دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم و روش‌های تصحیح خطا و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان بیرجند

مرتضی دهقانی[۱]، عطاالله کاویان[۲]، محمود حبیب نژاد روشن[۳]، محمد قربانی[۴] و زینب جعفریان جلودار[۵]

۱- دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: a.kavian@sanru.ac.ir)
۳- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۹
صفحه: ۴۲ تا ۵۳

چکیده

از مهم‌ترین پیامدهای افزایش واداشت تابشی ناشی از فعالیت‌های انسانی، گرمایش جهانی می‌باشد که دگرگونی‌های متنوع و چالش‌برانگیزی از جمله تغییرات اقلیمی را بر اکوسیستم‌های مختلف تحمیل کرده و پیش‌بینی‌های مختلف نیز نشان‌دهنده شدت بیشتر آن در آینده است. با توجه به این‌که مدل‌های اقلیمی و روش‌های تصحیح خطای متنوعی برای شناخت شرایط آینده ارائه شده، انتخاب مدل اقلیمی و روش تصحیح خطا مناسب، یکی از چالش‌های کلیدی مرتبط با آینده‌نگری تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی و حوزه‌ای می‌باشد. در این مطالعه صحت و کارایی مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای شامل: CanESM2، CSIRO Mk3، EARTH -C، IPSL، MIROC51، HadGEM2، MPI، NorESM1 و GFDL و روش‌های آماری تصحیح خطا شامل: LS، DC، LI،DM، PT، و VS با استفاده از آزمون‌های T و F ، دیاگرام تیلور و ده شاخص آماری در دو دوره کنترل (۲۰۰۵-۱۹۵۶) و اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۶) در ایستگاه بیرجند مورد ارزیابی قرار گرفته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد شاخص متوسط ماهیانه دوره، کارایی مدل‌ها و روش‌ها را به صورت اغراق‌آمیزی افزایش می‌دهد و مدل برتر متناسب با نوع نمایه آماری و دوره مورد نظر متفاوت است. پیش‌بینی‌های روش ریزمقیاس‌نمایی فاکتور تغییر (CF) در دوره اعتبارسنجی دقت لازم را ندارد و روش ریزمقیاس‌نمایی خطی و واریانس به‌ترتیب برای پارامتر بارش و دما مناسب می‌باشد همچنین متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده دما و بارش همه مدل‌های مورد استفاده نسبت به یک مدل از دقت بیشتری برخوردار بوده و مقادیر برآوردی مدل‌های اقلیمی EARTH و MPI دقت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، بیرجند، تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، متغیرهای اقلیمی، مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت و صنایع آلاینده، تغییر کاربری اراضی، نگاه اقتصادی و عدم توجه به توسعه پایدار به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، گازهای گلخانه‌ای از جمله دی اکسید کربن را به‌خصوص بعد از انقلاب صنعتی افزایش داده است (۱۶). از جمله تبعات افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییر در بیلان انرژی کره زمین به‌دلیل واداشت تابشی[۱] است به‌طوری که بر اساس گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم[۲] مجموع واداشت تابشی ناشی از فعالیت‌های انسانی در سال ۲۰۱۱ در بهترین حالت ۴۳ درصد بیش‌تر از میزان پیش‌بینی شده گزارش چهارم بوده و این عدد نسبت به سال ۱۷۵۰ به‌طور متوسط ۲/۲۹ وات بر متر مربع افزایش داشته است (۲۰،۱۶،۱۵). این وضعیت متناسب با سطح تکنولوژی، وضعیت اقتصادی و اجتماعی و رشد جمعیت ادامه خواهد داشت (۱۶،۸) محاسبات تئوری و تغییرات مشاهده شده قویا نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی قرن ۲۱ حتی در خوشبینانه‌ترین حالت از قرن گذشته بیشتر خواهد بود (۲۱) به‌طوری که بر اساس گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ در خوشبینانه و بدبینانه‌ترین حالات به‌ترتیب ۲/۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع افزایش خواهد داشت (۱۶) گرمایش جهانی[۳] و تغییر اقلیم[۴] از جمله شواهد غیر قابل انکار افزایش واداشت تابشی، است (۳۲) به‌طوری که بر اساس آمار منتشر شده از سال ۱۹۷۰ متوسط دمای زمین در هر دهه ۰/۱۵ درجه سانتیگراد افزایش داشته و در مجموع دمای زمین نسبت به اوایل قرن بیستم حدود ۰/۶درجه گرمتر شده است (۱۶،۱۲،۱۷). تحقیقات نشان می‌دهد تغییر اقلیم در دامنه متنوعی زمانی- مکانی بر پارامترهای هیدرواقلیمی، سیکل کربن، تولیدات اکوسیستم‌های مختلف، فرسایش خاک، امنیت غذایی و انرژی اثر گذاشته و ضمن تحمیل آسیب‌ها و چالش‌های جدی بر لایه‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی و رفاه جوامع انسانی، هزینه پایداری اکوسیستم‌ها را به‌شدت بالا برده است (۳۷،۳۲،۲۶،۲۹،۲۵،۲۰،۱۶،۱۵،۴،۷) به‌عنوان نمونه تغییرات اقلیمی هزینه سالیانه کنترل سیلاب انگلیس را ۲۰۰ میلیون پوند افزایش داده است (۱۲). بنابراین بررسی و آینده‌نگری وضعیت اقلیمی هر منطقه یک ضرورت انکارناپذیر است (۲۱،۸).

بر این اساس عکس‌العمل اقلیمی فعالیت‌های انسانی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای تا افق ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف توسط مدل‌های تغییر اقلیم در سه تقسیم‌بندی مدل‌های گردش عمومی اتمسفر، هیدروسفر و جوی- اقیانوسی[۵] با تفکیک مکانی ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتری جهت آینده‌نگری و مدیریت بحران‌های مرتبط شبیه‌سازی شده (۳۸،۳،۱۱) و همواره در حال توسعه و تکامل است به‌طوری که از سال ۱۹۸۸ تاکنون مدل‌های گردش عمومی[۶] متنوعی

1- Radiative Forcing (RF)
2- Intergovernmental panel on Climate Change (IPCC)
3 -Global Warming
4 -Climate Change
5- Atmospheric-Ocean General Circulation Models (AOGCM)
6- General Circulation Models (GCM)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

