

آشکار سازی تغییر اقلیم با تحلیل روند وقوع رخداد‌های فرین اقلیمی در غرب و جنوب غرب ایران

سارا غلامرضایی^۱، مه‌ران زند^{۲*}، سید جمال‌الدین دریابادی^۳، بهلول علیجانی^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم تحقیقات، تهران

۲- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۳- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شمال تهران

۴- استاد، دانشگاه خوارزمی، تهران

چکیده

تغییرات اقلیمی و گرم شدن آب و هوا می‌تواند بطور مستقیم بر مقادیر فرین اقلیمی و تغییرات زمانی و مکانی این رخدادها تاثیر گذارد. هدف این پژوهش تحلیل روند وقوع رخداد‌های فرین اقلیمی در غرب و جنوب غرب ایران است. داده‌های مورد استفاده شامل: داده‌های بارش، حداکثر و حداقل دمای روزانه ۲۸ ایستگاه سینوپتیک واقع در غرب و جنوب غرب کشور طی دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) می‌باشد. محاسبه شاخص‌های حدی با استفاده از قابلیت‌های برنامه نویسی در محیط نرم‌افزار متلب انجام و روند تغییرات هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون من‌کنندال بررسی و نقشه‌ها و نمودارهای لازم تهیه شدند. نتایج بررسی چگونگی تغییرات زمانی رخداد شاخص‌های گرم طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ در سطح منطقه نشان داد که برای بیشتر ایستگاه‌ها در حالت کلی، روند شاخص‌های گرم مانند شب‌های گرم، روزهای گرم، تعداد روزهای تابستانی و تعداد شب‌های حاره‌ای، صعودی بوده است. در مقابل تغییرات زمانی رخداد شاخص‌های سرد نشان داد که برای بیشتر ایستگاه‌ها در حالت کلی روند شاخص‌های سرد مانند روزهای سرد، شب‌های سرد و تعداد روزهای همراه با یخبندان، نزولی بوده است. نکته مهمی که از بررسی کلی مجموع شاخص‌های حدی گرم و سرد در منطقه پژوهش برداشت می‌شود، حاکمیت روند گرمایشی در دوره آماری مورد نظر است. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی فراوانی رخداد و روند شاخص‌های حدی بارش در سطح منطقه، مؤید آنست که همانند بسیاری از نواحی کشور، مجموع بارش منطقه کاهش یافته است. در مقابل بارش‌های حداکثری در عین اینکه مقادیر حدی قابل توجهی را نشان می‌دهند، طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ دارای روند نزولی بوده‌اند. این شرایط می‌تواند بیانگر افزایش بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت و در مقابل کوتاه‌تر شدن فصل بارش منطقه باشد. نکته مهم دیگر اینکه روند نزولی شاخص روزهای تر و روند صعودی شاخص روزهای خشک متوالی در سطح منطقه پژوهش، می‌تواند حاکی از حرکت منطقه به‌طرف بری شدن و تشدید شرایط کم‌آبی باشد. با توجه به پیامدهای خسارت بار ناشی از رخداد‌هایی فرین می‌بایست به منظور کاهش حداکثری خسارات ناشی از این بلایای جوی، رصد و پایش آنها بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد تا بتوان بصورت موثری به‌طرف مدیریت ریسک و کاهش خطر حرکت نمود.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، رخداد‌های حدی، روزهای گرم، شب‌های سرد، غرب و جنوب غرب ایران.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی از آغاز انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم غلظت دی‌اکسیدکربن در جو را تا حدود ۵۰ درصد افزایش داده است. افزایش میانگین دمای جهانی آشکارترین پیامد افزایش دی‌اکسیدکربن در سطح جهانی است (۲۰۱۳ IPCC). با این حال، افزایش دما پیامدهایی برای الگوی بارش به همراه دارد. دمای گرمتر، نقطه اشباع بخار آب و ظرفیت نگهداری آب را در جو افزایش داده است (داننبرگ و همکاران ۲۰۱۹). شناخت پدیده تغییر اقلیم، نیازمند بررسی روند سری زمانی پارامترهای اقلیمی همچون بارش و دما است. برای تشخیص پدیده تغییر اقلیم، سری‌های زمانی بلندمدت داده‌های اقلیمی مورد نیاز است و قسمت عمده‌ای از مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم از طریق بررسی تغییرات سری‌های زمانی مربوط به بارندگی، دما، فشار، رطوبت و غیره و همچنین تشخیص وجود روند مثبت یا منفی در اینگونه سری‌ها صورت می‌گیرد. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوی تغییرات آنها بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تشخیص داده شود (Mistry, 2019).

گرم شدن آب و هوا می‌تواند بطور مستقیم بر مقادیر فرین اقلیمی تاثیر گذارد، ظرفیت نگهداری آب اتمسفر را افزایش و احتمال وقوع شرایط آب و هوایی شدید غیرطبیعی جهانی و رویدادهای اقلیمی حدی مانند دمای بالا، امواج گرما، سیل، تگرگ و گردباد را افزایش دهد. همچنین رویدادهای شدید آب و هوایی تأثیرات قابل توجهی بر کشاورزی، انرژی، اکوسیستم و سلامت انسان دارند بین یونگ و سین یونگ، ۲۰۱۷.

در چنین شرایطی رخداد‌های بارش فرین تشدید شده و بر فراوانی و شدت آنها افزوده می‌شود. تعاریف مختلفی برای رخداد‌های فرین ارائه شده است. از دیدگاه اقلیمی یک رخداد فرین عبارتست از آستانه آماری معینی برای یک مقیاس زمانی معین (مثلاً صدک پنجم یا نود و پنجم توزیع آماری). فرین‌های اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی نسبت به میانگین‌های اقلیمی برخوردار هستند. در بسیاری از مناطق میانگین‌های دما و بارش و یا دیگر متغیرهای اقلیمی تغییرات زیادی نداشته است، اما فرین‌های اقلیمی همانند

خشکسالی‌ها، روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین، دوره‌های خشک و مرطوب متوالی و بسیاری دیگر از این متغیرها تغییرات زیادی را در سال‌های اخیر داشته‌اند (زرین و همکاران، ۱۴۰۰).

رویدادهای حدی اقلیمی در مقایسه با متوسط‌های اقلیمی تغییرات معنادارتری در محیط طبیعی و انسانی ایجاد می‌کنند و به دلیل پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی-اجتماعی فاجعه بار مورد توجه عموم مردم یک جامعه، دولت و جوامع دانشگاهی هستند (آن و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به پیامدهای زیاد فرین‌های اقلیمی، هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم یک تیم متخصص از مرکز هدلی را برای درک تغییرات شدید اقلیمی تحت عنوان تیم تحقیقاتی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها، به منظور بررسی مشکلات ناشی از رویدادهای حدی و محاسبه شاخص‌های حدی سازمان‌دهی کرد (هوگتون و همکاران ۲۰۰۱، پترسون و همکاران ۲۰۰۲). این تیم تعداد ۲۷ شاخص را برای بررسی و محاسبه فرین‌های اقلیمی پیشنهاد کردند که در سطح جهان مورد توجه پژوهشگران علوم جوی قرار گرفته و مطالعات زیادی بر اساس این شاخص‌ها برای دوره تاریخی و آینده انجام شده است. پترسون و همکاران ۲۰۰۲، با بررسی تغییرات رویدادهای اخیر در منطقه کارائیب بیان کردند که درصد روزهای گرم و بسیار سرد این منطقه از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۲ افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. همچنین بارش‌های حداکثری با روند افزایشی و روزهای خشک متوالی با روند کاهشی همراه شده است. متیس و همکاران ۲۰۰۴، با بررسی شاخص‌های حدی منطقه قطب شمال نشان دادند که بین سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۵ در فصل بهار تعداد روزهای یخبندان با کاهش قابل توجهی همراه شده است اما دوره‌های گرم و سرد از روند معنادرای برخوردار نمی‌باشند. کلاین تانک و همکاران ۲۰۰۶، با بررسی تغییرات درجه حرارت و بارش‌های شدید مرکز و جنوب آسیا بیان کردند که درجه حرارت و بارش‌های فرین در جنوب و مرکز آسیا با افزایش همراه شده است. همچنین نشان دادند که روند افزایشی دمای حداقل بیش از دمای حداکثر در منطقه جنوب و مرکز آسیا است. ایم و همکاران ۲۰۱۰، ویژگی‌های زمانی و مکانی روند شاخص‌های حدی کره جنوبی را بین سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۱ بررسی و نشان دادند

داده‌های شبکه‌ای پایگاه ملی این کشور ارزیابی کردند. نمایه‌های فرین بارشی همچون شمار روزهای بارانی، نمایه ساده شدت بارش، روزهای متوالی همراه با بارش، روزهای متوالی خشک و بارش سالیانه بررسی شد. یافته‌های آنها نشان می‌دهد در سطح اطمینان ۹۵٪ بسیاری از نمایه‌های مطالعه شده روند دارند.

دونگا و همکاران ۲۰۱۹ با بررسی هفت شاخص حدی بارش و دمای در استان گانسو چین طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۶۱ بیان کردند که طی سال‌های اخیر تغییرات در بارش‌های شدید در مناطق جنوبی و شمالی گانسو متفاوت بوده و در مناطق شمالی استان گانسو رخداد بارش‌های شدید افزایش یافته است. علاوه بر تحقیقات ذکر شده می‌توان به مطالعات (رحیم زاده و همکاران ۲۰۰۸؛ ژئو و همکاران ۲۰۱۴، آئرسون و همکاران ۲۰۱۸، هونگ و ینگ ۲۰۱۸، الکساندر و همکاران ۲۰۱۹، کوپر ۲۰۱۹، راثو و همکاران ۲۰۱۹، میری و همکاران ۲۰۲۱،...) نیز که بررسی رویدادهای فرین اقلیمی در دوره تاریخی و آینده با استفاده از داده‌های ایستگاهی و مجموعه مدل‌های CMIP5 پرداخته‌اند، اشاره کرد.

