نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

صفحات ۱ – ۱۸

واکاوی تغییرات سهم سامانه هایی با منشاء کم فشار سودانی در بارندگی دوره سرد کرانه های شمالی خلیج فارس طی سال های ۱۹۷۶–۲۰۱۷

فهیمه محمدی؛ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه شهید بهشتی، گروه جغرافیای طبیعی.تهران.ایران.

حسن لشکری[۱]؛ دانشیار جغرافیا، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی، گروه جغرافیای طبیعی.تهران.ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۰۱/۲۳ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۴/۱۵

چکیده

تحقیق حاضر با هدف تحلیل تغییرات طولانی مدت بارش هایی با منشاء کم فشار سودان در دوره سرد سواحل شمالی خلیج فارس می باشد. به همین منظور آمار روزانه بارش در ۱۳ ایستگاه سینوپتیک برای چهار سیکل خورشیدی طی سال های ۱۹۷۶-۲۰۱۷ و برای سه ماه پر بارش دسامبر، ژانویه و فوریه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. براساس معیار بارش بالای ۵ میلی‌متر در هر ایستگاه، کلیه سامانه های بارشی بدست آمد. برای روزهای دارای بارش و روز قبل تر از آن، از مرکز پیش بینی جوی- اقیانوسی ایالات متحده آمریکا داده های فشار تراز دریا و ارتفاع ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دریافت شد. با روش تحلیل چشمی موقعیت جغرافیایی، شکل گیری و جابجایی سامانه های فشاری شناسایی و سامانه های سودانی از سایر سامانه های جوی جداسازی شدند. در نهایت بارش‌ها با منشاء سودانی به الگوهای یک الی هفت روز تقسیم‌بندی شدند. تحلیل های همدید و آماری طی چهار دهه اقلیمی صورت گرفت. نتایج نشان داد که ۷۷ درصد بارش دوره سرد سواحل شمالی خلیج فارس از سامانه سودانی مستقل تامین می شود. فراوانی روزهای دارای بارش سودانی در تمام ایستگاه ها طی دهه اول به دهه دوم افزایش دارد. در گذر از دهه دوم به سوم تعداد روزهای دارای بارش سودانی تغییر چشمگیری ندارد اما در دهه پایانی سهم بارش های ناشی از سامانه کم فشار سودانی به نسبت دهه های گذشته افزایش داشت. افزایش فعالیت باران زایی سامانه سودانی بمعنای تغییر اقلیم مثبت درجهت افزایش سهم سامانه سودانی در بارش های جنوب و جنوب غرب ایران می باشد.

واژه های کلیدی: چرخه خورشیدی- دوره سرد-خلیج فارس –کم فشار سودان.

[۱] . نویسنده مسئول Email:lashkari@sbu.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

مقدمه

در فصول سرد و گذار، سیستم کم فشار بدون جبهه ای در محدوده اتیوپی-سودان شکل می گیرد که با عبور از روی دریای سرخ بر آب و هوای مناطق مجاور خود تاثیر میگذارد. در نزدیک ترین فاصله دریای سرخ حدود ۱۵۰۰ کیلومتر با ایران فاصله دارد که این فاصله در مقیاس همدید چندان زیاد نیست. با توجه به جهت جریان های جوی بزرگ مقیاس، این فروبار می تواند بر آب و هوای ایران تاثیر بگذارد. در واقع این کم فشار جنب حاره ای زمانی که منطقه همگرایی حاره در نیمکره شمالی در محدوده طول های ۲۰ تا ۳۵ درجه شرقی به طرف عرض های بالا کشیدگی پیدا می کند، سلولی از آن جدا شده و طرف عرض های بالاتر حرکت می کند. در این شرایط سینوپتیکی سلول کم فشار بر روی شمال اتیوپی و جنوب سودان شکل می گیرد که به کم فشار سودانی معروف است (لشکری، ۱۳۸۱).

پژوهشگران زیادی به تاثیر این کم فشار های بدون جبهه بر روی آب و هوای مناطق مجاور آن پرداختند. شاید بتوان گفت نخستین فردی که در این زمینه پژوهشی انجام داد آشبل (Ashbel, ۱۹۳۸) بود. وی طوفان های تندری منطقه شرق مدیترانه را بررسی کرد و این پدیده را متأثّر از سامانه ای دانست که آن را کم فشار دریای سرخ نامید. در اوایل دهه ۱۹۵۰ الفندی هواشناس مصری، به مطالعه ویژگی های 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 فشار ها برگزید (El-Fandy, ۱۹٤۸, ۱۹۵۰b, ۱۹۵۲).

مرکز نوسانات کم فشار سودانی هرساله از اتیوپی تا سودان در دوره سرد سال متغیر است (El-Fandy, ۱۹۵۰a). جابجایی غرب سوی این سامانه از ماه سپتامبر تا ماه ژانویه و تغییر شرق سوی آن از ماه فوریه تا ماه می است. (Awad and Almazroui, ۲۰۱٦; Awad and Mashat, ۲۰۱۹). بنظر می رسد این دوره فاز اول مطالعات بر روی کم فشار دریای سرخ بوده است. طی سال های نخست دهه ۱۹۶۰ به دنبال یافته های 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, ۱۹٦۳; Pedgley and Simon, ۱۹٦۸). ادامه این مطالعات موجب کشف منطقه همگرایی دریای سرخ گردید (Flohn, ۱۹٦۵, ۱۹۸۷; Pedgley, ۱۹٦٦b, ۱۹٦٦a).

سال ها بعد، برخی پژوهشگران در مدیترانه شرقی برای کم فشارهای بدون جبهه ای که از منطقه دریای سرخ و سودان به سمت شرق مدیترانه گسترش پیدا کرده اند و موجب بارش های سیل آسا می شوند نام جدیدی تحت عنوان "زبانه کم فشار دریای سرخ" برگزیده اند (Krichak et al., ۱۹۹۷a, ۱۹۹۷b). اهمیت اثر کم فشار سودان در آب و هوای مدیترانه به طور گسترده پذیرفته شده است است (Tsvieli and Zangvil, ۲۰۰۵; Krichak et al., ۲۰۰۰; Haggag and Al-Badri, ۲۰۱۳; Krichak et al., ۲۰۱۵; De Vries et al., ۲۰۱۳; ۲۰۱٦; Almazroui and Awad, ۲۰۱٦). پس از آن پژوهشگران نقش سایر پارامتر های جوی در شناسایی و اثر کم فشار سودان را بواسطه افزایش اطلاعات و داده های هواشناسی از شرایط وردسپهر فوقانی را بررسی کردند.

پژوهشگران ماشات و آواد 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 می دهد 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 (Awad and Mashat, ۲۰۱۵). این در حالی است که بر طبق تحقیقات سارونی (Saroni, ۱۹۹۸) اگر همین تراف با تراف تروپوسفری سطح بالا همراه بشود، آنگاه بسمت شمال کشیده شده و بروی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

شرق دریای مدیترانه با دریافت رطوبت فعال میشود و بارندگی های سیلابی را ایجاد می کند. این نتیجه با نتایج کراچاک و همکاران (Krichak et al, ۲۰۱۲,۲۰۰۰)؛ یایر و همکاران (Yair et al, ۲۰۱۵) هم خوانی دارد.

تاگزاک و همکاران (Taxak et al, ۲۰۱٤) تغییرات بارش سالانه و فصلی را در حوضهٔ رودخانهٔ وینگانگا بررسی کردند. نتایج بیان می‌کند که در هفت منطقه روند کاهشی معنادار بوده است. مطالعهٔ دیوپ و همکاران (Diop et al, ۲۰۱٦) در تحلیل تغییرات بارش سنگال در بازهٔ زمانی ۱۹۴۰-۲۰۱۳ نشان‌دهندهٔ روند معنی‌دار کاهش بارش سالانه است. مرابتن و همکاران (Merabtene, ۲۰۱٦) تغییرات زمانی بارش طولانی‌مدت ۱۹۳۴-۲۰۱۴ را در شهر شارجهٔ امارات بررسی کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بارش از ۳ میلی‌متر تا ۹.۴ میلی‌متر در هر دهه روند کاهشی داشته است. آواد و المزروعی (Almazroui and Awad, ۲۰۱٦) با استفاده از میانگین پارامتر فشار سطح دریا در سال های ۱۹۵۵-۲۰۱۵ و در دوره سرد به شناسایی و کشف ماهیت کم فشار سودان و تراف دریای سرخ پرداختند. بر طبق نتایج این تحقیق حدود ۹۶ درصد تراف های زمستانه نزدیک به دو منبع اصلی جنوب و جنوب شرق سودان شکل گرفته است.

آواد و ماشات (Awad and Mashat, 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 می دهد که در فصل پائیز، ۹۷ درصد تراف دریای سرخ در جنوب سودان و بر روی دریای سرخ توسعه می یابد. 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 فشار های منطقه دریای سرخ در رابطه با ایران را مورد توجه قرار داده مقاله ای 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 سال های 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 سیل هایی 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 سامانه های 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 طول های ۲۰ تا ۳۵ درجه شرقی به طرف عرض های بالا کشیدگی پیدا می کند، سلولی از آن جدا شده و به طرف عرض های بالا حرکت می کند 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 می کند. 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 فشار های سودانی در ایجاد بارش در مناطق مختلف ایران بخصوص جنوب و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

جنوبغرب و نیز بررسی همدیدی-دینامیکی این سامانه مورد مطالعه قرار گرفت (لشکری، ۱۳۸۱؛ ۱۳۸۲؛ مفیدی، ۱۳۸۳؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۵الف و ۱۳۸۵ب؛ مرادی و همکاران، ۱۳۸۷؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ موقری و خسروی،۱۳۹۳؛ پرک و همکاران، ۱۳۹۴؛ قائمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ زرین‌کمر و کتیرایی بروجردی ، ۱۳۹۵؛ غیاث‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۷). تحقیقات ذکرشده در ایران صرفاً واکاوی و تحلیل همدید بر روی سازوکار، تقویت، تضعیف دینامیکی، و چگونگی گردش عمومی جو منطقه تحت تأثیر این سامانهٔ مؤثر در دورهٔ سرد سال بر روی کشور ایران است. بنابر مطالب و پیشینهٔ مطالعاتی فوق‌الذکر، می‌توان دریافت که بررسی تغییرات بارش در تحقیقات پیشین بدون در نظرگرفتن سهم اثر گذاری یک سامانهٔ جوی خاص تحلیل شده است. بنابراین نگارندگان تحقیق حاضر با هدف بررسی الگوی طولانی مدت تغییرات بارش ناشی از سامانهٔ کم‌فشار سودان از لحاظ مدت دوام و نیز تعیین سهم فعالیت آن؛ در صدد مطالعهٔ رفتار بارشی دوره سرد کرانه های خلیج فارس به‌عنوان آبراهی پر اهمیت در آسیای غربی و منطقه خاورمیانه هستند.

