

## تحلیل همبستگی رخداد فرین‌های بارشی زمستان (DJF) در غرب ایران

مهرداد کیانی<sup>۱</sup>، حسن لشکری<sup>\*</sup>، هوشنگ قائمی<sup>۲</sup>

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۴/۲۹

### چکیده

وقوع بارش‌های روزانه فرین نقش مهمی در سامانه اقلیم و هیدرولوژی غرب ایران دارد. در زمستان با نفوذ سامانه‌های بارشی به غرب ایران شرایط برای رخداد بارش‌های شدید فراهم می‌شود. در این مطالعه شدیدترین رخداد فرین‌های بارشی زمستان غرب ایران در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این پژوهش تحلیل همبستگی سامانه‌های عامل رخداد شدیدترین فرین‌های بارشی زمستان بوده است. ابتدا با پردازش‌های آماری بیشینه بارش‌های روزانه مشخص شد و با تعیین آستانه بارش روزانه ۴۱ میلی‌متر، شدیدترین رخداد فرین بارشی هر ماه مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج تحلیل نشان داد که در شرایط رخداد فرین‌ها، پرفشار روی ایران تضعیف شده و سامانه‌های کم فشار در تراز دریا جایگزین آن شده‌اند. در تراز میانی جو جریانات جنوبی و غربی در قسمت جنوب شرقی ناوه مدیترانه همگرا شده و به بخش غربی ایران نفوذ کرده‌اند. بیشینه محتوای رطوبتی سامانه‌ها از طریق دریای سرخ و با کمک سامانه واچرخندی مستقر روی عربستان تأمین شده است. در ماه دسامبر عمیق شدن ناوه مدیترانه‌ای و جذب رطوبت از دریای سرخ عامل وقوع فرین بارشی بوده است. در ماه‌های ژانویه و فوریه استقرار سامانه بلوکینگ کم ارتفاع بریده در تراز میانی جو شرایط مناسب برای وقوع بارش سنگین در سطح زمین را فراهم نموده است. بهره‌گیری همزمان از رطوبت دریاهای سرخ و مدیترانه، موجب رخداد فرین ماه ژانویه و رخداد بارش سنگین در بیشتر ایستگاه‌ها شده است. اما در جریان رخداد فرین ماه فوریه فقط ایستگاه‌های دامنه غربی به دلیل نزدیکی به مسیر رطوبت دریای سرخ شاهد بارش سنگین بوده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** بارش فرین، سامانه، همبستگی، نم و یخ، فشار.

## مقدمه

بارش مهم‌ترین متغیر اقلیمی می‌باشد که تغییرات آن سبب وقوع تغییرات در مقادیر رطوبت خاک، منابع آب زیرزمینی و آب‌های جاری می‌شود. در مناطق کوهستانی که بارش عمده آنها در فصل زمستان اتفاق می‌افتد، آب ناشی از ذوب برف روی ارتفاعات از طریق گسل‌ها و درز و شکاف‌های موجود به صورت سفره‌های آب زیرزمینی ذخیره می‌شود. بخشی از بارش در کوهستان‌ها به صورت رواناب در بستر دره‌ها جاری شده و در نهایت به وسیله رودخانه‌ها به سمت دریاها، اقیانوس‌ها و سایر پهنه‌های آبی بزرگ جاری می‌شود. بارش در غرب ایران رابطه مستقیمی با فعالیت سامانه‌های بارشی دارد.

در کشور ایران در دوره اوج زمستان به دلیل نفوذ بادهای غربی در ترازهای بالاتر جو سامانه بارشی مدیترانه‌ای از سمت غرب وارد ایران می‌شود. این سامانه یا چرخند دینامیکی هوای سرد عرض‌های بالاتر و رطوبت دریای مدیترانه را بر روی ناهمواری‌های زاگرس می‌کشد. از طرفی عمیق شدن ناوه مدیترانه در تراز میانی جو سبب فعال شدن سامانه کم‌فشار مرطوب روی سودان و دریای سرخ می‌شود. رطوبت سامانه کم‌فشار سودانی توسط دریای سرخ و دریای عرب تامین می‌شود. سامانه سودانی به واسطه حرکت رو به شمال یا شمال شرق ناوه مدیترانه، بر روی ایران گسترش می‌یابد و سبب رخداد بارندگی می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲).

دو سامانه مدیترانه‌ای و سودانی در فصل زمستان یا به صورت جداگانه و یا به‌طور ادغامی الگوهای غالب بارشی نواحی غربی ایران را تشکیل می‌دهند. متناسب با مقدار رطوبتی که بر روی دریاها به درون این سامانه‌ها تزریق شده، شدت بارش‌های حاصل از آنها بر روی غرب ایران می‌تواند

متغیر باشد. گاهی انرژی و رطوبت این سامانه‌ها به حدی است که در طول یک روز سبب رخداد بارش خیلی شدید بر روی ناهمواری‌های زاگرس در غرب ایران می‌شوند. با بررسی آمار ثبت شده این رخدادها در بلند مدت بارش‌های حدی بیشینه یا فرین بالا مشخص می‌شود.

رویداد فرین<sup>۱</sup> به رویدادی شدید و غیرمعمول گفته می‌شود که مشاهدات بزرگ و یا کوچک یک سری زمانی را شامل می‌شود (Benestad, 2006). رویداد فرین جوی، رویدادی نادر و نابهنجار است که مقدار آن در هر محل برای یک دوره معین از یک آستانه خاص همان محل فراتر می‌رود. به عبارت دیگر فرین رویدادی است که دنباله و دور از نقطه تمرکز فراوانی (میانگین یا میانه) قرار گرفته باشد.

تحلیل فرین‌ها مبتنی بر بررسی دنباله توزیع آماری و غالباً براساس مشاهدات روزانه عناصر اقلیمی صورت می‌گیرد. در بررسی فرین‌های اقلیمی می‌بایستی به مقادیر خیلی کم و یا خیلی زیاد در مشاهدات روزانه توجه کرد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۱). بارش‌های فرین بالا نقش مهمی در وقوع سیلاب‌ها دارد. از اینرو در بررسی داده‌های بارش روزانه در یک سری مشخص آماری می‌توان مقادیر خیلی زیاد یا همان فرین‌های بالا را برای یک محل مشخص نمود. دانشمندان آستانه‌ها یا ملاک‌های کمی معینی را در مطالعات خود برای انتخاب فرین‌های بالای بارشی به کار برده‌اند. این ملاک‌ها برای مناطق جغرافیایی متفاوت بوده است. به عنوان نمونه آستانه انتخاب فرین‌های بالای بارشی در شرق فرانسه بارش روزانه ۲۰ میلی‌متر (Mizrahi, 2000)، برای سوئد ۴۰ میلی‌متر (Hellstrom, 2005) و برای سئول ۷۵ میلی‌متر (Wang, 2006) در نظر گرفته شده است. در برخی از مطالعات انجام شده، دهک دهم

همکاران (Das et al, 2018) در بررسی بارش‌های فرین حوضه یانگ تسه در طول دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ مشاهده می‌شود. به طوری که بارش‌های فرین این حوضه از دهه ۱۹۹۰ به بعد افزایش داشته‌است. کریشنامورتی و همکاران (Krishnamurthy et al, 2009) نیز در بررسی بارش‌های فرین هندوستان به فرضیه گرم شدن کره زمین و تغییرات چرخه هیدرولوژیکی اشاره نموده و در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بارش‌های فرین روزانه در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ رو به افزایش بوده است. سیم و همکاران (Sim et al, 2019) با بررسی مدل‌های آب و هوایی جهانی روابط بارش‌های سنگین و فرین روزانه را با دما و نقطه شبنم مورد آزمون قرار دادند و مشخص نمودند که تغییرات این دو عنصر اقلیمی در آینده موجب تغییر در میزان بارندگی‌های شدید خواهد شد. براساس این بررسی بارش‌های فرین در بسیاری از نقاط کره زمین در آینده با تبعیت از تغییرات دما و نقطه شبنم افزایش خواهد یافت. علاوه بر بحث گرمایش جهانی و تغییرات دما در بسیاری از مطالعات در سطح جهانی به نقش پدیده‌های آب و هوایی همانند النینو و نوسانات سطح آب اقیانوس‌ها در تغییرات فرین‌های بارشی اشاره شده‌است. فنگ و همکاران (Feng et al, 2018) با مطالعه بارش‌های شدید در استرالیا شرقی به این نتیجه رسیدند که پدیده ال نینو در بسیاری از دوره‌ها از عوامل اصلی کاهش بارش‌های شدید روزانه و پایین رفتن آستانه فرین‌های بارشی بوده است. لی و همکاران (Li et al, 2005) نیز تغییرات شاخص نوسانات قطب جنوب (AAO) را عامل کاهش شدت بارش‌های روزانه منطقه استرالیا غربی از سال ۱۹۶۵ به بعد تشخیص داده‌اند. در سایر مطالعات فرین بارشی به عنوان

یا صدک ۹۰ درصد بارش‌های روزانه مبنای انتخاب فرین‌های بالای بارشی بوده است (Mekis, 1999). رویداد فرین‌های بالای بارشی براساس موقعیت جغرافیایی در فصول مختلف سال می‌تواند مشاهده شده باشد. رویداد فرین بالا یا بارش‌های خیلی شدید فصل زمستان بر روی کوه‌های زاگرس اهمیت زیادی در سیستم اقلیم منطقه‌ای غرب ایران دارد.

مجموع کل بارش فصلی غرب ایران می‌تواند نقش مهمی در چرخه هیدرولوژی منطقه داشته باشد. زیرا بارش فصل زمستان بر روی ناهمواری‌های زاگرس آب کافی برای کشاورزی، صنعت و مصارف خانگی را در غرب ایران فراهم می‌نماید. البته یکی از پیامدهای این بارش‌ها وقوع سیلاب‌های بزرگ و گسترده در سطح منطقه باشد که از لحاظ محیط زیست می‌تواند اثر مخربی داشته باشد. از این جهت مطالعه چگونگی رخداد بارش‌های شدید و فرین بالای زمستانی بر روی کوهستان زاگرس اهمیت زیادی دارد. در زمینه رخداد بارش‌های فرین بر روی مناطق جغرافیایی مختلف کره زمین مطالعات گسترده‌ای انجام گردیده‌است.