توسط پژوهشکده‌های مختلف تولید و IPCC نیز ۵ گزارش با سناریوهای مختلف منتشر کرده است (۱۶) و در سال‌های اخیر مدل‌های منطقه‌ای با تفکیک مکانی ۱۰ تا ۵۰ کیلومتر توسعه یافته که به‌دلیل کوچک‌تر شدن منطقه و ورود جزئیات پوشش سطح زمین، تصحیح شرایط مرزی و قدرت تفکیک بالاتر نسبت به مدل‌های جهانی دقت بهتری دارد (۳۸،۵،۱۹،۳۲) با این وجود عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم بدلیل تعدد متغییرهای مرتبط همچنان یکی از چالش‌های کلیدی علوم اقلیمی است (۳۸،۵،۶،۱۰،۱۹). تحقیقات نشان می‌دهد بدون تصحیح خطای مدل‌های اقلیمی (مخصوصا در مناطق کوهستانی، جنگلی و ابری) خطا اجتناب‌ناپذیر بوده (۲۱،۲۰،۳) و این موضوع در الگوهای روزانه و به‌خصوص بارش آشکارتر است (۲۴،۲۲) به‌طور کلی برآورد اثرات تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی وابسته به پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیمی بوده و عدم قطعیت آنها به‌خصوص در مقیاس‌های کوچک و محلی مهم‌ترین محدودیت برنامه‌ریزی‌های مرتبط محسوب می‌گردد (۲۱). در تحقیقات مختلفی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی[1] بررسی شده که می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. نوتی و همکاران (۲۱) با بررسی واداشت تابشی زمین نشان دادند به احتمال ۴۰ درصد، متوسط دمای آینده زمین گرمتر از پیش‌بینی‌های گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم در افق ۲۱۰۰ خواهد شد. تبالتی و همکاران (۳۴) برای تصحیح خطای مدل‌های گردش عمومی از یک روش آماری با تئوری بیزین استفاده کردند و آن‌را مناسب ارزیابی کردند. ماین‌ویل و همکاران (۲۴) برای تصحیح خطای مدل‌های جهانی تغییر اقلیم مورد استفاده در حوزه نوردیک کانادا از روش ریزمقیاس‌نمایی فاکتور تغییر استفاده و نشان دادند که بر اساس مدل‌های مختلف مورد استفاده دما در سال ۲۰۲۰ بین ۱ تا ۴ و در سال ۲۰۸۰ بین ۴ تا ۱۴ درجه و بارش در این سال‌ها به‌ترتیب ۲۰ و ۵۵ درصد افزایش خواهد داشت. تئوسچوبین و سیبرت (۳۵) دقت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی خطی[2] (LS)، فاکتور تغییر[3] (CF)، توزیع نقشه‌ای[4] (DM)، تراکمی[5] (LI)، نمایی[6] (PT) و روش واریانس[7] (VS) را در دوره۱۹۹۰-۱۹۶۱ برای خروجی یازده مدل منطقه‌ای گزارش چهارم در ۵ حوزه آبخیز سوئد را بررسی و نشان دادند که دقت روش ریزمقیاس‌نمایی فاکتور تغییر غیر قابل بررسی است و روش ریزمقیاس‌نمایی توزیع نقشه‌ای با میانگین مطلق خطا ماهانه ۰/۰۸۷ میلی‌متر و ۰/۱۶۳درجه سانتی‌گراد بهترین عملکرد را در بین روش‌های مورد استفاده داشته است. بسته به موقعیت مکانی حوزه (ایستگاه مشاهداتی) دقت و قابلیت مدل‌ها متفاوت است و دقت مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در پارامتر دما بیش از بارش است. سو و همکاران (۳۱) با ارزیابی ۲۴ مدل GCM گزارش پنجم با استفاده از ۱۷۶ ایستگاه هواشناسی منطقه فلات تبت در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ نشان دادند که ۱- دقت مدل‌ها در برآورد پارامتر دما بیشتر از بارش است، ۲- بر اساس شاخص آماری و سری زمانی (سالانه، فصلی و ماهانه) مورد استفاده دقت مدل‌ها متفاوت است، ۳- مدل انتخابی پارامتر دما متفاوت از بارش است، ۴- موقعیت جغرافیایی و وضعیت توپوگرافی منطقه در دقت مدل‌ها موثر است، ۵- دقت دما در ماه‌های گرم بیش‌تر از سایر ماه‌ها است و ۶- همبستگی بین نوسانات زمانی درون یک سری زمانی کم است. کراس‌من و همکاران (۵) و استل دون و همکاران (۳۰) نشان دادند اثرات تغییرات آب و هوایی حوزه رودخانه سیاه (کانادا) و ایرلند در جهت افزایش بارش زمستان و دمای تابستان و زمستان خواهد بود. قهرمان و همکاران (۱۳) مقادیر دما و بارش ۳۷ مدل تغییر اقلیم گزارش پنجم را با داده‌های مشاهداتی ۳۷ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۰ بررسی و نشان دادند بر اساس شاخص RMSE[8] و اریبی[9] مدل MPI برای بارش و مدل‌های CESM1،MPI و CCSM4 برای دما دقت بیش‌تری دارند. رسولی و همکاران (۲۸) داده‌های گزارش چهارم مدل HadCM3 با ابعاد شبکه ۳/۷۵ × ۲/۵ درجه را با استفاده از برنامه LARS-WG برای ایستگاه‌های شمال غرب ایران ریزمقیاس کردند. نتایج نشان داد بر اساس شاخص آماری میانگین خطای مطلق ماهانه دوره ۱- بسته به موقعیت جغرافیایی ایستگاه مشاهداتی دقت مدل متفاوت است به‌طوری که ایستگاه پارس‌آباد بیش‌ترین و اردبیل کم‌ترین دقت را دارد، ۲- دقت مدل در دمای حداقل بیش‌تر از دمای حداکثر و بارش است، ۳- دقت بارش کمتر از ۵۰ درصد است و ۴- دقت بارش در ماه‌های پر بارش و دما در ماه‌های گرم بیش‌تر است. کاظمی‌راد و محمدی (۱۸) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم استان گیلان، داده‌های دما و بارش سناریوهای A2 و B1 مدل‌های HadCM3 و MPEH5 را با استفاده از برنامه LARS-WG ریزمقیاس کردند. در این تحقیق برای ارزیابی دقت خروجی مدل از آزمون T و همبستگی پیرسون استفاده شده است.

به‌طور کلی در اکثر تحقیقات انجام شده ریزمقیاس‌نمایی با روش فاکتور تغییر انجام شده که عدم قطعیت آن با توجه به ماهیت روش غیر قابل بررسی است. علاوه بر این در مطالعاتی که از چند مدل اقلیمی یا روش ریزمقیاس‌نمایی استفاده شده مبنای انتخاب مدل یا روش مناسب‌تر مقایسه میانگین ماهانه دوره آماری (دوره گذشته) با یک یا دو شاخص آماری و عمدتا اریبی و مجذور میانگین مربع خطا بوده است (۲۴) و به ۱- نوسانات و ناهنجاری‌های داخل سری‌های زمانی مورد استفاده، ۲- کارایی متفاوت شاخص‌های آماری و ۳- اعتبارسنجی مدل‌های اقلیمی یا روش‌های ریزمقیاس‌نمایی توجه نشده و از این جهت تحقیقات انجام شده از کفایت لازم برخوردار نیست که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خشکسالی‌های شدید و متوالی چند دهه اخیر، تمرکز جمعیت و صنایع و وابستگی آب مورد نیاز بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت شهرستان بیرجند به منابع آب زیرزمینی باعث شده آبخوان بیرجند با جمعیت ۲۶۱۳۲۴ نفر (سرشماری ۱۳۹۵) در شرایط بحرانی قرار گیرد. به‌طوری که

1- Downscaling
2- Linear Scaling (LS)
3- Delta Change or Change Factor (DC or CF)
4- Distribution Mapping (DM)
5- Local Intensity Scaling (LI)
6- Power Transformation (PT)
7- Variance Scaling (VS)
8- Root Mean of Square Error(RMSE)
9- Bias

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

بر اساس آمار مشاهداتی پیزومترهای موجود در حوزه طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵ سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط سالانه ۰/۴۴ و مجموعا ۱۲/۷۸متر افت داشته است. با توجه به اثرپذیری شدید اقتصادی، اجتماعی و رفاهی جوامع به خصوص دامداران و عشایر شهرستان بیرجند از شرایط هیدروکلیماتولوژی، شناخت وضعیت آینده برای اتخاذ تصمیم به موقع و مناسب امری اجتناب‌ناپذیر است. لذا در این تحقیق مدل‌های تغییر اقلیم منطقه‌ای آفریقا[1] به‌عنوان مدل‌های اقلیمی و ایستگاه سینوپتیک بیرجند (مشاهداتی) به‌عنوان قدیمی‌ترین و کامل‌ترین ایستگاه استان خراسان جنوبی و دشت بیرجند در مختصات ´۱۷ °۵۹ طول شرقی و ´۵۳، °۳۲ عرض شمالی برای اهداف تحقیق انتخاب گردید. شکل ۱ (راست) موقعیت ایستگاه مورد استفاده در شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی و گستره مدل تغییر اقلیم منطقه‌ای آفریقا و اشکال ۱ (چپ) نمودار باکس پلات بارش و دمای سالانه ۶ دهه اخیر این ایستگاه نشان شده است.

روش تحقیق

این تحقیق در ۵ مرحله به صورت زیر انجام شده است

۱- داده‌های مشاهداتی و کنترل کیفیت آن

داده‌های مشاهداتی این تحقیق شامل بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند در دوره آماری ۷ می ۱۹۵۵ تا پایان ۲۰۱۵ می‌باشد که از اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ گردید.

در این تحقیق برای کنترل صحت و همگنی داده‌ها و شناسایی داده‌ها پرت به ترتیب از منحنی جرم مضاعف، آزمون مشاهدات استثنایی و منحنی باکس پلات (شکل ۱ چپ) در سطح ۵ درصد استفاده شده است. با توجه به اینکه در ایستگاه‌های سینوپتیک داده‌ها توسط دستگاه ثبت و ذخیره می‌شود، برای جلوگیری از حذف عجولانه، وقایع پرت شناسایی شده در سری زمانی (شکل ۱ چپ) با وقایع همزمان ایستگاه‌های مجاور مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص گردید وقایع شناسایی شده واقعی است و بر این اساس این داده‌ها از سری داده‌ها حذف نشده است. اشکال ۱ (چپ) نشان می‌دهد بارش متوسط دو دهه اخیر نسبت به میانگین ۶۰ ساله به ترتیب ۳۱ و ۱۵ میلی‌متر کاهش و دمای متوسط ۰/۳۶ و ۰/۱۴ درجه افزایش داشته که می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی باشد.

