



## ارزیابی تأثیر گرمایش جهانی بر تغییرات دمایی ایران

اسماعیل اسدی<sup>۱\*</sup>، محمدعلی قربانی<sup>۱</sup>، تینا پویامهر<sup>۱</sup>، پویا الهویردی پور<sup>۱</sup>

\*۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم است که پیامدهای گسترده‌ای بر اکوسیستم‌ها، محیط‌زیست و جوامع انسانی دارد. فعالیت‌های انسانی مانند مصرف سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و فرآیندهای صنعتی منجر به افزایش قابل‌توجه غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شده است که در نتیجه، گرم‌شدن زمین و زنجیره‌ای از اثرات زیست‌محیطی را در پی دارد. درک پویایی تغییرات آب‌وهوایی و اثرات آن بر محیط‌زیست برای توسعه استراتژی‌های کاهش مؤثر و سازگاری بسیار مهم است. به همین دلیل، تحقیق درباره موضوعی مانند گرمایش جهانی اهمیت بسیار زیادی دارد.
تاریخچه مقاله:	<b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش از داده‌های اقلیمی شامل دماهای کمینه و بیشینه، بارش و ساعات آفتابی روزانه ۱۲۰ ایستگاه همدید ایران در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) استفاده شد. روش‌های آزمون من- کندال و تخمین‌گر شیب سن برای برآورد روند تغییرات دمای متوسط سالانه به کار رفت. به‌منظور پیش‌نگری دمای آینده تحت تأثیر گرمایش جهانی، از خروجی مدل CanESM2 (سری مدل‌های CMIP5) تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شد. خروجی این مدل‌ها بزرگ‌مقیاس هستند و برای مطالعات در ابعاد ایستگاهی نیاز به ریزمقیاس‌نمایی دارند. در این پژوهش از مدل LARS-WG که یکی از پرکاربردترین مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی است، استفاده شد.
دریافت:	
پذیرش:	
۱۴۰۳/۱۲/۰۵	
۱۴۰۴/۰۲/۰۱	
کلیمات کلیدی:	
تغییر اقلیم	
دما	
روند	
سناریوی اقلیمی	
محیط‌زیست	
من- کندال	
	<b>نتایج:</b> باتوجه‌به نتایج، روند افزایشی معنی‌دار با شیب ۰/۰۵۳ در دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه مشاهده شد (سطح معنی‌داری ۰/۵). بیشترین روند صعودی در ایستگاه‌های بستان و قروه و کمترین روند صعودی در ایستگاه شیراز بود. از کل ۱۲۰ ایستگاه مورد مطالعه، ۱۱ ایستگاه روند معنی‌دار نداشتند و فقط در ایستگاه فوچان روند نزولی (غیرمعنی‌دار در سطح ۰/۵) بود. دمای میانگین سالانه ایران به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به ۱۸/۸۴ و ۱۹/۶، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ۱۹/۴۰ و ۲۰/۱۹، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ به ۱۹/۴۲ و ۲۱/۷۳ و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ۱۸/۸۸ و ۲۲/۹۹ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. در دوره پایه، بازه دمایی همه ایستگاه‌ها در محدوده ۸-۲۸ درجه سانتی‌گراد بود. درحالی‌که تا انتهای قرن توزیع ایستگاه‌ها به سمت دماهای بیشتر کشیده خواهد شد. به‌طوری‌که در انتهای قرن و تحت سناریوی RCP8.5 هیچ ایستگاهی دمای متوسط سالانه کمتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد را تجربه نخواهد کرد. به لحاظ توزیع فضایی، مناطق جنوبی تحت شدیدترین افزایش دما خواهد بود، به‌طوری‌که دمای متوسط سالانه این مناطق در انتهای قرن، تحت سناریوی بدبینانه به ۳۲-۳۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.
	<b>بحث:</b> نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که روند افزایشی معنی‌دار در دمای میانگین ایران در سال‌های گذشته، در آینده نیز ادامه خواهد داشت، اما این افزایش در سناریوهای اقلیمی مختلف، متفاوت خواهد بود.

بنابراین می‌تواند طبق برنامه‌ریزی مناسب کنترل شود تا کمترین افزایش و آسیب ممکن را شاهد باشد. بنابراین با توجه به تأثیرات پارامتر دما بر شرایط زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و همه جوانب زندگی انسانی، ضروری است به این موضوع توجه لازم صورت گیرد تا مدیریت ریسک و اتخاذ تصمیمات آینده‌نگرانه با دقت و برنامه‌ریزی آگاهانه انجام شود. نتایج این پژوهش به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا در برنامه‌ریزی‌های کلان مرتبط با گرمایش جهانی و به‌کارگیری راهکارهای مناسب در جهت مدیریت منابع آب و سازگاری با شرایط آینده و همچنین افزایش تاب‌آوری اقدامات مناسبی را اتخاذ نمایند.

## مقدمه

تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم است که پیامدهای گسترده‌ای بر روی اکوسیستم‌ها، جوامع انسانی و اقتصاد جهانی دارد. در طول قرن گذشته، آب‌وهوای زمین دستخوش تغییرات قابل‌توجهی شده است که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند مصرف سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و فرآیندهای صنعتی است. این فعالیت‌ها منجر به افزایش قابل‌توجه غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شده که در نتیجه، منجر به گرم‌شدن زمین و زنجیره‌ای از اثرات زیست‌محیطی می‌شود (Su et al., 2021). درک پویایی تغییرات آب‌وهوایی، اثرات آن بر محیط‌زیست و تغییرات دما در آینده برای توسعه استراتژی‌های کاهش مؤثر و سازگاری بسیار مهم است. به همین دلیل، تحقیق درباره موضوعی مانند گرمایش جهانی اهمیت بسیار زیادی دارد (Sattari et al., 2024). تغییرات دمایی و پیامدهای آن بر روی اکوسیستم‌ها و تنوع‌زیستی نیازمند بحث و مطالعه است تا آسیب‌پذیری گونه‌ها و زیستگاه‌ها را در برابر تغییر شرایط آب‌وهوایی برجسته کند. در سال‌های اخیر، توجه به اثرات تغییر اقلیم جهانی بر اکوسیستم‌های مختلف افزایش پیدا کرده است. مثلاً ثابت شده است که با افزایش دما در آینده، گونه‌های گیاهی به سمت ارتفاعات و مناطق با اقلیم معتدل و مدیترانه‌ای مهاجرت خواهد کرد تا تأثیرات نامناسب عامل دما را کاهش دهد (Mirzaeizadeh et al., 2023). نتایج تحقیق دیگری حاکی از آن بود که مناطق شرقی دریاچه ارومیه به علت هم‌جواری با بستر نمکی حاصل از خشک‌شدن دریاچه ارومیه، در معرض مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی است (Allahverdipour & Sattari, 2024). هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) در گزارش ارزیابی پنجم (AR5) نشان داد که میانگین دمای جهانی طی دوره ۲۰۱۲-۱۸۸۰ حدود ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (Masson-Delmotte et

al., 2022). افزایش دمای متأثر از گرمایش جهانی می‌تواند بر تمام جوامع زیستی و غیرزیستی، آثار ناگوار متعددی همچون کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، افزایش تبخیر از خاک و تفرق از گیاهان، افزایش رخدادهای فرین اقلیمی، افزایش و بالاآمدگی سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها، تغییر الگوی بارش و افزایش خطر سیل، زودرسی بهار در نیمکره شمالی، کاهش برف و پوشش یخی، دراز شدن مدت فصل رشد گیاهان و آثار زیان‌بار دیگر در شاخص‌های زیستی و فیزیکی به همراه داشته باشد (Rosenzweig et al., 2008; Reidmiller et al., 2018; Nerem et al., 2018; Tabari, 2020; Mohammadi & Allahverdipour, 2024). آثار ناگوار تغییر اقلیم در دنیا و مخصوصاً در کشورهای منطقه خاورمیانه بسیار شدید بوده (Mansouri Daneshvar et al., 2019) و پژوهش‌های انجام شده در ایران نشان می‌دهد تأثیر نامطلوب گرمایش جهانی بر اقلیم ایران سبب افزایش شدید میانگین تنش‌های گرمایی در دهه‌های آتی خواهد شد (Faghani & Fitchet, 2020). به همین دلیل پیش‌نگری اقلیمی ایران برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی آینده ضروری است.