در بعضی از این مطالعات به نقش گرمایش جهانی در افزایش فراوانی فرین‌های بارشی اشاره شده - است. مطابق با مطالعه بارکیکاسکا و همکاران (Barcikowska et al, 2018) افزایش ۱/۵ درجه-ای گرمایش جهانی موجب افزایش حد فرین بارش روزانه و افزایش توفان‌ها و بادهای شدید در اروپا خواهد شد. پاپالکسیو و همکاران (Papalexioiu et al, 2019) اعتقاد دارند که گرم شدن کره زمین رژیم فرین بارش را در جهان تغییر خواهد داد، به طوری که در طول دوره ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۳ در سطح کره زمین حدود ۷ درصد بارش‌های فرین افزایش داشته است. این نتیجه‌گیری در تحقیق داس و

های بارشی شمال کشور در ماه‌های اوت، سپتامبر و اکتبر رخ داده است. مطابق با تحقیق احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در نواحی شمال شرقی ایران با افزایش عرض جغرافیایی نمایه‌های حدی بارش روند افزایشی را از خود نشان داده است. عسکری زاده و همکاران (۱۳۹۵) نیز در بررسی نمایه‌های حدی بارش سبزوار در بخش شمال شرقی ایران مشخص نمودند که بارش‌های سنگین در آینده رو به افزایش خواهد بود.

در حالی که در بعضی از مناطق شمالی کشور همانند زنجان (عساکره، ۱۳۹۱) روند فرین‌های بارشی کاهش یافته است. مسعودیان (۱۳۹۲) با مطالعه تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران در دهه‌های اخیر نشان داد که فراوانی و شدت رخداد بارش‌های فرین در مناطق جنوب غرب و غربی ایران رو به افزایش می‌باشد.

اما وقوع بارش‌های سنگین روزانه یا فرین بالا در نواحی غربی ایران در ارتباط با ورود سیستم‌های کم فشار مدیترانه‌ای و سودانی می‌باشد. اکبری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه هم‌بندی خود بیان می‌دارد که ورود سیستم‌های باران‌زا مدیترانه‌ای به غرب ایران با یک ناوه بسیار عمیق و نفوذ به غرب و جنوب غرب ایران از دلایل اصلی وقوع بارش‌های سنگین در منطقه می‌باشد.

ایشان به نقش سیستم‌های کم فشار سودانی و تغذیه آنها از دریای سرخ و خلیج فارس در وقوع این بارش‌ها اشاره کرده است. عزیزی و همکاران (۱۳۸۸) در کار تحقیقی خود در ارتباط با بارش‌های سنگین غرب کشور، نقش دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ در تقویت سیستم‌های مدیترانه‌ای و سودانی در سطح زمین را با اهمیت دانسته‌اند. امینی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه خود ادغام سامانه مدیترانه‌ای با جهت شمال غربی با سامانه سودانی با جهت جنوب غربی را به عنوان

یک عامل مهم و تأثیرگذار بر وقوع سیلاب و خطرات ناشی از آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این دسته از مطالعات با هدف مشخص کردن مناطق مستعد توفان، بارش‌های روزانه در سطح ایستگاه‌های مناطق مختلف جغرافیایی کره زمین مورد تحلیل و بررسی شده‌اند. به عنوان نمونه لیبرتینو و همکاران (Libertino et al, 2018) با جمع‌آوری داده‌های بارش روزانه ۴۵۰۰ ایستگاه هواشناسی در سراسر ایتالیا در طول دوره ۱۹۱۶ تا ۲۰۱۴ مناطق مستعد سیلاب را شناسایی نمودند و به این نتیجه رسیدند که فرین‌های بارشی بیشتر در دامنه‌های رو به باد آلپ و سواحل اتفاق می‌افتند.

کورتس و همکاران (Cortes et al, 2018) نیز ارتباط بین بارش‌های مدیترانه‌ای با خطرات ناشی از سیل در شمال شرقی اسپانیا را بررسی کرده و با طراحی یک مدل ریاضی به شبیه‌سازی احتمال وقوع سیل و خطرات ناشی از آن با افزایش بارش‌ها پرداختند. بارش‌های خیلی شدید و فرین روزانه ایران در بسیاری از پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. عساکره و همکاران (۱۳۹۱) بارش‌های فرین بالا برای شمال غرب ایران در طول دوره ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۷ را براساس آستانه صدک نود درصد داده‌های بارش روزانه بررسی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین دفعات وقوع فرین‌های بالای بارشی در ماه‌های آوریل، مارس، می و اکتبر اتفاق افتاده است.

منتظری (۱۳۸۸) در مطالعه خود با تحلیل فرین‌های روزانه کشور تا سال ۲۰۰۵، نقشه ضریب بارش فرین‌روزانه ایستگاه‌های کشور را ترسیم نمود. نتایج این مطالعه بیانگر امکان وقوع بارش‌های فرین در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس در سراسر ایران به جز نواحی شمالی کشور می‌باشد. همچنین مشخص شده است که فرین-

الگوهای مهم همدیدی همانند چرخندهای سودانی، مدیترانه‌ای و جت جنب حاره مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

بنابراین برخلاف اکثر پژوهش‌های انجام شده قبلی که بیشتر روندهای فرین بارشی و تغییرات آنها در بلند مدت را مورد بررسی قرار داده بودند، در این پژوهش مهم‌ترین نمایه‌های فرین بارشی زمستانی تعیین گردیده، آرایش الگوهای فشار، الگوی حرکتی سیستم‌های بارشی و نحوه فرارفت هوای گرم و مرطوب و حرکت جریان هوا در زمان رخداد شدیدترین فرین‌های بارشی زمستان مورد تحلیل قرار گرفته است.

#### منطقه مورد مطالعه

غرب ایران از لحاظ موقعیت جغرافیایی استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، لرستان و همدان را شامل می‌شود. این منطقه از سه سمت توسط استان‌های واقع در بخش‌های مرکزی، شمال غربی و جنوب غربی ایران محدوده شده است و از یک سمت هم مشرف به کشور عراق می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی طبیعی غرب ایران وجود ناهمواری‌های زاگرس می‌باشد که شامل رشته کوه‌ها، چین خوردگی‌ها، دشت‌ها و دره‌های گسترده می‌باشد. امتداد رشته کوه‌ها و ناهمواری‌های زاگرس در غرب ایران به استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد در بخش‌های جنوب غربی ایران می‌رسد (شکل ۱).

ارتفاع زیاد یکی از ویژگی‌های مشخص غرب ایران به ویژه در استان‌های کردستان و همدان می‌باشد. ارتفاع زمین در بخش‌های بیرونی استان‌های کرمانشاه و ایلام به کمتر از ۵۰۰ متر می‌رسد. در حالی که ارتفاع اشترانکوه در شرق لرستان نزدیک به ۴۰۵۰ متر می‌باشد. بنابراین تنوع ناهمواری

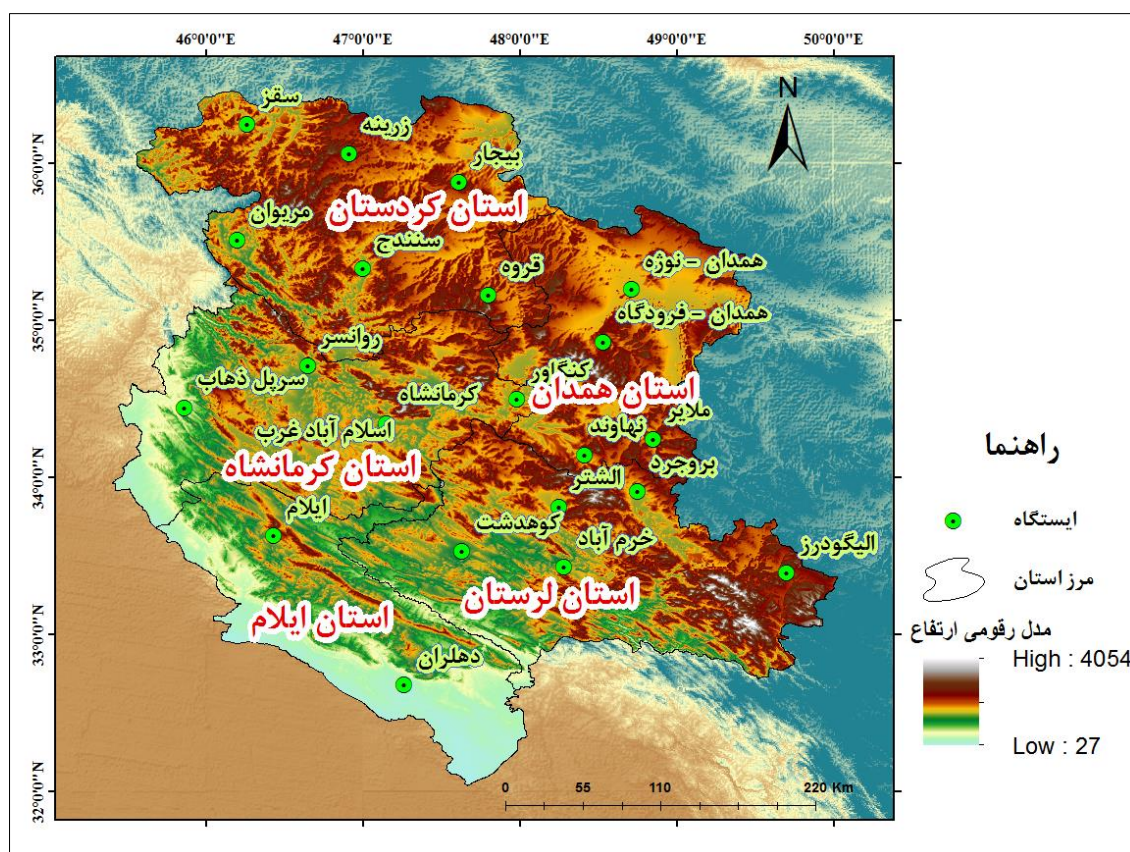
عامل وقوع بخشی از بارش‌های سنگین استان لرستان در غرب ایران مشخص کرده است. برای و همکاران (۱۳۹۱) رخداد بارش‌های سنگین غرب ایران را از طریق بررسی ۱۰ موج بارشی مورد مطالعه قرار دادند و مشخص نمودند که در ۶ مورد دو سامانه سودانی و مدیترانه‌ای با نزدیک شدن به غرب ایران به‌طور مشترک و ادغامی سبب رخداد بارش سنگین در منطقه شده‌اند. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) نیز با اشاره به نقش سیستم‌های کم فشار سودانی در رخداد بارش سنگین جنوب غرب ایران، وجود هسته‌های بیشینه نم ویژه در اطراف دریای سرخ را تأمین کننده رطوبت لازم برای این بارش‌های سنگین دانسته‌اند. عساکره (۱۳۹۱) در مطالعه خود درباره توزیع مکانی بارش در ایران بیان نموده است که موقعیت و استقرار کوه‌های زاگرس موجب صعود مکانیکی توده‌های هوای باران‌آور غربی می‌شود.

