نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال یازدهم | شماره چهل و سوم | پاییز ۱۳۹۹
وصول: ۹۹/۰۳/۲۵ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۷
صص ۱۴-۱

تحلیل همدید سامانه هایی با منشاء کم فشار سودان طی روند تاریخی ماه می در جنوب و جنوبغرب ایران

فهیمه محمدی[۱]، حسن لشکری[۲*]
۱- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای طبیعی
۲-دانشیار دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای طبیعی

چکیده

سامانه کم فشار سودان یکی از سامانه های موثر در بارش جنوب و جنوبغرب ایران است. در این پژوهش دوره مطالعاتی منطبق با چرخه خورشیدی طی سال های ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۷ تنظیم شده است. با بکارگیری داده های بارش روزانه ۴۲ ایستگاه همدید از سازمان هواشناسی کشور، روزهای دارای بارندگی استخراج شدند. برای این روزها از مرکز پیش بینی جوی- اقیانوسی ایالات متحده داده های فشار سطح دریا و ارتفاع فشاری در تراز ۱۰۰۰ هکتو پاسکال دریافت شد. بر پایه تحلیل چشمی هسته های کم و پرارتفاع، روزهای دارای بارش ناشی از سامانه سودانی مستقل (۴۱ روز در جنوبغرب و ۲۸ روز در جنوب ایران) از سایر سامانه های جوی جداسازی شد. برای این روزها داده های آنومالی ترکیبی روزانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه، باد مداری و نصف النهاری در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه داده یادشده نیز تهیه شد. نتایج بررسی ها نشان داد فشار تراز دریا طی دهه اول تا ششم در جنوبغرب ایران نسبت به میانگین دراز مدت آن کاهش داشته است (۱- تا ۳- هکتوپاسکال) اما در عرصه جنوب ایران طی دهه اول تا سوم فشار تراز دریا جزیی کاهش و پس از آن طی دهه چهارم تا ششم افزایش داشت.. بررسی تغییرات ارتفاع تراز سطح زمین تا تراز میانی جو در جنوبغرب ایران نشان داد، طی دهه اول تا ششم ارتفاع سامانه سودانی نسبت به میانگین دراز مدت آن در منطقه کاهش داشت (۱۰- تا ۷۰- متر) اما این در حالی است که در عرصه جنوبی ایران ارتفاع سامانه سودانی بغیر از دهه اول تا سوم که کاهش داشت طی دهه چهارم تا ششم افزایش یافته بود (۱۰+ تا ۱۵+ متر). تغییرات پارامترهای دینامیکی سبب شده است تا بارش سامانه سودانی در ماه می از گذشته تا به امروز در جنوبغرب ایران تقویت و در جنوب ایران تضعیف بشود.

کلید واژه‌ها: کم فشار سودان، چرخه خورشیدی، آنومالی، جنوب و جنوبغرب ایران.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۲۷۳۷۱۵
Email: r_lashkari61@yahoo.com

مقدمه

سامانه کم فشار سودان یکی از سامانه‌های موثر در بارش منطقه جنوب و جنوبغرب ایران است. این سامانه جنب حاره‌ای جزیی از الگوی گردش بزرگ مقیاس جو با منشا حاره‌ای است. خطوط کم فشار آن جنوب دریای سرخ، منطقه سودان و اتیوپی را در بر می‌گیرد. در شرایط سینوپتیکی خاصی این سامانه از حالت حرارتی خارج شده و خصوصیت ترمودینامیکی پیدا می‌کند. این سامانه‌ها اغلب در فصل سرد از اتیوپی، سودان و دریای سرخ عبور کرده و در ادامه مسیر خود از جنوب و جنوبغرب ایران نیز وارد کشور شده و سبب رخداد بارش‌هایی در این مناطق می‌شوند. ویژگی مشترک همه این سامانه‌های همدیدی- دینامیکی باران زا، در کم فشارهای سطح زمین یا کم ارتفاع‌های سطوح بالا است.

سابقه شناخت کم فشارهای سودانی در خاورمیانه و دریای سرخ به حدود ۸۰ سال پیش باز می‌گردد. زمانی که آشبل (۱۹۳۸) برای نخستین بار بارش‌های شرق مدیترانه را مورد بررسی قرار داد. وی به این نتیجه رسید که بارش های این منطقه متاثر از سامانه‌ای است که اصطلاحاً آن را "کم فشار دریای سرخ" نامید. در اوایل دهه ۱۹۵۰ الفندی هواشناس مصری، به مطالعه ویژگی‌های مختلف کم فشارهایی پرداخت که در سودان شمالی و منطقه دریای سرخ تشکیل شده و آب و هوای منطقه شمال شرق آفریقا و خاورمیانه را تحت تاثیر خود قرار می دادند. الفندی نام "کم فشار مونسون سودان" را برای این کم فشارها برگزید (1948؛ 1950b؛ El-Fandy,1952). مرکز نوسانات این کم فشار هرساله از اتیوپی تا سودان در دوره سرد سال متغیر است (El-Fandy, 1950a). تغییر غرب سوی این سامانه از ماه سپتامبر تا ژانویه و تغییر شرق سوی آن از ماه فوریه تا ماه می است (Awad and Almazroui, 2016; Awad and Mashat, 2019). بنظر می رسد این دوره فاز اول مطالعات بر روی کم فشار دریای سرخ بوده است. طی سال های نخست دهه ۱۹۶۰ به دنبال یافته‌های پژوهشگران مبنی بر تاثیر جریان هوا در منطقه دریای سرخ بر روی زندگی ملخ صحرا و مهاجرت آنها، ساختار گردش هوای محلی در منطقه دریای سرخ مورد بررسی و مطالعه بیشتر قرار گرفت (Johnson, 1963; Pedgley and Simon, 1968). ادامه این مطالعات موجب کشف منطقه همگرایی دریای سرخ گردید (Flohn, 1965, 1987; Pedgley, 1966b, 1966a).

سال‌های بعد، پژوهشگران در مدیترانه شرقی برای کم فشارهای بدون جبهه‌ای که از منطقه دریای سرخ و سودان بسمت شرق مدیترانه گسترش پیدا کرده اند و موجب بارش‌های سیل آسا می شوند نام جدیدی تحت عنوان "زبانه کم فشار دریای سرخ" برگزیده‌اند (Krichak et al., 1997a, 1997b). اهمیت اثر سامانه کم فشار سودان در آب و هوای مدیترانه به طور گسترده‌ای پذیرفته شده است (Tsvieli and Zangvil, 2005; Krichak et al., 2000; Haggag and Al-Badri, 2013; Krichak et al., 2015; De Vries et al., 2013; 2016; Almazroui and Awad, 2016).

پس از آن پژوهشگران نقش سایر پارامترهای جوی در شناسایی و اثر کم فشار سودان را بواسطه افزایش اطلاعات و داده‌های هواشناسی از شرایط وردسپهر فوقانی را بررسی کردند. ماشات و آواد (۲۰۱۵) در تحقیقی برروی شبه جزیره عربستان متوجه اهمیت یک وجه از ماهیت غیرفعال بودن کم فشار سودان در گسترش گرد و غبار بر روی این شبه جزیره شدند. نتایج آنان نشان می‌دهد که تراف دریای سرخ با یک ماهیت هوای گرم و خشک که ناشی از جریانات شرق و جنوب شرق سو در تروپوسفر پائینی است؛ مسبب وقوع گرد و غبار در جو شبه جزیره عربستان است. این در حالی است که بر طبق تحقیقات سارونی (۱۹۹۸) اگر همین تراف با یک تراف تروپوسفری سطح بالا همراه بشود، آنگاه بسمت شمال کشیده شده و بروی شرق دریای مدیترانه با دریافت رطوبت فعال شده و بارندگی‌های سیلابی را ایجاد می‌کند که این نتیجه با نتایج کراچاک و همکاران ۲۰۰۰ و ۲۰۱۲؛ دی وریس و همکاران ۲۰۱۳، ۲۰۱۶؛ هاگاگ و البدری ۲۰۱۳؛ یایر و همکاران ۲۰۱۵ هم خوانی دارد. آواد و المزروعی (۲۰۱۶) با استفاده از میانگین فشار سطح دریا برای دوره آماری ۱۹۵۵–۲۰۱۵ در فصل زمستان به شناسایی و کشف ماهیت کم فشار سودان و تراف دریای سرخ پرداختند. بر طبق نتایج این تحقیق حدود ۹۶ درصد تراف‌های زمستانه نزدیک به دو منبع اصلی جنوب و جنوب شرق سودان شکل گرفته است. آواد و ماشات (۲۰۱۹) طی تحقیقی با استفاده از

میانگین فشار سطح دریا در دوره آماری ۱۹۵۵-۲۰۱۵ اقلیم شناسی فصل پائیز تراف دریای سرخ و کم فشار سودان را انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در فصل پائیز، ۹۷ درصد تراف دریای سرخ در جنوب سودان و بر روی دریای سرخ توسعه می‌یابد. تقویت کم فشار سودان با تراف دریای سرخ در جو بالا، هم زمان با کم عمق شدن کم فشار بر روی شبه جزیره عربستان و نیز ضعیف شدن سیستم های آنتی سیکلونی بر روی دریای سرخ است.

