

Modeling future changes in climate parameters of precipitation and temperature in Semirom Watershed

Maryam Asadi^{ID} | Arash Malekian*^{ID} | Ali Salajegheh^{ID}

Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
E-mail: malekian@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 12 Mar. 2020

Revised: 1 May. 2020

Accepted: 1 Jul. 2020

Published online: 21 Nov. 2023

Keywords:

Downscaling,

Climate change,

Emission scenarios,

Semirom.

Abstract

GCM models are widely used to assess climate change on a global scale, but the outputs of these models are not sufficient or accurate enough to assess climate change at local and regional levels. Therefore, this study utilized the SDSM model to micro-scale the CanESM2 model data and determine the climate conditions of the Semirom region. Three scenarios, namely RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5, were considered for the period from 2020 to 2100. The results of model evaluation, based on the NCEP database, demonstrated that the model provided more accurate estimations and predictions for temperature data, particularly mean temperature. The mean correlation coefficients for precipitation, mean temperature, maximum temperature, and minimum temperature were 0.52, 0.88, 0.80, and 0.70, respectively. The estimation results for precipitation variations across different scenarios predicted a decrease ranging from 7.24% to 18.55% during the period from 2020 to 2100, compared to the baseline period of 1980-2005. Additionally, changes in precipitation patterns were observed. Among the scenarios, the RCP2.6 scenario, being the most optimistic, predicted the lowest rainfall, while the RCP8.5 scenario indicated the highest reduction in rainfall. The examination of predicted changes in temperature revealed an increase in mean, minimum, and maximum temperatures, with a maximum increase of 1.04°C, 1.61°C, and 1.75°C, respectively, during the period from 2020 to 2100. Comparing the scenarios, the RCP2.6 scenario showed the lowest temperature increase, while the RCP8.5 scenario predicted the highest increase compared to the baseline period.

Cite this article: Asadi, M., Malekian, A., Salajegheh, A. (2023). Modeling future changes in climate parameters of precipitation and temperature in Semirom Watershed. *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (3), 271-286.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2020.299362.1478>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

مدلسازی تغییرات آبی پارامترهای اقلیمی بارش و دما در حوزه آبخیز سمیرم

مریم اسدی | آرش ملکیان | علی سلاجقه

گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

رایانامه: malekian@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

کلیدواژه‌ها:

ریزمقیاس‌سازی،

سناریوهای انتشار،

تغییر اقلیم،

سمیرم.

در مدل‌های GCM به طور وسیع برای ارزیابی تغییر اقلیم در یک مقیاس جهانی استفاده می‌شود؛ اما خروجی این مدل‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در سطح محلی و منطقه‌ای کافی و دقیق نیست. لذا در این مطالعه از مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌سازی داده‌های مدل CanESM2 استفاده شد و شرایط اقلیمی منطقه سمیرم بر مبنای سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی مدل بر مبنای داده‌های NCEP نشان داد که مدل در ارزیابی و پیش‌بینی داده‌های دما به خصوص دمای میانگین از دقت بالاتری برخوردار بوده است. مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارندگی GCMها در دوره پایه (۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵) بر اساس متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP نشان داد که میانگین همبستگی داده‌های بارش ۰/۵۲، دمای میانگین ۰/۸۸، دمای حداکثر ۰/۸۰ و دمای حداقل ۰/۷۰ (برای دوره اعتبار سنجی و واسنجی) به دست آمده است. نتایج ارزیابی تغییرات بارش در سناریوهای مختلف نیز کاهش حداقل ۷/۲۴ درصد و حداکثر ۱۸/۵۵ درصد بارش را برای بازه‌زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۵) پیش‌بینی نموده است. نتایج پیش‌بینی بارش، تغییرات الگوی بارشی را نیز نشان داده است. همچنین مقایسه سناریوها نشان می‌دهد که سناریو RCP2.6 به عنوان خوش‌بینانه‌ترین سناریو کمترین کاهش بارندگی و سناریو RCP8.5 بیشترین کاهش بارندگی را پیش‌بینی نموده است. بررسی تغییرات پیش‌بینی شده دما نیز افزایش را برای دمای میانگین و حداقل و حداکثر را نشان می‌دهد که حداکثر تا ۱/۰۴، ۱/۶۱، ۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد برای بازه ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ نشان داده است. نتایج مقایسه سناریوها نیز نشان داد که سناریو RCP2.6 کمترین افزایش دما و سناریو RCP8.5 بیشترین افزایش دما را نسبت به دوره پایه پیش‌بینی نموده است.

استناد: اسدی؛ مریم؛ ملکیان؛ آرش، سلاجقه؛ علی (۱۴۰۲). مدلسازی تغییرات آبی پارامترهای اقلیمی بارش و دما در حوزه آبخیز سمیرم. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۳)، ۲۸۶-۲۷۱.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2020.299362.1478>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی یکی از مباحث بسیار مهمی است که چند دهه اخیر با توجه به اثرات گسترده آن بر روی ویژگی‌های اکوسیستم و برهم زدن الگوهای بارشی و دما و سایر متغیرهای اقلیمی مورد توجه دانش پژوهان عرصه منابع طبیعی قرار گرفته است و یکی از مباحث روز اقلیم‌شناسی محسوب می‌گردد (جباریان و همکاران، ۱۳۹۵). تغییرات اقلیمی، تغییر در پارامترهای اقلیمی در مقایسه با میانگین بلند مدت یا تغییر در خصوصیات اقلیمی منطقه است که برای مدت طولانی ادامه دارد. این پدیده ممکن است به دلیل عوامل طبیعی یا فعالیت‌های انسانی طی ده‌ها سال رخ دهد (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم^۱، ۲۰۰۷). طبق پنجمین گزارش ارزیابی تغییرات اقلیمی هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم، پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیم جهانی برای قرن بیست و یکم نشان می‌دهند که گرمایش جهانی به شتاب خود ادامه خواهد داد حتی اگر بشر بتواند جلوی انتشار گازهای گلخانه‌ای را بگیرد، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ تغییرات متوسط دمای جهان از ۱/۸ به ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). این تغییرات با توجه به تاثیرات گسترده آن بر روی کشاورزی، صنعت، محیط زیست و بهداشت به عنوان یکی از معضلات اکوسیستم مطرح شده است که اثرات آن می‌تواند برای بشر مخرب و تهدید آمیز تلقی گردد (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). تغییرات اقلیمی ناشی از صنعتی شدن جوامع، افزایش گازهای گلخانه‌ای، گسترش بیابان‌زایی و افزایش استفاده از انرژی‌های فسیلی بوده است که خود منجر به افزایش دمای کره زمین و تغییرات گسترده در سیستم اقلیمی شده است (عساکره و اکبر زاده، ۱۳۹۶). دگرگونی اقلیم در مقیاس زمانی بلندمدت به وقوع پیوسته و عوامل تشدید کننده و موثر در وقوع آن شامل تغییر تابش منعکس شده خورشید، تغییر مدار زمین، گازهای گلخانه‌ای و رانش قاره‌ها می‌باشند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به ارتباط بین عناصر اتمسفری و اکوسیستم‌های زمینی، منابع آب، پوشش گیاهی، خاک و همچنین زندگی انسان تحت تأثیر این پدیده قرار خواهد گرفت. فرآیندهای طبیعی اکوسیستم‌ها به طور معنی‌داری تحت تأثیر تغییرات اقلیمی بوده (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۱۴) و این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاملاً مشهود می‌باشد. اقلیم شکننده این مناطق آنها را به تغییرات جهانی بسیار حساس نموده و ساختار حوزه‌های آبخیز نیز طی ده‌های اخیر بشدت تحت تأثیر خود قرار داده است (جوکم^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). با افزایش گرمایش جهانی تغییر اقلیم در چرخه هیدرولوژیکی نیز شتاب گرفته (رشمیدوی^۳ و همکاران، ۲۰۱۸) و سبب نوسان و تغییر روند کمیت‌های هیدرولوژیکی گردیده (نجفی و همکاران، ۲۰۱۵) که منجر به جاری شدن سیل و خشکسالی‌های بلندمدت شده است (سینگ و گوپال^۴، ۲۰۱۶؛ آپگوپتا^۵ و همکاران، ۲۰۱۵).