بر اساس مطالعات انجام شده، فرین‌های اقلیمی در مناطق مختلف جهان رخ می‌دهند. با وجود این، مناطق خشک و نیمه خشک در برابر پیامدهای آنها آسیب پذیرتر هستند. کشور ایران با توجه به تنوع محیطی زیاد و موقعیت جغرافیایی خود از گذشته همواره با مخاطرات طبیعی زیادی مواجه بوده است. مطالعه مخاطرات طبیعی همواره در سطح کشور مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. برنا و همکاران (۲۰۱۶) روند رویدادهای حدی اقلیمی استان خوزستان را با استفاده از روش من کندال طی یک دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد روزهای با دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است. همچنین مشخص شد که روزهای با دمای حداقل ۲۱ درجه سانتی‌گراد در مناطق جنوب استان خوزستان، روند افزایشی در بخش شرقی، روند منفی و در بخش شمالی، بدون روند هستند. عرفانیان و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به برآورد روابط فراوانی-تداوم- دوره بازگشت نمایه‌های فرین (حدی) اقلیمی در نقاط مختلف استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های

که شاخص‌های مربوط به دمای حداقل روند افزایشی و شاخص‌های مربوط به دمای حداکثر روند خاصی را در برابر گرمایش کره زمین نشان نمی‌دهند. ژائو و همکاران ۲۰۱۲، شاخص‌های حدی روزانه و شبانه طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ و نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه هایه‌ی چین را مطالعه و بیان کردند که در سراسر حوضه، نمایه‌های فرین سرد شامل؛ روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، روزهای سرد، امواج سرد و دامنه دمای شبانه روزی از روند منفی معناداری برخوردارند، درحالی‌که نمایه‌های گرم فرین از جمله روزهای تابستانی، طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، شب‌های گرم، روزهای گرم و امواج گرم روند مثبت و معناداری دارند. الکساندر و آریالستر (۲۰۱۷) با بررسی روند داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده دما و بارش استرالیا با استفاده از داده‌های مجموع مدل CMIP5 نشان دادند که طی دوره تاریخی روند افزایشی قابل‌توجهی در دماهای شدید در ارتباط با گرمایش جهانی وجود دارد درحالی‌که برای بارش شدید روند کمی مشاهده می‌شود. نتایج شاخص‌های حدی نشان داد که به‌طور قابل‌توجهی دماهای شدید افزایش و دماهای فرین سرد کاهش پیدا می‌کنند. SUN و YIN (۲۰۱۹) در پژوهشی تحت عنوان ویژگی‌های بارش و دماهای فرین در چین در سال ۲۰۱۷ بر پایه شاخص‌های ETCCDI، با محاسبه ۲۶ شاخص بارش و دمای حدی که توسط تیم تخصصی تعیین شاخص‌های تغییرات اقلیمی تعریف شده است، ویژگی‌های بارش و دماهای فرین در چین در سال ۲۰۱۷ را تحلیل کردند. آنها نتیجه گرفتند که همه شاخص‌های دمای حداکثری بالاتر از میانگین ۳۰ ساله دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ بوده و شاخص‌های دمای حداقلی پایین‌تر از میانگین مربوطه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ هستند.

در پژوهشی پینس کوار و همکاران ۲۰۱۹ تغییرات نمایه‌های فرین بارش را در لهستان به کمک داده‌های ایستگاهی ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد نمایه مربوط به روزهای متوالی خشک در نیمه تابستانی سال در بسیاری از ایستگاه‌ها و نمایه روزهای همراه با بارش‌های سنگین در ایستگاه‌های واقع در شمال غرب کشور روندی افزایشی داشته است. گوپتا و همکاران ۲۰۲۰ روند تغییرات نمایه‌های فرین بارش را در حوضه رودخانه سیرمتی در غرب هند به کمک

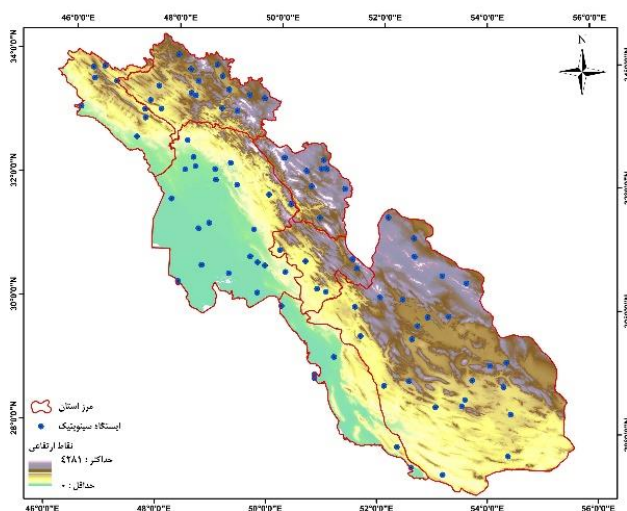
فرین اقلیمی با استفاده از شاخص‌های حدی هم در دوره تاریخی و هم برای آینده به‌خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است، اما در داخل ایران رخداد‌های فرین اقلیمی تنها به صورت موردی و تنها برای بارش یا دما در یک منطقه خاص مورد بررسی قرار گرفته است. از این‌رو در این تحقیق سعی بر این است که با استفاده از داده‌های دما و بارش و ایستگاه‌های سینوپتیک غرب و جنوب غرب کشور در یک دوره طولانی مدت، شرایط رخداد‌های فرین دما و بارش در سطح این منطقه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در برگرفته استان‌های ایلام، لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، بوشهر و فارس در غرب و جنوب غرب ایران است. این استان‌ها با مساحت ۲۸۹۹۲۴ کیلومتر مربع، ۱۷/۶ درصد از کل مساحت کشور را در برمی‌گیرند. منطقه مورد نظر بین مدارهای ۲۷ درجه و ۰۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت منطقه پژوهش به تفکیک استان به همراه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در سطح منطقه را نشان می‌دهد.

روزانه ۲۲ ایستگاه همدید طی دوره ۳۰ ساله پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در یک دوره بازگشت خاص، فراوانی وقوع روزهای یخبندان فرین در تداوم‌های بالا، کاهش یافته و در تداوم‌های پایین، مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. این روند به طور کلی در سایر نمایه‌ها نیز مشهور است. کریمی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر را با استفاده از مدل‌های SDSM و من‌کندال بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای هر سه ایستگاه مورد مطالعه روند مثبت و معنی‌داری در حداقل و حداکثر دمای ماهانه و سالانه رخ داده است. نتایج آزمون من‌کندال نیز نشان داد که در سطح ۹۵ درصد اطمینان وقوع تغییرات از نوع روند افزایشی و نیز تغییرات از نوع ناگهانی در هر سه ایستگاه رخ داده است. همچنین می‌توان به تحقیقات (رحیمی زاده، ۲۰۰۵؛ علیجانی و فرج زاده، ۲۰۱۵؛ میری و رحیمی، ۲۰۱۵، مظفری و شریفی ۲۰۱۶؛ محمدی و همکاران، ۲۰۱۷) نیز در این زمینه اشاره کرد. همان‌گونه که از سابقه تحقیق مشخص است، طی سالیان گذشته، به‌ویژه در ۱۰ سال اخیر، پژوهشگران زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه‌ی بررسی رخداد‌های فرین اقلیمی در مناطق مختلف جهان با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پرداخته‌اند و شاخص‌های توصیه شده از سوی گروه کارشناسی CCL/CLIVAR مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفته است. پیشنهاد تحقیق ارائه شده، تأیید کننده این مطالب است که در خارج از کشور تغییرات مکانی و زمانی رخداد‌های



شکل ۱- موقعیت و توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه غرب و جنوب غرب کشور

داده‌ها

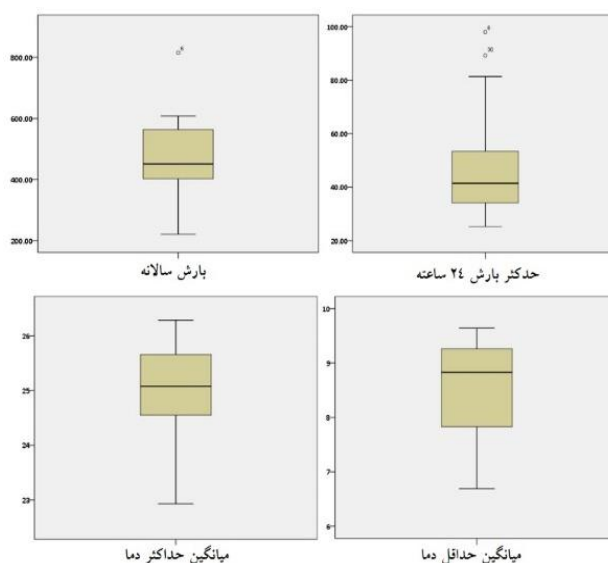
داده‌های مورد استفاده برای انجام این پژوهش در برگزیده داده‌های روزانه بارش، حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های استان‌های لرستان، ایلام، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، فارس و بوشهر طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۷ می‌باشد. قابل ذکر است با توجه به اینکه تمامی پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌های فرین اقلیمی در سایر ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کل کشور و یا وزارت نیرو ثبت نمی‌شود و یا در حال حاضر غیر فعال و یا تبدیل وضعیت شده‌اند، از اینرو در این طرح تنها از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است.