داده ها و روش کار

با توجه به این مهم که وقوع بارش های فراگیر در خاورمیانه به دوره سرد نسبـــت داده می شود (Barreit, ۱۹۸۲)؛ در این دوره آمار روزانه ماه های پر بارش دسامبر، ژانویه و فوریه بعنوان دوره سرد سواحل شمالی خلیج فارس در نظر گرفته شده است. دوره زمانی این پژوهش از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۷ است. خورشید به عنوان منبع بنیادی انرژی (Markson and Muir, ۱۹۸۰; Reid, ۲۰۰۰; Schlegel et al., ۲۰۰۱; Solanki, ۲۰۰۲; Tsiropoula, ۲۰۰۳) در سامانه اقلیمی زمین و ایجاد کننده تفاوت اقلیمی (Haigh, ۱۹۹٦) آن است. این تفاوت ها در وردشهای زمانی کوتاه و بلند مدت تاثیر بسزایی بر گردش عمومی و فعالیت سامانه های جو دارد (Benestad, ۲۰۰٦; Hoyt, ۱۹۷۹). بنابراین در این تحقیق دوره مطالعاتی با وردش های بلند مدت (۹.۵ تا ۱۱ سال) بر اساس سیکل خورشیدی شکل گرفته است. دهه های مطالعاتی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

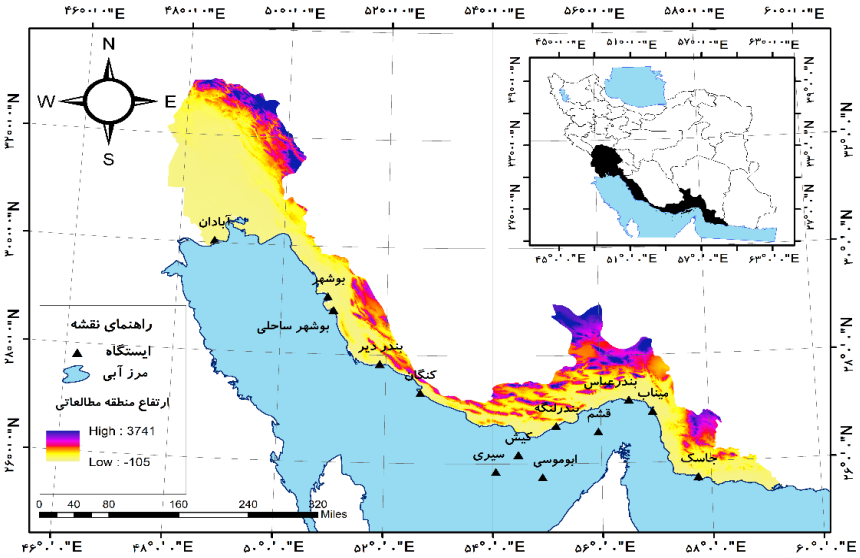
جدول ۱. طبقه بندی دهه های مطالعاتی بر اساس چرخه های خورشیدی طی روند تاریخی.

۱	سیکل خورشیدی ۲۱	۲	سیکل خورشیدی ۲۲	۳	سیکل خورشیدی ۲۳	۴	سیکل خورشیدی ۲۴
	March۱۹۷٦-Sep۱۹۸٦		Sep۱۹۸٦-Agu۱۹۹٦		Aug۱۹۹٦-Dec۲۰۰۸		Dec۲۰۰۸-Dec۲۰۱۷

پژوهشگران مکتب کم فشار سودانی در پژوهش های خود محدوده ورود سامانه کم فشار سودان به ایران را مناطق جنوب و جنوبغرب ایران دانسته اند (لشکری، ۱۳۸۲،۱۳۸۱،۱۳۷۵؛ لشکری و خلیلیان، ۱۳۹۱؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۷؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۸). با توجه به این مهم، در مرحله اول به‌منظور تعیین الگوی بارش سراسری، نخست داده‌های بارش روزانهٔ ۱۳ ایستگاه همدید سواحل خلیج فارس با بالاترین دوره آماری از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. این تعداد ایستگاه در سه استان هرمزگان، بوشهر و خوزستان پراکنده شده اند که سهم ایستگاه های استان هرمزگان در همسایگی خلیج فارس بیش تر از سایر استان ها بود. محدوده و ایستگاه های همدید اولیه در شکل شماره ۱ آورده شده است. داده‌های بارش بالای ۵ میلی‌تر درنظر گرفته شده است زیرا انتظار می‌رود بارش‌های کمتر از این مقدار ناشی از بارش سیستم باران‌زای کم‌فشار سودان نباشد؛ بلکه ناشی از عوامل محلی آن منطقه باشد. بنابراین، با تعیین سه معیار، روزهای بارشی ناشی از هر نوع سیستم جوی بدست آمد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]



شکل ۱. موقیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه های همدید نوار ساحلی خلیج فارس.

۱. بارش روزانهٔ بالای ۵ میلی‌متر به‌طور مشترک در همهٔ ایستگاه‌های سینوپتیک رخ داده باشد؛

۲. بارش بالای ۵ میلی‌متر دست‌کم در ۵۰درصد از ایستگاه‌های انتخابی رخ داده باشد؛

۳. بارش بالای ۵ میلی‌متر برای حداقل حدود یک سوم از ایستگاه‌ها ثبت شده باشد.

با توجه به معیارهای انتخابی کلیه سامانه های موثر در بارش دوره سرد سواحل خلیج فارس بدست آمد. در ادامه می‌بایست سامانه‌های سودان از این تعداد سامانه جداسازی می‌شد. سپس برای روزهای دارای بارش و یک روز قبل تر از آن، از مرکز پیش بینی جوی- اقیانوسی ایالات متحده آمریکا داده های 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. از آن سوی دیگر بر پایه مکان شکل گیری هسته های کم فشار، پرفشار، هسته های پرارتفاع و کم ارتفاع؛ پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (El-Fandy, ۱۹۵۰a، لشکری، ۱۳۷۵؛ ۱۳۸۲) مکان تقریبی مراکز فعالیت، محدوده شکل گیری و جابجایی سامانه سودانی شناسایی شد. چارچوب مکانی در نظر گرفته شده از ۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۱۰- تا ۵۵ درجه عرض شمالی می باشد. در نهایت بارش‌ها با منشاء سودانی به الگوهای یک الی هفت روز تقسیم‌بندی شدند. فرایند تحلیل های آماری بر روی فراوانی بارش های با تداوم در روز ناشی از سامانه کم فشار سودان طی چهار دهه انجام شد.

شرح و تفسیر نتایج

همان طور که بیان شد بر اساس معیارهای انتخابی در دوره آماری چهل ساله تعداد ۵۰۷ سامانه بارشی با تداوم های مختلف که منجر به بارش درسواحل شمالی خلیج فارس شده بودند، شناسایی گردید. با بررسی چشمی انجام شده بر روی نقشه های تراز های زیرین و میانی وردسپهر بر روی سامانه های بارشی سه الگوی کلی شناسایی کردید. با توجه به همسانی و شباهت کلی در الگوی تراز های میانی، در این مقاله فقط الگوهای تراز زیرین وردسپهر (تراز دریا و ارتفاعی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) بدلیل تباین و تنوع سامانه ها و آرایش آنها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته اند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

مرور چندین باره نقشه های دو تراز فوق نشان داد که سه الگوی کلی سامانه های موجب بارش در سواحل شمالی خلیج فارس را توجیه می کند.

