



## اثر نوسان مادن - جولیان (MJO) بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در مناطق جنوبی ایران

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱\*</sup>، فرزاد نادری مقدم<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۴

### چکیده

گاهی بی‌هنجاری‌های متناوب فشار و الگوهای گردش جوی اثرات خود را بر موقعیتی فراتر از محل وقوع اولیه تحمیل می‌کنند. این‌گونه اغتشاش جوی به «پیوند از دور» معروف است. نوسانات مادن- جولیان (MJO) یک الگوی پیوند از دور و شکل غالب تغییرپذیری زیر فصل مناطق حاره و فوق حاره می‌باشد که در سامانه گردش جو- اقیانوس نقش مهمی را ایفا می‌کند. ثابت شده است که این پدیده می‌تواند در مقیاس زمانی درون فصلی بر الگوهای میدان باد و بارش در منطقه جنوب غرب آسیا (ایران، افغانستان و پاکستان) تأثیر بگذارد. از آنجایی که تغییر اقلیم موجب تغییر متغیرهای هواشناسی می‌شود، مقدار تبخیر و تعرق مرجع تغییر یافته و در حالت کلی نیاز آبی گیاه تغییر خواهد کرد. با توجه به مشکل کمبود آب در کشور و اهمیت تبخیر و تعرق در بخش کشاورزی، در این پژوهش اثر فازهای مختلف MJO بر تبخیر و تعرق مرجع در برخی از مناطق جنوبی کشور طی دوره‌ی آماری ۱۳۵۸ الی ۱۳۸۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های هواشناسی تحت نرم افزار REF-ET با روش پنمن مانیتث فائو- ۵۶ محاسبه شد. زوج آماری  $ET_0$  و MJO بر اساس تعریف ویلر و هندون برای هر ایستگاه در فازها و ماه‌های مختلف تشکیل شد. با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن، رگرسیون خطی و روش گزینش بیش رونده، تأثیر شاخص MJO بر  $ET_0$  در ایستگاه‌ها و فازهای هشت گانه MJO مورد آزمون و بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار فازهای هشت گانه MJO روی  $ET_0$  در ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. بیشترین تعداد همبستگی معنی‌دار در ایستگاه بندرلنگه اتفاق افتاد. همچنین در فازهایی که هسته فعال MJO از لحاظ مکانی در غرب ایران قرار داشت، تأثیر گذاری بیشتری روی تبخیر و تعرق ملاحظه شد. در این راستا فازهای ۱ و ۸ دارای بیشترین درصد همبستگی معنی‌دار با  $ET_0$  بودند. بیشترین تأثیر معنی‌دار MJO روی  $ET_0$  در ماه ژوئیه و کمترین تأثیر در ماه مارس مشاهده شد.

**واژه‌های کلیدی:** نوسانات مادن- جولیان، تبخیر و تعرق مرجع، RMM1 و RMM2، شاخص ویلر و هندون

### مقدمه

یک منطقه، منطقه‌ی دیگر را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (بوشر، ترجمه قائمی، ۱۳۷۳). گاهی بی‌هنجاری‌های متناوب و طولانی مدت فشار و الگوهای گردش جوی اثرات خود را بر موقعیتی فراتر از محل وقوع آن تحمیل می‌کنند. این‌گونه تأثیر گذاری به پیوند از دور<sup>۴</sup> معروف است. الگوهای پیوند از دور در واقع نوعی نوسان کم‌بسامد (با دوره بازگشت طولانی) هستند. برخی از این الگوها گاه متأثر از تغییرات دمای آب اقیانوس‌ها در منطقه حاره و جریان‌های همرفتی این منطقه هستند (عساکره، ۱۳۸۶). والاس (۱۹۸۱) بیان نمود که ساز و کار پیوند از دور یکی از موضوعات با اهمیت

اقلیم یک منطقه مجموعه‌ای از میانگین‌های شرایط جوی درازمدت برای آن منطقه است. از جمله علل تغییرپذیری سال به سال اقلیم در نقاط مختلف جهان پدیده‌های جوی - اقیانوسی می‌باشند (سرانو و همکاران، ۱۹۹۹). هیچ منطقه‌ای از نظر اقلیمی مستقل نیست، بلکه الگوی اقلیمی غالب در

<sup>۱</sup> استاد هواشناسی گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا، همدان  
<sup>۲</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(\*نویسنده مسئول: swsabzi@basu.ac.ir)

<sup>۴</sup> Teleconnection

با حضور شاخه نزولی MJO (همرفت سرکوب شده) بر روی اقیانوس هند وضعیت بی‌هنجاری حرکت‌های فرو سو (نزول هوا) در جنوب غرب آسیا که می‌تواند از شکل‌گیری و یا تقویت چرخندها در این منطقه جلوگیری کند را برعکس کرده و به شکل‌گیری و تقویت این چرخندها در این ناحیه کمک می‌کند. ناظم السادات و قائد امینی (۱۳۸۶) نشان دادند که کران‌های بالایی و پایینی بارش در استان فارس وابستگی زیادی به جایابی فاز های MJO دارد. قائد امینی و ناظم السادات (۱۳۸۷) در تحقیق دیگری به این نتیجه رسیدند که در ماه فوریه، در اکثر مناطق استان‌های فارس، اصفهان و چهار محال بختیاری بیشترین و کمترین مقادیر بارش به ترتیب همزمان با وقوع فاز منفی و مثبت MJO رخ می‌دهد. در ماه مارس مقادیر کمینه بارش در تمامی نواحی این سه استان همزمان با وقوع فاز مثبت MJO ایجاد می‌گردد. در تمام نواحی سه استان بیشینه بارش ماه آوریل همزمان با وقوع فاز منفی MJO به وقوع می‌پیوندد. ویلارد و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که تغییرات درون سالی ظرفیت حرارتی لایه مرزی در دو منطقه سیچلس-چاگوس<sup>۳</sup> (نام دو جزیره در اقیانوس هند) می‌تواند عمق لایه اختلاط را تعدیل کند و بدین ترتیب دمای سطح دریا به پدیده MJO واکنش نشان دهد. ژو و مورتیوگود (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات ساحلی تأثیر MJO را روی شرق اقیانوس هند و نواحی ساحلی آن مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. دمای سطح دریا واکنش‌های متفاوتی به فازهای مختلف MJO در نواحی شرقی اقیانوس هند داشت. هنگامی که همرفت عمیق در مناطق حاره اقیانوس هند وقوع می‌پیوست، دمای سطح آب دریا رو به سردی می‌گذاشت و هنگامی که همرفت به سوی مناطق ساحلی حرکت می‌کرد، بی‌هنجاری‌های دمای سطح دریا مشهود بود. به طور کلی، تأثیر MJO از اجزاء عمده بی‌هنجاری‌های دمای سطح و بالای سطح دریا در مناطق جنوب شرقی اقیانوس هند است که در حدود ۲۰ درصد از کل تغییرات درون فصلی اقیانوس را شامل می‌شود. قائد امینی و گلکار (۱۳۸۹) طی تحقیقی با استفاده از دو نمایه مختلف پدیده به نام شاخص مالونی و کیل (MK) و ویلر و هندون (WH)

