نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۵، شماره ۱، ۱۴۰۲، صفحات ۲۷-۴۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 15, Issue 1, 2023, Pages 27-41
DOI:10.22092/IJWMSE.2022.354926.1905

آشکارسازی تغییر اقلیم در استان لرستان با استفاده از شاخص‌های حدی

مهران زند[1*]، مرتضی میری[2] و محمدرضا کوثری[3]

[1] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [2و3] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

شناسایی رخدادهای فرین از نظر زمانی و مکانی در یک منطقه طی دوره مشخص می‌تواند نقش مهمی در مدیریت و کنترل پیامدهای ناشی از این رخدادها داشته باشد. هدف این پژوهش، بررسی رخدادهای فرین دما و بارش استان لرستان است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارش، بیشینه و کمینه دمای روزانه نه ایستگاه سینوپتیک استان لرستان طی دوره آماری مشترک ۲۸ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) است. محاسبه شاخص‌های حدی (۲۶ شاخص حدی بارش و دما بر اساس توصیه گروه کارشناسی CCL/CLIVAR) با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار R انجام و روند تغییرات هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون من‌کندال بررسی شد. نتایج بررسی روند رخداد شاخص‌های حدی سرد و گرم نشان داد که برای تمامی ایستگاه‌ها در حالت کلی، روند شاخص‌های گرم با افزایش و روند بیشتر شاخص‌های سرد با کاهش همراه شده است. بین شاخص‌های حدی گرم، بیشترین روند افزایشی به‌ترتیب برای شاخص شب‌های گرم و روزهای گرم رخ داده است. روند افزایشی برای شب‌های گرم تمامی ایستگاه‌ها در سطح ۹۹ درصد و برای شاخص روزهای گرم در ۲۳ درصد ایستگاه‌ها در سطح ۹۵ درصد و برای ۷۷ درصد در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. بین شاخص‌های حدی سرد، بیشترین کاهش برای روزهای یخبندان و روزهای سرد رخ داده است. روند کاهشی روزهای یخبندان برای ۴۵ درصد از ایستگاه‌ها در سطح ۹۹ درصد و روند کاهشی روزهای سرد برای ۷۷ درصد از ایستگاه‌ها در سطوح مختلف ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. نتایج حاصل از بررسی فراوانی رخداد و روند شاخص‌های حدی بارش نشان داد که مجموع بارش این استان همانند بسیاری از مناطق کشور با کاهش مواجه شده است. در مقابل، وقوع بارش‌های حداکثری علاوه‌بر این‌که در سطح استان قابل توجه است، طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ روند افزایشی داشته‌اند. این شرایط می‌تواند بیانگر افزایش بارش‌های شدید و کوتاه مدت و در مقابل کوتاه‌تر شدن فصل بارش منطقه باشد.

واژه‌های کلیدی: بارش، دما، روزهای سرد، روزهای گرم، شب‌های سرد

مقدمه

افزایش رخدادهای حدی آب و هوایی، یکی از پیامدهای مهم گرم شدن کره زمین است. گرم شدن و ادامه روند افزایشی درجه حرارت کره زمین و به تبع افزایش رخدادهای فرین‌های اقلیمی، تاثیرات عمیقی در سراسر جهان بر جوامع انسانی، اکوسیستم‌ها و محیط زیست می‌گذارد (Zhou و همکاران، 2014). رویدادهای حدی اقلیمی در مقایسه با متوسط‌های اقلیمی تغییرات معنی‌دارتری در محیط طبیعی و

* مسئول مکاتبات: Mehran.lashanizand@gmail.com

انسانی ایجاد می‌کنند و به‌دلیل پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی- اجتماعی فاجعه بار مورد توجه عموم مردم یک جامعه، دولت و جوامع دانشگاهی هستند (Donga و همکاران، 2019).

بخش قابل توجهی از مطالعات در حوزه تغییر اقلیم، صرفاً در پی آشکارسازی روندهای پتانسیلی یا نوسانات در میانگین طولانی مدت علایم اقلیمی است. اما مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی نیز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Garnaut، 2008). با توجه به پیامدهای زیاد فرین‌های اقلیمی، هیات بین‌الدول تغییر اقلیم یک تیم متخصص از مرکز هدلی را برای درک تغییرات شدید اقلیمی تحت عنوان تیم تحقیقاتی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها، به‌منظور بررسی مشکلات ناشی از رویدادهای حدی و محاسبه شاخص‌های حدی سازماندهی کرد (Houghton و همکاران 2001؛ Peterson و همکاران 2002). 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. Peterson و همکاران (2002)، 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.

Matthes و همکاران (2009)، 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 معنی‌داری برخوردار نیستند. Klein Tank و همکاران (2006)، 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، آنها نشان دادند که روند افزایشی دمای کمینه بیش از دمای بیشینه در منطقه جنوب و مرکز آسیا است. Im و همکاران (2011)، ویژگی‌های زمانی و مکانی روند شاخص‌های حدی کره جنوبی را بین سال‌های ۲۱۰۰-۱۹۷۱ بررسی کرده و نشان دادند که شاخص‌های مربوط به دمای کمینه روند افزایشی و شاخص‌های مربوط به دمای بیشینه روند خاصی را در برابر گرمایش کره زمین نشان نمی‌دهند.

Zhao و همکاران (2012)، شاخص‌های حدی روزانه و شبانه طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ و نمایه‌های فرین دما 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 شبانه‌روزی از روند منفی معنی‌داری 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 معنی‌داری دارند. Alexander و Arblaster (2017)، با بررسی روند داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده دما و بارش استرالیا با استفاده از داده‌های مجموع مدل CMIP5[1] نشان دادند که طی دوره تاریخی روند افزایشی قابل توجهی در دماهای شدید در ارتباط با گرمایش جهانی وجود دارد، در حالی‌که برای بارش شدید روند کمی مشاهده می‌شود. نتایج شاخص‌های حدی نشان داد که به‌طور قابل توجهی دماهای شدید افزایش و دماهای فرین سرد کاهش پیدا می‌کنند.

Donga و همکاران (2019)، با بررسی هفت شاخص حدی بارش و دما 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. علاوه‌بر تحقیقات ذکر شده می‌توان به مطالعات Rahimzadeh و همکاران (2008)، Zhou و همکاران (2014)، Aerenson و همکاران (2018)، Hong و Ying (2018)، Alexander و همکاران (2006)، Cooper (2019)، Rao و همکاران (2019)، Miri و

[1] Coupled Model Intercomparison Project 5

همکاران (2021) و غیره که به بررسی رویدادهای فرین اقلیمی در دوره تاریخی و آینده با استفاده از داده‌های ایستگاهی و مجموعه مدل‌های CMIP5 پرداخته‌اند، نیز اشاره کرد.

