

# آشکار سازی و برآورد تغییر اقلیم سال‌های آتی ایران

بهرروز سبحانی<sup>۱\*</sup>، وحید صفریان زنگیر<sup>۲</sup>

۱. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دکتری گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: Sobhani@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

## چکیده

هدف از پژوهش حاضر برآورد و ارزیابی تغییر اقلیم آینده ایران با استفاده از عناصر اقلیمی (حداقل دما، حداکثر دما و بارش) تا سال ۲۱۰۰ در کشور ایران می‌باشد. برای این منظور در پژوهش حاضر از روش و ابزار نوآورانه الگوریتم و کد نویسی و داده‌های ناسا برای ارزیابی و پیش‌بینی عناصر اقلیمی مذکور براساس دو سناریوی حدوسط (RCP. ۴/۵) و سناریوی بدبینانه (RCP. ۸/۵) مدل CanESM2 کانادا از سامانه تحت وب گوگل ارث انجین استفاده شد. برای تحلیل، بررسی و مقایسه بهتر تغییرات اقلیم آینده ایران بازه زمانی مورد مطالعه ۸۰ ساله، به دو دوره ۴۰ ساله اول (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و دوره ۴۰ ساله دوم (۲۰۶۱-۲۱۰۰) تقسیم شد. نتایج پژوهش حاضر براساس سناریوی حد وسط (RCP. ۴/۵) بیان‌گر این می‌باشد که کمینه و بیشینه حداقل دمای دوره ۴۰ ساله دوم نسبت به دوره ۴۰ ساله اول به ترتیب ۲/۶۹ و ۰/۶۲ درجه سانتی‌گراد و کمینه و بیشینه حداکثر دمای دوره ۴۰ ساله دوم نسبت به دوره ۴۰ ساله اول به ترتیب ۳/۳۷ و ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد؛ همچنین براساس سناریوی بدبینانه (RCP. ۸/۵) کمینه و بیشینه حداقل دمای دوره ۴۰ ساله دوم نسبت به دوره ۴۰ ساله اول به ترتیب ۳/۴۶ و ۰/۵۴ درجه سانتی‌گراد و کمینه و بیشینه حداکثر دمای دوره ۴۰ ساله دوم نسبت به دوره ۴۰ ساله اول به ترتیب ۲/۴۷ و ۳/۴۶ درجه سانتی‌گراد روندی افزایشی پیش‌بینی شد. براساس نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر در منطقه مورد مطالعه در دوره ۴۰ ساله اول فراوانی بارش کاهش و در دوره ۴۰ ساله دوم فراوانی بارش افزایش می‌یابد.

## کلمات کلیدی

"تغییر اقلیم"، "سناریوهای RCP"، "رویکرد نوآورانه"، "پیش‌بینی"، "CanESM2"

## ۱- مقدمه

همکاران، ۱۴۰۲: ۱). تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های علمی و ژئوپلیتیکی عصر حاضر است. محور اصلی چالش، ایده استفاده از علم آب و هوا برای نگاه کردن به آینده می‌باشد (Collins et al., 2020: 1). زمین از سال ۱۸۵۰ افزایش قابل توجهی دما را در سطح منطقه و جهان تجربه کرده است (Li et al., 2015: 9; Ozturk et al., 2018: 11; Wang et al., 2021: 4). انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم تأثیر عمیقی بر محیط‌زیست (Isobe et al., 2013: 2; Gomiero et al., 2018: 7)، اقتصاد اجتماعی (Mishra et al., 2010: 6; Lu et al., 2019: 23) و سلامت انسان (Baccini et al., 2013: 17; Jiang et al., 2015: 19; Luo et al., 2019: 8) دارد. آن‌چه قابل توجه است این است که اگرچه تعهد ملی شده تعیین شده در توافقنامه پاریس به طور کامل محقق شده است، پیش‌بینی می‌شود که میانگین دمای سطح جهانی در سناریوهای انتشار بالا در سال ۲۱۰۰ بین ۲/۶ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (Onozuka et al., 2019: 32; Feng and Chao., 2020: 78). امروزه تغییر اقلیم به دلیل اهمیت فراگیر خود مورد توجه بسیاری از محققان می‌باشد. با توجه به این که کشور ایران در جنوب غرب آسیا در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد و در دهه اخیر با مشکلات ناشی از تغییر اقلیم از جمله تامین منابع آبی در بخش‌های مختلف زندگی جوامع بشری رو به رو بوده است. داشتن اطلاعات کافی در زمینه تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی سال‌های آتی در حوزه‌های درگیر با تغییر اقلیم می‌تواند

تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهمی است که بر اکوسیستم‌ها طبیعی و جنبه‌های مختلف زندگی انسان‌ها اثر می‌گذارد (احمدآبادی و صدیقی‌فر، ۱۳۹۷: ۱۰۳). دو مشخصه بارز اقلیم آینده تغییر در میانگین و مقادیر حدی متغیرهای هیدرواقلیمی می‌باشد (فهمی‌نژاد، ۱۳۹۸: ۲۷). براساس گزارش CMIP5<sup>۱</sup> با اطمینان بالایی در نیم کره شمالی، دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۳ گرم‌ترین دوره ۳۰ ساله از ۱۴۰۰ سال گذشته بوده است اغلب مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند که در سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۸۵۰ بیش از ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. البته با دید بدبینانه‌تر این میزان به ۴ درجه سلسیوس هم خواهد رسید (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۸). IPCC<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳: ۲۱). تغییر پذیری اقلیم و تغییر آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیشروی بشر در قرن بیست و یکم است. بهترین روش پیش‌نمای رفتار اقلیم استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۱). تغییر اقلیم از جمله عواملی است که به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر در متغیرهای اقلیمی می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل طبیعی و انسانی، موجب گرم شدن جو زمین شده و به تبع آن چرخه آب را تحت تأثیر جدی قرار می‌دهد (محمدپورخوئی و ناصری، ۱۴۰۱: ۱۳۲). در سال‌های اخیر توجه به تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن اهمیت زیادی پیدا کرده است که می‌توان آن را نتیجه پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت‌های مالی و جانی مربوط به رویدادهای فرین اقلیمی دانست (دجازی‌زاده و

2. Intergovernmental Panel on Climate Change

1. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

قرارگیری کشور ما در عرض جغرافیایی پایین، ایران نه تنها از اثرات ناشی از این پدیده مصون نبوده است. بلکه در زمره کشورهای است که بیشترین تبعات منفی این پدیده را محتمل خواهد شد (آشفته، ۱۳۹۳: ۱). از این رو براساس مطالعات انجام شده، بررسی و پیش آگاهی از تغییر اقلیم آینده در منطقه مورد مطالعه (کشور ایران) می‌تواند در بخش‌های مختلف زندگی بشری کمک شایانی را در تدوین برنامه‌ها و مدیریت کارآمد در مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم ارائه کرد. عوامل متعددی در تغییر سامانه آب و هوایی مؤثر می‌باشند که این عوامل به دو مورد از عوامل طبیعی و عوامل انسانی تقسیم می‌شوند، مهم‌ترین عوامل طبیعی که می‌تواند در تغییر آب و هوا نقش داشته باشند عبارتند از: تغییر در مؤلفه‌های گردش زمین مانند رقص محوری، حرکت تقدیمی که دوره‌های زمانی طولانی مدت رخ می‌دهد، تغییر در میزان فعالیت‌های خورشیدی مانند تغییرات کلف‌های خورشیدی که مقدار انرژی خورشیدی دریافتی در سطح زمین را تنظیم می‌کند که در طی دهه‌ها و یا سال‌ها صورت می‌گیرد، تغییرات و نوسان‌هایی مانند پدیده‌ی انسو، ناو و... که در نتیجه‌ی عملکرد و واکنش‌های بین جو و اقیانوس پدید می‌آید که در مقیاس چندین سال یا دهه می‌باشند، انفجارات آتشفشانی که به صورت سریع و در طی یک دوره یک ساله و یا دو ساله می‌تواند مقدار انرژی دریافتی خورشید را تغییر دهد (Cicerone and Nurse, 2014: 11؛ فرج‌زاده و قاسمی‌فر، ۱۳۹۸: ۲۵-۲۶). عوامل انسانی تأثیرگذار در تغییر آب و هوایی به‌ویژه بعد از انقلاب صنعتی قابل مشاهده است که در نتیجه آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش زیادی پیدا کرده است و همین عوامل باعث افزایش دمای کره زمین گردیده است. در همین زمینه میزان دی‌اکسید کربن جو در دوران قبل از صنعتی شدن ۲۸۰ PPM بوده که این مقدار به ۳۴۵ PPM در سال ۱۹۹۰ و به ۳۷۶ ppm در سال ۱۹۹۹ رسیده است (IPCC-TGICA, 2007: 18؛ فرج‌زاده و قاسمی‌فر، ۱۳۹۸: ۲۶). ورود در ادبیات موضوع پژوهش و کنکاش در پیشینه تحقیق، کاشف از دامنه‌ای از تحقیقات متنوعی است که زمینه تخمین و برآورد تغییر اقلیم و پیش‌بینی آن، به انجام رسیده است. تنوع این مباحث گویای اقبال قابل توجه به این موضوع در محافل آکادمیک و اجرایی است. تحقیقات متعددی در پیش زمینه پژوهشی این تحقیق مورد مراجعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: دوستان و علیجانی (۱۳۹۴)؛ در بررسی تغییر اقلیم در ایران، با رویکرد سینوپتیکی اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که بهترین مدل برای پیش‌بینی سری‌های زمانی، مدل اتورگرسیو (AR) است. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۵)؛ به ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جوی پرداختند و یافته‌های پژوهش نشان از افزایش دما بر اساس تمام مدل-سناریوها، طی دوره‌های آتی دارد. الوانکار و همکاران (۱۳۹۵)؛ به تاثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی‌های ایران اقدام کردند و به این یافته رسیدند که میزان بارش نسبت به دوره پایه طی دوره‌های آینده نزدیک تحت خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و دو سناریوی A2, A1B تغییر معنی‌داری در بیش‌تر مناطق کشور خواهد داشت. مولودی و همکاران (۱۳۹۵)؛ در تحقیقی به اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که امواج گرمایی کوتاه‌مدت، رخداد بیش‌تری دارند. احمدآبادی و صدیقی‌فر (۱۳۹۷)؛ به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی پرداختند و

به مدیران و مسئولان ذی‌ربط کمک شایانی کند، نتایج طرح می‌تواند بسیاری از مناطق مواجهه با آثار منفی مخاطرات جوی ناشی از تغییر اقلیم در مناطق مورد مطالعه را شناسایی کند و مشکلات ناشی از آن را تا حد امکان پیش‌بینی، کاهش و برطرف کرد. هدف پژوهش حاضر بررسی، تحلیل و برآورد تغییر اقلیم ایران با رویکرد آب و هوایی منطقه‌ای می‌باشد. برای این کار از روش جدید و نوآورانه الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب و از داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) استفاده شد. نتیجه تحقیق حاضر می‌تواند به مشکلات به وجود آمده از این مخاطره طبیعی و انسانی کمک کند. با توجه به این که تغییر اقلیم اثرات زیادی را در بخش‌های مختلف زندگی انسان‌ها از جمله منابع آبی، کشاورزی، اقتصاد و غیره دارد از این رو پرداختن به این موضوع مهم و ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش حصول اطلاعات لازم و استفاده عمومی و تخصصی از داده‌های هواشناسی سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) در ارتباط با برنامه‌ریزی‌های در برآورد اقلیم آینده ایران با استفاده از داده‌های سنجش از دور سازمان ناسا می‌باشد. و این که آیا در سال‌های پیش‌بینی شده منطقه مورد مطالعه تغییر اقلیمی اتفاق خواهد افتاد یا خیر؟

تغییر اقلیم فرآیندی منحصر به عصر ما نبوده و بر اساس شواهد موجود، کره زمین در دوران مختلف زمین‌شناسی همواره با چنین تغییراتی مواجه بوده است. آنچه تغییرات اقلیمی قرن حاضر را و به‌ویژه در نیمه اول این قرن را از تغییرات گذشته متمایز ساخته است ماهیت و سرعت آن می‌باشد. به‌صورتی که امروزه این تغییرات شتاب بیش‌تری را به خود گرفته و روند آن به‌گونه‌ای است که چندان قابل پیش‌بینی نیست. البته مقوله تغییر اقلیم همیشه با تناقض‌ها و تعارض‌ها زیاد مواجه بوده است. محققین و دانشمندان علوم مربوطه در زمینه‌ی علل و ماهیت آن اختلاف نظرهای داشته‌اند، ولی به نظر می‌رسد که در دهه پایانی قرن فعلی و در آستانه ورود به قرن جدید آثار آن و به‌خصوص تبعات اکولوژیکی ناشی از آن به حدی نمایان شده است که بسیاری از این تناقض‌ها مرتفع شده است (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱). به علت وقوع پدیده تغییر اقلیم بسیاری از سامانه‌های محیط‌زیست طبیعی مانند منابع آب تحت تأثیر قرار گرفته‌اند به‌طوری که بهره‌برداری از مخازن آب تولید محصولات کشاورزی را دگرگون کرده است (مظفری و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۲). امروزه بحث تغییرات اقلیمی (در مقیاس خرد، منطقه‌ای و سیاره‌ای) به یک موضوع تمام معیار جهانی مبدل شده است. از مهم‌ترین نگرانی‌ها در بحث تغییر اقلیم اثر آن بر راندمان محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق کم بارش و افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق می‌باشد. از این رو با توجه به هشدارهای مکرر سازمان‌های بین‌المللی از جمله IPCC در زمینه‌ی اثرات تغییرات اقلیمی بر امنیت غذایی جوامع بشری نشان‌دهنده یک چالش بزرگ جهانی در زمینه‌ی عملکرد محصولات کشاورزی و تغذیه در جهان در اثر این‌گونه تحقیقات است (محمدی و حیدری، ۱۳۹۳: ۷۲). تبعات منفی ناشی از پدیده تغییر اقلیم برای بشر می‌تواند تخریب‌کننده باشد. به‌گونه‌ای که در میان شانزده عامل تهدیدآمیز برای بشر در قرن بیست و یک مانند فقر، سلاح هسته‌ای، کمبود غذا، خشک‌سالی، سیلاب و پدیده تغییر اقلیم مقام اول را در جهان به خود اختصاص داده است. این امر اهمیت پرداختن به موضوع تغییر اقلیم، بررسی آثار آن و راهکارهای مقابله یا تطبیق با این پدیده‌ها یا تقلیل آن را در جوامع بیش‌از بیش کرده است. با توجه به

