

مسیریابی کامل و تحلیل سینوپتیک یک نمونه مطالعاتی از سامانه‌های منجر به بارش‌های

سنگین بیش از ۵۰ میلیمتر در جنوب ایران

محمود احمدی^۱، دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.

فرزانه جعفری، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید

بهشتی، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۱۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰

چکیده

بارش‌های سنگین و سیل‌آسای غیرطبیعی در مناطق خشک و کم‌باران و با پوشش گیاهی تنک در اغلب موارد منجر به رخداد سیلاب‌های با دبی بالا و غیرقابل‌پیش‌بینی شده و همه‌ساله خسارات زیادی در بخش‌های تأسیسات زیر بنایی، عمرانی و کشاورزی برای مناطق نیمه جنوبی کشورمان به بار می‌آورند. هدف اصلی این پژوهش بررسی و شناسایی الگوهای هم‌دید و ترمودینامیک بارش‌های سنگین و مخاطره‌آمیز جنوب ایران است. بدین منظور از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب بندرعباس، یزد، کرمان، جیرفت، شیراز و یاسوج و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی آمریکا برای دوره ۴۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۷۰) استفاده شده است. با بررسی بارش‌های روزانه بیش از ۵۰ میلی‌متر ایستگاه‌های انتخابی، سامانه‌های بارش سنگین و سیل‌آسا شناسایی گردید و با استفاده از داده‌های رقومی فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم جو، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، نم ویژه نقشه‌های مربوطه ترسیم و مورد واکاوی قرار گرفتند. جهت تعیین مسیر و منشأ ۱۰۵ سامانه‌ی بارشی ورودی به منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی گردید. یافته‌ها نشان داد که بارش‌های سنگین منطقه جنوب ایران در قالب ۴ الگوی هم‌دید رخ می‌دهند. به ترتیب بیشترین تعداد سامانه‌هایی که برای منطقه بارش شدید داشتند، سامانه‌های سودانی، ادغامی سودانی-مدیترانه‌ای روی عراق، ادغامی سودانی-مدیترانه‌ای در شرق مدیترانه و مدیترانه‌ای بودند از لحاظ منابع تغذیه رطوبتی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دریای عرب، خلیج عدن، سرخ و خلیج فارس نقش داشته‌اند؛ اما در ترازهای ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال خلیج عدن، دریای سرخ و خلیج فارس تأمین رطوبت بارش‌های سیلابی را بر عهده داشته‌اند. بیشترین میزان رطوبت مربوط به دریای عرب بوده و مدیترانه کمترین نقش را در انتقال رطوبت داشته است.

واژه گان کلیدی: بارش سنگین، سیل‌آسا، مخاطره اقلیمی، کم‌فشار، جنوب ایران.

مقدمه

کشور ایران به دلیل شرایط و موقعیت جغرافیایی خاص، از شرایط متفاوت بارشی برخوردار است به نحوی که علی رغم دارا بودن بارشی معادل یک سوم بارش میانگین بارش جهانی، دارای نوسان شدید در رژیم بارش است. سیلاب ها در طبقه بندی جهانی در زمره‌ی مهمترین بلایای طبیعی قرار می گیرند. در دهه های اخیر، به دلیل دخالت های نابجا و مدیریت نادرست انسان در استفاده از سرزمین، شدت و تواتر وقوع این بلایای طبیعی افزایش یافته است (عباس زاده و همکاران، ۱۳۸۹). بروز سیلاب های سهمگین در اثر تغییرات آب و هوایی طی دهه های اخیر سبب بروز خسارت های فراوانی در نواحی مختلف دنیا شده است و در نواحی خشک تأثیر این تغییرات محسوس تر است (نگارش و همکاران، ۱۳۹۲). افزایش سطوح نفوذ ناپذیر که ناشی از شهرسازی و احداث ساختمان بر خاک های نفوذ پذیر است، طبعاً از سطوح نفوذ پذیر حوضه که قادر به جذب بخشی از بارندگی است، کاسته و در نتیجه، بر حجم کل رواناب شهر افزوده است (طاهری بهبهانی و بزرگ زاده، ۱۳۷۵: ۲).

یکی از شاخه های مهم علم اقلیم شناسی سینوپتیک، شناسایی حالت های فرین ویژگی های محیطی، مانند طوفان های شدید و به ویژه بارش های سنگین و سیل آسا است. سیل معمولی ترین خسارت محیطی است. هرساله سیلاب ها بیش از ۲۰۰۰ نفر را از بین می برند و متأسفانه بر ۷۵ میلیون نفر از جمعیت مردم جهان تأثیر می گذارند (Alijani et al, 2008). سیل از جمله مخاطرات اقلیمی است که نه تنها در ایران بلکه در بیشتر نقاط دنیا از فراوانی زیادی برخوردار است و سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی را به بار می آورد. در ایران نیز این پدیده از فراوانی بسیاری برخوردار است به طوری که بیش از ۲ برابر کل رخدادهای مخاطرات دیگر در طول دوره ۱۳۸۶-۱۳۷۰ اتفاق افتاده است و با ۱۰۹۵ رخدادهای سهم زیادی را در خسارت جانی به بار آمده در ایران را به خود اختصاص داده است. ۲۵۴۵ نفر کشته و ۱۳۰۴۸ نفر زخمی، از مواردی هستند که مخاطره سیل در طول دوره آماری در ایران بر جای گذاشته است. به طور میانگین در هرسال ۶۰ رویداد سیل در ایران اتفاق می افتد و میانگین کشته شده ها از بالای سیل در هرسال ۱۴۱ نفر است یعنی در برابر هر رخدادهای سیل در هرسال بیشتر از ۲ نفر می میرند، بالاترین رقم تلفات انسانی متعلق به بندرعباس با ۳۸۸ و مشهد ۳۸۷ نفر است (ذبیح زاده، ۱۳۸۸: ۸۹).

در زمینه تحلیل سینوپتیک رخدادهای بارش سنگین مطالعات گسترده ای انجام شده است در تایوان (Chen et al, 2001) بارش های سنگین بیش از ۱۰۰ میلی متر بعد از ظهرها را در طی سال های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ در فصل بارشی مطالعه کردند. طی این دوره پنج موج بارش مشخص و در دو گروه جداگانه طبقه بندی گردید. گروه اول بارش هایی را شامل می شد که در زمان آن ها جریان های جوی جهت جنوبی داشتند و گروه دوم بارش هایی را شامل می شد که جریان های جوی در آن زمان جهت جنوب غربی داشته اند. با یک رویکرد آماری (Jansa and et.al, 2001) تأثیر چرخندهای غرب مدیترانه بر روی ۹۴۸ بارش سنگین بیش از ۶۰ میلیمتر و ۲۵۹ بارش ابرسنگین بیش از ۱۰۰ میلی متر که در طی ۵ سال، از ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶ در غرب مدیترانه ثبت شده بود را مطالعه کردند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد که در ۹۰ درصد موارد، مراکز چرخندی در مجاورت و همسایگی محل وقوع بارش های سنگین غرب مدیترانه واقع شده اند. این مراکز چرخندی در موقعیتی قرار می گرفتند که برقراری جریان هوای مدیترانه به سوی محل وقوع بارش سنگین را تقویت می کردند. در ضمن برخی از این رویدادها، به وسیله سامانه های همرفتی میان مقیاس به وجود آمده بودند مطالعه الگوهای همدید مؤثر در شکل گیری بارش های سنگین نیگاتا-فوکوشیما و فوکویی نشان داد که

رویدادهای بارشی سنگین در نتیجه تقویت ناپایداری همرفتی بر روی منطقه جبهه‌ای بایو است؛ و این رویدادها توسط جریان‌های هوای مرطوب تراز پایین و هوای خشک تراز میانی تحریک شده بودند (Kato and Aranami, 2005).

شرایط جو را در زمان رخداد بارش‌های سنگین و غیرسنگین در سوئد نشان داد که تفاوت‌های میانگین شرایط جوی در زمان رویداد بارش‌های سنگین تابستانی (ژوئن تا آگوست) و غیرسنگین بر اساس تیپ‌های هوای لمب (چرخندی، و اچرخندی و جهت دار)، سهم رویدادهای بارش که در زمان تیپ چرخندی رخ داده بود برای رویداد بارش غیرسنگین ۴۵ درصد و برای رویداد بارش‌های سنگین ۷۰ درصد است (hellstrom, 2005). همچنین پژوهشی با عنوان الگوهای جوی به وجود آورنده‌ی بارش‌های سنگین جزایر بالریک واقع در شرق اسپانیا نمونه دیگری در این زمینه می‌باشد. آن‌ها در مجموع ۱۵۷ روز بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر مشخص کردند که از این تعداد بارش ۵۰ درصد در فصل پاییز رخ داده بود و تقریباً ۸۷ درصد بارش‌های سنگین در زمانی رخ داده بود که یک مرکز چرخندی در شعاع ۶۰۰ کیلومتری جزیره واقع شده بود. بارش‌های سنگین سهم کمی از تعداد روزهای بارش ایران را شامل می‌شود با این حال این رویدادها منبع اصلی آب کشور به حساب می‌آیند (Lana, 2007). در زمینه شناخت الگوهای سینوپتیک منجر به بارش‌های سنگین در فصل بارندگی در ژاپن، فرض بر این گذاشته شد که الگوهای سینوپتیک توسط نقشه‌های باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و آب قابل بارش می‌توانند به سادگی آشکار شوند و این نقشه‌ها خود سازمان یافته نامیده شد؛ و با استفاده از این نقشه‌ها و تکنیک‌های خوشه‌ای الگوهای سینوپتیک بارش‌های سنگین را به ۸ خوشه تقسیم گردید و نتایج نشان داد که این نقشه‌ها ابزار مؤثری برای آشکارسازی وقایع بارش‌های سنگین می‌باشند (Koji et al, 2007). واکای تغییرات بارش زمستانه عمان از منظر همدید نشان داد که دوره مرطوب در منطقه عمان و خاورمیانه، بیشتر با فشار منفی سطح زمین بر روی مرکز آسیا تا شمال شرقی عمان و ناهنجاری مثبت فشار سطح زمین در غرب اروپا همراهی می‌شود. این الگوی فشار محرک انتقال رطوبت به سمت غرب بر روی شبه‌جزیره عربستان می‌شود (Charabi Hatrush, 2010). (Dibajnia et al, 2010) به بررسی امواج ناشی از توفان گونو پرداخته‌اند و بیان کرده‌اند که توفان گونو شدیدترین توفان حاره‌ای رخ داده در دریای عرب بوده است. در تحلیل تأثیرات اقلیمی توفان گونو بر جنوب شرق ایران نتایج نشان داد که محور پرفشارهای جنب حاره در سطوح پایین به سمت شرق و در سطوح فوقانی به سمت شمال عقب‌نشینی کرده و شرایط را برای روند همرفت شدید و بارش‌های سنگین در این نواحی آماده ساخته است. (Akbari et al, 2016) در بررسی نقش سامانه بندالی در رخداد بارش ژانویه ۲۰۰۸ جنوب شرق ایران نشان دادند که در زمان بارش نفوذ کم‌فشار سودانی در سطح زمین و سامانه بندالی در تراز میانی جو با راستای شمالی به جنوب موجب دینامیک شدن کم‌فشار و رخداد بارش سیل‌آسا در منطقه شده است.