در توجیه رفتار اقلیم می‌باشد. ارتباط از دور در واقع همبستگی‌های معنی‌داری بین نوسانات زمانی پارامترهای هواشناسی است که در نقاط وسیع و جدا از هم در سطح زمین اتفاق می‌افتد. یکی از الگوهای پیوند از دور در نیم کره‌ی جنوبی نوسان مادین-جولیان<sup>۱</sup> است. نوسانات مادین-جولیان شکل غالب تغییرپذیری زیرفصلی<sup>۲</sup> مناطق حاره و جنب حاره می‌باشد که در سامانه گردش جو-اقیانوس نقش مهمی را ایفا می‌کند. مادین و جولیان (۱۹۷۲ و ۱۹۷۱) فشار هوای سطح دریا و حرکت باد در لایه‌های مختلف جو در پهنه‌ی اقیانوس آرام را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که برای دوره‌های زمانی ۴۰ تا ۵۰ روزه یک همبستگی معنی‌دار بین فشار سطح دریا و بادهای سطحی غربی وجود دارد که به علت دوام کمتر از یک فصل به نوسانات زیرفصلی معروف شدند. MJO یک مرجع برای نوسان‌های ۳۰ تا ۶۰ یا ۴۰ تا ۵۰ روز است و عامل اصلی تغییرات درون فصلی و توضیح تغییرات آب و هوایی در مناطق حاره است. در ساده‌ترین شکل آن، MJO شامل تغییرات منسجم در باد، رطوبت، دمای سطح دریا، ابرناکی و بارندگی است که از غرب به شرق در امتداد خط استوا انتشار پیدا می‌کند. والیزر و همکاران (۱۹۹۳) با مطالعه بر روی تغییرات درون فصلی اقیانوس در مناطق حاره‌ی اقیانوس هند بیان کردند که این تغییرپذیری طی بی‌ثباتی داخلی اقیانوس و واکنش به انرژی‌های زیر فصلی جو افزایش پیدا می‌کند. ویشی و باند (۲۰۰۴) طی بررسی‌های بالا در نیم‌کره شمالی شامل ایستگاه‌های آمریکای شمالی، گرینلند و ایسلند دریافتند که بین MJO و دمای هوای سطح دریا در زمستان در این مناطق رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد. یافته‌های بارلو و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که این پدیده همرفتی بزرگ مقیاس می‌تواند در عرض‌های بیرون از محدوده‌ی ۱۰° S تا ۱۰° N نیز تأثیر داشته باشد. برای نمونه، اثر MJO بر بارندگی برخی از جزایر اقیانوس آرام، مناطقی متأثر از پدیده مانسون، استرالیا، جنوب آمریکا، بخش‌هایی از آفریقا، جنوب غرب آسیا و افغانستان اثبات شده است. نصر اصفهانی و همکاران (۱۳۸۵) ثابت کردند که

<sup>1</sup> Madden-Julian<sup>2</sup> Intraseasonal<sup>3</sup> Seychelles-Chagos

بارش، باد و به تبع آن مقدار تبخیر و تعرق تحت تأثیر پدیده MJO قرار می‌گیرند.

## مواد و روش‌ها

### داده‌ها

#### انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شامل بخشی از نوار ساحلی جنوب کشور است. از آنجایی که MJO یک پدیده‌ی زیر فصلی است و با دیگر پدیده‌های پیوند از دور از لحاظ قدرت و وسعت تأثیرگذاری متفاوت است، در نتیجه منطقه‌ی مکانی تأثیرگذار آن به جنوب کشور محدود می‌شود. در این پژوهش از آمار و اطلاعات هواشناسی ۹ ایستگاه که دارای طولانی‌ترین دوره‌ی مشترک آماری (۲۰۰۸-۱۹۷۹) بودند بهره گرفته شد (جدول ۱). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های تحت مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

#### داده‌های مورد نیاز

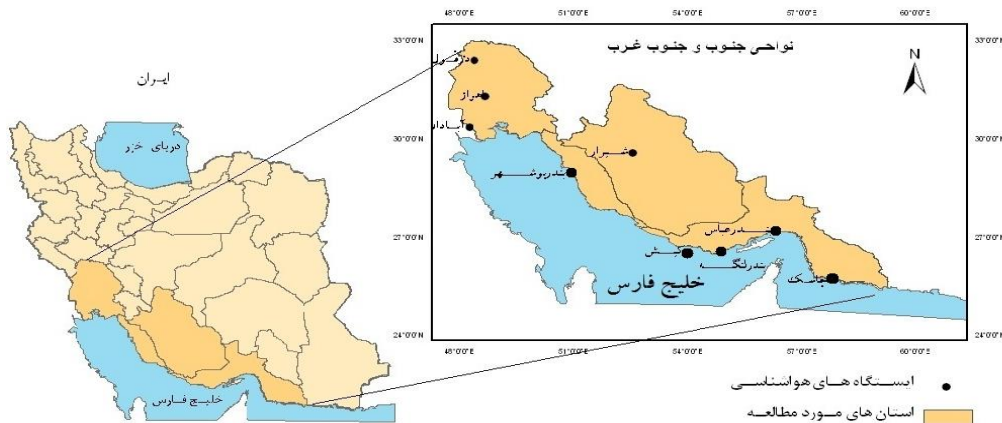
در این تحقیق برای محاسبه‌ی مقدار تبخیر و تعرق مرجع روزانه داده‌های اندازه‌گیری شده هواشناسی (از قبیل بیشینه، متوسط و کمینه دما، بارش، فشار بخار، فشار هوا، دمای خشک و تر، رطوبت، سرعت باد و نقطه شبنم) مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها از مرکز آرشیو اطلاعات سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه گردید. داده‌های مربوط به شاخص MJO با استفاده از تعریف ویلر و هندون در دوره‌ی زمانی ۳۰ سال (۲۰۰۸-۱۹۷۹) از پایگاه داده‌های اداره ملی جوی- اقیانوسی (NOAA) استخراج شد. ویلر و هندون (۲۰۰۴) مقادیر روزانه نمایه MJO را بر مبنای تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای تابش خروجی موج بلند از سطح زمین (OLR) و بادهای منطقه‌ای غرب سو در ۱۵ درجه‌ی شمالی تا ۱۵ درجه جنوبی در سطوح هم فشار ۸۵۰ و ۲۵۰ میلی‌باری نزدیک استوایی محاسبه نموده و به صورت دو سری زمانی شامل RMM1 و RMM2 نشان دادند.