همچنین جهت دامنه‌ها در زاگرس عامل مکانی مهم در توزیع بارش می‌باشد. در بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه رخداد فرین‌های بارشی که به بخشی از آنها اشاره شده بیشتر روندهای بارش‌های شدید مورد بررسی آماری قرار گرفته است. در بعضی از مطالعات نیز به بررسی ارتباط بین فرین‌ها با شاخص‌های جهانی تغییرات آب و هوا همانند الینو پرداخته شده است. همچنین تحلیل نقش منابع تأمین کننده رطوبت بارش‌های سنگین به‌ویژه بارش‌های ایران از دیگر محورهای مطالعات انجام شده قبلی می‌باشد.

در مطالعه حاضر تلاش شده است با توجه به گسترش دامنه فعالیت جریان‌ات غربی بر جو ایران در فصل زمستان و ورود سامانه‌های بارشی به غرب کشور، مهم‌ترین نمایه‌ها و فرین‌های بارش سنگین زمستانی غرب ایران براساس نقش

شده است که محدوده غرب ایران را از بخش‌های شمال غربی، جنوب غربی و مرکزی جدا می‌کند. بنابراین نحوه انتخاب محدوده مطالعاتی و ایستگاه‌ها توجه به موقعیت جغرافیایی غرب ایران بوده است.

سبب تنوع اقلیمی در غرب ایران شده است. با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر تحلیل همدمدی فرین‌های بارشی بخش غربی ایران می‌باشد، ایستگاه‌هایی از پنج استان غربی ایران با کامل‌ترین دوره آماری برای این مطالعه انتخاب



شکل ۱: نقشه پراکندگی ناهماری زاگرس و ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده استان‌های غربی ایران

#### داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش داده‌های بارش روزانه ۲۲ ایستگاه سینوپتیک غرب ایران برای دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ میلادی مورد پردازش قرار گرفته است. همچنین از داده‌های بازپردازش شده پایگاه NCEP/NCAR برای تهیه نقشه‌های ترکیبی هوا استفاده شده است. این داده مربوط به پارامترهای ارتفاع ژئوپتانسیل جو، مؤلفه مداری، مؤلفه نصف النهاری، نم ویژه و دمای هوا می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به روش همدمدی انجام گردیده است. ابتدا داده‌های بارش روزانه دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ مورد پردازش قرار گرفتند. با توجه به اینکه معمولاً در مطالعات اقلیمی ماه‌های میلادی دسامبر، ژانویه و فوریه به عنوان فصل زمستان و یا به اختصار DJF در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین ابتدا داده‌های بارش روزانه این سه ماه استخراج گردید. با توجه به حجم بالای داده-

در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت. این نمونه‌ها شامل روزهای بارشی ۲۱ دسامبر ۲۰۰۲ با بیشینه بارش ۸۲ میلیمتر، ۹ ژانویه ۱۹۹۹ با بیشینه بارش ۷۸ میلی‌متر و ۳ فوریه ۲۰۰۶ با بیشینه بارش ۱۶۲ میلی‌متر می‌باشند. این نمونه‌ها به ترتیب به عنوان فرین بارشی ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه الگوهای مطالعاتی فرین بالای بارش فصل زمستان غرب ایران را تشکیل داده‌اند. جهت بررسی توزیع منطقه‌ای بارش در زمان رخداد فرین‌های بارشی، آمار بارش ایستگاه‌ها به صورت جدول و نمودار ارائه گردیده است. در نهایت به منظور شناخت الگوهای گردشی همدیدی عامل ایجاد رخداد‌های فرین ترکیبی از پارامترهای آب و هوایی شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه، جریان باد مداری و نصف النهاری و دمای هوا برای ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به صورت نقشه ارائه گردیده و مورد تحلیل قرار گرفته است. این نقشه‌ها برای یک مختصات جغرافیایی شامل محدوده بین ۱۰ تا ۵۰ درجه عرض شمالی و ۲۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی و با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ در ۲/۵ درجه جغرافیایی ترسیم شده‌اند.

های بارش روزانه نیاز به تعریف یک معیار برای انتخاب بهترین روزهای بارشی در طول این سه ماه بود. بر این اساس روزهایی که حداقل نیمی از ایستگاه‌ها (۱۱ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه) شاهد رخداد بارش بودند به عنوان روزهای بارشی در نظر گرفته شدند. مطابق با این معیار در مجموع ۵۸۱ روز در طول دوره ۲۲ ساله به عنوان روزهای بارشی زمستان (دسامبر ۱۷۶ روز، ژانویه ۲۱۷ روز، فوریه ۱۸۸ روز) انتخاب شدند و بالاترین رقم بارش ثبت شده ایستگاه‌ها به میلیمتر برای هر روز مشخص شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با روش دهک‌ها، براساس مقادیر بیشینه بارش، روزهای منتخب هر ماه به‌طور جداگانه در ۱۰ دهک تقسیم گردید که دهک دهم یا بالای جامعه آماری هر ماه با بیشترین مقدار بارش به عنوان مجموعه روزهای بارش شدید یا فرین بالا انتخاب گردید. در ماه دسامبر روزهای بارش بیش از ۴۵ میلیمتر (جدول ۱)، در ماه ژانویه روزهای بارشی با بارش بیش از ۴۱ میلیمتر (جدول ۲) و در ماه فوریه نیز روزهای بارش بیش از ۴۱ میلیمتر (جدول ۳) در دهک دهم و یا بالا قرار گرفتند. در ادامه شدیدترین نمایه در بین فرین‌های بارشی هر ماه به عنوان نمونه انتخاب و

جدول ۱: دهک دهم روزهای بارشی (بارش به میلی‌متر) ماه دسامبر در دوره آماری ۲۰۱۷ - ۱۹۹۹۶ میلادی

تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر	تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر
۲۱ دسامبر ۲۰۰۲	۸۲	۲۵ دسامبر ۲۰۱۶	۵۵
۵ دسامبر ۲۰۱۳	۸۱	۱ دسامبر ۲۰۰۱	۵۵
۲ دسامبر ۲۰۱۵	۷۵	۳۰ دسامبر ۲۰۱۵	۵۵
۱ دسامبر ۲۰۰۰	۶۲	۲۱ دسامبر ۲۰۱۲	۵۳
۷ دسامبر ۲۰۰۷	۶۰	۸ دسامبر ۲۰۰۲	۵۳
۴ دسامبر ۲۰۰۱	۶۰	۲۴ دسامبر ۲۰۰۰	۴۸
۱ دسامبر ۲۰۱۶	۶۰	۱۳ دسامبر ۲۰۱۳	۴۷
۲ دسامبر ۲۰۱۶	۵۸	۱۰ دسامبر ۲۰۰۰	۴۷
۲۰ دسامبر ۲۰۰۱	۵۶	۲۰ دسامبر ۲۰۰۲	۴۵/۳

جدول ۲: دهک دهم روزهای بارشی (بارش به میلی‌متر) ماه ژانویه در دوره آماری ۲۰۱۷ - ۱۹۹۶ میلادی

تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر	تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر
۹ ژانویه ۱۹۹۹	۷۸	۲۸ ژانویه ۲۰۱۴	۴۹/۸
۲۶ ژانویه ۲۰۰۶	۷۶	۱۲ ژانویه ۱۹۹۸	۴۹/۳
۵ ژانویه ۱۹۹۶	۶۶	۲۶ ژانویه ۲۰۰۱	۴۷
۱۹ ژانویه ۲۰۱۶	۶۲	۷ ژانویه ۲۰۰۴	۴۶
۲۹ ژانویه ۲۰۱۳	۵۵	۱۶ ژانویه ۱۹۹۷	۴۵
۱۹ ژانویه ۲۰۰۵	۵۲/۶	۲۸ ژانویه ۲۰۰۳	۴۵
۱۵ ژانویه ۱۹۹۷	۵۲	۲۷ ژانویه ۱۹۹۷	۴۵
۶ ژانویه ۲۰۰۰	۵۱	۲۷ ژانویه ۲۰۱۷	۴۴
۹ ژانویه ۲۰۱۶	۵۱	۱۳ ژانویه ۲۰۰۴	۴۳
۷ ژانویه ۲۰۰۲	۵۰	۱۵ ژانویه ۲۰۰۳	۴۱
۵ ژانویه ۲۰۰۰	۵۰		

جدول ۳: دهک دهم روزهای بارشی (بارش به میلی‌متر) ماه فوریه در دوره آماری ۲۰۱۷ - ۱۹۹۶ میلادی

تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر	تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر
۳ فوریه ۲۰۰۶	۱۶۲	۱۱ فوریه ۲۰۰۹	۵۰
۴ فوریه ۲۰۰۷	۷۵	۱۵ فوریه ۲۰۱۷	۵۰
۲۰ فوریه ۱۹۹۹	۷۲	۴ فوریه ۲۰۰۳	۴۸
۱۳ فوریه ۲۰۱۷	۶۲	۱۸ فوریه ۱۹۹۹	۴۷
۹ فوریه ۲۰۰۶	۶۱/۵	۱۷ فوریه ۲۰۱۴	۴۶
۲ فوریه ۱۹۹۶	۵۸	۱۲ فوریه ۲۰۰۴	۴۳
۴ فوریه ۲۰۰۶	۵۷/۱	۲۱ فوریه ۱۹۹۶	۴۲
۵ فوریه ۲۰۰۳	۵۷	۲۳ فوریه ۲۰۱۶	۴۱
۱۲ فوریه ۲۰۰۲	۵۶	۲۱ فوریه ۲۰۰۵	۴۱
۱۴ فوریه ۲۰۱۷	۵۵	۲۰ فوریه ۲۰۰۳	۴۱

## نتایج

## توزیع آماری بارش‌های شدید فصل زمستان

جداول ۱ تا ۳ مشخص نمود که حد بیشینه بارش های زمستانی در ایستگاه‌های غرب ایران در یک دوره ۲۲ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۶) به ترتیب در ماه-های دسامبر ۸۲ میلی‌متر، ژانویه ۷۸ میلی‌متر، فوریه ۱۶۲ میلی‌متر بوده است. به عبارت دیگر شدت بارش‌ها در ماه پایانی زمستان (فوریه) اتفاق افتاده است. جدول ۴ مقدار بارش ثبت شده ایستگاه‌ها در زمان رخداد فرین بالای بارش‌های فصل زمستان در طول دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ را

نشان داده است. مشاهده می‌شود که در زمان رخداد فرین بارشی ماه دسامبر (۲۱ دسامبر ۲۰۰۲) بیشینه بارش در ایستگاه مریوان در استان کردستان به میزان ۸۲ میلی‌متر اتفاق افتاده است. بیشینه بارش‌ها در زمان رخداد فرین بارش‌های ماه ژانویه (۹ ژانویه ۱۹۹۹) به میزان ۷۸ میلی‌متر مربوط به ایستگاه ایلام بوده است. ایستگاه ایلام همچنین در زمان رخداد فرین بارش‌های ماه فوریه با رقم بیشینه ۱۶۲ میلی‌متر رکوردار رخداد شدت بارش‌های سه ماهه زمستان بوده است. البته بررسی داده‌های بارش روزانه برای سایر ماه‌ها در