بررسی روند تغییرات متوسط دمای سالانه ۳۴ ایستگاه همدید ایران در دوره ۱۹۶۸-۱۹۹۸ نشان داد که در سطح معنی‌داری ۵ درصد، ۴۴ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی، ۱۵ درصد روند نزولی و ۴۱ درصد بدون روند معنی‌دار هستند (Ghahraman, 2006). نتایج پژوهشی که در کشور اسپانیا با هدف مطالعه روند تغییرات دما با استفاده از آزمون من - کندال در دوره زمانی ۴۶ سال (۲۰۰۶-۱۹۶۱) انجام شد، نشان داد که درجه حرارت سالانه در تمام ایستگاه‌ها حدود ۰/۱ تا ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (Del Río et al., 2011). مطالعه روند تغییرات پارامترهای هواشناسی در حوضه دریاچه ارومیه حاکی از این بود که در چهار دهه مورد مطالعه، بارش ۹/۲ درصد کاهش و متوسط بیشینه

نشان داد که در دهه ۲۰۵۰ افزایش کمینه و بیشینه دما بین ۰/۲ تا ۲/۶ درجه سانتی‌گراد و در دهه ۲۰۸۰ بین ۲/۷ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد (Shagega et al., 2019). نتایج پیش‌بینی دما و امواج سرد و گرم در اسپانیا با استفاده از خروجی مدل‌های گزارش پنجم IPCC حاکی از این بود که بیشترین افزایش دمای بیشینه روزانه در فصل تابستان تحت سناریو RCP8.5 به میزان ۷ درجه سانتی‌گراد اتفاق خواهد افتاد و افزایش دمای کمینه نیز روندی مشابه اما با شدت کمتر خواهد داشت، به طوری که تا پایان قرن به ترتیب به میزان ۳ و ۵/۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت (Gaitán et al., 2019). ارزیابی تغییرات اقلیمی با بررسی روند تغییرات دما در حوضه تانا در اتیوپی حاکی از روند افزایشی معنی‌دار در دمای سالانه بود (Zelege et al., 2024). بررسی روند تغییرات دما در منطقه هیمالچال پرادش در هند در دوره ۱۹۸۱-۲۰۲۱ نشان از عدم وجود روند معنی‌دار در دمای سالانه و فصلی دما بود (Kumar et al., 2025).

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه بررسی تغییرات دمای آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم انجام شده است. ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه تحت سناریو A2 بیانگر آن بود که بارش سالانه به میزان ۴/۰۳ درصد کاهش یافته و دمای کمینه به میزان ۰/۶۴ تا ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Karimi Ahmad Abad & Nabizadeh, 2018). مطالعه دما و بارش استان آذربایجان شرقی با استفاده از نتایج حاصل از گزارش IPCC و مدل LARS-WG برای سال‌های ۲۰۶۵-۲۰۱۱ نشان داد که تا سال ۲۰۳۰ درجه حرارت در تمام استان به طور میانگین ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و تا سال ۲۰۶۵ تا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Jahangir & Mohammadi, 2018). پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در زاگرس جنوبی با استفاده از سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 و آمار دوره پایه ۱۹۸۰-۲۰۱۸ مربوط به ۳۴ ایستگاه هواشناسی نشان داد که میانگین دمای بیشینه سالانه در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی از ۱/۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. میانگین دمای کمینه سالانه نیز شاهد افزایش نسبت به دوره تاریخی منطقه مورد مطالعه در سناریو RCP4.5 از ۴ تا ۱

دما به میزان ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Delju et al., 2013). بررسی روند تغییرات دما و بارش در شمال غرب ایران طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ با استفاده از آمار ۱۰ ایستگاه همدید و روش ناپارامتری من - کندال نشان داد که در مقیاس سالانه ۶۰ درصد ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار دما را تجربه کرده‌اند و به طور کلی، در ۵۰ سال گذشته دما ۱/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش ۸۸/۹ میلی‌متر کاهش یافته است (Amirrezaeieh et al., 2017). بررسی روند دمای متوسط و بارش سالانه ایران که با استفاده از آمار هواشناسی ۴۷ ایستگاه همدید در دوره زمانی ۶۶ سال (۲۰۱۷-۱۹۵۱) انجام شد، حامی از آن بود که دما در ۸۹ درصد از ایستگاه‌ها (۴۲ ایستگاه) دارای روند صعودی و در ۱۱ درصد ایستگاه‌ها (۵ ایستگاه) دارای روند نزولی بوده و بارش در ۲۵ درصد از ایستگاه‌ها (۱۱ ایستگاه) روند صعودی داشته و در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها (۳۳ ایستگاه) روند نزولی را تجربه کرده است (Sharafi et al., 2020).

مروری بر مطالعات انجام‌یافته اهمیت موضوع تأثیر گرمایش جهانی در آینده بر تغییرات دما را مشخص می‌کند. مطالعه‌ای که در کشور نپال در حوضه رودخانه مارسیاندی به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامتر دما، با استفاده از مدل CanESM2 و با سناریوهای RCP انجام شد، نشان داد تا دهه ۲۰۹۰ به ترتیب در دماهای بیشینه و کمینه در حدود ۲/۲۹ و ۲/۴۳ درجه سانتی‌گراد افزایش اتفاق خواهد افتاد (Khadka & Pathak, 2016). تحقیقی که در کشور مصر به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دماهای کمینه و بیشینه با مدل CanESM2 تحت سناریو RCP4.5 برای دوره‌های آینده صورت گرفت، افزایش دمای بیشینه به میزان ۰/۸۸، ۱/۶۲ و ۱/۹۸ درجه سانتی‌گراد و افزایش دمای کمینه به میزان ۱/۵۲، ۲/۳۴ و ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد را به ترتیب در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۱۰ نشان داد (Sayad et al., 2016). نتایج مطالعه‌ای که در حوضه رودخانه به منظور بررسی تغییرات دما با استفاده از مدل CanESM2 انجام یافت، حاکی از افزایش دما به میزان ۰/۴ تا ۴/۳ درجه سانتی‌گراد برای دمای بیشینه و ۰/۳ تا ۴/۱ درجه سانتی‌گراد برای دمای کمینه تا سال ۲۱۰۰ بود (Fenta Mekonnen & Disse, 2018). پیش‌بینی آب و هوای آینده حوضه رودخانه نرنگر کشور تانزانیا

به این جهت است که تمام گستره جغرافیایی ایران مورد مطالعه قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

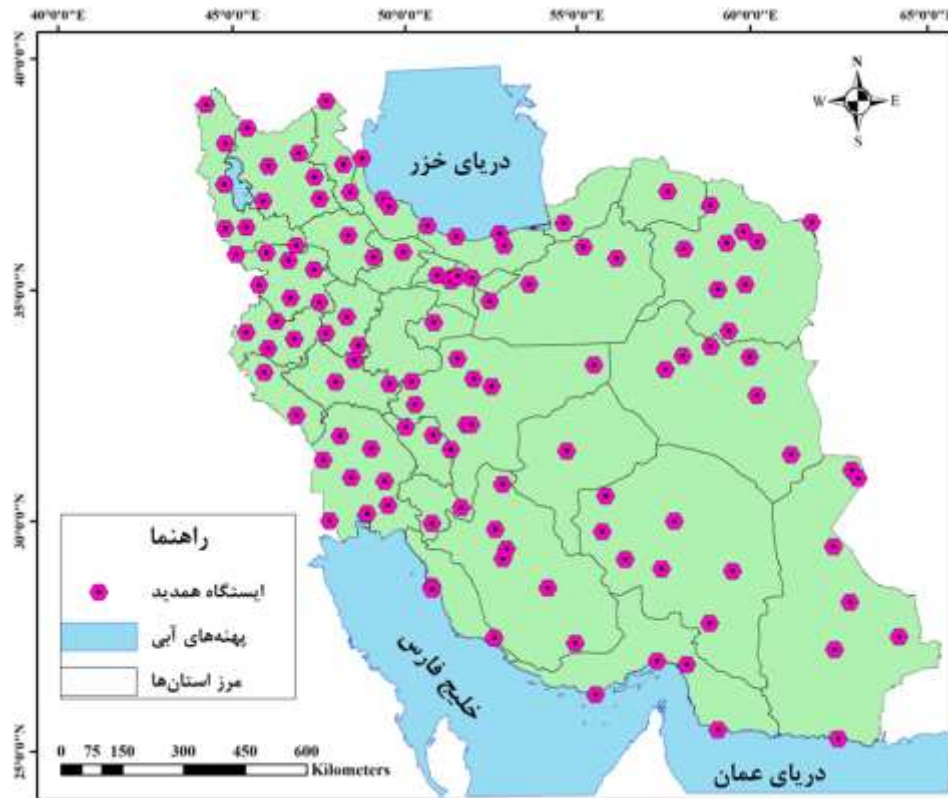
**منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده:** کشور ایران با مساحتی حدود ۱/۶۴۸ میلیون کیلومتر مربع بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۵ تا ۶۳ درجه طول شرقی قرار دارد. جغرافیای ایران به علت اختلاف زیاد در عرض جغرافیایی که بین شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین نقطه آن وجود دارد و همچنین وجود پستی و بلندی‌ها و رشته‌کوه‌ها و دشت‌های زیاد در گستره این کشور، سبب وجود اختلاف زیاد در میزان دما و بارش در نقاط مختلف و پراکندگی نامتوازن آن‌ها شده است. متوسط دمایی میانگین سالانه ایستگاهی در ایران ۱۷/۵۸ درجه سانتی‌گراد، متوسط کمینه و بیشینه دمایی سالانه ایستگاهی نیز به ترتیب ۱۰/۹۷ و ۲۴/۲۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین متوسط بارش بلندمدت سالانه ایستگاهی (و نه پهنه‌بندی شده) در ایران ۳۲۹ میلی‌متر است.

