

بررسی رخداد بارش‌های فرین شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱

مجید بیجندی^۱، سید جمال الدین دریاباری^{۲*}، عباس رنجبر سعادت آبادی^۲، آزاده اربابی سبزواری^۴

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ دانشیار گروه برنامه ریزی شهری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳ دانشیار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو تهران، ایران

^۴ دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلام شهر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

روند تغییر الگوی بارش در منطقه شمال شرق ایران می‌تواند باعث بروز تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی از جمله تشدید چرخه‌ی هیدرولوژی، تغییر در فرکانس خشکسالی‌ها، سیل‌ها و گسترش تغییر دامنه‌ی تحت پوشش سیل و خشکسالی شود. در این تحقیق، رخدادهای بارش فرین در شمال شرق ایران، طی دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۰) با استفاده از نمایه‌های حدی بارش مطالعه شده است. برای این منظور از داده‌های بارش و فشار سطح دریا در مقیاس زمانی روزانه و ساعت‌های اصلی همیدی ایستگاه‌های هواشناسی همیدی مشهد، سبزوار، قوچان، نیشابور، بجنورد و گنبد کاووس استفاد شد و الگوهای جوی منجر به این رخدادهای فرین و روند تغییرات نمایه‌های حدی بارش با استفاده از روش رگرسیون خطی بررسی شد. همچنین آزمون‌های همبستگی نمایه‌ها با زمان با استفاده از مقدار احتمال (P-value) با سطح معنی داری ۵ درصد انجام شد. نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، هیچ یک از نمایه‌های اقلیمی، دارای روند تغییرات معناداری در طول دوره آماری نمی باشند. یکی از نمایه‌های حدی مهم، روزهای با بارش بسیار سنگین (R20mm) می‌باشد که توزیع فراوانی وقوع آن در بازه‌های زمانی مختلف بررسی شد. در طول دوره آماری و در بازه فصلی، زمستان با ۳۷/۴ درصد از فراوانی وقوع کل، بیشترین نسبت از کل سال را داشت. در بازه ماهانه، ماه مارس با ۱۹/۳ درصد از فراوانی وقوع کل، بیشترین نسبت از کل بارش سال را داشت. برای مطالعه عوامل همیدی تاثیرگذار بر بارش‌های فرین در منطقه شمال شرق کشور، سه مورد از رخدادهای فرین در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار انتخاب و بررسی شد. تحلیل همیدی نقشه‌های میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و میدان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، میدان سرعت قائم تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و الگوی توزیع رطوبت ویژه ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال انجام شد. نتایج نشان داد که مهمترین ویژگی الگوهای بزرگ مقیاس منجر به بارش‌های فرین، ماندگاری زیاد سامانه کم فشار دینامیکی در بخش شرقی دریای مدیترانه است. این رخداد، با تشکیل یک الگوی بندالی سبب استقرار و ماندگاری زیاد سامانه کم فشار سطح زمین و ناوه سطوح میانی و فوقانی وردسپهر در بخش شرقی دریای مدیترانه و حرکت کند امواج ناشی از آن بسمت منطقه مورد مطالعه می‌شود که نتیجه آن تشدید جریانات بالاسو در ترازهای پایین وردسپهر می‌باشد. این جریانات با بهره‌گیری از عامل موثر تغذیه رطوبتی مناسب از منابع رطوبتی دریای عمان، دریای سرخ و خلیج فارس عامل رخداد بارش‌های فرین در شمال شرق ایران بوده است.

کلمات کلیدی: نمایه‌های حدی، بارش شدید، الگوهای جوی، شمال شرق ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: jdaeyabari47@gmail.com

بروز تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی از جمله تشدید چرخه‌ی هیدرولوژی، تغییر در فرکانس خشکسالی‌ها، سیل‌ها و گسترش تغییر دامنه‌ی تحت پوشش سیل و خشکسالی در مناطق جدید، یکی از عوامل تعیین کننده‌ی تغییرات اقلیمی است (برنا، ۱۳۹۴، ۲) در نتیجه آشکارسازی و بررسی تغییرات دما و بارش به عنوان دو پارامتر اصلی در بررسی پدیده‌های حدی اقلیمی در یک منطقه همیشه حائز اهمیت می‌باشد، زیرا به مدیران ارشد این امکان را می‌دهد تا با ارائه راهکارهایی با کاهش خسارات بلاای طبیعی حاصل از پدیده‌های حدی مقابله کرده و به سوی اهداف توسعه پایدار قدم بردارند. در رابطه با کمیت بارش، افزایش فراوانی بارش‌های شدیدتر از سبب افزایش رخدادهای نظیر سیل، لغزش زمین، بهمن، حرکت گل و لای، فرسایش خاک، می‌شود. همچنین کاهش فراوانی مقادیر بارش می‌تواند سبب خشکسالی گردد (محمدی، ۱۳۸۴، ۳). به منظور آشکارسازی مقادیر حدی دما و بارش، شاخص‌های مختلف مقادیر حدی این دو متغیر جوی توسط گروه‌های مختلف علمی تعریف گردید که یکی از کامل ترین این تعاریف توسط تیم کارشناسی آشکارسازی تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI) ارائه شده است. از جمله مطالعات صورت گرفته در رابطه با نمایه‌های حدی اقلیمی بارش می‌توان به این موارد اشاره کرد: لنگوباری و ویلانی (۲۰۱۰) روند بارش فصلی و سالانه در ناحیه مدیترانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که شیب سری‌های زمانی سالانه در حدود ۳۵ میلیمتر در ده سال می‌باشد. که این نتیجه گویای این است که در دوره ۱۹۱۸ - ۱۹۹۹ بارندگی ۲۸۰ میلیمتر کاهش یافته است. این مقدار کاهش برابر ۲۳ درصد بارندگی متوسط سالانه می‌باشد. کلین تاک و همکاران (۲۰۰۸) دریافته‌اند که دما و بارش‌های حدی در مرکز و جنوب آسیا افزایش یافته است. مطالعه روند تغییرات دما و بارش در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری توسط امیدوار و سالاری (۱۳۹۲) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج سری‌های سالانه در روش‌های فوق نشان می‌دهد که بارندگی و دما در برخی ایستگاه‌های منطقه کاهش و در برخی دیگر افزایش داشته است. جینون کیم (۲۰۰۳) دانشمند علوم جوی در دانشگاه کالیفرنیا - لس

آنجلس بر اساس شبیه سازی‌های مدل کامپیوتری ۴۰ تا ۵۰ ساله، دریافت که منطقه سیرانودا افزایش قابل ملاحظه ای در بارش‌های سنگین (متجاوز از دو اینچ بارندگی در روز) و بارش حدی (متجاوز از چهار اینچ در روز) را تجربه کرده و بیشترین افزایش طی زمستان (مرطوب ترین فصل) در این منطقه رخ می‌دهد. فرجی و صادقی (۱۳۹۵) به بررسی تحلیل آماری تغییرات زمانی و مکانی ماهانه بارش سنگین ایران پرداختند. بر اساس نتایج پژوهش، نتایج این تحلیل به همراه معنی داری آن در نرم افزار Surfer به صورت توزیع مکانی ترسیم و ارائه شده که بارش‌های سنگین کشور در سطح اطمینان ۹۵ درصد در طی ماه‌های دوره سرد از تغییرات قابل توجهی برخوردار است؛ به طوریکه در تمامی ماه‌های سال به غیر از ماه‌های فصل تابستان در ارتفاعات زاگرس روند افزایشی معنی داری مشاهده شده است و همچنین، مشخص شده است که در تمامی فصول به غیر از فصل‌های زمستان کرانه‌های ساحلی خزر روند کاهشی را تجربه کرده است.

قویدل و حاتمی (۱۳۹۵) به بررسی تحلیلی از اوضاع جوی بارش سنگین منجر به مخاطره سیل ۸ اسفند ۱۳۸۸ ایوان غرب پرداختند و آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که نقشه‌های جریان رطوبتی ترازهای زیر ۵۰۰ هکتوپاسکال، ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال را انتقال داده است و رطوبت از مبادی دریای خزر، دریای مدیترانه و دریای سرخ انجام گرفته شده است. همچنین، در غرب ایران بر روی منطقه مورد مطالعه رطوبت مبادی یاد شده به حالت همگرایی رسیده؛ به طوریکه بخش اصلی رطوبت بارش سنگین را تأمین کرده است و در ترازهای ۶۰۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال تنها منبع رطوبت بارش سنگین دریای مدیترانه بوده است.

صفراد و منصوری نیا (۱۳۹۶) نیز به مطالعه تحلیل همیدی الگوهای منجر به بارش‌های سنگین غرب کشور در طی دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۸۵ پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ناوه عمیق از شمال غرب و شرق دریای مدیترانه و کم فشار عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه عمیق شرق مدیترانه و پر ارتفاع عربستان و همچنین نزول هوای سرد از عرض‌های بالا باعث بارندگی در مناطق غربی ایران شده است.

قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۶) به شناسایی الگوهای همدیدی بارش‌های سیل خیز غرب ایران پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که در روزهای همراه با بارش حدی، سرعت قائم منفی از تراز ۱۰۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکالی و با هسته بیشینه ۳ پاسکال بر ثانیه بر روی غرب ایران قرار داشته است و علاوه بر آن رطوبت بالای ۷۰ درصد قرارگیری در جلوی ترازهایی که از کم ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و به ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکالی بر منطقه نفوذ داشته است؛ همچنین، رودبادهایی با سرعت بالای ۳۰ متر بر ثانیه در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال سرعت باد سطحی بیش از ۱۰ متر بر ثانیه و هسته تاوایی مثبت همگی شرایط موجود را به نفع تشکیل سیکلون قوی فراهم کرده اند و در نهایت پردازش تصاویر رادار هواشناسی این نتایج را تأیید نمود.

جلیلیان و رمازی (۱۳۹۶) به بررسی واکاوی همدیدی آماری بارش‌های سنگین و فوق سنگین سیل آسا در استان ایلام پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که بارش‌های سنگین و فوق سنگین در ماه‌های نوامبر دسامبر فوریه و مارس احتمال رخداد بیشتری نسبت به دیگر ماه‌ها دارند و در ایستگاه ایلام شدت بارش‌ها بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین، شرایط همدیدی ایجادکننده این بارش‌ها شکل گیری ناوه عمیق در جنوب غرب ایران بر روی عربستان عراق و سوریه، ورود سامانه با تغذیه رطوبتی بالا از سمت جنوب غربی ایران با تغذیه از پهنه‌های آبی دریای سرخ دریای عرب و خلیج فارس بوده و با قرارگیری منطقه در این قسمت با بیشترین میزان ناپایداری سیستم همدیدی عامل صعود و سرعت افزایش سرعت جریانات و به تبع آن روانه شدن سیل شده است.

زواره و قرمز چشمه (۱۳۹۸) به بررسی روند تغییرات شاخص‌های بارش و فرصت‌های مناسب برای استحصال آب باران در ناحیه خزر پرداختند. آنها پس از انجام تحلیل‌های آماری در ۵ ایستگاه هواشناسی همدیدی با استفاده از نرم افزار RclimDex شاخص‌های آماری در ایستگاه‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تعداد روزهای بارانی دارای روند کاهشی بود. همچنین شاخص شدت بارش در تمامی ایستگاه‌ها روند مثبتی را دارا بود و شاخص روزهای بیش از اندازه تر (R99p) که دارای بارش سیل آسا می‌باشند

روند افزایشی داشت.

پاردس تریجو و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه همبستگی مشاهدات ماهواره ای بهبودیافته و مشاهدات زمینی در ونزوتلا پرداختند و نتایج مطالعات آنها حاکی از آن است که تجزیه و تحلیل با توجه به مقادیر بارندگی مختلف فصلی انجام شده است؛ اگرچه در اکثر معیارهای عددی نتیجه مطلوب است و از سوی دیگر این محصول در طول فصل بارانی نتایج خوبی را به دست می‌دهد، اما باین حال فراوانی بارش باران بسیار زیاد است، به طوریکه این محصول همچنین بهترین نتیجه را در مناطق مسطح و هموار نشان می‌دهد.

لند و همکارانش (۲۰۱۷) به مطالعه، تجزیه و تحلیل اقلیمی با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های بلند مدت پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که بی‌هنجاری‌های بارش در طول سه تا چهار دهه گذشته به علت افزایش انتشار دی اکسید گوگرد در منطقه مورد مطالعه جنوب آلمان و نیز تغییرات دما در محدوده روزانه است؛ بنابراین، واکنش آب وهوایی برای ساخت وسازهای آبشناسی ممکن است تا سال‌های ۱۹۷۰ توسعه یابد.

منطقه شمال شرق ایران بیشتر متأثر از سیستم‌های پرفشار سیبری است که شرایط آب و هوایی خاصی را ایجاد می‌کند. روند کاهش بارش در این منطقه می‌تواند فعالیت‌های مختلف از جمله کشاورزی را در معرض خطر قرار دهد و باعث کاهش بازده محصولات و در نتیجه زیان‌های اقتصادی کلان شود (زواره، ۱۳۹۸). هدف از این تحقیق بررسی توزیع زمانی شاخص‌های بارش در ایستگاه‌های نماینده این منطقه بوده تا در صورت مشاهده روندهای افزایشی در مقادیر بارش سنگین و فوق سنگین، راهکارهای مناسب برای مقابله با اثرات این تغییرات در این منطقه ارائه شود. همچنین با استفاده از بررسی فراوانی وقوع نمایه‌های حدی بارش، تاریخی که بارش‌های بسیار سنگین در ایستگاه‌های نماینده این منطقه اتفاق افتاده است و مشخص شده با تحلیل نقشه‌های سطح زمین و تراز میانی جو و با در نظر گرفتن مولفه‌هایی نظیر توزیع رطوبت ویژه، میدان باد و حرکات صعودی در این تاریخ، عوامل همدیدی موثر بر بارش‌های سنگین در منطقه شمال شرق کشور استنتاج شده است.