تحت سناریوهای RCP8.5 تغییر اقلیم برای حوضه رودخانه لنگات، مالزی اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که با ترکیب کاهش مقیاس بارندگی در آینده توسط SDMS، می‌توان چارچوبی از چشم‌انداز رویداد خشکسالی آینده ایجاد کند و این اطلاعات می‌تواند به مقامات دولتی در جنبه‌های مدیریت خشکسالی کمک کند. هوانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷)؛ تغییرات آب و هوای سرزمین خشک: پیشرفت‌ها و چالش‌های اخیر را بررسی کردند و به این یافته رسیدند که گسترش زمین‌های خشک منجر به کاهش جذب کربن و افزایش گرمایش منطقه می‌شود. فیسیسا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۸)؛ در تحقیقی به ریزمقیاس گردانی دما و بارندگی شدید در آدیس آبابا تحت تغییرات آب و هوا پرداختند، نتایج تحقیق نشان داد که حداکثر افزایش دما در بازه ۰/۹ سانتی‌گراد براساس سناریوی (RCP4.5) در سال ۲۰۲۰ تا ۲/۱ سانتی‌گراد براساس (CGCM3A2) در سال ۲۰۸۰ در رصدخانه آدیس آبابا خواهد بود. راتوره<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۹)؛ در تحقیقی به مدل‌سازی آسیب‌پذیری تکسیس والیچیانان نسبت به سناریوهای تغییرات آب و هوایی در آسیای جنوب شرقی را اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی انجام شده تغییرات اقلیمی تکسیس والیچیانان به میزان ۲۸ درصد سناریو RCP4.5 و ۳۱ درصد سناریو RCP8.5 آسیب‌پذیری گونه‌های در حال انقراض را در برابر تأثیرات تغییرات آب و هوایی و اختلالات در ساختار اکوسیستم کوهستانی نشان می‌دهد. ارلر<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۹)؛ ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رطوبت خاک و منابع آب زیرزمینی در منطقه تحت تأثیر دریاچه بررسی کردند نتایج تحقیق نشان داد که میزان تأثیرات تغییر آب و هوا بر آب‌های زیرزمینی به شدت توسط ویژگی‌های فیزیوگرافی محلی تعدیل می‌شود. لی<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۰)؛ برگشت‌ناپذیری تأثیرات تغییرات آب و هوایی در بایبی تحت حذف دی‌اکسید کربن را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات در دمای سطح دریا، pH و اکسیژن محلول تا حد زیادی قابل برگشت هستند. سلیمی و همکاران (۲۰۲۱)؛ در تحقیقی به عملکرد سینک دی‌اکسید کربن پیت لند به سناریوهای تغییرات آب و هوایی آینده و مدیریت سطح آب اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که مدیریت سطح آب، بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد سینک CO<sub>2</sub> تحت RCP 8.5 و RCP 4.5 داشت. بوکوفسکی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۱)؛ در پژوهشی به سناریوهای تغییر کاربری زمین مبتنی بر SSP: یک عدم قطعیت بحرانی در پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم منطقه‌ای آینده اقدام کردند و به این یافته رسیدند که گرم شدن هوا در محیط شهری افزایش یافته است. شهرنشینی آینده هم‌چنین تأثیر زیادی بر پیش‌بینی بارش در طول تابستان، افزایش شدت طوفان، طول رویداد و مقدار کلی در مناطق شهری و کاهش بارش در مناطق اطراف را دارد. بونمن<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۲۱)؛ تحقیقی با عنوان پیش‌بینی‌های مبتنی بر ویژگی اثرات تغییر آب و هوا بر توزیع‌های زیستی جهانی را اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که بیش از ۷۰ تا ۷۵ درصد از توزیع فعلی جنگل‌های پهن برگ و مخلوط معتدل و علفزارهای معتدل پیش‌بینی می‌شود به سمت شمال تغییر کند. کاسترو<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۲۲)؛ در پژوهشی به مدل‌سازی اثر

به این یافته رسیدند که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۴۵-۲۰۱۶ کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش تبخیر و تعرق واقعی محتمل است. میراکبری و همکاران (۱۳۹۷)؛ در تحقیقی به ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی اقدام نمودند که نتایج نشان داد میانگین بارندگی طبق سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۲۸/۶۲ و ۶۹ میلی‌متر خواهد بود. ایمانی‌پور و همکاران (۱۳۹۷)؛ به واکاوی تغییرات نیازهای درجه روز گرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم در استان خراسان جنوبی پرداختند و به این یافته رسیدند که در ماه‌های سرد سال (آذر، دی و بهمن) مناطق مرتفع (قاین، ارسک، فتح‌آباد، آراین شهر، درمیان) به دلیل نیاز به گرمایش بیشتر، میزان انرژی بالاتری را نیاز دارند. افزایش دما و گرم شدن هوا در دوره آینده، به ویژه در ماه‌های فروردین و مهر در بیش‌تر نقاط، نیازمند استفاده کم‌تر از وسایل گرمازا در آینده می‌باشد. زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۹)؛ به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس گردانی خروجی مدل HadCM3 اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که دوره‌های آینده حاکی از کاهش ۷/۷ در صدی بارش، افزایش ۳/۴ درجه سلسیوس دمای حداقل و ۳/۳ درجه سلسیوس دمای حداکثر به طور متوسط بلندمدت در سطح منطقه مطالعاتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹)؛ به ارزیابی شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی اقدام کردند و به این یافته رسیدند که به طور میانگین دمای متوسط در منطقه مطالعاتی، تحت سناریوهای خوشبینانه و حد واسط به ترتیب RCP2.6 و RCP4.5، افزایش ۱ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد را نشان داد. میرزایی و همکاران (۱۴۰۰)؛ در پژوهشی به تغییرات اقلیمی حوضه آبریز زاینده رود پرداختند و به این یافته رسیدند که شرایط حوضه آبریز به سمت گرم و بیابانی شدن پیش خواهد رفت و شدت این تغییرات در بالادست و پایین‌دست حوضه بیش‌تر مشهود است. اکبری و صیاد (۱۴۰۰)؛ در تحقیقی به تحلیل تغییر اقلیم در ایران اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که مهم‌ترین پیامد پدیده تغییر اقلیم در ایران افزایش فرین‌های جوی بوده که به‌طور کلی یا بازه زمانی- فضایی الگوهای آب‌وهوایی تغییر کرده است یا رخداد آن‌ها بیش‌تر یا کم‌تر از میانگین بوده است. عساکره و همکاران (۱۴۰۰)؛ به تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین اقدام نمودند و به یافته رسیدند که طی چهار دهه اخیر تأثیر عوامل بیرونی مؤثر بر بارندگی ایران موجب کاهش پهنه‌های بارشی شده‌اند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)؛ به بررسی چشم‌انداز تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش استان کردستان اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که در دوره (۲۰۱۶-۱۹۹۰) شاخص‌های فرین گرم دارای روندی مثبت و افزایشی هستند. وانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵)؛ به سیگنال تغییر آب و هوا و عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های مبتنی بر CMIP5 از ارتفاعات امواج سطحی اقیانوس‌های جهانی را پرداختند و به این یافته رسیدند که عدم قطعیت مدل آب و هوا (به عنوان مثال، تنوع بین مدل) تقریباً در سطح جهانی قابل توجه است. هوانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶)؛ به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از EDI و SPI

6. Erler

7. Li

8. Bukovsky

9. Boonman

10. Castro

1. Wang

2. Huang

3. Huang

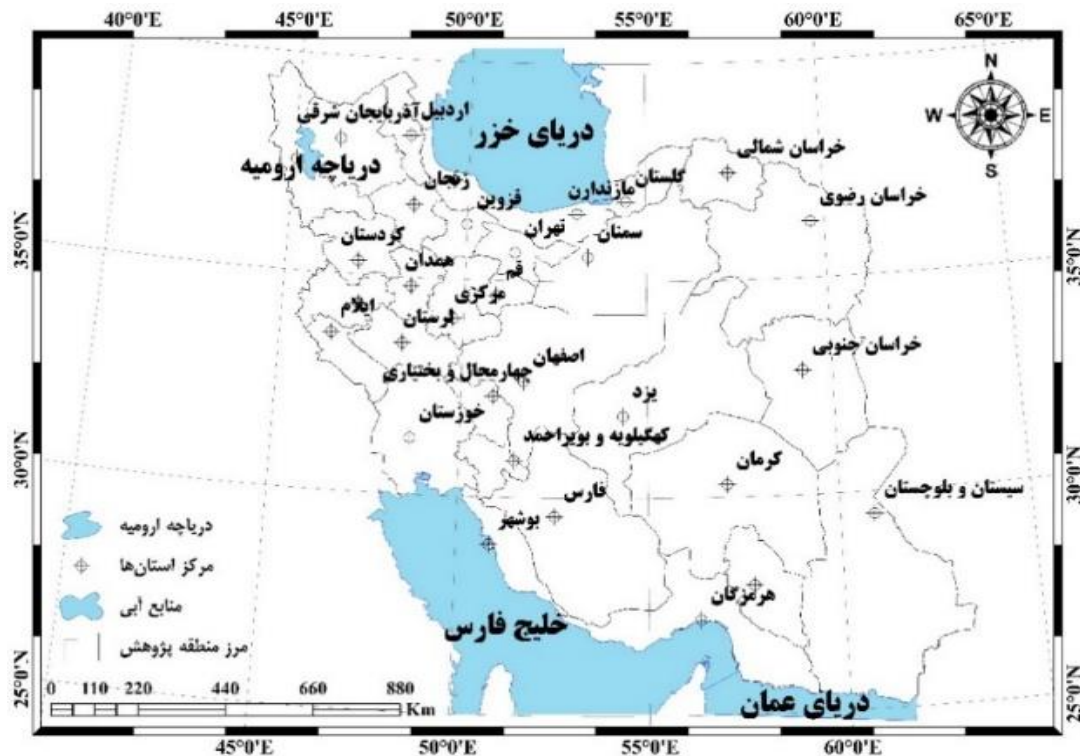
4. Feyissa

5. Rathore

## ۲- روش انجام تحقیق

پژوهش حاضر در چهارچوب موضوعی پژوهش و مطالعه برآورد و پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده ایران در مقیاس فضایی کشور، واقع در جنوب‌غربی آسیا و خاورمیانه با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی  $25^{\circ}$  تا  $40^{\circ}$  درجه عرض شمالی و  $44^{\circ}$  تا  $63^{\circ}$  درجه طول شرقی در بازه زمانی ۸۰ ساله (۲۰۲۱-۲۱۰۰) صورت عملیاتی به خود گرفت (شکل ۱). در چهارچوب موضوعی، جغرافیایی و زمانی مذکور به بررسی میزان عناصر اقلیمی موثر در تغییر اقلیم ( حداکثر دما، حداقل دما و بارش) با به کارگیری مدل معتبر CanESM2 کانادا براساس سناریوی‌های حد وسط (RCP. ۴/۵) و سناریوی بدبینانه (RCP. ۸/۵) با رویکرد نوآورانه در برآورد چشم‌انداز اقلیم آینده ایران با به کارگیری داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا)<sup>۳</sup> پرداخته شد، که در ادامه در (شکل ۲)، خلاصه مراحل تحقیق ارائه شد.

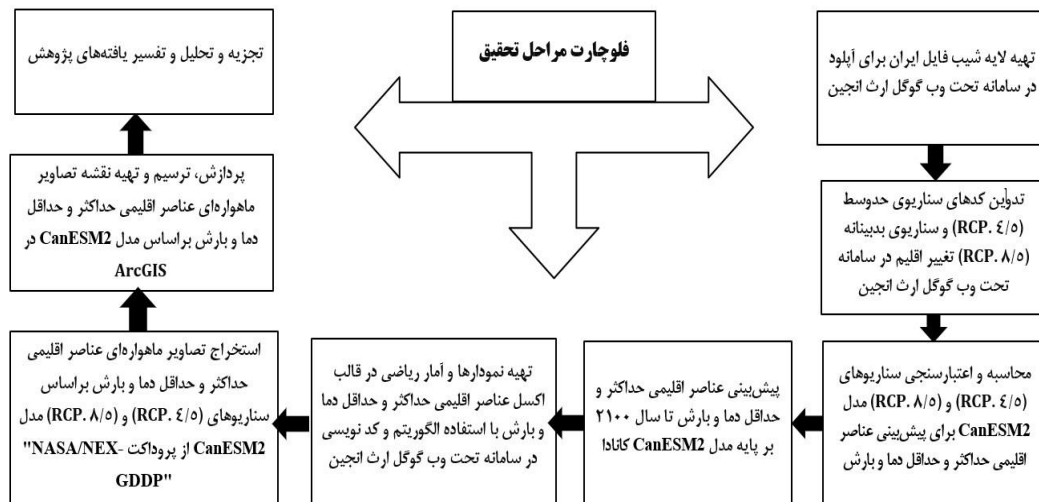
سناریوهای تغییر اقلیم بر کیفیت آب برای مخازن استوایی اقدام کردند و نتایج پیش‌بینی شده پژوهش نشان داد که در سناریوهای RCP افزایش تغییرات WQI<sup>۱</sup> را برای مقادیر دمای پایین‌تر نشان داد (بهترین پیش‌بینی  $WQI = 74$ ؛ بدترین پیش‌بینی  $WQI = 71$ ) می‌باشد. نازارنکو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲)؛ تغییرات آب و هوایی آینده تحت سناریوهای انتشار SSP با GISS-E2.1 بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پروژه هر دو مدل جفت شده در عملکرد جریان واژگونی اقیانوس اطلس تا سال ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد. با توجه به مطالعات انجام شده مذکور اکثر پژوهش‌ها در مقیاس خرد منطقه‌ای و با استفاده از داده‌های اقلیمی ثبت شده از اداره هواشناسی براساس نرم‌افزارهای ریزمقیاس‌گردانی SDSM، LARS WG و غیره انجام شده‌اند، که با توجه به کاربرد بودن نرم‌افزارها توسط انسان‌ها و وجود خطای انسانی در محاسبه آماری و ریاضی و روند طولانی آن، در تحقیق حاضر سعی بر آن شد که از روش جدید الگوریتم و کد نویسی و استفاده از داده‌های اقلیمی ثبت شده در سازمان ناسا با بهره‌گیری از یک مدل معتبر اقلیمی CanESM2 کانادا در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین برای پیش‌بینی عناصر اقلیمی استفاده شود. در پژوهش حاضر با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم با یک نگاه کلان منطقه‌ای و در برش فضایی از کشور ایران در جنوب غرب آسیا و با استفاده عملیاتی از داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) در بازه زمانی ۸۰ ساله در حد فاصل سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰؛ به برآورد و پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده ایران پرداخته شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

<sup>3</sup>. National Aeronautics and Space Administration (NASA)