روش کار

برای رسیدن به هدف پژوهش ترکیبی از روش‌های آماری و مدل‌سازی استفاده شد. در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی کل کشور، داده‌های روزانه دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های هدف از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۷ دریافت شدند. در ادامه پس از دریافت داده‌های ایستگاهی با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب ویژگی‌های کمی و کیفی داده‌ها کنترل شد. در این تحقیق ابتدا طول دوره آماری و نقص داده مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منطقه نشان داد که در این

منطقه تعداد ۹۴ ایستگاه سینوپتیک تاسیس شده است. با توجه به ماهیت پژوهش و اهمیت طول دوره آماری در مطالعات اقلیمی، پس از انجام کنترل فعالیت و طول دوره آماری ایستگاه‌ها، یک دوره مشترک ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) انتخاب شد. قابل ذکر است با توجه به اینکه طی این دوره مشترک برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک از طول دوره آماری مناسبی برخوردار نبودند، از این رو با استفاده از روش نسبت نرمال و در نظر گرفتن ایستگاه‌های اطراف، بازسازی داده‌ها برای زمان‌های فاقد آمار انجام شد. پس از بازسازی داده‌های ناقص طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منطقه غرب و جنوب غرب کشور تعداد ۲۸ ایستگاه بعنوان ایستگاه‌های منتخب برای بررسی شاخص‌های فرین انتخاب شدند.

پس از انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی داده‌های پرت ایستگاه‌ها با استفاده نمودارهای باکس پلات انجام شد. شکل (۲) نمودار جعبه‌ای پارامترهای مورد بررسی به‌منظور شناسایی داده‌های پرت را برای ایستگاه خرم‌آباد نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون در ایستگاه خرم‌آباد داده‌های پرت برای پارامترهایی دما مشاهده نشد و برای بارش نیز تنها برای یک مورد و بارش سال ۱۹۹۲ به‌عنوان داده پرت شناسایی شد که داده‌های بارش این مورد بررسی و بازنگری قرار گرفت.



شکل ۲- بررسی داده‌های پرت پارامترهای مورد بررسی ایستگاه خرم‌آباد

کارشناسی CCL/CLIVAR استفاده شده است (جدول ۱ و ۲).

هرچند استفاده از شاخص‌های حدی تعیین شده با محدودیت همراه است با وجود این مفید بودن این شاخص‌ها برای بررسی تغییرات اقلیمی و تعیین رویدادهای حدی اقلیمی در بسیاری از مطالعات انجام شده مورد تایید قرار گرفته است.

باتوجه به اینکه یکی از فرضیات مهم این تحقیق بررسی افزایش یا کاهش روند این شاخص‌ها است، از اینرو پس از محاسبه شاخص‌های اشاره شده، به منظور بررسی روند مقادیر این شاخص‌ها از آزمون من کندال استفاده شد. در آخر نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های حدی برای ایستگاه‌ها و نتایج محاسبه روند شاخص‌های حدی با استفاده از محیط‌های نرم افزاری متلب و آفیس بصورت نقشه و نمودار نشان داده شد.

پس از بررسی داده‌های پرت ایستگاه‌ها، آزمون ران تست (Run Test) برای تمامی ایستگاه‌ها و پارامترهای بارش، حداقل و حداکثر دما انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای این آزمون مشخص شد که فرض تصادفی بودن داده‌های ایستگاه‌های منتخب برای بارش طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۹۰ مورد تایید است، چراکه مقدار به دست آمده بیش از $0.05 > (0.05 \cdot \text{sig})$ درصد است. از اینرو فرضیه H_0 مورد قبول و تصادفی بودن داده‌ها تایید می‌شوند.

پس از بررسی ویژگی‌های داده‌ها و اطمینان از صحت آنها، ماتریس داده‌های روزانه بارش، حداقل دما و حداکثر دما برای هر یک از ایستگاه‌ها طی دوره آماری مشترک تهیه شد. سپس با برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب شاخص‌های فرین دما و بارش برای ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب کشور برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ محاسبه شدند. قابل ذکر است که در این تحقیق برای بررسی رخداد‌های فرین از شاخص‌های حدی بارش و دمای توصیه شده از سوی گروه

جدول ۱- لیست شاخص‌های حدی دمای توصیه شده به وسیله گروه کارشناسی CCL/CLIVAR

شاخص	معرفی شاخص	واحد
FD	تعداد روزهای یخبندان (دمای کمینه روزانه $0^\circ \text{C} >$) (Number of frost days)	days
SU25	تعداد روزهای تابستانی (دمای بیشینه روزانه) (25°C Summer days)	days
ID	تعداد روزهای یخی (دمای کمینه روزانه $0^\circ \text{C} >$) (Number of ice days)	days
TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای (دمای کمینه روزانه $20^\circ \text{C} <$) (Tropical nights)	days
TXx	بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (Maximum Tmax)	$^\circ \text{C}$
TNx	بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (Maximum Tmin)	$^\circ \text{C}$
TXn	کمینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (Minimum Tmax)	$^\circ \text{C}$
TNn	کمینه ماهانه دمای کمینه روزانه (Minimum Tmin)	$^\circ \text{C}$
GSL	طول فصل رویش	days
TX90P	روزهای گرم، درصد روزهایی که دمای بیشینه بیشتر از صدک نودم باشد (Warm days)	days
TN90P	شب‌های گرم، درصد روزهایی که دمای کمینه بیشتر از صدک نودم باشد (Warm nights)	days
TX10P	روزهای سرد، درصد روزهایی که دمای بیشینه کمتر از صدک دهم باشد (Cool days)	days
TN10P	شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای کمینه کمتر از صدک دهم باشد (Cool nights)	days
DTR	دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (Diurnal temperature range)	$^\circ \text{C}$
CSDI	نمایه طول مدت سرما، تعداد روزهایی که کمینه شش روز متوالی دمای کمینه کمتر از صدک دهم باشد (Cold spell duration index)	days
WSDI	نمایه طول مدت گرما، تعداد روزهایی که کمینه شش روز متوالی دمای بیشینه آن‌ها بیشتر از صدک نودم باشد (Warm spell duration index)	days

جدول ۲- لیست شاخص‌های حدی بارش توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCL/CLIVAR

واحد	معرفی شاخص	شاخص
mm	Max 1 day precipitation amount بیشینه بارش یک روزه	Rx 1 day
mm	Max 5 day precipitation amount بیشینه بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی	Rx 5 day
mm/day	Simple daily intensity index نمایه ساده شدت روزانه، بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب (PRCP ≥ 1.0mm) در سال	SDII
days	Number of heavy precipitation days RRij ≥ 10mm روزهای با بارش سنگین به معنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ده میلی‌متر	R10mm
days	Number of very heavy precipitation days RRij ≥ 20mm تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست میلی‌متر	R20mm
days	Number of days ≥ 25mm تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست و پنج میلی‌متر عبارت است از تعداد روزهایی که RRij ≥ 25mm	R25mm Rnn mm
days	Consecutive dry days روزهای خشک متوالی، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که RRij < 1mm	CDD
days	Consecutive wet days روزهای تر، بیشترین تعداد روزهای متوالی که RRij ≥ 1mm	CWD
mm	RR > 95 th percentile روزهای خیلی تر (Very wet days)، بارندگی کل سالانه هنگامی که بیشتر از صدک نود و پنج	R95p
mm	RR > 99 th percentile روزهای بیش از اندازه تر (Extremely wet days)، بارندگی کل سالانه هنگامی که بیشتر از صدک نود و نه	R99p
mm	PRCPTOTj = (RR ≥ 1mm) مقدار سالانه بارش در روزهای تر	PRCPTOT

نتایج و بحث

رخدادهای دمایی فرین گرم

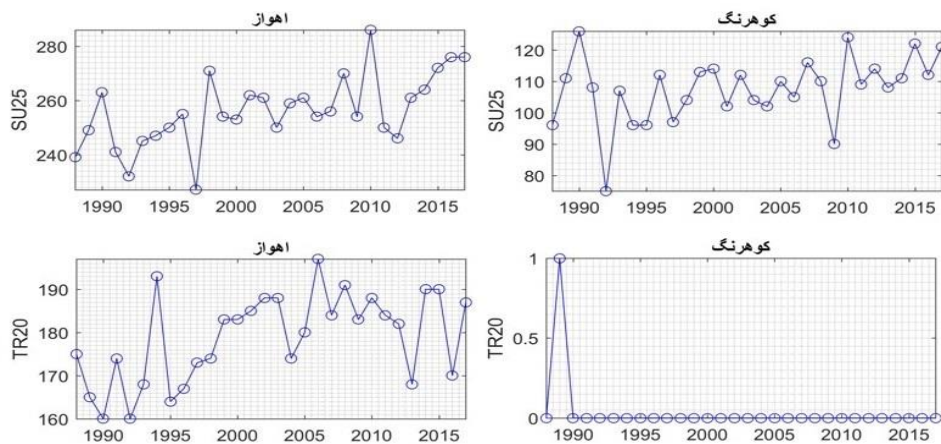
شاخص‌های حدی گرم شامل تعداد روزهای تابستانی با دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای با دمای حداقل بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد (TR20)، روزهای گرم درصد روزهایی که دمای حداکثر بیش از صدک نودم باشد (TX90P)، شب‌های گرم درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد (TN90P)، شاخص طول مدت گرما تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آن‌ها بیشتر از صدک نودم باشد (WSDI)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXX)، بیشینه ماهانه دمای روزانه (TNx) هست.

