

بررسی پیوند نوسان‌های مادn- جولیان با النینو- نوسان‌های جنوبی و بازخورد آن بر بارش‌های پاییزه استان فارس

صدیقه مهرآور^{۱*}، حبیب اله قائدامینی^۱، و سید محمد جعفر ناظم‌السادات^۲

^۱ کارشناس ارشد، مرکز پژوهش‌های علوم جوی‌اقیانوسی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۲ استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱)

چکیده

النینو- نوسان‌های جنوبی (ENSO) و نوسان‌های مادn- جولیان (MJO) دو پدیده بزرگ‌مقیاس جوی- اقیانوسی در پهنه‌های استوایی اقیانوس آرام و هند هستند که بر نوسان‌های اقلیمی گسترده‌های استوایی تا جنب حاره‌ای تأثیر قابل توجهی می‌گذارند. در این پژوهش، پس از تعریف فازهای مثبت و منفی MJO، برهم‌کنش این فازها با فازهای ENSO ارزیابی و تأثیر این برهم‌کنش بر ابرناکی و روانش رطوبت در سطح خاورمیانه و اقیانوس‌های آرام و هند بررسی و بازخورد این روانش رطوبتی بر رخداد بارش پاییزه ۹ ایستگاه همدیدی و باران‌سنجی استان فارس در بازه زمانی ۱۳۰۱-۱۹۷۴ واکاوی شد. در دوران النینو، احتمال رخداد هر یک از فازهای مثبت یا منفی MJO تقریباً یکسان است در حالی که در دوران لانینا، احتمال رخداد فاز مثبت MJO نزدیک به دو برابر فاز منفی است. چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو با افزایش کارکردهای همرفتی در گستره‌های استوایی غرب اقیانوس هند و تا اندازه‌ای در شرق اقیانوس آرام همراه است. این همزمانی، وزش بادهای نمناک شرقی را از اقیانوس هند به سوی شبه‌جزیره عربستان، خلیج فارس و جنوب ایران افزایش می‌دهد. در دوران النینو، بارش و احتمال رخداد آن در فاز منفی MJO در همه ایستگاه‌های بررسی شده به‌گونه معنی‌داری بیشتر از مقادیر مشابه در دوران فاز مثبت MJO است. در دوران لانینا، چیرگی رخداد فاز مثبت یا منفی MJO، ویژگی‌های بارش فارس نوسان درخور توجهی نداشت.

با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو، بیشترین و کمترین افزایش شدت بارش نسبت به فاز مثبت در این دوران، در بخش‌های شرقی و جنوب‌شرقی استان فارس به‌ترتیب به اندازه ۲۰-۵ و ۱۰۰-۸۰ درصد است. در بیشتر گستره‌های مرکزی و جنوب‌غربی استان، افزایش ۶۰-۴۰ درصدی و در بخش‌های شمالی و جنوب‌شرقی، افزایش ۱۱۰-۶۰ درصدی احتمال رخداد بارش فاز منفی MJO در دوران گرم ENSO نسبت به فاز مثبت آن در دوران گرم دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: النینو، لانینا، نوسان‌های جنوبی، بارش پاییزه، استان فارس

۱ مقدمه

نوسان‌های بارش و در پی آن، رخداد دوران‌های خشک و تر که بیشتر با خشکسالی و سیلاب‌های ویرانگر شناخته می‌شود، تأثیر زیادی بر زندگی و اقتصاد مردم دارد. پیش‌بینی چنین رخدادهایی نقش پررنگی در کاهش خسارات اقتصادی و همچنین حفظ جان و سرمایه‌های مردمی دارد. امروزه پیش‌بینی احتمالاتی فصلی و زیرفصلی (هفتگی و ماهانه) دوران خشک و تر، نقش ارزنده‌ای در کاهش زیان‌های سیل و خشکسالی دارد. این‌گونه پیش‌بینی‌ها جایگاه والایی نیز در بهره‌برداری بهینه از آب بارش در دوران ترسالی دارند.

جایگاه جغرافیایی استان فارس در عرض‌های جنب حاره‌ای و همچنین همسایگی با استان‌های ساحلی جنوبی، سرزمین‌های کوهستانی کناره زاگرس در غرب و شمال‌غرب و بخش‌های بیابانی و نیمه‌بیابانی شمال‌شرق و شرق موجب شده است ابرهای باران‌زای وارد شده یا تولید شده در این استان، گوناگون باشند. از همین روی، نوسان‌های آب و هوایی و نیز رخداد‌های خشکسالی و سیل در این استان به‌فراوانی دیده می‌شود (ناظم‌السادات و قائد امینی، ۱۳۸۷).

بخش بزرگی از رخداد بلایای طبیعی به‌ویژه خشکسالی و سیلاب‌های ویرانگر، با نوسان‌های آب و هوایی گسترده‌های اقیانوسی در پیوند است (واکر و بلیس، ۱۹۳۲). در این میان، پهنه‌های گرمسیری اقیانوس‌ها، به‌ویژه اقیانوس‌های آرام و هند که گستردگی بیشتری دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. برای نمونه، ناظم‌السادات و کوردری (۲۰۰۰) نشان دادند که الینو (لانینا) باعث افزایش (کاهش) بارش پاییزه در بسیاری از پهنه‌های کشور می‌شود. یافته‌های ناظم‌السادات و قاسمی (۲۰۰۴) نشان داد افزودن بر بارش پاییزه، بارش‌های زمستانه و مجموعه بارش‌های شش‌ماهه سرد سال ایران، تا اندازه زیادی متأثر از پدیده ENSO است. خورشیددوست و

قویدل رحیمی (۱۳۸۵) با کاربرد نمایه چندمتغیره این پدیده، تأثیر ENSO را بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان ارزیابی کردند و نشان دادند بارش پاییزه این گستره‌ها، همزمان با چیرگی الینو افزایش و در دوران لانینا کاهش می‌یابد. یافته‌های ناظم‌السادات و قائد امینی (۱۳۸۷) بیانگر آن است که بارش بیشتر گستره‌های استان فارس تا اندازه زیادی با پدیده MJO در پیوند است. چیرگی فاز منفی و مثبت این پدیده، تا اندازه زیادی احتمال رخداد دوران‌های به‌ترتیب تر و خشک استان فارس را افزایش می‌دهد. ناظم‌السادات و قائد امینی (۱۳۸۷) نشان دادند که رخداد دوره‌های مرزی بارش نیز با چیرگی پدیده MJO در پیوند است. ناظم‌السادات و قائد امینی (۲۰۱۰) با ارزیابی رابطه MJO و نوسان‌های بارش جنوب ایران و شبه‌جزیره عربستان، الگوی جبهه‌های رطوبتی و باران‌زای ورودی به این گستره‌ها را در پیوند با این پدیده، به‌دست‌آوردند.

پژوهش‌های گوناگونی برای ارزیابی برهم‌کنش پدیده‌های ENSO و MJO بر رخداد دوران‌های خشک و تر در پهنه‌های گوناگون دنیا و همچنین ایران و استان فارس صورت پذیرفته است. برای نمونه کسلر و کلیمن (۲۰۰۰)، دریافتند یک نیروی MJO ایده‌آل می‌تواند به دگرگونی ساختار دمایی لایه ترکیبی اقیانوسی و ENSO بیانجامد. ژانگ و گاتشیک (۲۰۰۲) نشان دادند که در دوره فاز گرم ENSO، فعالیت امواج کلون وابسته به پدیده MJO بر نوسان‌های دمای سطح آب (SST) شرق اقیانوس آرام با یک تقدم زمانی قابل توجه ۱۰-۶ ماهه، بر کارکرد MJO در غرب اقیانوس آرام و ENSO سایه می‌افکند. مک‌فادن و همکاران (۲۰۰۶) و هندن و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که در فصول گوناگون، پیوند میان MJO و ENSO یکسان نیست. آنها یک همبستگی خطی معنی‌دار میان نمایه بهاره MJO و نمایه NINO3+4 در پاییز-زمستان شناسایی کردند. یافته‌های هندون و همکاران

داد در دوران النینو، هنگامی که کارکردهای همرفتی MJO در خلیج بنگال قوی هستند (فاز ۳ و ۴ MJO)، شرایط مناسبی برای افزایش کارکردهای چرخندهای گرمسیری و شدت یافتن آنها نسبت به دوران لائینا وجود دارد.

احمدی گیوی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که برهم‌کنش پیچیده و غیرخطی ENSO با دیگر پدیده‌های بزرگ‌مقیاس جوی و اقیانوسی موجب شده است که از توانایی آن در پیش‌بینی نوسان‌های بارش کشور کاسته شود. یافته‌های ناظم‌السادات و همکاران (۱۳۹۲) نشان از آن دارد که همزمانی چیرگی فازهای ENSO با پدیده MJO، تا اندازه‌ای می‌تواند نوسان بارش فصل سرد استان فارس را توجیه کند. این پژوهش، برای اولین بار، یافته‌های ارزنده‌ای برای بهبود پیش‌بینی و افزایش دقت آن در دسترس قرار می‌دهد اما همچنان به کاوای بیشتر چگونگی برهم‌کنش این پدیده‌ها بر نوسان فصلی بارش و دوره‌های کمتر از آن نیاز است.

در این پژوهش، تلاش خواهد شد تا چگونگی چیرگی فازهای MJO در دوران‌های گرم و سرد ENSO ارزیابی شود. این ارزیابی دربرگیرنده بزرگی و تواتر فازهای مثبت و منفی MJO در دوران‌های یاد شده است. همچنین الگوهای نوسان دما و بادهای سطحی همزمان با جابه‌جایی فازهای این پدیده‌ها به‌طور جداگانه و مشترک ارزیابی و در گام دیگر، تأثیر جداگانه و مشترک آنها بر رخداد دوران‌های تر و خشک استان فارس و شدت و احتمال رخداد بارش‌ها بررسی خواهد شد.

