داخل کشور است. کمترین احتمال رخداد بارش مربوط به شمال و به ویژه شمال غرب کشور است که نسبت به فاز مثبت نیز حدود ۲۰ درصد کمتر است.

فاز مثبت MJO شامل فازهای سه‌الی شش در روش WH2004 است. توزیع بارش فاز مثبت نشان داد که احتمال رخداد بارش از جنوب به شمال کشور افزایش می‌یابد که به صورت یک نوار افقی تقریباً منظم است. همه نقاط کشور حداقل ۲۵ درصد بارش خود را در این فاز دریافت می‌کنند که در مناطق شمال غربی به ۶۰ درصد نیز می‌رسد. کمترین احتمال رخداد بارش مربوط به نقاط جنوبی کشور است. این موضوع ممکن است ناشی از کاهش فرارفت رطوبت از خلیج فارس و دریای عمان و بیشترین تأثیرپذیری از عدم فعالیت‌های مرتبط با MJO باشد که اثر خود را در احتمال رخداد بارش به روشی نشان داده است.

به طور کلی می‌توان گفت هر چند از اثر سایر پدیده‌ها در رخداد بارش چشم‌پوشی شده است، اما محاسبه احتمال بارش فاز مینا می‌تواند تصویر روشنی از روند تأثیرگذاری فازهای مثبت و منفی MJO، به ویژه اثر منابع آبی جنوب کشور بر رخداد بارش در کشور ارائه کند. هم‌چنین، کاهش اثر این سیگنال با دوری از این منابع آبی به روشی نشان داده شده است.

### تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه‌های طرح با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور تامین شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

- Paegle, J. and Mo, K. C., 2002, Linkages between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies, *Journal of Climate*, **15**, 1389–1407.
- Pourasghar, F., Tozuka, T., Ghaemi, H., Oettli, P., Jahanbakhsh, S., 2015, Influences of the MJO on intraseasonal rainfall variability over southern Iran, *Atmospheric Science Letters*, **16** (2), 110-118.
- Roundy, P. E. and Frank, W. M., 2004, Applications of a multiple linear regression model to the analysis of relationships between eastward and westward-moving intraseasonal modes, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **61** (24), 3041–3048.
- Wang, Y., Gozolchiani, A., Ashkenazy, Y., Berezin, Y., Guez, O. and Havlin, Sh., 2013, Dominant Imprint of Rossby Waves in the Climate Network, *Physical Review Letters*, **111**, 138501.
- Wheeler, M. C., and Weickmann, K., 2001, Real-time monitoring and prediction of modes of coherent synoptic to intraseasonal tropical variability, *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2677–2694.
- Wheeler, M. C. and Hendon, H. H., 2004, An all season real time multivariate MJO index: Development of an Index for Monitoring and prediction, *Monthly Weather Review*. **132**, 1917-1932.
- Xavier, P., Rahmat, R., Cheong, W.K. and Wallace, E., 2014, Influence of Madden-Julian Oscillation on Southeast Asia rainfall extremes: Observations and predictability, *Geophysical Research Letters*, **41** (12), 4406-4412.
- Performance Computing, Bonn, Apr 2018.
- Higgins, R. W., Schemm, J. K. E., Shi., W. and Leetmaa, A., 2000, Extreme precipitation events in the western United States related to tropical forcing, *Journal of Climate*, **13**, 793-820.
- Jones, C., 2000, Occurrence of extrem precipitation events in California and relationships with Madden-Julian oscillaton, *Journal of Climate*, **13**, 3576-3578.
- 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.
- Lo, F., Hendon, H. H., 2000, Empirical Extended-Range Prediction of the Madden–Julian Oscillation, *American Meteorological Society*, **128**, 2528-2543.
- Maloney, E. D. and Shaman, J., 2008, Intraseasonal variability of the West African monsoon and Atlantic ITCZ, *Journal of Climate*, **12**, 2898–2918.
- Maloney, E. D. and Kiehl, J. T., 2002, MJO-related SST variations over the tropical eastern pacific during northern hemisphere summer, *Journal of Climate*. **15**, 675-689.
- Mo, K. C. and Higgins, R. W., 1998, Tropical convection and precipitation regimes in the Western United States, *Journal of Climate*, **11**, 2404-2423.
- Nazemosadat, M. J. and Shahgholian, K., 2017, Heavy precipitation in the southwest of Iran: association with the Madden–Julian Oscillation and synoptic scale analysis, *Climate Dynamics*, **49** (9-10).

## Spatial analysis of occurrence probability of precipitation over Iran based on different phases of MJO's climatic signals

Nafiseh SeyyedNezhad Golkhatmi<sup>1</sup>, Javad Bazrafshan<sup>2,\*</sup>, Arezoo N. Ghameshlou<sup>3</sup>, Parviz Irannejad<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Phd Student of Agrometeorology, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>4</sup> Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author Email: [bazr@ut.ac.ir](mailto:bazr@ut.ac.ir)

Received: 21 January 2019, accepted: 22 June 2019

### ABSTRACT

Madden and Julian (MJO), a large-scale climate signals, is one of the factors that affect the tropical and even subtropical areas. The effect of MJO on precipitation has generally been investigated in the southern parts of Iran. The purpose of this study is to investigate the spatial distribution of probability of precipitation occurrence (PPO) over Iran based on MJO phases. The data used are the daily MJO index and precipitation from the ERA-Interim reanalysis data that covers Iran's region in cold months of the year. The negative and positive phases of the MJO, MJO- and MJO+, are based on the Wheeler and Hendon (2004) index. The analysis of coincidence of PPO and MJO phases showed that the PPO over Iran in the MJO- decreases as a nearly regular from the south to the north of the country and indicates reduction of the effect of MJO on precipitation event. All grid points received at least 45% of their precipitation during the MJO-. The PPO is about 75% in the south of Iran. On the contrary, the PPO in the MJO+, increases as a nearly regular from the south to the north, and all grid points receive at least 25% of their precipitation in coincidence with MJO+. Maximum of PPO in the north and especially in the northwest of Iran is about 60% which has increased almost 20% compared to MJO-. The lowest PPO coincidence with MJO- is related to the southern regions of Iran, near 25° N latitudes where the PPO decreases about 50% in comparison with MJO-.

**Keywords:** MJO, Precipitation, Phase-base Probability, Iran

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

SeyyedNezhad Golkhatmi, N.; Bazrafshan, J.; N. Ghameshlou, A.; Irannejad, P. (2019). Spatial analysis of occurrence probability of precipitation over Iran based on different phases of MJO's climatic signals. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 2(3): 192-201

### 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/>).