بر اساس مطالعات انجام شده، فرین‌های اقلیمی در مناطق مختلف جهان رخ می‌دهند. با وجود این، مناطق خشک و نیمه‌خشک در برابر پیامدهای آن‌ها آسیب‌پذیرتر 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. Borna و Hassanzadeh ShahRezaei (2016)، روند رویدادهای حدی اقلیمی استان خوزستان را با استفاده از روش من‌کندال 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.

Erfanian و همکاران (2017)، در پژوهشی به برآورد روابط فراوانی-تداوم-دوره بازگشت نمایه‌های فرین (حدی) اقلیمی در نقاط مختلف استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های 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، در تداوم‌های پایین، مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. این روند، به‌طورکلی، در سایر نمایه‌ها نیز دیده شده است. Karimi و همکاران (2018)، در پژوهشی روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر را با استفاده از مدل‌های SDSM[1] و من‌کندال بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای هر سه ایستگاه مورد مطالعه روند مثبت و معنی‌داری در کمینه و بیشینه 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 Rahimzadeh (2005)، Alijani و Farajzadeh (2015)، Miri و Rahimi (2015)، Mozafari و Shafiei (2016) و Mohammadi و همکاران (2017) نیز در این زمینه اشاره کرد. بررسی تحقیقات نشان داد، طی سالیان گذشته، به‌ویژه در ۱۰ سال اخیر، پژوهشگران زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه بررسی رخدادهای فرین اقلیمی در مناطق مختلف جهان با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پرداخته‌اند و شاخص‌های توصیه شده از سوی گروه کارشناسی CCL/CLIVAR[2]، مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفته است.

پیشینه تحقیق ارائه شده، تاییدکننده این مطالب است که در خارج از کشور تغییرات مکانی و زمانی رخدادهای فرین اقلیمی با استفاده از شاخص‌های حدی هم در دوره تاریخی و هم برای آینده به‌خوبی مورد مطالعه قرار گرفته، اما در داخل ایران رخدادهای فرین دمایی تنها به‌صورت موردی و 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 بارش و دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان طی یک دوره طولانی‌مدت، شرایط رخدادهای فرین بارش و دما در سطح این استان بررسی شود.

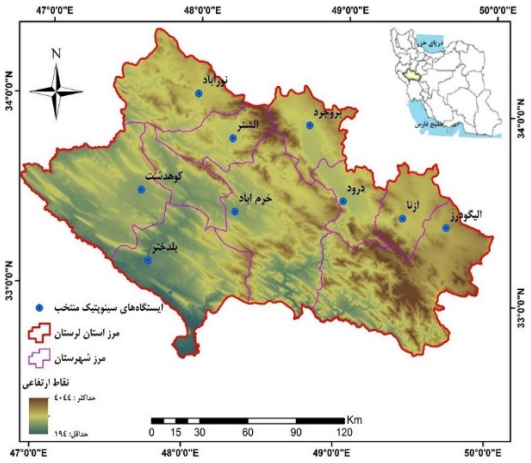
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش: منطقه مورد مطالعه در بر گیرنده استان لرستان در غرب ایران است. این استان با مساحت ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در غرب ایران، ۱/۷ درصد از کل مساحت کشور را شامل می‌شود. استان لرستان بین عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه شرقی قرار

[1] Statistical DownScaling Model

[2] Commission for Climatology (CCl)/ Climate Variability and Predictability (CLIVAR)

گرفته است. استان لرستان، از شمال به استان‌های مرکزی و همدان، از جنوب به استان خوزستان، از شرق به استان اصفهان و از غرب به استان‌های کرمانشاه و ایلام محدود شده است. شکل ۱، موقعیت استان لرستان به تفکیک شهرستان در ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت استان لرستان و توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب به تفکیک شهرستان

داده‌ها: داده‌های مورد استفاده برای انجام این پژوهش، شامل داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰ است. 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 برداشت نمی‌شود و یا در حال حاضر غیرفعال و یا تبدیل وضعیت شده‌اند، از این‌رو، در این پژوهش، تنها از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است.

روش کار: برای دستیابی به هدف این 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 استان لرستان از شروع تأسیس 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 استان لرستان نشان داد که در این استان، تعداد ۱۶ ایستگاه سینوپتیک تاسیس شده است که در حال حاضر ایستگاه‌های ریمله و بدرآباد لرستان غیرفعال هستند و طول دوره آماری این دو ایستگاه به کمتر از ۲۰ سال می‌رسد. از این‌رو، در مرحله اول، این دو ایستگاه از فهرست ایستگاه‌های مورد بررسی حذف شدند. در بین ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان، ایستگاه‌های خرم‌آباد، الیگودرز، کوهدشت و بروجرد از طول دوره آماری ۳۰ سال و بیشتر برخوردارند و سایر ایستگاه‌های استان طول دوره آماری کمتر از ۳۰ سال و در برخی موارد کمتر از ۲۰ سال دارند.

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 ۲۸ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) انتخاب شد. قابل ذکر است، با توجه به این‌که طی این دوره مشترک برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک استان از طول دوره آماری مناسبی برخوردار نبودند، از این‌رو، با استفاده از روش نسبت نرمال و در نظر گرفتن ایستگاه‌های اطراف استان لرستان و حوضه دز، بازسازی داده‌ها برای زمان‌های فاقد آمار انجام شد. پس از بازسازی داده‌های ناقص طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۹۰ برای ایستگاه‌های استان لرستان، تعداد نه ایستگاه سینوپتیک به‌عنوان ایستگاه‌های منتخب در سطح استان برای بررسی شاخص‌های فرین انتخاب شدند (شکل۱).

پس از انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه، آزمون ران‌تست[1] برای تمامی ایستگاه‌ها و پارامترهای بارش، کمینه و بیشینه دما انجام شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از اجرای این آزمون، مشخص شد که فرض تصادفی بودن داده‌های ایستگاه‌های منتخب برای بارش طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۹۰ مورد تأیید است. چرا که مقدار به‌دست آمده بیش از ۰/۰۵ (sig>۰/۰۵) درصد است. از این‌رو، فرضیه H_0 مورد قبول و تصادفی بودن داده‌ها تأیید می‌شوند.

پس از بررسی ویژگی‌های داده‌ها و اطمینان از صحت آن‌ها، ماتریس داده‌های روزانه بارش، کمینه دما و بیشینه دما برای هر یک از ایستگاه‌ها طی دوره آمار

[1] Run Test

مشترک تهیه شد و با استفاده از افزونه rclimdex در محیط نرم‌افزار R پدیده‌های فرین رخ داده در اقلیم لرستان برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ محاسبه شدند. قابل ذکر است که در این تحقیق، برای بررسی رخدادهای فرین از شاخص‌های حدی بارش و دمای توصیه‌شده از سوی گروه کارشناسی CCL/CLIVAR استفاده شده است (جدول ۱). 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 تأیید قرار گرفته است.

