

مقدمه

بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم دمای کره زمین طی قرن اخیر از یک روند افزایشی برخوردار شده است و از اوایل دهه ۱۹۹۰ این روند افزایشی شدت بیش‌تری پیدا کرده است. به‌طوری‌که این دهه یکی از گرم‌ترین دهه‌ها و سال ۱۹۹۸ گرم‌ترین سال هزاره گذشته می‌باشد [۱۸]. یکی از مهم‌ترین اثرات گرمایش جهانی، افزایش رویدادهای حدی در نقاط مختلف جهان است. طی سال‌های اخیر، رخداد متناوب رویدادهای حدی همچون؛ امواج گرما، امواج سرما، بارش‌های سنگین، توفان‌ها، سیل، خشکسالی در سراسر جهان گزارش شده است [۱۵]. فراوانی بالای رخدادهای حدی به همراه تغییر در شدت یا فراوانی آن‌ها به دلیل اثرات مهمی که بر محیط زندگی انسان، اکوسیستم‌های طبیعی و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی که به دنبال دارد، از اهمیت زیادی برخوردار شده است [۹ و ۲۰]. با توجه به این‌که بسیاری از سیستم‌های بیولوژیکی (از جمله جوامع انسانی) نسبت به رویدادهای حدی اقلیم تا تغییر تدریجی اقلیم حساسیت بیش‌تری دارند [۱۳ و ۱۲] و اینکه رویدادهای حدی در زمان کوتاه و با قدرت زیاد اتفاق می‌افتد، نگرانی در ارتباط با اثرات رویدادهای حدی، مورد توجه پژوهشگران و محققان اقلیم‌شناسی و سایر رشته‌های مرتبط قرار گرفته است. برون‌تی و همکاران [۶] با بررسی روند حداکثر و حداقل دما در مقیاس‌های روزانه، فصلی و سالانه ایتالیا طی دوره ۱۸۶۵-۱۹۶۶ بیان کردند که روند افزایشی حداکثر و حداقل دما طی دوره مورد مطالعه برای جنوب ایتالیا بیش‌تر از شمال آن است. نتایج نشان داد که پارامترهای حداقل و حداکثر روزانه دما طی دوره آماری افزایش یافته است. ایم و همکاران [۱۷] طی دوره طولانی مدت ۲۱۰۰-۱۹۷۱ ساختار فضایی و زمانی روندهای حال و آینده کره جنوبی را با استفاده از شاخص‌های حدی اقلیمی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌ها بر اساس دمای حداقل تغییر قابل‌ملاحظه‌ای به سمت گرم‌تر شدن دارند. درحالی‌که شاخص بر اساس دمای حداکثر، روند قابل‌توجهی را نشان نمی‌داد. یائو و همکاران [۳۴] در پژوهشی با استفاده از داده‌های ۸ مدل CMIP5 به ارزیابی و بررسی دماهای شدید چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تا اواسط قرن ۲۱ شاخص امواج گرم افزایش و در اواخر قرن ۲۱ شاخص امواج سرد ۷۱ درصد کاهش پیدا می‌کند. زاهو و همکاران [۳۶] با مطالعه تغییرات آینده شاخص‌های اقلیمی دماهای شدید با استفاده از داده‌های مجموع مدل‌های CMIP5 در شرق آسیا بیان

بررسی روند تغییرات دماهای فرین آینده ایران با استفاده از داده‌های CMIP5

اعظم تاجیک^۱، آزاده اربابی سبزواری^۲ و رضا برنا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دماهای فرین آینده ایران انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه مدل CCSM4 طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و دوره آینده ۱۴۲۸-۱۳۸۴ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ است. نتایج بررسی روند شاخص‌های فرین گرم و سرد طی دوره پایه نشان داد که در حالت کلی فرین‌های گرم از روند مثبت و افزایشی و فرین‌های سرد از روند منفی و کاهشی در سطح ایران برخوردارند. نتایج بررسی روند شاخص‌های فرین دمایی طی دوره‌های ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و ۱۴۲۸-۱۴۰۴ نشان داد که در دوره اول بر اساس سناریوی ۴/۵ روند شاخص‌های فرین سرد و گرم در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز اصلی شرایط مشابه با دوره پایه را دارند. در دوره دوم نیز این شرایط با تغییرات محدود در توزیع مکانی روندهای کاهشی و افزایشی همانند دوره اول قابل مشاهده است. بررسی روند شاخص‌های دمایی تحت سناریوی ۸/۵ نشان داد روند شاخص‌های سرد منفی و شاخص‌های گرم مثبت است، با این تفاوت که در مقایسه با سناریو ۴/۵ روند افزایشی شاخص‌های گرم از شدت بیش‌تری به‌ویژه در دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ برخوردارند. نتایج بیانگر افزایش تغییرات دمایی و به دنبال آن افزایش رخدادهای حدی به‌ویژه رخدادهای حدی گرم در حوزه‌های آبخیز اصلی ایران است.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های فرین سرد، شاخص‌های فرین گرم، روند، ایران.

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد اسلامشهر، ایران. ایمیل: aarbaby@yahoo.com

۳- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

کردند که در این منطقه بیشترین تغییرات شامل افزایش روزهای گرم در تابستان و کاهش شاخص درجه حرارت روز در زمستان می‌شود. الکساندر و آربلاستر [۱] با استفاده از ۲۴ شاخص حدی طی دوره طولانی مدت ۲۰۱۰-۱۹۱۱ روند داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده دما و بارش استرالیا را با استفاده از داده‌های مجموع مدل CMIP5 بررسی کردند. نتایج شاخص‌های حدی نشان داد که به‌طور قابل توجهی دماهای شدید افزایش و دماهای فرین سرد کاهش پیدا می‌کنند. گبرچوکاس و همکاران [۱۱] تغییرات دما و بارش‌های حدی منطقه شرق آفریقا (اتیوپی، کنیا و تانزانیا) را طی دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۱ بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر دمای حداقل و حداکثر روزانه و حداقل و حداکثر ماهانه در سطح وسیعی از شرق آفریقا در حال افزایش است. تن و همکاران [۳۲] رخدادهای فرین دما و بارش حوضه رودخانه مودا در اندونزی را با استفاده از شاخص‌های ETCCDI مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در حوضه این رودخانه مقادیر بیش‌تر شاخص‌ها تغییر پیدا کرده است به‌طوری‌که تعداد روزها و شب‌های سرد تمایل به کاهش و تعداد روزها و شب‌های گرم تمایل به افزایش دارند. هم‌چنین تحقیقات: . هونگ و یینگ [۱۴]، هاندکچ و رودسی [۱۶]، مانتون و همکاران [۲۴] و رستیکوچی و رنوم [۳۰] از جمله دیگر تحقیقات مشابه در این زمینه هستند.