به این نتیجه رسیدند که ارتباط معنی‌داری بین رخداد‌های خشکی و پربارش استان خوزستان با چیرگی همزمان فازهای فعال (منفی) و غیرفعال (مثبت) MJO در این استان وجود دارد. پاسخ بارش به پدیده MJO به گونه‌ای بود که در این استان بارش فصلی فاز منفی ۱/۵ تا ۳ برابر فاز مثبت بود. مهرآور و همکاران (۱۳۹۰) با ارزیابی برهمکنش پدیده‌های ENSO و MJO بر رخداد بارش در پهنه‌ی جنوبی ایران دریافتند که جابه‌جایی فازهای مشترک این دو پدیده در ماه‌های نوامبر و دسامبر در این ایستگاه‌ها می‌تواند به گونه‌ای معنی‌دار بارش و رخداد دوران خشک و تر را در این ایستگاه-ها دچار نوسان کند. ایران در زمره کشورهای خشک جهان محسوب می‌شود و بارندگی متوسط آن حدود ۲۴۲ میلی‌متر می‌باشد که کمتر از یک سوم باران متوسط جهان است (سبزی پرور و غفوری، ۲۰۰۸). تبخیر حدود ۷۱ درصد از بارندگی رسیده، منابع آب سطحی و زیر زمینی کشور را با تنش جدی مواجه می‌کند (غفوری و سبزی پرور، ۱۳۸۹). تأکید بر مدیریت مؤثر منابع آبی بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک با پیچیدگی‌هایی که پدیده تغییر اقلیم ایجاد کرده است، بسیار ضروری است (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۳). بخش کشاورزی و تولید غذا برای هر جامعه بسیار ضروری و دارای اهمیت ویژه‌ای است. این فرآیند بسیار وابسته و تأثیرپذیر از تغییر اقلیم است و این تغییرات بر منابع آبی و مولفه مهم تبخیر و تعرق نمود می‌کند. با توجه به اینکه نخستین گام در طراحی سیستم‌های آبیاری و نیز بخش اصلی و مهم برنامه‌ریزی آبیاری، تخمین مقدار صحیح و دقیق تبخیر و تعرق به خصوص در ماه‌های رشد گیاه می‌باشد؛ و بدون آگاهی از مقدار صحیح آن، آبی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد یا کمتر از آب مورد نیاز گیاه بوده و باعث کاهش مقدار محصول می‌گردد و یا بیشتر از مقدار مورد نیاز گیاه بوده و باعث اتلاف آب و ایجاد مسئله‌ی زهکشی می‌شود (کای و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به موقعیت کشور از نظر مشکل دسترسی به منابع آب شیرین و اهمیت مولفه تبخیر و تعرق در بخش کشاورزی، در تحقیق حاضر اثر فازهای مختلف MJO بر تبخیر و تعرق مرجع در برخی از مناطق جنوبی کشور برای اولین بار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این پژوهش فرض می‌شود متغیرهای دما،

<sup>1</sup> <http://www.noaa.gov>

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	آبادان	اهواز	بندر عباس	بندر لنگه	بوشهر	دزفول	جاسک	کیش	شیراز
ارتفاع (متر)	۶/۶	۲۲/۵	۹/۸	۲۲/۷	۱۹/۶	۱۴۳	۵/۲	۳۰	۱۴۸۴
طول جغرافیایی (دقیقه-درجه)	۴۸° ۱۵'	۴۸° ۴۰'	۵۶° ۲۲'	۵۴° ۵۰'	۵۰° ۵۰'	۴۸° ۲۳'	۵۷° ۴۶'	۵۳° ۵۹'	۵۳° ۳۶'
عرض جغرافیایی (دقیقه-درجه)	۳۰° ۲۲'	۳۱° ۱۵'	۲۷° ۱۳'	۲۸° ۳۲'	۲۸° ۵۹'	۳۲° ۲۴'	۲۵° ۳۸'	۲۸° ۳۰'	۲۹° ۳۲'
سال تأسیس (میلادی)	۱۹۵۱	۱۹۵۱	۱۹۵۷	۱۹۶۶	۱۹۵۱	۱۹۶۱	۱۹۶۸	۱۹۷۶	۱۹۵۱



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

موقعیت هسته‌ی فعال آن به هشت فاز به شرح زیر تقسیم می‌شد (احمدی گیوی و همکاران، ۱۳۸۸). فاز ۱، بر روی بخش‌هایی از قاره آفریقا و غرب اقیانوس هند؛ فازهای ۲ و ۳، بر روی اقیانوس هند؛ فازهای ۴ و ۵، بر روی اندونزی و کشورهای همجوار؛ فازهای ۶ و ۷، بر روی اقیانوس آرام غربی؛ فاز ۸، اقیانوس آرام مرکزی. البته این طبقه‌بندی بر اساس میانگین بلند مدت کمیت‌ها در هر فاز صورت گرفته است؛ لذا بدیهی است که هر فاز یک MJO خاص می‌تواند پراکندگی‌هایی نسبت به میانگین بلند مدت آن‌ها داشته باشد. در مجموع با تقریب خوبی روند کلی یک MJO قوی و منفرد با الگوی فوق سازگار است (روی و وانگ، ۱۹۹۰). شکل ۲ نمونه‌ای از مقادیر RMM1 و RMM2 را از ۳۱ مارس ۲۰۰۴ تا ۹ می ۲۰۰۴ نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی و محور قائم به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر RMM1 و RMM2 بوده و هر نقطه‌ی محل تلاقی این دو، بیانگر مقدار شاخص برای آن روز می‌باشد. دایره مرکزی

این دو سری زمانی شاخص‌هایی هستند که می‌توانند نوسانات زیرفصلی پدیده MJO را توجیه کنند. این دو شاخص که همبستگی بالایی با هم دارند نشان‌دهنده دو مولفه اول ( $PC_1$ ,  $PC_2$ ) تحلیل مولفه‌های اصلی (PCs) تابش بالاسوی موج بلند (OLR) و میانگین سرعت بادهای مداری ترازهای ۸۵۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال در نزدیکی خط استوا (۱۵ درجه شمال تا ۱۵ درجه جنوبی) می‌باشند (ویلر و هندون، ۲۰۰۴). مولفه اول PC را RMM1 و مولفه دوم را RMM2 نامند. با به کارگیری تحلیل مولفه اصلی تغییرات اتفاقی فصلی، سالانه و درون سالانه MJO حذف و فقط تغییرات واقعی زیر فصلی باقی می‌ماند. استفاده از RMM<sup>1</sup> امکان ترسیم موقعیت مکانی هسته فعال MJO را در فضای فازی برای هر یک از فازهای هشت‌گانه فراهم می‌کند (شکل ۲). بر اساس این شاخص، دوره‌ی عمر MJO با توجه به

<sup>1</sup> Real-time Multivariate MJO

به عنوان ضعیف رده بندی می شود. هر چقدر از دایره فاصله بگیرد MJO از لحاظ قدرت قوی تر است. به منظور استفاده درست و صحیح از این شاخص و بهتر نمایان شدن اثر شاخص، از دو سری زمانی RMM1 و RMM2 برآیندگیری کرده و از برآیند آن‌ها استفاده شد.