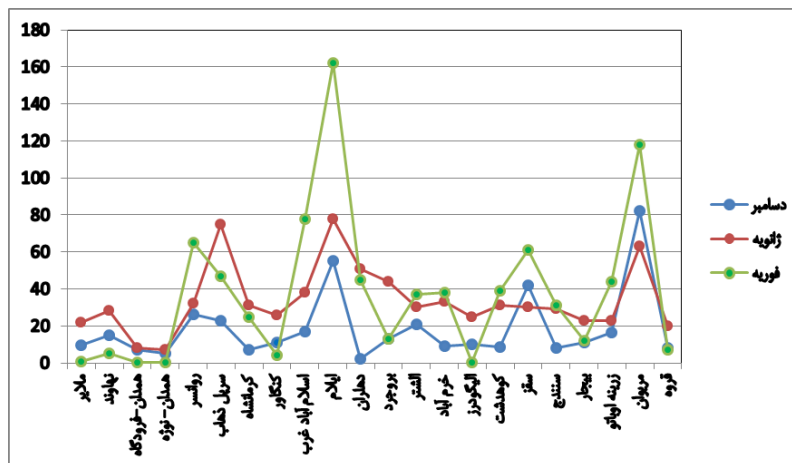


و دسامبر را نشان می‌دهد. همچنین شدت بارش-ها در ماه ژانویه بیشتر از ماه دسامبر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نقطه اوج منحنی سبز رنگ، فرین بارش ماه فوریه را مشخص نموده است. این فرین بالای بارش روزانه در ایستگاه ایلام اتفاق افتاده است. همچنین نقطه اوج منحنی قرمز رنگ، فرین بالای بارش ژانویه را بر روی -همین ایستگاه نشان داده است. نقطه اوج منحنی قرمز رنگ نشان می‌دهد که در ماه فوریه رخداد فرین بارش بر ایستگاه مریوان تمرکز داشته است.

فصول دیگر سال طی دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که حد بیشینه بارش روزانه فراتر از ۱۶۲ میلی‌متر بوده است. به طوری که در ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ بیشینه بارش روزانه در ایستگاه ایلام به ۲۸۲ میلی‌متر رسیده است. دیگر رکوردهای بارشی منطقه در طول این دوره به میزان ۱۲۲ میلی‌متر برای ایستگاه مریوان (۱۰ مارس ۲۰۰۵) و ۱۲۱/۲ میلی‌متر برای ایستگاه نهاوند (۱۴ آوریل ۲۰۱۶) بوده است. نمودار تغییرات بارش ایستگاه-ها در زمان رخداد فرین‌های بارشی (شکل ۲) شدت بارش در ماه فوریه نسبت به ماه‌های ژانویه

جدول ۴: آمار بارش (به میلی‌متر) ایستگاه‌های غرب ایران در زمان رخداد فرین‌های بارشی فصل زمستان

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	فرین بارشی به میلی‌متر ماه دسامبر (۲۱ دسامبر ۲۰۰۲)	فرین بارشی به میلی‌متر ماه ژانویه (۹ ژانویه ۱۹۹۹)	فرین بارشی به میلی‌متر ماه فوریه (۳ فوریه ۲۰۰۶)
ملایر	۱۷۷۷	۹/۴	۲۲	۰/۸
نهاوند	۱۶۸۰	۱۵	۲۸	۵/۷
همدان- فرودگاه	۱۷۴۱	۷	۸	۰/۴
همدان- نوژه	۱۶۷۹	۵/۴	۷	۰/۴
روانسر	۱۳۷۹	۲۶/۵	۳۲	۶۵
سرپل ذهاب	۵۴۵	۲۳	۷۵	۴۷
کرمانشاه	۱۳۱۸	۷/۱	۳۱	۲۵/۱
کنگاور	۱۴۶۸	۱۱	۲۶	۴
اسلام آباد غرب	۱۳۴۸	۱۶/۹	۳۸	۷۸
ایلام	۱۳۳۷	۵۵	۷۸	۱۶۲
دهلران	۲۳۲	۲/۲	۵۱	۴۵
بروجرد	۱۶۲۹	۱۳/۱	۴۴	۱۳/۴
الشتر	۱۵۶۷	۲۱	۳۰	۳۷/۲
خرم آباد	۱۱۴۷	۹	۳۳	۳۸
الیگودرز	۲۰۲۲	۱۰/۱	۲۵/۵	۰/۳
کوهدشت	۱۱۹۹	۸/۵	۳۱/۴	۳۹/۲
سقز	۱۵۲۲	۴۲	۳۰	۶۱
سنندج	۱۳۷۳	۸	۲۹	۳۱
بیجار	۱۸۸۳	۱۱	۲۳	۱۲/۵
زرینه اوباتو	۲۱۴۲	۱۶/۳	۲۳	۴۴/۹
مریوان	۱۲۸۶	۸۲	۶۳	۱۱۸
قروه	۱۹۰۶	۸	۲۰	۷



شکل ۲: نمودار تغییرات بارش ایستگاه‌ها در زمان رخداد فرین‌های بارشی فصل زمستان

تحلیل هم‌دیدری فرین بارشی ۲۱ دسامبر ۲۰۰۲ شکل ۴ نقشه‌های فشار تراز دریا در زمان رخداد فرین بارشی ماه دسامبر را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل در روز ۱۹ دسامبر ۲۰۰۲ (شکل ۳ الف) یعنی از دو روز قبل از وقوع فرین بارش یک هسته کم فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۹ هکتوپاسکال بر روی شرق دریای مدیترانه تشکیل شده است. همزمان ایران زیر نفوذ زبانه پرفشار سیبری با فشار ۱۰۱۵ هکتوپاسکال قرار داشته است. در روز ۲۰ دسامبر (شکل ۳ ب) سیستم پرفشار روی ایران به تدریج تضعیف شده و همزمان کم‌فشار مدیترانه‌ای تقویت شده و فشار مرکزی آن به حدود ۱۰۰۰ هکتوپاسکال کاهش یافته است. این الگو در روز ۲۰ دسامبر ۲۰۰۲ به مرزهای غربی ایران رسیده و سبب شده است که در تعداد اندکی از ایستگاه‌های دامنه غربی زاگرس همانند مریوان (۴۵ میلی‌متر) و سقز (۱۴ میلی‌متر) رخداد بارش اتفاق افتد. اما در بیشتر ایستگاه‌ها رخداد بارش مشاهده نشده است. اما با جابجایی شرق سوی زبانه پرفشار سیبری در روز ۲۱ دسامبر (شکل ۳ ج) بیشتر بخش‌های ایران به‌ویژه منطقه غرب ایران تحت تسلط کامل هسته کم‌فشار مدیترانه‌ای قرار گرفته و شرایط برای رخداد ناپایداری فراهم

### تحلیل هم‌دیدری الگوهای گردش عامل وقوع فرین‌های بارشی فصل زمستان

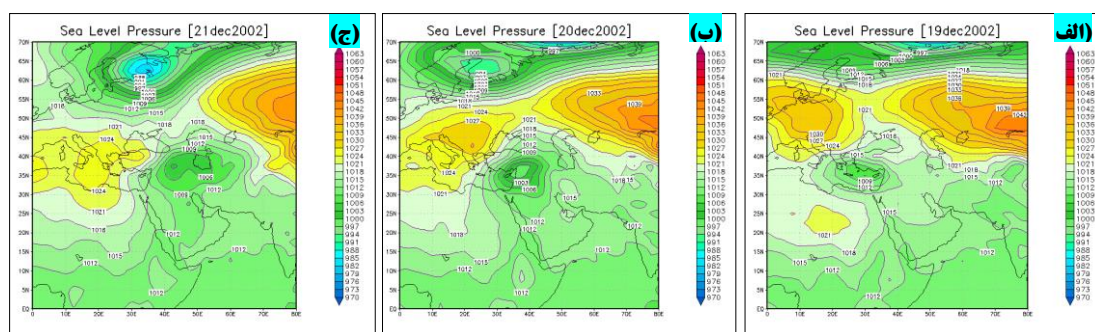
با توجه به اهمیت نقش بارش‌های سنگین در وقوع پدیده‌های محیطی همانند سیلاب‌ها در غرب ایران لازم است که شرایط جوی مسبب وقوع این پدیده اقلیمی شناخته شود. برای این منظور در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های هوا آرایش الگوهای گردش در شرایط رخداد فرین‌های بارشی مورد تحلیل هم‌دیدری قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه بعضی از ایستگاه‌های منطقه به ویژه دامنه‌های غربی در ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر و بعضی دیگر بالاتر از آن واقع شده‌اند، برای تشریح شرایط جوی هوای نزدیک به سطح زمین از نقشه‌های ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در کنار نقشه‌های فشار تراز دریا و نقشه‌های تراز میانی جو یا همان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای تحلیل رخداد بارش‌های سنگین و فرین بالا استفاده شده است. تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال محل رخداد الگوهای گردش سیاره‌ای جو همانند بادهای غربی و اشکال وابسته به آن همانند ناو‌ها و پشته‌ها است که سایر الگوهای دینامیکی همانند جبهه‌ها، توده‌های هوا و چرخندها به واسطه آنها به سمت منطقه مورد مطالعه حرکت می‌کنند.

