



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۷۸۱-۷۹۵

DOI: 10.22059/jwim.2022.330603.920

مقاله پژوهشی:

پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش براساس مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه ساری)

ادیب روشنی^۱، مهدی حمیدی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

۲. دانشیار، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

چکیده

تغییرات اقلیمی بر تمامی فرایندهای محیط‌زیستی و جامعه تأثیرگذار است. در این مطالعه سه مدل ACCESS-CM2، HadGEM3-GC31-LL و NESM3 از مجموعه مدل‌های برون‌داد اقلیمی سری ششم (CMIP6) صحت‌سنجی شده و از مناسب‌ترین مدل (ACCESS-CM2) با استفاده از جدیدترین سناریوهای انتشار که به اسم خط سیر اجتماعی-اقتصادی (SSP) نام‌گذاری شده است، به شبیه‌سازی پارامترهای آب‌وهوایی ایستگاه ساری پرداخته شد. برای ریزمقیاس‌سازی از مدل LARS-WG6 استفاده شد و دو سناریوی انتشار SSP2-4.5 و SSP5-8.5، برای دو دوره زمانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به‌کار گرفته شد. در ادامه از آزمون‌های آماری *t*-student، Kolmogorov-Smirnov، ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، جهت صحت‌سنجی مدل LARS-WG بهره گرفته شد و نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان از کارایی مناسب مدل دارد. همچنین با به‌کار بردن آزمون من-کندال و شیب سن روند پارامترهای مشاهداتی اقلیمی مشخص شد. نتایج به‌طور کلی نشان داد که میانگین تغییرات دما از ۱/۱۶ تا ۴/۰۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و میانگین مقدار بارش سالانه نیز در حدود ۲۴ درصد تا ۳۶ درصد افزایش می‌یابد. نتایج آزمون شیب سن برای دمای حداکثر و حداقل نشان‌دهنده صعودی بودن روند این پارامتر دارد و برای بارش روند مذکور نزولی است. تغییرات بلندمدت آب‌وهوایی یکی از عناصر تأثیرگذار بر منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌باشد، که ضروری است برای حفظ زیست‌بوم و سازگاری انسان با تغییر اقلیم، توسعه استراتژی‌های مدیریتی مناسب برای آینده در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: ریزمقیاس‌سازی، سناریوی انتشار، LARS-WG، SSP.

Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station)

Adib Roshani¹, Mehdi Hamidi^{2*}

1. MSc Student, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

2. Associate Professor, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Received: September 13, 2021

Accepted: January 06, 2022

Abstract

Climate change has many impacts on all environmental processes and society. In this study, three models selected from Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) including ACCESS-CM2, HadGEM3-GC31-LL, and NESM3 are validated. The best model (i.e. ACCESS-CM2) is selected to simulate the climatic parameters of the Sari Station using the latest emission scenarios called "shared socioeconomic pathways (SSP)." The LARS-WG is adopted for downscaling, and two emission scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5 are used for two periods 2041-2060 and 2081-2100, respectively. Several statistical tests are conducted including F-test, T-student, Kolmogorov-Smirnov, coefficient of determination (R^2), and root mean square error (RMSE) to validate the LARS-WG model. The verification results indicate the efficiency of the LARS-WG model. The Man-Kendal and Sen's slope tests are adopted to determine the trend of climatic observational parameters. In general, the results show that the average temperature change increases in the range of 1.16-4.09 °C and also the average annual rainfall increases by 24-36 percent. The Sen's slope results in terms of maximum and minimum temperatures show an ascending trend in this parameter, but it is descending in the rainfall. Since long-term climate change is one of the factors affecting groundwater and surface resources, it is necessary to develop proper management strategies for the future, preserving ecosystems, and adapting humans to these changes.

Keywords: Downscaling, Emission Scenario, LARS-WG, SSP.

مقدمه

تغییرات اقلیمی طی سالیان اخیر به چالشی مهم برای دنیا تبدیل شده است. با توجه به ارزیابی گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ (IPCC)، میانگین سالانه دمای جهانی در دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۸۸۰ به میزان ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. افزایش دمای کره زمین به‌طور مستقیم باعث تغییر در فراوانی رخدادهایی نظیر خشکسالی، سیل و طوفان خواهد شد و لذا مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب به‌ویژه در در نواحی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که بیش‌تر تحت تأثیر این پدیده هستند، الزامی است (Su-Yuan et al., 2020).

ثروت هر ملتی در منابع طبیعی غنی آن نهفته است که آب‌های زیرزمینی یکی از با ارزش‌ترین منابع طبیعی است که تأثیر تغییر اقلیم بر این منابع را نمی‌توان نادیده گرفت. رو به رشد بودن فعالیت‌های اقتصادی و افزایش جمعیت کشورهای در حال توسعه که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند منجر به افزایش قابل‌توجهی در استفاده و بهره‌برداری از منابع آب شده که به همین دلیل تهدیدی جدی برای منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. هم‌چنین مردم ساکن در این مناطق برای تأمین نیازهای آب شیرین خود به‌شدت به منابع آب‌های زیرزمینی وابسته هستند. این موضوع برای برای آبخوان‌های ساحلی از اهمیت بالاتری برخوردار بوده، زیرا این سفره‌های زیرزمینی دارای ماهیت پیچیده‌تری بوده و استفاده از منابع آب زیرزمینی این سفره‌های ساحلی باید با ملاحظات بیش‌تری در نظر گرفته شود (Ansarifar et al., 2019).

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سفره‌های ساحلی، تعامل هیدرولیکی این سفره‌ها با آب دریاست که عدم مدیریت صحیح برداشت از این منابع باعث نفوذ آب شور به آب شیرین سفره‌های زیرزمینی ساحلی شده و کمیت آب به میزان قابل‌توجهی پایین می‌آید. در گزارش چهارم IPCC

تأکید شده است که تغییرات آب‌وهوایی به‌صورت مداوم در جریان است که آثار آن به شکل افزایش سطح آب دریاها، افزایش دما و تغییرات بارندگی نمایان می‌شود که از نظر کمی و کیفی بر منابع آب شیرین سطحی و زیرزمینی تأثیرگذار است (Carneiro et al., 2010; Nasiri et al., 2020). هم‌چنین در گزارش پنجم IPCC بیان شده است که میانگین جهانی سطح آب دریاها در طی سال‌های (۱۹۰۱-۲۰۱۰) با سرعت ۱/۷ میلی‌متر بر سال افزایش یافته است (Maddah, 2016). زمانی که سطح آب دریاها افزایش یافته و حجم سفره‌های زیرزمینی ساحلی به‌علت تغییرات اقلیمی کاهش یافته، گوه آب دریا به‌طور قابل‌توجهی به سمت آب شیرین پیشروی کرده و منابع بهره‌برداری را آلوده خواهد کرد. هم‌چنین پمپ بی‌رویه آب‌های شیرین به دلیل افزایش تقاضای ناشی از افزایش جمعیت، قادر است پیشروی آب شور دریاها را به سمت آبخوان‌های ساحلی افزایش دهد (Razack et al., 2019; Hamidi & Sabbagh, 2006; Hamidi et al., 2006; Yazdi 2008). در مطالعه Mao et al. (2006) نیز به ارزیابی تأثیر جذر و مد بر رفتار یک سفره آبخوان ساحلی نزدیک به دلتا^۲ پرداختند و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که جذر و مد می‌تواند منجر به افزایش جابه‌جایی عمودی در امتداد خط ساحل شود.

