

پیش‌نگری و ارزیابی تغییرات بارش و دما مبتنی بر مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه هاشم‌آباد گرگان)

لیلی قربانی مینائی^۱، مهدی ذاکری‌نیا^{۲*} و الهام کلبعلی

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- دانش‌آموخته، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

چکیده

در دهه‌های اخیر، با روند گرم‌تر شدن هوا و بارش‌های شدید ناشی از تغییرات اقلیمی، به وضوح حوادثی نظیر سیل یا خشکسالی در بسیاری از نقاط جهان افزایش یافته است. بنابراین، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی توسط مدل‌ها برای شناخت شرایط آینده و مدیریت منابع آب در راستای سازگاری ضروری به نظر می‌رسد. هدف پژوهش حاضر، بررسی پیش‌نگری و ارزیابی تغییر اقلیم ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد گرگان واقع در حوضه قره‌سوی استان گلستان است. همگنی داده‌های بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۹۰ با استفاده از چهار آزمون نرمال استاندارد شده (SNH)، دامنه بیشاند (BHR)، پتیت (PET)، نسبت ون-نیومن (VON) ارائه شده در بسته trend در محیط RStudio به صورت ترکیبی بررسی شد. در ادامه با بررسی آزمون‌های آماری ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و کلینگ گوپتا (KGE) از بین سه مدل MIROC-ES2L، EC-Earth3-Veg-LR و EC-Earth3-CC از مجموعه مدل‌های CMIP6، مدل EC-Earth3-CC به عنوان مدل برتر انتخاب شد. مقیاس‌گاهی به روش نسبت‌گیری خطی (LS) توسط نرم‌افزار CMHyd و پیش‌نگری برای سه دوره آماری آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، میانه (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) طبق دو سناریوی حدواسط (SSP2-4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) انجام شد. همچنین روند داده‌های مشاهداتی و دوره‌های آتی با آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب سن مشخص شد. نتایج بررسی میانگین تغییرات ماهانه متغیر بارش در هر سه دوره آتی جز سناریوی SSP2-4.5 آینده میانه نسبت به دوره مشاهداتی دارای روند کاهشی است. میانگین تغییرات دمای حداکثر و دمای حداقل در هر سه دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی دارای افزایش است و این افزایش در دو دوره آینده میانه و دور در سناریوی SSP5-8.5 نسبت به سناریوی SSP2-4.5 مشهودتر است. همچنین می‌توان گفت میزان افزایش متغیر دمای حداکثر هر دو سناریو در هر سه دوره آتی نسبت به دمای حداقل بیشتر خواهد بود.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، بارش، دما، CMHyd، CMIP6.

۱- مقدمه

رشد جمعیت و تغییر اقلیم دو عامل اساسی بحران جهانی آب هستند (Mishra et al., 2021). پیامدهای تغییر اقلیم عمدتاً از طریق کاهش معنی‌دار یا قابل توجه مقدار آب ظاهر شده و با تغییر در فراوانی و شدت رخداد‌های فرین اقلیمی همراه هستند. این پیامدها در دو دسته اصلی آب بسیار کم (خشکسالی، کمبود آب) و آب زیاد (سیل) قرار می‌گیرند (Babel et al., 2020). ایران نیز با مشکلات بی‌سابقه‌ی مرتبط با تغییر اقلیم از جمله خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، طوفان‌های گرد و غبار، دمای بی‌سابقه، خشکسالی و سیل مواجه است (Vaghefi et al., 2019). همچنین تغییر اقلیم پیامدهای گسترده‌ای بر مدیریت آب (IPCC, 2021) و در نتیجه بهره‌وری کشاورزی داشته و خواهد داشت. بنابراین بررسی اثر تغییر اقلیم دارای حائز اهمیت است و برای کشاورزان ضروری است که با تغییر اقلیم سازگار شوند و اثرات نامطلوب آن را کاهش داده یا از آن اجتناب نمایند تا از معیشت و امنیت غذایی خود محافظت کنند، پایداری مزارع خود را افزایش داده و به انعطاف‌پذیری بخش کشاورزی کمک کنند (Yazdanpanah et al., 2023; Erkol et al., 2022; Karimi and Ataei., 2022; Valizadeh et al., 2022). لذا برای برنامه‌ریزی قوی امنیت و تاب‌آوری آب باید تغییر اقلیم به‌عنوان یک مسئله کلیدی در نظر گرفته شود و بی‌توجهی به اقلیم و تغییرات آن می‌تواند خسارات اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی قابل توجهی را به‌خصوص در زمان تشدید رخداد فرین‌های اقلیمی ایجاد کند (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۲؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱). بنابراین پیش‌بینی‌های با دقت زیاد از تغییرات آینده به‌ویژه تغییرات در رفتار هیدرولوژیکی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منابع آب ضروری است تا اطلاعات دقیقی را در راستای سازگاری ارائه دهد (ایران‌شاهی و همکاران، ۱۴۰۱).