۲ روش تحقیق

داده‌های روزانه بارش پاییزه در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر برای ۸ ایستگاه باران‌سنجی استان فارس در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۷۴، از سازمان آب استان فارس به‌دست آمد. گزینش ایستگاه‌ها بر پایه درازای دوره آماری

(۲۰۰۷) نشان داد که کارکردهای بهاره و تابستانه MJO تأثیر زیادی بر نوسان‌های دمای سطح آب زمستانه در پیوند با پدیده ENSO دارند. افزایش کارکردهای بهاره MJO در کناره‌های غربی اقیانوس آرام، با گسترش رو به شرق استخر عظیم آب گرم (Warm pool) و انحراف از میانگین بادهای شرق‌سوی با رخداد کم در ارتباط است. این شرایط برای چیرگی دوران النینو در بهار بسیار مناسب هستند. تانگ و یو (۲۰۰۸)، پیوند درخور توجهی میان کارکردهای پدیده MJO در بهار و تابستان و پدیده ENSO در پاییز و زمستان گزارش کردند. آنها نشان دادند که این پیوند، غیرخطی و در مقیاس دهه‌ای در نوسان است؛ به‌گونه‌ای که در دهه ۱۹۹۰، ارتباط یکپارچه‌تری نسبت به دهه ۱۹۸۰ میان این دو پدیده دیده شده است. یافته‌های مون و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که پدیده ENSO می‌تواند با چرخه‌های سطوح زیرین جو در پهنه‌های جنب حاره‌ای، بر کارکردهای همرفتی در پیوند با MJO تأثیر بگذارد. برای نمونه، انحراف از میانگین همرفتی فاز ۷ MJO در شمال‌شرقی اقیانوس آرام در دوران گرم و سرد ENSO به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. از این‌رو، تأثیر MJO بر بارش‌های آمریکای شمالی در دوران النینو قوی‌تر از لائینا است. هونل و همکاران (۲۰۱۴)، کارایی دورپیوند النینو نوسان‌های جنوبی را در پیوند با نوسان‌های مادن- جولیان ارزیابی کردند. آنها دریافتند که کارکردهای قوی MJO اثر قابل توجهی بر کاهش نیروی بخش‌های جوی ENSO (چرخه واکر) دارد. همزمان با چیرگی فازهای ضعیف MJO نسبت به فازهای قوی آن، انحراف از میانگین بارش پهنه‌های گرمسیری نزدیک به ۶۳ درصد و روبرادهای سطوح بالایی جو در پیوند با ENSO نزدیک به ۵۸ درصد افزایش می‌یابد. یافته‌های گریش‌کومار (۲۰۱۵) درباره ارزیابی تأثیر برهم‌کنش MJO و ENSO بر شدت یافتن ناگهانی چرخندهای گرمسیری پاییزه خلیج بنگال، نشان

نمایه (Amplitude) استفاده شد که با رابطه (۱) تعریف می‌شود (ویلر و هندون، ۲۰۰۴):

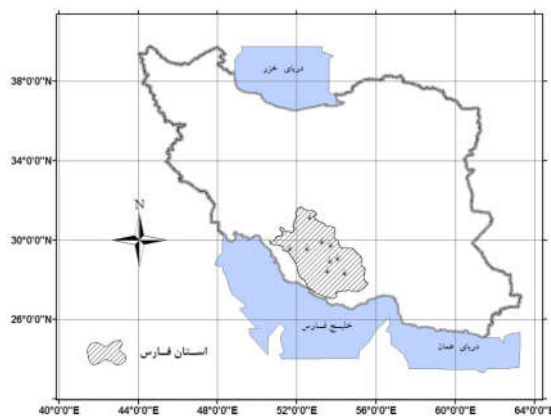
$$Amplitude = \sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2}. \quad (1)$$

هنگامی که بزرگی نمایه در هر فاز بزرگ‌تر یا مساوی یک باشد، به‌عنوان فاز قوی MJO و هنگامی که این نمایه کمتر از یک باشد، فاز ضعیف MJO به‌شمار می‌آید (پای و همکاران، ۲۰۱۱).

داده‌های ماهانه نمایه نوسانات جنوبی (SOI) از <http://www.bom.gov.au/index.shtml> تارنمای به‌دست‌آمد و به‌عنوان نمایه ENSO به‌کاربرده شد. دوران گرم (النینو) و سرد (لانینا) پدیده ENSO در ماه‌هایی در نظر گرفته شد که اندازه نمایه SOI به‌ترتیب کوچک‌تر از ۵- و بزرگ‌تر از ۵+ بودند. سال‌هایی که در این پژوهش به‌عنوان فازهای النینو و لانینا در نظر گرفته شد، با یافته‌های راپلوسکی و هالپرت (۱۹۹۶) و ترنبرث (۱۹۹۷) در بازه زمانی مورد ارزیابی آنها (۱۹۹۷-۱۹۷۴) همخوانی زیادی دارد. همچنین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۸، بر پایه روش ترنبرث (۱۹۹۷)، دوران النینو و لانینا با داده‌های هواشناسی استرالیا همخوانی دارد. از آنجا که داده‌های بارش و نمایه MJO در مقیاس زمانی روزانه در دسترس هستند، فازهای گرم و سرد ENSO در همین مقیاس زمانی دسته‌بندی شدند. در این راستا، چیرگی هر دوره ENSO در یک‌ماه، به تمام روزهای آن ماه نسبت داده می‌شود. برای نمونه، در اکتبر ۱۹۷۷، فاز گرم (النینو) ENSO چیره بوده است که همه ۳۰ روز این ماه به‌عنوان دوران النینو در نظر گرفته می‌شود (جدول ۱).

برای شناسایی دوران مشترک دو پدیده، پایداری زمانی سه‌ماهه دوران گرم یا سرد ENSO به‌عنوان مبنا برای جابه‌جایی فازهای مثبت و منفی MJO در نظر گرفته شد. از این رو، جابه‌جایی فازهای مثبت و منفی MJO، محدود به یکی از دوران پاییزه النینو یا لانینا خواهد بود. بر این اساس

در دسترس، کیفیت و یکنواختی انجام شد. شکل ۱ جایگاه استان فارس در ایران و همچنین جایگاه ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. جایگاه استان فارس و ایستگاه‌های ارزیابی شده در کشور.

سری زمانی روزانه نمایه MJO در بازه زمانی مشابه با داده‌های بارش از تارنمای <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RM> بارگیری (دانلود) شد. این نمایه بر پایه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis, PCA) متغیرهای تابش خروجی موج بلند (Outgoing Longwave Radiation, OLR) از سطح زمین و بادهای منطقه‌ای (Zonal wind) در ترازهای ۸۵۰ و ۲۰۰ میلی‌بار نزدیک گرمسیری به‌دست‌آمده است. سری زمانی این نمایه، چند متغیره است و مؤلفه‌های آن، RMM1 و RMM2 هستند. یافته‌های ناظم‌السادات و قائد امینی (۲۰۱۰) نشان داد این دو نمایه در یک دوره زمانی تأخیری ۲۵ روزه با یکدیگر همبستگی معنی‌داری دارند و نمایه RMM1 می‌تواند تا اندازه زیادی نوسان‌های نمایه RMM2 را توجیه کند. از این رو، در این پژوهش سری زمانی RMM1 به‌عنوان نمایه MJO به‌کاربرده شد. روزهایی که این نمایه بزرگ‌تر و کوچک‌تر از صفر بودند، به‌ترتیب به‌عنوان فاز مثبت و منفی پدیده MJO در نظر گرفته شد. برای ارزیابی کارایی MJO، از بزرگی

جدول ۱. یافته‌های ویژگی رخداد چیرگی فازهای MJO در دوران ENSO.

دوران ENSO	سال‌های چیرگی دوران النینو و لانتینا
النینو	1977 (77*, 15**), 1978 (0, 31), 1979 (10, 21), 1980 (0, 40), 1981 (20, 46), 1982 (55, 37), 1983 (0, 42), 1984 (18, 48), 1985 (21, 10), 1986 (46, 15), 1987 (5, 26), 1989 (25, 6), 1990 (17, 31), 1991 (61, 31), 1992 (57, 35), 1993 (18, 57), 1994 (55, 37), 1995 (26, 51), 1997 (56, 36), 2001 (20, 12), 2002 (43, 49), 2004 (19, 42), 2006 (21, 10), 2009 (45, 47), 2012 (17, 14)
لانتینا	1974 (3, 28), 1975 (56, 36), 1976 (9, 21), 1986 (21, 5), 1988 (42, 45), 1989 (4, 27), 1996 (8, 23), 1998 (19, 73), 1999 (39, 53), 2000 (27, 6), 2001 (4, 25), 2003 (10, 20), 2005 (13, 18), 2007 (39, 53), 2008 (23, 69), 2010 (33, 60), 2011 (41, 51), 2013 (10, 20)

* فراوانی روزهای چیرگی فاز منفی MJO در هر سال

** فراوانی روزهای چیرگی فاز مثبت MJO در هر سال

جدول ۲. برآورد نسبت‌های میانگین، شدت و احتمال رخداد بارش برای دوره‌های ارزیابی شده در ایستگاه شیراز.

میانگین بارش	\bar{R}_N/\bar{R}_P	$\bar{R}_{EI}/\bar{R}_{La}$	$\bar{R}_{La-N}/\bar{R}_{La-P}$	$\bar{R}_{EI-N}/\bar{R}_{EI-P}$
	۱/۴۳	۳/۰۲	۱/۲۲	۱/۵۳
شدت بارش	\bar{I}_N/\bar{I}_P	$\bar{I}_{EI}/\bar{I}_{La}$	$\bar{I}_{La-N}/\bar{I}_{La-P}$	$\bar{I}_{EI-N}/\bar{I}_{EI-P}$
	۱/۱۷	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۰۶
احتمال رخداد بارش	\bar{P}_N/\bar{P}_P	$\bar{P}_{EI}/\bar{P}_{La}$	$\bar{P}_{La-N}/\bar{P}_{La-P}$	$\bar{P}_{EI-N}/\bar{P}_{EI-P}$
	۱/۲۳	۲/۲۴	۰/۸۷	۱/۴۴

نسبت میانگین (شدت و احتمال رخداد) بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی، به میانگین (شدت و احتمال رخداد) آن در فاز مثبت MJO و نیز نسبت میانگین (شدت و احتمال رخداد) پاییزه دوران النینو به میانگین (شدت و احتمال رخداد) آن در دوران لانتینا در هر ایستگاه برآورد شد. همچنین نسبت آماره‌های یاد شده برای فاز منفی MJO در دوران النینو (یا لانتینا) به اندازه آنها، همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO در دوران النینو (یا لانتینا) به دست آمد که مقادیر آنها برای ایستگاه شیراز در جدول ۲ نشان داده شده است. چنانچه هر یک از این نسبت‌ها به طور قابل توجهی بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از یک باشند، اندازه بارش در آن دو دوره یکسان نیست و جابه‌جایی آن دو فاز، می‌تواند اثر درخور توجهی بر رخداد دوران تر و خشک پاییزه داشته باشد. برای نمونه، در شیراز نسبت $\bar{R}_{EI-N}/\bar{R}_{EI-P}$ برابر ۱/۵۳ است و نشان می‌دهد در دوران گرم ENSO، جابه‌جایی فازهای MJO می‌تواند نوسان ۵۳ درصدی منابع آبی پاییزه شیراز را توجیه کند.

(EL-N) ۴ دوره مشترک چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو، چیرگی فاز مثبت MJO در دوران النینو (EL-P)، چیرگی فاز منفی MJO در دوران لانتینا (La-N) و چیرگی فاز مثبت MJO در دوران لانتینا (La-P) ارزیابی خواهد شد. برای هر یک از دوره‌های یاد شده، آماره‌های تواتر (شمار) و انباشت (مجموع) بارش پاییزه برآورد شد. میانگین روزانه بارش، \bar{R}_i ، از نسبت انباشت بارش روزانه به شمار روزهای آن دوره و شدت بارش، I_i ، از نسبت انباشت به تواتر بارش (شمار رخداد بارش) به دست آمد. احتمال رخداد بارش در هر دوره، P_i ، از نسبت فراوانی رخداد آن به شمار روزهای دوره ارزیابی شده محاسبه شد. یادآور می‌شود که حرف i بیانگر هر یک از دوره‌های ارزیابی شده است. برای نمونه، $I_{(EI-N)}$ نشان‌دهنده شدت بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو است.