در پژوهش Tayebian et al. (2019) از مدل LARS-WG^۳ براساس زیرمدل گردش عمومی جو (HadCM3) تحت اثر سه سناریوی انتشار A1B، A2 و A1 جهت ریزمقیاس‌سازی استفاده شد. نتایج پژوهش ۰/۷-۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای ماهانه را نشان داد و هم‌چنین میانگین بارش ماهانه برای دوره تعیین شده از ۲۲- درصد الی ۲۲+ درصد متغیر است. در مطالعه Mekonnen & Disse (2018) تغییرات اقلیمی براساس مدل‌های گردش عمومی جو HadCM3، GFDL-CM2.1، ECHAM5-OM، CCSM3، MRI-CGCM2.3.2 و

در سال‌های اخیر، گروه بین‌المللی از پژوهش‌گران اقلیم‌شناسی و اقتصاددانان، طیف وسیعی از مسیرهای جدید انتشار را ایجاد کرده‌اند که چگونگی تغییر اقلیم و جامعه جهانی از لحاظ جمعیت، اقتصاد و انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول قرن آینده را بیان می‌کند. جدیدترین مسیر به‌عنوان مسیرهای مشترک اقتصادی-اجتماعی^۵ (SSP) شناخته می‌شود و در پنج دسته SSP1 تا SSP5 قرار گرفته‌اند. نحوه نمایش این سناریوها به‌صورت SSPx-y بوده که x نشان‌دهنده SSP و y نمایانگر واداشت تابشی (w/m^2) در سال ۲۱۰۰ است (O'Neill et al., 2017; Gupta et al., 2020).

به‌طور عمده هدف از مطالعات اقلیمی دستیابی به نحوه تغییرات آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه بوده و هم‌چنین در اکثر پژوهش‌های انجام‌شده از خروجی سری سوم CMIP3 یا CMIP5 استفاده شده است، اما در این مطالعه هدف بر آن بوده که جدیدترین مدل‌های در دسترس سری ششم^۶ (CMIP6) برای حوضه مورد مطالعه سنجیده شود. مدل‌های مختلف GCM دارای وضوح و دقت یکسان نبوده و براساس مناطق مختلف، دقت و کارایی مدل‌ها متفاوت است. بنابراین برای پی‌بردن به بهترین مدل برای یک منطقه، باید مدل‌های مختلف نسبت به همدیگر راستی آزمایی شوند. هم‌چنین رشد سریع جمعیت و صنعت، اثرات گوناگونی بر نحوه انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند که هرچند سال سناریوهای انتشار جدید معرفی می‌شوند و ضرورت دارد بر طبق آخرین اطلاعات موجود از چگونگی تغییرات اقلیمی آگاهی داشته باشیم. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات جوی ایستگاه ساری واقع در حوضه آبخوان ساحلی ساری- نکا استان مازندران، تحت جدیدترین سناریوهای تدوین‌شده هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC یعنی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دهه‌های آتی است. با توجه

CSIRO-MK3 که با استفاده از LARS-WG ریزمقیاس شده‌اند، در حوضه بالادست رودخانه نیل بررسی شد. آن‌ها دریافتند که تحت اثر این شش مدل دمای بیشینه و کمینه و میانگین بارش برای دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت.

Shagega et al. (2020) در پژوهشی براساس مدل Had-CM3 تحت اثر سناریوی انتشار SRES A2 به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تانزانیا برای دو دوره (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) پرداخته و طبق نتایج به‌دست‌آمده بیشینه و کمینه دما افزایش یافته و هم‌چنین بارش در ماه‌های April, May June و July ۱۲-۳۷ درصد افزایش خواهد یافت و در بقیه ماه‌ها ۵۸-۳ درصد افزایش می‌یابد.

پژوهش‌گران مختلفی به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM پرداخته‌اند و نتایج نشان می‌دهد که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی نمودن دمای کمینه و دمای بیشینه نسبت به بارش، دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل SDSM است (Zoheyri et al., 2020). در پژوهش Tam et al. (2016) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG تحت سناریوی A1B به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر آبخوان ساحلی مرکزی ویتنام پرداخته شد. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که تا سال ۲۰۵۰ برای ماه‌های مرطوب اکتبر و دسامبر کاهش شدید تغذیه آب-های زیرزمینی رخ خواهد داد.

با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو^۷ (GCM)، پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی سیستم‌های مختلف از جمله کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و غیره انجام شده است. یکی از اصلی‌ترین مشکلات خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، شبکه‌هایی با قدرت تفکیک پایین است. در پژوهش‌های پیشین برای غلبه بر این مشکلات از روش ریزمقیاس‌نمایی جهت تبدیل شبکه‌ها و سطوح بزرگ مقیاس به سطوح محلی و منطقه‌ای استفاده شده است (Goodarzi et al., 2014).

۱). از دیدگاه ژئومورفولوژی به بخش‌های کوهستانی، تپه و دشت‌های هموار تقسیم می‌شود که از نظر زمین‌شناسی به‌طور عمده از رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. محدوده مورد مطالعه دارای مساحت تقریبی $6946/4$ کیلومتر مربع می‌باشد که مساحت مناطق دشت آن $1068/6$ کیلومتر مربع و مساحت ارتفاعات آن حدوداً $5877/8$ کیلومتر مربع است. این حوضه در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران جزئی از حوضه آبریز دریای مازندران به‌شمار رفته و از شمال به دریای مازندران، از غرب به حوضه بابل-آمل، از جنوب به حوضه آبریز کویر مرکزی و دریاچه نمک و از شرق به حوضه آبریز گرگان محدود می‌باشد. حداکثر ارتفاع محدوده 3836 متر و حداقل ارتفاع 26 - متر از سطح آزاد دریا می‌باشد (Nasiri et al., 2019).

به این‌که اثر پدیده تغییر اقلیم یکی از عوامل تشدیدکننده کمبود منابع آب زیرزمینی در مناطقی که این منابع تنها تأمین‌کننده آب موردنیاز برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشند، به‌شمار می‌رود. لذا نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند جهت مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح منابع آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی ساری-نکا به‌کار رود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این تحقیق، حوضه ساری-نکا در استان مازندران بوده که بین طول‌های جغرافیایی $52^{\circ} 43'$ تا $54^{\circ} 44'$ و $36^{\circ} 52'$ شمالی واقع شده است و بین دو رود دائمی تجن و نکا قرار گرفته است (شکل

