صص ۱۴-۱

تحلیل همدیدی بارش سنگین منجر به سیلاب روز ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰ در جنوب استان سیستان و بلوچستان

مهیار احدی
دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
بتول زینالی*
استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
عاطفه حسینی صدر
مربی گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران ایران
امیر سیه سرانی
دکتری فیزیک دریا و کارشناس پیش بینی سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۵/۲۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۸/۲۷

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور واکاوی سینوپتیک بارش سنگین منجر به سیلاب ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰ در جنوب سیستان و بلوچستان انجام شد. به این منظور نقشه‌های سطوح مختلف جو از روز قبل از سیلاب مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفت. جهت انجام این پژوهش داده‌های مورد نیاز از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی اقیانوس‌شناسی ایالات‌متحده، اخذ و نقشه‌های مربوط به ارتفاع ژئو پتانسیل، چرخندگی، امگا، سمت و سرعت باد، رطوبت ویژه، تابع همگرایی شار رطوبت و نمودار هوف مولر ترسیم و تحلیل شد. نتایج پژوهش نشان استقرار سامانه کم‌فشار بر روی جنوب شرق عربستان و گسترش آن به سمت جنوب شرق ایران همراه با جذب رطوبت از خلیج‌فارس و دریای عرب عامل اصلی در سطح زمین برای ایجاد بارش سنگین در منطقه بوده است. در سطوح فوقانی جو نیز استقرار ناوه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در غرب عربستان موجب نفوذ هوای سرد عرض‌های شمالی (در امتداد ناوه) و فرا رفت هوای مرطوب عرض‌های جنوبی (در امتداد پشته) به منطقه شده است. عامل مهم‌تر در ایجاد حرکات صعودی، انطباق منطقه واگرایی رود باد با منطقه واگرایی تراز ۲۵۰ هکتو پاسکال می‌باشد که در نهایت موجب بارش سنگین در منطقه شد.

واژگان کلیدی: بارش سنگین، سیل، واکاوی همدیدی، شار رطوبت، سیستان و بلوچستان.

مقدمه

بارندگی‌های سنگین ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰در بخش‌های جنوبی و مرکزی استان سیستان و بلوچستان منجر به جاری شدن سیلاب و آسیب‌های جدی به بخش‌های زیر بنایی این استان گردید به‌طوری که بر اساس اظهارات استاندار سیستان و بلوچستان (خبرگزاری ایرنا ۲۵ دی ۱۳۹۸) برآورد اولیه خسارات این سیل ۲/۸ هزار میلیارد تومان تخمین زده شد.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۵۴۹۱۴۷ Email: zeynali.b@uma.ac.ir

رویداد فرینی مانند بارش‌های شدید، باعث رخداد سیلاب‌های بزرگ می‌شود که بر بسیاری از منابع طبیعی مورد نیاز انسان مانند خاک، آب و نیز فعالیت‌های اقتصادی همچون سازه‌های آبی، کشاورزی، گردشگری و حمل و نقل آسیب‌های زیادی وارد می‌نماید. لذا مهم‌ترین هدف پژوهش حاضر، بررسی و شناخت سامانه‌های همدیدی است که علّت پدیده‌های مذکور در ناحیه بسیار کم بارش جنوب شرق ایران است.

مطالعات متعددی در زمینه یافتن الگوهای سینوپتیکی حاکم بر بارش‌های سنگین در داخل و خارج از کشور انجام پذیرفته است. آرامش و همکاران (۱۳۹۳) به تحلیل همدید سیلاب‌های رخداده در منطقه سرباز سیستان و بلوچستان پرداختند، نتایج نشان داد که در رژیم زمستانه در سطح زمین زنجیره‌ای از کم‌فشارها از شرق آفریقا تا شمال شرق پاکستان با جهت جنوب غربی – شمال شرقی شکل‌گرفته است. ناوه ناشی از پرفشار دریاچه آرال و ناوه ناشی از زبانه پرفشار غرب دریای خزر نقش اساسی در ناپایداری و کنترل مسیر این زنجیره دارد. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال استقرار ناوه عمیقی در غرب و مرکز ایران و قرارگیری سامانه‌های کم‌فشار سطح زمین جنوب شرق ایران در جلوی این ناوه سبب تشدید ناپایداری می‌شود. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نقش کم‌فشار سودانی در تراز دریا و بندال دوقطبی در تراز میانی تروپوسفر را در رخداد بارش‌های سیلابی فروردین ۱۳۹۲در نیمه جنوبی ایران را حائز اهمیت می‌دانند. حبیبی و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل همدیدی- دینامیکی وقوع سیل بندرعباس در مارس ۲۰۱۴ پرداختند نتایج نشان داد که مهم‌ترین علت بارش مربوط به ناپایداری پتانسیلی ناشی از سامانه کم‌فشار دینامیکی که به‌صورت یک ناوه کم‌فشار از ترکمنستان به سمت تنگه هرمز کشیده شده بود، می‌باشد. همچنین، نصف‌النهاری شدن تدریجی جهت جریان جت جنب‌حاره‌ای قوی در شمال غرب آفریقا و کشیده شدن شاخه‌ای از آن بر فراز خلیج‌فارس به تشدید ناپایداری کمک کرده است. ذکی زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز استقرار رود باد 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 بارش‌های سنگین و فراگیر در ایران دانسته‌اند. احمدی و جعفری (۱۳۹۷) مسیر سامانه‌های مؤثر در ایجاد بارش سنگین بیش از ۵۰ میلی‌متر در جنوب ایران را ردیابی کردند که به ترتیب سامانه‌های سودانی، ادغامی سودانی – مدیترانه‌ای روی عراق، ادغامی سودانی – مدیترانه‌ای در شرق مدیترانه و مدیترانه‌ای بیشترین نقش را در ایجاد بارش سنگین بر عهده داشته‌اند. حسینی صدر و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تحلیل سازوکار همدیدی بارش سنگین خسارت‌بار در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد در روز وقوع بارش سنگین منطقه چرخندی ناوه مدیترانه به همراه جریان هسته رود باد قطبی شرایط مساعدی برای صعود هوا در شمال غرب کشور فراهم کرده است و نقشه‌های رطوبتی نیز حاکی انتقال رطوبت قابل ملاحظه از مسیر دریای سرخ به سمت شمال غرب ایران می‌باشد. لذا تبدیل سریع رطوبت جو به بارش در منطقه چرخندی ناوه عامل اصلی وقوع بارش سنگین در این روز بوده است.

