

ارزیابی تأثیر پدیده مادن جولیان (MJO) بر رخداد دوران‌های خشک و تر استان خوزستان

حبیب‌اله قائدامینی^۱ و فروغ گلکار^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد مرکز پژوهش‌های علوم جو-اقیانوسی دانشگاه شیراز، ایران

^۲ کارشناس ارشد مرکز پژوهش‌های علوم جو-اقیانوسی دانشگاه شیراز، ایران

(دریافت: ۸۸/۱۰/۲۷، پذیرش نهایی: ۸۹/۱۱/۱۹)

چکیده

نوسان مادن جولیان (MJO) یکی از الگوهای تغییرات بزرگ اقلیمی در مناطق گرمسیری دریایی است که دوره‌های زمانی زیرفصلی آب‌وهوایی مناطق حاره و جنب حاره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیر پدیده MJO بر وقوع دوران‌های خشک و تر استان خوزستان واقع در جنوب غرب ایران در ماه‌های نوامبر تا آوریل مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور داده‌های بارش ماهانه ۸ ایستگاه که در مناطق متفاوت این استان قرار گرفته است در دوره زمانی ۱۹۷۹-۲۰۰۵ تحلیل شد. با استفاده از دو شاخص معروف مالونی و کیل و ویلر و هندون فازهای فعال و ضعیف MJO (به ترتیب افزایش و کاهش فعالیت‌های همرفتی در ناحیه گرمسیری اندونزی) در مقیاس زمانی ماهانه و فصلی شناسایی شدند. سپس ترکیب‌های MJO- بارش برای فازهای مثبت و منفی تشکیل شد. روشن شد که مقدار بارش فصلی این استان در فاز منفی MJO به طور معنی‌داری بیشتر از فاز مثبت این پدیده است (حدود ۱/۵ تا ۳/۰ برابر). افزون بر این، آزمون‌های آماری نشان داد که بسامد دوران‌های خشک و تر به ترتیب با رخدادهای فاز مثبت و منفی MJO در ارتباط است. با حاکم شدن فاز مثبت، احتمال رخداد خشکسالی در استان بین ۵۰ تا ۹۰ درصد در نوسان است. در مقابل، در فاز منفی MJO احتمال رخداد دوره تر بین ۵۵ تا ۸۰ درصد در تغییر است.

واژه‌های کلیدی: نوسان‌های مادن-جولیان (MJO)، باران، خشک، تر، ایران، خوزستان

Evaluation of the effects of the Madden Julian Oscillation on the occurrence of dry and wet periods in Khuzestan Province

Ghaedamini, H.¹ and Golkar, F.²

¹ M.Sc., Atmospheric-Oceanic Sciences Research Center, Shiraz Univ., Shiraz, Iran

² M.Sc., Atmospheric-Oceanic Sciences Research Center, Shiraz Univ., Shiraz, Iran

(Received: 17 Jan 2010, Accepted: 8 Feb 2011)

Abstract

The Madden Julian Oscillation (MJO) is known as the primary mode of large-scale inter-seasonal variability in tropical regions that affects equatorial and extra-tropical climates. It was characterized as a 45-60 day wave that develops over the tropical Indian Ocean and then travels east across the tropics at 5-10 m/s. The phenomenon has a frequency of 6-12 events per year associated with a period ranging from 30 to 60 days. In its active stage, the MJO is associated with increased convective activity over the equatorial eastern Indian and western Pacific Oceans. This study investigated the effects of the MJO on the occurrence of wet and dry events in Khuzestan Province, the south west part of Iran during November-April. Monthly precipitation data from eight stations spread over various parts of the province was analyzed during 1979-2005. By using two well-known MJO indices (MK and WH), the positive and negative phases of the MJO phases

(enhanced and suppressed convective activity over the equatorial Indonesian region, respectively) were identified for monthly and seasonal periods. The MJO-precipitation composites associated with opposite phases of the oscillation were constructed on seasonal timescales. Eight sets of the seasonal MJO-precipitation composites were, therefore, constructed for every station. The non-parametric Mann-Whitney test was then applied to investigate if the precipitation mean during the MJO positive phase of each composite is significantly different from its corresponding value during the negative phase. Moreover, the ratios of $(\bar{R}_{Seasonal(Pos)}/\bar{R}_{Seasonal})$, $(\bar{R}_{Seasonal(Neg)}/\bar{R}_{Seasonal})$ and $(\bar{R}_{Seasonal(Neg)}/\bar{R}_{Seasonal(pos)})$ were computed for each station for monthly and seasonal timescales. Since the ratio of $(\bar{R}_{Seasonal(Neg)}/\bar{R}_{Seasonal})$ is greater than one, precipitation is reduced (enhanced) in the positive (negative) MJO phase.

Another examination was also performed to investigate if the frequency of dry or wet events was significantly associated with the occurrence of the positive or negative MJO phase, respectively. For conducting this examination, the events where precipitation amount was below or above the long-term average were first counted and considered as the frequency of dry or wet incidents, respectively. These frequencies were then put in a 2 by 2 contingency table to delineate the incidents of dry or wet events during each of the MJO phases. The Fisher Exact test was then applied to the constructed contingency tables. If the computed p was less than 0.05, the frequency of wet or dry events was significantly associated with the occurrence of the negative or positive phase of the MJO, respectively.

The results were shown that, for all considered stations, seasonal precipitation during the negative MJO phase was significantly greater (from about 1.9 to 3.0 fold) than corresponding values during the positive phase. Furthermore, the applied Mann-Whitney test indicates that the mean values of precipitation during the positive phase are statistically less than the corresponding values during the negative phase. In other words, the precipitation is reduced (enhanced) in the positive (negative) MJO phase. Moreover, the applied statistical tests have proved that the frequency of wet or dry events is related to the prevalence of the negative or positive MJO phase, respectively. As the positive MJO phase was engulfed, the probability of dry events varied from 50% to 90%. On the other hand, the probability of wet events was found to vary from 55% to 80% during the MJO negative phase.

Key words: Madden Julian Oscillation (MJO), Precipitation, Drought, Wet, Iran, Khuzestan

۱ مقدمه

اقتصادی، بیکاری و غیراقتصادی شدن بخش‌های مهم تولیدی را فراهم می‌آورد. بارش استان در مقیاس‌های زمانی متفاوت، از جمله ماهانه، فصلی، سالانه و دهه‌ای تغییرات زیادی دارد و از یک دوره زمانی به دوره دیگر تغییرات زیادی را نشان می‌دهد (ناظم‌السادات و قاسمی، ۱۳۸۲).