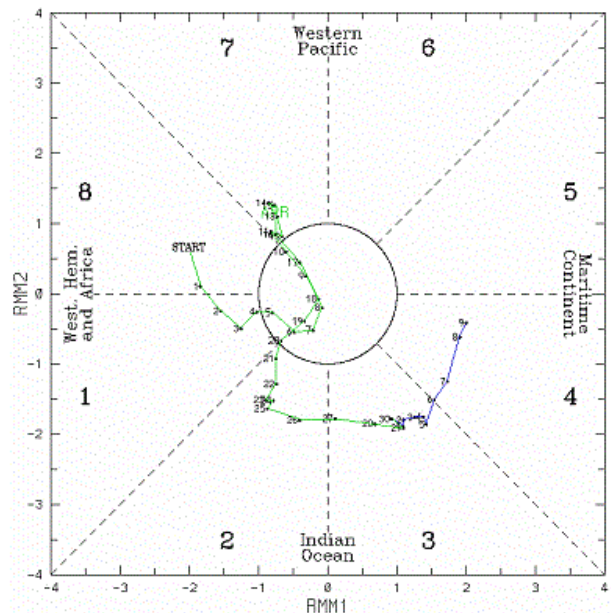
### محاسبه تبخیر و تعرق مرجع

مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت روزانه در طول دوره‌ی آماری و برای ایستگاه‌های مورد نظر به وسیله نرم افزار REF-ET و با روش پنمن-مانتیث- فائو ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) که توسط سازمان فائو به عنوان بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق انتخاب شده است، طبق معادله ۱ محاسبه گردید.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در آن  $ET_0$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm.day}^{-1}$ )،  $R_n$  تابش خالص روزانه ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ )،  $G$  شار حرارتی خاک ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ )،  $T$  دمای متوسط هوا در ارتفاع ۲ متری ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $\text{m.s}^{-1}$ )،  $e_s$  فشار بخار اشباع ( $\text{kPa}$ )،  $e_a$  فشار بخار واقعی اشباع ( $\text{kPa}$ )،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار ( $\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )،  $(e_s - e_a)$  کمبود فشار بخار اشباع ( $\text{kPa}$ ) و  $\gamma$  ثابت سایکرومتری ( $\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) می باشد. پس از محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع، زوج آماری  $ET_0$  و MJO تشکیل و بر اساس فازهای هشت گانه تفکیک شدند. به طوری که هر فاز مجموعه‌ای از داده‌های تبخیر و تعرق مرجع و داده‌های شاخص MJO در سال‌ها و ماه‌های مختلف را شامل شد. در ادامه، داده‌های هر فاز به طور ماهانه و به نحوی که داده‌های هر فاز به مجموعه‌ای از دوازده ماه تفکیک شد. به طور مثال، در فاز دو و در ماه ژانویه در ایستگاه آبادان، همه‌ی داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق مرجع و شاخص MJO که مربوط به فاز دو و ماه ژانویه در طول دوره‌ی آماری از ۲۰۰۸-۱۹۷۹ که مربوط به ایستگاه آبادان می‌شود، وجود دارد. این فرآیند برای همه‌ی ایستگاه‌ها و در همه‌ی فازها انجام گرفت. برای استخراج رابطه‌ی آماری بین  $ET_0$  و MJO، طبق معادله ۲ از روش ضریب همبستگی

نشان دهنده روزهایی است که هسته MJO فعال نبوده است. هشت ناحیه معرفی شده بر روی این فضای فازی نیز معرف محل تقریبی فعالیت هشت فاز MJO هستند. این فازها تغییر محل MJO را هنگامی که در راستای خط استوا حرکت می‌کند نشان می‌دهد. این چرخه معمولاً از سواحل شرقی آفریقا (فاز ۱) شروع می‌شود. سپس از اقیانوس هند (فازهای ۲ و ۳) بالای قاره‌ی استرالیا (فازهای ۴ و ۵) و از داخل اقیانوس آرام (فازهای ۶ و ۷ و ۸) عبور می‌کند. در یک چرخه کامل (۵۰-۶۰ روز)، MJO مانند یک دو قطبی<sup>۱</sup> عمل می‌کند، به طوری که اگر بارش در یک فاز افزایش پیدا کرده در فاز دیگر کاهش نشان می‌دهد (ویلر و هندون، ۲۰۰۴). با اتصال نقاط به یکدیگر و بر اساس توالی روزها، دایره‌هایی با جهت پادساعت‌گرد حول مرکز به وجود می‌آید که حرکت شرق سوی MJO را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار فضای فازی RMM1 و RMM2 از ۳۱ مارس تا ۹ می ۲۰۰۴، اعداد و موقعیت‌های نوشته شده در شکل بیان‌گر فاز و محل تقریبی MJO در آن روز است.

نقاط شماره گذاری شده در طول هر خط، روزهای هر ماه را نشان می‌دهند. اگر MJO داخل دایره باشد، حالتی که در مرکز شکل نشان داده شده است، نوسانات مادن - جولیان

<sup>1</sup> Dipole

آزمون  $F$  است که برای نشان دادن اینکه آیا مدل رگرسیونی تحقیق مدل مناسبی است یا خیر، استفاده می‌شود. به عبارتی، مقدار  $F$  نشان می‌دهد که آیا متغیرهای مستقل قادرند به خوبی تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهند یا خیر (کتابی و صفری شالی، ۱۳۹۰).  $\beta$  یا ضریب استاندارد شده نام دارد؛ و به ما کمک می‌کند تا سهم نسبی هر متغیر مستقل در تبیین تغییرات متغیر وابسته را مشخص کنیم.

### نتایج و بحث

در این تحقیق تعداد همبستگی‌های معنی‌دار در ایستگاه‌ها و فازهای مختلف شمارش گردید. رتبه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر اهمیت تأثیرگذاری MJO در شکل ۳ مشخص شده است. اعدادی که کنار هر ایستگاه قرار دارد بیانگر رتبه‌ی آن ایستگاه از لحاظ وقوع تعداد همبستگی‌های معنی‌دار است. با توجه به شکل ۳ بندر لنگه بیشترین و جاسک کمترین تعداد همبستگی معنی‌دار را در خود جای داده‌اند. در این مطالعه انتظار می‌رفت که برای ایستگاه‌های کیش، بندر بوشهر و جاسک نیز همبستگی قابل ملاحظه‌ای در حد رتبه بندر لنگه مشاهده شود. چنین تناقضی نیز در مطالعات مربوط به بارش در مطالعات دیگران گزارش گردیده است (قائد امینی و ناظم السادات، ۱۳۹۱). آن‌ها گزارش نمودند که وقوع بارش‌های سنگین در چابهار نا وابسته به سامانه‌های بارش‌زا در استان فارس است. درصد همبستگی‌های معنی‌دار در هر فاز روی شکل ۴ مشخص شده است. با توجه به شکل ۴ بیشترین و کمترین تعداد همبستگی معنی‌دار به ترتیب در فاز ۱ و ۵ رخ داده است. به عنوان مثال در فاز ۲، عدد ۱۵/۷ درصد درج شده است؛ که این عدد درصد تعداد همبستگی‌های معنی‌دار را در همه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه در فاز ۲ نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی معنی‌دار در هر فاز (شکل ۴) و تعیین فازهایی که MJO تأثیر بیشتری بر  $ET_0$  داشت، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مکان سلول فعال همرفتی MJO در نحوه تأثیرگذاری آن بر تبخیر و تعرق مرجع در جنوب ایران بسیار مؤثر است. به طوری که در فاز ۱ که سلول همرفتی MJO

پیرسون<sup>۱</sup> که در گروه آمار پارامتری<sup>۲</sup> تقسیم‌بندی می‌شود، استفاده شد. محاسبه‌ی همبستگی یکی از اساسی‌ترین روش‌های تحلیل آماری است.