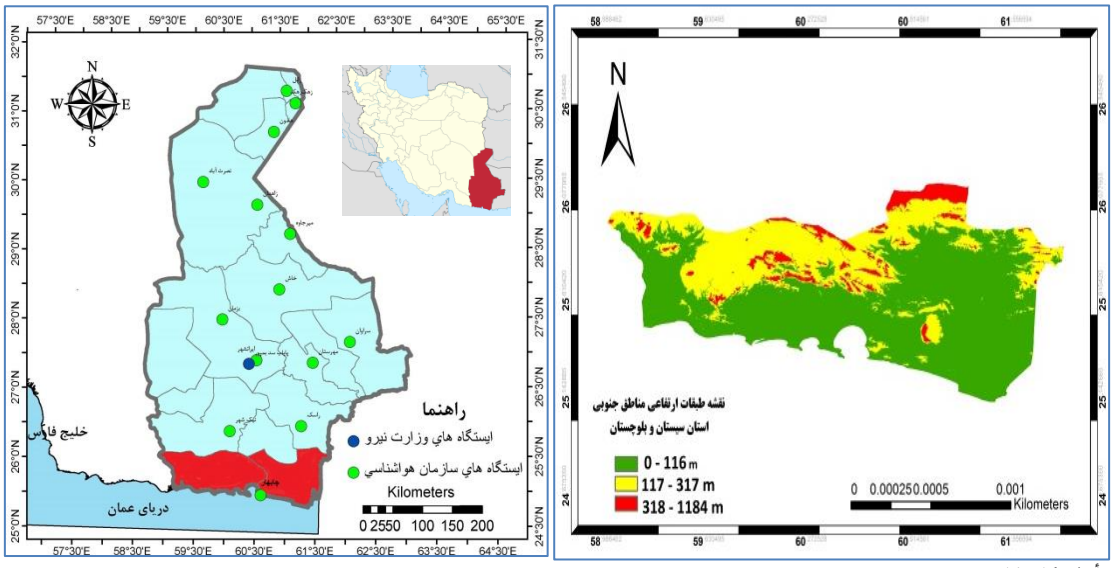
مبارک و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی ارتباط بین بارش‌های شرق ایران با سیکلون واقع در مرکز مدیترانه به افزایش دما در لایه‌های بالایی جو با حرکت‌های واگرایی و تغییر مسیر رود باد جنب حاره تأکید کردند. میخائیل و همکاران

(۲۰۱۴) به بررسی علت سینوپتیکی رخداد بارش‌های سنگین در دریاچه آیرو و فرام پرداختند و نقش پدیده لالینا و دورپیوند SOI را روی این بارش‌ها مؤثر دانستند. لی و آلبرتوس (۲۰۱۵) به بررسی مسیر سینوپتیکی رطوبت رسانی در وقوع بارش سنگین ۲۱ ژوئیه در منطقه بیجینگ پرداختند و ورتکس شمال غربی در ترازهای پایین به همراه رطوبت قائم موجود در جو را علت وقوع بارش دانستند. سارات و ساریتا (۲۰۱۵) به مطالعه بارش‌های سنگین کشمیر با استفاده از تصاویر مودیس و مدل WRF پرداختند. هدایت و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی علل رخداد بارش‌های سنگین در فصول مرطوب در دریای جاوا به این نتیجه رسیدند که همرفت بین نسیم دریا و خشکی و بازتابش امواج از سطح خشکی علت بارش‌های سنگین است. فلونی و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه سینوپتیکی علت وقوع بارش سنگین فصلی در منطقه آتیکا پرداختند. اوین و همکاران (۲۰۱۶) درباره مدل‌های پیش‌بینی بارش سنگین مطالعه کردند. کایی و ژوئی (۲۰۱۷) در بررسی جفت پارامترهای رطوبت دهی در بارش‌های سنگین منطقه‌ای، به این نتیجه رسیدند که واگرایی و همگرایی، اساس تغییرات رود باد برای فراهم کردن رطوبت لازم برای بارش‌های سنگین است. یی‌یان و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی و تحلیل حساسیت همادی بارش سنگین وابسته به سه سامانه همرفتی میان مقیاس هم‌زمان، در جنوب چین پرداختند. نتایج نشان داد که مهم‌ترین علت رخداد بارش سنگین، وجود جت ترازپایین جو در امتداد جنوب شرقی_جنوب غربی و چرخندگی ناشی از آن در ترازهای ضمن بررسی آماری و سینوپتیکی رخداد بارش‌های سنگین در شمال چین به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و توپوگرافی سطح زمین می‌باشد، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می‌کند. یان‌ژن و همکاران (۲۰۲۰)، ضمن بررسی آماری و سینوپتیکی رخداد بارش‌های سنگین در شمال چین به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و توپوگرافی سطح زمین است، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می‌کند؛ به‌طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت، مطالعات زیادی در خصوص بارش‌های سنگین و علل وقوع آن در نقاط مختلف جهان و کشور انجام گرفته است که به نتایج مشابه و بعضاً متفاوتی در این زمینه رسیده‌اند ولی نقاط مشترک در پژوهش‌های انجام شده در جنوب و جنوب شرق کشور حاکی از نقش الگوهای سینوپتیکی کم‌فشار سودانی و در سطوح فوقانی جو وجود ناوه و رود باد از علل و عوامل اصلی بروز بارش سنگین در منطقه است. لذا با توجه به اینکه استان سیستان و بلوچستان در معرض وقوع سیلاب قرار دارد در این سعی شده شرایط همدید برای بارش‌های حدی که در نهایت منجر به وقوع سیلاب می‌شود بررسی شود تا با اعلام هشدار سریع‌تر سیلاب از خطرات ناشی از آن کاسته شود.

داده‌ها و روش‌ها

پهنه مطالعاتی این پژوهش شامل شهرستان‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان (چابهار و کنارک) است که بیشتر از مناطق دیگر استان تحت تأثیر سیلاب بودند.متوسط بارش سالانه منطقه ۱۳۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۲۶ درجه سلسیوس است.

شکل یک موقعیت استان سیستان و بلوچستان در نقشه ایران و ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در استان را نشان می دهد. همچنین در شکل ۱ سمت راست نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه در جنوب استان سیستان و بلوچستان ارائه گردیده است که مطابق با نقشه مناطق جنوبی دارای کمترین ارتفاع از سطح دریا بوده و به سمت مناطق شمالی ارتفاع از سطح دریا افزوده می‌شود.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت استان سیستان و بلوچستان در نقشه ایران و نقشه طبقات ارتفاعی جنوب سیستان و بلوچستان