در پژوهش حاضر از آمار روزانه دماهای کمینه و بیشینه، بارش و ساعات آفتابی ۱۲۰ ایستگاه همدید در گستره جغرافیایی کشور ایران در دوره زمانی ۳۰ سال (۲۰۲۲-۱۹۹۳) استفاده شد. این آمار از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش ابتدا مورد بررسی آماری و صحت‌سنجی قرار گرفت. برای تشخیص داده‌های پرت از آزمون گرابز<sup>۱</sup> استفاده شد. داده‌های گمشده روزانه در هر ایستگاه همدید نیز با استفاده از متوسط بلندمدت همان روز در همان ایستگاه تکمیل شد. (Allahverdi & Sattari, 2023). شکل ۱ موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه در ایران را نشان می‌دهد.

درجه سانتی‌گراد و تحت سناریو RCP8.5 از ۴ تا ۱/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (Mohammadi *et al.*, 2021). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روند خشکسالی دشت ورامین با مطالعه روند تغییرات بارش و دمای ایستگاه همدید ورامین از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ میلادی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (CMIP5) تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره آتی نشان داد که دمای میانگین تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب افزایش به میزان ۱ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد را در دوره آتی نسبت به دوره پایه خواهد داشت (Azizi *et al.*, 2021). بررسی بی‌هنجاری دمای کمینه و بیشینه در مناطق سردسیر ایران و پیش‌نگری این پارامترها در دوره‌های زمانی آینده با استفاده از مدل CanESM2 که یکی از مدل‌های سری پنجم (CMIP5) گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم است، نشان داد که بی‌هنجاری دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره‌های آینده و بر اساس همه سناریوها مثبت خواهد بود (Zarrin *et al.*, 2022). بررسی روند تغییرات چندک‌های حدی کمینه و بیشینه دما در ایران، حاکی از وجود روند افزایشی معنی‌دار در مقادیر حدی کمینه و بیشینه دما در اغلب مناطق ایران بود (Ghorbani & Bararkhanpour Ahmadi, 2023). در تحقیقی که با استفاده از سناریوهای CMIP5 و CMIP6 و با هدف ارزیابی تغییرات میانگین دما و بارش در مناطق ساحلی جنوبی ایران انجام شد، افزایش معنی‌دار میانگین دما در تمام سناریوها و دوره‌های آینده برآورد شد که بیشترین روند آن در آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۷۱) و اواخر قرن پیش‌بینی شد (Esfandeh *et al.*, 2024).

هدف دنبال شده در این پژوهش، بررسی مسیرهای بالقوه سناریوهای تغییرات آب‌وهوایی در آینده و کمک به درک عمیق‌تر از چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با گرمایش جهانی است. این امر بر نیاز فوری به اقدام جهانی هماهنگ برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش انعطاف‌پذیری در برابر اثرات تغییرات اقلیمی و حفاظت از محیط‌زیست برای نسل‌های آینده تأکید می‌کند. بنابراین، بررسی روند درازمدت درجه حرارت متوسط سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال و تخمین‌گر شیب سن در ایستگاه‌های همدید ایران در دوره تاریخی و آینده تا انتهای قرن انجام می‌شود. اهمیت پژوهش حاضر

<sup>۱</sup> Grubbs Test



شکل ۱- موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های همدید در ایران

این سناریوها را بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری کرده است (Allahverdipour *et al.*, 2024). در این پژوهش به‌منظور پیش‌نگری دمای آینده تحت تأثیر گرمایش جهانی از خروجی مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 تحت دو سناریو RCP2.6 (خوش‌بینانه) و RCP8.5 (بدبینانه) استفاده شد. مدل CanESM2 ترکیبی از دو مدل CanCM4<sup>۳</sup> و CTEM<sup>۴</sup> است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیم کانادا (CCCMA) طراحی شده و دارای شبکه‌بندی سطحی با ابعاد حدود ۹/۶۹ درجه طول و عرض جغرافیایی است (Chylek *et al.*, 2011). با توجه به این‌که خروجی مدل‌های گزارش‌های IPCC بزرگ‌مقیاس هستند، برای مطالعاتی که در ابعاد کوچک انجام می‌شوند، نیاز به ریزمقیاس‌نمایی این خروجی‌ها است. از مشهورترین و پرکاربردترین مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، مدل LARS-WG است که در پژوهش حاضر از این مدل استفاده شد (Semenov & Stratonovitch, 2010).

**روش تحقیق:** در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش ناپارامتری آزمون من - کندال، وجود یا عدم وجود روند و تغییرات دمای متوسط سالانه ایستگاه‌های همدید ایران بررسی شده و با استفاده از تخمین‌گر شیب سن، میزان روند تغییرات محاسبه شد. آزمون‌های ناپارامتری من - کندال و تخمین‌گر شیب سن با استفاده از بسته Trend در زبان برنامه‌نویسی R اجرا شد. در ادامه برای پیش‌نگری دمای متوسط سالانه آینده ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی، از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در بازه‌های زمانی ۲۰ ساله تا سال ۲۱۰۰ استفاده شد. مقیاس‌کاهی این خروجی‌ها با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG انجام شد.

**مدل گردش عمومی CanESM2:** IPCC از سال ۱۹۹۰ تاکنون پروژه استانداردسازی استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) را راه‌اندازی و گزارش‌های ارزیابی تغییر اقلیم را ارائه می‌کند. IPCC در تهیه گزارش CMIP5 سناریوهای RCP را به‌عنوان نماینده‌های خطوط تغییر غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای ارائه کرد که

<sup>۳</sup> Canadian Coupled Global Climate Model

<sup>۴</sup> Canadian Terrestrial Ecosystem Model

<sup>۵</sup> Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis

<sup>۲</sup> Package

## نتایج

معنی‌دار ثبت شده است. روند صعودی که در اکثر ایستگاه‌های همدید ایران ثبت شده، نشان دهنده افزایش دما در طول زمان است. بیشترین روند صعودی در ایستگاه‌های بستان و قروه با شیب سن ۰/۰۸۸ بود به این معنی که در این ایستگاه‌ها دمای متوسط افزایش بیشتری را تجربه می‌کند. کمترین روند صعودی دمای میانگین سالانه نیز در ایستگاه شیراز با شیب سن ۰/۰۰۴ مشاهده شد که هر چند نشان‌دهنده افزایش دما در این ایستگاه است، اما افزایش کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته دارد.

در جدول ۱ نتایج آزمون من - کندال و تخمین‌گر شیب سن مربوط به پارامتر دمای میانگین سالانه ایستگاه‌های همدید ایران در دوره زمانی ۳۰ سال پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) آمده است. طبق جدول ۱ مشاهده می‌شود که دمای میانگین سالانه به جز در ایستگاه قوچان با روند نزولی (شیب سن ۰/۰۱۴-) که البته آن هم معنی‌دار نبود، در همه ایستگاه‌های دیگر دارای روند صعودی بود. همچنین فقط روند صعودی ایستگاه‌های درودزن، شهرکرد، شاهرود و شیراز معنی‌دار نبود (در هیچ یک از سطوح معنی‌داری ۱۰٪، ۵٪، ۱٪ و ۰/۱٪) در بقیه ایستگاه‌ها روند صعودی