$$r_p = \frac{Cov(X,Y)}{S_x S_y} \quad (2)$$

که در آن  $r_p$  ضریب همبستگی پیرسون،  $Cov(X,Y)$  کوواریانس  $X$  و  $Y$ ،  $S_x$  انحراف معیار  $X$  و  $S_y$  انحراف معیار  $Y$  می‌باشد. به منظور مدل‌سازی و پی بردن به روابط تأخیری که ممکن است MJO روی  $ET_0$  داشته باشد، در این پژوهش از روش رگرسیون خطی<sup>۳</sup> و گزینش پیش رونده<sup>۴</sup> استفاده شد. در این روش داده‌های تبخیر و تعرق مرجع مربوط به هر ماه و در هر فاز به عنوان متغیر وابسته و داده‌های مربوط به MJO مربوط به هر ماه و فاز به عنوان متغیر مستقل معرفی شد. سپس اثر ۱۲ متغیر مستقل (MJO) به طور جداگانه و با استفاده از روش گزینش پیش رونده روی هر یک از متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۲ شش ستون وجود دارد که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌کنیم. ستون  $ET$  نشان‌گر تبخیر و تعرق مرجع به عنوان متغیر وابسته در طول دوره آماری در هر ماه و فاز مورد نظر است. به عنوان مثال  $ET_1$  نماینده مقادیر تبخیر و تعرق مرجع در ماه ژانویه در طول دوره آماری در فاز و ایستگاه مورد مطالعه است. در ستون (بهترین مدل)، متغیرهای مستقلی که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند و بیشترین مقدار واریانس آن را تبیین می‌کند، به ترتیب از راست به چپ مشخص می‌شوند. به طور مثال عدد ۲ بیانگر  $MJO_2$  است که خود نماینده مقادیر شاخص ماندن - جولیان در ماه فوریه در طول دوره آماری (۲۰۰۸-۱۹۷۹) در فاز مورد نظر است. ستون  $R^2_{adj}$  ضریب تعیین تعدیل شده<sup>۵</sup> نام دارد. این ضریب، مقدار ضریب تعیین را به منظور انعکاس بیشتر میزان نکویی برازش مدل تصحیح می‌کند. در واقع، مقدار ضریب تعیین تعدیل شده به نسبت درجات آزادی تعدیل شده است (منصوهر، ۱۳۸۵). ستون  $F$  در واقع همان

<sup>1</sup> Pearson's Correlation Coefficient

<sup>2</sup> Parametric

<sup>3</sup> Linear Regression

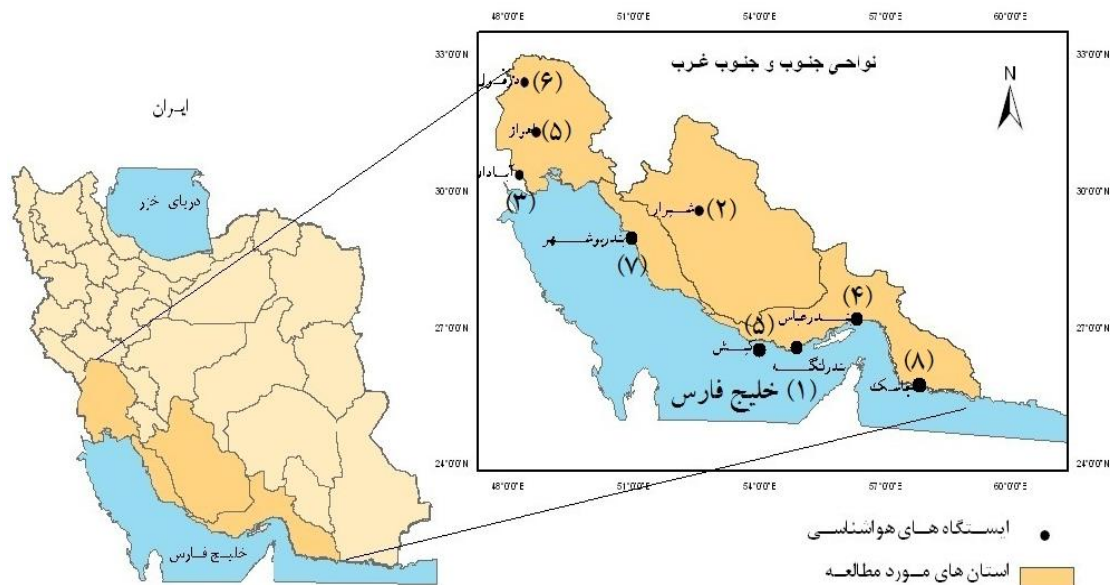
<sup>4</sup> Selection Forward

<sup>5</sup> Adjusted R Square

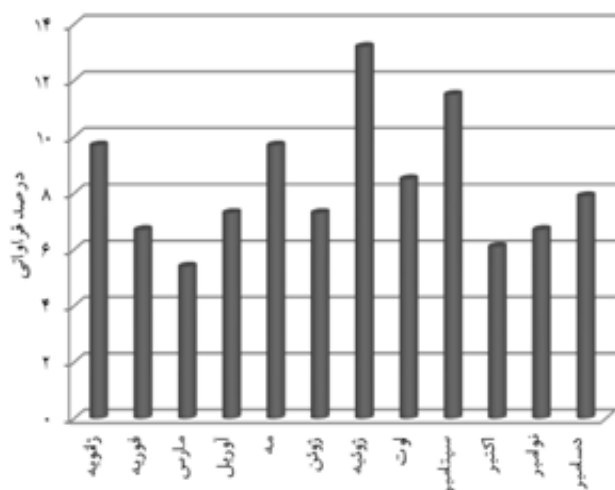
<sup>6</sup> Standardized Coefficient

بر روی بخش‌هایی از قاره آفریقا قرار دارد، بیشترین اثر را بر روی  $ET_0$  داشته است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود کمترین تأثیر  $ET_0$  در فازهای ۴ و ۵ که سلول فعال همرفتی MJO در دورترین مکان خود نسبت به ایران یعنی بر روی اندونزی و قاره دریایی (اندونزی و کشورهای اطراف) قرار دارد، نشان داده است. شکل ۵ درصد همبستگی‌های اتفاق افتاده در هر ماه در طول دوره آماری برای ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ماه ژوئیه بیشترین و ماه مارس کمترین درصد تعداد وقوع را به خود اختصاص داده‌اند. حال با بررسی داده‌های MJO در ماه ژوئیه و به تفکیک فاز، معلوم شد که تعداد روزهایی که MJO در ماه ژوئیه اتفاق افتاده است، در فاز ۱ از دیگر فازها بیشتر است. همچنین میانگین شاخص MJO نیز در این فاز در ماه ژوئیه از دیگر فازها بالاتر بود. این دو عامل را می‌توان دلیلی بر وجود بیشترین تعداد همبستگی معنی‌دار بین

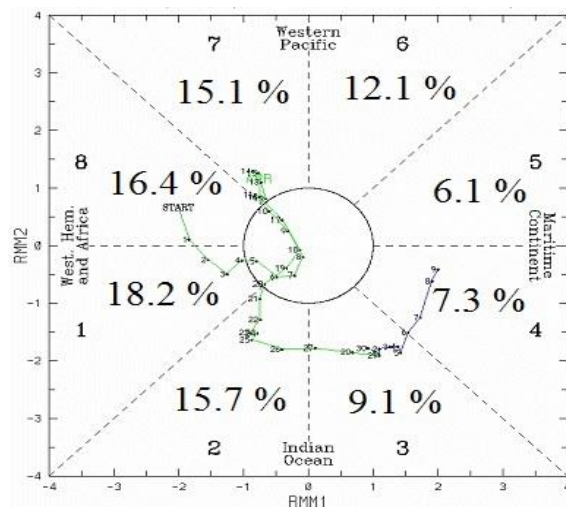
بر روی بخش‌هایی از قاره آفریقا قرار دارد، بیشترین اثر را بر روی  $ET_0$  داشته است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود کمترین تأثیر  $ET_0$  در فازهای ۴ و ۵ که سلول فعال همرفتی MJO در دورترین مکان خود نسبت به ایران یعنی بر روی اندونزی و قاره دریایی (اندونزی و کشورهای اطراف) قرار دارد، نشان داده است. شکل ۵ درصد همبستگی‌های اتفاق افتاده در هر ماه در طول دوره آماری برای ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ماه ژوئیه بیشترین و ماه مارس کمترین درصد تعداد وقوع را به خود اختصاص داده‌اند. حال با بررسی داده‌های MJO در ماه ژوئیه و به تفکیک فاز، معلوم شد که تعداد روزهایی که MJO در ماه ژوئیه اتفاق افتاده است، در فاز ۱ از دیگر فازها بیشتر است. همچنین میانگین شاخص MJO نیز در این فاز در ماه ژوئیه از دیگر فازها بالاتر بود. این دو عامل را می‌توان دلیلی بر وجود بیشترین تعداد همبستگی معنی‌دار بین



