دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

پیش‌بینی میزان بارندگی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و خروجی مدل‌های CanESM2 و HadCM3 (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی تبریز)

صدیقه محمدی[۱]، محمدصادق غضنفری مقدم[۲] و علیجان آبکار[۳]

۱- استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، (نویسنده مسوول: mohamadisedigeh@gmail.com)
۲- استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، گروه مدیریت و بهینه‌سازی انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
۳- استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ ارسال: ۹۸/۰۵/۲۶ تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۹
صفحه: ۲۲۰ تا ۲۳۲

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار برهمه فاکتورهای اکولوژیکی، در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران در سراسر جهان قرار گرفته است. در این راستا از داده‌های بازسازی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا (NCEP)، داده‌های مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 و داده‌های مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 جهت شبیه‌سازی میزان بارندگی استفاده شد. ریزمقیاس نمایی به‌کمک مدل SDSM برای دوره پایه ۳۱ ساله (۲۰۰۱-۱۹۷۱) و دوره پایه ۳۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۱) در ایستگاه همدیدی تبریز انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از پیش‌بینی بارندگی در دوره‌های ۳۰ ساله آتی با استفاده از دو سناریوی A2 و B2، متوسط بارندگی ماهانه به‌ترتیب به‌میزان ۱۱/۲۲ و ۹/۵۸ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله اول (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، ۱۱/۶۹ و ۱۲/۶۲ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و ۱۲/۷۷ و ۱۳/۱۰ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج حاکی از افزایش متوسط بارش ماهانه با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۶/۲۹، ۷/۵۹ و ۷/۵۳ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله اول (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، ۹/۲۸، ۸/۰۹ و ۷/۴۳ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و ۷/۹۰، ۱۰/۵۰ و ۷/۰۸ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) نسبت به میانگین دراز مدت دوره پایه است. بیشترین میزان افزایش بارندگی در همه دوره‌های مورد بررسی با استفاده از هر دو مدل مربوط به ماه‌های مارس، آوریل و می (فصل بهار) است. دلیل این مهم می‌تواند به گرمایش جهانی و به‌تبع آن تغییر الگو و مقدار بارش مربوط باشد.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه همدیدی تبریز، تغییر اقلیم، سناریوهای RCP، مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری

مقدمه

محیطزیست در طول قرن‌ها تحت تأثیر فعالیت‌های انسان قرار گرفته است اما اثر فعالیت‌های بشری در مقیاس جهانی از زمان انقلاب صنعتی توسعه یافت (۵). در اثر این فعالیت‌ها، مسائل و مشکلات زیست‌محیطی به یکی از نگرانی‌های اصلی بشر تبدیل شده است. مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیمی (۱۹) در گزارش علمی خود بیان کرد که میانگین دمای جهانی تا انتهای قرن بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که در نتیجه افزایش دو برابری غلظت گاز کربنیک جو است. این افزایش دما اثرات تهدیدکننده‌ای در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی خواهد داشت (۱۸). تغییر اقلیم اثرات نامطلوب زیست محیطی، اقتصادی- اجتماعی در بخش‌های مرتبط شامل منابع آب، امنیت غذایی و کشاورزی، سلامتی انسان، اکوسیستم‌های خشکی، تنوع زیستی و نواحی ساحلی بر جای می‌گذارد (۱۳).

هر نوع تغییر دراز مدت در متغیرهای اتمسفری ناشی از هر گونه پدیده‌ی طبیعی یا غیرطبیعی که بازه زمانی آن بین چندین دهه تا میلیون‌ها سال طول بکشد تغییر اقلیم می‌نامند (۲۱). در تعریفی دیگر افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن، متان، اکسید ازت کلرو فلور، بخارآب، ناشی از فعالیتهای انسانی و در نتیجه گرم‌شدن کره زمین را به تغییر اقلیم تعبیر می‌نمایند (۲۶،۹). کمترین تغییر در میانگین بارش و درجه حرارت اثرات مخربی را بر بخش‌های کشاورزی و اقتصادی به‌همراه دارد. در سال‌های اخیر خشکسالی خسارات زیادی در کشورمان موجب شده است. از این‌رو، پیش‌بینی تغییرات مقدار و روند متغیرهای اقلیمی جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور خصوصاً در رابطه با مدیریت ریسک بلایای طبیعی ضروری به‌نظر می‌رسد (۱). مدل‌های اقلیمی ابزارهای نوینی هستند که بیشتر از ۳۰ سال از ارائه آن‌ها نمی‌گذرد. در هر مدل اقلیمی تلاش شده تا فرآیندهایی که بر اقلیم مؤثرند شبیه‌سازی گردد و بر اساس آن وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده پیش‌بینی شود. چون پیش‌بینی در شرایط اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به‌طور قطعی ممکن نیست، راه حل جایگزین، مشخص‌کردن امکان رخدادهای گوناگون با سناریوی اقلیمی است. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید این سناریوها مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد (۲۷؛ ۳۵؛ ۳۶ ؛ ۲۴؛ ۲۱). اساس کار این مدل‌های سه‌بعدی بر

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

پایه قوانین فیزیکی استوار است. این مدل‌ها هم از نظر توانایی پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده و هم از بعد کمی در چند دهه اخیر توسعه چشمگیری داشته‌اند. به‌طوری که معتبرترین و مهم‌ترین اخبار علمی روز در خصوص وضعیت اقلیم آینده (مانند گزارش‌های هیئت بین دول تغییر اقلیم در خصوص ارزیابی اثرات اقلیمی در آینده و...) بر پایه خروجی حاصل از نتایج این مدل‌ها می‌باشد. این مدل‌ها متغیرهای اقلیمی را تحت سناریوهای انتشار در شبکه‌هایی به ابعاد ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر (بسته به نوع مدل) شبیه‌سازی می‌کنند. به‌همین دلیل استفاده از آنها در مقیاس حوزه‌های آبخیز یا هر محدوده کوچکی با مشکل روبرو است.

از این‌رو متخصصین روش‌های مختلفی برای تعمیم اطلاعات حاصل از خروجی مدل‌های جهانی به سطوح کوچکتر تا حد یک ایستگاه ارائه نموده‌اند که به کلیه این روش‌ها ریزمقیاس‌نمایی آماری اطلاق می‌شود. استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای استخراج اطلاعات مدل‌های جهانی برای اولین بار در سال ۱۹۸۴ انجام شد (۲۳).

در گزارشات هیأت بین‌الدولی تغییر اقلیم[1] از مخفف SRES[2] بسیار استفاده شده است که به تولید و توضیح انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌پردازد و ورودی مدل‌های گردش عمومی جو را به خدمت می‌گیرد. در SRES حدود چهل سناریو مختلف تولید گازهای گلخانه‌ای توسعه یافته است. این سناریوها می‌توانند بسته به اینکه آیا در سطح جهانی هستند یا منطقه‌ای، آیا بر محیط‌زیست تمرکز دارند یا بر ملاحظات اقتصادی به چهار خانواده طبقه بندی شوند که عبارتند از A1، A2، B1 و B2 (۱۸).

سناریو A1 توصیفی از جهان آینده با رشد اقتصادی بسیار سریع است که دربرگیرنده یک جمعیت جهانی است که در اواسط قرن به اوج می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد و همچنین معرف سریع فناوری‌های جدیدتر و کارآمدتر می‌باشد. سناریو A2 توصیفی از جهان بسیار ناهمگن است که به‌طور مداوم با افزایش جمعیت جهانی و منطقه‌ای و با محور رشد اقتصادی همراه می‌باشد. سناریو B1 جهانی همگرا با جمعیت جهانی مشابه سناریوی A1 را توصیف می‌کند اما با نرخ تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی همراه بوده و تأکید بیشتر در استفاده از انرژی‌های پاک، پایداری محیط زیست و اقتصاد در سطح جهانی است.