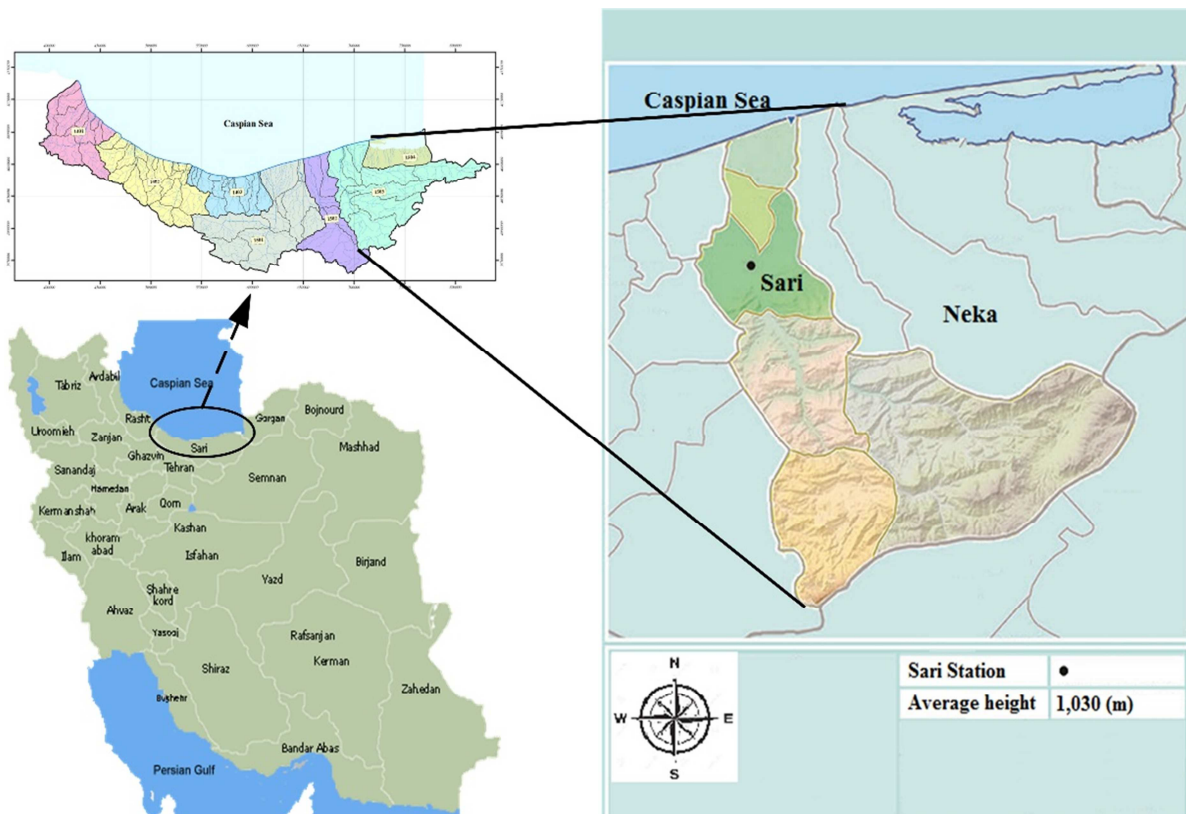


Figure 1. Study area

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

داده‌های مورد استفاده

در حوضه مورد مطالعه چهار ایستگاه هواشناسی واقع شده است. در پژوهش حاضر به دلیل نیاز به حداقل ۱۵ سال داده‌های سینوپتیک روزانه، تنها داده‌های ایستگاه ساری قابل استفاده بوده که شامل دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه، میانگین بارش روزانه و ساعات آفتابی است. عرض و طول جغرافیایی ایستگاه ساری به ترتیب برابر $33^{\circ} 36'$ و $53^{\circ} 01'$ بوده و در ارتفاع ۲۳ متری از سطح دریا قرار دارد.

تحلیل شیب روند دما و بارش با استفاده از آزمون‌های

ناپارامتریک Mann-Kendall & Sen's Slope

آزمون ناپارامتریک من-کندال که معمولاً جهت ارزیابی روند یکنواختی در سری زمانی داده‌های آب‌وهوایی به‌کار گرفته می‌شود، در این پژوهش برای داده‌های مشاهداتی ایستگاه ساری استفاده شد. در این آزمون فرض H_0 بودن به معنی عدم روند در داده‌ها و فرض H_1 نشان‌دهنده وجود روند در داده‌های سری‌های زمانی است و اگر مقدار Z مثبت باشد بیانگر روند صعودی و اگر Z منفی باشد بیانگر روند نزولی پارامترهای اقلیمی خواهد بود (Mann, 1945; Bagherpour *et al.*, 2017). برای وجود روند معناداری باید رابطه (۱) برقرار باشد.

$$|z| \geq \frac{za}{2} \quad (1)$$

در این معادله a همان سطح معناداری بوده که در این پژوهش در دو سطح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد بررسی شده است و مقادیر a برای هر دو سطح به ترتیب برابر ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است که برای $Z_{1/95}=1/96$ و برای $Z_{1/99}=2/57$ محاسبه می‌شود. در نهایت اگر رابطه بالا برقرار باشد بیانگر وجود روند بوده و فرض H_1 مورد قبول است. در غیر این صورت داده‌های بررسی شده دارای روند نبود و فرض H_0 تأیید خواهد شد. هم‌چنین برای دوره زمانی

۲۰۱۹-۲۰۰۰، میزان روند شیب (Q) متغیرهای این پژوهش با استفاده از روش ناپارامتریک Sen's Slope محاسبه شد.

مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار

مجموعه مدل‌های برون‌داد اقلیمی با هماهنگی بین سازمان‌های مختلف برای استانداردسازی طراحی مدل‌های گردش عمومی جو و توزیع مدل‌های شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار گرفته که به‌تازگی به‌عنوان عنصری اساسی در هدایت پژوهش‌های اقلیمی در سطح جهانی تبدیل شده است. هدف اصلی CMIP6 پاسخ به سه سؤال مهم چگونگی واکنش ساختار زمین به نیروهای مختلف در مورد منشأ و پیامد مدل‌های سازمان‌یافته، کمی‌سازی تغییرات آب‌وهوایی ارائه شده و عدم قطعیت سناریوها است. تعداد لایه‌های عمودی در تمام مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 بهبود یافته که یکی از این مزایای افزایش، شبیه‌سازی دقیق‌تر در استراتوسفر است و هم‌چنین تعداد سناریوهای آینده بررسی شده گسترش قابل توجهی یافته است. سناریوهای جدید اضافه‌شده در CMIP6 شامل SSP1-1.9، SSP4-3.4 و SSP3-7.0 بوده که چهار سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 نیز به‌روزشده سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 موجود در CMIP5 است (Su *et al.*, 2020; Gupta *et al.*, 2020). در این مطالعه ابتدا برون‌داد سه مدل اقلیمی CMIP6 از پایگاه داده‌ای Climate4impact دریافت شده و با استفاده از ArcGis10.8 اطلاعات منطقه موردنظر استخراج شد. مدل‌های استفاده شده ACCESS-CM2، HadGEM3- GC31-LL و NESM3 است که داده‌های بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل آن‌ها در دسترس بوده و هم‌چنین اطلاعات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در این

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$Coeff_m = \frac{Pr_m^{st}}{Pr_m^{cordex}} \quad (4)$$

در روابط بالا X_i و Y_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی برون‌داد مدل و مشاهداتی بوده و n تعداد داده‌های ورودی است. همچنین X_m و Y_m به ترتیب میانگین داده‌های مشاهداتی و برون‌داد مدل است. Pr_m^{st} شامل میانگین داده‌های بارش ماهانه ایستگاهی و Pr_m^{cordex} شامل میانگین داده‌های بارش ماهانه مدل می‌باشد. به این منظور داده‌های دوره پایه هر سه مدل که به‌عنوان داده تاریخی هم نام برده می‌شوند، با داده‌های پایه مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفت.