به‌طورکلی نتایج بررسی شاخص‌های حدی گرم نشان‌دهنده تابعیت رفتار این شاخص‌ها از موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی و محیطی منطقه پژوهش است. به‌طوری‌که در مناطق با ارتفاعات زیاد و عرض جغرافیایی بالاتر مقادیر این شاخص‌ها از کمترین مقدار و در مناطق پست و کم ارتفاع غرب و جنوب غرب این شاخص‌ها از بیشینه مقدار خود برخوردارند. بررسی نتایج حاصل از محاسبه فراوانی شاخص روزهای تابستانه (SU25) و شب‌های حاره‌ای (TR20) به‌خوبی تأثیر موارد ذکرشده در بالا را نشان می‌دهند (شکل ۳). به‌طوری‌که فراوانی رخداد آن‌ها از شرق و شمال شرق منطقه به‌طرف غرب و جنوب غرب همسو با کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد. شاخص SU25 از شایع‌ترین شاخص‌های حدی گرم است که در تمام مناطق غرب و جنوب غرب کشور امکان وقوع دارد و به‌طور متوسط مقدار این شاخص طی سال در سطح

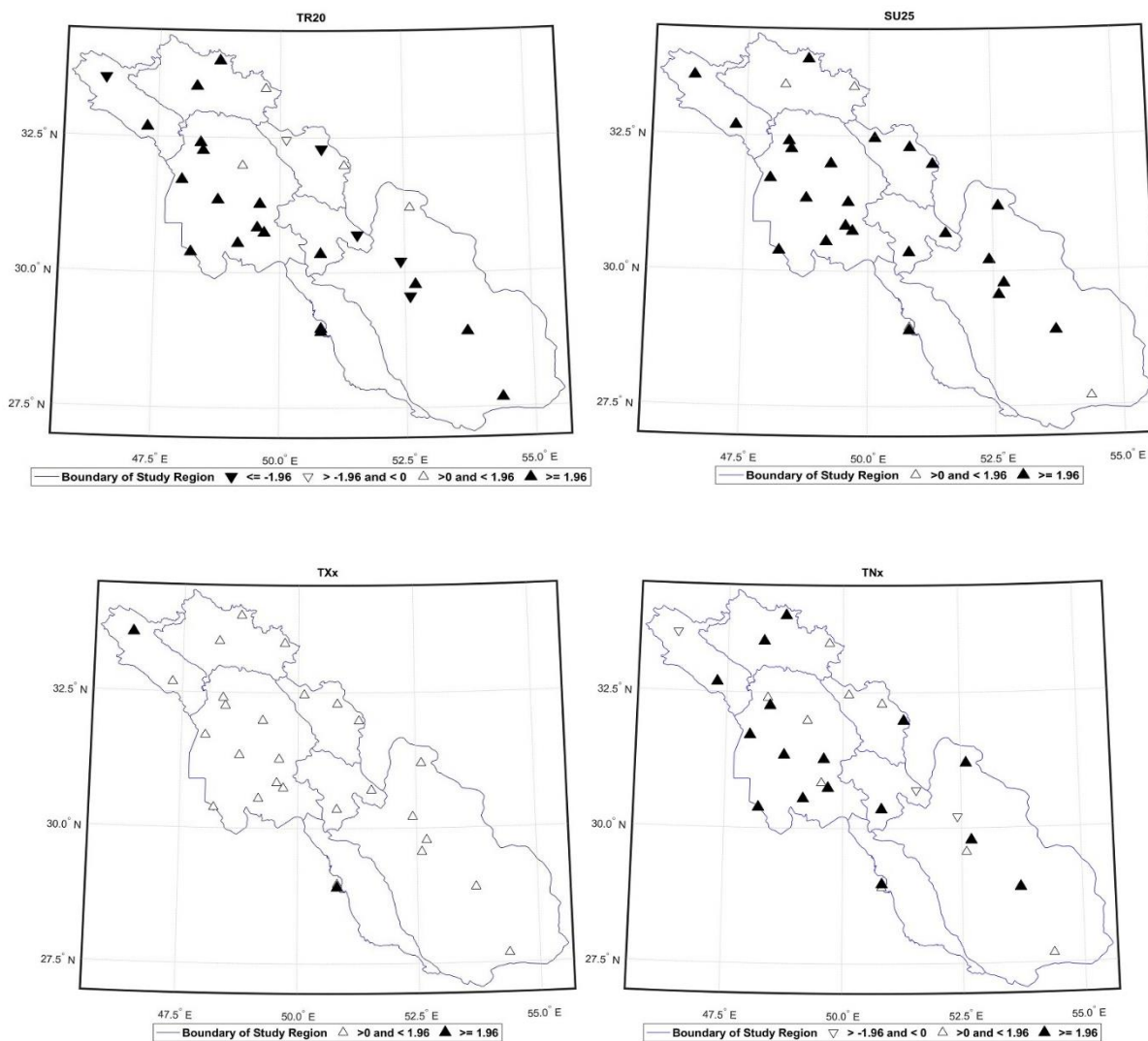
پژوهش در دوره مورد بررسی است (شکل ۴). شاخص ماندگاری هوای گرم (WSDI) هم به لحاظ الگوهای توزیع زمانی مکانی، توزیعی مشابه با دو شاخص قبل دارد و تحت تأثیر نقش ارتفاعات و فرا رفت هوای گرم ورودی بیشینه آن در قسمت های کم ارتفاع جنوب و غرب منطقه قابل مشاهده است. روند تغییرات زمانی این شاخص نیز در تمامی ایستگاه های منطقه صعودی و در حدود ۳۷ درصد از آنها صعودی معنی دار است. درخصوص رخداد شاخص های روزهای گرم (TX90P) و شب های گرم (TN90P) اختلاف مقادیری حداکثری این دو شاخص به ترتیب ۳۱/۷ و ۳۴/۲ درصد در سطح منطقه پژوهش برآورد شده است. به لحاظ روند تغییرات زمانی این دو شاخص، همان گونه که در شکل ۴ ملاحظه می شود، هر دو شاخص تقریباً حائز روند صعودی معنی دار (در سطح اعتماد ۹۵ درصد) در سطح کل منطقه هستند، که این مورد نیز حاکی از حاکمیت روند گرمایشی طی سال های اخیر در کل منطقه مورد نظر است. قابل ذکر است افزایش ناگهانی مقدار این شاخص ها در برخی از سال ها همانند سال ۲۰۱۰ در نتیجه افزایش تأثیرگذاری سامانه های همدمیدی کنترل کننده جو است.

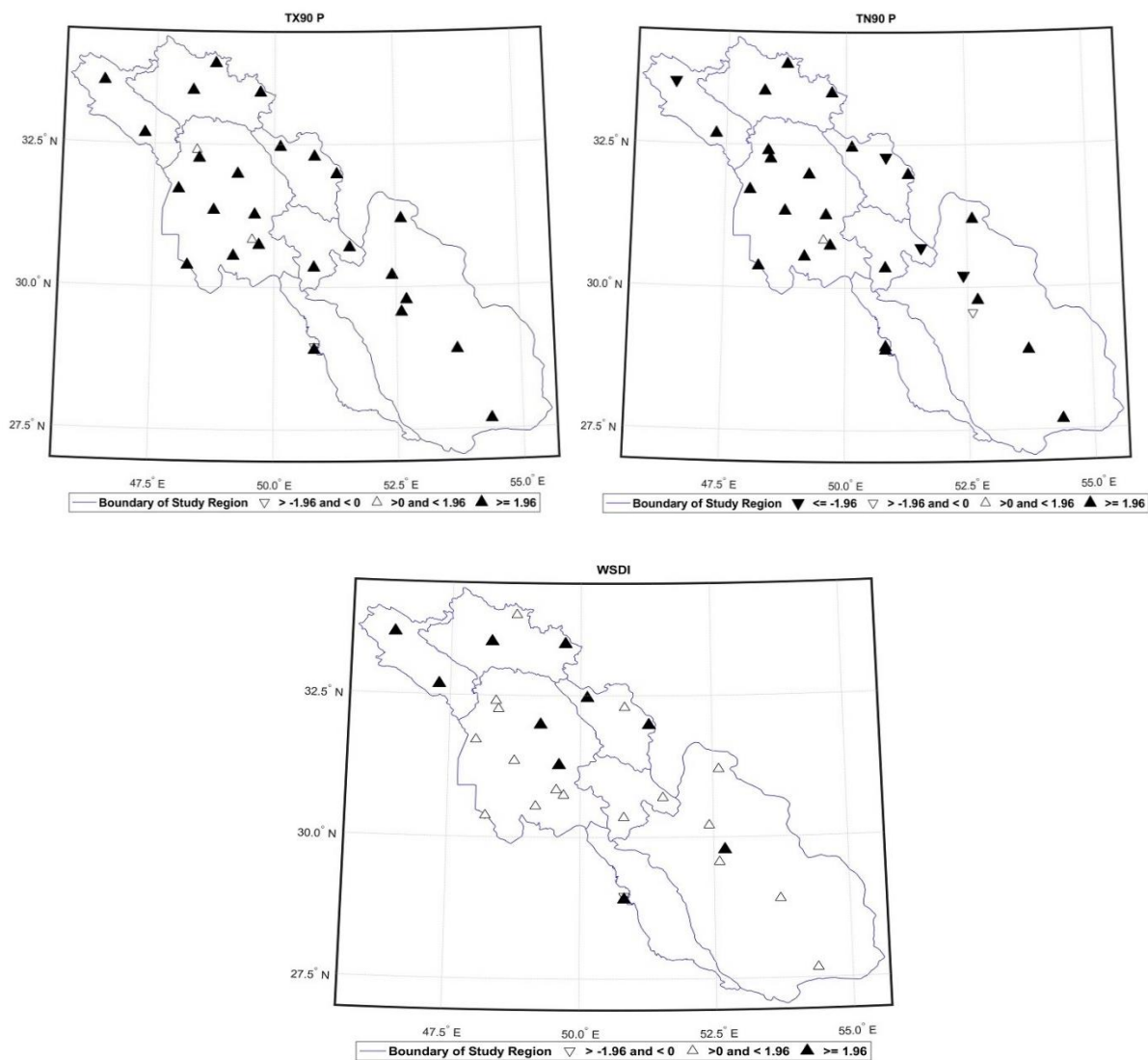
منطقه ۲۱۰ روز است. همچنین نتایج بیانگر اختلاف قابل توجه به بیشینه و کمینه مقدار این شاخص است که به طور متوسط به ۱۵۵ روز می رسد. بیشترین میانگین برای ایستگاه امیدیه ۲۶۲ روز و کمترین مقدار رخ داده مربوط به ایستگاه کوهرنگ ۱۰۸ روز محاسبه شده است. درحالی که رخداد شاخص TR20 (دمای حداقل روزانه بیشتر از ۲۰ درجه سانتی گراد) در قسمت های مرتفع منطقه پژوهش برای بیشتر سال ها صفر (ایستگاه های کوهرنگ، شهرکرد و بروجن) و یا کمتر از ده روز در سال (ایستگاه های آباده، یاسوج و الیگودرز) است. رخداد این شاخص برای مناطق کم ارتفاع غرب و جنوب در ایستگاه هایی مانند بوشهر، دهلران، مسجد سلیمان، اهواز، رامهرمز، آبادان و بندر ماهشهر بیش از ۱۶۰ روز در سال است. بیشینه این شاخص به مقدار ۲۳۱ روز در سال ۲۰۱۰ در ایستگاه بوشهر رخ داده است. در خصوص روند تغییرات زمانی این شاخص ها نکته قابل توجه روند صعودی این شاخص ها در غالب منطقه پژوهش است به استثنای پنج ایستگاه در استان های ایلام، فارس، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه که روند نزولی معنی داری داشته اند، نحوی پراکنش و روند تغییرات این شاخص ها در شکل (۴) قابل مشاهده است.