- **الگوی نماینده بارش ادغامی با منشاء کم فشار های سودان-اروپا**

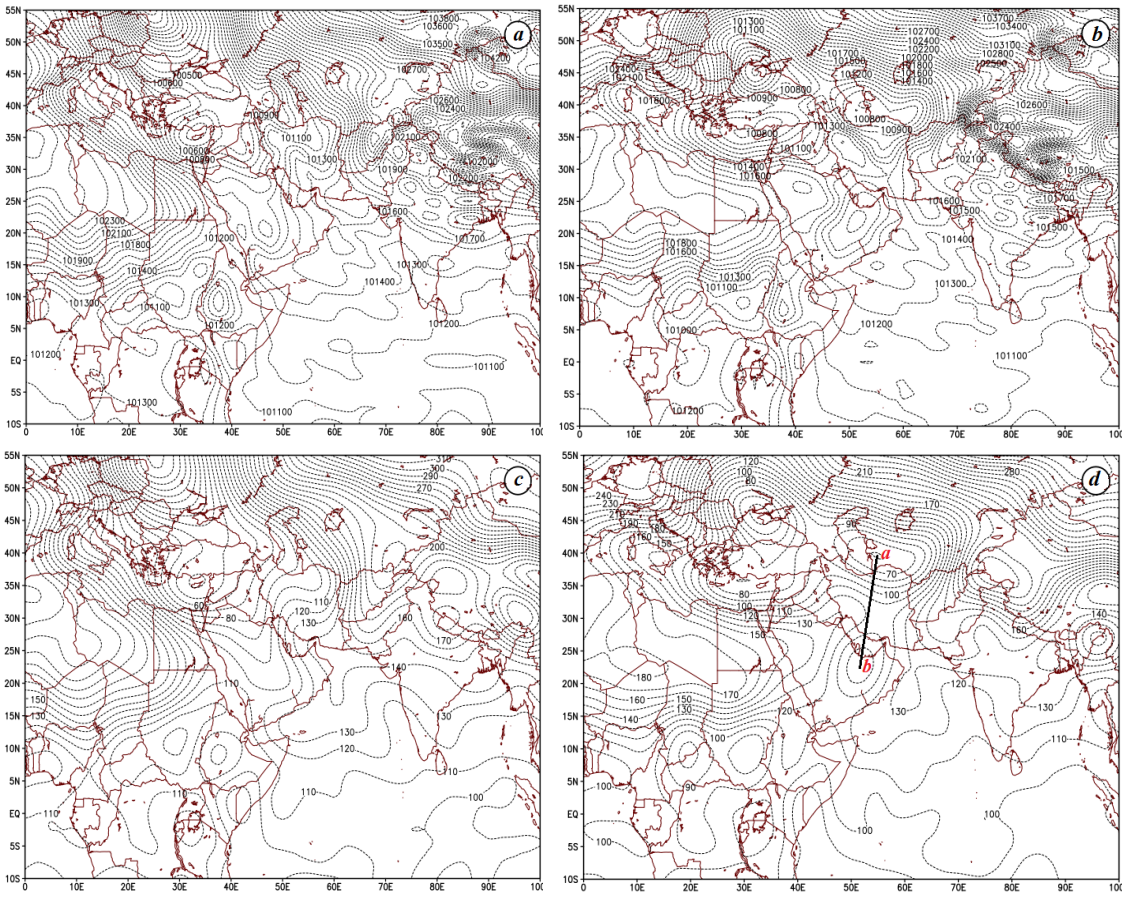
این الگو با توجیه ۷ درصد از مجموع بارش های منطقه مطالعاتی نماینده سامانه هایی است که در حالت ادغام کم فشار سودانی با کم فشاری در شرق اروپا موجب بارش هایی در سواحل شمالی خلیج فارس شده است. شکل ۲ نماینده الگوی ادغامی بارش های دوره سرد سواحل خلیج فارس با منشاء کم فشار های باران زای سودانی با کم فشار های مهاجر اروپایی است. شکل ۲-*a* شرایط فشاری تراز دریا روز ۳۱ام ژانویه ۱۹۸۲ قبل از آغاز بارش را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود در این روز در گستره ۴۵ تا ۵۵ درجه شمالی و ۲۰ تا ۳۰ درجه شرقی (جنوب شرقی اروپا) سامانه کم فشار قوی ملاحظه می شود که زبانه های مورب آن بسمت شمال غرب ایران کشیده شده است. زبانه ای از این سلول کم فشار در شرق مدیترانه کم فشار بسته ای را با مرکزیت ۱۰۰۴ هکتوپاسکال ایجاد کرده است. در همین روز عرض های پایین تر مابین ۵ تا ۱۵ درجه شمالی و طول ۲۰ تا ۴۰ درجه شرقی (جنوب غرب دریای سرخ در شرق سودان) دو مرکز فشار کم با مقادیر ۱۰۱۰ و ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بسته شده است.

باتوجه به شکل۲-*a* مشاهده می شود که در روز ۳۱ام ژانویه زبانه های پرفشار آزور با هوایی نیمه استوایی تا عرض ۲۰درجه شمالی نیز کشیده شده اند. حرکت محور این پرفشار شیب فشاری در شرق منطقه آفریقا را ایجاد کرده است. از طرفی کشیدگی زبانه سامانه پرفشار سیبری تا جنوب سواحل خلیج فارس شیب فشاری ضعیفی در جنوب ایران و غرب سامانه کم فشار سودان ایجاد کرده است. شکل شماره ۲-*c* شرایط سینوپتیکی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را در روز قبل بارش نشان می دهد. در این تراز دو کم ارتفاع بسته ۹۶ ژئوپتانسیل متر در جنوب محدوده سودان دیده می شود. دامنه این سلول فشار کم سودانی چندان عمیق نمی باشد و با محور مورب دارای جریان شمال شرق سویی است که در محدوده جنوب عربستان با زبانه های عمیق سلول کم فشار اروپایی ادغام شده است.

در روز آغاز بارش (۱ فوریه) زبانه پرفشار آزور با محور افقی و کشیدگی طولی به ۵۰ درجه شرقی تا جنوب غرب ایران سبب ایجاد شیو فشاری بر روی سواحل خلیج فارس شده است. مرکز این کم ارتفاع بسته با ۱۰۴ ژئوپتانسیل متر در جنوب شرق عربستان است (شکل ۲-*d*). از طرفی کم فشار اروپایی نیز بسمت عرض های جغرافیایی پایین تر حرکت کرده و بر روی شمال دریای سیاه با مرکز بسته فشاری ۱۰۰۲ هکتوپاسکال مستقر شده است. عمیق شدن زبانه پرفشار سیبری و نفوذ آن تا سواحل جنوبی خلیج فارس نیز سبب می شود تا رطوبت سامانه سودانی از دریاهای عرب و عمان فراهم بشود (شکل۲-*b*). الگوی کم فشارهای زوجی اروپایی در شکل ۲-*d* بخوبی قابل مشاهده است. فعالیت زبانه پرفشار سیبری با محور شمالشرق-جنوب غرب ایران سبب ایجاد شیو فشاری و هدایت زبانه های کم فشار اروپایی بسمت نواحی جنوب ایران و از طرف دیگر فعالیت زبانه پرفشار آزور با محور افقی در جنوب غرب ایران سبب ایجاد شیو فشاری با سامانه کم فشار سودانی شده است. طی این فرایند با ادغام پربندهای کم فشار اروپایی و سودان شرایط جو باروکلینیک در کرانه های خلیج فارس شکل می گیرد. با اتصال مرکز کم فشارهای ادغام شده، جهت اثر این الگو از شمالشرق به جنوبغرب شکل گرفته است (محور *ab*) (شکل۲-*d*). در تحلیل محور اتصال این نوع نمونه از الگوی ادغامی به روش بررسی چشمی، مشخص شد که این الگو با شکل گیری در سه جهت ۱- شمالشرق-جنوبی ۲- شمالی-جنوبی ۳- شمالغرب-جنوبغرب بر سواحل خلیج فارس اثرگذار است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]



شکل۲. الگوی معرف بارش های ادغامی ناشی از کم فشار های سودان-اروپایی در سواحل خلیج فارس. *a* و *c* به ترتیب میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال روز قبل از بارندگی به تاریخ ۳۱ ژانویه ۱۹۸۲. *b* و *d* به ترتیب فشار تراز دریا روز بارش به تاریخ ۱ فوریه ۱۹۸۲.

هنگامی که الگو ادغامی در جهت ۱ و ۲ شـــکل گرفته بود، بارش ها از نظر دوام و شـــدت در بخش جنوبی کرانه خلیج فارس بیشـتر از بخش شـمالی آن بود. هنگامی که محور اتصال مراکز کم فشـار جهت ۳ را داشـت، بارش ها از نظر دوام و شـدت در جنوب غربی سـواحل خلیج فارس بیشـتر از بخش جنوبی آن بود. سـهم بارش های ادغامی کم فشـار سـوانی-اروپایی در دوره سرد سواحل خلیج فارس با شکل گیری در جهت ۱ و ۲ بیشتر از جهت ۳ بود.

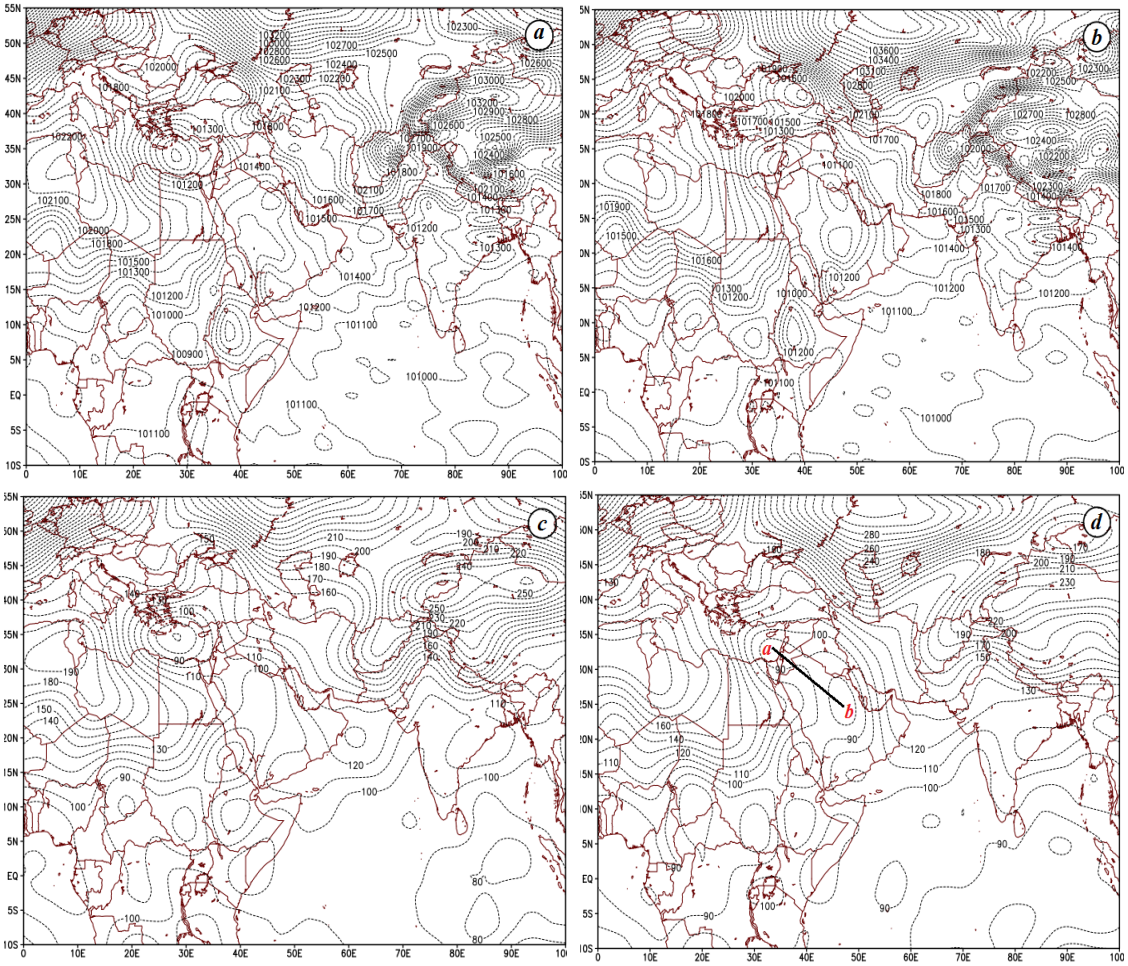
- **الگوی نماینده بارش ادغامی با منشاء کم فشار های سودان-مدیترانه**