بررسی اسناد و مدارک علمی موجود نشان می دهد اولین تحقیقی که کم فشارهای منطقه دریای سرخ در رابطه با ایران را مورد توجه قرار داده مقاله‌ای است که "الفت" در سال ۱۳۴۷ به چاپ رسانده است. الفت به کم فشار هایی اشاره می کند که در شمال شرق آفریقا و دریای سرخ تشکیل شده و پس از عبور از عربستان و خلیج فارس سبب ایجاد بارش در ایران شده اند. پس از الفت در سال ۱۳۴۹، قائمی برای نخستین بار نقش منابع رطوبتی غرب اقیانوس هند و سامانه سودانی با جت همراه آن بر روی بارش نواحی جنوبی ایران را مطالعه کرد. فرجی در سال ۱۳۶۰ در مطالعه ای که بر روی مسیر سیستم های کم فشار باران زا بر روی ایران طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۴ انجام داده، اعتقاد داشته است که ۲۳ درصد از این سیستم های ورودی به ایران از روی دریای سرخ عبور کرده اند. جامع ترین تحقیقی که بطور خاص کم فشار های سودانی را مورد بررسی قرار داده است کاری بود که لشکری در سال ۱۳۷۵ به انجام رساند. لشکری ضمن مطالعه سیل‌هایی که در منطقه جنوبغرب ایران به وقوع پیوستند، مهم ترین عامل ایجاد چنین بارش های سیل آسایی را کم فشار های سودانی معرفی کرد و نحوه تشکیل، تکوین و چگونگی گسترش این سامانه‌های کم فشار بر روی جنوبغرب ایران را تبیین نمود. بر طبق پژوهش لشکری، این سامانه وقتی که منطقه همگرایی حاره ای در نیمکره شمالی در محدوده طول‌های ۲۰ تا ۳۵ درجه شرقی به طرف عرض‌های بالا کشیدگی پیدا می کند، سلولی از آن جدا شده و به طرف عرض‌های بالا حرکت می‌کند در چنین شرایط همدیدی سلول کم فشار بر روی شمال اتیوپی و جنوب سودان تشکیل شده که به کم فشار سودانی معروف است. در شرایط همدید خاص، این کم فشار از حالت حرارتی خارج شده و خصوصیت ترمودینامیکی پیدا می‌کند. بعد از این مرحله و با توجه به الگوی همدید حاکم، این سامانه به طرف شمال یا شمال شرقی حرکت کرده و از مسیرهای مختلفی وارد ایران شده و بارش فراگیر بر روی ایران ایجاد می کند. از آن پس در مطالعات متعددی بطور خاص نقش کم فشارهای سودانی در ایجاد بارش در مناطق مختلف ایران بخصوص جنوب و جنوبغرب و نیز بررسی همدیدی-دینامیکی این سامانه مورد مطالعه قرار گرفت (مفیدی، ۱۳۸۳؛ لشکری، ۱۳۸۱؛ ۱۳۸۲؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴؛۱۳۸۵؛ ۱۳۸۵ الف، ۱۳۸۵ ب؛ مرادی و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۱؛ موقری و خسروی، ۱۳۹۳؛ پرک و همکاران، ۱۳۹۴؛ قائمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ اکبری، ۱۳۹۵؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۷). این مطالعات اقلیمی در ایران منجر به کشف سامانه‌های کم فشار سودان به عنوان یکی از مولفه‌های سینوپتیکی برخاسته از الگوی گردش مقیاس منطقه‌ای در اقلیم دوره سرد گردیده است. از آنجائیکه ناپایداری جوی و رخداد بارش در منطقه خاورمیانه خصوصاً جنوب و جنوبغرب ایران، عموماً متاثر از سامانه‌های سودانی می‌باشد (Dunkerton and Delisi Benkovic, 1992; 1986; Angell, 1992; Davis and Dayan et al., 2001; Harvey and Hitchman, 1996; Alpert et al., 2004; Ziv et al., 2004) لذا بررسی نوسانات و تغییرات دراز مدت در فعالیت دوره‌ای این کم فشار نشان از وردش‌های موجود در عوامل اصلی بوجود آورنده آن‌ها دارد. با اشاره به این مطلب و تأثیرات این کم فشار بر اقلیم منطقه جنوب و جنوبغرب ایران، هدف از این مطالعه بررسی نوسانات دینامیکی سامانه کم فشارسودان در عملکرد بارشی در ماه می طی روند تاریخی ۶۰ ساله می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با روش بنیادی محیط به گردش به تحلیل سینوپتیکی براساس متغیرهای محیطی (Yarnal, 1993) می‌پردازد. محققان لشکری (۱۳۷۵، ۱۳۸۱-۸۲)؛ لشکری و خلیلیان (۱۳۹۱) و لشکری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش‌های خود محدوده ورود سامانه کم فشار سودان به ایران را مناطق جنوب و جنوبغرب ایران دانسته‌اند. با توجه به این مهم، در مرحله اول داده‌های روزانه بارش ۴۲ ایستگاه

همدید در محدوده ذکر شده از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. دوره زمانی این پژوهش ماه می سال های ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۷ است. اما دلیل انتخاب ماه می آنست که بر اساس پژوهش‌های پیشین نویسندگان، طی سال‌های آماری در دوره سرد (ماه اکتبر تا ماه می) در جنوبغرب ایران، ماه می از کمترین فراوانی بارش ناشی از سامانه سودان برخوردار بود (محمدی و لشکری، ۱۳۹۸). لذا ماه می نماد عملکرد ضعیف سامانه سودانی در عرصه جنوب و جنوبغرب ایران در نظر گرفته شد. محدوده و ایستگاه‌های همدید اولیه در شکل شماره ۱ آورده شده است. می‌دانیم که خورشید به‌عنوان منبع بنیادی انرژی در سامانه اقلیمی زمین (Markson and Muir, 1980; Reid, 2000; Schlegel et al., 2001; Solanki, 2002; Tsiropoula, 2003) و ایجاد کننده تفاوت اقلیمی آن است (Haigh, 1996). این تفاوت‌ها در وردش‌های زمانی (کوتاه و بلند مدت) تاثیر بسزا و قابل توجهی بر گردش عمومی جو و فعالیت سامانه‌های جوی دارد (Benestad, 2006; Hoyt, 1979). بنابراین در این تحقیق دوره مطالعاتی با وردش‌های بلند مدت (۹,۵ تا ۱۱ سال) منطبق بر سیکل‌های خورشیدی شکل گرفته است. دهه‌های مطالعاتی در جدول شماره ۱ ارائه شده است. با بکارگیری داده‌های روزانه بارش ۴۲ ایستگاه همدید، روزهای دارای بارندگی در ماه می استخراج شدند. سپس برای روزهای بدست آمده از مرکز پیش بینی جوی-اقیانوسی ایالات متحده آمریکا داده‌های فشار سطح دریا و ارتفاع فشاری در تراز ۱۰۰۰ هکتو پاسکال با قدرت تفکیک مکانی ۲,۵*۲,۵ درجه دریافت شد. دلیل بکارگیری دو سنجه یاد شده آن بود که چارچوب پوشش مکانی کنش سامانه های موثر در تراز دریا با دقت بیشتری شناخته شوند. در نرم افزار اقلیمی گردس[1] چارچوب مکانی ۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۱۰- تا ۵۵ درجه عرض شمالی برای دو پارامتر اقلیمی یاد شده تهیه شد. بمنظور این هدف و بر پایه تحلیل چشمی از مکان شکل گیری هسته‌های کم فشار، پرفشار، هسته‌های پرارتفاع، کم ارتفاع و پربندهای ارتفاع ۱۰۰۰ ژئوپتانسیل تراز (El-Fandy, 1950a، لشکری ۱۳۷۵ و ۱۳۸۲)، موقعیت جغرافیایی تقریبی مراکز فعالیت، شکل گیری و جابجایی سامانه سودانی شناسایی شد. بنابراین روزهای دارای بارش سودان در ماه می از سایر سیستم‌های جوی جدا شدند. فراوانی روزهای دارای بارش سودانی ماه می طی روند تاریخی ۶۰ سال ۴۱ روز در جنوبغرب ایران و ۲۸ روز در جنوب ایران است. روزهای بارانی ناشی از سامانه سودانی یا بر روی دو محدوده جنوب و جنوبغرب ایران مشترک (سراسری) بودند یا حداقل در یک سوم ایستگاه‌های یکی از عرصه‌ها ثبت شده بودند. برای این روزها داده‌های آنومالی ترکیبی روزانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه، بادمداری و باد نصف النهاری در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال با تفکیک مکانی ۲,۵ در ۲,۵ درجه از مرکز پیش بینی اقلیمی آمریکا دریافت شد. تغییرات پارامترهای یاد شده طی شش دهه در دو حالت ایستگاهی (در ۱۴ ایستگاه نماینده که از بالاترین داده های آماری و نیز پراکنش مناسب در حوزه مورد مطالعه برخوردار بودند)؛ و دهه‌ای محاسبه شد. سپس نقشه‌های آنومالی برای شش دهه در چارچوب ذکر شده قبلی تهیه و تفسیر شد. نقشه‌های متوسط نرخ بارش بمنظور مقایسه یافته‌ها در هر دهه با یکدیگر برای دو عرصه موردمطالعه تهیه شدند. شایان ذکر است که نقشه و نمودارها در همه ترازهای مورد بحث در شش دهه، ترسیم و بررسی شد. اما به جهت رعایت ایجاز تنها برخی از نقشه‌ها بعنوان نماینده در این نوشته ارائه شده اند و از ارائه سایر نقشه‌ها خودداری شده است.

