

مقاله پژوهشی

پیش‌نگری نمایه‌های حدی دما بر اساس سناریوهای RCP در شمال شرق کشور

سعیده کوزه‌گران^{۱*} - محمد موسوی بایگی^۲ - ایمان باباییان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲

چکیده

یافته‌های هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم نشان از افزایش میانگین و مقادیر حدی دما تحت شرایط گرمایش جهانی دارد. در این بین شرق کشور منطقه‌ای مستعد برای کاشت گیاه زعفران می‌باشد. از آنجا که این گیاه حساس به مقادیر حدی دما می‌باشد، لذا در این تحقیق چشم‌انداز رخدادهای حدی دمایی منطقه در سه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP مورد مطالعه قرار گرفت. برای برآورد چشم‌انداز آینده از داده‌های مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 که با استفاده از روش آماری BCSD ریزمقیاس شده بودند، استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار RCLimDex، نمایه‌های حدی استخراج گردیدند. نتایج این پژوهش نشان دادند که در سه دوره آینده نزدیک، میانه و دور و تحت هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5، شاخص‌های حدی گرم افزایش و شاخص حدی سرد کاهش می‌یابند. همچنین شاخص‌های بیشینه دمای حداکثر روزانه (TXx)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است، در حالی که درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، برای همه ایستگاه‌ها دارای روند منفی است. شیب تغییرات شاخص‌های مورد بررسی در سناریوی RCP8.5 در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشتر از شیب تغییرات سناریوی RCP4.5 خواهد بود، که این شیب تغییرات در اغلب شاخص‌ها در آینده دور بیشتر از آینده نزدیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دمای حداقل، دمای حداکثر، رخدادهای حدی اقلیمی، BCSD

مقدمه

هواشناسی (WMO) به عنوان شاخصی برای شناسایی پدیده‌های اقلیمی و هواشناسی نادر که فراتر از یک حد آستانه می‌باشد تعریف شده است. تغییرات در پدیده‌های حدی اقلیمی مانند دوره‌های طولانی روزهای داغ و یا روزهای بارش‌های سنگین تاثیر بسیار زیادتری از تغییرات در میانگین‌های اقلیمی بر جوامع انسانی و محیط می‌گذارد تغییرات در تغییرپذیری و فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد (۱۰).

تاکنون مطالعات متعددی در جهان در مورد تغییر اقلیم و رویدادهای حدی اقلیمی انجام شده است. این مسئله از زمانی بیشتر مورد توجه قرار گرفت که برخی مدل‌های اقلیمی نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن بیست و یکم سبب افزایش چشمگیر فراوانی رویدادهای حدی می‌شود (۱۳). از اوائل دهه ۹۰، بررسی تغییرات مقادیر فرین منطقه‌ای و جهانی، بویژه دما و بارش، در مناطق مختلف دنیا مانند آمریکا (۶)، کانادا (۴) و استرالیا (۱۷)، چین (۲۱) انجام گردید و در مطالعات خود اغلب به وجود روند کاهشی در تعداد روزها با دمای حدی پایین پی برده‌اند. فریش و همکارانش (۷) در پژوهشی که انجام

تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ بدهد (۱۶). مشخصه اصلی تغییر اقلیم جابه‌جایی میانگین پارامترهای اقلیمی و افزایش فراوانی وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی می‌باشد. تغییرات اقلیم، بزرگی و فراوانی ناشی از وقایع حدی آب و هوایی را افزایش می‌دهد (۱۵). گرمایش جهانی سبب تغییر در نمایه‌های حدی اقلیمی و افزایش شدت و فراوانی وقوع رویدادهای حدی اقلیمی (سیل، خشکسالی، دماهای بالا و ...) می‌شود. نمایه‌های حدی اقلیمی توسط سازمان جهانی

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: Email saeedeh.kouzegaran@mail.um.ac.ir

۳- استادیار، گروه پژوهشی مدل‌سازی و پیش‌آگاهی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد

است و از ویژگی‌های منحصر به فرد این پژوهش ریزمقیاس‌نمایی آماری با اصلاح روش BCSO می‌باشد که روش BCSO اصلاح شده شیوه‌نویسی در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل جهانی برای بررسی روند رویدادهای حدی می‌باشد. مطالعه مقادیر حدی در برنامه‌ریزی‌های و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی، زراعت و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار دارد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان‌های خراسان رضوی و خراسان جنوبی (استان خراسان جنوبی و نیمه جنوبی خراسان رضوی) در نظر گرفته شد موقعیت جغرافیایی این منطقه بین ۵۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های بلند مدت روزانه حداقل و حداکثر درجه حرارت تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک شمال شرق کشور شامل کاشمر، تربت حیدریه و گناباد از استان خراسان رضوی و ایستگاه‌های بیرجند، قاین، نهبندان، فردوس و طبس از استان خراسان جنوبی در دوره تاریخی ۲۰۱۶-۱۹۹۱ استفاده شد (شکل ۱).

برآورد نمایه‌های حدی اقلیمی و بررسی روند آنها

جهت بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، شاخص‌های دمایی که توسط تیم کارشناسی ETCCDMI^۱ تعریف شده استفاده شد. این شاخص‌ها توسط نرم‌افزار RCLimDex در محیط زبان برنامه‌نویسی R برآورد می‌شود. در این نرم‌افزار قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم‌افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست چک شده و داده‌های پرت بررسی می‌شود. این شاخص‌ها در سطح معناداری ۰٫۰۵ برآورد می‌گردد.

داده‌های مدل جهانی اقلیم

جهت آشکارسازی چگونگی تغییرات دماهای حدی از سناریوهای RCP استفاده شد. در مدل‌های اجرا شده برای پنجمین گزارش ارزیابی IPCC (AR5)، سناریوهای RCP^۲ جایگزین سناریوهای SERS شدند (۱۷). سناریوهای RCP نشان‌دهنده واداشت‌های تابشی هستند. در بین ۴ سناریوی RCP سناریوی RCP4.5 حالت متوسط دارد و سناریوی RCP8.5 بدترین حالت از واداشت‌های تابشی و سناریوهای انتشار زیاد را دارد.