غربی آن از طریق تزریق رطوبت به زیر بخش جنوب شرقی ناوه مدیترانه‌ای یعنی محل همگرایی جریانات هوای جنوبی و غرب می‌شود. گسترش بیشتر این سیستم روی دریا‌های گرم جنوبی موجب شار بیشتر رطوبت به درون سامانه مدیترانه‌ای و تقویت آن و بالا بردن محتوای رطوبتی سامانه بارشی در غرب ایران شده است. به این ترتیب رطوبت لازم برای رخداد بارش سنگین در منطقه فراهم شده است. کاهش مقدار نم ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که منبع اصلی تأمین رطوبت سامانه بارشی دریا‌های گرم عرض‌های پایین بوده است. همچنین جریانات مرطوب هوا در زیر بخش غربی ناوه هنگام صعود با افزایش ارتفاع و آزاد شدن گرمای نهان به تدریج سرد و سنگین، رطوبت آنها متراکم می‌شود، در نتیجه انرژی لازم برای رسیدن رطوبت به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فراهم نبوده است. بنابراین بر روی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴ الف) از مقدار نم ویژه کاسته شده است. با توجه به این که انتقال رطوبت از سمت عرض‌های پایین به منطقه همراه با وزش دمایی گرم اتفاق افتاده است. لذا فرارفت گرما و رطوبت انرژی لازم برای تقویت بارش ۲۱ دسامبر ۲۰۰۲ را فراهم نموده است. شکل ۵ نشان می‌دهد که وزش دمایی گرم در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال از جنوب به سمت شمال شکل گرفته است. این وزش دمایی در غالب یک جریان جنوب غربی به سمت نواحی غربی ایران شکل گرفته است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وزش دمایی سرد به طرف چپ محور نشانه انتقال توده هوای سرد عرض‌های بالاتر توسط جریان بادهای شمال غربی می‌باشد. در چنین وضعیتی با پایان بارش توده هوای سرد بر روی نواحی غربی ایران مستقر شده و به تدریج

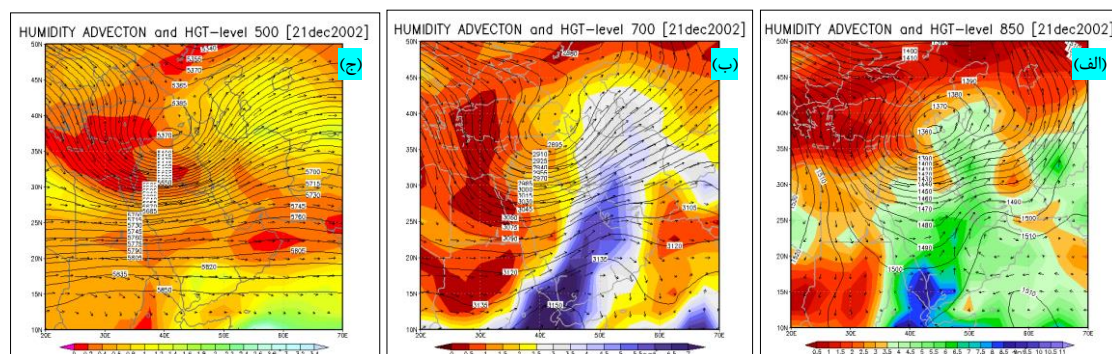
شده است. در نتیجه در تمامی ایستگاه‌های غرب ایران در روز ۲۱ دسامبر رخداد بارش با شدت بیشتر اتفاق افتاده است. مطابق با جدول ۴، شدت بارش در مریوان به ۸۲ میلیمتر، در ایلام به ۵۵ میلیمتر و در سقز به ۴۲ میلیمتر رسیده است. گسترش سامانه مدیترانه‌ای به نواحی غربی ایران از طریق بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل به-ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴) استنباط می‌شود. این سامانه از طریق حرکت جریانات غربی به‌ویژه جابه‌جایی شرق سوی ناوه شرق مدیترانه به نواحی غربی ایران نفوذ می‌نماید. این ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی عراق و سوریه استقرار یافته و در بخش مرکزی آن هسته کم ارتفاع ۵۳۷۰ ژئوپتانسیل متر قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود جریانات غربی در بخش جنوب شرقی ناوه که بر روی نواحی غربی ایران قرار گرفته است به تدریج جهت جنوب غربی پیدا کرده‌اند. این وضعیت سبب می‌شود که هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین‌تر در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به سمت این مرکز همگرا شده به تدریج صعود نمایند و با جابه‌جایی شرق سوی ناوه به سمت ایران کشیده شوند. مطابق با شکل ۴ توجه به تجمع مقادیر بیشینه نم ویژه بر روی منطقه دریای سرخ و سودان مربوط به ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۴ الف) و ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴ ب) می‌باشد. حرکت واچرخندی هوا بر روی منطقه جنوب عربستان و بر روی دریای عرب موجب تشکیل مرکز پراارتفاع عربستان می‌شود. فرونشینی هوا در زیر این سیستم دینامیکی در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال و حرکت واچرخندی آن نقش مهمی در هدایت جریانات هوای مرطوب روی دریای عرب و دریای سرخ به سمت ایران به‌ویژه بخش

صعود هوا شده و همان‌طور که اشاره شد به تدریج به دلیل کاهش دما با افزایش ارتفاع، گرمای نهان آزاد شده، قطرات بخار آب مترکم شده و پدیده ابرناکی شکل می‌گیرد و موجب بالا رفتن دمای هوا می‌شود.

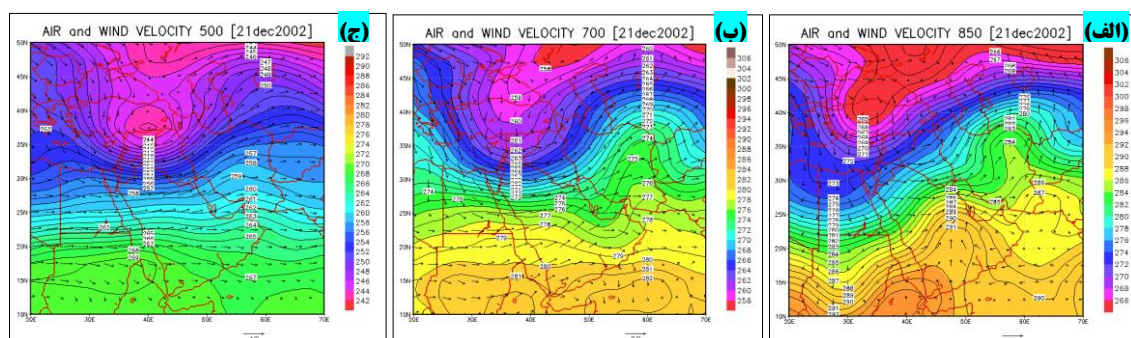
موجب استیلای شرایط آنتی سیکلونی و پایداری در منطقه می‌شود. باید اشاره نمود که آزاد شدن گرمای نهان در ترازهای پایین‌تر در افزایش دما تأثیرگذار بوده است. زیرا بخشی از گرمای موجود در جریان هوای گرم و مرطوب جنوبی صرف



شکل ۳: نقشه فشار تراز دریا در روزهای ۱۹ دسامبر (الف)، ۲۰ دسامبر (ب) و ۲۱ دسامبر (ج) ۲۰۰۲.



شکل ۴: توزیع نم ویژه (گرم در هزار) و ارتفاع ژئوپتانسیل، ۲۵ دسامبر ۲۰۱۶ (الف)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (ب)، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج).



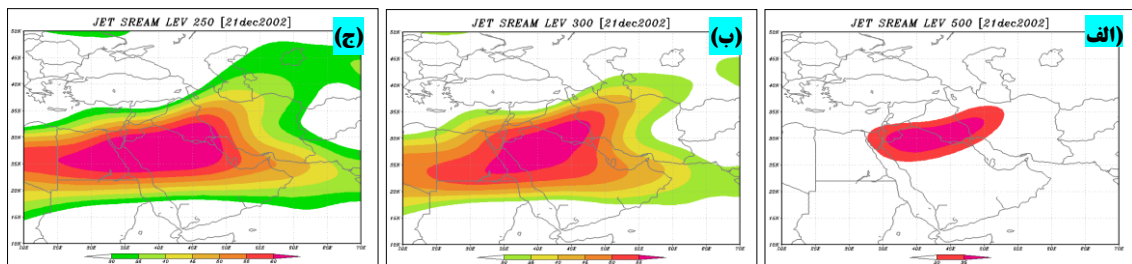
شکل ۵: وزش دمایی هوا، ۲۱ دسامبر ۲۰۰۲؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (ب) و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج).

بادهای شدید یا جت در راستای حرکت امواج غربی در ترازهای فوقانی جو باشد. مطابقت دادن

جهت فرارفت هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین‌تر می‌تواند در ارتباط با جهت حرکت جریان

سرعت باد به ۶۰ متر بر ثانیه رسیده است در حالی که وسعت بادهای با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال افزایش داشته است که نشان دهنده افزایش سرعت بادهای با ارتفاع می-باشد. با توجه به موقعیت و مسیر حرکت جریان جت بر روی نقشه‌ها (شکل ۶) مشخص می‌شود که جریان جت به صورت دو شاخه شمالی و جنوبی از روی ایران عبور نموده است شاخه شمالی جریان جت قطبی و شاخه جنوبی جریان جت جنب حاره را نشان می‌دهد. از نوع جنب حاره بوده است. جت قطبی در انتقال هوای سرد عرض‌های بالاتر به روی نواحی غربی ایران مؤثر بوده است. اما جت جنب حاره جریان هوای گرم و مرطوب صعود کرده به ترازهای بالاتر را به سمت نواحی غربی ایران فرارفت نموده است. در هنگام رخداد بارش سنگین ۲۱ دسامبر ۲۰۰۲ ایستگاه-های مریوان، سقز و روانسر به دلیل نزدیکی به دامنه‌های غربی زاگرس و نزدیکی به منبع رطوبت شاهد بیشترین مقادیر بارش حاصل از فعالیت سامانه مدیترانه‌ای بوده‌اند.

شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که جریان هوای گرم و سرد در محل تشکیل ناوه در تماس با یکدیگر بوده است. امتداد خط تماس هوای گرم و سرد محل تشکیل جت می‌باشد و سرعت جریان هوا در امتداد این خط ممکن است به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه برسد. شکل ۶ نقشه جریان بادهای با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه یا همان نقشه جت را نشان می‌دهد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده کوچکی آن هم در موقعیت بخش جنوب شرقی ناوه سرعت بادهای به ۳۵ متر بر ثانیه رسیده است. بنابراین همگرایی جریان هوا در بخش جنوب شرقی ناوه موجب افزایش سرعت بادهای در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شکل‌گیری جریان بادهای افقی با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه یا جریان جت در این تراز شده که سرعت باد در بخش مرکزی جت نسب به اطراف بیشتر می‌باشد. در ترازهای ۳۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶ ب) و ۲۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۶ ج) به تدریج بر دامنه گسترش بادهای با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه افزوده شده است. در محور جت در این دو تراز



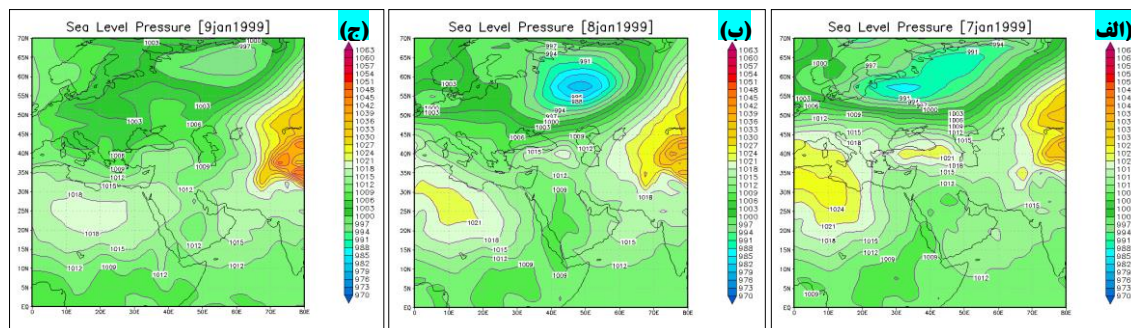
شکل ۶: موقعیت جریان جت، ۲۱ دسامبر ۲۰۰۲؛ تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (ب) و تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال (ج).

