



## مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۲۴۸-۲۳۷

DOI: 10.22059/jwim.2021.324760.875

مقاله پژوهشی:

### بررسی تغییرات دمای ایران در اثر تغییر اقلیم

- حسین یوسفی<sup>۱</sup>، سامان جوادی<sup>۲\*</sup>، علی مریدی<sup>۳</sup>، حسین خواجه‌پور<sup>۴</sup>، هانیه سادات کرباسی<sup>۵</sup>، تورج فتحی<sup>۶</sup>
۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
  ۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
  ۳. استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
  ۴. استادیار، گروه مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
  ۵. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- ع کارشناس ارشد، دفتر مدیریت و حفاظت آب و خاک، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران.
- تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰

#### چکیده

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر دمای آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در ایران بررسی شده است. به این منظور نتایج سه مدل گردش عمومی (GCM) به نام‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR برای دو سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 و RCP8.5 تحلیل شد. برای ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری از مدل CCT و داده‌های دمای کمینه روزانه و دمای بیشینه روزانه (۱۹۸۶-۲۰۱۹) استفاده شد. کاهش دما در میانگین وزن‌دار سالانه هیچ‌کدام از سناریوهای بررسی شده، رخ نداده است. بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار سالانه دما برابر ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین افزایش دمای فصلی مربوط به تابستان (۸/۵ درجه سانتی‌گراد) مربوط به سناریو RCP8.5 در مدل HadGEM2-ES است. همین‌طور، بیشینه کاهش دما در فصل زمستان (۱/۲ درجه سانتی‌گراد) تحت شرایط سناریو RCP2.6 و مدل GFDL-ESM2M رخ داده است. با توجه به اقلیم ایران که اغلب مناطق آن خشک است، در پی این افزایش دما حتی در شرایط خوش‌بینانه (RCP2.6)، کشور نیازمند برنامه مدیریت جامع منابع آب و دید بلندمدت مدیران و مسئولان ذیربط می‌باشد. افزایش دما موجب چالش‌هایی از جمله مسائل کشاورزی، امنیت غذایی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی، بین‌الملل و ... می‌شود.

کلیدواژه‌ها: ایران، GCM، RCP2.6، RCP8.5

### Investigating Temperature Variation due to Climate Change in Iran

Hossein Yousefi<sup>1</sup>, Saman Javadi<sup>2\*</sup>, Ali Moridi<sup>3</sup>, Hossein Khajepour<sup>4</sup>, Hanie Sadat Karbasi<sup>5</sup>, Touraj Fathi<sup>6</sup>

1. M.Sc. Graduate, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
  2. Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran.
  3. Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
  4. Assistant Professor, Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Energy Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
  5. M.Sc. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
  6. Head Expert, Deputy of Soil and Water Conservation and Management, Department of Environment, Tehran, Iran.
- Received: May, 30, 2021 Accepted: August, 01, 2021

#### Abstract

In this study, the effect of climate change on future temperature (2021-2040) in Iran has been investigated. For this purpose, the results of three general circulation models (GCM) named GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES and IPSL-CM5A-LR were analyzed for two scenarios of greenhouse gas emissions of RCP2.6 and RCP8.5. CCT model and minimum and maximum daily temperature (1986-1986) were used for downscaling and bias correction. The weighted average annual temperature did not decrease in the studied scenarios. The highest increase in weighted average annual is equal to 3.1 °C, and the highest increment in seasonal temperature is related to summer (8.5°C) due to the RCP8.5 scenario in the HadGEM2-ES model. Also, the maximum temperature decrease occurred in winter (1.2°C) under the conditions of the RCP2.6 scenario and GFDL-ESM2M model. Due to the climate of Iran, most of which is arid, following this increase in temperature, even in optimistic conditions (RCP2.6), the country needs an integrated water resources management program and long-term vision of relevant managers and officials. Rising temperatures pose challenges in various fields such as agriculture, food security, social, economic, cultural, political, international, and so on.

**Keywords:** GCM, Iran, RCP2.6, RCP8.5.

## مقدمه

همان‌گونه که تعیین و پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی لحظه-ای بر بسیاری از فعالیت‌های انسان‌ها تأثیرگذار است، پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در آینده و تعیین تغییرات روند آن‌ها بسیار مهم است و می‌تواند به تصمیم‌گیران برای اتخاذ تصمیم‌های صحیح و کاهش اثرات این تغییرات کمک کند (Gorguner et al., 2019). منابع آبی از حیاتی‌ترین منابع در جهان می‌باشند که انسان‌ها برای زنده‌ماندن و ادامه فعالیت‌های خود به‌شدت به این منابع وابسته هستند (Tan et al., 2017). هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۱</sup> گزارش کرده است که تغییر اقلیم موجب ایجاد تغییرهایی در دما و بارش محلی در یک منطقه می‌شود و این تغییرات اقلیمی بر وقایع هیدرولوژیکی (نظیر سیلاب و خشکسالی) و همچنین جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی، زیست‌محیطی و کشاورزی تأثیرهای به‌سزایی خواهد گذاشت (Brêda et al., 2020).

مدل گردش عمومی جو (GCM)<sup>۲</sup> یک مدل عددی است که نمایانگر فرایندهای فیزیکی در اتمسفر، اقیانوس، کریوسفر و سطح زمین می‌باشد. در سراسر جهان از سناریوهای گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم (AR5)<sup>۳</sup> موسوم به سناریوهای واداشت تابشی (RCP)<sup>۴</sup> به‌منظور پیش‌بینی تغییر اقلیم استفاده گسترده‌ای شده است. سناریوهای RCP زیر نظر هیأت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی با هدف فراهم‌نمودن مجموعه‌ای از اطلاعاتی که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود و نتایج آن را بتوان برای مدل‌های اقلیمی اعمال کرد، ایجاد شدند. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان‌دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. سناریوی خانواده RCP شامل چهار سناریوی

مختلف است که این سناریوها عبارتند از RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 که براساس مشخصات متفاوت سطح فناوری، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایطی می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی شود (Riahi et al., 2011; Van Vuuren et al., 2011).