در ایران نیز مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. لشکری با بررسی کم‌فشار سودانی و نقش آن در بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران مشخص نمود، سامانه کم‌فشار سودانی به‌عنوان یکی از عناصر سازنده گردش عمومی جو در شمال آفریقا است و در بیشتر ایام سال بر روی غرب اقیانوس و کشور سودان تشکیل می‌شود و چهار الگوی کلی ناشی از نحوه آرایش سامانه‌های سیبری، و اچرخند شمال آفریقا و شبه‌جزیره عربستان و ناوه شمال آفریقا و کم‌فشار سودان در سطح‌های زیرین و میانی جو، منجر به رخداد بارش‌های سنگین در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۲). مفیدی نیز طی تحقیقاتی نقش اصلی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌زا در ایران را از نظر همدیدی در کشیده تاوه قطبی، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌داند که به‌عنوان منبع

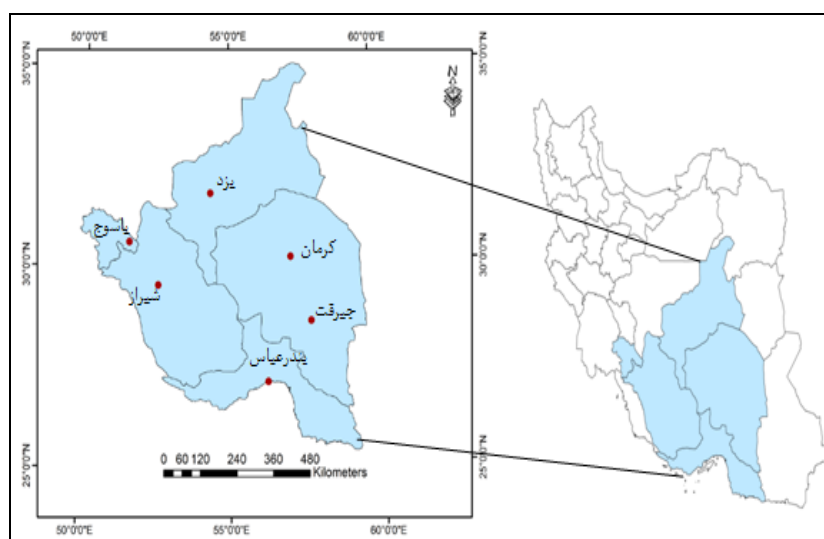
اصلی تاوایی برای پیدایش الگوی گردش ناهنجار و تقویت سلول هدلی یا رودباد جنب حاره بر روی مدیترانه و شمال آفریقا وارد عمل می‌شود (مفیدی، ۱۳۸۴).

مهم ترین عامل شکل گیری بارش های سنگین کرمان حرکت رو به شرق و تقویت فرود شرق مدیترانه در تروپوسفر میانی است و زمانی که با حرکت رو به پایین سامانه تاوه قطبی همراه است بارش های سنگینی در سطح ایستگاههای استان رخ می دهد (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۹). واکاوی و تحلیل شرایط همدیدی و ترمودینامیک رخداد بارش در منطقه‌ی شیرکوه نشان داد که بارش‌های این منطقه، ناشی از سه سامانه همدیدی: استقرار کم‌فشار سودانی روی شبه‌جزیره‌ی عربستان؛ سامانه‌های ترکیبی سودانی و مدیترانه‌ای و سامانه‌های مدیترانه‌ای هستند (امیدوار، ۱۳۸۶). در مطالعه‌ای تحت عنوان واکاوی همدید سیلاب آبان ماه ۱۳۹۰ در شهرستان بهبهان و لیکک نتایج نشان داد که تشکیل و گسترش مراکز کم‌فشار مدیترانه-سودانی به دلیل قرارگیری بین مراکز پرفشار اروپا و پرفشار جنب‌حاره‌ای جنوب شرق عربستان، وجود ناوه عمیق شمال آفریقا از شرق مدیترانه تا شمال سودان و قرارگیری منطقه پژوهش در خروجی رودباد جنب‌حاره‌ای نقش مهمی در تقویت کم‌فشار مدیترانه-سودانی و حرکت شرق سوی آن و درنهایت رخداد سیلاب شده است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳). مسعودیان و کارساز (۱۳۹۳) به بررسی و تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که فرود منتهی‌الیه شرق دریای مدیترانه با کمی تغییر موقعیت در جنوب غرب ایران و منطقه کزفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در رخداد بارش‌های سنگین این منطقه نقش اساسی دارند. نتایج کار احمدی و علیجانی (۱۳۹۳) نشان داد که چهار الگو با اغلب بارش‌های سنگین ارتباط دارند که شناسایی آن‌ها با عمیق تر شدن ناوه سوریه، جابه‌جایی پرفشار سیبری به غرب، کم‌فشار سودانی، افزایش سرعت و پایین آمدن پایه رودباد جنب حاره، سامانه سرد چال، کم‌فشار قوی، کم ارتفاع بسته تا تراز بالایی تروپوسفر و حضور همزمان مؤلفه‌های گرم و سرد، گردش جو هنگام تغییر فصل امکان ایجاد بارش‌های سنگین را به وجود می‌آورند. مشکواتی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی ساختار گردش جو در طی رخداد بارش سنگین ۲۱ دسامبر ۱۹۹۲ ایستگاه شیراز، نفوذ کم فشار از منطقه دریای سرخ و عربستان و در سطوح میانی واقع شدن ناوه و رودباد جنب حاره با ایجاد واگرایی شدید نقش مهمی در توسعه ناپایداری‌ها داشته اند. (احمدی و جعفری، ۱۳۹۴) نشان دادند که گسترش کم فشار پاکستان-خلیج فارس از روی سرزمین عربستان، ناوه عمیق شرق مدیترانه و قرار گیری رودباد ادغامی جنب حاره- قطبی در نیمه شرقی ناوه موجب واگرایی جریان هوای ناپایدار و بروز بارش سیل آسای ۲۳ فروردین ۱۳۹۴ استان قزوین شده است. احمدی و جعفری (۱۳۹۴) رخداد بارش ۱۰۴ میلی‌متری ۱۴ مارس ۲۰۱۴ ایستگاه بندرعباس را در گسترش ناوه عرض‌های فوقانی بر روی خاورمیانه، فعال شدن کم‌فشار سودانی و نفوذ آن بر روی منطقه و استقرار رودباد جنب حاره در جلوی ناوه که موجب فرارفت شدید هوای گرم و مرطوب دریاهای جنوبی گردیده، می‌دانند. براتی و همکاران (۱۳۹۴) در واکاوی همدید بارش‌های سنگین بهاره استان زنجان به عواملی همچون حرکت شرق سوی ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در نیمه شرقی مدیترانه، ادغام رودباد جنب حاره و قطبی و جهت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال از سمت دریای مدیترانه به‌عنوان مهم‌ترین منبع رطوبتی در ایجاد شرایط برای شکل گیری بارش‌های سنگین اشاره کرده‌اند. مصطفایی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی بارش های شدید و فراگیر ایران نقش کم فشار ادغامی سودانی-مدیترانه ای و ناوه سوریه- پشته‌ی دریای عرب را اثرگذارترین الگوی بارشی ایران میدانند که اغلب سراسر کشور را با شدت های متفاوت در بر می گیرد. بلیانی و سلیقه (۱۳۹۵) نقش کم فشار شرق

دریای مدیترانه، سیاه و جنوب دریای خزر را در ایجاد الگوهای بارشی مختلف در حوضه های آبریز حله و مند مؤثر می دانند. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نقش کم فشار سودانی در تراز دریا و بندال دوقطبی در تراز میانی تروپوسفر را در رخداد بارش های سیلابی فروردین ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران را حائز اهمیت می دانند. ذکی زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز استقرار رودباد با سرعت ۶۵ متر بر ثانیه در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در نیمه جنوبی ایران به همراه تشکیل ناوه سردچالی بر روی خزر را دلیل رخداد بارش های سنگین و فراگیر در ایران دانسته اند. عموم تحقیقات انجام شده گویای نقش مسلم جریان های ترازهای میانی و بالای تروپوسفر در رخداد بارش های سنگین در ایران است. اما این تحقیق الگوهای فشار تراز دریا و موقعیت ناوه تراز میانی جو در زمان رخداد بارش های سنگین را طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۷۰ مورد بررسی قرار داده است که نتایج آن به شناسایی سامانه های سیل آسا و مخرب به منظور برنامه ریزی دقیق و اجرای طرح های مدیریت بحران جهت کاهش بلایا در منطقه کمک می کند.

داده ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه شامل شش ایستگاه (جدول ۱) واقع در استان های هرمزگان، کرمان، یزد، کهگیلویه و فارس است که در عرض جغرافیایی ۲۷ تا ۳۲ درجه شمالی و طول ۵۰ تا ۵۸ درجه شرقی قرار گرفته اند. (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه جنوب مرکزی ایران

مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه در جدول ۱ درج گردیده است.

در این مطالعه از دو دسته داده های زمینی و جو بالا به شرح ذیل استفاده شده است:

الف- استفاده از داده های بارش روزانه دوره آماری ۴۴ ساله (۱۹۷۰-۲۰۱۴) ایستگاه ها شناسایی شده که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده

ب) استفاده از داده های سطوح بالا. شامل داده های بازکوی شده مؤلفه های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، باد مداری، باد نصف النهاری، امگا و رطوبت ویژه که از سایت مرکز ملی پیش بینی محیطی در کلرادو اخذ شده اند.

