

## واکاوی همدید اثرات حرکات واچرخندی بر بارش های سیلابی استان کرمان

کمال امیدوار<sup>۱</sup>؛ استاد اقلیم شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

مهدی محمودآبادی؛ دانشجو دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

پریسا شمس؛ دانشجو ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

محبوبه امیری اسفندقه؛ دانشجو دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۲۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

### چکیده

به علت اینکه مکانیسم حرکات واچرخندی میل به نزول و فرونشینی هوا می باشد لذا تاثیر این حرکات و موقعیت قرارگیری آنها در وقوع ریزش های سیلابی قابل توجه می باشد. در این مقاله بارش های سیلابی دو دهه گذشته استان کرمان مورد بررسی و دو مورد از شدیدترین آنها انتخاب شد. به علت تاکید این مقاله بر استان کرمان ابتدا با استفاده از شاخص آماری توزیع گامبل تیپ ۱، بارش سنگین برای هر یک از ایستگاه های استان محاسبه گردید. سپس ویژگی های ترمودینامیک بارش های مورد نظر با استفاده از داده های رادیوسوند و نمودار اسکیوتی ایستگاه کرمان مورد تحلیل قرار گرفت. برای تحلیل این سیلاب ها از داده های روزانه بارش ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان و نقشه های فشار سطح دریا و سطوح ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال استفاده گردید. سپس آرایش الگوی همدید و روند آن در نقشه های هوا، طی یک دوره انتخابی ۳ روزه بررسی شد. نتایج مطالعه نشان می دهد که عامل اصلی ایجاد بارش های سیلابی در منطقه مورد مطالعه، تقویت فرود شرق مدیترانه در تروپوسفر میانی است همچنین نکته قابل توجه در وقوع بارش ها وجود حرکات واچرخندی شدید بر روی ابهای جنوبی و بویژه دریای عمان می باشد که سبب تزریق هر چه بیشتر رطوبت به نواحی داخلی کشور شده و شرایط لازم را برای وقوع این گونه بارش ها فراهم می نماید.

کلید واژه ها: تحلیل همدید، واچرخند، بارش سیلابی، کرمان.

## مقدمه

به علت اینکه مکانیسم حرکات واچرخندی میل به نزول و فرونشینی هوا می باشد لذا تاثیر این حرکات و موقعیت قرارگیری آنها در وقوع ریزش های سیلابی قابل توجه می باشد. بدین منظور در این مقاله بارش های سیلابی دو دهه گذشته استان کرمان مورد بررسی و دو مورد از شدیدترین آنها مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که عامل اصلی ایجاد بارش های سیلابی در منطقه مورد مطالعه، تقویت فرود شرق مدیترانه در تروپوسفر میانی است لذا زمانی که با حرکت رو به پایین سامانه ناوه قطبی همراه باشد به سمت عرض های پایین تر منتقل شده، در نتیجه سامانه های غربی با حرکت خود از روی آب های گرم جنوبی، رطوبت زیادی را کسب کرده و سبب ریزش بارش های سنگین و قابل توجهی در منطقه می گردد. همچنین نکته قابل توجه در وقوع بارش ها وجود حرکات واچرخندی شدید بر روی ابهای جنوبی و بویژه دریای عمان می باشد که سبب تزریق هر چه بیشتر رطوبت به نواحی داخلی کشور شده و شرایط لازم را برای وقوع این گونه بارش ها فراهم می نماید. الگوهای بارش در ایران تحت تاثیر عوامل محلی و بیرونی است که برخی از این عوامل ریشه در گردش عمومی جو دارند بارش های رگباری، از خصوصیات بارز رژیم بارش های ایران است. بنابراین، لازم است با شناخت سازوکار تکوین، تقویت و قانون مندی حاکم بر حرکت و گسترش سامانه های اقلیمی بارش را از آثار مثبت آن سود و از نتایج زیان بار آن دوری کرد. استان کرمان با تنوع اقلیمی قابل توجه، از جمله نواحی است که در کنار خشکسالی های شدید شاهد سیلاب های خسارات زا نیز بوده است. (شمس: ۱۳۸۹). با توجه به شرایط خاص این استان این منطقه جزو مناطق سیل خیز کشور به حساب می آید (سرحدی، ۱۳۸۰).

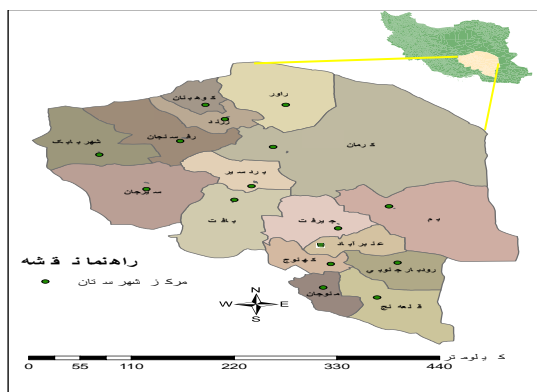
در زمینه تاثیر گردش های جوی بر وقوع بارش و الگوهای آن در مناطق مختلف جهان مطالعات زیادی انجام شده است. جونز و همکاران (Jones, ۱۹۹۸) به شبیه سازی رویداد بارش های سنگین در کالیفرنیا جنوبی در طول پدیده النینو ۱۹۹۸-۱۹۹۷ پرداختند. هارناک و همکاران (Harnak, ۱۹۹۹)، به بررسی همدیدی بارش های سنگین در نیوجرسی آمریکا پرداختند و در این رابطه ۸۱ مورد بارش را طی یک دوره آماری ۳۵ ساله بررسی و رژیم بارش را تحلیل کردند. گروم (Grumm, ۲۰۰۶)، الگوهای همدید بارش های سنگین در اطلس میانی را بررسی و پهنه بندی نمود. هونیکا و همکاران (Honika, ۲۰۰۶)، الگوهای همدید موثر در بارش های سنگین نواحی آلبی را بررسی کردند. کینزلی و همکار (Kysely, ۲۰۰۷)، امکان تخمین و پیش بینی بارش های سنگین در نواحی سیل گیر اروپای مرکزی را مورد تحلیل قرار دادند. رسولی و همکاران در پژوهش با عنوان سری زمانی تجزیه و تحلیل سینوپتیکی مراکز الگوهای فشار بر بارش های فصلی ایران پرداخته اند (Rasuly, ۲۰۱۲). در مطالعه ای تاثیر سیستم های فشار بر بارش های طوفانی ایران نشان داد که کنترل کننده های اصلی سیستم های پرفشار سیبری و پرفشار آזור و حالت یکپارچه از سیستم های سودانی و سیستم کم فشار مدیترانه ای نقش کنترل کننده اصلی رادر سطوح بالا دارد و عوامل مهم دیگر در بارش های سنگین ادغام رطوبت دریایی مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند است (Monterey, ۲۰۱۵). نتایج یک مطالعه همدیدی بر روی بارش های شدید باران در تایوان نشان داد مقادیر بازگشتی بارش های بیش از ۱۰۰ میلیمتر در دوره های ۵ تا ۲۰ ساله تکرار می شود همچنین بارندگی های شدید ساعتی عمدتاً در ماه می و اواسط ماه ژوئن در جبهه های می یو رخ می دهد (Mengwen, ۲۰۱۷).

در ایران لشکری (۱۳۷۵)، در پژوهشی به تحلیل الگوی همید بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران پرداخته است. مرادی (۱۳۸۳) و مفیدی (۱۳۸۳) بارش‌های سیل‌زا را در شمال شرق ایران و منطقه دریای سرخ و شمال شرق آفریقا را تحلیل کردند. نظری پور (۱۳۸۶)، به تحلیل همید بارش‌های سنگین استان بوشهر پرداخته است. امیدوار (۱۳۸۶) بارش‌های شدید و سیلاب‌های منطقه شیرکوه در استان یزد را بررسی کرد. امیدوار و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به تحلیل همیدی اثرهای سردچال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران پرداخته‌اند. خوشحال دستجردی و علی‌زاده (۱۳۸۹)، در تحقیقی به بررسی همیدی و ترمودینامیک رگبار موجد سیلاب ۱۳۸۸/۶/۲۴ در خراسان رضوی پرداختند. مسعودیان و محمدی (۱۳۹۱) رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران را تحلیل نمودند. نتایج یک پژوهش بر روی بارش سنگین شهر جیرفت نشان داد در روز بارش وجود رود باد جبهه قطبی بسیار بزرگی با ضخامت زیاد بر روی ایران استقرار داشته و منابع عمده رطوبتی بارش سنگین این بارش در سطوح ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال دریای سرخ و خلیج فارس می باشد، اما در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال دریای عرب، خلیج عمان و خلیج فارس نقش اصلی تأمین رطوبت بارش سنگین را ایفا می کنند (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳). طبق نتایج به دست آمده از تحلیل رخداد بارشی شدید منجر به سیل ۸ تیر ۱۳۹۴ در استان البرز مشخص شد وجود هوای سرد در جو بالا، ایجاد ناوه شبه پایا، تزریق و تداوم مدام رطوبت از پهنه آبی خزر، کم فشار سطح زمین و جریان‌های شمال غربی، مشخصه‌های عمده همیدی حاکم بر رخداد بارشی مذکور محسوب می شوند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به دور بودن استان کرمان از منابع رطوبتی، رخداد بارش‌های سنگین از موارد استثنایی است همچنین در بیشتر مطالعات صورت پذیرفته منبع رطوبتی و عوامل ایجاد کننده بارش مدنظر قرار گرفته و کمتر به حرکات موجود در سیستم‌ها توجه شده است بویژه حرکات واچرخندی که در بیشتر موارد سبب نزول هوا می‌گردد. بدین منظور با بررسی دوره آماری ۲۰ ساله بارش استان کرمان ۱۳ مورد بارش سیلابی و سنگین انتخاب گردید (جدول ۱). اما به منظور اختصار دو مورد از شدیدترین بارش‌ها که منجر به سیلاب‌های مخرب و خسارت‌زا در استان شده‌اند؛ به عنوان نمونه انتخاب گردیدند (بهمن‌ماه ۱۳۷۱ و بهمن‌ماه ۱۳۸۹). لذا این تحقیق سعی در شناسایی الگوهای جوی و حرکات آنها بویژه حرکات واچرخندی دارد که سبب حدوث بارش‌های سنگین و سیلابی در این استان می‌شود.