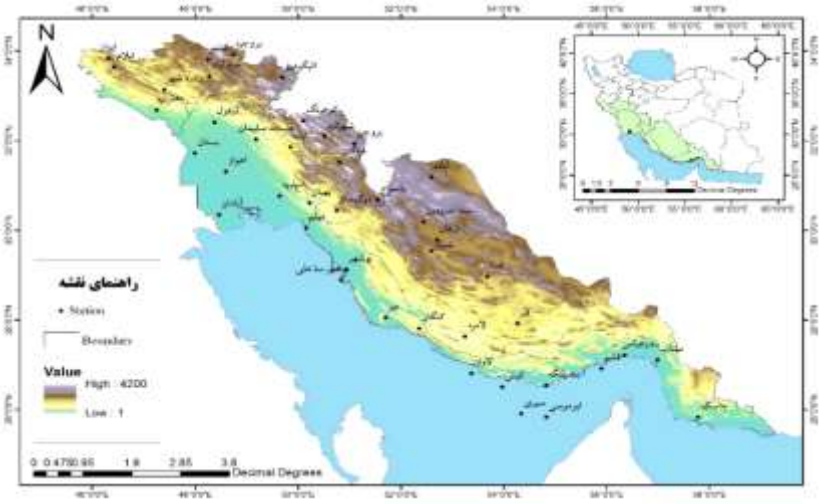
۳- نتایج و بحث

۱-۳- تحلیل تغییرات فشار سطح دریا کم فشار سودان

با توجه به اینکه الگوهای فشار سطح دریا از مهم‌ترین پدیده‌های همدید هستند و جابه‌جایی آن‌ها نقش انکار ناپذیری در شرایط اقلیم کشور دارد، بررسی ویژگی‌های جغرافیایی این سیستم و تغییرات زمانی و مکانی آن در این پژوهش دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است. همان طور که در شکل شماره ۲ مشاهده می شود تغییرات فشار سطح دریا ماه می در بازه زمانی ۶۰ ساله در ۱۴ ایستگاه نمونه نشان داده شده است. آنچه که بطور مشترک در تمام ایستگاه های نمونه محدوده جنوبغرب و جنوب ایران مشهود است؛ فاصله کم تر مقادیر میانگین با مقادیر حداکثر فشار تراز دریا است. در این

1. Grad's

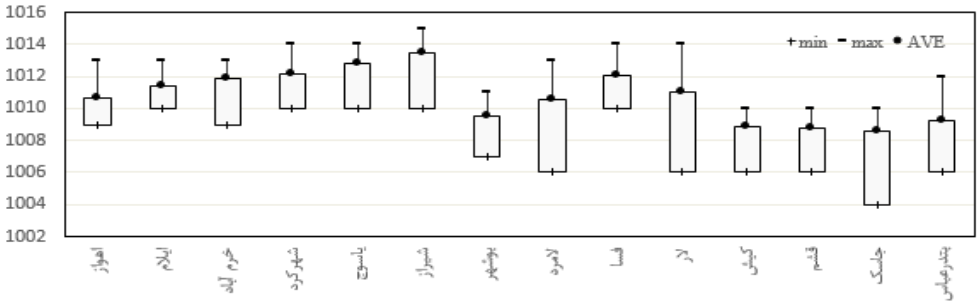
ماه میانگین فشار تراز دریا سامانه سودانی، مقادیری از ۱۰۰۹ تا ۱۰۱۳ هکتوپاسکال را بر روی عرصه مورد مطالعه نشان می دهد. ایستگاه اهواز که مدخل ورود سامانه های کم فشار سودان می باشد (لشکری، ۱۳۷۵) از قاعده بالا مستثنی است. چراکه با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که مقادیر میانگین فشار تراز دریا فاصله کمتری را با مقادیر حداقلی دارد. ایستگاه‌های همجوار با کرانه‌های شمالی خلیج فارس در ثبت رخداد فشار تراز دریا به دلیل ارتفاع کمتر و نزدیکی به دریا در تمام مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین آماری در سطح پایین تری از سایر ایستگاه‌ها قرار گرفته‌اند (۱۰۰۴ تا ۱۰۰۹ هکتوپاسکال). تحلیل این نمودار نشان می‌دهد که ایستگاه‌های شیراز، لار، لامرد و جاسک در این ماه در پذیرش سامانه‌های سودانی دارای بی نظمی بیشتر فشار تراز دریا به نسبت سایر ایستگاه‌ها هستند. بطوریکه فاصله مقادیر میانگین فشار تراز دریا این سامانه طی روند طولانی مدت با مقادیر حداقلی آن در این ایستگاه‌ها بسیار زیاد است.



شکل ۱. موقیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های همدید اولیه

جدول ۱- طبقه بندی دوره‌های مطالعاتی براساس چرخه‌های خورشیدی

دهه ها	سیکل خورشیدی	دوره مطالعاتی بر اساس سیکل خورشیدی
۱	۱۹	Apr1954-Oct1964
۲	۲۰	Oct1964-Mar1976
۳	۲۱	March1976-Sep1986
۴	۲۲	Sep1986-Agu1996
۵	۲۳	Aug1996-Dec2008
۶	۲۴	Dec2008-Dec2017



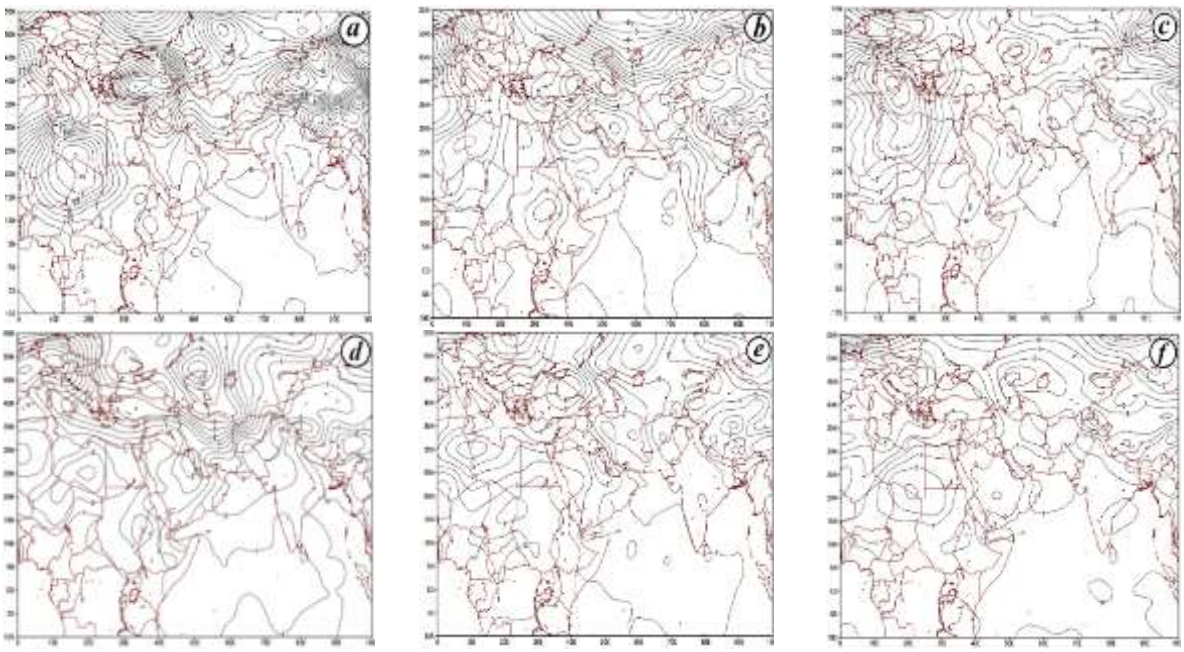
شکل ۲- تغییرات فشار سطح دریا ایستگاه‌های نمونه در روزهای دارای بارش سودانی ماه می طی شش دهه.

۲-۳- ناهنجاری فشار سطح دریا کم فشار سودان

ناهنجاری نشان‌دهنده میزان تغییرات از میانگین درازمدت است که می‌تواند مقادیر مثبت یا منفی داشته باشد؛ مقادیر مثبت فشار نشان‌دهنده ضعیف‌تر شدن کم فشار سودان نسبت به متوسط درازمدت (مقدار متوسط فشار سطح دریا در دهه مدنظر نسبت به متوسط کل بیشتر است) می‌باشد و مقادیر منفی فشار نشان‌دهنده تقویت کم فشار سودان (مقدار متوسط فشار سطح دریا دهه‌ای به نسبت میانگین کل کمتر شده است) طی بازه مدنظر نسبت به کل سری زمانی داده‌ها است.