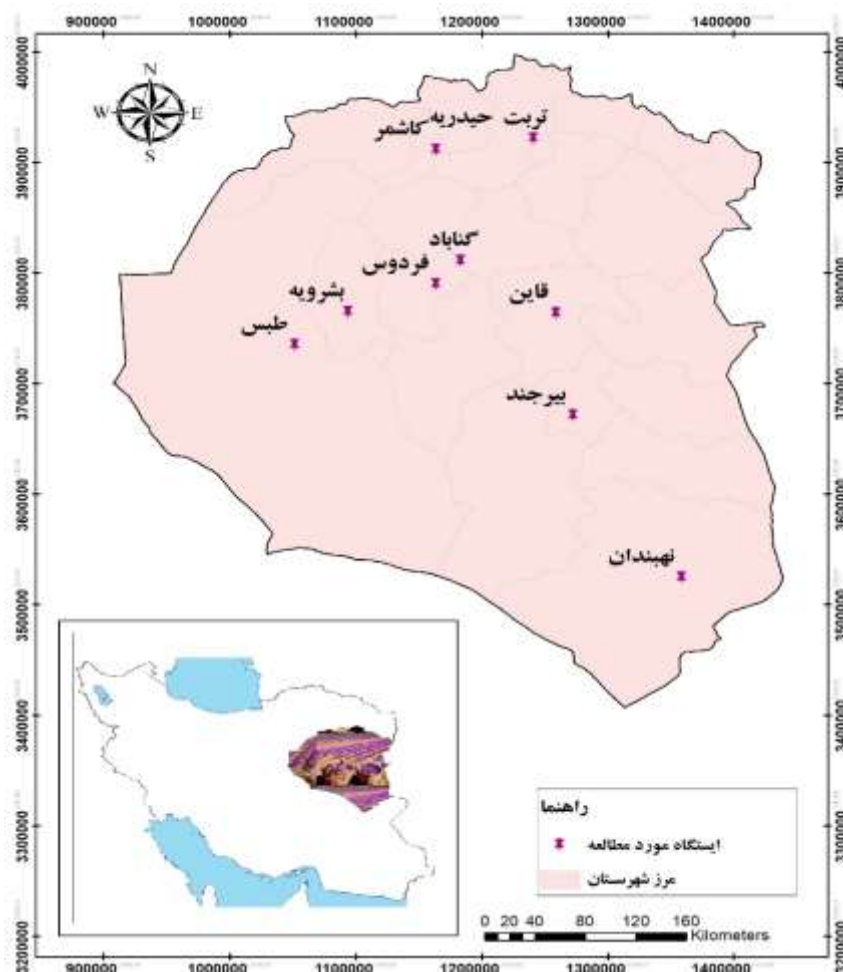
دادند به بررسی مقادیر حدی در مقیاس جهانی پرداخته و دریافتند که طی ۵۰ سال گذشته تعداد روزهای یخبندان در عرض‌های بالا و میانی نیمکره شمالی کاهش یافته است. باباییان و همکاران (۳) به شبیه‌سازی برخی نمایه‌های حدی اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب سواحل دریای خزر تحت شرایط گرمایش جهانی پرداختند. در این مطالعه برخی رخدادهای حدی اقلیمی آینده ایستگاه‌های بندر انزلی، بابلسر، رشت، رامسر و گرگان را تحت دو سناریوی A2 و B2 حاصل از پرونداد ریزمقیاس شده مدل گردش عمومی HadCM3 با بکارگیری مدل ریزمقیاس کننده SDSM شبیه‌سازی گردید و تاثیر تغییر اقلیم بر رویدادهای حدی اقلیمی بررسی شد. کوزه‌گران و همکاران (۱۴) به بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در شمال شرق ایران با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی تعدادی از ایستگاه‌های خراسان رضوی و جنوبی در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۲ به بررسی ۲۷ شاخص مربوط به بارش و دما با نرم‌افزار RCLimDex پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل دما، با گرم شدن منطقه مطابقت دارد. این نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی دارند، در حالی که شاخص‌های حدی سرد در دوره مورد مطالعه روند کاهشی دارند. جین و همکاران (۱۰) به بررسی اثرات رویدادهای حدی اقلیمی در دوره حاضر و آینده در ایالت متحده بر تولید ذرت و سویا پرداختند. عملکرد محصول با استفاده از سامانه تولید محصولات کشاورزی برای دو دوره ۱۹۹۵-۲۰۰۴ و ۲۰۰۵-۲۰۹۴ شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد عملکرد ذرت و سویا تا اواخر قرن ۲۱ بر اساس دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 با توجه به تغییرات رویدادهای حدی کاهش می‌یابد. مطالعه مقایسه بلند مدت تغییرات رویدادهای حدی اقلیمی در شرایط اقلیمی گوناگون در مناطق ساحلی و داخلی ایران توسط قیامی شمیمی، و همکاران (۸) انجام گرفت. در این پژوهش سیزده شاخص دما و هشت شاخص بارش در ۲۷ ایستگاه هواشناسی در طول سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۱۲ بر روی ایران بررسی شد. تست من-کندال و برآورد کننده شیب سن برای شناسایی روندها اعمال شدند. نتایج نشان داد که تقریباً تمامی شاخص‌ها براساس حداقل دما، شرایط گرم‌تر را دنبال می‌کنند. و همچنین منطق خشک و مرکزی بیشترین نشانه‌های گرم شدن را نشان می‌دهد و در مناطق ساحلی شاخص‌های مرتبط با بارش بیشترین تغییرات و روند منفی را نشان داده است.

شرق کشور منطقه‌ای مستعد برای کاشت گیاه زعفران می‌باشد. از آنجا که این گیاه حساس به مقادیر حدی دما می‌باشد، لذا در این تحقیق چشم‌انداز رخدادهای حدی دمایی منطقه در سه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۲۶)، میانه (۲۰۲۵-۲۰۵۱) و دور (۲۰۷۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP مورد مطالعه قرار گرفت.

بررسی منابع نشان داد که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی پارامترهای حدی اقلیمی در دوره‌های آتی در این منطقه انجام نشده

1- ETCCDMI: Expert Team on Climate Change Detection Monitoring

2- Representative Concentration Pathways



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Fig 1 -The study area

جدول ۱- شاخص‌های حدی دما توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCL/CLIVAR

Table 1- Extreme indices recommended by the expert group CCI/CLIVAR/JCOMM

| شاخص Index | معرفی شاخص Definitions | یکا UNITS |
|---------------|--|--------------|
| SU25 | تعداد روزهای تابستانی، دمای حداکثر روزانه 25° (Summer days) | روز Day |
| TR20 | تعداد شب‌های حاره‌ای (دمای حداقل روزانه 20° C) Tropical nights ($T_{min} > 20^{\circ}$ C) | روز Day |
| TXx | بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Maximum Tmax) | $^{\circ}$ C |
| TNx | بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Maximum Tmin) | $^{\circ}$ C |
| TXn | کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Minimum Tmax) | $^{\circ}$ C |
| TX10P | روزهای سرد، درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (Cool Days) | روز Day |

جدول ۲- مشخصات مدل گردش کلی

Table 2- Characteristics of global climate model

| Institute موسسه | Modeling center (or Group) مرکز مدل سازی | Country کشور | Model name نام مدل | Atmosphere resolution تفکیک پذیری |
|--------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|
| MPI-M | Max Planck Institute for Meteorology | Germany | MPI-ESM-LR | T63 (1.875°*1.875°) L47 |

مقایسه می‌شوند. سپس شبیه سازی‌های GCM در دوره آینده بر اساس نتایج مقایسه انجام شده تنظیم و تصحیح می‌شوند. این روش (BCSD) مبتنی بر مقایسه بین تابع توزیع تجمعی (CDF) داده‌های اقلیمی مشاهداتی و داده‌های خروجی GCM در یک پریود زمانی می‌باشد و بر این فرض می‌باشد که بایاس مدل در هر دو سری داده‌های شبیه‌سازی شده مدل در دوره حاضر و آینده از یک الگوی مشابه پیروی می‌کند (۱). با توجه به اینکه در این مطالعه هدف بررسی شاخص‌های حدی می‌باشد و رفتار و بایاس داده‌های شاخص‌های حدی با شاخص‌های میانگین متفاوت می‌باشد، در این راستا جهت ریز مقیاس داده‌های درجه حرارت برای تعیین شاخص‌های حدی، روش BCSD اصلاح شد و داده‌ها در صدک‌های مختلف طبقه‌بندی شدند و برای دمای حداکثر صدک‌های بالا و برای دمای حداقل صدک‌های پایین در نظر گرفته شد و سپس الگوی BCSD متناسب برای هر یک از صدک‌های بالا (حداکثر) و صدک‌های پایین (حداقل) اعمال شد.

پس از دریافت خروجی مدل‌ها و ریزمقیاس نمایی آن‌ها داده‌ها در سه دوره آینده (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و (۲۰۷۶-۲۱۰۰) و بر اساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 روند شاخص‌های حدی درجه حرارت برای تمامی ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

ارزیابی مدل ریزمقیاس نمایی BCSD اصلاح شده

به منظور ارزیابی مدل ریزمقیاس نمایی معیارهای RMSE و NRMSE محاسبه شد و مقادیر درجه حرارت قبل (Tmax_{model}) بعد از پس پردازش (Tmax_{pp}) با مقادیر مشاهداتی (Tmax_{obs}) مقایسه و ارزیابی گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{obs,i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$NRMSE = [1/n \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{obs,i})^2]^{0.5} \left(\frac{100}{MO}\right) \quad (2)$$

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند. بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به بیش از ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (IPCC, 2014).

برای منطقه مورد مطالعه، از داده‌های روزانه دماهای حداقل و حداکثر، خروجی‌های ریزمقیاس شده پروژه CORDEX استفاده شد. داده‌ها برای مدل MPI-ESM-LR با فرض دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای بررسی روند تغییرات آینده با پیش‌نگری حد واسط و حداکثر تغییرات آینده دریافت شد.