تغییرات بارش به‌عنوان تأمین کننده اصلی منابع آب، تولید آب را به عنوان یکی از مهم‌ترین خدمات اکوسیستمی تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا باید این مسئله مورد توجه اقلیم‌شناسان و مهندسان منابع آب قرار گیرد. در صورت عدم توجه کافی، تغییرات آبی اقلیم می‌تواند از لحاظ کمی و کیفی لطمه‌های جدی را به منابع آب و زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی کشور وارد کند، جهت آمادگی در مقابل تغییرات نامطلوب احتمالی شرایط اقلیمی و نیز تغییر در برابر وضعیت کمی و کیفی منابع آب و اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش خسارت‌ها، مطالعه تغییرات آب و هوا و تأثیر آن بر این منابع اقدامی ضروری می‌باشد (مهمسافر و همکاران، ۱۳۸۹). پیش‌بینی بارش نقشی اساسی در مدیریت بهینه منابع آب و خاک و نیز جایگزینی مدیریت ریسک به‌جای مدیریت بحران و توسعه پایدار کشور است (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۸۹). از این‌رو پیش‌بینی بارش و مدل‌سازی آن می‌تواند کمک شایانی در زمینه مدیریت کلان کشور ارائه نماید. حساسیت مناطق مختلف نسبت به تغییرات اقلیمی بر حسب شرایط محیطی منطقه متفاوت بوده است و ارزیابی میزان آسیب وارد شده به اکوسیستم ناشی از تغییرات اقلیمی و همچنین سازگاری یافتن در مقابل تغییرات اقلیمی، تنها با بررسی آمار و اطلاعات وضعیت و تغییرات

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² Juckem

³ Reshmidevi

⁴ Singh & Goyal

⁵ Uppgupta

دوره‌های گذشته ممکن نیست و به آگاهی از شرایط اقلیمی سرزمین در آینده نیز وابسته است. متداول‌ترین روش ارزیابی اقلیم آینده، بهره‌گیری از مدل‌های گردش عمومی جو است. در کنار این مدل‌ها که به اصطلاح "سناریوهای اقلیمی" نیز نامیده می‌شوند، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز با توجه به رویکرد بشر طی سالیان آتی در تولید آلاینده‌های گازی در جو، که بر وضعیت اقلیم جهانی نیز تاثیرگذارند، مطرح می‌شود. این مدل‌ها قادرند تا تمامی فرآیندهای اقلیمی را در ابعاد جهانی و یا قاره‌ای به‌طور نسبتاً دقیقی شبیه‌سازی نمایند (کارین^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ مارنگو^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت‌شده جوی-اقیانوسی می‌باشد (سلاجقه و همکاران، ۱۳۹۶). این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تاییدشده مدل‌سازی نمایند (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). این مدل‌ها اطلاعات مفیدی در زمینه پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای فراهم می‌کنند. اما مدل‌های گردش عمومی جو دارای دقت فضایی و زمانی لازم نیستند تا اقلیم دهه‌های آتی را در مقیاس محلی و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی، ارزیابی و پیش‌بینی قرار دهند. آنها تنها قادر می‌باشند که وضعیت اقلیم آینده را در یک محدوده وسیع پیش‌بینی نمایند که ممکن است در داخل این شبکه گسترده چندین ایستگاه هواشناسی واقع شده باشد. علت ضعف این مدل‌ها در عدم پیش‌بینی در مقیاس‌های مکانی و زمانی کوچک‌تر، به نبود سامانه‌های قدرتمند محاسبات عددی، غیر اقتصادی بودن و زمان‌بر بودن آنها برمی‌گردد. به منظور غلبه بر این مشکل بایستی خروجی مدل‌های اقلیمی را به مقیاس‌های کوچک‌تر تبدیل کرده تا بتوان اقلیم محلی و ایستگاهی را مورد پیش‌بینی و ارزیابی قرارداد، که به این فرایند به اصطلاح "ریزمقیاس‌نمایی" می‌گویند. از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی می‌توان به ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی و آماری اشاره کرد. با توجه به اینکه ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی نیاز به سامانه‌های بسیار سریع داشته که اغلب کشورها فاقد آن هستند، لذا توجه عمومی به روش ریزمقیاس‌نمایی آماری معطوف شده است. از جمله این مدل‌های جهت مدل‌سازی اقلیم طی دهه‌های آتی، مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM می‌باشد (کبیری^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). امروز در مطالعات گسترده‌ای به بررسی کارایی این مدل در ریزمقیاس مدل جهانی گردش عمومی جو پرداخته شده است. عساکره و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی تغییرات و پیش‌بینی دمای کمینه در غرب استان مازندران با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM پرداختند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها مشخص شد که مقادیر دمای کمینه در منطقه طی سال‌های آینده، روندی افزایشی خواهند داشت به‌گونه‌ای که میانگین فصلی این فراسنج در دوره‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۹، ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ و ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط ۱/۸، ۳/۵ و ۶ درصد افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش دمای کمینه در بخش‌های غربی و جنوبی منطقه رخ خواهد داد. همچنین مشخص شد برخلاف سایر ماه‌های سال، دمای کمینه در ماه ژانویه دارای روندی کاهشی خواهد بود. نوری و آلا^۴ (۲۰۱۳) مدل SDSM را روی داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه در مناطق شمال شرقی بنگلادش از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از مدل جهانی HadCM3 بکار برد و نتایج نشان می‌دهد که داده‌های دما و بارش ریزمقیاس‌شده با داده‌های مشاهده شده تقریباً مطابقت داشته‌اند. حسان^۵ و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری برای تولید متغیرهای هواشناسی استفاده کردند. نتایج نشان داد اگرچه هر دوی این دو مدل نتایج یکسانی ارائه نمی‌دهند ولی هر دوی این روش‌ها روند افزایش عمومی در میانگین درجه حرارت روزانه را نشان می‌دهد. ورکو^۶ (۲۰۱۵) نیز در مطالعه‌ای جهت بررسی تغییرات اقلیمی و تاثیر آن بر روی بارش‌های حوضه رودخانه نیل آبی با استفاده از داده‌های مدل جهانی GCM و مدل HadCM3 استفاده نمود، این مدل‌ها افزایش بارش را برای حوضه رودخانه نیل آبی در آینده تخمین زدند. همچنین شوکلا^۷ (۲۰۱۵) نیز از

¹ Kharin

² Marengo

³ Kabiri

⁴ Nury & Ala

⁵ Hassan

⁶ Worku

⁷ Shukla

مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای بارش و دما از مدل جهانی GCM استفاده کرد. نتایج نشان داد میانگین دما و بارش برای دوره‌های آبی افزایش خواهد داشت و منطقه شرایط مرطوب‌تری را در آینده تجربه خواهد نمود.