### داده‌ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه استان کرمان می‌باشد که بین ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان با مساحت ۱۸۲۳۰۱ کیلومتر مربع حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است و بر اساس آخرین تقسیمات کشوری تا پایان سال ۱۳۸۶، دارای ۱۶ شهرستان، ۵۷ شهر، ۴۵ بخش و ۱۴۲ دهستان می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ماخذنگارندگان

ابتدا وضعیت اقلیمی و توپوگرافی منطقه، مورد بررسی قرار گرفت و سپس بر اساس آن، برای داشتن پوشش نسبتاً کاملی از بارش های منطقه و اطلاعات دقیق تر، مشخصات اکثر ایستگاه های همدید تهیه گردید به علت تاکید این مقاله بر استان کرمان ابتدا با استفاده از شاخص آماری توزیع گامبل تیپ ۱، بارش سنگین برای هر یک از ایستگاه های استان محاسبه گردید. سپس ویژگی های ترمودینامیک بارش های مورد نظر با استفاده از داده های رادیوسوند و نمودار اسکویوتی ایستگاه کرمان مورد تحلیل قرار گرفت. برای تحلیل این سیلاب ها از داده های روزانه بارش ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان و نقشه های فشار سطح دریا و سطوح ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال استفاده گردید. سپس آرایش الگوی همدید و روند آن در نقشه های هوا، طی یک دوره انتخابی ۳ روزه بررسی شد بدین منظور با بررسی دوره آماری ۲۰ ساله بارش استان کرمان ۱۳ مورد بارش سیلابی و سنگین انتخاب گردید (جدول ۱، ۲ و ۳). داده های جوی لازم برای این پژوهش از پایگاه داده های NCEP/NCAR و آمار مربوط به بارش از سازمان هواشناسی تهیه شد. همچنین برای تحلیل الگوی همدیدی بارش، نقشه های هوای سطح دریا و سطوح فوقانی جو (۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) مرتبط با آن در ساعات صفر و ۱۲ به وقت گرینویچ، طی یک دوره ۳ روزه مورد استفاده قرار گرفت. داده های NCEP/NCAR در ۶ گروه طبقه بندی شده اند که در این مقاله از داده های تراز فشار استفاده شده است. از میان متغیرهای تراز فشار، ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف النهاری، سرعت عمودی (أمگا) و نم و یژه انتخاب گردیده است.

جدول ۱ بارش های سیلابی رخ داده در استان کرمان طی دوره مورد مطالعه

مجموع بارش های سنگین طی دوره مورد مطالعه در استان کرمان (میلی متر)												ایستگاه	
دی	بهمن	دی	اسفند	بهمن	بهمن	بهمن	اسفند	دی	بهمن	بهمن	دی		
۷۱	۷۱	۷۳	۷۴	۷۴	۷۵	۷۶	۷۷	۷۷	۷۸	۸۳	۸۹	بهمن	
۵۸	۱۰۷	۲۹	۶۷	۵۴	۶۲	۳۴	۴۵	۵۲	۵۴	۳۸	۶۶	۸۳	سیرجان
۳۷	۵۰/۴	۴۶	۱۷	۵۵	۳۷	۴۱	۴۴	۵۹	۵۵	۲۹/۷	۳۳	۴۹	کرمان
۱۶	۳۲	۱۶	۲۳	۴۲	۳۰	۳۴	۴۳	۴۶	۳۱	۳۳/۲	۳۹	۳۳/۴	رفسنجان
۳۴	۷۰	۵۲	۵۴	۶۰	۴۶	۴۲	۴۸	۶۲	۵۶	۵۵/۲	۶۲	۴۸/۹	شهربابک
۵۴	۱۵۴	۴۹	۵۵	۵۴	۵۳	۳۴	۷۴	۵۶	۵۷	۵۹/۴	۶۸	۷۹	بافت
۱۹/۸	۳۲/۱	۲۳	۲۱	۲۸	۳۱	۱۹	۲۱	۲۱	۲۲	۳۲	۲۷	۵	انار
۱۹	۲۷	۱۵	۲۲	۳۹	۱۸	۲۳	۲۳	۳۵	۱۱	۲۱	۴۶	۲۷	بم

جیرفت	۷۱	۱۹۱/۲	۴۵	۴۳	۷۴	۴۸	۳۶	۵۹	۶۰	۹۴	۵۶	۷۶	۱۰۴
کهنوج	۶۴	۱۰۹	۳۶	۳۷	۶۸	۴۷	۳۸	۵۶	۶۰	۱۰۶	۹۱	۷۵	۷۹
بردسیر	۳۴	۳۸	۵۱	۶۰	۵۰	۳۴	۴۰	۴۲	۳۷	۵۷	۴۴	۴۰	۶۳

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های همدید و مقدار بارش ۲۴ ساعته در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول (شرقی)		عرض (شمالی)		بارش روز ۷۱/۱۱/۱۵	بارش روز ۷۱/۱۱/۱۶	بارش روز ۷۱/۱۱/۱۷	مجموع بارش (میلی متر)
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه				
بافت	۲۲۶۶	۳۶	۵۶	۲۹	۱۳	۱۲	۵۹	۸۳	۱۵۴
بردسیر	۲۷۷۵	۵۰	۵۶	۲۹	۳۱	۰	۸	۳۰	۳۸
انار	۱۴۰۷	۱۶	۵۵	۳۰	۵۲	۰	۲	۳۰/۱	۳۲/۱
م	۱۰۶۶	۲۱	۵۸	۲۹	۰۶	۱	۱۲	۱۴	۲۷
کهنوج	۴۶۹	۴۲	۵۷	۲۷	۵۸	۲	۲۴	۸۳	۱۰۹
جیرفت	۶۰۱	۴۸	۵۷	۲۸	۳۵	۱۳/۲	۷۰	۱۰۸	۱۹۱/۲
رفسنجان	۱۵۸۰	۵۴	۵۵	۳۰	۲۵	۰	۱۳	۱۹	۳۲
شهربابک	۱۸۳۴	۰۸	۵۵	۳۰	۰۶	۰	۲۷	۴۳	۷۰
سیرجان	۱۷۳۹	۴۱	۵۵	۲۹	۲۸	۲۴	۳۶	۴۷	۱۰۷
کرمان	۱۷۵۹	۳	۵۷	۳۰	۱۶	۲/۹	۱۵/۵	۳۲	۵۰/۴

جدول ۳: مشخصات ایستگاه‌های همدید و مقدار بارش ۲۴ ساعته در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول (شرقی)		عرض (شمالی)		بارش روز ۸۹/۱۱/۱۱	بارش روز ۸۹/۱۱/۱۲	بارش روز ۸۹/۱۱/۱۳	مجموع بارش (میلی متر)
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه				
بافت	۲۲۶۶	۳۶	۵۶	۲۹	۱۳	۱۹/۷	۳۴/۲	۴۴/۹	۹۸/۸
بردسیر	۲۷۷۵	۵۰	۵۶	۲۹	۳۱	۲	۲۳	۴۰	۶۵
انار	۱۴۰۷	۱۶	۵۵	۳۰	۵۲	۰	۱/۴	۳/۲	۴/۶
م	۱۰۶۶	۲۱	۵۸	۲۹	۰۶	۰	۰	۲۷/۳	۲۷/۳
کهنوج	۴۶۹	۴۲	۵۷	۲۷	۵۸	۰	۲۳	۵۶/۲	۷۹/۲
جیرفت	۶۰۱	۴۸	۵۷	۲۸	۳۵	۰	۱۳/۶	۹۰/۶	۱۰۴/۲
رفسنجان	۱۵۸۰	۵۴	۵۵	۳۰	۲۵	۰/۲	۰/۸	۳۲/۶	۳۳/۶
شهربابک	۱۸۳۴	۰۸	۵۵	۳۰	۰۶	۳/۹	۱۵/۸	۳۳/۱	۵۲/۸
سیرجان	۱۷۳۹	۴۱	۵۵	۲۹	۲۸	۰	۳۷/۹	۴۵/۱	۸۳
کرمان	۱۷۵۹	۳	۵۷	۳۰	۱۶	۱/۲	۸	۴۱	۵۰/۲

در مرحله بعد با استفاده از شاخص آماری گامبل تیپ ۱ که برای داده‌هایی با چولگی مثبت به کار می‌رود، تعریفی از بارش‌های سنگین برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان کرمان ارائه شد (رابطه ۱).