<sup>1</sup>. Water Quality Index  
<sup>2</sup>. Nazarenko



شکل ۲- مراحل تحقیق

مدل جفت شده در حمایت از گزارش ارزیابی پنجم (AR5<sup>۶</sup>) هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC<sup>۷</sup>) توسعه داده شد. این مجموعه داده تو سط گروه تحلیل آب و هوا و مرکز تحقیقات ایمنز نا سا با استفاده از تبادل زمین ناسا تهیه شده و توسط مرکز شبیه‌سازی آب و هوای ناسا (NCCS<sup>۸</sup>) توزیع شده است. در پژوهش حاضر برای برآورد مقادیر آینده (عناصر اقلیمی حداکثر دما، حداقل دما و بارش) از داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (نا سا) با دقت تفکیک‌پذیری ۲۷۸۳۰ متری مطرح هست، هر سه پارامتر اقلیمی مذکور با مقیاس‌های متفاوت ارائه می‌شود، و مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی حداکثر دما (میانگین حداکثر دمای روزانه هوای نزدیک به سطح) به ترتیب ۱۸۸/۳۸ تا ۳۳۵/۱۳ با واحد کلوین؛ مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی حداقل دما (میانگین حداقل دمای روزانه هوای نزدیک به سطح) به ترتیب ۱۶۵/۳۱ تا ۳۱۸/۸۹ با واحد کلوین می‌باشد که در ادامه براساس الگوریتم و کدنویسی واحدهای اندازه‌گیری هر دو پارامتر اقلیمی بیشینه و کمینه دما از واحد کلوین به واحد اندازه‌گیری سانتی‌گراد تغییر پیدا کرد و با واحد سانتی‌گراد مورد تحلیل قرار گرفت. و مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی بارش (میانگین روزانه بارندگی در سطح؛ شامل فازهای مایع و جامد از انواع ابرها (هم در مقیاس بزرگ و هم همرفتی)) به ترتیب ۰ تا ۰/۴۲ با واحد kg/m<sup>۲</sup>/s؛ داده‌های اقلیمی مذکور به شکل آماری و تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۱۵۱ ساله (۲۱۰۰-۱۹۵۰) در دسترس است، که از سال ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۲۰ به‌عنوان داده‌های پایه استفاده شد، و از سال ۲۰۲۱ تا سال ۲۱۰۰ در دو دوره؛ دوره اول ۴۰ ساله (۲۰۶۰-۲۰۲۱)، دوره دوم ۴۰ ساله (۲۱۰۰-۲۰۶۱) به‌عنوان سال‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده برای منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

### ۳- نتایج

با توجه به مطالعاتی که تو سط نویسندگان پژوهش حاضر در رابطه به پیش‌بینی اقلیم ایران برای آشکارسازی و پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده ایران تا زمان انجام تحقیق حاضر صورت گرفت اکثر پژوهش‌های صورت گرفته بر اساس نرم‌افزارهای ریزمقیاس گردانی مانند SDSM، LARS WG و Magicc Scengen انجام شده بودند، با در نظر گرفتن کارکرد نرم‌افزارهای فوق که مدل‌های تغییر اقلیم را در خود اجرا می‌کنند به دلیل زمان بر بودن و احتمال زیاد خطای انسانی در مراحل طولانی آماری - ریاضی و گاهان خطای خود نرم‌افزارهای ریزمقیاس گردانی‌های مذکور وجود داشت، برای رفع این معایب و با رویکرد نوآورانه از داده‌های به‌روز مدل‌های معتبر تغییر اقلیم سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (نا سا) در سامانه متن باز تحت وب استفاده شد. این پایگاه داده سیزده مدل تغییر اقلیمی را پشتیبانی می‌کند که از بین آن‌ها در پژوهش حاضر از مدل معتبر CanESM2 کانادا براساس سناریوهای حد وسط (RCP. ۴/۵) و سناریوی بدینانه (RCP. ۸/۵) با الگوریتم و کدنویسی در پایگاه داده ناسا عناصر اقلیمی تاثیرگذار در تغییر اقلیم (حداکثر دما، حداقل دما و بارش) در بازه زمانی ۸۰ ساله (۲۱۰۰-۲۰۲۱) محاسبه و برآورد شد. بعد از محاسبه و گرفتن خروجی مقادیر آماری عناصر اقلیمی حداکثر دما، حداقل دما و بارش براساس مدل و سناریوهای مذکور تصاویر ماهواره‌ای هر کدام از سناریوهای (RCP. ۴/۵ و RCP. ۸/۵) به صورت جداگانه در سال‌های پیش‌بینی با کدنویسی از پروداکت -NASA/NEX-GDDP" دریافت و تحلیل و بررسی شدند. مجموعه داده ناسا NEX-GDDP از سناریوهای آب و هوایی کوچک شده برای کره زمین تشکیل شده است که از مدل گردش عمومی (GCM<sup>۱</sup>) اجرا می‌شود که تحت فاز پنجم پروژه مقایسه مدل جفت شده (CMIP5<sup>۲</sup>) انجام شده است (تیلور<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲)، و در دو مورد از چهار سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای که به عنوان مسیرهای تمرکز یا غلظت نماینده (RCPs<sup>۴</sup>) شناخته می‌شوند (ماینشاوزن<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). کاربردهای مدل‌های گردش عمومی فاز پنجم پروژه مقایسه

5. Meinshausen

6. Assessment Report 5

7. Intergovernmental Panel on Climate Change

8. NASA Center for Climate Simulation

1. General Circulation Model

2. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

3. Taylor

4. Representative Concentration Pathways

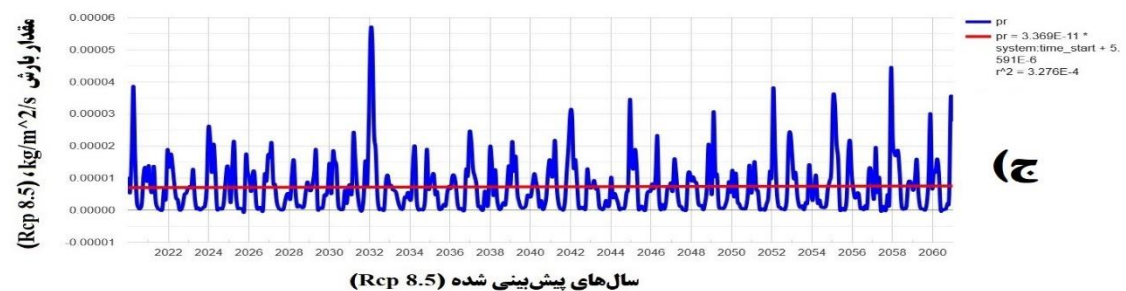
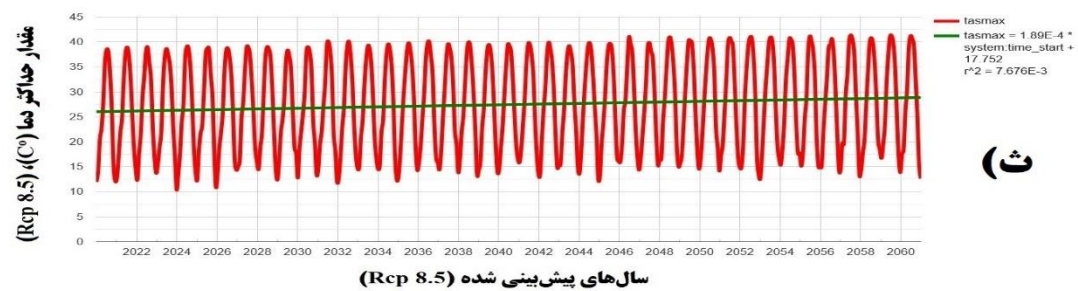
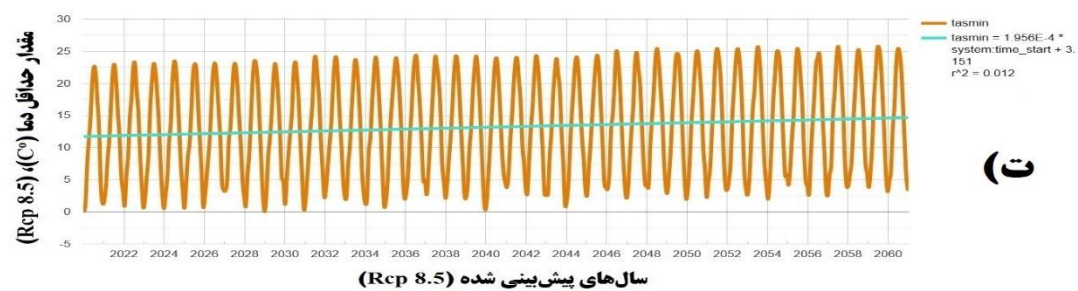
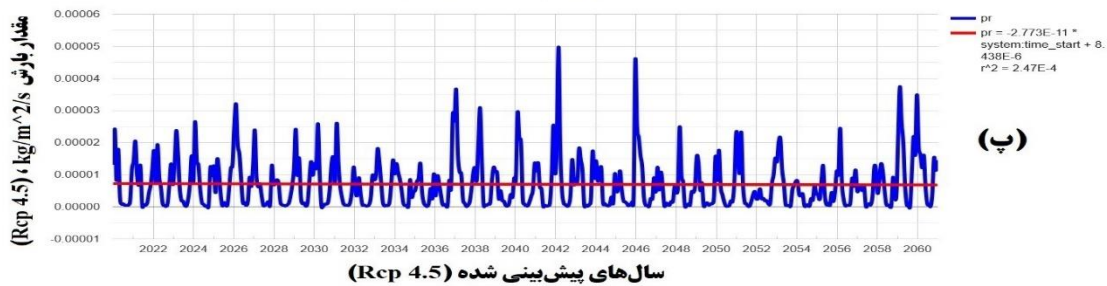
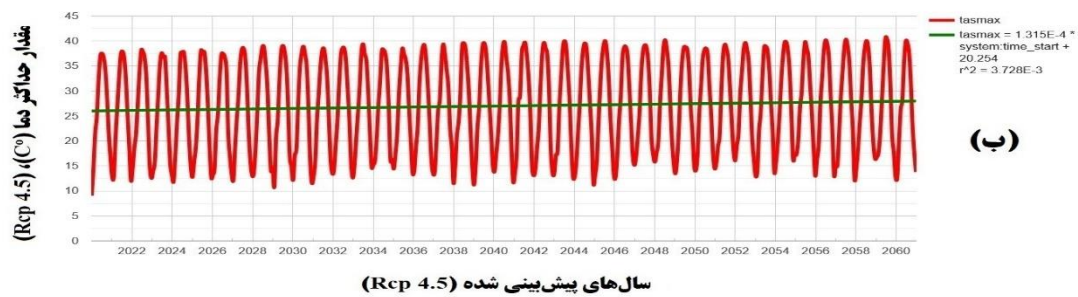
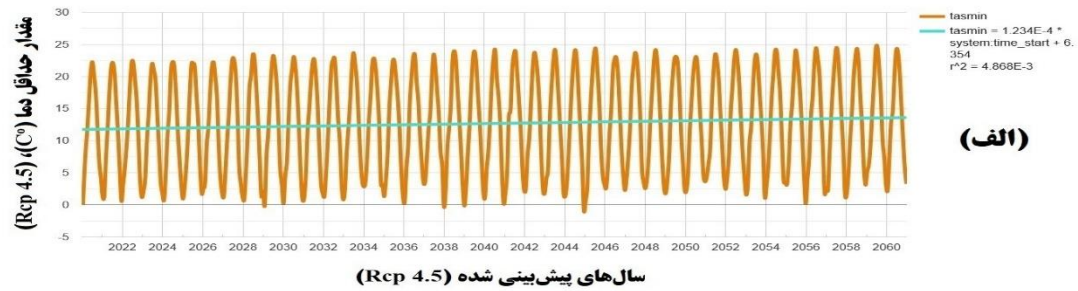
عبارتی سال های پر بارش با مقادیر (۰/۰۰۰۰۳ - ۰/۰۰۰۰۵) در سال های  $kg/m^2/s$  (۲۰۳۸، ۲۰۳۷، ۲۰۲۶) شده (شکل پ - ۳؛ شکل پ ۲۰۴۰، ۲۰۴۶، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) به دست آمد (شکل پ - ۴؛ شکل پ ۸/۵). براساس یافته به دست آمده از خروجی سناریوی بدینانه RCP. در دوره ۴۰ ساله اول؛ کمینه مقدار پیش بینی حداقل دما با مقدار ۰/۰۸- درجه سانتی گراد در روز سی دسامبر سال ۲۰۲۸ پیش بینی شد، این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار حدودی ۰/۰۸- تا ۱ درجه سانتی گراد برای فصول سرد، سال های (۲۰۲۲، ۲۰۲۳، ۲۰۲۴، ۲۰۲۵، ۲۰۲۶، ۲۰۲۹، ۲۰۳۱، ۲۰۳۵، ۲۰۴۰، و ۲۰۴۴) پیش بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری بالاتر از ۱ درجه سانتی گراد به دست آمدند. با توجه به این که بیشینه مقدار پیش بینی حداقل دما با مقدار ۲۵/۷۶ درجه سانتی گراد در هفتم جولای سال ۲۰۵۷ به دست آمده است، و بیشینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار تقریبی ۲۵ - ۲۵/۷۶ درجه سانتی گراد برای فصول گرم، سال های (۲۰۴۸، ۲۰۴۷، ۲۰۴۶، ۲۰۴۹، ۲۰۵۰، ۲۰۵۱، ۲۰۵۲، ۲۰۵۳، ۲۰۵۴، ۲۰۵۵، ۲۰۵۶، ۲۰۵۸، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) پیش بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری پایین تر از ۲۵ درجه سانتی گراد به دست آمدند (شکل ت - ۳؛ شکل ت - ۴). در صورتی که براساس سناریوی بدینانه RCP. ۸/۵ در دوره ۴۰ ساله اول؛ کمترین مقدار پیش بینی حداکثر دما با مقدار ۱۰/۳۹ درجه سانتی گراد در روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۲۳ به دست آمد و این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار حدود ۱۰/۳۹ تا ۱۲ درجه سانتی گراد برای فصول سرد، سال های (۲۰۲۵، ۲۰۳۲، ۲۰۳۵، ۲۰۴۵، ۲۰۴۸، ۲۰۴۹، ۲۰۵۰، ۲۰۵۱، ۲۰۵۲، ۲۰۵۳، ۲۰۵۴، ۲۰۵۵، ۲۰۵۶، ۲۰۵۸، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) پیش بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم، سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری بالاتر از ۱۲ درجه سانتی گراد به دست آمدند. بیشترین مقدار پیش بینی حداکثر دما با مقدار ۴۱/۳۸ درجه سانتی گراد در روز هفتم جولای سال ۲۰۵۷ حاصل شد، این در حالی است که بیشینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار تقریبی ۴۱/۳۸ - ۴۰ درجه سانتی گراد برای فصول گرم، برای سال های (۲۰۳۱، ۲۰۳۲، ۲۰۳۵، ۲۰۳۶، ۲۰۳۸، ۲۰۴۰، ۲۰۴۱، ۲۰۴۲، ۲۰۴۴، ۲۰۴۶، ۲۰۴۷، ۲۰۴۸، ۲۰۴۹، ۲۰۵۰، ۲۰۵۱، ۲۰۵۲، ۲۰۵۳، ۲۰۵۴، ۲۰۵۵، ۲۰۵۶، ۲۰۵۸، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) پیش بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری پایین تر از ۴۰ درجه سانتی گراد به دست آمدند (شکل ث - ۳؛ شکل ث - ۴). مقدار بیشینه بارش پیش بینی شده دوره ۴۰ ساله اول براساس سناریوی بدینانه ۸/۵ RCP. با مقدار  $kg/m^2/s$  ۰/۰۰۰۰۶؛ در فصول بارشی سال ۲۰۳۲ به دست آمد. این در حالی می باشد که شدت نوسان کمینه بارشی پیش بینی شده با مقادیر (۰ - ۰/۰۰۰۰۲)  $kg/m^2/s$  در سال های (۲۰۲۲، ۲۰۲۳، ۲۰۲۴، ۲۰۲۶، ۲۰۲۸، ۲۰۲۹، ۲۰۳۰، ۲۰۳۵، ۲۰۳۶، ۲۰۳۸، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱، ۲۰۴۳، ۲۰۴۴، ۲۰۴۷، ۲۰۴۸، ۲۰۵۰، ۲۰۵۱، ۲۰۵۴ و ۲۰۵۸) نشان داده شد. این در حالی است که شدت بارش در فصول بارشی پیش بینی شده برای سال های (۲۰۲۱، ۲۰۲۴، ۲۰۲۵، ۲۰۲۷، ۲۰۳۱، ۲۰۳۴، ۲۰۳۷، ۲۰۳۸، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱، ۲۰۴۶، ۲۰۵۳، ۲۰۵۶ و ۲۰۵۷) با شدت نوسان متوسط افزایش بارشی با مقادیر (۰/۰۰۰۰۳ - ۰/۰۰۰۰۲)  $kg/m^2/s$  به دست آمد، در نهایت شدت نوسان بیشینه بارشی پیش بینی شده با مقادیر (۰/۰۰۰۰۳ - ۰/۰۰۰۰۲)  $kg/m^2/s$  در سال های (۲۰۳۳، ۲۰۴۲،