ساراف و رگوار^۱ (۲۰۱۶) نیز از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های هواشناسی گوداواری^۲ هند استفاده نمودند. نتایج نشان داد که بارش و دما برای دوره‌های آبی نشان داد. جاییسوال^۳ و همکاران (۲۰۱۸) با هدف ارزیابی چگونگی تغییرات دمای کمینه در منطقه ریپور^۴ هند طی دهه‌های آینده اقدام به ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM توسط مدل SDSM کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای کمینه طی دوره‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۴ و ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ در محدوده مورد مطالعه روند افزایشی خواهد داشت و بیشترین میزان افزایش نیز در ماه‌های فصل تابستان مای کمینه در بخش‌های غربی و جنوبی منطقه رخ خواهد داد. همچنین مشخص شد برخلاف سایر ماه‌های سال، دمای کمینه در ماه ژانویه دارای روندی کاهشی خواهد بود. نوری و آلا (۲۰۱۳) مدل SDSM را روی داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه در مناطق شمال شرقی بنگلادش از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از مدل جهانی HadCM3 بکار برد و نتایج نشان می‌دهد که داده‌های دما و بارش ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهده شده تقریباً مطابقت داشته‌اند. حسان و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه مدل ریزمقیاس نمایی آماری برای تولید متغیرهای هواشناسی در شبه جزیره مالزی استفاده کردند. نتایج نشان داد اگرچه هر دوی این دو مدل نتایج یکسانی ارائه نمی‌دهند ولی هر دوی این روش‌ها روند افزایش عمومی در میانگین درجه حرارت روزانه را نشان می‌دهد. ورکو (۲۰۱۵) نیز در مطالعه‌ای جهت بررسی تغییرات اقلیمی و تاثیر آن بر روی بارش‌های حوزه رودخانه نیل آبی با استفاده از داده‌های مدل جهانی GCM و مدل HadCM3 استفاده نمود، این مدل‌ها افزایش بارش را برای حوزه رودخانه نیل آبی در آینده تخمین زدند. همچنین شوکلا (۲۰۱۵) نیز از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای بارش و دما از مدل جهانی GCM استفاده کرد. نتایج نشان داد میانگین دما و بارش برای دوره‌های آبی افزایش خواهد داشت و منطقه شرایط مرطوب‌تری را در آینده تجربه خواهد نمود. ساراف و رگوار (۲۰۱۶) نیز از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های هواشناسی گوداواری^۵ هند استفاده نمودند. نتایج نشان داد که بارش و دما برای دوره‌های آبی نشان داد. جاییسوال و همکاران (۲۰۱۸) با هدف ارزیابی چگونگی تغییرات دمای کمینه در منطقه ریپور^۶ هند طی دهه‌های آینده اقدام به ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM توسط مدل SDSM کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای کمینه طی دوره‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۴ و ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ در محدوده مورد مطالعه روند افزایشی خواهد داشت و بیشترین میزان افزایش نیز در ماه‌های فصل تابستان رخ خواهد داد. تاکی‌مات^۷ و همکاران (۲۰۱۹) به پیش‌بینی بارندگی طولانی مدت منطقه حوضه رودخانه کوانتان^۸ با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی SDSM و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که همه RCPها با الگوی بارندگی طولانی مدت با تاریخ با شدت بارندگی کمتر سالانه تطابق داشته و RCP8.5 کمترین تغییرات بارندگی را نشان می‌دهد.

نظر به اهمیت تغییرات اقلیمی و تاثیر آن در اکوسیستم‌های مختلف و همچنین با توجه به اینکه یکی از معضلات کشور ایران و نیز منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، کمبود بارندگی و در کنار آن بروز وقایع حدی نظیر سیلاب‌ها و خشکسالی‌های متعدد می‌باشد و از طرف دیگر منطقه به عنوان قطب کشاورزی استان به شدت تحت تاثیرات تغییرات اقلیمی و منابع آبی خود قرار می‌گیرد و تاکنون مطالعه‌ای در زمینه اثر بخشی اثرات تغییرات اقلیمی در این منطقه صورت نگرفته است پژوهش حاضر تلاشی جهت ارزیابی پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل جهانی GCM و مدل ریزمقیاس سازی SDDM در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ در حوزه آبخیز سمیرم می‌باشد.

¹ Saraf & Regulwar

² Godavani River

³ Jaiswal

⁴ Raipur

⁵ Godavani River

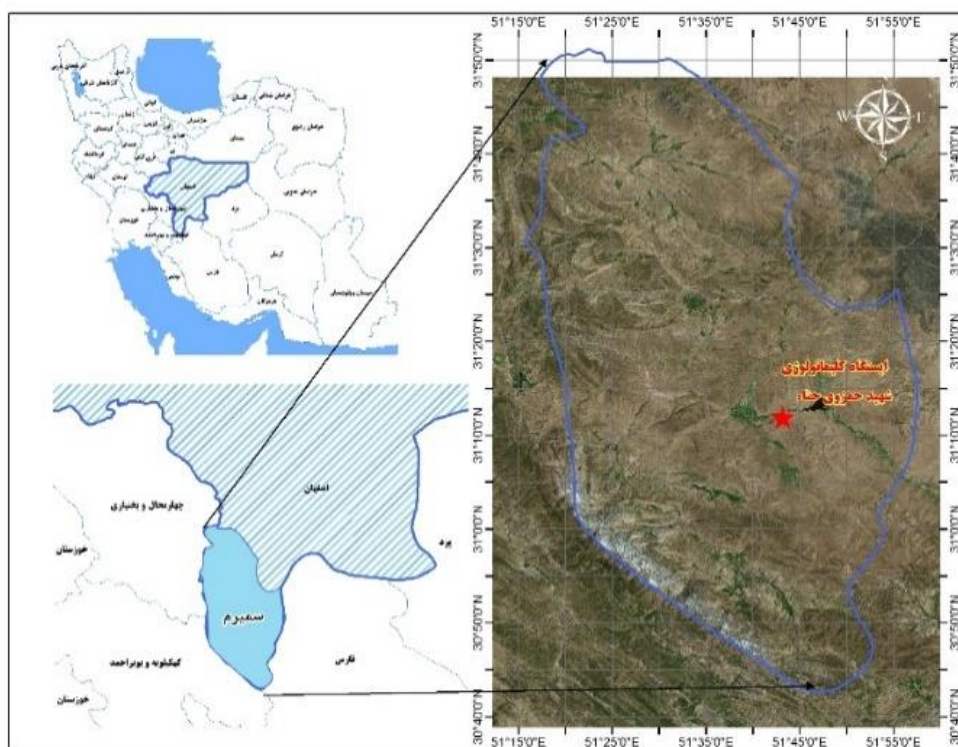
⁶ Raipur

⁷ Tukimat

⁸ Kuantan

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی، شهرستان سمیرم واقع در استان اصفهان می‌باشد. حوزه آبخیز سمیرم بین طول‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۱ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۲ درجه شرقی واقع گردیده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۵۴۹۹ هکتار است که حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۴۴۰۶ و ۱۷۶۸ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱). بر مبنای محاسبات انجام شده، طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، آب و هوای منطقه معتدل سرد با تابستان‌های خشک برآورد گردیده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (سمیرم)

به منظور بررسی تغییرات اقلیمی بر مبنای مدل‌های گردش عمومی جو از داده‌های ایستگاه کیماتولوژی حنا واقع در شهرستان سمیرم استفاده شد. این ایستگاه در ارتفاع ۲۲۷۴ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه واقع شده است. طول دوره آماری پایه نیز از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ در نظر گرفته شد.

در این تحقیق از خروجی مدل CanESM2 که توسط مرکز تحلیل آب و هوایی کانادا^۱ زیر نظر سازمان محیط زیست این کشور توسعه یافته است استفاده شده است. در این مدل کل سطح زمین به صورت ۲۸×۲۸ سلول، شبکه‌بندی شده است.