این الگو با پوشـش دادن ۱۶ درصـد از سـامانه های بارشـی در منطقه مطالعاتی دومین الگوی همدیدی در ایجاد بارش های سـواحل شـمالی خلیج فارس می باشـد. شـکل ۳ نماینده الگوی بارش های ادغامی ناشـی از کم فشـار های سـودان-مدیترانه می باشد. الگوی سـینوپتیکی قبل از بارش در روز ۶ دسامبر سال ۲۰۰۹ نشان می دهد که زبانه ای از پرفشار آزور با حرکت شرق سوی خود (تا ۳۵ درجه شرقی) تا غرب دریای سرخ کشیده شده است. در همین روز مرکز بسته کم فشـاری با اندازه مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسـکال مسـتقر بر شـرق مدیترانه و سـلول کم فشـار با اندازه مرکزی ۱۰۰۹ هکتوپاسـکال بر روی جنوب غرب دریای سـرخ (سـودان- اتیوپی) شـکل گرفته اسـت. این سـلول از مرکز کم فشـاری با الگوی زوجی مسـتقر بر روی سـودان جدا شـده اسـت. زبانه های کم فشـار سـودانی با حرکت شـمال سـوی خود مرکز،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

شمال، شمالغرب عربستان، جنوب غرب ایران و جنوب عراق را پوشش می دهد (شکل۳-*a*). در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مراکز کم ارتفاع قوی با ۸۵ ژئوپتانسیل متر شکل گرفته اند. پربندهای این کم ارتفاع در شرق سلول بسته، با عبور از روی خلیج عدن و دریای سرخ از نظر رطوبتی تغذیه می شوند. در این روز پربندهای کم فشار سودان تا مرکز عربستان کشیده شده اند. (شکل ۳-*c*).

در روز آغاز بارش (۷دسامبر سال ۲۰۰۹) زبانه های دو مرکز کم فشار مدیترانه و سودان به ترتیب با حرکت شرق سو و شمال سوی خود با یکدیگر ادغام شدند. از طرفی در گوشه شمال شرق ایران زبانه ای نسبتاً قوی از پرفشار سیبری تا نزدیکی آب های گرم جنوب خلیج فارس کشیده شده است. موقعیت واچرخند سیبری سبب انتقال رطوبت از دریای های گرم عمان و خلیج عدن بدرون سامانه کم فشار سودان می شود. بنابراین با استقرار پربندهای ادغامی ۱۰۱۱ هکتوپاسکال بر سواحل خلیج فارس و ایجاد شیو فشاری ناشی از پربندهای ۱۰۱۹ هکتوپاسکال پرفشار سیبری موجبات ناپایداری و بارش این منطقه فراهم شده است (شکل۳-*b*). محور *ab* در شکل۳-*d* اتصال دو مرکز کم فشار سودان-مدیترانه را با جهت جنوبشرق-شمالغرب نشان می دهد.



شکل۳. الگوی معرف بارش های ادغامی ناشی از کم فشارهای سودانی- مدیترانه ای در سواحل خلیج فارس. *a* و *c* به ترتیب میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال روز قبل از بارندگی به تاریخ ۶ دسامبر ۲۰۰۹. *b* و *d* به ترتیب فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال روز بارش به تاریخ ۷ دسامبر ۲۰۰۹.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

در بررسی الگوهای ادغامی سودان-مدیترانه دریافت شد که در ۸۵ درصد رخداد بارش ها، محور اتصال مراکز کم فشار های باران زا جهتی جنوبغرب-غربی داشتند. طی رخداد این جهت گیری، بارش ها با شدت و دوام کم تر در جنوب و با شدت و دوام بیشتر در شمال خلیج فارس رخ داده است. در ۱۵ درصد موارد، محور اتصال مراکز کم فشار، منطقه جنوب خلیج فارس به جنوب غرب ایران است. این کشیدگی اتصال محور مراکز کم فشار در طول جغرافیایی، سبب می شود بارش ها بطور مشترک در سرتاسر نوار ساحلی خلیج فارس بطور فراگیر و با شدت و دوام بیشتر در جنوب ساحل خلیج فارس (ایستگاه های استان هرمزگان) رخ بدهد.

- **الگوی نماینده بارش با منشاء کم فشار سودانی**

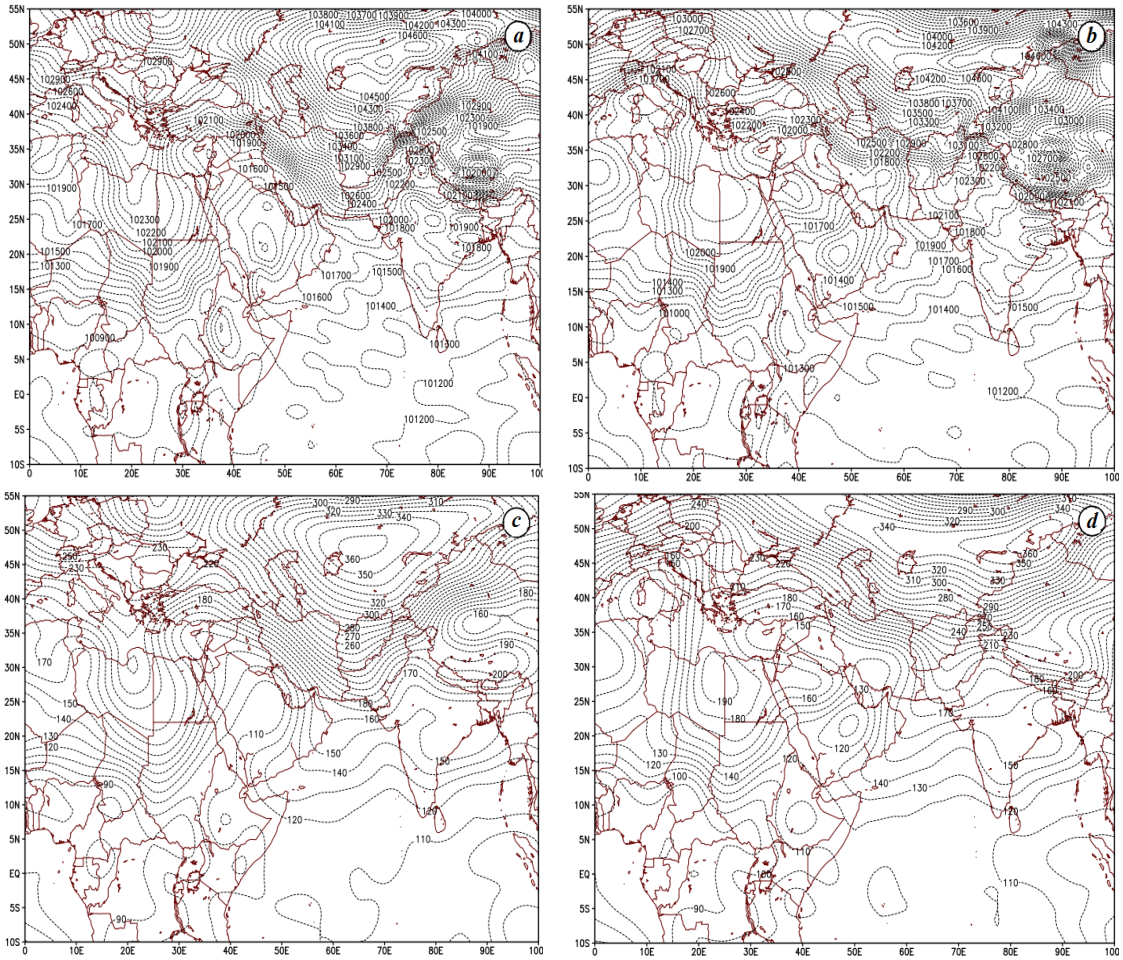
این الگو به عنوان سومین الگوی ایجاد کننده بارش های منطقه مطالعاتی به عنوان سامانه سودانی مستقل، عامل ایجاد حدود ۷۷ درصد از بارش ها بوده است. شکل ۴ چگونگی شکل گیری و اثر گذاری بارش با منشاء کم فشار سودانی بر روی سواحل خلیج فارس را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود؛ در الگوی روز قبل از بارش به تاریخ ۱۱ دسامبر سال ۱۹۹۵، در عرض ۵ تا ۱۵ درجه شمالی و طول ۱۰ تا ۳۰ درجه شرقی در محدوده کشور سودان هسته کم فشاری شکل گرفته است که مرکز فشار آن حدود ۱۰۰۸ هکتوپاسکال می باشد. این سلول کم فشار که در مرحله نخست حرارتی بوده و پس از تقویت در تراز های بالاتر به حالت ترمودینامیکی و دینامیکی تبدیل می شود معروف به کم فشار سودان است (لشکری، ۱۳۷۵؛۱۳۸۱؛ ۱۳۸۲). بررسی نقشه ها نشان می دهد روز قبل از بارش دریای مدیترانه میزبان زبانه هایی از پرفشارهای مهاجر بوده و در عرض های بالاتر از ۴۰ درجه شمالی نیز هیچ سلول کم فشار مهاجری شکل نگرفته است.