هر روزی که بارندگی آن ۳۰ میلی‌متر یا بیشتر بشود، روز بارندگی سنگین تعریف شده است. (علیجانی ۱۳۹۲: ۱۱۸) از نظر تقسیم‌بندی نواحی بارشی ایران، سواحل جنوب جز ناحیه خشک محسوب می‌شود. کمترین تعداد روزهای بارندگی نیز در جنوب و جنوب شرق کشور رخ می‌دهد علیرغم این کم‌بارشی شاهد بارش‌های سنگین روزانه در این ناحیه هستیم به‌طوری که ممکن است قسمت اعظم بارندگی متوسط سالانه در یک روز ببارد این وضع نشان می‌دهد که در جنوب بیشتر وقت‌ها بارندگی وجود ندارد ولی هر موقع عامل صعود قوی به منطقه بیاید به جهت گرم بودن هوا و دسترسی به رطوبت فراوان خلیج‌فارس و دریای عمان بارش‌های شدید رخ می‌دهد. در جنوب ایران بیش از نصف بارش سالانه در زمستان می‌بارد برای اینکه فقط در زمستان بادهای غربی کاملاً جنوب ایران را می‌پوشانند و رطوبت یا عامل صعود و ناپایداری را فراهم می‌کنند. در جنوب شرق کشور اغتشاشات سطح بالا مهم‌ترین عامل صعود بوده و عامل همرفتی به بیشترین فراوانی خود در سطح کشور می‌رسد.بارندگی تابستانه جنوب شرق کشور در اثر ورود توده هوای موسمی و بالا رفتن پرفشار جنب حاره آزور بر اثر صعود همرفتی صورت می‌گیرد. (علیجانی، ۱۳۹۲)

در این پژوهش به‌منظور واکاوی الگوی همدیدی منجر به رخداد سیل، داده‌های مربوط به فشار سطح دریا، جهت باد سطحی، ارتفاع ژئو پتانسیل، مقدار نم ویژه، سرعت باد و مقادیر امگا برای ترازهای مختلف جوی از داده‌های بازکاوی

شده NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده آمریکا با قدرت تفکیک ۲/۵*۲/۵ درجه استفاده شد. نقشه‌های مربوطه از یک روز پیش از سیلاب با استفاده از نرم‌افزار GRADS ترسیم و الگوهایی که منجر به بارش شدید، شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در پژوهش فوق از تابع همگرایی شار رطوبت استفاده شده است. این تابع، مقدار رطوبت موجود در هوا است که به‌سوی یک نقطه حرکت می‌کند و ترکیبی از عبارت وزش یا فرا رفت رطوبت و عبارت همگرایی رطوبت است. برای محاسبه این تابع از رطوبت ویژه و مؤلفه‌های باد استفاده می‌شود که اهمیت زیادی در پیش‌بینی طوفان‌های تندری و بارش‌های سنگین دارد. یک منطقه ناپایدار با مقادیر بالای همگرایی رطوبت، شرایط مناسبی برای رشد این طوفان‌ها فراهم می‌کند. برای محاسبه شار رطوبتی از فرمول ارائه شده توسط باناکوس و شولز (۲۰۰۵) استفاده می‌شود (رابطه ۱).

$$MFC = -\left(u\frac{\partial q}{\partial x} + v\frac{\partial q}{\partial y}\right) - q\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

جمله وزش – جمله همگرایی

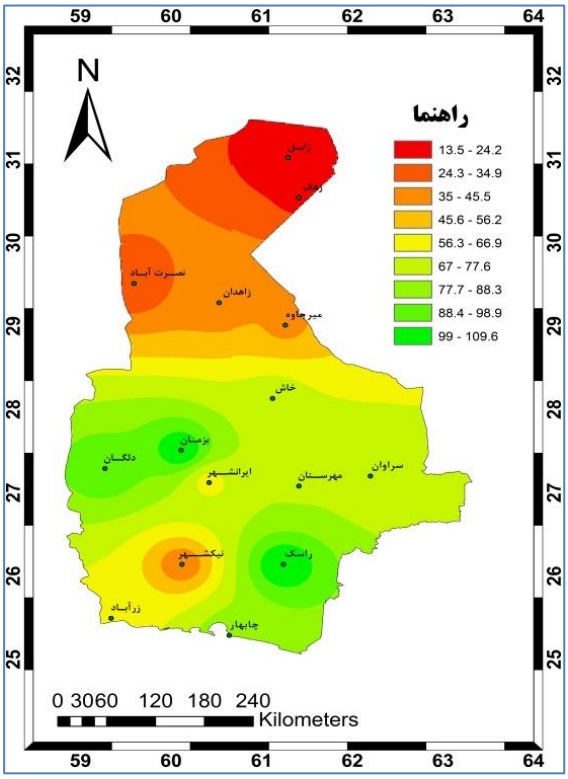
رابطه فوق برحسب گرم بر کیلوگرم در ثانیه است. Q: رطوبت ویژه، U وV مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، x و y متغیرهای مستقل مکانی هستند.

برای نشان دادن حرکات صعودی بر فراز منطقه پژوهش، نمودارهای هوف مولر در محیط GRADS ترسیم شد. با استفاده از فرا سنج‌های امگا می‌توان سرعت بالاسو یا صعودی و پایین سو یا نزولی هوا را سنجید. چنین بر می‌آید که جایگاه بیشینه امگای منفی بر بیشینه بارش، منطبق است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۱: ۱۸۲). برای نشان دادن حرکات عمودی از نمودار هوف مولر استفاده شد که برای نشان دادن تغییرات یک فرا سنج جوی در ابعاد طول جغرافیایی و زمان و یا عرض جغرافیای و زمان به کار می‌رود (قویدل رحیمی، ۱۹۶:۱۳۹۱). که در این پژوهش برای نشان دادن حرکات عمودی جو و میزان رطوبت در ترازهای مختلف جوی، زمان و عرض جغرافیای (۲۵ درجه برای چابهار) ثابت در نظر گرفته شد.

به جهت اهمیت رود بادها در ایجاد و تشدید ناپایداری‌ها در جو و از آنجایی که در ترازهای ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال مسیر رود بادها مشخص‌تر می‌باشد (قویدل رحیمی، ۱۵۲:۱۳۹۱) در این پژوهش، نقشه باد با در نظر گرفتن آستانه سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه در تراز ۲۵۰ هکتو پاسکال ترسیم شد.

یافته‌ها

بر اساس نقشه پهنه‌بندی بارش استان سیستان و بلوچستان (شکل ۲)، مناطق جنوبی استان دارای بارشی بیش از ۶۰ میلی‌متر است که به‌عنوان بارش سنگین مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مطابق با نقشه فوق هسته بیشینه بارش استان در تاریخ ۱۱ و ۱۲ ژانویه ۲۰۲۰ در جنوب غرب استان و منطقه راسک قابل مشاهده می‌باشد.