تا کنون نسخه‌های گوناگونی از مدل‌های تغییر اقلیم از جمله مدل‌های اولین گزارش هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) با نام FAR، مدل‌های دومین گزارش با نام SAR، مدل‌های سومین گزارش با نام TAR، مدل‌های چهارمین

گزارش با نام AR4 (CMIP4)، مدل‌های پنجمین گزارش با نام AR5 (CMIP5) و مدل‌های ششمین گزارش با نام AR6 (CMIP6) ارائه شده است (افشاری‌نیا و همکاران، ۱۴۰۲؛ میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷). گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم^۳ (AR6) شامل سه گروه کاری و یک گزارش تلفیقی AR6 (SYR)^۴ است و از سال ۲۰۲۱ میلادی در حال ارائه می‌باشد که ارزیابی‌های گروه کاری و گزارش‌های ویژه تولید شده را ادغام می‌کند. آخرین گزارش تلفیقی AR6 (SYR) که در سال ۲۰۲۲ میلادی عرضه شد شرایط و اقدامات نگه‌داشتن افزایش دمای کره زمین در زیر ۲ درجه سانتی‌گراد را بررسی می‌کند (IPCC., 2020). SSPها شرایط آتی را بر اساس پنج رویکرد بنیادین توسعه پایدار (SSP1)، توسعه مبتنی بر سیاست‌های بینابین (SSP2)، گسترش رقابت منطقه‌ای (SSP3)، نابرابری (SSP4) و توسعه کاربرد سوخت‌های فسیلی (SSP5) توصیف می‌کنند. در شرایط فعلی SSPها شامل هفت سناریوی SSP1-1.9، SSP2-2.6، SSP3-7.0، SSP4-3.4، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 است (O'Neill., 2017).

عدم قطعیت‌های زیادی برای پیش‌نگری‌های عناصر اقلیمی و مطالعه اثر تغییر اقلیم توسط مدل‌های گردش کلی جو (GCM) در مقیاس منطقه‌ای و جهانی وجود دارد که می‌تواند ناشی از سناریو، پاسخ مدل و وردایی طبیعی است (احمدی و کمانگر، ۱۴۰۲؛ خان‌سالاری و محمدی، ۱۴۰۲). مهم‌ترین و مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد ارتباط بین مقیاس محلی/ منطقه‌ای و مقیاس مدل گردش کلی جو ریزمقیاس‌نمایی به روش آماری یا دینامیکی است که در آن عدم هماهنگی بین مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود (میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷).

حلیم و همکاران (Haleem et al., 2023) در بررسی ارزیابی تغییرات آینده رواناب رود سند (ایندوس) و با استفاده از مدل‌های CMIP6 طبق سناریوی SSP2-4.5 گزارش کردند افزایش قابل توجهی در حدود ۱۸٪ برای دماهای حداقل و حداکثر و در حدود ۱۷-۱۳٪ برای بارش مشاهده شده است. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2022) در بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی

³ Sixth Assessment Report

⁴ Synthesis Report

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² Coupled Model Intercomparison Project Phase

متغیرهایی مانند دما و بارش دقت‌های متفاوتی دارند (آزاد و احمدی، ۱۴۰۲).

بنابراین نتایج تأثیرات متفاوت تغییر اقلیم نشان‌دهنده این است که هنوز نیاز به بررسی و ارزیابی دقیق این مدل‌ها در مناطق مختلف وجود دارد. انتخاب مدل برتر و تحلیل درست مدل‌ها در دوره پایه می‌تواند ارائه‌کننده نتایج قابل اعتمادتر پیش‌نگری دوره‌های آتی برای مدیریت مناسب و استفاده بهینه از منابع آبی باشد. از این‌رو هدف این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل ایستگاه هاشم‌آباد گرگان طبق دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 مبتنی بر مدل‌های CMIP6 با انتخاب مدل برتر از بین مدل‌های منتخب و با مقیاس‌کاهی نرم‌افزار CMHyd در دوره‌های آتی است.

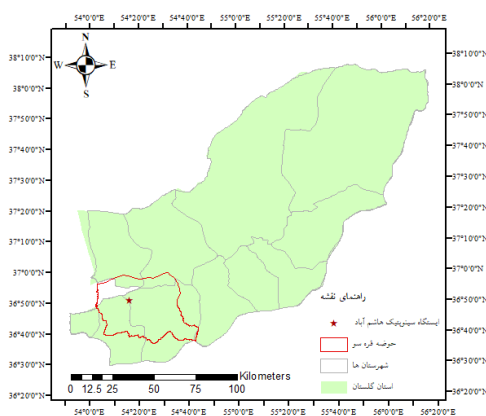
۲- داده‌ها و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی این پژوهش ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد واقع در شهرستان گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳/۳ متر از سطح دریاست. متوسط بارش این منطقه ۵۴۰ میلی‌متر و متوسط دما ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است. این ایستگاه با روش دومارتن دارای اقلیم مدیترانه‌ای و با استفاده از روش آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب می‌باشد (برارخان و همکاران، ۱۳۹۸). در شکل (۱) موقعیت مکانی ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد نشان داده شده است.

دما و بارش خینچی‌انگ چین نشان دادند شبیه‌سازی دما خطای کمتری نسبت به بارش دارد. رشیدی‌قانع و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی ارزیابی ریزمقیاس‌نمایی برونداد دما و بارش به سه روش آماری LS، DM و DC توسط مدل CMhyd^۱ گزارش کردند روش LS برای داده‌های بارش و روش DM برای داده‌های دما از دقت بالاتری در ایستگاه‌های منتخب حوضه کشف‌رود برخوردار هستند. آزاد و احمدی (۱۴۰۲) به بررسی پیش‌نگری دما و بارش حوضه آبریز خزر با بکارگیری مدل‌های CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد میانگین بارش حوضه طبق دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در هر دو دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و دور (۲۰۵۱-۲۰۸۰) نسبت به دوره‌های مشاهداتی قابل توجه نبوده و بین صفر تا ۶ درصد قرار دارد؛ این در حالی است که افزایش میانگین دمای حوضه طبق سناریوی SSP2-4.5 (SSP5-8.5) در هر دو دوره آینده نزدیک و دور نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۱/۶۷ و ۳/۱۴ و ۳/۶۵ و ۱/۸ درجه سلسیوس خواهد بود. انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱) روند تغییرات دما و بارش در حوضه‌های آبریز ایران بر اساس مدل‌های CMIP6 در افق ۲۰۲۰-۲۰۳۹ بررسی نمودند. در این پژوهش پارامتر دما در تمامی حوضه‌های آبریز رو به افزایش و پارامتر بارش در برخی حوضه‌ها افزایش و در برخی با کاهش همراه است.