۲- داده‌های اقلیمی

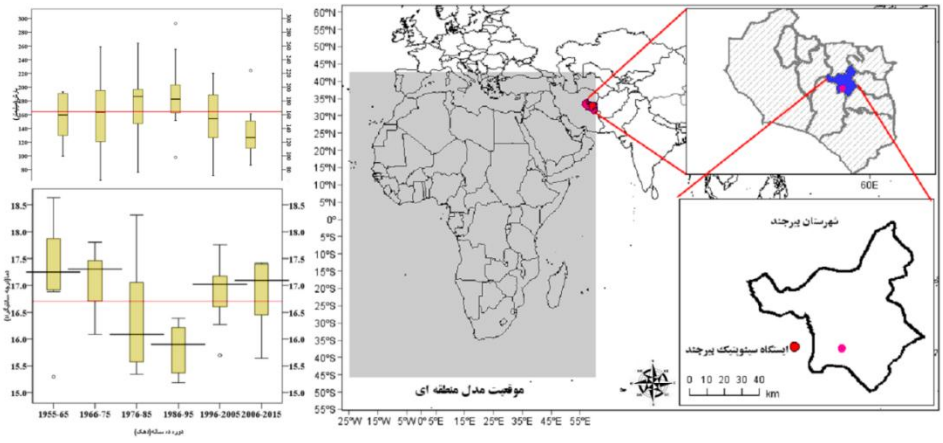
با توجه به اینکه یک راه موثر افزایش دقت خروجی مدل‌های تغییر اقلیم استفاده از مدل‌های منطقه‌ای با قدرت تفکیک بالاست (۳۷،۳۶،۱۷) در این تحقیق بر اساس موقعیت جغرافیایی ایران و شهرستان بیرجند (شکل ۱)، گستره مدل منطقه‌ای آفریقا[2] (AFR) از مجموعه مدل‌های تولید شده cordex[3] انتخاب و آمار روزانه بارش و دمای مدل‌های اقلیمی مورد نظر بر اساس گزارش پنجم[4] IPCC تحت مسیر انتشار آینده گازهای گلخانه‌ای[5] (RCP) و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 از سال ۱۹۵۵ تا ۲۱۰۰ دریافت گردید. پهنه منطقه آفریقا (شکل ۱ راست) یک ماتریس تو در توی ۲۰۱×۱۹۴ بین عرض جغرافیایی ´۷۶ °۴۵- تا ´۱۴ °۴۲+ و طول جغرافیایی ´۳۸ °۲۴- تا ´۱۷ °۶۰ می‌باشد که در سال ۲۰۱۵ اصلاح و به‌روزرسانی شده است. در جدول (۱) لیست مدل‌های اقلیمی مورد استفاده با دقت مکانی ۰/۴۴ درجه (تقریبا ۵۰ کیلومتر) نشان داده شده است.

تصحیح خطا (ریزمقیاس‌نمایی)

مدل‌های اقلیمی به دلایل مختلف از جمله ساختار مدل‌ها، خطای اندازه‌گیری داده‌های مشاهداتی، تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی، متغیرهای داخلی غیر قابل پیش‌بینی، اختلاف انتظار در واداشت تابشی، کمبود اطلاعات و جزئیات محلی و تفکیک‌پذیری پایین زمانی- مکانی، با عدم قطعیت همراه هستند و استفاده مستقیم از خروجی آن‌ها در مقیاس حوزه مخصوصا در مناطق کوهستانی امکان‌پذیر نیست (۳۸،۱۱،۲۸،۲۹،۳۶) نیاز به پیش‌بینی‌های آب و هوایی واضح، دقیق و مناسب (۸) و عدم قطعیت مدل‌های تغییراقلیم باعث شده محققین راه‌کارهای مختلفی از جمله روش‌های ریزمقیاس‌نمایی را به‌عنوان رابط افزایش دقت و صحت خروجی مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی و حوزه ارائه دهند (۳۸،۴،۶،۱۰،۱۱،۲۹،۳۱،۳۵). این روش‌ها با تصحیح خطای مدل‌های تغییر اقلیم، پشتیبان و حامی مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی بوده (۲،۱) و عموما به دو گروه دینامیکی[6] و آماری[7] تقسیم می‌شوند روش‌های دینامیکی با استفاده از حل عددی معادلات حاکم بر اتمسفر و روش‌های آماری با مقایسه میانگین و واریانس دوره مشترک و برقراری یک رابطه تجربی بین داده‌های مدل و مقادیر مشاهداتی دقت مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی را افزایش می‌دهند (۲۹،۱۲،۲۸). با توجه به اینکه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری در عین سادگی و ارزانی دقت لازم برای کاهش خطا را دارند (۲،۳،۳۶). در این تحقیق برای تصحیح خطای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده به مقیاس آبخوان بیرجند از روش‌های آماری: خطی (LS)، فاکتور تغییر (CF)، توزیع نقشه‌ای (DM)، تراکمی (LI) و نمایی (PT) برای بارش و روش‌های: خطی (LS)، فاکتور تغییر (CF)، توزیع نقشه‌ای (DM) و روش واریانس (VS) برای دما به شرح مرجع ۳۵ استفاده شده است.

1- Africa Regional Climate Models (RCM)
2- Africa Climate Models (AfrCM)
3- COordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)
4- Fifth Assessment Report (AR5)
5- Representative Concentration Pathway Scenarios (RCP)
6- Dynamical Downscaling
7- Statistical Downscaling

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]



شکل ۱- موقعیت ایستگاه بیرجند در گستره مدل منطقه‌ای آفریقا (راست) و نوسانات بارش و دما در ۶ دهه گذشته (چپ)
Figure 1. Location of Birjand Station in Africa RCM Area (Right) and Variation annual Temperature and Precipitation in lasted 6 decade (Left)

جدول ۱- مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در مطالعه
Table 1. List of the GCM Used in this Study

سازمان	کشور	مدل
Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	کانادا	CanESM2
Max-Planck-Institute for Meteorology	آلمان	MPI-ESM-LR
Meteorological Institution at Stockholm University	سوئد	EC-EARTH
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	استرالیا	CSIRO-MK3
NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	امریکا	GFDL-ESM2M
Met Office Hadley Centre	انگلیس	HadGEM2
Institute Pierre Simon Laplace	فرانسه	IPSL-CM5A-LR
National Institute for Environmental Studies	ژاپن	MIROC5
Norwegian Climate Centre	نروژ	NorESM1-M

۳- کنترل و اعتبارسنجی

با توجه به اینکه مدل‌ها یک ساده‌سازی از طبیعت پیچیده و واقعی آن می‌باشد خروجی آنها دقیقا منطبق با مقادیر مشاهداتی و واقعی نیست و بایستی توافق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل‌ها با اعتبارسنجی[1] مورد ارزیابی قرار گیرد تا درصد اعتماد به خروجی مدل و تصمیم‌گیری در استفاده یا عدم استفاده از آن انجام گیرد (۱۹،۸).

در اکثر پژوهش‌های انجام شده از جمله استیل‌دون و همکاران (۲۰۰۸)، ماین‌ویل و همکاران (۲۰۰۸)، تئوسچوبین و سیبرت (۲۰۱۲)، سو و همکاران (۲۰۱۳)، قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) و فن و شیباتا (۲۰۱۵) فرض شده دقت مناسب گذشته یک مدل در آینده نیز برقرار خواهد بود و بر این اساس صحت نتایج خروجی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی یا مدل‌های تغییر اقلیم اعتبارسنجی نشده است علاوه بر این میانگین ماهانه دوره آماری معیار ارزیابی عملکرد مدل‌ها یا روش‌های ریزمقیاس‌نمایی قرار گرفته که منعکس‌کننده نوسانات و ناهنجاری‌های داخل سری‌های زمانی نبوده و مقایسه این پارامتر انحرافات و ناهنجاری‌های[2] سری زمانی را به‌صورت غیر واقعی کاهش می‌دهد.