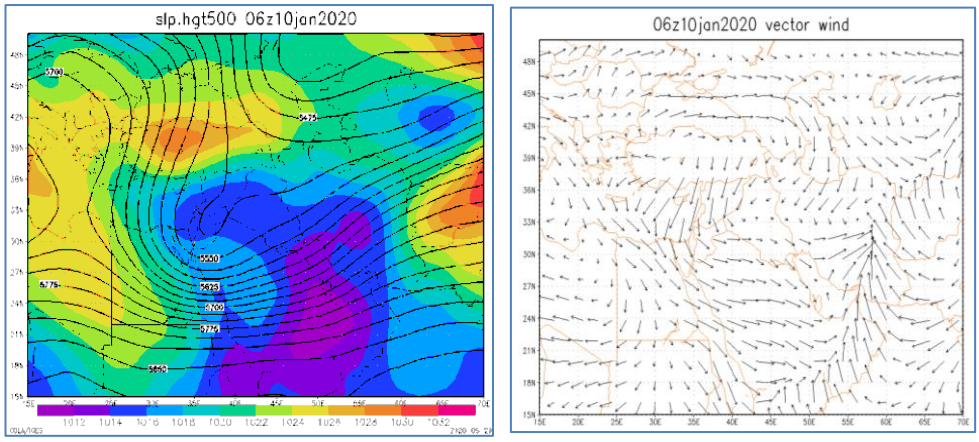


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: پهنه‌بندی بارش استان سیستان و بلوچستان در تاریخ ۱۱ و ۱۲ ژانویه ۲۰۲۰

تفسیر نقشه‌های روز قبل از وقوع سیلاب (۱۰ ژانویه ۲۰۲۰)

بررسی الگوهای فشاری سطح زمین در روز ۱۰ ژانویه ۲۰۲۰ (یک روز قبل از وقوع سیلاب) حاکی از استقرار یک سامانه کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکال بر روی شرق شبه جزیره عربستان می‌باشد (شکل ۳–چپ). این کم‌فشار با گسترش جنوب غربی– شمال شرقی در حال گسترش به منطقه مورد نظر می‌باشد. با توجه به اینکه این کم‌فشار در مجاورت دریای عرب، سرخ و خلیج‌فارس قرار گرفته، با نفوذ جریانات مرطوب به داخل آن و انتقال به لایه‌های بالاتر (در اثر حرکات صعودی در منطقه کم‌فشار) این سامانه مدام در حال تقویت شدن است. همچنین این سامانه باعث شارش توده هوای مرطوب و گرم به نواحی مرکزی ایران به‌ویژه منطقه سیستان و بلوچستان می‌شود. در این روز (۱۰ژانویه) سامانهٔ پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۲۷/۵ هکتوپاسکال بر روی مرکز ترکیه واقع شده که زبانهٔ آن به‌صورت نصف‌النهاری تا غرب دریای سرخ گسترش یافته است. این سامانه با گردش آنتی سیکلونی خود ضمن اینکه هوای سرد عرض‌های بالاتر را به پشت سامانه کم‌فشار روانه می‌کند، تداخل این پرفشار و کم‌فشار بر روی دریای سرخ سبب ایجاد جبهه و شرایط باروکلنیکی در منطقه شده است.



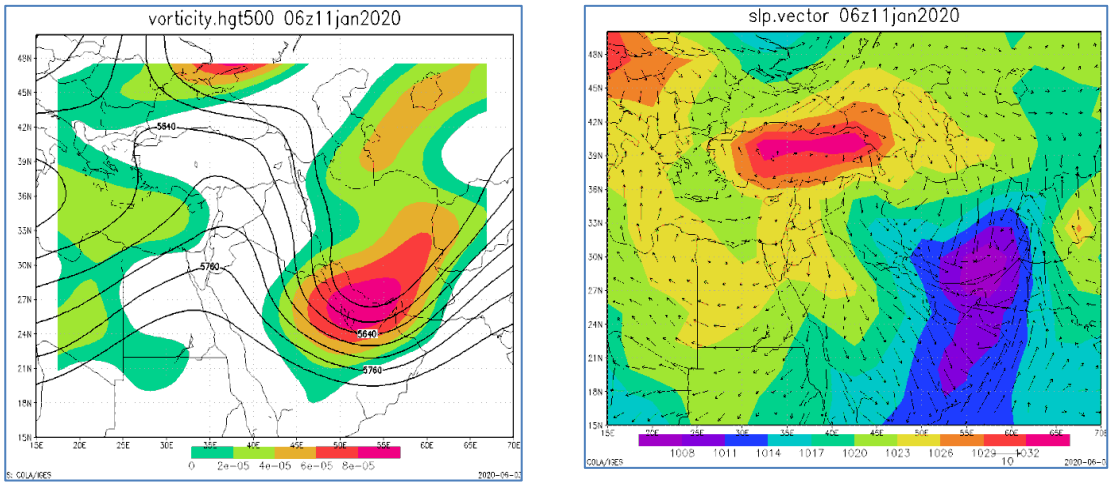
مأخذ: نگارندگان

شکل۳: نقشه جهت باد سطح زمین (راست) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئو پتانسیل ۵۰۰ ه.پ و فشار سطح دریا(۱۰ ژانویه)

بررسی نقشه‌های همدیدی تراز میانی جو (شکل۳- چپ) در روز قبل از وقوع بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه حاکی از وجود یک ناوه در شمال و غرب شبه جزیره عربستان می‌باشد. محور این ناوره با امتداد شمال شرقی جنوب غربی در غرب دریای سرخ واقع گردیده است. در این زمان منطقه سیستان و بلوچستان در شرق ناوه واقع شده است. استقرار ناوه مذکور در این ناحیه موجب نفوذ هوای سرد عرض‌های شمالی (در امتداد ناوه) و فرا رفت هوای گرم عرض‌های جنوبی (در امتداد پشته) به منطقه شده است. با توجه به اینکه منشأ این جریانات از عرض‌های بالاتر بود و در مسیر خود از دریای مدیترانه، سرخ، عرب و خلیج‌فارس عبور می‌کند بنابراین سبب شارش رطوبت به منطقه مورد نظر می شود. نقشه جریان باد سطحی (شکل ۳- راست) نیز به‌خوبی حاکی از انتقال رطوبت از منطقه خلیج‌فارس، دریای عرب و دریای سرخ به مناطق جنوبی تا مرکزی ایران بوده که شرایط را برای بارش سنگین محیا ساخته است.