در نهایت سناریوی B2 دنیایی را توصیف می‌کند که در آن بر راه حل‌های محلی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، با افزایش جمعیت به‌طور مداوم (کمتر از A2) و متوسط توسعه اقتصادی تأکید دارد (۲۵). عمده مراکز جهانی مدلسازی اقلیم، آزمایشاتی را با استفاده از سناریوهای A2 و B2 انجام داده‌اند (۸). هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5) مدل CanESM2 که یک مدل جامع و جفت‌شده می‌باشد را ارائه کرد. این مدل از سناریوهای جدید RCP[3] به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوی جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی به نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشد که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (۷). در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش یافته است. همچنین در سناریوهای RCP، محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از خط سیرهای تولید گازهای گلخانه‌ای[4] (GHGs) نسبت به سناریوهای SRES در AR4 ارزیابی شده است (۳). مطالعات گسترده‌ای در زمینه تغییر اقلیم در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. در زمینه مطالعات خارجی، سمنوو و تراتونوویچ (۳۲) عدم قطعیت نتایج حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو در چهار ایستگاه واقع در انگلستان،اسپانیا، فرانسه و ایتالیا را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که استفاده از خروجی مجموعه‌ای از مدل‌های جهانی در کاهش عدم قطعیت می‌تواند مؤثر باشد. گوتیرز و همکاران (۱۴) دوازده روش ریزمقیاس نمایی را در اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند مدل‌های رگرسیونی از جمله مدل SDSM[5] در برقرارکردن ارتباط بین متغیرهای وابسته و مستقل و در نتیجه پیش‌بینی دما و بارش از توانایی بیشتری برخوردار هستند. گولاچا و مولانکو (۱۳) به پیش‌بینی تغییر اقلیم برای دو متغیر بارندگی و دما در مقیاس محلی با استفاده از مدل SDSM در حوضه رودخانه Wami-Ruvu تانزانیا پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل SDSM در پیش‌بینی بارندگی نتایج قابل قبولی ارائه نکرد. در حالی‌که دما را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمود، به‌طوری‌که میزان R2 از ۰/۴۲ تا ۰/۵ و ۰/۶ تا ۰/۹۸ به‌ترتیب برای سناریوهای A2 و B2 بدست آمد. درجی و همکاران (۸) به پیش‌بینی اقلیم آینده شهر کلمبو کشور سریلانکا با استفاده از مدل SDSM و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از برتری روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی در مقیاس فصلی و سالانه بود.

همچنین در داخل کشور، آبکار و همکاران (۲)، به بررسی کارآیی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که مدل مذکور از توانایی بالایی در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی برخوردار است. رضایی و همکاران (۳۰) به بررسی کارآیی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک کرمان و بم پرداختند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که این مدل در منطقه خشک، از توانایی و دقت بالاتری برای پیش‌بینی میزان بارندگی نسبت به منطقه فراخشک برخوردار می‌باشد. صالح نیا و همکاران (۳۱) به مقایسه دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و ASD در پیش‌بینی بارش و دما تحت شرایط تغییراقلیم در سه ایستگاه مشهد، بجنورد و بیرجند پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ شاهد افزایش میانگین بارش در ماه‌های می، ژوئن، سپتامبر، اکتبر و نوامبر و در سایر ماه‌های سال شاهد کاهش در میانگین بارش خواهیم بود. تورینی و حسامی کرمانی (۳۴) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در ایستگاه‌های همدیدی تهران و تبریز پرداختند. نتایج ایشان حاکی از رفتار متفاوت متغیر بارش در این دو ایستگاه بود. گودرزی و همکاران (۱۱) از روش ریزمقیاس نمایی آماری

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2- Special Report on Emissions Scenarios (SRES)
3- Representative Concentration Pathway
4- Greenhouse Gases
5- Statistical DownScaling Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

SDSM در برآورد تغییراقلیم حوضه کرخه استفاده کردند. نتایج ایشان حاکی از کاهش حدود ۲ درصدی بارش در ایستگاه‌های همدیدی کرمانشاه و خرم آباد برای آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۰) و کاهش ۴ درصدی آن در ایستگاه حمیدیه می‌باشد.

هدف از تحقیق حاضر پیش‌بینی بارندگی با مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM با استفاده از خروجی مدل‌های CanESM2 و HadCM3 در یک اقلیم خشک سرد شامل ایستگاه همدیدی تبریز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه ایستگاه هواشناسی همدیدی تبریز در شمال غرب ایران است. این ایستگاه در سال ۱۳۳۰ تاسیس شده و در موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۶۴ متر از سطح دریا واقع شده است.کد بین‌المللی ایستگاه تبریز WMO ۴۰۷۰۶۰ بوده و نوع اقلیم آن سرد و خشک است.

داده‌های مورد استفاده

۱- داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه مبنا: شامل داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه سینوپتیک تبریز در طی دو دوره آماری ۳۱ ساله ۲۰۰۱-۱۹۷۱و ۳۵ ساله ۲۰۰۵-۱۹۷۱.

۲- داده‌های بازسازی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا (NCEP) (۲۰۰۱-۱۹۶۱) جهت شبیه‌سازی با مدل HadCM3 و داده‌های NCEP-NCAR (۲۰۰۵-۱۹۶۱) جهت شبیه‌سازی با مدل CanESM2.

۳- داده‌های مدل جهانیHadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2.

۴- داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5.

مشخصات مدل‌های HadCM3 و CanESM2 در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مدل‌های HadCM3 (۲۵) و CanESM2 (۳)

Table 1. Characterstics of HadCM3 and CanESM2 Models

مدل	سناریوهای شبیه‌سازی‌شده	دوره شبیه‌سازی تاریخی/ آینده	بر اساس	گروه مؤسس	دقت مکانی داده‌های اتمسفری (طول*عرض) درجه	دقت مکانی داده‌های اقیانوسی (طول*عرض) درجه
HadCM3	A1,A2,B1,B2	۱۹۶۱-۲۰۰۱ /۲۰۰۱-۲۰۹۹	گازهای گلخانه‌ای CO2 و SO4	UK Met, Office	۲/۷۵*۳/۷۵	۱/۲۵*۱/۲۵
CanESM2	RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5	۱۸۵۰-۲۰۰۵ /۲۰۰۶-۲۱۰۰	واداشت تابشی	CCCMA[1]، کانادا	۲/۸۱*۲/۷۹	۱/۴۱*۰/۹۴

روش تحقیق

انتخاب متغیرهای مستقل NCEP جهت پیش‌بینی بارندگی

در مدل‌های تابع انتقالی مانند مدل SDSM قبل از واسنجی مدل لازم است تا متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را با متغیر بارندگی دارند، تعیین گردند. در این تحقیق برای بررسی رابطهٔ میزان بارندگی روزانه با متغیرهای مستقل اتمسفری (NCEP) مراحل انتخاب متغیرها و کالیبره‌کردن مدل به‌صورت مستقل صورت گرفت.

واسنجی مدل SDSM

پس از تعیین متغیرهای مناسب، نسبت به کالیبره‌کردن و تشکیل ساختار مدل اقدام شد. به‌منظور واسنجی مدل از آمار بارندگی روزانه (۱۹۸۶-۱۹۷۱) استفاده شد و به‌منظور بهینه سازی پارامترهای مدل از روش حداقل مربعات استفاده گردید (۳۵). جهت ارزیابی واسنجی مدل، از دو پارامتر خطای استاندارد[2] و ضریب تشخیص[3] استفاده شد. خطای استاندارد SE جهت برآورد میزان نزدیکی میانگین نمونه به میانگین جمعیت استفاده می‌شود.

$$SE=S/\sqrt{N} \qquad (۱)$$

که در آن SE خطای استاندارد میانگین، S انحراف معیار نمونه، N تعداد کل نمونه است. با استفاده از R2 می‌توان به پیش‌بینی یک مدل یا نمودار پی برد.