مطالعات اخیر صورت گرفته در ایران با استفاده از مدل‌های CMIP6 نشان می‌دهند اگرچه خروجی‌های این مدل نسبت به گزارشات قبلی بسیار دقیق‌تر هستند اما هنوز در پیش‌نگری



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد در استان گلستان (نگارندگان، ۱۴۰۲)

^۱ Climate Model data for hydrologic modeling

مناسب^۵، در دو مورد در کلاس شک‌برانگیز^۶ و سه یا چهار مورد در کلاس مشکوک^۷ قرار می‌گیرند.

۲-۳- نرم‌افزار CMHyd

تصحیح اریبی (Bias Correction) به افزایش دقت شبیه‌سازی‌ها، اصلاح خروجی‌های مدل‌های اقلیمی و به حداقل رساندن اختلافات با به‌کار بردن الگوریتم‌های تبدیل در ریاضیات و علم آمار می‌پردازد. در این پژوهش نرم‌افزار CMHyd به‌دلیل اجرای سریع و هزینه کم محاسبات مقیاس‌کاهی برون‌داد مدل‌های منتخب CMIP6 و دارا بودن روش‌های مختلف تصحیح اریبی جدول (۱) برای ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته شده است.

۲-۲- بررسی همگنی داده‌های مشاهداتی

بررسی همگنی متغیرهای اقلیمی از ضروریات انجام کلیه مطالعات مبتنی بر سری‌های زمانی این داده‌ها است. قبل از آزمون همگنی باید به کنترل کیفی داده‌ها مانند نبود عدد منفی برای بارش، کامل بودن روزهای یک ماه و عدم وجود اعداد افراطی خیلی بزرگ اشاره کرد (رشیدی قانع و همکاران، ۱۴۰۲؛ قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). در این پژوهش برای بررسی همگنی داده‌ها از آزمون‌های نرمال استاندارد شده^۱ (SNH)، دامنه بیش‌اند^۲ (BHR)، پتیت^۳ (PET)، نسبت ون-نیومن^۴ (VON) ارائه شده در بسته trend در محیط RStudio به‌صورت ترکیبی استفاده شد. طبقه‌بندی کلاس‌های همگنی با بررسی نتایج این چهار آزمون در سطح اطمینان یک درصد توسط Wijngaard و همکاران (۲۰۰۳) ارائه شده است که اگر سری داده‌ها از بین چهار آزمون، در هیچ و یا فقط در یک مورد به فرض یک برسند در کلاس

جدول ۱- روش‌های مختلف تصحیح اریبی CMHyd

عنوان	روش تصحیح اریبی
تصحیح اریبی دما	Distribution mapping (DM)
	Variance scaling (VS)
	Linear scaling (LS)
	Delta Change (DC)
تصحیح اریبی بارش	Local Power transformation (PT)
	Distribution mapping (DM)
	intensity scaling (LOCI)
	Linear scaling (LS)
	Delta Change (DC)

غربالگری مدل‌ها بر اساس دسترسی به داده‌های روزانه بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل دوره تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و دوره‌های آتی (۲۱۰۰-۲۰۲۶) برای دو سناریوی حدواسط (SSP2-4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) و کیسه بودن داده‌های مدل از سایت کوپرنیکس انجام شد. مشخصات مدل‌های منتخب فاز ششم در این پژوهش در جدول (۲) آورده شده است.

در این پژوهش ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح اریبی به روش نسبت‌گیری خطی (LS) که از یک ضریب اصلاح شده که اختلاف بین شبیه‌سازی مدل و مقادیر مشاهداتی برای هر ماه به‌دست می‌آید، با فرض ثابت باقی ماندن ضرایب و فاکتورهای اصلاحی اعمال شده برای شرایط فعلی و آینده استفاده می‌شود. توضیحات تکمیلی در رابطه با نرم‌افزار CMHyd و روش‌شناسی فرآیند ریزمقیاس‌نمایی در پژوهش رشیدی قانع و همکاران (۱۴۰۲) شرح داده شده است.

جدول ۲- مشخصات مدل‌های منتخب فاز ششم CMIP6 در این پژوهش.

نام مدل	مرکز تحقیقاتی	رزولوشن اتمسفری	
		عمودی	افقی
MIROC-ES2L	MIROC Consortium, Japan	40 levels to 3 hPa	T42; 128×64; 500 km
EC-Earth3-Veg-LR	EC-Earth Consortium, Europe	62 levels to 5 hPa	TL159; 320×160; 250 Km

⁵ Useful
⁶ Doubtful
⁷ Suspect

¹ Standard Normal Homogeneity
² Buishand Range
³ Pettitt
⁴ Von Neumann Ratio

TL255; 512x256; 100 Km	91 levels to 0.01 hPa	EC-Earth Consortium, Europe	EC-Earth3-CC
------------------------	-----------------------	-----------------------------	--------------

مقایسه با مدل‌های مشارکت یافته در CMIP5 بهبود یافته‌اند (Doscher et al., 2021؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰).