تفسیر نقشه‌های روز وقوع سیلاب (۱۱ ژانویه ۲۰۲۰)

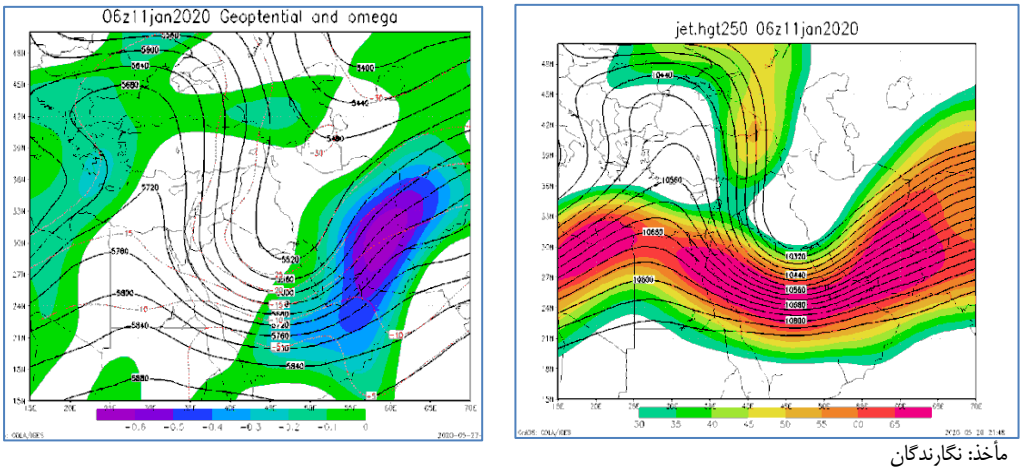
در روز وقوع سیلاب (۱۱ژانویه) سیستم کم‌فشار (سیکلون) کاملاً بر استان سیستان و بلوچستان منطبق شده و منحنی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال از منطقه مورد نظر گذر کرده است با توجه به جهت باد سطحی نیز مسیر جریان در روز مذکور از سمت خلیج‌فارس و دریای عرب به سمت منطقه پژوهش بوده که شرایط را جهت ایجاد بارش سنگین مهیا نموده است (شکل۴- راست). از لحاظ دینامیکی نیز شرایط صعود کاملاً مهیا بوده، مطابق با الگوی سطح ۵۰۰ میلی باری، منطقه در موقعیت حداکثر تاوایی مثبت قرار دارد(شکل۴- چپ)، بنابراین با توجه به همگرایی ایجاد شده در سطح زمین هوای مرطوب صعود کرده و منجر به بارش سنگین در منطقه شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه فشار و جهت باد سطح دریا(راست) د: نقشه تاوایی نسبی مثبت تراز ۵۰۰(چپ) . ۱۱ژانویه ۲۰۲۰

مطابق با الگوی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل۵) استقرار ناوه موجب نفوذ هوای سرد عرض‌های شمالی (درامتداد ناوه) و فرا رفت هوای گرم عرض‌های جنوبی (در امتداد پشته) به منطقه شده که بررسی خطوط هم‌دما بیانگر هوای سرد نفوذی از عرض‌های شمالی است. خطوط همدمای ۱۵- و ۱۰- درجه به‌موازات خطوط هم ارتفاع گسترش یافته و در پیشانی ناوه فشرده‌تر شده‌اند که از وجود گرادیان دمایی نسبتاً شدید حکایت دارد. این موضوع به همراه گرادیان فشاری شدید در قسمت پیشانی ناوه منجر به تشدید واگرایی در سطح بالا شد. این مسئله با بررسی مقادیر امگا نیز تأیید می‌شود. بر اساس مقادیر امگا بیشینه حرکات صعودی در تراز میانی جو به میزان ۰/۶- پاسکال در ثانیه در موقعیت شرق ایران بوده است. منطقه مورد مطالعه نیز کاملاً تحت تأثیر امگای ۰/۲- تا ۰/۴- می‌باشد. تاوایی مثبت در این منطقه نیرویی در جهت عمودی و به سمت بالا ایجاد کرده که موجب صعود دینامیکی هوا شده است. نکته جالب‌توجه اینکه پراکندگی مکانی بیشینه بارش در منطقه مورد مطالعه انطباق نسبتاً کاملی با هسته حرکات صعودی جو دارد. بنابراین می‌توان گفت در مناطقی که شدیدترین ناپایداری حاکم بوده، بیشترین میزان بارندگی نیز رخداده است.

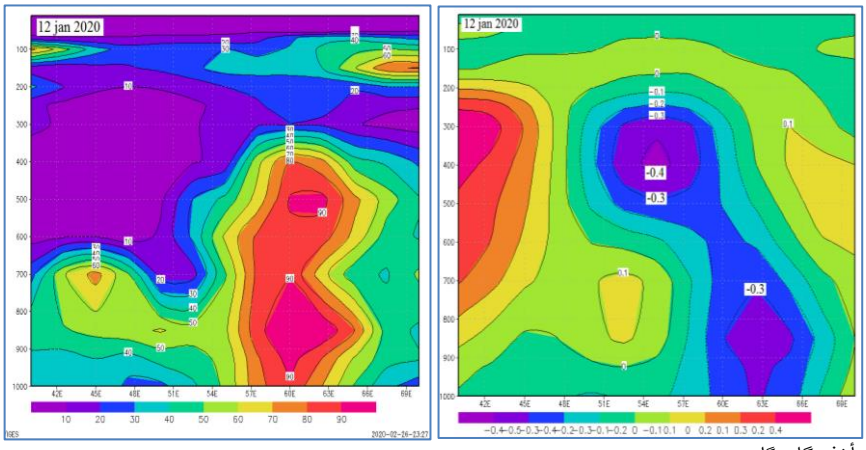


مأخذ: نگارندگان

شکل۵: نقشه همدیدی ترکیبی از امگا، خطوط هم‌دما و ژئو پتانسیل تراز میانی جو (۱۱ ژانویه ۲۰۲۰)
نقشه رود باد و ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۲۵۰هکتوپاسکال (۱۱ ژانویه۲۰۲۰

سطوح ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی باری مناسب‌ترین سطوح برای ترسیم نقشه‌های وضعیت رود باد ترازهای فوقانی جو است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۹). بدین جهت در این مطالعه به نگاشت و تفسیر نقشه رود باد در تراز ۲۵۰ میلی باری پرداخته شد. شکل۵ (راست) نقشهٔ جریان رود باد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال در ۱۲ ژانویه ۲۰۲۰را نشان می‌دهد. در این روز رود باد جنب قطبی به عرض‌های پایین‌تر نفوذ کرده است. هسته رود باد با سرعت ۶۵ متر بر ثانیه از دریای سرخ تا شرق ایران امتداد یافته است. قرارگیری رود باد به جهت افزایش واگرایی در جو فوقانی موجب تقویت جریانات صعودی شده و مهم‌تر اینکه این وضعیت با منطقه واگرایی بالایی تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال در سمت شرق محور ناوه منطبق بوده و موجب تشدید فرآیند صعود و ناپایداری می‌شود.

شکل ۶ (سمت راست) نقشه هوف مولر برای پارامتر امگا در امتداد عرض ۲۵ درجه در روز ۱۲ ژانویه ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در طول تقریباً ۶۱ درجه (چابهار) در تراز ۱۰۰۰ میلی باری یک میدان امگای منفی قوی به میزان ۰/۲- پاسکال بر ثانیه بر روی منطقه مورد نظر گسترش یافته است. در تراز ۸۵۰ مقدار امگا به ۰/۳- رسیده که مبین تشدید ناپایداری در این سطح می‌باشد. مجموع شرایط مذکور بیانگر مهیا بودن شرایط برای صعود هوا و تقویت ناپایداری بر روی منطقه پژوهش است. با توجه به عوامل صعود ذکر شده و ناپایداری‌های موجود و رطوبت شارش شده به منطقه، نقشه هوف مولر رطوبت (شکل۶- چپ) به‌خوبی نشانگر وجود رطوبت کافی ۸۰ تا ۹۰ درصدی تا سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال بوده و شرایط را برای ایجاد بارش سنگین در منطقه فراهم کرده است.