شکل ۳- رتبه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه، از لحاظ وقوع تعداد همبستگی‌های معنی‌دار (۲۰۰۸-۱۹۷۹)



شکل ۵- نمایش درصد فراوانی همبستگی‌های معنی‌دار در هر ماه (۲۰۰۸-۱۹۷۹)

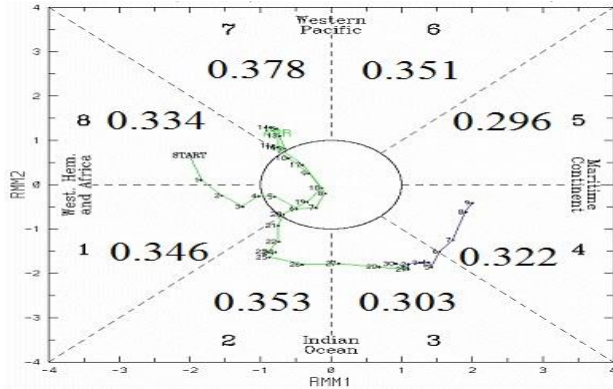


شکل ۴- درصد همبستگی‌های معنی‌دار در هر فاز (۲۰۰۸-۱۹۷۹)

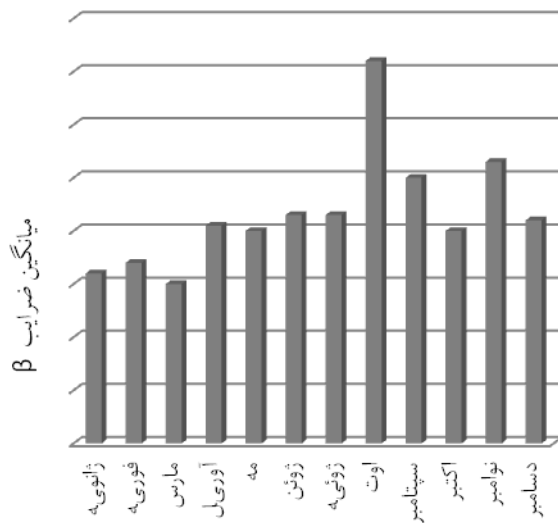
جدول ۲- نتایج رگرسیونی ایستگاه شیراز در فازهای ۱ و ۲

فاز دو						فاز یک					
$\beta$	F	$R^2_{adj}$	R	بهترین مدل	ET	$\beta$	F	$R^2_{adj}$	R	بهترین مدل	ET
-	-	-	-	-	ET <sub>1</sub>	-۰/۲۶۶	۵/۰۱۳**	۰/۰۹۹	۰/۳۵۲	۶/۱	ET <sub>1</sub>
-۰/۲۷۰	۵/۳۳۶*	۰/۰۵۹	۰/۲۷۰	۷	ET <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	ET <sub>2</sub>
۰/۳۵۹	۸/۰۶۷**	۰/۱۷۰	۰/۴۴۱	۴/۳	ET <sub>3</sub>	۰/۳۹۰	۱۱/۳۳۴**	۰/۴۱۴	۰/۶۷۴	۱۲/۵/۲/۱/۸	ET <sub>3</sub>
-	-	-	-	-	ET <sub>4</sub>	۰/۵۰۰	۷/۷۸۷**	۰/۲۱۸	۰/۵۰۰	۷/۱۰/۹	ET <sub>4</sub>
-۰/۳۶۲	۷/۱۲۵**	۰/۱۵۱	۰/۴۱۹	۱۲/۶	ET <sub>5</sub>	-۰/۴۹۵	۵/۷۹۹**	۰/۱۶۵	۰/۴۴۶	۳/۶/۸	ET <sub>5</sub>
۰/۲۵۴	۶/۳۹۰**	۰/۱۳۵	۰/۴۰۰	۹/۱۰	ET <sub>6</sub>	۰/۳۳۳	۷/۱۴۶**	۰/۲۹۶	۱/۵۸۷	۲/۶/۱۰/۱۱/۳	ET <sub>6</sub>
-۰/۳۳۹	۸/۸۲۱**	۰/۱۰۲	۰/۳۳۹	۱۲	ET <sub>7</sub>	۰/۲۷۸	۶/۸۰۳**	۰/۱۳۷	۰/۴۰۱	۷/۱۱	ET <sub>7</sub>
-۰/۶۶۷	۹/۷۳۱**	۱/۳۸۸	۰/۶۵۷	۶/۷/۹/۸/۱۰	ET <sub>8</sub>	-۰/۵۱۳	۱۹/۱۶۱**	۰/۳۳۲	۰/۵۹۲	۹/۷	ET <sub>8</sub>
-۰/۳۱۹	۷/۷۱۳**	۰/۰۸۹	۰/۳۱۹	۷	ET <sub>9</sub>	۰/۳۱۲	۱۰/۷۱۹**	۰/۲۸۵	۰/۵۶۱	۱۰/۷/۱	ET <sub>9</sub>
-۰/۵۳۱	۱۱/۴۵۸**	۰/۳۱۳	۰/۵۸۵	۶/۵/۱۰	ET <sub>10</sub>	۰/۴۲۲	۱۲/۵۱۳**	۱/۳۸۷	۰/۶۴۸	۳/۱۰/۷/۱۱	ET <sub>10</sub>
-۰/۴۴۲	۱۰/۶۵۴**	۰/۳۵۹	۰/۶۲۹	۵/۱۲/۳/۱۰	ET <sub>11</sub>	۰/۴۴۷	۱۱/۷۹۴**	۰/۳۰۷	۰/۵۷۹	۷/۱۱/۹	ET <sub>11</sub>
۰/۳۰۷	۷/۰۷۴**	۰/۰۸۱	۰/۳۰۷	۹	ET <sub>12</sub>	-۰/۲۷۵	۵/۹۰۶*	۰/۰۶۳	۰/۲۷۵	۹	ET <sub>12</sub>