با توجه به اینکه داده‌های مدل‌های منطقه‌ای مورد استفاده دارای دو نوع داده گذشته یا دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۵۱) و داده آینده یا دوره پیش‌بینی (۲۱۰۰-۲۰۰۵) می‌باشد در این تحقیق برای ارزیابی کارایی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس با توجه به داده‌های مشاهداتی ایستگاه بیرجند دو دوره کنترل (۲۰۰۵- ۱۹۵۵) و اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۶) در نظر گرفته شد و بر این اساس صحت و اعتبار مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به‌صورت روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه (۸) مورد ارزیابی قرار گرفت.

٤- شاخص‌های آماری مورد استفاده

ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی عمده تحقیقات با آزمون مقایسه میانگین (T) و شاخص‌های آماری اریبی و مجذور میانگین مربع خطا انجام شده است. در این تحقیق به‌منظور بررسی و ارزیابی دقت و صحت مدل‌های تغییر اقلیم و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی با توجه به نقاط قوت و ضعف نمایه‌های مختلف آماری از آزمون‌های T و F، دیاگرام تیلور[3] و ۱۰ نمایه آماری شامل: انحراف معیار، ضریب تغییرات، شیب[4]، ضریب تعیین[5]، اریبی (دما)، درصد میانگین اریبی خطا[6] (بارش)، مجذور میانگین مربع خطا، شاخص توافق[7]، شاخص کارایی[8] و میانگین مطلق خطا[9] استفاده شده است.

1- Validation
2- Anomaly
3- Taylor Diagram
4- Slope
5- Coefficient of Determination (R^2)
6- Mean Bias Error(MBE)
7- Index Agreement(IA)
8- Efficiency Coefficient
9- Mean of Absolute Error(MAE)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

۵- پیش‌بینی وضعیت آینده

با توجه به اثرگذاری تغییرات اقلیمی در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و حتی امنیتی، پیش‌بینی شرایط آینده برای ارزیابی اثرات و آسیب‌های سیستم‌های تاثیرپذیر برای مدیریت ریسک و کاهش اثرات نامطلوب و یافتن راه‌کارهای پایدار و مقرون به صرفه امری ضروری و اجتناب ناپذیر است (۱۰). در این راستا به‌منظور مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران وضعیت اقلیم شهرستان بیرجند بر اساس پیش‌بینی‌های مدل‌های مورد استفاده تا افق ۲۱۰۰ تعیین شده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق سری‌های زمانی روزانه، میانگین ماهانه دوره، ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون‌ها و شاخص‌های آماری در دو دوره کنترل (۲۰۰۵-۱۹۵۶) و اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت.

۱- مقایسه روزانه سری زمانی: نتایج نشان می‌دهد ارتباط آماری مقادیر شبیه‌سازی شده مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی با مقادیر مشاهداتی در هر دو دوره کنترل و اعتبارسنجی بسیار ضعیف و غیر قابل بررسی است که از این نظر با تحقیق نوتی و همکاران (۲۱) و ماین‌ویل و همکاران (۲۴) مطابقت دارد.

۲- مقایسه میانگین دوره آماری سری‌های زمانی: سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ همه مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بر اساس آزمون T جفتی در سطح ۵ درصد برابر است. بررسی این شاخص در دوره ۲۰۱۵-۱۹۵۶ نیز نشان می‌دهد به‌جز روش ریزمقیاس‌نمایی PT مدل HadGEM در مقیاس ماهانه و روش DM مدل MIROC در مقیاس فصلی، سایر سری‌های زمانی میانگین برابری در سطح ۵ درصد دارند. اختلافی در انحراف معیار سری زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۵۶) دیده نشده و در دوره اعتبارسنجی نیز به‌جز روش PT و LI مدل HadGEM و روش DM مدل MIROC و LI مدل CanESM در سایر سری‌های زمانی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ مشاهده نشده است.

میانگین دمای شبیه‌سازی شده اکثر سری‌های زمانی در دوره کنترل و اعتبارسنجی با مقادیر مشاهداتی اختلاف معنی‌دار دارد ولی انحراف معیار تمام روش‌های ریزمقیاس و مدل‌های اقلیمی در سطح ۵ درصد با مقادیر مشاهداتی برابر است.

شاخص توافق و کارایی بارش سری‌های مختلف زمانی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ بیش‌تر از ۰/۹۸ بوده است. در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ بجز روش خطی (۰/۱۳) و فاکتور تغییر (۰/۴۳) مدل CanESM در سایر روش‌ها و مدل‌ها، شاخص توافق بیش‌تر از ۰/۵۴ بوده است. شاخص کارایی در مدل‌های MIROC و HadGEM (با همه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی) و مدل CanESM (با روش‌های ریزمقیاس‌نمایی خطی و فاکتور تغییر) منفی و در سایر سری‌های زمانی بیش‌تر از ۰/۲۲ و در مدل‌های EARTH، MPI، NorESM و IPSL بزرگ‌تر از ۰/۷۵ بوده است. شاخص توافق و کارایی دما همه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و همه مدل‌های اقلیمی در هر دو دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ و ۲۰۱۵-۲۰۰۵ بیش‌تر از ۰/۹۴ محاسبه شده است.

۳- مقایسه ماهانه سری زمانی: نتایج نشان داده است بجز مقادیر شبیه‌سازی شده مدل HadGEM (با همه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی)، مدل NorESM (روش ریزمقیاس‌نمایی LI) و مدل MIROC (روش‌های DM و LI) در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ سایر مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در هر دو دوره میانگین بارش یکسانی در سطح ۵ درصد دارند.

انحراف معیار مقادیر بارش شبیه‌سازی شده روش‌های LS و LI وPT مدل‌های EARTH، MPI، MIROC و GFDL در دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ و روش‌های LS و LI مدل EARTH و روش LI مدلMPI با مقادیر مشاهداتی در سطح ۵ درصد برابر و سایر سری‌های زمانی انحراف معیار متفاوتی دارند. فرض صفر (برابری) مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی انحراف معیار دما در سطح ۵ درصد تایید شده ولی این فرض در مقادیر میانگین رد شده است. شاخص کارایی برای پارامتر بارش در سری‌های مختلف زمانی و هر دو دوره کنترل و اعتبارسنجی منفی و نزدیک به صفر و شاخص توافق در دوره کنترل و اعتبارسنجی به‌ترتیب بین ۰/۶۹-۰/۵۲ و ۰/۷-۰/۵۱ محاسبه شده است. روند کلی پارامترهای دما و بارش در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵مشابه دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ بوده ولی تعداد سری‌های زمانی با میانگین برابر (در سطح ۵ درصد) در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ کمتر است. به‌طور کلی دقت مقادیر شبیه‌سازی شده دمای ماه‌های گرم و بارش ماه‌های پر باران مدل HadGEM بیش‌تر از سایر ماه‌ها است ولی این نظم در سایر مدل‌ها دیده نشده است.

با توجه به قابلیت‌های خوب دیاگرام تیلور در انتخاب مدل مناسب (۳۳،۳)، این دیاگرام برای سری‌های مختلف مورد بررسی با برنامه ارائه شده توسط خلیقی ترسیم گردید که به‌عنوان نمونه در شکل ۲ (چپ) موقعیت مدل‌های اقلیمی و در شکل ۲ (راست) روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی مدل EARTH پارامتر بارش در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ ارائه شده است. در جداول ۲ و ۳ اولویت نسبی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای بارش و دما بر اساس شاخص‌های مورد استفاده نشان داده شده است. میزان انحراف روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی بارش و دمای ۹ مدل اقلیمی مورد استفاده در مقیاس ماهانه در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل الف و ب به‌ترتیب درصد انحراف ماهانه بارش دوره کنترل و اعتبارسنجی و شکل ج و د به‌ترتیب مقادیر انحراف برای دما در دوره کنترل و اعتبارسنجی می‌باشد. در شکل ۴ مجموع میانگین مربعات خطای بارش فصول مختلف مدل‌های اقلیمی در دوره کنترل (الف) و اعتبارسنجی (ب) نشان داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

٤- مقایسه فصلی سری زمانی:

رفتار فصلی مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش پیچیده و نامنظم است. بر اساس شاخص کارایی، دقت دمای شبیه‌سازی شده مدل‌های اقلیمی در بهار برای مدل HadGEM برابر ۰/۲۴ و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۵۷ تا ۰/۶۲، در فصل پاییز برای مدل HadGEM برابر ۰/۱۱- و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۴۴ تا ۰/۵۸ و در فصل تابستان برای مدل HadGEM برابر ۰/۱۷ و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۴بوده است. مقادیر این شاخص در فصل زمستان برای مدل‌های HadGEM، CanESM، NorESM و IPSL منفی و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۰۳ تا ۰/۲۴ متغییر است. بر اساس سایر شاخص‌های مورد استفاده دقت مدل‌ها در دامنه مطلوب‌تری قرار دارد.

