

واکاوی آماری و همدیدی سامانه بارشی منجر به سیلاب دی ماه ۱۳۹۸ در

جنوب و جنوب شرق کشور

هنگامه شیراوند^{۱*}، ابراهیم اسعدی اسکویی^۲، سید اسعد حسینی^۳، زرین طحان^۱

۱- کارشناس مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، مشهد، ایران

۳- کارشناس هواشناسی همدیدی اداره کل هواشناسی استان کردستان، سنندج، ایران

چکیده

تحلیل آماری و همدیدی سامانه‌های بارشی امکان‌شناسایی و پیش‌بینی حوادث منجر به سیلاب را فراهم می‌آورد. لذا در این پژوهش، سامانه بارش سنگین و سیل‌زای ۲۱ تا ۲۳ دی‌ماه ۱۳۹۸ در جنوب و جنوب شرق کشور مورد تحلیل آماری و همدیدی قرار گرفت. بدین منظور از نقشه‌های تراز سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، جریاد باد در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال و همچنین نقشه‌های سرعت قائم هوا و آب قابل بارش استفاده شد. بر اساس نتایج بیشترین میزان بارش در طی فعالیت سامانه مورد بررسی در استان سیستان و بلوچستان ریزش کرده است که تقریباً ۱۵ برابر میانگین بلند مدت آن می‌باشد. همچنین بیشترین بارش تجمعی در طی ۲۴ ساعت نیز مربوط به ایستگاه‌های قشم (ساحلی) و رودان در استان هرمزگان است. بررسی‌های همدیدی نیز نشان داد که در روز شروع بارش، استقرار ناحیه کم‌فشار و همگرایی سطوح زیرین به ویژه همگرایی مابین کم‌فشار مستقر بر روی جنوب شرق ایران و پرفشار مستقر بر روی افغانستان و پاکستان در جلو ناه عمیق تراز میانی و زیر منطقه فرارفت افقی چرخندگی مثبت و همچنین شیب زیاد فشار بین مراکز کم‌فشار و پرفشار مستقر در منطقه، سبب انتقال حجم زیادی از رطوبت و گرما در سطوح زیرین به ویژه از اقیانوس هند و دریای عمان به سمت کشور شده است. آرایش این الگوها سبب شکل‌گیری یک هسته فرارفت قائم منفی با بیشینه ۰/۵- پاسکال بر ثانیه در جنوب شرق کشور شده است. بررسی الگوی جریان باد در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز هسته رودباد جنب حاره با سرعت ۷۵ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد که با عبور از روی خلیج فارس و در راستای شمال شرق، جنوب و جنوب شرق کشور را تحت تاثیر خود قرار داده و به شکل‌گیری مراکز فشار دینامیکی و شرایط جوی ناپایدار در سطح زمین کمک کرده است. بررسی منابع رطوبتی نیز نشان داد که اقیانوس هند، دریای عمان، خلیج فارس و دریای سرخ مهمترین منابع رطوبتی تغذیه‌کننده این سامانه بارشی بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بارش، سیل، سیستان و بلوچستان، همدید.

مقدمه

یکی از بلاهای طبیعی که هر ساله در سراسر جهان خسارات جانی و مالی زیادی ایجاد می‌نماید و باعث آواره شدن و نابسامانی تعداد زیادی از مردم می‌شود سیل می‌باشد که عبارت است از حرکت نابهنگام و سریع جریان آب در سطح زمین، بطوری که امکان مهار آن وجود نداشته باشد و بر اثر شدت جریان تمامی موانع موجود در مسیر شامل منازل، شهرها، مزارع، باغات و غیره صدمه دیده و یا از بین می‌رود (لشکری، ۱۳۷۵). سیل یکی از زیانبارترین بلاهای طبیعی است که همیشه با خسارت‌های اقتصادی و در برخی موارد با تلفات انسانی همراه می‌باشد (لشکری، ۱۳۸۷) و با داشتن بیشترین فراوانی نسبی وقوع از حوادث طبیعی در جهان (حدود ۴۰ درصد) باعث خسارات فراوان و حتی بی‌خانمان شدن و مهاجرت عده‌ی زیادی می‌شود (پروین، ۱۳۸۶). کشور ایران در مقایسه با سایر کشورهای جهان به سبب داشتن تنوع محیطی، رتبه بالایی را در بروز بحران ناشی از سوانح طبیعی داراست. به طوری که، از ۴۰ نوع بالای طبیعی جهان، ۳۱ مورد آن در ایران رخ داده است (میرزاخانی، ۱۳۷۸). براساس گزارش فائو، ایران از نظر استعداد و پتانسیل خیزی بلاهای طبیعی رتبه‌ی دهم را در جهان به خود اختصاص می‌دهد (Shen, 2003). آمار و اطلاعات نشان می‌دهند که در سال‌های اخیر نه تنها تعداد و شدت سیل‌ها رو به افزایش است، بلکه خسارت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن نیز رو به فزونی است. افزایش جمعیت، اشغال دشت‌های سیلابی و کاربردی نامناسب اراضی، از جمله دلایل وقوع سیل است. بنابراین اقدامات کاهش خسارات و کنترل سیل از اولویت‌های مهم بوده و نیازمند توجه بیشتر و ساماندهی منابع برای اطمینان از دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد. علاوه بر این تغییرات شدید آب و هوایی در قالب گرم شدن کلی جهان، منجر به تغییر الگوهای دما و بارش و پدید آمدن ناهنجاری‌های اقلیمی در اغلب نقاط جهان شده است. در این راستا فعالیت‌های انسانی مانند تخریب جنگل‌ها و چرای مراتع توسط دام، موجب از بین رفتن پوشش گیاهی مناطق جنگلی، مراتع و کاهش ظرفیت پذیرش آب این مناطق شده است و با اندک بارشی حجم وسیعی از رواناب ایجاد شده و تبدیل به سیل می‌گردد

(اداره کل هواشناسی استان لرستان، ۱۳۸۷). بارش، مهم‌ترین منبع تأمین آب سیلاب است. لذا وجود اطلاعات دقیق و کنترل شده بارش می‌تواند در فرایند شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب به عنوان اولین متغیر، مورد بررسی قرار گیرد (Lorrai and Sechi, 1995). در این راستا هایلاک و نیکولز (Haylock and Nicholls, 2000)، سالینجر و گریفیتس (Salinger and Griffiths, 2001) و روجر و همکاران (Roger et al, 2000) نشان دادند که رشد خسارت کل سیلاب‌های دهه اخیر در ارتباط با عوامل اقلیمی (افزایش بارش) و عوامل اجتماعی (افزایش جمعیت و تصرف طبیعت) قابل توجه است. تریگو و همکاران (Trigo et al, 2014) به تحلیل سینوپتیکی بارش‌های منجر به سیلاب در شبه جزیره ایبری پرداختند. نتایج نشان داد بارش‌های منجر به سیلاب در این منطقه به دلیل عبور مداوم سیستم‌های کم‌فشار اقیانوس اطلس است که با حضور جریان رطوبت گرمسیری رودخانه‌های جوی بر فراز اقیانوس اطلس ایجاد شده است. یائو و هانگ (Yao and Huang, 2016) به تحلیل حوادث بارانی شدید در شرق چین پرداختند. نتایج نشان داد که بادهای ساحلی هوای گرم و مرطوب را از دریای چین جنوبی و غرب اقیانوس آرام به منطقه مورد مطالعه وارد می‌کنند و منجر به ریزش بارش‌های شدید در این منطقه می‌شوند سیسوانتو و همکاران (Siswanto et al, 2017) به بررسی بارش‌های منجر به سیل سال ۲۰۱۵ در جاکارتا پرداختند. نتایج نشان داد بادهای موسمی شدید همراه با باد شمالی غیرمنتظره منجر به وقوع سیل در این منطقه شده است. بدنورز و همکاران (Bednorz et al, 2019) به بررسی الگوهای سینوپتیکی منجر به سیل‌های تابستانه در کوهستان سودتن در لهستان پرداختند. نتایج نشان داد که تشکیل سیکلون بر فراز دریای مدیترانه و اقیانوس اطلس عامل بیشتر بارندگی‌های شدید و سیلابی این منطقه هستند. مطالعات علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که تشکیل کم فشار روی سواحل شمالی خلیج فارس سبب ناپایداری و ریزش‌های سیلابی شدید در جنوب شرق کشور می‌شود. عزیز و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که شکل‌گیری کم فشارهای حرارتی روی دریای عرب و خلیج فارس و گسیل زبانه‌های آن روی پاکستان سبب بارش‌های سیل آسا در پاکستان می‌شود. احمدی و جعفری (۱۳۹۵) به