برای ارزیابی اهمیت تأثیر جابه‌جایی دوره‌های بررسی شده بر اندازه نوسان و احتمال رخداد بارش پاییزه، به‌ترتیب آزمون ناپارامتری من-ویتی و آزمون دقیق فیشر به‌کاربرده شد (فائد امینی و ناظم‌السادات، ۱۳۹۱). معنی‌داری آزمون من-ویتی در سطح ۹۵٪ برای هر ایستگاه، نشان می‌دهد که جابه‌جایی این دوره‌ها نقش ارزنده‌ای در نوسان‌های بارش پاییزه آن ایستگاه دارد. همچنین معنی‌دار بودن آزمون دقیق فیشر در سطح ۹۵٪ نشان‌دهنده آن است که همزمان با جابه‌جایی دوران‌های مشترک، تا اندازه زیادی احتمال رخداد دوران خشک و تر در آن ایستگاه وجود دارد.

با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System, GIS)، پراکنش جغرافیایی تأثیر جابه‌جایی فازهای بررسی شده بر شدت و احتمال رخداد بارش بررسی شد. با استفاده از یکی از روش‌های درون‌یابی، لایه رستری وابسته به نسبت‌های به‌دست‌آمده در ایستگاه‌های ارزیابی شده فراهم و سپس با لایه مرز استان به صورت یک نقشه نمایش داده شد. روش معکوس فاصله وزنی (IDW) که تابلر (۱۹۷۰) ارائه کرد، از معتبرترین روش‌ها برای پیش‌بینی اندازه‌های بارش در گستره‌های بدون ایستگاه است (چنگ و همکاران، ۲۰۰۱).

برای درک بهتر تأثیر ENSO بر کارکرد پدیده MJO در چگونگی تشکیل و انتقال توده‌های باران‌زا به کشور، نقشه‌های اندازه انحراف از میانگین شدت بارش در سطح زمین (Precipitation Surface Level)، بادهای برداری سطوح پایینی جو (Vector wind, 850 mb)، ابرناکی (Outgoing Longwave Radiation, OLR, 1000 mb) و رطوبت ویژه (Specific humidity, 850 mb) به‌طور جداگانه برای دوران‌های بررسی شده (روزهای مربوط به هریک از فازها) فراهم شد. داده‌های به‌کارگرفته شده از پایگاه اطلاعاتی سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (National Oceanic and Atmospheric

Administration, NOAA) به‌دست‌آمد. با کمک نرم افزار GrADS، نقشه‌های تفاوت انحراف از میانگین OLR و Vector wind به‌صورت لایه‌های همپوشانی شده در گستره گرمسیری اقیانوس هند و آرام (شکل ۲) و نقشه همپوشانی شده شدت بارش و شار رطوبتی (Vapor Flux) برای گستره خاور میانه (شکل ۳) فراهم شد. یادآور می‌شود شار رطوبتی از حاصل ضرب بادهای برداری تراز ۸۵۰ میلی‌بار و رطوبت ویژه تراز ۸۵۰ میلی‌بار به‌دست‌آمد (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۵). برای نشان دادن انتقال توده‌های هوا در هر فاز، انحراف از میانگین باد برداری در لایه ۸۵۰ میلی‌باری با انحراف از میانگین OLR در همان فاز همپوشانی شد. سپس تفاوت دو به دو فازهای مورد نظر ترسیم شد.

۳ بحث و نتیجه‌گیری

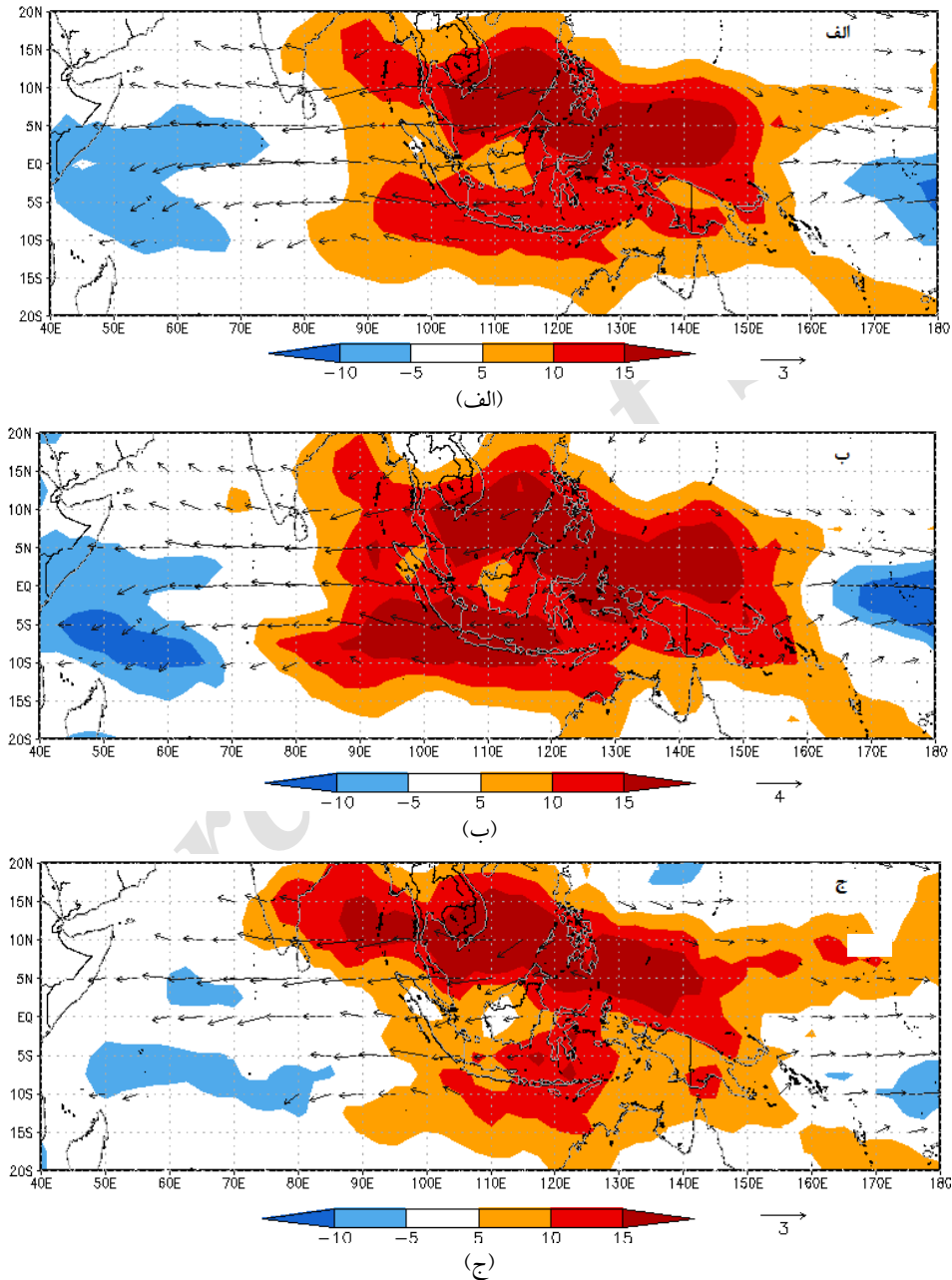
۳-۱ شمار و بزرگی نمایه MJO در دوران النینو و لانینا یافته‌ها نشان داد که در دوران بررسی شده، فراوانی روزهای رخداد دوران النینو و لانینا به‌ترتیب برابر با ۶۰ و ۴۰ درصد است که در این میان، سهم چیرگی رخداد فازهای مثبت MJO نزدیک به ۳۰ درصد بیشتر از فاز منفی است. با چیرگی دوران النینو، درصد فراوانی رخداد فازهای مثبت و منفی MJO تا اندازه زیادی یکسان و در دوران لانینا فراوانی فاز مثبت MJO، نزدیک به دو برابر رخداد چیرگی فاز منفی MJO است (جدول ۳). میانگین بزرگی فاز منفی در دوران النینو نزدیک به ۱۰ درصد بیشتر از میانگین آن در فاز مثبت است. در دوران لانینا این میانگین برای فاز مثبت، ۴۵ درصد بزرگ‌تر از میانگین فاز منفی است. به‌دیگرسخن، چیرگی دوران لانینا به‌گونه‌ای چشمگیر احتمال رخداد و قدرت فازهای مثبت MJO را نسبت به فاز منفی افزایش داده است. این در حالی است که دوران النینو، تأثیر کمتری بر تفاوت احتمال رخداد و کارایی فازهای مثبت و منفی MJO داشته است.

با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System, GIS)، پراکنش جغرافیایی تأثیر جابه‌جایی فازهای بررسی شده بر شدت و احتمال رخداد بارش بررسی شد. با استفاده از یکی از روش‌های درون‌یابی، لایه رستری وابسته به نسبت‌های به‌دست‌آمده در ایستگاه‌های ارزیابی شده فراهم و سپس با لایه مرز استان به صورت یک نقشه نمایش داده شد. روش معکوس فاصله وزنی (IDW) که تابلر (۱۹۷۰) ارائه کرد، از معتبرترین روش‌ها برای پیش‌بینی اندازه‌های بارش در گستره‌های بدون ایستگاه است (چنگ و همکاران، ۲۰۰۱).

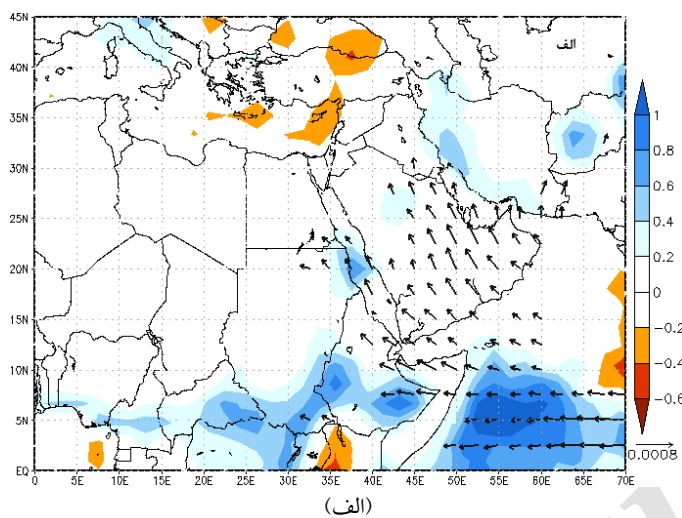
برای درک بهتر تأثیر ENSO بر کارکرد پدیده MJO در چگونگی تشکیل و انتقال توده‌های باران‌زا به کشور، نقشه‌های اندازه انحراف از میانگین شدت بارش در سطح زمین (Precipitation Surface Level)، بادهای برداری سطوح پایینی جو (Vector wind, 850 mb)، ابرناکی (Outgoing Longwave Radiation, OLR, 1000 mb) و رطوبت ویژه (Specific humidity, 850 mb) به‌طور جداگانه برای دوران‌های بررسی شده (روزهای مربوط به هریک از فازها) فراهم شد. داده‌های به‌کارگرفته شده از پایگاه اطلاعاتی سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (National Oceanic and Atmospheric

جدول ۳. شمار روزهای چیرگی فاز هر پدیده در بازه زمانی (۱۹۷۴-۲۰۱۳).