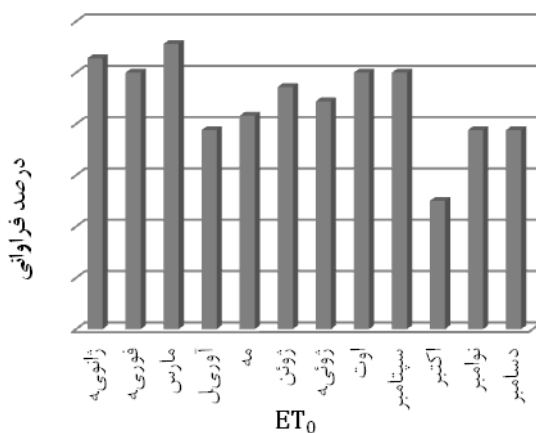




شکل ۶- میانگین ضرایب  $\beta$  در هر یک از فازهای هشت گانه



شکل ۷- میانگین ضرایب  $\beta$  در هر یک از ماه‌های سال



شکل ۸- درصد تغییرات  $ET_0$  تبیین نشده در هر یک از ماه‌های سال

با تحلیل نتایج به دست آمده در تمام ایستگاه‌ها و فازهای مورد مطالعه ایستگاه‌های دزفول و جاسک میانگین بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشتند. در مجموع، فاز ۷ بیشترین و فاز ۵ کمترین مقدار میانگین ضرایب  $\beta$  (سهم نسبی هر متغیر) را دارا هستند. شکل ۶ میانگین ضرایب  $\beta$  را در هر فاز روی فضای فازهای هشت‌گانه در همه‌ی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود علیرغم اینکه که اختلاف زیادی در متوسط ضرایب  $\beta$  در فازهای مختلف مشاهده نمی‌شود، ولی سهم نسبی هر متغیر در فاز ۷ و ۵ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را داراست. به نظر می‌آید که ضرایب  $\beta$  در هر فاز از الگوی اثر سلول همرفتی پیروی می‌کنند. میانگین ضرایب  $\beta$  برای هر متغیر وابسته مانند  $ET_1$  (هر ماه) در همه‌ی ایستگاه‌ها و فازهای مربوطه محاسبه شد. شکل ۷ این میانگین‌ها را در مجموع همه‌ی ایستگاه‌ها و فازها برای ماه‌های سال نشان می‌دهد. به طور مثال نمودار مربوط به ماه اوت (ماه ۸ میلادی) در شکل ۷، میانگین ضرایب  $\beta$  برای متغیر وابسته  $ET_8$  را در مجموع همه‌ی فازها و ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد. شکل ۸ درصد متغیرهای وابسته‌ی تبیین نشده در هر ماه را در همه‌ی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. این متغیر وابسته ( $ET$ ) توسط متغیرهای مستقل ( $MJO$ ) تبیین نشده‌اند. این به آن معنی است که  $ET_0$  در ماه خاصی با مقدار شاخص  $MJO$  همبستگی معنی‌داری نشان نداده است. مثلاً در ماه ژانویه (شکل ۸) در بیش از ۲۵ درصد موارد تغییرات متغیر وابسته  $ET_0$  توسط نوسانات متغیر مستقل  $MJO$  توجیه نمی‌گردد. به طور نمونه با توجه به جدول ۲،  $ET_1$  و  $ET_4$  (تبخیر تعرق مرجع در ماه ژانویه و آوریل) در فاز ۲ از آن دسته متغیرهای وابسته‌ای است که توسط متغیرهای مستقل تبیین نشده است. با مقایسه‌ای که بین میانگین ضرایب  $\beta$  در هر ماه (شکل ۷) و متغیرهای وابسته‌ی تبیین نشده (شکل ۸) صورت گرفت مشخص شد که بین ضرایب  $\beta$  و متغیرهای تبیین نشده در هر ماه رابطه‌ای معکوس وجود دارد. به طوری که هر اندازه درصد عدم تبیین متغیرهای وابسته در یک ماه خاص بیشتر باشد، مقدار میانگین ضرایب  $\beta$  در آن ماه کاهش می‌یابد.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که نوسان MJO بر مقدار  $ET_0$  در مناطق جنوبی کشور تأثیر-گذار است. به طور کلی، اثرات نوسان MJO روی مقدار  $ET_0$  در فازهایی که در غرب ایران قرار گرفته‌اند مشهودتر است. با توجه به شکل ۴، اثرگذاری نوسانات MJO روی مقدار  $ET_0$  در فاز های ۱ و ۸ بیشتر است. طبق شکل ۶ این اصل در مورد تعداد همبستگی‌های معنی‌دار و میانگین ضرایب  $\beta$  (سهم نسبی هر متغیر) برای فازهای ۲ و ۷ صادق بود. به طور کلی در مواردی که هسته فعال MJO در غرب ایران قرار داشت (فازهای ۱ و ۸)، تأثیر بیشتری بر تبخیر و تعرق مرجع نسبت به فازهای دیگر مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که طبق شکل ۵ از لحاظ درصد فراوانی، نوسانات زیر فصلی MJO در ماه ژوئیه (تیر- مرداد) تأثیر قوی‌تری روی تغییرات  $ET_0$  نسبت به سایر ماه‌ها داشته است. با توجه به اینکه این ماه در اغلب نواحی کشاورزی جنوب کشور از ماه‌های مهم دوره‌ی رشد گیاه است و برآورد دقیق تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاه در این ماه کم‌بارش برای رشد محصول و تولیدات زراعی حائز اهمیت است، از این رو می‌توان نوسانات MJO را به عنوان یک شاخص اثرگذار در مدیریت منابع آب کشور مهم دانست. میانگین ضرایب همبستگی معنی‌دار و میانگین ضرایب  $\beta$  زوج آماری  $MJO-ET_0$  برای همه‌ی ایستگاه‌ها در طول دوره آماری به ترتیب برابر با  $(0/26)$  و  $(0/33)$  بدست آمد. توضیح در مورد تأثیرپذیری بیشتر  $ET_0$  از MJO در بعضی از ایستگاه‌ها نسبت به ایستگاه‌های دیگر و اختلاف در تعداد وقوع همبستگی‌های معنی‌دار مانند ایستگاه بندر لنگه بررسی‌های دقیق‌تری را می‌طلبد. در این مطالعه انتظار ما این بود که علاوه بر فاز ۱ (آفریقا) در فازهای ۲ و ۳ (هسته فعال روی اقیانوس هند) درصد همبستگی‌های  $ET_0$  با MJO قابل ملاحظه باشد. تحقیقات انجام شده بر روی نوسانات بارش روی ایران حاکی از این واقعیت است که با حضور هسته فعال در منطقه هندوستان (فازهای ۲ و ۳) اندازه بارش کشور کاهش یافته است (قائدامینی و ناظم‌السادات، ۱۳۸۷). در چنین شرایطی انتظار می‌رود به دلیل افت رطوبت جو و خاک، مقدار  $ET_0$  در ماه‌های خاصی افزایش نشان دهد. اگر طول دوره آماری

طولانی‌تر از وضع موجود بود، ارائه پاسخ منطقی و روشن به برخی از ابهامات و تفاوت‌های به دست آمده، امکان‌پذیر بود. لازم به ذکر است که همزمان با ورود سیگنال‌های MJO به نوار ساحلی و جنوبی کشور ممکن است سیگنال‌های دیگری از پدیده‌های جوی- اقیانوسی همچون  $ENSO^1$  بر منطقه اثرگذار بوده‌اند. لذا اگر بتوان این سیگنال‌ها را با روش‌هایی مانند سری زمانی، روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCs) و آنالیز موجک از یکدیگر تفکیک نمود، می‌توان تحلیل و توجیه علمی بهتری از تأثیرات MJO بر تبخیر و تعرق منطقه بدست آورد.