توزیع مکانی دو شاخص بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx) و بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در سطح استان لرستان به خوبی اثر تعدیلی ارتفاعات و همچنین فرارفت هوای گرم ورودی به منطقه غرب و جنوب غرب را نشان می دهد. به طوری که تحت تأثیر این عوامل بیشینه این دو شاخص در قسمت های کم ارتفاع غرب و جنوب غرب (ایستگاه های دهلران، رامهرمز، آبادان و اهواز) و کمینه آن ها در قسمت های مرتفع شمال و شرق (ایستگاه های شهرکرد، کوهرنگ و الیگودرز) منطقه ثبت شده است. روند تغییرات زمانی این دو شاخص نیز تقریباً در تمامی ایستگاه های مورد بررسی در دوره آماری مورد نظر (۱۹۸۸-۲۰۱۷) صعودی بوده، با این تفاوت که در رابطه با شاخص (TNx) این روند در غالب ایستگاه های هواشناسی، صعودی معنی دار بوده، اما در خصوص شاخص (TXx) این روند صعودی غیر معنی دار بوده است. بنابراین در کل روند تغییرات این دو شاخص حاکی از روند گرم شدن منطقه



شکل ۳- سری زمانی شاخص های SU25 و TR20 برای ایستگاههای گوه‌رنگ و اهواز





شکل ۴- روند تغییرات شاخص‌های حدی گرم برای ایستگاه‌های منتخب منطقه (دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۷)

بررسی مقادیر شاخص‌های حدی سرد نشان داد که این شاخص‌ها در سطح منطقه پژوهش عمدتاً تابعی از شرایط ناهمواری‌ها هستند. به طوری که رخداد این شاخص‌ها در دوره آماری مورد بررسی در مناطق مرتفع (مانند نواحی شرق و شمال شرق) مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده و نواحی پست و کم ارتفاع غرب و جنوب غرب منطقه پژوهش، عکس این حالت حکمفرما بوده است. از نظر زمانی، الگوی رفتار شاخص‌های سرد در سطح منطقه طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ برای بیشتر شاخص‌ها تا ابتدای سال ۲۰۰۰ از نظم بیشتری برخوردار است و الگوی منظمی دارند. نتایج بررسی فراوانی رخداد شاخص‌های روزهای یخبندان (fd) و روزهای یخی (id) نشان داد که رخداد این

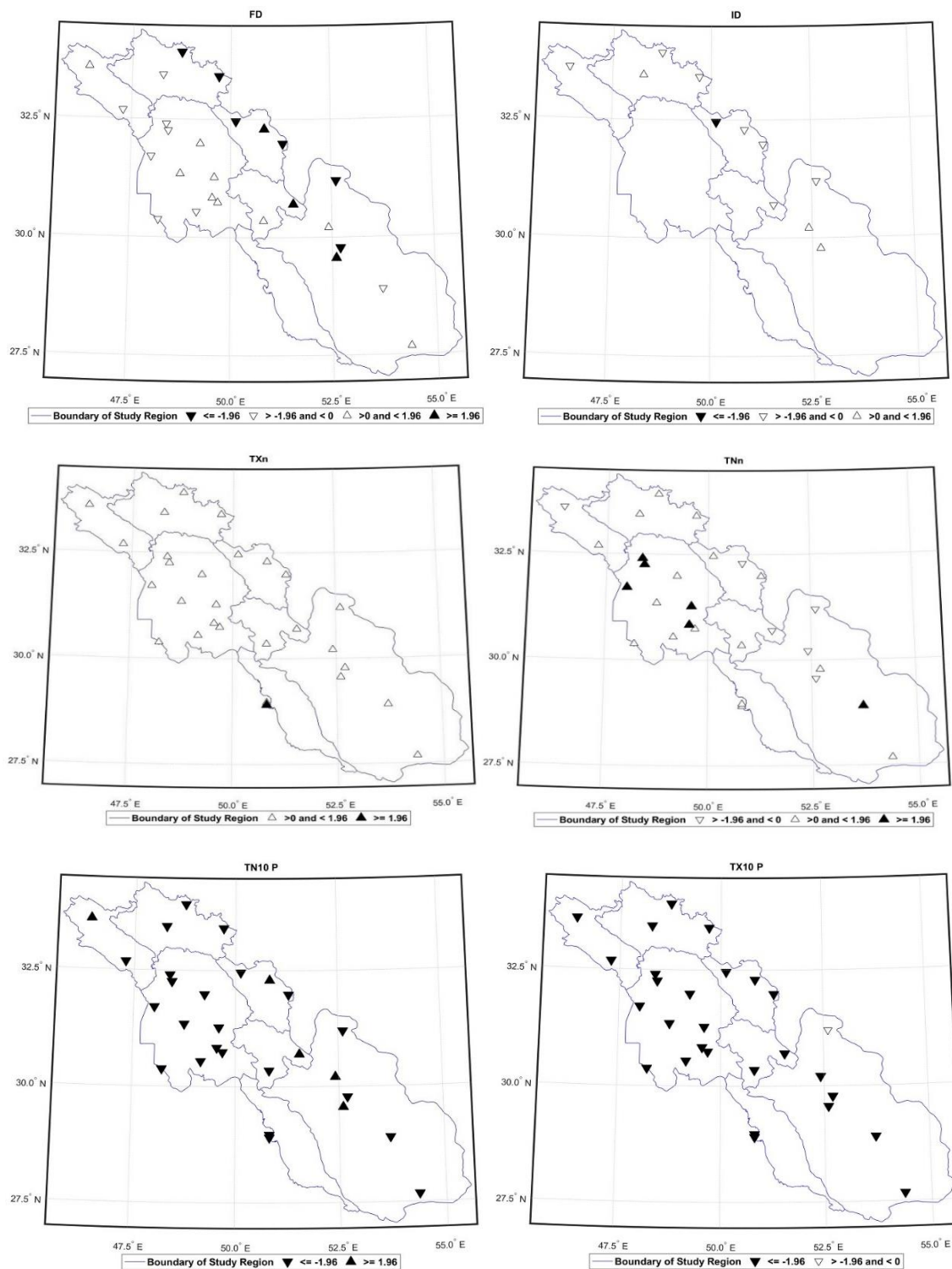
رخدادهای دمایی فرین سرد

شاخص‌های حدی سرد شامل تعداد روزهای یخبندان (FD)، تعداد روزهای یخی با دمای حداکثر زیر صفر درجه سانتی‌گراد (ID)، روزهای سرد درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدم دهم باشد (TX10P)، شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدم دهم باشد (TN10P)، شاخص طول مدت سرما، تعداد روزهای که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل آن‌ها کمتر از صدم دهم باشد (CSDI)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) می‌باشد.

شده‌اند. اما نکته مهم و قابل توجه در رابطه با این دو شاخص، بر خلاف چهار شاخص دمایی فرین سرد قبلی که مورد بررسی قرار گرفتند، روند نزولی و معنی دار این دو شاخص در کل منطقه پژوهش است. این روند نزولی معنی دار در حادث شدن دو شاخص فرین سرد می‌تواند گواه دیگری بر روند گرمایشی منطقه در دوره آماری مورد بررسی باشد. فراوانی وقوع شاخص CSDI که تداوم سرما را مورد سنجش قرار می‌دهد بیشتر متأثر از فرارفت هوای سرد ورودی به منطقه و ماندگاری آن قرار دارد. به همین دلیل فراوانی رخداد آن در برخی از سال‌ها همانند سال ۱۹۹۲، ۲۰۱۳ و ۱۹۸۸ به دلیل ورود سامانه‌های همدیدی سرد و در نتیجه ریزش هوای سرد عرض‌های بالایی برای اغلب ایستگاه‌های منطقه قابل توجه است.