مواد و روش‌ها

یکی از روش‌های محاسبه و تعیین بارش‌های شدید و فرین، شاخص ساده شدت بارش و شاخص صدک است. این شاخص‌ها به ویژه در مطالعات تغییر اقلیم و بررسی روند تغییرات بارش‌های حدی از کاربرد فراوانی برخوردار است. بازه زمانی مشترک مورد استفاده برای داده برداری، از ایستگاه‌های همدیدی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ میلادی و به مدت ۲۰ سال انتخاب شد. این شاخص‌ها توسط تیم کارشناسی در زمینه آشکارسازی و پایش تغییر اقلیم و نمایه‌های آن (ETCCDI) استخراج شده است (زواره، ۱۳۹۸، ۴). این گروه در غالب پروژه مشترکی بین کمیسیون اقلیم شناسی (CCL) و تغییرپذیری و پیش بینی اقلیم (CLIVAR) و برنامه تحقیقات اقلیم جهانی (WCRP) شاخص دما و بارش را ارائه نمودند تا بدینوسیله علاوه بر مطالعات ملی، همکاری‌های بین المللی آسان تر گردد. برای محاسبه شاخص‌های بارش از نرم افزار RclimDex که توسط بخش تحقیقات اقلیمی هواشناسی کانادا توسط زوبرین زانگ و فنگ یانگ در محیط R1.84 تهیه گردید استفاده شد (زانگ، ۲۰۰۴). ایستگاه‌های هواشناسی مشهد، سبزوار، قوچان، نیشابور، بجنورد و گنبد کاووس به عنوان ایستگاه‌های مرجع انتخاب شدند. پس از اخذ آمار در ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور و کنترل کیفی آن، مقادیر بارش روزانه به منظور بررسی وقوع بارش‌های فرین لحاظ شد. برای هر یک از ایستگاه‌های فوق، نمودار توزیع زمانی پارامترها در بازه‌های زمانی سالانه و ماهانه رسم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای بررسی بارش‌های شدید و بسیار شدید نمایه‌های اقلیمی حدی بارش به این شرح انتخاب شدند: ۱- شاخص ساده شدت بارش (SDII) که به صورت مقدار کل بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب در طول یکسال تعریف می‌شود. ۲- شاخص روزهای با بارش سنگین (R10mm) ۳- شاخص روزهای با بارش بسیار سنگین (R20mm) ۴- شاخص روزهای خیلی تر (R95p) که به صورت جمع بارش روزانه بزرگتر از صدک ۹۵ تعریف می‌شود و معرف بارندگی‌هایی می‌باشد که با وقوع سیل

2 Commission for Climatology
3 Climate Variability and Predictability
4 World Climate Research Programme

همراه است (نساجی زواره و قرمز چشمه، ۱۳۹۸). ۵- شاخص روزهای بیش از اندازه تر (R99p) که به صورت جمع بارش روزانه بزرگتر از صدک ۹۹ تعریف می‌شود. ۶- مجموع بارش در روزهای تر که میزان جمع بارش روزهایی با بارش مساوی یا بیشتر از یک میلیمتر در طول یک دوره می‌باشد. تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به مقادیر نمایه‌های حدی حاصل از داده‌های آماری معنی داری روند تغییرات هریک از نمایه‌ها در روش رگرسیون خطی و بسامد فراوانی وقوع هریک از آنها بررسی شد تا شدیدترین رخداد فرین بارش برای تحلیل همدیدی انتخاب شود.

در مطالعه عوامل همدیدی تاثیرگذار بر بارش‌های فرین در منطقه شمال شرق کشور، الگوهای میدان فشار سطح دریا، میدان‌های باد و ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، نم و ویژه در سطوح زیرین وردسپهر و همچنین بی‌هنجاری‌های این الگوها نسبت به مقدار میانگین بلند مدت (میانگین ۱۹۹۱-۲۰۲۰) برای سه مورد از رخداد‌های فرین در فصول پاییز، زمستان و بهار (به ترتیب ۸ تا ۹ نوامبر ۲۰۰۵، ۱۶ تا ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ و ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰) استفاده شد. در این راستا همپوشانی الگوها مورد توجه قرار گرفته و تحلیل نقشه‌ها در مقیاس‌های روزانه و میانگین چند روزه برای دوره زمانی رخداد بارش و روزهای قبل و بعد از آن بررسی شد.

مفهوم بی‌هنجاری تفاوت مقادیر هر پارامتری خاص مورد نظر در زمان معین با مقادیر میانگین بلند مدت (میانگین دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰) همان پارامتر می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید و مقادیر مثبت (منفی) بیانگر افزایش (کاهش) آن کمیت نسبت به میانگین شرایط اقلیمی می‌باشد و هرچه این تفاوت بیشتر باشد نشان‌دهنده بی‌هنجاری شدیدتر می‌باشد.

$$q_{Ano} = q_t - \overline{q_t(1991-2020)}$$

که در این رابطه q_{Ano} مقدار بی‌هنجاری کمیت مورد نظر، q_t مقدار آن کمیت در زمان مشخص و $\overline{q_t(1991-2020)}$ مقدار میانگین دوره اقلیمی کمیت در زمان مورد نظر می‌باشد. در این راستا همپوشانی الگوها مورد توجه قرار گرفته و

جدول ۱. تعریف نمایه‌های حدی بارش

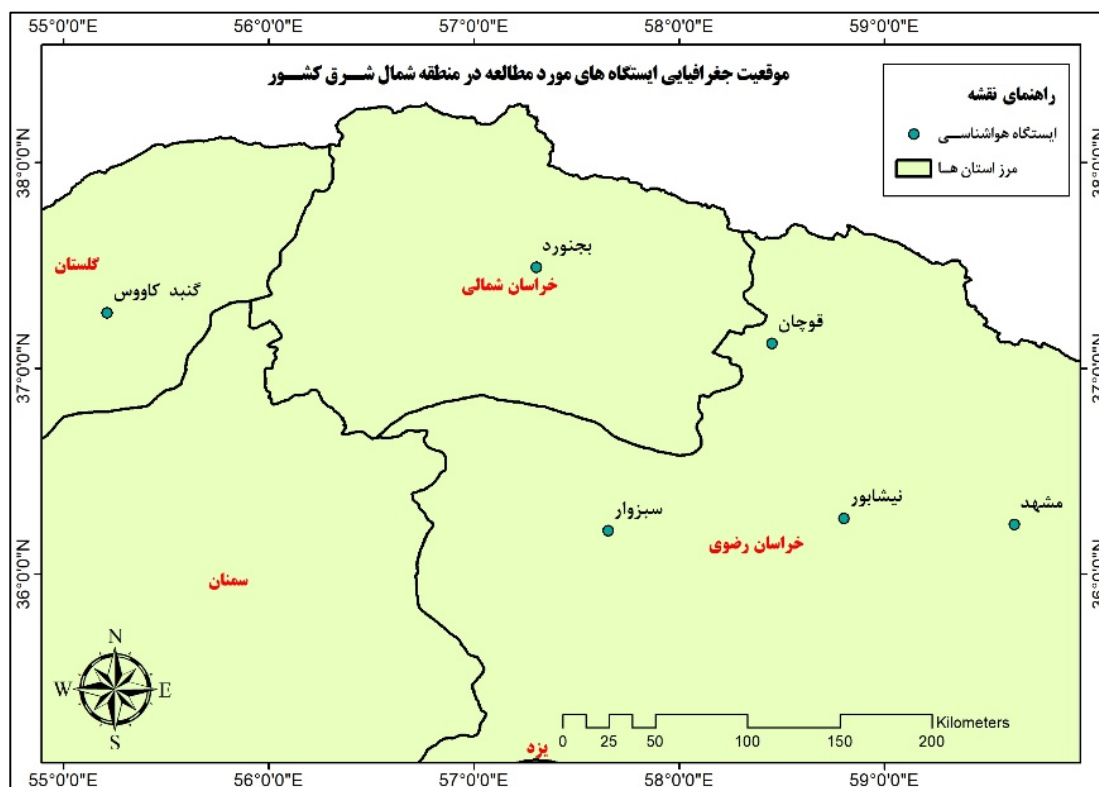
ردیف	نمایه	معرفی نمایه	نوع	یکا
۱	SDII نمایه ساده شدت روزانه Simple daily intensity index	اگر RR_{wj} میزان بارش در یک روز بارانی ($RR \geq 1mm$) در دوره j و w عبارت باشد از روزهای تر در دوره j ، آنگاه $SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{w}$	نسبت	میلیمتر بر روز
۲	R10mm روزهای با بارش سنگین Number of heavy precipitation days	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i در دوره j باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلیمتر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 10mm$	آستانه‌های مطلق	روز
۳	R20mm روزهای با بارش بسیار سنگین Number of very heavy precipitation days	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i در دوره j باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلیمتر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 20mm$	آستانه‌های مطلق	روز
۴	R95p جمع بارش روزهای خیلی تر Very wet days	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه دوره j در یک روز تر یعنی روزی که بارش آن مساوی یا بیشتر از یک میلیمتر باشد، ($RR \geq 1.0 mm$) و RR_{wn95} صدک ۹۵ ام بارش در روزهای تر دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۰ و w نماینده روزهای تر در دوره باشد، آنگاه $R95pj = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ که در آن $RR_{wj} > RR_{wn95}$	مبتنی بر صدکها	میلیمتر
۵	R99p جمع بارش روزهای فوق العاده تر Extremely wet days	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه دوره j در یک روز تر یعنی روزی که بارش آن مساوی یا بیشتر از یک میلیمتر باشد، ($RR \geq 1.0 mm$) و RR_{wn99} صدک ۹۹ ام بارش در روزهای تر دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۰ و w نماینده روزهای تر در دوره باشد، آنگاه $R99pj = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ که در آن $RR_{wj} > RR_{wn99}$	مبتنی بر صدکها	میلیمتر
۶	PRCPTOT مقدار سالانه بارش در روزهای تر Annual total wet days precipitation	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i ام در دوره j و i نماینده تعداد روزهای تر باشد، آنگاه $PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^i RR_{ij}$	مطلق	میلیمتر

منبع: Alexander L, et. al. 2006

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه در منطقه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	طبقه اقلیمی (دومارتن)
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۴	۹۹۹	خشک
قوچان	۵۸/۴۵	۳۷/۱۲	۱۲۷۰	نیمه خشک
سبزوار	۵۷/۶۵	۳۶/۲۱	۹۶۲	خشک
نیشابور	۵۸/۸	۳۶/۲۷	۱۲۱۳	خشک
بجنورد	۵۷/۳۰	۳۷/۴۹	۱۰۷۰	خشک
گنبد کاووس	۵۵/۲۱	۳۷/۲۷	۳۷	خشک

تحلیل نقشه‌ها در مقیاس‌های روزانه و میانگین ۳ روزه برای دوره زمانی رخداد بارش و روزهای قبل و بعد از آن بررسی شده است. در این مطالعه ۶ ایستگاه از ایستگاه‌های شمال شرق کشور که دارای دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰) می‌باشند، انتخاب شدند. استان‌های شمال شرق کشور به دلیل موقعیت‌های توپوگرافی متفاوت و تاثیرپذیری از عوارض طبیعی مختلف، دارای تنوع اقلیمی زیادی هستند. جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌های انتخابی از سه استان و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در هر یک از استان‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه شمال شرق کشور

جدول ۳. شیب خط برازش نمایه‌های حدی بارش ایستگاه‌های مطالعاتی به روش رگرسیون خطی

PRCPTOT	R99p	R95p	R20mm	R10mm	SDII	نمایه
						ایستگاه
۲/۶۸۳۲	۱/۰۸۰۸	۲/۳۴۷۷	-۰/۰۴۶۶	-۰/۰۰۶۸	۰/۰۱۷۷	مشهد
۱/۲۶۱۸	-۰/۷۲۲۸	۱/۲۵۲۸	-۰/۰۲۷۶	۰/۱۲۹۳	-۰/۰۱۸۶	قوچان
۱/۶۴۱۲	۱/۷۴۲۴	۲/۳۳۴۸	-۰/۰۷۸۲	۰/۰۸۱۲	۰/۰۴۲	سبزوار
۰/۱۹۸۸	-۰/۴۰۸۸	۱/۰۸۰۵	-۰/۰۴۸۹	۰/۰۴۲۹	۰/۰۴۵	نیشابور
۳/۸۳۹۷	۱/۶۹۹۲	۱/۵۵۸۶	-۰/۰۷۱۴	-۰/۰۹۷	-۰/۰۵۸۸	بجنورد
-۰/۵۳۶۶	۱/۱۵۲	-۱/۱۰۵۹	-۰/۰۴۸۹	-۰/۰۶۴۷	۰/۰۰۱۳	گنبد کاووس

نتایج و بحث

بررسی آماری رخدادهای فرین بارش

که نتایج آن در جدول های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. در جدول ۳ شیب خط رگرسیون برای تمام نمایه‌ها و تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه گنبد کاووس مثبت می‌باشد. اما در جدول ۴ هیچ کدام از ضرایب تعیین به مقدار قابل قبول ۰/۶ نزدیک نیستند در نتیجه نمی توان این روند افزایشی متغیرها را معنی دار دانست. همچنین در جدول ۵ هیچ کدام از مقادیر احتمال

تعیین روند نمایه‌ها به روش رگرسیون خطی و انجام آزمون‌های همبستگی آنها با زمان با استفاده از مقدار احتمال (P-value) با سطح معنی داری ۵ درصد برای ۶ ایستگاه هواشناسی هم‌پدی منطقه شمال شرق کشور صورت گرفت

جدول ۴. ضریب تعیین (R^2) رگرسیون نمایه‌های حدی بارش ایستگاه‌های مطالعاتی در روش رگرسیون خطی

ایستگاه	نمایه	SDII	R10mm	R20mm	R95p	R99p	PRCPTOT
مشهد	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۷۶۹	۰/۱۶۹۴	۰/۰۷۵۹	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸
قوچان	۰/۰۰۹۶	۰/۰۳۵۵	۰/۰۲۲	۰/۰۳۴۹	۰/۰۳۷۲	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸
سبزوار	۰/۰۴۳۶	۰/۰۲۳۷	۰/۱۱۵۵	۰/۱۲۷۴	۰/۱۶۴	۰/۰۲	۰/۰۲
نیشابور	۰/۰۴۷۳	۰/۰۰۵۷	۰/۰۶۶۹	۰/۰۳۹۹	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴
بجنورد	۰/۱۰۹۳	۰/۰۳۸	۰/۰۶۹۳	۰/۰۴۱۴	۰/۰۹۰۳	۰/۱۰۲۱	۰/۱۰۲۱
گنبد کاووس	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۸۳	۰/۰۱۸۴	۰/۰۰۸۷	۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱

جدول ۵. مقادیر آماره (P-value) همبستگی نمایه‌های حدی بارش با زمان در ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	نمایه	SDII	R10mm	R20mm	R95p	R99p	PRCPTOT
مشهد	۰/۶۶	۰/۹۴۵	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷	۰/۰۷۱	۰/۲۴	۰/۲۰۴
قوچان	۰/۶۸۱	۰/۴۲۶	۰/۵۳۳	۰/۵۳۳	۰/۴۳۰	۰/۴۱۵	۰/۶۹۳
سبزوار	۰/۳۷۷	۰/۵۱۷	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۲۲	۰/۰۷۶	۰/۵۵۲
نیشابور	۰/۳۵۷	۰/۷۵۲	۰/۲۷۱	۰/۲۷۱	۰/۳۹۸	۰/۶۳۳	۰/۹۳۶
بجنورد	۰/۱۵۵	۰/۴۱۰	۰/۲۶۲	۰/۲۶۲	۰/۳۸۹	۰/۱۹۸	۰/۱۷۰
گنبد کاووس	۰/۹۷۹	۰/۷۰۲	۰/۵۶۹	۰/۵۶۹	۰/۶۹۶	۰/۶۹۱	۰/۸۹

کمتر از سطح معنی داری ۵ درصد یعنی عدد ۰/۰۵ نیستند پس در واقع هیچگونه همبستگی بین نمایه‌ها و متغیر زمان مشاهده نشد.