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر اساس روش تحلیل محیطی به گردشی متمرکز می‌باشد، به طوری که بر اساس رخداد سیلاب الگوهای هم‌دیدگی منجر به این پدیده شناسایی شد. به منظور واکاوی آماری و هم‌دیدگی سامانه بارشی منجر به سیلاب در تاریخ ۲۱ تا ۲۳ دی ماه سال ۱۳۹۸ (۱۱ تا ۱۳ ژانویه ۲۰۲۰) در جنوب و جنوب شرق کشور، ابتدا داده‌های آماری بارش کشور طی فعالیت این سامانه از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. سپس به منظور بررسی الگوهای جوی و رفتار آن‌ها، نقشه‌های هم‌دیدگی تراز سطح دریا، ارتفاع تراز 500 hPa، رطوبت نسبی سطح زمین و تراز 500 hPa، جریاد باد در ترازهای 850 hPa، 700 hPa و 300 hPa و همچنین نقشه‌های سرعت قائم (ω) و آب قابل بارش از عرض ۱۰ تا ۷۰ درجه شمالی و صفر تا ۸۰ درجه شرقی از دو روز قبل از وقوع سیل تا یک روز بعد از وقوع آن تحلیل و تفسیر گردید. محدوده جغرافیایی به گونه‌ای انتخاب شد که تمام سامانه‌های جوی مؤثر بر منطقه مورد مطالعه را در برگیرد. بدین ترتیب الگوی هم‌دیدگی سامانه بارشی سیل‌زای مذکور در طی چهار روز متوالی در سطوح مختلف جو مورد تحلیل قرار گرفت.

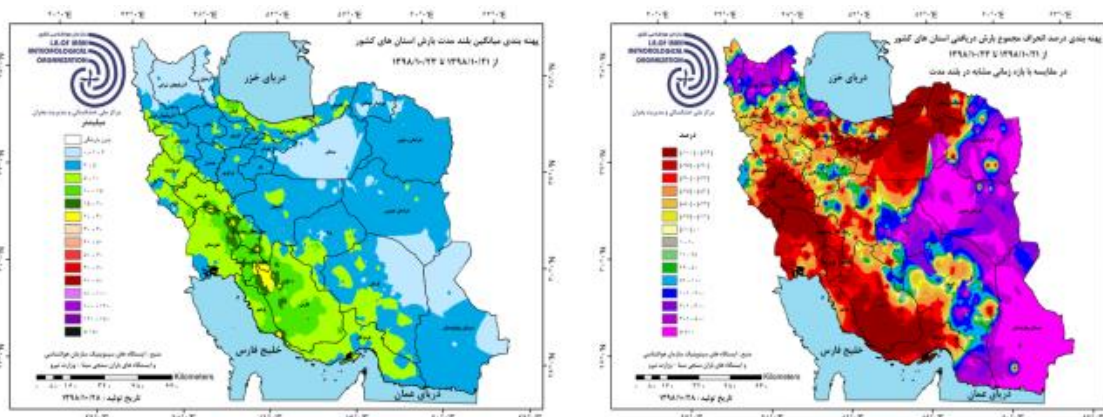
نتایج و بحث

بررسی آماری بارش‌های دریافتی کشور از تاریخ ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که در این دوره یک موج بارشی کل کشور را در بر می‌گیرد که منجر به سیل و آبگرفتگی در بسیاری از نواحی بویژه نواحی جنوبی و جنوب شرقی کشور گردید. بر اساس آمار و اطلاعاتی دریافتی میانگین بارش کشور در فاصله زمانی یاد شده به مقدار ۸/۴ میلی‌متر ثبت گردید که در مقایسه با دوره مشابه بلندمدت (۴/۵ میلی‌متر)، حدود ۴ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. بیشترین بارش در دوره یاد شده در استان سیستان و بلوچستان به میزان ۳۱/۵ میلی‌متر رخ داد که تقریباً ۱۵ برابر میانگین بلند مدت آن می‌باشد. بعد از آن استان گیلان و خراسان جنوبی رتبه دوم و سوم بارش را به ترتیب با ۲۰/۷ و ۱۵/۹ میلی‌متر در کشور داشته است. پهنه‌بندی درصد انحراف بارش دریافتی طی سامانه مورد بررسی نسبت به میانگین بلندمدت مشابه نیز نشان می‌دهد که بیشترین

تحلیل هم‌دیدگی و ترمودینامیکی بارش سیل آسای ۲۸ تا ۳۱ تیر ۱۳۹۴ در نیمه شمالی کشور پرداختند. نتایج نشان داد که گسترش پرفشار دریای سیاه بر روی نیمه شمالی و نفوذ کم فشار گرم پاکستان - خلیج فارس از جنوب، ضمن شمالی شدن جریانات، موجب شیو شدید فشاری در تراز دریا شده است و در ترازهای میانی جو کشیده شدن محور فرود از آسیای مرکزی تا جنوب ایران صعود شدید هوا را به همراه داشته است. رضایی و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل هم‌دیدگی بارش - های بیش از ۲۰ میلی‌متر جهت اعلام هشدار وقوع سیل در استان سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج نشان داد منشاء این بارش‌ها در دوره سرد سال ناشی از موج‌های بادهای غربی است که در خلیج فارس و دریای عمان توانایی جذب رطوبت را دارند. آرامش و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل هم‌دیدگی سیلاب در حوضه آبریز سرباز پرداختند. نتایج نشان داد در رژیم زمستانه در سطح زمین زنجیره‌ای از کم فشارها از شرق آفریقا تا شمال شرق پاکستان شکل گرفته 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. صفریان زنگیر و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی شرایط هم‌دیدگی وقوع بارش‌های منجر به سیلاب در شهرستان خلخال پرداختند. نتایج نشان داد که علاوه بر شرایط جوی و زمینی مؤثر در ایجاد بارش سنگین در تاریخ مذکور، وضعیت داخلی همراه با الگوی خارجی مثل دریا‌های اطراف و مجاور ایران از جمله دریای سیاه و مدیترانه تأثیر داشته است. برای آن که در یک منطقه بتوان از خسارات ناشی از بروز سیل جلوگیری نمود و یا شدت آن را کاهش داد بایستی با اتخاذ تدابیری خاص بارش‌های شدید را از قبل پیش‌بینی نموده و با ایجاد یک سیستم هشدار سیل محلی و با اعمال مدیریت ریسک در منطقه، شدت سیل و خسارات ناشی از آن را کاهش داد. در این راستا با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های هم‌دیدگی بر روی نقشه‌های هواشناسی می‌توان الگوهای منجر به سیلاب را تشخیص داد و قبل از وقوع نیز آن را پیش‌بینی کرد و خسارات وارده را به حداقل رساند. لذا با این هدف در این پژوهش به تحلیل آماری و هم‌دیدگی سامانه بارشی سیل‌زای دی ماه ۱۳۹۸ در جنوب و جنوب شرق کشور پرداخته شد.

زیادبارش در روز شنبه ۲۱ دی ماه موجب وقوع سیلاب‌های سهمگین در استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان گردید.