به منظور کاهش آثار زیان‌بار مرتبط با خشکسالی و

استان خوزستان در ناحیه جنوب غربی ایران است و حدود ۳/۹ درصد از کل مساحت ایران را تشکیل می‌دهد. میانگین بارش سالانه استان حدود ۲۶۵ میلی‌متر است که بیشتر در بازه آبان ماه تا اردیبهشت ماه سال بعد رخ می‌دهد. وقوع سیلاب‌های ویرانگر و خشکسالی‌های متناوب و طولانی در استان خوزستان، به همه فعالیت‌ها در مناطق شهری و روستایی آسیب می‌رساند، زمینه رکود

پدیده‌ای درون فصلی در نظر گرفته می‌شود. مو و هیگینز (۱۹۹۸) ارتباط فعالیت‌های همرفتی در مناطق گرمسیری اقیانوس هند و بارش نواحی غربی ایالات متحده آمریکا را مورد بررسی قرار داده و روشن ساختند که پدیده مادن جولیان، بارش‌های کالیفرنیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دوران‌های مرطوب کالیفرنیا معمولاً با افزایش همرفت (مرتبط با پدیده مادن جولیان) در غرب اقیانوس آرام گرمسیری (E150) هم‌زمان است. رخدادهای خشک کالیفرنیا نیز با افزایش جریان‌های همرفتی وابسته به MJO در شرق اقیانوس هند (E120) مرتبط است.

یافته‌های بوند و ویچی (۲۰۰۳) بیانگر آن است که در ماه‌های اکتبر-دسامبر، هنگامی که چیره باد غرب‌وزان مرتبط با MJO در نزدیکی خط زمان (Date line) متمرکز می‌شود، فعالیت‌های همرفتی در شرق اقیانوس هند و نزدیکی اندونزی دچار رکود می‌شود و بارش این نواحی کاهش می‌یابد. در این هنگام میزان بارش در ایالت‌های واشنگتن و اورگون آمریکای شمالی بیشتر از معمول می‌شود. نتایج تحقیق بارلو و همکاران (۲۰۰۵) روشن ساخت که در فاز مثبت MJO و هم‌زمان با افزایش سامانه همرفتی در شرق اقیانوس هند، مقادیر بارش در جنوب غربی آسیا و به‌ویژه در افغانستان، از میانگین روزانه کمتر می‌شود. در مقابل با کاهش فعالیت‌های همرفتی در نواحی شرقی اقیانوس هند، بارش‌های جنوب غربی آسیا از میانگین دوره موردنظر بیشتر است. مالونی و کیل (۲۰۰۲) مقادیر روزانه نمایه MJO را براساس تحلیل دو مؤلفه اصلی (PCs) بادهای مداری (Zonal Wind) ۸۵۰ میلی بار در عرض‌های جغرافیایی ۵ درجه جنوبی تا ۵ درجه شمالی محاسبه کردند. این نمایه به صورت مقادیر مثبت و منفی انحراف از میانگین (بی‌هنجاری) موجود است که به ترتیب بیان‌کننده فعالیت‌های زیاد و کم سامانه‌های همرفتی مرتبط با MJO در اقیانوس هند و آرام است. ویلر و هندون (۲۰۰۴) نیز مقادیر روزانه نمایه MJO را بر مبنای تحلیل

سیل، حجم زیادی از دامنه تحقیقات اقلیمی معطوف به شناخت برهم‌کنش عوامل آب و هوایی در خشکی، اقیانوس و جو شده است. ارزیابی علل تغییرات بارش در هر یک از مقیاس‌های متفاوت زمانی دارای ارزش ویژه است. برای نمونه بخشی از تغییرات سالانه و فصلی بارش در ایران با استفاده از پدیده النینو-نوسانات جنوبی توجیه می‌شود. ناظم‌السادات و قاسمی (۲۰۰۴) در بررسی رابطه بارش‌های پاییزه ایران با SOI روشن ساختند که بیشترین بارش در فاز گرم آن (El Niño) و بارش‌های کمتر از معمول در فاز سرد (La Niña) رخ می‌دهد. ناظم‌السادات و قاسمی (۱۳۸۲) در بررسی بارندگی شش ماهه سرد مناطق مرکزی و جنوب غرب ایران و ارتباط آن با پدیده ENSO نشان دادند که با احتمال بیش از ۵۰ درصد هم‌زمان با چیرگی فاز سرد این پدیده دوره خشک در استان خوزستان حاکم می‌شود.

مادن و جولیان (۱۹۷۱) روشن ساختند که افزون بر تأثیر پدیده النینو-نوسانات جنوبی در ایجاد تغییرات درون‌سال، دیگر پدیده‌های جوئی-اقیانوسی که در نواحی گرمسیری اقیانوس‌ها رخ می‌دهد نیز بخش قابل توجهی از تغییرات اقلیمی در نواحی دور و نزدیک را توجیه می‌کنند. برای نمونه آنها روشن ساختند که فعالیت‌های همرفتی ۳۰ الی ۶۰ روزه که به‌طور دوره‌ای از غرب اقیانوس هند شروع شده و با حرکت رو به شرق خود تا نواحی مرکزی اقیانوس آرام ادامه می‌یابد، با نوسان‌های بارش و دیگر پدیده‌های اقلیمی در نواحی گرمسیری اقیانوس هند و آرام مرتبط است. این فعالیت‌های همرفتی که به‌طور دوره‌ای با یک دوره رکود بارش و سپس ابرناکی هوا در شرق اقیانوس هند در تناوب است را نوسان‌های مادن جولیان (MJO) می‌نامند. فاصله زمانی بین دو رخداد نسبتاً مشابه مادن جولیان، کمتر از فاصله زمانی در رخدادهای انسو است. با توجه به آنکه این دوره زمانی کمتر از یک فصل است، MJO در حکم

مقادیر روزانه نمایه MJO برای یک دوره زمانی ۲۷ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۵) طی مکاتبات شخصی نگارندگان با مالونی تهیه شد. مالونی و کیل (۲۰۰۲) مقادیر نمایه MJO را براساس تحلیل دو مؤلفه اصلی بادهای مداری ۸۵۰ میلی‌بار در عرض‌های جغرافیایی ۵ درجه جنوبی تا ۵ درجه شمالی محاسبه کردند. این نمایه به صورت مقادیر مثبت و منفی انحراف از میانگین (بی‌هنجاری) موجود است که به ترتیب بیان‌کننده فعالیت‌های زیاد و کم سامانه‌های همرفتی مرتبط با MJO در اقیانوس هند است و با علامت اختصاری MK نشان داده می‌شود.