جدول (۱). مشخصات جغرافیایی منطقه جنوب مرکزی ایران

| ردیف | نام ایستگاه | عرض جغرافیایی شمالی | | طول جغرافیایی شرقی | | ارتفاع از سطح دریا |
|------|-------------|---------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|
| | | درجه | دقیقه | درجه | دقیقه | |
| ۱ | بندرعباس | ۲۷ | ۱۰ | ۵۶ | ۱۵ | ۱۰,۷۷ |
| ۲ | کرمان | ۳۰ | ۱۵ | ۵۶ | ۵۸ | ۱۷۵۳,۸ |
| ۳ | یزد | ۳۱ | ۵۳ | ۵۴ | ۲۱ | ۱۲۱۵ |
| ۴ | شیراز | ۲۹ | ۳۲ | ۵۲ | ۳۶ | ۱۴۸۴ |
| ۵ | یاسوج | ۳۰ | ۴۰ | ۵۱ | ۳۵ | ۱۸۳۹ |
| ۶ | جیرفت | ۲۸ | ۴۰ | ۵۷ | ۴۴ | ۶۸۷,۸ |

برای انجام تحلیل های سینوپتیک از روش محیطی به گردشی استفاده شده است؛ به این نحو که ابتدا بارش های سنگین بیش از ۵۰ میلیمتر شناسایی و سپس ابعاد سینوپتیک آنها در بازه فضایی بین ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی و ۱۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی مورد بازکاوی قرار داده شده اند. زمان تحلیل ها نیز ساعت ۰۰ جهانی (۳:۳۰ بوقت محلی) در نظر گرفته شد تا تمامی الگوهای جوی قابل ردیابی باشند.

بعد از بررسی بارش های روزانه طی دوره آماری کلیه بارش های بیش از ۵۰ میلی متر ایستگاه های منتخب یزد، جیرفت، شیراز، بندرعباس و یاسوج، تعداد ۱۱۸ رخداد بارش سنگین در منطقه مورد بررسی شناسایی شد. که پس از تعیین و جداسازی روزهای فراگیر، ۱۰۵ سامانه بارشی رصد و جهت تحلیل شناسایی گردید.

پس از ارزیابی و کنترل نقشه های فشار تراز دریای سامانه های بارشی ۴ الگوی همدید انتخاب و مشخص گردید جدول (۲).

جهت بررسی شناسایی منابع و جهت فرارفت رطوبت نیز از رابطه ی زیر در محیط گرادس استفاده شد.

$$\text{Humadv} = -1 * ((u * dx) / (\cos(\text{lat} * 3.1416 / 180) * dx) + v * dhy / dy) / 6.37e6$$

در رابطه بالا humadv بر حسب گرم بر کیلوگرم در ثانیه و (v, u, h) به ترتیب عبارتند از رطوبت ویژه، باد مداری و باد نصف النهاری هستند که وزش رطوبت را به صورت ترکیبی با بردار باد محاسبه گردیده است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۱). برای تفسیر و بررسی دقیق تر نیز نقشه وزش رطوبتی با نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز های ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال به صورت ترکیب شده برای نمونه الگوی کم فشار مدیترانه ای ترسیم گردید.

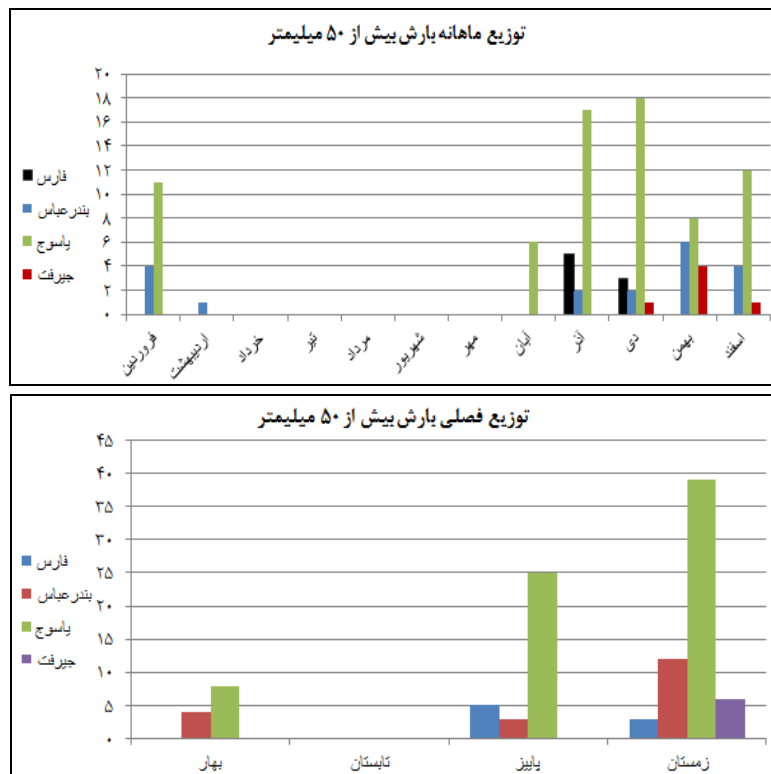
جهت انجام مسیریابی سامانه های کم فشار همه نقشه های فشار تراز دریای سامانه های بارشی سیل آسا از ۴۸ ساعت قبل از بارش تا روز بارش واکاوی گردید. سپس مراکز کم فشار بسته شده بر روی نقشه فشار تراز دریای هر سامانه در هر روز به صورت نقطه معلوم و این نقاط در پایان به صورت منحنی هایی به هم متصل گردیدند. برای ترسیم موقعیت الگوی ناوه در روزهای بارش ابرسنگین طی دوره آماری با تحلیل نقشه های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، ابتدا مرکز کم ارتفاع سامانه مشخص و تا عرض جغرافیایی انتهای عمیق ناوه به صورت خطوطی با رقومی کردن ترسیم گردید.

جدول ۲. مشخصات الگوهای همدید شناسایی شده بارش‌های بیش از ۵۰ میلی‌متر جنوب مرکزی ایران (۱۹۷۰-۲۰۱۴)

| ایستگاه | تعداد سامانه بارشی | سودانی | ادغامی روی عراق | ادغامی در شرق دریای مدیترانه | مدیترانه‌ای |
|----------|--------------------|--------|-----------------|------------------------------|-------------|
| فارس | ۸ | ۸ | | | |
| | | م ۵۵۹ | | | |
| یزد | ۰ | | | | |
| | | | | | |
| ياسوج | ۷۲ | ۳۷ | ۱۴ | ۱۴ | ۷ |
| | | ۱۷۰۲,۴ | ۵۹۸ | ۹۴۲,۵ | ۴۲۳ |
| جیرفت | ۶ | ۵ | ۱ | | |
| | | ۳۸۰ | ۵۲ | | |
| بندرعباس | ۱۹ | ۹ | ۶ | ۴ | |
| | | ۷۳۶,۸ | ۶۲۱ | ۳۱۸ | |

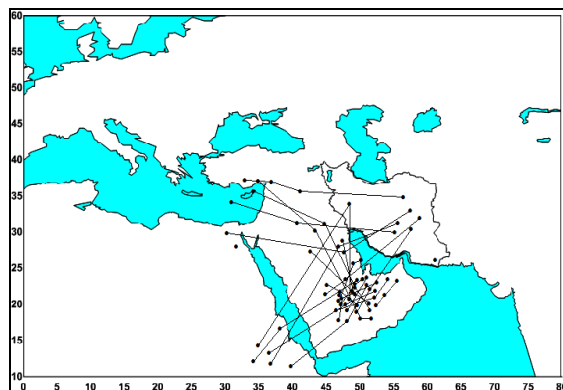
بحث و تفسیر نتایج

نتایج نشان داد از نظر زمانی بیشتر بارش‌های سنگین به ترتیب در ماه‌های دی، آذر، بهمن، اسفند و آبان رخ داده است. در مجموع نیز تمامی بارش‌های فوق سنگین از آذر تا اردیبهشت‌ماه به وقوع پیوسته‌اند. با توجه به جدول ۲ در ایستگاه یزد سامانه بارشی بیش از ۵۰ میلی‌متر طی دوره ۴۴ ساله مشاهده نشد و در استان کرمان نیز تنها ایستگاه جیرفت با سامانه‌های بارشی ابرسنگین مواجه بوده است. توزیع فصلی بارش‌های بیش از ۵۰ میلی‌متر نیز نشان می‌دهد که رژیم بارش در منطقه مورد پژوهش زمستانی بوده و بیشتر بارش‌ها در فصل زمستان رخ می‌دهند. بعد از زمستان، پاییز و بهار بیشترین سهم این نوع بارش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. طی دوره ۴۴ ساله از ماه خرداد تا مهر بارش بیش از ۵۰ میلی‌متری در ایستگاه‌های مورد بررسی ثبت نشده است. اما از ماه آبان با عقب نشینی سامانه‌های پرارتفاع دینامیک به عرض‌های جنوبی و نفوذ بادهای غربی از عرض‌های بالا بر روی منطقه، شرایط برای رخداد بارش‌های سنگین مهیا می‌گردد (علیجانی، ۱۳۹۰). همچنین به ترتیب ایستگاه‌های یاسوج، بندرعباس، فارس و جیرفت بیشترین رخداد بارش‌های بیش از ۵۰ میلی‌متر را به خود اختصاص داده‌اند.



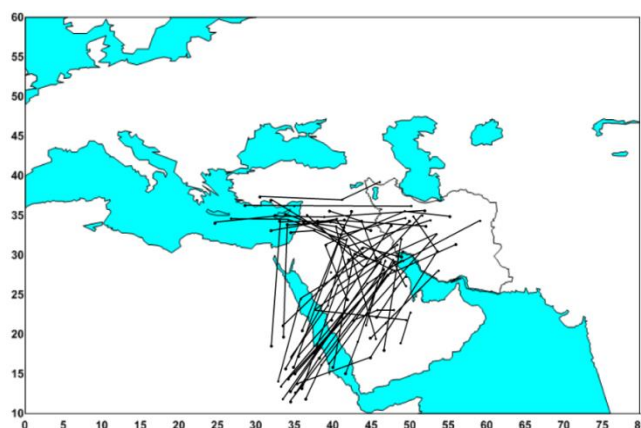
شکل ۲. الف: توزیع ماهانه، ب: توزیع فصلی بارش های بیش از ۵۰ میلیمتر ایستگاههای مورد پژوهش

شکل ۲ منشأ و مسیر سامانه‌های بارشی سودانی، ادغامی سودانی-مدیترانه ای روی عراق و ادغامی سودان-مدیترانه ای در شرق مدیترانه را برای ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بیشترین تمرکز مراکز کم‌فشار در امتداد طول ۴۵ تا ۵۵ درجه شرقی و ۱۷ تا ۲۵ درجه عرض شمالی و در شرق شبه‌جزیره عربستان و جنوب خلیج فارس است. به‌نحوی که در زمان رخداد بارش‌های سیل‌آسا مراکز عموماً در جنوب خلیج فارس و با راستای جنوب غربی-شمال شرقی به سمت ایستگاه بندرعباس کشیده شده است. بیشتر مراکز با ۹ سامانه بارشی سنگین از نوع کم‌فشار سودانی، ۶ سامانه از نوع کم‌فشار ادغامی سودانی-مدیترانه ای روی عراق بوده و ۴ سامانه بارشی نیز ادغامی سودان-مدیترانه در شرق مدیترانه بوده است. تمرکز مراکز کم‌فشار سودانی در شرق عربستان، جنوب خلیج فارس و تنگه‌ی هرمز و در عرض ۲۰ تا ۲۵ درجه شمالی و ۴۷ تا ۵۵ درجه طول شرقی می‌باشد؛ به‌طوری‌که از سمت جنوب کشور بر روی ایران گسترش یافته است؛ اما مراکز کم‌فشارهای ادغامی عموماً در ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی و ۵۵ تا ۶۰ درجه طول شرقی قرار گرفته‌اند و در زمان بارش تا مناطق میانی و شرقی ایران نیز حرکت کرده است. سامانه‌های مدیترانه‌ای اغلب در غرب ایتالیا و دریای آدریاتیک تشکیل شده و به‌طرف شرق حرکت می‌کنند. مهم‌ترین منطقه ادغام عموماً در عرض ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی در شرق مدیترانه، شمال عربستان و جنوب عراق بوده است. مراکز کم‌فشار سودانی با حرکت به‌طرف شمال عربستان و عراق با مراکز بسته کم‌فشار مدیترانه‌ای ادغام شده و در بیشتر موارد مسیر غربی-شرقی را به سمت جنوب ایران داشته‌اند.