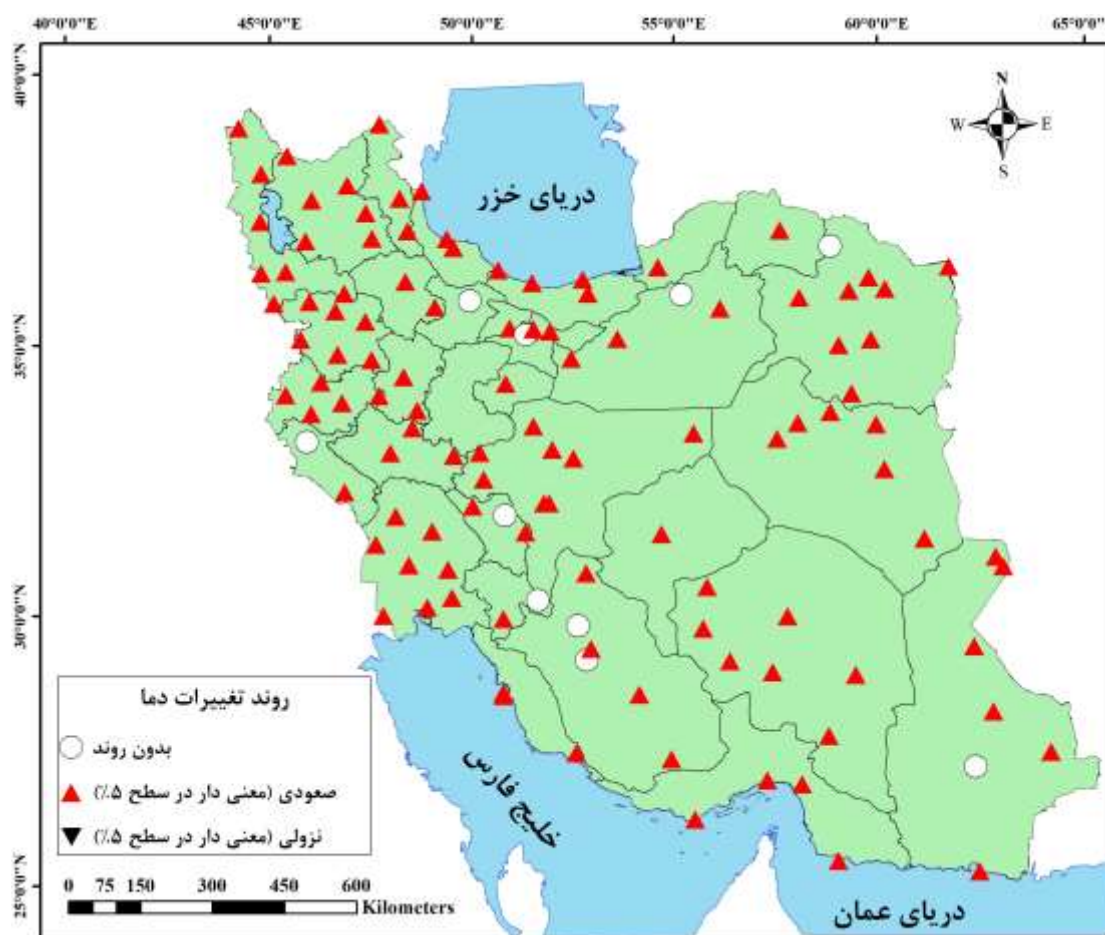
جدول ۱- شیب سن دمای میانگین سالانه ایستگاه‌های همدید ایران در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

ایستگاه	شیب سن	ایستگاه	شیب سن	ایستگاه	شیب سن	ایستگاه	شیب سن
آبادان	۰/۰۷۵***	دوگنبدان	۰/۰۴۲***	خوی	۰/۰۷۸***	سبزوار	۰/۰۳۶*
آباده	۰/۰۵۶***	درودزن	۰/۰۰۹	خور و بیابانک	۰/۰۶۷***	صفی آباد دزفول	۰/۰۵۶***
آبعلی	۰/۰۳۴**	اصفهان	۰/۰۶۵***	کوه‌رنگ	۰/۰۶۷***	سنندج	۰/۰۶***
اهر	۰/۰۵۷***	اسلام آباد غرب	۰/۰۴۷***	لار	۰/۰۴۵***	سقز	۰/۰۶۲***
اهواز	۰/۰۵۱***	فسا	۰/۰۵۹***	مهاباد	۰/۰۶۲***	سراب	۰/۰۵**
الیگودرز	۰/۰۵۸***	فردوس	۰/۰۵۶***	ماکو	۰/۰۶***	سرخس	۰/۰۶۵***
انار	۰/۰۴۸***	گرمسار	۰/۰۷۱***	ملایر	۰/۰۵۴***	سراوان	۰/۰۳۱**
اردبیل	۰/۰۸۲***	قراخیل	۰/۰۳۶***	مراغه	۰/۰۸۲***	سردشت	۰/۰۸۸***
اردستان	۰/۰۴۶**	گلمکان	۰/۰۴۸***	مریوان	۰/۰۵۹***	سرپل ذهاب	۰/۰۵۸***
آستارا	۰/۰۴۱***	گلپایگان	۰/۰۴۴**	مشهد	۰/۰۵۹***	سمنان	۰/۰۳۳*
بابلسر	۰/۰۴***	گناباد	۰/۰۵۹***	مسجد سلیمان	۰/۰۵۳***	شهریابک	۰/۰۲۹**
بافت	۰/۰۵۶***	گرگان	۰/۰۲۳*	میانه	۰/۰۶۳***	شهرکرد	۰/۰۱۶
بیم	۰/۰۶۹***	همدان	۰/۰۴۴***	میناب	۰/۰۴۲***	شاهرود	۰/۰۱۹
بندرعباس	۰/۰۲۲*	ایلام	۰/۰۳۲*	نطنز	۰/۰۵۴***	شیراز	۰/۰۰۴
بندرماهشهر	۰/۰۶۳***	ایرانشهر	۰/۰۵۴*	نهبندان	۰/۰۴۵**	سیرجان	۰/۰۳۲*
بندرانزلی	۰/۰۳***	جم	۰/۰۵۶***	نیشابور	۰/۰۳۶**	طبس	۰/۰۶۳***
بندرلنگه	۰/۰۵۹***	جاسک	۰/۰۱۳*	نوشهر	۰/۰۵۵***	تبریز	۰/۰۳۱*
بیجار	۰/۰۸۲***	جلفا	۰/۰۷***	امیدیه آغاچاری	۰/۰۷***	تکاب	۰/۰۵۴***
بیرجند	۰/۰۳۷**	کبوترآباد	۰/۰۶۸***	ارومیه	۰/۰۳۷**	تهران (ژئوفیزیک)	۰/۰۳۶*
بیارجمند	۰/۰۴۱**	کهنوج	۰/۰۲۴*	پارس آباد	۰/۰۳۵**	تهران (مهرآباد)	۰/۰۲۱*
بجنورد	۰/۰۳۶**	کنگاور	۰/۰۵۶***	پیران شهر	۰/۰۸۶***	تهران (شمیران)	۰/۰۵۴***
بروجن	۰/۰۷۹***	کرج	۰/۰۵۶***	قائن	۰/۰۷۴***	تربت حیدریه	۰/۰۵۷***
بروجرد	۰/۰۷۷***	کاشان	۰/۰۵۹***	قزوین	۰/۰۹۴*	یاسوج	۰/۰۲۲*
بشرویه	۰/۰۵***	کاشمر	۰/۰۴۵**	قم	۰/۰۶۲***	یزد	۰/۰۶۵***
بستان	۰/۰۸۸***	کرمان	۰/۰۴۲***	قروه	۰/۰۸۸***	زابل	۰/۰۶۳***
بوشهر (فرودگاه)	۰/۰۴۲***	کرمانشاه	۰/۰۴۲***	قوچان	-۰/۰۱۴	زهک	۰/۰۵۴***
بوشهر (ساحلی)	۰/۰۷۲***	خلخال	۰/۰۷۶***	رامهرمز	۰/۰۶۹***	زاهدان	۰/۰۳۸**
چابهار	۰/۰۳۶***	خاش	۰/۰۴۶***	رامسر	۰/۰۵۳***	زنجان	۰/۰۸۲***
داران	۰/۰۵۲***	خرم آباد	۰/۰۶۴***	رشت	۰/۰۴۵***	زرقان	۰/۰۷۳***
دهلران	۰/۰۷۳***	خرم دره	۰/۰۷***	روانسر	۰/۰۵۸***	زرینه	۰/۰۶۴***

علامت + سطح معنی‌داری ۱۰٪ و \* سطح معنی‌داری ۵٪ و \*\* سطح معنی‌داری ۱٪ و \*\*\* سطح معنی‌داری ۰/۱٪ را نشان می‌دهد.