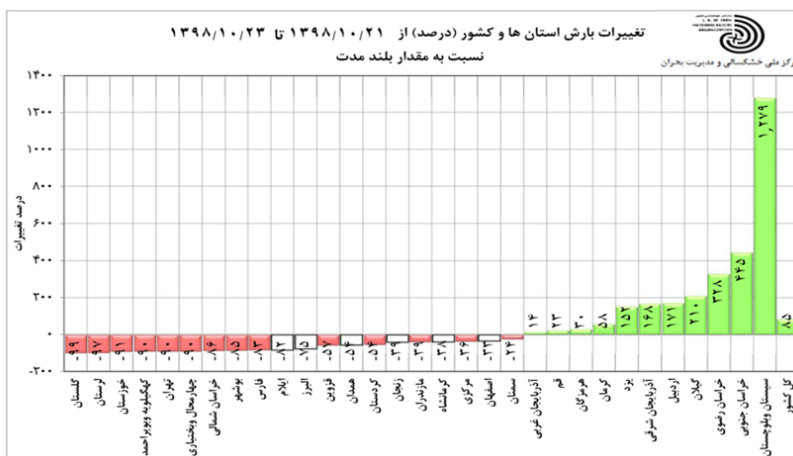
تغییرات مربوط به نیمه شرقی کشور و به ویژه جنوب شرق کشور است که میزان آن به بیش از ۵۰۰ درصد می‌رسد (شکل ۱). بارش‌های مذکور در فاصله زمانی ۲۱ تا ۲۳ دی ماه و طی فعالیت یک سامانه بارشی رخ داد که به دلیل حجم



شکل ۱- پهنه‌بندی بارش و درصد انحراف بارش دریافتی کشور طی سامانه بارشی ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۱۳۹۸

رضوی نیز به ترتیب با ۴۴۵ و ۳۲۸ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. همچنین در این مدت میزان بارش دریافتی کشور نسبت به مقدر بلندمدت، ۸۵ درصد تغییر داشته است (شکل ۲).

درصد تغییرات بارش دریافتی طی سامانه ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۱۳۹۸ نسبت به میانگین بلندمدت مشابه به تفکیک استان‌های کشور نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به استان سیستان و بلوچستان به میزان ۱۲۷۹ درصد نسبت به مقدار بلند مدت است. استان‌های خراسان جنوبی و خراسان



شکل ۲- تغییرات بارش استان‌های کشور طی سامانه بارشی ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۱۳۹۸ نسبت به مقدار بلندمدت

۱۰۲/۸ میلی‌متر بارش است که بالاترین رکورد بارش ۲۴ ساعته در طی گذر این سامانه می‌باشد. این دو ایستگاه به ترتیب ۱۶۷/۷ و ۸۲/۸ میلی‌متر نسبت به بلندمدت افزایش بارش داشته اند (جدول ۱).

بر اساس آمار و اطلاعات ثبت شده بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک جنوب و جنوب شرق کشور، بیشترین بارش تجمعی در طی ۲۴ ساعت مربوط به دو ایستگاه قشم (ساحلی) و رودان در استان هرمزگان به ترتیب با ۱۷۶ و

جدول ۱- پر بارش‌ترین ایستگاه‌های کشور طی گذر سامانه بارشی ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۱۳۹۸

ایستگاه	بارش ۲۴ ساعته	اختلاف با رکورد بلندمدت	ایستگاه	بارش ۲۴ ساعته	اختلاف با رکورد بلندمدت	رکورد قبلی	رکورد قبلی
قشم (ساحلی)	۱۷۶	۱۶۸/۷	چاسک	۷/۳	۴۳	۳/۴	۴۳
رودان	۱۰۲/۸	۸۲/۸	جیرفت	۲۰	۹/۲	۲۹/۸	۹/۲
میناب	۸۹	۶۰	خاش	۲۹	۱۹	۱۹	۱۹
جزیره قشم	۸۳	۴۵	نیک شهر	۳۸	۳	۳۴/۱	۳
جزیره قشم	۸۳	۴۵	میر جاوه	۳۸	۱	۲۷	۱
جزیره ابوموسی	۷۹/۴	۲۳/۴	زاهدان	۵۶	۲۵	۲/۸	۲۵
بندر خمیر	۶۶/۳	۶۶/۳	پارسیان	۰/۰۱	۱۲	۸/۴	۱۲
کهنوج	۵۶/۶	۲۸/۶	زهک	۳۷	۱۳	۲/۷	۱۳
بندر لنگه	۶۳/۵	۳۳/۵	نصرت آباد	۳۰	۲/۵	۱۲/۸	۲/۵
سراوان	۵۹/۸	۴۷/۸	رفسنجان	۱۲	۰/۲	۸/۹	۰/۲

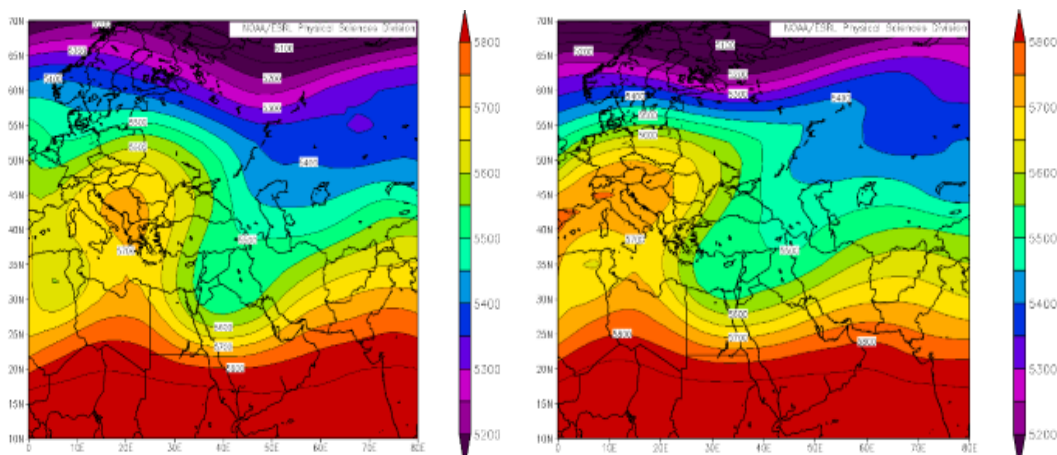
ناوه غرب ایران می باشد. توسعه و تعمیق جنوب‌سوی ناوه سبب شده مناطق جنوب و جنوب شرق کشور در جلو ناوه و در زیر منطقه فرارفت افقی چرخندگی مثبت قرار گیرد و زمینه ناپایداری شدید و بارش سیلابی در این ناحیه را فراهم آورد. این ناوه توسعه یافته و عمیق به خوبی سبب انتقال رطوبت و گرمای اقیانوس هند، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان به نیمه شرقی فلات ایران شده است. در روز دوم بارش (۲۲ دی) محور ناوه کمی به سمت شرق نقل مکان کرده و در شرق ایران استقرار یافته است ولی کماکان منطقه جنوب و به خصوص جنوب شرق کشور تحت تاثیر ناپایداری های ناشی از این ناوه قرار دارد (شکل های ۵ و ۶). در روز ۲۳ ام دی ماه که روز خاتمه بارش است این ناوه بصورت یک جفت ناوه کم عمق در آمده که یکی در شمال غرب و دیگری در جنوب کشور مستقر شده است که با توجه به کم عمق بودن ناوه ها، از شدت فعالیت آنها نیز کاسته شده است. در روز ۲۴ ام دی ماه با حرکت شرق‌سو، محور ناوه روی پاکستان و افغانستان مستقر شده و بتدریج این سامانه از کشور خارج گشته است (شکل های ۷ و ۸).