پژوهش از دو سناریو حد متوسط و بدبینانه به ترتیب SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شد که در جدول (۲) ویژگی‌های آن‌ها به اختصار بیان شده است. در پژوهش حاضر جهت صحت‌سنجی دما حداکثر و حداقل مدل‌های انتخاب‌شده CMIP6 طبق روابط (۲) و (۳) از ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده و برای بارش از نتایج صحت‌سنجی RMSE و RSME تصحیح شده استفاده شد. RSME تصحیح شده در یک ضریب اصلاحی طبق رابطه (۴) ضرب شده و سپس محاسبه خواهد شد. روابط اشاره‌شده در بالا به شرح زیر است (Salehnia, 2016):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m) \cdot (Y_i - Y_m)}{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2} \quad (2)$$

Table 1. List of CMIP6 models that have been used in this study (Priestley *et al.*, 2020)

Model name	Institution	Resolution	Processing	Simulated scenarios
ACCESS-CM2	CSIRO-ARCCSS; Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, and Bureau of Meteorology (Australia)	192*145	r1i1p1f1	SSP2-4.5 SSP5-8.5
HadGEM3-GC31-LL	MOHC; Met Office Hadley Center, United Kingdom	192*144	r1i1p1f1	SSP2-4.5 SSP5-8.5
NESM3	NUIST; Nanjing University of Information Science and Technology, China	192*96	r1i1p1f1	SSP2-4.5 SSP5-8.5

Table 2. Summary of assumptions regarding demographic and human development elements of SSP2 and SSP5 (O'Neill *et al.*, 2017)

SSP element	SSP2	SSP5
Technology Development	Medium, uneven	Rapid
Carbon intensity	Medium	High
Energy tech change	Some investment in renewables but continued reliance on fossil fuels	Directed toward fossil fuels; alternative sources not actively pursued
Economy & lifestyle		
Growth (per capita)	Medium, uneven	High
Globalization	Semi-open globalized economy	Strongly globalized, increasingly connected
Consumption & Diet	Material-intensive consumption, medium meat consumption	Materialism, status consumption, tourism, mobility, meat-rich diets
Policies & institutions		
International Cooperation	Relatively weak	Effective in pursuit of development goals, more limited for envt. goals
Environmental Policy	Concern for local pollutants but only moderate success in implementation	Focus on local environment with obvious benefits to well-being, little concern with global problems
Policy orientation	Weak focus on sustainability	Toward development, free markets, human capita

ریز‌مقیاس‌سازی

در سیستم‌های هیدرولوژیکی چندین رویکرد جهت ارزیابی اقلیم‌های جهانی پیش‌بینی شده و به‌منظور ریزمقیاس‌سازی سناریوهای اقلیمی مختلف به‌کار گرفته شده‌اند. در پژوهش Murphy (1998) به این موضوع اشاره شده است که ریزمقیاس‌سازی می‌تواند به دو بخش اصلی تقسیم شود؛ دینامیکی و استاتیکی. همچنین روش‌های ریزمقیاس‌سازی بر پایه چندین سناریو مدل گردش عمومی جو و هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC می‌باشد. GCM اصلی‌ترین ابزاری است که در پروژه تأثیرات انتشار بر روی اقلیم آینده کاربرد دارد. این اطلاعات را در مقیاس ۵۰۰-۱۰۰ کیلومتری برای یک اندازه شبکه و مقیاس زمانی از میانگین ماهانه و طولانی‌تر ارائه می‌دهد. از روش ریزمقیاس‌سازی برای به-دست‌آوردن اطلاعات مرتبط با ایستگاه استفاده شده است. در مطالعه Majumder & Roy (2016) اشاره شده است که IPCC سناریوهای مختلف تغییر اقلیم را ارائه می‌دهد و تلاش می‌کند نتیجه این تغییرات را در پدیده‌های مختلف طبیعی مرتبط پیش‌بینی کند. پایه این سناریوها براساس آلودگی، تغییرات کاربری زمین، جمعیت و تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر این فعالیت‌ها است. مدل LARS-WG یک مولد هواشناسی تصادفی است که برای تولید یک سری داده‌های بلندمدت هواشناسی در دو دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و (۲۱۰۰-۲۰۸۱) استفاده شد. علاوه بر این برای مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی طراحی شده است. همچنین برای مناطق مختلف جهان مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج نشان می‌دهد که این مدل قادر است پارامترهای آب‌وهوایی را با دقت مناسبی شبیه‌سازی کند. برای ساخت سناریوی تغییر اقلیم AOGCM^۶ از روش تغییر عامل دلتا (DCF) استفاده شد. در این روش اختلاف دمای حداکثر و حداقل و نسبت بارش دوره‌های

آینده و پایه مدل منطقه مدنظر طبق روابط (۵)، (۶) و (۷) محاسبه می‌شود که در این پژوهش دوره پایه (۲۰۱۹-۲۰۰۰) و دوره آینده شامل (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و (۲۱۰۰-۲۰۸۱) است (Semenov & Barrow, 1997).

$$\Delta P_i = \bar{P}_{GCM,FUT,i} / \bar{P}_{GCM,Base,i} \quad (5)$$

$$\Delta T_{i,Min} = \bar{T}_{Min}(GCM,FUT,i) - \bar{T}_{Min}(GCM,Base,i) \quad (6)$$

$$\Delta T_{i,Max} = \bar{T}_{Max}(GCM,FUT,i) - \bar{T}_{Max}(GCM,Base,i) \quad (7)$$

در روابط بالا، ΔP_i ، $\Delta T_{i,Min}$ و $\Delta T_{i,Max}$ به ترتیب سناریوهای تغییر اقلیم بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر برای هر ماه هستند. $\bar{P}_{GCM,FUT,i}$ میانگین ماهانه بیست سال بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AOGCM برای دوره آینده بوده (در این پژوهش دوره آتی ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ است) و $\bar{P}_{GCM,Base,i}$ میانگین ماهانه ۱۹ سال بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AOGCM برای دوره پایه بوده (که در این مطالعه دوره پایه ۲۰۱۹-۲۰۰۰ است). توضیحات ذکر شده برای دمای حداقل و حداکثر نیز صحیح می‌باشد.

رویکرد مدل LARS-WG

در این مطالعه از جدیدترین مدل LARS-WG6 استفاده شده است. LARS-WG به‌عنوان یک مولد آب و هواشناسی می‌تواند عوامل آب‌وهوایی روزانه را برای هر مدت زمان براساس مجموعه‌ای از چهارچوب‌های توزیع نیمه‌تجربی شبیه‌سازی کند. این مدل از یک هیستوگرام همراه با ۲۳ بازه برای توصیف توزیع طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه، حداکثر دما و حداقل دما استفاده می‌کند (Semenov & Barrow, 1997). داده‌های اقلیمی تولید شده به‌صورت مقادیر تصادفی از توزیع‌های نیمه‌تجربی مربوطه تولید شده که با انتخاب یک بازه و سپس انتخاب مقداری در آن بازه از توزیع یکنواخت، انتخاب می‌شوند. برای تولید داده‌های اقلیمی در مدل LARS-WG و ریزمقیاس‌کردن داده‌های

توزیع فصلی سری خشک و تر، توزیع بارش روزانه، توزیع دمای کمینه و توزیع دمای بیشینه روزانه انجام شد. در آزمون t برای تعیین این که آیا سری مشاهده شده و تولید شده در سه مورد میانگین بارش ماهانه، میانگین ماهانه از حداکثر دمای روزانه و میانگین ماهانه از حداقل دمای روزانه نسبت به همدیگر تفاوت معناداری دارند، انجام شد. همچنین واریانس ماهانه بارش از سری مشاهده شده و تولید شده از طریق آزمون F مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

در مرحله نخست، به منظور تعیین بهترین مدل جهت بررسی تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه، عملکرد مدل‌های ACCESS-CM2 و HadGEM3-GC31-LL، NESM3 نسبت به داده‌های مشاهداتی با دو معیار ضریب تعیین R^2 و خطای RMSE برای پارامترهای دمای حداکثر و حداقل، و برای پارامتر بارش خطای RMSE و RMSE تصحیح شده مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳)، مدل ACCESS-CM2 در دمای حداقل و حداکثر دارای کمترین RMSE بوده و همچنین برای بارش مدل ACCESS-CM2 در هر دو آزمون آماری بهترین عملکرد را دارد و حاکی از توانمندی این مدل برای شبیه‌سازی منطقه مورد نظر است. بنابراین این مدل به دلیل عملکرد بهتر نسبت به مدل‌های دیگر، جهت بررسی تغییرات آب‌وهوایی در ادامه مراحل پژوهش انتخاب شد.