در پژوهش حاضر، استفاده کاربردی از داده های آماری - ریاضی و تصاویر ماهواره ای سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (نا سا) در آشکار سازی، برآورد و پیش بینی تغییر اقلیم در مقیاس فضایی و آماری کشور ایران و بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۱۰۰) صورت عملیاتی به خود گرفت؛ با بازنمایی نموداری و گرافیک از نتایج بررسی ها و تجزیه و تحلیل های مذکور، همراه بود. در ادامه به بیان فشرده ای از یافته های پژوهش و ارایه خروجی های به دست آمده از بررسی ها و تجزیه و تحلیل های به عمل آمده پرداخته شد. براساس نتایج به دست آمده از خروجی سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ در دوره ۴۰ ساله اول؛ کمینه مقدار پیش بینی حداقل دما با مقدار ۰/۸۶- درجه سانتی گراد در روز چهاردهم دسامبر سال ۲۰۴۴ پیش بینی شد، این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار حدود ۰/۸۶- تا ۱ درجه سانتی گراد برای فصول سرد سال های (۲۰۲۹، ۲۰۳۰، ۲۰۳۶، ۲۰۳۸، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱ و ۲۰۵۶) پیش بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری بالاتر از ۱ درجه سانتی گراد به دست آمدند. با توجه به این که بیشینه مقدار پیش بینی حداقل دما با مقدار ۲۵/۱۵ درجه سانتی گراد در بیست و یکم جولای سال ۲۰۵۹ به دست آمده است، و بیشینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار تقریبی ۲۵/۱۵ - ۲۴/۵ درجه سانتی گراد برای فصول گرم سال های (۲۰۴۰، ۲۰۴۳، ۲۰۴۵، ۲۰۴۸، ۲۰۵۶، ۲۰۵۷ و ۲۰۵۹) پیش بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری پایین تر از ۲۴/۵ درجه سانتی گراد به دست آمدند (شکل الف - ۳؛ شکل الف - ۴). در صورتی که براساس سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ در دوره ۴۰ ساله اول؛ کمترین مقدار پیش بینی حداکثر دما با مقدار ۹/۱۰ درجه سانتی گراد در روز یکم ژانویه سال ۲۰۲۱ و این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار حدود ۹/۱۰ تا ۱۱ درجه سانتی گراد برای فصول سرد سال های (۲۰۲۹، ۲۰۳۰، ۲۰۳۸، ۲۰۳۹ و ۲۰۴۴) پیش بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری بالاتر از ۱۱ درجه سانتی گراد به دست آمدند. بیشترین مقدار پیش بینی حداکثر دما با مقدار ۴۰/۴۵ درجه سانتی گراد در روز بیستم ژوئن سال ۲۰۵۹ حاصل شد، این در حالی است که بیشینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار تقریبی ۴۰/۴۵ - ۴۰ درجه سانتی گراد برای فصول گرم، برای سال های (۲۰۴۳، ۲۰۴۵، ۲۰۴۸، ۲۰۵۲، ۲۰۵۴، ۲۰۵۶، ۲۰۵۷، ۲۰۵۸، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) پیش بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال های دیگر (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مقادیری پایین تر از ۴۰ درجه سانتی گراد به دست آمدند (شکل ب - ۳؛ شکل ب - ۴). مقدار بیشینه بارش پیش بینی شده دوره ۴۰ ساله اول براساس سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ با مقدار  $kg/m^2/s$  ۰/۰۰۰۰۵؛ در فصول بارشی سال ۲۰۴۲ به دست آمد. این در حالی می باشد که شدت نوسان کمینه بارشی پیش بینی شده با مقادیر (۰ - ۰/۰۰۰۰۲)  $kg/m^2/s$  در سال های (۲۰۲۲، ۲۰۲۵، ۲۰۲۸، ۲۰۳۲، ۲۰۳۳، ۲۰۳۴، ۲۰۳۵، ۲۰۳۶، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱، ۲۰۴۳، ۲۰۴۴، ۲۰۴۵، ۲۰۴۸، ۲۰۴۹، ۲۰۵۰، ۲۰۵۱، ۲۰۵۴، ۲۰۵۵، ۲۰۵۷ و ۲۰۵۸) نشان داده شد. این در حالی است که شدت بارش در فصول بارشی پیش بینی شده برای سال های (۲۰۲۱، ۲۰۲۳، ۲۰۲۴، ۲۰۲۷، ۲۰۲۹، ۲۰۳۰، ۲۰۳۱، ۲۰۳۸، ۲۰۴۸ و ۲۰۵۳) با شدت نوسان متوسط افزایش بارشی با مقادیر (۰/۰۰۰۰۳ - ۰/۰۰۰۰۲)  $kg/m^2/s$  به دست آمد، در نهایت شدت نوسان بیشینه بارشی پیش بینی شده یا به

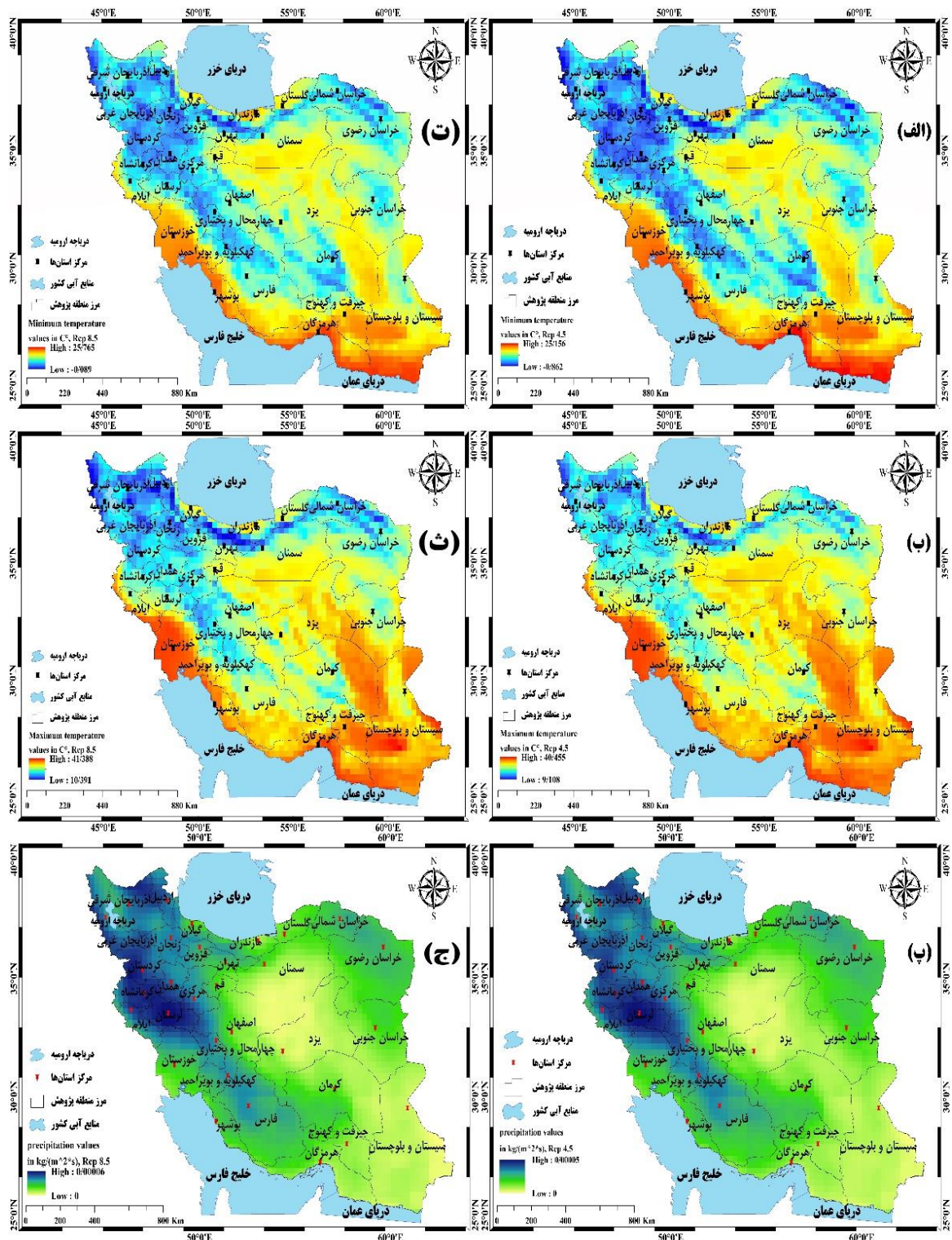


۲۰۴۵، ۲۰۴۹، ۲۰۵۲، ۲۰۵۵، ۲۰۵۸، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) به دست آمد

(شکل ج - ۳؛ شکل ج - ۴).



شکل ۳- نمودارهای پیش‌بینی عناصر اقلیمی حداقل دما، حداکثر دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط RCP. ۴/۵ و بدبینانه RCP. ۸/۵ در دوره ۴۰ ساله اول براساس مدل CanESM2



شکل ۴- نقشه‌های تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی عناصر اقلیمی حداقل دما، حداکثر دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط RCP. ۴/۵ و بدینانه ۸/۵ RCP. در دوره ۴۰ ساله اول براساس مدل CanESM2.

فصول سرد و گرم سال‌های دیگر (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مقادیری بالاتر از ۲ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند. در صورتی که بیشینه مقدار حداقل دما براساس سناریوی مذکور ۲۵/۷۷ برای روز نوزدهم جولای سال ۲۰۹۵ به دست آمد و بیشینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار تقریبی ۲۵/۷۷ - ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای فصول گرم سال‌های (۲۰۶۷، ۲۰۸۱، ۲۰۸۴، ۲۰۸۹، ۲۰۹۴، ۲۰۹۸ و ۲۰۹۹) پیش‌بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال‌های دیگر

براساس خروجی پیش‌بینی پارامتر اقلیمی حداقل دما سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ برای دوره ۴۰ ساله دوم در بازه زمانی (۲۱۰۰-۲۰۶۱) کمینه مقدار حداقل دما با مقدار ۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد برای روز چهارم فوریه سال ۲۰۶۱ پیش‌بینی شد. این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار حدود ۱/۸۳ تا ۲ درجه سانتی‌گراد برای فصول سرد سال‌های (۲۰۶۲، ۲۰۶۸، ۲۰۷۴، ۲۰۸۵، ۲۰۹۱، ۲۰۹۲ و ۲۰۹۷) پیش‌بینی شدند و برای بقیه



۴/۵ RCP. با مقدار  $0.0006 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ؛ در فصول بارشی سال ۲۰۸۰ به دست آمد. این درحالی می‌باشد که شدت نوسان کمینه بارشی پیش‌بینی شده با مقادیر  $(0.0002 - 0)$   $\text{kg/m}^2/\text{s}$  در سال‌های پیش‌بینی شده  $(2061, 2062, 2063, 2065, 2066, 2068, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2079, 2082, 2083, 2084, 2086, 2087, 2090, 2091, 2092, 2096, 2097)$  و  $(2100)$  نشان داده شده، در صورتی که شدت بارش در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه  $(2100 - 2061)$  پیش‌بینی شده در سال‌های  $(2064, 2067, 2076, 2078, 2085, 2093, 2094, 2095, 2098, 2099)$  با شدت نوسان متوسط افزایش بارشی با مقادیر  $(0.0003 - 0.0002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  پیش‌بینی شدند، در نهایت شدت نوسان بیشینه بارشی پیش‌بینی شده یا به عبارتی سال‌های پر بارش با مقادیر  $(0.0006 - 0.0003)$   $\text{kg/m}^2/\text{s}$  در سال‌های پیش‌بینی شده  $(2069, 2077, 2081, 2088, 2089)$  به دست آمد (شکل پ - ۵؛ شکل پ - ۶). با در نظر گرفتن شدت نوسان بارشی براساس سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ برای ۴۰ ساله دوره دوم سال‌های  $(2100 - 2061)$  مورد مطالعه در مقایسه با ۴۰ ساله دوره اول  $(2060 - 2021)$ ؛ شدت نوسان بارشی کمینه پیش‌بینی شده در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه  $(2100 - 2061)$  در دوره ۴۰ ساله دوم با مقادیر  $(0.0002 - 0) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده  $(2022, 2025, 2028, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2039, 2041, 2043, 2044, 2045, 2047, 2049)$  و  $(2050, 2052, 2054, 2055, 2057, 2058)$  به دست آمد و بیان‌گر این نکته بود که تعداد فراوانی سال‌های فصول بارشی کمینه در دوره ۴۰ ساله دوم  $(2100 - 2061)$  بیش‌تر از دوره ۴۰ ساله اول بود. شدت نوسان بارشی متوسط پیش‌بینی شده در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه  $(2100 - 2061)$  در دوره ۴۰ ساله دوم با مقادیر  $(0.0003 - 0.0002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده  $(2064, 2067, 2076, 2078, 2085, 2093, 2094, 2095, 2098, 2099)$  با مقایسه مقادیر متوسط بارشی ۴۰ ساله دوره اول  $(2060 - 2021)$  با مقادیر  $(0.0003 - 0.0002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده  $(2021, 2023, 2024, 2026, 2029, 2030, 2031, 2034, 2035, 2036, 2039, 2041, 2043, 2044, 2045, 2047, 2049)$  و  $(2050, 2052, 2054, 2055, 2057, 2058)$  به دست آمد و بیان‌گر این نکته بود که تعداد فراوانی سال‌های فصول بارشی کمینه در دوره ۴۰ ساله دوم  $(2100 - 2061)$  کم‌تر از دوره ۴۰ ساله اول بود. شدت نوسان پربارشی