ریزمقیاس نمایی دما (روش BCSD اصلاح شده)

مدل‌های گردش عمومی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند، آنها نیازمند ریزمقیاس-نمایی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی صحت پیش بینی‌های آن‌ها در مقیاس‌های محلی بهبود یابند. روش‌های مختلفی جهت ریز مقیاس نمودن و تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های گردش کلی وجود دارد در این تحقیق از روش ریزمقیاس نمایی آماری استفاده شده است.

روش BCSD اصلاح شده

روش آماری ریزمقیاس نمایی BCSD دارای دو مرحله تصحیح اریبی و تولید داده می‌باشد. در مرحله تصحیح اریبی، مقادیر میانگین گیری شده مدل گردش کلی (GCM) در دوره پایه با سری زمانی داده‌های دیدبانی شده در مقیاس مکانی و دوره زمانی مشابه

روزهای تابستانی، حاکی از روند مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که این روند برای ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه، فردوس، نهبندان، طبس و گناباد معنادار می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در تمام ایستگاه‌ها روند مثبت داشته و در ایستگاه‌های قاین و کاشمر این روند معنادار می‌باشد. درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، روند معناداری منفی برای تمام ایستگاه‌ها از برآزش نمودار شاخص روزهای سرد دارد. شاخص (TXx) نیز در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و معنادار می‌باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در تمام ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشند که به جز ایستگاه قاین در سایر ایستگاه‌ها این روند معنادار می‌باشد. کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در ایستگاه‌ها دارای شیب منفی می‌باشد.

بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی دما در دوره

RCP4.5 بر اساس سناریوی 2076-2100

بر اساس خروجی نرم‌افزار Rclimindex و برآزش نمودارها بر روی داده‌های دمای روزانه مدل MPI-ESM-LR برای سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ مشاهده شد، شاخص (SU25)، روزهای تابستانی، حاکی از روند مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در بیشتر ایستگاه‌ها روند مثبت داشته ولی در بعضی ایستگاه‌ها مانند بشرویه، فردوس، نهبندان و تربت حیدریه این روند منفی می‌باشد. درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، روند منفی برای تمام ایستگاه‌ها به جز بیرجند و گناباد دارد. شاخص (TXx) نیز در همه ایستگاه‌ها دارای روند منفی بدون معناداری می‌باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در تمام ایستگاه‌ها دارای روند منفی می‌باشند که به جز ایستگاه طبس در سایر ایستگاه‌ها این روند معنادار نمی‌باشد. کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در ایستگاه‌ها دارای روند مثبت معنادار می‌باشد.

بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی دما در دوره

RCP8.5 بر اساس سناریوی 2026-2050

با بررسی داده‌های دمای روزانه مدل MPI-ESM-LR و تعیین شاخص‌های حدی دما با استفاده از نرم‌افزار Rclimindex و برآزش نمودارها برای سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰ مشاهده شد، شاخص (SU25)، روزهای تابستانی، حاکی از روند مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که این روند در ایستگاه‌های بشرویه، تربت حیدریه و نهبندان معنادار می‌باشد. شاخص

جدول ۳- ارزیابی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری روش BCSD

اصلاح شده درجه حرارت حداکثر ایستگاه هواشناسی بیرجند

Table 3- Evaluation of statistical downscaling method of modified BCSD (Birjand meteorological station)

| | RMSE | NRMSE |
|-----------------------|------|-------|
| برونداد مستقیم مدل | 8.1 | 35.74 |
| Model | | |
| برونداد پس پردازش شده | 3.6 | 20.05 |
| Post processing | | |

قدرت ارزیابی روش در صورتی که مقدار NRMSE کمتر از ۱۰٪ عالی، بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بالاتر از ۳۰٪ باشد ضعیف برآورد می‌شود (رینالدی و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به میزان NRMSE قدرت پس پردازش روش مورد استفاده در سطح خوب برآورد شده است.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی دما در دوره

RCP4.5 بر اساس سناریوی 2026-2050

بر اساس خروجی نرم‌افزار Rclimindex و برآزش نمودارها بر روی داده‌های دمای روزانه مدل MPI-ESM-LR برای سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰ مشاهده شد، شاخص (SU25)، روزهای تابستانی، حاکی از روند مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که این روند برای ایستگاه تربت حیدریه معنادار می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در تمام ایستگاه‌ها روند مثبت داشته و در ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه، فردوس، طبس، تربت حیدریه و گناباد این روند معنادار می‌باشد. درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، روند معناداری منفی برای تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه فردوس از برآزش نمودار شاخص روزهای سرد دارد. شاخص (TXx) نیز در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در تمام ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشند که ایستگاه طبس این روند معنادار می‌باشد. کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در ایستگاه‌ها دارای شیب منفی می‌باشد.

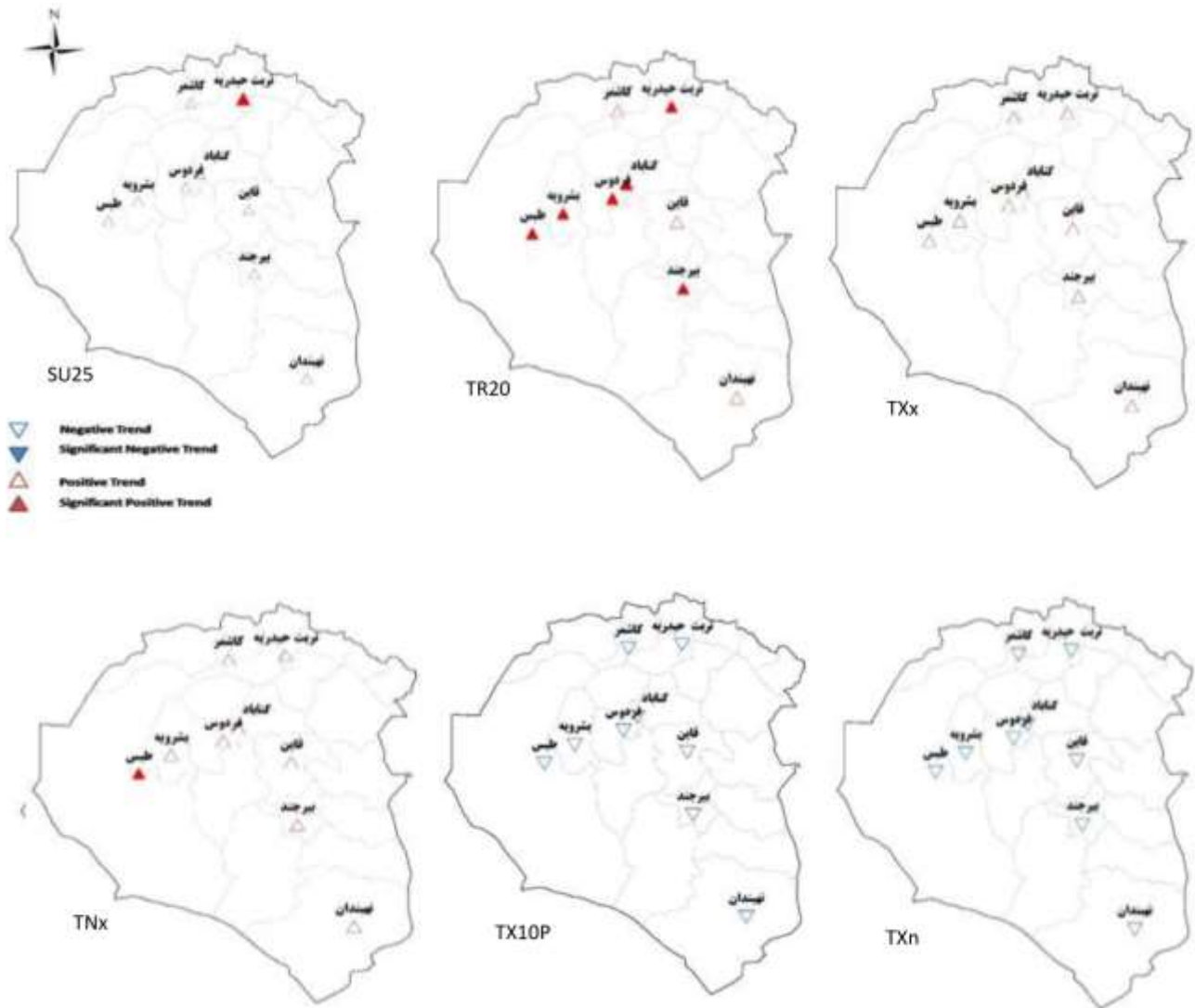
بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی درجه حرارت در