۲-۱-۲ نمایه ویلر و هندون

این نمایه برای دوره زمانی ۲۷ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۵) از پایگاه اطلاعاتی سازمان هواشناسی استرالیا استخراج شد. ویلر و هندون (۲۰۰۴) این نمایه را بر مبنای تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای تابش خروجی موج بلند (OLR, Outgoing Long-wave Radiation)، بادهای غرب‌سو در ۵ درجه شمالی تا ۵ درجه جنوبی در سطوح هم‌فشار ۸۵۰ و ۲۵۰ میلی‌بار مناطق استوایی محاسبه کردند. سری زمانی این نمایه از تحلیل چندمتغیره (Multivariate) این عوامل اقلیمی تولید و به صورت دو سری زمانی شامل RMM_1 و RMM_2 ، (Real-time Multivariate MJO series 1,2) محاسبه می‌شود. نتایج بررسی‌های تکمیلی نشان داد که ضریب همبستگی سری‌های زمانی RMM_2 با RMM_1 در یک دوره زمانی تأخیری ۱۰ تا ۱۵ روزه به بیشترین مقدار خود می‌رسد ($R=0/65$). این بدان معنی است که نمایه RMM_1 می‌تواند تا حد زیادی تغییرات مربوط به نمایه RMM_2 را توجیه کند. ارزیابی‌های اولیه روشن ساخت که در مقایسه با RMM_2 نمایه RMM_1 می‌تواند به‌طور واضح‌تری چگونگی فعالیت MJO در پهنه اقیانوس هند و آرام گرمسیری را مشخص سازد. در این تحقیق این نمایه

مؤلفه‌های اصلی متغیرهای تابش خروجی موج بلند (OLR) و بادهای مداری در سطوح هم‌فشار ۸۵۰ و ۲۵۰ میلی‌بار نزدیک استوایی محاسبه کردند و به صورت دو سری زمانی شامل RMM_1 و RMM_2 (Real-time Multivariate MJO series 1)، 2 نشان دادند. ناظم‌السادات و قائدامینی (۱۳۸۷) روشن ساختند که جابه‌جایی فازهای MJO تأثیر معنی‌داری بر مقادیر بیشینه و کمینه بارش استان فارس دارند، به طوری که بیشینه و کمینه بارش استان فارس به ترتیب هم‌زمان با چیرگی فاز منفی و مثبت این پدیده در پهنه اقیانوس هند رخ می‌دهد. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن بود که شدت‌های حداکثر و حداقل بارش در این استان تا حد زیادی مربوط به پدیده MJO است. ناظم‌السادات و قائدامینی (۱۳۸۷) با استفاده از نمایه مالونی و کیل (۲۰۰۲) تأثیر پدیده MJO بر تغییرات مقادیر بیشینه و کمینه بارش ماهانه را مورد ارزیابی قرار دادند و توجه آنها متمرکز بر نقش این پدیده در ایجاد سیل بارش و خشکسالی شدید بوده است. نمایه ویلر و هندون (۲۰۰۴) و توانایی آن در بیان شدت MJO مورد توجه آنان نبوده است. تأثیر این پدیده بر سامانه‌های بزرگ‌مقیاس باد و بارش نیز مورد توجه ناظم‌السادات و قائدامینی (۲۰۱۰) قرار گرفته است. افزون بر این تأثیر MJO بر کل بارش فصل سرد سال و بسامد دوران‌های خشک و تر آن نیز مورد ارزیابی قرار نگرفته است. در این تحقیق، تلاش می‌شود تا با استفاده از هر دو نمایه متداول MJO و تعیین دوران‌های فعال (مثبت) و غیرفعال (منفی) آن در دوره زمانی ۲۷ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۵)، رخداد دوره‌های خشک و تر فصلی استان خوزستان هم‌زمان با چیرگی پدیده MJO مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲ مواد و روش‌ها

۲-۱ داده‌های نمایه MJO

۲-۱-۲ نمایه مالونی و کیل

با علامت اختصاری WH نشان داده می‌شود.

۲-۳ تعیین فاز MJO با استفاده از نمایه‌های مالونی و

کیل (۲۰۰۲) و ویلر و هندون (۲۰۰۴)

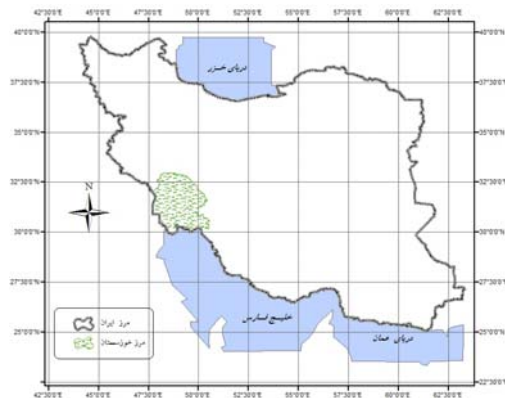
با توجه به ماهانه بودن سری زمانی داده‌های بارش، فازهای مثبت و منفی MJO در همین مقیاس زمانی دسته‌بندی شدند. برای این منظور ابتدا برای هر یک از سال‌های مورد بررسی، سری زمانی ماهانه داده‌های روزانه MJO که به صورت اعداد مثبت و منفی است، تهیه شد. سپس تعداد و درصد روزهایی که در هر ماه نمایه MJO مثبت و یا منفی بود، تعیین شد. ماه‌هایی که هر یک از نمایه‌ها در بیشتر از ۶۰٪ روزها مثبت یا منفی بود به ترتیب در حکم فاز مثبت یا منفی MJO در نظر گرفته شد (قائدامینی و ناظم‌السادات، ۱۳۸۵). برای مثال، چون در فوریه ۱۹۸۰ نمایه مالونی و کیل در ۳۴ درصد روزها مثبت و در ۶۶ درصد روزها منفی بود، این ماه در حکم فاز منفی مالونی و کیل در نظر گرفته شده و با علامت MK مشخص می‌شود. همچنین در فوریه ۲۰۰۴ در ۸۳ درصد روزها نمایه ویلر و هندون مثبت و در ۱۷ درصد روزها منفی بوده است، در نتیجه این ماه در حکم فاز مثبت نمایه ویلر و هندون در نظر گرفته شد. ماه‌هایی که مقدار هر دو نمایه MK و WH نشانگر رخداد فاز مثبت و یا فاز منفی باشند با حرف B مشخص شده است (ناظم‌السادات و قائدامینی، ۲۰۱۰). برای نمونه، چون در فوریه ۱۹۸۵ فاز مثبت هر دو نمایه MJO چیره بوده است، این ماه در جدول (۱) با حرف B نشان داده شده است.