بررسی نقشه‌های فشار سطح دریا نشان می‌دهد که در دو روز قبل از بارش سیلابی یعنی ۱۹ ام دی ماه، یک پرفشار نسبتاً قوی بر روی مرکز و غرب مدیترانه و نیز یک مرکز کم فشار نسبتاً ضعیف روی شرق مدیترانه و کشور سوریه

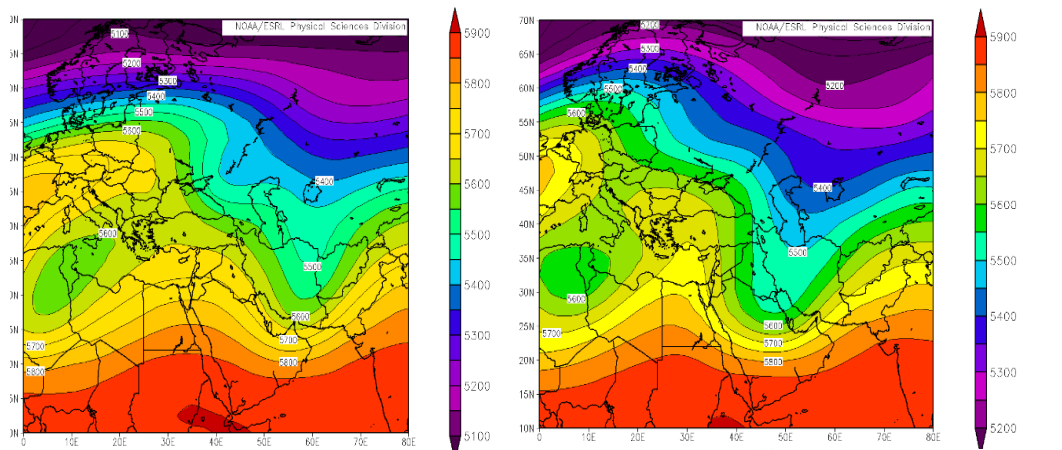
بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 hPa نشان می‌دهد که در دو روز قبل از شروع بارش، پشته‌ای بر روی جنوب غربی اروپا شکل گرفته که با یک پرند بسته پارتفاع ۵۷۵۰ متری روی غرب مدیترانه مشخص است. محور این پشته شمال شرق‌سوی می باشد که تا مرکز و شمال اروپا تداوم یافته است. همزمان ناوه عمیقی نیز در شرق مدیترانه مستقر شده است. محور این ناوه که گستره مداری آن در حدود ۲۵ درجه می باشد، شمال شرقی- جنوب غربی بوده و با عبور از روی ترکیه و سوریه تا شمال عربستان و سودان و دریای سرخ کشیده شد. منحنی هم ارتفاع ۵۵۰۰ متری این ناوه بر روی شمال غرب ایران قرار دارد. مرز بیرونی این ناوه منحنی هم ارتفاع ۵۸۰۰ متری می باشد که از میانه دریای سرخ و سواحل جنوبی دریای عمان عبور کرده است. روز بعد (۲۰ دی ماه) با حرکت شرق‌سوی پشته و ناوه، مرکز پر ارتفاعی با پرند بسته ۵۷۰۰ متر بر روی ایتالیا تشکیل شده است. ناوه عمیق نیز اندکی جابجایی به سمت شرق داشته و نیمی از شمال و غرب ایران تحت سیطره آن قرار گرفته است (شکل های ۳ و ۴). در روز شروع بارش (۲۱ دی ماه) ناوه به طور محسوسی عمیق شده و با راستای شمالی- جنوبی با گستره عمودی حدود ۳۰ درجه جغرافیایی از دریای خزر تا جنوب کشور عربستان تداوم یافته و تا عرض ۱۵ درجه شمالی کشیده شد. در این روز محل استقرار محور

کرده است. در روز ۲۰ ام دی ماه یک مرکز کم فشار ضعیف نیز بر روی ترکمنستان شکل گرفته است. از طرفی یک مرکز پرفشار قدرتمند با فشار هسته مرکزی ۱۰۳۰ هکتوپاسکال بر روی ترکیه حاکمیت دارد و همچنین زبانه های پرفشار تبت تا مرزهای شرقی ایران کشده شده است (شکل های ۹ و ۱۰).

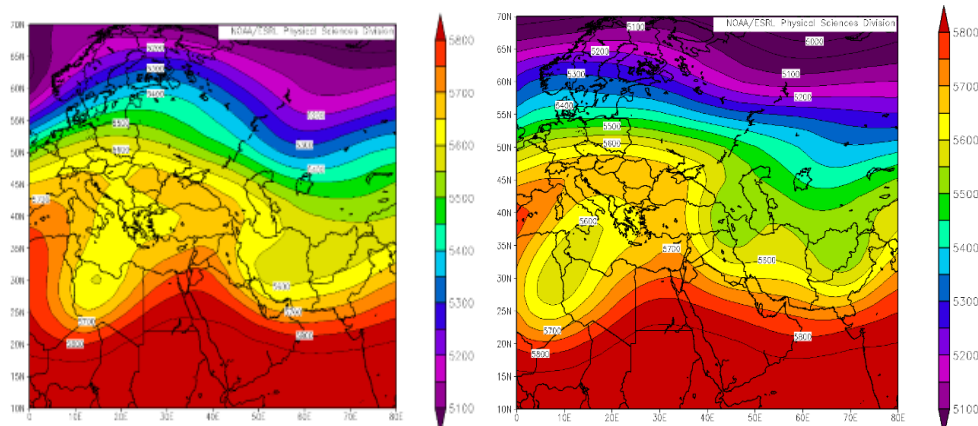
حاکمیت دارد. روز قبل از شروع بارش این مراکز فشار هم تقویت شده و هم کمی به سمت شرق جابجا شده اند. به طوری که یک مرکز کم فشار با فشار هسته مرکزی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال بر روی شبه جزیره عربستان و جنوب خلیج فارس شکل گرفته که زبانه های آن تا مرکز ایران نیز نفوذ



شکل های ۳ و ۴- نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۱۹ و ۲۰ دی ماه ۱۳۹۸ (دو روز قبل از شروع بارش)



شکل های ۵ و ۶- نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۲۱ و ۲۲ دی ماه ۱۳۹۸ (روزهای اوج بارش)



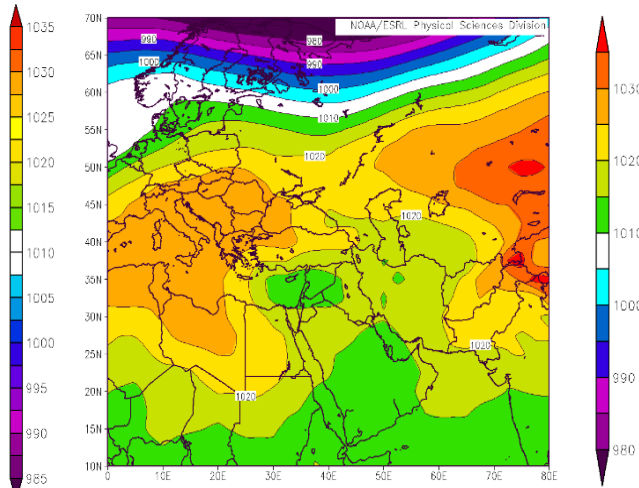
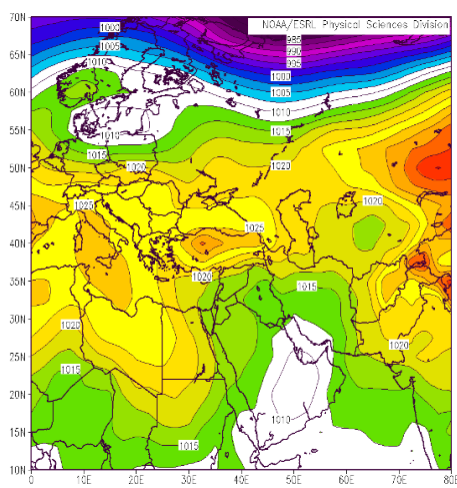
شکل‌های ۷ و ۸- نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۲۳ و ۲۴ دی ماه ۱۳۹۸ (روزهای خاتمه بارش)