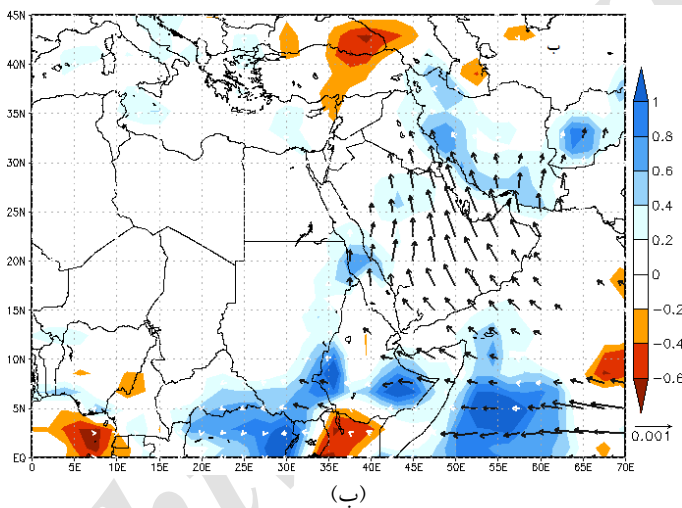
مجموع	La		EI		فازهای ENSO
	Pos	Neg	Pos	Neg	MJO فازهای
۲۴۶۹	۶۳۱	۳۵۰	۷۷۳	۷۱۵	شمار روزها
۱۷۰۸	۳۹۱	۲۸۸	۵۶۳	۴۶۶	شمار روزهای با بزرگی نمایه کمتر از یک
	۰/۸۷	۰/۶	۰/۷۴	۰/۸۲	میانگین بزرگی نمایه



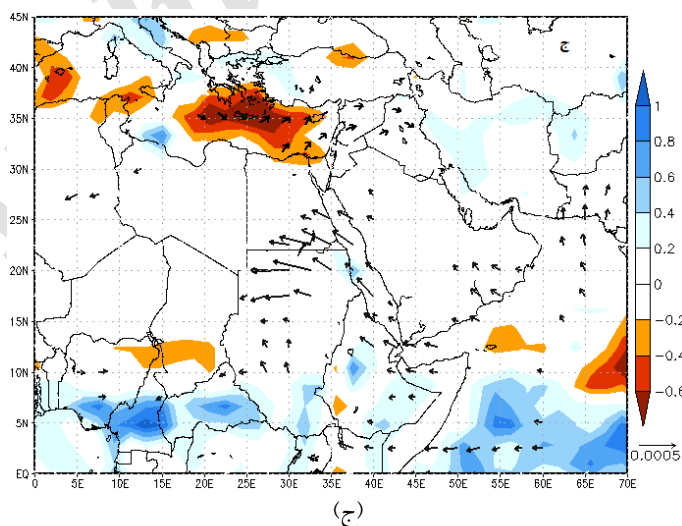
شکل ۲. توزیع جغرافیایی تفاوت انحراف از میانگین ابرناکی و باد ۸۵۰ میلی‌بار در (الف) دوران منفی و مثبت MJO ($OLR_{Neg} - OLR_{Pos}$), (ب) دوران منفی و مثبت MJO همزمان با چیرگی پدیده النینو ($OLR_{Neg-EL} - OLR_{Pos-EL}$) و (ج) دوران منفی و مثبت MJO همزمان با چیرگی پدیده لانینا ($OLR_{Neg-La} - OLR_{Pos-La}$).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳. تفاوت انحراف از میانگین شدت بارش (mm/day) و شار رطوبتی (vapor flux) ۸۵۰ میلی‌بار در (الف) دوران منفی و مثبت MJO ($I_{Neg}-I_{Pos}$), (ب) دوران منفی و مثبت MJO همزمان با چیرگی پدیده النینو ($I_{Neg-EL}-I_{Pos-EL}$) و (ج) دوران منفی و مثبت MJO همزمان با چیرگی پدیده لائینا ($I_{Neg-La}-I_{Pos-La}$).

رنگ سرد (آبی) بیانگر تفاوت انحراف از میانگین منفی OLR است که نشانه افزایش ابرناکی همزمان با چیرگی فاز منفی MJO نسبت به فاز مثبت این پدیده است. دربرابر، رنگ گرم (قرمز) نشان‌دهنده اندازه مثبت تفاوت انحراف از میانگین OLR در دو فاز و کاهش ابرناکی پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی در برابر فاز مثبت MJO است. ابرناکی بخش‌های غربی اقیانوس هند که به ایران نزدیک‌ترند، با رخداد فاز منفی در مقایسه با چیرگی فاز مثبت MJO، افزایش می‌یابد. افزون‌براین، چیرگی فاز منفی، افزایش همرفت در پهنه‌های گرمسیری شرق اقیانوس آرام را نیز در پی دارد. اندازه مثبت تفاوت OLR در بخش‌های شرقی اقیانوس هند، اقیانوسیه و غرب اقیانوس آرام نشان‌دهنده آن است که چیرگی فاز مثبت، کارکردهای همرفتی در این پهنه‌ها را افزایش می‌دهد. درمقابل، چیرگی فاز منفی، این کارکردها را کاهش می‌دهد. با چیرگی فاز منفی، بادهای غرب‌سوی با گذر از گستره‌های غربی اقیانوس آرام و شرق اقیانوس هند، توده‌های هوای مرطوب و گرم را به سوی گستره‌های غربی اقیانوس هند انتقال می‌دهند و شرایط مناسبی برای فرارفت‌های همرفتی و تشکیل ابر در گستره‌های جنوبی ایران فراهم می‌کنند. این بادهای عرض‌های بالاتر و در دریای عرب به سوی شمال منحرف می‌شوند و می‌توانند بخشی از رطوبت را به شبه‌جزیره عربستان و تا اندازه‌ای به پهنه‌های جنوبی ایران انتقال دهند. این نتایج با یافته‌های ناظم‌السادات و قائد امینی (۲۰۱۰) همخوانی دارد.

شکل ۲- ب تفاوت انحراف از میانگین ابرناکی همزمان با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو و چیرگی فاز مثبت MJO را در دوران النینو نشان می‌دهد. مقادیر مثبت تفاضل انحراف از میانگین ابرناکی در سراسر گستره‌های شرقی اقیانوس هند تا بخش‌های مرکزی اقیانوس آرام، بیانگر کمتر بودن ابرناکی فاز منفی MJO در دوران النینو نسبت به مقادیر آن همزمان با چیرگی فاز

نتایج نشان داد که فراوانی رخداد فاز مثبت (منفی) در دوران گرم ENSO نسبت به فراوانی رخداد فاز مثبت (منفی) همزمان با چیرگی لائینا، نزدیک به ۲۰ (۱۰۰) درصد بیشتر است و همچنین میانگین بزرگی نمایه فاز مثبت MJO همزمان با چیرگی دوران النینو نسبت به بزرگی فاز مثبت در دوران لائینا، نزدیک به ۱۵ درصد کاهش یافته است. بزرگی نمایه فاز منفی MJO در دوران النینو نسبت به فاز منفی همزمان با لائینا بیش از ۳۵ درصد بیشتر است.

۲-۳ نیرومندی فازهای MJO

ارزیابی فراوانی نمایه با بزرگی کمتر یا بیشتر از یک برای فازهای MJO (فازهای ضعیف یا نیرومند) نشان داد بیش از ۶۹ درصد فازهای این پدیده ضعیف است (۱۷۰۸ روز از مجموع ۲۴۶۹ روز). در این میان، سهم چیرگی فاز مثبت و منفی MJO در دوران النینو به ترتیب ۳۸ و ۳۱ درصد و در دوران لائینا برابر با ۴۰ و ۲۹ درصد است. به بیان دیگر، در دوران النینو و لائینا درصد چیرگی همرفت‌های قوی در فازهای منفی، بیشتر از فاز مثبت است و جابه‌جایی این دوران‌ها، نقش چندانی در احتمال رخداد فازهای مثبت و منفی MJO ندارد. خاطر نشان می‌شود که چیرگی فاز منفی در بسیاری از گستره‌های کشور، با افزایش بارش فصل سرد همراه است (ناظم‌السادات و قائد امینی، ۱۳۹۰ و ناظم‌السادات و قائد امینی، ۲۰۱۰).

۳-۳ نوسان‌های ابرناکی و باد در پیوند با جابه‌جایی فازهای MJO و همزمانی آن با دوران‌های گرم و سرد ENSO

شکل ۲- الف تفاوت انحراف از میانگین ابرناکی و بادهای سطحی (۸۵۰ میلی‌بار) را همزمان با چیرگی فاز منفی و فاز مثبت MJO روی گستره‌های گرمسیری اقیانوس آرام غربی و اقیانوس هند نشان می‌دهد. سایه‌ها با

گستره‌های جنوبی ایران دارند. رانش بخار آب به سوی شبه‌جزیره عربستان و شمال آفریقا، افزایش ناپایداری هوا را در گستره بزرگی از خاورمیانه در پی دارد.

همزمان با جابه‌جایی فازهای MJO در دوران لائینا (شکل ۲-ج)، بارش پاییزه پهنه غربی اقیانوس هند نوسان چندانی نمی‌کند و در مقایسه با شکل ۲-ب، چیرگی فاز منفی این پدیده در دوران لائینا نمی‌تواند کمک شایانی به افزایش همرفت، ابرناکی و بارش گستره‌های غربی اقیانوس هند کند. به‌دیگرسخن، دوران لائینا کارایی فاز منفی را برای افزایش بارش خاور میانه کاهش می‌دهد. چیرگی فاز مثبت MJO همزمان با لائینا افزایش چشمگیر همرفت‌های بخش شرقی اقیانوس هند را در پی دارد. در این دوران، رانش بادهای نمناک به سوی بخش غربی اقیانوس هند و خاور میانه به کمترین اندازه می‌رسد.

۳-۴ برهم‌کنش فازها و پیوند آنها با نوسان بارش پاییزه خاورمیانه

تفاوت انحراف از میانگین شار بخار آب در سطح ۸۵۰ میلی‌بار و انحراف از میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی و فاز مثبت MJO ($I_{Neg}-I_{Pos}$) در شکل ۳-الف نشان داده شده است. این شکل، تفاوت را تنها در دو فاز MJO نشان می‌دهد و تأثیر النینو یا لائینا بر رانش بخار آب یا بارش در آن دیده نمی‌شود. اندازه‌های مثبت و منفی بارش نشان‌دهنده افزایش بارش به ترتیب در دوران چیرگی فازهای منفی و مثبت این پدیده است. با چیرگی فاز منفی، شار رطوبتی با گذر از غرب اقیانوس هند، به‌گونه شمال‌وزان به خلیج فارس و شبه‌جزیره عربستان وارد می‌شود اما توانایی بالایی برای نفوذ به کشور ایران ندارد. در این دوران، شدت بارش در پهنه‌های جنوبی و نیمه غربی به‌ویژه جنوب غربی کشور افزایش می‌یابد.