از برون‌داد پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز پنجم (CMIP5)<sup>۵</sup> برای پیش‌نگری متغیرهای مختلف هواشناسی در پژوهش‌های گوناگونی استفاده شده است. (Anjum et al., 2019) با استفاده از شش مدل CMIP5 تعیین کردند که تغییر اقلیم بر جریان سطحی و رطوبت در شمال پاکستان تأثیر خواهد گذاشت. بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده نیز از افزایش دما در بسیاری از مناطق هم‌چون جزیره بورنو (Sa'adi et al., 2020)، کشورهای عضو ابتکار کمربند و جاده<sup>۶</sup> (Dong et al., 2018)، نیجریه (Shiru et al., 2020)، استرالیا (Alexander & Arblaster, 2017)، مالزی (Hussain et al., 2017) و منطقه آراگون در اسپانیا (Gaitán et al., 2019) هشدار داده شده است و مدل‌ها توانسته‌اند با دقت قابل‌قبولی افزایش دما را پیش‌بینی کنند. هم‌چنین، تأثیر افزایش دما در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها نیز در پژوهش‌های مختلفی بررسی شده است. در این پژوهش‌ها افزایش دما دلیلی بر افت کیفیت منابع آبی نشان داده شد (Liu et al., 2020; Petrie et al., 2020; Woolway et al., 2020).

در پژوهش حاضر مطالعات در پهنه کشور ایران انجام شد. پس از ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری دمای کمینه و بیشینه روزانه مدل‌سازی‌شده توسط سه مدل GCM به نام‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR و برای دو سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 و RCP8.5، تغییرات دمای کشور در دوره بیست ساله آینده بررسی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

پردازش اولیه اطلاعات در مطالعات تغییر اقلیم چالش‌هایی برای پژوهش‌گران ایجاد می‌کند که CCT<sup>۱</sup> برخی از این چالش‌ها را حل کرده است. ۱- مدیریت داده بزرگ که اغلب مطالعات تغییر اقلیم درگیر این موضوع هستند و به منظور استخراج داده برای یک منطقه خاص نیازمند برنامه‌نویسی و صرف انرژی و زمان است. ۲- محاسبه سریع و یکپارچه مراحل انجام یک پژوهش در زمینه تغییر اقلیم شامل استخراج قسمتی از داده‌ها از پایگاه داده، ریزمقیاس‌نمایی<sup>۲</sup>، تصحیح سوگیری<sup>۳</sup> و درونیابی، که با استفاده از رابط کاربری گرافیکی انجام می‌شود. ۳- رویدادهای هیدرولوژیکی شدید اغلب با استفاده از متغیرهای متنوع با دامنه‌های مختلف در مناطق مختلف آب‌وهوایی تعریف می‌شوند. به عنوان مثال، خشکسالی ممکن است از نظر شرایط هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی تعریف شود. محاسبه آماره‌ها و الگوی سری‌های زمانی در دوره گذشته، تطبیق داده و اطلاعات

آینده با شرایط حدی دوره گذشته نیز یکی از قابلیت‌های مدل CCT می‌باشد (Ashraf Vaghefi et al., 2017). اولین گام در این پژوهش دانلود داده مربوط به تغییر اقلیم و آماده‌سازی داده‌ی مشاهداتی دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه است. داده تغییر اقلیم برای دوره گذشته و آینده مطابق جدول (۱) برای دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 در سه مدل GCM از پروژه ISI-MIP<sup>۱</sup> (Hempel et al., 2013) و سایت www.2w2e.com دانلود شده است. شکل (۱) فلوجارت مراحل پژوهش را نشان می‌دهد. سناریو RCP2.6 که به سناریوی خوش‌بینانه معروف است، توسط تیم IMAGE از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی کشور هلند طراحی شده است (Stocker et al., 2014). این سناریو جمعیت کره زمین را تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر فرض می‌کند و دارای کم‌ترین نیاز و مصرف انرژی و سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن کم‌ترین نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سناریوهای گزارش پنجم IPCC است.

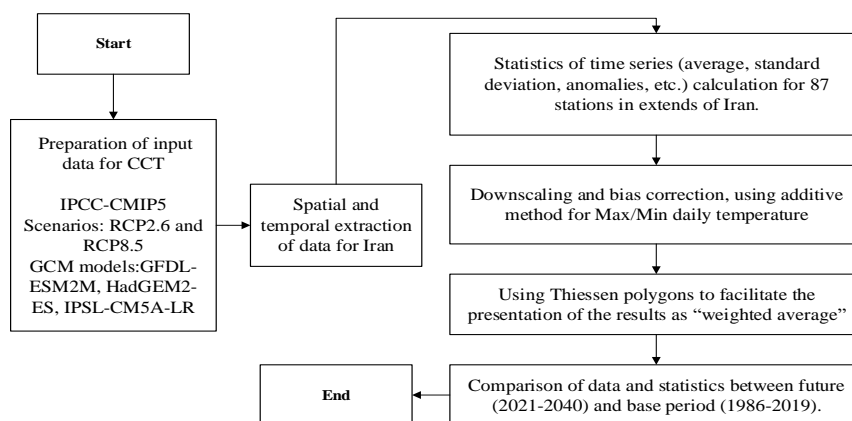


Figure 1. The research flowchart

Table 1. Statistical period, GCM models and scenarios used in this research

ISI-MIP model	Institute	Scenarios	Period	Parameter
GFDL-ESM2M	NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	RCP2.6, RCP8.5, and Historical	2021-2040 for RCPs and 1986-2005 for Historical	Minimum temperature, and Maximum temperature
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Center	RCP2.6, RCP8.5, and Historical	2021-2040 for RCPs and 1986-2005 for Historical	
IPSL-CM5A-LR	L'Institute Pierre-Simon Laplace	RCP2.6, RCP8.5, and Historical	2021-2040 for RCPs and 1986-2005 for Historical	
Observed (Base period)		-	1986-2019	

بلندمدت دما است. همچنین  $i$ ،  $j$  و  $k$  به ترتیب شمارنده روز، ماه و سال هستند.