شکل شماره ۳ ناهنجاری فشار تراز دریا سامانه کم فشار سودان در ماه می برای هر دهه به نسبت متوسط دراز مدت ۶۰ ساله در محدوده جغرافیایی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان طور که در نقشه ملاحظه می کنید طی دهه اول در منطقه مورد مطالعه آنومالی فشار تراز دریا در جنوب ایران ۱- هکتوپاسکال و در جنوب غرب ایران آنومالی ۱- تا ۳- هکتوپاسکال نشان می‌دهد. بنابراین فشار تراز دریا سامانه سودانی در دهه اول نسبت به متوسط طولانی مدت آن بر روی جنوب غرب ایران کم تر از جنوب آن بوده است (شکل ۳-a). در دهه دوم آنومالی فشار تراز دریا در سرتاسر محدوده مورد مطالعه از ۱- تا ۲- هکتوپاسکال می باشد؛ در واقع دهه دوم به نسبت دهه اول فشار تراز دریا بیشتر شده ولی نسبت به متوسط طولانی مدت آن کمتر شده است (شکل ۳-b). در دهه سوم در مناطق جنوبغرب و سواحل شمالی خلیج فارس تغییرات فشار نسبت به دهه های گذشته ثابت بوده است. درحالی که در بخش کوچکی از جنوب ایران (ایستگاه های جاسک و بندرعباس) آنومالی فشار تراز دریا ۱+ هکتوپاسکال افزایش را نشان می دهد (شکل ۳-c). در دهه چهارم مقادیر آنومالی فشار تراز دریا برای جنوبغرب ایران منفی می‌باشد که نسبت به دهه سوم کاهش فشار تراز دریا اتفاق افتاده است. آنومالی فشار تراز دریا در جنوب ایران مثبت می‌باشد که نسبت به متوسط طولانی مدت آن نشان از افزایش فشار و ضعیف شدن سامانه سودانی دارد (شکل ۳-d).

در دهه پنجم در سرتاسر محدوده مورد مطالعه آنومالی فشار تراز دریا مقادیر منفی از ۱ تا ۳ هکتوپاسکال را نشان می دهد. (شکل۳-e). در دهه ششم مقادیر آنومالی فشار تراز دریا برای عرصه جنوبغرب ایران بدون تغییر و در جنوب ایران همانند دهه چهارم با افزایش ۱+ هکتوپاسکالی روبه رو شده است. بنابراین سامانه کم فشار سودانی در دهه ششم به نسبت میانگین بلند مدت آن در پنج دهه گذشته در جنوبغرب ایران تقویت و در جنوب ایران فعالیت آن اندکی تضعیف شده است(شکل ۳-f).



شکل ۳: آنومالی روزانه فشار سطح دریا سامانه کم فشار سودانی طی ماه می در شش دهه اقلیمی: (a) دهه اول، (b) دهه دوم ، (c) دهه سوم، (d) دهه چهارم، (e) دهه پنجم ، (f) دهه ششم.

۳-۳- تحلیل تغییرات ناهنجاری ارتفاع کم فشار سودان

بمنظور شناسایی تغییر در وضعیت ارتفاع استقرار سامانه‌های سودانی در ماه می، نقشه‌های ناهنجاری ارتفاع در شش دهه و در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال رسم شد. نتایج بررسی تغییرات ناهنجاری ارتفاع نشان داد که افزایش و کاهش ارتفاع سامانه سودانی در عرصه مورد مطالعه در ترازهای مذکور نتایج مشابه را دارد. همان گونه که در روش کار نیز بیان شده است؛ بمنظور ایجاز و محدودیت در ارائه نقشه‌ها؛ تنها نقشه تراز ۷۰۰ هکتو پاسکال بعنوان نماینده ارائه شده است. در تحلیل نقشه‌های ناهنجاری ارتفاع، مقادیر مثبت نشان می‌دهد سامانه سودان نسبت به متوسط ارتفاع درازمدت در منطقه مورد مطالعه افزایش ارتفاع داشته است و مقادیر منفی نشان می‌دهد که سامانه سودان نسبت به متوسط ارتفاع در درازمدت بر روی منطقه مورد مطالعه دارای کاهش ارتفاع شده است.

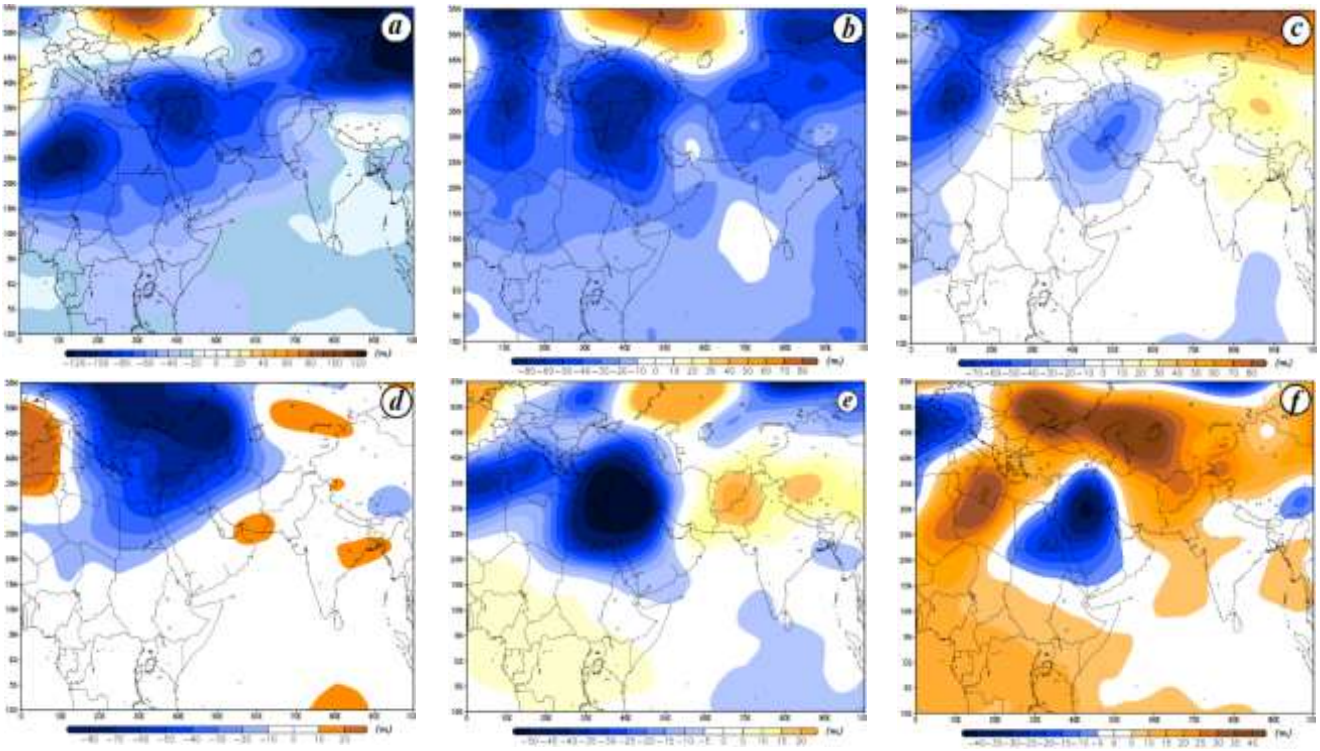
همان گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود روند تغییرات ارتفاع سامانه سودانی طی شش دهه در ماه می برای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال آورده شده است. در دهه اول مقدار آنومالی متوسط ارتفاع نسبت به متوسط دراز مدت آن در سرتاسر عرصه مطالعه شده کمتر شده است. مقادیر آنومالی منفی از ۶۰- تا ۷۰- متر کاهش را نشان می‌دهد (شکل ۴-a). آنومالی سامانه سودانی در دهه دوم در جنوب و جنوبغرب ایران منفی بوده و مقادیر این تغییر از ۲۰- تا ۵۰- متر کاهش می‌باشد. در بخش کوچکی از جنوب ایران (ایستگاه بندرعباس، میناب، جاسک، قشم و کیش) آنومالی تقریبا بدون تغییر ثبت شده است (شکل ۴-b). در دهه سوم آنومالی ارتفاع سامانه سودان در تمام عرصه مطالعاتی به نسبت دهه‌های گذشته تغییرات را منفی نشان می‌دهد. کاهش ارتفاع در دهه سوم به نسبت دو دهه قبل کمتر رخ داده است (۲۰- تا ۴۰- متر) (شکل ۴-c). در دهه چهارم سازوکار سامانه سودانی در عرصه مطالعاتی متفاوت از دهه‌های گذشته بود. چرا که این دهه شروع تضعیف سامانه سودانی در جنوب ایران است. در عمده بخش های جنوبی سامانه سودانی به نسبت دهه قبل کاهش ارتفاع نداشت و حتی در ناحیه استان هرمزگان و بخش کوچکی از جنوب فارس تا ۱۰+ متر ارتفاع آن به نسبت دهه‌های قبل افزایش را نشان می‌دهد. طی این دهه در بخش کوچکی از جنوبغرب ایران ارتفاع سامانه سودانی ۲۰- تا ۳۰- متر نسبت به متوسط دراز مدت آن کاهش یافته است (شکل۴-d).

در دهه پنجم سامانه سودانی در جنوب ایران به نسبت دهه‌های گذشته افزایش ارتفاع (۱۰+ تا ۱۵+ متر) دارد. بررسی آنومالی ارتفاع در بخش هایی از جنوب ایران نشان می‌دهد که نسبت به دهه قبل تغییر چندانی نداشته است. اما در جنوب غرب ایران همچنان آنومالی منفی (۱۰- تا ۳۰-) است (شکل۴-e). عملکرد سامانه سودان در دهه ششم همانند دهه پنجم است (شکل ۴-f).