۲-۴ پدیده MJO و تغییر در مقدار و بسامد بارش

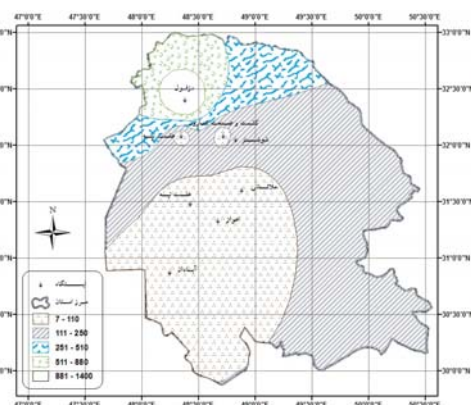
به منظور بررسی تأثیر پدیده MJO بر تغییرات بارش فصلی (نوامبر-آوریل)، سری زمانی ماهانه این دوره شش ماهه برای هر ایستگاه تهیه و میانگین بارش درازمدت آن ایستگاه تعیین شد ($\bar{R}_{Seasonal}$). در مرحله بعد در هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی، سری زمانی بارش برای ۳۴ ماه که هر دو نمایه MK و WH مثبت بوده‌اند،

۲-۲ تهیه داده‌های بارش

مقادیر ماهانه بارش ماه‌های نوامبر تا آوریل سال بعد میلادی (معادل ۱۰ آبان ماه هر سال تا ۱۱ اردیبهشت سال بعد) در ۸ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی استان خوزستان در یک دوره زمانی ۲۷ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۵) از سالنامه هواشناسی ایران استخراج شد. انتخاب ایستگاه‌ها براساس طول دوره آماری مورد بررسی ۲۷ ساله با کمترین خلأ آماری است. به طور میانگین در همه ایستگاه‌ها میزان بارش دوره زمانی فوق بیش از ۹۵ درصد کل بارش سالانه را شامل می‌شود. شکل (۱) موقعیت استان خوزستان در کشور ایران و همچنین موقعیت ایستگاه‌ها و تغییرات ارتفاعی آنها را از سطح دریا برحسب متر نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان خوزستان در ایران (الف) و توزیع جغرافیایی ارتفاع ۸ ایستگاه مورد بررسی در استان (ب).

استفاده شد (آگرستی، ۱۹۹۲). در این آزمون هم‌زمانی دوره‌های خشک یا دوره تر به ترتیب با چیرگی فازهای مثبت و منفی MJO ارزیابی شد (ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۸۶). بدین منظور برای هر ایستگاه یک جدول توافقی با دو سطر و دو ستون (۲×۲) تهیه شد. ستون‌ها شامل فاز مثبت و منفی و سطرها، بیانگر بسامد دوره‌های خشک و تر هستند. برای نمونه در ایستگاه آبادان هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت (۳۳ رخداد همراه با داده) بسامد خشکسالی و ترسالی به ترتیب برابر ۲۴ و ۹ سال است. به همین ترتیب تعداد دوره تر و خشک هم‌زمان با چیرگی فاز منفی (با ۳۴ سال همراه با داده) به ترتیب برابر ۱۰ و ۲۴ است. معنی‌دار بودن این آزمون در سطح ۹۵٪ بیانگر تأثیر آماری فاز مثبت و منفی پدیده MJO به ترتیب در ایجاد دوران‌های خشک و تر است.

۲-۵ کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در تحلیل و

نمایش نتایج

به منظور تحلیل و نمایش توزیع جغرافیایی تأثیر فازهای مثبت و منفی MJO در وقوع دوره‌های خشک و تر استان خوزستان، از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. برای این منظور با استفاده از روش معکوس فاصله وزنی (IDW, Inverse Distance Weighted)، که یکی از روش‌های درون‌یابی است، نقشه مربوط به نسبت‌های حاصل در ایستگاه‌های استان تهیه شد. لازم به ذکر است که استفاده از روش معکوس فاصله وزنی که تابلر (۱۹۷۰) عرضه کرده است، یکی از معتبرترین روش‌ها برای پیش‌بینی مقادیر بارش در نواحی بدون ایستگاه است (چنگ و همکاران، ۲۰۰۱).

۳ نتایج و بحث

۳-۱ فازبندی MJO

نتایج مربوط به فاز بندی نمایه‌های MJO در جدول (۱) نشان داده شده است. در طول یک دوره ۱۶۲ ماهه تعداد

تهیه و میانه آنها $\overline{R}_{Seasonal(Pos)}$ تعیین شد. سری زمانی بارش هم‌زمان با چیرگی فاز منفی در ۳۴ ماه تشکیل شده و میانه آنها $(\overline{R}_{Seasonal(Neg)})$ در حکم میانه ۶ ماه بارش در دوران فاز منفی این پدیده قلمداد شد. در مرحله بعدی نسبت میانه بارش در فاز مثبت ۳۴ ماه به میانه درازمدت آن دوره $(\overline{R}_{Seasonal(Pos)} / \overline{R}_{Seasonal})$ و نسبت میانه بارش در فاز منفی دوره ۶ ماهه به میانه درازمدت آن دوره $(\overline{R}_{Seasonal(Neg)} / \overline{R}_{Seasonal})$ محاسبه شد. بالاتر بودن مقادیر محاسبه شده نسبت به عدد ۱ بیانگر افزایش بارش و وقوع دوره تر در فاز مثبت یا منفی است. به همین ترتیب مقادیر کمتر از یک این نسبت‌ها، کاهش بارش و وقوع دوره خشک، هم‌زمان با وقوع فازهای MJO را نشان می‌دهد. در صورتی که هریک از نسبت‌های فوق برابر با یک شود، چیرگی هریک از این فازها بر تغییرات بارش تأثیری نخواهد داشت.