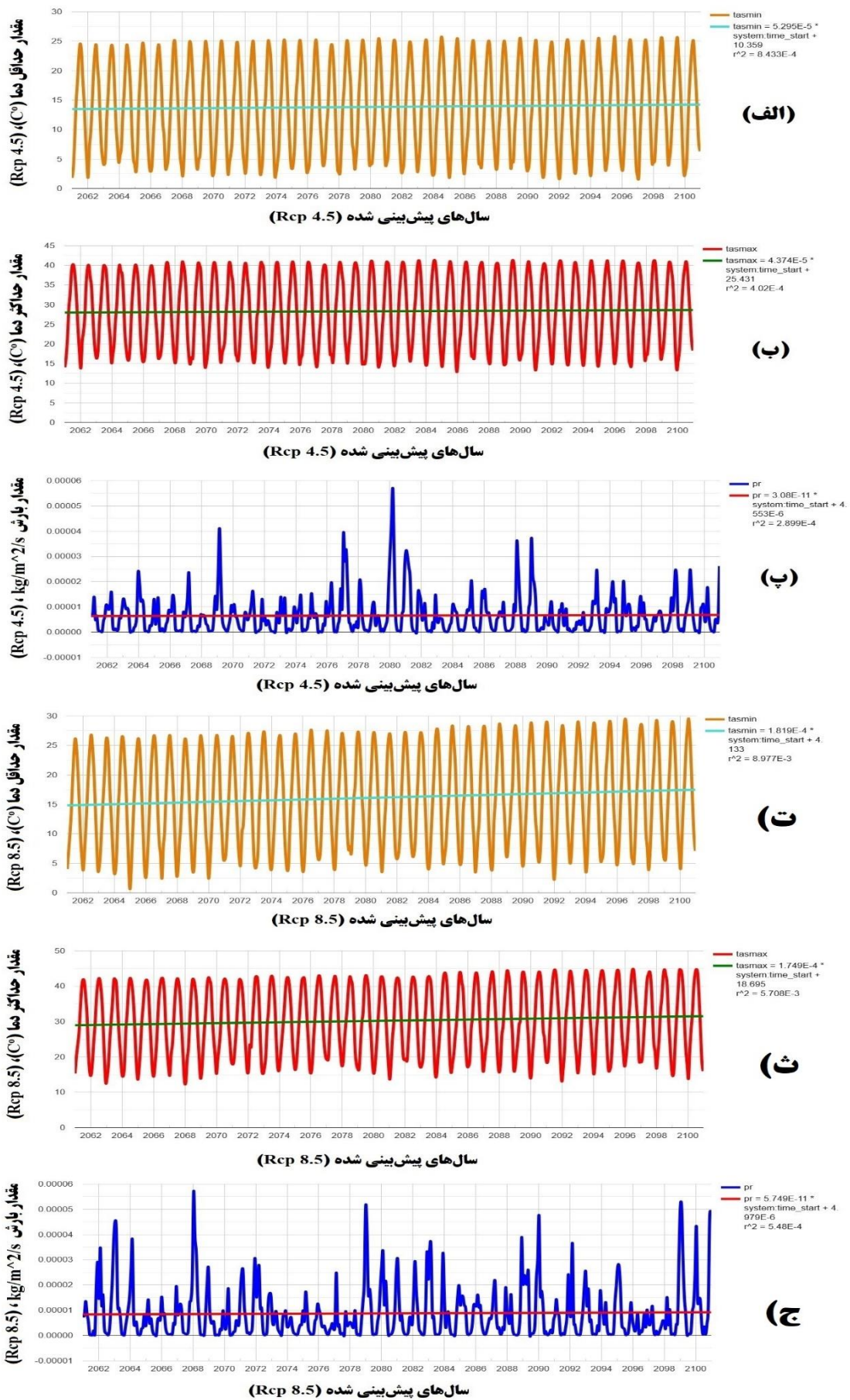
$(2100 - 2061)$  مقادیری پایین‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند (شکل الف - ۵؛ شکل الف - ۶). باتوجه به خروجی پارامتر اقلیمی حداکثر دما برپایه سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ مدل CanESM2 کا نادا، کمینه حداکثر دما با مقدار  $12/47$  درجه سانتی‌گراد در روز پانزدهم سال ۲۰۸۵ برای دوره ۴۰ ساله دوم پیش‌بینی شدند. این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار حدود  $12/47$  تا  $14$  درجه سانتی‌گراد برای فصول سرد سال‌های  $(2062, 2070, 2073, 2076, 2081, 2086, 2090, 2096, 2099)$  پیش‌بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم سال‌های دیگر  $(2100 - 2061)$  مقادیری بالاتر از  $14$  درجه سانتی‌گراد به دست آمدند. این درحالی است که بیشینه حداکثر دما برای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار  $41/36$  درجه سانتی‌گراد برای روز نهم سال ۲۰۸۹ به دست آمد، و بیشینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار تقریبی  $41/36 - 40$  درجه سانتی‌گراد برای فصول گرم سال‌های  $(2068, 2071, 2080, 2083, 2084, 2089, 2092, 2094, 2095, 2096, 2098, 2099)$  و  $(2100)$  پیش‌بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال‌های دیگر  $(2100 - 2061)$  مقادیری پایین‌تر از  $40$  درجه سانتی‌گراد به دست آمدند (شکل ب - ۵؛ شکل ب - ۶). مقادیر کمینه و بیشینه به دست آمده حداقل دما براساس سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ برای ۴۰ ساله دوره دوم سال‌های  $(2100 - 2061)$  مورد مطالعه در مقایسه با ۴۰ ساله دوره اول  $(2060 - 2021)$ ؛ کمینه حداقل دمای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار  $1/83$  درجه سانتی‌گراد به نسبت کمینه حداقل دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار  $0/86 -$  درجه سانتی‌گراد حدود  $2/69$  درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش حداقل دما پیش‌بینی شده است. در صورتی که بیشینه حداقل دما برای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار  $1/77$  درجه سانتی‌گراد در مقایسه با بیشینه دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار  $25/15$  درجه سانتی‌گراد با حدود  $0/62$  درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش حداقل دما پیش‌بینی شده است. با در نظر گرفتن خروجی مقادیر کمینه و بیشینه به دست آمده حداکثر دما براساس سناریوی حد وسط RCP. ۴/۵ برای ۴۰ ساله دوره دوم سال‌های  $(2100 - 2061)$  مورد پژوهش در مقایسه با ۴۰ ساله دوره اول  $(2060 - 2021)$ ؛ کمینه حداکثر دمای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار  $12/47$  درجه سانتی‌گراد به نسبت کمینه حداکثر دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار  $9/10$  درجه سانتی‌گراد حدود  $3/37$  درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش حداکثر دما پیش‌بینی شده است. در صورتی که بیشینه حداکثر دما برای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار  $41/36$  درجه سانتی‌گراد در مقایسه با بیشینه دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار  $40/45$  درجه سانتی‌گراد با حدود  $0/91$  درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش حداکثر دما پیش‌بینی شد. باتوجه به خروجی مقدار بیشینه بارش پیش‌بینی شده دوره ۴۰ ساله دوم  $(2100 - 2061)$  برپایه سناریوی حد وسط

فصول گرم، سال‌های دیگر (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مقادیری پایین‌تر از ۴۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند (شکل ت - ۵؛ شکل ت - ۶). مقادیر کمینه و بیشینه به دست آمده حداقل دما براساس سناریوی بدینانه RCP. ۸/۵ برای ۴۰ ساله دوره دوم سال‌های (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مورد مطالعه در مقایسه با ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱)؛ کمینه حداقل دمای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار ۰/۶۲ درجه سانتی‌گراد به نسبت کمینه حداقل دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار ۰/۰۸- درجه سانتی‌گراد حدود ۰/۵۴ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش کمینه حداقل دما پیش‌بینی شده است. در صورتی که بیشینه حداقل دما برای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار ۲۹/۰۸ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با بیشینه دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار ۲۵/۷۶ درجه سانتی‌گراد با حدود ۳/۳۲ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش بیشینه حداقل دما پیش‌بینی شده است. با در نظر گرفتن خروجی مقادیر کمینه و بیشینه به دست آمده حداکثر دما براساس سناریوی بدینانه RCP. ۸/۵ برای ۴۰ ساله دوره دوم سال‌های (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مورد پژوهش در مقایسه با ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱)؛ کمینه حداکثر دمای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار ۱۲/۸۶ درجه سانتی‌گراد به نسبت کمینه حداکثر دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار ۱۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد حدود ۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش کمینه حداکثر دما پیش‌بینی شده است. در صورتی که بیشینه حداکثر دما برای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار ۴۴/۸۴ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با بیشینه دمای دوره ۴۰ ساله اول با مقدار ۴۱/۳۸ درجه سانتی‌گراد با حدود ۳/۴۶ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۴۰ سال دوره اول افزایش بیشینه حداکثر دما پیش‌بینی شد. باتوجه به نتایج مقدار بیشینه بارش پیش‌بینی شده دوره ۴۰ ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) برپایه سناریوی بدینانه RCP. ۸/۵ با مقدار  $0.0006 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ؛ در فصول بارشی سال ۲۰۶۸ به دست آمد. این در حالی می‌باشد که شدت نوسان کمینه بارشی پیش‌بینی شده با مقادیر  $(0.0002 - 0.0002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  در سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۱، ۲۰۶۵، ۲۰۶۶، ۲۰۶۷، ۲۰۷۰، ۲۰۷۳، ۲۰۷۴، ۲۰۷۵، ۲۰۷۶، ۲۰۷۸، ۲۰۸۶، ۲۰۸۸، ۲۰۹۱، ۲۰۹۴، ۲۰۹۶، ۲۰۹۷ و ۲۰۹۸) نشان داده شد، در صورتی که شدت بارش در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه (۲۱۰۰-۲۰۶۱) پیش‌بینی شده در سال‌های (۲۰۶۹، ۲۰۷۱، ۲۰۷۲، ۲۰۷۷، ۲۰۸۲، ۲۰۸۵، ۲۰۸۷، ۲۰۸۹، ۲۰۹۳ و ۲۰۹۵) با شدت نوسان متوسط افزایش بارشی با مقادیر  $(0.0003 - 0.0002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  پیش‌بینی شدند، در نهایت شدت نوسان بیشینه بارشی پیش‌بینی شده یا به عبارتی سال‌های پر بارش با مقادیر  $(0.0006 - 0.0003) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  در سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۲، ۲۰۶۳، ۲۰۶۴، ۲۰۶۷، ۲۰۷۰، ۲۰۷۱، ۲۰۷۲، ۲۰۷۳، ۲۰۷۴، ۲۰۷۵، ۲۰۷۶، ۲۰۷۸، ۲۰۸۱، ۲۰۸۳، ۲۰۸۴، ۲۰۹۰، ۲۰۹۲، ۲۰۹۹ و ۲۱۰۰) به دست آمد (شکل ج - ۵؛ شکل ج - ۶). با در نظر گرفتن نتایج مقادیر شدت

پیش‌بینی شده در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه (۲۱۰۰-۲۰۶۱) در دوره ۴۰ ساله دوم با مقادیر  $(0.0006 - 0.0003) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۹، ۲۰۷۷، ۲۰۸۱، ۲۰۸۸ و ۲۰۸۹) با مقایسه مقادیر متوسط بارشی ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱) با مقادیر  $(0.0006 - 0.0003) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۲۶، ۲۰۳۷، ۲۰۳۸، ۲۰۴۰، ۲۰۴۶، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) به دست آمد و بیان‌گر این نکته بود که تعداد فراوانی سال‌های فصول پر بارشی در دوره ۴۰ ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) کمتر از دوره ۴۰ ساله اول بود. براساس یافته‌های پیش‌بینی پارامتر اقلیمی حداقل دما سناریوی بدینانه RCP. ۸/۵ برای دوره ۴۰ ساله دوم در بازه زمانی (۲۱۰۰-۲۰۶۱) کمینه مقدار حداقل دما با مقدار ۰/۶۲ درجه سانتی‌گراد برای روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۶۴ پیش‌بینی شد. این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار حدود ۰/۶۲ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد برای فصول سرد، سال‌های (۲۰۶۶، ۲۰۶۷، ۲۰۶۸، ۲۰۷۰، ۲۰۹۲) پیش‌بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم، سال‌های دیگر (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مقادیری بالاتر از ۲/۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند. در صورتی که بیشینه مقدار حداقل دما براساس سناریوی مذکور ۲۹/۰۸ درجه سانتی‌گراد برای روز بیست و دوم جولای سال ۲۱۰۰ به دست آمد و بیشینه شدت نوسان مقدار حداقل دما با مقدار تقریبی ۲۹/۰۸ - ۲۸ درجه سانتی‌گراد برای فصول گرم، سال‌های (۲۰۷۶، ۲۰۷۷، ۲۰۸۴، ۲۰۸۵، ۲۰۸۶، ۲۰۸۷، ۲۰۸۸، ۲۰۸۹، ۲۰۹۰، ۲۰۹۱، ۲۰۹۳، ۲۰۹۴، ۲۰۹۵، ۲۰۹۶، ۲۰۹۷، ۲۰۹۸ و ۲۰۹۹) پیش‌بینی شدند و برای مابقی فصول گرم سال‌های دیگر (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مقادیری پایین‌تر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند (شکل ت - ۵؛ شکل ت - ۶). باتوجه به نتایج پارامتر اقلیمی حداکثر دما برپایه سناریوی بدینانه RCP. ۸/۵ مدل CanESM2 کانادا، کمینه حداکثر دما با مقدار ۱۲/۸۶ درجه سانتی‌گراد در روز پانزدهم سال ۲۰۶۲ برای دوره ۴۰ ساله دوم پیش‌بینی شدند. این در حالی است که کمینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار حدودی ۱۲/۸۶ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد برای فصول سرد، سال‌های (۲۰۶۴، ۲۰۶۸، ۲۰۶۹، ۲۰۸۱، ۲۰۸۳، ۲۰۹۰، ۲۰۹۲، ۲۰۹۹ و ۲۱۰۰) پیش‌بینی شدند و برای بقیه فصول سرد و گرم سال‌های دیگر (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مقادیر بالاتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند. این در حالی است که بیشینه حداکثر دما برای دوره ۴۰ ساله دوم با مقدار ۴۴/۸۴ درجه سانتی‌گراد برای روز بیست و دوم سال ۲۱۰۰ به دست آمد، و بیشینه شدت نوسان مقدار حداکثر دما با مقدار تقریبی ۴۴/۸۴ - ۴۳ درجه سانتی‌گراد برای فصول گرم، سال‌های (۲۰۶۶، ۲۰۶۹، ۲۰۷۲، ۲۰۷۳، ۲۰۷۹، ۲۰۸۴، ۲۰۸۵، ۲۰۸۶، ۲۰۸۷، ۲۰۸۸، ۲۰۸۹، ۲۰۹۰، ۲۰۹۱، ۲۰۹۲، ۲۰۹۳، ۲۰۹۴، ۲۰۹۵، ۲۰۹۶، ۲۰۹۷، ۲۰۹۸ و ۲۰۹۹) پیش‌بینی شدند و برای مابقی