دوره 2051-2075 بر اساس سناریوی RCP4.5

بر اساس خروجی نرم‌افزار Rclimindex و برآزش نمودارها بر روی داده‌های درجه حرارت روزانه مدل MPI-ESM-LR برای سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۵ مشاهده شد، شاخص (SU25)،

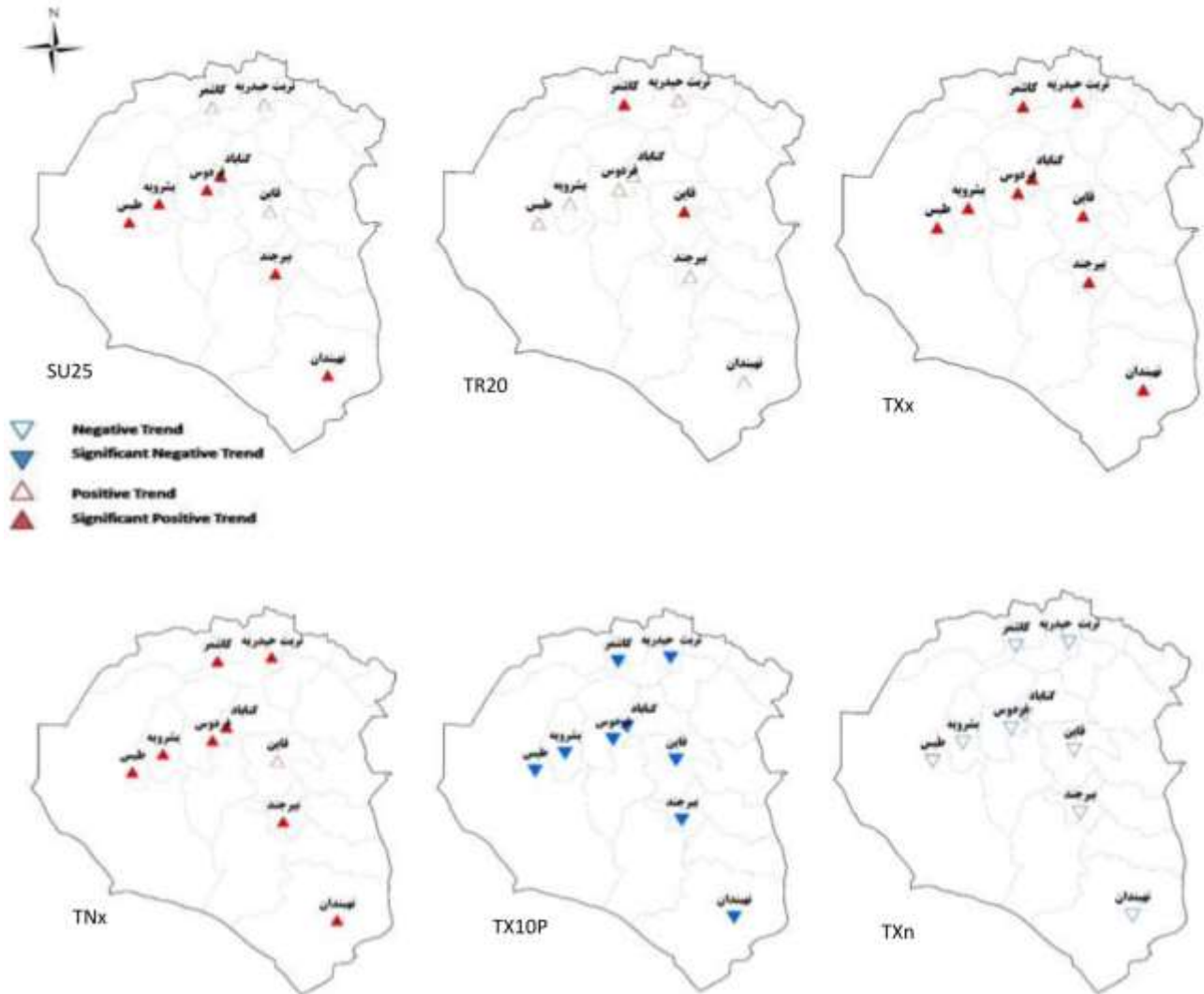
باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، برای همه ایستگاه‌ها داری روند منفی است، روند منفی برای ایستگاه‌های نهبندان و کاشمر معنادار می‌باشد.

تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در ایستگاه‌ها روند مثبت داشته که در ایستگاه‌های بیرجند، طیس، تربت حیدریه، کاشمر و گناباد این افزایش معنادار می‌باشد. درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم



شکل ۲- شاخص‌های حدی دما در دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰ بر اساس RCP4.5، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

Figure 2- Hot extremes indices (2026-2050), Summer days (SU25), Tropical nights (TR20), Maximum Tmax(TXx), Maximum Tmin (TNx), Cool Days (TX10P), Minimum Tmax(TXn)

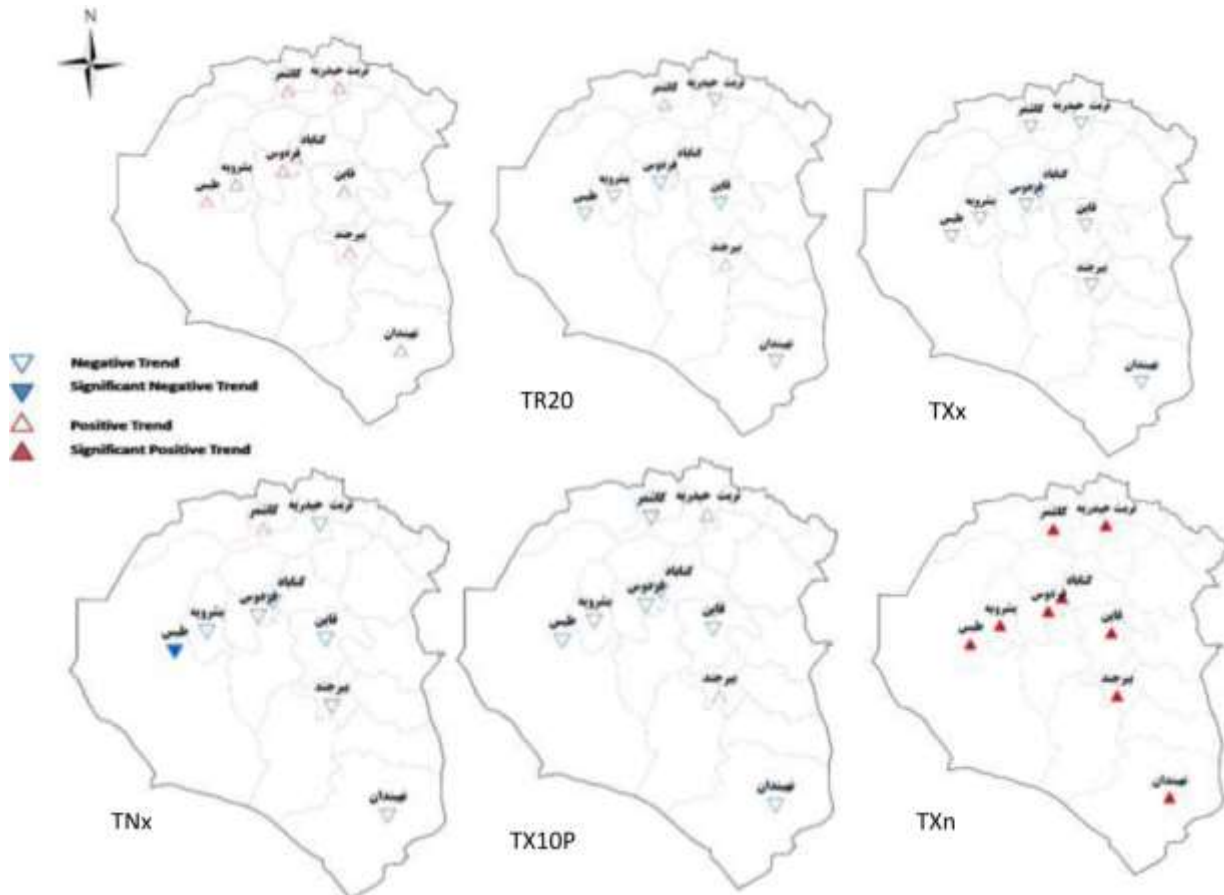


شکل ۳- شاخص‌های حدی دما در دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۵ بر اساس RCP4.5، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

Figure 3- Hot extremes indices (2051-2075), Summer days (SU25), Tropical nights (TR20), Maximum Tmax(TXx), Maximum Tmin (TNx), Cool Days (TX10P), Minimum Tmax(TXn)

روزانه (TXn) در ایستگاه‌ها دارای روند مثبت می‌باشد که به جز ایستگاه طبس در سایر ایستگاه‌ها این روند معنادار نمی‌باشد.