هیات بین دولتی تغییر اقلیم در گزارش پنجم ارزیابی خود^۲ از سناریوهای جدید انتشار^۳ به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلط‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای نام برده است. سناریوهای انتشار دارای ۴ خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. در این مطالعه سه سناریوی آن مورد بررسی قرار گرفته

¹ Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CCCma)

² Assessment Report 5, Synthesis Report (AR5 Synthesis Report)

³ Representative Concentration Pathways (RCPs)

است. سناریو RCP2.6 توسط تیم مدل سازی IMAGE از موسسه ارزیابی های محیطی هلند^۱ طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ وات بر مترمربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه ای به میزان قابل توجهی افزایش یابند. سناریو RCP4.5 توسط گروه مدل سازی MiniCAM با همکاری آزمایشگاه ملی شمال غربی پاسیفیک و موسسه تحقیقاتی تغییر اقلیم جهانی^۲ طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می ماند. سناریو RCP6 توسط گروه مدل سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن^۳ طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری های جدید و سیاست های کاهش گازهای گلخانه ای ثابت می ماند. بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریو انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مربع در سال ۲۱۰۰ می گردد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به ۱۰۰۰ پی پی ام رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل سازی MESSAGE و موسسه بین المللی آنالیز سیستم های کاربردی^۴ به سرپرستی پرفسور کیوان ریاحی توسعه و طراحی شده که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه ای است (مارنگو^۵ و همکاران، ۲۰۱۴).

متغیرهای مرکز ملی پیش بینی محیطی^۶، شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است (جدول ۱) و در مقیاس روزانه از مرکز ملی پیش بینی متغیرهای محیطی کانادا از طریق سایت قابل دسترسی می باشند که در روش ریزمقیاس نمایی به عنوان متغیر مستقل (پیش بینی کننده) وارد مدل ها می شوند. با توجه به اینکه متغیرهای NCEP، می توانند روابط مختلفی با داده های پیش بینی شونده داشته باشد لذا متغیرهایی حائز اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین ترین واریانس خطا باشند.

جدول ۱. متغیرهای NCEP مورد استفاده در این تحقیق

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	فشار سطح صفر	۱۴	جهت باد سطحی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۲	قدرت جریان هوای سطحی	۱۵	جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۳	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۶	جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۴	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۷	رطوبت ویژه سطحی
۵	سرعت نصف النهاری سطحی	۱۸	رطوبت نسبی سطحی
۶	سرعت نصف النهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	سرعت نصف النهاری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۰	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۸	ژئوپتانسیل در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۱	سرعت مداری سطحی
۹	ژئوپتانسیل در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	سرعت مداری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۰	واگرایی سطحی	۲۳	سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۱	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۴	حالت گردابی سطحی
۱۲	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۵	حالت گردابی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۳	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	۲۶	حالت گردابی در ارتفاع ۸۵۰ هکتار

¹ Netherlands Environmental Assessment Agency

² Pacific Northwest National Laboratory's joint Global Change Research Institute (JGCRI)

³ National Institute for Environmental Studies (NIES) Japan

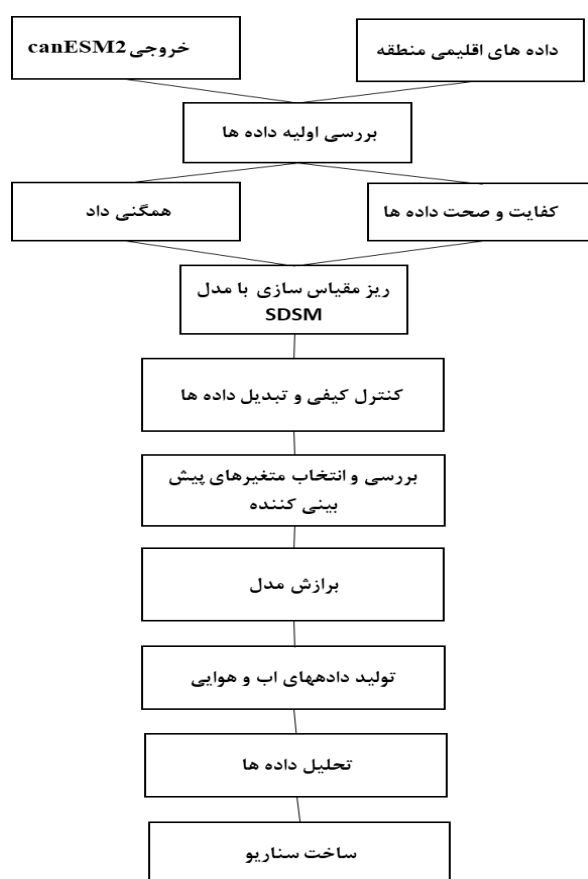
⁴ International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)

⁵ Marengo

⁶ National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

۱-۲. ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی

در این مطالعه از روش آماری جهت ریزمقیاس کردن خروجی مدل GCM استفاده می‌شود. تاکنون دو رویکرد برای روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری ارائه شده است. رویکرد اول که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از مدل‌های رگرسیونی یا تابع انتقال است که در آن با استفاده از رابطه بین پارامترهای مختلف جوی و سینوپتیکی (متغیرهای پیش‌بینی کننده) و پارامترهای اقلیمی که لازم است دورنمایی از آن در آینده داشته باشیم (متغیرهای پیش‌بینی شونده) یک تابع انتقال ارائه می‌شود. رویکرد دوم استفاده از مولدهای تصادفی آب و هوایی است. یکی از نرم افزارهایی که بر اساس ترکیبی از این دو رویکرد برنامه‌ریزی شده SDSM است. این نرم‌افزار داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر را به عنوان ورودی گرفته و در چند مرحله خروجی مدل GCM را براساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌نماید که مراحل کار در فلوچارت شکل (۲) آمده است.



شکل ۲. فلوچارت مراحل کار

۲-۲. ارزیابی و واسنجی مدل

به منظور ارزیابی نتایج الگوریتم‌های اعمال شده بر روی داده‌ها از معیارهای ارزیابی میانگین مربعات خطا^۱ (رابطه ۱) و ضریب همبستگی^۲ (رابطه ۲) استفاده شد.

^۱ Root Mean Squared Error (RMSE)

^۲ Correlation coefficient (r)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادلات o مقادیر مشاهده‌ای، p داده‌های پیش‌بینی شده، \bar{p} میانگین داده‌های پیش‌بینی شده، \bar{o} میانگین داده‌های مشاهده شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳. نتایج

۳-۱. انتخاب متغیرهای مستقل جهت شبیه‌سازی و کالیبره کردن مدل

در مدل SDSM که یک مدل تابع انتقالی می‌باشد گام اول، کالیبره کردن مدل بوده که بر مبنای آن متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را با پارامترهای مورد نظر دارند، تعیین می‌گردند. نتایج انتخاب پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی NCEP با استفاده از نرم‌افزار SDSM در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. پیش‌بینی کننده‌های منتخب جهت ریزمقیاس کردن آمار بارش و دما (میانگین، حداقل، حداکثر)

متغیر	پیش‌بینی کننده‌های منتخب	ضریب همبستگی	PR ^۱	سطح احتمال
بارش	میانگین فشار در سطح دریا	۰/۲۷	۰/۱۱	۰
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۲۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱
	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۰۷۶	۰/۰۶۳	۰/۰۰۲
	مولفه سرعت نصف النهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۵۱	۰/۰۱۱	۰
دمای حداکثر	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۷۸	۰/۰۹۳	۰/۰۰۷
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۷۰	۰/۰۸۷	۰
	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۵۵	۰/۱۲۳	۰
	میانگین فشار سطح دریا	۰/۷۱	۰/۳۳	۰
دمای حداقل	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۶۶	۰/۱۹	۰
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۷۴	۰/۰۳	۰
	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۴۷	۰/۲۶	۰
	میانگین فشار سطح دریا	۰/۷۱	۰/۱۳	۰
دمای میانگین	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۷۹	۰/۰۵۸	۰
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۸۶	۰/۰۹۴	۰
	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۶۴	۰/۰۴۱	۰
	میانگین فشار سطح دریا	۰/۹۱	۰/۲۳	۰

نتایج بررسی همبستگی پارامترها نشان می‌دهد این پارامترها در متغیر دما از دقت بالاتر و همبستگی بیشتری برخوردار بوده که می‌توان علت آن را دقت بالاتر در متغیر دمای منطقه و تاثیرپذیری کمتر آن نسبت به ناهنجاری‌های محیطی دانست. نتایج ارزیابی مدل برای دوره اعتبار سنجی و واسنجی در جدول (۳) ارائه شده است