## منابع

- احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، غضنفری، ا. ۱۳۸۸. مطالعه توزیع رطوبت و بارش بر روی ایران در زمستان ۱۳۸۶ و ارتباط احتمالی آن با همرفت در اقیانوس هند. دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، ۱۰-۸ اردیبهشت.
- بوشر، ک.، ۱۳۷۳. آب و هوای کره زمین. ترجمه‌ی هوشنگ قائمی. جلد اول، انتشارات سمت، ۲۴۲ صفحه.
- حبیب‌پور گتایی، ک.، صفری شالی، ر. ۱۳۹۰. راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی. انتشارات لویه، متفکران، ۸۶۴ صفحه.
- عساکره، ح. ۱۳۸۶. تغییر اقلیم. انتشارات دانشگاه زنجان، ۲۳۶ صفحه.
- غفوری، م.، سبزی پرور، ع. ع. ۱۳۸۹. تغییرات اقلیمی، راهبردهای تطبیق و مدیریت منابع آب ایران، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، ۲۹ آذر الی ۱ دی ۱۳۸۹، تهران، صفحه ۲۶۱-۲۶۷.
- قائد امینی، ح. و ناظم‌السادات، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی نشان پدیده نوسان‌های ماد-ن جولیان بر رخداد بارش‌های روزانه استان‌های سیستان و بلوچستان و فارس، نشریه آب و خاک، ۲۶(۶).
- قائدامینی، ح.، ناظم‌السادات، م. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر نوسانات ماد-ن جولیان بر وقوع کرانه بالایی و پایینی بارش(سیلاب

<sup>1</sup> El Nino Southern Oscillation

- wind in the tropical Pacific. *J. Atm. Sci.*, 28(5): 702-708.
- Madden, R. A., Julian, P. R. 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atm. Sci.*, 29 (6): 1109-1123.
- NOAA, <http://www.noaa.gov> (visited Jan 2012).
- Rui, H., Wang, B. 1990. Development characteristics and dynamic structure of tropical intraseasonal convection anomalies. *J. Atm. Sci.*, 47(3): 357-379.
- Sabziparvar, A.A. and Ghafouri, M. 2008. National Study on Evidences and Impacts of Climate Change with Focus on Agriculture and Water Resources: International project supported by Regional FAO Office (Rome, Italy), Final Report May 2008, pp 151.
- Serrano, A., Mateos, V., Garcia, J. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1955. *PCSB*, 24(1): 85-90.
- Sorooshian, S., Imam, B., Mahani, S., Pagano, T., Whitaker, M. 2003. Hydrologic Sciences and Water Resources Management issues in a changing world. *Dev. Wat. Sci.*, 5083-92.
- Vecchi, G. A., Bond, N. A. 2004. The Madden-Julian Oscillation (MJO) and northern high latitude wintertime surface air temperatures. *Geo. Res. Lett.*, 31(4).
- Vialard, J., Duvel, J. P., McPhaden, M. J., Bouruet-Aubertot, P., Ward, B., Key, E., Bourras, D., Weller, R., Minnett, P., Weill, A. 2009. Cirene: Air-Sea Interactions in the Seychelles-Chagos Thermocline Ridge Region. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 90(1): 45-61.
- Waliser, D. E., Graham, N. E., Gautier, C. 1993. Comparison of the highly reflective cloud and outgoing longwave radiation datasets for use in estimating tropical deep convection. *J. Clim.*, 6(2): 331-353.
- Wallace, J. M., Gutzler, D. S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Weather Rev.*, 109(4): 784-812.
- Wheeler, M. C. Hendon, H. H. 2004. An all-season real-time multivariate MJO index: و خشکی) ماههای فوریه تا آوریل در استانهای فارس، اصفهان و چهارمحال بختیاری، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳-۲۵ مهر ۱۳۸۷، دانشگاه تبریز.
- قائدامینی، ح، گلکار، ف. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر پدیده مادین - جولیان (MJO) بر رخداد دورانهای خشک و تر استان خوزستان. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت ۸۹، تهران، صفحه ۱۴-۲۶.
- منصورفر، ک. ۱۳۸۵. روشهای آماری. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۱۲ صفحه.
- مهراور، ص، ناظم السادات، م، قائدامینی، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی برهمکنش همزمان پدیدههای ENSO و MJO بر رخدادهای دوران تر و خشک ماههای نوامبر و دسامبر در پهنه جنوبی ایران. اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، اردیبهشت ۱۳۹۰: ۸۹-۱۰۷.
- ناظم السادات، م، قائدامینی، ح. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر نوسانات مادین- جولیان بر وقوع کرانه بالایی و پایینی بارش (سیلاب و خشکی) ماههای بهمن تا فروردین در استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶): ۴۷۷-۴۸۹.
- نصراصفهانی، م، احمدی گیوی، ف، محبالحجه، ع. ۱۳۸۵. اثر همرفت اقیانوس هند بر برخی کمیت‌های هواشناختی در جنوب غرب آسیا. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اردیبهشت ۱۳۸۵، صفحه ۱۲۰۷-۱۲۱۱.
- Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO 3006541.
- Barlow, M., Wheeler, M., Lyon, B., Cullen, H. 2005. Modulation of daily precipitation over southwest Asia by the Madden-Julian oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 133(12): 3579-3594.
- Cai, J., Liu, Y., Lei, T., Pereira, L. S. 2007. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. *Agric. For. Meteorol.*, 145(1): 22-35.
- Madden, R. A., Julian, P. R. 1971. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal

Zhou, L., Murtugudde, R. 2010. Influences of Madden–Julian Oscillations on the eastern Indian Ocean and the maritime continent. *Dyn. Atm. Ocean*, 50(2): 257-274.

Development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Weather Rev.*, 132(8): 1917-1932.



## The Effect of Madden - Julian Oscillation (MJO) on the Variation of Reference Evapotranspiration in Southern Regions of Iran

A. A. Sabziparvar<sup>1\*</sup>, F. Naderi Moghadam<sup>2</sup>

Received: 26/05/2014

Accepted: 15/09/2014

### Abstract

Frequent anomalies on air pressure and atmospheric circulation patterns sometimes impose their impacts on a location far from its starting point. This kind of atmospheric disturbance is known as «Teleconnection». Madden-Julian Oscillation is a teleconnection pattern and dominant form of tropical and sub-tropical intra-seasonal variations that plays an important role in atmosphere-ocean cycle system. Since, climate change causes changes in meteorological parameters; therefore, reference evapotranspiration and in general, crop water requirement might change accordingly. Having considered the issue of water scarcity in Iran and importance of evapotranspiration irrigation management, the impact of different MJO phases on reference evapotranspiration in several southern sites of Iran (during 1979 to 2008) was evaluated by different statistical methods in this study. The daily  $ET_0$  values were estimated by REF-ET software and Penman -Monteith FAO-56 method. The MJO data, according to Wheeler and Hendon (WH) definition, were obtained from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) database. The  $ET_0$  and MJO statistical pairs, in different phases and months were sorted for each study sites accordingly. Using Pearson and Spearman correlation methods, linear regression and selection of forward method, the impact of MJO signal on  $ET_0$  for each month and all WH phases was extracted. Results indicated the significant effect of MJO signal on  $ET_0$  values for the study stations. The maximum number of correlations was observed for Bandar-e-Lenge station. In addition, the larger effects were obtained for phases close to southern coasts of Iran. In this regard, the phases 1 and 8 showed the highest significant correlation coefficients and largest mean  $\beta$  values. It was found that the all-site average of correlation coefficients between the statistical pairs of MJO-  $ET_0$  is 0.26. During the course of the year, the highest and lowest significant impact of MJO on  $ET_0$  was occurred in July and March respectively.

**Keywords:** Madden-Julian Oscillation, Reference evapotranspiration, RMM1 and RMM2, Wheeler and Hendon Index

<sup>1</sup> Professor, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Former M.Sc Student of Irrigation and Drainage Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(\*Corresponding author email address: swsabzi@basu.ac.ir)