یک مرکز پرفشار روی عربستان شکل گرفته است. با این حال در این روز بر جنوب و جنوب شرق کشور کم فشار حاکم است (شکل ۱۲). در روز ۲۳ ام دی ماه آرایش مکانی مراکز فشار دچار تغییر شده و یک مرکز پرفشار بر روی کشور حاکم است که زیانه های آن جنوب و جنوب شرق کشور را نیز تحت تاثیر خود قرار داده است. از طرفی یک مرکز کم فشار بر روی تبت حاکم است که وجود این مراکز فشار سبب ایجاد شیب فشار در جنوب شرق و شرق کشور شده است و کماکان در این منطقه شرایط ناپایدار البته با شدت کمتر حاکم است. در روز ۲۴ ام دی ماه یعنی یک روز پس از خاتمه دوره بارشی، یک پرفشار قوی با فشار هسته مرکزی ۱۰۳۵ هکتوپاسکال بر شمال غرب ایران و شرق ترکیه حاکمیت دارد که این پرفشار با گستره زیاد خود، کل پهنه ایران را تحت تاثیر زیانه های خود قرار داده است و شرایط پایدار بر کشور را حاکم کرده است (شکل های ۱۳ و ۱۴). بنابراین می توان گفت که از یک طرف استقرار یک ناوه عمیق در تراز میانی جو در غرب کشور و از طرف دیگر حاکمیت یک مرکز کم فشار قوی در جنوب- جنوب غرب ایران و یک مرکز پرفشار بر روی افغانستان و پاکستان در سطح زمین، باعث ایجاد و تداوم سه روزه ناپایداری شدید در جنوب و جنوب غرب کشور گشته است. این برهم کنش و تداخل سازنده مابین کم فشار حاکم بر جنوب ایران و پرفشار مستقر بر کشورهای افغانستان و پاکستان باعث همگرایی شدید و انتقال مقادیر زیادی رطوبت و انرژی از اقیانوس هند، دریای عمان و خلیج فارس به داخل کشور

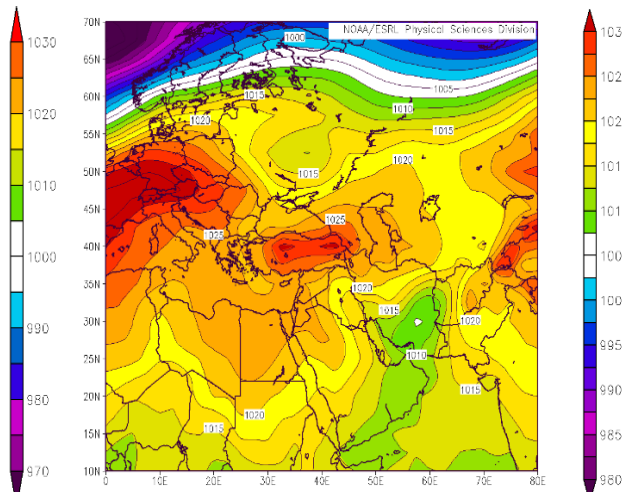
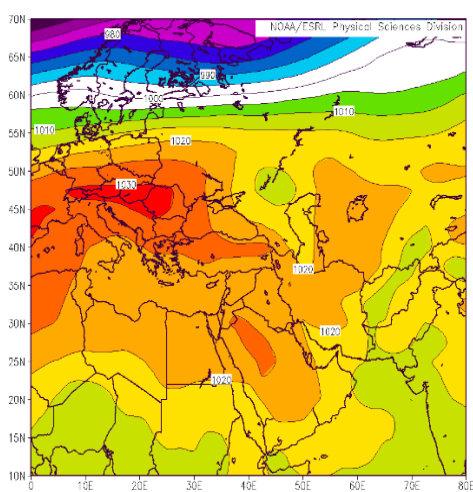
در روز اوج بارش (۲۱ دی ماه) مرکز کم فشار مستقر در عربستان و خلیج فارس علاوه بر اینکه با حرکت از روی خلیج فارس و دریای عمان در جنوب شرق کشور مستقر شده، بر شدت آن نیز افزوده شده به طوری که مرکز کم فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکالی در این منطقه استیلا یافته است. در این روز مرکز پرفشار روی ترکیه کمی به سمت شرق جابجا شده و بر بخش‌هایی از شمال غرب کشور حاکمیت پیدا کرده است. از سوی دیگر یک مرکز پرفشار بسته که خود زیانه ای از پرفشار تبت می باشد بر روی افغانستان مستقر شده است. حاکمیت این مرکز کم فشار قوی در جنوب و جنوب شرق کشور و دو مرکز پرفشار در روی افغانستان و شرق ترکیه باعث ایجاد شیب فشار قوی در شرق و شمال غرب کشور شده است. با توجه به نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ این روز، استقرار ناحیه کم فشار و همگرایی سطوح زیرین به ویژه همگرایی مابین کم فشار مستقر بر روی جنوب شرق ایران و پرفشار مستقر بر روی افغانستان و پاکستان در جلو ناوه عمیق تراز میانی و نیز شیب زیاد فشار بین مراکز کم فشار و پرفشار مستقر در منطقه، سبب انتقال حجم زیادی از رطوبت و گرما در سطوح زیرین به ویژه از اقیانوس هند و دریای عمان به سمت کشور شده است (شکل ۱۱). در این روز در بیشتر ایستگاه‌های جنوب و جنوب شرق کشور بارش گزارش شده است که بیشترین بارش تجمعی برابر با ۱۷۶ میلی‌متر در ایستگاه دریایی جزیره قشم در استان هرمزگان ثبت شده است. در روز دوم بارش یعنی ۲۲ ام دی ماه از شدت مراکز فشار کاسته شده و

صعود این حجم از رطوبت و در نتیجه ایجاد بارش‌های
سیلابی ۲۱ تا ۲۳ ام دی‌ماه شده است.

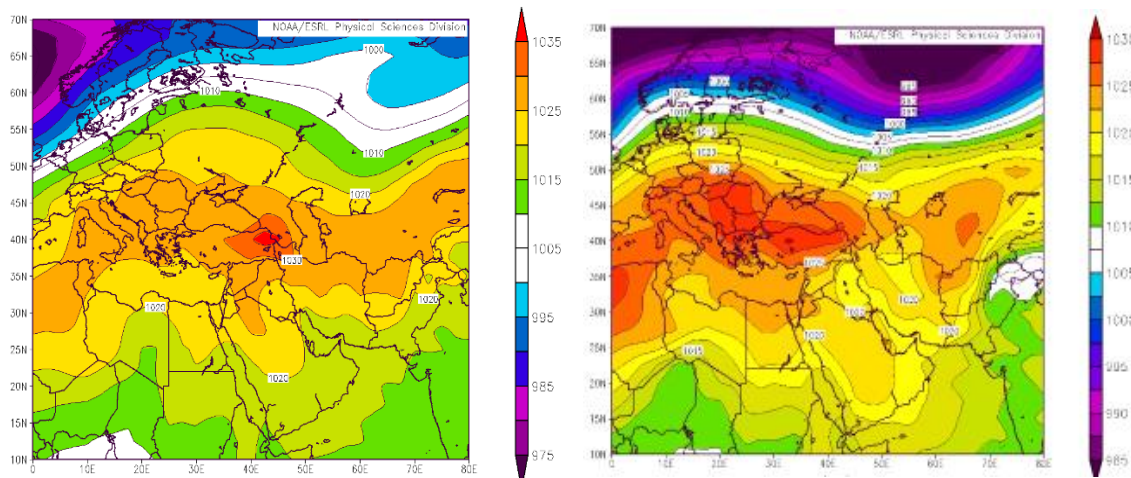
شده است. واقع شدن این بخش از کشور در زیر منطقه
وزش افقی چرخندگی مثبت ناوه (جلوی محور ناوه) سبب



شکل‌های ۹ و ۱۰- نقشه فشار سطح دریا در روزهای ۱۹ و ۲۰ دی ماه ۱۳۹۸ (دو روز قبل از شروع بارش)



شکل‌های ۱۱ و ۱۲- نقشه فشار سطح دریا در روزهای ۲۱ و ۲۲ دی ماه ۱۳۹۸ (روزهای لوج بارش)