GCM برای دوره‌های آبی دو فایل ساخته شده که فایل اول شامل توصیف رفتار اقلیمی در گذشته است و دیگری فایل سناریوهای تغییر اقلیمی است. در این پژوهش در گام اول مدل را واسنجی کرده سپس با استفاده از آزمون‌های آماری و مقایسه نمودارها جهت آزمایش اعتبار مدل، صحت‌سنجی انجام می‌شود.

صحت‌سنجی مدل

طی فرایند صحت‌سنجی علاوه بر استخراج پارامترهای آماری، ویژگی‌های آماری داده‌های اقلیمی تولید شده و مشاهده شده نظیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه جهت تعیین کارایی LARS-WG مورد بررسی قرار گرفته شد. صحت‌سنجی LARS-WG به دو روش انجام پذیر است، در روش اول داده‌های آماری را به دو بخش مساوی تبدیل کرده؛ با استفاده از بخش اول بدون هیچ سناریویی داده‌های اقلیمی تولید شده و سپس با بخش دوم صحت‌سنجی خواهد شد. در روش دوم با استفاده از روش‌های آماری از قبیل F-test، t-student و Kolomogrov-Smirnov می‌توان عملکرد فایل *.tst تولید شده توسط LARS-WG را مورد ارزیابی قرار داد. در این روش‌های آماری مقادیر میانگین، انحراف معیار و توزیع داده‌های تولید شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. آزمون Kolomogrov-Smirnov (k-s) برای مقایسه سازگاری سری مشاهده شده و تولید شده در چهار مورد از جمله،

Table 3. Statistical comparison of AOGCM models to select the best model

Statistical test	Models AOGCM		
	Maximum temperature		
	ACCESS-CM2	HadGEM3-GC31-LL	NESM3
R^2	0.97	0.96	0.98
RMSE (°C)	4.09	6.32	5.19
	Minimum temperature		
	ACCESS-CM2	HadGEM3-GC31-LL	NESM3
R^2	0.98	0.95	0.98
RMSE (°C)	5.55	8.38	5.75
	precipitation		
	ACCESS-CM2	HadGEM3-GC31-LL	NESM3
RMSE (mm)	8.62	24.94	10.42
RMSE Corrected (mm)	2.29	2.51	2.70

صحت‌سنجی LARS-WG

با استفاده از عملکرد "Site Analysis" مدل LARS-WG و دو مجموعه داده که شامل مقادیر مشاهداتی روزانه و اطلاعات جغرافیایی ایستگاه مطالعاتی است. هم‌زمان واسنجی و صحت‌سنجی مدل انجام شد. برای تأیید عملکرد LARS-WG علاوه بر مقایسه‌های گرافیکی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طی صحت‌سنجی، از آزمون‌های آماری K-S، t و F استفاده شد. از آزمون K-S برای آزمایش برابری توزیع‌های فصلی تر و خشک، توزیع روزانه بارندگی و توزیع روزانه دمای حداقل و حداکثر انجام شد. آزمون F برای آزمایش برابری انحراف معیار ماهانه بارش صورت گرفت. در حالی که آزمون t برای بررسی برابری میانگین بارندگی ماهانه، میانگین ماهانه دمای حداکثر و حداقل روزانه انجام شد. در همه آزمون‌ها مقدار P-values محاسبه شده و نشان‌دهنده عدم اختلاف معناداری بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با سطح احتمال ۵ درصد است. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی ماهانه دارای سازگاری قابل قبول بین سری شبیه‌سازی شده و سری مشاهداتی بوده، اما همین نتایج در مقیاس روزانه دارای خطا بوده و قابل اعتماد نیست و همچنین بیش‌ترین مقدار خطا مربوط به بارش شبیه‌سازی شده ماه ژانویه می‌باشد. بیش‌تر بودن مقدار خطای بارش نسبت به دو پارامتر

دیگر می‌تواند به علت تغییرپذیری زیاد بارش باشد (Hajjarpour et al., 2014; Rasouli et al., 2014). با توجه به نتایج حاصل از مدل، دمای حداکثر بهتر، از دو پارامتر دیگر شبیه‌سازی شده است و دارای دقت بالاتری است. در جدول (۴) مقایسه آماری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی پارامترهای اقلیمی ارائه شده است. نتایج کلی شاخص‌های آماری، پاسخ قابل‌قبولی از ارزیابی مدل ACCESS-CM2 نشان داده‌اند.

آزمون‌های ناپارامتریک Mann-Kendall & Sen's Slope

در جدول (۵) نتایج مربوط به آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن آورده شده است. نتایج آزمون من-کندال برای دمای بیشینه نشان می‌دهد که فقط دو ماه می و جون دارای سطح معناداری ۹۹ درصد و وجود روند است و در بقیه ماه‌های سال فرض H_0 مورد تأیید است. برای دمای کمینه در سه ماه می تا جولای در سطح معناداری ۹۹ درصد دارای روند بوده، اما در ماه جون در سطح ۹۵ درصد دارای روند است و در بقیه ماه‌های سال همانند دمای بیشینه بود. در بارش فقط در ماه می سطح معنی‌داری ۹۹ درصد رخ داد و سایر ماه‌ها بدون روند هستند. شیب سن سالانه دمای بیشینه و کمینه نشان از صعودی بودن روند است و باوجود نبودن روند معنی‌دار در بارش، روند شیب سن کاهش می‌یابد.

Table 4. K-S test daily distribution of observational and simulated data

Month	Minimum temperature			Maximum temperature			Precipitation		
	Evaluation	K-S	P-value	Evaluation	K-S	P-value	Evaluation	K-S	P-value
January	*	0.053	1.000	*	0.106	0.999	*	0.204	0.673
February	*	0.105	0.999	*	0.053	1.000	*	0.048	1.000
march	*	0.053	1.000	*	0.053	1.000	*	0.080	1.000
April	*	0.053	1.000	*	0.000	1.000	*	0.059	1.000
May	*	0.053	1.000	*	0.053	1.000	*	0.063	1.000
June	*	0.105	0.999	*	0.106	0.999	*	0.104	0.999
July	*	0.053	1.000	*	0.053	1.000	*	0.045	1.000
August	*	0.053	1.000	*	0.106	0.999	*	0.050	1.000
September	*	0.105	0.999	*	0.053	1.000	*	0.029	1.000
October	*	0.106	0.999	*	0.053	1.000	*	0.052	1.000
November	*	0.053	1.000	*	0.053	1.000	*	0.072	1.000
December	*	0.053	1.000	*	0.053	1.000	*	0.077	1.000

*: not statistically significant

Table 5. Values of Mann-Kendall and Sen's slope tests in the analysis of climatic observational data in the period (2000-2019)

Month		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Annual
Maximum temperature	Q	0.067	-0.086	0.017	-0.029	0.202	0.194	0.113	0.094	0.088	-0.042	-0.054	0.067	0.045
	Z	1.59	-1.20	0.23	-0.29	3.54	3.08	1.91	1.27	1.33	-0.49	-0.81	-0.75	2.04
	Trend	*	*	*	*	***	***	*	*	*	*	*	*	**
Minimum temperature	Q	0.049	0.016	0.037	-0.03	0.126	0.111	0.097	0.008	0.008	-0.04	-0.051	0.019	0.017
	Z	1.01	0.32	0.75	-0.62	3.15	2.43	2.76	0.29	0.16	-0.55	-0.88	0.29	1.46
	Trend	*	*	*	*	***	**	***	*	*	*	*	*	*
precipitation	Q	1.977	0.994	0.343	1.054	-2.986	-0.965	0.573	-0.297	-0.066	1.439	-5.373	-2.186	-4.919
	Z	1.14	0.55	0.16	0.94	-3.73	-1.27	1.07	-0.71	0.01	0.68	-1.46	-1.72	-0.49
	Trend	*	*	*	*	***	*	*	*	*	*	*	*	*

*: No trend **: significant trend at 95 percent ***: significant trend at 99 percent

سناریوی SSP2-4.5

کوهستانی حوضه مورد پژوهش را تسریع بخشد. هم‌چنین در پژوهش Ramezanipour (2018) براساس گزارش چهارم IPCC برای آبخوان‌های غرب مازندران، نتایج نشان داد میانگین دما افزایش یافته است.