مطالعه (۹/۲٪) روند معنی دار نداشته‌اند. همچنین در هیچ کدام از ایستگاه‌ها روند کاهشی (نزولی) معنی دار ثبت نشده است. این امر نشان از افزایش قابل توجه دما در کل ایران است که لزوم توجه به پدیده گرمایش جهانی را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

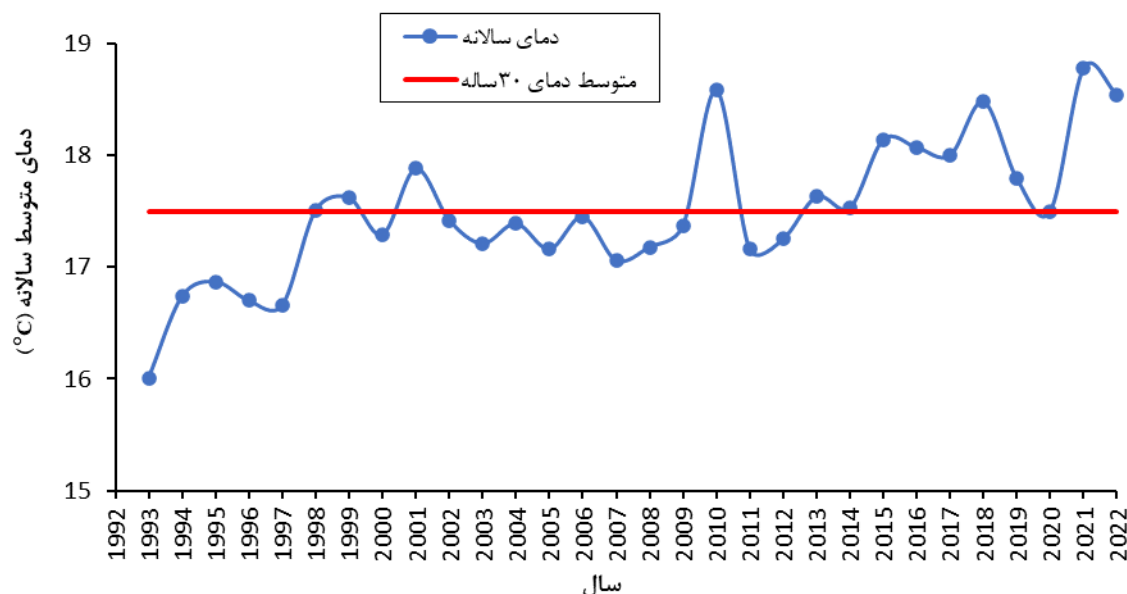
در شکل ۲ ایستگاه‌های دارای روند صعودی، نزولی یا بدون روند در دمای میانگین سالانه در دوره پایه (۲۰۲۲-۱۹۹۳) نمایش داده شده است (سطح معنی داری ۵٪). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، قریب به اتفاق ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی معنی دار هستند و فقط تعداد ۱۱ ایستگاه از ۱۲۰ ایستگاه مورد



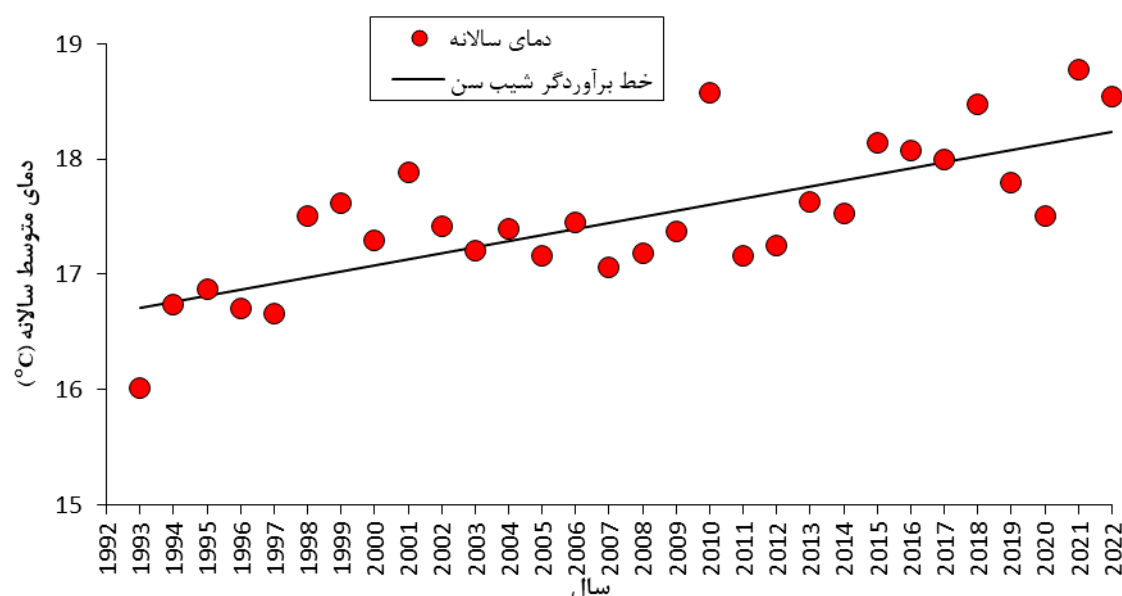
شکل ۲- ایستگاه‌های دارای روند صعودی، نزولی یا بدون روند دمای میانگین سالانه در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) (سطح معنی داری ۵٪)

میانگین سالانه از ۱۶ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۹۳ به حدود ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است که این امر اثر گرمایش جهانی را به وضوح نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نمودار شیب سن در شکل ۴ روند صعودی معنی دار با شیب سن ۰/۰۵۳ در دمای میانگین سالانه ایران مشاهده می‌شود (سطح معنی داری ۵٪).

در شکل ۳ سری زمانی دمای میانگین سالانه ایران در دوره آماری پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) در مقایسه با متوسط دمای میانگین ۳۰ ساله رسم شده است. شکل ۴ نیز شیب سن دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، متوسط دمای میانگین سالانه کل کشور ایران طی دوره ۳۰ ساله پایه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. دمای



شکل ۳- سری زمانی دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



شکل ۴- نمودار شیب سن دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

ایستگاه (۲۰/۸۳ درصد) دمای میانگین سالانه ۲۸-۳۴ درجه سانتی‌گراد خواهند داشت و هیچ ایستگاهی دمای متوسط سالانه کمتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد را تجربه نخواهد کرد. همچنین، تحت سناریوی RCP2.6 تعداد ایستگاه‌های با دمای میانگین ۲۸-۳۰ در دوره ۲۰ ساله اول و دوم افزایش یافته ولی در ادامه کمتر می‌شوند و به گروه‌های دمایی پایین‌تر منتقل می‌شوند.

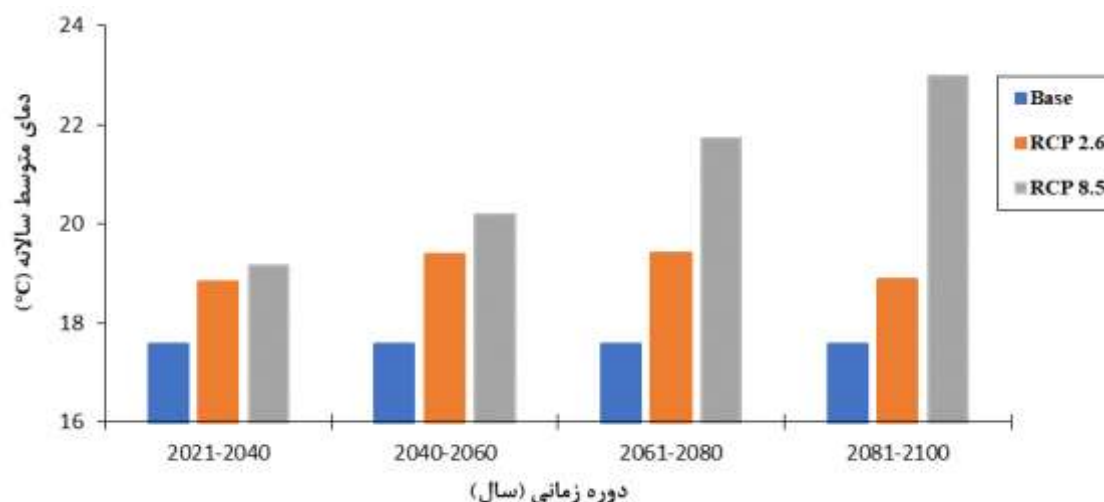
در جدول ۲ تعداد ایستگاه‌ها در هر گروه دمایی، در دوره پایه و دوره‌های آتی طبق خروجی‌های دو سناریو آمده است. بازه دمایی همه ایستگاه‌ها در دوره پایه در محدوده ۸-۲۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. در حالی که در دوره‌های آتی، طبق نتایج هر دو سناریو، توزیع ایستگاه‌ها به سمت دماهای بیشتر کشیده خواهد شد. به طوری که در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ طبق سناریوی RCP8.5 تعداد ۲۵

جدول ۲- تعداد ایستگاهها در هر گروه دمایی، در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) و دورههای آتی تا سال ۲۱۰۰