آزمون ناپارامتری مان-ویتنی برای بررسی تفاوت معنی‌دار میانگین سری زمانی بارش هر ایستگاه در دوران فاز مثبت و منفی با یکدیگر، مورد استفاده قرار گرفت (مان و ویتنی، ۱۹۷۴). بدین ترتیب که در هر ایستگاه به‌طور جداگانه، هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت و یا فاز منفی MJO مقادیر بارش رتبه‌بندی می‌شود و معنی‌دار بودن اختلاف میانگین رتبه‌های محاسبه شده در هر فاز با یکدیگر (سطح معنی‌داری ۹۵٪) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که رخداد مقادیر بیشتر بارش در هر فاز، رتبه بالاتری را کسب می‌کند. معنی‌دار بودن این آزمون در هریک از ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که چیرگی پدیده MJO در اقیانوس آرام و هند تأثیر معنی‌داری بر تغییرات بارش آن ایستگاه خواهد داشت. به منظور ارزیابی ارتباط معنی‌دار رخداد دوره‌های خشک و تر استان خوزستان به ترتیب هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت و منفی MJO از آزمون ناپارامتری دقیق فیشر

بوده است و نمایه MK حالت خنثی را نشان داده است. در مقابل برای ۴۲ ماه (۲۱ ماه برای هر یک از فازها) نمایه MK چیرگی یکی از فازهای MJO را نشان داده در حالی که نمایه WH حاکی از شرایط خنثی در این ماه‌ها بوده است.

ماه‌هایی که به طور هم‌زمان فاز مثبت دو نمایه MK و WH و یا فاز منفی این دو نمایه در ناحیه اقیانوس آرام و هند چیره می‌شود برابر با ۳۴ ماه است. همچنین در ۱۸ ماه این دوره فقط فاز مثبت نمایه WH و در ۲۴ ماه دیگر تنها فاز منفی نمایه WH چیره

جدول ۱. رخدادهای فاز مثبت یا منفی پدیده MJO بر اساس نمایه‌های مالونی و کیل و ویلر و هندون. حروف WH, MK و B به ترتیب نشانگر زمان‌هایی است که نمایه مالونی و کیل، ویلر و هندون و یا هر دو نمایه حاکی از رخداد فاز مثبت یا منفی باشند.

سال	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		نوامبر		دسامبر	
	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی
1979		B	WH		WH			MK	B		WH	MK
1980	B			MK	WH		MK			WH		
1981	MK	WH	MK	WH		B			B			MK
1982	MK			B	MK					B	WH	
1983		WH	MK			B		WH	MK			B
1984				WH		B	MK			WH	B	
1985		B	B			B	MK		MK			MK
1986	B			B	B			MK				B
1987	B			WH	MK	WH		WH	WH		B	
1988		WH		MK	B			B	B			WH
1989	MK			WH		B	B		MK	WH		B
1990	B			B			WH					WH
1991	WH	MK	MK			B	B			B		WH
1992		B	B			B	WH			B	MK	
1993	MK			MK	B							B
1994		MK	B		MK			WH		B	WH	
1995	WH							B	B			B
1996		WH	MK			B	WH			MK	B	
1997		MK	B			B		B		WH	MK	
1998		WH	MK				WH	MK	B			WH
1999		WH		B	B		B					WH
2000			B			MK	B				WH	MK
2001		MK	B			MK			B			B
2002		WH	B					MK	B			B
2003								B		B	B	
2004		B	WH		B			B	B		WH	MK
2005	B			WH		B		MK		MK	MK	WH
فقط MK	۴	۴	۵	۳	۳	۲	۳	۵	۳	۲	۳	۵
فقط WH	۲	۷	۲	۵	۲	۱	۴	۳	۱	۴	۷	۴
هر دو B	۵	۴	۷	۴	۵	۱۰	۴	۵	۸	۵	۵	۶
دوره ۱۶۲ ماهه نوامبر تا آوریل												
کلی	مثبت B		منفی B		مثبت فقط WH		منفی فقط WH		مثبت فقط MK		منفی فقط MK	
	۳۴		۳۴		۱۸		۲۴		۲۱		۲۱	

۲-۳ تأثیرپذیری مقادیر بارش از فازهای MJO

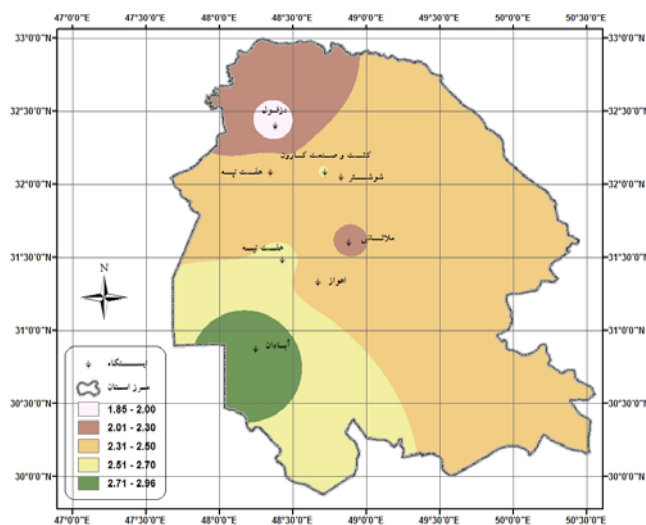
جدول (۲) نتایج آزمون ناپارامتری مان-ویتنی را در ۸ ایستگاه مورد بررسی نشان می‌دهد. در همه ایستگاه‌ها بین رتبه بارش هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت MJO و رتبه بارش هم‌زمان با چیرگی فاز منفی آن در سطح معنی‌داری ۹۵٪ اختلاف وجود دارد ($p < 0.05$). رتبه مقادیر بارش هم‌زمان با چیرگی فاز منفی به مراتب بیشتر از رتبه بارش هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت است. برای نمونه در ایستگاه آبادان رتبه بارش هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت و منفی MJO به ترتیب برابر با ۲۶۷ و ۸۶۲ است. بیشترین اختلاف مربوط به ایستگاه‌های آبادان و اهواز (رتبه ۵۹۵) و کمترین اختلاف در ایستگاه کشت و صنعت کارون (رتبه ۴۰۶) مشاهده می‌شود. وجود اختلاف معنی‌دار در رتبه بارش هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت و منفی بدین معنی است که چیرگی فازهای متفاوت پدیده MJO تأثیر معنی‌داری بر مقدار بارش استان داشته است. به بیان دیگر در ۳۴ ماهی که فاز مثبت هر دو نمایه چیره بوده است، مقدار بارش به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار مشابه در ۳۴ ماهی است که هر دو نمایه بر چیرگی فاز منفی دلالت داشته‌اند.