ارزیابی مدل

به‌منظور حصول اطمینان از اینکه مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌ها را در خارج از محدوده زمانی واسنجی دارد نیاز است نحوه عملکرد مدل ارزیابی شود. بدین‌منظور با استفاده از مدل SDSM واسنجی‌شده میزان بارش برای دوره دوم ۲۰۰۱-۱۹۸۷ (مدل HadCM3) و ۲۰۰۵-۱۹۸۷ (مدل CanESM2) شبیه‌سازی شد. سپس با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده، کارآیی مدل مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق به‌منظور بررسی کارآیی مدل از دو معیار جذر میانگین مربعات خطا RMSE و ضریب میانگین مطلق خطا (دقت) MAE استفاده شد.

جذر میانگین مربعات خطا RMSE

$$RMSE=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-Q_i^e)^2}{N}\right]^{0.5} \qquad (۲)$$

میانگین مطلق خطا MAE

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Q_i^e-Q_i^o\right| \qquad (۳)$$

که در آن:

Q_i^o ، i امین مقدار مشاهده‌ای، Q_i^e ، i امین مقدار برآوردی، N، تعداد مشاهدات است. هرچه مقدار این دو پارامتر به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل است.

1- Canadian Center for Climate Modelling and Analysis 2- Standard Error 3- Coefficient of Determination

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

همچنین در این مرحله به‌منظور بررسی میزان حساسیت مدل SDSM به خروجی مدل‌های جهانی، شاخص‌های مذکور با استفاده از داده‌های مدل‌های جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 و CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی و با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شدند.

شبیه‌سازی بارندگی در دوره‌های آتی با مدل‌های HadCM3 و CanESM2

در نهایت پیش‌بینی بارندگی تحت دو سناریوی A2 و B2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های زمانی سی‌ساله آتی شامل ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه خصوصیات آماری مقادیر بارندگی ایستگاه همدیدی تبریز طی دوره پایه ۲۰۰۱ -۱۹۷۱ (داده‌های مورد استفاده در مدل HadCM3) و ۲۰۰۵- ۱۹۷۱ (داده‌های مورد استفاده در مدل CanESM2) در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج حاصل از آنالیز همبستگی متغیرهای ۲۶ گانه NCEP هر کدام از مدل‌ها به تفکیک با میزان بارندگی مشاهداتی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات آماری بارندگی روزانه در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه

Table 2. Statistical characterstics of daily rainfall in monthly, seasonal and annual scales

	Mean		Maximum		Minimum		Variance		Sum	
Month	1971-2005	1971-2001	1971-2005	1971-2001	1971-2005	1971-2001	1971-2005	1971-2001	1971-2005	1971-2001
January	۰/۶۸	۰/۶۸	۱۶	۱۶	۰	۰	۳/۴	۳/۳۹	۲۱/۱۶	۲۱/۱۳
February	۰/۶۸	۰/۷۲	۲۴	۲۴	۰	۰	۴/۱۶	۴/۵۱	۱۹/۳۰	۲۰/۱۵
March	۱/۱۱	۱/۱۵	۶۳	۶۳	۰	۰	۱۰/۱۷	۱۰/۸۱	۳۴/۳۶	۳۵/۶۶
April	۱/۶۶	۱/۵۳	۵۳	۵۳	۰	۰	۱۷/۲۲	۱۵/۴۶	۴۹/۸	۴۵/۸۰
May	۱/۳۸	۱/۳۶	۳۰	۳۰	۰	۰	۱۲/۱۵	۱۱/۴۹	۴۲/۸۸	۴۲/۰۱
June	۰/۵۲	۰/۵۷	۳۲	۳۲	۰	۰	۵/۰۷	۵/۷۳	۱۵/۶۳	۱۷/۰۲
July	۰/۱۷	۰/۱۶	۲۰	۱۷	۰	۰	۱/۴۴	۱/۱۸	۵/۳۱	۴/۸۷
August	۰/۰۹	۰/۱۰	۱۸	۱۸	۰	۰	۰/۶۶	۰/۷۵	۲/۸۸	۳/۱۸
September	۰/۲۲	۰/۲۴	۲۳	۲۳	۰	۰	۲/۱۲	۲/۳۸	۶/۵۹	۷/۱۴
October	۰/۶۴	۰/۷۲	۲۴	۲۴	۰	۰	۵/۹۲	۶/۶۹	۲۰/۰۶	۲۲/۳۲
November	۰/۹۲	۰/۹۴	۲۷/۰۱	۲۷/۰۱	۰	۰	۷/۶	۸/۰۴	۲۷/۴۸	۲۸/۱۳
December	۰/۷۷	۰/۷۸	۲۴/۱	۲۴/۱	۰	۰	۵/۲۹	۵/۷۰	۲۳/۹۵	۲۴/۳۱
Winter	۰/۷۲	۰/۷۳	۲۴/۱	۲۴/۱	۰	۰	۴/۲۹	۴/۵۴	۶۲/۶۸	۶۳/۵۴
Spring	۱/۳۸	۱/۳۴	۶۳	۶۳	۰	۰	۱۳/۱۹	۱۲/۵۸	۱۲۷/۰۴	۱۲۳/۴۷
Summer	۰/۲۶	۰/۲۷	۳۲	۳۲	۰	۰	۲/۳۹	۲/۵۶	۲۳/۸۳	۲۵/۰۶
Autumn	۰/۶۰	۰/۶۳	۲۷/۰۱	۲۷/۰۱	۰	۰	۵/۳۰	۵/۸۰	۵۴/۱۳	۵۷/۵۹
Annual	۰/۷۴	۰/۷۴	۶۳	۶۳	۰	۰	۶/۴۷	۶/۵۳	۲۶۹/۴۲	۲۷۱/۷۱

جدول ۳- ماتریس همبستگی متغیرهای ۲۶ گانه NCEP و NCEP-NCAR با میزان بارندگی

Table 3. Correlation matrix of 26 NCEP variables with rainfall amounts

	rain	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
1971-2001	Pearson Correlation	۱	-۰/۱۶۷	-۰/۰۱۲	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۱۳۷	-۰/۰۵۴	۰/۰۲۴	۰/۰۹۱	۰/۰۳۳	۰/۱۵۸	۰/۱۷۰	-۰/۰۴۱	-۰/۰۹۹	-۰/۱۶۳	۰/۰۱۳*	۰/۰۳۳	۰/۰۵۶	۰/۱۷	-۰/۱۴۷	-۰/۰۴۵	-۰/۰۶۵	۰/۰۵۹	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳*	۰/۰۸۶	۰/۰۲۶
	Sig. (1-tailed)		۰/۰۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰	۰/۰۹۵	۰/۰۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۴۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۳۴۱	۰/۰۷۲	۰/۰۰	۰/۰۸۷	۰/۵۵۸	۰/۲۰۴	۰/۰۰	۰/۴۹۷	۰/۵۶۴	۰/۱۹۲	۰/۲۳۵	۰/۴۹۱	۰/۵۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰
1971-2005	Pearson Correlation	۱	-۰/۲۰۲*	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۲۰۲*	-۰/۰۰۶	-۰/۰۴۳**	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۳۹**	۰/۰۳۵**	-۰/۰۱۸*	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۹*	-۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	-۰/۰۱۹**	-۰/۰۲۷**	۰/۰۵۷**	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	-۰/۰۴۹**	۰/۰۰۵
	Sig. (1-tailed)		۰/۰۲	۰/۹۴	۰/۱۵۶	۰/۷۳۲	۰/۰۱۹	۰/۴۷۴	۰/۰۰	۰/۷۱۰	۰/۷۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۵۱	۰/۸۳۳	۰/۲۷۱	۰/۰۹۹	۰/۰۲۶	۰/۶۴۶	۰/۱۱۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰	۰/۱۵۸	۰/۲۴۶	۰/۰۰	۰/۵۵۸