میزان ناپایداری	Si ارزش شاخص
احتمال ناپایداری وجود دارد	۱ تا ۳
احتمال ناپایداری بیشتر می‌شود	۱ تا -۳
شدت ناپایداری افزایش می‌یابد	کمتر از -۳

رابطه ۱  $G = \mu + k * \alpha$

$\mu$ : میانگین داده‌ها       $\alpha$ : انحراف معیار داده‌ها       $k$ :

ضریب فراوانی

در این تحقیق ضریب فراوانی با دوره بازگشت صد سال برای داده‌های بیشتر از صد داده، عدد ۴ می‌باشد (علیزاده ۱۳۸۵). بنابراین بارش سنگین نسبت به میانگین بارشی هر ایستگاه تعریف

گردید (جدول ۴).

جدول ۴: شاخص بارش سنگین در ایستگاه‌های استان کرمان

ایستگاه	انار	بردسیر	بم	بافت	جیرفت	رفسنجان	سیرجان	شهربابک	کرمان	کهنوج
شاخص بارش سنگین (میلی متر)	۱۹	۳۵	۲۳	۳۸	۴۹	۲۰	۳۰	۳۱	۳۰	۵۲

سپس با مقایسه بارش سنگین محاسبه شده و بارش‌های رخ داده طی دوره مورد مطالعه می‌توان به سنگین و استثنایی بودن بارش‌ها پی برد. در نتیجه با توجه به این نکته بارش‌های سیلابی بهمن‌ماه ۷۱ و ۸۹ که دارای بارش بالاتری نسبت به سایر موارد انتخابی بودند جهت بررسی و تحلیل همید انتخاب گردیدند. در مرحله بعد برای به دست آوردن میزان ناپایداری در روزهای مورد مطالعه، شاخص‌های Si و Ki برای نمونه در ایستگاه کرمان محاسبه شد (قائم‌ی و همکار، ۱۳۷۱).

جدول ۵: مقادیر شاخص Si برای تعیین وضعیت ناپایداری

ارزش شاخص	احتمال وقوع ناپایداری (درصد)
Ki	
کمتر از ۱۵	۰ تا ۲۰
۱۵ تا ۳۰	۲۰ تا ۶۰
۳۰ تا ۴۰	۶۰ تا ۹۰
بیشتر از ۴۰	۹۰ تا ۱۰۰

جدول ۶: مقادیر شاخص Ki برای تعیین وضعیت ناپایداری

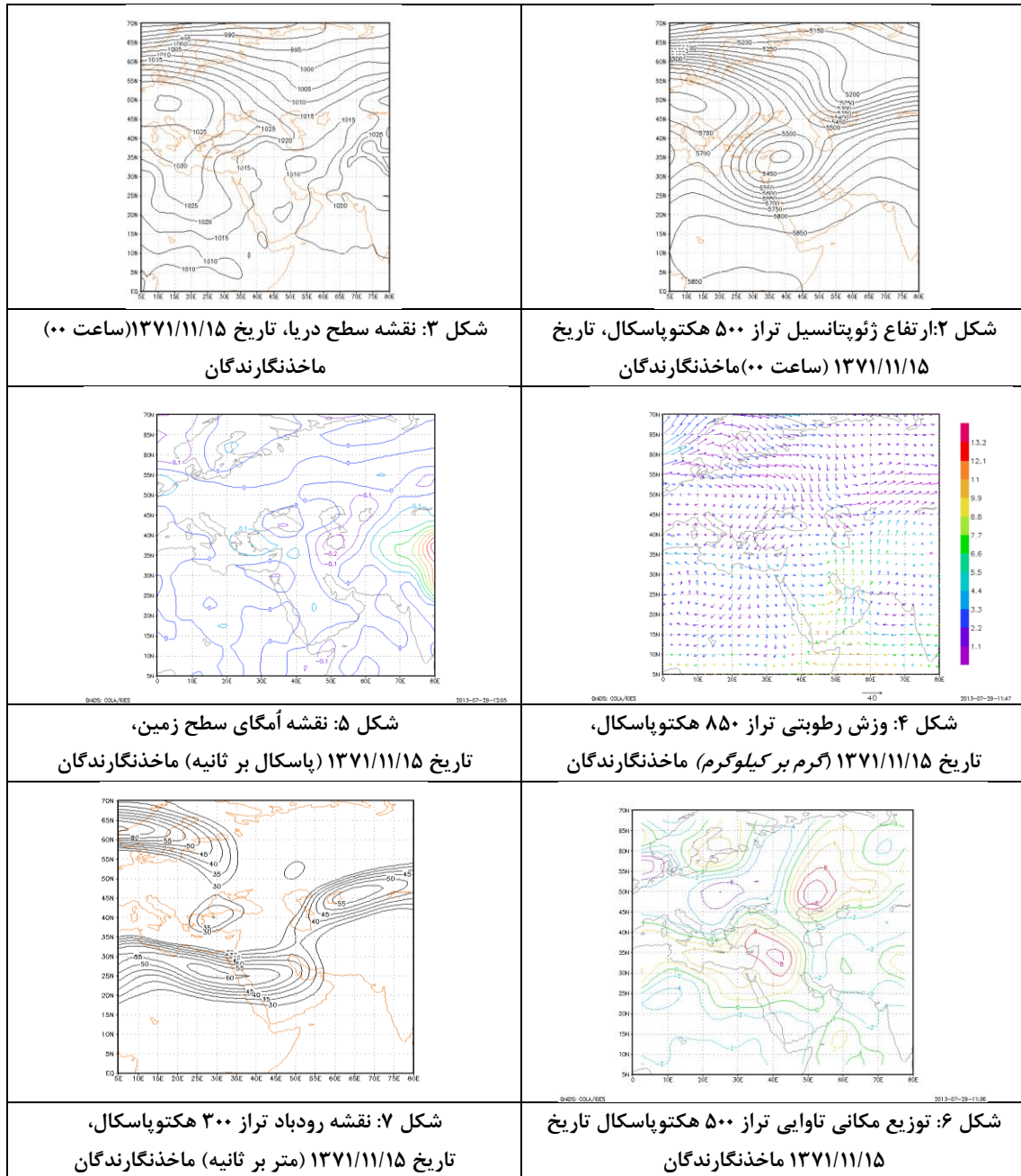
جهت مشخص شدن علل همیدی رخداد بارش سنگین در استان کرمان و نیز به لحاظ اختصار، صرفاً نقشه‌های ساعت صفر به وقت گرینویچ مورد بررسی قرار گرفته است.