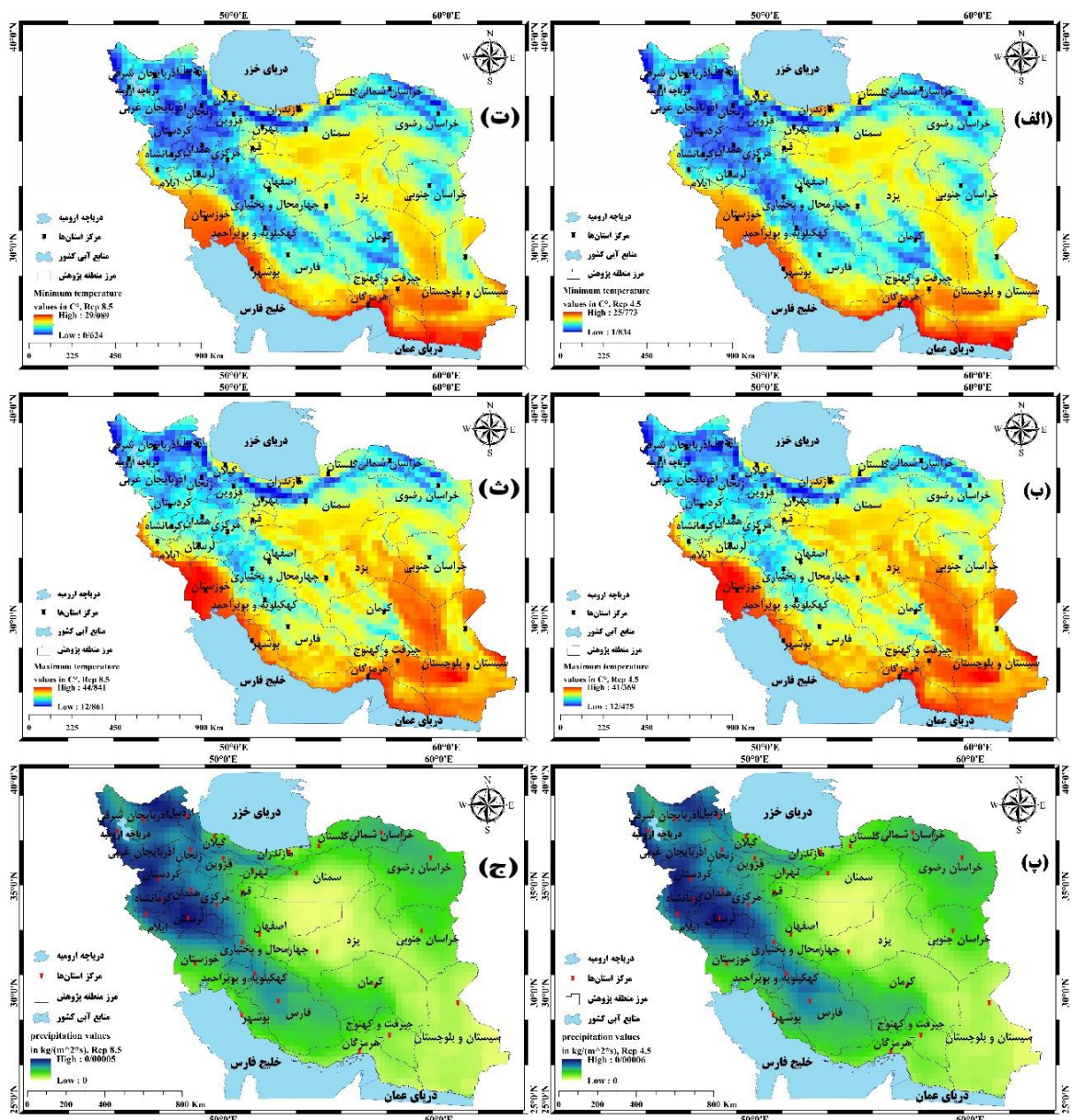
بارشی ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱) با مقادیر (۰/۰۰۰۰۳) - ۰/۰۰۰۰۲ (kg/m<sup>2</sup>/s) با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۲۱، ۲۰۲۴، ۲۰۲۵، ۲۰۲۷، ۲۰۳۱، ۲۰۳۴، ۲۰۳۷، ۲۰۳۸، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱، ۲۰۴۶، ۲۰۵۳، ۲۰۵۶ و ۲۰۵۷) به دست آمد و بیان‌گر این نکته بود که تعداد فراوانی سال‌های فصول بارشی کمینه در دوره ۴۰ ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) کمتر از دوره ۴۰ ساله اول بود. شدت نوسان پربارشی پیش‌بینی شده در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه (۲۱۰۰-۲۰۶۱) در دوره ۴۰ ساله دوم با مقادیر (۰/۰۰۰۰۶) - ۰/۰۰۰۰۳ (kg/m<sup>2</sup>/s) با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۲، ۲۰۶۳، ۲۰۶۴، ۲۰۷۹، ۲۰۸۰، ۲۰۸۱، ۲۰۸۳، ۲۰۸۴، ۲۰۹۰، ۲۰۹۲، ۲۰۹۹ و ۲۱۰۰) با مقایسه مقادیر متوسط بارشی ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱) با مقادیر (۰/۰۰۰۰۶) - ۰/۰۰۰۰۳ (kg/m<sup>2</sup>/s) با تعداد سال‌های پیش‌بینی (۲۰۳۳، ۲۰۴۲، ۲۰۴۵، ۲۰۴۹، ۲۰۵۲، ۲۰۵۵، ۲۰۵۸، ۲۰۵۹ و ۲۰۶۰) به دست آمد و بیان‌گر این نکته بود که تعداد فراوانی سال‌های فصول پربارشی در دوره ۴۰ ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) بیش‌تر از دوره ۴۰ ساله اول بود.

نوسان بارشی براساس سناریوی بدبینانه RCP. ۸/۵ برای ۴۰ ساله دوره دوم سال‌های (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مورد مطالعه در مقایسه با ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱)؛ شدت نوسان بارشی کمینه پیش‌بینی شده در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه (۲۱۰۰-۲۰۶۱) در دوره ۴۰ ساله دوم با مقادیر (۰ - ۰/۰۰۰۰۲) (kg/m<sup>2</sup>/s) با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۱، ۲۰۶۵، ۲۰۶۶، ۲۰۶۷، ۲۰۷۰، ۲۰۷۳، ۲۰۷۴، ۲۰۷۵، ۲۰۷۶، ۲۰۷۸، ۲۰۸۶، ۲۰۸۸، ۲۰۹۱، ۲۰۹۴، ۲۰۹۶، ۲۰۹۸ و ۲۰۹۹) با مقایسه مقادیر کمینه بارشی ۴۰ ساله دوره اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱) با مقادیر (۰ - ۰/۰۰۰۰۲) (kg/m<sup>2</sup>/s) با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۲۲، ۲۰۲۳، ۲۰۲۶، ۲۰۲۸، ۲۰۲۹، ۲۰۳۰، ۲۰۳۵، ۲۰۳۶، ۲۰۴۰، ۲۰۴۳، ۲۰۴۴، ۲۰۴۷، ۲۰۴۸، ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ و ۲۰۵۴) به دست آمد و بیان‌گر این نکته بود که تعداد فراوانی سال‌های فصول بارشی کمینه در دوره ۴۰ ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) بیش‌تر از دوره ۴۰ ساله اول بود. شدت نوسان بارشی متوسط پیش‌بینی شده در فصول بارشی سال‌های مورد مطالعه (۲۱۰۰-۲۰۶۱) در دوره ۴۰ ساله دوم با مقادیر (۰/۰۰۰۰۳) - ۰/۰۰۰۰۲ (kg/m<sup>2</sup>/s) با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۹، ۲۰۷۱، ۲۰۷۲، ۲۰۷۷، ۲۰۸۲، ۲۰۸۵، ۲۰۸۷، ۲۰۸۹، ۲۰۹۳ و ۲۰۹۵) با مقایسه مقادیر متوسط



شکل ۵- نمودارهای پیش‌بینی عناصر اقلیمی حداقل دما، حداکثر دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط ۴/۵ RCP و بدبینانه ۸/۵ RCP، در دوره ۴۰ ساله دوم براساس مدل CanESM2





شکل ۶- نقشه‌های تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی عناصر اقلیمی حداقل دما، حداکثر دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط RCP. ۴/۵ و بدبینانه RCP. ۸/۵ در دوره ۴۰ ساله دوم براساس مدل CanESM2.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر در برش فضایی کشور در جنوب غرب آسیا و خاورمیانه در بازه زمانی ۸۰ ساله در حد فاصل سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰؛ به برآورد و پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده ایران به ارزیابی، پیش‌بینی و مقایسه عناصر اقلیمی (حداکثر دما، حداقل دما و بارش) با بهره‌گیری از داده‌های آماری و سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) براساس سناریوهای حد وسط (RCP. ۴/۵) و بدبینانه (RCP. ۸/۵) مدل CanESM2 برای دو دوره چهار ساله اول (۲۰۲۱ - ۲۰۶۰) و چهار ساله دوم (۲۱۰۰ - ۲۰۶۱)، پرداخته شد، بررسی‌ها و ارزیابی‌ها با یافته‌های متعددی همراه بود که در مباحث قبلی مورد اشاره قرار گرفت. فشرده‌ای از نتایج اصلی تحقیق در چند محور قابل ارایه می‌باشد که عبارتند از:

یافته‌های به دست آمده از تحلیل و بررسی تغییر اقلیم ایران، پیش‌بینی عناصر اقلیمی حداقل دما و حداکثر دما بیان‌گر این می‌باشد که در دوره چهار ساله اول در بازه زمانی (۲۰۶۰ - ۲۰۲۱) براساس سناریوی حد وسط (RCP. ۴/۵) کم‌ترین مقدار حداقل دما ۰/۸۶- درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۲۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد، در صورتی که کم‌ترین مقدار حداکثر دما ۹/۱۰ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۴۰/۴۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد اما در دوره چهار ساله دوم در بازه زمانی (۲۱۰۰ - ۲۰۶۱) کم‌ترین مقدار حداقل دما ۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۲۵/۷۷ درجه سانتی‌گراد و برای پارامتر اقلیمی حداکثر دما کم‌ترین مقدار آن ۱۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۴۱/۳۶ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. براساس نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای حداقل دما در دوره چهار ساله دوم به دلیل افزایش آن به نسبت دوره چهار ساله اول شدت کمینه پهنه‌های حداقل دما کاهش پیدا کرده است؛ یافته‌های تصاویر ماهواره‌ای حداکثر دما غرب و

جنوب غربی کشور، بخش‌های از نیمه جنوبی کشور مناطق مشرف به سواحل خلیج فارس و دریای عمان؛ مناطق شرقی و جنوب شرق کشور و بخش‌های مرکزی ایران شامل پهنه‌های حداکثر دما شدند که براساس نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای حداکثر دما در دوره چهل ساله دوم به دلیل افزایش آن به نسبت دوره چهل ساله اول شدت بیشینه پهنه‌های حداکثر دما افزایش پیدا کرد. نتایج حاصل شده از ارزیابی و تحلیل تغییر اقلیم ایران، پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی حداقل دما و حداکثر دما حاکی از این نکته می‌باشد که در دوره چهل ساله اول در بازه زمانی (۲۰۶۰-۲۰۲۱) براساس سناریوی بدبینانه (RCP. ۸/۵) کم‌ترین مقدار حداقل دما ۰/۰۸- درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۲۵/۷۶ درجه سانتی‌گراد و برای پارامتر اقلیمی حداکثر دما کم‌ترین مقدار آن ۱۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین آن ۴۱/۳۸ درجه سانتی‌گراد حاصل شد اما برای دوره چهل ساله دوم در بازه زمانی (۲۱۰۰-۲۰۲۱) کم‌ترین مقدار حداقل دما با مقدار ۰/۶۲- درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۲۹/۰۸ درجه سانتی‌گراد؛ و برای پارامتر اقلیمی حداکثر دما، کم‌ترین مقدار آن ۱۲/۸۶ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مقدار آن ۴۴/۸۴ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. یافته‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای حداقل و حداکثر دما در دوره چهل ساله دوم براساس سناریوی مذکور پارامتر اقلیمی حداقل دما بخش‌های از پهنه‌های شمال غرب کشور، بر روی مناطق مرتفع و ناهموار رشته کوه زاگرس، بخش‌های از مناطق مرتفع و ناهموار رشته کوه البرز، شمال شرق و بخش‌های از شرق کشور را شامل شدند. در حالی که پهنه‌های غرب و جنوب غربی کشور، نیمه جنوبی کشور مناطق مشرف به سواحل خلیج فارس و دریای عمان، شرق و جنوب شرق کشور، بخش‌های مرکزی ایران شامل مناطق و نواحی بودند که حداکثر دما را شامل شدند. براساس نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای عناصر اقلیمی حداقل و حداکثر دما در دوره چهل ساله دوم به دلیل افزایش آن‌ها به نسبت دوره چهل ساله اول علاوه بر کاهش شدت کمینه پهنه‌های حداقل دما و افزایش شدت بیشینه پهنه‌های حداکثر دما؛ پهنه‌های عناصر اقلیمی و گستره حداقل دماها به مناطق مرتفع متمرکز و محدود تر می‌شود. تجزیه و تحلیل تغییر اقلیم ایران، پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش بیان‌گر این موارد می‌باشد که در چهل ساله اول در بازه زمانی (۲۰۶۰-۲۰۲۱) براساس سناریوی حد وسط (RCP. ۴/۵) شدت نوسان بارشی مقدار کمینه در فصول بارشی در منطقه مورد مطالعه با مقادیر  $(0 - 0/00002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۲۲، ۲۰۲۵، ۲۰۲۸، ۲۰۳۲، ۲۰۳۳، ۲۰۳۴، ۲۰۳۵، ۲۰۳۶، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱، ۲۰۴۳، ۲۰۴۴، ۲۰۴۵، ۲۰۴۷، ۲۰۴۹، ۲۰۵۰، ۲۰۵۲، ۲۰۵۴، ۲۰۵۵، ۲۰۵۷ و ۲۰۵۸) به دست آمد، این درحالی می‌باشد که در دوره چهل ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) براساس سناریوی مذکور شدت نوسان بارشی کمینه در فصول بارشی کشور با مقادیر  $(0 - 0/00002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۱، ۲۰۶۲، ۲۰۶۳، ۲۰۶۵، ۲۰۶۶، ۲۰۶۸، ۲۰۷۰، ۲۰۷۱، ۲۰۷۲، ۲۰۷۳، ۲۰۷۴، ۲۰۷۵، ۲۰۷۹، ۲۰۸۲، ۲۰۸۳، ۲۰۸۴، ۲۰۸۶، ۲۰۸۷، ۲۰۹۰، ۲۰۹۱، ۲۰۹۲، ۲۰۹۶، ۲۰۹۷ و ۲۱۰۰) پیش‌بینی شد؛ هم‌چنین نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش در دوره چهل ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) براساس سناریوی مذکور پهنه‌های شمال غرب کشور به جزء مناطق حوضه آبریز دریاچه ارومیه و جنوب