در این روز زبانه ای از کم فشار سودانی با حرکت شمال شرق سوی خود با کسب رطوبت از روی دریای سرخ عبور کرده و در جنوب عربستان بصورت یک مرکز بسته مستقل، مستقر شده است. در این الگو توزیع فشار سطحی بیانگر شکل گیری واچرخند سیبری و نفوذ زبانه های آن به شرق و داخل ایران بوده، اما به سواحل جنوب ایران نرسیده است. همچنین عبور پربندهای ۱۰۱۵ هکتوپاسکال از سواحل خلیج فارس نشان دهنده نفوذ و حرکت سامانه سودانی مستقل در جهت جنوب غرب ایران است (شکل ۴-*a*). قرارگیری واچرخند مهاجر اروپایی قوی در عرض های شمالی بالاتر از ۵۵ درجه شمالی سبب شده است تا زبانه های آن تا شمال شرق افریقا کشیده بشود. ریزش هوای سرد عرض های شمالی در منطقه شکل گیری کم فشار سودان سبب بوجود آمدن شیب فشاری در همجواری سامانه کم فشار سودان و در نهایت تقویت بیشتر آن شده است (شکل ۴-*a*). پربندهای این کم ارتفاع با ۱۲۵ ژئوپتانسیل متر بر روی سواحل خلیج فارس نفوذ داشته اند (شکل ۴-*c*).

در روز بارش (۱۲ دسامبر سال ۱۹۹۵) بررسی نقشه توزیع فشار سطحی نشان می دهد که کم فشار سودان کشیدگی شرق سو بر روی جنوب و جنوب غرب ایران داشته است. مرکز کم فشار سودانی مستقر بر روی عربستان فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال را دارد. در این روز سامانه سودانی بقدری قوی و فعال شده است که فشار سطحی حدود ۱۰۱۶ هکتوپاسکال را در نواحی مرکز ایران ایجاد کرده است (شکل ۴-*b*). در این روز سامانه سودانی کاملاً تقویت شده و پربندهای این کم ارتفاع با ۱۳۵ ژئوپتانسیل متر بارش را بطور فراگیر در سرتاسر سواحل خلیج فارس ایجاد می کنند (شکل ۴-*d*).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]



شکل۴. الگوی معرف بارش های ناشی از کم فشارهای سودانی در سواحل خلیج فارس. *a* و c به ترتیب میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال روز قبل از بارندگی به تاریخ ۱۱ دسامبر ۱۹۹۵. *b* و *d* به ترتیب فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال روز بارش به تاریخ ۱۲ دسامبر ۱۹۹۵.

- **تحلیل تغییرات بارش با منشاء کم فشار سودانی طی دهه های مطالعاتی**

در این پژوهش طی دوره سرد و با بکارگیری الگوی های ذکر شده در بالا طی سال های ۱۹۷۶-۲۰۱۷ فراوانی بارش های موثر بر منطقه سواحل خلیج فارس بدست آمد. طی چهل سال، بطور کلی تعداد ۵۰۷ رخداد بارش در کرانه خلیج فارس شناسایی شد. از این تعداد رخداد بارش، ۳۹۲ رخداد با الگوی سودانی مستقل (بدون درنظر گرفتن الگوی یک الی ۷ روزه) از سایر سیستم های جوی تفکیک شد. بنابراین طی گذر روند تاریخی در یک جریان طولانی مدت، از کل نزولات بارش منطقه ساحلی خلیج فارس، ۷۷ ٪ آن را بارش هایی با منشاء سودانی مستقل تامین می کند. سهم فراوانی دهه ای حضور سامانه سودانی در دهه اول نسبت به سه دهه آتی کمتر بود (۱۶٪). این سامانه بارش زا طی دهه دوم و سوم به نسبت دهه اول بیشتر فعال شده بود اما این در حالی است که تغییرات بارندگی آن در دهه های میانی چشمگیر نبود. طی دهه دوم و سوم بارش های سودانی مستقل به ترتیب ۲۵ و ۲۷ درصد از بارش های دوره سرد سواحل خلیج فارس را مهیا می کنند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

در انتهای دوره مطالعاتی مطابق با فعالیت سیکل خورشیدی ۲۴ام، سامانه سودانی بیشتر از گذشته بر روی سواحل خلیج فارس موثر بود. بطوریکه طی این دهه ۱۲۵ مورد بارش سودانی برای سواحل خلیج فارس ثبت شده است. بنابراین فراوانی سامانه سودان طی دهه چهارم حدود ۳۱ درصد می باشد. فراوانی روزهای دارای بارش ناشی از سامانه کم فشار سودانی در ایستگاه های ساحلی طی چهار دهه اقلیمی بدست آمد. با وجود آنکه فعالیت سامانه سودانی طی دوره آماری مطالعه شده در هر ایستگاه متفاوت از ایستگاه دیگر بوده است؛ اما طی گذر تاریخی رفتار افزایشی و مثبت دهه ای سامانه کم فشار سودان در تمام ایستگاه ها مشترک بوده است. جریان اثر بارش زایی سامانه کم فشار سودانی طی دهه اول تا دهه چهارم برای تمام ایستگاه ها با تغییرات آرام و بدون جهش ناگهانی به نحو افزایشی است. بررسی معدل فراوانی بارش سامانه سودانی از ۱۳ ایستگاه همدید در گذر دهه های تاریخی بیان کننده افزایش فعالیت این سامانه از دهه اول (۴۰ رخداد) به دهه چهارم (۷۱ رخداد) است. در مجموع طی چهار دهه ایستگاه های آبادان، بوشهر، بندر لنگه و بندر عباس بیشترین فراوانی رخداد سامانه سودانی را دارند (جدول ۲).

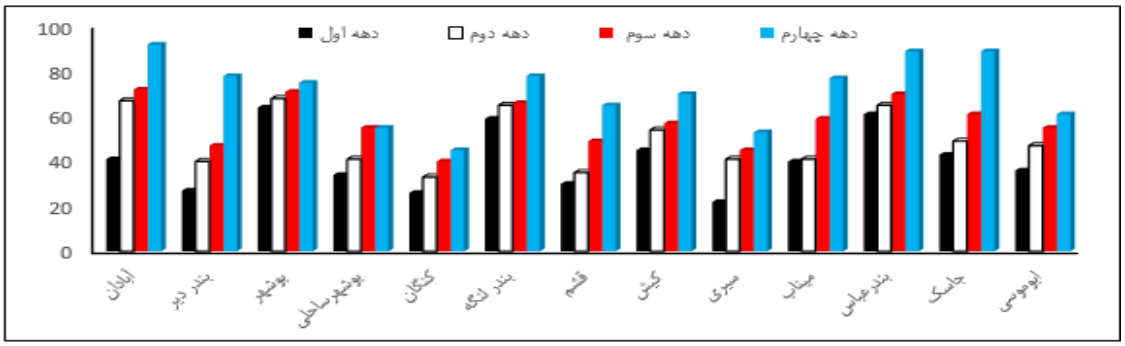
جدول ۲. فراوانی روزهای دارای بارش سامانه سودانی در ایستگاه های کرانه خلیج فارس طی سال های ۱۹۷۶-۲۰۱۷.

	ایستگاه	دورهٔ آماری	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه چهارم
۱	آبادان	۱۹۵۷-۲۰۱۷	۴۱	۶۷	۷۲	۹۲
۲	بندر دیر	۱۹۹۳-۲۰۱۷	۲۷	۴۰	۴۷	۷۸
۳	بوشهر	۱۹۵۷-۲۰۱۷	۶۴	۶۸	۷۱	۷۵
۴	بوشهرساحلی	۱۹۸۶-۲۰۱۷	۳۴	۴۱	۵۵	۵۵
۵	کنگان	۱۹۹۶-۲۰۱۷	۲۶	۳۳	۴۰	۴۵
۶	بندر لنگه	۱۹۶۶-۲۰۱۷	۵۹	۶۵	۶۶	۷۸
۷	قشم	۱۹۹۶-۲۰۱۷	۳۰	۳۵	۴۹	۶۵
۸	کیش	۱۹۷۶-۲۰۱۷	۴۵	۵۴	۵۷	۷۰
۹	سیری	۱۹۸۳-۲۰۱۷	۲۲	۴۱	۴۵	۵۳
۱۰	میناب	۱۹۸۵-۲۰۱۷	۴۰	۴۱	۵۹	۷۷
۱۱	بندرعباس	۱۹۵۷-۲۰۱۷	۶۱	۶۵	۷۰	۸۹
۱۲	جاسک	۱۹۶۸-۲۰۱۷	۴۳	۴۹	۶۱	۸۹
۱۳	ابوموسی	۱۹۸۴-۲۰۱۷	۳۶	۴۷	۵۵	۶۱
	معدل فراوانی سامانه سودانی		۴۰	۴۹	۵۷	۷۱

ارزیابی دهه ای تغییرات بارش در ایستگاه های همدید همجوار با خلیج فارس در شکل شماره ۵ آورده شده است. همان طور که ملاحظه می شود در تمام ایستگاه ها فراوانی سامانه سودانی در دهه اول (چرخه خورشیدی ۲۱ام) به نسبت دهه های آتی کمتر می باشد (شکل ۵-ستون های مشکی). در گذر تاریخی به دهه دوم (چرخه خورشیدی ۲۲ام) در تمام ایستگاه ها فراوانی این سامانه بارش زا نسبت به دهه گذشته بیشتر و به نسبت دهه های آتی کمتر است. ایستگاه میناب از این قاعده مستثنی شده است؛ چراکه در گذر دهه اول به دهه دوم تغییرات فراوانی از این سامانه را نداشته است (شکل۵-ستون های سفید). طی دهه سوم (چرخه خورشیدی ۲۳ام) فراوانی رخداد بارش سامانه سودانی در تمام ایستگاه ها به نسبت دهه اول افزایش داشت اما در قیاس با دهه دوم تغییرات چندانی نداشت. بطوریکه در ایستگاهی چون بندرلنگه تغییرات دهه دوم به دهه سوم ثابت است (شکل۵-ستون قرمز).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]



شکل ۵. نمودار تغییرات دهه ای سامانه کم فشار سودان طی دوره سرد در ایستگاه های همدید سواحل خلیج فارس.