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

شاخص	معرفی شاخص	واحد
FD	تعداد روزهای یخبندان (دمای کمینه روزانه $< 0\ ^\circ C$) (Number of frost days)	days
SU25	تعداد روزهای تابستانی (دمای بیشینه روزانه) (25 ° Summer days)	days
ID	تعداد روزهای یخی (دمای کمینه روزانه $<0\ ^\circ C$) (Number of ice days)	days
TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای (دمای کمینه روزانه $> 20^\circ C$) (Tropical nights)	days
TXx	بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (Maximum Tmax)	° C
TNx	بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (Maximum Tmin)	° C
TXn	کمینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (Minimum Tmax)	° C
TNn	کمینه ماهانه دمای کمینه روزانه (Minimum Tmin)	° 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)	° 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

باتوجه به این‌که یکی از فرضیات مهم این تحقیق بررسی افزایش یا کاهش روند این شاخص‌ها است، از این‌رو، پس از محاسبه شاخص‌های اشاره‌شده، به‌منظور بررسی روند مقادیر این شاخص‌ها از آزمون من‌کندال استفاده شد. در آخر، نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های حدی برای ایستگاه‌ها و نتایج محاسبه روند شاخص‌های حدی با استفاده از محیط‌های نرمافزاری ArcGIS و آفیس به‌صورت نقشه، نمودار و جدول نشان داده شد.

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

شاخص	معرفی شاخص	واحد
Rx1day	بیشینه بارش یک روزه Max1day precipitation amount	mm
Rx5day	بیشینه بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی Max5day precipitation amount	mm
SDII	نمایه ساده شدت روزانه، بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب (PRCP>=1.0mm) در سال Simple daily intensity index	mm/day
R10mm	روزهای با بارش سنگین به معنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ده میلی‌متر RRij >=10mm Number of heavy precipitation days	days
R20mm	تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست میلی‌متر RRij >=20mm Number of very heavy precipitation days	days
R25mm Rnn mm	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 Number of days >=25mm	days
CDD	روزهای خشک متوالی، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که RRij <1mm Consecutive dry days	days
CWD	روزهای تر، بیشترین تعداد روزهای متوالی که RRij >=1mm Consecutive wet days	days
R95p	روزهای خیلی تر (Very wet days)، بارندگی کل سالانه هنگامی که بیشتر از صدک نود و پنجم $RR>95^{th}$ percentile	mm
R99p	روزهای بیش از اندازه تر(Extremely wet days)، بارندگی کل سالانه هنگامی که بیشتر از صدک نود و نهم $RR>99^{th}$ percentile	mm
PRCPTOT	مقدار سالانه بارش در روزهای تر PRCPTOTj =(RR>=1mm)	mm

نتایج و بحث

رخدادهای دمایی فرین گرم: در جدول ۳، نتایج میانگین فراوانی رخداد شاخص‌های حدی گرم طی دوره مشترک (۲۰۱۷-۱۹۹۰) برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سطح استان لرستان ارائه شده است. به‌طور کلی، نتایج شاخص‌های گرم نشان‌دهنده تابعیت رفتار دماهای حدی گرم از موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی و محیطی استان لرستان است. به‌طوری که در مناطق با ارتفاعات زیاد و عرض جغرافیایی بالاتر مقادیر این شاخص‌ها از کمترین مقدار و در مناطق پست و کم ارتفاع جنوب و جنوب غرب استان این شاخص‌ها از بیشینه مقدار خود برخوردارند. بررسی نتایج حاصل از محاسبه فراوانی شاخص روزهای تابستانه (SU25) و شب‌های حاره‌ای (TR20) به‌خوبی تاثیر موارد ذکرشده در بالا را نشان می‌دهند. به‌طوری که فراوانی رخداد آن‌ها از شمال به جنوب همسو با کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد.

شاخص SU25، از شایع‌ترین شاخص‌های حدی گرم است که در تمام مناطق استان لرستان امکان وقوع دارد و به‌طور متوسط مقدار این شاخص طی سال در سطح استان ۱۶۰ روز است. همچنین، نتایج بیانگر اختلاف قابل توجه به بیشینه و کمینه مقدار این شاخص است که به‌طور متوسط به ۸۰ روز می‌رسد. در حالی‌که رخداد شاخص TR20 (دمای کمینه روزانه بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد) در قسمت‌های مرتفع استان لرستان برای بیشتر سال‌ها صفر است و رخداد آن تنها برای ایستگاه پلدختر در جنوب غرب استان لرستان قابل توجه است و به‌طور متوسط به ۱۵۰ روز در سال می‌رسد.

توزیع مکانی دو شاخص بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (TXx) و بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (TNx) در سطح استان لرستان به‌خوبی اثر

تعدیلی ارتفاعات و همچنین، فرارفت هوای گرم ورودی به استان را نشان می‌دهد. به‌طوری که تحت تاثیر این عوامل بیشینه این دو شاخص در قسمت‌های کم ارتفاع و کمینه آن‌ها در قسمت‌های مرتفع استان ثبت شده است.

شاخص ماندگاری هوای گرم (WSDI) نیز توزیعی مشابه با این دو شاخص دارد و تحت تاثیر نقش ارتفاعات و فرارفت هوای گرم ورودی بیشینه آن‌ها در قسمت‌های کم ارتفاع جنوب و غرب استان قابل مشاهده است. رخداد شاخص‌های روزهای گرم (TX90P) و شب‌های گرم (TN90P) اختلاف قابل توجهی در سطح استان وجود ندارد. به‌طوری‌که حداکثر اختلاف بین روزهای گرم در نقاط مختلف استان لرستان بین یک تا ۱/۵ درصد است و رخداد این شاخص در نقاط مختلف استان لرستان بین ۱۰ تا ۱۱ درصد متغیر است. از نظر زمانی الگوی رفتاری آن‌ها در تمامی ایستگاه طی دوره مورد مطالعه از نظم بیشتری نسبت به سایر شاخص پیروی می‌کند و در سال‌های همراه با افزایش و کاهش این رفتار برای تمامی ایستگاه قابل مشاهده است. قابل ذکر است، افزایش ناگهانی مقدار این شاخص‌ها در برخی از سال‌ها همانند سال ۲۰۱۰، در نتیجه افزایش تاثیرگذاری سامانه‌های همدیدی کنترل‌کننده جو است.