### محدوده مطالعاتی

این پژوهش در محدوده کشور ایران بین عرض‌های جغرافیایی ۲۳ الی ۴۱/۵ درجه و طول‌های جغرافیایی ۴۱/۵ الی ۶۷/۵ درجه انجام شده است. کشور ایران در خاورمیانه با مساحت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد. ایران از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان که آب‌های آزاد هستند و از شمال به دریاچه خزر محدود است. ایران از لحاظ توپوگرافی بسیار متغیر است و شامل دو رشته‌کوه مرتفع و دو کویر بزرگ است، از این‌رو کشور ایران دارای اقلیم‌های متفاوتی هست. رشته کوه البرز از غرب از جمهوری آذربایجان آغاز می‌شود و در سوی شرق تا درون ترکمنستان و افغانستان ادامه دارد. بخش زیاد و مرتفعی از البرز در راستای سواحل جنوبی دریاچه خزر کشیده شده است و از عبور رطوبت برخاسته از دریاچه خزر به سوی جنوب جلوگیری می‌کند، لذا جبهه شمالی البرز مرطوب و جبهه جنوبی آن خشک است. رشته کوه زاگرس از کرانه‌های دریاچه وان در جنوب شرقی ترکیه آغاز شده و تا استان‌های کرمان، بوشهر و هرمزگان ادامه می‌یابد. اقلیم و آب‌وهوای ایران به چهار دسته کلی تقسیم می‌شود. (۱) معتدل و مرطوب؛ در سواحل دریاچه‌ی خزر مشاهده می‌شود، (۲) گرم و خشک؛ بخش‌های مرکزی ایران که سهم زیادی از مساحت کشور را دارند، (۳) سرد و کوهستانی؛ اغلب در دامنه‌های رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز (دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز در همسایگی دریاچه خزر اقلیم معتدل و مرطوب دارد) مشاهده می‌شود، (۴) گرم و مرطوب؛ سواحل جنوبی ایران دارای این نوع اقلیم هستند.

شکل (۲) محل ایستگاه‌ها و میانگین دمای بلندمدت را نشان می‌دهد.

در سناریوی RCP2.6 مقدار غلظت کربن‌دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰ میلادی حدوداً ۴۹۰ppm محاسبه شده است که در ادامه منجر به واداشت تابشی ۲/۶ وات بر مترمربع در انتهای دوره آینده می‌شود. در بین سناریوها فقط سناریوی RCP2.6 است که در اواسط دوره آینده (سال ۲۰۵۰) واداشت تابشی بیش‌تری (حدوداً ۰/۵ وات بر مترمربع) نسبت به انتهای دوره آینده دارد. سناریو RCP8.5 که به سناریوی بدبینانه معروف است، توسط تیم MESSAGE و مؤسسه IIASA از کشور اتریش طراحی شده است. این سناریو در صورت عدم اتخاذ هرگونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم رخ می‌دهد. در این سناریو جمعیت کره زمین تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱۲ میلیارد نفر فرض می‌شود و نسبت به سایر سناریوها نیاز مردم به تأمین انرژی و نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش‌تر از سایر سناریوها است. در سناریوی RCP8.5 مقدار غلظت کربن‌دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰ میلادی در حدود ۱۹۶۰ppm محاسبه شده است که در ادامه منجر به واداشت تابشی ۸/۵ وات بر مترمربع در انتهای دوره آینده می‌شود (Stocker et al., 2014).

در گام دوم استخراج داده برای مختصات محدوده مطالعاتی (کشور ایران) صورت گرفت. سپس نزدیک‌ترین ایستگاه GCM نسبت به ایستگاه‌های واقعی پیدا و با استفاده از ماژول Global Climate Data Management (GCDM) در نرم‌افزار CCT، مقادیر میانگین‌های ماهانه، سالانه، بلندمدت و آنومالی پارامترها محاسبه شد. در انتها تصحیح سوگیری با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری صورت گرفت و ضرایب تصحیح برای دمای آینده اعمال شد. در این پژوهش از روش additive (معادله ۱) به منظور تصحیح داده پیشینه و کمینه دما استفاده شده است.

$$T_{corrected_{ij}} = T_{GCM_{ij}} + (\bar{T}_{reference_{jk}} - \bar{T}_{GCM_{jk}}) \quad (1)$$