^۱ درصد کاهش در همبستگی مطلق جزئی

جدول ۳. نتایج ارزیابی مدل برای دوره اعتبار سنجی و واسنجی

دمای حداقل		دمای حداکثر		دمای میانگین		بارش		معیارهای ارزیابی
واسنجی	اعتبار سنجی	واسنجی	اعتبار سنجی	واسنجی	اعتبار سنجی	واسنجی	اعتبار سنجی	
۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۴۲	۰/۵۶	r
۲/۲۳	۱/۹	۱/۴۹	۱/۳۲	۱/۱۲	۰/۷۴	۳/۹۸	۳/۴۹	RMSE

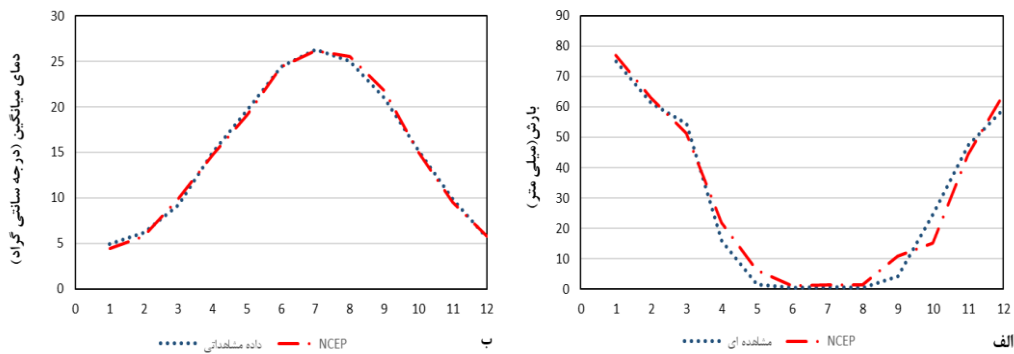
۲-۳. نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی

دوره آماری مورد استفاده برای داده‌های اقلیمی ایستگاه کلیماتولوژی منطقه از سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ می‌باشد که این بازه به دو بخش (۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵) و (۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵) جهت واسنجی و صحت سنجی تقسیم شد. با بررسی اعتبار مدل، متغیرها به مدل معرفی شده و سپس داده‌ها برای دوره پایه ریزمقیاس سازی گردید. مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارندگی GCMها در دوره پایه (۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵) براساس متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج معیارهای ارزیابی برای دوره پایه در جدول (۴) ارائه شده است. این نتایج نیز نشان می‌دهد که پارامتر دما از همبستگی بالاتری در ماه‌های مختلف برخوردار بوده است.

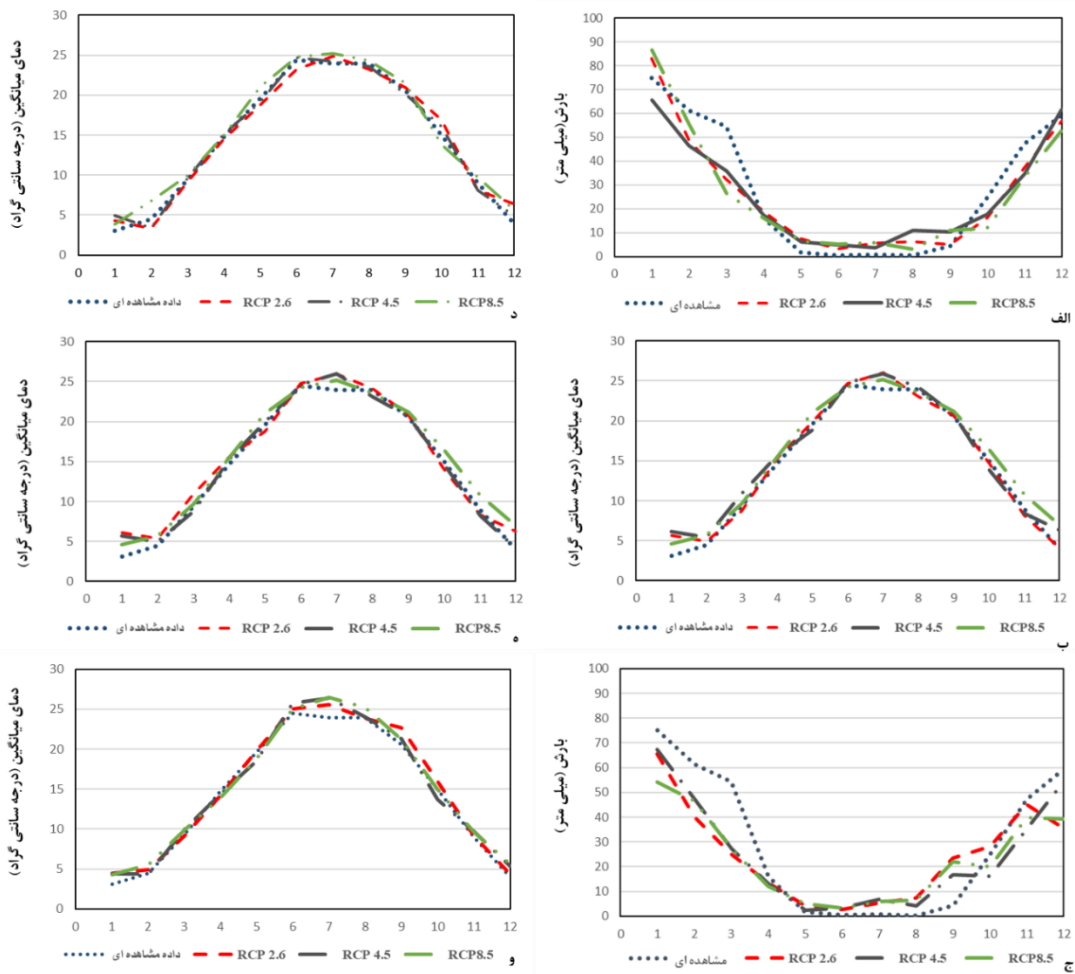
جدول ۴. معیارهای ارزیابی مدل

ماه‌های سال	بارش		دمای میانگین		دمای حداقل		دمای حداکثر	
	خطای استاندارد	همبستگی	خطای استاندارد	همبستگی	خطای استاندارد	همبستگی	خطای استاندارد	همبستگی
ژانویه	۶/۱۴	۰/۲۵	۲/۲۱	۰/۸۸	۳/۰۳	۰/۸۳	۲/۸۱	خطای استاندارد
فوریه	۱/۱۹	۰/۶۷	۲/۱۴	۰/۸۷	۲/۱۲	۰/۷۵	۲/۰۳	خطای استاندارد
مارس	۳/۶۹	۰/۱۱	۱/۹۵	۰/۸۸	۲/۸۸	۰/۷۹	۲/۷۲	خطای استاندارد
آوریل	۱/۲۸	۰/۵۹	۱/۹۵	۰/۸۴	۲/۱	۰/۷۵	۲/۷۵	خطای استاندارد
می	۰/۹۵	۰/۶۹	۱/۶۴	۰/۸۶	۲/۷۶	۰/۷۴	۲/۳۶	خطای استاندارد
ژوئن	۰	۰/۸۹	۱/۴۰	۰/۹۱	۱/۵۲	۰/۸۳	۲/۱	خطای استاندارد
ژولای	۳/۸۰	۰/۸۳	۱/۴۰	۰/۹۴	۱/۷۸	۰/۸۸	۲/۰۲	خطای استاندارد
اگوست	۲/۱۳	۰/۶۰	۱/۲۳	۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۸۳	۱/۸۸	خطای استاندارد
سپتامبر	۵/۴۱	۰/۳۷	۱/۲۸	۰/۹۱	۲/۰۷	۰/۸۲	۱/۹۶	خطای استاندارد
اکتبر	۴/۹۴	۰/۵۱	۱/۳۴	۰/۹۰	۱/۵۵	۰/۷۹	۱/۹۹	خطای استاندارد
نوامبر	۴/۳۲	۰/۴۲	۲/۲۳	۰/۸۱	۲/۳۸	۰/۷۵	۲/۶۶	خطای استاندارد
دسامبر	۱/۸۰	۰/۳۴	۲/۳۸	۰/۸۴	۲/۴۸	۰/۷۸	۲/۰۱	خطای استاندارد
میانگین	۲/۹۷	۰/۵۲	۱/۷۶	۰/۸۸	۲/۱۴	۰/۸۰	۲/۲۷	خطای استاندارد