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

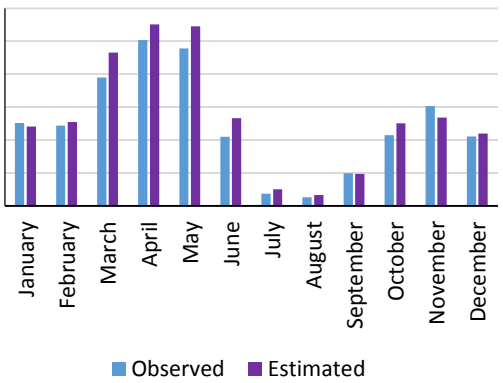
با توجه به نتایج حاصل از جدول همبستگی، چهار متغیر ncepmslpeu، ncepp5-veu، ncepp5-zeu و ncepp8-zeu (مورد استفاده در مدل HadCM3) و دو متغیر ncepshumgl و zeu ncepprcpgl (مورد استفاده در مدل CanESM2) با توجه به مقدار ضرایب همبستگی بالا جهت شبیه‌سازی میزان بارش انتخاب شدند. نتایج حاصل از واسنجی مدل در دوره آماری ۱۵ساله اول (۱۹۸۶-۱۹۷۱) در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج واسنجی مدل در دوره ۱۹۸۶-۱۹۷۱

Table 4. The results of model calibration in 1971-1986

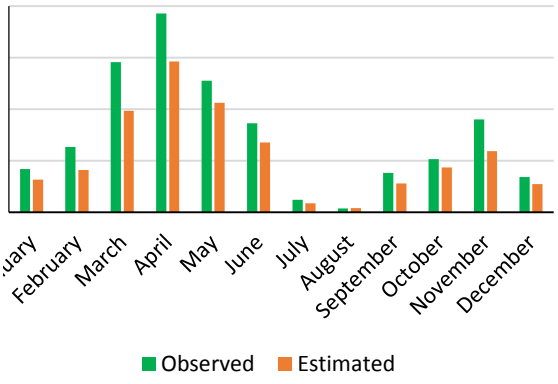
Month	CanESM2		HadCM3	
	RSquare	SE	RSquare	SE
January	۰/۰۲۹	۰/۴۸۱	۰/۱۹۲	۰/۴۴۲
February	۰/۰۰۳	۰/۴۸۲	۰/۲۴۶	۰/۴۳۴
March	۰/۰۰۴	۰/۴۹۲	۰/۳۴۹	۰/۴۰۸
April	۰/۰۱۵	۰/۴۹۵	۰/۲۲۶	۰/۴۴۹
May	۰/۰۰۱	۰/۴۹۴	۰/۱۲۳	۰/۴۹۱
June	۰/۰۱۷	۰/۴۰۴	۰/۱۰۶	۰/۳۸۸
July	۰/۲۰۴	۰/۳۰۲	۰/۰۱۳	۰/۲۵۵
August	۰/۰۰۴	۰/۲۳۹	۰/۰۲۷	۰/۲۲۸
September	۰/۰۲۲	۰/۲۶۳	۰/۱۰۴	۰/۲۴۸
October	۰/۰۰۱	۰/۴۳۵	۰/۱۷۳	۰/۴۰۳
November	۰/۰۱۲	۰/۴۵۳	۰/۲۲۷	۰/۳۹۹
December	۰/۰۱۷	۰/۴۷۱	۰/۲۰۳	۰/۴۱۷
Mean	۰/۰۲۸	۰/۴۱۸	۰/۱۶۶	۰/۳۸۰

نتایج حاصل از واسنجی مدل در دوره آماری ۱۵ساله اول حاکی از مقادیر R2 قابل قبول برای واسنجی مدل می‌باشد. با توجه به اینکه مقیاس زمانی مورد بررسی در این تحقیق، بارندگی روزانه می‌باشد لذا با توجه به تعداد بسیار زیاد رکوردها از بارندگی روزانه در دوره آماری مورد بررسی، قابل قبول می‌باشد. که این امر با نتایج آبکار (۲) و شیروانی و احمدی باصری (۳۳) همخوانی دارد. از واسنجی مدل، ارزیابی آن در دوره زمانی دوم ۲۰۰۱-۱۹۸۷ و ۲۰۰۵-۱۹۸۷ انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد داده‌های NCEP، مورد استفاده در مدل HadCM3 در شکل ۱ و ۲، شامل مقادیر بارندگی و واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده و نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد داده‌های NCEP-NCAR، در مورد مدل CanESM2 در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است.



شکل ۱- بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده NCEP در بازه ۲۰۰۱-۱۹۸۷

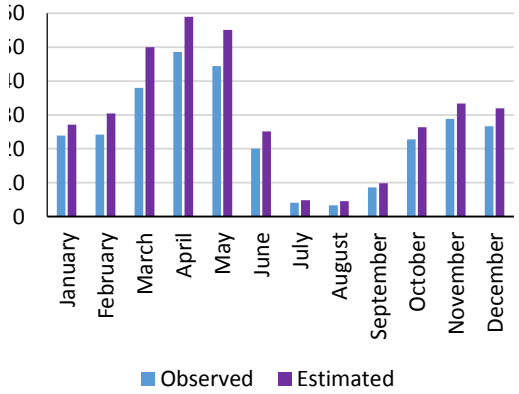
Figure 1. Observed and NCEP simulated monthly precipitation values in 1987-2001



شکل ۲- واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده NCEP در بازه ۲۰۰۱-۱۹۸۷

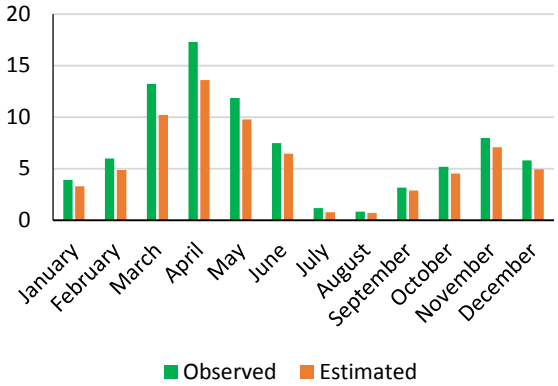
Figure 2. Observed and NCEP simulated monthly precipitation variance values in 1987-2001

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]



شکل ۳- بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده NCEP-NCAR در بازه ۲۰۰۵-۱۹۸۷

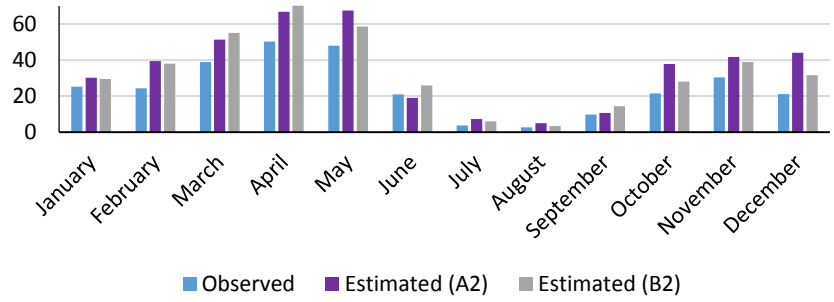
Figure 3. Observed and NCEP simulated monthly precipitation values in 1987-2005



شکل ۴- مقادیر واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده NCEP-NCAR در بازه ۲۰۰۵-۱۹۸۷

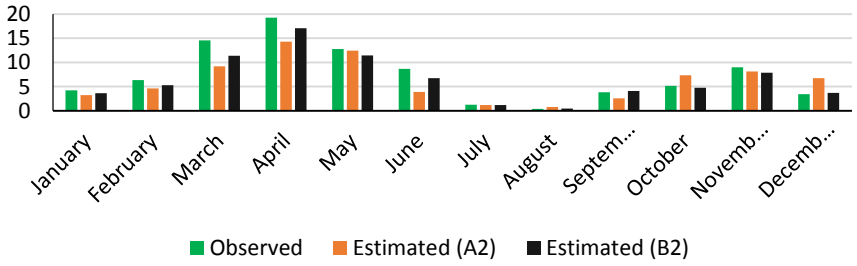
Figure 4. Observed and NCEP simulated monthly precipitation variance values in 1987-2005

نتایج حاصل از ارزیابی مدل تحت سناریو A2 و B2 در بازه زمانی دوم (۲۰۰۱-۱۹۸۷) شامل مقادیر بارندگی و واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی مدل تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 در بازه زمانی دوم (۲۰۰۵- ۱۹۸۷) شامل مقادیر بارندگی و واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است.