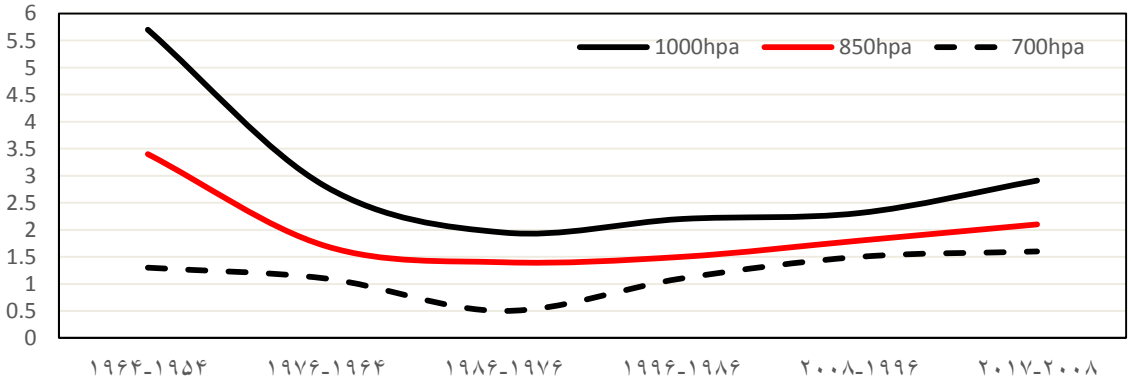
۴-۳- تحلیل تغییرات نم ویژه کم فشار سودان

تغییرات میانگین ناهنجاری رطوبت ویژه سامانه کم فشار سودان طی دهه‌های اقلیمی در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در دو ناحیه جنوبغرب (طول ۸ تا۵۲ و عرض ۲۸ تا ۳۵ درجه جغرافیایی) و جنوب ایران (طول ۵۲ تا ۵۸ و عرض ۲۵ تا ۲۸ درجه جغرافیایی) فراهم شد. محور افقی دهه‌های اقلیمی و محور عمودی، مقادیر آنومالی نم ویژه برحسب گرم بر کیلوگرم را نشان می‌دهد. (شکل ۵و ۶).

بررسی نمودارهای میانگین آنومالی نم ویژه در جنوبغرب ایران نشان می دهد که طی گذر از دهه اول به دهه دوم در هر سه تراز ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال مقادیر تغییر نم ویژه کم تر از دهه اول شده است اما در هر دو دهه به نسبت متوسط دراز مدت نم ویژه در این عرصه افزایش داشته است. تغییرات آنومالی نم ویژه از دهه دوم تا دهه ششم، در هر سه تراز ، نیز همانند دهه اول مثبت بود و بدین معنا که در جنوبغرب ایران مقادیر رطوبت ویژه طی یک روند تاریخی طولانی مدت در ماه می نسبت به متوسط دراز مدت آن (در هنگام وقوع بارش های سودانی) بیشتر شده است. در گذر از دهه دوم به انتهای دوره (دهه ششم) در دو تراز ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال (خطوط قرمز و مشکی ممتد) مقادیر ناهنجاری رطوبت ویژه نوسان کمی داشت به گونه‌ای که تغییرات آنومالی مثبت، از دهه دوم (۲,۵ گرم بر کیلوگرم) تا دهه ششم (۳ گرم برکیلو گرم) با جزئی افزایش تقریباً ثابت بود.



شکل۴- آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای دارای بارش سودانی طی ماه می در شش دهه اقلیمی. (a) دهه اول، (b) دهه دوم ، (c) دهه سوم، (d) دهه چهارم، (e) دهه پنجم ، (f) دهه ششم.

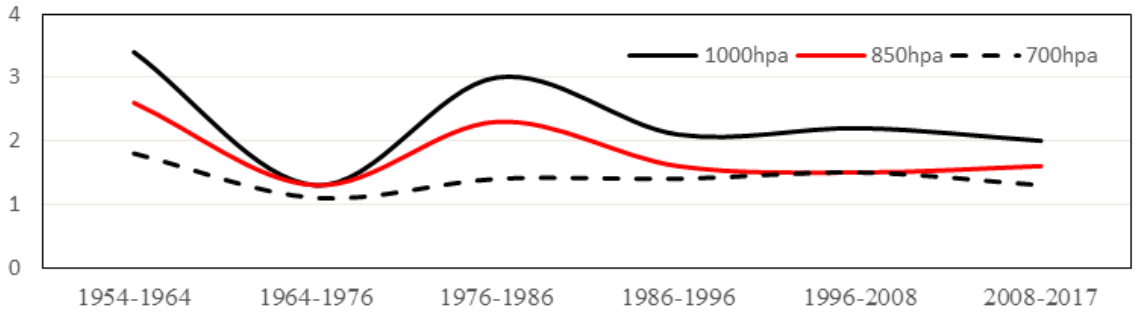


شکل ۵- میانگین آنومالی نم ویژه تراز های ۱۰۰۰ ، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای دارای بارش سودانی طی ماه می در۶ دهه در جنوبغرب ایران.

اما در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (خط مشکی منقطع) در گذر از دهه دوم به سوم مقادیر آنومالی رطوبت ویژه با اینکه هنوز مثبت می‌باشد اما حدود ۰٫۵ گرم بر کیلوگرم به نسبت متوسط دراز مدت منطقه کمتر شده است. پس از گذر از دهه سوم، تا دهه ششم همانند ترازهای زیرین مقادیر نم ویژه افزایش داشت. ناهنجاری نم ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال طی گذر از دهه اول به دهه ششم از ۱ تا ۱٫۵ گرم بر کیلوگرم افزایش رطوبت را درعرصه جنوبغرب ایران نشان می‌دهد (شکل ۵).

بررسی اجمالی نمودارهای میانگین آنومالی نم ویژه عرصه جنوب ایران طی سه تراز ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که در این عرصه ناهنجاری مثبت است؛ بدان معنا که ذخیره رطوبتی نسبت به میانگین دراز مدت افزایش داشته است. اما مقادیر آن در مقایسه با عرصه جنوبغرب ایران کم و از طرفی پراکنش آن طی دهه‌های اول تا سوم نوسان و بی نظمی دارد. بر اساس این نمودارها، در گذر از دهه اول به دهه دوم مقدار آنومالی نم ویژه در دو تراز ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال به ترتیب از ۳٫۴ و ۲٫۶ گرم بر

کیلوگرم افزایش به یک مقدار یکسان ۱,۴ گرم بر کیلوم گرم کاهش رسیده است. درواقع می‌بایست گفت علاوه بر آنکه در دهه دوم همانند دهه اول مقادیر نم ویژه نسبت به میانگین دراز مدت افزایش داشته است، اما نسبت به دهه اول این افزایش در مقدار کم تری رخ داده است. پس از آن ناهنجاری رطوبت در دهه سوم به نسبت دهه دوم دو برابر می‌شود (حدود ۳ گرم بر کیلوگرم). و در هر سه تراز نم ویژه به نسبت متوسط دراز مدت با مقادیر متفاوتی افزایش می‌یابد. روند تغییرات ناهنجاری رطوبت از دهه سوم به دهه چهارم با شیب ملایمی در حال کاهش است و تا انتهای دوره مطالعاتی مقدار ناهنجاری نم ویژه با آنکه نسبت به متوسط درازمدت عرصه جنوب ایران مثبت بود اما روند کاهشی را نسبت به دوره‌های قبل در پی داشت. این کمتر شدن ناهنجاری مثبت رطوبت در عرصه جنوب ایران طی سه دهه پایانی به گونه‌ای آشکار است؛ که مقادیر ناهنجاری در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برابری می‌کند. در واقع کم تر شدن رطوبت تراز ۸۵۰هکتوپاسکال و هم اندازه شدن مقدار رطوبت این تراز با تراز بالاتر آن ضعیف شدن بارش سودانی در عرصه جنوب ایران طی ماه می را می‌رساند (شکل ۶).



شکل ۶- میانگین آنومالی نم ویژه ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای دارای بارش سودانی طی ماه می در ۶ دهه در جنوب ایران.

شکل شماره ۷ نقشه ترکیبی تاوایی و آنومالی باد برداری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را طی شش دهه اقلیمی در ماه می نشان می‌دهد. در تحلیل این نقشه‌ها مقادیر مثبت نشان دهنده گردش چرخندی و مقادیر منفی نشان دهنده گردش واچرخندی می باشد. آنومالی نمایه باد بر روی عرصه مورد مطالعه در تمام دهه‌ها تا حداکثر سرعت آن ۱۰ متر بر ثانیه تغییر داشته است.