۲-۴- معیارهای ارزیابی مدل

متغیرهای بارش، دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی و دوره گذشته مدل‌های منتخب CMIP6 با معیارهای ضریب همبستگی^۱ (R)، میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE)، میانگین خطای مطلق^۳ (MAE) و کلینگ گوپتا^۴ (KGE) مورد ارزیابی قرار گرفتند که روابط آن‌ها در جدول (۳) آورده شده است.

مقدار R بین -۱ و ۱ هست، هر چقدر مقدار آن به یک نزدیکتر باشد خروجی‌های شبیه‌سازی شده مشابه داده‌های مشاهداتی هستند. هر چقدر نزدیک به -۱ باشد یعنی نه تنها شباهتی بین دو خروجی وجود ندارد بلکه رفتاری کاملاً متضاد دارند. RMSE واحدی برابر با بعد خود داده‌ها دارد که کمتر شدن آن نشان از برتری روش دارد و کمترین و ایده‌آل‌ترین مقدار آن صفر می‌باشد و محدودیت خاصی برای حد بالای آن تعریف نشده است (عابدی کویابی و وهابی، ۱۴۰۲). مقدار MAE هم هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل است. KGE تلفیقی از سه شاخص میانگین، ضریب همبستگی و انحراف معیار استاندارد است که هر چه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده توانمندی بیشتر شبیه‌سازی است (چمانه‌فر و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول ۳- روابط معیارهای ارزیابی مدل منتخب CMIP6

رابطه	سنجه آماری	ردیف
$R = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}}$	ضریب همبستگی	۱
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$	ریشه میانگین مربعات خطا	۲
$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - O_i }{n}$	میانگین خطای مطلق	۳
$KGE = 1 - \sqrt{(R - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_o} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_p}{\mu_o} - 1\right)^2}$	کلینگ گوپتا	۴

میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده مدل، O_i و \bar{O} داده‌های

در SSP2-4.5 پیش‌بینی می‌شود که انتشار جهانی از الگوهای فعلی پیروی کند. این حاکی از موانع قابل توجهی برای کاهش و انطباق است. از سوی دیگر SSP5-8.5 سناریوی را نشان می‌دهد که در آن توسعه اقتصادی بر اثرات زیست‌محیطی اولویت دارد. در نتیجه مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی دشوار است. این دو سناریو به‌طور گسترده در پژوهش‌های مربوط به تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ زیرا امکان مقایسه بین چشم‌انداز مثبت‌تر (SSP2-4.5) که در آن انتشار گازهای گلخانه‌ای متوسط بوده و اثرات تغییرات آب و هوایی به آن شدید نیست را در مقابل یک چشم‌انداز شدیدتر (SSP5-8.5) که در آن چالش‌های تغییر اقلیم بیشتر است فراهم می‌کند (شجاع و شمسی‌پور، ۱۴۰۲؛ Jiménez-Navarro et al., 2021).

سری مدل‌های سامانه زمین EC-Earth3 به دلیل تنوع پیکربندی‌ها و مدل‌های فرعی مختلفی که ارائه داده است و همچنین تفکیک افقی بالاتر نسبت به سایر مدل‌های در دسترس، دارای ارزش مطالعاتی زیادی در مطالعات تغییر اقلیم است (Doscher et al., 2021؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). مزیت کلیدی EC-Earth3 نسبت به سایر مدل‌های CMIP عبارتند از: شبیه‌سازی بهتر فرایندهای فیزیکی سامانه اقلیم و کاهش چشمگیر اریبی متغیرهای مهم اقلیمی همچون دما و بارش. این مدل‌ها با بهبود مشخصه‌های فیزیکی و دینامیکی و اجزای ESM جدید تا حد زیادی در

در روابط بالا P_i و \bar{P} به ترتیب داده‌های شبیه‌سازی شده و

³ Mean of Absolute Error (MAE)

⁴ Kling-Gupta Efficiency (KGE)

¹ Correlation coefficients

² Root-mean-square deviation (RMSE)

ناپارامتریک سن^۲ جهت برآورد شیب واقعی روند در سری زمانی کاربرد دارد و مانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک تفاوت بین مشاهدات سری زمانی را ارزیابی می‌کند. در روش سنس اگر مقدار Q_i مثبت باشد نشان‌دهنده روند افزایشی و اگر منفی باشد نشان‌دهنده روند کاهش‌ی است (نیرومندفرد و همکاران، ۱۴۰۱).

۳- بحث

۳-۱- آزمون همگنی

نتایج بررسی همگنی متغیرهای اقلیمی در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج متغیر بارش و دمای حداکثر در کلاس مناسب و متغیر دمای حداقل در کلاس مشکوک قرار دارد.