شکل ۵- بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده سناریوهای A2 و B2 در بازه ۲۰۰۱-۱۹۸۷

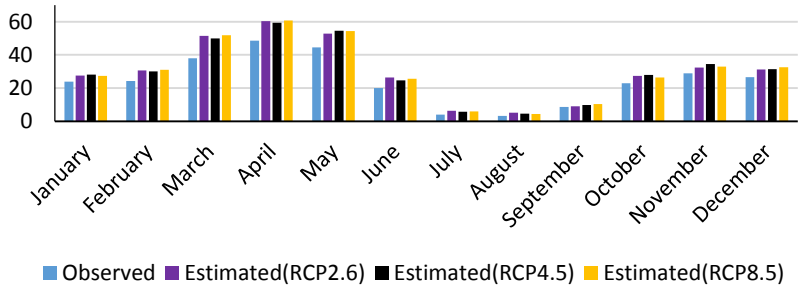
Figure 5. Observed and simulated monthly precipitation values under A2 and B2 scenarios in 1987-2001



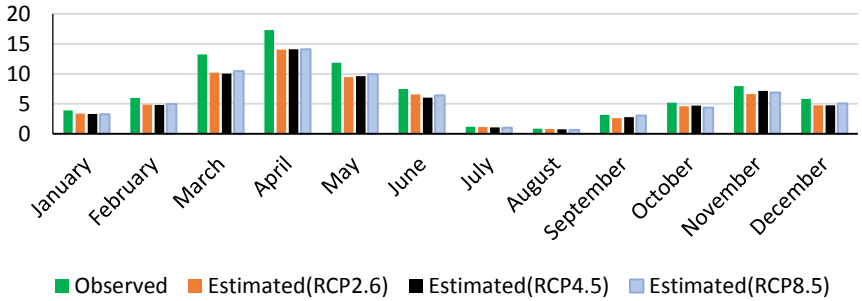
شکل ۶- مقادیر واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده سناریوهای A2 و B2 در بازه ۲۰۰۱-۱۹۸۷

Figure 6. Observed and simulated monthly precipitation variance values under A2 and B2 scenarios in 1987-2001

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]



شکل ۷- بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده سناریوهای RCP2.6 ، RCP4.5 و RCP8.5 در بازه ۲۰۰۵-۱۹۸۷
Figure 7. Observed and simulated monthly precipitation values under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in 1987-2005



شکل ۸- مقادیر واریانس بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده سناریو های RCP2.6 ، RCP4.5 و RCP8.5 در بازه ۲۰۰۵-۱۹۸۷
Figure 8. Observed and simulated monthly precipitation variance values under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in 1987-2005

نتایج ارزیابی صحت شبیه‌سازی در این دوره با استفاده از دو شاخص MAE و RMSE در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج ارزیابی مدل در جدول ۵ حاکی از دقت بالای داده‌های بزرگ مقیاس NCEP و NCEP-NCAR در پیش‌بینی بارندگی است. به‌طوری‌که این داده‌ها با میزان MAE برابر ۳/۰۸ و RMSE برابر ۳/۹۵ و MAE برابر ۵/۳۶ و RMSE برابر ۶/۴۹ مورد استفاده در مدل CanESM2 کارآیی بالایی در شبیه‌سازی بارندگی دارد. پس از آن، مدل CanESM2 با استفاده از هر سه سناریوی RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 به‌ترتیب با میزان MAE برابر ۵/۵۹، ۵/۶ و ۵/۸۳ و RMSE برابر ۶/۵۹ ، ۶/۷۴ و ۷/۰۵ و در نهایت مدل HadCM3 به‌ترتیب تحت سناریوهای B2 و A2 با میزان MAE برابر ۸/۵۹ و ۱۰/۶۵ و RMSE برابر ۱۰/۲۳و ۱۲/۹۳ در شبیه‌سازی بارندگی عمل کرده‌اند.

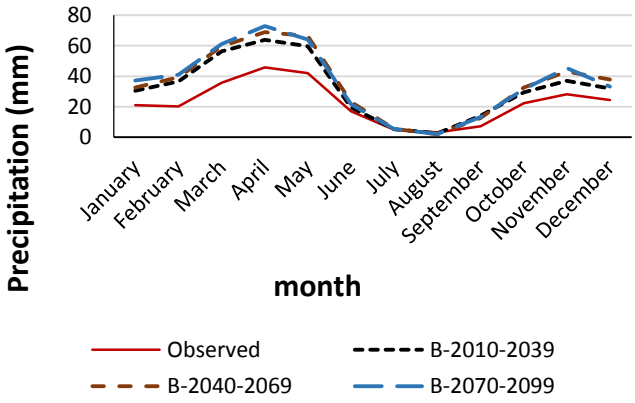
با توجه به اینکه داده‌های NCEP برای دوره‌های آینده وجود ندارد لذا جهت شبیه‌سازی بارندگی در دوره‌های آتی از داده‌های مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 و CanESM تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی‌شده در سه دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در شکل‌های ۹ تا ۱۳ ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل‌ها در دوره ارزیابی

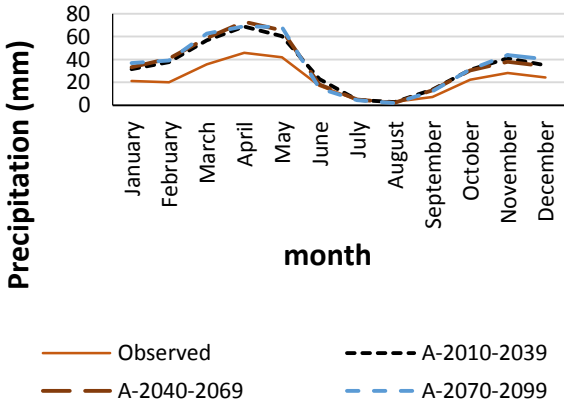
Table 5. The results of model evaluation

CanESM2 (1987-2005)					HadCM3(1987-2001)				
سناریو RCP8.5	سناریو RCP4.5	سناریو RCP2.6	NCEP-NCAR	Observed	سناریو B2	سناریو A2	NCEP	Observed	month
۲۷/۲۹	۲۸/۱۵	۲۷/۶۰	۲۷/۱۴	۲۳/۹۱	۲۹/۵۳	۳۰/۱۲	۲۴/۰۹	۲۵/۱۵۶	January
۳۰/۹۲	۳۰/۱۱	۳۰/۵۸	۳۰/۴۱	۲۴/۱۹	۳۸/۰۵	۳۹/۴۵	۲۵/۴۰	۲۴/۳۷۴	February
۵۱/۸۰	۴۹/۹۲	۵۱/۳۷	۴۹/۹۸	۳۷/۹۵	۵۵/۰۵	۵۱/۳۱	۴۶/۵۲	۳۸/۹۱۷	March
۶۰/۶۵	۵۹/۲۹	۶۰/۲۴	۵۸/۸۹	۴۸/۵۱	۷۰/۱۴	۶۶/۷۱	۵۵/۱۰	۵۰/۳	April
۵۴/۳۲	۵۴/۴۴	۵۲/۸۷	۵۵/۰۳	۴۴/۴۳	۵۸/۶۶	۶۷/۴۴	۵۴/۵۰	۴۷/۸۵۷	May
۲۵/۵۲	۲۴/۵۷	۲۶/۲۹	۲۵/۱۸	۲۰/۰۹	۲۵/۸۵	۱۹/۱۰	۲۶/۵۸	۲۰/۹۲۵	June
۵/۹۸	۵/۷۸	۶/۳۴	۴/۸۱	۴/۰۵	۶/۱۲	۷/۴۰	۵/۰۰	۳/۶۸۵	July
۴/۴۴	۴/۶۸	۵/۰۹	۴/۵۹	۳/۳۳	۳/۳۵	۵/۰۲	۳/۳۰	۲/۶۱۹	August
۱۰/۴۶	۹/۸۰	۹/۱۲	۹/۸۸	۸/۶۴	۱۴/۳۶	۱۰/۵۹	۹/۶۶	۹/۸۴۵	September
۲۶/۴۰	۲۷/۹۸	۲۷/۴۲	۲۶/۳۸	۲۲/۸۲	۲۷/۹۹	۳۷/۸۳	۲۵/۱۰	۲۱/۴۲	October
۳۳/۰۰	۳۴/۴۸	۳۲/۳۷	۳۳/۳۹	۲۸/۸۲	۳۸/۹۱	۴۱/۷۳	۲۶/۸۰	۳۰/۳۲۷	November
۳۲/۵۹	۳۱/۴۳	۳۱/۱۶	۳۱/۹۸	۲۶/۶۳	۳۱/۶۵	۴۴/۰۳	۲۱/۹۴	۲۱/۰۶۳	December
۵/۸۳	۵/۵۹	۵/۶۰	۵/۳۶	–	۸/۵۹	۱۰/۶۵	۳/۰۸	–	MAE
۷/۰۵	۶/۵۹	۶/۷۴	۶/۴۹	–	۱۰/۲۳	۱۲/۹۳	۳/۹۵	–	RMSE