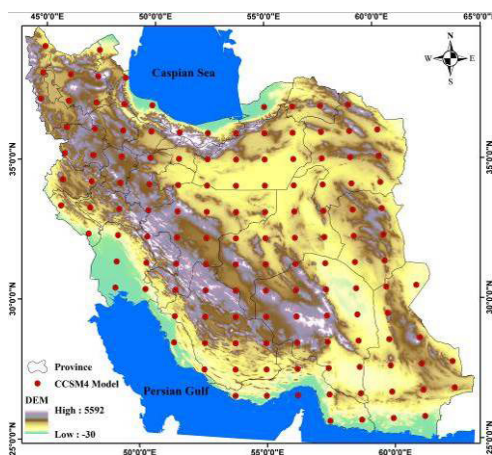
در ایران نیز مطالعات زیادی در ارتباط با دما، روند تغییرات دما و رخدادهای حدی دمایی به‌صورت کلی و هم‌چنین منطقه‌ای انجام شده است. رحیم زاده [۲۹] با استفاده از شاخص‌های حدی بارش و دما تغییرات مقادیر حدی بارش در ایران را طی دوره ۱۳۲۹-۱۳۸۱ مطالعه و نشان داد که کاهش معنی‌دار در تعداد روزهای یخبندان و افزایش شب‌های گرم به‌طور واضح اتفاق افتاده است، اما روند شاخص‌های بارش مانند دیگر نقاط دنیا از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کنند. ورشایان و همکاران [۳۳] با بررسی مقادیر حدی پارامترهای دمایی در چند نمونه اقلیمی ایران طی دوره ۴۴ ساله (۲۰۰۴-۱۹۶۱) نشان دادند که دمای حداقل در تمامی صدک‌ها به‌جز صدک ۹۵، روند افزایش معناداری دارد. دمای حداکثر روزانه، به‌جز صدک یکم و تعداد روزهای بیش‌تر از صدک ۹۰، در سایر سری‌های زمانی، روند افزایشی دارند. دارند [۸] با استفاده از ۲۷ شاخص و آزمون‌های من‌کنندال و ورسلی تغییرات مقادیر حدی بارش و دمای ایستگاه ارومیه را طی یک دوره ۴۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۱) بررسی کرد. نتایج وی نشان داد که، نمایه‌های فرین گرم روند صعودی و نمایه‌های فرین سرد روند نزولی را تجربه کرده‌اند. کوزه گران و موسوی بایگی [۲۳] با استفاده از ۲۷ شاخص مربوط به بارش و دما، رویدادهای حدی اقلیمی استان‌های خراسان رضوی و جنوبی را طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۲ بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی و شاخص‌های حدی سرد در دوره مورد مطالعه روند کاهشی دارند. عرفانیان و همکاران [۱۰] در پژوهشی با استفاده از توزیع‌های آماری و تکنیک خوشه‌بندی روابط

بین احتمال وقوع، تداوم و فراوانی نمایه‌های فرین اقلیمی در استان خراسان رضوی را طی یک دوره ۳۰ ساله مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دوره‌های بازگشت خاص، فراوانی وقوع روزهای یخی در تداوم‌های بیش‌تر کاهش یافته است، ولی در تداوم‌های کم‌تر مقادیر بیش‌تری را به خود اختصاص می‌دهند. هم‌چنین می‌توان به تحقیقات مشابه دیگر هم‌چون؛ علیجانی و فرج‌زاده [۲]، علیجانی و همکاران [۳]، عسگری و همکاران [۴]، برنا و شاه رضایی [۵]، جهانیش و همکاران [۱۹]، کریمی و همکاران [۲۱]، میری و رحیمی [۲۵]، محمدی و تقوی [۲۷]، نیز در این زمینه اشاره کرد.

براساس مرور مطالعات انجام شده با توجه به پیامدهای نامطلوب، ناهنجاری‌ها و تهدیدهای حاصل از فراوانی، تداوم و شدت این رویدادها و از طرف دیگر عدم توجه به رویدادهای حدی دمای آینده ایران و هم‌چنین بررسی در مقیاس کل کشور، بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی فرین‌های حدی دمایی آینده ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است. ازاین‌رو در این پژوهش سعی بر این شده است که روند رویدادهای حدی دمای آینده ایران با استفاده از شاخص‌های تعیین‌شده از سوی کارگروه شناسایی تغییرپذیری اقلیمی و با استفاده از داده‌های مدل منتخب CMIP5 شناسایی و تحلیل شوند.

مواد و روش‌ها داده‌ها

برای رسیدن به هدف تحقیق از داده‌های مجموع مدل‌های CMIP5 طی دوره ۱۴۲۸-۱۳۶۴ استفاده شد. داده‌های مورد استفاده از مدل‌های منتخب این مجموعه شامل دمای حداکثر و حداقل و هم‌چنین شاخص‌های حدی این مدل‌ها طی دوره تاریخی ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و دوره ۱۴۲۸-۱۳۸۴ می‌باشد.



شکل ۱- پراکنش نقاط مدل CCSM4 در سطح ایران

Fig 1. Distribution of geographical locations of CCSM4 Model points on Iran map

قابل ذکر است که مجموعه مدل‌های CMIP5 شامل ۴۹ مدل و پایگاه داده می‌باشد که در این تحقیق از داده‌های بهترین مدل از نظر قدرت تفکیک مکانی و زمانی و هم‌چنین بهترین مدل از نظر دقت در برابر داده‌های ایستگاه‌های مشاهداتی استفاده شده است. بر

اساس تحقیقات انجام شده توسط؛ کتیرایی و همکاران [۲۲]؛ میری و همکاران [۲۶]، از بین مجموعه مدل‌های CMIP5 مدل MIRC4h با قدرت تفکیک مکانی $0.56^{\circ} \times 0.56^{\circ}$ و مدل CCSM4 با قدرت تفکیک مکانی $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ درجه جغرافیایی، بهترین دقت را در برابر داده‌های مشاهده‌ای ایران دارند. در تحقیقات اشاره شده، دقت داده‌های بارش و دمای مجموع مدل‌های CMIP5 طی دوره تاریخی ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و همچنین دوره حاضر ۱۳۹۲-۱۳۸۴ با استفاده از شش آماره R^2 , RMSE, BIAS, EF, SLOPE, IA ارزیابی شده است. با توجه به اینکه داده‌های مدل MIRIC4 فقط بر اساس سناریو ۴/۵ و تا سال ۱۴۱۳ برای دما در دسترس است، از این‌رو از داده‌های مدل CCSM4 که هم برای بازه زمانی طولانی‌تر (۱۳۸۴-۱۴۲۸) و هم بر اساس سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ در دسترس است، به عنوان مدل نهایی برای ارزیابی تغییرات رخدادهای حدی دمای آینده ایران استفاده شد. داده‌ها و اطلاعات مربوط به نسخه‌های مربوط به CMIP در <https://pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html> قابلیت دسترسی دارد.