### شرح و تفسیر نتایج

- بررسی و تحلیل بارش سیلابی و مخرب بهمن‌ماه ۱۳۷۱
- پانزده بهمن‌ماه ۱۳۷۱ (روز شروع بارش)

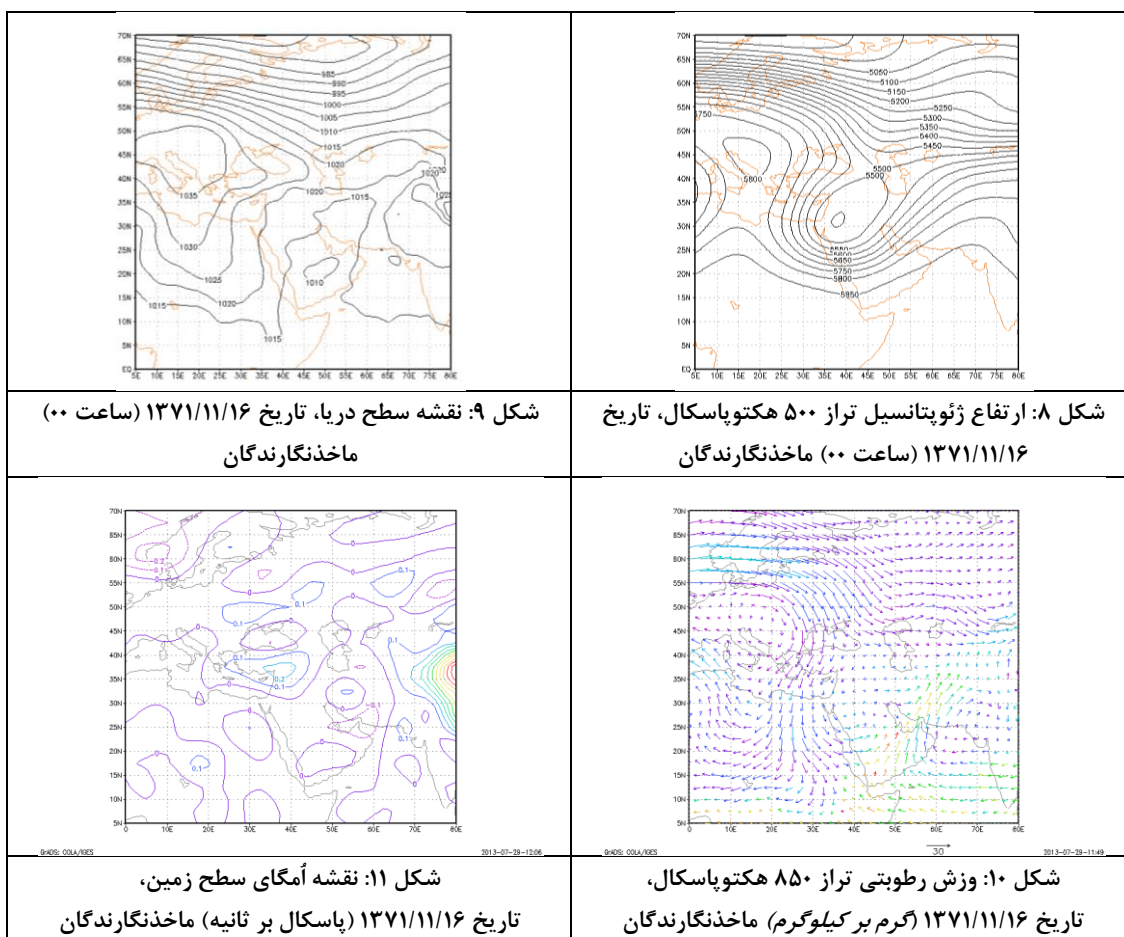
در نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال این روز با توجه به شکل‌گیری مرکز کم ارتفاع بسته‌ای بر روی شرق مدیترانه و ایجاد ناوهای عمیق سبب قرار گیری کشور در جلوی ناوه حاصله از مرکز کم ارتفاع گردیده است این امر سبب آغاز ناپایداری‌ها

و شروع بارش در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۲). الگوی غالب سطح دریا این روز بیانگر استقرار مرکز کم فشاری بر روی ایران و مرکز پرفشاری بر روی اروپا می‌باشد (شکل ۳). در نقشه وزش رطوبتی شاهد شروع تزریق رطوبت ابهای جنوبی به داخل کشور هستیم (شکل ۴). بالتبع این الگو شاهد گسترش چرخندگی منفی بر روی ابهای جنوبی و چرخندگی مثبت به داخل کشور هستیم (شکل ۶). همچنین در نقشه امگا هسته صعودی از سمت غرب در حال گسترش می‌باشد (شکل ۵). نقشه رودباد سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال بیانگر وجود دو هسته رودباد در شمال و جنوب کشور است که با امتداد شمالی - جنوبی به هم اتصال یافته‌اند و شرایط را برای تخلیه رطوبت از مرکز ایران فراهم نموده‌اند (شکل ۷).

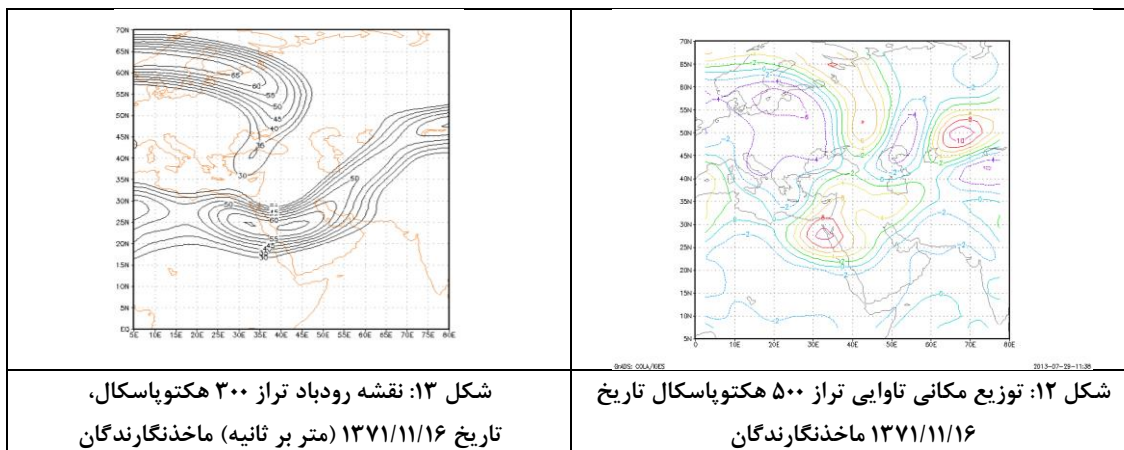


شانزده بهمن ماه ۱۳۷۱ (روز فراگیر شدن بارش)

در این روز مرکز کم ارتفاع مستقر در شرق مدیترانه ضمن حرکت به سمت شرق، عمیق تر شده و به عرض های جنوبی تر کشیده شده است. این فرایند سبب شده که دسترسی بیشتری به منابع رطوبتی جنوبی کشور فراهم گردد. بالتبع این حرکت مرکز پراارتفاع مستقر بر روی مرکز اروپا نیز با حرکت شرق سوی خود ریزش هوای سرد عرض های بالا را تقویت نموده است (شکل ۸). بالتبع نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در نقشه سطح دریا نیز شاهد استقرار مرکز کم فشاری بر روی عربستان و مرکز پرفشار بر روی اروپا هستیم (شکل ۹). در نقشه وزش رطوبتی نیز افزایش شدت حرکات واچرخندی را بر روی ابهای جنوبی شاهد هستیم. این حرکات سبب تزریق هر چه بیشتر رطوبت به مناطق داخلی کشور گردیده است (شکل ۱۰). این افزایش حرکات واچرخندی از روی نقشه چرخندگی قابل درک است به نحوی که افزایش چرخندگی منفی را بر روی ابهای جنوبی و نفوذ چرخندگی مثبت را به دورن منطقه مورد مطالعه شاهد می باشیم (شکل ۱۲). با توجه به نقشه امگا وجود هسته صعودی بر روی تنگه هرمز و منطقه مورد مطالعه بیانگر وجود شرایط ناپایدار جوی می باشد (شکل ۱۱). همچنین با قرارگیری رودبادی با جهت جنوب غرب - شمال شرق امکان تخلیه رطوبت فراهم گردیده است (شکل ۱۳). در این روز با توجه به عوامل مذکور شاهد بارش در تمامی ایستگاه ها می باشیم به نحوی که ایستگاه بافت ۵۹ و جیرفت ۷۱ میلی متر بارش داشته اند.