که در معادله (۱)،  $T$  مقدار دما و  $\bar{T}$  مقدار میانگین

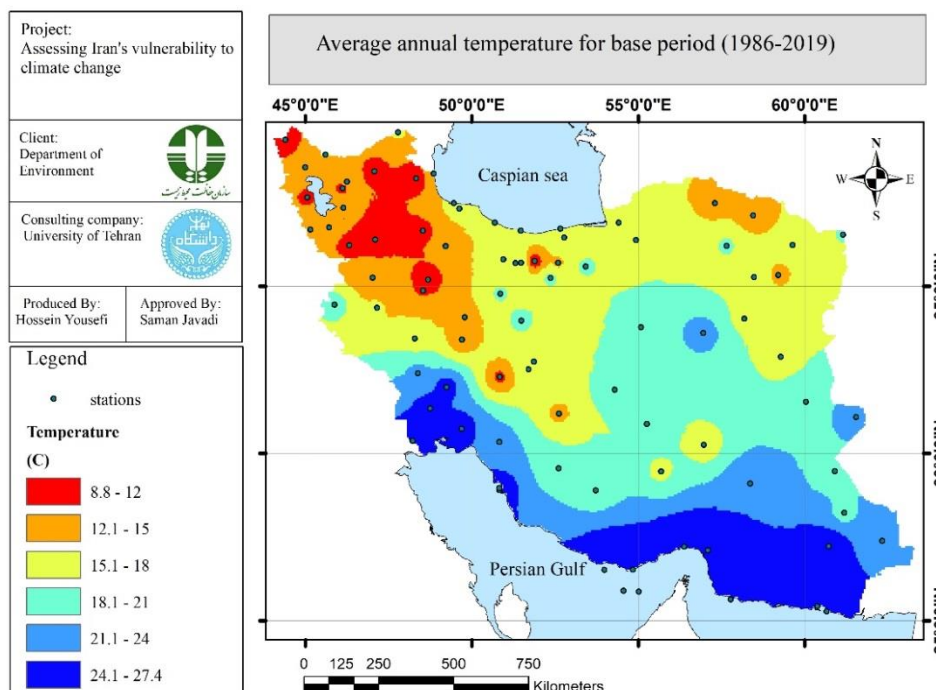


Figure 2. Location of stations and long-term average annual temperature in Iran

بررسی میانگین بلندمدت دمای دوره پایه و آینده (تحت اثر تغییر اقلیم) در مقیاس‌های فصلی و سالانه بررسی شده است. با توجه به جدول (۳) و شکل‌های (۳) تا (۶) نتایج ذیل قابل استنباط است.

بیشترین افزایش میانگین وزندار دمای ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۲/۷ درجه سانتی‌گراد است. میانگین وزندار دمای ایستگاه‌های دماسنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهش نیفت. بیشترین افزایش دما در یک ایستگاه دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۶/۲ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۵/۷ درجه سانتی‌گراد است. کاهش دما در هیچ‌کدام از ایستگاه دماسنجی رخ نداده است، ولی در برخی ایستگاه‌ها تحت شرایط G1S1 تغییرات دما صفر محاسبه شده است.

## نتایج و بحث

در این پژوهش سه مدل گردش عمومی جو و دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شده است که جهت سهولت در ارائه نتایج هر یک از شش حالت تغییر اقلیم بررسی شده در این پژوهش با علائم اختصاری جدول (۲) نشان داده شده است.

Table 2. Different scenarios and their acronyms in this research

GCM Model	Scenario	Acronym
GFDL-ESM2M	RCP 2.6	G1S1
HadGEM2-ES	RCP 2.6	G2S1
IPSL-CM5A-LR	RCP 2.6	G3S1
GFDL-ESM2M	RCP 8.5	G1S4
HadGEM2-ES	RCP 8.5	G2S4
IPSL-CM5A-LR	RCP 8.5	G3S4
Base Period	Observed	BP

لازم به ذکر است به منظور ارائه نتایج برای محاسبه میانگین وزندار ایستگاه‌ها از منحنی‌های تیسن شبکه ایستگاه‌ها استفاده شده است. در ادامه نتایج تحلیل و