روش پژوهش

بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی داده‌های دریافت شده و محاسبه شاخص‌های فرین دمایی در محیط نرم افزار R و با استفاده از اکستنشن RclimDex انجام شد. نرم افزار RclimDex توسط بخش تحقیقات اقلیمی- هواشناسی کانادا در محیط R تهیه شده که منوط به نصب و راه اندازی برنامه نویسی R می‌باشد. در این نرم افزار قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم‌افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی و یا بزرگتر یا مساوی بودن دمای حداقل از دمای حداکثر بررسی شده و داده‌های پرت مشخص و اصلاح می‌شود. در ادامه شاخص‌های حدی اقلیم با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر توسط نرم افزار RclimDex محاسبه می‌شود [۲۳]. در این پژوهش برای محاسبه شاخص‌های حدی دما از ۱۴ شاخص استفاده شد (جدول ۱). شاخص‌های حدی گرم شامل (SU25, TR20, TX90P, TN90P, TXx, TNx, WSDI) و شاخص‌های سرد

شامل (FD, ID, TX10P, TN10P, TXn, TNn, CSDI) می‌شوند. ویژگی‌های هر شاخص در جدول (۲) نشان داده شده است. پس از محاسبه شاخص‌های حدی دما، با استفاده از آزمون من کندال روند شاخص‌های حدی طی دوره تاریخی و آینده تحت سناریوهای مختلف محاسبه شد. معناداری روندهای افزایشی و یا کاهشی هر شاخص طی دوره‌های تاریخی و آینده، در سطوح مختلف ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد مورد بررسی قرار گرفت. مقدار Z آزمون من کندال حد فاصل بین $-1/96$ تا $1/75$ نشان‌دهنده معناداری روند کاهشی یا افزایشی در سطح ۹۰ درصد، حدفاصل بین $-2/57$ تا $1/96$ معناداری روند در سطح ۹۵ و بیش از $2/57$ معناداری روند در سطح ۹۹ درصد را نشان می‌دهند.

نتایج

شاخص‌های فرین سرد

شکل (۲) روند رخداد فراوانی شاخص‌های فرین سرد ایران طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و دوره‌های آتی ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲) در دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ براساس خروجی‌های مدل CCSM4 تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲) در دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ روند کلی شاخص FD در پهنه ایران زمین کاهشی است. روند این شاخص در دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ بر اساس سناریو ۴/۵ کاملاً مشابه با دوره پایه می‌باشد. در دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ بر اساس سناریو ۴/۵ روند کاهشی شاخص FD از گستره بیش‌تر اما از شدت کم‌تری نسبت به دو دوره قبل برخوردار است. شدت کاهش روند در حوضه ایران مرکزی شدیدتر از سایر نقاط می‌باشد و روند من‌کندال در این مناطق در سطوح ۹۰ و ۹۵ درصد معنادار شده است. روند شاخص ID نیز در پهنه کشور کاهشی است. نمرات Z آزمون من‌کندال برای این شاخص در بخش اعظمی از کشور صفر و کم‌تر از آن می‌باشد. روند این شاخص طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ براساس سناریوی ۴/۵ کاملاً مشابه و هم‌سو با دوره پایه می‌باشد و هیچ تفاوتی با آن ندارد. در دوره آتی دوم یعنی طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۲۸ و بر اساس سناریو ۴/۵ هم‌چنان روند کلی شاخص ID در کشور کاهشی است، اما

جدول ۱- مشخصات مدل‌های منتخب CMIP5

Table 1. Characteristics of the CMIP5 Models

مدل Model	رزولوشن Resolution	مرکز Center	سناریوها Scenario	دوره‌ی آماری Statistic period	کشور Country	رفرنس Refrence
MIROC4h	$0.56^{\circ} \times 0.56^{\circ}$	موسسه تحقیقات هواشناسی، تسوکوبا Meteorological Research Institute	تاریخی Historical rcp 2.6 rcp 4.5 rcp 8.5	1950-2005 2006-2035	ژاپن Japan	یوکیموتو و همکاران ۱۳۹۰ Yukimto et.al 2012
CCSM4	$0.56^{\circ} \times 0.56^{\circ}$	مرکز ملی تحقیقات جوی University of Miami - RSMAS	تاریخی Historical rcp 2.6 rcp 4.5 rcp 8.5	1850-2005 2006-2100	ایالات متحده آمریکا USA	گنت و همکاران ۱۳۸۹ Gent et.al 2011

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

Table 2. Listing of Temperature extreme indicators recommended by the expert group CCL/CLIVAR

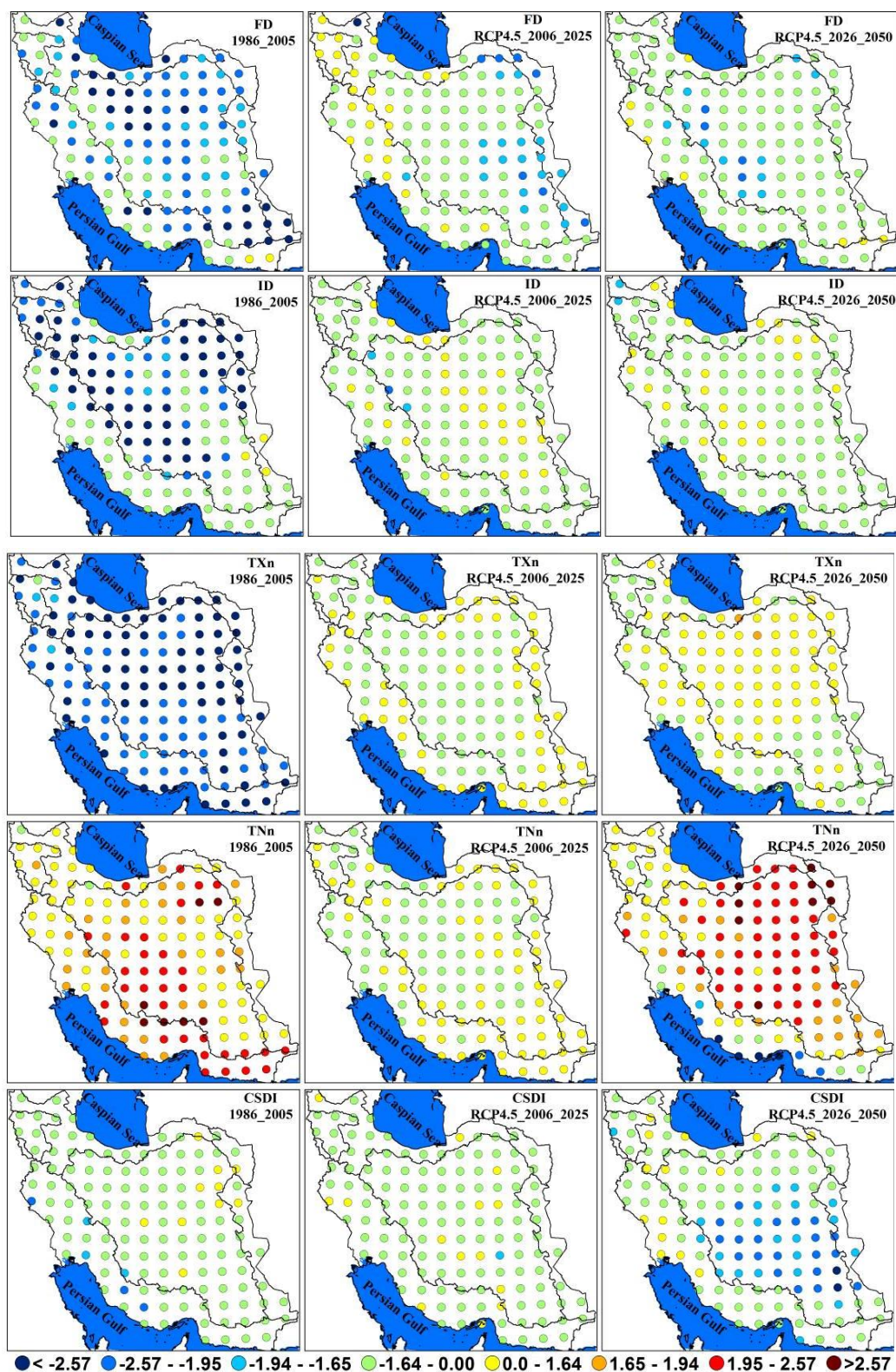
شاخص (Index)	معرفی شاخص (Definition)	واحد	Units
FD	تعداد روزهای یخبندان (0°C : Days Number of Frost) < دمای حداقل روزانه	روز	day
SU25	تعداد روزهای تابستانی (25°C : Summer days) > حداکثر دمای روزانه	روز	day
ID	تعداد روزهای یخی (0°C : Number of Ice Days) < دمای حداکثر روزانه	روز	day
TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای (20°C : Tropical nights) > دمای حداقل روزانه	روز	day
TXx	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Maximum Tmax)	سانتی‌گراد	$^{\circ}\text{C}$
TNx	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Tmin Maximum)	سانتی‌گراد	$^{\circ}\text{C}$
TXn	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Minimum Tmax)	سانتی‌گراد	$^{\circ}\text{C}$
TNn	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Minimum Tmin)	سانتی‌گراد	$^{\circ}\text{C}$
TX90 P	روزهای گرم (Warm Days): درصد روزهایی که دمای حداکثر یب شتر از صدک نودم باشد.	روز	day
TN90 P	شب‌های گرم (Warm Nights): درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد.	روز	day
TX10 P	روزهای سرد (Cool Days): درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد.	روز	day
TN10 P	شب‌های سرد (Cool Nights): درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد.	روز	day
CSDI	نمایه طول مدت سرما (Cold Spell Duration Index): تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد.	روز	day
WSDI	نمایه طول مدت گرما (Warm Spell Duration Index): تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آنها بیشتر از صدک نودم باشد.	روز	day