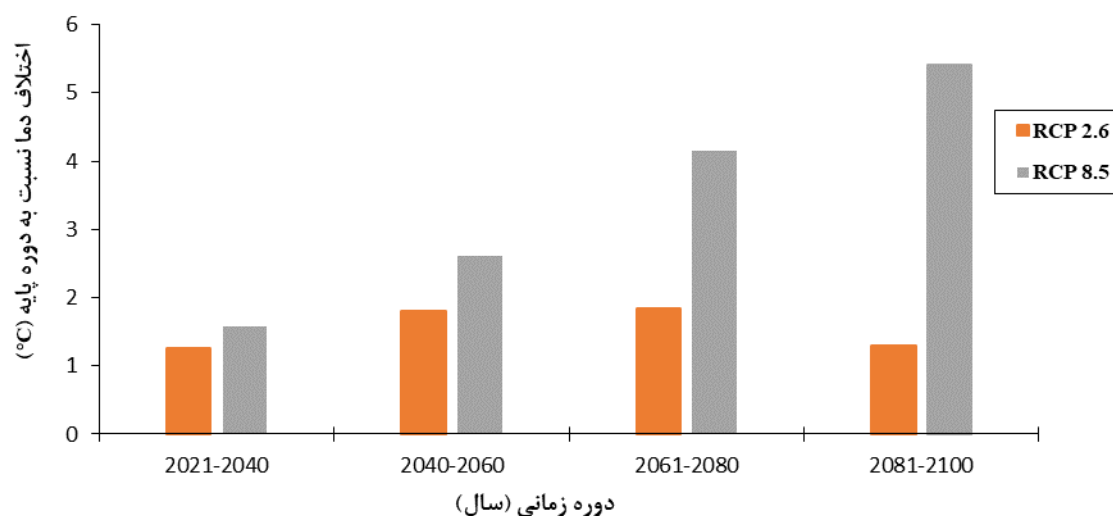
سناریوی RCP8.5		سناریوی RCP2.6			دوره پایه			دما (درجه سانتیگراد)
۲۰۸۱-۲۱۰۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۸۱-۲۱۰۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱۹۹۳-۲۰۲۲	
۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۷	۸-۱۰
۰	۰	۴	۷	۶	۷	۷	۹	۱۰-۱۲
۰	۵	۷	۱۱	۱۱	۱۰	۹	۱۱	۱۲-۱۴
۷	۹	۱۲	۱۵	۲۱	۱۵	۱۶	۲۱	۱۴-۱۶
۱۱	۱۵	۱۹	۲۳	۱۹	۲۴	۲۳	۱۹	۱۶-۱۸
۱۶	۲۳	۲۷	۲۰	۲۳	۱۹	۲۰	۲۳	۱۸-۲۰
۲۳	۱۹	۱۶	۱۳	۱۲	۱۴	۱۵	۱۲	۲۰-۲۲
۲۳	۱۸	۹	۵	۲	۵	۴	۲	۲۲-۲۴
۱۱	۵	۵	۸	۸	۷	۸	۷	۲۴-۲۶
۴	۷	۶	۷	۹	۷	۶	۱۰	۲۶-۲۸
۷	۶	۱۴	۱۱	۸	۱۲	۱۲	۷	۲۸-۳۰
۸	۱۳	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰-۳۲
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲-۳۴

و RCP8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به ۱۸/۸۴ و ۱۹/۶ درجه سانتیگراد، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ۱۹/۴۰ و ۲۰/۱۹ درجه سانتیگراد، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ به ۱۹/۴۲ و ۲۱/۷۳ درجه سانتیگراد و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ به ۱۸/۸۸ و ۲۲/۹۹ درجه سانتیگراد خواهد رسید. طبق سناریوی RCP2.6 شاهد افزایش دما طی دوره ۲۰ساله اول و دوم خواهیم بود و در دوره ۲۰ساله سوم و چهارم این افزایش کمتر خواهد شد. اما طبق سناریوی RCP8.5 همواره در دورههای آتی افزایش دما شدیدتر خواهد شد، به طوری که تا سال ۲۱۰۰ دمای میانگین سالانه ایران به ۲۲/۹۹ درجه سانتیگراد خواهد رسید.

شکل ۵ نمودار دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) و چهار دوره زمانی ۲۰ساله آینده تا ۲۱۰۰ را در مقایسه با دوره پایه نشان می دهد. در شکل ۶ نیز میزان اختلاف دمای میانگین سالانه در دورههای آتی نسبت به دوره پایه، طبق دو سناریوی RCP8.5 (بدبینانه) و RCP2.6 (خوشبینانه) مقایسه شده است. همان طور که در شکل های ۵ و ۶ مشاهده می شود، تحت هر دو سناریوی بررسی شده، دمای میانگین سالانه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت، اما این افزایش در سناریوی RCP8.5 شدیدتر از سناریوی RCP2.6 خواهد بود. با توجه به شکل ۵ دمای میانگین سالانه از ۱۷/۵ درجه سانتیگراد در دوره پایه به ترتیب طبق سناریوی RCP2.6



شکل ۵- مقایسه دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) و دورههای آتی تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5

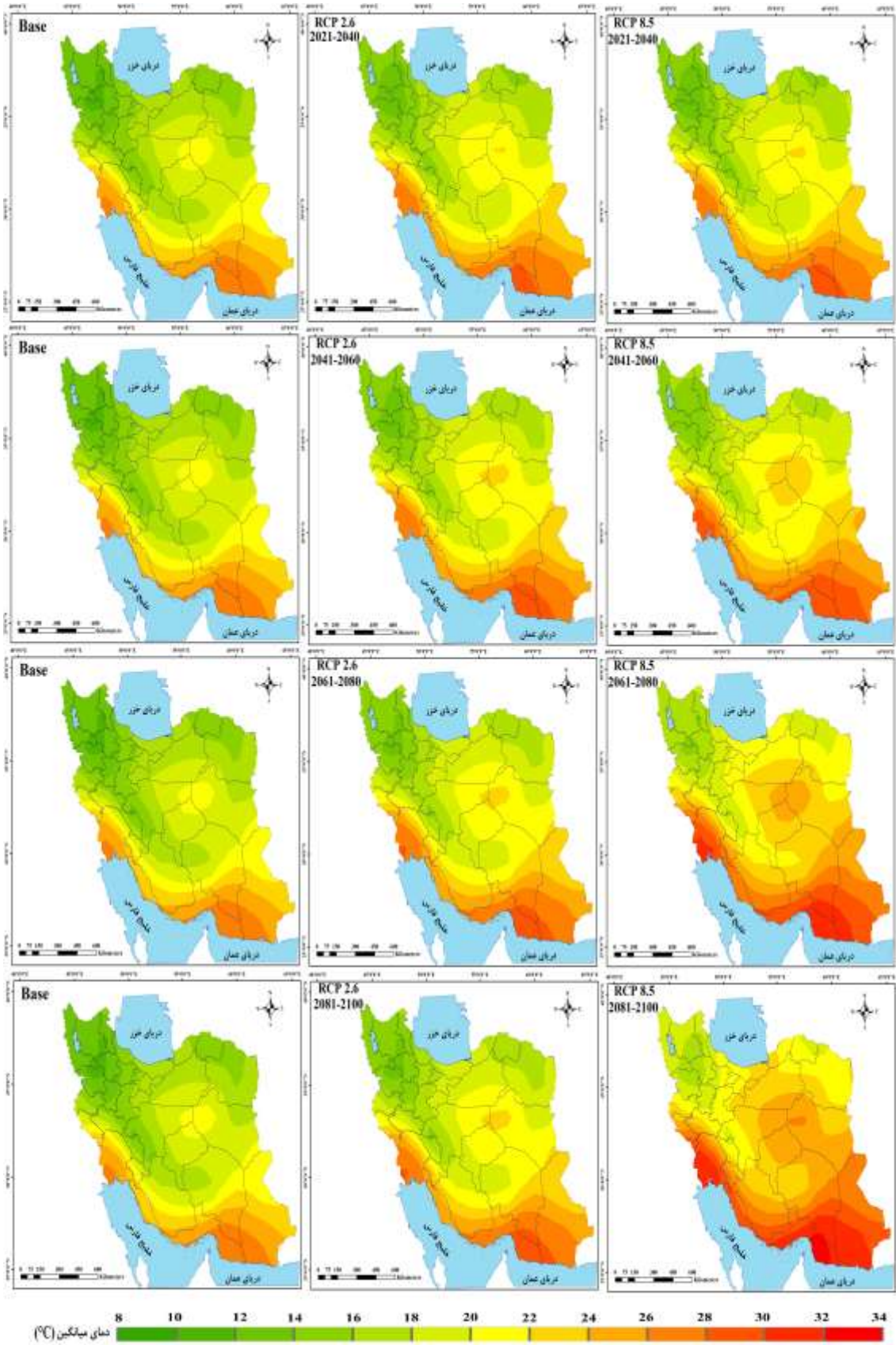


شکل ۶- اختلاف دمای میانگین سالانه در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5

دمای مناطق شمالی کشور از ۱۶-۱۲ درجه سانتی‌گراد، طبق سناریوی RCP2.6 به ۱۸-۱۴ و طبق سناریوی RCP8.5 به ۲۴-۱۸ درجه سانتی‌گراد در انتهای قرن خواهد رسید. دمای میانگین سالانه مناطق شرقی نیز از ۱۶-۲۴ درجه سانتی‌گراد، طبق سناریوی RCP2.6 به ۱۸-۲۶ و طبق سناریوی RCP8.5 به ۳۰-۲۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. دمای مناطق غربی نیز از ۱۲-۲۴ درجه سانتی‌گراد در دوره پایه، طبق سناریوی RCP2.6 به ۲۸-۱۸ و طبق سناریوی RCP8.5 به ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد در انتهای قرن خواهد رسید.