بررسی چگونگی تغییرات زمانی رخداد شاخص‌های گرم طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ در سطح منطقه غرب و جنوب غرب کشور با استفاده از آزمون من کندال (در سطح اعتماد ۹۵ درصد) نشان داد که برای بیشتر ایستگاه‌ها در حالت کلی روند شاخص‌های گرم مانند شب‌های گرم، روزهای گرم، تعداد روزهای تابستانی، تعداد شب‌های حاره‌ای (شکل ۴) روند صعودی و افزایشی بوده است. در مقابل تغییرات زمانی رخداد شاخص‌های سرد با استفاده از آزمون من کندال (در سطح اعتماد ۹۵ درصد) نشان داد که برای بیشتر ایستگاه‌ها در حالت کلی روند شاخص‌های سرد مانند روزهای سرد، شب‌های سرد و تعداد روزهای همراه با یخبندان (شکل ۵) با روند نزولی و کاهش همراه بوده است. بنابراین نکته اصلی و مهمی که از بررسی کلی مجموع شاخص‌های حدی گرم و سرد در منطقه پژوهش برداشت می‌شود، حاکمیت روند گرمایشی در دوره آماری مورد نظر است. بررسی و تحلیل نقشه‌های ترسیم شده روند شاخص‌های حدی گرم و سرد در سطح منطقه غرب و جنوب غرب کشور حاکی از آن است که روندهای صعودی و نزولی شاخص‌های مورد بحث در نواحی مختلف منطقه پژوهش با شدت و ضعف متفاوتی رخ داده که عمدتاً ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی و محیطی مناطق مورد نظر است.

شاخص‌ها در درجه اول متأثر از ناهموازی‌ها است؛ زیرا وقوع آن‌ها در مناطق مرتفع شرق و شمال شرق (ایستگاه‌های کوه‌رنگ، شهرکرد، بروجن و الیگودرز) به بیشترین مقدار (۱۵۴ روز) و در نواحی پست غرب و جنوب غرب (ایستگاه‌های بوشهر، اهواز، رامهرمز و دهلران) به کمترین مقدار (صفر روز) می‌رسد. با توجه به تنوع توپوگرافی منطقه مورد نظر، رخداد این دو شاخص در سطح منطقه از نوسان زیادی برخوردار است، تا جائیکه اختلاف بیشترین و کمترین مقدار شاخص fd در سطح منطقه بیش از ۱۵۰ روز در سال است. روزهای یخبندان یا شاخص fd شایع‌ترین شاخص حدی سرد در منطقه است که به‌طور میانگین بیش از ۴۷ روز در سال اتفاق می‌افتد و برای مناطق کوهستانی حتی به حدود پنج ماه در سال می‌رسد. در مقابل شاخص روزهای یخی (id) رخداد زیادی در سطح منطقه پژوهش ندارد و در بیشتر مناطق امکان وقوع آن کمتر از یک روز در سال است. بیشینه این شاخص در ایستگاه کوه‌رنگ به ۴۳ روز در سال می‌رسد. روند تغییرات زمانی این دو شاخص طی دوره مورد نظر، همان گونه که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود از الگوی خاصی در سطح منطقه تبعیت نمی‌کند. توزیع شاخص‌های TNn و TXn کاملاً منطبق با توزیع دمای کمینه منطقه پژوهش است و پایین‌ترین مقادیر آن‌ها در مناطق مرتفع و کوهستانی (ایستگاه‌های کوه‌رنگ، بروجن و شهرکرد) که متأثر از فرارفت هوای سرد است مشاهده می‌شوند. بیشینه دمایی این دو شاخص هم به مناطق کم ارتفاع غرب و جنوب غرب (ایستگاه‌های بوشهر، دهلران و امیدیه) تعلق دارد. روند تغییرات زمانی این دو شاخص (TNn و TXn) برخلاف دو شاخص قبلی که فاقد روند و الگوی مشخص زمانی مکانی بودند، عمدتاً صعودی غیر معنی دار بوده است. نتایج حاصل از بررسی فراوانی رخداد شاخص‌های روزهای سرد (TX10p) و شب‌های سرد (TN10p) نشان داد که تفاوت قابل توجهی بین نواحی مختلف منطقه وجود ندارد و این دو شاخص به‌طور متوسط ۱۱ روز در سال طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ در مناطق مختلف محدوده پژوهش حادث



شکل ۵- روند تغییرات شاخص های حدی سرد برای ایستگاه های منتخب منطقه (دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۸)

میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی (Rx5day)، نمایه ساده شدت روزانه (SDII)، روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰

رخداد های حدی بارش

شاخص های حدی بارش بکار رفته در این پژوهش شامل حداکثر بارش یکروزه (Rx1day)، حداکثر بارش پنجروزه،

و از طرفی دیگر ورود توده هواهای مختلف با ویژگی‌های ترمودینامیکی متفاوت بر مقدار و الگوی بارش‌های دریافتی منطقه طی سال تأثیر قابل توجهی دارد. بر اساس نتایج حاصل از شاخص مقادیر مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله تغییرات بارشی منطقه از اواخر دهه هشتاد میلادی به‌ویژه سال ۱۹۹۸ به بعد قابل توجه است و مقدار بارش در بیشتر سال‌ها به کمتر از مقدار میانگین رسیده است با این وجود در برخی از سال‌ها مقدار مجموع بارش دریافتی نیز قابل توجه است.

بررسی مقادیر شاخص روزهای خیلی تر و بیش از اندازه تر (R95p, R99p) در سطح منطقه غرب و شمال غرب کشور که در واقع بیان‌کننده شدت بارش‌های دریافتی می‌باشد، مؤید این نکته است که در سطح منطقه، روزهای خیلی تر و بیش از اندازه تر در فصل بارش منطقه قابل توجه است. مقدار بارش دریافتی برای شاخص بیش از اندازه تر به‌طور متوسط ۱۸۳/۶ میلی‌متر و در سال‌های دارای این ویژگی بین ۵۴ (ایستگاه آبادان) تا ۵۴۷ میلی‌متر (برای ایستگاه کوه‌رنگ در سال ۲۰۰۵) متغیر است. روند این شاخص‌ها طی دوره مورد بررسی تقریباً برای تمامی ایستگاه‌های منطقه نزولی بوده و برای تعداد محدودی از ایستگاه‌ها (چهار ایستگاه در استان‌های خوزستان و ایلام) این روند صعودی روزهای مرطوب در سطح ۹۵ درصد معنی دار است. بررسی شاخص‌های روزهای تر و روزهای خشک متوالی (CDD, CWD) در سطح منطقه غرب و جنوب غرب کشور، حاکی از حرکت منطقه بطرف بری شدن و تشدید شرایط خشکی است، به گونه‌ای که روند تغییرات شاخص روزهای خشک متوالی در تمامی ایستگاه‌های منطقه صعودی غیر معنی دار بوده است. شاخص روزهای تر متوالی در تمامی ایستگاه‌های منطقه روند نزولی داشته که این روند در پنج ایستگاه در سطح ۹۵ درصد معنی دار بوده است.

نتایج بررسی شاخص‌های حداکثر بارش یک روزه و حداکثر بارش پنج روز متوالی (Rx1Day, Rx5day) نیز بیانگر حجم قابل توجه بارش دریافتی در سطح منطقه بر اساس این شاخص‌ها است، چراکه به‌طور متوسط حداکثر بارش یک روزه در سطح منطقه به‌طور متوسط ۱۰۸ میلی‌متر

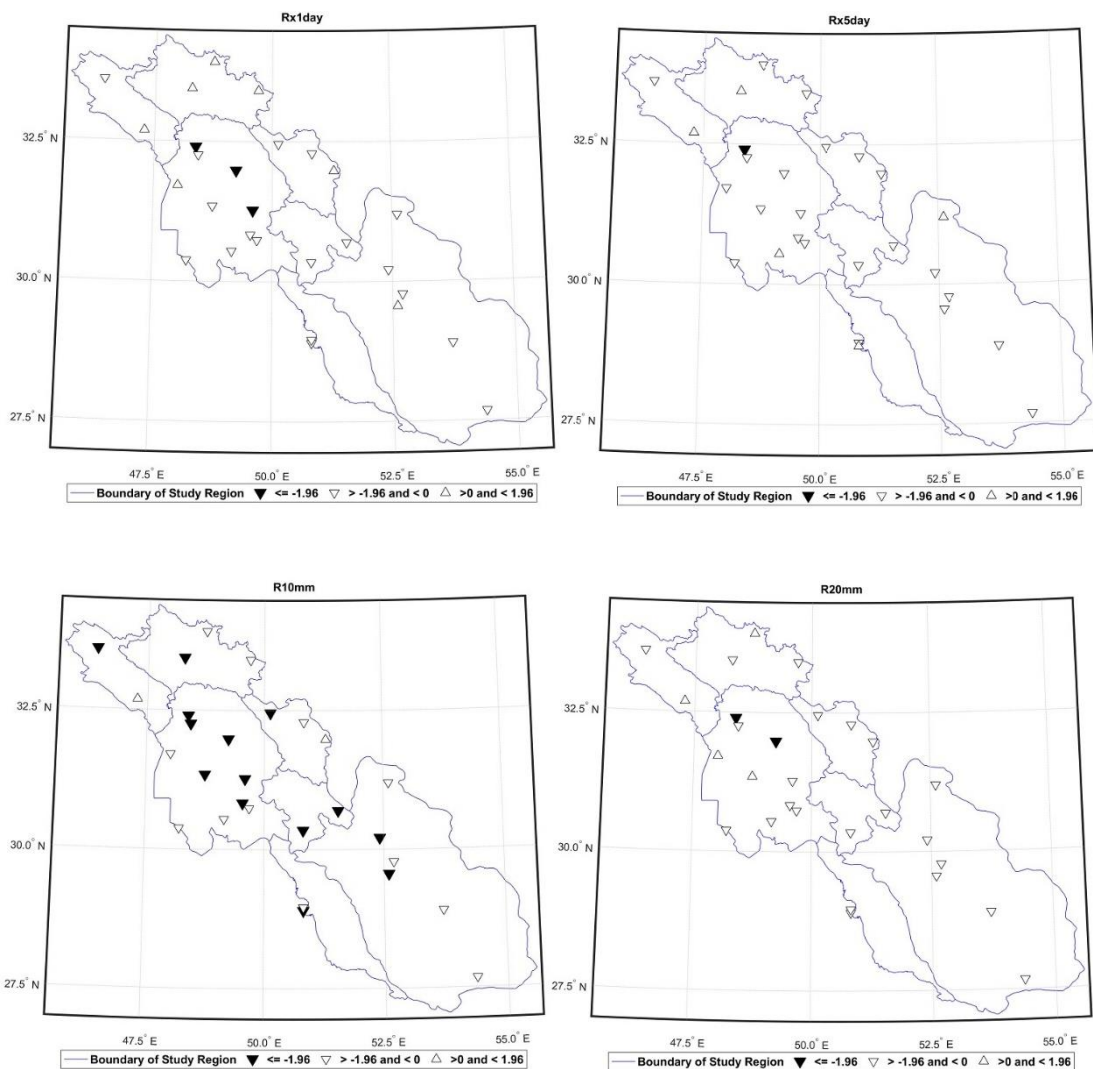
میلی‌متر (R10mm)، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست میلی‌متر (R20mm)، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست و پنج میلی‌متر (R25mm)، روزهای خشک متوالی (CDD)، روزهای تر (CWD)، روزهای خیلی تر (R95p)، روزهای بیش‌ازاندازه تر (R99p) و مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) هستند. بررسی چگونگی وقوع شاخص‌های حدی بارش در سطح منطقه نشان داد که در حالت کلی، رفتار بارش تحت تأثیر شرایط ناهمواری‌ها، موقعیت جغرافیایی و شرایط محیطی منطقه غرب و جنوب غرب کشور است.