شاخص (TXx) نیز در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در تمام ایستگاه‌ها دارای روند مثبت می‌باشند. کمینه ماهانه دمای حداکثر



شکل ۴- شاخص‌های حدی دما در دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ بر اساس RCP4.5، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

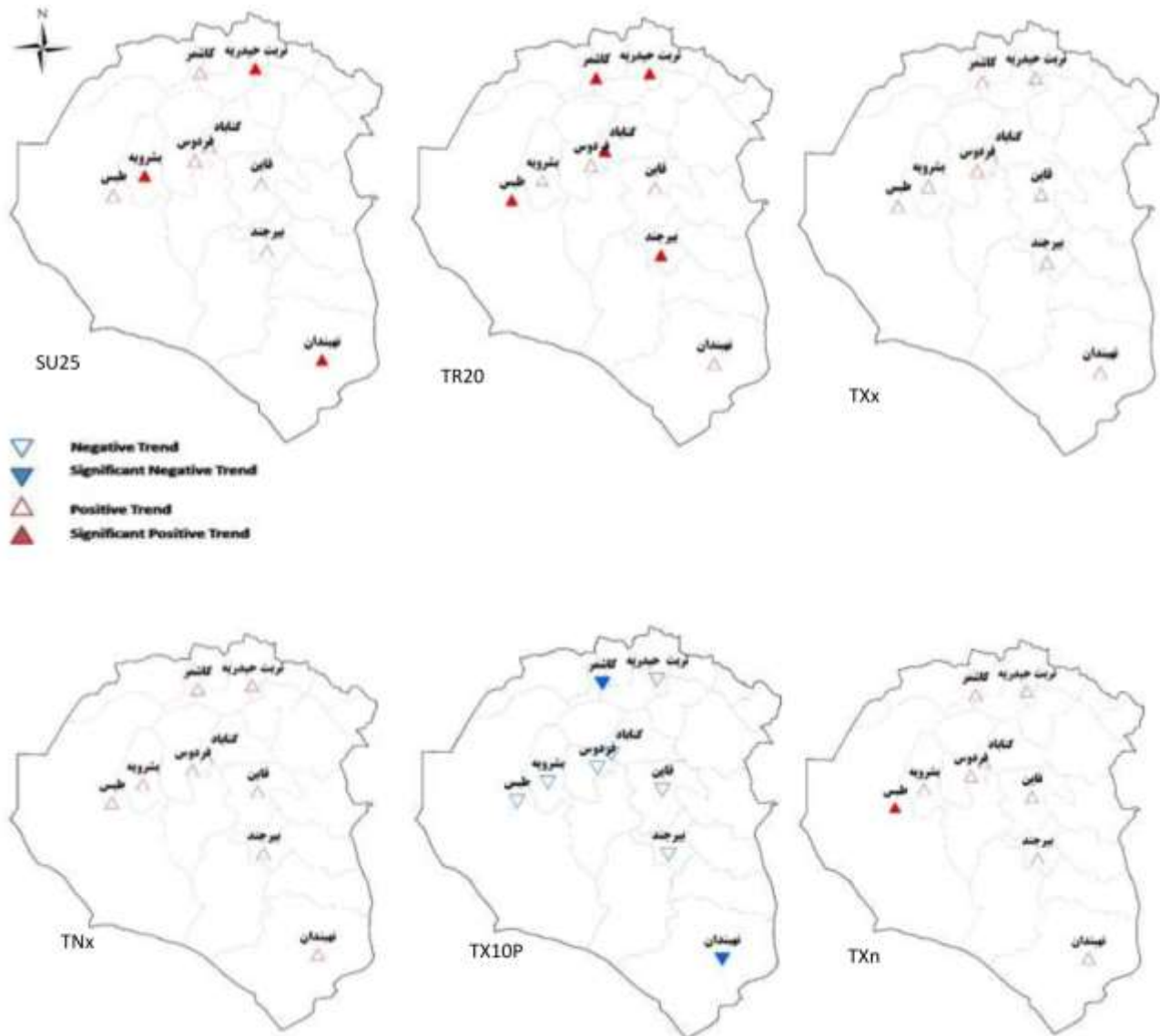
Figure 4- Hot extremes indices (2076-2100), Summer days (SU25), Tropical nights (TR20), Maximum Tmax (TXx), Maximum Tmin (TNx), Cool Days (TX10P), Minimum Tmax (TXn)

می‌باشد. درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، برای همه ایستگاه‌ها دارای روند منفی است، روند منفی به جز ایستگاه کاشمر در بقیه ایستگاه‌ها معنادار می‌باشد. شاخص (TXx) نیز در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و معنادار می‌باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در تمام ایستگاه‌ها دارای روند مثبت می‌باشند که به جز ایستگاه کاشمر این روند معنادار است. کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی می‌باشد.

بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی دما در دوره

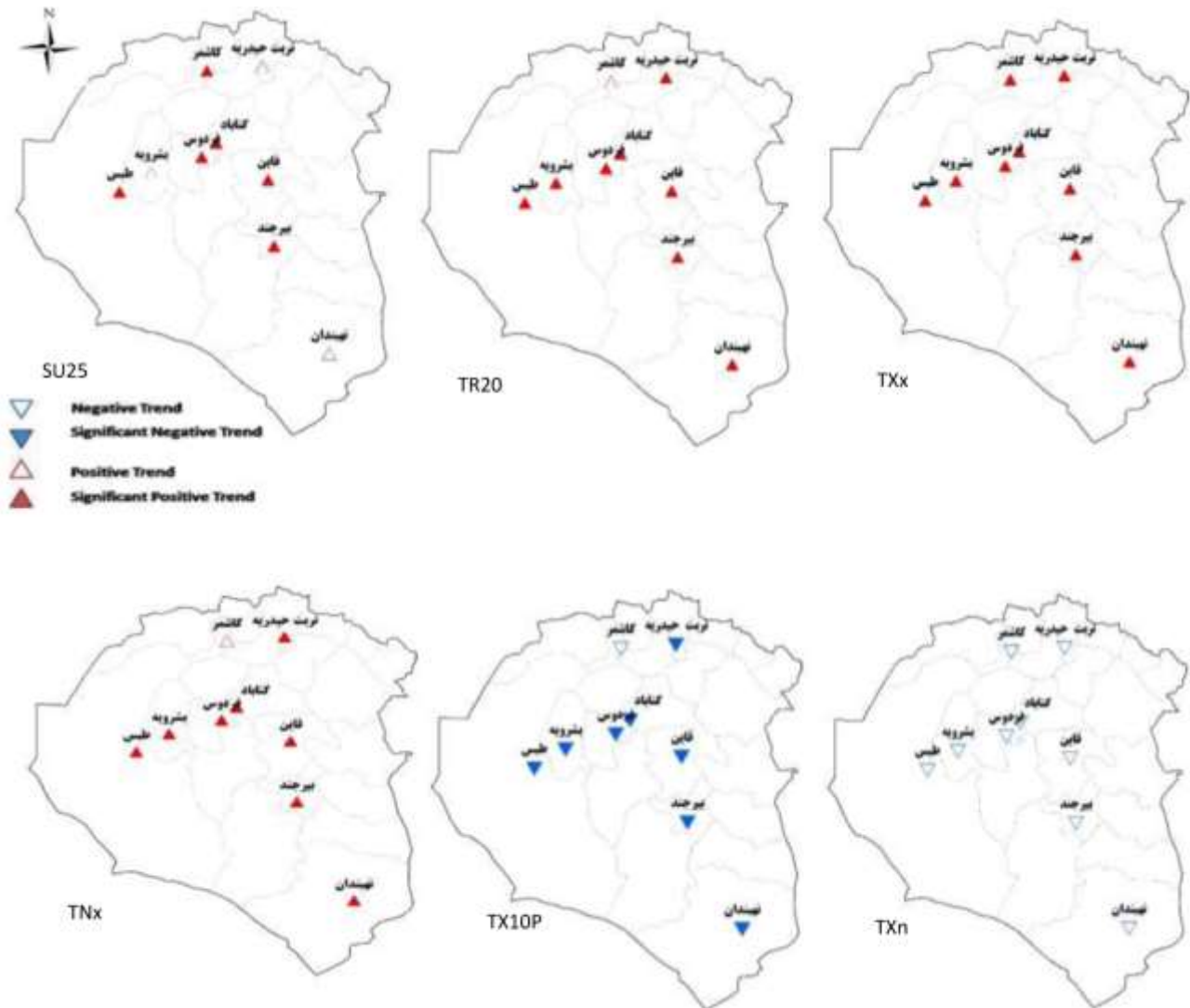
RCP8.5 بر اساس سناریو 2051-2075

با بررسی داده‌های دمای روزانه مدل MPI-ESM-LR و تعیین شاخص‌های حدی با استفاده از نرم‌افزار Rclimindex و برآزش نمودارها برای سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ مشاهده شد، شاخص (SU25)، روزهای تابستانی، حاکی از روند مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که این روند در همه ایستگاه‌ها به جز بشرویه، تربت حیدریه و نهبندان معنادار می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در ایستگاه‌ها روند مثبت داشته که به غیر از ایستگاه کاشمر این افزایش معنادار



شکل ۵- شاخص‌های حدی دما در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۶ بر اساس RCP8.5، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

Figure 5- Hot extremes indices (2026-2050), Summer days (SU25), Tropical nights (TR20), Maximum Tmax(TXx), Maximum Tmin (TNx), Cool Days (TX10P), Minimum Tmax(TXn)



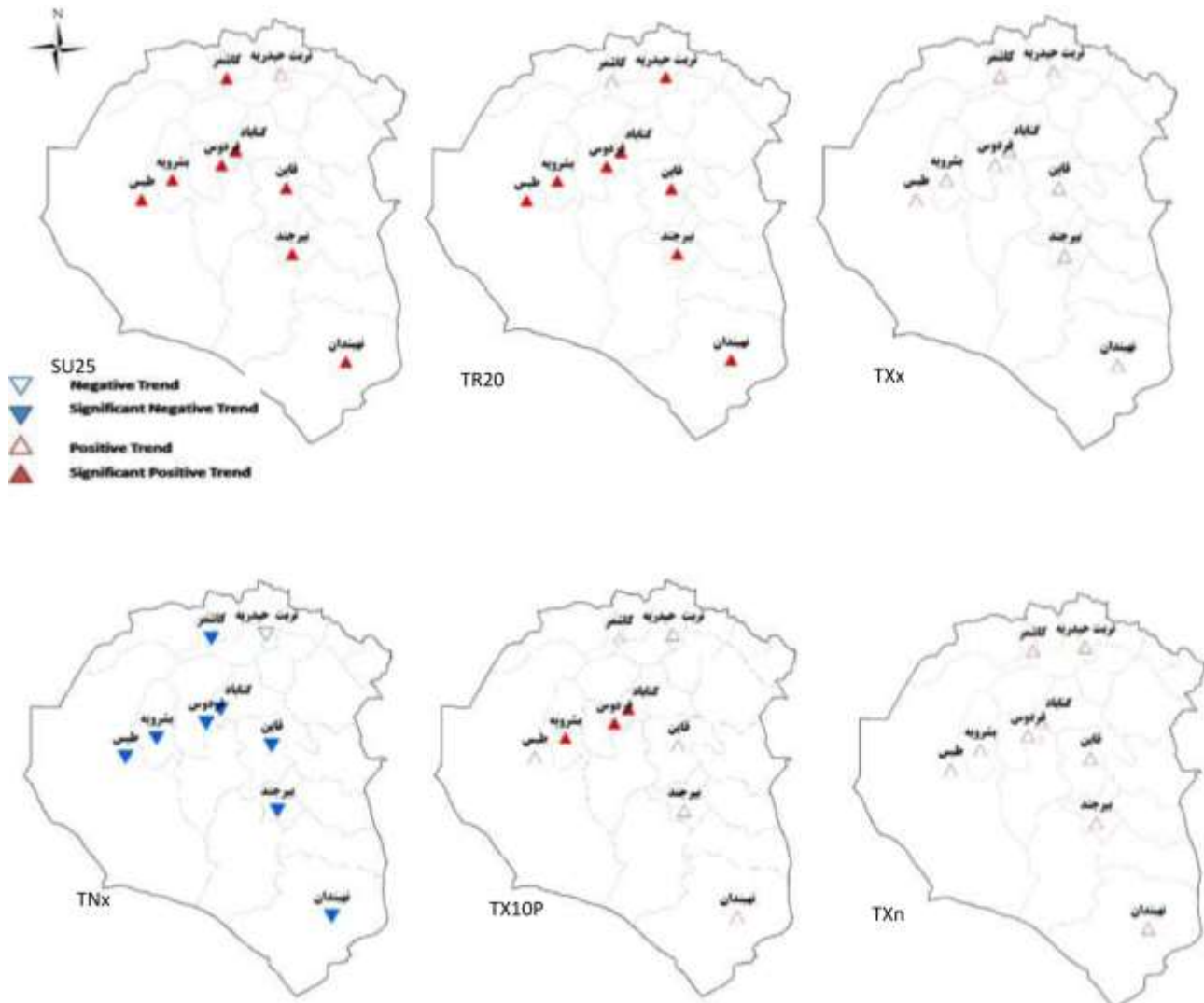
شکل ۶- شاخص‌های حدی دما در دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۵ بر اساس RCP8.5، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

Figure 6- Hot extremes indices (2051-2075), Summer days (SU25), Tropical nights (TR20), Maximum Tmax (TXx), Maximum Tmin (TNx), Cool Days (TX10P), Minimum Tmax (TXn)

شاخص (SU25)، روزهای تابستانی، حاکی از روند مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که این روند در همه ایستگاه‌ها به جز تربت حیدریه معنادار می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در ایستگاه‌ها روند مثبت داشته که به غیر از ایستگاه کاشمر و گناباد این افزایش معنادار می‌باشد.

بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی دما در دوره 2076-2100 بر اساس سناریوی RCP8.5

با بررسی داده‌های دمای روزانه مدل MPI-ESM-LR و تعیین شاخص‌های حدی دما با استفاده از نرم‌افزار Rclimdex و برازش نمودارها برای سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ مشاهده شد،



شکل ۷- شاخص‌های حدی دما در دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ بر اساس RCP8.5، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