شکل ۷ پهنه‌بندی دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه و در دوره‌های آبی بر اساس خروجی مدل CanESM2 را تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 نشان می‌دهد. بررسی شکل ۷ نشان می‌دهد که تحت تأثیر گرمایش جهانی، دمای مناطق مختلف کشور افزایش خواهد یافت و این افزایش در سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP2.6 خواهد بود. به لحاظ توزیع فضایی، مناطق جنوبی تحت شدیدترین افزایش دما خواهد بود به طوری که این مناطق در انتهای قرن، دمای متوسط سالانه ۳۲-۳۴ درجه سانتی‌گراد را نیز تجربه خواهند کرد.

(ویژه نامه تغییر اقلیم)



شکل ۷- پهنه‌بندی دمای میانگین سالانه ایران در دوره پایه (۲۰۲۲-۱۹۹۳) و دوره‌های آتی تا سال ۲۱۰۰

## بحث

تأثیرات عمیقی بر شرایط زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی داشته باشد. این تغییرات می‌توانند منجر به تغییرات در الگوهای بارش، افزایش خشکسالی، و تأثیر بر کشاورزی و منابع آب شوند. بنابراین، مدیریت این تغییرات و برنامه‌ریزی برای کاهش اثرات منفی آن‌ها ضروری است. با توجه به روند افزایشی دما، لازم است که برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای کاهش اثرات منفی گرمایش جهانی انجام شود. این برنامه‌ریزی‌ها باید شامل استراتژی‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کارایی انرژی باشد. افزایش آگاهی عمومی و آموزش در مورد گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر زندگی روزمره می‌تواند به بهبود واکنش جامعه به این تغییرات کمک کند. نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه تأثیرات محلی تغییرات دما و شناسایی راهکارهای مناسب برای سازگاری با این تغییرات وجود دارد. این تحقیقات می‌توانند به بهبود مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های آینده کمک کنند. اتخاذ رویکردهای توسعه پایدار که به حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک کند، باید در اولویت قرار گیرد. این موارد شامل استفاده از فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی مصرف منابع است. در نهایت، توجه به تغییرات دما و تأثیرات آن بر زندگی انسانی و محیط زیست، نیازمند همکاری بین‌المللی و اتخاذ تصمیمات آگاهانه و مبتنی بر نتایج تحقیقات علمی است.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد بوده و بدین‌وسیله از سازمان هواشناسی کشور به‌خاطر همکاری در ارائه داده‌های موردنیاز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

1. Allahverdipour, P. and Sattari, M.T., 2023. Comparing the performance of the multiple linear regression classic method and modern data mining methods in annual rainfall modeling (Case study: Ahvaz city). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 125-142. [In Persian with English abstract].
2. Allahverdipour, P. and Sattari, M.T., 2024. Investigating the Maximum Wind

تحلیل نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر از آزمون روند من- کندال و شیب سن، نشان‌دهنده روند افزایشی در دمای میانگین سالانه ایران با شیب سن ۰/۰۵۳ است. این امر نشان می‌دهد که تغییرات دما در ایران به‌طور مستمر در حال افزایش است و این روند در اکثر ایستگاه‌ها مشاهده شد. نتایج پژوهش‌های مشابه نیز افزایش دما در مناطق مختلف تحت تأثیر گرمایش جهانی را اثبات کرده است. با توجه به نتایج تحقیق ابلاغیان و همکاران در بررسی روند تغییرات دما در ۳۷ ایستگاه همدید ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱، بیشترین افزایش دمای سالانه (۱/۵ درجه سانتی‌گراد) در مشهد، زاهدان، زابل، بم، یزد، بابلسر، کرمانشاه، آبادان، خوی و تبریز برآورد شد (Eblaghian et al., 2019). نوری و همکاران سیر صعودی دما در حوضه رود ارس با افزایش ۱۰/۱ درصدی نسبت به میانگین درازمدت را برآورد کردند (Nouri et al., 2021). در تحقیق خورسندی و همکاران با استفاده از آزمون من- کندال، روند دمای متوسط سالانه در ۶۹ درصد از ایستگاه‌های منتخب ایران افزایشی و متوسط افزایش دمای کشور در ۱۰ سال اخیر نسبت به درازمدت (سال‌های آبی ۵۴-۱۳۵۳ تا ۹۳-۱۳۹۲) حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (Khorsandi et al., 2023). ایستگاه‌های بستان و قروه با شیب سن ۰/۰۸۸، بیشترین افزایش دما را نشان داد، در حالی که ایستگاه شیراز با شیب سن ۰/۰۰۴ کمترین افزایش را داشت. این تفاوت‌ها در میزان تغییرات متفاوت در ایستگاه‌های مختلف می‌تواند به عوامل محلی و اقلیمی خاص هر منطقه مرتبط باشد. با توجه به خروجی‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5، پیش‌بینی می‌شود که دما در آینده افزایش یابد، به‌ویژه در سناریوی بدبینانه (RCP8.5) افزایش دما شدیدتر خواهد بود. در دشت مغان در استان اردبیل، افزایش دمای کمینه و بیشینه در آینده پیش‌بینی شد که این افزایش تحت سناریوی بدبینانه به ترتیب از ۹/۹۵ و ۲۱/۱۲ درجه سانتی‌گراد در دوره پایه، به ۱۶/۰۴ و ۲۷/۶۸ درجه سانتی‌گراد تا انتهای قرن برآورد شد (Dinpashoh & Allahverdipour, 2025). این نتایج نشان‌دهنده نیاز به توجه به سناریوهای مختلف و تأثیرات آن‌ها بر تغییرات دما است. افزایش دما می‌تواند

12. **Faghani, M. and Fitchet, J., 2020.** Perspective of the effect of global warming on the change of temporal-spatial pattern of heat stress occurrence in Iran. *Climate Change Research*, 1(3), 1-20. [In Persian with English abstract].
13. **Fenta Mekonnen, D. and Disse, M., 2018.** Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
14. **Gaitán, E., Monjo, R., Pórtoles, J. and Pino-Otín, M.R., 2019.** Projection of temperatures and heat and cold waves for Aragón (Spain) using a two-step statistical downscaling of CMIP5 model outputs. *Science of the Total Environment*, 650, 2778-2795.
15. **Ghahraman, B., 2006.** Time trend in the mean annual temperature of Iran. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 30(6), 439-448.
16. **Ghorbani, K. and Bararkhanpour Ahmadi, S., 2023.** Studying the trend of Temporal and Spatial Changes in Extreme Quantiles of Minimum and Maximum Temperature in Iran. *Climate Change Research*, 3(12), 53-68. [In Persian with English abstract].
17. **Jahangir, M.H. and Mohammadi, A., 2018.** Climatic zoning of East Azerbaijan by LARS-WG down scaling model for 2011-2065. *Geography (Regional Planning)*, 8(30), 119-130. [In Persian with English abstract].
18. **Karimi Ahmad Abad, M. and Nabizadeh, A., 2018.** Assessment of climate change impacts on climate parameters of Urmia Lake basin during 2011-2040 years by using LARS-WG model. *Journal of Geography and Planning*, 22(65), 265-285.
19. **Khadka, D. and Pathak, D., 2016.** Climate change projection for the marsyangdi river basin, Nepal using statistical downscaling of GCM and its implications in geodisasters. *Geoenvironmental Disasters*, 3(1), 1-15.
20. **Khorsandi, M., Ghalkhani, H. and Bateni, M.M., 2023.** Trend Analysis of Precipitation and Air Temperature in water basins of Iran. *Agricultural Meteorology*, 11(2), 51-69. [In Persian with English abstract].
21. **Kumar, P., Deka, D., Husain, M.A., Kumar, M., Choudhari, P., Singh, S., Kamil, A. and Banerjee, A., 2025.** Trend analysis of precipitation and temperature in Lahaul-Spiti district, Himachal Pradesh, India. *Frontiers in Climate*, 6, 1348132.
3. **Allahverdipour, P., Ghorbani, M.A. and Asadi, E., 2024.** Evaluating the effects of climate change on the climatic classification in Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(3), 95-112. [In Persian with English abstract].
4. **Amirrezaeieh, A.R., Porhemmat, J. and Ahmadi, F., 2017.** Investigation of Precipitation and Temperature Trend Across the North West of Iran in Recent half of the Century. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 10(6), 797-809. [In Persian with English abstract].
5. **Azizi, H.R., Nejatian, N., Athari, M.A. and Hashemi, S.S., 2021.** The Effects of Climate Change on the Drought trend of Varamin Plain Using De-Martonne Index. *Nivar*, 45(112-113), 70-80. [In Persian with English abstract].
6. **Chylek, P., Li, J., Dubey, M.K., Wang, M. and Lesins, G.J.A.C., 2011.** Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian earth system model CanESM2. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11(8), 22893-22907.
7. **Del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C. and Penas, A., 2011.** Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary change*, 78(1-2), 65-75.
8. **Delju, A.H., Ceylan, A., Pigué, E. and Rebetez, M., 2013.** Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*, 111, 285-296.
9. **Dinpashoh, Y. and Allahverdipour, P., 2025.** Monitoring and Predicting Changes in Reference Evapotranspiration in the Moghan Plain According to CMIP6 of IPCC. *Environment and Water Engineering*, 11(1), 47-56.
10. **Eblaghian, A., Akhondali, A.M., Radmanesh, F. and Zarei, H., 2019.** Trend Analysis of Temperature, Precipitation, and Relative Humidity Changes in Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(3), 197-212. [In Persian with English abstract].
11. **Esfandeh, S., Danehkar, A., Salmanmahiny, A., Alipour, H., Kazemzadeh, M., Marcu, M.V. and Sadeghi, S.M.M., 2024.** Climate change projection using statistical downscaling model over southern coastal Iran. *Heliyon*, 10(8), e29416.