شکل ۲. مراکز و مسیریابی سامانه‌های سودانی و ادغامی ایستگاه بندرعباس

در مرحله بعد برای ایستگاه پر بارش یاسوج نیز مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار برای بارش‌های بیش از ۵۰ میلی‌متر به انجام رسید (شکل ۳). با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌شود که مراکز کم‌فشار موقعیتی غربی‌تر داشته و بیشتر در نیمه مرکزی و شمالی عربستان مسیر حرکت سامانه‌ها شکل گرفته است و در طول شرقی ۳۰ تا ۴۵ درجه و در دو عرض جغرافیایی متفاوت یعنی ۱۲ تا ۲۵ درجه و ۳۰ تا ۳۸ درجه شمالی دیده می‌شوند؛ اما تمرکز بیشتر مراکز در عرض‌های جنوبی مناطق واقع در جنوب سرخ و سودان می‌باشد. سامانه‌های کم‌فشار برای ایستگاه یاسوج مسافت طولانی‌تری را در مقایسه با دیگر ایستگاه‌های مورد بررسی پیموده است. به طوری که در نیمی از نمونه‌های مورد بررسی بیش از ۲۰ درجه عرض و طول جغرافیایی طی ۲۴ ساعت جابه‌جایی صورت گرفته است؛ اما در ایستگاه‌های جیرفت، شیراز و بندرعباس جابه‌جایی سامانه‌های کم‌فشار کوتاه و تمرکز مراکز کم‌فشار بیشتر در نیمه شرقی عربستان با عبور از خلیج فارس صورت گرفته است. همچنین در این ایستگاه نقش سیکلون‌های دریای مدیترانه پررنگ‌تر بوده و ۲۴ مورد از رخداد‌های بارشی به صورت ادغامی با کم‌فشار سودانی و ۶ مورد نیز به صورت مستقل در بارش‌های ابرسنگین نقش داشته است. بارش‌های تداوم دار بیش از ۲ روز غالباً بانفوذ الگوی ادغامی سودانی-مدیترانه‌ای در شرق مدیترانه انطباق داشته است.



شکل ۳- مراکز و مسیریابی سامانه‌های سودانی، ادغامی و مدیترانه‌ای ایستگاه یاسوج

در مرحله بعد طول مدت بارش را برای هر الگو مشخص گردیم (جدول ۳). طبق جدول بیشترین فراوانی در الگوی سودانی در تداوم ۲ روزه با ۱۷ مورد، در الگوی ادغامی سودانی-مدیترانه‌ای روی عراق با ۷ مورد در تداوم ۳ روزه،

الگوی ادغامی سودانی-مدیترانه ای در شرق مدیترانه تداوم ۴ روزه با ۷ رخداد و الگوی مدیترانه‌ای به صورت برابر تداوم ۲ تا ۴ روزه را داشته است. در الگوی سودانی در همه تداوم‌ها بیشترین رخداد را داشته است؛ و بالاترین تداوم بارش یعنی ۵ روزه در الگوی سودانی دیده می‌شود. در الگوهای ادغامی نیز به صورت برابر و در تداوم‌های طولانی‌تر بیشترین نقش را داشته‌اند. در زمان رخداد الگوهای ادغامی تداوم بارش عموماً بیش از ۳ روز و بیشترین فراگیری در روز بارش را در میان الگوهای همدید داشته است. اغلب سامانه‌های ۱ روزه سودانی می‌باشند. این امر به دلیل منشأ گرفتن سامانه‌های سودانی از عرض‌های پایین و طبیعت غالباً حرارتی می‌باشد که در بیشتر موارد عمق کمی داشته است و در نتیجه سرعت بالایی دارند. الگوی مدیترانه‌ای نیز در تداوم‌های مختلف به صورت یکسان نقش داشته است.

جدول ۳. سامانه‌های بارشی بر اساس منشأ و طول مدت بارش

| نام سامانه | ۱ روزه | ۲ روزه | ۳ روزه | ۴ روزه | ۵ روزه | جمع |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| سودانی | ۱۱ | ۱۷ | ۱۵ | ۹ | ۷ | ۵۷ |
| ادغامی سودان-مدیترانه ای روی عراق | ۰ | ۴ | ۸ | ۳ | ۴ | ۱۸ |
| ادغام سودانی-مدیترانه ای در شرق مدیترانه | ۲ | ۴ | ۳ | ۷ | ۲ | ۱۸ |
| مدیترانه‌ای | ۰ | ۲ | ۳ | ۲ | ۰ | ۶ |
| جمع | ۹ | ۲۹ | ۲۹ | ۱۹ | ۱۳ | ۱۰۵ |

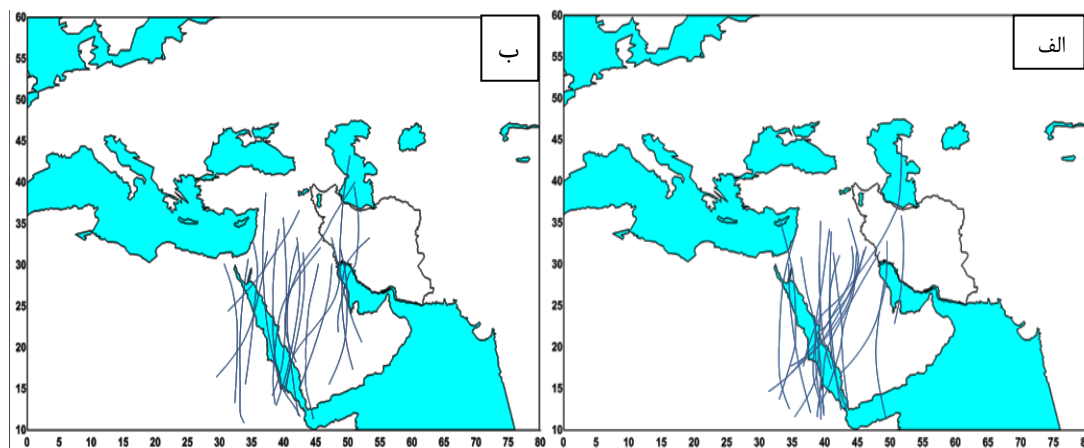
جدول ۴ تقسیم‌بندی سامانه‌ها از نظر مجموع بارش از ۷۰ تا بالاترین مقدار بارش ۱۳۰ میلی‌متر را در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. در الگوهای سودانی و ادغامی بیشتر سامانه‌های بارشی بین ۵۰ تا ۷۰ میلی‌متر بارش داشته‌اند. بیشتر حجم بارشی سامانه‌های مدیترانه‌ای بین ۷۰ تا ۹۰ میلی‌متر بوده است. در الگوهای ادغامی توزیع یکنواخت‌تری در همه طبقات حجم بارشی دیده می‌شود. علی‌رغم تعداد کمتر سامانه‌های بارشی در الگوهای ادغامی نسبت به سودانی اما در صورت رخداد بارش‌های شدیدی را ایجاد می‌کنند. تنها سامانه بارشی بیش از ۱۳۰ میلی‌متر نیز متعلق به ایستگاه بندرعباس با ۲۱۱ میلی‌متر در روز ۲۴ ژانویه ۱۹۷۹ و در زمان حاکمیت الگوی ادغامی سودانی-مدیترانه ای روی عراق رخ داده است.

جدول ۴. تقسیم‌بندی الگوهای همدید از نظر مجموع بارش

| مقدار بارش | 50-70mm | ۹۰-۷۰mm | mm۱۱۰-۹۰ | ۱۳۰-۱۱۰mm | جمع |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|-----------|-----|
| سودانی | ۳۳ | ۱۲ | ۸ | ۳ | ۵۵ |
| کمفشارهای ادغامی بر روی عراق | ۱۰ | ۴ | ۵ | ۱ | ۲۰ |
| کمفشارهای ادغامی بر روی شرق مدیترانه | ۱۰ | ۶ | ۱ | ۲ | ۱۹ |
| مدیترانه‌ای | ۳ | ۴ | ۰ | ۰ | ۶ |
| جمع | ۵۴ | ۲۶ | ۱۴ | ۶ | ۱۰۵ |

شکل ۴ الگوی محور ناوه را در روز بارش‌های بیش از ۵۰ میلی‌متر و مخاطره‌ای را در دوره آماری ۴۴ ساله نشان می‌دهد. در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال گسترش محور ناوه در ۳۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی و عرض ۱۲ تا ۴۵ درجه شمالی واقع شده‌اند. در زمان حاکمیت الگوی سودانی، محور ناوه با امتداد جنوب غربی-شمال شرقی و عموماً در