طی دهه چهارم معادل با فعالیت چرخه خورشیدی شماره ۲۴ام، فعالیت سامانه سودانی کاملا چشمگیر است. طی این دهه فراوانی بارش ناشی از سامانه سودانی در تمام ایستگاه های همدید نسبت به سه دهه گذشته افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. (شکل ۵-ستون های آبی رنگ). نکته ای قابل اشاره آنکه در ایستگاه های بوشهر، بندر لنگه و بندرعباس فراوانی رخداد بارش سامانه سودانی طی دهه های اول تا سوم ارقامی نزدیک به یکدیگر را نشان می دهد. طی این سه دهه تغییرات فراوانی بارش سامانه سودانی در این ایستگاه ها جزیی بوده است. به گونه ای که ستون های معرف فراوانی سامانه سودانی در هر دهه با یک افزایش پلکانی رفتار صعودی را نشان می دهند.

پس از بررسی تغییرات وضعیت بارش طی دهه های تاریخی به ارزیابی تغییرات مدت بارش طی دوره مطالعاتی پرداخته شد. بدین منظور با استفاده از پایگاه داده روزانه بارش در ۱۳ ایستگاه همدید و نیز دانستن روزهای دارای بارش سامانه سودانی طول مدت بارش ها در دوره سرد ناحیه ساحلی خلیج فارس بدست آمد. برای این منظور ابتدا فراوانی بارش سامانه سودانی را طی ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه بدست آوردیم. جدول شماره ۳ تغییرات تدوام بارش با منشاء کم فشار سودانی طی دوره آماری مطالعه شده در سواحل خلیج فارس را نشان می دهد. بر اساس این جدول بارش های با تدوام یک روز با ۴۷ بار تکرار در ماه ژانویه به نسبت دو ماه دسامبر (۳۸ مورد) و فوریه (۳۰) بیشتر رخ داده است. تعداد این بارش ها در انتهای فصل سرد (ماه فوریه) کاهش یافته است. در مجموع دوره آماری مطالعه شده، بارش ها با تداوم یک روز ۱۱۵ مرتبه در دوره سرد سواحل خلیج فارس رخ داده است. فراوانی بارش ها با تدوام دو روز بطور مشترک در تمام ماه ها بیشتر از بارش های با تدوام یک الی چند روز است. از طرفی دیگر وقوع بارش های با تدوام دو روز در ماه ژانویه (۶۰ مورد) نسبت به ماه های دسامبر (۵۵ مورد) و فوریه (۳۶ مورد) بیشتر بوده است. در انتهای دوره سرد (ماه فوریه) فراوانی بارش ها با طول مدت های یک الی هفت روز به نسبت ماه های گذشته کاسته شده است. در مجموع ۱۵۱ رخداد بارش با تدوام ۲ روز (۳۰۲ روز دارای باراش ناشی از سامانه کم فشار سودان) طی دوره سرد در سواحل خلیج فارس رخ داده است. فراوانی بارش های با طول مدت سه روز بر خلاف بارش ها با تدوام یک و دو روز در ماه دسامبر (۸ مورد) بیشتر از ماه های ژانویه (۵ مورد) و فوریه (۶ مورد) است. در دوره سرد طی دوره آماری مطالعه شده تنها ۱۹ مورد (۵۷ روز) بارش با تدوام ۳ روز رخ داده است. بارش های با تدوام چهار روز در ماه های دسامبر و ژانویه تنها ۴ مرتبه و در ماه فوریه تنها ۲ مرتبه رخ داده است. بارش های با تدوام پنج تا هفت روز نیز از ۱ تا ۳ مرتبه در ماه های مختلف رخ داده است. آنچه که مشهود است اثرگذاری بیشتر سامانه سودانی در ماه ژانویه و از طرفی ایجاد بارش های بیشتر با تدوام دو روز در این ماه نسبت به سایر ماه ها است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

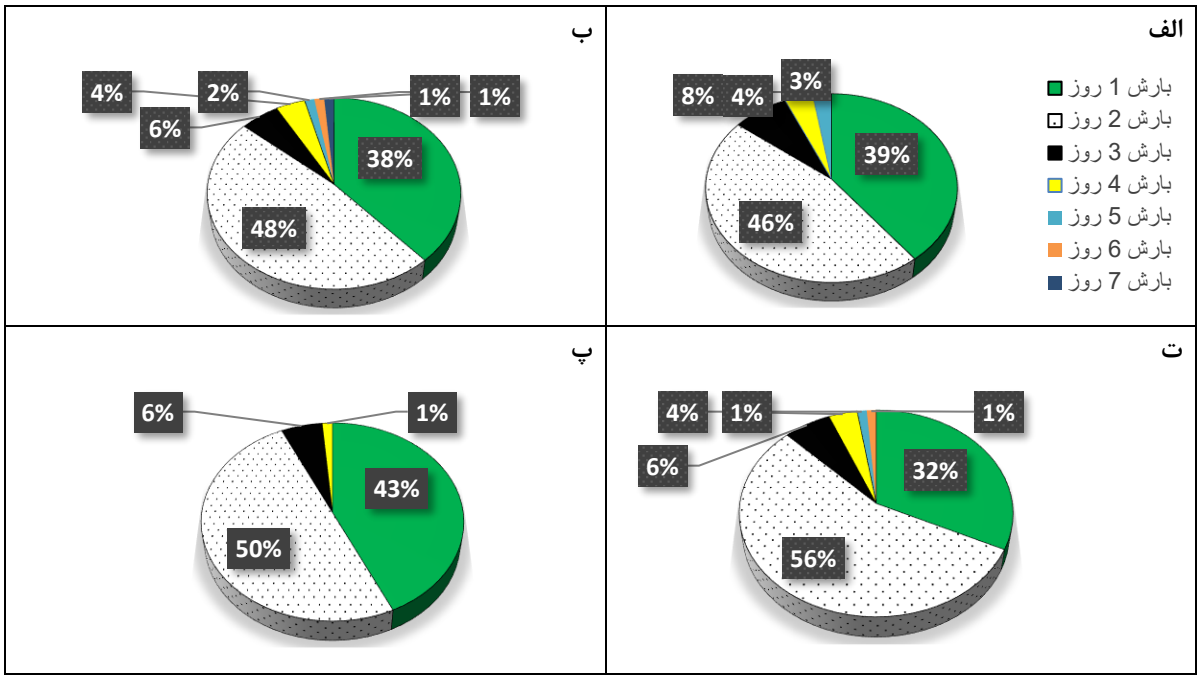
جدول ۳. پراکنش ماهانه سامانه های بارشی با تداوم مختلف در دوره سرد سواحل خلیج فارس طی دورهٔ آماری ۱۹۷۶-۲۰۱۷.

ماه/ تداوم	تداوم ۱ روز	تداوم ۲ روز	تداوم ۳ روز	تداوم ۴ روز	تداوم ۵ روز	تداوم ۶ روز	تداوم ۷ روز
دسامبر	۳۸	۵۵	۸	۴	۱	۱	۰
ژانویه	۴۷	۶۰	۵	۴	۰	۱	۱
فوریه	۳۰	۳۶	۶	۲	۳	۰	۰
دوره سرد	۱۱۵	۱۵۱	۱۹	۱۰	۴	۲	۱

بررسی دهه ای تغییرات بارش سامانه سودانی با طول مدت های مختلف در شکل شماره ۶ بصورت نمودارهای دایره ای آورده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود طی گذر از دهه اول (شکل ۶-الف) به دهه دوم (شکل ۶-ب) فراوانی رخداد بارش با تدوام یک روز با تغییر کاهشی بسیار جزئی (حدود ۱ درصد) تقریباً ثابت بود. سهم بارش های با تداوم یک روز ناشی از سامانه سودانی در این دهه حدود ۳۹ درصد بود. در دهه سوم بارش های یک روز سامانه سودانی حدود ۶ درصد به نسبت دو دهه گذشته افزایش داشته است (شکل ۶-الف و پ). این درحالی است که در دهه چهارم بارش های با تدوام یک روز به نسبت هر سه دهه گذشته کاهش و سهم کمتری را در بارش های دوره سرد سواحل خلیج فارس داشت (شکل ۶- الف و ت). بررسی تغییرات بارش با تداوم دو روز در دهه های مطالعاتی نشان داد که طی دهه اول و دوم به ترتیب سهم بارش های سودانی ۴۶ و ۴۸ درصد است. در دهه سوم با کمی افزایش، ۵۰ درصد بارش های ناشی از سامانه سودانی بارش های با تدوام دو روز هستند. در دهه چهارم به نسبت دهه اول بارش های دو روزه رشد ۱۰ درصدی داشته و حدود ۵۶ درصد از بارش های سامانه سودانی را بخود اختصاص داده اند. سهم بارش ها با طول مدت سه روز در دهه اول (۸ درصد) بیشتر از دهه های آتی است. در واقع طی روند اقلیمی، فراوانی بارش ها با طول مدت سه روز از گذشته به آینده کاهش داشت. بطوریکه سهم بارش های سه روزه در سه دهه آخر یکسان و حدود ۶ درصد کل بارش ها بود. سهم بارش ها با تداوم چهار روز در سه دهه اول، دوم و چهارم یکسان بود (۴ درصد). سهم این بارش ها در دهه سوم بسیار جزئی و حدود ۱ درصد بود. سهم بارش ها با تداوم پنج روز تنها در دهه سوم صفر بود. درحالی که در سایر دهه ها نیز سهم قابل توجهی نداشت (بین ۱ تا ۳ درصد). بارش ها با تداوم شش و هفت روز در دهه اول و سوم مشاهده نشد. اما در دهه دوم و چهارم این بارش ها سهم کم و حدود ۱ درصد از کل بارش های سامانه سودانی را شکل می دهند. قابل ذکر است که بارش با تداوم هفت روز در دهه چهارم اتفاق نیافتاده و تنها در دهه دوم مشاهده شده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]



شکل۶. نمودار تغییرات تداوم بارش سامانه سودان طی دوره سرد در سواحل خلیج فارس. الف: دهه اول، ب: دهه دوم، پ: دهه سوم، ت: دهه چهارم.