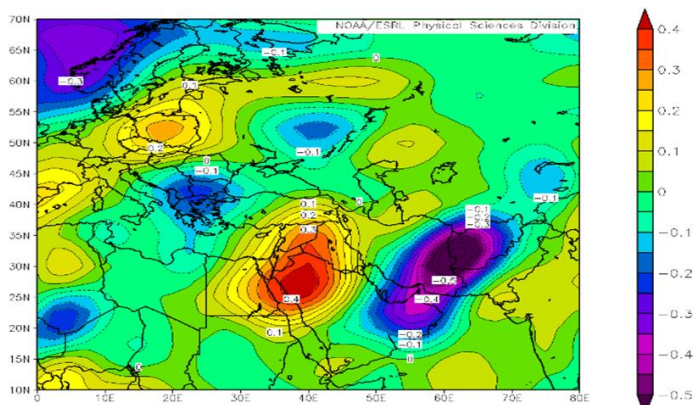
شکل‌های ۱۳ و ۱۴- نقشه فشار سطح دریا در روزهای ۲۳ و ۲۴ دی ماه ۱۳۹۸ (روزهای خاتمه بارش)

مقدار بیشینه سرعت قائم حدود ۵ پاسکال بر ثانیه ناشی از حرکت موج هم‌مدیدی است، گرچه زیاد است ولی معرف شدت ناپایداری همرفتی نیست. سرعت قائم موثر در شرایط همرفتی که در سامانه جبهه‌ای ادغام شده، بسیار بیشتر از این است. برای محاسبه آن نیاز به محاسبه کمیت‌های ناپایداری همرفتی نظیر CAPE است که در ادامه در قالب نمودارهای skew-t بررسی شده است. بارش‌های شدید در این سامانه که در عرض چند ساعت حدود ۵۰ میلی‌متر بارش داشته‌اند. (طبق گزارش سینوپ) مسلماً با وجود ابرهای کمولونیمبوس (CB) بوده است.

شکل (۱۵) نقشه سرعت قائم هوا (ω) در روز اوج بارش و وقوع سیل (۲۱ دی ماه) در تراز میانی جو یعنی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. در این روز در جنوب و جنوب شرق کشور به واسطه استقرار یک مرکز کم فشار قوی و قرارگیری منطقه در جلو فرود با صعود شدید هوا با بیشینه ۰/۵- پاسکال بر ثانیه همراه گردیده است. این هسته سرعت قائم منفی از شرق عربستان شروع شده و جنوب و جنوب شرق ایران را در بر می‌گیرد که بیانگر فراهم بودن شرایط صعود و ناپایداری در بخش اعظم جنوب و جنوب شرق کشور است.

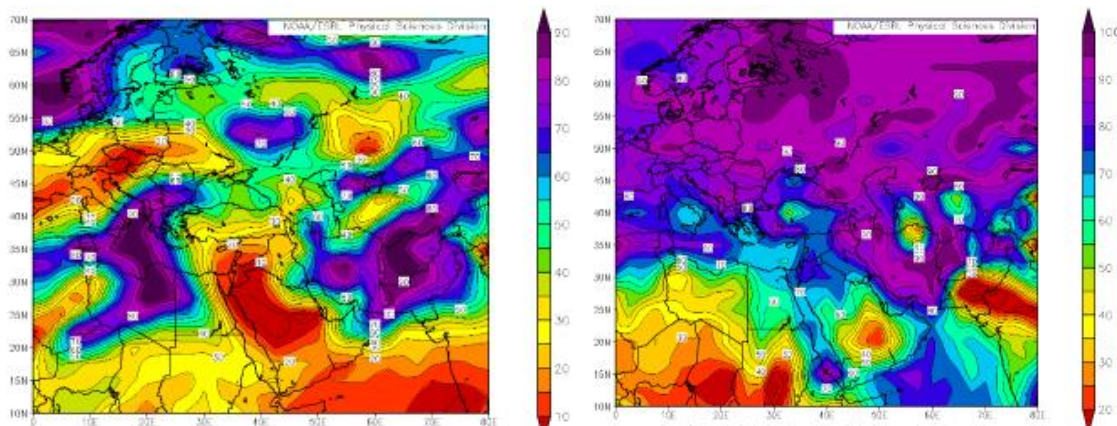
$$\omega = -\rho g W, \quad 0.5 = 1 * 10 * W,$$

$$W = 0.5 / 10 = 0.05 \text{ m/s} = 5 \text{ p/s}$$



شکل ۱۵- نقشه سرعت قائم هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب پاسکال بر ثانیه در روز ۲۱ دی ماه ۱۳۹۸ (روز اوج بارش)

است. نقشه درصد رطوبت نسبی در تراز 500hPa نیز نشان می‌دهد که در تراز میانی جو نیز رطوبت قابل توجهی در جنوب و جنوب شرق کشور قابل مشاهده است و بیانگر افزایش رطوبت در محدوده مورد بررسی است (شکل ۱۶).

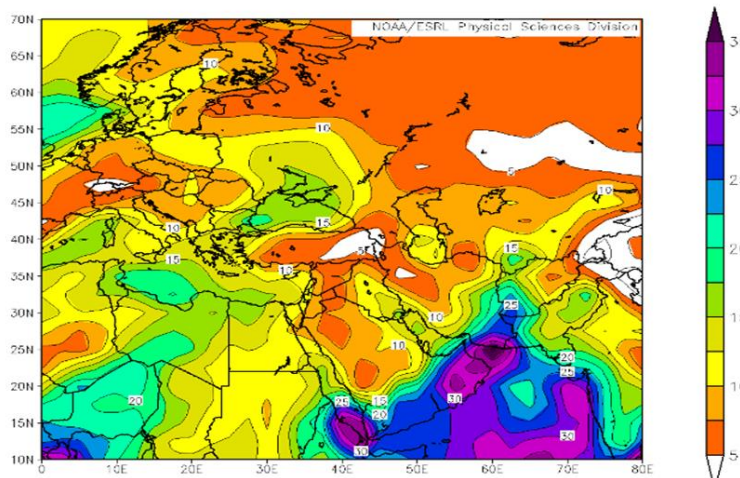


شکل ۱۶- نقشه رطوبت نسبی سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب درصد در روز ۲۱ دی ماه ۱۳۹۸ (روز اوج بارش)

۱۵ کیلوگرم بر متر مربع بوده و در روز بعد از سیل به ۵ کیلوگرم بر متر مربع کاهش پیدا کرده است. تراکم زیاد منحنی‌های مربوطه در جنوب و جنوب شرق کشور حاکی از تراکم بالای آب قابل بارش در روز وقوع بارش سیلابی است..

نقشه درصد رطوبت نسبی سطح زمین در روز وقوع سیل را نشان می‌دهد در این روز یک کانون رطوبتی (با رطوبت نسبی ۹۰ تا ۱۰۰ درصد) در جنوب شرقی کشور شکل گرفته است که حاکی از وجود رطوبت نسبی بسیار بالا در منطقه

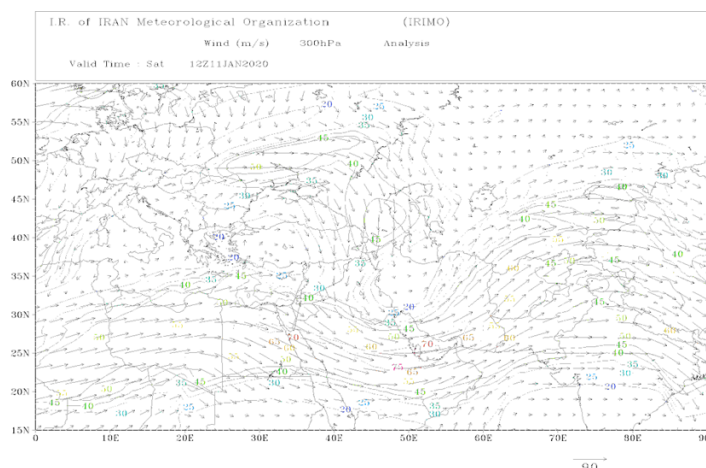
شکل (۱۷) نقشه آب قابل بارش در روز وقوع سیل را نشان می‌دهد. نقشه مذکور حاکی از وجود آب قابل بارش فراوان در سطح منطقه مورد مطالعه است که با یک کانون بر روی جنوب شرق کشور و دریای عمان مشخص است. میزان آب قابل بارش در ستون جو در این روز بین ۲۵ تا ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع است. این میزان در روز قبل از سیل بین ۱۰ تا



شکل ۱۷- نقشه آب قابل بارش (کیلوگرم بر مترمربع) در روز ۲۱ دی ماه ۱۳۹۸ (روز اوج بارش)

شمال شرق، جنوب و جنوب شرق کشور را تحت تاثیر خود قرار داده و به شکل گیری مراکز فشار دینامیکی و شرایط جوی ناپایدار و در نتیجه به تشکیل سیکلون در سطح زمین کمک کرده است (شکل ۱۸).