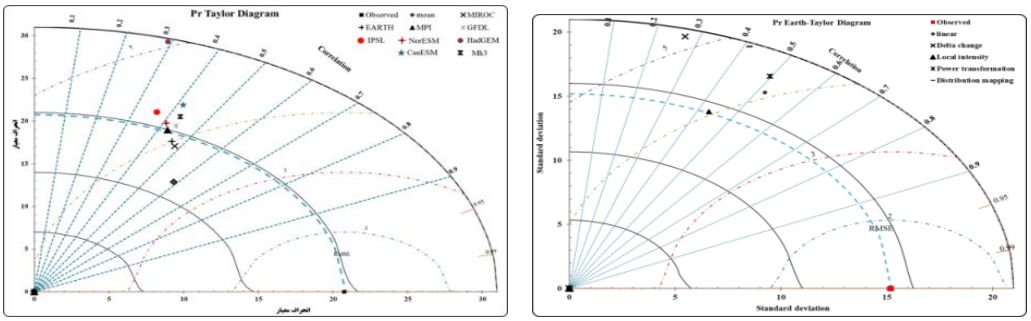
مقدار ضریب کارایی بارش فصلی برای مدل‌های MIROC، EARTH، MPI وGFDL به‌ترتیب ۰/۳۹، ۰/۳۵، ۰/۲۴ و ۰/۱۹ و شاخص توافق (ضریب همبستگی) بین (۰/۴۰)۰/۶۳ (HadGEM) تا (۰/۶۷)۰/۸۱ (EARTH) متغییر است. ارتباط درون فصلی این سری زمانی بر اساس ضریب کارایی ضعیف ولی بر اساس سایر شاخص‌های مورد بررسی مناسب بوده است.

٥- مقایسه سالانه سری زمانی:

نتایج نشان می‌دهد شاخص کارایی برای پارامتر بارش و دمای همه مدل‌ها منفی است. مقادیر شاخص‌های توافق (ضریب همبستگی) حداقل ۰/۲۳(۰/۰۲۴) برای مدل‌های MIROC و MK3 تا حداکثر ۰/۴۴(۰/۲۱) برای مدل‌های EARTH و MIROC برای بارش و حداقل ۰/۳(۰/۰۳) برای مدل‌های و CanESM و GFDL تا حداکثر ۰/۴۲(۰/۲۸) برای مدل‌های NorESM و CanESM برای دما متغیر می‌باشد. حداقل مقدار انحراف دما ۰/۰۸۴ (CanESM) و حداکثر آن ۰/۳۴ (HadGEM) درجه سانتی‌گراد و انحراف بارش بین ۰/۰۶(MIROC) تا ۰/۵۲(HadGEM) درصد متغییر بوده است.

٦- مقایسه میانگین همه مدل‌ها:

بر اساس دیاگرام تیلور متوسط بارش (شکل ۲ چپ) و دمای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده مناسب‌ترین گزینه است. سایر شاخص‌های آماری مورد استفاده نیز این سری زمانی را در وضعیت مطلوبی نشان می‌دهد به‌طوری که مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کارایی (توافق) پارامتر بارش در دوره کنترل برای سری زمانی ماهانه ۰/۳۱(۰/۷۴)، فصلی ۰/۵۲ (۰/۸۵) و سالانه ۰/۱۷-(۰/۴۶) بوده و این مقادیر برای پارامتر دمای دوره اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۹۱(۰/۹۷)، ۰/۹۵(۰/۹۹) و ۰/۲۷-(۰/۵۷) برآورد شده است.



شکل ۲- دیاگرم تیلور برای مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بارش مدل EARTH (راست) و مدل‌های تغییر اقلیم (چپ)

Figure 2. Taylor diagram for compare precipitation Downscaling Methods of EC-EARTH (Right) and all RCM Used (Left)

جدول ۲- سه اولویت برتر مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامتر بارش

Table 2. Top 3 RCM and Downscaling Methods of precipitation in terms of different statistical indicators

	اولویت انتخابی دوره کنترل ۲۰۰۵-۱۹۵۵						اولویت انتخابی دوره اعتبارسنجی ۲۰۱۵-۲۰۰۶					
	مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس نمایی			مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس نمایی		
آماره	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
Ttest(5%)	MIROC	NorESM	GFDL	LS	LI	PT	MPI	IPSL	GFDL	PT	PT	DM
Ftest(5%)	MIROC	MPI	EARTH	PT	LS	PT	EARTH	MPI	NorESM	LI	DC	No Sig
CV	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	HadGEM	EARTH	CanESM	PT	LS	DC
slope	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	EARTH	MPI	Mk3	LS	LS	PT
R^2	MIROC	EARTH	CanESM	LS	LS	PT	EARTH	MPI	Mk3	LS	LS	PT
RMSE	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	EARTH	MPI	NorESM	LS	LI	PT
IA	MIROC	EARTH	CanESM	LS	LS	PT	EARTH	MPI	Mk3	LS	LS	PT
EF	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	EARTH	MPI	NorESM	LS	LI	PT
MAE	MIROC	EARTH	GFDL	LS	LS	LS	EARTH	MPI	NorESM	LS	LI	PT
MBE	NorESM	MIROC	GFDL	LI	LI	PT	MPI	IPSL	GFDL	PT	PT	DM

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

جدول ۳- سه اولویت برتر مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامتر دما
Table 3. Top 3 RCM and Downscaling Methods of Temperature in terms of different statistical indicators

	اولویت انتخابی دوره کنترل۲۰۰۵-۱۹۵۵						اولویت انتخابی دوره اعتبارسنجی۲۰۱۵-۲۰۰۶					
	مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس نمایی			مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس نمایی		
آماره	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
Ttest(5%)	EARTH	CanESM	IPSL	DM	DM	VS	HadGEM	GFDL	NorESM	DC	DC	DC
Ftest(5%)	MIROC	EARTH	Mk3	DM	VS	VS	Mk3	MIROC	IPSL	DM	DC	DC
CV	IPSL	MIROC	CanESM	LS	LS	LS	CanESM	IPSL	EARTH	LS	LS	DM
slope	MIROC	IPSL	CanESM	LS	LS	LS	EARTH	HadGEM	MIROC	DC	VS	LS
R2	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	IPSL	MPI	MIROC	LS	VS	LS
Bias	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	HadGEM	MPI	Mk3	LS	VS	VS
RMSE	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	MPI	Mk3	EARTH	VS	VS	VS
IA	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	MPI	Mk3	IPSL	VS	VS	LS
EF	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	MPI	Mk3	CanESM	VS	VS	VS
MAE	EARTH	Mk3	MPI	VS	VS	VS	EARTH	MPI	Mk3	VS	DM	VS