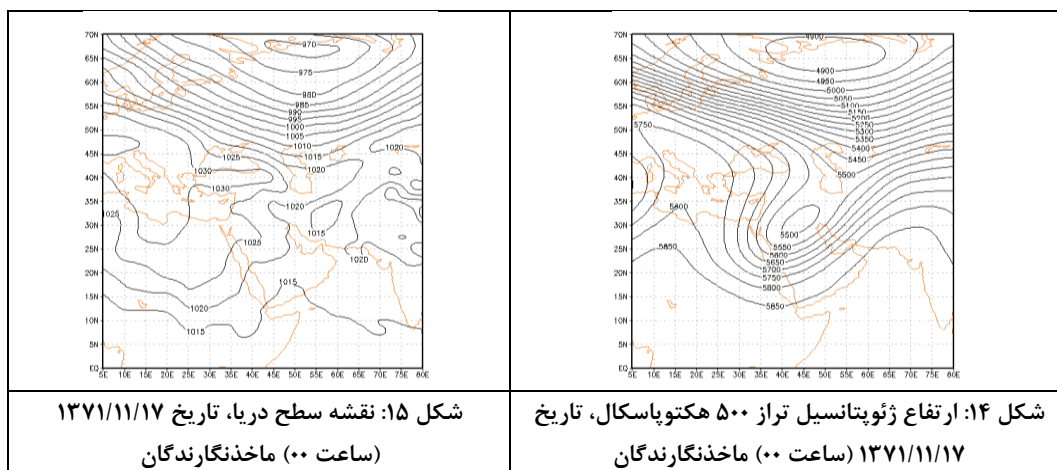


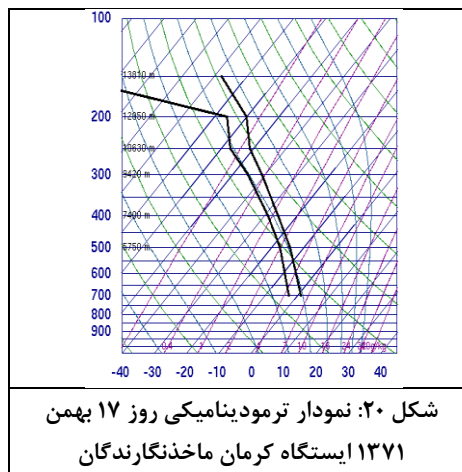
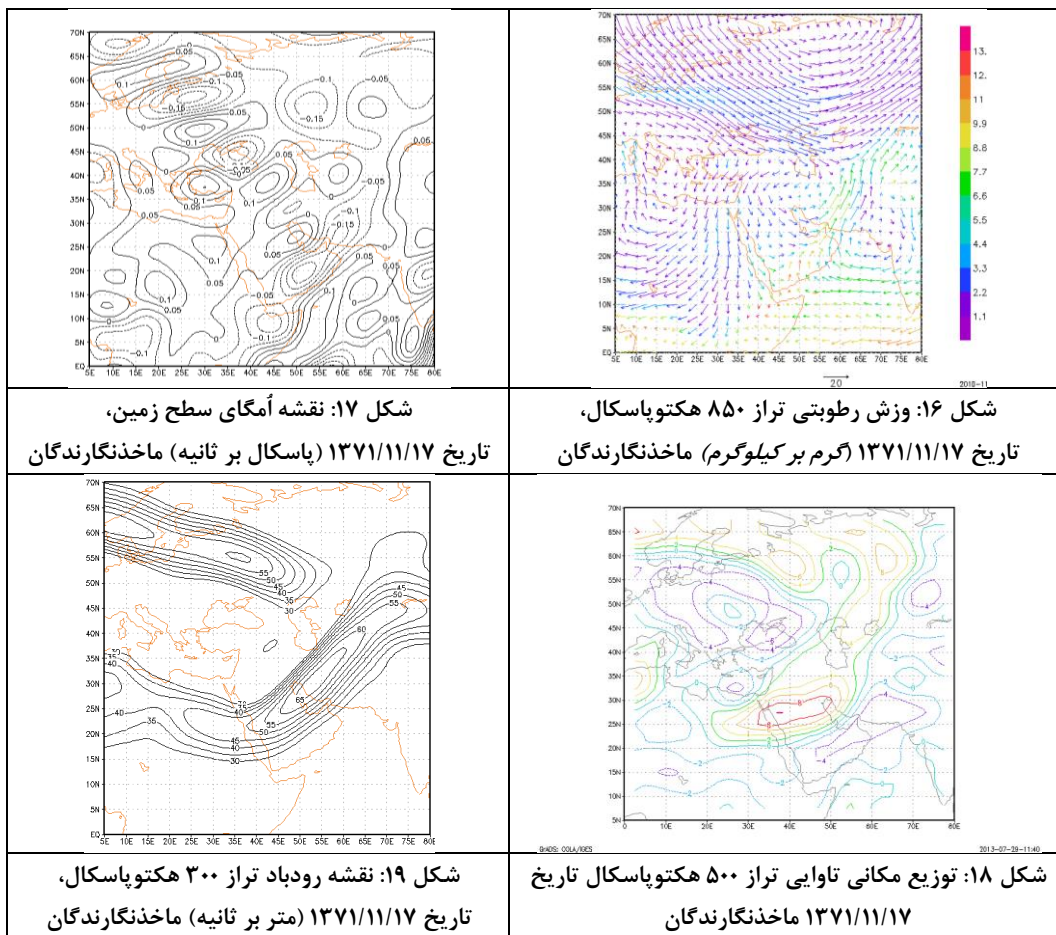




- هفده بهمن ماه ۱۳۷۱ (روز اوج بارش)

در این روز با تشکیل مرکز کم ارتفاع قوی در شمال روسیه و ادغام این مرکز با مرکز کم ارتفاع مستقر در غرب کشور و تشکیل ناوه عمیق با محور شمال - جنوب ضمن دسترسی بیشتر به منابع رطوبتی جنوب کشور شاهد ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به درون سیستم هستیم (شکل ۱۴). نکته قابل توجه این روز تشدید حرکات واچرخندی بر روی ابهای جنوبی کشور می باشد به نحوی که سبب تزریق رطوبت ابهای جنوبی از طریق تنگه هرمز به درون کشور و به ویژه منطقه مورد مطالعه گردیده است (شکل ۱۶). همچنین به علت قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جلو ناوه مذکور تشدید حرکات چرخندی را در منطقه شاهد هستیم (شکل ۱۸). با توجه به نقشه رودباد نیز قرارگیری هسته رودباد بر روی کشور با امتداد جنوب غرب - شمال شرق سبب تخلیه هرچه بیشتر رطوبت گردیده است (شکل ۱۲). این شکل قرارگیری الگوها بهترین حالت برای تشدید ناپایداری و ریزش‌های قابل ملاحظه می باشد زیرا از طرفی ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به همراه رطوبت بالای ابهای گرم جنوبی و وجود عامل صعود قوی همراه با تخلیه مداوم رطوبت سبب ریزش بارش سیلابی در منطقه گردیده است به نحوی که ایستگاه بافت ۸۳، جیرفت ۱۰۸ و سیرجان ۴۷ میلی متر بارش داشته اند. نمودار ترمودینامیکی منحنی دما و رطوبت تا سطوح بالای جو بسیار نزدیک به هم هستند و وضعیتی پیوسته و یکنواخت دارند. این وضعیت نشانگر ناپایداری بسیار شدید و رطوبت زیاد در جو منطقه است (شکل ۱۰).