نیمه‌ی غربی ایران و مراکز بسته کم ارتفاع در عرض ۴۵ تا ۵۰ درجه شمالی در مناطق شمالی دریای خزر و طول ۴۵ تا ۶۰ درجه طول شرقی واقع شده است؛ اما در الگوهای ادغامی، محور ناوه و مراکز کم ارتفاع در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر عموماً با روندی جنوبی-شمالی و با موقعیتی غربی‌تر و بر روی عربستان، عراق، ترکیه و نیمه شرقی مدیترانه و در عرض ۳۰ تا ۴۵ درجه شمالی و طول ۳۵ تا ۴۵ درجه شرقی قرار گرفته بودند. با استقرار محور ناوه بر روی منابع آبی دریای سرخ، عربستان و خلیج فارس و منطبق بر نیمه شرقی ناوه گرما و رطوبت را به سمت منطقه مورد مطالعه فرارفت کرده است. ناوه‌هایی که موقعیتی غربی‌تر داشته و روی مصر، عربستان و سودان واقع شده اند عموماً از عمق و دامنه بزرگتری برخوردار بوده اند و به دلیل قرارگیری نیمه شرقی ناوه بر روی منابع آبی جنوبی همانند دریای سرخ، خلیج عدن و خلیج فارس، میزان رطوبت بیشتری را به درون منطقه مورد پژوهش فرارفت می‌کند و عموماً موج‌های بارشی دوام بیشتری داشته‌اند؛ اما ناوه‌های شرقی‌تر واقع بر روی ایران و عراق به صورت ناوه و سردچال‌های بریده و عمق و دامنه‌های کمتری داشته‌اند و موج‌های بارشی کم دوام و با رطوبت کم ایجاد می‌کنند. رضیئی و همکاران (۱۳۸۹) بر اهمیت ناوه شرق مدیترانه بر اقلیم ایران و تأمین بارش زمستانه تأکید می‌کنند. در این موقعیت سنگین‌ترین بارش‌هایی که منجر به سیل و خسارات جانی و مالی شده‌اند، اتفاق افتاده است؛ بنابراین با پیش‌بینی به‌موقع و واکاوی نقشه‌های هم‌دید می‌توان از بروز خسارات جبران‌ناپذیر در بخش‌های مختلف جلوگیری کرد.



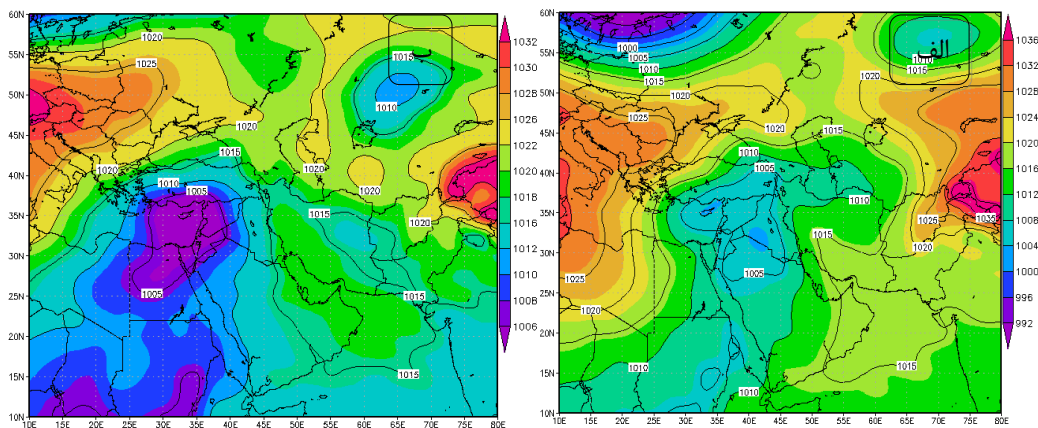
شکل ۴. الگوی محور ناوه در ترازهای الف: ۷۰۰۰، ب: ۵۰۰۰ هکتوپاسکال سامانه‌های بارشی منتخب

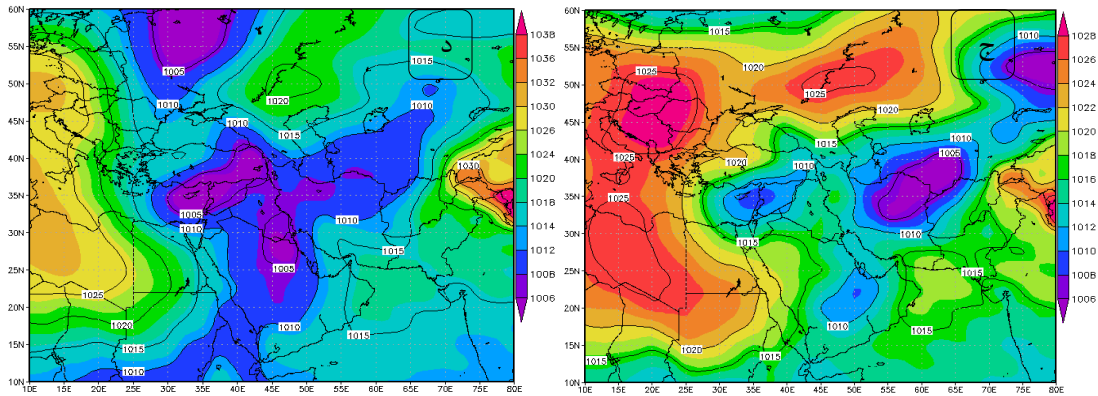
از آنجاکه هدف اصلی این تحقیق بررسی و شناسایی الگوهای بارش‌های سیل‌آسا و مخاطره‌ای ایستگاه‌های منتخب منطقه جنوب مرکزی ایران است، به دلیل حجم زیاد نقشه‌ها در این بخش نمونه‌ای از سامانه بارشی الگوی مدیترانه‌ای استخراج و مورد واکاوی قرار گرفت.

• الگوی کم‌فشار مدیترانه‌ای

الگوی آخر کم‌فشار مدیترانه‌ای تنها در زمان رخداد بارش‌های ایستگاه یاسوج واقع در غرب منطقه مورد مطالعه با ۶ مورد رخداد، مشاهده گردید. در این الگو مرکز کم‌فشار مدیترانه‌ای عموماً در غرب دریای مدیترانه تشکیل و با حرکتی غربی-شرقی از روی دریا به سمت کشور نزدیک شده است. طبق (شکل ۵-الف) ۷۲ ساعت قبل از رخداد بارش مرکز کم‌فشار مدیترانه‌ای با ۱۰۰۴ هکتوپاسکال در شرق مدیترانه مستقر شده است. در این روی بر روی نیمه جنوبی کشور

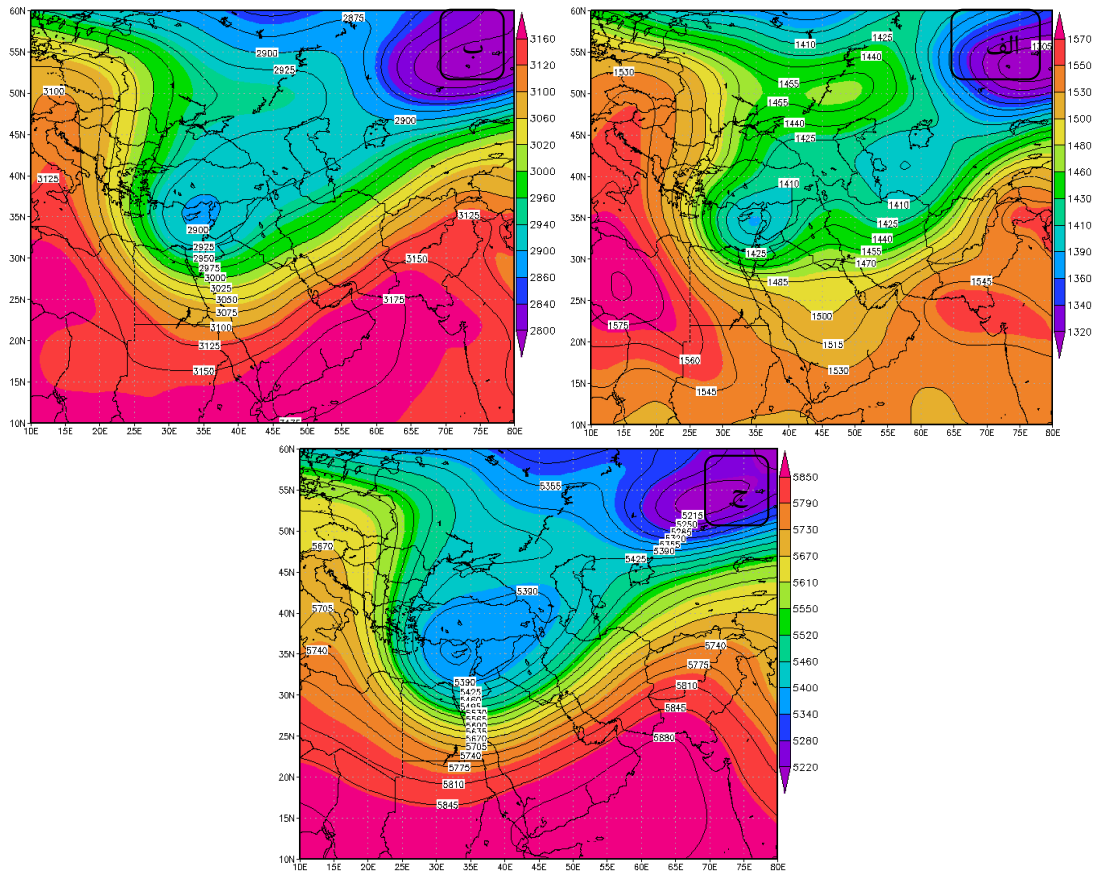
پرفشاری با مرکز بسته ۱۰۱۸ هکتوپاسکال از سمت فلات تبت نفوذ کرده و جوی پایدار حاکم است. در روزهای بعد کم فشار مدیترانه با حرکتی شرق سو و در ۲۴ ساعت قبل از بارش (شکل ۵-ج) یک مرکز دو هسته‌ای در شرق دریای مدیترانه و غرب خلیج فارس بسته شده است. به طوریکه نیمه غربی و شمالی کشور را بر می گیرد. در روز بعد سامانه کم فشار گستره بیشتری پیدا می کند و عقب نشینی پرفشار تبت اجازه نفوذ کم فشار را به مناطق جنوبی و جنوب شرقی کشور را می دهد؛ اما نکته اینکه در این الگو اغلب در روز بارش طبق شکل ۵-ج پرفشاری از سمت اروپا با عبور از روی غرب مدیترانه و شمال مصر و لیبی گسترش یافته و در روز بارش با عبور از روی سودان، نیمه شمالی عربستان و عراق موجب انتقال کامل کم فشار مدیترانه‌ای بر روی کشور می گردد. همان طور که مشخص است کم فشار مدیترانه‌ای مستقل و بدون ادغام با کم فشار سودانی عمل کرده است. در زمان حاکمیت الگوی مدیترانه‌ای، کم فشارهای دریای سرخ و سودان فعال بوده منتهی به دلیل نفوذ زبانه پرفشار نفوذ یافته از سمت اروپا مانع از گسترش آن به سمت منطقه مورد بررسی شده است؛ اما در الگوی سودانی عموماً، با راستایی جنوب غربی به شمال شرقی با عبور از روی عربستان و خلیج فارس بر روی منطقه نفوذ یافته است. در الگوی ادغامی سودانی- مدیترانه ای روی عراق نیز در روزهای قبل از بارش به صورت هم زمان کم فشار سودانی با روندی جنوب غربی-شمال شرقی و مدیترانه‌ای با جهتی غربی-شرقی به سمت ایران حرکت می کنند و در شمال عربستان و جنوب عراق در روز قبل از بارش باهم ادغام شده و در روز بارش در مناطق غربی و مرکزی کشور مستقر می شوند. در الگوی کم فشار سودانی- مدیترانه‌ای نیز در روزهای قبل از بارش سامانه سودانی با روندی جنوب به شمال گسترش پیدا کرده و با مرکز کم فشار مدیترانه‌ای که از غرب مدیترانه حرکت خود را آغاز کرده ادغام شده و بعد از ادغام اغلب با روند غربی-شرقی شبیه الگوی مدیترانه‌ای از جنوب غرب و غرب کشور وارد شده و در روزهای بعد از بارش نیز از مرزهای شرقی و شمال شرقی خارج می شود. در بعضی موارد هم قابل تعقیب نبوده و مراکز کم فشار قابل ردیابی نبوده اند.