جدول ۴- نتایج بررسی همگنی متغیرهای بارش و دما براساس آزمون‌های مختلف

سنجه آماری				کلاس همگنی	متغیر	ایستگاه
BHR	VON	PET	SNH			
NS	NS	NS	NS	مناسب	بارش	هاشم‌آباد
P5	NS	P5	P1	مناسب	دمای حداکثر	
P1	P1	P1	P1	مشکوک	دمای حداقل	

P1: نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۱ درصد، P5: نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۵ درصد، NS: عدم معنی‌داری

حداقل از بین پنج مدل از مجموعه مدل‌های CMIP6 و اجرای گروهی سه مدل برتر، عملکرد مدل‌ها را براساس معیارهای ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، معیار نش-ساتکلیف (NSE) و کلینگ گویتا (KGE) در محدوده چهار ایستگاه حوضه قره‌سو مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد مدل MIROC-ES2L در ایستگاه هاشم‌آباد گرگان دارای عملکرد برتر است. نیرومندفرد و همکاران (۱۴۰۱) جهت بررسی چشم‌انداز تغییر اقلیم بر پارامترهای حداکثر و حداقل دما و بارش ایستگاه بیرجند از سه مدل مجموعه مدل‌های گزارش ششم CMIP6 استفاده کردند و با به‌کار بردن آزمون‌های ارزیابی ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و کلینگ-گویتا (KGE)، در تمامی پارامترها مدل MIROC-

مشاهداتی و میانگین داده‌های مشاهداتی، n تعداد داده‌ها، σ انحراف معیار و μ میانگین است.

۲-۵- آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب سن

یکی از راه‌کارهای بررسی روند داده‌ها، استفاده از روش ترسیمی من-کندال^۱ است (Güçlü, 2018). در این آزمون، تحت فرض H_0 داده‌ها از یک سری که مستقل و دارای توزیع یکسان هستند گرفته شده‌اند. به‌منظور بررسی روند داده‌ها بر اساس آزمون من-کندال، مقدار Z به‌دست آمده با مقادیر به‌دست آمده از جدول توزیع نرمال استاندارد با سطح اطمینان مورد نظر مقایسه می‌شود. در صورتی که Z محاسبه شده بیش از Z جدول باشد، فرضیه صفر مبنی بر وجود روند با سطح اطمینان مورد نظر رد می‌شود. در صورت وجود روند، مقدار Z مثبت نشان‌دهنده روند مثبت و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند منفی است (طاهری و همکاران، ۱۴۰۲). روش

۳-۲- ارزیابی مدل‌های منتخب CMIP6 و

انتخاب مدل برتر

نتایج ارزیابی مدل‌های منتخب در تخمین بارش و دما نسبت به داده‌های مشاهداتی برای تعیین بهترین مدل در منطقه مورد مطالعه در جدول (۵) آورده شده است. بر این اساس مدل EC-Earth3-CC در هر چهار آزمون برای متغیر بارش و دمای حداقل و مدل MIROC-ES2L برای متغیر دمای حداکثر نتایج بهتری از سایر مدل‌های منتخب ارائه کرده‌اند و دارای توانمندی بیشتری در شبیه‌سازی‌ها بودند. در نهایت مدل EC-Earth3-CC که برتری ناچیزی با نتایج مدل MIROC-ES2L داشت برای ادامه بررسی و تحلیل تغییرات اقلیم منطقه انتخاب شد.

قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) به منظور رتبه‌بندی عملکرد مدل‌ها برای شبیه‌سازی داده‌های بارش، دمای حداکثر و

² Sen's Slope

¹ Mann-Kendall

دارای دقت کمتری است اما دقت این مدل برای پارامترهای دیگر تغییر اقلیم و مناطق دیگر مطالعاتی ممکن است نتایج دیگری را نشان دهد. اما باید توجه داشت که به طور کلی مدل‌های اقلیمی تخمین چندان مناسبی از مقدار بارش ارائه نمی‌دهند، اما متغیر دما را با دقت مناسبی تخمین می‌زنند (میان‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۲). البته این در حالی‌ست که بنا به مطالعات صورت گرفته، مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 در شبیه‌سازی بارش دارای عملکرد بالاتری هستند.

ES2L را با کمترین میزان RMSE و همچنین بیشترین میزان R و KGE به‌عنوان مناسب‌ترین مدل گزارش نمودند. بررسی تغییر اقلیم قرن ۲۱ با استفاده از مدل NIMS-KMA از سری مدل‌های CMIP6 برای دوره پایه بیانگر دقت بالای عملکرد مدل‌ها در میانگین و تغییرپذیری اقلیم هستند که قابلیت اطمینان مدل‌های اقلیمی را نشان می‌دهد (Sung et al., 2021). الماسی و همکاران (۱۴۰۳) گزارش نمودند اختلافاتی در دقت مدل‌ها برای بررسی پارامترهای مختلف تغییر اقلیم و مناطق مختلف اقلیمی وجود دارد مثلاً با وجود اینکه مدلی برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه در منطقه کرمانشاه

جدول ۵- رتبه‌بندی سنجه‌های آماری مدل‌های منتخب در مقایسه با داده‌های مشاهداتی ایستگاه هاشم‌آباد (دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۹۰)