شکل ۱۰- مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده در سه دوره آتی تحت سناریوی B2

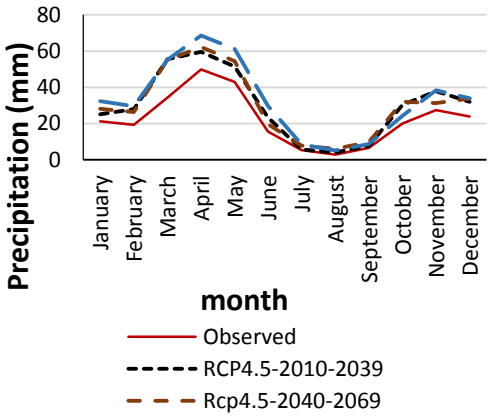
Figure 10. Monthly predicted rainfall for three time periods under scenario B2



شکل ۹- مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده در سه دوره آتی تحت سناریوی A2

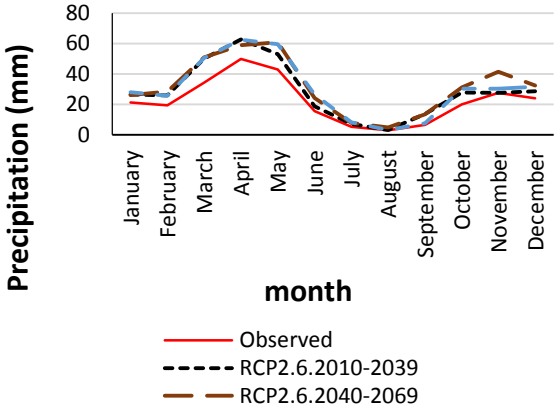
Figure 9. Monthly predicted rainfall for three time periods under scenario A2

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]



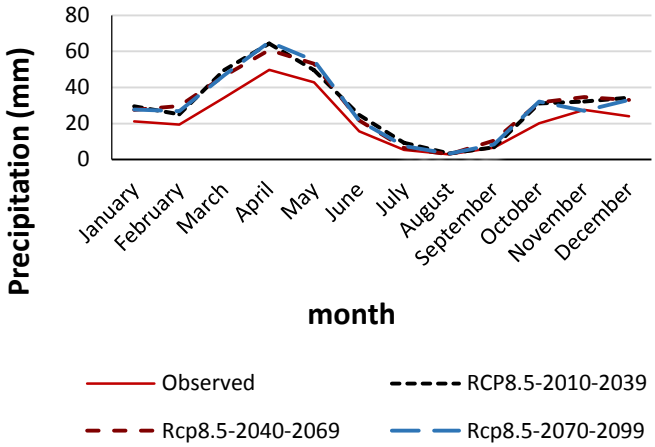
شکل ۱۲– مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده در سه دوره آتی تحت سناریوی RCP4.5

Figure 12. Monthly predicted rainfall for three time periods under scenario RCP4.5



شکل ۱۱– مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده در سه دوره آتی تحت سناریوی RCP2.6

Figure 11. Monthly predicted rainfall for three time periods under scenario RCP2.6



شکل ۱۳– مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده در سه دوره آتی تحت سناریوی RCP8.5

Figure 13. Monthly predicted rainfall for three time periods under scenario RCP8.5

جدول ۶– میزان تغییرات بارندگی ماهانه طی دوره‌های ۳۰ ساله آتی پیش‌بینی شده تحت سناریوی A2 و B2

Table 6. Monthly rainfall variation in the next 30 years under scenario A2 and B2

B-2070-2099	B-2040-2069	B-2010-2039	A-2070-2099	A-2040-2069	A-2010-2039	month
۱۶/۰۸	۱۱/۴۴	۹/۴۲	۱۵/۸۰	۱۲/۰	۱۰/۴۴	January
۲۰/۷۸	۱۹/۱۹	۱۶/۳۲۲	۱۸/۹۴	۲۰/۷۰	۱۷/۵۹	February
۲۵/۳۷۸	۲۴/۰۵	۲۰/۵۱۱	۲۶/۹۲	۲۳/۱۱	۲۰/۹۸	March
۲۷/۱	۲۲/۹۷	۱۷/۹۶۱	۲۳/۳۳	۲۷/۲۱	۲۲/۹۵	April
۲۲	۲۴/۲۸	۱۷/۵۸	۲۶/۱۳	۲۳/۴۲	۱۸/۳۵	May
۴/۶۵	۶/۱۱	۲/۵۲	−۲/۲۹	۱/۱۲	۵/۸۶	June
۰/۴۹	۰/۶۴	۰/۵	−۰/۴۳	۰/۰۵	−۰/۰۸	July
−۰/۸۹	−۱/۱۹	−۰/۵۴	−۱/۲۴	−۰/۸۳	−۰/۲۹	August
۶/۱۹	۵/۵	۷/۰۷	۵/۲۳	۵/۹۱	۶/۵۱	September
۹/۳	۱۰/۲۹	۷/۱۲	۹/۰۲۴	۸/۰۵	۸/۷۳	October
۱۷/۳	۱۴/۸۳	۸/۹۲	۱۵/۸۳	۹/۷۸	۱۳/۰۰	November
۸/۸۵	۱۳/۴۳	۷/۶	۱۵/۹۵	۹/۷۱	۱۰/۵۸	December
۱۳/۱۰	۱۲/۶۲	۹/۵۸	۱۲/۷۷	۱۱/۶۹	۱۱/۲۲	Mean

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

جدول ۷ – میزان تغییرات بارندگی ماهانه طی دوره‌های ۳۰ ساله آتی پیش‌بینی شده تحت سناریوهای RCP