شرق و قسمتی از حوضه دریای مازندران این روند افزایشی در سطح مختلف آماری معنادار هستند. بررسی روند شاخص طول مدت سرما (CSDI) طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ نشان داد که روند کلی این شاخص در سطح حوزه‌های آبخیز اصلی ایران کاهش است؛ اما باید در نظر داشت که شدت کاهش روند چندان قابل توجه نیست. این شرایط دقیقاً برای داده‌های برآورد شده در دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ بر اساس سناریو ۴/۵ نیز صادق است. در دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ و بر اساس سناریو ۴/۵ روند کاهش شاخص csdi از شدت بیش‌تری نسبت به دو دوره قبل برخوردار است. روند کلی این شاخص در این دوره منفی است که در حوضه‌های مرکزی و مرزی شرق کشور این روند کاهش در سطح ۹۵ و بعضاً در سطح ۹۹ درصد به معناداری رسیده است.

با توجه به شکل (۳) روند شاخص FD در سناریو ۸/۵ طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ کاهش است و فراوانی نقاط دارای روند منفی افزایش یافته است. شدت کاهش روند در حوضه ایران مرکزی شدیدتر از سایر حوضه‌ها می‌باشد و روند من‌کندال در این حوضه در سطوح ۹۰ و ۹۵ درصد معنادار شده است. طی دوره ۱۴۲۸-۱۴۰۴ و بر اساس سناریو ۸/۵ روند کلی شاخص FD منفی است و در اکثر مناطق مقدار آماره من‌کندال کم‌تر از صفر است اما به سطح معناداری نرسیده است. روند شاخص روزهای یخی (ID) تحت سناریوی ۸/۵ طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ عمدتاً هم‌سو با سناریو ۴/۵ است، اما فراوانی روندهای مثبت در حوضه‌های ایران مرکزی و مرزی شرق بیش‌تر

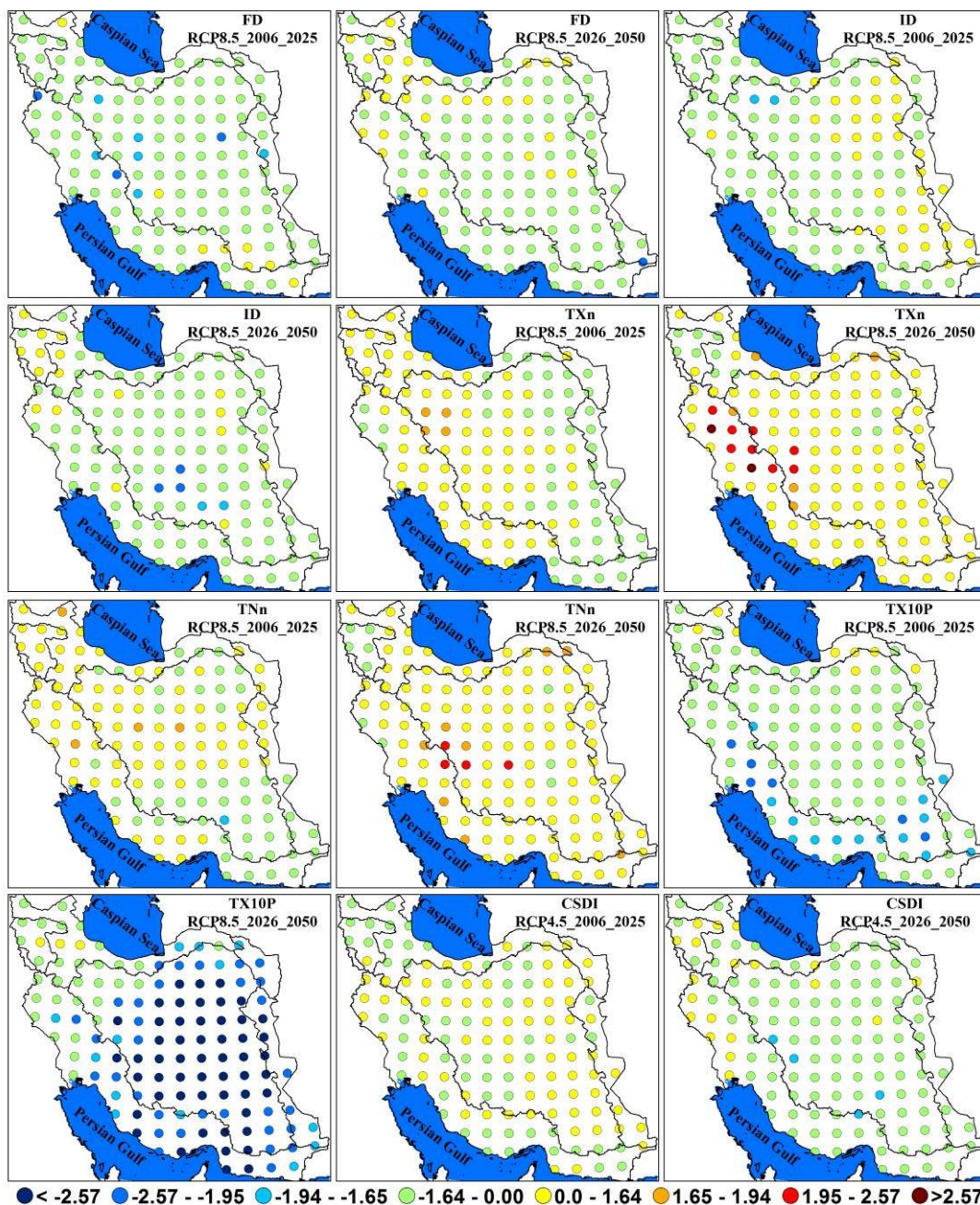
مقادیر Z از شدت کم‌تری برخوردارند. روند شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) نشان داد که طی دوره پایه روند کلی این شاخص از شیب ضعیف کاهشی برخوردار است و مقادیر آماره من‌کندال در بیش از ۹۰ درصد مساحت کشور ایران منفی است، اما در هیچ نقطه‌ای این روند منفی معنادار نمی‌باشد. روند شاخص TXn طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ بر اساس داده‌های سناریو ۴/۵ مشابه دوره پایه است. طی دوره ۱۴۲۸-۱۴۰۴ در حوضه ایران مرکزی فراوانی نقاط دارای روند کاهش بیش‌تر است در حالی که در مناطق حوزه آبخیز مرزی شرق و قره قوم فراوانی نقاط دارای روند مثبت بیش‌تر است. بررسی روند شاخص TNn نشان داد که طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ روند این شاخص از شیب ضعیفی برخوردار است و مقادیر مثبت و منفی شاخص Z در سطح هیچ حوضه‌ای معنادار نمی‌باشند. طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴

روند این شاخص براساس سناریو ۴/۵ شدت روندهای مثبت شدیدتر و فراوانی آنها نیز مقداری افزایش یافته است. توزیع مکانی نمرات Z در این دوره نسبت به دوره پایه تغییراتی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که در نیمه غربی کشور روندها بیش‌تر مثبت است و در نیمه شرقی بیش‌تر منفی است. در دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ و بر اساس سناریو ۴/۵ روند افزایش شاخص TNn از شدت و گستره بیش‌تری نسبت به دو دوره قبل برخوردار است. همان‌طور که در شکل (۲) مشخص است روند عمومی این شاخص در این دوره به طور قابل توجهی مثبت است که در حوضه‌های ایران مرکزی، قره قوم، مرزی



شکل ۲- روند شاخص‌های حادی سرد (FD, ID, TXn, TNn, TX10P, CSDI) براساس خروجی‌های مدل CCSM4 تحت سناریوی ۴/۵ طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۸۴ و دوره‌های آتی ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و ۱۴۲۸-۱۴۰۴. مقادیر مربوط به هر رنگ بر اساس سطوح معناداری شاخص Z می‌باشد.

Fig 2. The trend of cold extreme indicators (FD, ID, TXn, TNn, TX10P, CSDI) based on the outputs of the CCSM4 model under scenario 4.5 during the base period of 1986-2005 and future periods of 2006-2050 and 2026-2050.



شکل ۳- روند شاخص‌های حدی سرد (FD, ID, TXn, TNn, TX10P, CSDI) براساس خروجی‌های مدل CCSM4 تحت سناریوی ۸/۵ طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و دوره‌های آتی ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و ۱۴۲۸-۱۴۰۴. مقادیر مربوط به هر رنگ بر اساس سطوح معناداری شاخص Z می‌باشد.

Fig 3. The trend of cold extreme indicators (FD, ID, TXn, TNn, TX10P, CSDI) based on the outputs of the CCSM4 model under scenario 8.5 during the base period of 1986-2005 and future periods of 2006-2050 and 2026-2050.

عمدتاً در غرب حوزه‌های ایران مرکزی و دریای مازندران، در سطح حوزه دریاچه ارومیه و خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند. در مقابل در نیمه شرقی حوزه ایران مرکزی، حوزه مرزی شرق و قره قوم روند شاخص TXn منفی است، اما شیب کاهش روند ضعیف بوده و در هیچ نقطه‌ای معنادار نمی‌باشد. روند کلی شاخص TXn طی دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ بیانگر روند مثبت در پهنه ایران زمین است

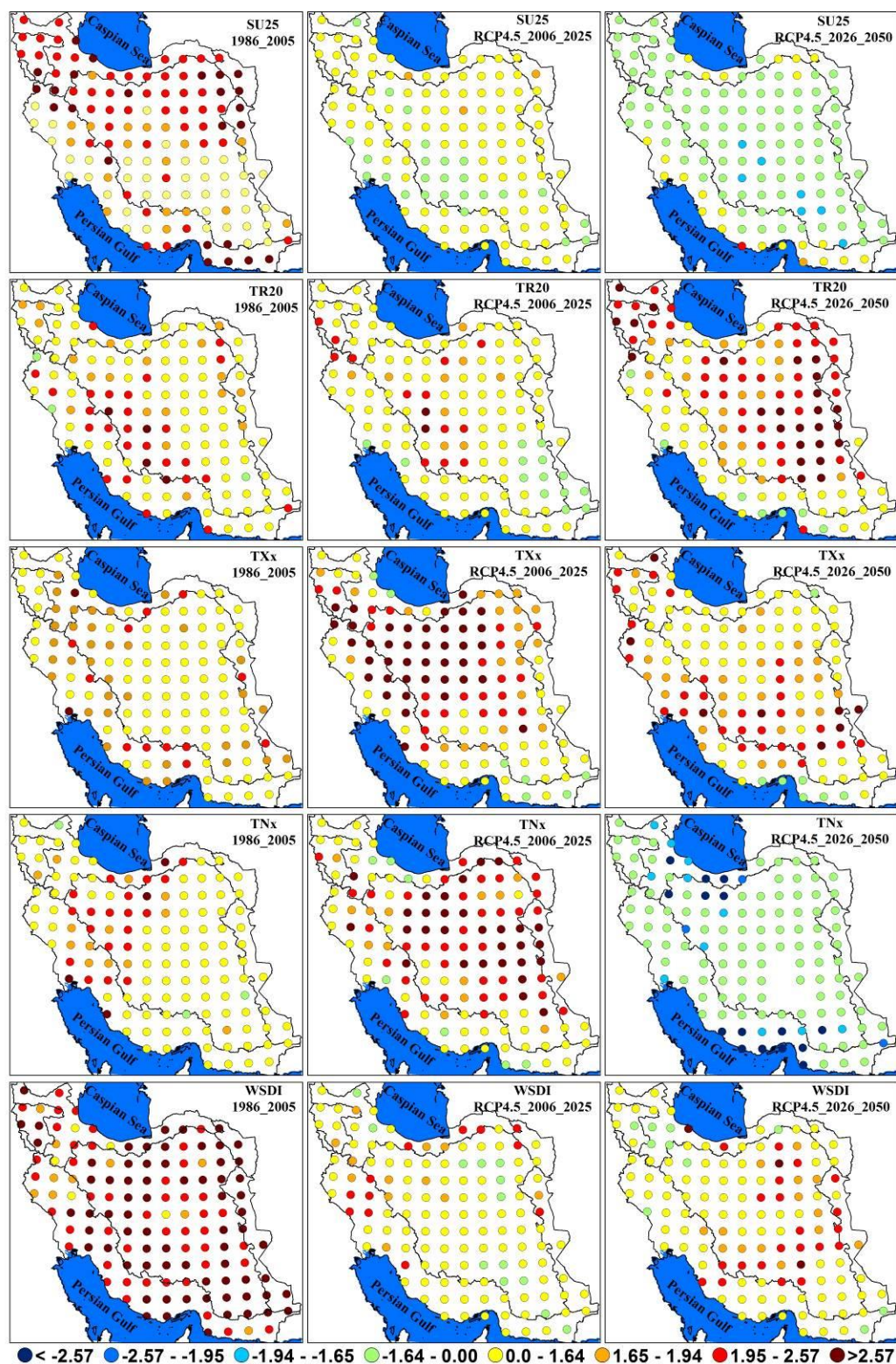
شده است (شکل ۳). طی دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸، نیز تفاوت‌هایی در روند شاخص ID قابل مشاهده است. در این دوره روندهای مثبت به جای حوزه‌های مرکزی و مرزی شرق کشور، در حوزه دریاچه ارومیه تمرکز بیشتری دارند. روند شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) تحت سناریو ۸/۵ طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ برای بیش‌تر حوزه‌های آبخیز اصلی ایران افزایشی است. این نقاط