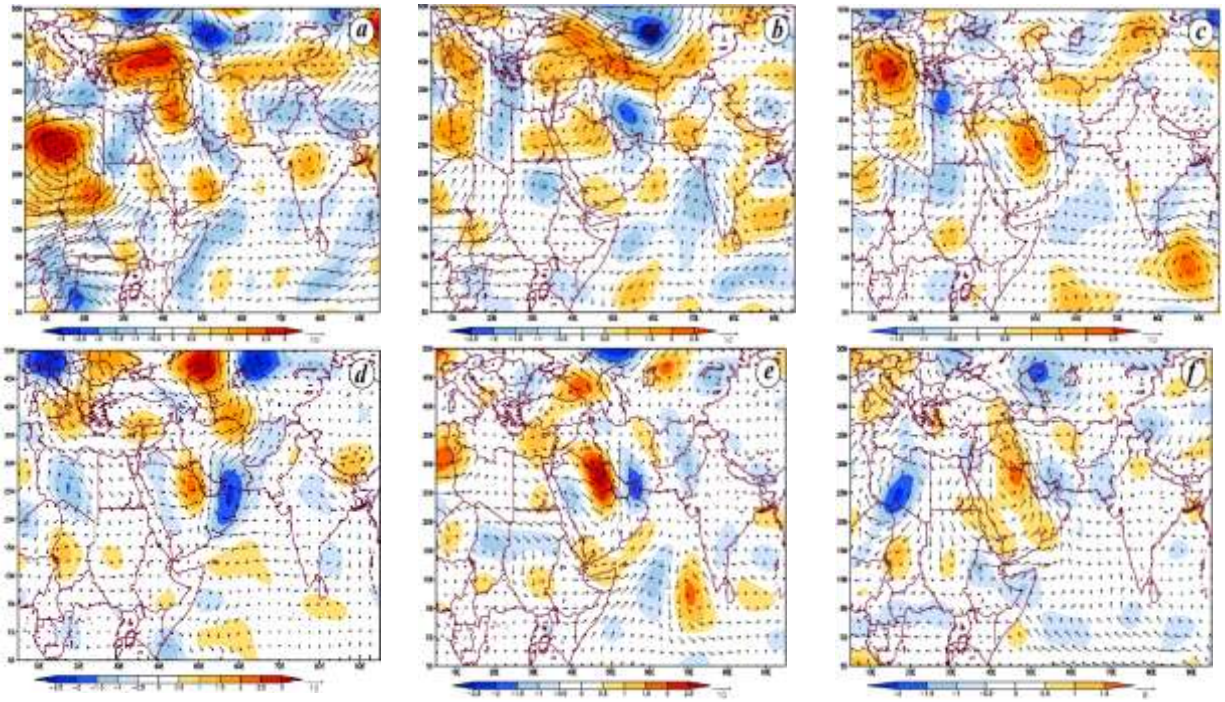
در دهه اول مرکز تاوایی مثبت با حداکثر مقدار (۳ واحد بر ثانیه) بر روی شمال شرق عربستان و جنوب عراق نشان از حرکت چرخندی با منشا دریای سرخ و سودان است که ضمن گسترش شمال سو، سراسر منطقه مدیترانه را در برگرفته است. در جنوبغرب ایران شیب فشاری مابین گردش چرخندی و واچرخندی وجود دارد. سرعت باد در این منطقه نیز قابل توجه بوده و از طرفی حالت آن کاملاً نصف النهاری شده است. بنابراین شرایط برای ناپایداری و رخداد بارش سودانی در جنوبغرب ایران فراهم است. البته گردش چرخندی به نسبت متوسط دراز مدت آن در جنوبغرب ایران تغییری نداشته است. در جنوب ایران گردش واچرخندی ضعیفی مشاهده می‌شود که نشان از پایداری هوا و تضعیف عملکرد سامانه کم فشار سودانی است (شکل ۷-a). نقشه های متوسط نرخ بارش طی دهه اول عرصه جنوب ایران نشان می دهد که در این عرصه بارشی رخ نداده است (شکل۸-a) و در جنوبغرب ایران میانگین بارش دهه اول ۲۷ میلی متر می باشد (شکل ۸).

طی دهه دوم الگوی واچرخندی در سرتاسر عرصه مورد مطالعه مستقر شده که مرکز آن با تاوایی ۲,۵- واحد برثانیه در جنوب ایران است. بنابراین هوای این منطقه تحت تسلط گردش واچرخندی و نزول هوا قرار می‌گیرد. نتیجه آن پایداری هوا و جلوگیری از ایجاد بارش در عرصه جنوبی ایران است. نقشه متوسط نرخ بارش دهه ای این ویژگی را تایید می کند. (شکل ۸-b). بارش در شمال شرق عربستان الگوی گردش چرخندی مستقر شده چندان قوی نمی باشد

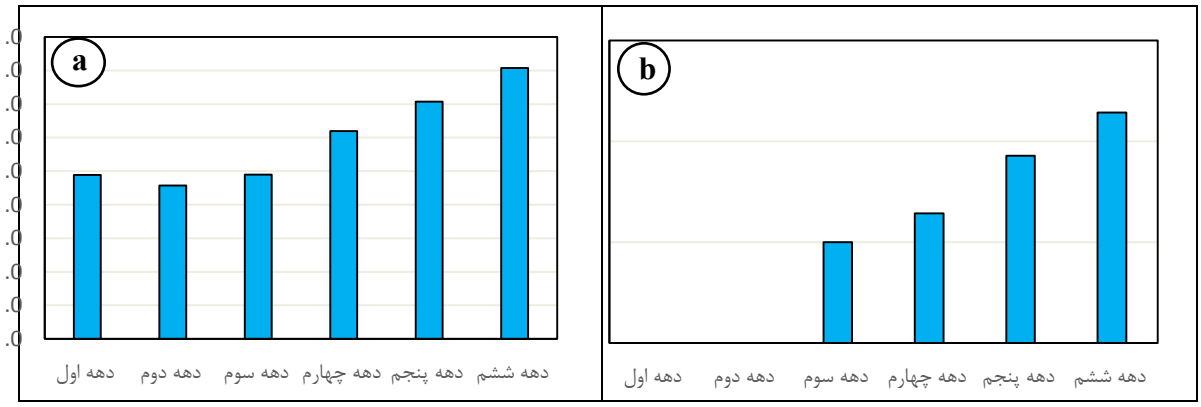
اما شیب فشاری ناشی از گرادیان فشار مابین گردش چرخندی و واچرخندی و نیز جهت نصفالنهاری باد می تواند ناحیه جنوبغرب ایران را ناپایدار کند. بنابراین عملکرد سامانه سودان در جنوب ایران نسبت به متوسط دراز مدت آن در جنوب ایران کم تر و در جنوب غرب ایران تقریباً بدون تغییر بوده است (شکل۷-b) .

طی دهه سوم تاوایی مثبت (۲,۵ واحد بر ثانیه) با مرکزیت در شمال شرق عربستان مشاهده می‌شود. جنوبغرب ایران نیز در تقابل الگوی چرخندی و واچرخندی دارای شیب فشاری ضعیفی است که شرایط ناپایداری را برای این منطقه بوجود می آورد. این حالت نشان از تقویت سامانه سودانی در عرصه جنوبغرب ایران نسبت به متوسط طولانی مدت در دهه‌های گذشته می‌باشد و اما در این دهه ناحیه جنوب ایران تحت استیلای حرکت واچرخندی می‌باشد. بنابراین شرایط جوی عرصه جنوب ایران پایداری است. این وضعیت همانند دهه‌های گذشته نشان از کاهش عملکرد سامانه سودانی نسبت به متوسط دراز مدت آن در ماه می است (شکل ۷-c). در این دهه متوسط بارش سودانی در جنوب ایران ۰,۵ میلی متر است (شکل۸-b).

بررسی نقشه های ترکیبی ماه می در شکل شماره ۷ نشان داد طی سه دهه پایانی نتایج مشابه بهم می‌باشد. طی دهه‌های اقلیمی چهارم تا ششم موقعیت شکل گیری هسته‌های چرخند و واچرخند و نیز گردش‌های آن‌ها در سرتاسر منطقه مورد مطالعه ثابت بوده است. بر اساس این الگو طی سه دهه پایانی مرکز تاوایی مثبت الگوی گردش چرخندی را در شمال شرق شبه جزیره عربستان نشان می‌دهد. در جنوب و جنوب شرق ایران تاوایی منفی مشاهده می‌شود که گردش واچرخندی را نشان می‌دهد. استقرار گردش واچرخندی بر عرصه جنوب ایران نشان از پایداری و نیز تضعیف عملکرد سامانه سودانی نسبت به متوسط طولانی مدت از دهه‌های گذشته می‌باشد. بنابراین حضور ثابت هسته مرکزی این گردش واچرخندی طی سه دهه در عرض ۲۵ درجه و طول های ۴۵-۵۵ درجه جغرافیایی که معروف به «پرفشار جنب حاره ای عربستان» می باشد (محمدی، ۱۳۹۶؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴، لشکری و همکاران، ۱۳۹۵، لشکری و محمدی ۱۳۹۷).



شکل ۷. نقشه ترکیبی تاوایی و آنومالی باد برداری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روزهای دارای بارش سودانی طی ماه می در شش دهه اقلیمی. (a) دهه اول، (b) دهه دوم ، (c) دهه سوم، (d) دهه چهارم، (e) دهه پنجم ، (f) دهه ششم.



شکل ۸-متوسط نرخ بارش ایستگاهی سامانه سودانی طی شش دهه اقلیمی در ماه می. جنوب غرب ایران (a) و جنوب ایران (b).

علاوه بر آنکه در ترازهای زیرین جو امکان انتقال رطوبت از نیمه غربی دریای عرب، عمان و خلیج فارس به مناطق جنوب و جنوبغرب ایران را فراهم خواهد کرد، شرایط خشکی و عدم بارش را در جنوب ایران طی ماه می فراهم کرده است. میانگین نرخ بارش جنوب ایران طی دهه چهارم تا دهه ششم از ۰٫۷تا ۱٫۵ میلی متر بود (شکل ۸-b). گرادیان فشار مابین دو گردش چرخندی و واچرخندی سبب ایجاد شرایط ناپایداری طی سه دهه پایانی در جنوبغرب ایران شده است (شکل ۷-d,e,f). طی این سه دهه پایانی از دهه چهارم تا دهه ششم میانگین بارش عرصه جنوبغرب ایران در حال افزایش می‌باشد (شکل ۸-a).