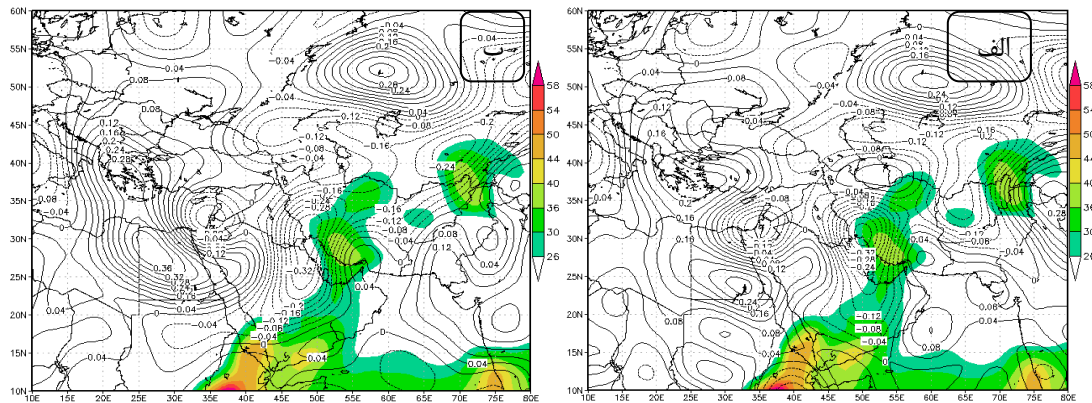
شکل ۵. فشار تراز دریا در روزهای الف: ۷، ب: ۸، ج: ۹ فوریه، د: ۲۵ فوریه ۱۹۹۲

نقشه ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-الف) در روز ۲۵ فوریه ۱۹۹۲ نیز کاملاً منطبق بر فشار تراز دریا می‌باشد. به‌نحوی که سامانه کم ارتفاع با دو ناوه یکی بر روی منطقه خاورمیانه و دیگری در نیمه شرقی ایران با راستای جنوب غربی-شمال شرقی، نیمه جنوبی ایران را در بر گرفته است. پراارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان نیز با مرکز بسته ۱۵۵۰ ژئوپتانسیل متر در شمال دریای عرب واقع شده است که به‌صورت یکپارچه با سامانه پر ارتفاع تبت-همالیا سبب تقویت جریان‌ات نزولی بر روی دریای گرم گردیده است؛ اما در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-ب) سامانه کم ارتفاع با ناوه‌ای عظیم سراسر کشور را فرا گرفته و منطقه مورد بررسی در بهترین حالت در جلوی ناوه قرار گرفته است. مرکز پراارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان در این تراز غرب سو شده است و در غرب دریای عرب با مرکز بسته ۳۱۸۰ ژئوپتانسیل متر با راستای جنوب غربی-شمال شرقی همسو با نیمه شرقی ناوه با تقویت جریان‌ات جنوبی به سمت جنوب کشور همراه شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-ج) تسلط پدیده بندال امگایی در عرض‌های میانی و در منطقه اروپا و خاورمیانه کاملاً مشخص است. نتیجه استقرار چنین الگویی عمیق شدن قابل‌ملاحظه ناوه در نیمه شرقی مدیترانه و نفوذ آن تا مرکز عربستان است. ویژگی برجسته پدیده بندالی تقویت جریان نصف‌النهاری و در نتیجه تشدید شیو فشار و افزایش واگرایی و صعود هوای گرم و مرطوب جنوبی می‌گردد. در الگوی مدیترانه‌ای محور ناوه در موقعیتی غربی‌تر و در شرق مدیترانه قرار می‌گیرد. در حالی که الگوی سودانی محور ناوه تا نیمه غربی ایران نیز مستقر می‌شود. در الگوی ادغامی نیز در اغلب موارد محور ناوه بر روی سوریه، ترکیه و عراق حاکم می‌گردد. در الگوی مدیترانه‌ای عموماً مراکز کم ارتفاع دو هسته‌ای و با دو محور ناوه بر روی ایران گسترش یافته‌اند؛ اما در الگوهای سودانی و ادغامی اغلب با یک مرکز کم ارتفاع و یک محور ناوه دیده می‌شوند. وضعیتی مشابه در هر چهار الگوی شناسایی شده اینکه در ترازهای میانی جو نفوذ سامانه بندالی و سردچال‌ها از سمت اروپا و روسیه و گسترش ناوه وابسته به آن در بیشتر سامانه‌های بارشی سنگین منطقه جنوب مرکزی ایران خودنمایی می‌کند.



شکل ۶. نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای الف: ۸۵۰، ب: ۷۰۰، ج: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ فوریه ۱۹۹۲

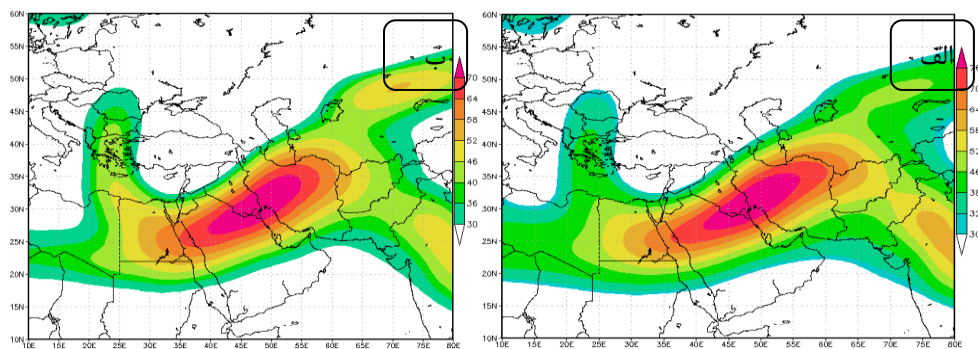
ترکیب نقشه‌های امگای تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و مجموع رطوبت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۷) به‌خوبی نقش سامانه‌های پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و ناوه نفوذی منطبق بر کم‌فشار سطح زمین را در تأمین رطوبت بارش‌های منطقه را نشان می‌دهد. مسیر فرارفت رطوبت منطقه بر نیمه شرقی ناوه و غرب پشته حاصل از پراترفاع روی دریای عرب می‌باشد به‌طوری‌که مسیر رطوبت بیش از ۲۵ گرم بر کیلوگرم بین میدان امگای منفی و مثبت واقع گردیده است که منطبق بر نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد. طبق شکل (الف-ب) بیشینه امگای منفی کشور که نشان از شدت واگرایی و صعود جریان هوای ناپایدار است بر روی جو استان کهگیلویه با ۰٫۳۴- پاسکال بر ثانیه دیده می‌شود منطبق با آن میزان رطوبت نیز با بیش از ۴۰ گرم بر کیلوگرم در روی منطقه واگرا شده است. انباشتگی رطوبت نیز در مناطق حاره‌ای شرق آفریقا (جنوب سودان و غرب اتیوپی) دیده می‌شود که در مسیر انتقال رطوبت در منطقه دریای سرخ و خلیج فارس تقویت می‌شود. در مقایسه بین نقشه‌های امگا و مجموع رطوبت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر چهار الگو روند فرارفت رطوبت و مسیر گسترش امگای منفی منطبق بر شرق ناوه، جنوب غربی-شمال شرقی و با عبور از روی دریای سرخ، عربستان و خلیج فارس صورت گرفته بود. نکته جالب اینکه در همه سامانه‌ها بارشی و الگوهای شناسایی شده بیشینه مجموع رطوبت ترازهای یادشده اغلب با بیش از ۴۰ تا ۸۰ گرم بر کیلوگرم در شرق آفریقای حاره‌ای و روی سودان و اتیوپی قرار گرفته بود که با جذب رطوبت از منابع آبی مجاور، منبع اصلی رطوبت سامانه‌های کم‌فشار ورودی بر روی منطقه مورد مطالعه بوده است.