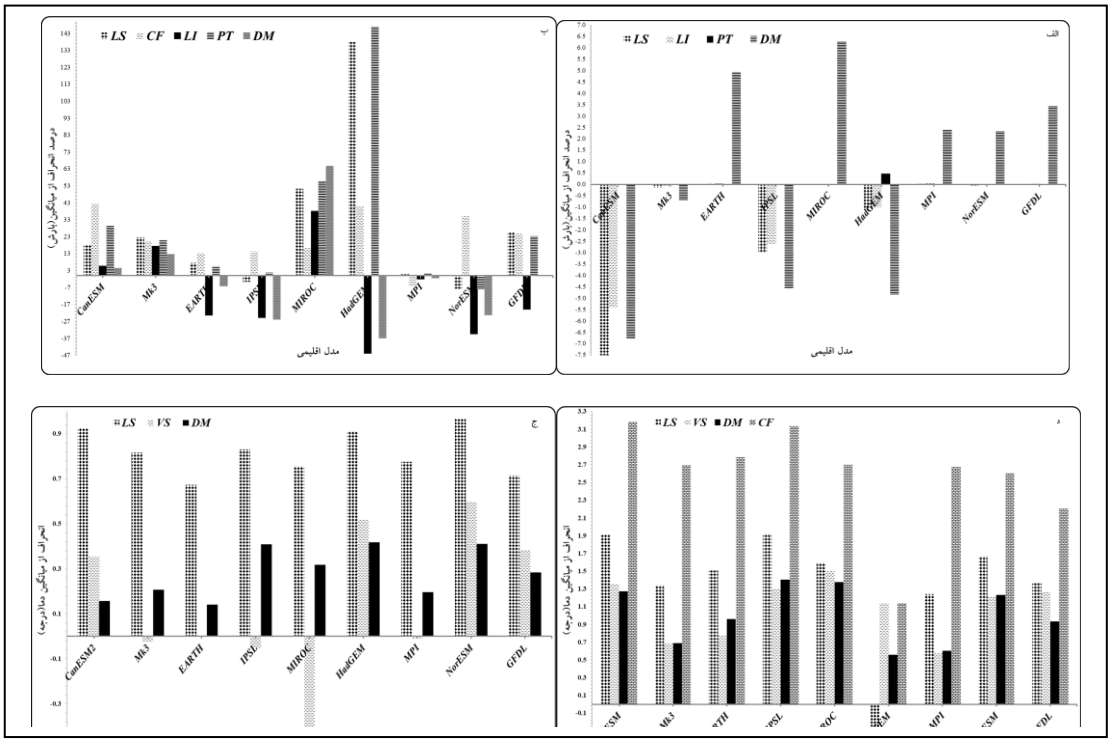
پیش‌بینی شرایط آینده:

در شکل (۵) مقادیر مشاهداتی (۱۹۵۶-۲۰۱۵) و پیش‌بینی (۲۰۱۶-۲۱۰۰) شده دما (چپ) و بارش (راست) با یک انحراف معیار نشان داده شده است که نشان می‌دهد به‌طور کاملا واضح و مشخصی روند دما افزایشی است. آزمون مقایسه میانگین نشان می‌دهد مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دما و بارش در سطح ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری دارند. نمودار باکس پلات میانگین دمای سالانه بیرجند نشان می‌دهد تحت سناریوهای RCP4.5 وRCP8.5 دما از ۱۶/۷ دوره ۱۹۵۶-۲۰۱۵ به‌ترتیب به ۱۹ و ۲۰/۱ درجه در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (شکل۵ چپ و بالا). متوسط تغییرات بارش تحت دو سناریوی مورد بررسی تقریبا مشابه است و پیش‌بینی می‌شود بر اساس مدل‌های مختلف بارش بین ۴۹ تا ۷۲ درصد کاهش داشته باشد (شکل۵ راست و بالا).

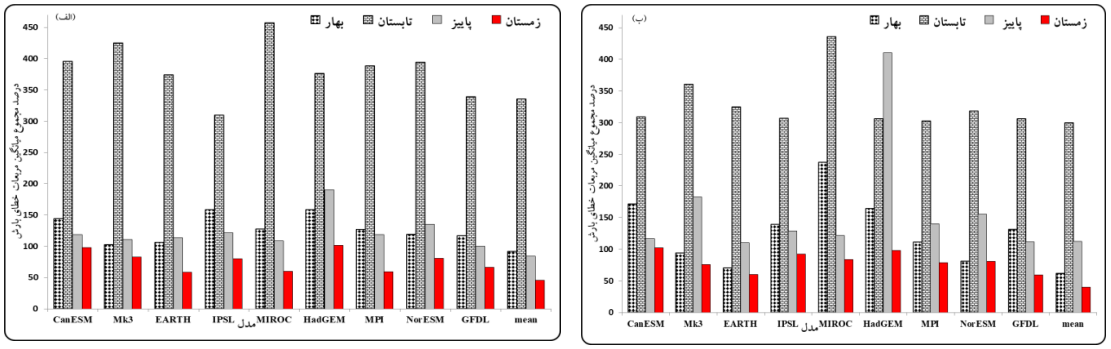
از آنجا که بررسی اثرات تغییر اقلیم آینده با دامنه وسیعی از سناریوها، ارزیابی بهتری از اثرات تغییر اقلیم فراهم می‌کند (۳۹). مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط مقادیر مشاهداتی (۲۰۱۵-۱۹۵۶) و شبیه‌سازی شده (۲۱۰۰-۱۹۵۶) دما و بارش مدل‌های مختلف و خط روند مرتبط بر اساس دو سناریوی RCP4.5 وRCP8.5 مشخص شده که در اشکال ۶ و ۷ ارائه شده است.

بر اساس سناریوی RCP4.5 متوسط سالانه دمای هوا بیرجند در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) بین ۰/۵- تا ۴/۲ درجه و به‌طور میانگین ۲/۱ درجه افزایش خواهد داشت. این روند در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) بین ۰/۹ تا ۶/۹ و به‌طور میانگین ۲/۹ درجه خواهد بود. بر اساس سناریوی RCP8.5 متوسط سالانه دمای هوا بیرجند در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) بین ۰/۱ تا ۶/۷ درجه و به‌طور میانگین ۲/۷ درجه افزایش خواهد داشت این روند در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) بین ۱/۹ تا ۱۰ درجه و به‌طور میانگین ۵/۱ درجه خواهد بود. بارش نظم دما را نداشته و بر اساس سناریوی RCP4.5 بارش سالانه بیرجند در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) ۲۸/۷ میلی‌متر و در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) ۱۵/۲ میلی‌متر نسبت به میانگین بلند مدت کاهش خواهد داشت. بر اساس سناریوی RCP8.5 این اعداد به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۳۰ میلی‌متر خواهد بود. نوسانات بارش و دمای دو دهه اخیر (شکل ۱ راست) ایستگاه بیرجند (کاهش۳۱ و ۱۵ میلی‌متر بارش و افزایش۰/۳۶ و ۰/۱۴ درجه دما در دو دهه اخیر بوده) و پیش‌بینی‌های این دو پارامتر تا افق ۲۱۰۰ (اشکال ۵ و ۶) نشان می‌دهد اثرات جهانی تغییر اقلیم در شهرستان بیرجند در جهت خشکسالی خواهد بود. که نشانه‌های آن در کاهش بارش و افزایش دمای ۲۰ سال اخیردیده می‌شود (شکل ۱ چپ).

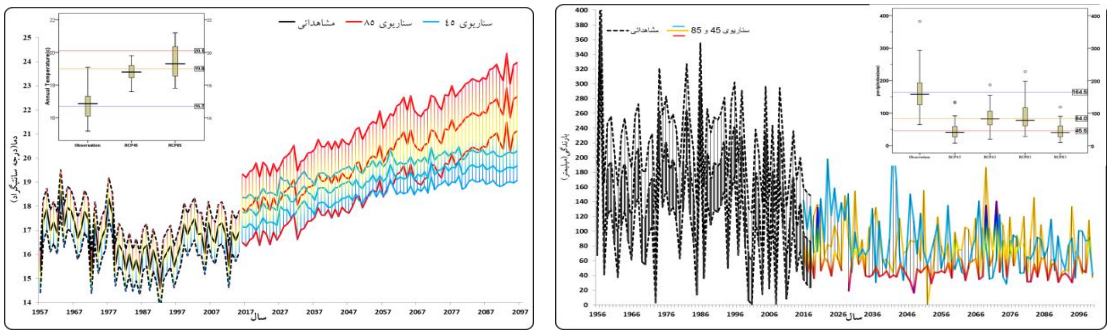
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]



شکل ۳- انحراف بارش (الف و ب) و دما (ج و د) ماهانه برای روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در هر مدل در دوره کنترل و اعتبارسنجی
Figure 3. The Temperature and precipitation monthly Bias for each Downscaling Methods and all RCM models during control and validation period



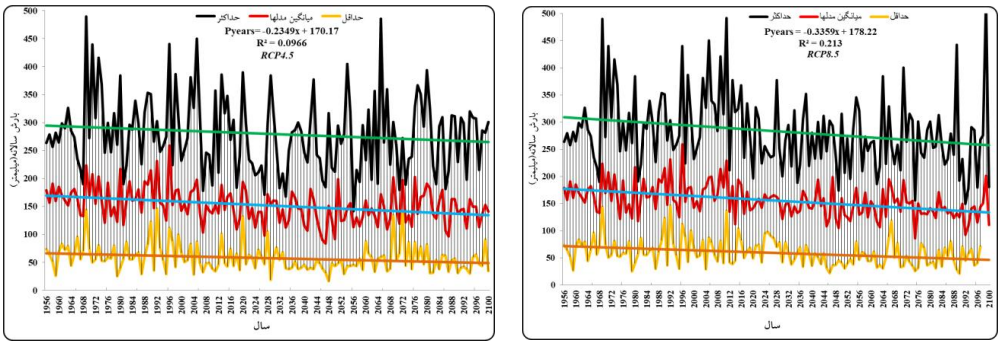
شکل ۴- مجموع میانگین مربعات خطای بارش فصلی دوره کنترل (الف) و اعتبارسنجی (ب)
Figure 4. The Seasonal RMSE of precipitation for all RCM models in control (left) and validation (Right) period