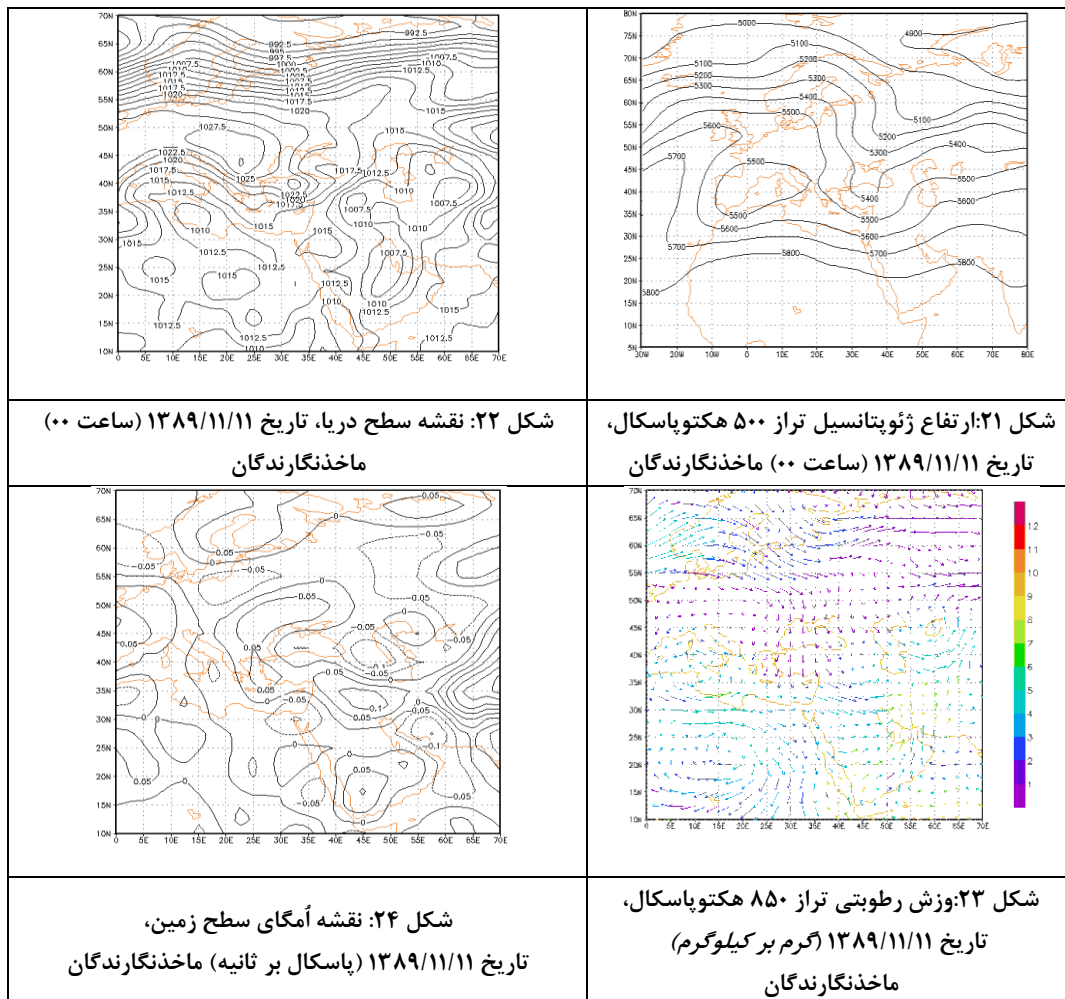


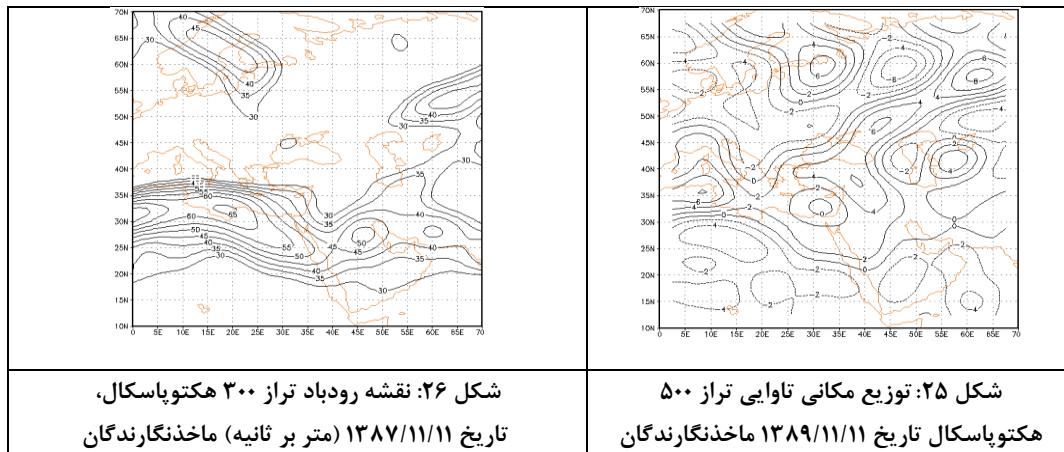
بررسی و تحلیل بارش سیلابی و مخرب بهمن ماه ۱۳۸۹

- یازدهم بهمن ماه ۱۳۸۹ (روز شروع بارش)

در این روز با تشکیل مرکز کم ارتفاع بریده و دو شاخه شدن بادهای غربی، شاخه شمالی با تشکیل ناوهای عمیق از شمال دریای اژه تا دریای سرخ و ارتباط با شاخه جنوبی، ضمن ریزش هوای سرد، با عبور از آبهای جنوبی کشور و کسب رطوبت بیشتر تعدادی از ایستگاههای مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲۱). در نقشه سطح دریا نیز پرفشار مستقر بر روی اروپا در این روز تقویت شده و فشار هسته مرکزی آن به ۱۰۲۷ هکتوپاسکال رسیده است. کمفشاری با

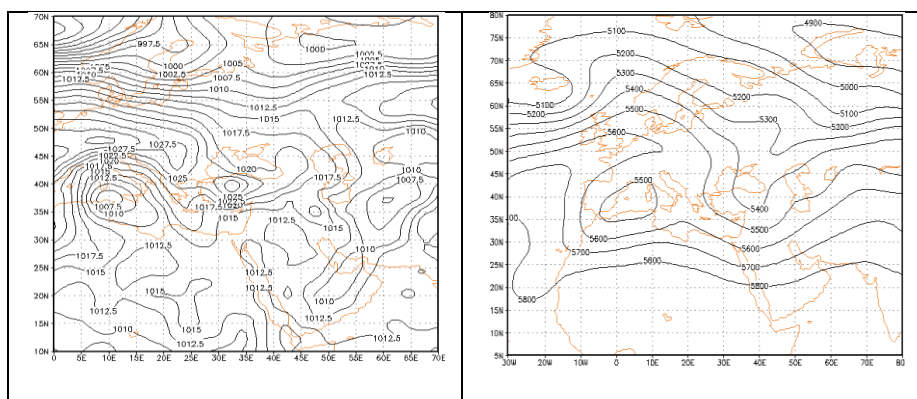
هسته مرکزی ۱۰۰۷ هکتوپاسکال بر روی بحرین تشکیل شده است. در همین زمان، با نفوذ بیشتر این کم‌فشار، پرفشار، مستقر بر روی دریای خزر به طرف شمال شرق عقب‌نشینی کرده و شرایط را برای بارش‌های نیمه جنوبی کشور فراهم کرده است (شکل ۲۲). نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بیانگر حرکات و اچرخندی بر روی جنوب عربستان می‌باشیم، این حرکت و اچرخندی باعث تزریق رطوبت از روی خلیج عدن و جنوب دریای سرخ شده و رطوبت را از طریق مرکز عربستان به سمت خلیج فارس و نواحی جنوبی ایران هدایت می‌کند (شکل ۲۳). متعاقب این حرکت بر روی نقشه چرخندگی سطح ۸۵۰ شاهد چرخندگی منفی بر روی عربستان می‌باشیم. بر روی ایران نیز شاهد نفوذ چرخندگی مثبت و شروع ناپایداری هستیم (شکل ۲۵). در این روز بر اساس نقشه امگا یک هسته صعود بر روی شمال تنگه هرمز قرار دارد (شکل ۲۴). در نقشه رودباد سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز شاهد گسترش هسته‌های سرعتی بر روی شمال آفریقا تا نواحی شرقی کشور می‌باشیم (شکل ۲۶). شاخص Si محاسبه شده برای این روز عدد صفر و شاخص Ki عدد ۲۵ را نشان می‌دهد که هر دو شاخص بیانگر وجود ناپایداری در منطقه می‌باشند.



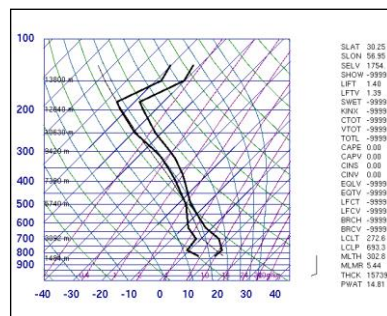
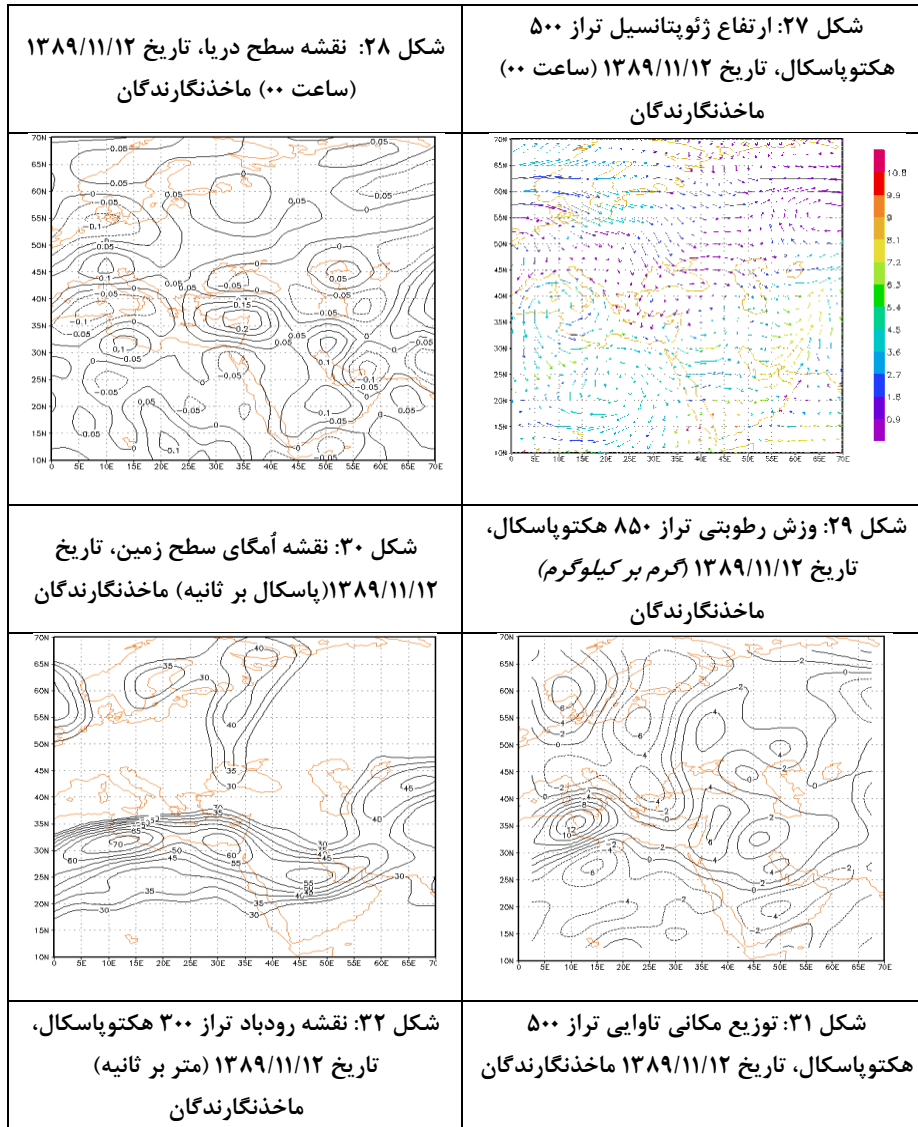