فشار سودانی به تدریج به سمت ایران گسترش یافته است. علاوه بر آن در روز ۹ ژانویه سیستم کم‌فشاری از سمت شمال مدیترانه، دریای سیاه و از سمت دریای خزر به کشور نفوذ کرده است و با سیستم کم فشار سودانی ادغام شده است. با

تحلیل همدیدی فرین بارشی ۹ ژانویه ۱۹۹۹ بررسی نقشه‌های فشار تراز دریا (شکل ۷) نشان می‌دهد که ادغام دو سیستم کم فشار شرایط را برای رخداد فرین بارشی ۹ ژانویه ۱۹۹۹ فراهم نموده است. در روزهای ۷ و ۸ ژانویه سیستم کم-

شمال، غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه دارای بارش شدید و قابل توجه بوده‌اند.

رجوع به جدول ۴ مشاهده می‌شود که تحت فعالیت سامانه‌های ادغامی بیشتر ایستگاه‌ها در



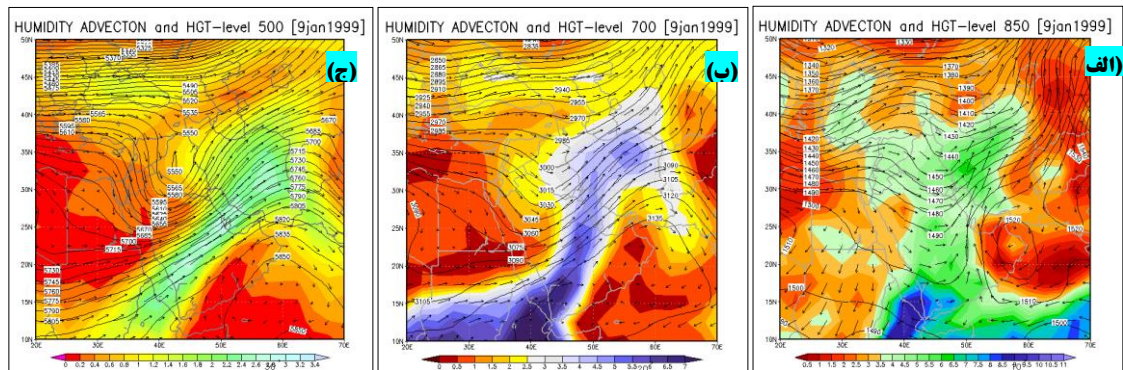
شکل ۷: نقشه فشار تراز دریا در روزهای ۷ ژانویه (الف)، ۸ ژانویه (ب) و ۹ ژانویه (ج) ۱۹۹۹.

جنوبی با جریانات غربی بر روی بخش شرقی عربستان و روی خلیج فارس همگرا شده و به شکل یک جریان جنوب غربی به سمت ایران حرکت نموده‌اند. در شکل ۸ مشاهده می‌شود که جریانات غربی رطوبت دریای مدیترانه و دریای سرخ و جریانات شرقی رطوبت روی دریای عرب را به سمت عرض‌های بالاتر گسترش داده‌اند. استقرار سامانه کم ارتفاع بریده موجب فرارفت رطوبت به بیشتر مساحت کشور ایران و بهره‌مندی کشور از رطوبت دریاهای عرب، سرخ و مدیترانه شده است. از طرفی این وضعیت موجب شده که منطقه همگرایی در بخش غربی ناوه گسترده‌تر شود و بخش عمده‌ای نواحی مرکزی و شرقی کشور نیز زیر نفوذ جریان همگرایی بادها و وقوع ناپایداری قرار گیرند. تزریق رطوبت به درون این سامانه در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به حدی بوده است که اثر آن به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال گسترش عمودی پیدا نموده است. مقدار نم ویژه در این تراز در بخش‌هایی از ایران به ۳ گرم در هزار رسیده است. فعالیت سیستم پارتفاع عربستان و گسترش آن تا بخش جنوب شرقی ایران در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال موجب وزش دمایی گرم در راستای جنوب غربی به شمال

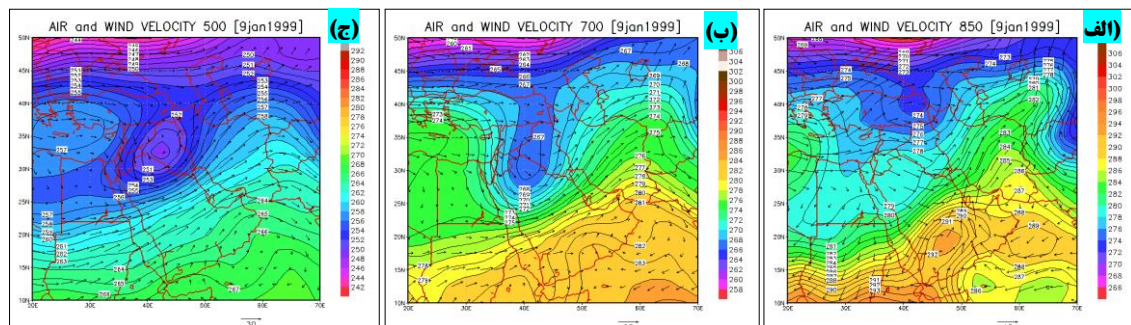
مطابق با شکل ۸ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸ ج)، جریان اصلی بادهای غربی به عرض‌های جغرافیایی بالاتر انتقال یافته است و یک ناوه عمیق همراه با سامانه کم ارتفاع بسته در درون آن از این جریانات اصلی جا مانده است و تشکیل یک سامانه بلوکی‌نگ یا سامانه بریده کم ارتفاع بر روی بخش مرکزی عراق را داده است. این وضعیت سبب استقرار سامانه کم فشار شمالی بر روی غرب ایران در تراز دریا شده است. از طرفی استقرار مرکز پارتفاع بر روی جنوب عربستان و روی دریای عرب در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۸ الف) و ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸ ب)، مطابق با آنچه که در مورد فرین ماه دسامبر بیان شد، سبب شار رطوبت به طرف منطقه سودان و دریای سرخ شده است. این سیستم به تقویت همگرایی بادها در بخش غربی ناوه بریده و به انتقال بیشتر رطوبت به سمت شمال کمک نموده است. حرکت سامانه بریده کم ارتفاع روی عراق موجب شمالی شدن جریانات هوا بر روی دریای سرخ شده و شرایط لازم برای فعال شدن جریانات مرطوب روی این دریا را فراهم کرده است. زیرا تحت‌تأثیر حرکت واچرخندی اطراف سیستم پر ارتفاع عربستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جریانات

ناوه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹ ب)، تا ۲۶۷ و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹ ج)، تا ۲۵۰ درجه کلونین کاهش یافته است. بنابراین خط تماس بین دو جریان وزش دمایی سرد و گرم در محدوده جنوب غربی تا شمال شرقی ایران کشیده شده است. بنابراین بیشتر بخش‌های غربی ایران از وزش دمایی سرد متأثر شده و به دلیل فعالیت سیستم بلوکینگ و با توجه به حجم محتوای بالای رطوبتی سامانه ادغامی، امکان وقوع بارش سنگین به شکل برف در بخش‌های مرتفع منطقه فراهم بوده است.

شرقی ایران شده است. مطابق با شکل ۹ در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۹ الف)، یک منحنی بسته با دمای ۲۹۲ درجه کلونین در جنوب عربستان شرایط لازم برای تشکیل پشته‌ای از هوای گرم فراهم نموده است، به طوری که این پشته تا بخش‌های شمال شرقی ایران نفوذ کرده و شرایط را برای وزش دمایی سرد به موازات آن از شمال غربی به سمت جنوب غربی ایران فراهم نموده است. استقرار ناهه عمیق بریده و به جامانده از جریانات اصلی غربی همراه با هسته دمایی سرد بوده است. به طوری که دما در بخش مرکزی این



شکل ۸: توزیع نم و ویژه (گرم در هزار) و ارتفاع ژئوپتانسیل، ۹ ژانویه ۱۹۹۹ (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب)، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج).



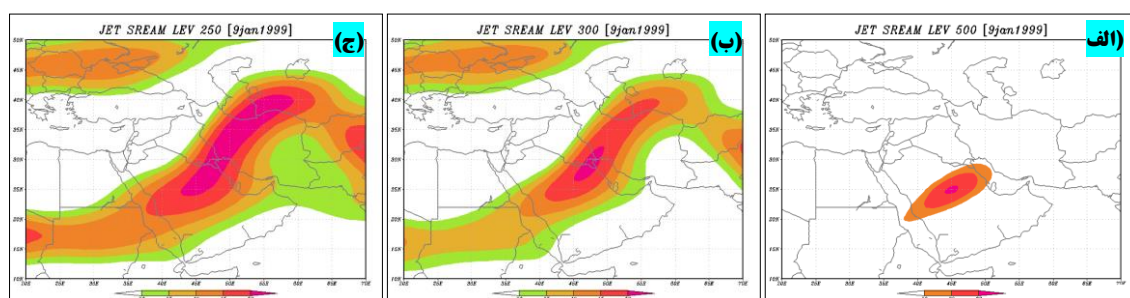
شکل ۹: وزش دمایی هوا، ۹ ژانویه ۱۹۹۹؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (ب) و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج).

تشکیل شده است که در محور آن سرعت بادها به ۳۶ متر بر ثانیه رسیده است. در نتیجه جریانات ناپایدار ترازهای زیرین (۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال)

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰ الف) جریان جت در جنوب شرقی عربستان و تا حدودی خلیج فارس

عرض‌های بالاتر تا نزدیکی مناطق شمال غربی ایران گسترش یافته است. با وجود اینکه این رودباد بر روی ایران مشاهده نشده است اما نزدیکی آن به بخش شمال غربی می‌تواند مرتبط با گسترش و فعالیت جریان وزش دمایی سرد درون سامانه کم‌ارتفاع تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) باشد.

با ورود به منطقه همگرایی بالایی توسط این جریان افقی با سرعت بیشتری به سمت شمال شرقی شرق ایران جابه‌جا شده‌اند. نقشه‌های جریان جت در ترازهای ۳۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰ ب)، و ۲۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰ ج)، نشان می‌دهد که جریان جت یا رودباد از سمت مناطق جنب حاره به سمت شمال شرقی حرکت نموده است. ضمن اینکه رودباد جبهه قطبی در



شکل ۱۰: موقعیت جریان جت، ۹ ژانویه ۱۹۹۹؛ تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (ب) و تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال (ج).