که عمده روندهای افزایشی از شدت زیادی برخوردار نمی‌باشند. روند شاخص TNn براساس سناریو ۸/۵ طی دوره ۱۳۸۴-۱۴۰۳ افزایشی است و در برخی از قسمت‌های حوضه‌های ایران مرکزی و خلیج فارس و دریای عمان نمرات Z بالاتر از صفر هستند (شکل ۳). هر چند فقط در نقاط محدودی مقدار Z معنادار شده است. در مقابل برای قسمت‌های جنوبی حوضه ایران مرکزی، مرزی شرق و سواحل دریای عمان روند این شاخص منفی به‌دست آمده است. روند کلی شاخص TNn در سناریو ۸/۵ طی دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ نیز منطبق با سناریو ۴/۵ است و در اکثر نقاط کشور مقدار آماره من‌کنندال مثبت است. اما در این سناریو شیب افزایش روند ضعیف‌تر شده و در اکثر مناطق کشور از سطح معناداری فاصله دارد. بررسی روند شاخص طول مدت سرما (CSDI) طی دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ بر اساس سناریو ۸/۵ نشان داد که روند کلی این شاخص تقریباً خنثی است و تعداد نقاط دارای روند منفی و مثبت به هم نزدیک‌اند. طی دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ نیز روند این شاخص در حالت کلی منفی است ولی نسبت به دوره قبل شدت روندها افزایش یافته و در برخی از نقاط حوضه ایران مرکزی نمرات منفی من‌کنندال در سطح ۹۰ درصد معنادار می‌باشند.

شاخص‌های فرین گرم

شکل (۴) روند رخداد فراوانی شاخص‌های فرین گرم ایران طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و دوره‌های آتی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ و ۱۴۰۴-۱۴۲۸ براساس خروجی‌های مدل CCSM4 تحت سناریوهای ۴/۵ را نشان می‌دهد. روند شاخص تعداد روزهای تابستانی (SU25) بر اساس خروجی مدل CCSM4 در دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ در پهنه ایران زمین افزایشی است. روند این شاخص تحت سناریو ۴/۵ در دوره آتی ۱۳۰۴-۱۳۸۴ کاملاً منطبق و هم‌سو با دوره پایه می‌باشد و توزیع مکانی روند شاخص SU25 در دوره پایه برای دوره آتی اول صادق است (شکل ۴، SU25). روند کلی شاخص SU25 در دوره آتی دوم (۱۴۰۴-۱۴۲۸) نشان داد که برخلاف دو دوره قبل در حدود ۹۰ درصد کشور نمرات شاخص Z منفی است، هرچند در اکثر مناطق روندهای منفی به سطح معناداری نرسیده‌اند، ولی در برخی از نقاط حوضه ایران مرکزی در سطح ۹۰ درصد روندهای منفی معنی‌دار است. نتایج بررسی روند شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) نشان داد که طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ روند کلی این شاخص در پهنه ایران زمین افزایشی است. به‌طوری‌که به جز جنوب شرق ایران در حوضه ایران مرکزی و مرزی شرق در اکثر حوضه‌ها نمره Z من‌کنندال مثبت است. این شرایط دقیقاً برای داده‌های برآورد شده در دوره ۱۳۸۴-۱۴۰۳ سناریوی ۴/۵ صادق است. روند این شاخص برای دوره آتی دوم (۱۴۰۴-۱۴۲۸) همچون دوره آتی اول افزایشی است با این تفاوت که هم شدت و هم گستره روند آن در این دوره افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که فقط در سواحل جنوب و دو نقطه پراکنده در غرب روند شاخص TR20 منفی به‌دست آمده

است. نتایج بررسی روند شاخص بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx) طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ بیانگر روند کلی این شاخص در کشور با شیب شدیدی افزایشی است؛ به‌طوری‌که عمده روندهای مثبت از نظر آماری معنادار هستند. در قسمت‌های از حوضه‌های ایران مرکزی، مرزی شرق و خلیج فارس و دریای عمان مقادیر Z بیش از ۱/۶۵ است که گویای معناداری روند در سطح ۹۰ و ۹۵ درصد است. در دوره آتی اول یعنی دوره ۱۳۸۴-۱۴۰۳ و بر مبنای سناریو ۴/۵ شرایط روند شاخص TXx منطبق و هم‌سو با دوره پایه می‌باشد با این تفاوت که شدت روند افزایشی در قسمت‌های از حوضه‌های ایران مرکزی، مرزی شرق و خلیج فارس و دریای عمان بیش‌تر شده است. در دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ روند افزایشی شاخص TXx کماکان تداوم دارد اما نسبت به دوره قبل از شدت ضعیف‌تری برخوردار است. با توجه به شکل (۴) روند شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه TNx حاصل از مدل ccsm4 طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ از شیب شدید افزایشی برخوردار است. از نظر مکانی شدیدترین روند افزایشی در قسمت‌های از حوضه‌های دریای مازندران، ایران مرکزی و خلیج فارس و دریای عمان رخ داده است. این شرایط برای داده‌های برآورد شده در دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ بر اساس سناریو ۴/۵ نیز با شدت بیش‌تر قابل مشاهده است. روند شاخص TNx حاصل از سناریو ۴/۵ در دوره ۱۴۰۴-۱۴۲۸ گویای روند کاهشی آن در سراسر کشور است. به‌طوری‌که به جز چند نقطه در همه ایران مقدار آماره من‌کنندال منفی است. روند شاخص طول مدت گرما (WSDI) طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ با شیب شدیدی افزایشی است؛ چرا که در اغلب نقاط ایران بویژه حوضه‌های مرزی شرق و ایران مرکزی مقدار Z من‌کنندال در سطوح مختلف معنادار می‌شود. در دوره آتی اول یعنی دوره ۱۳۸۴-۱۴۰۳ و بر مبنای سناریو ۴/۵ شرایط روند شاخص wsdi متفاوت با دوره پایه می‌باشد و در بیش‌تر حوضه‌ها شیب روند افزایشی نسبت به دوره پایه کم‌تر می‌شود. برای دوره زمانی ۱۴۰۴ تا ۱۴۲۸ بر اساس سناریو ۴/۵، روند شاخص wsdi همچنان افزایشی است. شدت روندهای مثبت برای این دوره در حوضه ایران مرکزی بیش‌تر است. بررسی روند شاخص‌های روزهای گرم (TX90p) و شب‌های گرم (TN90p) طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ نشان داد که این دو شاخص در بیش‌تر نقاط کشور از روند افزایشی برخوردارند با این تفاوت که نرخ افزایشی روند شب‌های گرم بیش‌تر از روزهای گرم است. روند این دو شاخص در دوره آتی ۱۴۰۳-۱۳۸۴ بر اساس سناریو ۴/۵ مشابه با دوره پایه و برای بیش‌تر نقاط مثبت است. در دوره آتی ۱۴۰۴-۱۴۲۸ روند کلی شاخص tn90p منفی است. در حالی‌که روند شاخص tx90p کماکان افزایشی ارزیابی شده است و به جز گوشه جنوب شرق کشور که دارای روند ضعیف کاهشی است، در دیگر مناطق کشور مقادیر Z مثبت است.