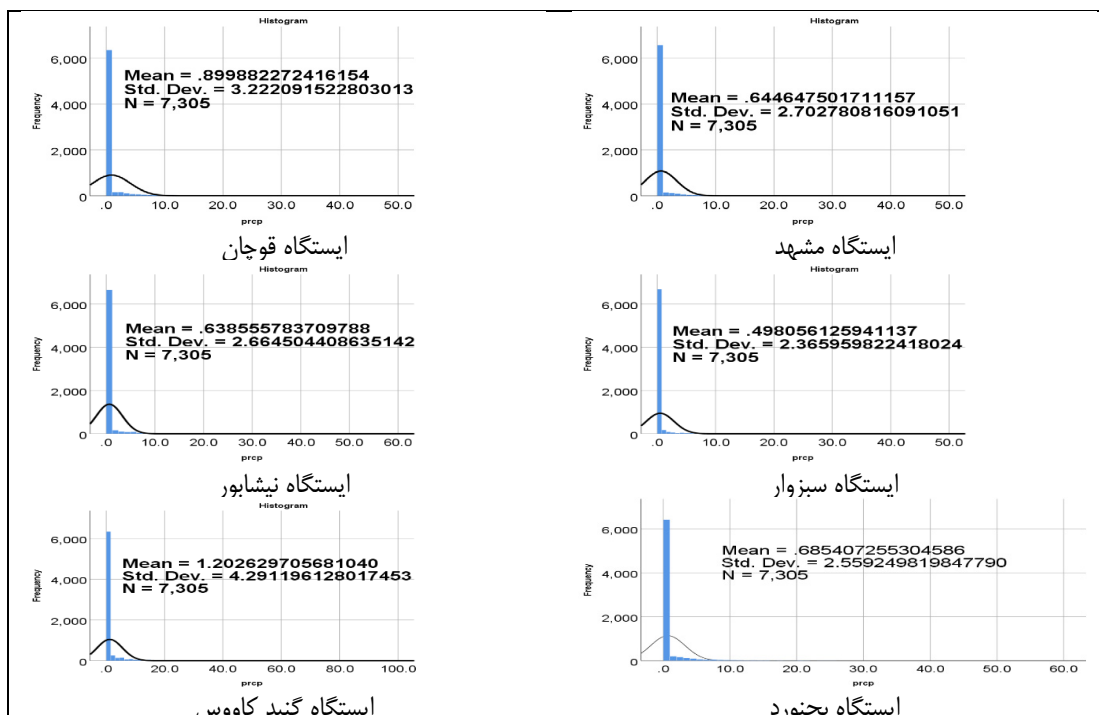
در مرحله بعد به منظور بررسی آمار توصیفی به مطالعه سری زمانی بسامد وقوع هریک از نمایه‌ها پرداخته شد که نتایج آن در شکل‌های ۲ تا ۷ و جداول ۶ تا ۹ نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۲ تا ۷ بیشترین انحراف معیار برای تمامی نمایه‌های حدی مربوط به ایستگاه گنبد کاووس می‌باشد که نشان دهنده احتمال بیشتر وقوع بارش‌های نامتعارف در این ایستگاه می‌باشد. در رابطه با روزهای با بارش سنگین، ایستگاه قوچان با مجموع ۲۲۴ روز همراه با بارش سنگین پس از ایستگاه گنبد کاووس بیشترین تعداد را دارا می‌باشد و ایستگاه سبزوار با ۱۱۶ روز دارای کمترین تعداد روزهای همراه با بارش سنگین می‌باشد. خلاصه آمار فراوانی وقوع این نمایه بر حسب ماه و فصل در جدول ۹ آمده است.

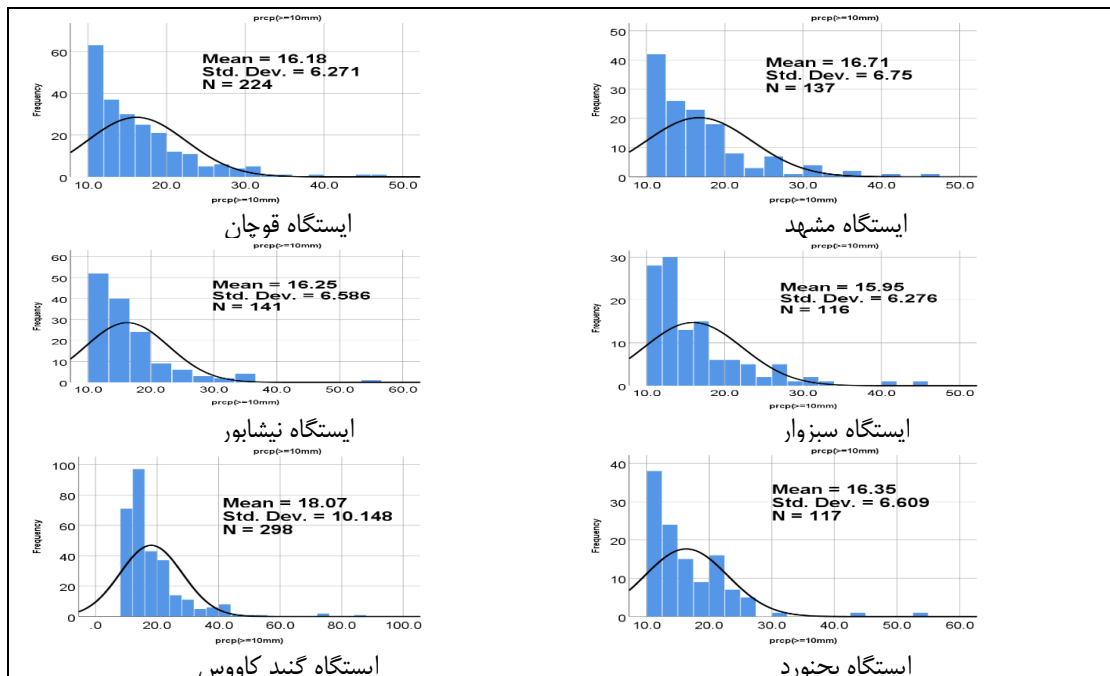
فراوانی وقوع نمایه‌های بارش سنگین و خیلی سنگین و

با بارش بسیار سنگین ایستگاه قوچان با مجموع ۴۸ روز همراه با بارش بسیار سنگین پس از ایستگاه گنبد کاووس بیشترین تعداد را دارا می‌باشد و ایستگاه سبزوار با ۲۴ روز دارای کمترین تعداد روزهای همراه با بارش بسیار سنگین می‌باشد. خلاصه آمار فراوانی وقوع این نمایه بر حسب ماه و فصل در جدول ۸ آمده است. در رابطه با روزهای با بارش سنگین ایستگاه بجنورد با ۱۲ روز خیل تر پس از ایستگاه گنبد کاووس بیشترین تعداد را دارا می‌باشد و ایستگاه سبزوار با ۲۵ روز دارای کمترین تعداد روزهای خیلی تر می‌باشد. خلاصه آمار فراوانی وقوع این نمایه بر حسب ماه و فصل در جدول ۸ آمده است. در رابطه با روزهای فوق العاده تر ایستگاه بجنورد با مجموع ۱۲ روز خیل تر پس از ایستگاه گنبد کاووس بیشترین تعداد را دارا می‌باشد و ایستگاه سبزوار و نیشابور با ۶ روز دارای کمترین تعداد روزهای فوق العاده تر می‌باشد. خلاصه آمار فراوانی وقوع این نمایه بر حسب ماه و فصل در جدول ۹ آمده است.

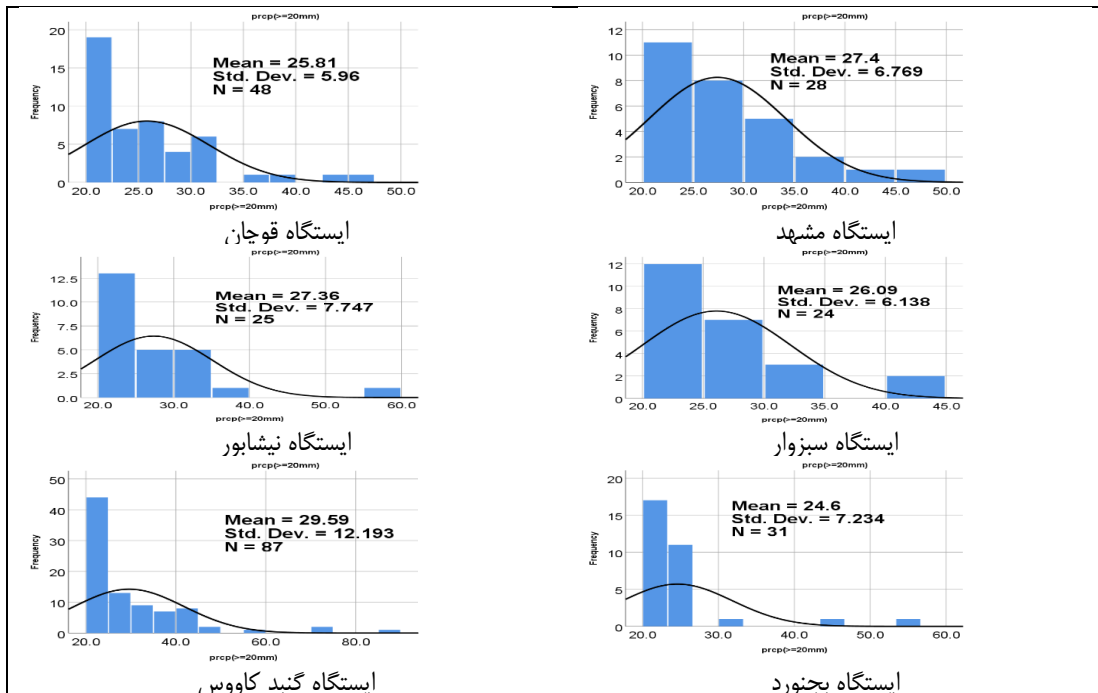
فراوانی وقوع نمایه‌های بارش سنگین و خیلی سنگین و



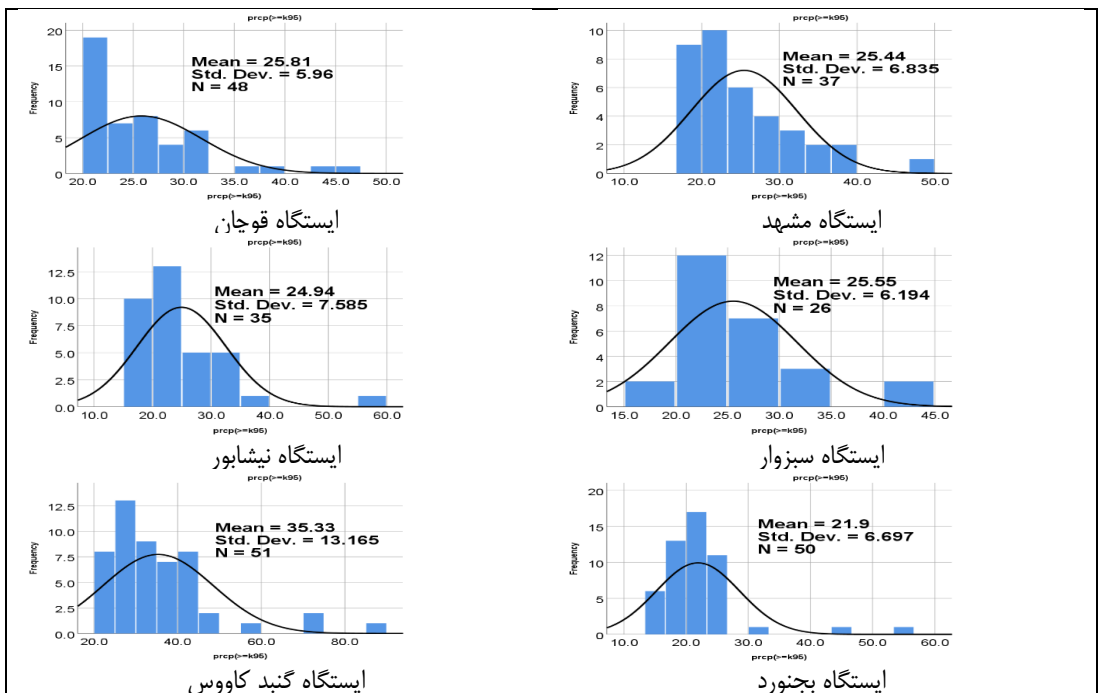
شکل ۲. بسامد جمع سالانه بارش در طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب



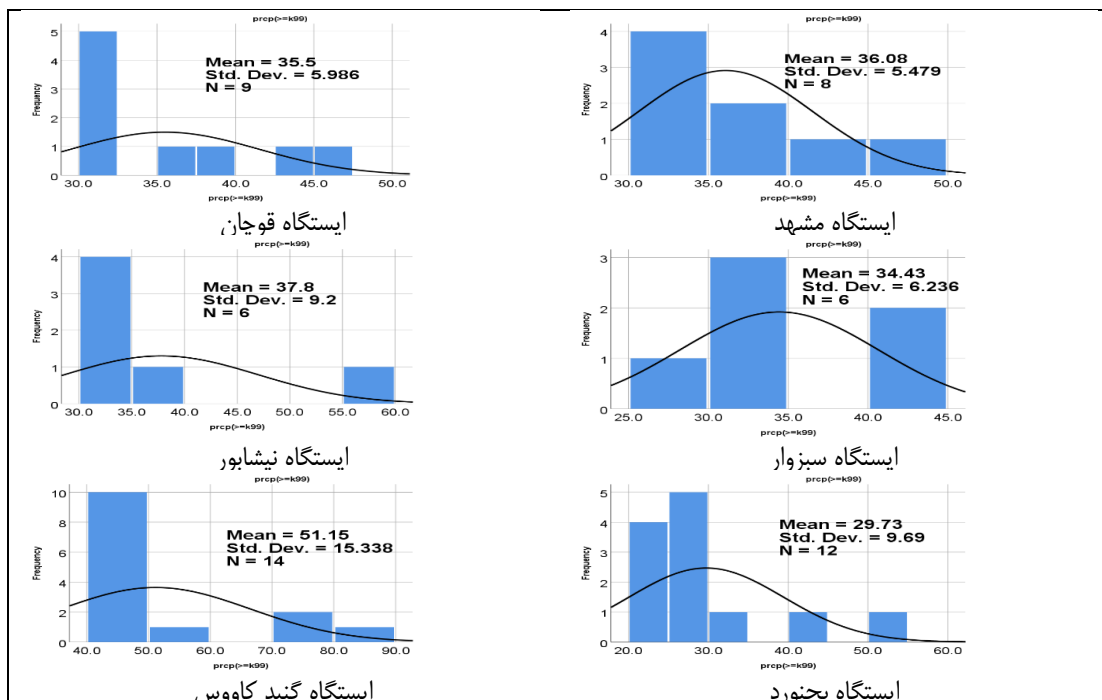
شکل ۳. بسامد روزهای بارش سنگین (R10mm) در طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب



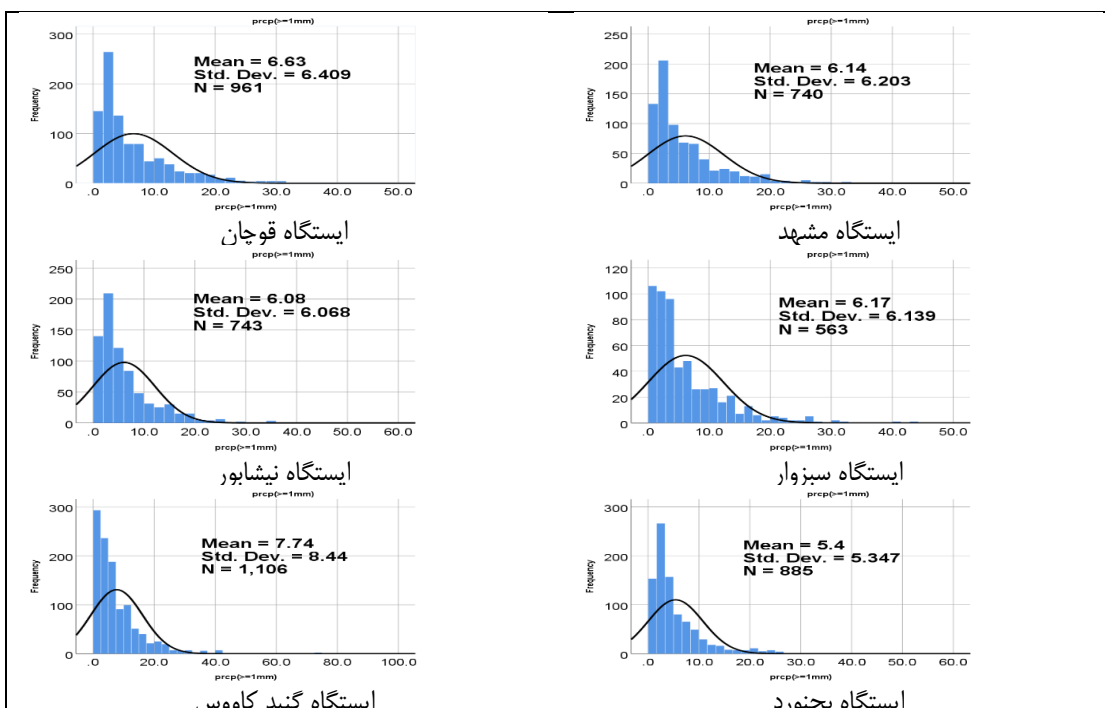
شکل ۴. بسامد روزهای بارش خیلی سنگین (R20mm) در طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب



شکل ۵. بسامد روزهای خیلی تر (R95p) در طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب



شکل ۶. بسامد روزهای فوق العاده تر (R99p) در طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب



شکل ۷. بسامد جمع سالانه بارش روزهای تر (PRCPTOT) در طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب

جدول ۶. فراوانی وقوع نمایه حدی بارش سنگین (R10mm) در ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری

ایستگاه	ماه/فصل												تعداد کل				
	زانیویه	فوریه	مارس	زمستان	آوریل	می	ژوئن	بهار	جولای	آگوست	سپتامبر	تابستان		اکتبر	نوامبر	دسامبر	پاییز
مشهد	۱۵	۱۵	۴۰	۷۰	۲۱	۱۷	۱	۳۹	۱	۰	۱	۲	۶	۹	۱۱	۲۶	۱۳۷
سبزوار	۱۸	۱۷	۲۶	۶۱	۲۱	۸	۲	۳۱	۰	۰	۱	۱	۴	۱۰	۹	۲۳	۱۱۶
قوچان	۱۶	۲۶	۵۲	۹۴	۴۶	۲۶	۷	۷۹	۲	۱	۱	۴	۷	۲۳	۱۷	۴۷	۲۲۴
نیشابور	۱۵	۲۲	۳۴	۷۱	۲۵	۱۳	۱	۳۹	۲	۰	۰	۲	۳	۱۴	۱۲	۲۹	۱۴۱
بجنورد	۵	۱۰	۶	۲۱	۵	۳	۲	۱۰	۶	۱۸	۱۹	۴۳	۲۲	۱۶	۵	۴۳	۱۱۷
گنبد کاووس	۳۹	۴۶	۳۶	۱۲۱	۳۴	۹	۵	۴۸	۱۲	۱۳	۹	۳۴	۲۸	۳۵	۳۲	۹۵	۲۹۸
مجموع	۱۰۸	۱۳۶	۱۹۴	۴۲۸	۱۵۲	۷۶	۱۸	۲۴۶	۲۳	۳۲	۳۱	۸۶	۷۰	۱۰۷	۸۶	۲۶۲	۱۰۳۳
درصد فراوانی نسبت به کل	۱۰/۵	۱۳/۲	۱۸/۸	۴۲/۴	۱۴/۷	۷/۴	۱/۷	۲۳/۸	۲/۲	۳/۱	۳/۰	۸/۳	۶/۸	۱۰/۴	۸/۳	۲۵/۵	۱۰۰/۰

جدول ۷. فراوانی وقوع نمایه حدی بارش خیلی سنگین (R20mm) در ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری

ایستگاه	ماه/فصل												تعداد کل				
	زانیویه	فوریه	مارس	زمستان	آوریل	می	ژوئن	بهار	جولای	آگوست	سپتامبر	تابستان		اکتبر	نوامبر	دسامبر	پاییز
مشهد	۰	۳	۱۰	۱۳	۶	۳	۰	۹	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۶	۲۸
سبزوار	۰	۵	۷	۱۲	۶	۲	۰	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۴	۲۴
قوچان	۰	۴	۹	۱۳	۱۲	۷	۲	۲۱	۰	۱	۰	۱	۳	۷	۳	۱۳	۴۸
نیشابور	۱	۵	۸	۱۴	۶	۲	۰	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۳	۲۵
بجنورد	۱	۲	۰	۳	۳	۲	۱	۶	۲	۱	۴	۷	۹	۶	۰	۱۵	۳۱
گنبد کاووس	۸	۱۵	۱۳	۳۶	۱۱	۳	۳	۱۷	۶	۵	۱	۱۲	۹	۶	۷	۲۲	۸۷
مجموع	۱۰	۳۴	۴۷	۹۱	۴۴	۱۹	۶	۶۹	۸	۷	۵	۲۰	۲۲	۲۵	۱۶	۶۳	۲۴۳
درصد فراوانی نسبت به کل	۴/۱	۱۴/۰	۱۹/۳	۳۷/۴	۱۸/۱	۷/۸	۲/۵	۲۸/۴	۳/۳	۲/۹	۲/۱	۸/۲	۹/۱	۱۰/۳	۶/۶	۲۵/۹	۱۰۰/۰

جدول ۸. فراوانی وقوع نمایه حدی روزهای خیلی تر (R95p) در ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری

ایستگاه	ماه/فصل												تعداد کل				
	زانیویه	فوریه	مارس	زمستان	آوریل	می	ژوئن	بهار	جولای	آگوست	سپتامبر	تابستان		اکتبر	نوامبر	دسامبر	پاییز
مشهد	۰	۳	۱۵	۱۸	۱۰	۳	۰	۱۳	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۶	۳۷
سبزوار	۰	۵	۸	۱۳	۶	۲	۱	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۴	۲۶
قوچان	۰	۴	۹	۱۳	۱۲	۷	۲	۲۱	۰	۱	۰	۱	۳	۷	۳	۱۳	۴۸
نیشابور	۲	۶	۱۲	۲۰	۷	۲	۰	۹	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۶	۳۵
بجنورد	۲	۳	۱	۶	۳	۳	۱	۷	۲	۶	۷	۱۵	۱۱	۱۰	۱	۲۲	۵۰
گنبد کاووس	۶	۹	۸	۲۳	۵	۲	۳	۱۰	۳	۳	۱	۷	۵	۴	۲	۱۱	۵۱
مجموع	۱۰	۳۰	۵۳	۹۳	۴۳	۱۹	۷	۶۹	۵	۱۰	۸	۲۳	۲۱	۲۷	۱۴	۶۲	۲۴۷
درصد فراوانی نسبت به کل	۴/۰	۱۲/۱	۲۱/۵	۳۷/۷	۱۷/۴	۷/۷	۲/۸	۲۷/۹	۲/۰	۴/۰	۳/۲	۹/۳	۸/۵	۱۰/۹	۵/۷	۲۵/۱	۱۰۰/۰

جدول ۹. فراوانی وقوع نمایه حدی روزهای خیلی تر (R99p) در ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری

ایستگاه	ماه/فصل												تعداد کل				
	زانیویه	فوریه	مارس	زمستان	آوریل	می	ژوئن	بهار	جولای	آگوست	سپتامبر	تابستان		اکتبر	نوامبر	دسامبر	پاییز
مشهد	۰	۱	۳	۴	۲	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۲	۸
سبزوار	۰	۱	۲	۳	۳	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶
قوچان	۰	۲	۲	۴	۰	۳	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۲	۹
نیشابور	۰	۱	۲	۳	۱	۱	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۶
بجنورد	۰	۲	۰	۲	۳	۰	۱	۴	۰	۰	۱	۱	۴	۱	۰	۵	۱۲
گنبد کاووس	۲	۲	۳	۷	۰	۰	۱	۱	۰	۲	۰	۲	۱	۳	۰	۴	۱۴
مجموع	۲	۹	۱۲	۲۳	۹	۴	۲	۱۵	۰	۲	۱	۳	۵	۸	۱	۱۴	۵۵
درصد فراوانی نسبت به کل	۳/۶	۱۶/۴	۲۱/۸	۴۱/۸	۱۶/۴	۷/۳	۳/۶	۲۷/۳	۰/۰	۳/۶	۱/۸	۵/۵	۹/۱	۱۴/۵	۱/۸	۲۵/۵	۱۰۰/۰

همچنین روزهای خیلی تر و فوق العاده تر بر حسب ماه و فصل محاسبه شد. با توجه به جدول ۶ بیشترین فراوانی وقوع ماهانه بارش سنگین در طول دوره آماری مربوط به ماه مارس با مقدار ۱۹۴ روز و بیشترین فراوانی وقوع فصلی بارش سنگین در طول دوره آماری مربوط به فصل زمستان با مقدار ۴۳۸ روز می‌باشد که نشان دهنده عبور سیستم‌های بارش سنگین در فصل زمستان از منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

با توجه به جدول ۷ بیشترین فراوانی وقوع ماهانه بارش خیلی سنگین در طول دوره آماری مربوط به ماه مارس با مقدار ۴۷ روز و بیشترین فراوانی وقوع فصلی بارش خیلی سنگین در طول دوره آماری مربوط به فصل زمستان با مقدار ۹۱ روز می‌باشد که نشان دهنده عبور سیستم‌های بارش خیلی سنگین در فصل زمستان از منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۸ نشان دهنده فراوانی وقوع روزهای خیلی تر در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. فراوانی بیشتر وقوع این نمایه نشان دهنده تعداد بیشتر روزهایی با بارش بیش از ۹۵ درصد از روزهای همراه با بارش ایستگاه مورد نظر می‌باشد که در واقع به نوعی نشان دهنده بارش‌های نامتعارف برای ایستگاه مورد نظر می‌باشد. در نتیجه تعداد بیشتر روزهای خیلی تر می‌تواند نشان دهنده روزهای بیشتری با احتمال وقوع سیل یا پیامدهای حاصل از بارش نامتعارف باشد. با توجه به این جدول بیشترین فراوانی وقوع ماهانه روزهای خیلی تر در طول دوره آماری مربوط به ماه مارس با مقدار ۵۳ روز و بیشترین فراوانی وقوع فصلی روزهای خیلی تر در طول دوره آماری مربوط به فصل زمستان با مقدار ۹۳ روز می‌باشد که نشان دهنده روزهای خیلی تر بیشتر در فصل زمستان در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۹ نشان دهنده فراوانی وقوع روزهای فوق العاده تر در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. فراوانی بیشتر وقوع این نمایه نشان دهنده تعداد بیشتر روزهایی با بارش بیش از ۹۹ درصد از روزهای همراه با بارش ایستگاه مورد نظر می‌باشد که مانند نمایه روزهای خیلی تر نشان دهنده بارش‌های بسیار نامتعارف برای ایستگاه مورد نظر می‌باشد. با توجه به این جدول بیشترین فراوانی وقوع ماهانه روزهای خیلی تر در طول دوره آماری مربوط به ماه مارس با

مقدار ۱۲ روز و بیشترین فراوانی وقوع فصلی روزهای خیلی تر در طول دوره آماری مربوط به فصل زمستان با مقدار ۲۳ روز می‌باشد که نشان دهنده روزهای فوق العاده تر بیشتر در فصل زمستان در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

پس از بررسی فراوانی وقوع بارش‌ها و با توجه به روند تغییرات نمایه‌های حدی، تاریخی که در آنها اکثر ایستگاه‌ها بارش‌های سنگین و خیلی سنگین را تجربه کرده بودند برای تحلیل همیدی نقشه‌های توزیع فشار سطح زمین (MSL)، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (gph)، میدان باد (W) و سرعت قائم (W) انتخاب شدند.

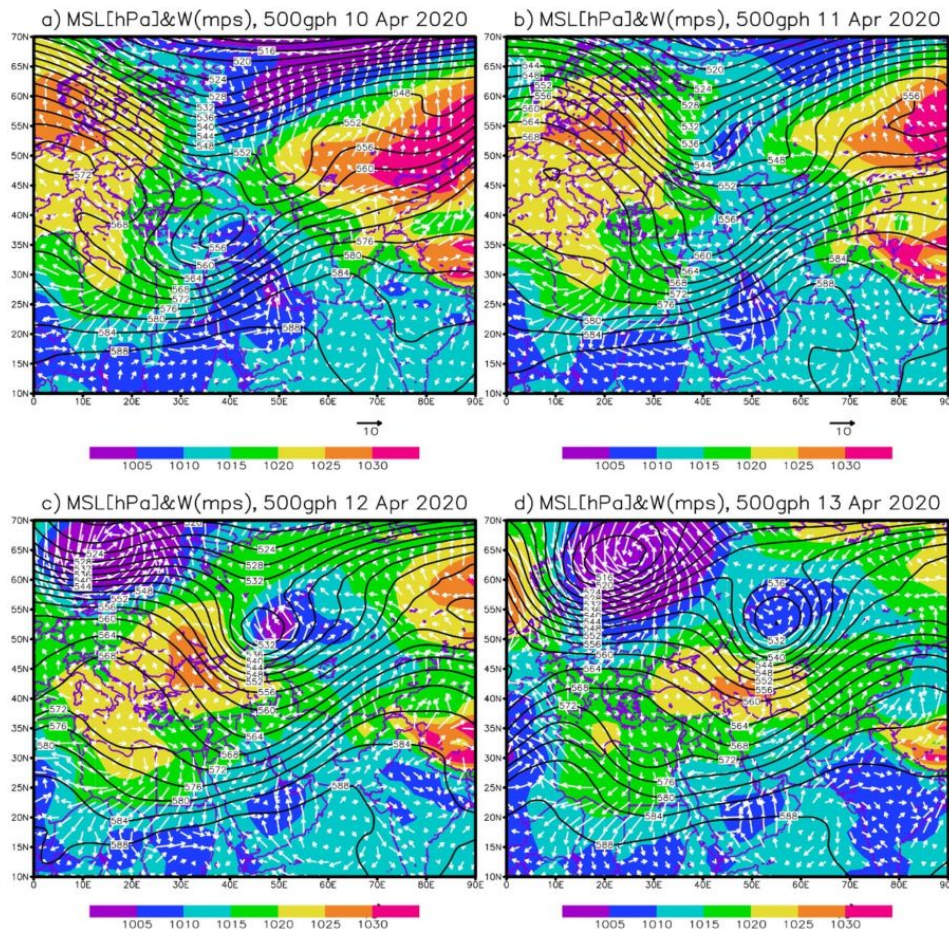
بررسی همیدی رخداد‌های فرین بارش

برای مطالعه عوامل همیدی تاثیرگذار بر بارش‌های فرین در منطقه شمال شرق کشور، سه مورد از رخداد‌های فرین در فصول پاییز، زمستان و بهار (به ترتیب ۸ تا ۹ نوامبر ۲۰۰۵، ۱۶ تا ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ و ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰) انتخاب شد سپس الگوهای میانگین فشار تراز سطح دریا، الگوهای ارتفاعی سطوح ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، الگوی میدان باد و نم ویژه و همچنین بی‌هنجاری‌های میدان فشار سطح دریا نسبت به مقدار میانگین بلند مدت (میانگین ۱۹۹۱-۲۰۲۰)، بررسی شده است. در این راستا همپوشانی الگوها مورد توجه قرار گرفته و تحلیل نقشه‌ها در مقیاس‌های روزانه و میانگین چند روزه برای دوره زمانی رخداد بارش و روزهای قبل و بعد از آن بررسی شد.