شکل (۲) توزیع جغرافیایی نسبت میانگین بارش فصلی هم‌زمان با چیرگی فاز منفی به میانگین بارش فاز مثبت ($\bar{R}_{Seasonal(Neg)} / \bar{R}_{Seasonal(Pos)}$) را نشان می‌دهد. در همه نواحی استان خوزستان این نسبت بزرگ‌تر از یک

است. به عبارت دیگر مقادیر بارش هم‌زمان با چیرگی فاز منفی بیشتر از این مقادیر هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت است. این بدین معنی است که در این نواحی، جابه‌جایی فازهای MJO می‌تواند عامل معنی‌داری در تغییر مقادیر بارش استان باشد. بیشترین مقدار این نسبت مربوط به ناحیه جنوب غربی در محدوده ۲/۹۶-۲/۷۰ بوده است که افزایش ۱/۷ تا ۱/۹۶ برابری بارش هم‌زمان با چیرگی فاز منفی نسبت به فاز مثبت در این منطقه را نشان می‌دهد. نتایج آزمون فیشرف دقیق در جدول (۳) نیز نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌ها هم‌زمان با چیرگی هر یک از فازهای MJO احتمال وقوع دوره‌های خشک یا تر معنی‌دار ($p < 0.05$). بیشترین نسبت مربوط به نواحی جنوب غربی (۲/۵۰-۳/۰۰) است. بدین معنی که هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO میانگین بارش این نواحی ۱۵۰ تا ۲۰۰ درصد نسبت به میانگین مقادیر بارش هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت افزایش می‌یابد. کمترین نسبت در نواحی شمالی استان در حدود ۲/۳۰-۱/۸۵ است. در این نواحی کمترین تغییرات بارش هم‌زمان با چیرگی فازهای MJO صورت می‌پذیرد. در بیشتر نواحی استان این نسبت حدود ۲/۵۰-۲/۳۰ است که تغییرات نسبتاً زیاد بارش فصل سرد استان را هم‌زمان با چیرگی فازهای MJO به همراه دارد.

جدول ۲. نتایج آزمون مان-ویتنی در بررسی اختلاف مقادیر بارش در فازهای مثبت و منفی MJO.

شماره	نام ایستگاه	مجموع رتبه در فاز مثبت	مجموع رتبه در فاز منفی	مقدار p
۱	آبادان	۲۶۷	۸۶۲	۰/۰۰۰
۲	اهواز	۲۷۸	۸۷۳	۰/۰۰۰
۳	حمیدیه	۲۰۸	۷۰۴	۰/۰۰۰
۴	دزفول	۲۶۵	۷۶۱	۰/۰۰۲
۵	شوشتر	۲۶۴	۷۲۹	۰/۰۰۴
۶	کشت و صنعت کارون	۱۸۹	۵۹۵	۰/۰۰۱
۷	ملاثانی	۲۲۷	۶۶۳	۰/۰۰۱
۸	هفت تپه	۲۰۷	۶۴۲	۰/۰۰۰



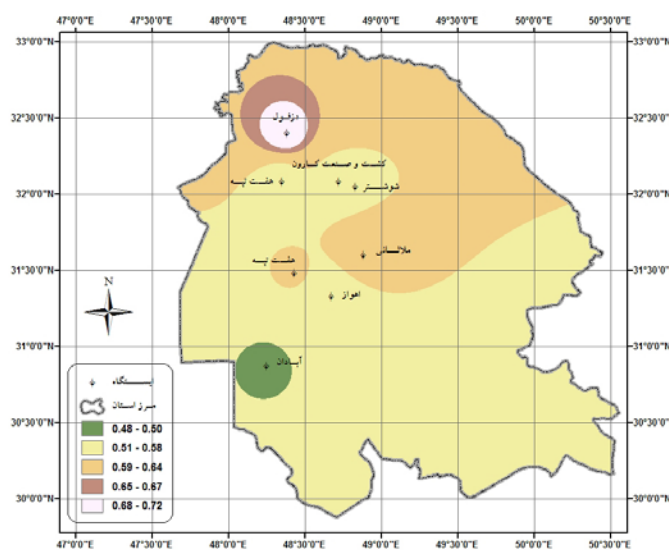
شکل ۲. توزیع جغرافیایی نسبت مقادیر بارش فصلی هم‌زمان با چیرگی به منفی به مقادیر متناظر هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت MJO در استان خوزستان. $(\bar{R}_{Seasonal(Neg)} / \bar{R}_{Seasonal(pos)})$

میزان میانگین بارش در همه ایستگاه‌های مورد بررسی، به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به تعبیر دیگر چیرگی فاز مثبت MJO دوره خشک و کم‌بارش را در فصل بارش استان به همراه دارد. بیشترین میزان کاهش منابع آب فصل سرد در نواحی جنوبی استان در حدود ۴۲-۵۲ درصد و کمترین میزان کاهش در نواحی شمالی استان در حدود ۲۸-۳۵ درصد است.

۱-۲-۳ تغییرات بارش استان نسبت به میانگین

درازمدت در فاز مثبت MJO

محاسبه مقادیر میانگین بارش فاز مثبت فصل بارش به میانگین درازمدت فصلی $(\bar{R}_{Seasonal(Pos)} / \bar{R}_{Seasonal})$ نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق این نسبت کمتر از یک است. شکل (۳) توزیع جغرافیایی تغییرات بارش هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت B در استان خوزستان را نشان می‌دهد. هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت MJO، در همه مناطق استان،



شکل ۳. توزیع جغرافیایی تغییرات بارش فصلی هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت MJO $(\bar{R}_{Seasonal(Pos)} / \bar{R}_{Seasonal})$ در استان خوزستان.