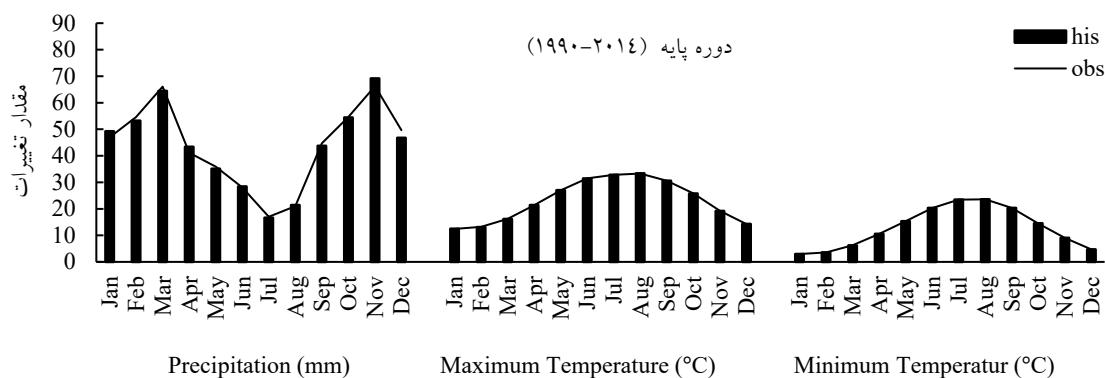
متغیر	معیارهای ارزیابی	EC-Earth3-CC	MIROC-ES2L	EC-Earth3-Veg-LR
بارش	R	۰/۳۳۶	۰/۲۹۰	۰/۲۳۲
	RMSE	۳۳/۸۱۵	۳۵/۸۵۹	۳۹/۳۷۱
	MAE	۲۶/۳۹۹	۲۶/۷۳۳	۲۹/۲۸۰
	KGE	۰/۲۹۴	۰/۲۶۹	۰/۲۳۰
	ترکیب رتبه‌بندی	۱	۲	۳
دمای حداکثر	R	۰/۹۵۳	۰/۹۵۷	۰/۹۵۰
	RMSE	۲/۴۰۶	۲/۲۹۷	۲/۴۷۴
	MAE	۱/۹۳۹	۱/۸۰۷	۱/۹۵۱
	KGE	۰/۹۵۳	۰/۹۵۷	۰/۹۵۰
	ترکیب رتبه‌بندی	۲	۱	۳
دمای حداقل	R	۰/۹۷۷	۰/۹۷۵	۰/۹۶۹
	RMSE	۱/۶۰۳	۱/۶۹۵	۱/۸۷۹
	MAE	۱/۱۷۹	۱/۳۰۲	۱/۵۰۵
	KGE	۰/۹۷۷	۰/۹۷۵	۰/۹۶۸
	ترکیب رتبه‌بندی	۱	۲	۳

و همکاران (۱۴۰۲) براساس نمودارهای میانگین مقادیر ماهانه مدل NorESM2-MM برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره پایه نشان دادند دقت شبیه‌سازی دما در تمامی ماه‌ها مناسب و قابل قبول است و در مورد بارش، دقت شبیه‌سازی نسبت به دما کمتر است اما تا حدودی رفتار نمودار شبیه‌سازی شده مشابه رفتار نمودار مشاهداتی می‌باشد.

۳-۳- تغییرات میانگین ماهانه و وضعیت روند

متغیرهای اقلیمی

تغییرات میانگین ماهانه بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره مشاهداتی و تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) مدل EC-Earth3-CC در شکل (۲) ارائه شده است. بر اساس جدول (۵) و شکل (۲)، مقادیر بارش در این دوره دارای تفاوت و دمای حداکثر و حداقل تفاوت چندانی ندارند. عبدالعلی‌زاده



شکل ۲- تغییرات میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی دوره پایه

نتایج آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب سن متغیرهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره مشاهداتی در جدول (۶) نشان داده شده است. متغیر بارش در ماه می در سطح اطمینان ۹۵ درصد، متغیر دمای حداکثر در ماه آگوست و سپتامبر در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه ژوئن در سطح

اطمینان ۹۵ درصد و متغیر دمای حداقل در ماه می تا ژوئیه و ماه سپتامبر در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه مارس و اکتبر در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است و در مابقی ماه‌ها عدم وجود روند معنی‌دار مشاهده شد.

جدول ۶- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	۰/۶۷۴	۰/۰۶۳	۰/۲۵۸	۰/۰۵۹	۰/۲۷۳	۰/۰۹۸	۰/۵۷۵	۰/۰۸۳	۰/۰۲۵
Feb	۰/۵۵۹	۰/۰۸۷	۰/۷۰۴	۰/۹۸۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۰/۳۱۵	۰/۱۴۷	۰/۰۶۲
Mar	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۲	۰/۰۵۳	۰/۲۸۰	۰/۱۳۲	**۰/۰۲۱	۰/۳۳۳	۰/۰۸۶
Apr	۰/۳۱۵	-۰/۱۴۷	-۰/۶۰۴	۰/۸۳۴	-۰/۰۳۳	-۰/۰۱۱	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۲۹
May	**۰/۰۴۷	-۰/۲۸۷	-۱/۳۵۴	۰/۰۸۸	۰/۲۴۷	۰/۰۹۲	***۰/۰۰۱	۰/۴۷۱	۰/۰۹۶
Jun	۰/۶۲۴	-۰/۰۷۳	-۰/۲۵۱	**۰/۰۱۶	۰/۳۴۷	۰/۱۰۸	***۰/۰۰۳	۰/۴۲۷	۰/۰۸۸
Jul	۰/۵۷۵	-۰/۰۸۴	-۰/۱۰۵	۰/۰۶۵	۰/۲۶۷	۰/۰۹۲	***۰/۰۰۷	۰/۳۸۷	۰/۰۵۷
Aug	۰/۸۶۱	۰/۰۴۷	۰/۳۰۰	***۰/۰۰۴	۰/۴۲۰	۰/۱۵۶	۰/۳۳۸	۰/۱۴۰	۰/۰۲۴
Sep	۰/۸۷۰	-۰/۰۲۷	-۰/۱۲۶	***۰/۰۰۱	۰/۴۶۰	۰/۱۱۷	***۰/۰۰۳	۰/۴۲۷	۰/۱۰۰
Oct	۰/۷۰۹	-۰/۰۵۷	-۰/۵۷۲	۰/۲۵۲	۰/۱۶۷	۰/۰۵۲	**۰/۰۳۸	۰/۳۰۰	۰/۰۹۶
Nov	۰/۹۸۱	-۰/۰۰۷	-۰/۱۳۳	۰/۸۷۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۰۵	۰/۶۰۷	۰/۰۷۷	۰/۰۲۵
Dec	۰/۷۲۶	۰/۰۵۳	۰/۲۱۲	۰/۵۲۸	۰/۰۹۳	۰/۰۱۸	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۱۵