30. **Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G. and Imeson, A., 2008.** Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453(7193), 353-357.
31. **Sattari, M.T., Bagheri, R., Shirini, K. and Allahverdipour, P., 2024.** Modeling Daily and Monthly Rainfall in Tabriz using Ensemble Learning Models and Decision Tree Regression. *Climate Change Research*, 5(18), 31-48. [In Persian with English abstract].
32. **Sayad, T.A., Ali, A.M. and Kamel, A.M., 2016.** Study the impact of climate change on maximum and minimum temperature over Alexandria, Egypt using statistical downscaling model (SDSM). *Global Journal of Advanced Research*, 3(8), 694-712.
33. **Semenov, M.A. and Stratonovitch, P., 2010.** Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate research*, 41(1), 1-14.
34. **Shagega, F.P., Munishi, S.E. and Kongo, V.M., 2019.** Prediction of future climate in Ngerengere river catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/b/c*, 112, 200-209.
35. **Sharafi, S. and Mir Karim, N., 2020.** Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-11.
36. **Su, B., Huang, J., Mondal, S.K., Zhai, J., Wang, Y., Wen, S. and Li, A., 2021.** Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in China. *Atmospheric Research*, 250, 105375.
37. **Tabari, H., 2020.** Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific reports*, 10(1), 13768.
38. **Zarrin, A., Yazdany, D. and Dadashi-Roudbari, A.A., 2022.** Projection of minimum and maximum temperatures in cold regions of Iran using SDSM statistical downscaling model. *Climate Change Research*, 3(10), 19-32. [In Persian with English abstract].
39. **Zelege, T.B., Soeprbowati, T.R., Adissu, S. and Abatechanie, M., 2024.** Analyzing Climate Change Status through Evaluating Trend of Temperature and Rainfall and Predicting Future Climate Change Status at Lake Tana Basin. *Applied Environmental Research*, 46(1).
22. **Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. and Nejadsoleymani, H., 2019.** An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10.
23. **Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.O., Roberts, D., Skea, J. and Shukla, P.R., 2022.** Global Warming of 1.5 C: IPCC special report on impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press.
24. **Mirzaeizadeh, V., Mahdavi, A., Naji, H. and Ahmadi, H., 2023.** Monitoring the Effect of Climatic Variables on the Diameter Growth of Pistachios (*Pistacia Atlantica*) in the Forests of Ilam Province. *Environment and Interdisciplinary Development*, 8(80), 109-126. [In Persian with English abstract].
25. **Mohammadi, H., Khalili, R. and Mohammadi, S., 2021.** Forecasting future temperature and precipitation under the effects of climate change using the LARS-WG climate generator (Case Study: South Zagros Region of Iran). *Nivar*, 45(114-115), 152-169. [In Persian with English abstract].
26. **Mohammadi, M. and Allahverdipour, P., 2024.** Uncertainty analysis of artificial neural network (ANN) and support vector machine (SVM) models in predicting monthly river flow (Case study: Ghezeloan River). *Water and Soil Management and Modelling*, 4(2), 311-326. [In Persian with English abstract].
27. **Nerem, R.S., Beckley, B.D., Fasullo, J.T., Hamlington, B.D., Masters, D. and Mitchum, G.T., 2018.** Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(9), 2022-2025.
28. **Nouri, M., Morid, S., Karimi, N. and Gholami, H., 2021.** Spatial and Temporal Variation of Temperature and Precipitation Trends of Aras Transboundary River Basin. *Iran-Water Resources Research*, 17(3), 104-117.
29. **Reidmiller, D.R., Avery, C.W., Easterling, D.R., Kunkel, K.E., Lewis, K.L.M., Maycock, T.K. and Stewart, B.C., 2018.** Fourth National Climate Assessment, Volume II: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States, 440. Washington, DC, US Global Change Research Program.





## Investigating the Effect of Global Warming on the Temperature Changes in Iran

Esmail Asadi<sup>1\*</sup>, Mohammad Ali Ghorbani<sup>1</sup>, Tina Pouyamehr<sup>1</sup>, Pouya Allahverdipour<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> - Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

### Original Article

**Received:**  
2025.02.23

**Accepted:**  
2025.04.21

**Keywords:**

Climate Change  
Climate Scenario  
Environment  
Mann-Kendall  
Temperature  
Trend

### Abstract

**Introduction:** Global warming is one of the most critical challenges of the 21st century, with extensive implications for ecosystems, the environment, and human societies. Human activities such as fossil fuel consumption, deforestation, and industrial processes have led to a substantial increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere, resulting in global warming and a cascade of environmental effects. Understanding the impacts of global warming on the environment is crucial for developing effective mitigation and adaptation strategies. Therefore, research on topics such as global warming is of paramount importance.

**Materials and Methods:** This study utilized daily climatic data, including minimum and maximum temperatures, precipitation, and sunshine hours from 120 synoptic stations across Iran over 30 years (1993-2022). The Mann-Kendall test and Sen's slope estimator were employed to assess the trends in annual average temperature changes. To forecast future temperatures influenced by global warming, outputs from the CanESM2 model (from CMIP5 models) were used under two scenarios: RCP2.6 and RCP8.5. Given the large-scale outputs of these models, downscaling was necessary for station-level studies, and the LARS-WG model, one of the most widely used downscaling models, was applied.

**Results:** The results indicated a significant increasing trend in the annual average temperature of Iran, with a slope of 0.053 ( $p < 0.05$ ) during the base period. The most increasing trend was observed at Bostan and Qorveh, while the least was observed at Shiraz. Out of the 120 stations, 11 showed no significant trend, with only the Quchan station exhibiting a decreasing trend (not significant at the 5% level). Under the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, the annual average temperature in Iran is projected to reach 18.84 and 19.6°C during 2021-2040, 19.40 and 20.19°C during 2041-2060, 19.42 and 21.7°C during 2061-2080, and 18.88 and 22.99°C during 2081-2100, respectively. In the base period, the temperature range across all stations was between 8-28°C, while by the end of the century, the distribution of stations will shift towards higher temperatures, with no station experiencing an annual average temperature below 14°C under the RCP8.5 scenario. Spatially, southern regions will experience the most significant temperature increases, with

average annual temperatures projected to rise to between 32 and 34°C by the century's end under the pessimistic scenario.

**Discussion:** The findings of this study indicate that the increasing trend in Iran's average temperature observed in recent years will continue in the future, albeit with variations across different climate scenarios. Therefore, appropriate planning can help mitigate the extent of the increase and potential damage. Given the impact of temperature on the environment, economy, and all aspects of human life, it is essential to address this issue to ensure risk management and informed decision-making are conducted with precision planning. The results of this research will assist managers and planners in implementing sustainable strategies for adapting to future conditions and enhancing resilience. The results of this study highlight a concerning trend of increasing temperatures in Iran due to global warming, emphasizing the urgent need for effective planning and adaptation strategies to mitigate its impacts on the environment and society.