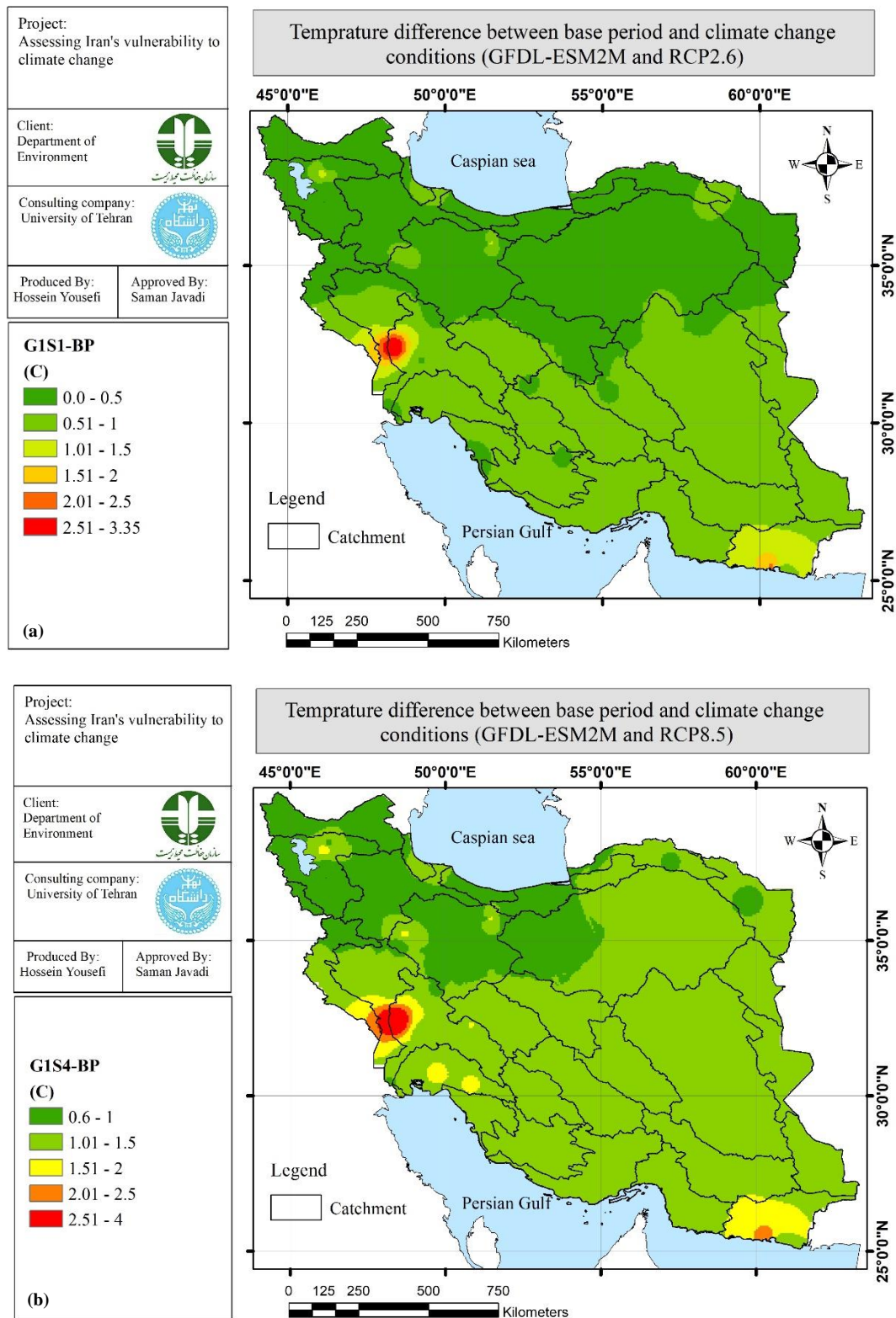


Figure 3. Long-term average of temperature variation due to climate change in Iran due to RCP2.6 (a) and RCP8.5 (b) in GFDL-ESM2M model.

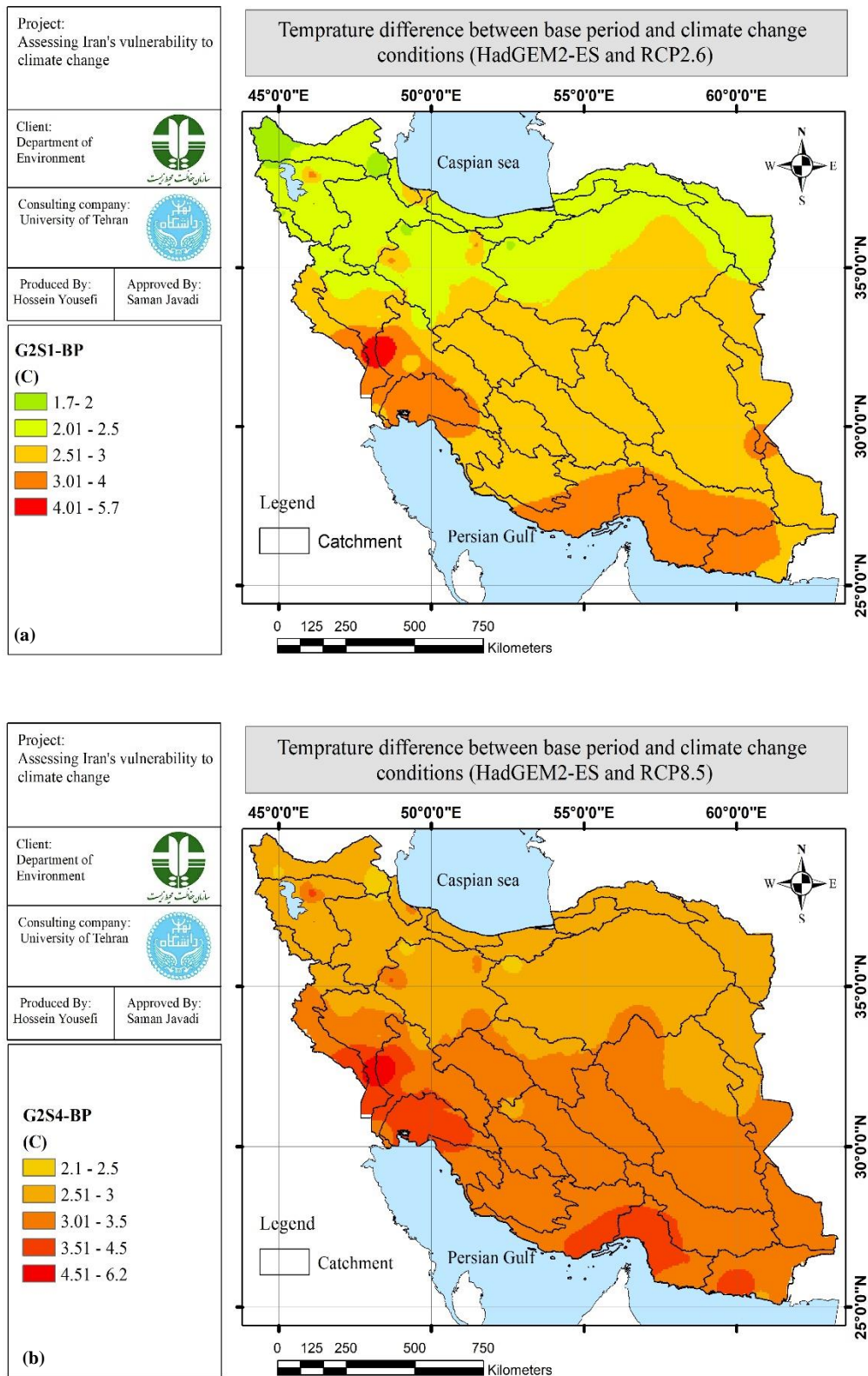


Figure 4. Long-term average of temperature variation due to climate change in Iran due to RCP2.6 (a) and RCP8.5 (b) in HadGEM2-ES model