### - دوازدهم بهمن ماه ۱۳۸۹ (روز فراگیر شدن بارش)

در این روز به دنبال حرکت کند سیستم مانع به سمت شرق ناوه مستقر بر روی شرق مدیترانه و دریای سرخ به سمت شرق جا به جا شده و مناطق بیشتری را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲۷). بررسی نقشه های سطح دریا نشان می دهد مرکز پرفشار مستقر بر روی مرکز اروپا قوی تر شده و فشار مرکزی آن به ۱۰۳۰ هکتوپاسکال رسیده است. زبانه های این پرفشار به نواحی غربی و شمال غربی کشور نفوذ کرده است. همچنین کم فشار روز قبل که بر روی بحرین قرار داشت، به داخل کشور نفوذ کرده و بخش های وسیعی از مناطق جنوبی و مرکزی کشور را در بر گرفته است (شکل ۲۸). با توجه به نقشه وزش رطوبتی این روز، شاهد حرکات واچرخندی بر روی دریای عمان هستیم استمرار این حرکات رطوبت را از طریق تنگه هرمز وارد مناطق جنوبی کشور نموده است (شکل ۲۹). در نقشه امگای این روز هسته صعودی بر روی شمال تنگه هرمز همچنان وجود داشته و اندکی به سمت شرق جابه جا شده است (شکل ۳۰). در نقشه چرخندگی این روز نیز شاهد گسترش چرخندگی مثبت به نواحی داخلی کشور و ناپایداری بر روی نواحی جنوبی و مرکزی می باشیم (شکل ۳۱). هسته رودبادی با هسته مرکزی ۵۵ متر بر ثانیه بر روی عربستان قرار گرفته که زبانه های آن بر روی نواحی جنوبی متمرکز شده و تخلیه هوا را در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکالی فراهم نموده است (شکل ۳۲). شکل ۳۳ نشان دهنده وضعیت شاخص دما و رطوبت این روز در سطوح مختلف جوی است. همان طور که مشخص است، این دو مولفه بسیار به هم نزدیک بوده و پیوستگی خود را تا سطح ۲۰۰ هکتوپاسکالی نیز حفظ کرده اند. این مساله سبب افزایش ناپایداری و تشدید بارش می گردد.





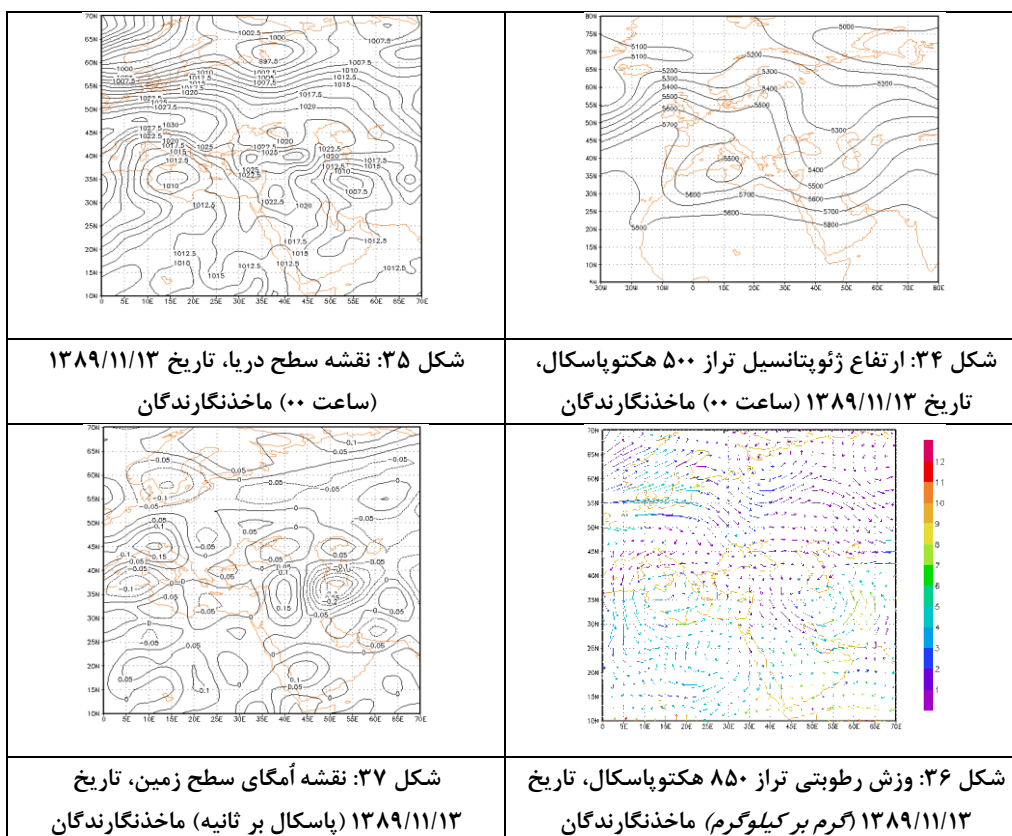


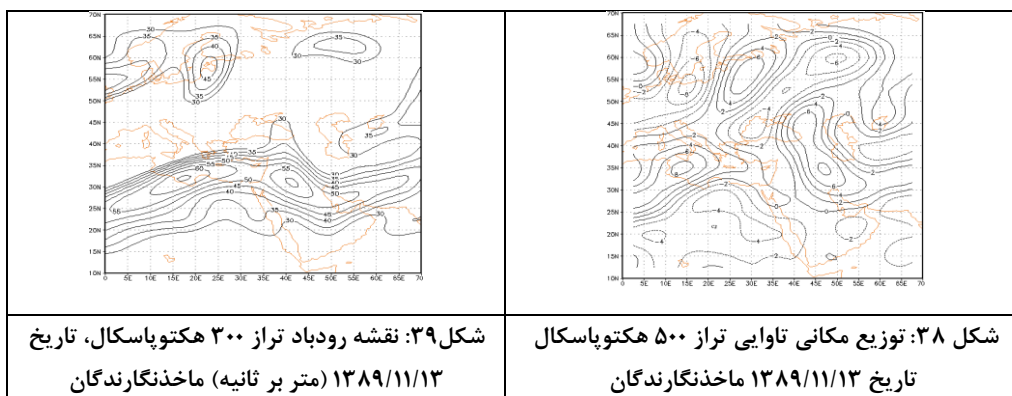
شکل ۳۳: نمودار ترمودینامیک ۱۲ بهمن ۱۳۸۹ ایستگاه کرمان ماخذنگارندگان

- سیزدهم بهمن ماه ۱۳۸۹ (روز اوج بارش در استان کرمان)

در این روز کم ارتفاع بریده همچنان بر روی دریای مدیترانه مستقر می‌باشد. ناوه مستقر بر روی عربستان با حرکت به سمت شرق بر روی جنوب غرب و غرب کشور مستقر گردیده است و مناطق مستقر در جلو ناوه را تحت تاثیر قرارداده