تحلیل همیدی بارش‌های شدید:

الف- مطالعه موردی الگوهای بهاره ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰

به منظور بررسی بارش‌های شدید بهاری، رخداد‌های بارش در دوره آماری ایستگاه‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. در فاصله زمانی ۱۱ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰ بارش‌های شدیدی در منطقه شمال شرق ایران به ثبت رسید. در این بازه زمانی، میزان بارش تجمعی روزانه در تاریخ ۱۱ آوریل در ایستگاه سبزوآر معادل ۴۴ میلیمتر و در روز ۱۲ آوریل در این ایستگاه معادل ۳۲ میلیمتر به ثبت رسید. همچنین بارش تجمعی روزانه در تاریخ ۱۳ آوریل در ایستگاه بجنورد ۴۴٫۹ میلیمتر به ثبت رسید.



شکل ۸. نقشه الگوی توزیع فشار سطح دریا (بصورت رنگی شده و بر حسب هکتوپاسکال)، میدان باد ۱۰ متری از سطح زمین (بر حسب متر بر ثانیه) و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (بر حسب دکامتر) برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰

۱۰۰۰ تا ۱۰۰۵ هکتوپاسکال با گسترش به عرض‌های شمالی بخش‌هایی از غرب و جنوب ایران را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۸-ا). در نقشه روز ۱۰ آوریل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، مرکز کم ارتفاع بسته‌ای بر روی بخش شرقی مدیترانه و غرب آسیا (۴۰ درجه شرقی و ۳۵ درجه شمالی) با ناوهای عمیق نواحی غربی ایران را تحت تاثیر قرار داده و در مناطق شرقی کشور پشته (فراز موج) غالب شده است (شکل ۸-ب). بررسی میدان باد ۱۰ متری سطح زمین در این روز نشان‌دهنده استقرار الگوی واچرخندی بر روی دریای عرب و در نتیجه همگرایی جریان‌ها بر روی خلیج فارس و نفوذ جریان هوای مرطوب از عرض‌های پایین تر به نیمه جنوبی و نواحی غربی کشور می‌باشد.

به منظور بررسی عوامل موثر در وقوع ناپایداری شدید الگوی میانگین فشار سطح دریا، باد ارتفاع ۱۰ متری و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰ در شکل ۸ نشان داده شده است. بررسی الگوی میانگین فشار سطح دریا در روز ۱۰ آوریل (بصورت رنگی شده در نقشه a شکل ۸) نشان‌دهنده استقرار دو سامانه پرفشار یکی بر روی مناطقی از روسیه (۸۰ درجه شرقی و ۵۰ درجه شمالی) با فشار ۱۰۳۰ تا ۵۱۰۳ هکتوپاسکال و دیگری بر روی اروپای غربی (۵ درجه شرقی و ۵۵ درجه شمالی) با فشار ۱۰۲۵ تا ۱۰۳۰ هکتوپاسکال مشاهده شد. سامانه کم فشاری نیز بر روی خلیج فارس و بخش شرقی دریای مدیترانه (۵۰ درجه شرقی و ۲۵ درجه شمالی) با فشار

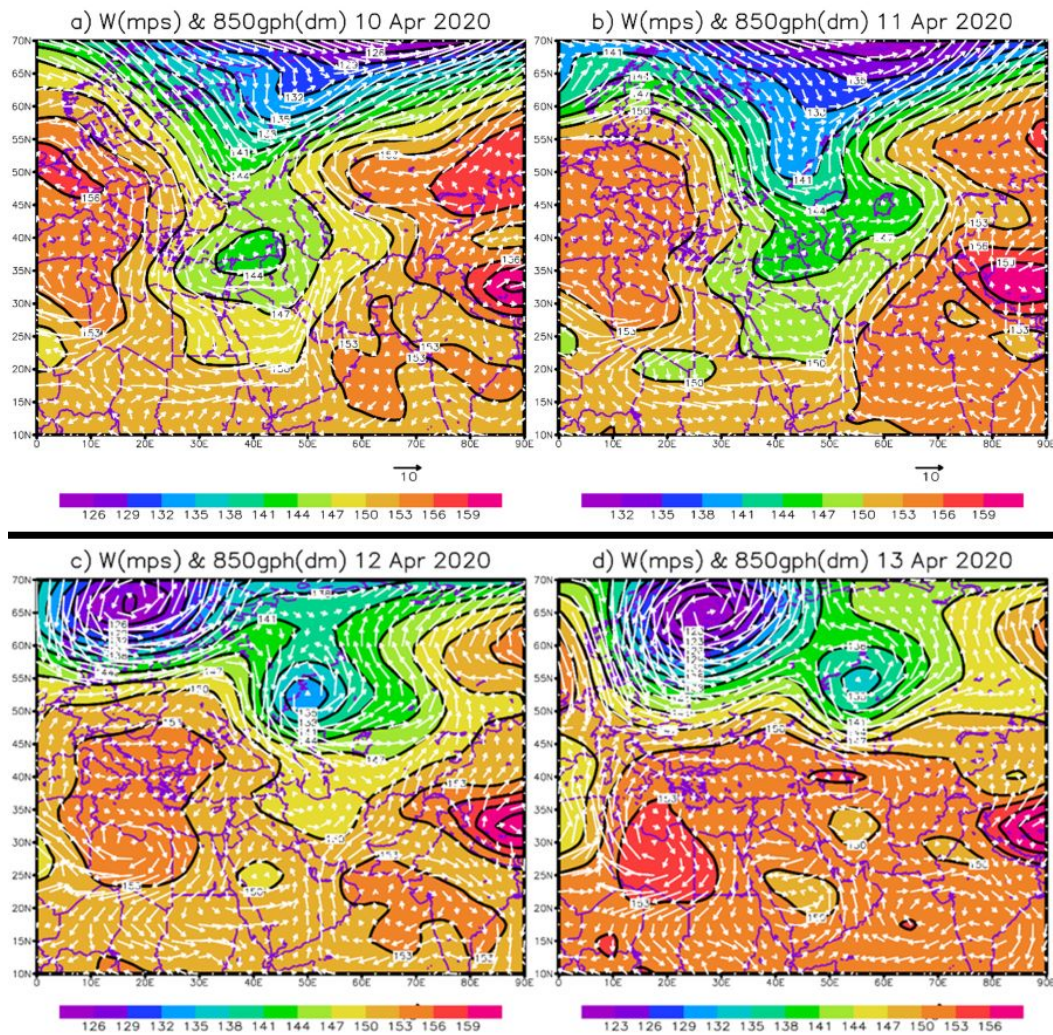
در نقشه روز ۱۱ آوریل با تقویت و حرکت شرق سو سامانه کم فشار دینامیکی، سراسر ایران تحت تاثیر گستره این سامانه قرار گرفته است. تضعیف سامانه پرفشار سیبری به مقدار ۵ هکتوپاسکال و حرکت شرق سوی مرکز پرفشار اروپایی در این روز نسبت به روز قبل مشاهده می‌شود (بصورت رنگی شده در نقشه b شکل ۸). در این روز، الگوی ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در نیمه جنوبی دریای خزر شبیه روز قبل بوده و همچنان پشته ضعیفی در جنوب شرق دریای خزر حاکم است اما نواحی جنوب‌تر آن (شمال شرق ایران) تحت تاثیر جریان‌های جنوب غربی ناوه عمیق همراه با گرادیان شدید پربندی قرار گرفته است. بنابراین با حرکت شرق سوی ناوه، بجز منطقه کوچکی در جنوب شرق دریای خزر، سایر مناطق ایران تحت پوشش این سامانه قرار گرفته است (شکل ۸-b). در نقشه روز ۱۲ آوریل با تداوم حرکت شرق سوی مرکز پر فشار اروپایی و استقرار آن بر روی دریای سیاه (۳۰ درجه شرقی و ۴۵ درجه شمالی) از همجواری زبانه‌های آن با زبانه‌های سامانه کم فشار گرادیان فشاری در شمال شرق ایران مشاهده می‌شود (شکل ۸-c). در روز ۱۲ آوریل با عمیق تر شدن ناوه در شمال شرق کشور شرایط ناپایداری شدید در مناطق یاد شده حاکم شده است. ضمن اینکه مرکز کم ارتفاعی با مرکز ۵۳۲ ژئوپتانسیل دکامتر در شمال دریای سیاه مستقر شده است (شکل ۸-c). در نقشه روز ۱۳ آوریل سامانه کم فشار ضعیف شده و مرکز پرفشار ضمن تقویت بر روی دریای خزر و بخش‌های وسیعی گسترده شده است. (شکل ۸-d). نقشه روز ۱۳ آوریل نیز کماکان گستره ناوه در مناطق شرقی و شمال شرق ایران را نشان داد. ضمن اینکه با تقویت مرکز پر فشار شمال خزر و حرکت شرق سوی آن گرادیان ارتفاعی در شمال شرق ایران مشهود بوده است (شکل ۸-d).

الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی و میدان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ در ۱۰ آوریل ۲۰۲۰ در شکل ۹ نشان داده شده است. در نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۰ آوریل مرکز کم ارتفاع بر روی مدیترانه شرقی قرار گرفته که مناطقی از غرب و مرکز ایران را نیز تحت تاثیر قرار داده است (۴۰ درجه شرقی و ۳۵ درجه شمالی). ضمن اینکه مرکز کم ارتفاعی نیز در شمال روسیه (۵۰ درجه شرقی

و ۶۵ درجه شمالی) مشاهده می‌شود. میدان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۰ آوریل فعالیت میدان باد نسبتاً شدید (۱۰ تا ۱۵ متر برثانیه) بر روی خلیج فارس و جریانات عرض‌های پایین تر به سمت مناطق شمال و شمال شرق کشور را نشان می‌دهد (شکل ۸-a). در نقشه ۱۱ آوریل، گسترش جنوب سوی زبانه‌های کم ارتفاع عرض‌های شمالی و گسترش شمال سوی مرکز کم ارتفاع مدیترانه‌ای باعث پیوستن این زبانه و مرکز کم ارتفاع بر روی شمال ایران و تضعیف سامانه شد.

چرخش و همگرایی بادهای شرقی که از روی دریای عمان بسمت دریای سرخ حرکت می‌کنند با جریانات غربی که در جنوب دریای مدیترانه در حال حرکت بوده، سبب شده تا میدان باد خلیج فارس تقویت شده (شکل ۹-b) و بادهای جنوبی مرطوب از روی خلیج فارس بسمت مرکز ایران بصورت یک کانال رطوبتی حرکت کرده و در شمال شرق ایران به علت کاهش سرعت این بادهای همگرایی ایجاد شده و تغذیه رطوبتی بسیار مناسبی برای رخداد بارش فرین در این منطقه فراهم آورد. در نقشه ۱۲ آوریل تقویت سامانه کم ارتفاع شمالی و شکل گیری مرکز کم ارتفاع در شمال دریای خزر با هسته ۱۳۵ ژئوپتانسیل دکامتر مشاهده گردید (۵۰ درجه شرقی و ۵۰ درجه شمالی) و از شدت میدان باد در شمال شرق کشور کاسته شده و بخشی از جنوب کشور همچنان تحت تاثیر میدان باد بوده است (شکل ۹-c) و در روز ۱۳ آوریل سامانه فعال از روی کشور خارج شده و گرادیان پربندی ضعیف همراه با جریانات شمال شرقی بر روی منطقه مورد مطالعه غالب شده است (شکل ۹-d). طی این دوره، همگرایی بادهای شرقی با جریانات غربی بر روی خلیج فارس و حرکت شمال سو و به تبع آن کاهش سرعت باد در منطقه مورد مطالعه، موجب تغذیه رطوبت قابل ملاحظه به منطقه شمال شرق ایران گردید.

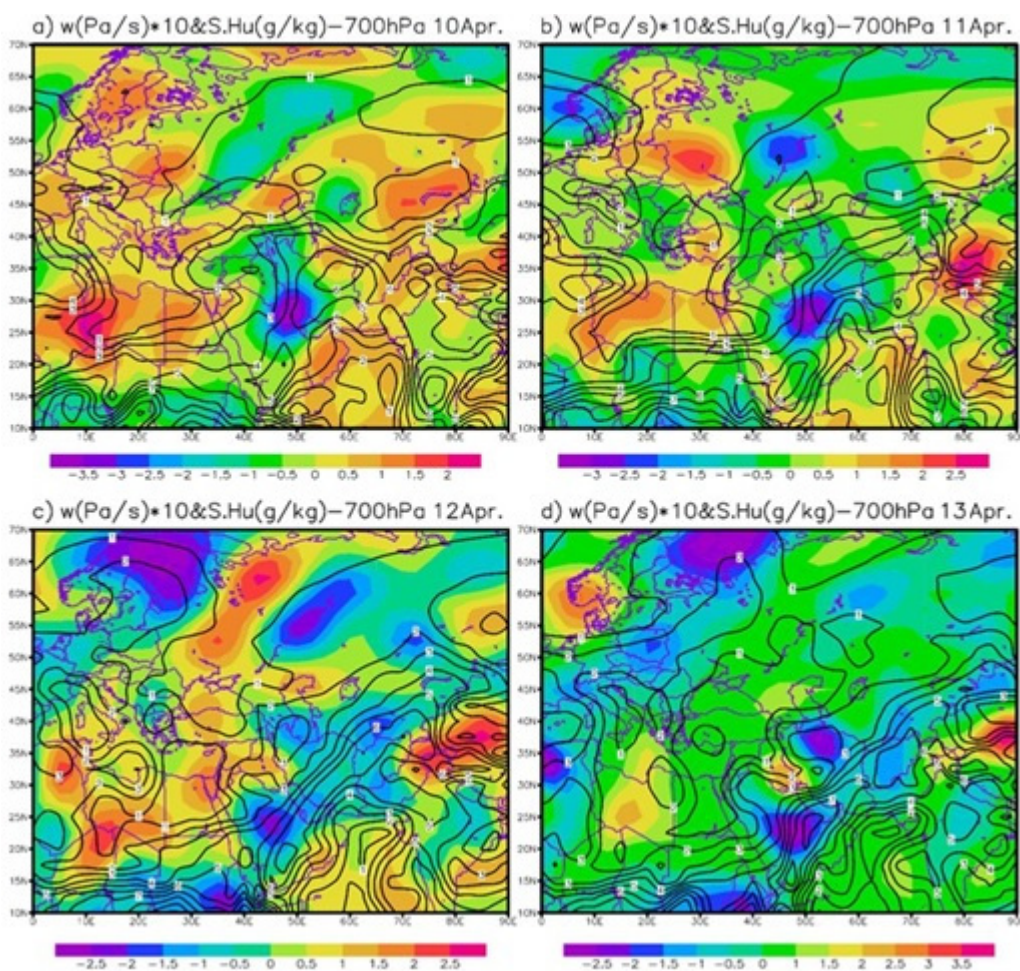
الگوی توزیع رطوبت ویژه و سرعت قائم تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰ در شکل ۱۰ نشان داده است. در روز ۱۰ آوریل سرعت‌های قائم شدیدی (۳،۵- تا ۴- پاسکال بر ثانیه) بر روی خلیج فارس (۵۰ درجه شرقی و ۳۰ درجه شمالی) قرار گرفته که این حرکت‌های صعودی با شدت کمتر روی زاگرس تا شمال غرب ایران مشاهده می‌شود اما بر روی منطقه مورد مطالعه حرکات نزولی



شکل ۹. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (بصورت رنگی شده و بر حسب دکامتر) و میدان باد (متر بر ثانیه) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ در ۱۰ آوریل ۲۰۲۰.