شکل ۴- روند شاخص‌های حدی گرم (FD, ID, TXn, TNn, TX10P, CSDI) براساس خروجی‌های مدل CCSM4 تحت سناریوی ۴/۵ طی دوره پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴ و دوره‌های آتی ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و ۱۴۲۸-۱۴۰۴. مقادیر مربوط به هر رنگ بر اساس سطوح معناداری شاخص Z می‌باشد.

Fig 4. The trend of warm extreme indicators (FD, ID, TXn, TNn, TX10P, CSDI) based on the outputs of the CCSM4 model under scenario 4.5 during the base period of 1986-2005 and future periods of 2006-2050 and 2026-2050.

در این پژوهش نتایج بررسی مقادیر شاخص‌های حدی دما طی سه دوره ۱۳۸۳-۱۳۶۴، ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و ۱۴۲۸-۱۴۰۴ نشان داد که طی دوره پایه شاخص‌ها گرم از روند افزایشی و شاخص‌های سرد از روند کاهشی برخوردار هستند و روند افزایشی و کاهشی در بسیاری از مناطق کشور ایران در سطوح ۹۰ و ۹۵ درصد معنادار هستند. همچنین مشخص شد که در حالت کلی بر اساس پیش‌بینی‌های سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ مدل CCSM4 روند اکثر شاخص‌های حرارتی سرد کاهشی و شاخص‌های حرارتی گرم در سطح حوزه‌های آبخیز اصلی ایران افزایشی است. نکته دیگر آن‌که در همه شاخص‌های دمایی روند دوره پایه با روند سناریو ۴/۵ دوره ۱۳۸۴-۱۴۰۳ تا حد زیادی مشابه است. نتایج محاسبه شاخص‌های حدی سرد نشان داد که در آینده رخداد بیش‌تر شاخص‌های سرد، کاهش خواهد یافت. نتایج روند این شاخص‌ها با استفاده از آزمون‌های من‌کنندال نیز به خوبی کاهش رخداد شاخص‌های فرین سرد در آینده را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که روند شاخص‌های FD، ID، TN10P، TX10P و CSDI در هر سه دوره زمانی و هر دو سناریو، کاهشی به‌دست آمده است که شاخص روزهای یخبندان یا FD و CSDI یا طول مدت سرما در سناریو ۴/۵ از روند کاهشی شدیدتری نسبت به سناریو ۸/۵ برخوردارند. روند کاهشی شاخص‌های TN10P، TX10 با گذشت زمان شدیدتر خواهد شد؛ چرا که روند آن‌ها در دوره آتی دوم به شدیدترین حالت خود می‌رسد. سناریو ۸/۵ روند این دو شاخص را شدیدتر از سناریو ۴/۵ نشان می‌دهد. روند شاخص‌های TXN و TNN برای خروجی داده‌های CCSM4 نیز افزایشی به‌دست آمده است. شدت افزایش برای TXN بسیار شدید می‌باشد و در دوره آتی دوم تحت سناریو ۸/۵ به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

نتایج بررسی روند شاخص‌های حدی گرم با استفاده از آزمون‌های من‌کنندال نشان داد که روند شاخص‌های گرمایی در دوه پایه ۱۳۸۳-۱۳۶۴، دوره ۱۴۰۳-۱۳۸۴ و دوره ۱۴۲۸-۱۴۰۴ برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ عمدتاً افزایشی است. در بین دوره‌ها و سناریوها بیش‌ترین شیب روند شاخص‌های گرم مربوط به سناریو ۸/۵ دوره ۱۴۲۸-۱۴۰۴ است. به‌طوری‌که در همه شاخص‌های گرم (SU25، TR20، TX90P، TN90P، TNX، TXX و WSDI) بیش‌ترین گستردگی و شدت آماره من‌کنندال متعلق به سناریو ۸/۵ طی دوره آتی دوم می‌باشد. در بیش‌تر موارد نتایج سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ هم‌سو و منطبق با هم بود و فقط شدت نمرات روند در آن‌ها متفاوت است. در بین همه شاخص‌های گرمایی شدیدترین روند افزایشی را می‌توان در شاخص TX90P، TN90P مشاهده نمود. در تحقیقات انجام شده مرتبط با شرایط دمایی آینده ایران با استفاده از داده‌های مدل‌های CMIP5 توسط دارندگان [۷]، رحیمی و خلیلی [۲۸]، میری و همکاران [۲۶]، بر کاهش تعداد روزهای سرد و برفی و افزایش روزهای گرم و دماهای بالا تاکید شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همچنین نتایج مطالعات زرین و همکاران

[۳۵]، با استفاده از داده‌های گزارش ششم IPCC و مدل‌های CMIP6 نشان‌دهنده افزایش درجه حرارات ایران است. در تحقیقات مشابه انجام شده با استفاده از داده‌های CMIP5 در خارج از کشور نیز توسط زاهو و همکاران [۳۶] در شرق آسیا، سئو و همکاران [۳۱] بررسی تغییرات دما و بارش حدی چین، الکساندر و آریلاستر [۱] در ارتباط با رویدادهای آینده دما و بارش استرالیا، افزایش روند شاخص‌های گرم و کاهش شاخص سرد بیان شده است. در مجموع می‌توان گفت که تحت تأثیر گرمایش جهانی و افزایش دمای کشور روند شاخص‌های گرمایی افزایش خواهد یافت و فراوانی آن‌ها در آینده بیش‌تر می‌شود.

منابع

- Alexandera, L.V. and Arblaster, J.M. 2017. Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes*.15: 34–56.
- Alijani, B. and Farajzadeh, H. 2015. Trend Analysis of Extreme Temperature Indices in the North West of Iran. *Journal of Geography and planning*.19 (52): 229-256. (In Persian)
- Alijani, B. Roshani, A. Parak, F. and Heydari, R. 2013. Trends in extreme daily temperature using climate change indices in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2(2): 17-28. (In Persian)
- Asgari, A. Rahimzadeh, F. Mohammadian, N. and Fattahi, E. 2008. Trend Analysis of Extreme Precipitation Indices over Iran. *Iran-Water Resources Research*. 3 (3): 42-55. (In Persian)
- Borna, R. and Hasanazadeh Shahrezaei, E. 2016. Extreme Climate Events Analysis and Assessment of Khuzestan Province by Mann Kendall Method. *Quarterly of geography (Regional on planning)*. 6(23): 7-18. (In Persian)
- Brunetti, M. Buffoni, L. Maugeri, M. and Nanni, T. 2000. Trends of minimum and maximum Daily Temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*. 66: 49-60.
- Darand, M. 2020. Future changes in temperature extremes in climate variability over Iran. *Meteorological Applications*. 27(6), doi.org/10.1002/met.1968.
- Darand, M. 2014. Analysis of variations in extreme temperature and precipitation in Oromieh indices as the signs of climate change. *Journal of Water and Soil Conservation*. 21(2):12-19. (In Persian)
- Easterling, D.R. Meehl, G.A. Parmesan, C. Changnon, S. Karl, T.R. and Mearns, L.O. 2000. Climate extremes. Observations, modeling, and impacts, *Atmospheric sciences*. E289 (487): 2068-2074.