۳-۲-۲ تغییرات بارش استان نسبت به میانگین

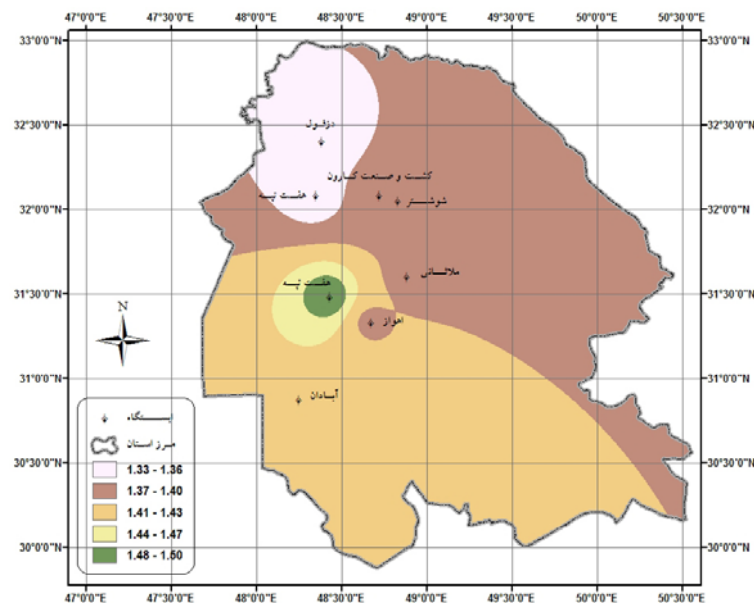
درازد مدت در فاز منفی MJO

شکل (۴) توزیع جغرافیایی تغییرات بارش استان خوزستان هم‌زمان با چیرگی فاز منفی در نواحی گوناگون استان را نشان می‌دهد. هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO در همه مناطق میزان بارش افزایش می‌یابد. بیشترین و کمترین میزان افزایش بارش به ترتیب مربوط به نواحی جنوب غربی (۴۰-۵۰ درصد) و در نواحی شمالی استان (۳۳-۳۶ درصد) است. بدین ترتیب چیرگی فاز منفی MJO در همه نواحی استان به اندازه قابل ملاحظه‌ای نویدبخش وقوع دوره ترسالی است. جدول (۳) احتمال وقوع ترسالی هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO را نشان می‌دهد. در بیشتر نواحی، چیرگی فاز منفی احتمال وقوع ترسالی را بالا می‌برد. فقط در ایستگاه درودزن احتمال وقوع ترسالی کم بوده است و در بقیه نواحی با احتمال بیشتر از ۶۰٪ چیرگی فاز منفی دوره ترسالی را در پی خواهد داشت.

۳-۳ بسامد رخدادهای خشک و تر در استان خوزستان

جدول (۳) نتایج تحلیل آماری تأثیر فازهای MJO بر

رخدادهای خشک و تر مناطق گوناگون استان خوزستان هم‌زمان با چیرگی فازهای مثبت و منفی MJO را نشان می‌دهد. در ایستگاه آبادان هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت ۹ رخداد تر و ۲۵ رخداد خشک وجود داشته است. هم‌زمان با چیرگی فاز منفی، ۲۱ رخداد تر و ۱۳ رخداد خشک مشاهده شد. در هنگام چیرگی فاز مثبت، در کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی، به‌جز شوشتر، بسامد دوران‌های خشک بسیار بیشتر از بسامد دوران تر است. فقط در ایستگاه شوشتر هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت بسامد دوران خشک کمی بیشتر از دوران تر است (۱۷ رخداد خشک در مقابل ۱۵ رخداد تر). در ایستگاه ملائانی واقع در مرکز استان خوزستان تأثیر فاز مثبت بر افزایش دوران خشک چشمگیرتر از سایر ایستگاه‌ها است. این بدین مفهوم است که در این منطقه استان آب‌های سطحی آن تا حد زیادی تحت تأثیر وضعیت سامانه‌های همرفتی اقیانوس هند است، به طوری که احتمال وقوع دوره خشک هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت به ۹۰٪ می‌رسد. در ایستگاه شوشتر احتمال رخداد دوره خشک نسبت به سایر ایستگاه‌ها کمتر (حدود ۵۳٪) است.



شکل ۴: توزیع جغرافیایی تغییرات بارش فصلی هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO ($\overline{R}_{Seasonal(Neg)} / \overline{R}_{Seasonal}$) در استان خوزستان.

چیرگی فازهای فعال (مثبت) و غیرفعال (منفی) MJO به ترتیب با رخداد‌های خشکی و پربارش استان خوزستان مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج نشان‌دهنده وابستگی به نسبت زیاد تغییرات بارش فصلی استان خوزستان به جابه‌جایی فازهای MJO است. وجود اختلاف معنی‌دار (سطح معنی‌داری ۹۵٪) بین رتبه میزان بارش فصلی در فاز منفی و مثبت در آزمون مان-ویتنی، بیانگر این مطلب است که فصل بارش استان (نوامبر تا آوریل) تا حد زیادی می‌تواند تحت تأثیر پدیده مادن جولیان قرار گیرد. به بیان دیگر دوره‌های خشک و مرطوب هم‌زمان با چیرگی فازهای به ترتیب مثبت و منفی پدیده نوسانات مادن-جولیان، رخ خواهد داد. نتایج آزمون دقیق فیشر نشان می‌دهد که در بیشتر نواحی مورد بررسی استان احتمال وقوع دوره‌های خشک و تر به ترتیب هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت و منفی MJO زیاد است. همچنین در بیشتر ایستگاه‌ها احتمال رخداد دوره خشک هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت نسبت به احتمال رخداد دوره تر هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO بیشتر است. به عبارت دیگر استفاده از دو نمایه MJO گزینه‌ای مناسبتر در پیش‌بینی دوره‌های خشک و تر استان است.

هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO در همه ایستگاه‌ها، بسامد دوران تر به طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر مشابه برای دوران خشک می‌شود. احتمال رخداد دوره‌های تر در استان هم‌زمان با چیرگی فاز منفی از ۷۹٪ در شوشتر تا ۵۶٪ در ملاتانی متغیر است. مقایسه احتمال رخداد دوره‌های خشک و تر در جدول (۳) نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌ها احتمال رخداد دوره خشک هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت MJO نسبت به احتمال رخداد دوره تر هم‌زمان با چیرگی فاز منفی MJO بیشتر است.