هکتوپاسکال مربوط به ۱۲ آوریل مقادیر قابل توجه رطوبت ویژه را در شرق و شمال شرق کشور همراه با گسترش حرکات صعودی بر روی ایران نشان می دهد بطوریکه گسترش و تقویت بیشتر سرعت قائم منفی (حرکات صعودی) در سطح کشور قابل توجه است (شکل ۱۰c).
نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ آوریل بیانگر مقدار قابل توجه رطوبت ویژه در شمال و شمال شرق کشور همراه با شکل گیری مقادیر مثبت سرعت قائم (حرکت های نزولی) در شمال غرب خلیج فارس (۴۵ درجه شرقی و ۳۰ درجه شمالی) و تضعیف مقادیر سرعت قائم منفی (حرکت های صعودی) در سطح کشور است گرچه مناطق شمال شرقی ایران همچنان

غالب است و بیشترین رطوبت ویژه روی نواحی شرق تا شمال شرق کشور مشاهده می شود (شکل ۱۰a).
روز ۱۱ آوریل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مقادیر قابل توجهی از رطوبت ویژه (۴ تا ۵ گرم بر کیلوگرم) را در شرق و شمال شرق کشور نشان داده است. به طوری که در نوار شرقی کشور هسته ای از رطوبت ویژه شکل گرفته است و نقشه سرعت قائم تراز ۷۰۰ هکتو پاسکال در این روز، نشان دهنده تغییر الگوی میدان سرعت قائم از حرکات نزولی به صعودی در شمال شرق کشور و گسترش و تقویت مرکز سرعت قائم منفی (حرکات صعودی) بر روی خلیج فارس و امتداد زبانه های آن تا شمال شرق کشور بوده است (شکل ۱۰b). نقشه تراز ۷۰۰



شکل ۱۰. نقشه توزیع رطوبت ویژه (حسب گرم بر کیلوگرم) و سرعت قائم (بصورت رنگی شده و حسب پاسکال بر ثانیه که در ۱۰ ضرب شده) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰

۲۰۲۰ نشان داده شده است. نقشه بی‌هنجاری فشار تراز دریا نشان دهنده کاهش فشار نسبت به میانگین بلند مدت (۱۹۹۱-۲۰۲۰) همراه با بی‌هنجاری منفی ارتفاع در شرق مدیترانه و نیمه غرب ایران برای روز ۱۰ آوریل (شکل ۱۱a) و تقویت شدید این بی‌هنجاری‌ها بر روی کشور در روز ۱۱ آوریل می‌باشد (شکل ۱۱b). این روند تغییرات منفی فشار برای روزهای ۱۲ و ۱۳ آوریل بتدریج معکوس شده و در روز ۱۳ آوریل بی‌هنجاری مثبت فشاری بیش از ۶ میلی‌بار بر روی بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این در حالی است بی‌هنجاری منفی ارتفاعی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همچنان بر روی ایران غالب است اما هسته این بی‌هنجاری‌های منفی در نواحی شمال و شمال شرق دریای خزر واقع شده است (شکل ۱۱d و c).

تحت پوشش میدان سرعت قائم منفی بوده که هسته آن در جنوب دریای خزر واقع شده است (شکل ۱۰d). بر اساس جدول شماره ۱۰ مقادیر فشار در کلیه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه از روز ۱۰ آوریل روند کاهش را آغاز کرده و به ویژه در بعد از ظهر آن روز تا بعد از ظهر روز بعد این کاهش فشار محسوس تر بوده است. نتیجه این روند کاهش فشار و افزایش شدید بارش‌های به ثبت رسیده در نخستین ساعات روز ۱۱ آوریل بر اساس جدول شماره ۱۱ بوده است. همچنین کاهش تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ آوریل به تقویت بارش‌های این روز انجامیده است. در شکل (۱۱) نقشه‌های بی‌هنجاری فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل

جدول ۱۰. مقادیر فشار (هکتوپاسکال) ساعات همدیدی اصلی در ایستگاه‌های منتخب برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰

ایستگاه	تاریخ و ساعت															
	۲۰۲۰/۴/۱۰				۲۰۲۰/۴/۱۱				۲۰۲۰/۴/۱۲				۲۰۲۰/۴/۱۳			
	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸
مشهد	۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۱۴	۱۰۱۵	۱۰۱۳	۱۰۱۳	۱۰۱۲	۱۰۱۹	۱۰۲۲	۱۰۲۵	۱۰۲۳	۱۰۲۵	۱۰۲۲	۱۰۲۵	۱۰۲۳	۱۰۲۵
سبزوار	۱۰۲۴	۱۰۲۵	۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۱۷	۱۰۱۸	۱۰۲۱	۱۰۲۷	۱۰۳۰	۱۰۳۲	۱۰۳۰	۱۰۳۱	۱۰۳۰	۱۰۳۲	۱۰۳۰	۱۰۳۱
قوچان	۱۰۱۷	۱۰۱۷	۱۰۱۲	۱۰۱۳	۱۰۰۹	۱۰۱۰	۱۰۱۳	۱۰۱۹	۱۰۲۲	۱۰۲۴	۱۰۲۳	۱۰۲۴	۱۰۲۲	۱۰۲۴	۱۰۲۳	۱۰۲۴
نیشابور	۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۱۴	۱۰۱۵	۱۰۱۲	۱۰۱۴	۱۰۱۵	۱۰۲۰	۱۰۲۳	۱۰۲۷	۱۰۲۴	۱۰۲۶	۱۰۲۳	۱۰۲۷	۱۰۲۴	۱۰۲۶
بجنورد	۱۰۲۲	۱۰۲۱	۱۰۱۶	۱۰۱۶	۱۰۱۳	۱۰۱۵	۱۰۱۹	۱۰۲۵	۱۰۲۷	۱۰۲۸	۱۰۲۷	۱۰۲۸	۱۰۲۷	۱۰۲۸	۱۰۲۷	۱۰۲۸
گنبد کاووس	۱۰۲۰	۱۰۱۹	۱۰۱۵	۱۰۱۶	۱۰۱۶	۱۰۱۹	۱۰۲۳	۱۰۲۵	۱۰۲۶	۱۰۲۷	۱۰۲۷	۱۰۲۷	۱۰۲۶	۱۰۲۷	۱۰۲۷	۱۰۲۷

جدول ۱۱. مقادیر بارش (میلیمتر) ساعات همدیدی اصلی در ایستگاه‌های منتخب برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰

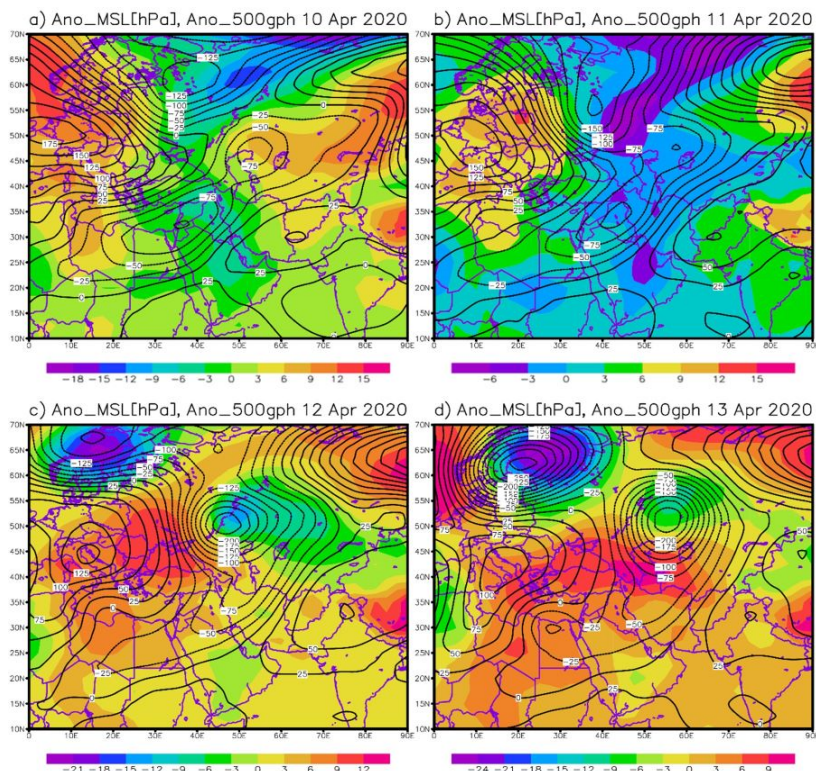
ایستگاه	تاریخ و ساعت															
	۲۰۲۰/۴/۱۰				۲۰۲۰/۴/۱۱				۲۰۲۰/۴/۱۲				۲۰۲۰/۴/۱۳			
	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸
مشهد	۰	۰.۳	۰.۴	۰	۴	۱	۰	۰.۱	۵	۸	۶	۰	۰	۰	۰.۱	۲
سبزوار	۰	۴	۰	۴	۲۹	۵	۳	۷	۱۳	۵	۰	۱۴	۰	۰	۰.۲	۲
قوچان	۰	۰	۰	۰	۲	۴	۰.۴	۱۴	۴	۴	۰.۴	۱۰	۱	۰	۰	۲۱
نیشابور	۰	۵	۳	۲	۱۰	۵	۰	۰.۱	۱۰	۷	۳	۰	۰	۰	۰	۲
بجنورد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
گنبد کاووس	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰.۷

گردید. هرچند که از نظر گرادیان فشاری در فصول مختلف متفاوت است. بیشترین گرادیان فشار برای مورد مطالعه شده در فصل زمستان رخ داده است (شکل d و c۱۲).

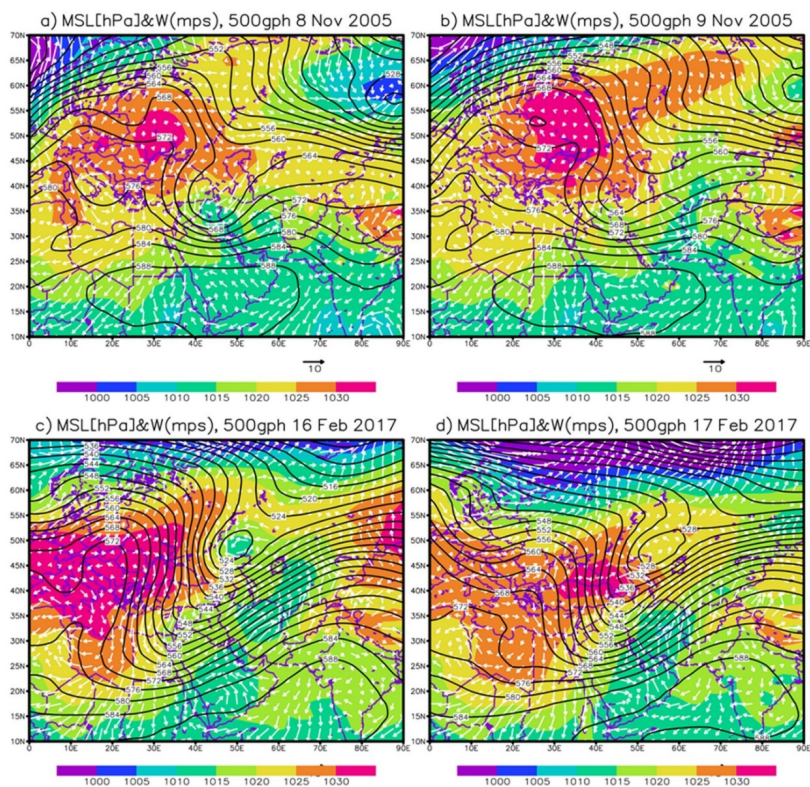
الگوهای ارتفاعی و باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۸ و ۹ نوامبر (شکل b و a۱۳)، بیانگر استقرار سامانه کم ارتفاع در نیمه شمالی کشور (۵۰ درجه شرقی و ۳۵ درجه شمالی) می‌باشد که بین دو سامانه پراارتفاع در غرب و شرق آن قرار گرفته و همراهی این شرایط با جریان باد شرقی در نواحی جنوبی دریای عمان و چرخش و همگرایی آنها بر روی خلیج فارس، نواری از جریات جنوبی شدید ایجاد کرده که از روی خلیج فارس تا شمال شرق کشور امتداد یافته و موجب فرارفت رطوبت به سوی این منطقه شده است. توسعه سامانه پراارتفاع در غرب ایران و روی دریای سیاه (۰ درجه شرقی و ۳۵ درجه شمالی) در تاریخ ۸ و ۹ نوامبر، و گسترش ناوه سامانه کم‌ارتفاعی که مرکز آن در شمال دریاچه آرال (۸۵

ب- مطالعه موردی الگوهای پاییزه (۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵) و زمستانه (۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷)

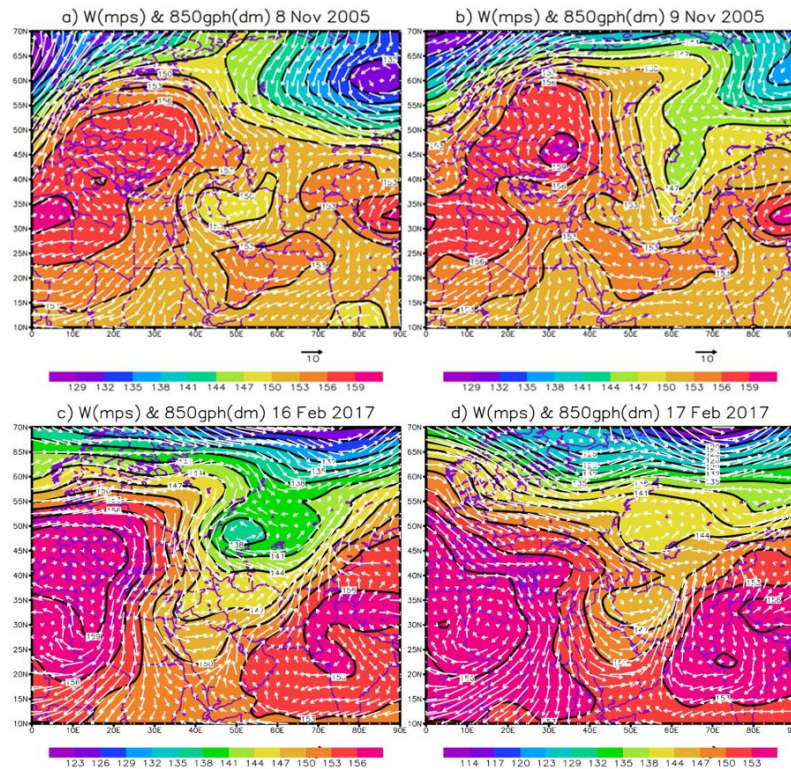
با توجه به محدودیت حجم مقاله، سعی شده است تا نقشه‌های همدیدی موردهای مطالعه‌ای پاییزه و زمستانه از یک روز قبل از رخداد و در روز رخداد آورده شوند. در شکل (۱۲) الگوهای میانگین فشار سطح دریا، باد ارتفاع ۱۰ متری و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی برای روزهای ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵ و ۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ نشان داده شده است. بررسی این الگوها در ۸ و ۹ نوامبر (شکل b و a۱۲) نشان می‌دهد که ناوه ای (با محور شمال شرقی-جنوب غربی) از شمال دریای خزر تا شمال شبه جزیره عربستان گسترش یافته و در بخش غربی این ناوه سامانه پرفشار گسترده‌ای در شمال دریای سیاه و مناطق شرقی اروپا توسعه یافته است (۳۰ درجه شرقی و ۵۰ درجه شمالی). چنین الگویی به طور مشابه در روز قبل از رویداد بارش در سایر موارد مطالعه شده نیز مشاهده



شکل ۱۱. الگوهای بی‌هنجاری فشار تراز دریا (حسب میلی‌بار و بصورت رنگی شده) و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (حسب متر بصورت پریند) برای روزهای ۱۰ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۰



شکل ۱۲. مانند شکل ۸ اما برای روزهای ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵ و ۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷



شکل ۱۳. مانند شکل ۹ اما برای روزهای ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵ و ۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷

چرخش و همگرایی آنها بر روی خلیج فارس، نواری از جریات جنوبی شدید ایجاد کرده که از روی خلیج فارس تا شمال شرق کشور امتداد یافته و موجب فرارفت رطوبت به سوی این منطقه شده است. توسعه سامانه پراارتفاع در غرب اروپا (۱۰ درجه شرقی و ۴۵ درجه شمالی) در تاریخ ۱۶ و ۱۷ فوریه، و گسترش جنوب سوی سامانه کم‌ارتفاعی که در شمال دریای خزر قرار داشت باعث فرارفت هوای سرد از عرض‌های بالاتر به شمال شرق ایران می‌باشد.