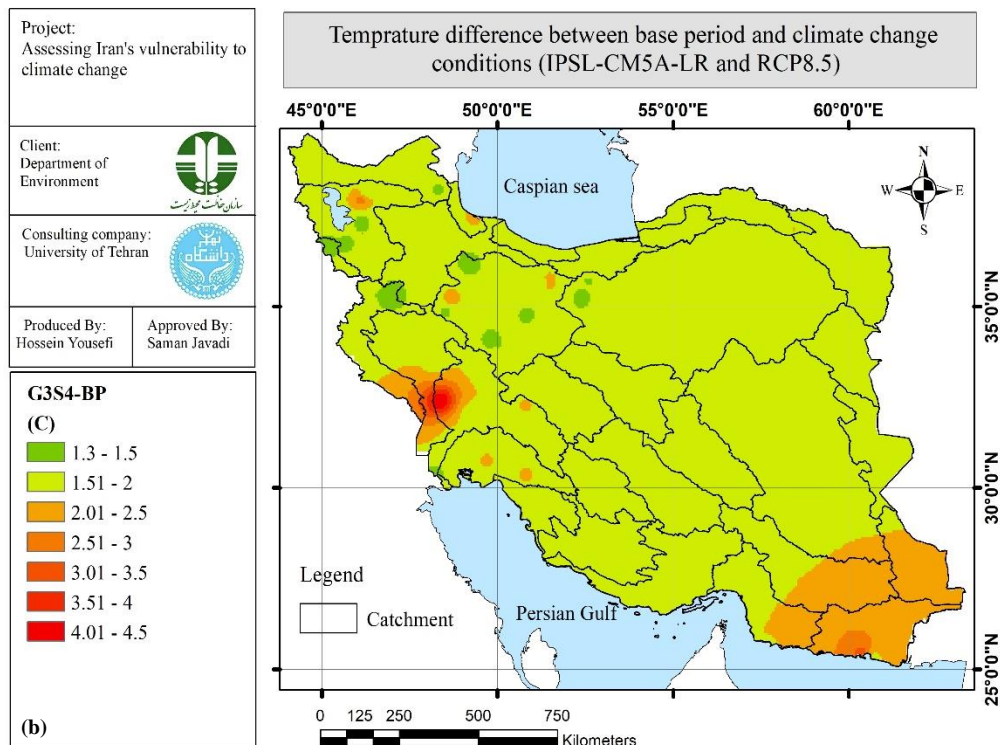
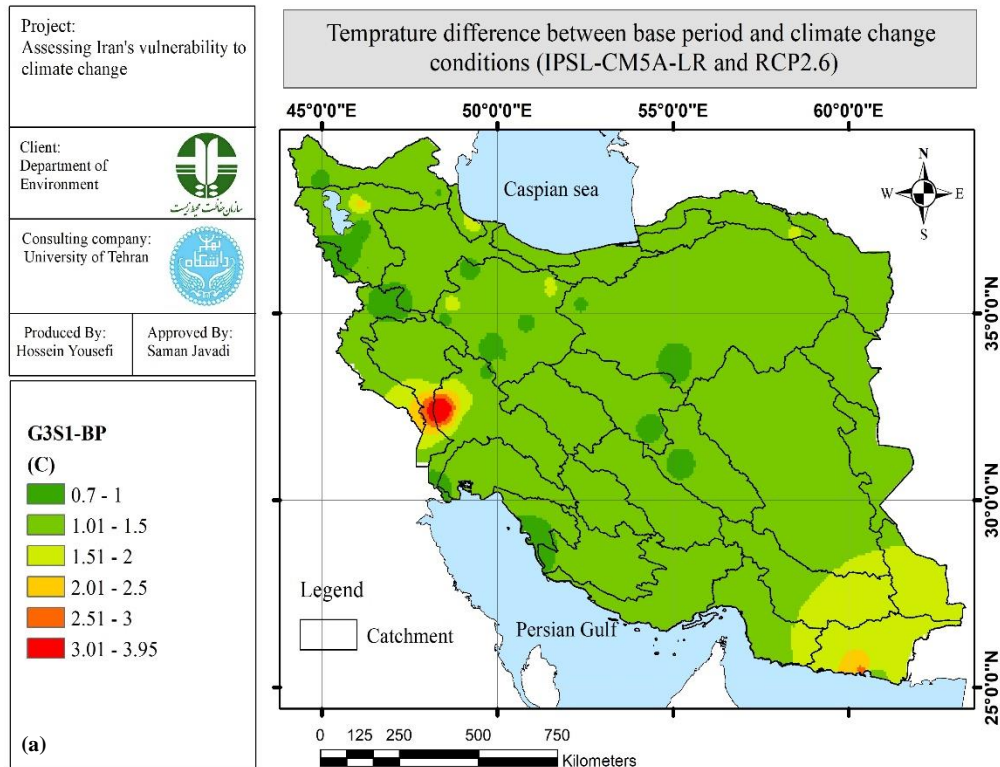


Figure 5. Long-term average of temperature variation due to climate change in Iran due to RCP2.6 (a) and RCP8.5 (b) in IPSL-CM5A-LR model



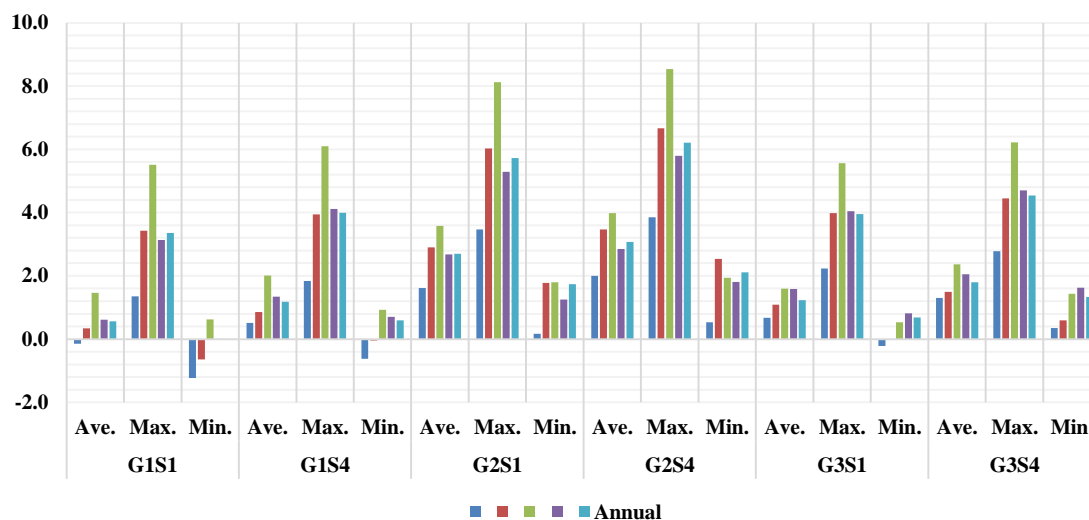


Figure 6. Seasonal and annual temperature variation in future and base period due to climate change

### دمای فصل پاییز

درجه سانتی‌گراد است. میانگین وزن‌دار دمای فصل تابستان ایستگاه‌های دماسنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهشی نیست، ولی کم‌ترین افزایش مربوط به شرایط G1S1 و برابر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین افزایش دمای فصل تابستان در یک ایستگاه دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۸/۵ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۸/۱ درجه سانتی‌گراد است. کاهش دمای فصل تابستان در هیچ‌کدام از ایستگاه دماسنجی رخ نداده است، ولی کم‌ترین افزایش در یک ایستگاه مربوط به شرایط G1S1 و برابر ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است.