۴ نتیجه‌گیری

پدیده همرفتی MJO در پهنه استوایی اقیانوس هند و آرام مهم‌ترین شکل نوسانات زیرفصلی جوئی-اقیانوسی است که تغییرات آب و هوایی و به ویژه بارش مناطق حاره‌ای و فوق حاره‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق با استفاده از دو نمایه متفاوت پدیده MJO به نام شاخص‌های مالونی و کیل (MK) و ویلر و هندون (WH) تأثیر این پدیده بر تغییرات فصلی بارش (نوامبر-آوریل) نواحی گوناگون استان خوزستان، مورد بررسی قرار گرفت. ارتباط معنی‌دار آماری بین میانگین مقادیر بارش هم‌زمان با

جدول ۳. بسامد و احتمال وقوع دوره‌های خشک و تر در ۹ ایستگاه مورد بررسی استان خوزستان.

ردیف	ایستگاه	فاز مثبت با تعداد ۳۳ ماه		فاز منفی با تعداد ۳۴ ماه		مقدار P
		دوره خشک	دوره تر	دوره خشک	دوره تر	
		احتمال وقوع خشک‌سالی (%)	احتمال وقوع تر	احتمال وقوع خشک سالی (%)	احتمال وقوع تر	
۱	آبادان	۲۵	۹	۱۳	۲۱	۰/۰۰۶
۲	اهواز	۲۴	۹	۱۲	۲۲	۰/۰۰۳
۳	حمیدیه	۱۸	۱۰	۸	۲۴	۰/۰۰۳
۴	دزفول	۲۱	۹	۱۱	۲۰	۰/۰۱۰
۵	شوشتر	۱۷	۱۵	۶	۲۳	۰/۰۵۰
۶	کشت و صنعت کارون	۲۱	۹	۱۱	۱۹	۰/۰۲۰
۷	ملاتانی	۲۷	۳	۱۳	۱۷	۰/۰۰۷
۸	هفت تپه	۱۶	۳	۸	۱۶	۰/۰۰۱
	مجموع بسامدها	۱۹۴	۸۲	۹۶	۱۸۹	

منابع آب. (۱) ۳، ۱۲-۲۴.

ناظم‌السادات، س. م. ج و قاسمی، ا.، ۱۳۸۲، بارندگی شش ماهه سرد مناطق مرکزی و جنوب غربی ایران و ارتباط آن با پدیده النینو نوسانات جنوبی، م. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. (۳) ۲۵-۱، ۱۲.

Agresti, A., 1992, A survey of exact inference for contingency tables, *Statistical Science*. **7**, 131-153.

Barlow, M., Wheeler, M., Lyon, B. and Cullen, H., 2005, Modulation of daily precipitation over Southwest Asia by the Madden-Julian Oscillation, *J. Mon. Wea. Rev.*, **133**, 3579-3594.

Bond, N. A. and Vecchi, G., 2003, The influence of the Madden-Julian Oscillation on precipitation in Oregon and Washington, *J. Wea. Forecasting*, **18**, 600-613.

Cheng, Q., Bonham-Carter, G. F. and Raines, G. L., 2001, GeoDAS—A new GIS system for spatial analysis of geochemical data sets for mineral exploration and environmental assessment, *The 20th Intern. Geochem. Explor. Symposium (IGES)*, 6-10 May. Santiago de Chile. pp. 42-43.

Madden, R. A. and Julian, P. R., 1971, Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 702-708.

Maloney, E. D. and Kiehl, J. T., 2002, MJO-related SST variations over the tropical eastern Pacific during northern hemisphere summer, *J. Climate.*, **15**, 675-689.

Mann, H. B. and Whitney, D. R., 1974, On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *Annals of Mathematical Statistics*. **18**, 50-60.

Mo, K. C. and Higgins, R. W., 1998, Tropical convection and precipitation regimes in the Western United States, *J. Climate.*, **11**, 2404-2423.

Nazemosadat, M. J. and Ghasemi, A. R., 2004, Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran, *J. Climate.*, **17**, 4005-4018.

Nazemosadat, M. J. and Ghaedamini, H., 2010, On the relationships between the Madden Julian Oscillation and precipitation variability in southern Iran and the Arabian Peninsula: Atmospheric circulation analysis, *J. Climate*, Second revision.

لذا با پیش‌بینی فصلی این دو نمایه و استخراج نمایه مشترک (B) پیش‌بینی دوره‌های پرباران و خشک، دقت و اعتبار زیادی خواهد داشت. لازم به ذکر است که این پدیده بخش قابل توجهی از تغییرات بارش استان را توجیه می‌کند و توجیه تغییرپذیری بارش استان نیاز به بررسی تأثیر مشترک دیگر پدیده‌ها، از جمله ENSO دارد.

سپاسگزاری

از مدیریت شرکت منابع آب ایران که امکانات به انجام رسیدن این تحقیق را در اختیار نگارندگان قرار داده و همچنین از مرکز پژوهش‌های علوم جوئی و اقیانوسی دانشگاه شیراز صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم. از جناب آقای دکتر سید محمدجعفر ناظم‌السادات که با پاسخگویی به سؤالات، نگارندگان این مقاله را یاری کرده‌اند سپاسگزاری می‌کنیم.

منابع

قائد امینی، ح. و ناظم‌السادات، س. م. ج.، ۱۳۸۵، بررسی نوسانات مادن- جولیان بر بارش‌های ماه‌های فوریه تا آوریل در استان فارس، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان.

ناظم‌السادات، س. م. ج. و قائدامینی، ح.، ۱۳۸۷، بررسی بررسی تأثیر نوسانات مادن جولیان بر وقوع کرانه بالایی و پایینی بارش (سیلاب و خشکی) ماه‌های فوریه تا آوریل در استان فارس، م. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان. (۴) ۴۶-۴۷۷-۴۹۰.

ناظم‌السادات، س. م. ج.، انصاری، ا. و پیشوایی، م. ر.، ۱۳۸۶، ارزیابی سطح معنی‌داری برای پیش‌بینی دوران خشکسالی و ترسالی فصل پائیز و شش ماهه سرد ایران بر اساس وضعیت فازهای تابستانه ENSO، م. تحقیقات منابع آب ایران. انجمن علوم و مهندسی

Tobler, W., 1970, A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, **46**, 234-240.

Wheeler, M. and Hendon, H., 2004, An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction, *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 1917-1932.