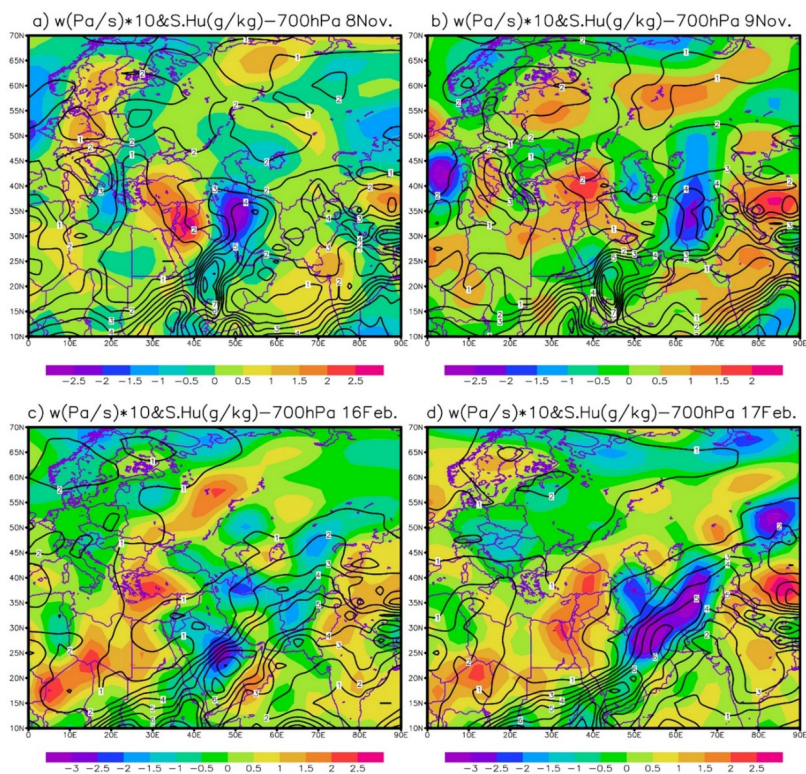
نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای تاریخ‌های ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵، بیانگر مقدار قابل توجه رطوبت ویژه (۴ تا ۵ پاسکال بر ثانیه) بر روی نواحی مرکزی ایران تا خلیج فارس در روزهای ۸ و ۹ نوامبر همراه با شکل گیری مرکز سرعت قائم منفی (حرکت‌های صعودی) در مرکز و شرق ایران (با مختصات مرکز در ۵۰ درجه شرقی و ۳۵ درجه شمالی) (شکل b و a۱۴) می‌باشد.

نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای تاریخ‌های ۱۶ و ۱۷

درجه شرقی و ۶۵ درجه شمالی) قرار دارد (شکل b و a۱۳) که نتیجه آن فرارفت هوای سرد از عرض‌های بالاتر به شمال شرق ایران می‌باشد که این خود از عوامل موثر بر بارش‌های فرین شمال شرق کشور می‌باشد.

بررسی این الگوها در ۱۶ و ۱۷ فوریه (شکل d و c۱۲) نشان می‌دهد که ناوه ای عمیق (با محور شمال شرقی-جنوب غربی) از غرب دریای خزر تا جنوب شرق دریای مدیترانه گسترش یافته و در بخش غربی این ناوه سامانه پرفشار گسترده‌ای از روی اروپا تا دریای سیاه توسعه یافته است (۲۰ درجه شرقی و ۴۵ درجه شمالی).

الگوهای ارتفاعی و باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای تاریخ ۱۶ و ۱۷ فوریه (شکل d و c۱۳)، بیانگر استقرار سامانه کم ارتفاع در شمال دریاچه خزر (با مختصات مرکز در ۵۰ درجه شرقی و ۵۰ درجه شمالی) می‌باشد که بین دو سامانه پراارتفاع در غرب و شرق آن قرار گرفته و همراهی این شرایط با جریان باد شرقی در نواحی جنوبی دریای عمان و اقیانوس هند و



شکل ۱۴. مانند شکل ۱۰ اما برای روزهای ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵ و ۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷

جدول ۱۲. مقادیر فشار (هکتوپاسکال) ساعات همیدی اصلی در ایستگاه‌های منتخب برای روزهای ۸ تا ۱۰ نوامبر ۲۰۰۵

ایستگاه	تاریخ و ساعت											
	۲۰۰۵/۱۱/۸				۲۰۰۵/۱۱/۹				۲۰۰۵/۱۱/۱۰			
	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸
مشهد	۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۱۴	۱۰۱۵	۱۰۱۳	۱۰۱۳	۱۰۱۲	۱۰۱۹	۱۰۲۲	۱۰۲۵	۱۰۲۳	۱۰۲۵
سبزوار	۱۰۲۴	۱۰۲۵	۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۱۷	۱۰۱۸	۱۰۲۱	۱۰۲۷	۱۰۳۰	۱۰۳۲	۱۰۳۰	۱۰۳۱
قوچان	۱۰۱۷	۱۰۱۷	۱۰۱۲	۱۰۱۳	۱۰۰۹	۱۰۱۰	۱۰۱۳	۱۰۱۹	۱۰۲۲	۱۰۲۴	۱۰۲۳	۱۰۲۴
نیشابور	۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۱۴	۱۰۱۵	۱۰۱۲	۱۰۱۴	۱۰۱۵	۱۰۲۰	۱۰۲۳	۱۰۲۷	۱۰۲۴	۱۰۲۶
بجنورد	۱۰۲۲	۱۰۲۱	۱۰۱۶	۱۰۱۶	۱۰۱۳	۱۰۱۵	۱۰۱۹	۱۰۲۵	۱۰۲۷	۱۰۲۸	۱۰۲۷	۱۰۲۸
گنبد کاووس	۱۰۲۰	۱۰۱۹	۱۰۱۵	۱۰۱۶	۱۰۱۶	۱۰۱۹	۱۰۲۳	۱۰۲۵	۱۰۲۶	۱۰۲۷	۱۰۲۷	۱۰۲۷

جدول ۱۳. مقادیر بارش (میلیمتر) ساعات همیدی اصلی در ایستگاه‌های منتخب برای روزهای ۸ تا ۱۰ نوامبر ۲۰۰۵

ایستگاه	تاریخ و ساعت											
	۲۰۰۵/۱۱/۸				۲۰۰۵/۱۱/۹				۲۰۰۵/۱۱/۱۰			
	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸
مشهد	۰	۰	۰	۰	۸	۱۰	۰.۳	۷	۰.۱	۰	۰	۰
سبزوار	۰	۰	۰	۴	۰	۵	۱۳	۲	۰	۰	۰	۰
قوچان	۰	۰	۰	۴	۰.۰۱	۶	۱۹	۱۰	۰.۱	۰	۰	۰
نیشابور	۰	۰	۰	۰.۸	۱۶	۱۱	۷	۰.۴	۰	۰	۰	۰
بجنورد	۰	۰	۰	۰	۰	۷.۲	۰	۰	۰	۲۰.۶	۰	۰
گنبد کاووس	۰	۰	۰	۰.۴	۱۲	۹	۲۱	۰	۰	۰	۱	۰

جدول ۱۴. مقادیر فشار (هکتوپاسکال) ساعات همدیدی اصلی در ایستگاه‌های منتخب برای روزهای ۱۶ تا ۱۸ فوریه ۲۰۱۷

ایستگاه	تاریخ و ساعت											
	۲۰۱۷/۲/۱۶				۲۰۱۷/۲/۱۷				۲۰۱۷/۲/۱۸			
	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸
مشهد	۱۰۱۱	۱۰۱۱	۱۰۰۹	۱۰۱۵	۱۰۱۳	۱۰۱۴	۱۰۱۳	۱۰۱۵		۱۰۲۱	۱۰۲۶	۱۰۳۱
سبزوار	۱۰۱۰	۱۰۱۰	۱۰۰۸	۱۰۰۹	۱۰۰۹		۱۰۱۲	۱۰۱۱		۱۰۲۰	۱۰۲۱	۱۰۲۷
قوچان		۱۰۱۰	۱۰۱۲	۱۰۱۳		۱۰۱۴				۱۰۲۲	۱۰۲۵	۱۰۲۸
نیشابور	۱۰۱۲	۱۰۱۱	۱۰۱۰	۱۰۱۲	۱۰۱۰	۱۰۱۰		۱۰۱۱		۱۰۱۹	۱۰۲۳	۱۰۲۷
بجنورد	۱۰۱۰	۱۰۱۵	۱۰۱۵	۱۰۱۹	۱۰۱۷	۱۰۲۰	۱۰۱۸	۱۰۲۰	۱۰۲۲	۱۰۳۰	۱۰۳۳	۱۰۳۸
گنبد کاووس		۱۰۱۶	۱۰۱۶	۱۰۱۸		۱۰۱۹	۱۰۱۸	۱۰۲۱		۱۰۳۱	۱۰۳۲	۱۰۳۴

جدول ۱۵. مقادیر بارش (میلیمتر) ساعات همدیدی اصلی در ایستگاه‌های منتخب برای روزهای ۱۶ تا ۱۸ فوریه ۲۰۱۷

ایستگاه	تاریخ و ساعت											
	۲۰۱۷/۲/۱۶				۲۰۱۷/۲/۱۷				۲۰۱۷/۲/۱۸			
	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸	۰۰	۰۶	۱۲	۱۸
مشهد	۰	۲	۱	۰	۱۸	۰.۲					۵	۰.۸
سبزوار	۴	۳	۱	۰	۰	۶	۰.۶	۳	۴	۰	۰	۰
قوچان	۱	۳	۸	۰	۱۴	۹	۳	۵	۲	۸	۰.۹	۰
نیشابور	۰	۲	۰	۲	۵	۰	۱۹	۸	۹	۷	۰.۷	۰.۱
بجنورد	۰	۵	۲	۴	۰	۲	۰	۰	۰.۶	۰.۹	۰	۰
گنبد کاووس	۰	۰	۰	۰.۳	۳	۴	۲	۵	۳	۶	۰.۱	۰

اتفاق افتاده است.

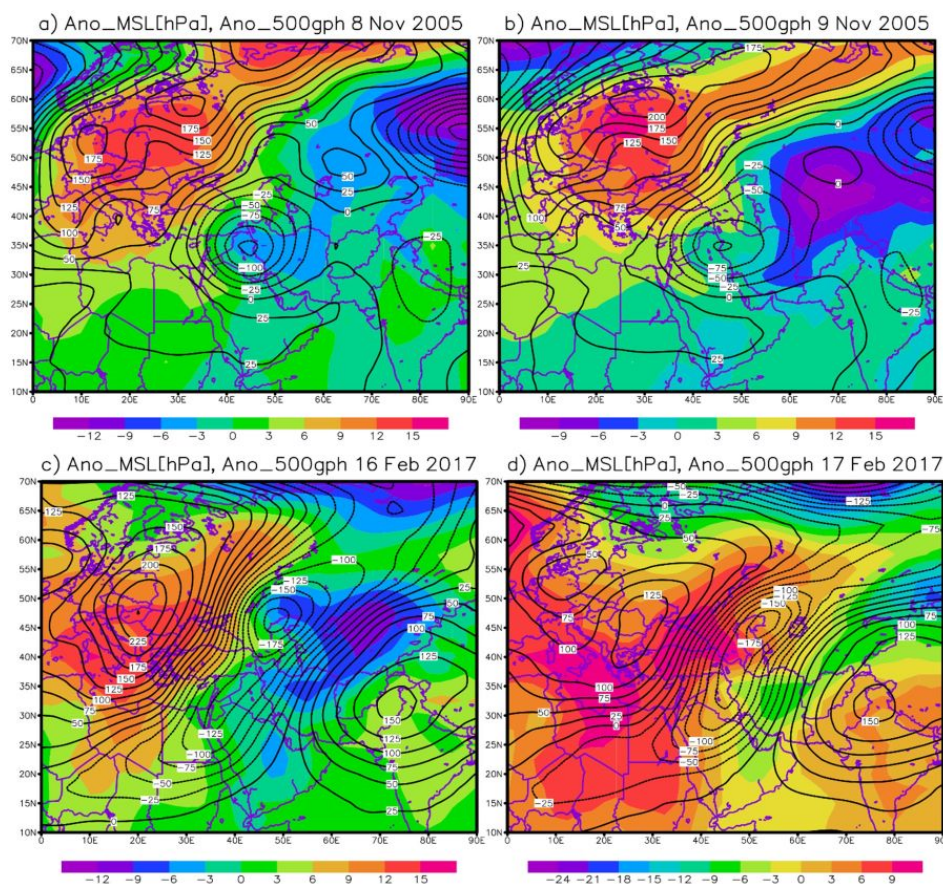
بر اساس جدول شماره ۱۴ روند کاهش فشار دز ایستگاه‌های مورد مطالعه بخصوص در روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ محسوس تر است.

پیامد تضعیف میدان فشار نیز بارش‌های قابل توجه به ویژه در ایستگاه‌های مشهد، قوچان و نیشابور بوده است. در شکل (۱۵) نقشه‌های بی‌هنجاری فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵ و ۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ نشان داده شده است. نقشه بی‌هنجاری فشار تراز دریا نشان دهنده کاهش فشار نسبت به میانگین بلند مدت (۱۹۹۱-۲۰۲۰) همراه با بی‌هنجاری منفی ارتفاع در غرب ایران می‌باشد (شکل ۱۵). این الگوی بی‌هنجاری‌ها برای مورد مطالعه پاییزه بصورت یک سطح محدوده شده بر روی ایران که بیشینه کاهش فشار و ارتفاع به ترتیب حدود ۵ میلی‌بار و ۱۲۵ متر می‌باشد (شکل ۱۵ و a).

فوریه ۲۰۱۷، بیانگر مقادیر قابل توجه رطوبت ویژه (۳ تا ۵ پاسکال بر ثانیه) بر روی نواحی مرکزی و شرقی ایران در روز ۱۷ فوریه، همراه با شکل گیری مرکز سرعت قائم منفی (حرکت‌های صعودی) در مرکز، شرق و شمال ایران (شکل ۱۴) می‌باشد.

از جمع بندی شکل‌های ۱۳ و ۱۴ می‌توان چنین استنباط نمود که فرارفت هوای سرد از عرض‌های شمالی به منطقه مورد مطالعه همراه با فرارفت هوای گرم و مرطوب از دریای عمان و اقیانوس هند به منطقه مورد مطالعه و همگرایی این دو جریان و به تبع آن حاکم شدن جریانات صعودی عامل موثری در وقوع بارش‌های فرین در فصل پاییز در مناطق شمال شرقی ایران می‌باشد.