Analysis and Forecasting of Extreme Temperature Parameters in southern part of the Caspian Sea. *Researches in Geographical Sciences*. 18 (48): 79-93. (In Persian)

22. Katirae-Boroujerdy, P.S. Akbari Asanjan, A. Chavoshian, A. Hsu, K.L. and Sorooshian, S. 2019. Assessment of seven CMIP5 model precipitation extremes over Iran based on a satellite-based climate data set. *International Journal of Climatology*. 39(8):3505–3522.

23. Kouzegaran, S. and Mousavi Baygi, M. 2015. Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. *Water and Soil*. 3(29): 750-764. (In Persian)

24. Manton, M.J. Della-Marta, P.M. Haylock, M.R. Henness, K.J. Nicholls, N. Chambers, L.E. Collins, D.A. Daw, G. Finet, A. Gunawan, D. Inape, K.H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M., Page, J. Pahala, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin Tibig, I. and Yee, D. 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1916-199. *International Journal of Climatology*. 21: 269-284.

25. Miri, M. And Rahimi, M. 2016. Global warming and the trend of temperature changes in Iran. *Young Researchers club - Islamshahr branch*. (In Persian)

26. Miri, M. Masoompour Samakosh, J. Raziei, T. Jalilian, A. and Mahmodi, M. 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.

27. Mohammadi, H. and Taghavi, F. 2007. The trend of temperature and precipitation extreme indicators in Tehran. *Geographical Research Quarterly*. 38(1): 169-179. (In Persian)

28. Rahimi, J. Laux, P. and Khalili, A. 2020. Assessment of climate change over Iran: CMIP5 results and their presentation in terms of Köppen–Geiger climate zones. *Theoretical and Applied Climatology*, 141:183–199.

29. Rahimzadeh, F. 2008. Investigation of changes in Extreme Precipitation Indices of Iran. *Nivar*. 30(59): 7-20. (In Persian)

30. Rusticucci, M. and Renom, M. 2008. Variability and trends in Investigation of changes in Extreme Precipitation Indices of Iran in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. *International Journal of Climatology*. 28: 1083-1095.

31. Seo, Y.W. Kim, H. Yun, K.S. and Lee, J.Y. 2014. Future change of extreme temperature climate indices over East Asia with uncertainties estimation in the CMIP5. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 50: 57-72.

32. Tan, M.I. Samat, N. Chan, N.W. Lee, A.J. and Li, C. 2019.

10. Erfanian, M. Ansari, H. Alizadeh, A. and Banayan A.M. 2017. Estimation of Relationship between Frequency-Duration and Return Period of Extreme Climatic Events in Khorasan Razavi Province. *Geographical Research*. 32 (1):37-50. (In Persian)

11. Gebrechorkos, S.h. Hülsmann, S. and Bernhofer, C. 2018. Changes in temperature and precipitation extremes in Ethiopia, Kenya, and Tanzania. *International Journal of Climatology*. 39(1):18–30. doi: 10.1002/joc.5777.

12. Handmer, J. Honda, Y. Kundzewicz, Z.W. and Mechler, R. 2012. Changes in impacts of climate extremes: Human systems and ecosystems, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 231-290.

13. Hanson, C.E. Palutikof, J.P. Dlugolecki, A. and Giannakopoulos, C. 20006. Bridging the gap between science and the stakeholder. The case of climate change research. *Climate Research*. 31: 121–133.

14. Hong, Y. and Ying, S. 2018. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices. *Advances in Climate Change Research*. 9: 218-226.

15. Hu, Y. Maskey, S. and Uhlenbrook, S. 2012. Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China. *Climatic Change*. 110: 403-429.

16. Hundechea, Y. and Rdossy, A. 2005. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. *International journal of climatology*, 25: 1189–1202.

17. Im, E.S. Jung, I.W. and Bae, D.H. 2011. structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. *International Journal of Climatology*. 31(1): 72–86.

18. IPCC. 2007. In: Solomon, S. Qin, D. Manning, M. Chen, Z. Marquis, M. Averyt, K.B. Tignor, M. Miller, H.L. and Eds. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/ New York, USA.

19. Jahanbakhsh Asl, S. Khorshiddoust, A.L. Dinpashosh, Y. Sarafrouzeh, F. 2015. Trend Analysis and Estimating Return Periods of Extreme Temperature and Precipitation in Tabriz. *Journal of Geography and Planning*. 18 (50); 107-133. (In Persian)

20. Jiang, D. Wang, K. Li, Z. and Wang, Q. 2011. Variability of extreme summer precipitation over Circum-Bohai-Sea region during 1961–2008. *Theoretical and Applied Climatology*. 104(3):501-509.

21. Karimi, M. Sotoudeh, F. and Rafati, S. 2018. The Trend

35. Zarrin, A. and Dadashi-Roudbari, A.A. 2021. Projected changes in temperature over Iran by 2040 based on CMIP6 multi-model ensemble. *Physical Geography Research Quarterly*. 53(1): 75-90.
36. Zhao, C. Wang, W. And Xing, W. 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.
- Analysis of Precipitation and Temperature Extremes over the Muda River Basin, Malaysia. *Water*. 11(2): 283. <https://doi.org/10.3390/w11020283>.
33. Varshavian, V. Khalili, A. Ghahreman, N. and Hajjam, S. 2011. Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *Journal of Earth and Space Physics*. 37(1): 169-179. (In Persian)
34. Yao, Y. Yong, L. and Bin, H.J. 2012. Evaluation and Projection of Temperature Extremes over China Based on CMIP5 Model. *Advances in Climate Change Research*. 3(4): 179-185.

Investigating the Trend of Changing Future Extreme Temperature of Iran by Using CMIP5 Data

A.Tajik¹, A. Arbabi Sabzevari² and R. Borna³

Received: 16-03-2021 Accepted: 29-12-2021

Abstract

The aim of this study is to investigate the trend of spatial and temporal changes in the future extreme temperature of Iran. The data used include daily data of minimum temperature and maximum temperature of CCSM4 model during the basic period of 1986-2005 and the future period of 2006-2050 under scenarios of 4.5 and 8.5 in Iran. The results of studying the trend of warm and cold extreme during the basic period showed that in general, warm extreme has a positive and increasing trend and cold extremes has a negative and decreasing trend in Iran. The results of investigate the trend of future extreme temperature in Iran during the two periods of 2006-2025 and 2026-2050 showed that in the first period and based on scenario 4.5, the trend of cold and warm indicators in most parts of iran have the same conditions as the base period. In the second period, these conditions can be seen with limited changes in the spatial distribution of decreasing trends as in the first period. Investigation of the trend of temperature indicators based on scenario 8.5, showed that the trend of cold indicators is negative and warm indicators are positive, except that compared to scenario 4.5 the increasing trend of warm indicators is more severe, especially in the period 2026-2050. These results indicate an increase in temperature changes and consequently an increase in extreme events, especially extreme events in different parts of Iran.

Keywords: *Cold extreme indicators, Warm extreme indicators, Trend, Iran*

1. Ph.D Student of Climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Islamshahr, Iran. Email: aarbabi@yahoo.com

3. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.