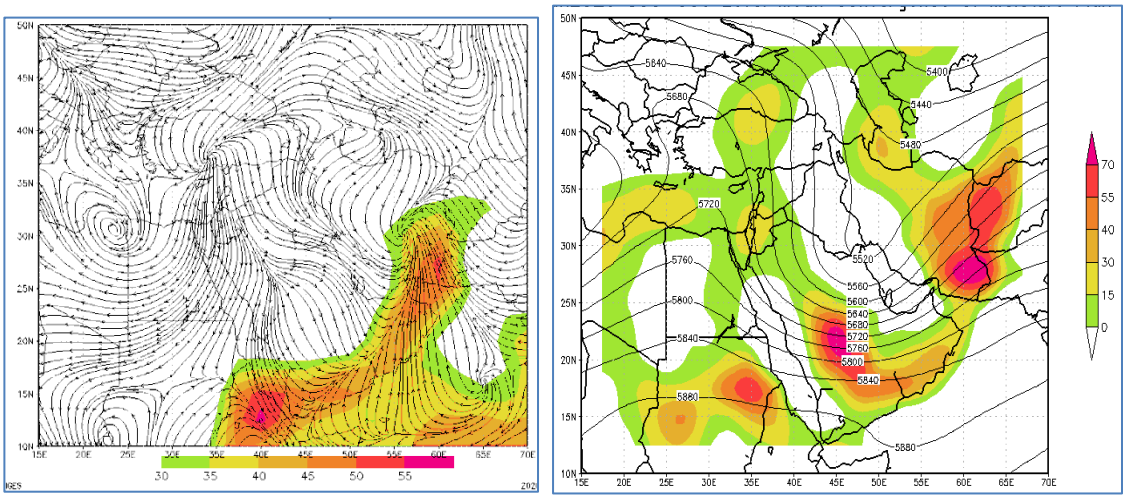


مأخذ: نگارندگان

شکل۶: نقشه هوف مولر امگا (راست) و رطوبت (چپ). عرض ۲۵ درجه ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰

مسلم است که در شرایط هوای ناپایدار؛ در صورت وجود رطوبت کافی، بارندگی شکل می‌گیرد. لذا در این بخش از پژوهش به بررسی کل رطوبت موجود در جو پرداخته شد. در روز ۱۱ ژانویه یک نوار رطوبتی از جنوب دریای سرخ و تنگه باب المندب تا جنوب شرق ایران گسترش یافته است (شکل ۷). هسته بیشینه رطوبت به مقدار ۴۵ تا ۵۵ گرم بر کیلوگرم بر روی منطقه پژوهش شکل‌گرفته که حاکی از وجود رطوبت کافی برای تبدیل شدن به باران است. این هسته رطوبتی

در برخورد با جریانات صعودی، بارش‌های سنگین را به وجود می‌آورد. بررسی مسیر رطوبت از روی نقشه خطوط جریان نشان می‌دهد که رطوبت از مسیر دریای سرخ، خلیج‌فارس و دریای عمان به منطقه پژوهش منتقل شده است.



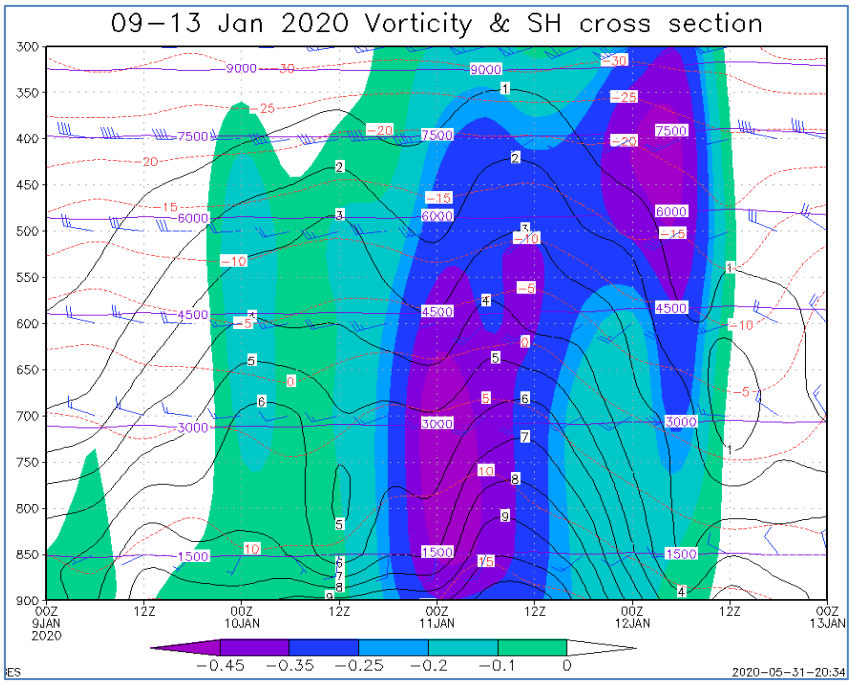
مأخذ: نگارندگان

شکل۷: چپ– نقشه رطوبت ویژه (مجموع تراز ۱۰۰ تا ۵۰۰)و خطوط جریان۱۲ ژانویه۲۰۲۰
راست– تابع همگرایی شار رطوبت برای سطوح ۸۵۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال

برای بررسی دینامیک جو در تبدیل رطوبت اتمسفر به بارندگی از تابع همگرایی شار رطوبت استفاده شد. تابع همگرایی شار رطوبت به‌صورت میانگین سطوح ۸۵۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در شکل۷ (سمت راست) نشان داده شد. طبق این نقشه همگرایی شار رطوبت در جنوب شرق ایران مثبت و مقدار نسبتاً بالایی است، بطوریکه مقدار بیشینه آن در این ناحیه به بیش از ۷۰ گرم بر کیلوگرم در ثانیه می‌رسد.