شکل (۳) (الف و ب) مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده NCEP را برای مقادیر بارش و دمای متوسط را نشان می‌دهد. نمودارها حاکی از آن است که مدل با مقادیر واقعی رابطه مناسبی برقرار نموده و از دقت بالایی برخوردار بوده است. البته نتایج این بخش نشان می‌دهد که دمای پیش‌بینی شده در دوره پایه تطابق بیشتری نسبت به بارش دارد. بعد از ارزیابی ساختار مدل پارامترهای بارش و دمای میانگین برای سه دوره آتی در بازه‌های زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ توسط سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج حاصل از مقادیر برآوردی و مقادیر دوره پایه در شکل (۴) ارائه شده است.



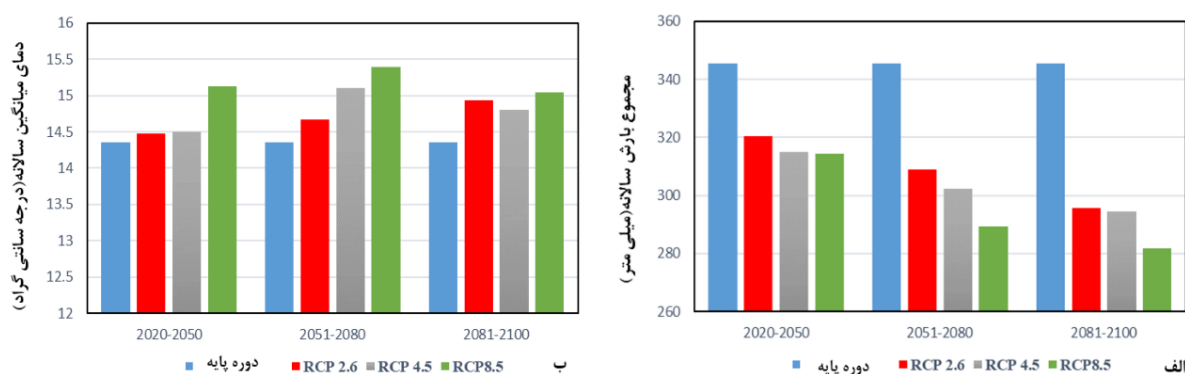
شکل ۳. نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده NCEP در بازه زمانی پایه (۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵) (الف: بارش، ب: دمای میانگین)



شکل ۴. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده بارش با مقادیر دوره پایه در سه بازه الف: ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰،

ب: ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰، ج: ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ و مقادیر پیش‌بینی شده دمای میانگین در سه بازه زمانی د: ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ه: ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰، و: ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰

همانطور که شکل (۴) نشان می‌دهد تغییرات بارش هم به صورت تغییر در مقدار بارش و هم تغییر در الگوی زمانی بارش قابل مشاهده می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن است که الگوی بارش در هر سه سناریوی اعمال شده روند تقریباً مشابهی داشته به طوری که میزان بارش در ماه‌های اولیه میلادی یعنی فصل زمستان کاهش و مقادیر بارش در فصل بهار و تابستان افزایش می‌یابد که تا حدودی تغییرات کنونی نیز تاییدی بر این نتایج بوده است. لازم به ذکر است تغییرات بارش در ماه‌های مختلف نیز از ۲۷ میلی‌متر افزایش تا ۲۹ میلی‌متر کاهش پیش‌بینی شده است. تغییرات بارش نشان می‌دهد که گرچه در برخی از ماه‌ها افزایش بارش قابل مشاهده می‌باشد اما به طور کلی میانگین بارش سالیانه کاهش یافته است (شکل ۵ ب). نتایج مقایسه سناریوهای مختلف نیز نشان داد که سناریو RCP2.6 در خوش بینانه‌ترین حالت کمترین کاهش بارندگی (۲۵ تا ۴۹ میلی‌متر از بازه اول تا سوم) پیش‌بینی نموده است و سناریو RCP8.5 به عنوان بدبینانه‌ترین سناریو بیشترین میزان کاهش بارندگی (از ۳۱ تا ۶۱ میلی‌متر از بازه اول تا سوم) را پیش‌بینی نموده است.



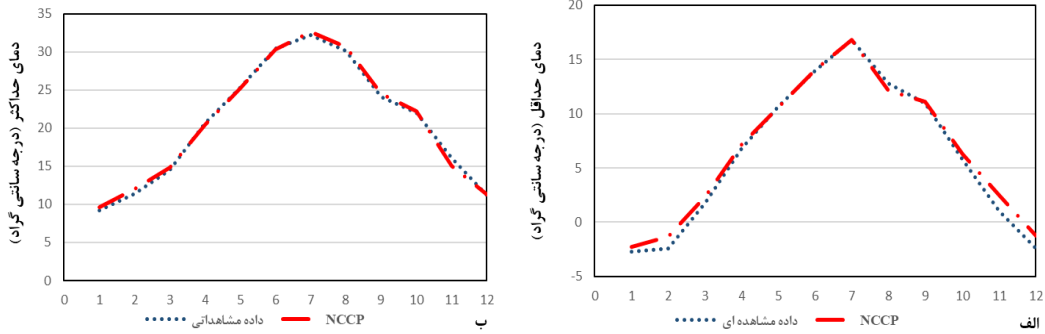
شکل ۵. الف: مقایسه بارش پیش‌بینی شده در سناریوهای مختلف با مقادیر دوره پایه،
ب: مقایسه میانگین دمای مجموع پیش‌بینی شده در سناریوهای مختلف با مقادیر دوره پایه

بررسی تغییرات دمایی در سناریوهای مختلف نیز حاکی از افزایش مقادیر دمای میانگین در ماه‌های مختلف به ویژه فصل تابستان بوده است به طوری که افزایش ۳ و کاهش ۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد در برخی از ماه‌ها قابل مشاهده بوده است. مقایسه عملکرد سناریوها نشان می‌دهد که سناریو RCP8.5 افزایش دمای بیشتری را نسبت به دو سناریو دیگر نشان می‌دهد. در کلیه سناریوها روند افزایشی دمای میانگین در بازه اول تا دوم مشاهده می‌شود اما در بازه سوم روند افزایشی نسبت به دوره پایه مشاهده شده ولی نسبت به دو بازه قبلی روند کاهشی دیده می‌شود. میزان تغییرات دما برای بازه اول برای سه سناریو به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۵ و ۰/۷۸ برآورد گردیده و برای بازه دوم به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۷۴ و ۱/۰۴ درجه سانتیگراد برآورد گردیده است. در بازه سوم روند افزایشی دما کمتر شده و افزایش دما در سه سناریو به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۵۸ و ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی گردیده است.