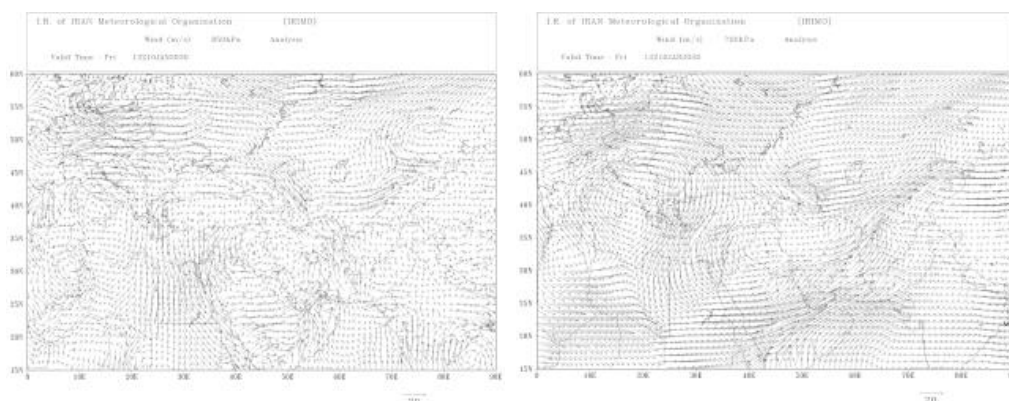
بررسی الگوی جریان باد در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال حاکی از استقرار هسته رودباد جنب حاره بر روی منطقه سیلابی می‌باشد؛ به طوری که هسته بیشینه سرعت رودباد با سرعت ۷۵ متر بر ثانیه با عبور از روی خلیج فارس و در راستای



شکل ۱۸- نقشه الگوی جریان باد (متر بر ثانیه) در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۱ دی ماه ۱۳۹۸ (روز اوج بارش)

سرخ، دریای عرب، خلیج فارس و دریای عمان وارد کشور کرده است. با توجه به اینکه نواحی جنوبی کشور از نظر ناهمواری وضعیت تقریباً مسطحی دارد به همین خاطر در تراز پایین تر نیز رطوبت می‌تواند وارد کشور شود. به همین منظور و برای تعیین وضعیت انتقال رطوبت در تراز پایین تر، نقشه جریان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این نقشه، علاوه بر منابع رطوبتی ذکر شده قبلی، اقیانوس هند نیز به جهت داشتن جریان های جنوبی در این سطح، مقادیر قابل توجهی رطوبت را وارد ایران کرده است. در این سطح سهم دریاهای مدیترانه و عرب ناچیز به نظر می‌رسد و اقیانوس هند، دریای عمان، خلیج فارس و دریای سرخ مهمترین منابع رطوبتی تغذیه کننده بارش های سیلابی ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۹۸ بوده اند (شکل ۱۹).

به منظور تعیین منابع رطوبتی تغذیه کننده این سامانه بارشی، نقشه های الگوی جریان باد در سطوح ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در یک روز قبل از شروع بارش سیلابی (روز ۲۰ دی ماه) ترسیم گردید. نقشه الگوی جریان باد در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۹) نشان می‌دهد که از یک طرف به جهت وجود جریان‌های چرخندی در شرق دریای مدیترانه و نیز از طرف دیگر وجود جریان های واچرخندی در روی دریای عرب و اقیانوس هند، یک همگرایی بین این دو جریان بر روی دریای سرخ شکل گرفته است که این همگرایی که دارای سرعت جریانی در حدود ۲۰ متر بر ثانیه می‌باشد با عبور از روی عربستان و در راستای شمال شرق - سوی، در روی خلیج فارس تقویت شده، حجم عظیمی از رطوبت را از منابع آبی منطقه یعنی دریای مدیترانه، دریای

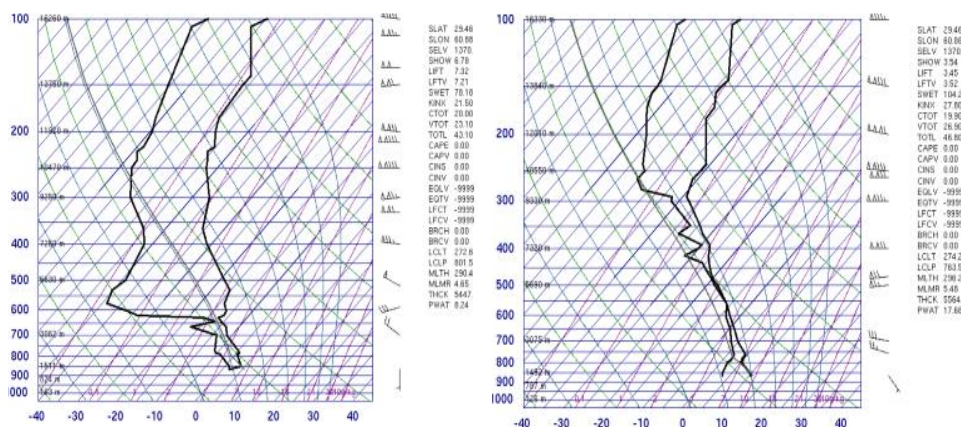


شکل ۱۹- الگوی جریان باد در تراز ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۲۰ دی ماه (روز قبل از شروع بارش)

می‌دهد که در این روز منحنی‌های دما و دمای نقطه شبنم به ویژه تا تراز ۶۰۰ هکتوپاسکالی بسیار به همدیگر نزدیک

نمودار skew-t ساعت ۰۰ روزهای ۲۰ و ۲۱ دی ماه همزمان با شروع و اوج بارش در ایستگاه سینوپتیک زاهدان نیز نشان

CAPE صفر بوده که ناپایداری همرفتی شدید را برای این روز اثبات نمی‌کند. شاخص PWAT نیز در روز قبل از شروع بارش برابر با $۱۷/۳۸$ گرم بر سانتی‌متر مربع بوده است که در روز بارش و با تخلیه آب قابل بارش این مقدار به $۸/۲۴$ گرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است که حاکی از وجود و نفوذ رطوبت مناسب در جو منطقه در طی فعالیت سامانه بارشی مورد بررسی است (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- نمودار skew-t روزهای ۲۰ و ۲۱ دی ماه در ایستگاه سینوپتیک زاهدان

پیوندهای مهم از جمله ENSO, NAO, PNA, AO در فاز نزدیک به نرمال هستند.

الگوی جریان در نقشه‌های ۵۰۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال طی سه ماه پاییز و بویژه در ماه نوامبر حاکی از استقرار گردش بندالی پایدار بر روی دریای سیاه، ترکیه و جنوب آن روی دریای مدیترانه و جنوب شرق اروپا است که با کاهش بارش فصلی روی مناطق مجاور رشته کوه‌های آناطولی، زاگرس شمالی و البرز غربی همراه شده است.