نتیجه گیری

منطقه جغرافیایی جنوب و جنوب غرب ایران که در این تحقیق به عنوان کرانه شمالی خلیج فارس استفاده شده است؛ از مناطق استراتژیک کشور ایران می باشد. این منطقه از لحاظ صنایع پتروشیمی، ذخائر نفت و گاز، خدمات بندرگاهی، تجاری و جمعیتی از مناطق بسیار مهم کشور ایران است. در کنار این مزیت های صنعتی و اقتصادی یکی از قطب های کشاورزی کشور است. پرآبترین حوضه های آبریز کشور به این بخش از کشور تعلق دارد. به همین دلیل علاوه بر تامین آب مورد نیاز این بخش مهم از کشور نیازهای آبی استان های همجوار نیز از این حوضه ها تامین می شود. سامانه سودانی از مهمترین سامانه های تامین کننده بارش های این بخش از کشور است. بنابراین هر گونه تغییری در حجم، شدت و سهم این سامانه بشدت می تواند در بیلان آبی، ذخائر آبی و سایر فعالیت های کشاورزی و صنعتی و اجتماعی موثر واقع شود. لذا شایسته است کارگزاران و برنامه ریزان محلی و ملی به این پدیده توجه ویژه ای داشته باشند. نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که:

۱- با تقویت و بیشتر فعال شدن سامانه سودانی طی دو دهه پایانی نقش الگوهای ادغامی در اثر گذاری بر بارش های سواحل شمالی خلیج فارس کم تر شده است. بطوریکه طی گذر روند تاریخی در یک جریان طولانی مدت ۷۷ درصد نزولات بارش این سواحل را بارش هایی با منشاء سودانی مستقل تامین می کنند. افزایش سهم فعالیت سامانه سودانی نشان دهنده تغییر اقلیم مثبت در جهت افزایش منابع آبی این منطقه طی دهه های اخیر می باشد.

۲- سهم فراوانی دهه ای حضور سامانه سودانی در کرانه های خلیج فارس در دهه اول نسبت به سه دهه آتی کمتر بود (۱۶٪). این سامانه بارش زا طی دهه دوم و سوم به نسبت دهه اول بیشتر فعال شده بود اما تغییرات بارندگی آن از دهه دوم به دهه سوم چشمگیر نبود. طی دهه دوم و سوم بارش های سودانی مستقل به ترتیب

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

۲۵ و ۲۷ درصد از بارش های دوره سرد این ناحیه را مهیا می کنند. در انتهای دوره مطالعاتی مطابق با فعالیت سیکل خورشیدی ۲۴ام، سامانه سودانی بیشتر از گذشته فعال شده بود. بطوریکه طی این دهه ۱۲۵ مورد بارش سودانی بر روی این منطقه رخ داده بود. بنابراین فراوانی حضور سامانه سودانی مستقل طی دهه چهارم حدود ۳۱ درصد می باشد.

۳- با توجه به ویژگی های ترمودینامیکی سامانه سودانی بارش های این سامانه عموما با تمرکزهای محلی و با شدت های نقطه ای اتفاق می افتد. این پدیده سبب می شود در هر سامانه ای تعداد محدودی از ایستگاه ها دارای رکورد های بارشی قابل توجهی باشند. طی گذر تاریخی رفتار افزایشی و مثبت دهه ای سامانه کم فشار سودان در تمام ایستگاه ها مشترک بود. بررسی معدل فراوانی بارش سامانه سودانی از ۱۳ ایستگاه همدید بیان کننده افزایش فعالیت این سامانه از دهه اول (۴۰ رخداد) به دهه چهارم (۷۱ رخداد) است. در مجموع طی چهار دهه ایستگاه های آبادان، بوشهر، بندر لنگه و بندر عباس بیشترین فراوانی رخداد سامانه سودانی را دارند. ارزیابی دهه ای تغییرات بارش در ایستگاه های ساحلی همدید همجوار با شمال خلیج فارس نشان داد طی گذر دهه اول (چرخه خورشیدی ۲۱ام) به دهه چهارم (چرخه خورشیدی ۲۴ام) در تمام ایستگاه ها فراوانی سامانه سودانی افزایش داشته است.

٤- نتایج ارزیابی تغییرات طول مدت بارش نشان داد که الگوی بارش با تداوم دو روز بیشترین فراوانی را نسبت به الگوهای یک الی چند روز دارد. از طرفی این الگو در ماه ژانویه به نسبت سایر ماه ها فراوانی بیشتری داشت. نکته دیگر آنکه سامانه باران زا سودانی به ترتیب بیشترین و کمترین فعالیت خود را طی دوره سرد در ماه ژانویه و فوریه دارد. این نتیجه با یافته های (محمدی و لشکری، ۱۳۹۸ و اسفندیاری و لشکری، ۲۰۲۰) انطباق دارد. بطوریکه در رخداد بارش ها با طول مدت یک و دو روز ماه ژانویه بیشترین و ماه فوریه کمترین فراوانی را داشتند. بررسی دهه ای تغییرات بارش با طول مدت دو روز نشان داد که الگوی بارش دو روزه از دهه اول (۴۶ درصد) به دهه چهارم (۵۶درصد) با رشد ۱۰ درصدی رو به رو بوده است. طی این روند اقلیمی بارش ها با طول مدت ۲ روز در سواحل شمالی خلیج فارس (منطقه جنوب و جنوبغرب ایران) در حال افزایش یافتن هستند.

منابع

الفت، علی اکبر. ۱۳۴۷. وضع هوای ایران در سال گذشته، *نیوار*، **۱۲**: ۴۱-۲۹.

پرک، فاطمه؛ احمد روشنی، و بهلول علیجانی. ۱۳۹۴. واکاوی همدیدی سامانۀ کم‌فشار سودانی در رخداد ترسالی و خشکسالی‌های نیمۀ جنوبی کشور، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۱۵**: ۷۵-۹۰.

زرین‌کمر مجد، شیرین و پری سیما کتیرایی بروجردی. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات فصل‌پذیری و ناهنجاری‌های بارش فصلی در ایران طی دورۀ ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۶، *پژوهش علوم و فنون دریایی*، **۳**: ۱۵-۱.

غیاث‌آبادی فراهانی، فاطمه؛ فرامرز خوش‌اخلاق، علی اکبر شمسی‌پور، قاسم عزیزی، و ابراهیم فتاحی. ۱۳۹۷. بررسی و تحلیل تغییرات درون‌دهه‌ای روند و الگوی فضایی بارش‌های سالانه و فصلی (مطالعۀ موردی: نیمۀ غربی ایران)، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۴۸**: ۵۹-۷۹.

فرجی، ابراهیم، ۱۳۶۰. *بررسی مسیر سیستم های فشار کم باران زا بر روی ایران و ارائه الگوهایی از موقعیت و چگونگی حرکت آنها، پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی*، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

قائمی، هوشنگ، ۱۳۴۹. بادهای شدید سطوح فوقانی و تاثیر منابع رطوبتی اقیانوس هند بر روی بارش های ایران، *نیوار*، **۱۲**: ۲۳-۲۹.

قائمی، هوشنگ.؛ حسین عساکره، وشیما رضایی. ۱۳۹۵. تحلیل طیفی میانگین سالانه کم فشار دریای سرخ طی دوره ۱۳۳۰-۱۳۸۹، *اندیشه جغرافیایی*، **۱۵**: ۱۰۳-۱۱۱.

لشکری، حسن. ۱۳۷۵. *الگوی سینوپتیکی بارش های شدید جنوب و جنوب غرب ایران*، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

لشکری، حسن. ۱۳۸۱. مسیریابی سامانه کم فشار سودانی ورودی به ایران. ب*رنامه ریزی و آمایش فضا*، **۲**: ۱۳۳-۱۵۷.

لشکری، حسن. ۱۳۸۲. مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش های جنوب و جنوب غرب ایران، *پژوهش های جغرافیایی*، **۴۶**: ۱-۱۸.

لشکری، حسن و ویدا خلیلیان. ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیکی پهنه بارش سامانه ادغامی سودانی – مدیترانه ای بر روی ایران، *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، **۸۴**: ۲۱-۳۴.

لشکری، حسن؛ هوشنگ قائمی و فاطمه پرک. ۱۳۹۱. تحلیل رژیم بارندگی منطقهٔ جنوب و جنوب غرب ایران، *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، **۸۵**: ۵۷-۶۳.

لشکری، حسن؛ علی اکبر متکان و زینب محمدی. ۱۳۹۷. تحلیل الگوهای همدیدی منجر به بارش های زودرس جنوب و جنوب غرب ایران طی دوره آماری (۱۹۷۹-۲۰۱۵)، *جغرافیا و برنامه ریزی*، **۶۴**: ۲۴۷-۲۶۶.

لشکری، حسن و فهیمه محمدی. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات بارش سامانهٔ کم‌فشار سودان طی روند تاریخی در منطقهٔ جنوب غرب ایران، *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، **۲**: ۳۷۳-۳۸۷.

محمدی، حسین؛ مهری اکبری، ابراهیم فتاحی و علی اکبر شمسی‌پور. ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران، تحقیقات *کاربردی علوم جغرافیایی*، **۲۴**: ۷-۲۳.

مرادی، محمد؛ امیر حسین مشکواتی، مجید آزادی و عباسعلی علی اکبری بیدختی. ۱۳۸۷. نقش تاوایی پتانسیلی هم ارز و تر در مسیریابی سامانه های سودانی، *نیوار*، **۶۸**: ۵۲-۳۳.