به‌منظور مطالعه تحولات درونی اتمسفر در هنگام گذر سامانه بارشی؛ تغییرات پارامترهای مهم جوی به‌صورت برش قائم از جو مابین ۹۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال از دو روز قبل از وقوع سامانه بارشی تا دو روز بعد از آن ترسیم گردید (شکل۸). همان‌طور که در شکل مشخص است مقدار امگا از اوایل روز ۹ ژانویه تا اواسط روز ۱۲ ژانویه مقدار منفی را نشان می‌دهد که بیانگر حاکمیت شرایط جوی ناپایدار در این روزهاست. در این میان دو هسته بیشینه حرکات صعودی قابل تشخیص است که اولی به شکل کاملاً توسعه یافته در لایه‌های زیرین تراز میانی جو (یعنی ۶۰۰ تا ۹۰۰ میلی باری) و بامداد روز ۱۱ ژانویه حاکم بوده و دیگری در قبل ظهر روز ۱۲ ژانویه از تراز میانی جو تا سطح ۳۰۰ میلی باری توسعه یافته است. سرعت بیشینه حرکات صعودی در روز ۱۱ ژانویه ۰/۴۵ پاسکال در ثانیه بوده است. بررسی میزان رطوبت موجود حاکی است هر چند که از قبل نیز رطوبت نسبتاً زیادی در لایه‌های میانی جو وجود داشته است اما روز ۱۰ ژانویه مقدار موجودی در اغلب لایه‌ها به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این ادعا از طریق افزایش مقادیر رطوبت ویژه و انحنای خطوط هم ارزش رطوبتی به سمت ترازهای بالا اثبات می‌شود.ن کته قابل توجه اینکه بیشترین میزان موجودی رطوبت جو با شدیدترین حرکات صعودی هوا در روز ۱۱ ژانویه به‌طور هم‌زمان اتفاق افتاده است. مسئله

قابل تأمل دیگر در این میان نوسانات درجه حرارت هواست. خطوط هم‌دما در همه ترازهای جوی در روزهای ۹ و ۱۰ ژانویه انحنای خفیفی به سمت ترازهای فوقانی جو دارند که بیانگر افزایش نسبی دما در لایه‌های مختلف جو در روزهای مذکور است. افزایش نسبی دما و همچنین افزایش مقدار رطوبت در این روزها به دلیل فرارسیدن جریان هوایی گرم و مرطوب خلیج‌فارس و دریای عرب به جنوب شرق ایران است که در شکل ۷ مورد تحلیل قرار گرفت. به لحاظ استقرار حرکات صعودی از ترازهای نزدیک سطح زمین تا ترازهای فوقانی در روز ۱۱ ژانویه؛ ضمن مشارکت رطوبت موجود در تمامی ترازهای جوی در تشکیل ابر و بارندگی، درجه حرارت هوا نیز در محدوده ارتفاعی فعالیت بیشینه حرکات صعودی (یعنی ۶۵۰ تا ۳۰۰ میلی باری) بین صفر تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد بوده است. اما به دلیل استقرار هوای گرم در لایه زیرین جو (پایین‌تر از ۶۵۰ میلی باری) منجر به بارش تگرگ یا برف نشد. عامل همدیدی اثر گذار دیگر، جریان هم‌زمان هسته رود باد قطبی در شمال شرق ایران است. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است در محدوده فعالیت بیشینه امگای منفی در روز ۱۱ ژانویه سرعت باد در سطوح فوقانی به بیش از ۴۰ متر بر ثانیه رسیده است که از فعالیت رود باد حکایت دارد. رود باد مذکور به سمت ترازهای زیرین عمیق شده است به‌گونه‌ای که سرعت وزش باد در ترازهای میانی جو بیش از ۳۰ متر بر ثانیه بوده است. استیلای هسته رود باد ضمن ایجاد واگرایی در لایه فوقانی؛ باعث عمیق‌تر شدن جریانات صعودی هوا (ایجاد ناپایداری از ترازهای نزدیک سطح زمین تا ترازهای فوقانی در عمقی نزدیک ۸۰۰۰ ژئو پتانسیل متر) شد. مهم‌تر از همه اینکه فعالیت هسته رود باد باعث جابجایی هسته بیشینه حرکات صعودی به ترازهای بالاتر شده است. بر اساس شکل ۸ از اواسط روز ۱۱ ژانویه، با رد شدن منطقه چرخندی ناوه از فراز جنوب شرق ایران به دلیل حرکت شرق سوی هسته رود باد و تضعیف وزش رطوبتی دریای عرب، و نهایتاً با بی‌رمق شدن حرکات صعودی هوا بارندگی در جنوبی شرق ایران خاتمه یافت.



مأخذ: نگارندگان

شکل۸: نمودار ترکیبی همدیدی از برش عمودی جو (معروف به نمودار هوف – مولر) از ۹ تا ۱۳ ژانویه ۲۰۲۰ در جنوب شرق ایران

در این نمودار سایه رنگ‌ها نشان‌دهنده امگای مقادیر امگای منفی (پاسکال در ثانیه)، خطوط ممتد سیاه نشانگر مقادیر رطوبت ویژه (برحسب گرم بر کیلوگرم)، خط چین‌های قرمز درجه حرارت هوا (برحسب درجه سانتی‌گراد) و خطوط ممتد بنفش که به‌موازات ترازهای جوی کشیده شده‌اند ارتفاع ژئو پتانسیلی را نمایش می‌دهند.

نتیجه‌گیری

منشأ عمده بارش در استان سیستان و بلوچستان نزولات جوی ناشی از جریان‌های هوای مرطوبی است که از خلیج‌فارس، دریای عرب و دریای سرخ به منطقه می‌رسند. بررسی نقشه‌های وزش رطوبتی مجموع ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز شارش رطوبتی قوی بر روی منطقه بخصوص در زمان وقوع بارش‌های سیل‌آسا که از منابع رطوبتی مذکور تغذیه می‌شود را نشان می‌دهد. در سطوح میانی جو نیز شاهد قرارگیری منطقه وزش افقی چرخندگی مثبت بر روی استان سیستان و بلوچستان هستیم که فرآیند صعود را برای هوای مرطوب تجمع یافته در اطراف مرکز کم‌فشار در منطقه فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر، این اثر صعود دینامیکی منطقه فرا رفت بادهای غربی، توسط رود باد قطبی موجود در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال تشدید شده است؛ به نحوی که قرارگیری رود باد به جهت افزایش واگرایی در جو فوقانی موجب تقویت جریان‌های صعودی از سطح زمین شده است؛ علاوه بر این، این وضعیت با منطقه واگرایی بالایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سمت شرق محور ناوه منطبق بوده و موجب تشدید فرآیند صعود و ناپایداری و در نهایت بارش سیل‌آسا در منطقه شد؛ نتایج کلی نشان می‌دهد که استقرار مرکز کم‌فشار سطح زمین که موجب جهت دادن و ریزش هوای مرطوب از محیطهای دریایی پیرامونی شد، مهم‌ترین دلیل بارش سیل‌آسا است. در سطوح فوقانی جو نیز قرارگیری منطقه وزش افقی چرخندگی مثبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه و انطباق آن با منطقه واگرایی بالایی

رود باد سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال باعث تشدید واگرایی در سطوح فوقانی شد؛ عوامل فوق‌الذکر مهم‌ترین عوامل دینامیکی رخداد باران سیل‌آسا در جنوب استان سیستان و بلوچستان است.