شکل ۷. نقشه‌های ترکیبی مجموع رطوبت (۵۰۰-۱۰۰۰) و امگا برحسب پاسکال بر ثانیه در ترازهای الف: ۷۰۰، ب: ۵۰۰

هکتوپاسکال در روز ۲۵ فوریه ۱۹۹۲

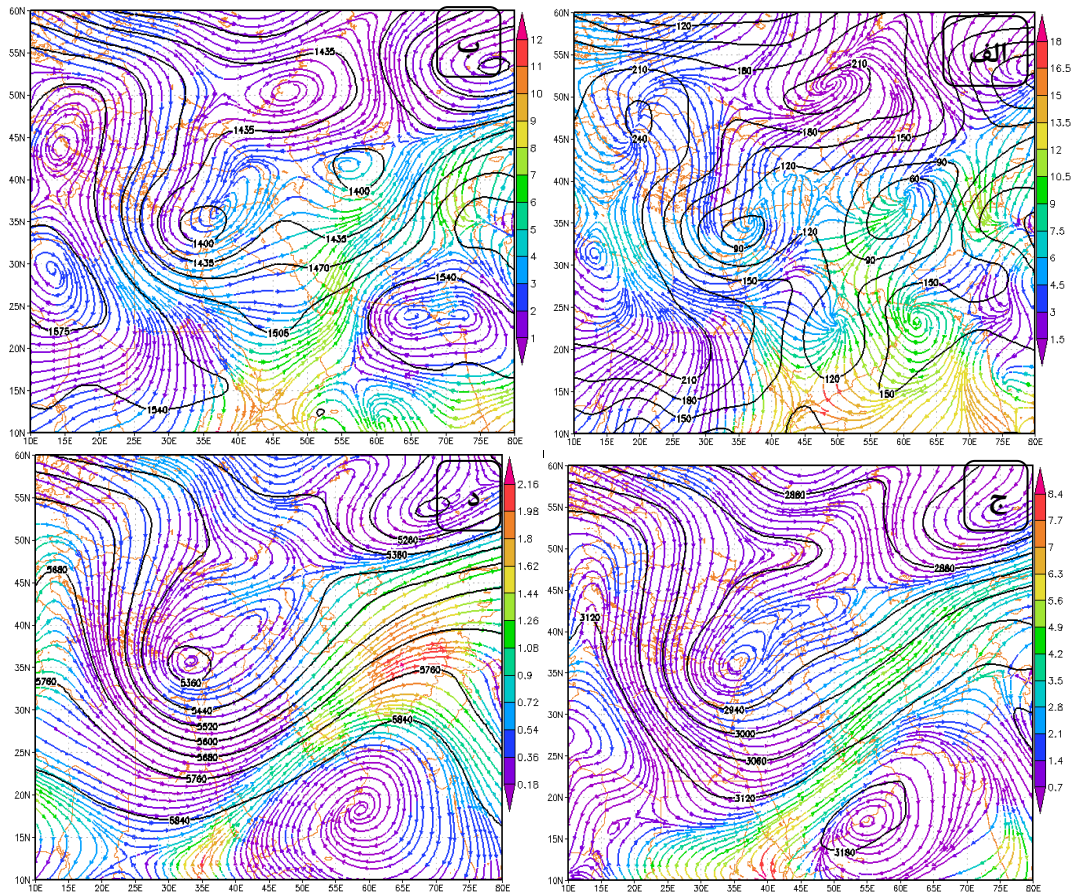
شکل ۸) نقشه‌های رودباد را برحسب متر بر ثانیه در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ فوریه ۱۹۹۲ نشان می‌دهد. در نقشه رودباد تراز ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال در نیمه جنوبی ایران رودباد جنب حاره با انحنای غربی- شرقی و با عبور از روی دریا‌های سرخ، خلیج فارس و عمان بر روی ایستگاه یاسوج کشیده شده است. به نحوی که هسته رودباد با سرعت بیش از ۷۶ متر بر ثانیه بر روی شمال خلیج فارس، عربستان و جنوب غرب ایران قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در زیر نیمه شمالی هسته رودباد یعنی زیر منطقه چرخندگی مثبت رودباد که با سیکلون زایی و ایجاد ناپایداری و بارش همراه است قرار دارد. قرارگیری رودباد به جهت افزایش واگرایی در جو فوقانی موجب تقویت حرکت در راستای قائم شده و این وضعیت با منطقه واگرایی بالایی در سمت شرق محور ناوه منطبق بوده و همچنین نقشه‌های مربوط به امگا این وضعیت را تأیید می‌کند. در چنین شرایطی کم‌فشارهای واقع بر روی منطقه دریای مدیترانه، دریای سرخ و سودان به تبعیت از الگوی جریان غالب بر روی عربستان و محور رودباد جنب حاره وارد جنوب ایران شده است.



شکل ۸. نقشه‌های رودباد در تراز های الف: ۲۵۰، ب: ۳۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ فوریه ۱۹۹۲

شکل ۹ نقشه ترکیبی گردش وزش رطوبتی و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای چهارگانه را نشان می‌دهد. در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۹-الف-ب) شکل‌گیری ناوه دو دامنه بر روی ایران و نیمه شرقی مدیترانه موجب گردیده که ناوه شرق مدیترانه موجب تقویت ناوه روی کشور و تغذیه رطوبتی و تشدید گردش چرخندی آن شده است. در ترازهای زیرین جو به دلیل راستای جنوبی-شمالی محور ناوه در جنوب شرق عربستان دریای عرب و عدن نقش اصلی را در تأمین رطوبتی ایفا می‌کنند؛ اما در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹-ج-د) با تغییر محور ناوه منابع انتقال

رطوبت نیز به سمت غرب یعنی دریای سرخ جابه‌جا شده است. نقش گردش و اچرخندی واقع بر روی دریای عرب به خوبی مشخص است که با رطوبت فرستی به نیمه شرقی ناوه موجب تقویت شرایط رخداد بارش‌های ابرسنگین بر روی نیمه جنوبی گردیده است. در الگوی مدیترانه‌ای در مقایسه با سایر الگوها، نقش دریای مدیترانه در تغذیه رطوبتی سامانه‌های بارشی پررنگ‌تر می‌باشد.



شکل ۹). نقشه‌های ترکیبی وزش رطوبتی و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، ج: ۷۰۰، د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ فوریه ۱۹۹۲

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی الگوهای همدیدی نشان می‌دهد که به ترتیب سامانه‌های سودانی، ادغامی (سودانی-مدیترانه‌ای) روی عراق، ادغامی (سودانی-مدیترانه‌ای) در شرق دریای مدیترانه) و مدیترانه‌ای بیشترین نقش را در رخداد های بارشی سنگین در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. واکاوی نقشه‌های همدیدی و ترمودینامیکی نشان می‌دهد که در الگوی اول در نقش‌های فشار تراز دریا از ۴۸ ساعت قبل از بارش تا روز بارش کم‌فشار سودانی با حرکت جنوب غربی - شمال شرقی پس از عبور از روی عربستان تا مناطق شرق و شمال شرقی ایران نیز کشیده شده است. در این الگو بیشتر مراکز کم‌فشار سودانی در جنوب خلیج فارس و شرق عربستان بسته شده‌اند. در ترازهای میانی جو در الگوی سودانی محور ناوه عموماً بر روی ایران و نیمه غربی آن شکل گرفته و مراکز کم ارتفاع در عرض‌های شمالی و بر روی روسیه بسته شده‌اند. در الگوی دوم با حرکت غربی-شرقی مراکز کم‌فشار مدیترانه‌ای و جابه‌جایی شمال سوی کم‌فشار سودانی، باعث ادغام این دو مرکز بر روی جنوب عراق و شمال عربستان شده است و پس از ادغام با حرکت شرق سو منطقه مورد مطالعه را

با روندی جنوب غربی-شمال شرقی در برگرفته است. بیشتر مراکز کم فشار در الگوی دوم در شمال خلیج فارس و مناطق داخلی بسته شده است. در بررسی الگوی محور ناوه در الگوی سودانی-عراقی، محور ناوه در موقعیتی غربی تر و بر روی عربستان و سوریه و شرق مدیترانه واقع شده است و مراکز کم ارتفاع و کشیده شدن محور ناوه عموماً از شرق اروپا و از روی ترکیه به سمت نیمه جنوبی ایران صورت گرفته است. در الگوی سوم نیز ادغام مراکز سودانی و مدیترانه‌ای بیشتر در شرق مدیترانه صورت گرفته است و با حرکت شرق سوی خود منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. در الگوی سوم نیز شبیه الگوی دوم موقعیت الگوی محور ناوه غربی تر بوده و در محدوده شرق مدیترانه تا غرب ایران قرار داشته است. در این الگو مراکز کم فشار عمدتاً در شمال عربستان و جنوب غرب ایران بسته شده است؛ اما در الگوی چهارم کاملاً متفاوت از بقیه الگوها و به صورت مستقل عمل کرده است به گونه‌ای که مرکز کم فشار در غرب مدیترانه طی روزهای قبل از بارش با روندی غربی- شرقی حرکت کرده و یک روز قبل از بارش در شرق مدیترانه مستقر می‌گردد و در روز بارش نیز بر روی منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این الگو مراکز کم فشاری بر روی سودان و جنوب دریای سرخ دیده می‌شود اما به دلیل گسترش زبانه‌ای از پرفشار مهاجر اروپایی همسو با کم فشار مدیترانه‌ای با روندی مداری بر روی نیمه شمالی آفریقا توانایی نفوذ به سمت نیمه جنوبی کشور را نداشته است. ترسیم و ترکیب نقشه‌های مجموع رطوبت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال با امگای تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به خوبی تجمع و انباشت رطوبت را در مناطق حاره‌ای شرق آفریقا، جنوب سودان و غرب اقیانوس هند نشان می‌دهد که حاکی از جذب رطوبت واگرا شده از دریای عرب، عمان، خلیج عدن و سرخ می‌باشد و در همه سامانه‌های مورد بررسی توسط ناوه نفوذ یافته از عرض‌های فوقانی در طول ۳۰ تا ۴۵ درجه شرقی با روندی جنوب غربی-شمال شرقی از روی عربستان و خلیج فارس به سمت منطقه جنوب مرکزی ایران فرارفت شده است. همچنین بررسی نقشه‌های رودباد در زمان رخداد ۱۰۵ سامانه بارشی ابرسنگین نشان داد که به ترتیب رودباد جنب حاره و ادغامی (جنب حاره-قطبی) بیشترین نفوذ را منطبق بر نیمه شرقی ناوه بر روی ناحیه جنوب مرکزی ایران داشته است. استقرار هسته سرعت رودباد نیز از ۵۰ تا ۸۰ متر بر ثانیه در شمال سرخ، عربستان و خلیج فارس موجب تقویت عمق ناوه، افزایش شدت واگرایی و مکش رطوبت از منابع رطوبتی سرخ، خلیج فارس و نواحی حاره‌ای شرق آفریقا گردیده است. از لحاظ منابع تغذیه رطوبتی، بیشترین حجم انتقال رطوبت متعلق به دریای عرب و خلیج عدن در ترازهای زیرین جو بود. کمترین میزان رطوبت توسط دریای مدیترانه منتقل شده بود. دریای سرخ و خلیج فارس نیز در تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نقش زیادی در تأمین رطوبت سامانه‌های بارشی ایفا کردند. تحقیقاتی که به واکاوی علل رخداد بارش‌های سنگین در ایران پرداخته‌اند، به عوامل جوی مختلفی اشاره کرده‌اند. شکل‌گیری الگوی پرفشار باختر روسیه و فرود عربستان-عراق (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶)، شکل‌گیری الگوی پرفشاری دریای سیاه تا جنوب خاوری ایران و کم فشار عراق (مسعودیان و محمدی، ۱۳۸۹) هنگام رخداد بارش‌های سنگین در گستره ایران، نقش سردچال‌ها در رخداد بارش‌های سنگین جنوب غرب و مرکز ایران (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۹)، شکل‌گیری الگوی سودانی هنگام رخداد بارش‌های شمال شرقی ایران (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۸۹) و بارش‌های استان بوشهر (گندمکار، ۱۳۸۹)، اثر سامانه بندالی در ایجاد بارش‌های شدید شمال غرب ایران (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰) و لشکری (۱۳۸۱) تأثیر الگوی سودانی و ادغامی در رخداد بارش‌های منطقه جنوب و جنوب غرب از جمله نتایج تحقیقات انجام شده می‌باشند. اغلب تحقیقات قبلی در بررسی همدید بارش‌های سنگین نقش مسلم کم فشار مدیترانه‌ای، عراقی و سودانی را هرکدام به صورت جداگانه در

رخداد بارش‌های سنگین مؤثر دانسته‌اند. در برخی از تحقیقات نیز تنها الگوهای تراز میانی جو مثل تأثیر سامانه‌های بندالی و ناوه‌های عمیق در رخداد بارش را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ اما در این پژوهش، بررسی جامعی از تراز سطح زمین و بالای جو طی یک دوره بلندمدت انجام شده است و الگوهای همدید قابل‌اعتمادی را برای بارش‌های سنگین شناسایی کرده است.