جدول ۳- میانگین شاخص‌های حدی گرم مورد استفاده طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰

ایستگاه	SU25	TN90P	TNx	Tr20	TX90P	TXx	WSDI
الشتر	۱۵۵	۱۰	۲۱	۱	۱۱	۳۹	۸
الیگودرز	۱۳۴	۱۰	۲۳	۸	۱۱	۳۷	۱۰
ازنا	۱۴۳	۱۱	۲۲	۴	۱۱	۳۸	۱۱
بروجرد	۱۵۵	۱۱	۲۴	۲۴	۱۱	۴۰	۸
درود	۱۶۰	۱۱	۲۶	۴۴	۱۱	۴۰	۹
خرم‌آباد	۱۸۳	۱۰	۲۶	۲۴	۱۱	۴۳	۸
کوهدشت	۱۷۹	۱۰	۲۳	۸	۱۱	۴۲	۱۱
نورآباد	۱۳۱	۱۰	۲۰	۱	۱۱	۳۷	۹
پلدختر	۲۱۱	۱۱	۳۴	۱۵۰	۱۱	۴۷	۱۰

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

بررسی مقادیر شاخص‌های حدی سرد نشان داد که این شاخص‌ها در سطح استان لرستان تابعی از شرایط توپوگرافی و پارامتر کمینه دمایی هستند. در جدول ۴، نتایج میانگین فراوانی رخداد شاخص‌های حدی سرد طی دوره مورد مشترک (۲۰۱۷-۱۹۹۰) برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سطح استان لرستان ارائه شده است. بررسی مقادیر شاخص‌های حدی سرد نشان داد که از نظر مکانی این شاخص‌ها در سطح استان لرستان تابعی از شرایط توپوگرافی و توزیع مکانی پارامتر کمینه دما هستند. به‌طوری‌که رخداد آن‌ها در مناطق مرتفع (مثل نواحی شمالی استان) بیشتر است.

از نظر زمانی، الگوی رفتار شاخص‌های سرد در سطح استان لرستان طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ 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 شاخص‌ها در درجه اول متاثر از توپوگرافی است. زیرا وقوع آن‌ها در مناطق مرتفع شمال استان (ایستگاه‌های نورآباد،

درود و الیگودرز) به بیشترین مقدار و در جنوب غرب و جنوب استان لرستان (ایستگاه‌های پلدختر و کوهدشت) به کمترین مقدار می‌رسد. با توجه به تنوع توپوگرافی استان لرستان، رخداد این دو شاخص در سطح استان از نوسان زیادی برخوردار است و اختلاف بیشینه و کمینه مقدار آن بیش از ۱۰۰ روز در سال است.

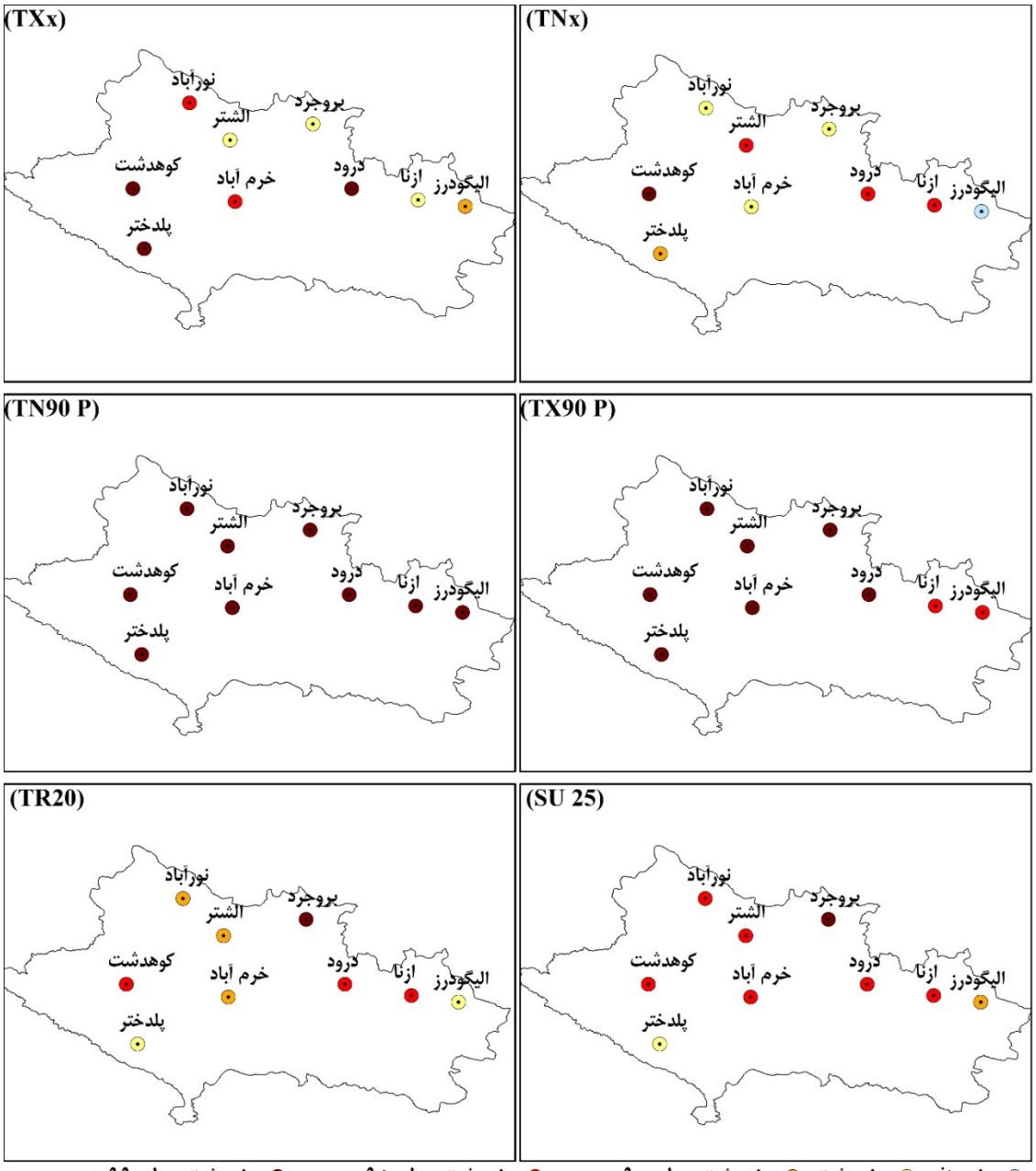
روزهای یخبندان یا شاخص fd شایع‌ترین شاخص حدی سرد در استان لرستان است که به‌طور میانگین در این استان بیش از ۷۴ روز در سال اتفاق می‌افتد و برای مناطق کوهستانی حتی به سه ماه در سال می‌رسد. در مقابل این، شاخص روزهای یخی رخداد زیادی در سطح استان لرستان ندارد و در بیشتر مناطق امکان وقوع آن کمتر از پنج روز در سال است. بیشینه این شاخص در مناطق مرتفع استان لرستان به ۱۰ روز در سال می‌رسد. توزیع شاخص‌های tnn و txn کاملاً منطبق با توزیع دمای کمینه استان است و پایین‌ترین مقادیر آن‌ها در مناطق مرتفع و کوهستانی که متاثر از فرارفت هوای سرد است، مشاهده می‌شوند. بیشینه دمایی این دو شاخص هم به جنوب و جنوب غرب استان لرستان تعلق دارد.