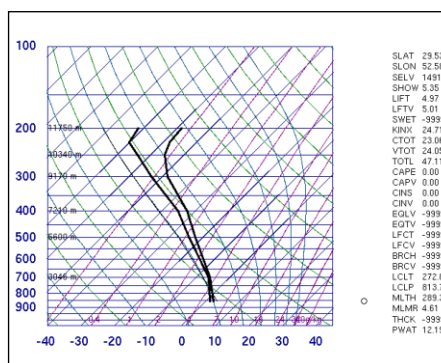
است (شکل ۳۴). نقشه سطح دریا در این روز نشان می دهد نیمه جنوبی کشور تحت تاثیر مرکز کم فشاری با فشار مرکزی ۱۰۰۷ هکتوپاسکال می باشد. با جابه جایی اندک سامانه پرفشار قوی مستقر بر روی مرکز اروپا به سمت شرق، زبانه های آن به عرض های پایین تر نفوذ کرده و باعث ریزش هوای سرد به منطقه می شود (شکل ۳۵). چنین شکلی از استقرار توده های هوا، بهترین شرایط را برای بارندگی و ایجاد ناپایداری فراهم می نماید به نحوی که ایستگاه های جیرفت ۹۰/۶، کهنوج ۵۶/۲ و سیرجان ۴۵/۱ میلی متر بارش داشته اند. شاخص های ناپایداری محاسبه شده برای ایستگاه کرمان نشان می دهند که بیشترین ناپایداری در روز ۱۳ بهمن رخ داده است. به طوری که در این روز شاخص Si عدد ۲- و شاخص Ki عدد ۳۶ را نشان می دهد. در این روز با توجه به نقشه وزش رطوبتی شاهد حرکات چرخندی بر روی ایران و حرکت و اچرخندی بر روی دریای عرب هستیم. ترکیب حرکات چرخندی و و اچرخندی مذکور سبب تزریق رطوبت بیشتر آب های جنوبی به داخل کشور می شود (شکل ۳۶). در نقشه چرخندگی کلیه نواحی جنوبی دارای چرخندگی مثبت می باشند (شکل ۳۸). نقشه امگای این روز بیانگر جابه جایی اندک هسته صعود و قرار گرفتن آن بر روی نواحی جنوبی استان کرمان می باشد (شکل ۳۷). در این روز نقشه رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال بیانگر تشکیل هسته رودباد دیگری بر روی عراق می باشد که زبانه های آن با گسترش شمال غربی - شمال شرقی از روی نواحی جنوبی و شرقی کشور عبور کرده و با تخلیه هوا امکان صعود هر چه بیشتر هوای مرطوب خلیج فارس و دریای عمان را فراهم نموده است (شکل ۳۹). در شکل ۴۰ شاخص دما و رطوبت بسیار به هم نزدیک شده اند به گونه ای که در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکالی (ارتفاع ۳۰۴۶ متر) پیوستگی کاملی بین این دو مشاهده می شود. این مساله ناپایداری شدید جوی این روز را نشان می دهد.





شکل ۳۹: نقشه رودباد تراز ۳۰۰۰ هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۳ (متر بر ثانیه) ماخذنگارندگان

شکل ۳۸: توزیع مکانی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۳ ماخذنگارندگان



شکل ۴۰: نمودار ترمودینامیک ۱۳ بهمن ۱۳۸۹ ایستگاه کرمان

### نتیجه گیری

از آنجایی که برای ایجاد بارندگی‌های شدید، وجود دو عامل رطوبت و عامل صعود لازم می‌باشد، لذا شناسایی منابع و منشا رطوبت و همچنین عوامل صعود بارش‌های شدید ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور با بررسی نقشه‌های وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، منشا و مسیر رطوبت بارش مورد بررسی، شناسایی شد. برای درک بهتر مکانیسم تزریق رطوبت به منطقه و ایجاد بارش، الگوهای آرایش هم‌فشاری تراز دریا و پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های چرخندگی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های رودباد سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال مربوط به این بارش‌ها نیز شناسایی شد. همچنین برای تشخیص مکان صعود هوا و میزان ناپایداری، نقشه‌های امگای سطح زمین برای روزهای بارش ترسیم و تحلیل شدند. نتایج بیانگر آن است که علت اصلی وقوع بارش‌های سنگین و سیلابی استان کرمان ناشی از عمیق‌تر شدن ناوه ایجاد شده در شرق مدیترانه به هر دلیل از جمله ایجاد پدیده بلوکی‌نگ (بهمن ماه ۸۹) می‌باشد در نتیجه این فرایند شاهد ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به عرض‌های جنوبی تر هستیم طی این فرایند و با توجه به حرکات چرخندی و صعود هوا در جلوی ناوه احتمال ریزش بارش قوت می‌یابد. اما نکته حائز اهمیت در ریزش‌های سیلابی نواحی جنوبی کشور و مخصوصاً استان کرمان وجود حرکات واچرخندی شدید بر روی ابهای جنوبی کشور و بویژه دریای عمان می‌باشد که سبب نفوذ رطوبت ابهای جنوبی به داخل کشور شده و به همراه عامل صعود ناشی از حرکات چرخندی جلوی ناوه شرایط مناسب و مساعد ریزش‌های سیلابی را فراهم نماید. همچنین با توجه به اینکه نتایج حاصل از این تحقیق در هر دو مورد از تحلیل الگوهای همدیدی بارش‌های سیلابی طی دو دهه گذشته در استان کرمان در ارتباط با نقش حرکات واچرخندی بر روی آب‌های جنوبی کشور مشابه بوده حائز اهمیت است.

## منابع

- احمدی، حمزه؛ محمد باعقیده، سعید اسدی و فریبرز احمدی. ۱۳۹۴. تحلیل رخداد بارشی شدید منجر به سیل ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در استان البرز. *مجله دانش مخاطرات*، ۴: ۴۵۱-۴۶۹.
- امیدوار، کمال. ۱۳۸۶. بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۵۹: ۸۹-۸۱.
- امیدوار، کمال؛ فرشاد صفروپور، مهدی محمودآبادی و سعید الفتی. ۱۳۸۹. تحلیل هم‌دید اثرهای سردچال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران. *مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا*. ۴: ۱۸۹-۱۶۱.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ تیمور علیزاده. ۱۳۸۹. *مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا*. ۴: ۱۰۹-۸۷.
- سرحدی، علی. ۱۳۸۰. تحلیل خطر سیل گرفتگی با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در حوضه هلیل رود استان کرمان. *دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان*.
- شمس، پرپسا. ۱۳۸۹. *تحلیل آماری و سینوپتیک بارش‌های سنگین استان کرمان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد.
- علیزاده. امین. *اصول هیدرولوژی کاربردی*، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۱۳۸۵.
- قوبدل، رحیمی؛ محمود احمدی، داریوش حاتمی زرنه و محمد رضایی. ۱۳۹۳. *نارسایی الگوهای سینوپتیک بارش سنگین مولد سیلاب مخرب در شهرستان جیرفت، فصلنامه علمی پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران*. ۴۱: ۱۶۱-۱۷۸.
- قائمی، هوشنگ. ۱۳۷۱. *ناپایداری و توفان‌های رعد و برق*. سازمان هواشناسی کشور. تهران.
- لشکری، حسن. ۱۳۷۵. *الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب غرب ایران*. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس.
- مرادی، حمیدرضا ۱۳۸۳. *پیش‌بینی سیلاب‌ها بر اساس موقعیت‌های سامانه‌های هم‌دید در شمال شرق ایران*. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۷۵: ۷۰-۵۴.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ بختیار محمدی. ۱۳۹۱. *تحلیل فراوانی جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران*. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۱۰۴: ۱-۲۳.
- مفیدی، عباس. ۱۳۸۳. *اقلیم‌شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا با منشا منطقه دریای سرخ در خاورمیانه*. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۷۵: ۹۳-۷۱.
- نظری پور، حمید. ۱۳۸۶. *تحلیل هم‌دید بارش‌های سنگین استان بوشهر*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان.
- Grumm, R.; R. Holmes. ۲۰۰۶. Patterns of Heavy Rainfall in the Mid-Atlantic Region, *National Weather Service Office*, State College, ۱۶۸۰۲.
- Harnak, R.; P. Apffel and K. Cermak . ۱۹۹۹. Heavy Precipitation Events in New Jersey :Attendant Upper Air Conditions , J: Wheather and Forecasting, ۱۴: ۹۳۳-۹۵۴.
- Honika ,K.; C. Schwirezd, and O. Martius . ۲۰۰۶. Synoptic-Scale Weather Patterns During Alpine Heavy Rain Events, J: Q. J. R. Meteorol. ۱۳۲: ۲۸۵۳-۲۸۶۰.
- Jones C.; D.Danielson ,D. Gomberg , and B. Bower . ۱۹۹۸. Mesoscale Simulations of Heavy Precipitation Events in Southern California During the ۱۹۹۷-۹۸ EL NIÑO, J: *Institute for Computational Earth System Science (ICESS)*.
- Kysely J.; J. Picek .۲۰۰۷. Probability Estimates of Heavy Precipitation Events in a Flood-Prone Central-European Region with Enhanced Influence of Mediterranean Cyclons, Institute of Atmospheric Physics AS CR, Prague, Czech Republic, Adv. Geosci , ۱۲: ۴۳-۵۰.
- Monterey. M, Gondomkar. A, Moemeni. M, ۲۰۱۵: Study Pressure Fields Affecting Cyclone Rainfall: Case Study of Iran, *Atmospheric and Climate Sciences*. ۵, ۱۲۹-۱۳۶.
- Mengwen W. ۲۰۱۷. Synoptic Analysis of Extreme Hourly Precipitation in Taiwan During ۲۰۰۳-۱۲, *Monthly Weather Revier*, ۱۴۵.
- Rasuly.A.; I. Babaeian, H.Ghaemi, and P. ZavarReza. ۲۰۱۲. Time Series Analysis of The Pressure of The Synoptic Pattern Centers Affecting on Seasonal Precipitation of Iran, *Geography and Development* ۱۰nd Year- No. ۲۷.