### دمای فصل بهار

بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار دمای فصل بهار ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۳/۵ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین وزن‌دار دمای فصل بهار ایستگاه‌های دماسنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهشی نیست، ولی کم‌ترین افزایش مربوط به شرایط G1S1 و برابر ۰/۳ درجه سانتی‌گراد است.

بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار دمای فصل پاییز ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۲/۸ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۲/۷ درجه سانتی‌گراد است. میانگین وزن‌دار دمای فصل پاییز ایستگاه‌های دماسنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهشی نیست، ولی کم‌ترین افزایش مربوط به شرایط G1S1 و برابر ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین افزایش دمای فصل پاییز در یک ایستگاه دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۵/۸ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. کاهش دمای فصل پاییز در هیچ‌کدام از ایستگاه دماسنجی رخ نداده است ولی در برخی ایستگاه‌ها تحت شرایط G1S1 تغییرات دما صفر محاسبه شده است.

### دمای فصل تابستان

بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار دمای فصل تابستان ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۴ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۳/۶

پژوهش‌ها نشانگر افزایش دما در محدوده مطالعاتی می‌باشند. تقریباً همه

بیش‌ترین افزایش دمای فصل بهار در یک ایستگاه دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۶/۷ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۶ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین کاهش دمای فصل بهار در یک ایستگاه دماسنجی تحت شرایط G1S1 و برابر ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است. در سایر شرایط کاهش دمای فصل بهار در یک ایستگاه دماسنجی محاسبه نشده است.

**Table 3. Seasonal and annual temperature variation due to climate change**

	Seasonal temperature (Future - Base Period) (C)				Annual temperature (Future - BP) (C)
	Winter	Spring	Summer	Fall	
G1S1	Average	-0.1	0.3	1.5	0.6
	Maximum	1.3	3.4	5.5	3.1
	Minimum	-1.2	-0.6	0.6	0.0
G1S4	Average	0.5	0.9	2.0	1.3
	Maximum	1.8	3.9	6.1	4.1
	Minimum	-0.6	0.0	0.9	0.7
G2S1	Average	1.6	2.9	3.6	2.7
	Maximum	3.5	6.0	8.1	5.3
	Minimum	0.2	1.8	1.8	1.2
G2S4	Average	2.0	3.5	4.0	2.8
	Maximum	3.9	6.7	8.5	5.8
	Minimum	0.5	2.5	1.9	1.8
G3S1	Average	0.7	1.1	1.6	1.2
	Maximum	2.2	4.0	5.6	4.0
	Minimum	-0.2	0.0	0.5	0.8
G3S4	Average	1.3	1.5	2.4	1.8
	Maximum	2.8	4.5	6.2	4.7
	Minimum	0.4	0.6	1.4	1.6

### دمای فصل زمستان

بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار دمای فصل زمستان ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۲ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۱/۶ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین کاهش میانگین وزن‌دار دمای فصل زمستان ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G1S1 و برابر ۰/۱ درجه سانتی‌گراد است و در سایر شرایط کاهشی نیست. بیش‌ترین افزایش دمای فصل زمستان در یک ایستگاه دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۳/۹ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G2S1 و برابر ۳/۵ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین کاهش دمای فصل زمستان در یک ایستگاه دماسنجی تحت شرایط G1S1 و برابر ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و رتبه بعدی شرایط G1S4 و برابر ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است.

این پژوهش با در نظر گرفتن پراکندگی و تعداد (۸۷ ایستگاه) مناسب ایستگاه‌ها در سراسر ایران و هم‌چنین دوره آماری طولانی (۱۹۸۶ الی ۲۰۱۹)، دارای نوآوری می‌باشد. با این حال پژوهش‌هایی نیز در ایران انجام شده است، برای مثال در پژوهشی شش ایستگاه در نقاط مختلف ایران و دوره آماری ۱۹۸۰ الی ۲۰۰۰، لحاظ شده است (Doulabian et al., 2021) در پژوهش‌های دیگر تغییر اقلیم در پهنه‌های استانی مانند استان اصفهان (Sadeqi & Kahya, 2021) یا حوضه‌ای مانند حوضه آبریز رودخانه میناب هرمزگان )

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر تغییرات اقلیم بر دمای کشور ایران بررسی شده است. در این پژوهش نتایج سه مدل GCM به نام‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR و برای دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 تحلیل و بررسی شده‌اند. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری نتایج مدل‌های GCM از مدل CCT استفاده شده است. در این پژوهش محاسبات با گام زمانی روزانه انجام و نتایج به‌صورت فصلی و سالانه ارائه شده است. هم‌چنین برای ارائه نتایج از میانگین وزن‌دار که با مساحت محصور توسط منحنی‌های تیسن به‌دست آمده است، استفاده شد. طبق نتایج به‌دست آمده، کاهش میانگین وزن‌دار سالانه دما در هیچ‌کدام از سناریوهای تغییر اقلیم رخ نداده است. بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار سالانه دمای ایستگاه‌های دماسنجی مربوط به شرایط G2S4 و برابر ۳/۱