نتایج این پژوهش تأییدی بر برخی یافته‌های ذیل در مورد الگوی همدید بارش‌های سنگین در نیمه جنوبی کشور بوده و در مورد تأثیر دریای عرب و خلیج‌فارس به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده رطوبت، بر نتایج پژوهشی دیگر منطبق است. مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش انجام شده توسط احمدی و جعفری (۱۳۹۴) در واکاوی بارش فوق سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ در شهرستان بندرعباس مشابهت زیادی دارد؛ بر اساس نتایج پژوهش فوق گسترش ناوه عرض‌های فوقانی بر روی خاورمیانه، فعال شدن کم‌فشار سودانی و نفوذ آن بر روی منطقه و استقرار رود باد جنب حاره در جلوی ناوه که موجب فرا رفت شدید هوای گرم و مرطوب دریاهای جنوبی شده، عامل اصلی در ایجاد بارش سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ است؛ که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر نفوذ کم‌فشار سودانی به منطقه و استقرار رود باد در سطح فوقانی و قرار گیری منطقه در جلوی ناوه مشابهت زیادی دارد. همچنین احمدی و جعفری (۱۳۹۷) در بررسی مسیر سامانه‌های مؤثر در ایجاد بارش سنگین بیش از ۵۰ میلی‌متر در جنوب ایران و محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۵) در تحلیل همدیدی اثرات پدیده بلاکینگ بر بارش سیلابی فروردین ۱۳۹۲، وجود منابع رطوبتی از خلیج‌فارس و دریای عمان و همچنین نقش سامانه کم‌فشار سودانی را عامل مهمی برای بارش‌های رخداده در نواحی جنوبی ایران مطرح کردند که با نتایج حاصله از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

منابع

۱- آرامش، محسن؛ علیجانی، بهلول؛ دنیادوست، هادی (۱۳۹۳): تحلیل همدید سیلاب در حوضه آبریز سرباز، نشریه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال هفدهم، شماره پنجاه و هشتم، صص ۷۰-۴۹.

۲- احمدی، محمود و جعفری، فرزانه (۱۳۹۷): مسیریابی کامل و تحلیل سینوپتیک یک نمونه مطالعاتی از سامانه‌های منجر به بارش‌های سنگین بیش از ۵۰ میلی‌متر در جنوب ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره بیستم، صص ۱۰۲-۸۳.

۳- احمدی، محمود؛ جعفری، فرزانه (۱۳۹۴): واکاوی بارش فوق سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس، نشریه مدیریت مخاطرات محیطی، دوره دوم، شماره سوم، صص ۳۲۴-۳۰۷.

۴- حبیبی، فریده؛ فیروزآبادی، محبوبه؛ زارعی، فاطمه (۱۳۹۶): تحلیل همدیدی-دینامیکی وقوع سیل بندرعباس در مارس ۲۰۱۴، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال بیست و دوم، شماره شصت و شش، ص ۱۶۲-۱۴۱.

۵- حسینی صدر، عاطفه؛ محمدی، غلامحسین؛ عبدالعلی‌زاده، فیروز؛ خجسته غلامی، وحید (۱۳۹۸): تحلیل ساز و کار همدیدی بارش سنگین خسارت‌بار در شمال غرب ایران ۱۴ آوریل ۲۰۱۷، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال بیست و سوم، شماره هفتاد، صص۱۰۰-۷۹.

۶- ذکی زاده اوماسلان علیا، میر بهروز؛ سلیقه، محمد؛ حسین ناصر زاده، محمد؛ اکبری، مهری (۱۳۹۷): تحلیل آماری و سینوپتیکی مؤثرترین الگوی رود باد ایجاد کننده بارش سنگین، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال هفتم، شماره پانزدهم، صص ۴۸-۳۱.
۷- علیجانی، بهلول (۱۳۹۲): آب و هوای ایران، چاپ دوازدهم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران
۸- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۱): نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار Grads، چاپ اول، انتشارات سها دانش، تهران.
۹- محمودآبادی، مهدی؛ امیدوار، کمال؛ نارنگی فرد، مهدی؛ فاطمی، مهران (۱۳۹۵): تحلیل همدیدی اثرات پدیده بلاکینگ بر بارش سیلابی فروردین ماه ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره هفتم، شماره ۲۵، صص ۸۲-۶۷.

10- Banacos, P. C., & Schultz, D. M. (2005): The Use Of Moisture Flux Convergence In Forecasting Convective Initiation: Historical And Operational Perspectives. Weather And Forecasting, 20(3), Pp. 351-366.
11- Evin, G., Blanchet, J., Paquet, E., Garavaglia, F., & Penot, D. (2016): A Regional Model For Extreme Rainfall Based On Weather Patterns Subsampling. Journal Of Hydrology, 541, Pp. 1185-1198.
12- Feloni, E. Nastos, P. And Mastanguras, I. (2017): Seasonal Synoptic Characteristics Of Heavy Rain Events In The Attica Region. 13th International Conference On Meteorology Climatology And Atmospheric Physics. Pp. 1-16.
13- Hidayat, R. Pawitan, H. Aldrian, E. And Nuryanto, D. (2016): Heavy Rainfall Distributions Over Java Sea In Wet Season. Procedia Environmental Sciences. 33: Pp. 178-186.
14- Kai, Y. Zhiwei, Z. And Ming, L. (2017): A Pair Of New Moisture Dynamic Diagnostic Parameters For Heavy Rain Location. Springer.130: Pp. 325-331.
15- Li L., Albertus J. D., (2015): "Trajectory Analysis Of The Heavy Rain In Beijing", Earth And Climate Cluster, Pp. 23-24.
16- Michael J. P., James S.R., Caroline C.U., Peter R.B., (2014): "A Synoptic Climatology Of Heavy Rain Events In The Lake Eyre And From Catchments Frontiers In Environmental Science", Atmospheric Science.
17- Mubarak, H.E. And Varshosaz, K. (2011): The Divergence Field In Western Iran Heavy Rain Associated With Central Mediterranean Cyclone. Advances In Environmental Biology. Pp. 3425-3433.
18- Sarat C.K. And Sarita T. (2015): Model Simulations Of Heavy Precipitation In Kashmir-India, In September 2014. National Hazards. 81: Pp. 167-188.
19- Yian, S.Yu, D. And Guixing, C. (2019): Ensemble Sensitivity Analysis Of Heavy Rainfall Associated With Three Mcss Coexisting Over Southern China. Journal Of Geophysical Research: Atmospheres. Pp. 1-27.
20- Yanzhen, K. Xindong, O. Shigong, W. Chunqing, D. Kezheng, S. And Yang, Z. (2020): Statistical Characteristics And Synoptic Situations Of Long-Duration Heavy Rainfall Events Over North China. Earth And Space Science. Pp. 1-18.