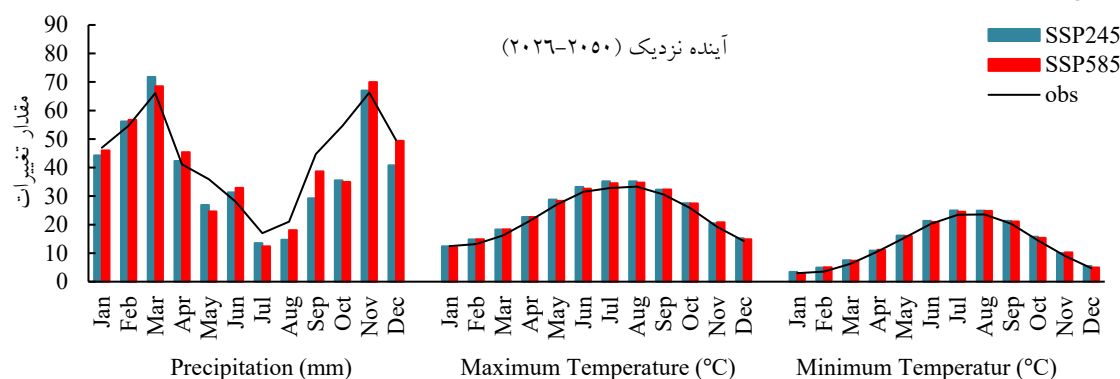
** : معنی‌داری روند در سطح ۹۵٪. *** : معنی‌داری روند در سطح ۹۹٪.

نتایج قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) در بررسی روند معنی‌داری میانگین ماهانه ایستگاه هاشم‌آباد در دوره مشاهداتی براساس مقادیر P-value گزارش کردند میانگین ماهانه بارش فقط در ماه May در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار کاهشی، میانگین ماهانه متغیر دمای حداکثر در ماه Aug و Sep در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Jun در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند افزایشی و میانگین ماهانه متغیر دمای حداقل در ماه May, Jun, Jul در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Mar و Oct در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار افزایشی است.

نتایج قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد در بررسی میانگین ماهانه دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و سه دوره آتی (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و (۲۰۷۶-۲۱۰۰) سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 ایستگاه هاشم‌آباد، کمترین مقدار میانگین ماهانه متغیر بارش تمامی دوره‌ها در ماه Jul و بیشترین مقدار در دوره پایه، سناریوی خیلی بدبینانه دوره نزدیک و سناریوی حدواسط دوره میانه در ماه Nov و سایر حالات در ماه Mar رخ داده و میانگین ماهانه متغیر دمای حداکثر و حداقل در تمامی دوره‌ها به ترتیب در ماه Jan دارای کمترین و در ماه Aug دارای بیشترین مقدار است.

نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه ژوئیه (Jul) و برای سناریوی SSP5-8.5 در ماه مارس (Mar) و کمترین افزایش برای هر دو سناریو در ماه ژانویه (Jan) است. میانگین ماهانه دمای حداقل برای هر دو سناریو آینده نزدیک نسبت به دوره مشاهداتی در تمامی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین این افزایش برای سناریوهای SSP2-4.5 آینده نزدیک نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه ژوئیه (Jul) و برای سناریوی SSP5-8.5 در ماه فوریه (Feb) و کمترین افزایش به ترتیب مربوط به ماه آوریل (Apr) و ماه ژانویه (Jan) است (شکل ۳).

نتایج چشم‌انداز مقادیر بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) در شکل ۳ و وضعیت روند آن‌ها در جداول (۷) و (۸) ارائه شده است. میانگین ماهانه بارش آینده نزدیک برای هر دو سناریو در ماه‌های فوریه (Feb) تا آوریل (Apr)، ژوئن (Jun) و نوامبر (Nov) نسبت به دوره مشاهداتی دارای روند افزایشی و برای سایر ماه‌ها دارای روند کاهش است. میانگین ماهانه دمای حداکثر برای هر دو سناریو آینده نزدیک نسبت به دوره مشاهداتی در تمامی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین افزایش دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 آینده نزدیک



شکل ۳- مقایسه میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی

حداکثر SSP5-8.5 آینده نزدیک در ماه آوریل (Apr) و سپتامبر (Sep) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. مقادیر ماهانه دمای حداقل SSP2-4.5 آینده نزدیک در ماه مه (May) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه ژوئن (Jun) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. مقادیر ماهانه دمای حداقل SSP5-8.5 آینده نزدیک در ماه ژوئن (Jun) و سپتامبر (Sep) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه نوامبر (Nov) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است و در مابقی ماه‌ها عدم وجود روند معنی‌دار و تأیید فرض H_0 مشاهده شده است (جداول ۷ و ۸).