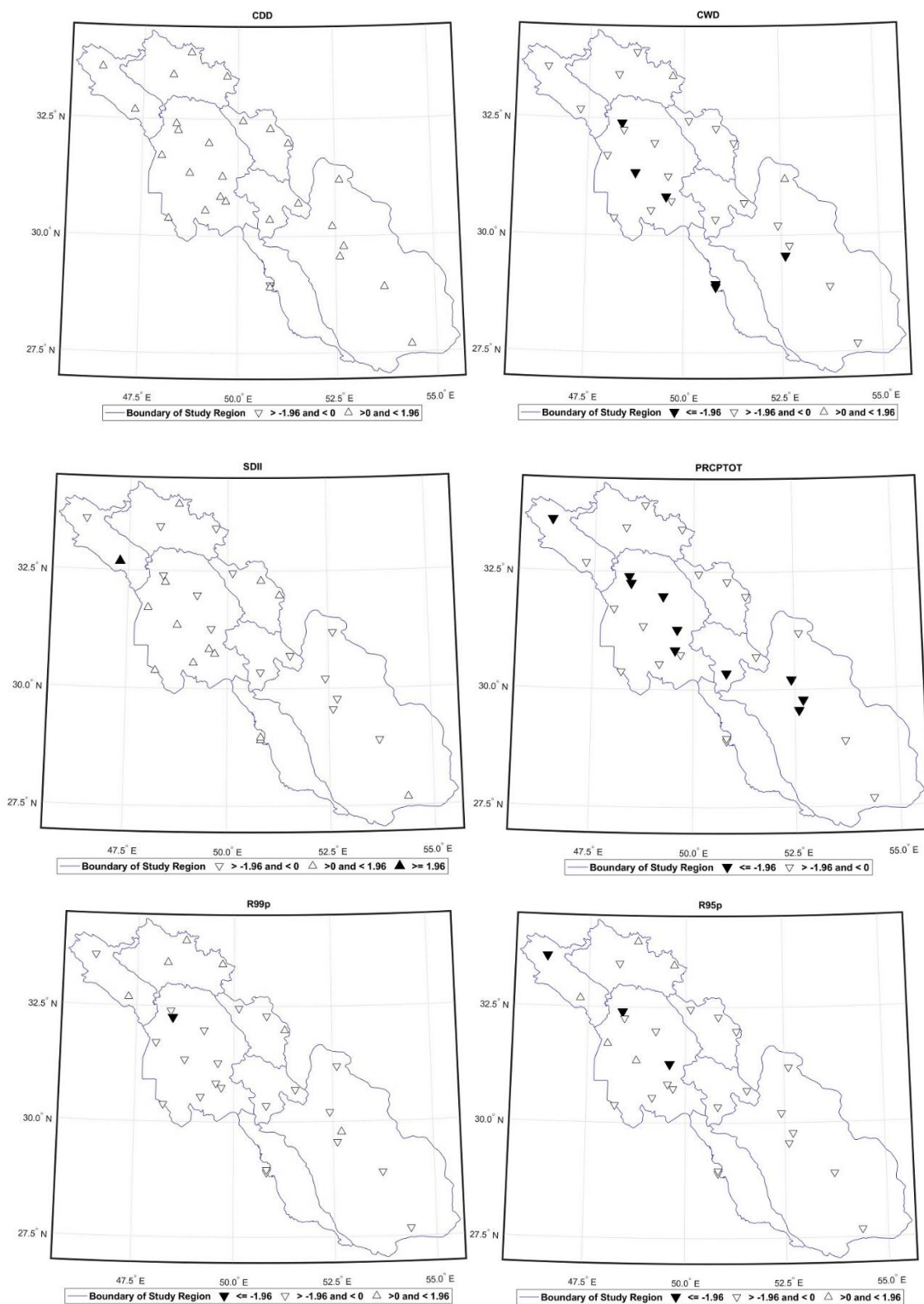
نتایج حاصل از بررسی فراوانی رخداد شاخص‌های حدی بارش منطقه پژوهش، نشان داد که در حالت کلی مجموع بارش سالانه و شاخص‌های حدی بارش‌های روزانه در ایستگاه‌های مختلف طی دوره بررسی ۲۰۱۷-۱۹۸۸) با کاهش همراه بوده‌اند. نتایج آماره Z من کندانل نیز مقادیر منفی و روند نزولی این آماره را برای مجموع بارش سالانه و حداکثر بارش‌های روزانه نشان می‌دهد (شکل ۶). نکته قابل توجه در روند نزولی مقادیر مجموع بارش سالانه منطقه پژوهش، عدم معنی‌داری روند منفی آن‌ها در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد برای غالب ایستگاه‌های منطقه است (نقشه‌های ارایه شده در سطح ۹۵ درصد معنی داری ترسیم شده‌اند) برای نمونه روند نزولی شاخص مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) در حدود ۳۶ درصد از ایستگاه‌های منطقه در سطح ۹۵ درصد معنی دار بوده است.

در حالیکه این روند نزولی معنی‌دار در پاره‌ای از شاخص‌های حدی بارش‌های روزانه، مانند تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ده میلیمتر (R10mm) در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های منطقه رخ داده است. قابل‌ذکر است که نبود معنی داری در روند منفی یا مثبت بارش برای بسیاری از نواحی کشور نیز در تحقیقات مختلف بیان شده است که این ویژگی از یک‌طرف به ماهیت پیچیده بارش و از طرف دیگر به ویژگی‌های متنوع جغرافیایی کشور ایران مربوط می‌شود. در منطقه غرب و جنوب غرب کشور نیز از یک‌طرف اختلاف ارتفاع قابل توجه

جنوب غرب کشور قابل توجه است، به طوری که طی سال تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی متر به طور متوسط ۱۹ روز و در حالت بیشینه ۴۹ (ایستگاه کوه رنگ) روز و برای شاخص تعداد روزهای با بارش های خیلی سنگین به طور متوسط ۱۱ روز و در حالت بیشینه ۳۴ (ایستگاه کوه رنگ) روز در سال است. روند تغییرات زمانی این دو شاخص نیز مانند شاخص های قبلی نزولی اما برای شاخص روزهای با بارش های سنگین (R10mm) در ۵۰ درصد از ایستگاه های منطقه معنی دار بوده است.

و در حالت بیشینه ۱۷۷ میلی متر (ایستگاه کوه رنگ) و برای شاخص حداکثر بارش پنج روز متوالی متوسط بارش دریافتی ۱۶۷ میلی متر و در حالت بیشینه ۳۴۷ (ایستگاه کوه رنگ) میلی متر است. روند تغییرات زمانی این دو شاخص نیز مانند شاخص های R95p, R99p, R20mm, PRCPTOT و CWD در غالب ایستگاه های سطح منطقه نزولی غیر معنی دار است. بررسی فراوانی مقادیر شاخص های تعداد روزهای با بارش های سنگین (۱۰ میلی متر) و خیلی سنگین (۲۰ میلی متر) در سال نیز نشان داد که تعداد روزهای همراه با این ویژگی های در غرب و





شکل ۶- روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش برای ایستگاه‌های منتخب منطقه (دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۸)

نتیجه گیری

این کاهش با توجه به دلایل مطرح شده در موارد زیادی از روند خاصی تبعیت نمی کند. در مقابل، بارش های حداکثری در عین اینکه مقادیر حدی قابل توجهی را نشان می دهند، طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ دارای روند نزولی بوده اند. این شرایط می تواند بیانگر افزایش بارش های شدید و کوتاه مدت و در مقابل کوتاه تر شدن فصل بارش منطقه باشد. نکته قابل تامل دیگر اینکه روند نزولی شاخص روزهای تر و روند صعودی شاخص روزهای خشک متوالی در سطح منطقه غرب و جنوب غرب کشور، می تواند حاکی از حرکت منطقه بطرف بری شدن و تشدید شرایط کم آبی باشد. نتایج این تحقیق در خصوص رخداد های حدی بارش تا حد زیادی با تحقیقات مشابه (همچون Klein Tank و همکاران، ۲۰۰۶؛ Im و همکاران، ۲۰۱۰؛ Jones و همکاران، ۲۰۱۲؛ Koozegaran و Mousavi Baigi، ۲۰۱۵) که بر افزایش بارش های حدی و کاهش مجموع بارش تأکید دارند، مطابقت دارد. در آخر باید خاطر نشان نمود که احتمال وقوع رخداد های فرین در گستره غرب و جنوب غرب کشور همواره وجود داشته، دارد و بررسی شاخص های حدی مورد نظر در این پژوهش حاکی از افزایش فراوانی وقوع این رخداد های فرین در سال های اخیر است. در نتیجه با توجه به پیامدهای خسارت بار ناشی از رخداد هایی فرین، همچون افزایش فراوانی وقوع یخبندان ها و سرمازدگی محصولات کشاورزی، خشکسالی، سیل و... می بایست به منظور کاهش حداکثری خسارات ناشی از این بلا یای جوی، رصد و پایش آنها بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد تا بتوان با اعمال مدیریت فعال و هوشمند، با سرعت بیشتری به طرف مدیریت ریسک و کاهش خطر حرکت نمود.