### تشکر و قدردانی

این پژوهش قسمتی از پروژه ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در ایران به کارفرمایی سازمان محیط زیست ایران است. لذا از مساعدت این سازمان جهت انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

### منابع

- Alexander, L. V., & Arblaster, J. M. (2017). Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes*, 15(January), 34–56.
- Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, N., Kamali, B., & Abbaspour, K.C. (2017). A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions-Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling and Software*, 96, 181–198.
- Brêda, J. P. L. F., de Paiva, R. C. D., Collischon, W., Bravo, J. M., Siqueira, V. A., & Steinke, E.B. (2020). Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. *Climatic Change*, 159(4), 503–522.
- Dong, T. Y., Dong, W. J., Guo, Y., Chou, J. M., Yang, S. L., Tian, D., & Yan, D. D. (2018). Future temperature changes over the critical Belt and Road region based on CMIP5 models. *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 57–65.
- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A. S., & Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1), 166–184.
- Gaitán, E., Monjo, R., Pórtoles, J., & 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.
- Gorguner, M., Kavvas, M. L., & Ishida, K. (2019). Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections. *Science of the Total Environment*, 648, 481–499.

درجه سانتی‌گراد بود. بیش‌ترین افزایش دما برابر ۸/۵ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط G2S4 و در فصل تابستان رخ داد. همین‌طور بیشینه کاهش دما در فصل زمستان (۱/۲) درجه سانتی‌گراد) تحت شرایط سناریوی G1S1 رخ داده است.

در حالت کلی مدل HadGEM2-ES افزایش دما را شدیدتر از مدل‌های دیگر پیش‌بینی نموده است. با توجه به اقلیم ایران که اغلب مناطق آن خشک است، در پی این افزایش دما حتی در شرایط خوش‌بینانه، کشور نیازمند برنامه مدیریت جامع منابع آب و دید بلندمدت مدیران و مسئولان ذیربط می‌باشد. افزایش دما علاوه بر کاهش تاب‌آوری سیستم‌های منابع آبی و تأثیر بر بیلان آبی به‌وسیله افزایش تبخیر و تعرق، باعث افزایش مصرف انرژی نیز می‌شود. از سوی کاهش آب مخازن سدهای برقابی و از سوی دیگر افزایش مصرف برق در جهت سرمایه‌های محیط در فصول گرم، موجب ایجاد چالش‌های انرژی محور برای مدیران این بخش می‌شود. هم‌چنین با افزایش نیاز و به تبع آن افزایش تولید برق، آلودگی محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد، لذا چالشی جدید با محوریت محیط زیست و جایگزین‌نمودن انرژی‌های پاک برای مدیران این بخش ایجاد خواهد شد. این مباحث فقط بخشی از چالش‌های پیش‌رو هستند موارد دیگری نیز مانند مسائل کشاورزی، امنیت غذایی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی، بین‌الملل و... متأثر از این پدیده هستند.

### پی‌نوشت

- Intergovernmental Panel on Climate Change
- General Circulation Model
- IPCC Fifth Assessment Report
- Representative Concentration Pathway
- Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
- Belt and Road Initiative
- Climate Change Tool
- Downscaling
- Bias correction
- Inter-Sectoral Impact Model Inter-comparison

8. Hempel, S., Frieler, K., Warszawski, L., Schewe, J., & Piontek, F. (2013). A trend-preserving bias correction-the ISI-MIP approach. *Earth System Dynamics*, 4(2), 219-236.
9. Hussain, M., Yusof, K. W., Mustafa, M. R., Mahmood, R., & Shaofeng, J. (2017). Projected changes in temperature and precipitation in sarawak state of Malaysia for selected CMIP5 climate scenarios. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(8), 1299-1311.
10. Liu, S., Xie, Z., Liu, B., Wang, Y., Gao, J., Zeng, Y., ..., Qin, P. (2020). Global river water warming due to climate change and anthropogenic heat emission. *Global and Planetary Change*, 193, 103289.
11. Petrie, M. D., Bradford, J. B., Lauenroth, W. K., Schlaepfer, D. R., Andrews, C. M., & Bell, D. M. (2020). Non-analog increases to air, surface, and belowground temperature extreme events due to climate change. *Climatic Change*, 163(4), 2233-2256.
12. Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., ..., Rafaj, P. (2011). RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33-57.
13. Saadi, Z., Shiru, M.S., Shahid, S., & Ismail, T. (2020). Selection of general circulation models for the projections of spatio-temporal changes in temperature of Borneo Island based on CMIP5. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1-2), 351-371.
14. Sadeqi, A., & Kahya, E. (2021). Spatiotemporal analysis of air temperature indices, aridity conditions, and precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.
15. Shiru, M. S., Chung, E. S., Shahid, S., & Alias, N. (2020). GCM selection and temperature projection of Nigeria under different RCPs of the CMIP5 GCMS. *Theoretical and Applied Climatology*, 141(3-4), 1611-1627.
16. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M.M.B., Allen, S.K., Boschung, J., ..., Midgley, P.M. (2014). *Climate Change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of IPCC the intergovernmental panel on climate change*. USA. Cambridge University Press.
17. Tan, M.L., Ibrahim, A.L., Yusop, Z., Chua, V.P., & Chan, N.W. (2017). Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*, 189, 1-10.
18. Van Vuuren, D. P., Edmonds, J. A., Kainuma, M., Riahi, K., & Weyant, J. (2011). A special issue on the RCPs. *Climatic Change*, 109(1), 1-4.
19. Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... Lamarque, J.-F. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1), 5-31.
20. Woolway, R.I., Kraemer, B.M., Lenters, J. D., Merchant, C.J., O' Reilly, C. M., & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(8), 388-403.
21. Yousefi, H., Moridi, A., Yazdi, J., & KhazaiePoul, A. (2020). Investigating the effect of climate change on discharge, NO<sub>3</sub> load, and agricultural products yield upstream of Esteghlal dam. *Iran-Water Resources Research*, 16(2), 35-49. (In Persian)