Table 7. Monthly rainfall variation in the next 30 years under scenario RCP

RCP8.5			RCP4.5			RCP2.6			
2070-2099	2040-2069	2010-2039	2070-2099	2040-2069	2010-2039	2070-2099	2040-2069	2010-2039	month
۶/۶۵	۶/۳۸	۸/۳۴	۱۱/۱۳	۶/۸۹	۳/۸۹	۶/۸۲	۴/۹۹	۵/۲۷	January
۷/۵۷	۱۰/۴۵	۵/۷۶	۱۰/۲۵	۷/۰۸	۸/۶۰	۶/۴۴	۹/۱۷	۶/۶۸	February
۱۲/۴۶	۱۲/۰۹	۱۵/۱۵	۲۰/۷۸	۲۰/۸۲	۲۱/۰۷	۱۶/۲۰	۱۶/۴۹	۱۵/۶۲	March
۱۵/۳۴	۱۰/۸۹	۱۴/۵۸	۱۸/۷۵	۱۲/۵۰	۹/۸۵	۱۲/۶۷	۹/۰۷	۱۲/۸۵	April
۱۱/۹۸	۱۰/۲۹	۶/۷۸	۱۸/۲۴	۱۱/۶۴	۸/۵۷	۱۶/۷۱	۱۷/۹۴	۱۰/۲۴	May
۵/۸۱	۶/۰۷	۹/۰۰	۱۴/۱۲	۳/۹۷	۷/۷۹	۱۰/۹۰	۸/۴۸	۳/۰۵	June
۲/۲۴	۱/۰۸	۳/۹۴	۳/۱۴	۲/۴۷	۰/۴۲	۲/۹۵	۲/۵۶	۱/۸۹	July
۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۴۶	۲/۲۶	۳/۲۱	۱/۱۶	۰/۳۵	۲/۰۶	۰/۳۵	August
۱/۸۲	۳/۹۵	۰/۲۷	۲/۱۶	۳/۱۳	۱/۰۳	۱/۰۲	۶/۹۰	۷/۰۹	September
۱۲/۰۹	۱۱/۵۳	۱۱/۰۶	۴/۱۷	۱۱/۸۸	۱۰/۲۶	۱۰/۲۸	۱۱/۱۸	۷/۷۶	October
−۰/۵۳	۷/۲۷	۴/۷۱	۱۰/۹۴	۳/۸۱	۱۰/۳۴	۲/۹۲	۱۴/۰۲	۰/۱۵	November
۹/۱۴	۹/۰۹	۱۰/۳۵	۱۰/۰۳	۹/۷۴	۸/۰۵	۷/۵۷	۸/۵۵	۴/۶۰	December
۷/۰۸	۷/۴۳	۷/۵۳	۱۰/۵۰	۸/۰۹	۷/۵۹	۷/۹۰	۹/۲۸	۶/۲۹	Mean

نتایج حاصل از پیش‌بینی بارندگی با مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR4) و نیز مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 وRCP8.5 گزارش پنجم (AR5) حاکی از افزایش میزان بارندگی در دوره‌های آتی–(دوره‌های آتی نزدیک و دور) نسبت به دوره پایه ۲۰۰۱–۱۹۷۱ است. نتایج حاصل از پیش‌بینی بارندگی در دوره‌های ۳۰ساله آتی با استفاده از دو سناریوی A2 و B2 (جدول ۶) حاکی از افزایش متوسط بارندگی ماهانه تحت سناریوی A2 و B2 به‌ترتیب به‌میزان ۱۱/۲۲ و ۹/۵۸ میلی‌متر طی دوره ۳۰ساله اول (۲۰۳۹–۲۰۱۰)، ۱۱/۶۹ و ۱۲/۶۲ میلی‌متر طی دوره ۳۰ساله دوم (۲۰۶۹–۲۰۴۰) و ۱۲/۷۷ و ۱۳/۱۰ میلی‌متر طی دوره ۳۰ ساله سوم (۲۰۹۹–۲۰۷۰) نسبت به میانگین درازمدت دوره پایه است به‌طوری‌که بیشترین میزان این افزایش در دوره آتی دور (۲۰۹۹–۲۰۷۰) پیش‌بینی می‌شود. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی بارندگی حاکی از افزایش متوسط بارش ماهانه با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 (جدول ۷) به‌ترتیب برابر ۶/۲۹، ۷/۵۹ و ۷/۵۳ میلی‌متر طی دوره ۳۰ساله اول (۲۰۳۹–۲۰۱۰)، ۹/۲۸، ۸/۰۹ و ۷/۴۳ میلی‌متر طی دوره ۳۰ساله دوم (۲۰۶۹–۲۰۴۰) و ۷/۹۰، ۱۰/۵۰ و ۷/۰۸ میلی‌متر طی دوره ۳۰ساله سوم (۲۰۹۹–۲۰۷۰) است. بیشترین میزان افزایش بارندگی در همه دوره‌های مورد بررسی با استفاده از هر دو مدل مربوط به ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می (فصل زمستان و بهار) به‌ویژه در ماه‌های مارس و آوریل است و در فصل تابستان که فصل خشک سال است تغییر محسوسی در میزان بارش نخواهد بود. لازم به‌ذکر است عمدتاً بارش‌های زیاد در فصل بهار به‌صورت بارش‌های سنگین و سیل‌آسا می‌باشد و توام با خسارات سنگین است (۲۹). نتایج این تحقیق در مورد افزایش میزان بارش در طی سال‌های آتی با نتایج تحقیقات عساکره و اکبرزاده (۴) در ایستگاه تبریز با خروجی مدل CanESM2، خورشید دوست و قویدل (۲۲) با استفاده از مدل GFDL در ایستگاه سینوپتیک تبریز، گودرزی و همکاران (۱۲) در ایستگاه‌های سینوپتیک سقز، تبریز، ارومیه و خوی، هاشمی‌نسب و همکاران (۱۷) در استان کرمان، عباسی و همکاران (۱) در خراسان جنوبی، حافظ پرست و پور خیراله (۱۵) در استان ایلام و قضاوی و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. همچنین کاهش میزان بارندگی در ماه آگوست (مرداد–شهریور) را در مدل HadCM3 خواهیم داشت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در مورد کاهش بارش تابستانه با نتایج تحقیقات هاشمی نسب و همکاران (۱۷) همخوانی ندارد که می‌تواند مربوط به متفاوت‌بودن عملکرد دو منطقه تبریز و کرمان در واکنش به تغییر اقلیم در فصل تابستان باشد. در حالی که نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش با استفاده از خروجی مدل CanESM2 حاکی از افزایش بارش در همه ماه‌های سال و در هر سه دوره مورد بررسی است. این افزایش بارش می‌تواند مربوط به عرض جغرافیایی متوسط به بالای تبریز باشد. چرا که در اثر تغییر اقلیم، هوای مرطوب به عرض‌های بالاتر نفوذ کرده و موجب افزایش شدید بارش، رطوبت خاک و رواناب در این عرض‌ها می‌شود (۱۶). در کل می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک تبریز حاکی از افزایش میزان بارش در دوره‌های آتی در مقایسه با دوره ۳۰ساله پایه مورد بررسی است دلیل این امر می‌تواند مربوط به گرمایش جهانی باشد. چرا که در اثر گرمایش جهانی سطح آب دریاها بالا خواهد رفت و این باعث تغییر در الگو و مقدار بارش خواهد شد. بالا رفتن سطح دریاها و گرمایش جهان در مقدار رطوبت هوا مؤثر است و در برخی مناطق باعث افزایش بارش و در بعضی دیگر منجربه کاهش بارش خواهد شد (۲۸). با توجه به اینکه به‌دنبال تغییرات آب و هوایی، شرایط اقلیم کشاورزی و همچنین وضعیت منابع آبی و طبیعی نیز دچار تغییر می‌گردد، لازم است کلیه برنامه‌ریزان و مسوولان بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی، محیطزیست و منابع آب راهکارهای لازم برای تعدیل

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

خسارات ناشی از تغییرات آب و هوایی و یا سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۹۵/۱۰۸۲ با استفاده از اعتبارات پژوهشی پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است..