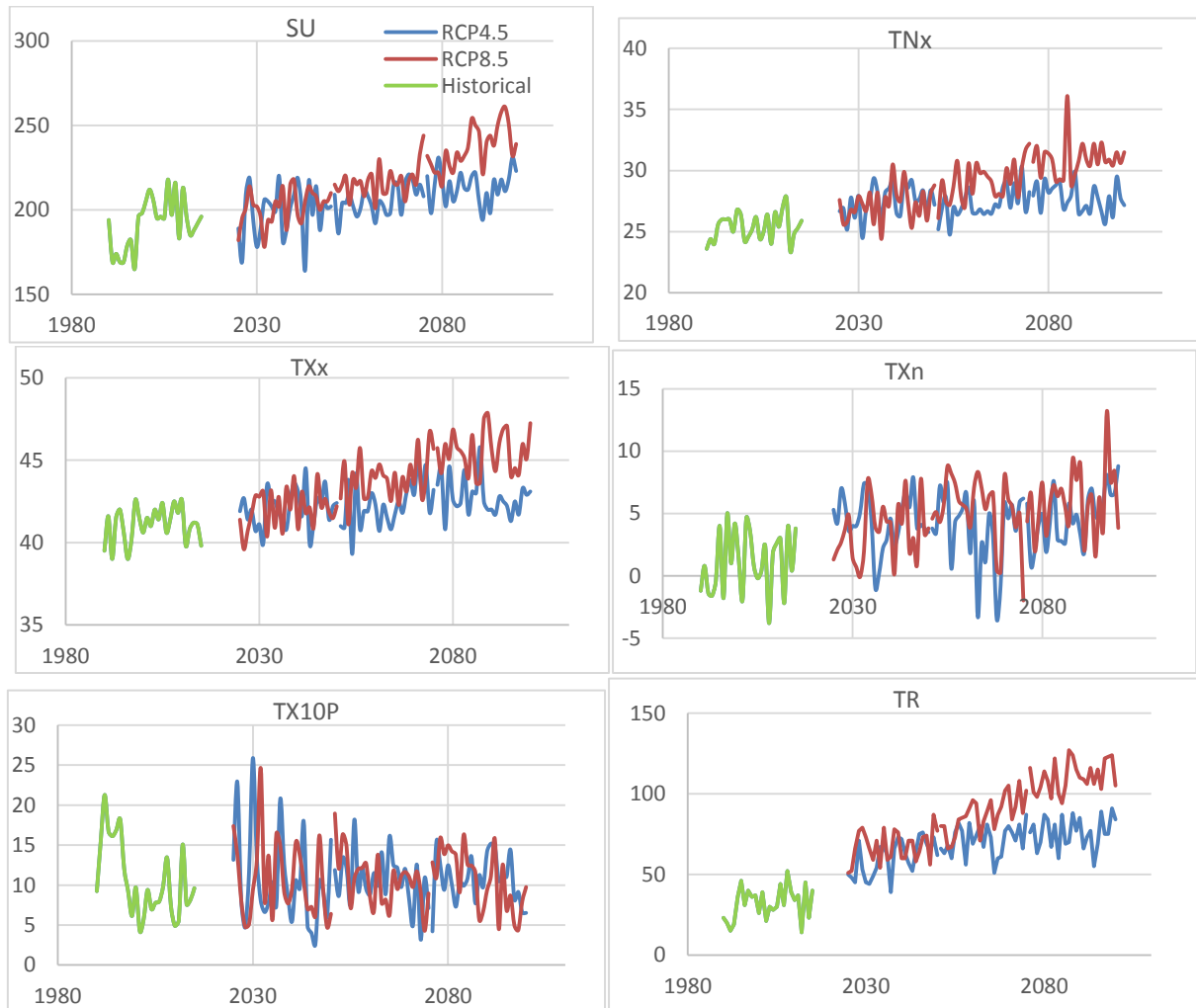
Figure 7- Hot extremes indices (2076-2100), Summer days (SU25), Tropical nights (TR20), Maximum Tmax (TXx), Maximum Tmin (TNx), Cool Days (TX10P), Minimum Tmax (TXn)

همانطور که انتظار می‌رود شیب تغییرات شاخص‌های مورد بررسی در سناریوی RCP8.5 در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشتر از شیب تغییرات سناریوی RCP4.5 خواهد بود، که این شیب تغییرات در اغلب شاخص‌ها در آینده دور بیشتر از آینده نزدیک می‌باشد. به طوری که شیب تغییرات در آینده نزدیک برای شاخص SU25 بر اساس سناریوی RCP4.5 ۰٫۳۸ و آینده متوسط ۰٫۵۷ و آینده دور ۰٫۲ می‌باشد. در حالی که شیب تغییرات این شاخص بر اساس سناریوی RCP8.5 در آینده نزدیک ۰٫۴، آینده متوسط ۰٫۵۹ و در آینده دور ۰٫۹۳ می‌باشد.

درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) که نشان‌دهنده کاهش روزهای سرد می‌باشد، برای همه ایستگاه‌ها دارای روند منفی است، روند منفی به جز ایستگاه تربت حیدریه در بقیه ایستگاه‌ها معنادار می‌باشد. شاخص (TXx) نیز در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد. کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در تمام ایستگاه‌ها دارای روند مثبت می‌باشند که ایستگاه‌های بشرویه، فردوس، گناباد این روند معنادار است.

۰,۴۷ می‌باشد. همچنین نمودار روند تغییرات شاخص‌های حدی ایستگاه بیرجند در دوره مشاهداتی (۱۹۹۱-۲۰۱۶)، و براساس سناریوی RCP4.5 و سناریوی RCP8.5 در دوره‌های آتی در شکل ۸ آورده شده است.

شیب تغییرات در آینده نزدیک برای شاخص TR20 بر اساس سناریوی RCP4.5 ۰,۲۱ و آینده متوسط ۰,۲۳ و آینده دور ۰,۲ می‌باشد. در حالی که شیب تغییرات این شاخص بر اساس سناریوی RCP8.5 در آینده نزدیک ۰,۴۴، آینده متوسط ۰,۱ و در آینده دور



شکل ۸- روند تغییرات شاخص‌های حدی ایستگاه بیرجند در دوره مشاهداتی (۱۹۹۱-۲۰۱۶)، و بر اساس سناریوی RCP4.5 و سناریوی RCP8.5 در دوره‌های آتی

Figure 8- Changes in extreme indices in observed period (1991-2016), and in future periods according to RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

حدی دمایی در دوره‌های آتی پرداخته شد. جهت پیش‌نگری آینده رویدادهای حدی دمایی از داده‌های روزانه دماهای حداقل و حداکثر، مدل MPI-ESM-LR برای بررسی روند تغییرات در سه دوره آینده (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و (۲۰۷۶-۲۱۰۰) و بر اساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد. با توجه به اینکه در این مطالعه هدف بررسی شاخص‌های حدی می‌باشد و رفتار و بایاس داده‌های شاخص‌های حدی با شاخص‌های میانگین متفاوت می‌باشد، در این راستا جهت ریز مقیاس

نتیجه‌گیری

تغییرات در تغییرپذیری و فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد، همچنین انسان و محیط زیست اغلب به تغییرات حداکثرها و حداقل‌ها بیش از تغییرات شرایط میانگین واکنش نشان می‌دهند. بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و بررسی روند مقادیر حدی، حداکثرها و حداقل‌ها، مهم‌تر از شرایط متوسط اقلیمی می‌باشد. لذا در این مطالعه به بررسی و تحلیل زمانی و مکانی شاخص‌های

رخدادهای حدی درجه حرارت بالا همراه می‌باشد. این نتایج دارای روندی همسو با نتایج مطالعات جهانی و منطقه‌ای می‌باشد. ایم و همکاران (۹) در بررسی شاخص‌های حدی اقلیمی تا سال ۲۰۱۰ در کره، سنسوی و همکاران (۱۸) بررسی روند شاخص‌های اقلیمی در ترکیه، جین و همکاران (۱۲) بررسی رویدادهای حدی اقلیمی در دوره حاضر و آینده در ایالت متحده، الکساندر و همکاران (۲)، چویی و همکاران (۵) بررسی تغییرات پدیده‌های حدی دما در آسیا-اقیانوس آرام، بابایان و همکاران (۳) در شبیه‌سازی برخی نمایه‌های حدی اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب سواحل دریای خزر، نشان دادند که اغلب مناطق با روند افزایشی در مقادیر حدی دما، افزایش شب و روزهای گرم و کاهش شب و روزهای سرد همراه هستند و نتایج به دست آمده در این مطالعه مطابق با این الگوها می‌باشد.