نتایج بارش شبیه‌سازی شده در سناریو SSP2-4.5 در جدول (۷) و شکل (۲) نشان داده شده است. میانگین بارش ماهانه به‌طور کلی بجز در دو ماه سپتامبر و اکتبر برای دهه ۲۰۵۰ روند صعودی داشته و بیش‌ترین تغییر در میزان بارش نسبت به دوره پایه در هر دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ مربوط به ماه مارچ به مقدار ۴۰/۹۵ و ۳۸/۷۸ میلی‌متر می‌باشد. در این سناریو میانگین بارش ماهانه در دهه ۲۰۹۰ (به‌جز ماه‌های ژانویه، فوریه و اکتبر) نسبت به دهه ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است میزان بارش در دهه ۲۰۹۰ نسبت به دهه ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت. در پژوهش Tam et al. (2016) بیان شده است که در مناطق ساحلی به‌دلیل تغییرات آب‌وهوایی جهانی شاهد افزایش بارش در این مناطق هستیم که باعث تغذیه آبخوان‌های ساحلی شده و ممکن است اثر افزایش سطح آب دریاها و پیشروی آب شور دریا به سمت آب شیرین سفره‌های زیرزمینی را کاهش دهد. همان‌طور که نتایج نشان داد برای این ایستگاه مورد مطالعه هم افزایش بارش رخ داده است.

در جدول‌های (۶) و (۷) نتایج شبیه‌سازی شده پارامترهای اقلیمی تحت سناریوی SSP2-4.5 و داده‌های مشاهداتی دوره پایه (۲۰۰۰-۲۰۱۹) آورده شده است. در جدول (۶) اطلاعات مرتبط با میانگین تغییرات ماهانه دمای حداکثر برای هر دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ نشان داده شده که این نتایج روند افزایشی دمای حداکثر را تحت سناریو SSP2-4.5 نشان می‌دهد. برای دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ بیش‌ترین افزایش دما مربوط به ماه آوریل بوده که به‌ترتیب مقادیر ۲/۱۳ و ۳/۴۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین برای هر دو دوره، میانگین افزایش دما در فصل پاییز (اکتبر، نوامبر و دسامبر) بیش‌تر از سایر فصل‌ها است.

برای میانگین تغییرات دمای حداقل که در جدول (۶) نشان داده شده است، بیش‌ترین افزایش دما برای دهه ۲۰۵۰ با اختلاف بسیار کم نسبت به ماه آوریل، در ماه نوامبر با ۱/۶۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه محاسبه شده است و برای دهه ۲۰۹۰ بیش‌ترین افزایش دما در ماه آوریل با ۲/۹۶ درجه سانتی‌گراد شبیه‌سازی شد. هم‌چنین کم‌ترین تغییرات دمایی برای دمای حداکثر و حداقل، در دهه ۲۰۵۰ در ماه جون و در دهه ۲۰۹۰ در ماه ژانویه رخ داده است. افزایش دما می‌تواند زمان ذوب‌شدن برف‌های مناطق

Table 6. Comparison of average monthly maximum and minimum temperature changes in the future under SSP2-4.5 scenario (° C)

Month	Maximum temperature			Minimum temperature		
	Base period 2000-2019	ACCESS-CM2		Base period 2000-2019	ACCESS-CM2	
		2041-2060	2081-2100		2041-2060	2081-2100
January	13.66	14.80	15.53	3.77	5.00	5.74
February	13.71	14.90	15.86	4.55	5.70	6.66
march	17.21	18.08	19.48	7.61	8.90	10.27
April	21.05	23.18	24.49	11.32	12.98	14.29
May	26.32	27.27	28.57	16.70	17.82	19.14
June	30.09	30.78	32.23	20.97	21.78	23.23
July	32.06	33.33	34.66	23.35	24.59	25.98
August	33.08	33.95	35.20	23.42	24.78	25.94
September	29.82	30.79	32.15	20.89	22.23	23.61
October	25.14	26.34	27.41	15.59	16.89	17.99
November	19.05	20.62	21.57	9.44	11.11	12.06
December	15.09	16.42	17.39	5.40	6.86	7.85

Table 7. Comparison of average monthly changes in future precipitation under SSP2-4.5 scenario (mm)

Month	Base period 2000-2019	ACCESS-CM2	
		2041-2060	2081-2100
January	71.31	100.76	105.12
February	67.54	91.67	94.65
march	82.95	123.90	121.73
April	47.17	55.82	53.13
May	29.05	36.53	33.61
June	26.54	38.48	36.69
July	26.21	31.50	29.61
August	33.84	70.09	60.38
September	64.63	59.01	56.01
October	107.80	99.63	111.52
November	114.10	131.48	124.94
December	79.97	116.56	112.01

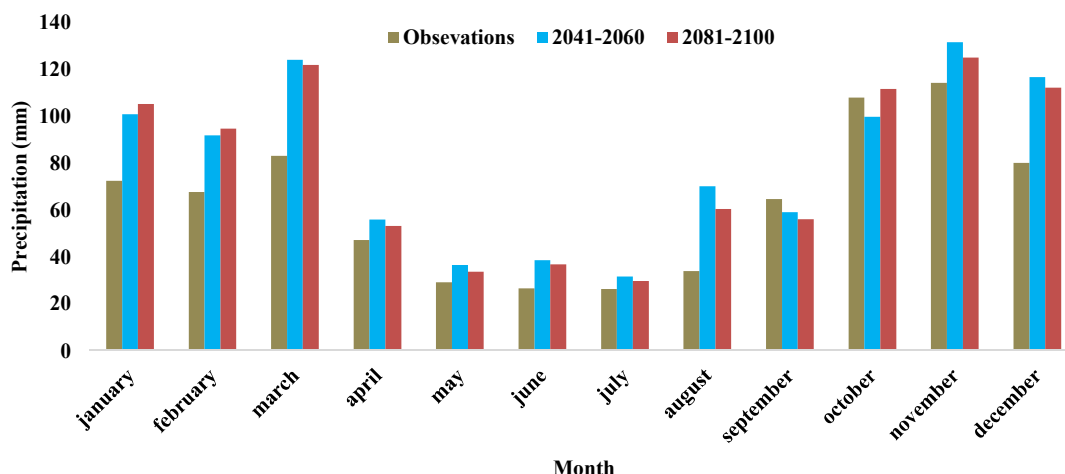


Figure 2. Comparison of monthly precipitation of Sari station based on SSP2-4.5 scenario in two periods

بیش‌تری را نسبت به سناریو SSP2-4.5 به ثبت رساند. در این سناریو در تمام ماه‌های سال افزایش دما نسبت به دوره پایه محاسبه شده است. بیش‌ترین افزایش دما در

سناریو SSP5-8.5
سناریو SSP5-8.5 که به سناریو بدبینانه شناخته می‌شود. همان‌طور که انتظار می‌رفت افزایش دمای

میلی متر می‌باشد. نتایج تغییرات بارش تحت سناریوی SSP5-8.5 در جدول (۹) آورده شده است.