منابع

1. Aerenon, T., C. Tebaldi, B. Sanderson and J.F. Lamarque. 2018. Changes in a suite of indicators of extreme temperature and precipitation less than 1.5 and 2 degrees warming. *Environmental Research Letters*, 13 (3): 035009. doi.org/10.1088/1748-9326/aaafd6.
2. Alexander, L.V. and et al. 2006. *Global Observed Changes in Daily Climate*

نمایه های حدی اقلیمی نه تنها نقش مهمی در تجزیه و تحلیل وقایع اقلیمی در مقیاس منطقه ای و جهانی دارند، بلکه به مدلسازی اقلیمی و تصمیم گیران در ارزیابی اثرات بخش های متنوع نیز کمک می نماید. بررسی و تحلیل های انجام شده در این پژوهش در رابطه با شاخص های حدی گرم و سرد حاکی از تابعیت رفتار دما های حدی گرم و سرد از موقعیت جغرافیایی، شرایط محیطی و ناهمواری های منطقه غرب و جنوب غرب کشور است. به طوری که در مناطق با ارتفاعات زیاد و عرض جغرافیایی بالاتر (استان های لرستان، چهار محال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد و شمال و شمال شرق استان فارس)، مقادیر شاخص های حدی گرم از کمترین و مقادیر شاخص های حدی سرد از بیشترین مقدار و در مناطق پست و کم ارتفاع غرب و جنوب غرب منطقه، شاخص های گرم از بیشینه مقدار و شاخص های سرد از کمینه مقدار برخوردارند. بررسی و تحلیل روند شاخص های حدی نشان داد که در سطح منطقه پژوهش رخداد پدیده های حدی گرم در حال افزایش و رخداد پدیده های حدی سرد در حال کاهش است که یکی از دلایل اصلی این شرایط افزایش گرمایش جهانی به ویژه از اواخر دهه ۱۹۹۰ است؛ نتایج این تحقیق در رابطه با رخداد های حدی دمایی، با نتایج تحقیقات (Zhang و همکاران، ۲۰۰۵؛ Alexander و همکاران، ۲۰۰۶؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۲؛ Varshavian و همکاران، ۲۰۱۱؛ Miri و Rahimi، ۲۰۱۵؛ Karimi و همکاران، ۲۰۱۸) که به بررسی شاخص های حدی دمایی پرداختند، مطابقت دارد. در تحقیقات فوق الاشاره نیز بر روند افزایشی شاخص های حدی گرم و روند کاهشی شاخص های حدی سرد تأکید شده است. بنابراین ضروری است که در سطوح مختلف مدیریتی، به منظور مقابله با پیامدهای احتمالی افزایش دما و رخداد های حدی گرم دمایی، تصمیمات و برنامه های پیشگیرانه برای مناطق مختلف درگیر اتخاذ و عملیاتی شود. بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی فراوانی رخداد و روند شاخص های حدی بارش در سطح منطقه، می توان ادعا نمود که همانند بسیاری از نواحی کشور مجموع بارش منطقه نیز با کاهش مواجه شده است که البته

- changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 and 2009. *International Journal of Climatology* 33(5):1178-1194. doi:10.1002/joc.3503.
13. Karimi, M., F. Sotoudeh and S. Rafati. 2018. The Trend Analysis and Forecasting of Extreme Temperature Parameters in Southern Part of the Caspian Sea. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 18 (48): 93-79.
 14. Klein Tank, A.M.G. and et al. 2006. Changes in Daily Temperature and Precipitation Extremes in Central and South Asia. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 19(111). Doi: 10.1029/2005JD006316.
 15. Koozegaran, S. and M. Mousavi Baigi. 2015. Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. *Journal of Water and Soil*, 29 (3): 764-750.
 16. Lucio, P. S., A. M. Silva, and A.I. Serrano. 2010. Changes in occurrences of temperature extremes in continental Portugal: a stochastic approach. *Meteorological Applications*, 17(4): 404-418.
 17. Miri, M. and M. Rahimi. 2015. Spatial and Temporal Trend Analysis of Temperature Parameters in Iran. *Geographical Journal of Territory*, 12(47): 65-79.
 18. Miri, M., J. Masoompour Samakosh, T. Razi, A. Jalilian, and M. Mahmodi. 2021. Spatial and Temporal Variability of Temperature in Iran for the Twenty-First Century Foreseen by the CMIP5 GCM Models. *Pure and Applied Geophysics*, 178:169-184.
 19. Mistry, M. N. (2019). A high-resolution global gridded historical dataset of climate extreme indices. *Data*, 4(1), 41.
 20. Mohammadi, H., G. Azizi and F. KhoshAkhlagh. 2017. The Trend Analysis of Extreme daily precipitation Indices in Iran. *Natural Geography Research*, (1) 49: 37-21.
 21. Mónica, S. and F. Santos. 2011. Trends in extreme daily precipitation indices in Northern of Portugal. *Geophysical Research Abstracts*, 13: EGU2011-11285. doi: 10.1002/joc.1834.
 22. Mozafari, G.A. and S. Shafiei. 2016. Temporal-spatial Analysis of Rainfall Days Frequency Trend of Western IRAN Regions. *Geographical Quarterly of Sarzamin*, 13 (52): 94-77.
 23. Peterson, T.C., M.A. Taylor, R. Demeritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson, A. Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R. Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111(5): 1-22. Doi: 10.1029/2005JD006290.
 3. Alexander, L.V. and J.M. Arblaster. 2017. Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes*, 15:34-56. doi.org/10.1016/j.wace.2017.02.001
 4. Alijani, B. and H. Farajzadeh. 2015. Trend Analysis of Extreme Temperature Indices in the North West of Iran. *Journal of Geography and Planning*, 19 (52): 256-229.
 5. An, A., Y. Du, R. Berndtsson, Z. Niu, L. Zhang and F. Yuan. 2019. Evidence of climate shift for temperature and precipitation extremes across Gansu Province in China. *Theoretical and Applied Climatology*, 139: 1137-1149. doi.org/10.1007/s00704-019-03041-1.
 6. Borna, R. and E. Hassanzadeh ShahRezaei. 2016. Extreme Climate Events Analysis and Assessment of Khuzestan Province by Mann Kendall Method. *Geography (Regional Planning)*, 6 (3): 7-18.
 7. Cooper, R.T. 2019. Projection of future precipitation extremes across the Bangkok Metropolitan Region. *Heliyon*, 5(5): e01678. doi.org/10.1016/j.heliyon. 2019. e01678.
 8. Dannenberg M. P., Wise E. K., and Smith W. K. 2019. Reduced tree growth in the semiarid United States due to asymmetric responses to intensifying precipitation extremes. *Science advances*, 5(10): eaaw0667.
 9. Erfanian, M., H. Ansari, A. Alizadeh and M. BanayanAval. 2017. Estimation of Relationship between Frequency-Duration and Return Period of Extreme Climatic Events in Khorasan Razavi Province. *Geographical researches quarterly journal*, 32 (1):37-50.
 10. Gupta, S., Gupta, A., Himanshu, S.K., Singh, R., (2020). Analysis of the Extreme Rainfall Events Over Upper Catchment of Sabarmati River Basin in Western India Using Extreme Precipitation Indices, In *Advances in Water Resources Engineering and Management* (pp 103-111): Springer.
 11. Im, E.S., I.W. Jung and D.H. Bae. 2011. The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. *International Journal of Climatology*, 31(1): 72-86.
 12. Jones, M. R., H. J. Fowler, C.G. Kilsby and S. Blenkinsop. 2012. An assessment of

27. Rao, X., X. Lu and W. Dong. 2019. Evaluation and Projection of Extreme Precipitation over Northern China in CMIP5 Models. *Atmosphere*, 10(11): 691. Doi: 10.3390/atmos10110691.
28. Varshavian, V., A. Khalili, N. Ghahraman and S. Hojam. 2011. Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 37 (1): 179-169.
29. Zarin, A., and A. Dadashi Rudbari. 1400. The effect of climate change on Iran's heavy rains using the multi-model ensemble. *Journal of Water and Sustainable Development*, (4): 119-124.
30. Zhang, X. 2005. The trend in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research*, 110: D22104. DOI: 10.1029/2005JD006181.
31. Zhao, C., W. Wang and W. Xing. 2012. Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*, 28: 604-607.
- Semexant Fils, A. Klein Tank, A. Martis, R. Warner, A. Joyette, W. Mills, L. Alexander, and B. Gleason. 2002. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D21): 1-19. doi.org/10.1029/2002JD002251.
24. Pińskwar, I., Choryński, A., Graczyk, D., Kundzewicz, Z.W., (2019). "Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990", *Theoretical and Applied Climatology* (135), Pp 773-787.
25. Rahimzadeh, F. 2005. Investigation of changes in Extreme Precipitation values in Iran, *Journal of Nivar*, 30 (59), 7-20.
26. Rahimzadeh, F., A. Asgari and E. Fattahi. 2008. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology*, 29: 329_343, doi.org/10.1002/joc.1739