نتایج حاصل از بررسی فراوانی رخداد شاخص‌های روزهای سرد (tx10p) و شب‌های سرد (tn10p) نشان داد که تفاوت قابل توجهی بین مناطق مختلف استان لرستان وجود ندارد و این دو شاخص به‌طور متوسط ۱۰ روز در سال طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ در مناطق مختلف استان اتفاق افتاده‌اند. فراوانی وقوع شاخص CSDI که تداوم سرما را مورد سنجش قرار می‌دهد، بیشتر متاثر 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 و ۲۰۰۸ به دلیل ورود سامانه‌های همدیدی سرد و در نتیجه ریزش هوای سرد عرض‌های بالایی برای تمامی ایستگاه‌های استان قابل توجه است. به‌عنوان مثال طی سال ۲۰۰۸ بالا بودن فراوانی دوره سرما در نتیجه رخداد سامانه بلاکینگ بر روی ایران و ریزش هوای سرد عرض‌های بالایی باعث تحت تاثیر قرار دادن بیشتر نقاط کشور در دی‌ماه (ژانویه) و منجر به تعطیلی بسیاری از دانشگاه، مراکز دولتی و خصوصی شد.

جدول ۴- میانگین فراوانی شاخص‌های حدی سرد مورد استفاده طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰

شاخص	الشتر	الیگودرز	ازنا	بروجرد	درود	خرم‌آباد	کوهدشت	نورآباد	پلدختر	میانگین
CSDI	۴	۲	۳	۱	۲	۵	۴	۴	۳	۳
FD0	۱۱۶	۹۶	۱۰۹	۶۵	۴۷	۵۰	۷۲	۱۱۰	۳	۷۴
ID	۲	۷	۱۰	۵	۴	۰	۰	۸	۰	۴
TN10P	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰
TNn	-۱۵/۸۲	-۱۵/۸۰	-۱۹/۹۰	-۱۲/۹۲	-۱۰/۸۷	-۷/۴۰	-۹/۶۱	-۱۸/۲۷	-۰/۹۸	-۱۲/۴۰
TX10P	۱۰/۲۷	۱۰/۰۹	۱۰/۳۴	۱۰/۲۱	۱۰/۳۴	۱۰/۱۰	۱۰/۴۹	۱۰/۴۸	۱۰/۴۴	۱۰/۳۱
TXx	-۰/۰۱	-۳/۸۳	-۵/۱۴	-۲/۷۸	-۱/۷۱	۳/۲۱	۲/۵۷	-۳/۹۲	۶/۷۱	-۰/۵۴

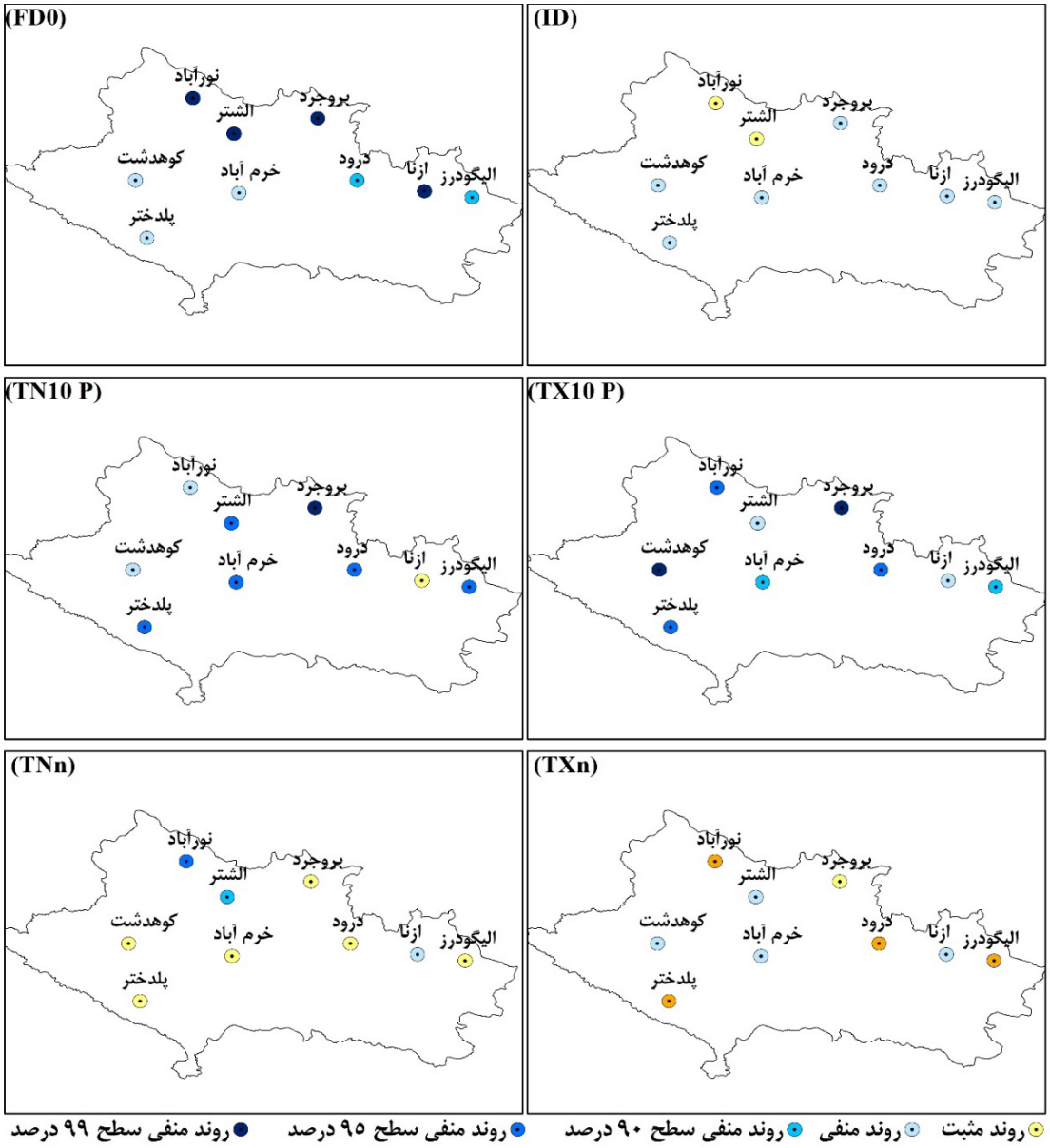
بررسی روند رخداد شاخص‌های سرد و گرم طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ در سطح استان لرستان با استفاده از آزمون من‌کندال نشان داد که برای بیشتر ایستگاه‌ها در حالت کلی روند شاخص‌های گرم، مانند شب‌های گرم، روزهای گرم، تعداد روزهای تابستانی (شکل ۲) با افزایش و روند شاخص‌های سرد، مانند تعداد روزهای همراه با یخبندان، روزهای سرد و شب‌های سرد (شکل ۳) با کاهش همراه بوده است. روند مثبت و منفی شاخص‌های گرم و سرد در نقاط مختلف استان و برای شاخص‌های مختلف با شدت و ضعف متفاوتی رخ داده است چراکه بررسی مقادیر آماره Z من‌کندال نشان داد که روند افزایشی و کاهشی در سطوح مختلف ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد، معنی‌دار هستند.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص‌های حدی گرم برای ایستگاه‌های منتخب منطقه (دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰)