نتیجه‌گیری

بارش از مهم‌ترین پارامترهای جوی است که نقش حیاتی در محیط طبیعی دارد با این وجود رفتار ناهنجار و بی‌قاعدگی آن می‌تواند خسارات زیادی به محیط طبیعی و انسانی وارد سازد. لذا در این پژوهش به تحلیل همدیدی سامانه بارشی سیل‌زای ۲۱ تا ۲۳ دی ماه ۱۳۹۸ در مناطق جنوبی و جنوب شرقی کشور پرداخته شد. به همین منظور نقشه‌های همیدی سطح زمین و سطوح فوقانی جو در دو روز قبل و یک روز بعد از وقوع سیل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که در دوره مورد بررسی بیشترین بارش

هستند که بیانگر جوی سرشار از رطوبت و شناوری مثبت بسته هوا و صعود قائم بسته هوا است. سرعت باد نیز در این تراز به ۳۰ نات در روز اوج بارش رسیده است. از ارتفاع مذکور دو منحنی از هم دور شده که نشان دهنده کاهش رطوبت در سطوح بالاتر جو است. نتایج حاصل از بررسی شاخص CAPE نشان می‌دهد در روز قبل از شروع بارش و در روز اوج بارش در ایستگاه زاهدان، مقدار شاخص

بررسی الگوهای دور پیوندی موثر بر منطقه نیز نشان می‌دهد که شاخص IOD از آغاز پاییز تاکنون پیوسته در فاز مثبت بوده و در ماه نوامبر رتبه دوم بالاترین انحراف مثبت دمای آب سطح دریا (SST) را به مقدار $۱/۹$ درجه در شرق اقیانوس هند از سال ۱۹۵۰ ثبت کرده است. این شرایط باعث شده است که جریان رطوبت از روی دریای عمان و خلیج فارس به سوی استان‌های جنوبی و شرقی کشور خیلی بیشتر از روال عادی آن باشد. به این دلیل مشاهده شده است که مقدار بارش در بیشتر استان‌های جنوبی کشور طی سه ماه پاییز تا زمان این رخداد در برخی ایستگاه‌های هواشناسی رکوردهای بلند مدت خود را تغییر داده است. همچنین فاز مثبت IOD سبب تقویت همگرایی در شمال اقیانوس هند و دریای عمان می‌شود که پیامد آن تضعیف اثر مثبت فازهای ۷، ۸ و ۱ دور پیوند MJO بر توسعه کم فشارهای دینامیکی در شرق مدیترانه است که کاهش مقدار بارش سامانه‌های مدیترانه‌ای بر روی استان‌های واقع در غرب و شمال غرب ایران را در پی داشت. شاخص‌های مربوط به دیگر دور

ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ این روز، استقرار ناحیه کم فشار و همگرایی سطوح زیرین به ویژه همگرایی مابین کم فشار مستقر بر روی جنوب شرق ایران و پرفشار مستقر بر روی افغانستان و پاکستان در جلو ناوه عمیق تراز میانی و نیز شیب زیاد فشار بین مراکز کم فشار و پرفشار مستقر در منطقه، سبب انتقال حجم زیادی از رطوبت و گرما در سطوح زیرین به ویژه از اقیانوس هند و دریای عمان به سمت کشور شده است. نتایج حاصل از این پژوهش، مطالعات علیجانی و همکاران (۱۳۹۰)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۱)، رضایی و همکاران (۱۳۹۶) و آرامش و همکاران (۱۳۹۶) در زمینه بارش‌های سنگین و سیلابی در جنوب شرق کشور را مورد تأیید قرار می‌دهد.

تجمعی در طی ۲۴ ساعت مربوط به دو ایستگاه قشم (ساحلی) و رودان در استان هرمزگان است. همچنین بیشترین تغییرات بارش در طی گذر این سامانه مربوط به استان سیستان و بلوچستان است. بررسی‌های همدیدی نیز نشان داد که در روز شروع بارش (۲۱ دی ماه) یک ناوه عمیق با راستای شمالی - جنوبی از دریای خزر تا جنوب کشور عربستان تداوم یافته است که توسعه و تعمیق جنوب سوی ناوه سبب شده مناطق جنوب و جنوب شرق کشور در جلو ناوه و در زیر منطقه فرارفت افقی چرخندگی مثبت قرار گیرد و زمینه ناپایداری شدید و بارش سیلابی در این ناحیه را فراهم آورد. همچنین در این روز حاکمیت یک مرکز کم فشار قوی در جنوب و جنوب شرق ایران و دو مرکز پرفشار در روی افغانستان و شرق ترکیه باعث ایجاد شیب فشار قوی در شرق و شمال غرب ایران شده است. با توجه به نقشه

منابع

- Ahmadi, M and F. Jafari, 2016. Synoptic Analysis of the Destructive Flood of Northern Iran, July, 2015, Natural Geography, No. 4, pp. 85-104.
- Alijani, B, A. Mofidi, Z. Jafarpour, A. A. Bidokhti, 2011, circulation patterns of south-eastern Iran summer precipitation in July 1994, Earth and Space Physics, No. 37, pp. 205- 227.
- Aramesh, M, B. Alijani and H. Donyadoost, 2017, Synoptic Analysis of Flood in Sarbaz Watershed. Geographical space, No. 58, pp. 49-70.
- Azizi, Gh, A. A. Shamsipour, M. Miri, 2012, Synoptic Analysis of the July 2010 Russian-Pakistani Fire Relations, Geography and Development, No. 29, pp. 131-149.
- Bednorz, E, D. Wrzesiński, A.M. Tomczyk and D. Jasik, 2019, Classification of Synoptic Conditions of Summer Floods in Polish Sudeten Mountains, Water, NO. 7, p. 1450
- General Office of Meteorology of Lorestan Province, 2008, Investigation of Synoptic Patterns of Flooding Precipitation in Dez and Karkheh Sample Basins, Research Institute of Meteorology. 90 p.
- Haylock, M and N. Nicholls, 2000, Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998. International Journal of Climatology, No. 20, pp. 1533-1541.
- Lashkari, H, 1996, Synoptic pattern of heavy rainfall in southwestern Iran, PhD thesis, Tarbiat Modarres University.
- Lashkari, H, M. Asqarpur and A. Matkan, 2008, Synoptic analysis of heavy rainfalls in Golestan Province, Seasonal Magazine of Modares, University of Tarbiat Modares, No. 12, pp. 181-211.
- Lorrai, M, H.M. Sechi, 1995. Neural nets for modeling rainfall-runoff transformation. Watercourses management. No. 9, pp. 299-313.
- Mirzakhani, A, 1999, Flood risk analysis and its damaging effects in Iran. Insurance Quarterly, No. 13, pp. 30-37.
- Parvin, N, 2007, Investigation and determination of synoptic pattern of widespread destructive flash floods in Urmia lake basin, PhD thesis in Climatology and environmental Management, Tarbiat Moalem University, Tehran.
- Rezaei, M, M. Ajdari Moghaddam, Gh. Azizian and M. Bostani, 2017, Synoptic Analysis of the source of precipitation more than 20 mm for warning of flood in Sistan and Baluchestan province, Natural Environment Hazards, No. 14, pp. 47-62.
- Roger, A, J.R. Pielke and M W. Downton, 2000, Precipitation and Damaging floods: Trends in the United States, 1932-1997. Journal of climate, No. 13, pp. 3652-3637.
- Safarian Zangir, V, B. Zinnali and L. Jafzadeh, 2019, Evaluation of synoptic conditions of floods in Khalkhal city with an environmental approach to circulation in the period from 1366 to 1395, Urban Ecology Research, No. 19, pp. 89-104.

16. Salinger, M.J and G.M. Griffiths, 2001, Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes. *International Journal of Climatology*, No. 21, pp. 1437-1452.
17. Shen, S, 2003, Global warming science and policy: progress 2002-2003. *Proceeding of 14th global warming international conference and expo*, Boston, USA.
18. Siswanto, G, G. Oldenborgh, B. Hurk, E. Aldrian, Y. Swarinoto, W. Sulistya and A. Sakya, 2017, A very unusual precipitation event associated with the 2015 floods in Jakarta, *Weather and climate extremes*, No. 16, pp 23-28.
19. Trigo, RM, F. Varino, AM. Ramos, MA. Valente, JL. Zêzere, JM. Vaquero, CM. Gouveia and A. Russo, 2014, The record precipitation and flood event in Iberia in December 1876: description and synoptic analysis. *Front. Earth Sci.* NO. 2, p 3.
20. Yao, S and Q. Huang, 2016, An analysis of extreme intraseasonal rainfall events during janury-march 2010 over eastern china, *Dynamics of atmospheres and oceans*, No. 75, pp. 22-32.