شکل ۵- مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دما (چپ) و بارش (راست) با یک انحراف معیار و اختلاف میانگین (بالا) تحت سناریوهای RCP4.5 وRCP8.5
Figure 5. Precipitation(Right) and temperature (Left) change (mean and one standard deviation as shading) and box plots (Top) (mean and minimum to maximum range) and mean periods are given for 2020–2099 in RCP4.5 and RCP8.5

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

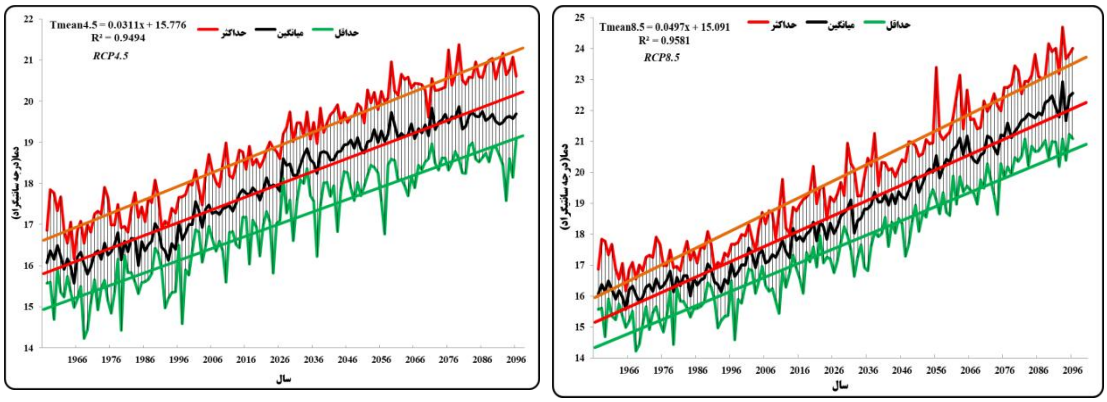
به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که: ۱- بر اساس تمامی شاخص‌های آماری مورد استفاده توانمندی یک روش ریزمقیاس در مدل‌های اقلیمی و سری‌های زمانی مختلف متفاوت و در اکثر موارد اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار است به‌عنوان نمونه میزان خطای روش ریزمقیاس خطی مدل EARTH در دوره کنترل و اعتبارسنجی بارش ماهانه به‌ترتیب ۰/۰۳ و۷/۶ درصد بوده در حالی‌که خطای مدل HadGEM به‌ترتیب ۱- و ۱۳۸ درصد و میزان خطای روش ریزمقیاس خطی مدل EARTH (HadGEM) در دوره کنترل و اعتبارسنجی دمای ماهانه بترتیب ۰/۶۷(۰/۹۱) و ۱/۵(۰/۴۱-) درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. ۲- به‌طور کلی بر خلاف تصور در همگنی بهتر داده‌های دما نسبت به بارش مقایسه مقادیر مشاهداتی و برآوردی مدل‌ها و روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی با آزمون T و F نشان می‌دهد با وجود یکسانی مقادیر انحراف معیار اکثر سری‌های زمانی میانگین متفاوتی نسبت به مقادیر مشاهداتی دارند رفتار بارش و دما از نظر مقایسه میانگین و انحراف معیار تقریبا برعکس همدیگر بوده است. ۳- مدل اقلیمی و ریزمقیاس‌نمایی انتخابی برای بارش و دما متفاوت است. ۴- کارایی مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس در دوره کنترل و اعتبارسنجی متفاوت و عمدتا در دوره اعتبارسنجی کمتر است. ۵- روش ریزمقیاس‌نمایی خطی و واریانس در هر دو دوره کنترل و اعتبارسنجی بترتیب برای پارامتر بارش و دما در همه مدل‌های اقلیمی یک انتخاب مناسب می‌باشد که از این نظر با تحقیق تئوسچوبین و سیبرت متفاوت است. ۶- با وجود کاربرد وسیع روش فاکتور تغییر (۳۵،۳۲) امکان ارزیابی این روش در دوره کنترل به‌دلیل ماهیت مقادیر شبیه‌سازی وجود ندارد ولی دقت این روش در دوره اعتبارسنجی بسیارکم بوده به‌طوری که مقدار RMSE بارش و دمای ماهانه این روش به‌ترتیب ۱/۲ و ۴/۴ برابر متوسط سایر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی است. دیاگرام تیلور نیز نشان می‌دهد روش ریزمقیاس‌نمایی خطی بهترین و روش فاکتور تغییر نامناسب‌ترین روش ریزمقیاس‌نمایی بوده که با نتایج تئوسچوبین و سیبرت مطابقت دارد. ۷- جداول (۲ و ۳) و اشکال (۲ تا ۴) نشان می‌دهد مدل‌های اقلیمی EARTH و MPI در شبیه‌سازی دما و بارش تواتمند است که مطابق نتایج قهرمان و همکاران در مناسب بودن مدل MPI در شبیه‌سازی دما و بارش است. با وجود اینکه مدل اقلیمی MIROC مناسب‌ترین مدل شبیه‌سازی پارامتر بارش در دوره کنترل محسوب می‌گردد این مدل در دوره اعتبارسنجی جزء مدل‌های برتر انتخاب نشده است بنابراین دقت بالای یک مدل در گذشته تضمین کننده توانمندی آینده نیست ۸- میانگین چند مدل سازگارتر و معتبرتر از یک مدل است. ۹- بررسی ارتباط درون‌گروهی سری‌های زمانی در ماه‌های مختلف نشان‌دهنده پیچیدگی مدل‌های مختلف بوده و می‌توان گفت که هیچ‌گونه روند یا نظم خاصی در دقت مقادیر بارش و دمای شبیه‌سازی شده مدل‌ها در ماه‌های مختلف دیده نمی‌شود. ۱۰- مدل HadGEM در ماه‌های پر باران دقت بیش‌تری دارد ولی این نظم در سایر مدل‌ها و همچنین پارامتر دما دیده نشده است که با نتایج سو و همکاران (۳۱) هم‌خوانی ندارد. ۱۱- در دوره کنترل مدل‌های MPI,IPSL MK3 و در دوره اعتبار سنجی مدل هوا را سردتر و سایر مدل‌ها هوا را گرمتر شبیه‌سازی کرده است همچنین مدل‌های MIROC, GFDL, NorESM دوره کنترل و مدل‌های HadGEM, GFDL, NorESM در دوره اعتبارسنجی بارش را کمتر از واقعی و سایر مدل‌ها بیش‌تر از واقعی محاسبه کرده‌اند. ۱۲- رفتار بارش و دما از نظر مقایسه میانگین و انحراف معیار تقریبا برعکس همدیگر بوده است. ۱۳- مقایسه آماری رفتار مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس در دوره ۲۰۱۵-۱۹۵۶ تا حدودی گزینه‌های انتخابی را تغییر می‌دهد. ۱۴- مدل برتر بر اساس شاخص آماری مورد استفاده متفاوت است و ۱۵- در مجموع اثرات تغییرات آب و هوایی در بیرجند متناسب با مدل و سناریوهای مورد استفاده متفاوت بوده که از این نظر با تحقیقات یون و همکاران (۳۹) مطابقت دارد.