طبق نتایج، شاهد افزایش بارش در هر دو سناریو مشاهده شد، اما باید توجه نمود که بارش بیش‌تر همیشه به معنای تغذیه بیش‌تر آب‌های زیرزمینی و افزایش ذخیره آب زیرزمینی نیست. در حقیقت تنوع و الگوی بارش و هم‌چنین ویژگی‌های زمین و آبخوان نیز نقش بسیار مهمی در این فرایندهای هیدرولوژیکی دارند (Tam et al., 2016). هم‌چنین در IPCC (2011) بیان شده است که افزایش دما باعث تشدید چرخه آب زمین و افزایش تبخیر می‌شود. افزایش تبخیر منجر به ایجاد طوفان‌های مکرر و شدیدتر می‌شود و هم‌چنین می‌تواند منجر شود که مناطق مرطوب، مرطوب‌تر شده و مناطق خشک، خشک‌تر شوند.

میانگین تغییرات ماهانه دمای حداکثر برای دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ به ترتیب برای ماه‌های آوریل و نوامبر محاسبه شد که در جدول (۸) نشان داده شده است. هم‌چنین کم‌ترین تغییرات دمایی در دوره اول در ماه آوریل با ۱/۲۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و در دوره دوم با ۳/۴۲ درجه سانتی‌گراد در ماه مارچ می‌باشد. بیش‌ترین دمای محاسبه‌شده در دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ برای میانگین دمای حداقل ماهانه به ترتیب ۲/۵۰ و ۴/۸۲ درجه سانتی‌گراد در ماه آوریل می‌باشد. هم‌چنین برای هر دو دوره، افزایش دما در فصل پاییز بیش‌تر از فصل‌های دیگر است. مشابه با سناریوی SSP2-4.5، در این سناریو هم میانگین بارش ماهانه افزایش می‌یابد و بیش‌ترین میزان بارش برای در دهه ۲۰۵۰ در ماه دسامبر به میزان ۳۹/۶۲ میلی‌متر رخ خواهد داد و برای دهه ۲۰۹۰ در ماه مارچ به مقدار ۶۴/۹۵

Table 8. Comparison of average monthly maximum and minimum temperature changes in the future under SSP5-8.5 scenario (° C)

Month	Maximum temperature				Minimum temperature	
	Base period 2000-2019	ACCESS-CM2		Base period 2000-2019	ACCESS-CM2	
		2041-2060	2081-2100		2041-2060	2081-2100
January	13.66	14.91	17.50	3.77	5.11	7.70
February	13.71	15.14	17.59	4.55	5.94	8.40
march	17.21	18.62	20.63	7.61	9.41	11.45
April	21.05	23.69	25.66	11.32	13.48	15.44
May	26.32	27.78	30.00	16.70	18.35	20.55
June	30.09	31.47	33.60	20.97	22.47	24.59
July	32.06	34.20	36.33	23.35	25.48	27.55
August	33.08	34.89	37.29	23.42	25.73	28.13
September	29.82	31.66	34.18	20.89	23.10	25.63
October	25.14	27.15	29.53	15.59	17.70	20.07
November	19.05	21.41	23.77	9.44	11.94	14.26
December	15.09	16.93	19.45	5.40	7.38	9.90

Table 9. Comparison of average monthly changes in future precipitation under SSP5-8.5 scenario (mm)

Month	Base period 2000-2019	ACCESS-CM2	
		2081-2100	2041-2060
January	71.31	22/114	84/105
February	67.54	74/106	02/93
march	82.95	90/147	98/119
April	47.17	34/63	49/52
May	29.05	25/37	25/32
June	26.54	17/41	18/33
July	26.21	90/32	68/26
August	33.84	55/61	04/60
September	64.63	12/52	46/58
October	107.80	23/103	95/115
November	114.10	26/143	41/133
December	79.97	33/125	59/119

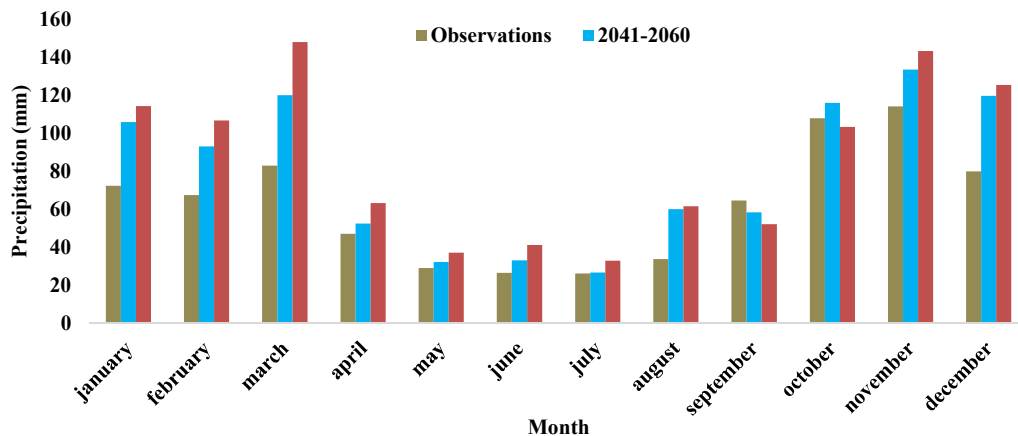


Figure 3. Comparison of monthly precipitation of Sari station based on SSP5-8.5 scenario in two periods

بارش همیشه به معنای افزایش میزان دسترسی به منابع آبی نبوده زیرا با افزایش مقدار بارش، دما هم افزایش یافته که این مسأله می‌تواند بر تبخیر بیش‌تر آب‌های سطحی یا کاهش رطوبت خاک تأثیرگذار باشد. نتایج این یافته‌ها نشان می‌دهد که درک تأثیرات تغییر آب‌وهوایی بر منابع آب زیرزمینی و به‌طور خاص در آبخوان‌های ساحلی برای مدیریت منابع آب بسیار قابل اهمیت است که این یافته‌ها از چند طریق قادر است به شناخت ما از تغییرات اقلیمی کمک کند و همچنین زمینه تحقیقات بیش‌تر را فراهم آورد. با توجه به وابستگی شدید اقتصاد منطقه مورد نظر به کشاورزی، با بهره‌گیری از این مطالعات می‌توان میزان حساسیت سفره‌های آب زیرزمینی به تغییرات آب‌وهوایی را ارزیابی کرد و دانش سیاست‌گذاران را برای انتخاب راه‌حل‌های مناسب جهت مدیریت بهره‌برداری صحیح منابع آب زیرزمینی و رواناب‌های سطحی افزایش دهد.