شرق آذربایجان شرقی، بخش‌های از شمال و مرکز در دامنه شرقی و غربی و بخش ناچیزی از جنوب در رشته کوه زاگرس، بخش‌های مرکزی و غربی رشته کوه البرز در دامنه شمالی و جنوبی آن، بخش‌های از شمال شرق کشور مناطق پربارش در فصول بارشی کشور را شامل شدند. هم‌چنین براساس نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای پارامتر اقلیمی بارش در دوره چهل ساله دوم براساس سناریوی (RCP. ۴/۵) به دلیل کاهش آن به نسبت دوره چهل ساله اول، از شدت و پهنه‌های بارشی کشور کاهش پیدا کرده است. نتایج حاصل از بررسی و تحلیل تغییر اقلیم ایران در پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش بیان‌گر این موارد می‌باشد که در چهل ساله اول در بازه زمانی (۲۰۶۰-۲۰۲۱) براساس سناریوی بدبینانه (RCP. ۸/۵) شدت نوسان بارشی مقدار کمینه در فصول بارشی ایران با مقادیر  $(0 - 0/00002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۲۲، ۲۰۲۳، ۲۰۲۶، ۲۰۲۸، ۲۰۲۹، ۲۰۳۰، ۲۰۳۳، ۲۰۳۴، ۲۰۳۵، ۲۰۳۶، ۲۰۳۷، ۲۰۳۸، ۲۰۳۹، ۲۰۴۱، ۲۰۴۳، ۲۰۴۴، ۲۰۴۵، ۲۰۴۷، ۲۰۴۹، ۲۰۵۰، ۲۰۵۲، ۲۰۵۴، ۲۰۵۵، ۲۰۵۷ و ۲۰۵۸) به دست آمد، این درحالی می‌باشد که در دوره چهل ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) براساس سناریوی مذکور شدت نوسان بارشی کمینه در فصول بارشی کشور با مقادیر  $(0 - 0/00002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  با تعداد سال‌های پیش‌بینی شده (۲۰۶۱، ۲۰۶۲، ۲۰۶۳، ۲۰۶۵، ۲۰۶۶، ۲۰۶۸، ۲۰۷۰، ۲۰۷۱، ۲۰۷۲، ۲۰۷۳، ۲۰۷۴، ۲۰۷۵، ۲۰۷۹، ۲۰۸۲، ۲۰۸۳، ۲۰۸۴، ۲۰۸۶، ۲۰۸۷، ۲۰۹۰، ۲۰۹۱، ۲۰۹۲، ۲۰۹۶، ۲۰۹۷ و ۲۱۰۰) پیش‌بینی شد؛ هم‌چنین نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش در دوره چهل ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) براساس سناریوی مذکور پهنه‌های شمال غرب کشور به جزء مناطق حوضه آبریز دریاچه ارومیه و جنوب

- ✓ تغییر اقلیم پدیده آب و هوایی جهانی بوده و گریبانگیر همه کشورهای دنیا است و باید تصمیمات جامع و متدوالی برای کنترل آن در سطح جهانی گرفته شود.
- ✓ برنامه‌ریزی دقیق در کاهش بیابان‌زایی بخصوص در مناطق مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه و مناطقی که در حال تبدیل شدن به بیابان هستند.
- ✓ ارائه برنامه دقیق و مدیریت جامع در احداث سدها و بارور کردن ابرها در بحث بارش در مناطق مستعد.
- ✓ برنامه‌ریزی در سیستم آبیاری نوین اراضی کشاورزی و جلوگیری از نابودشدن جنگل‌ها.
- ✓ ارائه برنامه آموزشی دقیق و راهبردی در مصرف انرژی نو و تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی.

منطقه‌ای آینده؛ بونمن و همکاران (۲۰۲۱) پیش‌بینی‌های مبتنی بر ویژگی اثرات تغییر آب و هوا بر توزیع‌های زیستی جهانی و کاسترو و همکاران (۲۰۲۲) مدل‌سازی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر کیفیت آب برای مخازن استوایی؛ دقت قابل قبول مدل را تایید نمودند. با این حال با همه مقایسه صورت گرفته روش نوین و سناریوهای مختلف در تحقیق‌های مذکور؛ با الگوریتم و کدنویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین براساس دو سناریوی حدوسط (RCP. ۴/۵) و سناریوی بدبینانه (RCP. ۸/۵) مدل CanESM2 کانادا در پژوهش حاضر یعنی آشکارسازی و برآورد تغییر اقلیم سال‌های آتی ایران کارایی قابل قبولی دارد و توصیه می‌شود این روش نوین و مدل و سناریوها در مناطق دیگر در برآورد روند تغییرات و پیش‌بینی عناصر اقلیمی استفاده شود.

## راهکارها

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر موارد ذیل ارائه می‌شود:

## منابع

- احمدآبادی، علی و صدیقی‌فر، زهرا (۱۳۹۷). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمای آماری. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۵۱)، ۱۱۴-۱۰۳.
- اکبری، مهری و صیاد، وحیده (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳ (۱)، ۷۴-۳۷.
- ایمانی‌پور، ح؛ کاشکی، ع و کرمی، م. (۱۳۹۷). واکوی تغییرات نیازهای درجه روز گرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم در استان خراسان جنوبی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۵۱)، ۲۱۶-۱۹۹.
- آشفته، پریسادات (۱۳۹۳). تغییر اقلیم و آب: ابزارها و رویکردها. تهران، انتشارات جاودان خرد، چاپ اول، ص ۲۲۴.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ زارعی، شریفه و صیاد، وحیده (۱۴۰۲). بررسی چشم انداز تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای (RCP) واداشت تابشی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳ (۶۹)، ۱۴-۱.
- حمیدیان‌پور، محسن؛ باعقیده، محمد و عباس‌نیا، محسن (۱۳۹۵) ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمای خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸ (۱)، ۱۲۳-۱۰۷.
- حمیدیان‌پور، محسن؛ فلاح‌قاله‌ری، غلامعباس و علی‌مرادی، محمدرضا (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل SDSM در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم برای پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۲ (۵)، ۱۴-۱.
- دوستان، رضا و علیجانی، بهلول (۱۳۹۴). تغییر اقلیم در ایران با رویکرد سینوپتیک. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۳ (۲)، ۱۱۳-۸۹.
- زهره‌وندی، حسن؛ خورشیددوست، علی‌محمد و ساری‌صراف، بهروز (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس گردانی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷ (۱)، ۶۴-۴۹.
- عباسی، فاطمه؛ کوهی، منصوره؛ جوانشیری، زهره؛ ملبوسی، شراره؛ حبیبی‌نوخندان، مجید؛ بابائیان، ایمان و فلامرزی، یاشار (۱۳۹۹). آشکارسازی و به‌روزرسانی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های کشور (دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸). پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱ (۴۲)، ۱۵۳-۱۳۷.
- عزیززی، حمیدرضا؛ ابراهیمی، حسین؛ محمد، ولی؛ سامانی، حسین و خاکی، ویدا (۱۳۹۹). ارزیابی شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین با استفاده از شاخص NISTOR. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶ (۳)، ۱۸۷-۱۷۲.
- عساکره، حسین؛ مسعودیان، ابوالفضل و ترکارانی، فاطمه (۱۴۰۰). تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳ (۱)، ۱۰۷-۹۱.
- فرج‌زاده، منوچهر و قاسمی‌فر، الهام (۱۳۹۸). مبانی تغییر آب و هوا (اقلیم) و پیامدهای آن. تهران، نشر انتخاب، صص ۴۳۵.
- فهیمی‌نژاد، الهام؛ باعقیده، محمد؛ بابائیان، ایمان و انتظاری، علیرضا (۱۳۹۸). شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی بر میانگین و رخداد‌های حدی برخی متغیرهای هیدرواقلمی در حوضه آبریز شان‌دیز، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶ (۳)، ۴۸-۲۷.
- کوچکی، علیرضا؛ نصیری، مهدی؛ بداغ‌جمالی، جواد و مرعشی، حسن (۱۳۸۵). مطالعه اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گندم دیم سرداری با استفاده از مدل گردش عمومی. علوم و صنایع کشاورزی، ۲۰ (۷)، ۹۵-۸۳.
- محمدپورخوئی، محمدمسعود و ناصری، محسن (۱۴۰۱). ارزیابی الگوی مکانی ناایستایی بارش و مقادیر حدی آن در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در ایران، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲ (۴۹)، ۱۴۸-۱۳۱.
- محمدی، حسین و حیدری، محمدمامین (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات تبخیر و تعرق گیاه گندم دشت مراغه در شرایط خشک شدن دریاچه ارومیه. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵ (۱۷)، ۸۶-۷۱.

- مظفری، غلامعلی؛ شفیعی، شهاب و تقی‌زاده، زهرا (۱۳۹۳). ارزیابی شرایط خشک‌سالی در استان سیستان و بلوچستان طی (۱۳۹۱-۱۴۱۰) با استفاده از ریز میاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۴ (۹۳)، ۱۱۴-۱۰۱.
- مولودی، گلاله؛ خورانی، اسداله و مرادی، عباس (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳ (۱)، ۱۴-۱.
- میراکبری، مریم؛ مصباح‌زاده، طیبه؛ محسنی‌ساروی، محسن؛ خسروی، حسن و مرتضایی‌فریزه‌ندی، قاسم (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد). پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۰ (۳)، ۶۰۹-۵۹۳.
- میرزایی، مژگان؛ لاورنس، برائیس؛ سامانی‌مجد، امیرمسعود (۱۴۰۰). تغییرات اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود بر اساس سناریوهای IPCC و طبقه‌بندی کوپن-گایگر. فصل‌نامه توسعه پایدار شهری، ۳ (۵)، ۴۰-۲۵.
- الوانکار، سیدرضا؛ نظری، فرزانه و فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۵). تاثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی‌های ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳ (۲)، ۱۲۰-۹۹.
- Abbasi, F., Kouhi, M., Javanshiri, Z., Malbousi, S., Habibi Nokhandan, M., Babaeian, I & Falamarzi, Y. (2020). Climate change detection update over Iran during 1958-2017. *Journal of Climate Research*, (42): 137-153. (In persian)
- Ahmadabadi, A., Sedighifar, Z. (2018). Prediction of Climate Change Induced Hydrogeomorphology by using SDSM in CAN Watershed. *JGS*, 18 (51): 103-114. <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.51.103>. (In persian)
- Akbary, M & Sayad, V. (2021). Analysis of climate change studies in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 53 (1): 37-74. doi: 10.22059/jphgr.2021.301111.1007528. (In persian)
- Alvankar, S.R., Nazari, F., Fattahi, E. (2016). The Intensity and Return Periods of Drought under Future Climate Change Scenarios in Iran. *JSAEH*, 3(2): 99-120. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99>. (In persian)
- Asakereh, H., Masoodian, S. A & Tarkarani, F. (2021). A Discrimination of Roles of Internal and External Factors on the Decadal Variation of Annual Precipitation in Iran over Recent Four Decades (1975-2016). *Physical Geography Research Quarterly*, 53 (1): 91-107. doi: 10.22059/jphgr.2021.304776.1007529. (In persian)
- Azizi, H.R., Ebrahimi, H., Mohamad Vali Samani, H & Khaki, V. (2020). Assessment the Intensity of the Effect of Climate Change on Groundwater Resources of Varamin plain using NISTOR index. *Iran-Water Resources Research*, 16 (3): 172-187. (In persian)
- Baccini, M., Kosatsky, T & Biggeri, A. (2013). Impact of Summer Heat on Urban Population Mortality in Europe during the 1990s: an Evaluation of Years of Life Lost Adjusted for Harvesting, *PLoS ONE*, 8, e69638. doi:10.1371/journal.pone.0069638
- Boonman, C.C.F., Huijbregts, M.A.J., López, A.B., Schipper A.M., Thuiller, W., Santini, L. (2021). Trait-based projections of climate change effects on global biome distributions, Diversity and Distributions, 28 (1): 25-37. <https://doi.org/10.1111/ddi.13431>
- Bukovsky, M. S., Gao, J., Mearns, L. O., & O'Neill, B. C. (2021). SSP-based land-use change scenarios: A critical uncertainty in future regional climate change projections. *Earth's Future*, 9 (3). <https://doi.org/10.1029/2020EF001782>
- Castro, A.Q.; Yaneth, A. B.T.; Erick, R.B.; Juan G.L.; Jesús, G.R.P. (2022). Modeling the effect of climate change scenarios on water quality for tropical reservoirs, *Journal of Environmental Management*, 322: 116137. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116137>.
- Cicerone, R., & Nurse, P. (2014) *Climate Change Evidence & Causes*, An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences.
- Collins, M.; Barreiro, M.; Frölicher, T.; Kang S.M.; Ashok, K.; Roxy M.K.; Singh, D.; Tedeschi, R.G.; Wang, G.; Wilcox, L & Wu, B. (2020). *Frontiers in Climate Predictions and Projections*, *Journal frontiers in Climate*, 2. <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.571245>
- Doostan, R & Alijani, B. (2016). Climate Change of Iran: A Synoptic Approach. *Journal of Geography and Regional Development*, 13 (2): 89-113. doi: 10.22067/geography.v13i2.45383. (In persian)
- Erler, A.R., Frey, S.K., Khader, O., D'Orgeville, M., Park, Y.J., Hwang, H.T., Lapen, D.R., Peltier, W.R & Sudicky, E. A. (2019). Evaluating climate change impacts on soil moisture and groundwater resources within a lake-affected region, *Water Resources Research*, 55 (10): 8142-8163. <https://doi.org/10.1029/2018WR023822>
- Fahiminezhad, E., Baaghide, M O., Babaeian, I & Entezari, A. (2019). Simulation of the effect of global warming on the mean and extreme events of some hydrochemical variables in Shandiz, Spatial analysis of environmental hazards, 6 (3): 27-48. (In persian)