۴- نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد ساختار فشاری، رطوبتی و سایر پارامترهای دینامیکی سامانه‌هایی با منشا کم فشار سودانی در ماه می، در دو محدوده جنوب و جنوبغرب ایران انجام شد. دهه‌های اقلیمی طی ۶۰ سال (۱۹۵۷-۲۰۱۷) با معیار چرخه‌های خورشیدی تنظیم شدند. نتایج روشن ساخت که تغییر پارامترهای دینامیکی سامانه کم فشار سودان طی دهه‌های اقلیمی در جنوبغرب و جنوب ایران به ترتیب موجب تقویت و تضعیف آن شده است. به طور کلی حضور سامانه کم فشار سودانی در عرصه جنوب و جنوبغرب ایران طی ماه می با مقادیر فشار تراز دریا بالایی همراه بود (۱۰۰۹-۱۰۱۳ هکتوپاسکال). چرا که در تمام ایستگاه‌های نمونه بغیر از ایستگاه اهواز مقادیر میانگین فشار تراز دریا فاصله کمتری با مقادیر حداکثر فشار را دارند.

در جنوب ایران فشار تراز دریا طی دهه اول تا دهه دوم دارای کاهش جزئی (۱- هکتوپاسکال) و در دهه سوم ثابت بود. بهمین علت ارتفاع سامانه سودانی طی دهه اول و دوم از تراز زمین تا تراز میانی جو کاهش پیدا کرده بود. مقادیر رطوبت در تراز های ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نسبت به میانگین دراز مدت کم نشده (آنومالی مثبت)، بلکه اندازه تغییر افزایشی آن در دهه‌ها متفاوت بود. رطوبت ویژه طی دهه اول تا سوم، بی نظم و دارای نوسان افزایشی-کاهشی بود. در این سه دهه با وجود شرایط ناپایداری برای بارش سامانه سودانی، اما بارشی رخ نداد. بررسی نقشه های تاوایی و باد برداری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد که مرکز چرخند سودانی در فاصله دورتری تا جنوب ایران بسته شده بود (شمال شرق عربستان) و از طرفی موقعیت قرارگیری واچرخند عربستان و سرعت بالای باد به گونه‌ای بود که سبب می‌شد در ناحیه جنوب ایران رطوبت منطقه از دسترس خارج بشود و هوای پایدار داشته باشیم. طی دهه چهارم تا ششم با افزایش فشار تراز دریا در جنوب ایران (۱+ تا ۲+ هکتوپاسکال)، ارتفاع سامانه سودانی در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز افزایش داشت (۱۰+ تا ۱۵+ متر). از دهه سوم به بعد در هر سه تراز یاد شده هرچند مقادیر ناهنجاری رطوبت افزایشی بود اما نسبت به دهه‌های گذشته کاهش داشت. طی این سه دهه با وجود افزایش فشار و ارتفاع و نیز کاهش ذخیره رطوبتی سامانه سودانی، انتظار بارش نمی‌رفت. بطوریکه میانگین بارش طی دهه چهارم تا ششم از ۰٫۷ تا ۱٫۳ میلی متر بصورت بسیار جزیی اما با روند افزایشی بود. در بررسی نقشه های تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال علت وقوع بارش مشخص شد؛ که مرکز

چرخند سودانی به نسبت دهه های قبل جابجا شده و در سواحل جنوب خلیج فارس (در فاصله کمتری به جنوب ایران) بسته شده است. بنابراین کشیدگی غرب سوی پربندهای کم فشار سودان و همچنین کاهش سرعت باد در منطقه عامل رخداد اندک بارش ماه می، طی سه دهه اخیر در عرصه جنوب ایران است.

در جنوبغرب ایران فشار تراز دریا طی دهه اول به دهه ششم کاهش داشت (۱- تا ۳- هکتوپاسکال). در پی کاهش فشار تراز دریا، ارتفاع سامانه سودانی نیز نسبت به میانگین دراز مدت آن در تمام دهه ها کاهش داشت. ارتفاع سامانه سودانی در جنوبغرب ایران طی دهه اول و دوم حدود ۵۰- تا ۷۰- متر و در دهه های سوم تا ششم ۱۰- تا۴۰- متر کمتر شده بود. بررسی وضعیت رطوبت ویژه طی سه تراز یاد شده، نشان داد طی گذر از دهه اول به دوم مقداری از رطوبت کم شده بود اما از دهه دوم تا انتهای دهه ششم مقادیر رطوبت با شیب یکنواخت و تقریباً ثابت بود. موقعیت مکانی و شکل گیری واچرخند عربستان نقش موثری در انتقال رطوبت به سامانه کم فشار سودان و تقویت آن دارد (پرک و همکاران، ۱۳۹۴ ؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴ و لشکری و همکاران، ۱۳۹۷). شرایط ناپایداری، صعود هوا و نیز تقویت سازوکار سامانه سودانی طی دهه اول تا دهه ششم در عرصه جنوبغرب ایران فراهم است. نمودارهای متوسط بارش دهه‌ای در جنوبغرب ایران این مطلب را تایید کرده اند. همچنین بررسی میانگین نرخ بارش دهه‌ای ناشی از سامانه کم فشار سودانی در ماه می و در هر دو عرصه جنوب و جنوبغرب ایران نشان داد طی دهه‌های گذشته به آینده و در یک روند تاریخی طولانی مدت، روند مقادیر بارش افزایشی است.

منابع

1. Akbary, M., 2015, Combinatory Mediterranean-Sudanese systems role in the occurrence of heavy rainfalls (case study: south west of Iran). Meteorology and Atmospheric Physics. No.127 (6), pp. 675-683.
2. Almazroui, M., and A. Awad, 2016, Synoptic regimes associated with the eastern Mediterranean wet season cyclone tracks. Atmospheric Research. No.180, pp. 92-118.
3. Alpert, P., I., Osetinsky, B., Ziv, and H., Shafir, 2004, a new season definition based on classified daily synoptic system: An example for the Eastern Mediterranean. Int J of Climatol. No. 24(8), pp. 1013-1021.
4. Angell, J., 1992, Relation between 300-mb North Polar Vortex and Equatorial SST, QBO, and Sunspot Number and the Record Contraction of the Vortex in 1988–89. Journal of Climate. No. 5(1), pp. 22-29.
5. Ashbel, D., 1938, Great floods in Sinai Peninsula, Palestine, Syria and the Syrian Desert, and the influence of the red sea on their formation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. No. 64(277), pp. 635-639.
6. Awad, A., and A., Mashat, 2019, Climatology of the autumn Red Sea trough. Theoretical and Applied Climatology. No. 135(3-4), pp. 1545-1558.
7. Awad, A., and M., Almazroui, 2016, Climatology of the winter Red Sea Trough. Atmospheric Research. No.182, pp. 20-29.
8. Barreit, E. C., 1982, World survey of climatology: Vol. 9. The climates of southern and western Asia, Edited by K. Takahashi and Y. Arakawa. Journal of Climatology, Book Review.
9. Benestad, R., 2006, Solar Activity and Earth's Climate, Dordrecht: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg & Co. KG.
10. Davis, R.E., and S.R., Benkovic, 1992, Climatological variations in the northern hemisphere circumpolar vortex in January. Theoretical and Applied Climatology. No. 46(2-3), pp. 63-73.
11. Dayan, U., B., Ziv, A., Margalit, E., Morin, and D., Sharon, 2001, A severe autumn storm over the Middle-east: synoptic and Mesoscale Convection analysis. Theoretical and Applied Climatology. No. 69(1-2), pp. 103-122.
12. De Vries, A.J., E., Tyrlis, D., Edry, S.O., Krichak, B., Steil, and J., Lelieveld, 2013, Extreme precipitation events in the Middle East: dynamics of the Active Red Sea Trough. JGR Atmospheres. No. 118(13), pp. 7087–7108.
13. De Vries, A.J., S.B., Feldstein, M., Riemer, E., Tyrlis, M., Sprenger, M., Baumgart, M., Fnais, and J., Lelieveld, 2016, Dynamics of tropical–extratropical interactions and extreme precipitation events in Saudi Arabia in autumn, winter and spring. Q J R Meteorol Soc. No. 142(697), pp. 1862–1880.
14. Dunkerton, T.J., and D.P., Delisi, 1986, Evolution of potential vorticity in the winter stratosphere of January February 1979. JGR Atmospheres. No. 91(D1), pp. 1199-1208.