رخدادهای حدی بارش: در جدول ۵، نتایج میانگین فراوانی رخداد شاخص‌های حدی بارش طی دوره مشترک (۲۰۱۷-۱۹۹۰) برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سطح استان لرستان ارائه شده است. در این جدول، بیشینه بارش یک روزه (Rx1day)، بیشینه بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی (Rx5day)، نمایه ساده شدت روزانه (SDII)، روزهای با بارش سنگین به معنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (R10mm)، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر (R20mm)، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۵ میلی‌متر (R25mm)، روزهای خشک متوالی (CDD)، روزهای تر (CWD)، روزهای خیلی تر (R95p)، روزهای بیش از اندازه تر (R99p) و مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) شاخص‌های حدی بارش هستند. بررسی فراوانی رخداد شاخص‌های بارش نشان داد که در حالت کلی، رفتار بارش تحت

تاثیر شرایط توپوگرافی و شرایط محیطی استان لرستان است.



شکل ۳- روند تغییرات شاخص‌های حدی سرد برای ایستگاه‌های منتخب منطقه (دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰)

جدول ۵- میانگین فراوانی شاخص‌های حدی بارش مورد استفاده طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰

شاخص	الشتر	الیگودرز	ازنا	بروجرد	درود	خرم‌آباد	کوهدشت	نورآباد	پلدختر	میانگین
prcptot (mm)	۴۶۳/۰۵	۳۸۱/۸۰	۴۰۷/۷۴	۴۵۶/۵۵	۶۰۶/۰۵	۴۶۱/۱۶	۳۸۶/۴۰	۴۵۶/۴۵	۳۷۴/۳۳	۴۴۳/۷۳
RX1day (mm)	۴۳/۷۸	۴۰/۲۱	۴۰/۱۸	۴۹/۲۴	۶۱/۱۲	۴۹/۵۱	۴۱/۰۶	۳۹/۵۱	۴۶/۳۸	۴۵/۶۷
RX5day (mm)	۷۹/۰۴	۶۸/۹۲	۶۹/۸۱	۸۲/۹۷	۱۰۲/۳۶	۸۷/۰۸	۶۴/۶۲	۷۱/۹۳	۷۱/۵۶	۷۷/۵۹
R10mm (day)	۱۵	۱۳	۱۴	۱۵	۱۹	۱۶	۱۲	۱۵	۱۲	۱۵
R20mm (day)	۵	۵	۵	۶	۹	۶	۵	۵	۵	۶
R95pmm (mm)	۱۰۵/۹۹	۸۶/۴۴	۹۳/۱۹	۱۱۱/۱۱	۱۵۱/۶۳	۱۰۱/۸۹	۸۵/۸۱	۱۰۳/۸۲	۹۰/۰۵	۱۰۳/۳۳
sdii (mm)	۸/۳۸	۸/۲۷	۸/۱۴	۹/۱۳	۱۰/۳۸	۹/۵۶	۸/۰۸	۷/۹۲	۸/۹۸	۸/۷۶
cdd (day)	۱۳۵	۱۲۸	۱۳۱	۱۳۳	۱۳۴	۱۴۴	۱۴۹	۱۳۲	۱۵۲	۱۳۷
cwd (day)	۵	۵	۵	۵	۶	۵	۵	۶	۵	۵

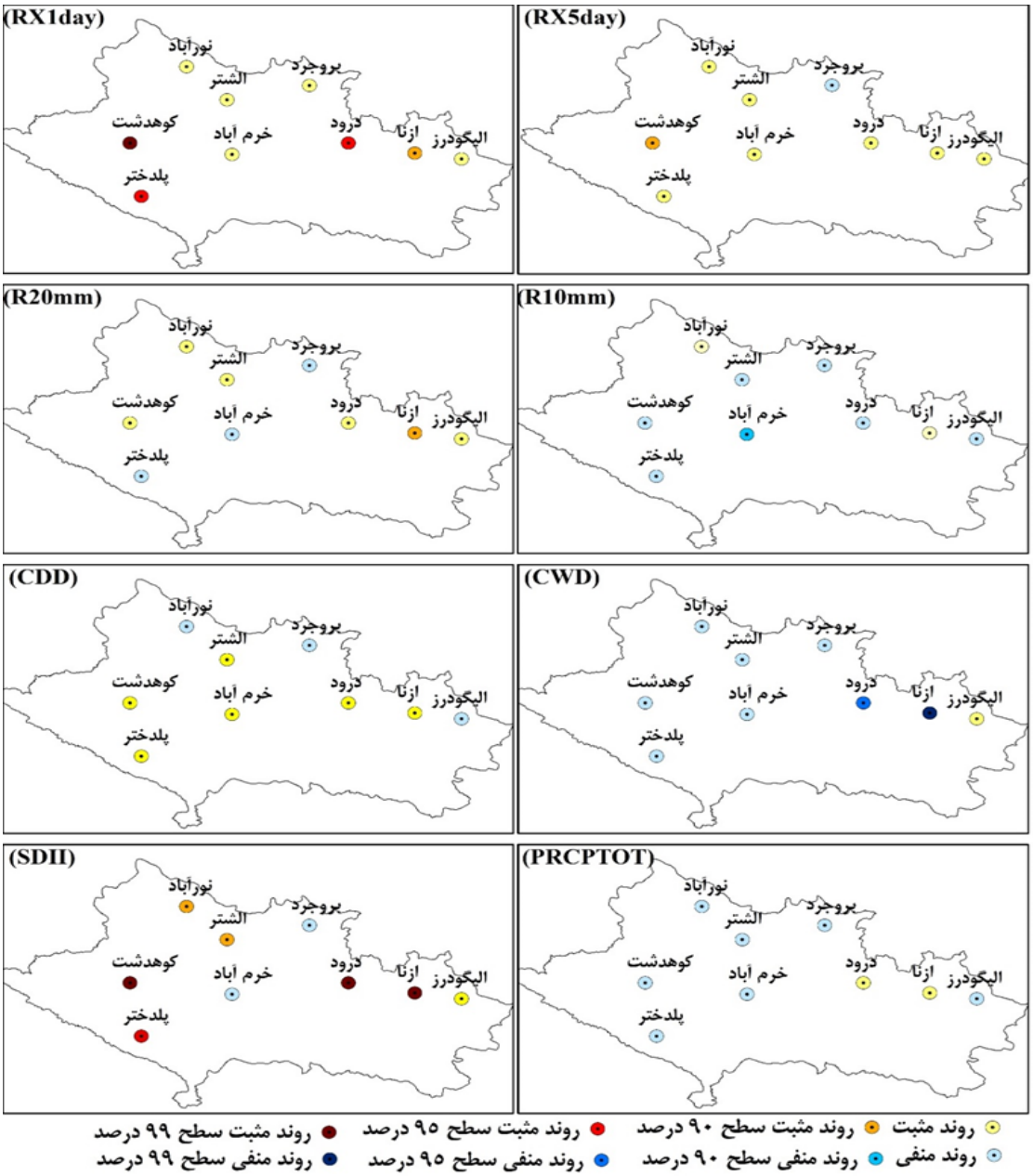
نتایج حاصل از بررسی فراوانی رخداد شاخص‌های حدی بارش استان لرستان طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ نشان داد که در حالت کلی، مجموع بارش سالانه استان در ایستگاه مختلف همراه با کاهش و در مقابل شاخص حدی بارش‌های روزانه افزایش یافته است. نتایج آماره Z من‌کندال نیز بیانگر مقادیر منفی این آماره برای مجموع بارش سالانه (شکل ۴) و مقادیر مثبت برای بیشینه بارش‌های روزانه است. نکته قابل توجه در روند منفی مقادیر مجموع بارش سالانه استان لرستان، عدم معنی‌داری روند منفی آن در سطوح مختلف ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد است.