منابع

1. Abassi, F., S. Malbusi, I. Babaeian, M. Asmari and R. Borhani. 2010. Climate change prediction of south Khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. Journal of Water and Soil, 24(2): 218-233 (In Persian).
2. Abkar, A., M. Habibnajad, K. Solaimani and H. Naghavi. 2013. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperture indexes in arid and semi-arid regions. Journal of Irrigation and Water Engineering, 4(14): 1-18 (In Persian).
3. Arora, V.K., J.F. Scinocca, G.J. Boer, J.R. Christian, K.L. Denman, G.M. Flato, V.V. Kharin, W.G. Lee, and W.J. Merryfield. 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. Geophysical Research Letters, 38(5): 1-6.
4. Asakereh, H. and Y. Akbarzadeh. 2017. Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station using statistical downscaling and CanESM2 climate change model output. Journal of Geoghraphy and Environmental Hazards. 6(21): 153-174 (In Persian).
5. Baede, A.P., M.E. Ahlonsou, Y. Ding and and D. Schimel. 2001. The climate system: an overview. In: climate change 2001: the scientific basis. In: Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
6. Barrow, E. and G. Yu. 2005. Climate Scenarios for Alberta. A Report Prepared for the Prairie Adaptation Research Climate Research Services, 1-73 pp.
7. Chaumont, D. 2016. A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions. Canada, 94 pp.
8. Dorji, S., S. Herath and M. Binaya Kumar. 2017. Future Climate of Colombo Downscaled with SDSM-Neural Network. Climate, 5(24): 1-11.
9. Fung, F., A. Lopez and M. New. 2011. Modeling the impact of climate change on water resources. Wiley-Blackwell, 187: 43-62.
10. Ghazavi, R., A. Ghafari and S. Dokhani. 2018. Modelling the future impacts of climate change on watershed suspended sediment transport. Journal of Watershed Management Research, 10(18): 271-283 (In Persian).
11. Goodarzi, M., M. Hoseini and M. Parekar. 2017. Evaluation of statistical downscaling method in simulation of climate change of Karkheh basin up to the Karkheh dam. Iran-Watershed Management Science and Engineering, 10(35): 51-64 (In Persian).
12. Goodarzi, M., B. Salahi and S.A. Hosseini. 2018. Future landscape of precipitation and tempreture changes using by statistical downscaling model (case study: Ouromiyeh basin). Journal of Geographical Space, 18(64): 41-60 (In Persian).
13. Gulacha, M.M. and D.M.M. Mulungu. 2016. Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River basin Tanzania. Physics and Chemistry of the Earth, 1-11.
14. Gutierrez, J.M., D. San-Martín, S. Brands, R. Manzanas and S. Herrera. 2013. Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions. Journal Climate, 26: 171-188.
15. Hafezparast, M. and Z. Pourkheirolah. 2018. Meteorological drought monitoring in order to sustainability in RCP scenarios Case study: Doiraj watershed. Iranian Journal of Ecohydrology, 4(4): 1227-1239 (In Persian).
16. Hardy, J.T. 2015. Climate Change, Causes, Effects and Solutions. John Wiley Press, Washigton, USA, 260 pp.
17. Hashemi nasab, F., M. Mousavi baygi, B. Bakhtiari and K. Davari. 2013. Prediction the Rainfall Changes with Downscaling LARS-WG and HadCM3 models in Kerman during the next 20 years (2030-2011). Journal of Water and Irrigation Engineering, 3(12): 43-58 (In Persian).
18. Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). 2001. Climate Change Impacts Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge. Contri-bution of Working Group II to the third Assessment Report of IPCC.
19. Jana, B.K. and M. Majumder. 2011. Impact change on Natural Resource management. Springer, 493: 23-37.
20. Khorshiddoost, A.M. and Y. Ghvidel. 2006. Simulation impacts of doubling Co2 on Tabriz climate change using by laboratory dynamic model (GFDL). Jornal of Environmentology, 39: 1-10.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

21. Kim, J.W., J.T. Chang, N.L. Baker, D.S. Wilks and W.L. Gates. 1984. The statistical problem of climate inversion: determination of the relationship between local and large scale. Climate Monthly Weather Review, 12: 2069-2077.
22. Koukidis, E.N. and A.A. Berg. 2009. Sensitivity of statistical downscaling model (SDSM) to reanalysis products. Atmosphere Ocean, 47(1): 1-18.
23. Loukas, A., L. Vasiliades and J. Tzabiras. 2007. Evaluation of Climate Change on Drought Impulses in Thessaly, Greece, European Water, E.W Department of Civil Engineering. University of Thessaly, 17(18): 17-28.
24. Massah Bavani, A.R. and S. Morid. 2005. Impacts of climate change on water resources and food production (a case study of Zayandeh rood basin, Isfahan, Iran). Iran Water Resources Research, 1(1): 40-47 (In Persian).
25. Mitchell, T.D. 2003. Pattern scaling: An examination of the accuracy of the technique for describing future climates. Climatic Change, 60: 217-242.
26. NASA. 2005. A warmer world might not be a wetter one, Available from: http://science. Nasa. Gov/earth science/ big question how well can predict future changes in the earth system.
27. Omidvar, E., M. Rezaei and A. Pirnia. 2018. Performance evaluation of artificial neural network models for downscaling and predicting of climate variables. Journal of Watershed Management Research, 10(18): 80-90 (In Persian).
28. Pachauri R.K. and L.A. Meyer. 2014. Climate Change 2. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 151 pp.
29. Rezaei, M., M. Nohtani, A. Moghaddamnia, A. Abkar and M. Rezaei. 2014. Performance evaluation of statistical downscaling model (SDSM) in Forecasting Precipitation in two Arid and hyper arid Regions. Journal of Water and Soil, 28(4): 836-845 (In Persian).
30. Salehnia, N., A. Alizadeh and N. Sayari. 2014. Comparison of two downscaling methods (LARS-WG and ASD) in predicting precipitation and temperature under climate change in different climate. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(8): 233-245 (In Persian).
31. Semenov, M.A. and P. Tratonovitch. 2009. The use of multi-model ensembles from global climate models for impact assessments of climate Change. Climate Research, 22(3): 1-12.
32. Shirvani, A. and N. Ahmadi Baseri. 2019. On the relationship between zonal wind variations and precipitation of southern regions of Iran. Journal of Water Engineering, 39(4): 45-56 (In Persian).
33. Turini, N. and M.R. Hessami Kermani. 2014. Climate change prediction using Neuro-Fuzzy (Case study: Tehran and Tabriz stations). Sharif Civil Engineering Journal, 30(1.1): 139-147 (In Persian).
34. Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss and D.J. Dokken. 1997. The regional impact of climate change: an assessment of vulnerability: A Special Report of IPCC working group II. Cambridge University Press, Cambridge, England, 517 pp.
35. Wilby, R.L. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames. UK. Water Resources Research, 42: 19-24.
36. Wilby, R.L. and W.C. Dawson. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2. Environment Agency of England and Wales. 94 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]

Prediction of Rainfall under HadCM3 and CanESM2 Climate Change Models using Statistical Downscaling Model (Case Study: Tabriz Synoptic Station)

Sedigheh Mohamadi[1], Sadegh Ghazanfari[2] and Alijan Abkar[3]

1- Assistant Professor Graduate University of Advanced Technology, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, (Corresponding author: mohamadisedigeh@gmail.com)
2- Assistant Professor Graduate University of Advanced Technology, Department of Energy Management and Optimization, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology
3- Assistant Professor Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO
Received: August 17, 2019 Accepted: March 28, 2020

Abstract

Global climate change as a main factor affecting all ecological components, has been attended by researchers all over the world in the recent years. In this regard for simulating the rainfall, National Centers for Environmental Prediction (NCEP) data, HadCM3 data under A2 and B2 scenarios, CanESM2 data under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were utilized. This research was performed by adopting the Statistical Downscaling Method (SDSM) at Tabriz synoptic station over 31 years base periods included (1971-2001) and 35 years (1971-2005). According to the results of A2 and B2 scenarios simulation, the monthly rainfall mean will increase by 11.22 and 9.58 mm over the first 30 years period (2010-2039), 11.69 and 12.62 mm over the second 30 years period (2040-2069) and 12.77 and 13.10 mm over the third 30 years period (2070-2099) in the future, respectively. Additionally, the results of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios simulation demonastrated that the monthly rainfall mean will increase by 6.29, 7.59 and 7.53 mm over the first 30 years period , 9.28, 8.09 and 7.43 over the second 30 years period and finally 7.90, 10.50 and 7.08 over the third 30 years period in the future, respectively. We found that the most increased rates of the rainfall mean under all studied scenarios will happen in March, April and May months due to global warming effects on rainfall amount and patern.

Keywords: Climate Change, RCP Scenarios, Statistical Downscaling Model, Tabriz Synoptic Station

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.22.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.220]