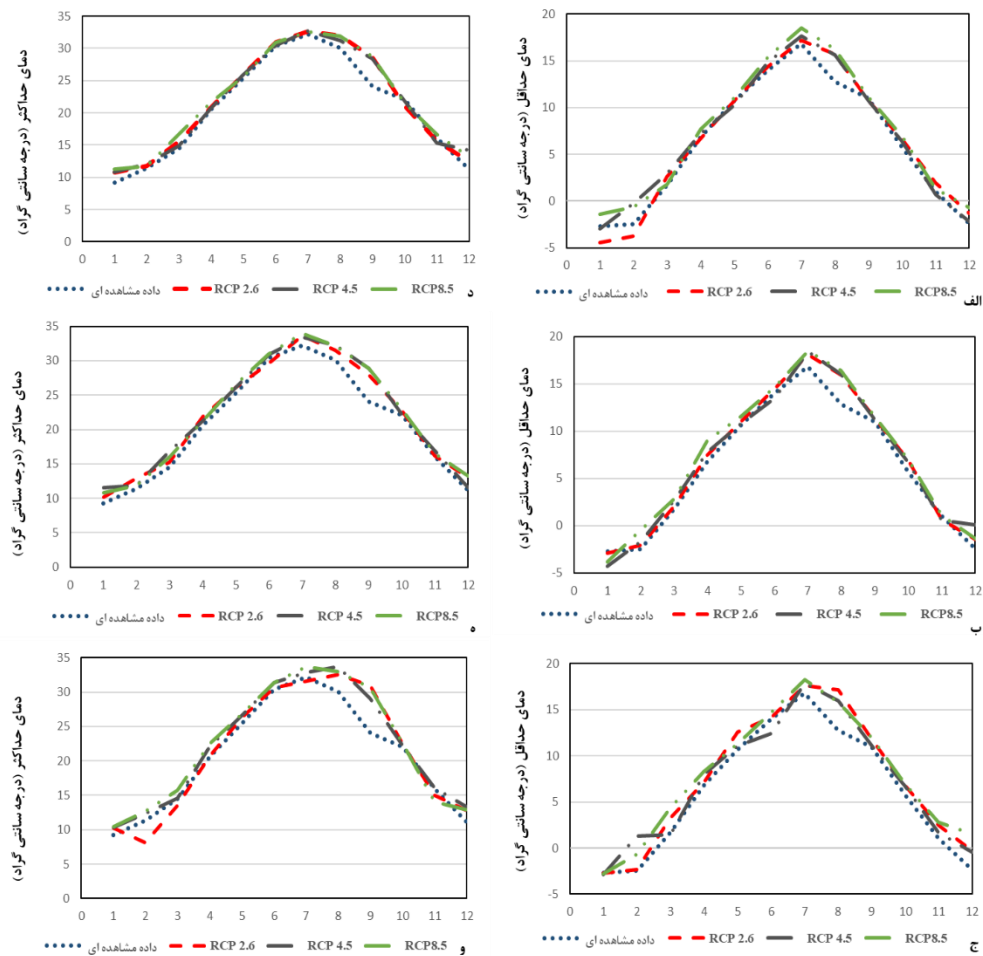
۳-۳. نتایج ارزیابی مدل برای دمای حداقل و حداکثر

شکل (۶) نتایج ارزیابی مدل برای دمای حداقل و حداکثر را نشان می‌دهد. نمودارها حاکی از آن است که مدل با مقادیر واقعی رابطه مناسبی برقرار نموده و از دقت بالایی برخوردار بوده است. نتایج معیارهای ارزیابی برای دوره پایه در جدول (۳) ارائه شده است. این نتایج نیز نشان می‌دهد که پارامتر دمای حداقل و حداکثر از همبستگی نسبتاً مناسبی در ماه‌های مختلف برخوردار بوده است. ساختار مدل پارامترهای دمای حداقل و حداکثر، برای سه دوره آینده در بازه‌های زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰

توسط سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نتایج حاصل از مقادیر برآوردی و مقادیر دوره پایه در شکل (۷) ارائه شده است.



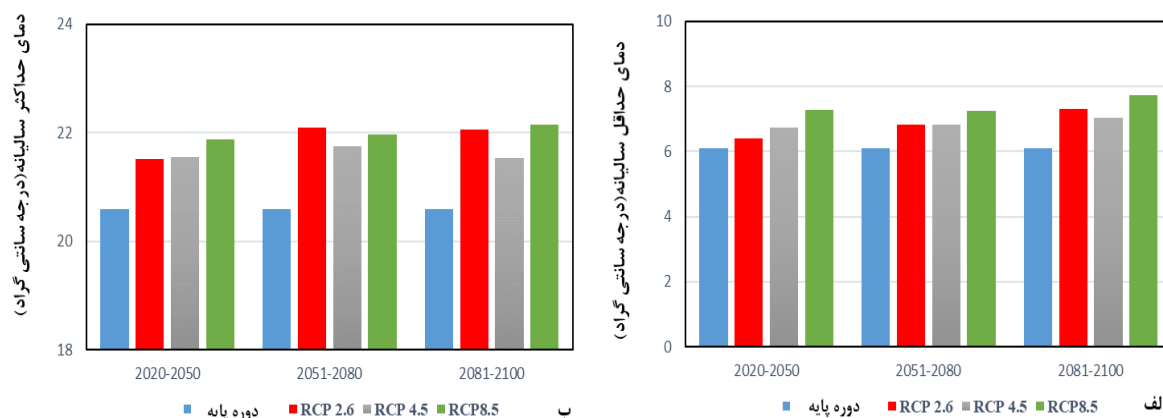
شکل ۶. نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده NCEP برای الف: دمای حداقل و ب: دمای حداکثر برای بازه زمانی پایه ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵



شکل ۷. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده دمای حداقل با مقادیر دوره پایه در سه بازه الف: ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ب: ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰، ج: ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ و مقادیر پیش‌بینی شده دمای حداکثر در سه بازه زمانی د: ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ه: ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰، و: ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰

نتایج ارزیابی سناریوها برای دمای حداقل نیز نشان داد که روند افزایشی در هر سه سناریو در سه بازه زمانی قابل مشاهده می‌باشد به طوریکه در سناریو RCP2.6 در بازه اول ۰/۳۳، در بازه دوم ۰/۷۷ و در بازه سوم ۱/۲۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای حداقل را نسبت به دوره پایه پیش‌بینی نموده است. در سناریو RCP4.5 نیز این روند قابل مشاهده بوده است و به ترتیب در بازه اول تا سوم به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۷۴ و ۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد افزایش دما نسبت به دوره پایه قابل مشاهده بوده است. بررسی‌های ماهانه نیز نشان می‌دهد که حداکثر افزایش دمای حداقل در فصل تابستان به وقوع خواهد پیوست. مقایسه سناریوهای مختلف نیز نشان می‌دهد که سناریو RCP8.5 افزایش بیشتری را برای دمای حداقل به عنوان بدبینانه‌ترین حالت پیش‌بینی نموده است.

نتایج دمای حداکثر نیز افزایش دما را در فصل تابستان نشان می‌دهد. همچنین مقادیر دمای حداکثر پیش‌بینی شده توسط سناریوهای مختلف نیز افزایش دمای حداکثر را در سه بازه زمانی به خوبی نمایش می‌دهد. به طوری که سناریو RCP8.5 در مورد دمای حداکثر نیز افزایش دمای بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان داده است.