مفیدی، عباس. ۱۳۸۳. اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش های سیل زا با منشا منطقه دریای سرخ در خاورمیانه، *تحقیقات جغرافیایی*، **۴**: ۷۲-۹۳.

مفیدی، عباس و آذر زرین. ۱۳۸۵. بررسی سینوپتیکی تاثیر سامانه های کم فشار سودانی در وقوع بارش های سیل زا در ایران، *تحقیقات جغرافیایی*، **۲**: ۱۱۳-۱۳۶.

مفیدی، عباس و آذر زرین. ۱۳۸۵ الف. تحلیلی بر ماهیت و ساختار مراکز پُرفشار و کم‌فشار (قسمت اول)، *رشد آموزش زمین‌شناسی*، **۴۶**: ۵۳-۶۱.

مفیدی، عباس و آذر زرین. ۱۳۸۵ب. تحلیلی بر ماهیت و ساختار مراکز پُرفشار و کم‌فشار (قسمت دوم)، *رشد آموزش زمین‌شناسی*، **۴۷**: ۵۴-۵۸.

موقری، علیرضا و محمود خسروی. ۱۳۹۳. بررسی رابطه سامانه کم فشار سودانی و بارش دهم اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ در استان کرمانشاه، *مخاطرات محیط طبیعی*، **۴**: ۶۱-۸۰.

Almazroui, M.; and A.M. Awad. ۲۰۱٦. Synoptic regimes associated with the eastern Mediterranean wet season cyclone tracks. *Atmospheric Research*, ۱۸۰: ۹۲-۱۱۸.

Ashbel, D. ۱۹۳۸. 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*. ٦٤: ٦٣٥-٦٣٩.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

Awad, A.M.; and A.S. Mashat. ۲۰۱۹. Climatology of the autumn Red Sea trough. *Theoretical Applied Climatology*, **۱۳۵**: ۱۵٤٥-۱٥٥۸.

Awad, A.M. and M. Almazroui. ۲۰۱٦. Climatology of the winter Red Sea Trough. *Atmospheric Research*, **۱۸۲**: ۲۰-۲۹.

Barreit, E.C. ۱۹۸۲. *World survey of climatology, the climates of southern and western Asia, Edited by K. Takahashi and Y. Arakawa*. Journal of Climatology, Springer.

Benestad, R. ۲۰۰٦. *Solar Activity and Earth's Climate. Dordrecht*. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg & Co. KG.

De Vries, A.J.; E. Tyrlis; D. Edry; S.O. Krichak; B. Steil, and J. Lelieveld. ۲۰۱۳. Extreme precipitation events in the Middle East, Dynamics of the Active Red Sea Trough. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **۱۱۸**: ۷۰۸۷–۷۱۰۸.

De Vries, A.J.; S.B. Feldstein; M. Riemer; E. Tyrlis; M. Sprenger; M. Baumgart; M. Fnais, and J. Lelieveld, ۲۰۱٦. Dynamics of tropical–extratropical interactions and extreme precipitation events in Saudi Arabia in autumn, winter and spring, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **۱٤۲**: ۱۸٦۲–۱۸۸۰.

Diop, L.; A. Bodian; and D. Diallo, ۲۰۱٦. Spatiotemporal trend analysis of the mean annual rainfall in Senegal, *European scientific journal*, **۱۲**: ۲۳۱-۲٤٥.

El-Fandy, M.G. ۱۹٤۸. The effect of the Sudan monsoon low on the development of thundery conditions in Egypt-Palestine and Syria, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **۷٤**: ۳۱–۳۸.

El-Fandy, M.G., ۱۹٥۰a. Effects of Topography and other Factors on the Movement of Lows in the Middle East and Sudan, *Bulletin of the American Meteorological Society*. **۳۱**: ۳۷٥-۳۸۱.

El-Fandy, M.G., ۱۹٥۰b. Troughs in the Upper Westerlies and cyclonic developments in the Nile Valley, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **۷٦**: ۱٦٦-۱۷۲.

El-Fandy, M.G., ۱۹٥۲. Forecasting Thunder-Storms in the Red Sea, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **۳۳**: ۳۳۲-۳۳۸.

Esfandiari, N.; H. Lashkari, ۲۰۲۰. Identifying atmospheric river events and their paths into Iran.*Theoretical Applied Climatology*, https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۷۰٤-۰۲۰-۰۳۱٤۸-w

Flohn, H., ۱۹۸۷. Climatic Change and Variability in Southern Africa by P.D. Tyson. *Bulletin of the American Meteorological Society*. ٦۸: ۱٥۷٤-۱٥۷٥. https://www.jstor.org/stable/۲٦۲۲٦٦۸۳

Flohn, H., ۱۹٦٥. Climatic Problems of the Southern Red Sea Area. *Geography*. **۱۹**: ۱۷۹–۱۹۱. https://www.jstor.org/stable/۲٥٦٤۰۳۱۳

Haggag, M.; H., El-Badry, ۲۰۱۳. Mesoscale numerical study of quasi-stationary convective system over Jeddah in November ۲۰۰۹, *Atmospheric and Climate Sciences*, **۳**: ۷۳–۸٦.

Haigh, J.D., ۱۹۹٦. The Impact of Solar Variability on Climate, *Science*, **۲۷۲**: ۹۸۱-۹۸٤.

Hoyt, D.V., ۱۹۷۹. Variations in sunspot structure and climate, *Climatic Change*, **۲**: ۷۹-۹۲.

Johnson, D.H., ۱۹٦۳. African Synoptic Meteorology, Meteorology and the Desert Locust, *WMO Tech. Note*, **٦۹**: ٤۸-۹۰.

Krichak, S.O.; P. Alpert, and T.N. Krishnamurti, ۱۹۹۷a. Interaction of topography and tropospheric flow (A possible Generator for the Red Sea Trough?), *Meteorology and Atmospheric Physics*, **٦۳**: ۱٤۹-۱٥۸.

Krichak, S.O.; P. Alpert, and T.N. Krishnamurti, ۱۹۹۷b. Red Sea Trough/cyclone development-Numerical Investigation, *Meteorology and Atmospheric Physics*, **٦۳**: ۱٥۹-۱٦۹.

Krichak, S.O.; M. Tsidulko, and P. Alpert, ۲۰۰۰. Severe storms in the south-eastern Mediterranean (۲ November ۱۹۹٤), *Atmospheric Research*, **٥۳**: ٤٥–٦۲.

Krichak, S.O.; J.S. Breitgand; and S.B. Feldstein, ۲۰۱۲. A conceptual model for the identification of Active Red Sea Trough synoptic events over the southeastern Mediterranean, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **٥۱**: ۹٦۲–۹۷۱.

Krichak, S.O.; J. Barkan; J.S. Breitgand; S. Gualdi, and S.B., Feldstein, ۲۰۱٥. The role of the export of tropical moisture into midlatitudes for extreme precipitation events in the Mediterranean region, *Theoretical Applied Climatology*, **۱۲۱**: ٤۹۹-٥۱٥.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]

Mashat, A.S. and A.M. Awad, ۲۰۱۵. Synoptic characteristics of the primary widespread winter dust patterns over the northern Arabian Peninsula, *Air Quality Atmosphere & Health*, ۹: ۵۰۳-۵۱٦.

Markson, R. and M. Muir, ۱۹۸۰. Solar Wind Control of the Earth's Electric Field, *Science*, ۲۰۸: ۹۷۹-۹۹۰.

Merabtene, T.; M. Siddique, and S.H., Abdallah, ۲۰۱٦. Assessment of Seasonal and Annual Rainfall Trends and Variability in Sharjah City (UAE), *Advances in Meteorology*, ۲۰۱٦: ۱-۱۳.

Pedgley, D.E. and P.M., Symmons, ۱۹٦۸. Weather and the locust surge, *Weather*, ۲۳: ٤۸٤-٤۹۲.

Pedgley, D.E., ۱۹٦٦a. The Red Sea convergence zone part A: The horizontal pattern of winds, *Weather*, ۲۱: ۳۵۰-۳۵۸.

Pedgley, D.E., ۱۹٦٦b. The Red sea convergence zone part B: Vertical Structure, *Weather*, ۲۱: ۳۹٤-٤۰٦.

Reid, G.C., ۲۰۰۰. Solar variability and the Earth's climate: Introduction and overview, *Space Science Reviews*, ۹٤: ۱-۱۱.

Saaroni, H.; B. Ziv; A. Bitan; and P. Alpert, ۱۹۹۸. Easterly wind storms over Israel, *Theoretical and Applied Climatology*, ۵۹: ٦۱–۷۷.

Schlegel, K.; G. Diendorfer; S. Thern; and M. Schmidt, ۲۰۰۱. Thunderstorms, lightning and solar activity—Middle Europe, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, ٦۳:۱۷۰۵-۱۷۱۳.

Solanki, S. ۲۰۰۲. Solar variability and climate change, *Astronomy and Geophysics*, ٤۳: ۵/۹-۵/۱۳.

Taxak, A.K; A.R. Murumkar, and D.S. Arya, ۲۰۱٤. Long term spatial and temporal and homogeneity analysis in Wainganga basin, *Weather and Climate Extremes*, ٤: ۵۰-٦۱.

Tsvieli, Y.; and A. Zangvil, ۲۰۰۵. Synoptic climatological analysis of wet and dry Red Sea Troughs over Israel, *International Journal of Climatology*, ۲۵: ۱۹۹۷–۲۰۱۵.

Tsiropoula, G., ۲۰۰۳. Signatures of solar activity variability in meteorological parameters, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, ٦۵: ٤٦۹-٤۸۲.

Yair, Y.; C. Price; D. Katzenelson; N. Rosenthal; L. Rubanenko; Y. Ben-Ami, and E. Arnone, ۲۰۱۵. Sprite climatology in the Eastern Mediterranean Region, *Atmospheric Research*, ۱۵۷: ۱۰۸-۱۱۸.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.1.1]