قابل ذکر است که نبود معنی‌داری در روند منفی یا مثبت بارش برای بسیاری از نواحی کشور نیز در تحقیقات مختلف بیان شده است که این ویژگی از یک طرف به ماهیت پیچیده بارش و از طرف دیگر، به ویژگی‌های متنوع جغرافیایی کشور ایران مربوط می‌شود. در استان لرستان نیز اختلاف ارتفاع قابل توجه و ورود توده هواهای مختلف با ویژگی‌های ترمودینامیکی متفاوت بر مقدار بارش دریافتی استان طی سال تاثیر قابل توجهی دارد. بر اساس نتایج حاصل از شاخص مقادیر مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های مختلف، طی دوره ۲۸ ساله تغییرات بارشی استان لرستان از اواخر دوره ۱۹۹۰ 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 مرطوب و بی‌نهایت مرطوب در سطح استان لرستان که در واقع بیان‌کننده شدت بارش‌های دریافتی است، مؤید این نکته است که در سطح استان لرستان روزهای مرطوب و بی‌نهایت مرطوب در فصل بارش استان قابل توجه است. مقدار بارش دریافتی برای شاخص روزهای مرطوب به‌طور متوسط ۱۰۳ میلی‌متر و برای روزهای بی‌نهایت مرطوب در سال‌های دارای این ویژگی بین ۵۰ تا ۲۳۳ میلی‌متر متغیر است. روند این شاخص‌ها طی دوره مورد بررسی مثبت است و برای برخی از ایستگاه روند افزایشی روزهای مرطوب در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. بیشترین نرخ روند افزایشی روزهای مرطوب برای ایستگاه درود در شمال استان و ایستگاه‌های پلدختر و کوهدشت در جنوب غرب استان به‌دست آمد که روند افزایشی آن برای هر سه ایستگاه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. برای روزهای بی‌نهایت مرطوب نیز این ایستگاه‌ها از بیشترین مقدار آماره Z من‌کندال برخوردارند که برای ایستگاه‌های پلدختر و کوهدشت در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار است.

نتایج بررسی شاخص‌های بیشینه بارش روزانه و بیشینه بارش پنج روز متوالی نیز بیانگر حجم قابل توجه بارش دریافتی در سطح استان بر اساس این شاخص‌ها است چراکه به‌طور متوسط بیشینه بارش روزانه در سطح استان به‌طور متوسط ۴۶ میلی‌متر و در حالت بیشینه ۱۰۳ میلی‌متر و برای شاخص بیشینه بارش پنج روز متوالی متوسط بارش دریافتی ۷۷ میلی‌متر و در حالت بیشینه ۲۰۴ میلی‌متر است. روند این شاخص‌ها نیز همانند دو شاخص قبلی در سطح استان مثبت است که شاخص بیشینه بارش روزانه در ایستگاه‌های درود، کوهدشت و پلدختر روند مثبت معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد دارد.

بررسی فراوانی مقادیر شاخص‌های تعداد روزهای بارش‌های سنگین (۱۰ میلی‌متر) و خیلی سنگین (۲۰ میلی‌متر) در سال نیز نشان داد که تعداد روزهای همراه با این ویژگی‌های در سطح استان لرستان قابل توجه است، به‌طوری‌که طی سال تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر به‌طور متوسط ۱۱ روز و در حالت بیشینه ۱۹ روز و برای شاخص تعداد روزهای با بارش‌های خیلی سنگین به‌طور متوسط شش روز و در حالت بیشینه ۱۷ روز در سال است.



شکل ۴- روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش برای ایستگاه‌های منتخب منطقه (دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰)

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، در مجموع، می‌توان گفت نتایج شاخص‌های گرم و سرد نشان‌دهنده تابعیت رفتار دماهای حدی گرم و سرد از موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی و محیطی استان لرستان است. به‌طوری که در مناطق با ارتفاعات زیاد و عرض جغرافیایی بالاتر، مقادیر شاخص‌های حدی گرم از کمینه و مقادیر شاخص‌های حدی سرد از بیشینه مقدار و در مناطق پست و کم ارتفاع جنوب و جنوب غرب استان، شاخص‌های گرم از بیشینه مقدار خود و شاخص‌های سرد از کمینه مقدار برخوردار هستند.

محاسبه و بررسی روند شاخص‌ها نشان داد که در سطح استان لرستان رخداد پدیده‌های حدی گرم در حال افزایش، و رخداد پدیده‌های حدی سرد در حال کاهش است که یکی از دلایل اصلی این شرایط افزایش گرمایش جهانی به‌ویژه از اواخر دهه ۱۹۹۰ است. نتایج این تحقیق در رابطه با رخدادهای حدی دمایی، با نتایج تحقیقات Zhang و همکاران (2005)، Alexander و همکاران (2006)، Zhao و همکاران