پی‌نوشت‌ها

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Estuary
3. Long Ashton Research Station-Weather Generator
4. General Circulation Method
5. Shared Socio-economic Pathways
6. Coupled Model Intercomparison Project Phase 6
7. Atmosphere-Ocean General Circulation Model

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ششم IPCC تدوین شده و تطابق‌پذیری مناسب‌تری با شرایط اقلیمی کره زمین دارد استفاده شد. برای رسیدن به این هدف از یکی از پرکاربردترین مدل‌های ریزمقیاس‌سازی (LARS-WG) استفاده گردید و از بین سه مدل AOGCM که تا لحظه نگارش این پژوهش هر سه داده‌های دمای حداقل و حداکثر و بارش آن‌ها در هر دو سناریوی انتشار SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بر روی پایگاه‌های اطلاعاتی قرار داشت استفاده شد و با به‌کار بردن آزمون‌های آماری نشان داده شد که مدل ACCESS-CM2 بیش‌ترین تناسب را با داده‌های مشاهداتی دارد و عملکرد آن برای دوره پایه (۲۰۰۰-۲۰۱۹) توسط LARS-WG صحت‌سنجی شد و نسبت به مدل‌های دیگر کم‌ترین RMSE را به ثبت رساند که نشان از عملکرد مناسب مدل داشت. از مدل ACCESS-CM2 برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه تحت دو سناریو انتشار SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دو دوره (۲۰۶۰-۲۰۸۱) و (۲۰۸۱-۲۱۰۰) استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین تغییرات دمایی از ۱/۱۶ تا ۴/۰۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و میانگین میزان بارش سالانه نیز از ۲۴ درصد تا ۳۶ درصد بیش‌تر می‌شود. افزایش

of Watersheds to Climate Change Assessed by Neural Network and Analytical Hierarchy Process (1st ed.). Singapore: Springer

11. Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
12. Mao, X., Enot, P., Barry, D.A., Li, L., Binley, A., & Jeng, D. Sh. (2006). Tidal Influence on Behaviour of a Coastal Aquifer Adjacent to a Low-Relief Estuary. *Journal of Hydrology*, 327(1-2), 110-127.
13. Mekonnen, D. F., & Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
14. Murphy, J. (1998). An Evaluation of Statistical and Dynamical Techniques for Downscaling Local Climate. *Journal of Climate*, 12(8), 2256-2284.
15. Nasiri, M., Hamidi, M., & Kardan Moghadam, H. (2019). Evaluating the effect of supplying drinking water and agriculture water of Sari-Neka aquifer on the salinity movement with the utilization of Gelvard dam. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9(2), 71-88. (In Persian).
16. Nasiri, M., Kardan Moghadam, H., & Hamidi, M. (2020). A hybrid approach with SWARA and COPRAS methods in ranking management strategies to control seawater intrusion in coastal aquifers. *Water and Irrigation Management*, 10(3) 365-379. (In Persian).
17. O'Neill, B., Kriegler, E., Ebi, K., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D., Van Ruijven, B., Van Vuuren, D., Birkmann, J., Kok, K., Levy., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42(1), 169-180.
18. Priestley, M. D., Ackerley, D. Catto, J. L., Hodges, K. I., McDonald, R. E., & Lee, R. W. (2020). An Overview of the Extratropical Storm Tracks in CMIP6 Historical Simulations. *Journal of Climate*, 33(15), 6315-6343.
19. Ramezanipour, M. (2018). Predicting climate change for three decades case study: Maz&aran. *Physical Geography Quarterly*, 11(39), 115-130. (In Persian).
20. Rasouli, A. A., Rezaeibanafsheh, M., Msah Bovany, AR., Khorshiddoust, A. M., & Qermzcheshmeh, B. (2014). Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Accuracy of LARS-WG Model. *Journal of Science and Watershed Engineering*, 8(24), 9-18. (In Persian).

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Ansarifar, M. M., Salarijazi, M., Ghorbani, KH., & Kaboli, A.R. (2019). Simulation of groundwater level in a coastal aquifer. *Marine Georesources and Geotechnology*, 38(3), 257-265.
2. Bagherpour, M., Seyed, M., Fathabadi, A., & Mohamadi, A. (2017). Study of Mann-Kendall Test Performance in Detecting the Series of Autocorrelation. *Journal of Watershed Management Science*, 11(36), 11-21. (In Persian).
3. Carneiro, J. F., Boughriba, M., Correia, A., Zarhloule, Y., Rimi, A., & Houadi, B. E. (2010). Evaluation of climate change effects in a coastal aquifer in Morocco using a density-dependent numerical model. *Environmental Earth Sciences*, 61(1), 241-252.
4. Goodarzi, E., Massah Bavani, A., Dastorani, M., & Talebi, A. (2014). Evaluating effect of downscaling methods; change-factor and LARS-WG on surface runoff (A case study of Azam-Harat River basin, Iran). *Desert*, 19(2), 99-109.
5. Gupta, V., Singh, V., & Jain, M.K. (2020). Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, 590(1), 125422.
6. Hajjarpour, A., Yousefi, M., & Kamkar, B. (2014). Precision test of simulators LARS-WG WeatherMan and CLIMGEN in three different climates simulated (Gorgan, Gonbad & Mashhad). *Geography and Development*, 12(35), 201-216. (In Persian).
7. Hamidi, M., & Sabbagh-Yazdi, S. R. (2008) Modeling of 2D density-dependent flow and transport in porous media using finite volume method. *Computers and Fluids*, 37(8), 1047-1055.
8. Hamidi, M., Reza, S., & Yazdi, S. (2006). Numerical modeling of seawater intrusion in coastal aquifer using finite volume unstructured mesh method. *WSEAS Transactions on Mathematics*, 5(6), 648.
9. Maddah, H.A. (2016). Modeling the Relation between Carbon Dioxide Emissions and Sea Level Rise for the Determination of Future (2100) Sea Level. *American Journal of Environmental Engineering*, 6(2), 52-61.
10. Majumder, M., & Roy, U. (2016) *Vulnerability*

21. Razack, M., Jallidin, M., & Houmed-Gaba, A. (2019). Simulation of Climate Change Impact on A Coastal Aquifer under Arid Climate. The Tadjourah Aquifer (Republic of Djibouti, Horn of Africa). *Water*, 11(11), 2347.
22. Salehnia, N. (2016). *Developing a drought monitoring and predicting system under climate change scenarios by a combination of meteorological, gridded data set and numerical model outputs in the Kashafrood Basin. Ph. D. dissertation, University of Ferdowsi, Mashhad* (In Persian).
23. Semenov, M. A., & Barrow, E. M. (1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, 34(1), 397-414.
24. Shagega, F. P., Munishi, S. E., & Kongo, V. M. (2020). Assessment of potential impacts of climate change on water resources in Ngerengere catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 116(1),
25. Su, Buda., Huang, J., Mondal, S. K., Zhai, J., Wang, Yanjun., Wen, Shanshan., Gao, Miaoni., Yanran, Lv., Jiang, Shan., Jiang, Tong., & Aiwei, L. (2020). Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in china. *Atmospheric Research*, 250(1)
26. Su-Yuan, L., Li-Juan, M., Zhi-Hong, J., Guo-Jie, W., Raj, G. K., Jing, ZH., Hui, ZH., Ke, F., Yu, H., & Chun, L. (2020). Projected drought conditions in Northwest China with CMIP6 models under combined SSPs and RCPs for 2015-2099. *Advances in Climate Change Research*, 11(3), 210-217
27. Tam, V. T., Batelaan, O., & Beyen, I. (2016). Impact assessment of climate change on a coastal groundwater system, Central Vietnam. *Environmental Earth Sciences*, 75(1), 908.
28. Tayebiyani, A., Mohammad, T. A., Malakotian, M., Nasiri, A., Heidari, M.A., & Yazdanpanah, Gh. (2019). Potential impact of global warming on river runoff coming to Jor reservoir, Malaysia by integration of LARS-WG with artificial neural network. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 6(2), 130-149.
29. Zoheyri, Z., Ghazavi, R., Omidvar, E., & Davudirad, A. (2020). Comparison of LARS-WG and SDSM Downscaling Models for Prediction Temperature and Precipitation Changes under RCP Scenarios. *Arid Regions Geographic Studies*, 10(40), 39-52. (In Persian).