در دوران النینو، جابه‌جایی فازهای MJO تأثیر بیشتری بر نوسان‌های بارش و الگوی ورود رطوبت دارد. در

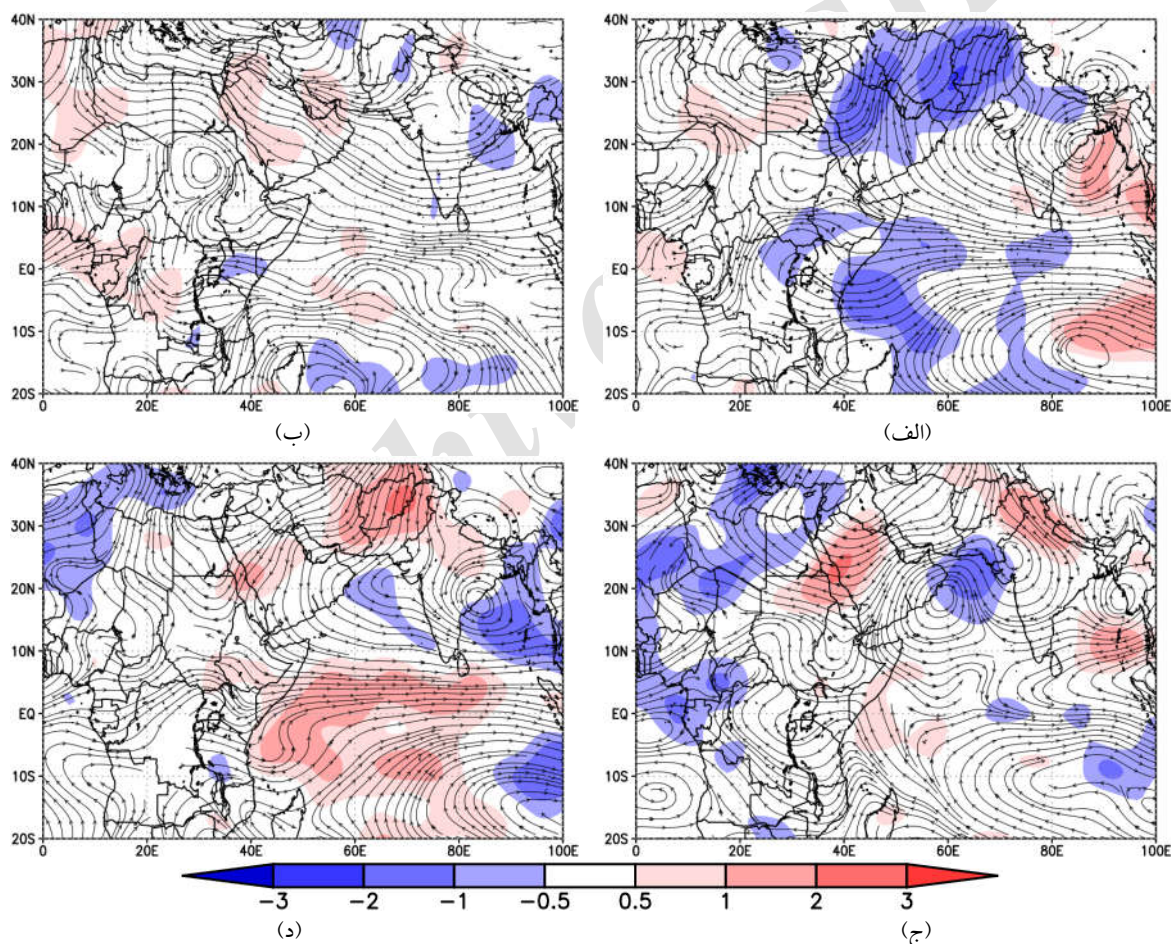
مثبت MJO در دوران النینو است. مقادیر منفی تفاضل انحراف از میانگین ابرناکی همزمان با چیرگی فازهای منفی و مثبت MJO در دوران النینو نشان‌دهنده آن است که میزان ابرناکی با چیرگی فاز مثبت بیشتر از این مقدار در فاز منفی است. به‌دیگرسخن، در گستره‌های با مقادیر انحراف از میانگین منفی (مثبت)، میزان ابرناکی و به دنبال آن احتمال رخداد بارش کاهش (افزایش) می‌یابد. به‌بیان‌دیگر، در دوران النینو، سیگنال‌های بارش همزمان با چیرگی فاز منفی MJO در بخش‌های غربی اقیانوس هند، سواحل گرمسیری آفریقا و شبه‌جزیره عربستان تقویت می‌شوند و به دنبال آن بارش‌های همرفتی در این پهنه‌ها افزایش می‌یابد.

بیشتر بودن مقادیر انحراف از میانگین مثبت یا منفی در شکل ۲-ب نسبت به شکل ۲-الف، نشان‌دهنده آن است که جابه‌جایی فازهای MJO در دوران النینو تا اندازه زیادی موجب کاهش ابرناکی و بارش‌های همرفتی در بخش‌های غربی و شمال‌غربی استرالیا و افزایش این پارامترها در گستره‌های غربی اقیانوس هند می‌شود. چیرگی دوران النینو و چیرگی فاز منفی MJO، به‌طور جداگانه کاهش ابرناکی در منطقه اقیانوسیه و استرالیا را به‌همراه دارند که این کاهش ابرناکی با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو بیشتر می‌شود. به‌بیان‌دیگر، چیرگی دوران النینو می‌تواند تا اندازه زیادی تأثیر فاز منفی را بر کاهش ابرناکی و بارش اقیانوسیه شدت بخشد. این در حالی است که در بخش‌های غربی اقیانوس هند، چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو به تقویت ابرناکی و به دنبال آن افزایش بیشتر بارش خواهد انجامید.

الگوی رانش بادهای سطحی نشان می‌دهد که چیرگی فاز منفی در دوران النینو به افزایش تا ۲۰ درصدی سرعت باد می‌انجامد. بادهای غرب‌سو با سرعتی بیشتر به سوی غرب اقیانوس هند و خلیج فارس در گستره‌های شمالی آن می‌وزند و توانایی بیشتری در انتقال رطوبت به

سامانه رطوبتی که نیرومندی کمتری دارد، الگوی مناسب و منسجمی در جابه‌جایی غرب‌سوی به بخش‌های غربی و شمال‌غربی اقیانوس هند ندارد. جبهه‌های رطوبتی کوچکی به سوی شبه‌جزیره عربستان در غرب اقیانوس هند و پاکستان در شمال‌غرب آن روانه شده که تأثیر چندانی در نوسان بارش پاییزه ایران و بیشتر بخش‌های خاور میانه نداشته است. به‌دیگرسخن، در دوران لانینا جابه‌جا شدن فازهای MJO نمی‌تواند نوسان چشمگیری در بارش بخش‌های بزرگی از ایران ایجاد کند (شکل ۳-ج).

سنجش با فاز مثبت، همزمان با چیرگی فاز منفی MJO، مقدار بارش روزانه در بیشتر جاهای کشور افزایش می‌یابد تا جایی که این فزونی در گستره‌های جنوب‌غربی کشور به ۰/۸۰-۰/۶۰ میلی‌متر در روز می‌رسد. همچنین در دوران چیرگی فاز منفی MJO، شار رطوبتی شدت بیشتری می‌یابد و با گذر از گستره‌های گرمسیری اقیانوس هند، خلیج فارس و دریای عمان به پهنه‌های جنوبی تا مرکزی ایران نفوذ می‌کند (شکل ۳-ب). همزمان با جابه‌جایی فازهای MJO در دوران لانینا،



شکل ۴. انحراف از میانگین سرعت عمودی هوا در تراز ۵۰۰ میلی‌بار و بادهای مداری در تراز ۸۵۰ میلی‌بار همزمان با (الف) چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو، (ب) چیرگی فاز مثبت MJO در دوران النینو، (ج) چیرگی فاز منفی MJO در دوران لانینا، (د) چیرگی فاز مثبت MJO در دوران لانینا. واحد سرعت عمودی هوا ($\times 10^{-2}$ Pa/s) است. رنگ قرمز، فرونشست و رنگ آبی، فرارفت است.

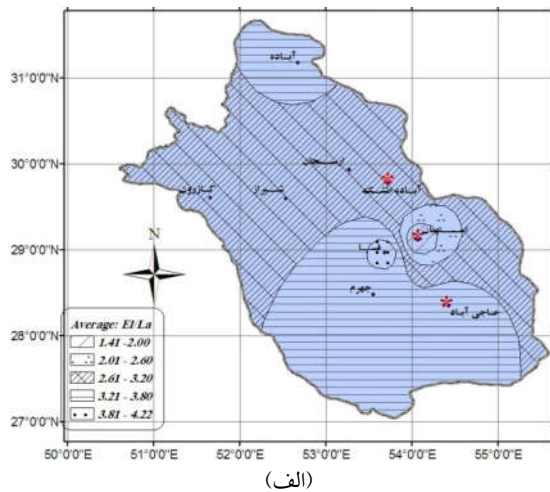
۳-۵ ارزیابی دینامیکی برهم‌کنش دو پدیده ENSO و MJO در گستره خاور میانه

انحراف از میانگین صعود عمودی هوا (Vertical velocity) در تراز ۵۰۰ میلی‌بار به همراه بادهای تراز ۸۵۰ میلی‌بار در شکل‌های ۴- الف و ۴- ب، به ترتیب همزمان با چیرگی فازهای ELP و ELN نشان داده شده است. یادآور می‌شود که انحراف از میانگین‌های منفی و مثبت صعود عمودی هوا به ترتیب بیانگر فرارفت و فرونشست هوا است.

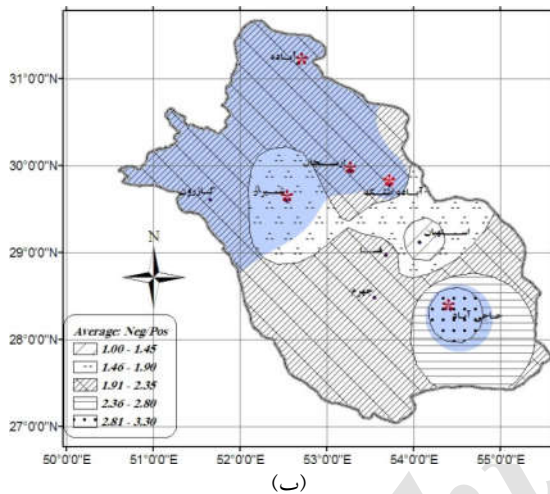
در شکل ۴- الف، همزمان با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو، مقادیر انحراف از میانگین صعود عمودی در همه گستره‌های ایران به‌ویژه جنوب‌غرب و نیمه شرقی کشور تا شمال هندوستان منفی است و نشان از شروع فرارفت همرفتی در این پهنه‌ها دارد. جاگیری کانون‌های همرفتی در گستره‌های غربی و مرکزی اقیانوس هند و همچنین بخش‌های مرکزی و شرقی اقیانوس آرام به‌همراه افزایش دمای سطح آب و به‌دنبال آن، جاگیری سامانه‌های کم‌فشار در این اقیانوس و سیستم‌های واچرخندی سطحی این دوران، دو جریان شرق‌وزان (بادهای تراز ۸۵۰ میلی‌بار) در راستای شمال و جنوب پهنه‌های گرمسیری را به همراه دارد. بخش شمالی این جریان با گذر از دریای عرب و خلیج فارس به پهنه‌های جنوبی، جنوب‌شرقی و مرکزی ایران و همچنین پاکستان و افغانستان می‌رسد که سرچشمه رطوبتی مهمی برای فرارفت‌های همرفتی یاد شده است. انحراف از میانگین چرخندی بزرگ‌مقیاس (واچرخندی) به مرکزیت ۸۰ درجه شرقی در پهنه این دو اقیانوس تشکیل می‌شود. همچنین یک سامانه چرخندی به مرکز ۲۰ درجه شرقی و ۳۰ درجه شمالی روی دریای مدیترانه تشکیل می‌شود. رخداد سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار به ترتیب در غرب و شرق ایران، شرایط صعود هوا را در این گستره فراهم می‌کند.

همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO در دوران النینو، انحراف از میانگین‌های چرخندی بزرگ‌مقیاس در گستره‌های اقیانوس آرام و هند تضعیف شده و سامانه واچرخندی سراسر طول ۱۰۰-۲۰ درجه شرقی را فراگرفته است (شکل ۴- ب). به‌دیگرسخن، بادهای غرب‌وزان سطحی در این گستره، شرایط رخداد بارش را با تنگنا روبرو می‌کند. بنابراین جابه‌جایی فازهای MJO در دوران النینو و چیرگی فاز مثبت به کاهش قدرت پدیده ENSO در تشکیل و تولید چرخندهای بزرگ‌مقیاس می‌انجامد. الگوی روانش رطوبتی در شکل ۳- ب نیز نشان‌دهنده این مطلب است.

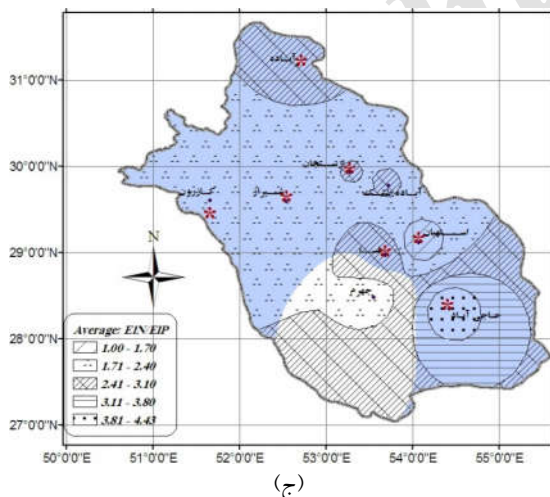
شکل‌های ۴- ج و ۴- د تأثیر جابه‌جایی فازهای MJO در دوران لائینا را بر جاگیری فرارفت‌های همرفتی و سامانه‌های چرخندی در کشور نشان می‌دهد. همزمان با چیرگی دوران لائینا، انحراف از میانگین‌های مثبت و نرمال صعود عمودی هوا در کشور نشان‌دهنده آن است که شرایط فرارفت همرفتی در کشور فراهم نبوده است؛ باین‌حال چیرگی کانون‌های همرفتی در گستره‌های غربی و مرکزی اقیانوس هند و همچنین گستره‌های مرکزی و شرقی اقیانوس آرام (فاز منفی MJO) تا اندازه‌ای به انحراف از میانگین‌های نرمال صعود عمودی هوا منجر شده است (شکل ۴- ج). این در حالی است که چیرگی فاز مثبت MJO نقش پررنگی در عدم صعود هوا و تشکیل شرایط کم بارش در کشور ایفا می‌کند (شکل ۴- د). تواتر رخداد سامانه‌های چرخندی (انحراف از میانگین‌های بزرگ‌مقیاس) همزمان با چیرگی فاز منفی در مقایسه با فاز مثبت این پدیده بیشتر است. به‌دیگرسخن، با چیرگی فاز منفی MJO در این دوران، روانش بادهای غرب‌وزان پایداری مکانی بیشتری نسبت به چیرگی فاز مثبت MJO ندارد و شرایط ورود سامانه‌های مرطوب و تشکیل ابر و به‌دنبال آن بارش، تا اندازه‌ای نسبت به فاز مثبت مناسب‌تر است. یادآور می‌شود



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵. پراکنش جغرافیایی (الف) $\bar{R}_{El}/\bar{R}_{La}$ ، (ب) \bar{R}_N/\bar{R}_P و (ج) $\bar{R}_{El-N}/\bar{R}_{El-P}$ در گستره استان فارس. پهنه‌های سایه‌دار نشان‌دهنده معنی‌داری آزمون من- ویتنی در سطح ۹۵٪ هستند و ستاره‌ها معنی‌داری آزمون دقیق فیشر در سطح ۹۵٪ را برای هر ایستگاه نشان می‌دهند

که با جاگیری کانون‌های همرفتی در شرق اقیانوس هند تا غرب اقیانوس آرام (فاز مثبت MJO) در دوران لائینا، سامانه بزرگ چرخندی در سراسر کشور تا طول ۱۰۰ درجه شرقی تشکیل می‌شود که به وزش بادهای غرب‌وزان و خروج توده‌های مرطوب از گستره ایران می‌انجامد. الگوی روانش رطوبتی در شکل ۳-ج نیز نشان‌دهنده این مطلب است

۴ واکاوی داده‌های بارش در ایستگاه‌ها

۴-۱ فازهای گرم و سرد ENSO

پراکنش جغرافیایی نسبت میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی دوران النینو به میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی لائینا، $(\bar{R}_{El}/\bar{R}_{La})$ ، در شکل ۵-الف نشان داده شده است. گستره‌های سایه‌دار بیانگر معنی‌دار بودن آزمون من- ویتنی در سطح آماری ۹۵٪ بود که نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار جابه‌جایی فازهای ENSO بر رخداد دوره‌های تر و خشک همه پهنه‌های استان است. بیشترین نوسان بارش پاییزه در پهنه‌های جنوبی و برخی بخش‌های استان به اندازه ۲۲۰-۳۲۰ درصد و کمترین آن در شرق استان به میزان ۱۶۰-۴۱ درصد رخ می‌دهد. بخش بزرگی از گستره‌های مرکزی، شمال‌شرقی و غربی فارس با نوسان ۲۲۰-۱۶۰ درصدی بارش پاییزه همراه است. در بیشتر گستره‌های شرقی استان که با ستاره نشان داده شده است، آزمون دقیق فیشر در سطح آماری معنی‌دار ۹۵٪ است و بیانگر تأثیر قابل توجه جابه‌جایی فازهای این پدیده بر احتمال رخداد دوران تر (روزهای بارشی) و دوره خشک (روزهای بدون بارش) این گستره‌ها است.

۴-۲ فازهای مثبت و منفی MJO

توزیع جغرافیایی نسبت میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی MJO به میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز مثبت (\bar{R}_N/\bar{R}_P) در شکل ۵-ب نشان داده

کمترین مقدار تغییرات بارش (۱ تا ۱/۷ برابر) دیده شده است. یافته‌های آزمون دقیق فیشر نیز نشان می‌دهد در دوران النینو، جابه‌جایی فازهای MJO در سطح آماری معنی‌دار ۹۵٪، احتمال رخداد روزهای تر و خشک بیشتر پهناهای استان را به‌جز در بخش جنوب‌غربی توجیه می‌کند.

یافته‌های آزمون من-ویتی و آزمون دقیق فیشر نشان داد که جابه‌جایی فازهای MJO در دوران لائینا تأثیر قابل توجهی بر نوسان‌های بارش پاییزه و احتمال رخداد آنها در استان فارس نداشته است. چنین به‌نظر می‌رسد که در دوران لائینا، بیشتر بودن میانگین بزرگی و فراوانی فازهای مثبت MJO نسبت به فاز منفی، تا اندازه زیادی ناتوانی فاز مثبت در افزایش بارش را جبران کرده و تفاوت قابل توجهی میان بارش‌های فاز مثبت و منفی در این دوران دیده نشده است. به‌دیگرسخن، در دوران لائینا کارایی همرفت‌های زیرفصلی در پیوند با فاز مثبت MJO، تا اندازه‌ای با کارایی فاز منفی یکسان می‌شود و جابه‌جایی فازهای MJO در این دوران، تأثیر چشمگیری بر تغییرپذیری بارش پاییزه فارس ندارد.

۴-۴ واکاوی شدت و احتمال رخداد بارش پاییزه

۱-۴-۴ فازهای ENSO

در شکل ۶-الف، توزیع جغرافیایی نسبت شدت بارش پاییزه در دوران النینو به شدت آن در دوران لائینا، $(\bar{I}_{EI}/\bar{I}_{La})$ (هاشورها) و نسبت احتمال رخداد بارش پاییزه در دوران النینو به احتمال آن در دوران لائینا، $(\bar{P}_{EI}/\bar{P}_{La})$ (سایه‌ها)، نشان‌دهنده آن است که در همه پهناهای استان، شدت بارش پاییزه همزمان با چیرگی دوران النینو بیشتر از دوران لائینا است. در بیشتر گستره‌های جنوبی استان، این نسبت که در بازه ۱/۹۸-۱/۵۶ قرار داشته، در بخش‌های شمالی کاهش یافته است و در بازه ۱/۵۵-۱/۲۸ قرار دارد. به‌دیگرسخن، بارش‌های

شده است. در بخش‌های شمالی و برخی گستره‌های جنوبی استان، میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی MJO به‌گونه معنی‌داری (در سطح آماری ۹۵٪) بیشتر از میانگین بارش پاییزه فاز مثبت MJO است. در گستره‌های یاد شده این نسبت بزرگ‌تر از یک است که بیشترین اندازه آن در بخش‌های جنوب‌شرقی در بازه ۳/۳-۲/۳ دیده می‌شود. به‌دیگرسخن، چیرگی فاز منفی MJO در این گستره‌ها به افزایش منابع آبی پاییزه فارس در بازه ۲۳۰-۱۳۰ درصد نسبت به چیرگی فاز مثبت MJO می‌انجامد. در بخش‌های شمالی استان، این نسبت در بازه ۲/۳-۱/۹ نوسان می‌کند و نشان از افزایش ۱۳۰-۹۰ درصدی بارش‌های پاییزه استان همزمان با چیرگی فاز منفی نسبت به فاز مثبت MJO دارد. یافته‌های آزمون دقیق فیشر نشان می‌دهد که در بیشتر بخش‌های شمالی و برخی گستره‌های جنوب‌شرقی استان، جابه‌جایی فازهای MJO، احتمال رخداد دوران‌های تر (روزهای بارشی) و خشک (روزهای بدون بارش) را توجیه می‌کند. جابه‌جایی فازهای MJO، نوسان بارش پاییزه در بخش‌های کمتری از استان را توجیه می‌کند اما احتمال رخداد روزهای تر و خشک به‌ترتیب همزمان با چیرگی فاز منفی و مثبت این پدیده معنی‌دار است.