- Farajzadeh, M., & Ghasemifar, E. (2018). Basics of climate change (climate) and its consequences, Tehran, Selection Publications, pp. 435. (In persian)
- Feng, A & Chao, Q. (2020). An Overview of Assessment Methods and Analysis for Climate Change Risk in China. *Phys, Chem. Earth, Parts A/B/C*, 117: 102861. doi:10.1016/j.pce.2020.102861
- Feyissa, G.; Zeleke, G.; Bewket, W & Ephrem, G. (2018). Downscaling of Future Temperature and Precipitation Extremes in Addis Ababa under Climate Change, *Climate*, 6 (58). <https://doi.org/10.3390/cli6030058>
- Gomiero, A., Bellerby, R. G. J., Manca Z.M., Babbini, L & Viarengo, A. (2018). Biological Responses of Two marine Organisms of Ecological Relevance to On-Going Ocean Acidification and Global Warming, *Environ. Pollut*, 236: 60–70. doi:10.1016/j.envpol.2018.01.063
- Hamidian Pour, M., Fallah Ghalhari, G.R & Alimoradi, M. (2021). Evaluating the Efficiency of the SDSM Model in Investigating the Consequences of Climate Change for Different Climate Zones in Iran. *Climate Change Research*, 2 (5): 1-14. doi: 10.30488/ccr.2020.248188.1023. (In persian)
- Hamidianpour, M., Baaghdeh, M & Abbasnia, M. (2016). Assessment of the Precipitation and Temperature Changes over South East Iran Using Downscaling Of General Circulation Models Outputs. *Physical Geography Research Quarterly*, 48 (1): 107-123. doi:10.22059/jphgr.2016.57030. (In persian)
- Hejazizadeh, Z., Zarei, S. (2023). Investigation of Changes of Temperature and Rainfall Indicators in Kurdistan Province Based on Radiation Injection Scenarios (RCP), *JGS*, 23 (69):1-14. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1300.0.0.7.0>. (In persian)
- Huang, J., Li, Y. Fu, C. Chen, F. Fu, Q. Dai, A. Shinoda, M. Ma, Z. Guo, W. Li, Z. Zhang, L. Liu, Y. Yu, H. He, Y. Xie, Y. Guan, X. Ji, M. Lin, L. Wang, S. Yan, H & Wang, G. (2017). Dryland climate change: Recent progress and challenges, *Reviews of geophysics*, 55 (3): 719-778. <https://doi.org/10.1002/2016RG000550>
- Huang, Y.F.; Jong, T.A.; Yong, J.T.; Mirzaei, M.; Mohd, Z.M.A. (2016). Drought Forecasting Using SPI and EDI under RCP-8.5 Climate Change Scenarios for Langat River Basin, Malaysia, *Procedia Engineering*, 154: 710-717. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.573>.
- Imani pour, H., Kashki, A., Karami, M. (2018). Analysis of heating degree day requirements changes under climate change in South Khorasan, *JGS*, 18 (51):199-216. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2937-fa.html>. (In persian)
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* In: Stocker TF, Qin D, Plattner G. K., Tignor M., Allen SK et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and new York, NY, USA.
- IPCC-TGICA. (2007). General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 pp.
- Isobe, M. (2013). Impact of Global Warming on Coastal Structures in Shallow, Water. *Ocean Eng*, 71: 51–57. doi:10.1016/j.oceaneng.2012.12.032
- Jiang, C., Shaw, K. S., Upperman, C. R., Blythe, D., Mitchell, C & Murtugudde, R., et al. (2015). Climate Change, Extreme Events and Increased Risk of Salmonellosis in Maryland, USA: Evidence for Coastal Vulnerability, *Environ. Int*, 83: 58–62. doi:10.1016/j.envint.2015.06.006
- Li, X., Clinton, N., Si, Y., Liao, J., Liang, L & Gong, P. (2015). Projected Impacts of Climate Change on Protected Birds and Nature Reserves in China, *Sci. Bull*, 60: 1644-1653. doi:10.1007/s11434-015-0892-y
- Li, X., Zickfeld, K., Mathesius, S., Kohfeld, K., & Matthews, J.B.R. (2020). Irreversibility of marine climate change impacts under carbon dioxide removal, *Geophysical Research Letters*, 47 (17): 8142-8163. <https://doi.org/10.1029/2020GL088507>
- Lu, S., Bai, X., Zhang, X., Li, W & Tang, Y. (2019). The Impact of Climate Change on the Sustainable Development of Regional Economy, *J. Clean. Prod*, 233: 1387–1395. doi:10.1016/j.jclepro.2019.06.074
- Luo, Q., Li, S., Guo, Y., Han, X & Jaakkola, J. J. K. (2019). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Association between Daily Mean Temperature and Mortality in China. *Environ. Res*, 173: 281–299. doi:10.1016/j.envres.2019.03.044
- Meinshausen, M.; Smith, S.J.; Calvin, K.; Daniel, J. S.; Kainuma, M. L. T.; Lamarque, J.F.; Matsumoto, K.; Montzka, S. A.; Raper, S. C. B.; Riahi, K.; Thomson, A.; Velders, G. J. M & Van Vuuren, D.P. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, *Climatic Change*, 109 (1): 213-241. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>

- Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H & Mortezaie Farizhendi, G. (2018). Performance of Series Model CMIP5 in Simulation and Projection of Climatic Variables of Rainfall, Temperature and Wind Speed (Case Study: Yazd). *Physical Geography Research Quarterly*, 50 (3): 593-609. doi: 10.22059/jphgr.2018.248177.1007156. (In persian)
- Mirzaei, M., Lawrence, B., Samani M., Amir, M. (2021). Climate change of ZayandehRood watershed based on IPCC scenarios and Köppen–Geiger classification. *Urban Sustainable Development Journal*, 5 (2): 25-40. (In persian)
- Mishra, A.K., Singh, V.P & Jain, S. K. (2010). Impact of Global Warming and Climate Change on Social Development, *J. Comp. Soc. Welfare*, 26: 239–260. doi:10.1080/17486831003687626
- Mohammadpour Khouie, M.M & Nasserli, M. (2022). Evaluation of Unstationary and Extreme Value Patterns of Precipitation over Iran considering Impacts of Climate Change. *Journal of Climate Research*, (49): 131-148. (In persian)
- Molodi, G., Khorani, A., Moradi, A. (2016). Impacts of climate change on heat waves in northern coast of Persian Gulf. *JSAEH*, 3 (1):1-14. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1>. (In persian)
- Nazarenko, L. S.; Tausnev, N.; Russell, G. L.; Rind, D.; Miller, R. L & Schmidt, G. A. (2022). Future climate change under SSP emission scenarios with GISS-E2.1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14 (7): 119-125. <https://doi.org/10.1029/2021MS00287>
- Onozuka, D., Gasparini, A., Sera, F., Hashizume, M & Honda, Y. (2019). Future Projections of Temperature-Related Excess Out-Of-Hospital Cardiac Arrest under Climate Change Scenarios in Japan, *Sci. Total Environ*, 682: 333–339. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.196
- Ozturk, T., Turp, M.T., Türkeş, M & Kurnaz, M. L. (2018). Future Projections of Temperature and Precipitation Climatology for CORDEX-MENA Domain Using RegCM4.4, *Atmos. Res*, 206: 87–107. doi:10.1016/j.atmosres.2018.02.009
- Rathore, P.; Arijit, R.; Harish, K. (2019). Modelling the vulnerability of *Taxus wallichiana* to climate change scenarios in South East Asia, *Ecological Indicators*, 102: 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.020>.
- Salimi, S.; Martin, B.; Miklas, S. (2021). Response of the peatland carbon dioxide sink function to future climate change scenarios and water level management, *Glob Change Biol*, 27: 5154–5168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15753>
- Taylor, K.E.; Ronald, J.S & Gerald, A.M. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, 93 (4): 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Wang, X. L., Feng, Y & Swail, V. R. (2015), Climate change signal and uncertainty in CMIP5-based projections of global ocean surface wave heights, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120 (5): 3859-3871. <https://doi.org/10.1002/2015JC010699>
- Wang, X.; Hou, X.; Piao, Y.; Feng, A & Li, Y. (2021). Climate Change Projections of Temperature Over the Coastal Area of China Using SimCLIM, *Frontiers in Environmental Science*, 9: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.782259>
- Zohrevandi, H., khorshid dost, A M., Sari Saraf, B. (2020). Prediction of Climate Change in Western of Iran using Downscaling of HadCM3 Model under Different Scenarios. *JSAEH*, 7 (1): 49-64, <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2741-fa.html>. (In persian)

## Obviousization and estimation of climate change in the coming years of Iran

Behrouz Sobhani<sup>1\*</sup>, Vahid Safarian Zengir<sup>2</sup>

\*1. Prof, Department of physical Geography, Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

2. Ph.D. Department of physical Geography, Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

\*Email Address: Sobhani@uma.ac.ir

### Abstract

The purpose of this research is to estimate and evaluate the future climate change of Iran using climatic elements (minimum temperature, maximum temperature and precipitation) until the year 2100 in Iran. For this purpose, in the current research, the innovative method and tools of the algorithm and coding and NASA data to evaluate and predict the aforementioned climate elements based on two intermediate scenario (RCP 4.5) and worst-case scenario (RCP 8.5) of the Canadian CanESM2 model from the system Google Earth Engine was used under the web. In order to better analyze, investigate and compare Iran's future climate changes, the studied period of 80 years, was divided into the first 40-year period (2021-2060) and the second 40-year period (2061-2100). The results of the current research based on the intermediate scenario (RCP 4.5) indicate that the minimum and maximum; minimum temperature of the second 40-year period compared to the first 40-year period is 2.69 and 0.62 degrees Celsius, respectively, and the minimum and maximum; maximum temperature The second 40-year period compared to the first 40-year period was 3.37 and 0.91 degrees Celsius respectively; Also, based on the worst-case scenario (RCP 8.5), the minimum and maximum; minimum temperature of the second 40-year period compared to the first 40-year period is 0.54 and 3.32 degrees Celsius, respectively, and the minimum and maximum; maximum temperature of the second 40-year period compared to the period An increasing trend was predicted for the first 40 years of 2.47 and 3.46 degrees Celsius respectively. Based on the results obtained from the present research, in the studied area, the frequency of rainfall decreases in the first 40-year period and increases in the second 40-year period.

### Introduction

Climate change is one of the important challenges that affects natural ecosystems and different aspects of human life (Ahmadabadi and Sedighifar, 2018). Two prominent characteristics of the future climate are changes in the average and limit values of hydroclimatic variables (Fahiminezhad, 2019). Climate change is one of the factors that cause changes in climate variables due to the increase of greenhouse gases. The increase of greenhouse gases due to natural and human causes has caused the warming of the earth's atmosphere and consequently seriously affects the water cycle (Mohammadpour Khouie and Nasseri, 1401). Climate change is one of the biggest scientific and geopolitical challenges of today. The main focus of the challenge is the idea of using climate science to look into the future (Collins et al., 2020). The Earth has experienced significant temperature increases at regional and global levels since 1850 (Li et al., 2015; Ozturk et al., 2018; Wang et al., 2021).

### Methodology

The present research is within the framework of the research and study of estimating and predicting the future climate change of Iran in the spatial scale of the country, located in the southwest of Asia and the Middle East with an area of 1648195 square kilometers in the geographical coordinates of 25° to 40° north latitude and 44° to 63° east longitude became operational in the period of 80 years (2021-2100). In the aforementioned thematic, geographical and temporal framework, to investigate the amount of climate elements effective

in climate change (maximum temperature, minimum temperature and precipitation) by using the reliable Canadian climate change model CanESM2 based on intermediate scenarios (RCP 4.5) and worst-case scenario (RCP 8.5) was discussed with an innovative approach in estimating Iran's future climate prospects by using remote sensing data from the American National Aeronautics and Space Administration (NASA). According to the studies carried out by the authors of the current research in relation to Iran's climate forecasting to reveal and predict Iran's future climate change until the present research was conducted, most of the researches based on micro-scaling software such as SDSM, LARS WG and Magicc Scengen were used; Considering the function of the above softwares that implement climate change models, they were time-consuming and there was a high probability of human error in the long statistical-mathematical stages and sometimes the error of the micro-scale softwares themselves, to solve these disadvantages and with the approach Innovatively, the updated data of the reliable CanESM2 model of Canadian climate change of the American National Aeronautics and Space Administration (NASA) were used in the open source system on the web.

### Results and discussion

The findings obtained from the analysis and investigation of Iran's climate change, the prediction of minimum temperature and maximum temperature climatic elements indicate that in the first forty-year period (2021-2060) based on the intermediate scenario (RCP 4.5), the lowest value of the minimum The temperature was  $-0.86^{\circ}\text{C}$  and the maximum value was  $25.15^{\circ}\text{C}$ , while the lowest maximum temperature value was  $9.10^{\circ}\text{C}$  and the highest value was  $40.45^{\circ}\text{C}$ , but in the second forty-year period in the time period (2061-2100) the lowest value of the minimum temperature was  $1.83^{\circ}\text{C}$  and the highest value was  $25.77^{\circ}\text{C}$ , and for the climatic parameter of the maximum temperature, the lowest value was  $12.47^{\circ}\text{C}$  and the highest value was predicted to be  $41.36^{\circ}\text{C}$ . The results obtained from the evaluation and analysis of Iran's climate change, the prediction of minimum temperature and maximum temperature climatic parameters indicate that in the first forty years period (2021-2060) based on the worst-case scenario (RCP 8.5) the lowest The minimum temperature value was  $-0.08^{\circ}\text{C}$  and the maximum value was  $25.76^{\circ}\text{C}$  and for the climate parameter, the minimum value was  $10.39^{\circ}\text{C}$  and the maximum value was  $41.38^{\circ}\text{C}$ , but for the second forty-year period in the interval At the time (2021-2100), the lowest minimum temperature value is 0.62 degrees Celsius and the highest value is 29.08 degrees Celsius; And for the climatic parameter of maximum temperature, its minimum value was predicted as 12.86 degrees Celsius and its maximum value was predicted as 44.84 degrees Celsius. Based on the results obtained from the satellite images of the minimum and maximum temperature climatic elements in the second forty-year period due to their increase compared to the first forty-year period, in addition to the decrease in the minimum intensity of the minimum temperature zones and the increase in the maximum intensity of the maximum temperature zones; The zones of minimum and maximum temperature elements are extended to high latitudes and mountainous areas.

### Conclusion

The analysis of Iran's climate change, the prediction of the climatic parameter of precipitation indicates that in the first forty years in the time period (2021-2060) based on the intermediate scenario (RCP 4.5), the intensity of precipitation fluctuations is the minimum value in the rainy seasons in the region. Study with the values of  $(0 - 0.00002) \text{ kg/m}^2/\text{s}$  with the number of predicted years (2022, 2025, 2028, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2039, 2041, 2043, 2044,



2045 , 2047, 2049, 2050, 2052, 2054, 2055, 2057 and 2058) was obtained, while in the second forty-year period (2061-2100) based on the mentioned scenario, the minimum rainfall fluctuation intensity in the country's rainy seasons with values of (0 - 0.00002) kg/m<sup>2</sup>/s with the predicted number of years (2061, 2062, 2063, 2065, 2066, 2068, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2079, 2082, 2083, 2084, 2086, 2087, 2090, 2091, 2092, 2096, 2097 and 2100) were predicted. The results obtained from the investigation and analysis of Iran's climate change in predicting the climate parameter of precipitation indicate that in the first forty years in the time period (2021-2060) based on the worst-case scenario (RCP. 8.5), the intensity of precipitation fluctuation is the minimum value in the rainy seasons of Iran. with the values of (0 - 0.00002) kg/m<sup>2</sup>/s with the number of predicted years (2022, 2023, 2026, 2028, 2029, 2030, 2035, 2036, 2040, 2043, 2044, 2047, 2048, 2050, 2051, and 2054) were predicted. If in the second forty-year period in the time period (2061-2100) based on the mentioned scenario, the intensity of the minimum precipitation fluctuations in the country's rainy seasons with the values of (0 - 0.00002) kg/m<sup>2</sup>/s with the predicted number of years ( 2061, 2065, 2066, 2067, 2070, 2073, 2074, 2075, 2076, 2078, 2086, 2088, 2091, 2094, 2096, 2097 and 2098) were predicted. Also, based on the results obtained from the satellite images, the climate parameter of precipitation in the second forty-year period based on the scenario (RCP. 8.5) due to its decrease compared to the first forty-year period, in addition to the decrease in the intensity and rainfall areas of the country. Rainy areas of the country have been extended to high latitudes and mountainous regions of the country.

### **Keywords**

Climate change; RCP scenarios; Innovative approach; Forecast; CanESM2