منابع

- احمدی، اسماعیل و بهلول علیجانی. ۱۳۹۳. شناسایی الگوهای همدیدی بارش‌های سنگین ساحل شمالی خلیج فارس. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳: ۲۹۶-۲۷۵.
- امیدوار، کمال. ۱۳۸۶. تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۹: ۹۸-۸۱.
- امیدوار، کمال؛ فرشاد صفرپور، مهدی محمود آبادی و سعید الفتی. ۱۳۸۹. تحلیل همدید اثرهای سردچال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران. برنامه ریزی و آمایش فضا، ۶۸: ۱۶۱-۱۸۹.
- احمدی، محمود و فرزانه جعفری. ۱۳۹۴. واکاوی بارش فوق‌سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس. دانش مخاطرات، ۲(۳): ۳۲۴-۳۰۷.
- احمدی، محمود و فرزانه جعفری. ۱۳۹۴. تحلیل سینوپتیک بارش سنگین ۱۲ آوریل ۲۰۱۵ شهرستان قزوین، مجله انجمن جغرافیایی ایران، ۱۳(۴۴): ۲۲۱-۲۳۷.
- براتی، غلامرضا؛ محمد مرادی و رقیه سلیمی. ۱۳۹۴. واکاوی همدید بارش‌های سنگین بهاره استان زنجان. فصلنامه مخاطرات محیط طبیعی، ۴(۶): ۸۸-۷۷.
- بلیانی، سعید و محمد سلیقه. ۱۳۹۵. تحلیل واستخراج الگوهای جوی منجر به بارش‌های سنگین روزانه منطقه شمالی خلیج فارس مورد مطالعه: حوضه‌های آبریز حله و مند. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۲): ۷۹-۹۸.
- حمیدیان پور، محسن؛ بهلول علیجانی و علیرضا صادقی. ۱۳۸۹. شناسایی الگوهای همدیدی بارش‌های شدید شمال شرق ایران. مطالعه جغرافیایی مناطق خشک، ۱: ۱-۱۶.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ رضا صفایی راد و داود سلمانی. ۱۳۹۳. واکاوی همدید رخداد سیلاب آبان ماه ۱۳۹۰ در شهرستان بهبهان و لیکک. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴(۴۶): ۵۲۴-۵۰۹.
- ذبیح زاده، قباد. ۱۳۸۸. مستندسازی و تحلیل فضایی مخاطرات اقلیمی در ایران، راهنمایی منوچهر فرج زاده، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.
- ذکی زاده اوماسلان علیا، میربهروز؛ محمد سلیقه، محمد حسین ناصرزاده و مهری اکبری. ۱۳۹۷. تحلیل آماری و سینوپتیکی مؤثرترین الگوی رودباد ایجاد کننده بارش‌های سنگین. مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۵): ۴۸-۳۱.
- رحیمی، داریوش؛ جواد خوشحال و تیمور علیزاده. ۱۳۸۹. تحلیل آماری-همدیدی بارش سنگین مناطق خشک ایران (مطالعه موردی: استان کرمان). جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۸(۱۴): ۶۹-۵۱.
- رضیئی، طیب؛ عباس مفیدی و آذر زرین. ۱۳۸۹. مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آن با بارش ایران. فیزیک زمین و فضا، ۱(۳۵): ۱۴۱-۱۲۱.

- طاهری بهبهانی، محمد طاهر و مصطفی بزرگ زاده. ۱۳۷۵. سیلاب های شهری، چاپ دوم، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، تهران.
- علیجانی، بهلول. ۱۳۸۱. آب و هواشناسی سینوپتیک، چاپ اول. نشر سمت، تهران.
- علیجانی، بهلول. ۱۳۹۰. آب و هوای ایران، چاپ چهارم. انتشارات پیام نور، تهران.
- عسگری، احمد؛ فاطمه رحیم زاده، نوشین محمدیان و ابراهیم فتاحی. ۱۳۸۶. تحلیل روند نمایه های بارش های حدی در ایران، تحقیقات منابع آب، ۳: ۴۲-۵۵.
- عزیزی، قاسم؛ محسن سلطانی، علی حنفی، عباس رنجبر و ابراهیم میرزایی. ۱۳۹۰. تحلیل اثر سامانه بلوکینگ در ایجاد بارش های شدید (مطالعه موردی بارش های شدید ۴ تا ۷ آبان ماه ۱۳۸۷ شمال غرب ایران). تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۳: ۱۱۷-۱۴۸.
- عباس زاده تهرانی، نادیا؛ مجید مخدوم و محمد مهدوی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر میزان دبی سیلاب ها با کاربرد فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز رودخانه مادرسو. نشریه پژوهش های محیط زیست، ۱(۲): ۷۸-۹۰.
- قویدل رحیمی، یوسف. ۱۳۹۱. نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم افزار Grads، چاپ دوم، انتشارات سها دانش، تهران، ۲۰۸ ص.
- کارساز، سکینه و سید ابوالفضل مسعودیان. ۱۳۹۳. تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی، جغرافیا و توسعه، ۳۷: ۲۷-۱۵.
- گندمکار، امیر. ۱۳۸۹. بررسی همدید بارش شدید روزهای سوم و چهارم اردیبهشت سال ۱۳۸۹، مجموعه مقالات همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی محیطی، لرستان، دانشگاه آزاد اسلامی.
- لشکری، حسن. ۱۳۸۲. مکانسیم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر بارش های جنوب و جنوب غرب ایران. پژوهش های جغرافیایی، ۴۶: ۵۲-۸۸.
- لشکری، حسن. ۱۳۸۱. مسیریابی سامانه های کم فشار سودانی ورودی به ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا، ۴: ۱۴۲-۱۸۰.
- مفیدی، عباس؛ آذر، زرین؛ ۱۳۸۴. بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه های کم فشار سودانی در وقوع بارش های سیل زا در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۳۶: ۷۷-۱۱۳.
۲۰. مقیمی، ابراهیم. ۱۳۸۸. آموزش مهندسی در بستر مخاطره شناسی در قرن ۲۱. کنفرانس آموزش مهندس در ۱۴۰۴، دانشگاه تهران، فرهنگستان علوم، تهران.
- مشایخی، تقی. ۱۳۸۰. بررسی سیل های تاریخی کشور، چاپ دوم. انتشارات وزارت نیرو، تهران.
- مشکواتی، امیرحسین؛ محمد شجاعی و مجید مزرعه فراهانی. ۱۳۹۳. ساختار گردش جوی در طی بارش سنگین ۲۱ دسامبر ۱۹۹۲ بر روی شیراز. پژوهش های اقلیم شناسی، ۵(۱۷): ۹۰-۷۳.
- مصطفائی، حسن؛ بهلول علیجانی و محمد سلیقه. ۱۳۹۴. تحلیل سینوپتیکی بارش های شدید و فراگیر در ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۴): ۶۵-۷۶.

محمودآبادی، مهدی؛ کمال امیدوار، غلامعلی مظفری، احمد مزیدی، مهدی نارنگی فرد و مهران فاطمی. ۱۳۹۵. تحلیل همدید اثرات پدیده بلاکینگ بر بارش های سیلابی فروردین ماه ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران. پژوهش های اقلیم شناسی، ۷(۲۵): ۶۷-۸۲.

مسعودیان، سید ابوالفضل و بختیار محمدی. ۱۳۸۹. تحلیل همدید بارش های سنگین ایران (مطالعه‌ی موردی آبانماه ۱۳۷۳. جغرافیا و توسعه، ۱۹: ۳۷-۷۰.

نگارش، حسین؛ مهدی اژدری مقدم و محسن آرامش. ۱۳۹۲. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی و پیش بینی سیلاب در حوضه آبریز سرپاز. مجله جغرافیا و توسعه، ۳۱: ۱۵-۲۸.

Alijani, B., O'Brien, J. Yarnal, B. 2008. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, **94**: 107-124.

Chen, C. S., Lin, C. Y., Chuang, Y. J., Yeh, H. C. 2001. A Study of Afternoon Heavy Rainfall in Taiwan during the Mei-yu Season. *Atmospheric Research*, **65**:129-149.

Charabi, Y. And Al-Hatrushi, S. 2010. Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman. *Atmospheric Research*, Vol. 95, Issue **4**: 470-486.

Dibajnia, M., M. Soltanpour, R. Nairn, M. R. Allahyar. 2010. Cyclone Gonu: The most intense tropical cyclone on record in the Arabian Sea. *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, Springer, **34**: 65-52.

Hellstrom, C. 2005. Atmospheric condition during extreme and non-extreme precipitation events in. *international journal of climatology*, **25**:631-648.

Jansa, A.; Ana, G. Angeles, P.M. Joan, C. Ricardo, R. and Olinda C. 2001. Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach. *Meteorol. Appl.* **8**:43-56.

Koji, N.; Schneider, S and Chen, Ch. 2007. Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a Self-Organizing Map. *Atmospheric Research*, **83**:185-200.

Kato, T and Aranami K. 2005. Formation Factors of 2004 Niigata-Fukushima and Fukui Heavy Rainfalls and Problems in the Predictions using a Cloud-Resolving Model. *SOLA*, **1**: 001-004.

Lana, A. 2007. Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Island. *International journal of climatology*. **12**: 27-32.

Reiter, E.R. 1963. *Jetstream Meteorology* :(Jet streams and Climate), University of Chicago press. Chicago.

Tayebeh, A.Z., Ghasem, A. Ashraf, A. Mahmoud, D. 2016. The role of blocking system in heavy precipitation of Iran (a case study: southeast of Iran January 2008). *Arab J Geosci.* **9**: 591-606.

www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded

www.irimo.ir