(2012)، Varshavian و همکاران (2011)، Miri و Rahimi(2015) و Karimi و همکاران (2018) که به بررسی شاخص‌های حدی دمایی پرداختند، مطابقت دارد. در تحقیقات ذکر شده نیز بر روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم و روند کاهشی شاخص‌های حدی سرد تأکید شده است. بنابراین، لازم است که در سطح مختلف مدیریتی تصمیم‌گیری‌های لازم به‌منظور مقابله یا کاهش پیامدهای احتمالی افزایش دما و رخدادهای حدی گرم دمایی برای مناطق مختلف استان اتخاذ شود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بررسی فراوانی رخداد و روند شاخص‌های حدی بارش در سطح استان لرستان نشان داد که مجموع بارش این استان همانند بسیاری از قسمت‌های کشور با کاهش مواجه شده است که البته این کاهش به دلایل ذکر شده از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. در مقابل بارش‌های بیشینه علاوه‌بر این‌که در سطح استان قابل توجه است، طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ دارای روند افزایشی هستند. این شرایط می‌تواند بیانگر افزایش بارش‌های شدید و کوتاه مدت و در مقابل کوتاه‌تر شدن فصل بارش منطقه باشد. نتایج این تحقیق در خصوص رخدادهای حدی بارش تا حد زیادی با تحقیقات مشابه Klein Tank و همکاران (2006)، Im و همکاران (2011)، Jones و همکاران (2012) و Koozegaran و Mousavi Baigi (2015) که بر افزایش بارش‌های حدی و کاهش مجموع بارش تأکید دارند، مطابقت دارد. در نهایت، با توجه به اینکه احتمال رخداد بارش‌های سنگین و حدی در سطح استان لرستان وجود دارد و رخداد پدیده‌های حدی بارش با افزایش همراه شده است، توجه به پیامدهای ناشی از این رخدادها همچون سیل از اهمیت قابل توجهی در سطوح مختلف برنامه‌ریزی و مدیریتی استان لرستان برخوردار است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان لرستان در قالب یک طرح پژوهشی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است. بدین وسیله از حمایت‌های هر دو دستگاه، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Aerenson, T., C. Tebaldi, B. Sanderson and J.F. Lamarque. 2018. Changes in a suite of extreme temperature and precipitation indicators under 1.5 and 2 degrees warming. Environmental Research Letters, 13(3): 035009.
2. Alexander, L.V. X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci and J.L. Vazquez-Aguirre. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research, 111(5): 1-22.
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.
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 (in Persian).
5. Donga, 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.
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 (in Persian).
7. Cooper, R.T. 2019. Projection of future precipitation extremes across the Bangkok Metropolitan Region. Heliyon, 5(5): e01678.
8. 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 (in Persian).
9. Garnaut, R. (2008). The garnaut climate change review. Cambridge, Cambridge, 680 pages.

10. Hong, Y. and S. Ying. 2018, Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices. Advances in Climate Change Research, 9: 218-226.
11. Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson. 2001. Climate change 2001: the Scientific Basis. Cambridge University Press, New York, 881 pages.
12. Im, E.S., I.W. Jung and D.H. Bae. 2011. From a regional climate projection, the temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea. International Journal of Climatology, 31(1): 72–86.
13. Jones, M.R., H.J. Fowler, C.G. Kilsby and S. Blenkinsop. 2012. An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the U.K between 1961 and 2009. International Journal of Climatology, 33(5):1178-1194.
14. 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 (in Persian).
15. Klein Tank, A.M.G., T.C. Peterson, D.A. Quadir, S. Dorji, X. Zou, H. Tang, K. Santhosh, U.R. Joshi, A.K. Jaswal, R.K. Kolli, A.B. Sikder, N.R. Deshpande, J.V. Revadekar, K. Yeleuova, S. Vandasheva, M. Faleyeva, P. Gomboluudev, K.P. Budhathoki, A. Hussain, M. Afzaal, L. Chandrapala, H. Anvar, D. Amanmurad, V.S. Asanova, P.D. Jones, M.G. New and T. Spektormanand. 2006. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and South Asia. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 111: D16105.
16. 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 (in Persian).
17. Matthes, H., A. Rinke and Dethloff, K. 2009. Variability of observed temperature- derived climate indices in the Arctic. Global and Planetary Change, 69: 214-224.
18. Miri, M. and M. Rahimi. 2015. Spatial and temporal trend analysis of temperature parameters in Iran. Geographical Journal of Territory, 12(47): 65-79 (in Persian).
19. Miri, M., J. Masoompour Samakosh, T. Raziei, A. Jalilian and M. Mahmudi. 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.
20. Mohammadi, H., G. Azizi and F. KhoshAkhlagh. 2017. The trend analysis of extreme daily precipitation indices in Iran. Natural Geography Research, 49 (1): 37-21 (in Persian).
21. 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 (in Persian).
22. Peterson, T.C., M.A. Taylor, R. Demeritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson, A. Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R. 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): 1-16.
23. Rahimzadeh, F. 2005. Investigation of changes in extreme precipitation values in Iran, Journal of Nivar, 30(59): 7-20 (in Persian).
24. 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.
25. Rao, X., X. Lu and W. Dong. 2019. Evaluation and projection of extreme precipitation over Northern China in CMIP5 models. Atmosphere, 10(11): 691.
26. 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 (in Persian).
27. Zhang, X. 2005. The trend in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. Journal of Geophysical Research, 110: D22104.
28. Zhao, C., W. Wang and W. Xing. 2012. Regional analysis of extreme temperature indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. Proceedings of International Conference on Modern Hydraulic Engineering, 28: 604-607.
29. Zhou, W., Q.H. Wen, Y. Xu, L. Song and X. Zhang. 2014. Projected changes in temperature and precipitation extremes in China by the CMIP5 multimodel ensembles. American Meteorological Society, 27(17): 6591-6611.

.

DOI:10.22092/IJWMSE.2022.354926.1905

Detection of climate change in Lorestan Province using climate extreme indices

Mehran Zand[1*], Morteza. Miri [2], Mohammadreza Kousari [3]
[1] Associate Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and [2 and 3] Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 21 October 2021 Accepted: 14 March 2022

Abstract
Climate change can lead to changes in the frequency, intensity, and duration of extreme climate events in different parts of the world. The purpose of this research is to investigate temperature and precipitation extremes in Lorestan Province. The data used in this study included precipitation and the maximum and minimum daily temperature of nine synoptic stations in Lorestan Province during a 28-year (1990-2017) common period. The matrices of minimum and maximum temperatures and precipitation daily data for each station were prepared and used to compute the extreme climate indices (26 precipitation and temperature extreme indices based on the recommendation of CLIVAR \ CLL expert group) using the R programming software. The results of studying the trend of cold and hot extreme weather indicators during the period 1990-2017 in the province using the Mann-Kendall trend test showed that for all stations, the hot indices have increased and more cold indices have decreased. In different regions of the province, positive and negative trends of hot and cold indices with different intensities have occurred. The highest upward trend of the warm extreme indices has occurred for the hot night's index. Among the cold indicators, the greatest decrease occurred for several frost days and cold days indices. The decreasing trend of ice days is significant for 45% of stations at 99% level and the decreasing trend of cold days for 77% of stations at different levels of 90, 95, and 99%. The results of the study of the frequency of occurrence and trend of precipitation extreme indicators in Lorestan province showed that the total rainfall of this province, like many regions of the country, has decreased. In contrast, the occurrence of maximum rainfall in addition to being significant in the province has an increasing trend during the period 2017-1990. These conditions can indicate an increase in the number of occurrences of heavy and short-term rainfall events and, shorten the period of the rainfall season in the region.

Keywords: Cold days, Cold nights, Precipitation, Temperature, Warm days

*Corresponding author: Mehran.lashanizand@gmail.com