بر اساس جدول شماره ۱۲ روند کاهشی فشار به ویژه برای روز ۹ آوریل ۲۰۰۵ محسوس می‌باشد که این شرایط به تشدید ناپایداری در این روز و ثبت بارش‌های قابل توجهی



شکل ۱۵. مانند شکل ۱۱ اما برای روزهای ۸ و ۹ نوامبر ۲۰۰۵ و ۱۶ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷

میدان سرعت قائم منفی شکل گرفته بر روی خلیج فارس و توسعه آن در امتداد شمال شرق و تداوم فرارفت رطوبت از منابع رطوبتی عمده خلیج فارس و دریای عمان توسط میدان باد جنوبی در تراز میانی جو می‌تواند به بارش‌های سنگین در منطقه شمال شرق کشور بیانجامد.

جمع‌بندی

نتایج تحلیل آماری نشان داد که توزیع زمانی نمایه‌های حدی بارش، نمایه ساده شدت روزانه SDII در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روندی افزایشی می‌باشد اما با توجه به مقادیر بسیار پایین ضریب تعیین در روش رگرسیون خطی نمی‌توان این روندها را معنی‌دار دانست. در مورد فراوانی وقوع نمایه‌های حدی، بیشترین فراوانی

اما برای مورد مطالعه زمستانه، بی‌هنجاری‌های منفی شدید فشار و ارتفاع با گستردگی از جنوب‌غرب تا شمال‌شرق بین دو هسته بی‌هنجاری‌های مثبت شدید قرار گرفته است (شکل ۱۵ d و c).

توسعه شمال سوی سامانه کم فشار سودانی به موازات حرکت شرق سوی پرفشار سیبری و گسترش سامانه کم فشار یاد شده در سطح کشور و از جمله شمال شرق در الگوی سطح زمین و به موازات آن تشکیل ناوه عمیق در غرب خاورمیانه و تاثیر پذیری مناطق شرقی و شمال شرقی کشور و قرارگیری در جلو ناوه همراه با توسعه زبانه‌های کم ارتفاع عرض‌های شمالی از یک سو و توسعه میدان بادهای جنوبی و مرطوب موجب فرارفت هوای گرم و مرطوب به عرض‌های شمالی و نفوذ به منطقه مورد مطالعه با تقویت ناپایداری از طریق توسعه

وقوع برای تمامی نمایه‌های حدی در ماه مارس و فصل زمستان می‌باشد که نشان دهنده لزوم توجه ویژه به اقدامات پیشگیرانه در خصوص مقابله با اثرات وقوع بارش‌های نامتعارف در این بازه‌های زمانی دارد. بیشترین توزیع فراوانی نمایه روزهای با بارش بسیار سنگین (R20mm) در دوره آماری با ۳۷/۴ درصد فراوانی متعلق به فصل زمستان و بعد از آن با ۲۸/۴ درصد به فصل بهار و ۲۵/۹ درصد به فصل پاییز و در نهایت با ۸/۲ درصد به فصل تابستان اختصاص می‌یابد. همچنین بیشترین توزیع فراوانی نمایه مجموع بارش روزهای فوق العاده تر (R99p) در دوره آماری با ۴۱/۸ درصد فراوانی متعلق به فصل زمستان و بعد از آن با ۲۷/۳ درصد به فصل بهار و ۲۵/۵ درصد به فصل پاییز و در نهایت با ۵/۵ درصد به فصل تابستان اختصاص می‌یابد. در بازه زمانی ماهانه بیشترین فراوانی وقوع تمام نمایه‌ها مربوط به ماه مارس و پس از آن ماه آوریل می‌باشد.

بیشترین فراوانی وقوع تمام نمایه‌ها در دوره آماری ۲۰ ساله مربوط به ایستگاه گنبد کاووس و کمترین فراوانی وقوع مربوط به ایستگاه سبزوار می‌باشد. باتوجه به موقعیت جغرافیایی و نزدیکی بیشتر ایستگاه گنبد کاووس به منابع رطوبتی نسبت به سایر ایستگاه‌ها و همچنین وضعیت اقلیمی خشک تر ایستگاه سبزوار نسبت به سایر ایستگاه‌ها این نتایج قابل توجیه می‌باشد.

توسعه شمال سوی سامانه کم فشار سودانی به موازات حرکت شرق سوی پرفشار سیبری و گسترش سامانه کم فشار یاد شده در سطح کشور و از جمله شمال شرق در الگوی سطح زمین و به موازات آن تشکیل ناوه عمیق در غرب خاورمیانه و تاثیر پذیری مناطق شرقی و شمال شرقی کشور و قرار گیری در جلو ناوه همراه با توسعه زبانه‌های کم ارتفاع عرض‌های شمالی از یک سو و توسعه میدان باد جنوبی و فرارفت هوای گرم و مرطوب به عرض‌های شمالی و نفوذ به منطقه مورد مطالعه با تقویت ناپایداری از طریق توسعه میدان سرعت قائم منفی شکل گرفته بر روی خلیج فارس و توسعه آن در امتداد شمال شرق و تداوم فرارفت رطوبت از منابع رطوبتی عمده خلیج فارس و دریای عمان توسط میدان باد جنوبی در تراز میانی جو می‌تواند به بارش‌های سنگین در منطقه شمال شرق

کشور بیانجامد. به عنوان یک عامل تشدید کننده ناپایداری، می‌توان به تضعیف میدان فشار سطح زمین نیز اشاره نمود.

مراجع

۱. اسدی رحیم بیگی، نرگس، زرین، آذر، مفیدی، عباس، داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۰)؛ تحلیل پراکنش فصلی بارشهای فرین در ایران با استفاده از پایگاه AgERA5، نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۱۱، صص ۲۷۲۳-۲۷۳۷
۲. برنر، ر.، جهان، آ. (۱۳۹۴)؛ مطالعه روند تغییرات شاخصهای حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: استان بوشهر)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هشتم، شماره ۸۲، صص ۴۳-۶۴
۳. جلیلیان، میلاد، رمازی، سکینه (۱۳۹۶)؛ واکاوی همیدی بارش‌های سنگین و فوق سنگین سیل‌آسا در استان ایلام، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، ۱۱۱ - ۱۱۳.
۴. جهانگیری، ز.، رحیم زاده، ف (۱۳۸۴)؛ ضرورت قابل اعتماد بودن اطلاعات هواشناسی در مسائل اقلیم و تغییر اقلیم مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی، مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی، نیوار، ۵۶ و ۵۷؛ صص ۱۰۵ - ۹۱.
۵. رحیمی، داریوش، خوشحال، جواد (۱۳۸۹)؛ تحلیل آماری - همیدی بارش‌های سنگین مناطق خشک ایران (مطالعه موردی، استان کرمان)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۴، بهار و تابستان ۱۳۸۹، صص ۶۹-۵۱؛
۶. رحیمزاده، ف.، نساجی زواره، م (۱۳۹۳)؛ روند و تغییرپذیری دما در ایران در دوره ۲۰۱۰ - ۱۹۶۰ پس از تعدیل ناهمگنی‌های غیرطبیعی موجود در داده‌ها، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۲۹. صص ۱۹۶ - ۱۸۱؛
۷. صفرزاده، طاهر، منصوری‌نیا، مهران. (۱۳۹۶)؛ تحلیل همیدی الگوهای منجر به بارش‌های سنگین غرب کشور در طی دوره آماری (۱۹۸۵-۲۰۱۳)، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد، صص ۱۳۰-۱۲۶؛
۸. فراهانی، نفیسه، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، قزایلو، مریم (۱۴۰۰) بررسی الگوهای همیدی بارشهای فرین در جنوب غرب ایران در دوره گرم سال، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۵، شماره ۱، ۱۴۰۰، صص ۱۰۴-۸۳؛
۹. فرجی، عبدالله، صادقی، مرضیه (۱۳۹۵)؛ تحلیل آماری تغییرات زمانی و مکانی ماهانه بارش سنگین ایران، دومین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی‌های پاک با محوریت مدیریت منابع طبیعی، کشاورزی و توسعه پایدار، ۶۴-۶۰؛
۱۰. قاسمی، فر، الهام، ناصرپور، سمیه، آرزومندی، لیلی (۱۳۹۶)؛ شناسایی الگوهای همیدی بارش‌های سیل‌خیز غرب ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، سال ۴، ۲، صص ۶۹ - ۸۶؛
۱۱. قصاب فیض، مصطفی، اسلامی، حسین (۱۳۹۶)؛ ارزیابی روند تغییرات بارندگی با روش من کندال و رگرسیون خطی در استان خوزستان، فصل نامه علمی تخصصی مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۶، صص ۱۲۱-۱۱۳؛
۱۲. قویدل رحیمی، یوسف، فرج زاده اصل، منوچهر، حاتمی کیا، منیره (۱۳۹۵)؛ نوسان شمالگان و نقش آن در تغییرپذیری دماهای کمینه منطقه شمال شرق ایران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۶ (۴۲) : صص ۵۸-۴۱؛
۱۳. محمدی، حسین، تقوی، فرحناز (۱۳۸۴)؛ روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی - شماره ۵۳، پاییز ۱۳۸۴، صص ۱۷۲-۱۵۱؛
۱۴. نساجی زواره، مجتبی، قرمزچشمه، باقر (۱۳۹۸)؛ بررسی روند

- tre Events: Long- Trend Of Heavy Daily Precipitation, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 71, No. 5, PP. 637- 640;
24. Klein Tank et al. (2006); "Changes in Daily Temperature and Precipitation Extremes in Central and South Asia", Journal of Geophysical Research, pp 105-111;
 25. Lana, J. Campins, A. Genoves, and A. Jansa (2007); Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands. Adv. Geosci., 12, pp 27-32;
 26. Land, A. Remmele, S. Schonbein, J. kuppers, M. Zimmermann, R (2017); Climate growth analysis using long term daily resolved station records with focus on the effect of heavy precipitation events. dendrochronologia, Vol. 45: pp 156-164;
 27. Nandintseteg B, Greene J.S, Goulden C.E (2007); "Trends in Extreme Daily Precipitation and Temperature Near Lake Hovsgol", Mongolia, International Journal of Climatology, 27, pp 341-347;
 28. Paredes Trejo, F. Barbosa, H. Murillo, P. Moreno, A. Farias, A (2016); Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with chirps gridded product and raingauge data over Venezuela, atmosfers, Vol. 29, Issue 4;
 29. X. Zhang and F. Yang (2004); "RClimDex-1.0 User Manual," Climate Research Branch Environment Canada Downs view, Ontario.
 30. Yao, J., Chen, Y., Chen, J., Zhao, Y., Tuoliewubieke, D., Li, J., Yang, L., Mao, W (2020); Intensification of extreme precipitation in arid Central Asia, Journal of Hydrology
 31. Zhai, P.A.Sun,F.Ren,X.Lin,B.Gao,andQ.Zhang (1999); Changesof climate extremes in China.Climatic Change,42,pp 203-218;
 32. Zhang, Q., Li, Q., Singh, V.P., Shi, P., Huang, Q., and Sun,P (2018); Nonparametric integrated agrometeorological drought monitoring: Model development and application. Journal of Annual Drought Based on Drought Conditions in the Spring Season. Iran. J. Irrig. Drain. 9, pp 636-645;
- تغییرات شاخص‌های بارش و فرصت‌های مناسب برای استحصال آب باران (مطالعه موردی ناحیه خزر)، هشتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آنگیر ایران
۱۵. یار احمدی، داریوش، خوش کیش، اسدالله، کرمپور، مصطفی، احمدی، اسماعیلی (۱۳۹۵)؛ تحلیل فضایی- آماری هسته‌ی مرکزی سامانه‌ی پرفشار سیبری، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۴۰، صص ۴۹-۶۸؛
16. Christina, P. Michael, C. Daithl, W. Chistopher, S. William (2017); Diagnosing conditional anthropogenic contributions to heavy Colorado rainfall in September 2013. Weather and climate extremes, Vol. 17: pp 1-6;
 17. Clio Michel a, Asgeir Sorteberg, Sabine Eckhardt, Chris Weijenborg, Andreas Stohl, Massimo Cassiani (2021); Characterization of the atmospheric environment during extreme precipitation events associated with atmospheric rivers in Norway - Seasonal and regional aspects, Weather and Climate Extremes, vol 34;
 18. Duhan D., and Pandya A (2013); Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901-2002 at Madhya Pradesh, India. Atmospheric Research. 122, 136-149;
 19. Fumiaki Fujibi, Nobou Yamazaki (2006); Long- term chang of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004); Journal of meteorological of japan. Vol.8. No 6, pp 1033-104;
 20. Gemmer, Marco, Thomas Fischer, Tong Jiang, Buda Su, Lü Liu Liu (2011); Trends in Precipitation Extremes in the Zhujiang River Basin, South China. J. Climate, 24, pp 750-761;
 21. Haylock, M., and N. Nicholls (2000); Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality dataset for Australia " 1910-1998". Int. J. Climatol., 20, pp 1533-1541;
 22. Heino, R., and Coauthors (1999); Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe. Climatic Change, 42, pp 151-181;
 23. Iwashima, T. and R. Yamamoto (1993); Notes and Correspondence A Statistical Analysis of the Ex-

Investigation of extreme precipitation events in northeastern Iran during the period 2001-2020

Majid Bijandi¹, Seyed Jamaledin Daryabadi^{2*}, Abbas Ranjbarsaadatabadi³, Azadeh Arbabisabzevari⁴

¹ PhD student in Climate, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Urban Planning, Semnan, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Islamic Azad University, Islam shahr, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: jdaeyabari47@gmail.com

Received: 13 July 2021, accepted: 16 October 2021

ABSTRACT

The process of changing the precipitation pattern in the northeastern region of Iran can cause changes in extreme climatic phenomena, including the intensification of the hydrological cycle, changes in the frequency of droughts, floods, and the expansion of the area covered by floods and droughts. In this research, the occurrences of extreme precipitation in the northeast of Iran during 20 years (2001-2020) have been studied using the rainfall indexes. For this purpose, Precipitation and sea level pressure data in daily time scale for main synoptic hours data of Mashhad, Sabzevar, Qochan, Neishabor, Bojnord and Gombad Kavus synoptic meteorological stations were used, and the atmospheric patterns leading to these extreme events and the changes in rainfall indexes were investigated using linear regression method. Also, correlation tests between these indexes and time were performed using probability value (P-value) with a significance level of 5%. The results showed that in all stations studied, none of the climatic indices have a trend of significant changes during the statistical period. One of the important extreme indices is the days with very heavy rainfall (R20mm), the frequency distribution of which was investigated in different time periods. During the statistical period and in the seasonal interval, winter had the highest proportion of the whole year with 37.4% of the total occurrence frequency. In the monthly period, March had the highest proportion of the whole year with 19.3% of the total occurrence frequency. In order to study the synoptic factors affecting the extreme precipitation in the northeastern region of the country, three cases of extreme events in autumn, winter and spring seasons were selected and investigated. The synoptic analysis on the maps of average sea level pressure, geopotential height and wind field at 850 hPa, vertical velocity field at 700 hPa and special moisture distribution pattern at 850 and 700 hPa was performed. Results showed that the most important feature of large-scale patterns which leading to extreme precipitation is the persistence of dynamic lowpressure system in the eastern part of the Mediterranean Sea. By forming a blocking pattern, This event causes the establishment and persistence of the low pressure system of the earth's surface and the trough of the middle and upper levels of the troposphere in the eastern part of the Mediterranean Sea and the slow movement of the resulting waves towards the studied area, which results in the intensification of the upward currents in the lower levels of troposphere. These currents, with using the effective factor of proper moisture feeding from the moisture sources of the Oman Sea, the Red Sea and the Persian Gulf are the reason of the occurrence of extreme precipitations in the northeast of Iran.

Keywords: Extreme Indices, Heavy Rainfall, Atmospheric Patterns, Northeast of Iran

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAs Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