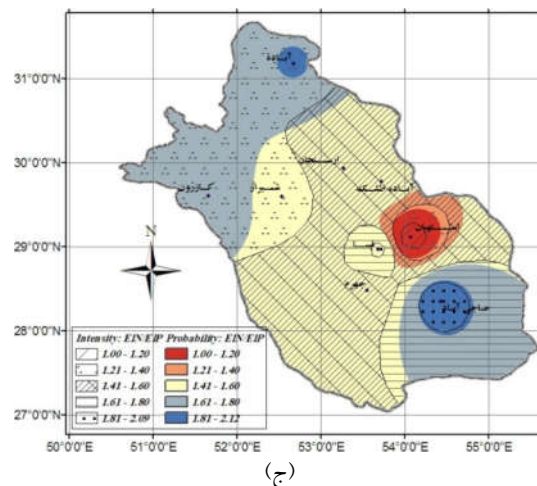
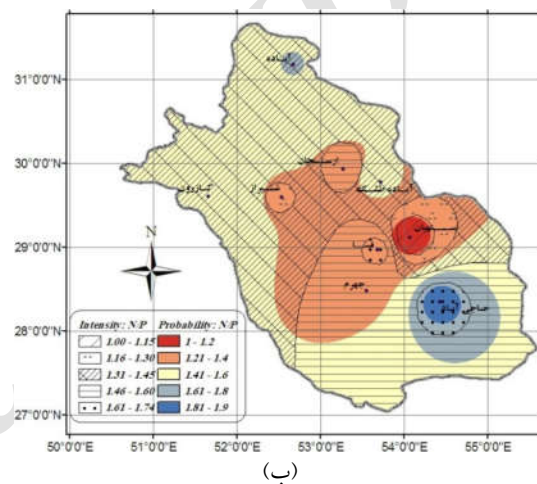
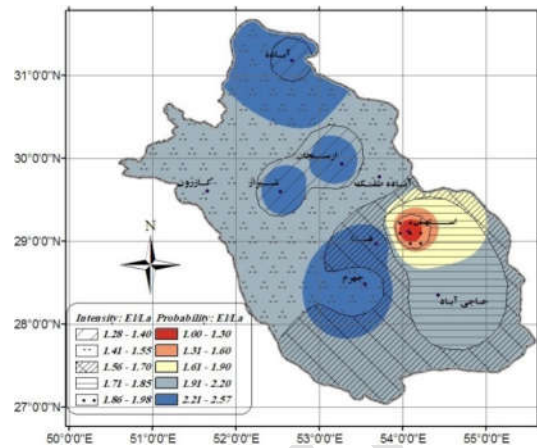
۴-۳ برهم‌کنش ENSO و MJO

شکل ۵-ج نشان‌دهنده توزیع جغرافیایی نسبت میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو، به میانگین بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO در این دوران، $(\bar{R}_{EI-N}/\bar{R}_{EI-P})$ است. در دوران النینو به‌جز پهنا جنوب‌غربی، در دیگر گستره‌های استان، جابه‌جایی فازهای MJO نقش درخور توجهی بر نوسان بارش و رخداد دوره‌های تر و خشک پاییزه دارد. در گستره‌های جنوب‌شرقی، حاجی آباد، بیشترین تغییرپذیری بارش (بیش از ۳ برابر) و در پهناهای شرقی، استهبان،

پاییزه دوران النینو در جنوب استان ۹۸-۵۶ درصد و در گستره‌های شمالی ۵۵-۲۸ درصد سنگین‌تر از بارش‌های پاییزه دوران لانینا است. در اغلب پهنه‌های استان، احتمال رخداد بارش پاییزه در دوران النینو نسبت به دوران لانینا به میزان ۱۵۷-۹۰ درصد بیشتر است. این در حالی است که در گستره‌های شرقی، اندازه این نسبت کاهش یافته است و در بازه ۱/۹-۱/۰ قرار دارد

۴-۴-۲ فازهای مثبت و منفی MJO

توزیع جغرافیایی نسبت شدت بارش روزانه (\bar{I}_N/\bar{I}_P) به همراه احتمال رخداد بارش (\bar{P}_N/\bar{P}_P) همزمان با چیرگی فاز منفی MJO به فاز مثبت در شکل ۶-ب نشان داده شده است. هرچه این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر یکسان بودن تأثیر کارکردهای همرفتی مربوط به MJO در فازهای مثبت و منفی، بر تغییرپذیری شدت بارش پاییزه استان است. اندازه‌های بزرگ‌تر (کوچک‌تر) از یک، نشان‌دهنده آن است که چیرگی فاز منفی (مثبت) MJO نسبت به فاز مثبت (منفی)، شدت بارش روزانه را افزایش می‌دهد. در همه بخش‌های استان فارس، این دو نسبت بزرگ‌تر از یک هستند که نشانه سنگین‌تر بودن بارش و بیشتر بودن احتمال رخداد آنها در فاز منفی نسبت به فاز مثبت MJO است. در گستره‌های جنوبی و برخی بخش‌های مرکزی، نسبت شدت بارش در بازه ۱/۷۴-۱/۴۶ و در بخش‌های شمالی این نسبت در بازه ۱/۴۵-۱/۳۰ نوسان می‌کند. کمترین اندازه آن در پهنه‌های شرقی استان، در بازه ۱/۲۰-۱/۰۰ دیده شده است که نشان از سنگین‌تر بودن ۲۰ درصدی بارش‌های پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی نسبت به بارش‌های همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO دارد. بیشینه نسبت (\bar{P}_N/\bar{P}_P) در گستره‌های جنوب‌غربی در بازه ۹۰-۶۰ درصد و کمترین آن در پهنه‌های شرقی و برخی بخش‌های مرکزی، در بازه ۴۰-۵ درصد جای دارد.



شکل ۶. پراکنش جغرافیایی نسبت شدت بارش پاییزه (هاشورها) به همراه احتمال رخداد آن (سایه‌ها) در دوران (الف) EL/La، (ب) N/P و (ج) EI-N/EI-P در گستره استان فارس. پهنه‌های سایه‌دار نشان‌دهنده معنی‌داری آزمون من-ویتنی در سطح ۹۵٪ هستند و ستاره‌ها، معنی‌داری آزمون دقیق فیشر را در سطح ۹۵٪ برای هر ایستگاه نشان می‌دهند.

تأثیر برهم کنش این دو پدیده بر نوسان رخداد بارش پاییزه استان فارس در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۷۴ ارزیابی شد. یافته‌ها نشان داد که در دوران النینو، احتمال و فراوانی رخداد فازهای مثبت و منفی MJO تا اندازه زیادی یکسان است. در این دوران شمار و بزرگی فازهای منفی، نزدیک به ۱۰ درصد بیشتر از فازهای مثبت است. به‌دیگرسخن، احتمال رخداد هر یک از فازهای مثبت یا منفی MJO در دوران النینو یکسان است، اما کارایی همرفت‌های وابسته به فاز منفی MJO نسبت به همرفت‌های فاز مثبت، بیشتر است. چیرگی فاز منفی در دوران النینو با افزایش کارکردهای همرفتی در گستره‌های گرمسیری غرب اقیانوس هند و تا اندازه‌ای در شرق اقیانوس آرام همراه است و موجب می‌شود بادهای شرق‌وزان مرطوب، با سرعت بیشتری به سوی غرب اقیانوس هند و خلیج فارس در گستره‌های شمالی آن روانه شوند.

در دوران لانینا احتمال چیرگی فاز مثبت MJO نزدیک به دو برابر احتمال چیرگی فاز منفی است و میانگین بزرگی فاز مثبت، نزدیک به ۴۵ درصد بیشتر از فاز منفی است. از این رو، در دوران لانینا همرفت‌های در پیوند با فاز مثبت MJO پرشمارتر و کاراتر از همرفت‌های فاز منفی هستند. در دوران لانینا، کارایی برای تولید ابرهای همرفتی در پهنه غربی اقیانوس هند و خاورمیانه با کاهش چشمگیری روبه‌رو است. در بیش از ۶۹ درصد موارد، پدیده MJO ضعیف بوده که در این میان سهم فازهای مثبت و منفی آن به ترتیب ۲۸ و ۳۸ درصد است. در دوران لانینا و النینو، به ترتیب بیش از ۸۰ و ۶۵ درصد همرفت‌های در پیوند با فاز منفی MJO ضعیف است. این آمارها نشان‌دهنده آن است که رخداد دوران سرد ENSO، به‌گونه چشمگیری بزرگی و تواتر سامانه‌های همرفتی نیرومند را در بخش غربی اقیانوس هند، خلیج فارس و ایران کاهش می‌دهد. این در حالی است که دوران گرم ENSO، تأثیر کم‌رنگ‌تری بر تواتر فازهای ضعیف MJO داشته است.

۳-۴-۴ همزمانی النینو و فازهای MJO در شکل ۶-ج، توزیع جغرافیایی نسبت شدت بارش همزمان با چیرگی فاز منفی در دوران النینو به شدت آن همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO در همان دوران $(\bar{I}_{EI-N}/\bar{I}_{EI-P})$ و نسبت احتمال رخداد بارش همزمان با چیرگی فاز منفی در دوران النینو به احتمال آن همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO در همان دوران، $(\bar{P}_{EI-N}/\bar{P}_{EI-P})$ ، نشان‌دهنده آن است که در همه بخش‌های استان، این نسبت‌ها بزرگ‌تر از یک هستند. به‌بیانی‌دیگر، در دوران النینو چیرگی فاز منفی MJO در مقایسه با چیرگی فاز مثبت، بارش‌های سنگینی را در پی دارد و احتمال رخداد روزهای بارانی نیز به‌گونه‌ای چشمگیر افزایش می‌یابد. در بیشتر بخش‌های استان، این نسبت در بازه ۲/۱-۱/۴ در نوسان است. در بخش‌های شمالی استان و برخی گستره‌های شرقی، شدت بارش‌های پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی به اندازه ۴۰-۵ درصد سنگین‌تر از بارش‌های فاز مثبت دوران النینو است. همچنین همزمان با چیرگی فاز منفی MJO، احتمال رخداد بارش‌های پاییزه در پهنه‌های شمالی و جنوب‌شرقی، به اندازه ۱۱۰-۶۰ درصد بیشتر از چیرگی فاز مثبت است؛ به‌گونه‌ای که در بیشتر گستره‌های مرکزی و جنوب‌غربی استان، احتمال رخداد بارش فاز منفی MJO در دوران گرم ENSO، نسبت به احتمال رخداد بارش همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO در این دوران، افزایش ۶۰-۴۰ درصدی دارد.

۵ نتیجه‌گیری کلی

النینو- نوسان‌های جنوبی (ENSO) و نوسان‌های ماد- جولیان (MJO) دو پدیده بزرگ‌مقیاس جوی- اقیانوسی در گستره اقیانوس آرام و هند هستند که می‌توانند بخش بزرگی از تغییرپذیری آب و هوایی و اقلیمی پهنه‌های گرمسیری و فراگرمسیری را توجیه کنند. در این پژوهش،

احتمال رخداد روزهای تر و خشک نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای به چیرگی فازهای MJO وابسته است. به بیان دیگر، در دوران النینو جابه‌جایی فازهای MJO، باعث نوسان بارش پاییزه می‌شود اما در دوران لانینا، جابه‌جایی این فازها، تأثیر قابل توجهی بر رخداد دوران‌های تر و خشک ندارد. بارش‌های پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو در بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب ۱۱۰-۴۰ و ۴۰-۵ درصد سنگین‌تر از بارش‌های پاییزه فاز مثبت این پدیده در دوران النینو است. در پهنه‌های جنوبی و مرکزی، شمالی و شرقی استان، احتمال رخداد بارش همزمان با چیرگی فاز منفی در دوران النینو به ترتیب نزدیک به ۶۰-۴۰، ۱۱۰-۶۰ و ۴۰-۵ درصد بیشتر از احتمال رخداد آن در فاز مثبت دوران النینو است.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای فارس بابت حمایت‌های مالی در چارچوب طرح پژوهشی با شماره FAW-94019 که امکان انجام این پژوهش را فراهم کردند، صمیمانه سپاسگزاریم. همچنین از داوران محترم و نظرات ارزنده ایشان که نقش پررنگی در بهبود سطح کیفی و فنی این پژوهش داشت، صمیمانه قدردانی می‌کنیم.