شکل ۸. الف: مقایسه دمای حداقل پیش‌بینی شده در سناریوهای مختلف با مقادیر دوره پایه،

ب: مقایسه میانگین دمای حداکثر پیش‌بینی شده در سناریوهای مختلف با مقادیر دوره پایه

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی و ارزیابی مقادیر مولفه‌ها و پارامترهای اقلیمی به دلیل تاثیر معنادار آن‌ها بر روی اکوسیستم و موجودات و منابع آن حائز اهمیت بوده است و به منظور مقابله با اثرات مخرب تغییرات اقلیمی بر روی زیر ساخت‌های اکوسیستمی پیش‌بینی تغییرات برای دوره‌های آتی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. لذا در این مطالعه به منظور دستیابی به وضعیت اقلیمی منطقه سمیرم در دوره‌های آتی از مدل SDSM جهت ریزمقیاس سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو استفاده شد. نتایج ارائه شده نشان داد که هر سه مدل کاهش بارش را برای سه بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ پیش‌بینی نموده‌اند. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده در سه سناریو نشان می‌دهد که سناریو RCP8.5 در خوش‌بینانه‌ترین پیش‌بینی ممکن، کاهش ۲۵ میلی‌متری بارش را برای بازه ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ در نظر گرفته و RCP2.6 بیشترین کاهش بارندگی معادل ۳۱ میلی‌متر را برای آینده برآورد نموده است. بررسی مدل در پارامترهای دما نشان داد که مدل در برآورد دمای میانگین نسبت به مقادیر حدی دما (حداقل_حداکثر) از دقت بالاتری برخوردار بوده است که می‌توان آن را به شرایط محیطی منطقه و کوهستانی بودن آن نسبت داد. نتایج مطالعات سایر محققین نیز نشان داده است که مدل در مناطق ساحلی نسبت به مناطق کوهستانی در برآورد مقادیر حدی از دقت بالاتری برخوردار بوده است که دلیل این امر را ثبات بیشتر در پارامترهای اقلیمی و

نوسان کمتر مقادیر حدی مناطق ساحلی نسبت به مناطق کوهستانی دانسته‌اند (عساکره و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین در مناطق کوهستانی به دلیل وجود شرایط دمایی متغیر و وضعیت خاص منطقه درصد خطا در مقادیر حدی افزایش می‌یابد. نتایج مقادیر دمای میانگین نیز افزایش حداکثر ۱/۴ درجه سانتی‌گرادی را برای بازه دوم و حداقل ۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد را برای بازه اول پیش‌بینی نموده است. نتایج نشان می‌دهد که در ابتدا یک روند افزایشی و سپس کاهش در میانگین دمای منطقه قابل پیش‌بینی بوده است. در پیش‌بینی حداکثر و حداقل دمای منطقه نیز روند افزایشی در سه بازه قابل مشاهده بوده است که با نتایج مطالعات عساکره و همکاران (۱۳۹۸)، جاسوال و همکاران (۲۰۱۸) و تاکی‌مات و همکاران (۲۰۱۹) تطابق داشته است. همچنین نتایج به طور کلی حاکی از این می‌باشد که سناریو RCP8.5 به عنوان بدبینانه‌ترین سناریو کاهش بارندگی و افزایش دمای بیشتری را نسبت به دو سناریوی دیگر پیش‌بینی نموده است. بنابراین با توجه به اثرات منفی مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و منابع آب، اقتصاد و محیط زیست، نادیده گرفتن تغییرات می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را بر عرصه‌های منابع طبیعی و زیر ساخت‌های اقتصادی وارد نماید. برنامه‌ریزی‌ها در منطقه بایستی با در نظر گرفتن کلیه شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده صورت گیرد تا بتوان خسارات ناشی از تغییر اقلیم را به حداقل رساند.

References

- Asakereh, H., & Akbarzadeh, Y. (2017). Simulation of Temperature and Precipitation Changes of Tabriz Synoptic Station Using Statistical Downscaling and Canesm2 Climate Change Model Output. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(21), 153-174. (In Persian)
- Asakereh, H., Shahbaee Kotenaee, A., & Foroumadi, M. (2019). Evaluating Changes and Forecasting Minimum Temperature in the West of Mazandaran Province Using Statistical Downscaling Model SDSM. *JWSS*, 23 (1), 101-119. (In Persian)
- Hassan, Z., Shamsudin, S., & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116: 243-257.
- IPCC. (2014). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 1-32.
- IPCC. (2007). Summary for Policymakers, in: *Climate 2007.S*. Solomon, D.
- Jaiswal, R. K., Tiwari, H. L., Lohani, A. K., & Yadava, R. N. (2018). Statistical downscaling of minimum temperature of Raipur (C.G) India. *Climate Change Impacts*, 82: 35-45.
- Jabbarian Amiri., B. Fatehi, I., & mohammadzadeh, N. (2016). Downscaling the atmospheric general circulation model's data and its application in simulating the climatic parameters (Case study: Guilan province), 69(1): 143-158. (In Persian)
- Juckem, P. F., Hunt, R. J., Anderson, M. P., & Robertson, D. M. (2008). Effects of climate and land management change on streamflow in the drift less area of Wisconsin. *Journal of Hydrology*, 355(1-4): 123-130.
- Kabiri, R., Bai, V. A., & Chan, A (2015). Assessment of hydrologic impact of climate change in the runoff trend in Klang Watershed, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 73(1): 27-37.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Wehner, M. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble, *Climatic Change*, 119(2): 345-357.
- Marengo, J. A. Chou, S. C. Torres, R. R. Giarolla, A. Alves, L. M. & Lyra, A. (2014). Climate change in central and South America: Recent trends future projections and impacts on regional agriculture. Working Paper No 73.
- Mahsifar, H., Maknoon, R., & Saghafian, B. (2011). The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 7(1). 47-58. (In Persian)

- Najafi, M. R., Zwiers, F. P., & Gillett, N. P. (2015). Attribution of Arctic temperature change to greenhouse-gas and aerosol influences. *Nature Climate Change*, 5: 246-249.
- Nury, A. H., & Ala, M. J. B. (2013). Performance study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6(1).87-96.
- Reshmidevi, T. V., Nagesh Kumar, D., Mehrota, R., & Sharma, A. (2018). Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. *Journal of Hydrology*, 556: 1192-1204.
- Rezaei, M., Nahtni, M., Moghaddamnia, AR., Abkar, A., & Rezaei, M. (2016). Long- term Precipitation Prediction Using Statistical Downscaling Model. *Journal of Water and Soil science*, 26(2): 115-127. (In Persian)
- Rezayi Banafsheh, M., Jahanbakhsh, S., Bayati Khatibi, M., & Zeinali, B. (2011). Forecast of Autumn and Winter Precipitation of West Iran by Use from Summer and Autumn Mediterranean Sea Surface Temperature. *Journal of Physical Geography Research*, 42(4): 47-62. (In Persian)
- Salajegheh, A., Rafiei Sardoi, E., Moghaddamnia, A., Malekian, A., Araghinejad, Sh., Khalighi Sigarodi, Sh., & Saleh Pourjam, A. (2017). Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of precipitation and temperature. *Journal of Soil and Water Research*, 48(2): 253-262. (In Persian)
- Saraf, V. & Regulwar, D. (2016). Assesment of Climate Change for Precipitation and Temperature Using Statistical Downscaling Methods in Upper Godavari River Basin, India, *Journal of Water Resource and Protection*, 8: 31-45.
- Shukla, R. (2015). Statistical Downscaling of climate change Scenarios of Rainfall and Temperature over Indira Sagar Canal Cammand Area in Madhay Pradesh, India, *Proceeding of the 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications*, IEEE Computer Society, 313-317.
- Singh, V., & Goyal, M. K. (2016). Analysis and trends of precipitation lapse rate and extreme indices over north Sikkim eastern Himalayas under CMIP5ESM-2M RCPs experiments. *Atmospheric Research*, 167: 34-60.
- Tukimat, N. N. A., Syukri, N. A., & Malek, M. A. (2019). Projection the long-term ungauged rainfall using integrated Statistical Downscaling Model and Geographic Information System (SDSM-GIS) model. *Heliyon*, 5(9), e02456.
- Uppgupta, S., Sharma, J., Jayaraman, M., Kumar V., & Ravindranath, N. H. (2015). Climate change impact and vulnerability assessment of forests in the Indian Western Himalayan region: A case study of Himachal Pradesh, India. *Climate Risk Management*, 10: 63-76.
- Worku. L. (2015). Climate Change Impact on Variability of Rainfall Intensity in Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Second NASA-GHA Workshop on Seasonal Prediction Hydro-Climatic Extremes in Greater Home of Africa*.