سامانه پرفشار پایدار بر روی بخش‌های غربی و مرکزی ایران شده است. در روز نخست فوریه (شکل ۱۱ الف) این سیستم بر روی ایران به شکل منحنی بسته از شمال غربی به جنوب شرقی گسترش یافته است. فشار مرکزی این سیستم در غرب ایران به ۱۰۲۴ هکتوپاسکال رسیده است. در روز دوم فوریه (شکل ۱۱ ب) دامنه گسترش این سیستم به‌ویژه در بخش‌های نزدیک مرزهای غربی و شمال غربی ایران کاسته شده و تضعیف شده است. در همین حال یک سامانه کم فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی بخش جنوبی دریای مدیترانه در روز اول فوریه ۲۰۰۶ شکل گرفته است و به تدریج از روز دوم فوریه از بخش شرقی دریای مدیترانه در جهت رو به شمال شرقی به سمت مرزهای غربی و شمال غربی ایران گسترش یافته است. در روز سوم فوریه (شکل ۱۱ ج) با تضعیف و جابه‌جایی شرق سوی سیستم

گسترش فعالیت این سامانه و محتوای رطوبتی آن به حدی بوده که مطابق با جدول ۴ به استثنای ایستگاه‌های فرودگاه همدان و نوزه همدان در باقی ایستگاه شدت بارش روزانه به بیش از ۲۰ میلیمتر رسیده است که نشان می‌دهد که تمامی منطقه تحت تأثیر فعالیت این سامانه از بارش قابل توجهی برخوردار بوده‌اند. فرین بالای بارش در ایستگاه ایلام به میزان ۷۸ میلیمتر ثبت شده است. مقادیر بارش در سرپل ذهاب و مریوان به ترتیب به ۷۵ و ۶۳ میلیمتر رسیده است. بنابراین دامنه غربی زاگرس از بارش سنگین‌تری برخوردار بوده است.

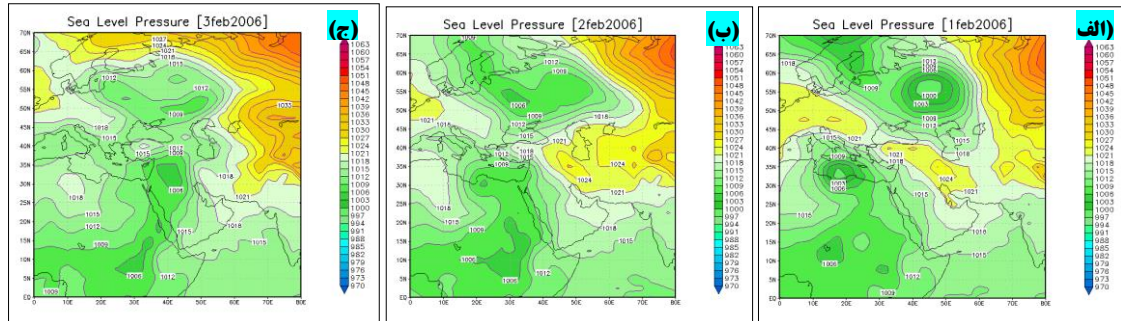
#### تحلیل هم‌مدیدی فرین بارشی ۳ فوریه ۲۰۰۶

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در روزهای اول و دوم فوریه ۲۰۰۶ نفوذ زبانه‌ای از سیستم پرفشار سیبری از سمت شمال شرقی و سیستم پرفشار شرق اروپا از سمت شمال غربی موجب استقرار



و به‌ویژه شمال غربی ایران رسیده و بر روی دریای خزر توسعه یافته است.

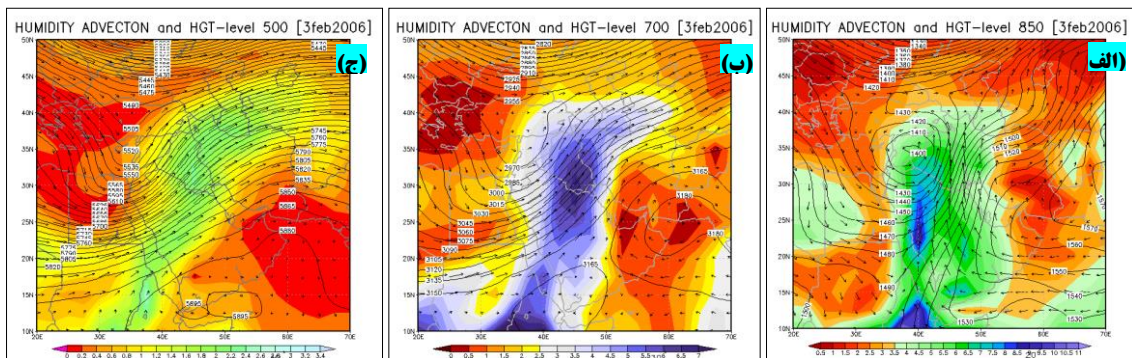
پرفشار روی سامانه کم فشار جنوب مدیترانه با عبور از ترکیه و دریای سیاه به بخش‌های غربی



شکل ۱۱: نقشه فشار تراز دریا در روزهای ۱ فوریه (الف)، ۲ فوریه (ب) و ۳ فوریه (ج) ۲۰۰۶.

روی دریای سرخ به جلو ناوه بریده تزیق نموده- اند. جریان جنوبی با عبور از روی دریای سرخ رطوبت قابل توجهی را با خود حمل نموده و در نهایت با جریان غربی که رطوبت را از سمت دریای مدیترانه با خود شار نموده است همگرا شده و موجب افزایش قابل توجه محتوای رطوبتی سامانه چرخندی مدیترانه‌ای شده‌اند. در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲ الف) و ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲ ج) محدوده بیشینه رطوبت نزدیک به مرزهای غربی ایران مشاهده می‌شود. به این دلیل در زمان رخداد بارش ۳ فوریه مطابق با جدول ۴ ایستگاه‌های واقع در غرب استان‌های کردستان، کرمانشاه و ایلام از شدت قابل توجهی از بارش برخوردار بوده‌اند، اما به سبب حرکت ناوه به سمت شمال غربی ایران محتوای غالب رطوبتی مسیری جنوبی - شمالی داشته و بیشتر ایستگاه‌های واقع دامنه‌های داخلی و شرقی زاگرس در غرب ایران (جدول ۴) در مسیر جریان اصلی رطوبت سامانه قرار نگرفته و از بارش اندکی برخوردار بوده‌اند.

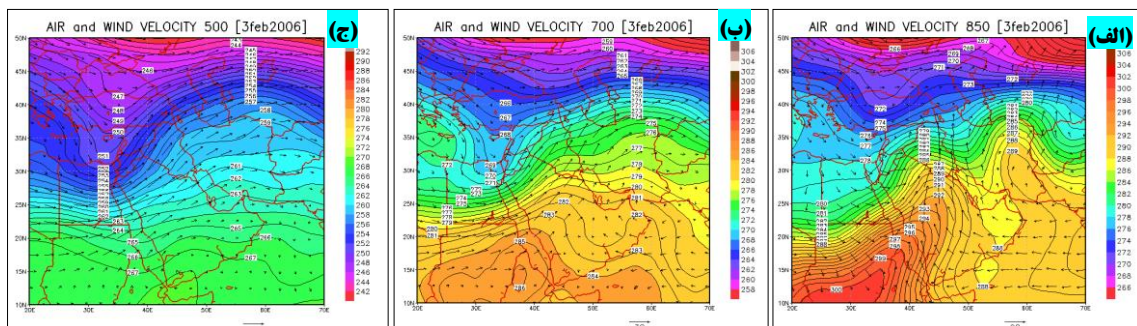
مطابق با شکل ۱۲ استنباط می‌شود که یک ناوه بریده در نحوه حرکت و فعالیت این سیستم تأثیر مهمی داشته است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال - (شکل ۱۲ ج) استقرار یک ناوه که از جریان اصلی بادهای غربی جدا شده است بر روی ترکیه و شرق مدیترانه موجب شده است که بخش‌هایی از سوریه، عراق و شمال غربی ایران زیر نفوذ وزش بادهای جنوب غربی در سمت شرق ناوه قرار گیرند. البته این ناوه داری عمق قابل توجهی نبوده و اثر آن به عرض‌های پایین‌تر نرسیده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲ الف) در مرکز این ناوه یک هسته کم ارتفاع (۱۴۰۰ ژئوپتانسیل متر) تشکیل شده است که چون از جریان اصلی بادهای غربی در عرض‌های بالاتر جدا شده است تشکیل یک بلوکینگ کم ارتفاع بریده را داده - است. همزمان گسترش شرایط واچرخندی به بخش‌های جنوب شرقی عربستان شرایط را برای شکل‌گیری و فعالیت جریان جنوبی فراهم نموده - است. در نتیجه جریانات جنوبی در بخش شمالی دریای سرخ با جریانات غربی همگرا شده و به صورت یک جریان به سمت شمال رطوبت را از



شکل ۱۲: توزیع نم ویژه (گرم در هزار) و ارتفاع ژئوپتانسیل، ۳ فوریه ۲۰۰۶ (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب)، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج).

وزش دمایی سرد و گرم در شمال غربی ایران شکل گرفته است. همان‌طور که در نقشه‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۳ ب) و ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۳ ج) نیز مشاهده می‌شود بیشتر مساحت ایران زیر نفوذ منطقه فراز دمایی گرم قرار داشته است.

به تبع حرکت ناوه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۳ الف) وزش دمایی گرم که ابتدا از روی سودان (۳۰۰ درجه کلونین) به سمت مرکز عربستان در راستای جنوب غربی - شمال شرقی جریان داشته به سمت شمال تغییر مسیر داده - است. وزش دمایی سرد نیز محدود به بخش‌های شمال غربی ایران بوده است. بنابراین خط تماس



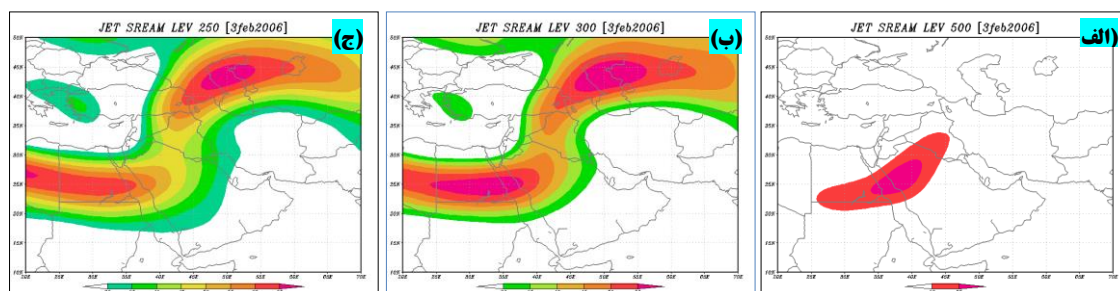
شکل ۱۳: وزش دمایی هوا، ۳ فوریه ۲۰۰۶؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (ب) و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج).