شکل ۶- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین بارش و خط روند همه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP4.5و RCP8.5 در دوره ۲۱۰۰-۱۹۵۶

Figure 6. minimum, maximum and mean of annual precipitation value and trend line from all RCM simulation in RCP4.5 and RCP8.5 in 1956-2100 period

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]



شکل ۷- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دماو خط روند همه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۱۰۰-۱۹۵۶

Figure 6. Minimum, maximum and mean of annual temperature value and trend line from all RCM simulation in RCP4.5 and RCP8.5 in 1956-2100 periods

منابع

1. Boé, J., L. Terray, F. Habets and E. Martin. 2007. Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro meteorological studies. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 27(12): 1643-1655.
2. Chen, H., C.Y. Xu and S. Guo. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. Journal of hydrology, 434: 36-45.
3. Chisanga, C.B., E. Phiri and V.R. Chinene. 2017. Climate change impact on maize (*Zea mays L.*) yield using crop simulation and statistical downscaling models: A review. Scientific Research and Essays, 12(18): 167-187.
4. Conti, F.L., K.L. Hsu, L.V. Noto and S. Sorooshian. 2014. Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. Atmospheric Research, 138: 189-204.
5. Crossman, J., M.N. Futter, S.K. Oni, P.G. Whitehead, L. Jin, D. Butterfield and P.J. Dillon. 2013. Impacts of climate change on hydrology and water quality: future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed, Canada. Journal of Great Lakes Research, 39(1): 19-32.
6. De Amorim, P., K. Barfus, H. Weissand C. Bernhofer. 2014. Trend analysis and uncertainties of mean surface air temperature, precipitation and extreme indices in CMIP3 GCMs in Distrito Federal, Brazil. Environmental earth sciences, 72(12): 4817-33.
7. De Amorim, P.B. 2014. Development of regional climate change projections for hydrological impact assessments in distrito federal, Brazil.
8. Déqué, M. 2007. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. Global and Planetary Change, 57(1-2): 16-26.
9. Di Piazza, A., F.L. Conti, L.V. Noto, F. Viola and G. La Loggia. 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13(3): 396-408.
10. Farmanbar, Z., M. Delavar and S. Imani Amirabadi. 2018. The Effects of Climate Change on Water Resources and Agricultural Systems in the Context of Regional Risk Assessment (Case Study: Lake Zarebar Basin). Journal of Iran-Water Resources Research, 13(4): 74-88.
11. Fowler, H.J., S. Blenkinsop and C. Tebaldi. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. International journal of climatology, 27(12): 1547-1578.
12. Fowler, H.J., M. Ekström, C.G. Kilsby and P.D. Jones. 2005. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. Journal of Hydrology, 300(1-4): 212-233.
13. Ghahreman, N., M. Tabatabaei and I. Babaeian. 2015. Investigation of Uncertainty in the IPCC AR5 Precipitation and Temperature Projection over Iran under RCP Scenarios. Poster on COP21-CMP11, Paris.
14. Hewitson, B.C., J. Daron, R.G. Crane, M.F. Zermoglio and C. Jack. 2014. Interrogating empirical-statistical downscaling. Climatic change, 122(4): 539-554.
15. Immerzeel, W., L.P.H. Van Beek, M. Konz, A.B. Shrestha and M.F.P. Bierkens. 2012. Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas. Climatic change, 110(3-4): 721-736.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

16. IPCC Climate Change. 2013. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. 1535 pp.
17. Jones, P.D. and P.A. Reid. 2001. Assessing future changes in extreme precipitation over Britain using regional climate model integrations. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 21(11): 1337-1356.
18. Kazemi Rad, L. and H. Mohammadi. 2016. Climate Change Assessment by using LARS-WG Model in Gilan Province (Iran), 4(16): 55-74.
19. Kendon, E.J., N.M. Roberts, H.J. Fowler, M.J. Roberts, S.C. Chan and C.A. Senior. 2014. Heavier summer downpours with climate change revealed by weather forecast resolution model. Nature Climate Change, 4(7): 570.
20. Khadka, D. and D. Pathak. 2016. Climate change projection for the marsyangdi river basin, Nepal using statistical downscaling of GCM and its implications in geodisasters. Geoenvironmental Disasters, 3(1): 15.
21. Knutti, R. and J. Sedláček. 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. Nature Climate Change, 3(4): 369.
22. Knutti, R., T.F. Stocker, F. Joos and G.K. Plattner. 2002. Constraints on radiative forcing and future climate change from observations and climate model ensembles. Nature, 416(6882): 719.
23. Marino, R., A.S. Atzori, M. D'Andrea, G. Iovane, M. Trabalza-Marinucci and L. Rinaldi. 2016. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. Small Ruminant Research, 135: 50-59.
24. Minville, M., F. Brissette and R. Leconte. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. Journal of hydrology, 358(1-2): 70-83.
25. Mo, X. G., S. Hu, Z.H. Lin, S.X. Liu and J. Xia. 2017. Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. Advances in Climate Change Research, 8(2): 93-98.
26. Pachauri, R.K., M.R. Allen, V.R. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ and N.K. Dubash. 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 151 pp.
27. Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li and P. Friedlingstein. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. Nature, 467(7311): 43.
28. Rasuli, A.M, A.R. Rezaei-Banafsheh, A.M. Massah, K. Khorshiddoust and B. Ghermezcheshmeh. 2014. Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Aaccuracy of LARS-WG Model. Journal of Watershed Management Science, 8(24): 8-18.
29. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt and H.L. Miller. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
30. Steele-Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. Journal of hydrology, 356(1-2): 28-45.
31. Su, F., X. Duan, D. Chen, Z. Hao and L. Cuo. 2013. Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. Journal of Climate, 26(10): 3187-3208.
32. Takhsha, M., O. Nikiéma, P. Lucas-Picher, R. Laprise, L. Hernández-Díaz and K. Winger. 2018. Dynamical downscaling with the fifth-generation Canadian regional climate model (CRCM5) over the CORDEX Arctic domain: effect of large-scale spectral nudging and of empirical correction of sea-surface temperature. Climate Dynamics, 51(1-2): 161-186.
33. Taylor, K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research, 106: 7183-7192.
34. Tebaldi, C., R.L. Smith, D. Nychka and L.O. Mearns. 2005. Quantifying uncertainty in projections of regional climate change: A Bayesian approach to the analysis of multi model ensembles. Journal of Climate, 18(10): 1524-1540.
35. Teutschbein, C. and J. Seibert. 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. Journal of Hydrology, 456: 12-29.
36. Themeßl, M.J., A. Gobiet and G. Heinrich. 2012. Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. Climatic Change, 112(2): 449-468.
37. Thoai, T.Q., R.F. Rañola, L.D. Camacho and E. Simelton. 2018. Determinants of farmers' adaptation to climate change in agricultural production in the central region of Vietnam. Land Use Policy, 70: 224-231.
38. Towler, E., D. Pai Mazumder and G. Holland. 2017. A framework for investigating large-scale patterns as an alternative to precipitation for downscaling to local drought. Climate Dynamics, 48(3-4): 881-892.
39. Yan, D., S.E. Werners and F. Ludwig. 2015. Hydrological response to climate change: The Pearl River, China under different RCP scenarios, 4: 228-245.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]

An Assessment of Uncertainty of Regional Climate Change Models, Error Correction Methods and Forecasting Climate Change in Birjand Township

Morteza Dehghani[1], Ataollah Kavian[2], Mahmud Habibnejad Roshan[3], Mohamad Ghorbani[4] and Zaynab Jafarian Jelodar[5]

1- PhD Student, Faculty of Natural Resources, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: a.kavian@sanru.ac.ir)
3- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Professor, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad
5- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: September 16, 2018 Accepted: December 30, 2018

Abstract

One of the most important consequences increased radiative forcing due to anthropogenic activities is global warming, that created varied and challenging changes such as climate change on ecosystems. Predictions show that the increased radiative forcing will continue. Regarding to the existence of several climate models and error correction methods, selection of the right model is one of the key challenges. In this study, the accuracy and efficiency of the fifth report on regional climate models including CanESM2, CSIRO Mk3, EC- EARTH, IPSL, MIROC51, HadGEM2, MPI, NorESM1 and GFDL and statistical downscaling error correction methods including Linear Scaling (LS), Change Factor (CF), Distribution Mapping (DM), Local Intensity Scaling(LI), Power Transformation (PT) and Variance Scaling (VS) Using T and F tests, the Taylor diagram and 10 statistical indices during two control (1956-2005) and validation (2006-2015) periods were assessed in Birjand station. The results show that; comparing the average of monthly period increases the efficiency of models and methods exaggeratedly. The best model is different based on statistical indicators and time series period. CF downscaling method is not accurate in validation period. LS and VS downscaling methods are appropriate selection for precipitation and temperature parameters respectively. Also, average accuracy of all models for both precipitation and temperature parameters is better than a single model. MPI and Earth climate models have good performance in simulating precipitation and temperature data.

Keywords: Climate variables, Climate change, Regional climate model, Evaluation, Downscaling, Birjand

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.4.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.42]