داده‌های درجه حرارت برای تعیین شاخص‌های حدی، روش BCSD جهت ریزمقیاس‌نمایی شاخص‌های حدی اصلاح گردید و به کارگرفته شد. در این پژوهش افزایش شاخص‌های حدی گرم مانند شاخص روزهای تابستانی (SU25)، در سه دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و (۲۱۰۰-۲۰۷۶) و بر اساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و همچنین کاهش شاخص حدی سرد مانند شاخص روزهای سرد (TX10P)، طی دوره‌های آتی و بر اساس این سناریوها مشاهده شد. همچنین شاخص‌های بیشینه دمای حداکثر روزانه (TXx)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) به طور کلی در دوره آتی در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است. با بررسی‌هایی که در این مطالعه انجام شد مشاهده شد که در طی دوره آماری مورد مطالعه شاخص‌های حدی دمایی تغییرات قابل توجهی داشته‌اند و منطقه مورد مطالعه با افزایش دمای هوا و

منابع

1. Ahmed K.F., Wang G., Silander J., Wilson A.M., Allen J.M., Horton R., and Anyah R. 2013. Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the US northeast. *Global and Planetary Change* 1. 320-332.
2. Alexander L., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Taghipour A., Kumar Kolli R., Revadekar J.V., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., and Vazquez-Aguirre J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111: D05109-D05109, DOI:10.1029/2005JD006290.
3. Babaeian A., Fahimi Nejad A., Bagheghade M., and Bayatani F. 2014. simulates some climate extremes indices at selected stations coast of the Caspian Sea under conditions of global warming. First Iranian National Congress on Irrigation and Drainage, Conference on Water and Climate Change, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English abstract)
4. Bonsal B.R., Zhang X., Vincent L.A., and Hogg W.D. 2001. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada, *Journal of Climate* 14: 1959-1976.
5. Choi G. et al. 2009. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007. *International Journal of Climatology* 29(13): 1906-1925.
6. DeaGaetano A.T. 1996. Recent trends in Maximum and Minimum temperature threshold exceedences in Northern United States, *Journal of Climate* 9: 1646-1657.
7. Frich P., Alexander L., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A., and Peterson T. 2002. Global changes in climatic extremes during the second half of the 20th century. *Climate Research* 19: 193-212.
8. Ghiami-Shamami F., Sabziparvar A.A., and Shinoda S. 2019. Long-term comparison of the climate extremes variability in different climate types located in coastal and inland regions of Iran. *Theor Appl Climatol.* 136: 875-897.
9. Im E.S., Jung I.W., and Bae D.H. 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.
10. IPCC. 1995. *Climate Change 1994*, In: Houghten J.T., Meira Filho L.G., Bruce J.P., Lee H., Callender, B.T., Haites E.F., Harris.
11. IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K., and Meyer, L.A., (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland; 151 pp.
12. Jin Z., Zhuang Q., Wang J., Archontoulis S.V., Zobel Z., and Kotamarthi V.R. 2017. The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO₂. *Global Change Biology* 23(7): 2687-2704.
13. Karl T.R., and Knight R.W. 1997. The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78: 1107-1119.

14. Kouzegaran S., and Mousavi Baygi M. 2015. Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. *Journal of Water and Soil* 29(3): 750-764. (In Persian with English abstract)
15. Modaresi F., and Iraqi Sh. 2009. Investigating the Impact of Climate Change on Gorganrood River, Eighth International Seminar on River Engineering, Ahvaz, Shahid Chamran University. (In Persian with English abstract)
16. Omidvar K., Javanshiri N., and Babaeian I. 2013. Evaluation of climate change in the period of 2030-2011 in southern Kerman province using the downscaling of GCM models .First National Meteorological Conference, Kerman, University of Industrial and Advanced Technology.)
17. Plummer N., Salinger M.J., Nicholis N., Suppiah R., Hennessy K.J., Leighton R.M., Trewin B., Page C.M., and Lough J.M. 1999. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. *Climate Change* 42: 183–202.
18. Sensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ekici M., Demircan M., Ulupinar Y., Atay H., TÜVANA. and DEMİRBAŞ H. 2013. Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. In 6th international atmospheric science symposium, April -ATMOS2013.
19. Sneyers R. 1990. On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143, Geneva: 192 pp.
20. Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J.F., and Masui T. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109(1-2), p.5.
21. Zhai P., Sun A., Ren F., Liu X., Gao B., and Zhang Q. 1999. Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*. 42: 203–218.
22. Zhang X., Aguilar E., Sensoy S., Melkonyan H., Tagiyeva U., Ahmed N., Kutaladze N., Rahimzadeh F., Taghipour A., Hantosh TH., Albert P., Jin Z., Zhuang Q., Wang J., Archontoulis S.V., Zobel Z., and Kotamarthi V.R. 2017. The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO₂. *Glob Change Biol*, 23: 2687–2704.



Temperature Extreme Indices Projection Based on RCP Scenarios in Northeast of Iran

S. Kouzegaran^{1*}- M. Mousavi Baygi²- I. Babacian²

Received: 27-04-2020

Accepted: 02-11-2020

Introduction: Global warming causes alteration of climate extreme indices and increased severity and frequency of incidence of meteorological extreme events. In most climate change studies, only the potential trends or fluctuations in the average long run of climatic phenomena have been examined. However, the study of affectability and pattern change of extreme atmospheric events is also important. Changes in climatic elements especially extreme temperature factors have a significant influence on the performance of farming systems. Accordingly, understanding changes in temperature parameters and extreme temperature indices is the prerequisite to sustainable development in agriculture and should be considered in management processes. Investigation of extreme values for planning and policy for the agricultural sector, water resource, environment, industry, and economic management is important.

Materials and Methods: To evaluate the extreme temperature indices trend, some indices of temperature, recommended by the CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), were considered using Rclimdex software. In this study, daily minimum and maximum temperature data retrieved from MPI-ESM-LR global climate model were used to predict future climate extreme events over the next three periods of 2026-2050, 2051-2075, and 2076-2100 based on IPCC scenarios of RCP4.5 and RCP8.5 of the studied area, covering South Khorasan province and southern part of Razavi Khorasan province, located in the east of Iran. The modified BCSD method was used to downscale extreme temperature data.

Results and Discussion: Results showed an increasing trend of warm climate extreme. According to the output of Rclimdex for RCP4.5 scenario in the period of 2026-2050, it was observed that SU25 index, summer days, has a positive trend at all studied stations. This index was found to be significant and increased at all stations in the mid-term future period, and it had an increasing trend in the far future period, which was not significant. The number of Tropical Nights (TR20) index had a positive trend at all. In the mid-term future period, there was a significant increasing trend for some stations, while there were some negative and insignificant trends at some stations in the far future. The maximum monthly daily maximum temperature (TXx) and the maximum monthly daily minimum temperature (TNx) indices also had an increasing trend at all stations, and the mid-term future period had a significant increasing trend, while the trend was decreasing in the far future period. Results for temperature extreme indices under RCP8.5 scenario showed that SU25 index had a positive trend at all stations studied in the near future, mid-term, and far future period. Index of tropical nights (TR20) had an upward trend, which was significant in mid-term and far future periods at most stations. Percentage of days in which maximum temperature is below than 10th percentile (TX10P), indicating a decrease in cold days, had a negative trend for all stations in the near future period. In the mid-term and far future periods, this trend was significant at all stations. The maximum monthly daily maximum temperature (TXx) and the maximum monthly daily minimum temperature (TNx) indices also had an increasing trend at all stations and all three periods, and the trend was significant in the mid-term future.

Conclusion: Minimum and maximum daily temperatures of MPI-ESM-LR global climate model were used to predict climatic extreme events during three future periods of 2026-2050, 2051-2075, and 2076-2100 under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios at some stations located in South Khorasan province and southern part of Khorasan Razavi province. During the three studied future periods, extreme temperature indices changed significantly. The results showed that in both periods over the future years under the both scenarios, hot extreme

1 and 2- Ph.D. Graduate in Agrometeorology and Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: saeedeh.kouzegaran@mail.um.ac.ir)

3- Assistant Professor of National Climate Research Institute, Mashhad, Iran

DOI: 10.22067/jsw.v34i6.85845

indices would increase and cold extreme indices would decrease. It was observed that hot extreme indices, such as summer day index, the number of tropical nights, warm days and nights increased, while cold extreme indices had a decreasing trend in the period of study, which shows a decrease in the severity and frequency of cold events.

Keywords: BCSD, Climate change, Climate extreme events, Maximum temperature, Minimum temperature