منابع

احمدی گیوی، ف.، پرهیزکار، د. و حجام، س.، ۱۳۸۸، بررسی اثر انسو بر توزیع بارش فصلی ایران در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱: مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۵(۴)، ۹۵-۱۱۳.
خورشیددوست، ع. م.، و قویدل رحیمی، ی.، ۱۳۸۵، ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چندمتغیره انسو: مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸(۵۷)، ۱۵-۲۶.
قاندامینی، ح. و ناظم السادات، س. م. ج.، ۱۳۹۱، ارزیابی نشان پدیده نوسان‌های مادن-جولیان بر رخداد بارش-

یافته‌ها نشان داد که جابه‌جایی فازهای ENSO تأثیر قابل توجهی بر رخداد دوره‌های تر و خشک، شدت و احتمال رخداد بارش پاییزه فارس دارد. چیرگی دوران گرم (سرد) این پدیده، با افزایش (کاهش) بارش پاییزه، شدت و احتمال رخداد بارش به‌ویژه در گستره‌های جنوبی استان همراه است. شدت بارش پاییزه دوران النینو در بخش‌های جنوبی و شمالی استان به ترتیب نزدیک به ۱۰۰-۵۵ و ۵۵-۲۵ درصد بیشتر از بارش‌های دوران لانینا است. در این دو گستره، احتمال رخداد بارش پاییزه در دوران النینو به اندازه ۱۵۰-۹۰ درصد و در مرکز و شرق استان، نزدیک به ۶۰ درصد بیشتر از احتمال رخداد بارش در دوران لانینا است. جابه‌جایی فازهای MJO، پیوند معنی‌داری با نوسان بارش‌های پاییزه گستره‌های شمالی و برخی بخش‌های جنوبی استان فارس دارد. رخداد فاز مثبت این پدیده در بخش‌های جنوب شرقی، افزایش ۲۳۰-۱۳۰ درصدی و در بخش‌های شمالی، افزایش ۱۳۰-۹۰ درصدی سرچشمه‌های آبی پاییزه استان را در پی دارد. همزمان با چیرگی فاز منفی، بارش‌های پاییزه بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب نزدیک به ۷۵-۴۵ و ۴۵-۳۰ درصد سنگین‌تر از بارش‌های رخ داده همزمان با فاز مثبت این پدیده است. احتمال رخداد بارش همزمان با چیرگی فاز منفی در بخش‌های جنوبی و شمالی، نزدیک به ۹۰-۴۰ درصد بیشتر از احتمال رخداد بارش همزمان با چیرگی فاز مثبت در پاییز است.

در دوران النینو، برای همه گستره‌های مورد بررسی، به جز پهنه جنوب غربی، چیرگی فاز منفی MJO به افزایش بیشتر میانگین بارش پاییزه نسبت به میانگین آن همزمان با چیرگی فاز مثبت MJO منجر شده است. در این دوران، در گستره‌های جنوب شرقی استان بیش از ۳۰۰ درصد و در شرق آن کمتر از ۷۰ درصد، افزایش بارش پاییزه همزمان با چیرگی فاز منفی MJO نسبت به فاز مثبت آن دیده شده است. همزمان با چیرگی النینو، نه تنها اندازه بارش، بلکه

- China: Journal of Meteorological Research, **19**(4), 469-478.
- Kessler, W. S., and Kleeman, R., 2000, Rectification of the Madden-Julian oscillation into the ENSO cycle: Journal of Climate, **13**(20), 3560-3575.
- McPhaden, M. J., Zhang, X., Hendon, H. H., and Wheeler, M. C., 2006, Large scale dynamics and MJO forcing of ENSO variability: Geophysical research letters, **33**(16).
- Moon, J. Y., Wang, B., and Ha, K. J., 2011, ENSO regulation of MJO teleconnection: Climate Dynamics, **37**(5), 1133-1149.
- Nazemosadat, M. J., and Cordery, I., 2000, On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran: Interaction Journal of Climatology, **20**(1), 47-61.
- 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: Journal of Climate, **23**(4), 887-904.
- 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: Journal of Climate, **17**(20), 4005-4018.
- Pai, D. S., Bhate, J., Sreejith, O. P., and Hatwar, H. R., 2011, Impact of MJO on the intraseasonal variation of summer monsoon rainfall over India: Climate Dynamics, **36**(1), 41-55.
- Ropelewski, C. F., and Halpert, M. S., 1996, Quantifying southern oscillation-precipitation relationships: Journal of Climate, **10**(9), 1043-1059.
- Tang, Y., and Yu, B., 2008, MJO and its relationship to ENSO: Journal of Geophysical Research, **113**.
- Tobler, W., 1970, A computer movie simulating urban growth in the Detroit region: Economic Geography, **46**, 234-240.
- Trenberth, K. E., 1997, The definition of El Niño: Bulletin of American Meteorological Society, **78**, 2771-2777.
- Wheeler, M., and Hendon, H., 2004, An all-season real-time multivariate MJO index, Development of an index for monitoring and prediction: Monthly Weather Review, **132**(8), 1917-1932.
- Zhang, C., and Gottschalck, J., 2002, SST anomalies of ENSO and the Madden-Julian oscillation in the equatorial Pacific: Journal of Climate, **15**, 2429-2445.
- Walker, G. T., and Bliss, E. W., 1932, World Weather: Memoirs of the Royal Meteorological Society, **4** (36), 53-84.
- های روزانه استان‌های سیستان و بلوچستان و فارس، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، **۲۶**، (۶)، ۱۳۷۲-۱۳۸۳.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، و قائد امینی، ح.، ۱۳۸۷، بررسی تأثیر نوسانات مادن- جولیان بر وقوع کرانه بالایی و پایینی بارش (سیلاب و خشکی) ماه‌های بهمن تا فروردین در استان فارس: مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (دانشگاه صنعتی اصفهان)، **۱۲**(۴۶)، ۷۷-۸۹.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، و قائد امینی، ح.، ۱۳۹۰، ارزیابی تأثیر پدیده مادن- جولیان (MJO) بر رخداد دوره‌های خشک و تر در استان فارس: مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، **۱۵**(۵۵)، ۱۳-۲۵.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، مهرآور، ص.، و قائد امینی، ح.، ۱۳۹۲، ارزیابی برهم‌کنش همزمان پدیده‌های ENSO و MJO بر رخداد دوران‌های تر و خشک در ایران: مجله تحقیقات منابع آب ایران، **۹**(۱)، ۴۸-۶۰.
- 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 International Geochemical Exploration Symposium (IGES), 6-10 May, Santiago de Chile, 42-43.
- Girishkumar, M. S., Suprit, K., Vishun, S., Thanga Prakash, V. P., and Ravichandran, M., 2015, The role of ENSO and MJO on rapid intensification of tropical cyclones in the Bay of Bengal during October-December: Theoretical and Applied Climatology, **120**(3-4), 797-810.
- Hendon, H. H., Wheeler, M. C., and Zhang, C., 2007, Seasonal dependence of the MJO-ENSO relationship: Journal of Climate, **20**(3), 531-543.
- Hoell, A., Barlow, M., Wheeler, M. C., and Funk, C., 2014, Disruptions of El Niño-Southern Oscillation teleconnections by the Madden-Julian oscillation: Geophysical Research Letter, **41**(3), 998-1004.
- Jiang, Y., Zhai, P., and Wang, O., 2005, Variability of summer atmospheric moisture flux and its effect on precipitation over East

On the Madden-Julian Oscillations and El Niño-Southern Oscillation connection and their feedback on autumnal precipitation in Fars province, Iran

Sedigheh Mehravar^{1*}, Habib Allah Ghaedamini¹, and Mohammad Jafar Nazemosadat²

¹M. Sc., Atmospheric-Oceanic Researches Center, Shiraz University, Shiraz, Iran

²Professor, Atmospheric-Oceanic Researches Center, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received: 04 May 2017, Accepted: 12 September 2018)

Summary

The Madden-Julian Oscillation (MJO) and El Niño Southern Oscillation (ENSO) are known as the primary modes of large-scale climate variability in the equatorial parts of the Indian and Pacific Oceans, respectively. The present study has made an effort to analyze interactions of these two oscillations during boreal autumn and the feedback of these interactions on the occurrence of dry or wet periods in Fars province. Cold and warm phases of ENSO (La Niña and El Niño, respectively) are then classified according to the size of the SOI. Then positive and negative phases of the MJO were defined according to the algebraic sign of the real-time multivariate MJO series 1 (RMM1). Daily values of October-December precipitation data of 9 synoptic stations of Fars province were obtained for the 1974-2013 period.

Precipitation amount and the occurrence probability of precipitation were investigated for La Niña, El Niño MJO positive phase, MJO negative phase and other four combinations of these phases. Since the impacts of ENSO or MJO phases on precipitation variability had been studied previously, the present study mainly motivated to investigate precipitation characteristics for the episodes that El Niño or La Niña events were concurrent with the MJO positive phase (El-P or La-P, respectively) or MJO negative phase (El-N and La-N, respectively). The characteristics of atmospheric circulation and vapor transport over the ocean waters and the Middle East are then investigated to justify the obtained results.

Some parameters including precipitation, intensity and occurrence probability of a rainy day were computed for all phases, separately. The ratio between these parameters during opposite phases was computed and spatially mapped to evaluate the effects of the interactions.

The results indicated that the frequency of the positive and negative MJO phases is significantly associated with the ENSO condition. Differences between the frequency of the positive and negative MJO phases during the El Niño events were found to be insignificant. Contrariwise, during the El Niño events, the frequency and occurrence probability of the positive MJO phase are about twice than corresponding statistics during the MJO negative phase. It was found that ENSO and MJO have a significant influence on autumnal precipitation in Fars province. During El Niño or negative MJO phase, the mean occurrence probability and intensity of precipitation were significantly greater than the corresponding values during La Niña or positive MJO in Fars. For almost entire parts and for the periods of El Niño, precipitation has significantly enhanced or suppressed during the negative and positive MJO phase, respectively. On the other hand, such differences are not significant when the opposite phases of the MJO have concurred with the La Niña events. Compare to El-P, mean precipitation during El-N has increased by about 300% in the southeast and about 70% in the eastern districts. When the El-N phase has prevailed, the autumnal precipitation intensity has increased about 40-110% and 4-40% over the southern and northern area of Fars, respectively.

Keywords: El Niño, La Niña, Southern Oscillation, autumn rainfall, Fars province

*Corresponding author:

s.mehravar64@gmail.com