حاره هوای صعود کرده و مرطوب روی دریای سرخ را به سمت ایران جابه‌جا نموده است. در حالی که جت قطبی موجب ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی به بخش شمال غربی ایران شده است. در ترازهای ۳۰۰ (شکل ۱۴ ب) و ۲۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۴ ج) جریان اصلی جت جنب حاره بر روی عراق و عربستان مسیر جنوب به شمال پیدا نموده است. این وضعیت نشان داد

در نقشه جریان جت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۴ الف) هم بیشتر بخش‌های مرکزی و شرقی ایران در زیر خروجی سمت راست محور جت قرار داشته جایی که محل واگرایی فوقانی جریان هوا می‌باشد. محور جریان جت جنب حاره در این تراز در بخش شمالی دریای سرخ و عربستان کشیده شده است. موقعیت جریان جت قطبی نیز قسمت‌های مرکزی دریای خزر بوده است. جت جنب

شده است. ثبت مقادیر بارش سنگین در ایلام (۱۶۲ میلی‌متر) و مریوان (۱۱۸ میلی‌متر) به دلیل نزدیکی به هسته و مسیر اصلی جریان رطوبت سامانه بارشی مدیترانه‌ای بوده‌است.

که جریانات غربی بر روی نواحی شمال غربی ایران به سمت عرض‌های بالاتر توسعه یافته‌اند. بنابراین شدت فرین بارشی ۳ فوریه به تبع جابه‌جایی ناوه بریده مدیترانه و مسیر فرارفت گرما و رطوبت محدود به ایستگاه‌های دامنه‌های غربی زاگرس



شکل ۱۴: موقعیت جریان جت حاره، ۳ فوریه ۲۰۰۶؛ تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (ب) و تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال (ج).

۲۰۱۷ نشان داد که بارش روزانه بیش از ۴۱ میلی‌متر حد آستانه رخداد شدیدترین فرین‌های زمستانی بوده است. نتایج تحلیل همیدی نشان داد که در شرایطی فرین‌های شدید روزانه اتفاق افتاده است که سیستم‌های پرفشار تراز دریا بر روی ایران تضعیف شده و کم فشارهای مدیترانه-ای و سودانی بر روی منطقه غرب ایران استقرار یافته است. در تراز میانی جو ناوه جریان غربی بر روی دریای سرخ بسط یافته است و سیستم واچرخند عربستان در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال بر روی مرکز و جنوب عربستان فعالیت داشته است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال محور جت جنب حاره در بخش جنوب شرقی ناوه شکل گرفته و در جابجایی افقی هوای ناپایدار مؤثر بوده است. غالب محتوای رطوبتی بارش‌ها از طریق دریای عرب و سرخ تأمین شده است که توسط سیستم واچرخندی روی عربستان در نهایت به صورت یک جریان جنوبی به درون سامانه مدیترانه‌ای تزریق شده است. آرایش

### نتیجه‌گیری

فرین، رویدادی شدید و غیر معمول در مشاهدات یک سری زمانی می‌باشد که ممکن است از یک آستانه خاص فراتر رود. فرین‌های بالا در سری زمانی بارش‌های روزانه نمونه‌ای از این رویدادها است که پیامد آنها، وقوع مخاطرات آب‌وهوایی همانند سیلاب می‌باشد. بسیاری از مطالعات انجام شده قبلی در ارتباط با فرین‌های بارش به تحلیل روندها فرین‌ها و ارتباط آنها با شاخص‌های نوسان آب اقیانوس‌ها اختصاص داشته است. اما تکرار و فراوانی فعالیت سامانه‌های بارشی زمستانی در غرب ایران منجر به وقوع فرین‌های بارش روزانه به دفعات در طول یک دوره آماری مشخص شده است. به دلیل نقش این سامانه‌ها در رخداد بارش‌های روزانه زمستانی، آرایش الگوهای همیدی، محتوای رطوبتی، وزش‌های دمایی و مسیر جریان‌های هوا همزمان با رخداد شدیدترین فرین‌ها در پژوهش جاری مورد تحلیل قرار گرفت. پردازش‌های آماری بارش‌های روزانه در دوره ۱۹۹۶ تا

سیستم واچرخندی عربستان به فراتر از مرزهای شمال شرقی ایران موجب عمیق شدن جریان وزش دمایی سرد شمالی به روی غرب ایران شده در نتیجه فرین بارشی ماه ژانویه ماهیتی سرد داشته است. در ماه فوریه استقرار سیستم بلوکینگ بر روی ترکیه و سوریه، بخش‌های شمال غربی ایران را متأثر نموده و جریان رطوبت دریای سرخ نیز مسیر شمالی پیدا نموده است. به این دلیل سنگین‌ترین بارش‌ها به سبب نزدیکی به مسیر جریان رطوبت در ایستگاه‌های دامنه غربی زاگرس همانند ایلام شکل گرفته و باقی ایستگاه‌ها به دلیل دوری از مسیر رطوبت بارش ناچیزی داشته‌اند.

هم‌مدیدی وقوع فرین بارش ماه دسامبر به شکل عمیق شدن ناوه مدیترانه بر روی دریای سرخ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و هدایت جریان رطوبت سطوح زیرین در غالب یک جریان همگرایی از بادهای جنوبی و غربی به سمت ایران بوده است. در حالی که در ماه‌های ژانویه و فوریه استقرار سیستم بلوکینگ کم ارتفاع بریده در تراز میانی جو نقش مهمی در رخداد فرین بارش داشته است. در این ماه ادغام دو سیستم کم فشار مدیترانه و سودانی در تراز دریا بر روی غرب ایران بارش سنگین را در بیشتر ایستگاه‌ها به همراه داشته - است. در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال گسترش فراز و وزش دمایی گرم حاصل از استقرار

## پانویس

### 1-Extreme

پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۱۷، شماره ۴۳، ص ۱-۲۰.

-براتی، غ.، بذاق جمالی، ج. و ملکی، ن.، ۱۳۹۱. نقش واچرخندها در رخداد بارش‌های سنگین دهه اخیر غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۸۰، ص ۸۸-۹۸.

-عساکره، ح.، ۱۳۹۱. تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهر زنجان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۱۰۵، ص ۱-۱۸.

-عساکره، ح.، ترکرانی، ف. و سلطانی، ص.، ۱۳۹۱. مشخصات زمانی- مکانی بارش‌های روزانه فرین بالا در شمال غرب ایران، تحقیقات منابع آب ایران، سال ۸، شماره ۳.

-عساکره، ح. و سیفی پور، ز.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی مکانی بارش سالانه ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۹، ص ۱۵-۳۰.

### منابع

-احمدی، م.، لشکری، ح.، آزادی، م. و کیخسروی، ق.، ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ، پژوهش‌های دانش زمین، سال ۶، شماره ۲۳، ص ۵۲-۳۴.

-اکبری، ز.، نصیری، ف. و سیاه منصور، م.، ۱۳۹۳. تحلیل الگوهای سینوپتیکی و شاخص‌های ناپایداری منجر به وقوع بارش‌های نیمه سنگین و سنگین در استان لرستان، مجموعه مقالات ارائه شده توسط کارکنان هواشناسی استان لرستان، ص ۱-۱۲.

-امینی، م.، لشکری، ح.، کریمپور، م. و حجتی، ز.، ۱۳۹۲. تحلیل سینوپتیک سامانه‌های همراه با بارش سنگین و سیل‌زا در حوضه رودخانه کشکان برای دوره آماری (۱۳۸۴-۱۳۵۰). نشریه علمی-

- لشکری، ح.، قائمی، ه. و پرک، ف.، ۱۳۹۲. تحلیل رژیم بارندگی منطقه جنوب و جنوب غرب کشور، مجله سپهر، دوره ۲۲، شماره ۸۵، ص ۵۷-۶۳.
- محمدی، ح.، فتاحی، ا.، شمسی پور، ع. و اکبری، م.، ۱۳۹۱. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۲۴، ص ۷-۲۴.
- مسعودیان، ا. و دارند، م.، ۱۳۹۲. شناسایی و بررسی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه‌های اخیر، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲۰، ص ۲۳۹-۲۵۷.
- منتظری، م.، ۱۳۸۸. تحلیل زمانی - مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره ۳۴، ص ۱۴۰-۱۲۵.
- Barcikowska, M.J., Weaver, S.J., Feser, F., Russo, S., Schenk, F. and Stone, D.A., 2018. Euro-Atlantic winter storminess and precipitation extremes under 1.5°C vs. 2°C warming scenarios: earth system dynamics, v. 9, p. 679-699.
- Benestad, R., 2006. can we expect more extreme precipitation on the monthly time scale, Journal of Climate, v. 19, p. 630- 637.
- Feng, P., Wang, B., Liu, D.L., Xing, H., Ji, F., Macdam, I., Ruan, H. and Yu, Q., 2018. Impact of rainfall extremes on wheat yield in semi - arid cropping systems in eastern Australia: climatic change, v. 147, p. 555-569.
- Das, S., Zhu, D. and Chi-Han, C., 2018. An assessment temporal effect on extreme rainfall estimates: PIHAS journal, v. 379, p. 145-150.
- Hellstrom, C., 2005. Atmospheric conditions during extreme and non-extreme precipitation events in Sweden: International J. Climatology, v. 25, p. 631-648.
- Libertino, A., Ganora, B. and Claps, P., 2018. Technical note: space-time analysis of rainfall extremes in Italy: clues from reconciled dataset: hydrology and earth system sciences, v. 22, p. 2705-2715.
- Li, Y., Cai, W. and Campbell, E.P., 2005. statistical modeling of extreme rainfall in southwest western Australia: J. Climate, v. 18, p. 852-863.
- Mekis, E. and Hogg, W.D., 1999. rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series, Atmos.–Ocean, v. 37, p. 53-85.
- Mizrahi, F., 2000. heavy daily Precipitation distribution in east–central France and west European meteorological patterns, theoretical application climatology, v. 66, p. 199-210.
- Cortes, M., Turco, M., Botija, M.L. and Llast, M.C., 2018. The relationship

- between precipitation and insurance data for floods in a Mediterranean region (northeast Spain), *Natural hazards and earth system sciences*, v. 18, p. 857-868.
- Krishnamurthy, C.K.B., Lall, U. and Kwon, H.H., 2009. changing frequency and intensity of rainfall extremes over India from 1951 to 2003: *journal of climate*, v. 22, p. 4737-4746.
- Papalexiou, S.M. and Montanari, A., 2017. Global and regional increase of precipitation extremes under global warming, *water resources research*, p. 1-35.
- Sim, I., Lee, O. and Kim, S., 2019. Sensitivity analysis of extreme daily rainfall depth in summer season on surface air temperature and dew-point temperature: *water*, v. 771, p. 1-21.
- Wang, B., Ding-Qing, H. and Jhun, T., 2006. Trends in Seoul 1778-2004 summer precipitation: *geophysical research letters*, v. 33, p. 1-5.