15. El-Fandy, M.G., 1948, the effect of the Sudan monsoon low on the development of thundery conditions in Egypt, Palestine and Syria. Q J R Meteorol Soc. No. 74(319), pp. 31–38.
16. El-Fandy, M. G., 1950a, Effects of Topography and other Factors on the Movement of Lows in the Middle East and Sudan. Bulletin of the American Meteorological Society. No. 31(10), pp. 375-381.
17. El-Fandy, M. G., 1950b, Troughs in the Upper Westerlies and cyclonic developments in the Nile Valley. Q J R Meteorol Soc. No. 76(328), pp. 166-172.
18. El-Fandy, M. G., 1952, Forecasting Thunder-Storms in the Red Sea. Bulletin of the American Meteorological Society. No. 33(8), pp. 332-338.
19. Faraji, E., 1981, Survey the path to low pressure rain systems On Iran and provide patterns of the situation and how they move. M. S. Thesis, Institute of Geophysics, University of Tehran, 210pp.
20. Flohn, H., 1965, Climatic Problems of the Southern Red Sea Area. Geography. No. 19(3), pp. 179–191.
21. Flohn, H., 1987, Climatic Change and Variability in Southern Africa by P. D. Tyson. Bulletin of the American Meteorological Society. No. 68(12), pp. 1574-1575.
22. Ghaemi, H., 1970, Heavy winds of the upper levels And the impact of Indian Ocean water resources on Iran rainfall. Nivar Journal. No. 1, pp. 77-82.
23. Ghaemi, H., H., Asakereh and S.H., Rezaei, 2017, Spectral Analysis of annual average of red sea low pressure during 1951-2010. Geographic Thought. No. 8(15), pp. 139-150.
24. Haggag, M., H., El-Badry, 2013, Mesoscale numerical study of quasi-stationary convective system over Jeddah in November 2009. Atmospheric and Climate Sciences. No. 3(1), pp. 73–86.
25. Haigh, J. D., 1996, the Impact of Solar Variability on Climate. Science. No. 272(5264), pp. 981-984.
26. Harvey, V. L. and M. H., Hitchman, 1996, climatology of the Aleutian High. Journal of the Atmospheric Sciences. 53(4): 2088-2101.
27. Hoyt, D. V., 1979, Variations in sunspot structure and climate. Climatic Change. No. 2(1), pp. 79-92.
28. Johnson, D. H., 1963, African Synoptic Meteorology. Meteorology and the Desert Locust. WMO Tech. Note 69. 48-90pp.
29. Krichak, S. O., J., Barkan, J. S., Breitgand, S., Gualdi and S.B., Feldstein, 2015, the role of the export of tropical moisture into midlatitudes for extreme precipitation events in the Mediterranean region, Theoretical and Applied Climatology, No. 121(3-4), pp. 499-515.
30. Krichak, S. O., J. S., Breitgand, S. B., Feldstein, 2012, a conceptual model for the identification of Active Red Sea Trough synoptic events over the southeastern Mediterranean. Journal of Applied Meteorology and Climatology. No. 51(5), pp. 962–971.
31. Krichak, S.O., M, Tsidulko, and P., Alpert, 2000, November 2, 1994, severe storms in the south-eastern Mediterranean. Atmospheric Research. No. 53(1-3), pp. 45-62.
32. Krichak, S. O., P, Alpert, and T. N., Krishnamurti, 1997a, Interaction of topography and tropospheric flow–A possible Generator for the Red Sea Trough? Meteorology and Atmospheric Physics. No. 63(3-4), pp. 149-158.
33. Krichak, S. O., P., Alpert, and T. N., Krishnamurti, 1997b, Red Sea Trough/cyclone development-Numerical Investigation, Meteorology and Atmospheric Physics. No. 63(3-4), pp. 159-169.
34. Lashkari, H., 1996, Synoptic Pattern of Severe Precipitation in South and Southwest of Iran, Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University.
35. Lashkari, H., 2002, Routing Sudan low pressure systems to Iran. Journal of Humanities. No. 6(2), pp. 133-157.
36. Lashkari, H., 2003, the mechanism of development, strengthening and development of Sudan low center and its role on the southern and southwest of Iran rainfall. Geographical Research Quarterly. No. 35(3), pp.1-18.
37. Lashkari, H., A.A., Matkan, M., Azadi, Z., Mohammadi, 2018, Synoptic patterns lead to premature precipitation in the South and South West of Iran during the period (1979-2015). Geography and planning, No. 22(64), pp. 247-266.
38. Lashkari, H., H., Ghaemi, and F., Parak, 2013, Analysis of the rainfall regime in the south and southwest of the Iran, Journal of Sepehr Geography Information. No, 22(85), pp. 57-63.
39. Lashkari, H., V., khalilian, 2013, Synoptic Analysis of Rainy Zone of Sudan-Mediterranean Merged System on Iran. Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). No. 21(84), pp. 21-34.

40. Lashkari, H., Z., Mohammadi, 2015, the Role of Saudi Arabian Sub-Tropical High Pressure on the Rainfall Systems on South and Southwest Iran. Physical Geography Research Quarterly. No. 1(47), pp. 73-90.
41. Lashkari, H., Z., Mohammadi, 2018, The Role of Topography in Intensifying Precipitation in the South and Southwest of Iran Case Study: December 3, 2015, Journal of Natural Geography, No. 40, pp. 33-17.
42. Markson, R., and M., Muir, 1980, Solar Wind Control of the Earth's Electric Field. Science, No. 208(4447), pp. 979-990.
43. Mashat, A.S., A.M., Awad, 2015, Synoptic characteristics of the primary widespread winter dust patterns over the northern Arabian Peninsula. Air Quality, Atmosphere & Health, No. 9(5), pp. 503-516.
44. Mofidi, A., (2004). Synoptic Climatology of Flooding Origins of the Red Sea Region in the Middle East, Geographical Research, No. 4, pp. 72-93.
45. Mofidi, A., and A., Zarrin, 2006, the synoptic study of low pressure systems of the Sudan in heavy rain falls in Iran. Geographical Research. No. 20 (2), pp.113-136.
46. Mofidi, A., And Zarrin, A., 2006a, An Analysis of the Nature and Structure of High Pressure and Low Pressure Centers (Part I), Development of Geological Education, No. 46, pp. 53-61.
47. Mofidi, A., And Zarrin, A., 2006b, An Analysis of the Nature and Structure of High Pressure and Low Pressure Centers (Part II), Development of Geological Education, No. 47, pp. 54-58.
48. Mohammadi, F., Lashkari, h., 2019, Investigation of precipitation variation of Sudan low pressure during the historical process in southwestern Iran. Natural Geography research. No. 51 (2), pp. 373-387.
49. Mohammadi, H., Akbari, M., Fatahi, A. And Shamsipour, A, 2012, Dynamic Analysis of Sudanese Systems and Heavy Rainfall Occurrence in Southwestern Iran, Geographical Sciences Applied Researchs, No. 24, pp. 7-23.
50. Mohammadi, Z, 2017, Synoptic Analysis of the Role of Arabia Sub-Tropical High-Pressure and Sub-Tropical Jet stream in Droughts and Wetlands, Beginning, End, and Length of Rainfall Period in South and South western of Iran, Ph.D. Thesis. Shahid Beheshti University.
51. Moradi, M., Meshkati, EH, Azadi, M., Bidokhti, AS, 2008, Importance of Equivalent Potential Vorticity in Determining the Trajectory of Sudan Lows, Nivar, No. 68, pp. 52-33.
52. Movaghari, A., M., Khosravi, 2014, Investigation of the Relationship between Sudan Low-pressure System and the Heavy Precipitation Occurred on April 30, 1994 in Kermanshah. Journal of Natural Environmental Hazards, No. 3(4), pp. 61-80.
53. Olfat, A. 1968, Iran's weather in the past year. Nivar Journal. No. 1, pp. 29-31.
54. Pedgley, D.E., 1966a, The Red Sea convergence zone, part A: The horizontal pattern of winds, Weather, No. 21(10), pp. 350-358.
55. Pedgley, D.E., 1966b, The Red sea convergence zone, part B: Vertical Structure, Weather, No. 21(11), pp. 394-406.
56. Pedgley, D.E., and P.M., Symmons, 1968, Weather and the locust surge. Weather, No. 23(12), pp. 484-492.
57. Reid, G.C., 2000, solar variability and the Earth's climate: Introduction and overview. Space Science Reviews, No. 94, pp. 1-11.
58. Saaroni, H., B., Ziv, A., Bitan, and P., Alpert, 1998, Easterly wind storms over Israel. Theoretical and Applied Climatology. No. 59(1-2), pp. 61–77.
59. Schlegel, K., G., Diendorfer, S., Thern, and M., Schmidt, 2001, Thunderstorms, lightning and solar activity—Middle Europe. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. No. 63(16), pp.1705-1713.
60. Solanki, S., 2002, Solar variability and climate change. Astronomy and Geophysics. No. 43(5), pp. 5.9-5.13.
61. Tsiropoula, G., 2003, Signatures of solar activity variability in meteorological parameters. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. No. 65(4), pp. 469-482.
62. Tsvieli, Y., A., Zangvil, 2005, Synoptic climatological analysis of wet and dry Red Sea Troughs over Israel. International Journal of Climatology. No. 25(15), pp. 1997–2015.
63. Tsvieli, Y., A., Zangvil, 2007, Synoptic climatological analysis of Red Sea Trough and non-Red Sea Trough rain situations over Israel. Advances in Geosciences. No. 12, pp. (137-143).
64. Yair, Y., C., Price, D., Katzenelson, N., Rosenthal, L., Rubanenko, Y., Ben-Ami, and E., Arnone, 2015, Sprite climatology in the Eastern Mediterranean Region. Atmospheric Research. No. 157, pp. 108-118.
65. Ziv, B., U., Dayan, D., Sharon, 2004, a mid-winter, tropical extreme flood–producing storm in southern Israel: Synoptic scale analysis. Meteorology and Atmospheric Physics. No. 88(1-2), pp. 53-63.