نتایج الماسی و همکاران (۱۴۰۳) در پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه طبق سناریوهای CMIP6 نشان داد کمینه میانگین بارندگی ماهانه در بازه (۲۰۲۶-۲۱۰۰) به ترتیب در ماه‌های Jul, Aug, Jun و Sep است و بیشینه بارش به ترتیب در ماه‌های Nov, Mar و Apr در هر سه دوره آینده نزدیک، میانه و دور است.

مقادیر ماهانه بارش و دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 آینده نزدیک در تمامی ماه‌ها بدون روند می‌باشند. مقادیر ماهانه بارش سناریوی SSP5-8.5 آینده نزدیک در ماه مارس (Mar) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه ژانویه (Jan) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است و در مابقی ماه‌ها فرض H_0 تأیید شده است. مقادیر ماهانه دمای

جدول ۷- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی طبق سناریوی SSP2-4.5 در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)

ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	۰/۴۶۹	-۰/۱۰۷	-۰/۳۳۸	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۳	۰/۸۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۱۰
Feb	۰/۶۵۷	-۰/۰۶۷	-۰/۲۸۲	۰/۷۹۷	۰/۰۴۰	۰/۰۲۴	۰/۴۹۸	۰/۱۰۰	۰/۰۴۳
Mar	۰/۹۸۱	۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۳۶۲	۰/۱۳۳	۰/۰۷۴	۰/۶۹۱	-۰/۰۶۰	-۰/۰۲۵

Apr	۰/۶۹۱	-۰/۰۶۰	-۰/۲۳۶	۰/۰۶۵	۰/۲۶۷	۰/۰۸۶	۰/۴۱۴	۰/۱۲۰	۰/۰۳۸
May	۰/۳۶۲	-۰/۱۳۳	-۰/۳۷۴	۰/۱۸۳	۰/۱۹۳	۰/۰۶۵	***۰/۰۰۷	۰/۳۸۷	۰/۰۷۷
Jun	۰/۷۲۶	-۰/۰۵۳	-۰/۳۶۸	۰/۳۳۸	۰/۱۴۰	۰/۰۴۹	**۰/۰۱۰	۰/۳۷	۰/۰۶۴
Jul	۰/۰۶۵	-۰/۲۶۷	-۰/۵۲۵	۰/۰۹۷	۰/۲۴۰	۰/۰۷۶	۰/۱۵۴	۰/۲۰۷	۰/۰۵۰
Aug	۰/۶۵۷	۰/۰۶۷	۰/۱۰۹	۰/۷۲۶	۰/۰۵۳	۰/۰۱۷	۰/۱۴۱	۰/۲۱۳	۰/۰۳۲
Sep	۰/۲۱۶	-۰/۱۸۰	-۰/۷۱۴	۰/۱۴۱	۰/۲۱۳	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	۰/۲۶۷	۰/۰۵۹
Oct	۰/۶۵۷	۰/۰۶۷	-۰/۴۵۹	۰/۴۱۴	۰/۱۲۰	۰/۰۶۳	۰/۰۸۰	۰/۲۵۳	۰/۰۹۷
Nov	۰/۷۹۷	-۰/۰۴۰	-۰/۳۷۰	۰/۲۳۴	۰/۱۷۳	۰/۰۷۶	۰/۲۱۶	۰/۱۸۰	۰/۰۳۴
Dec	۰/۴۱۴	۰/۱۲۰	۰/۳۶۸	۰/۷۹۷	۰/۰۴۰	۰/۰۱۲	۰/۳۶۲	۰/۱۳۳	۰/۰۱۶

جدول ۸- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی طبق سناریوی SSP5-8.5 در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)

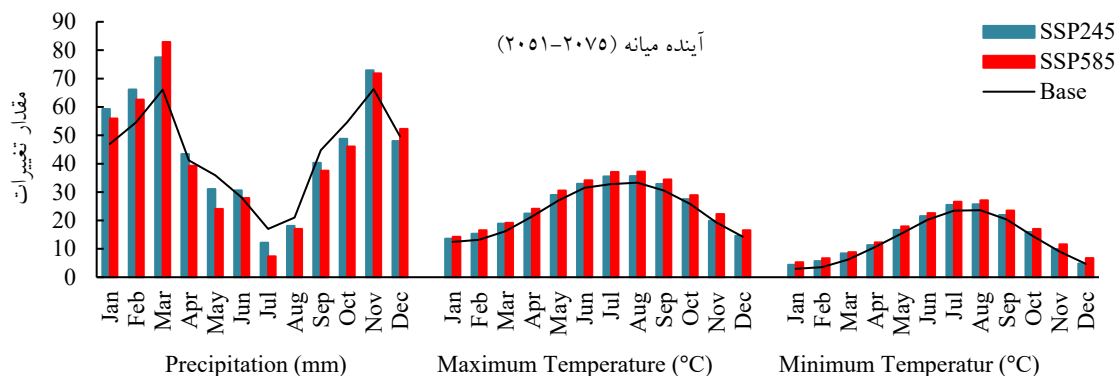
ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	**۰/۰۳۸	۰/۳۰۰	۰/۷۴۱	۰/۲۱۶	۰/۱۸۰	۰/۱۰۳	۰/۱۲۹	۰/۲۲۰	۰/۱۱۳
Feb	۰/۲۱۶	-۰/۱۸۰	-۰/۸۵۲	۰/۳۱۵	۰/۱۴۷	۰/۰۷۹	۰/۲۹۳	۰/۱۵۳	۰/۰۷۶
Mar	***۰/۰۰۱	۰/۵۰۰	۲/۸۰۰	۰/۶۲۴	-۰/۰۷۳	-۰/۰۳۸	۰/۶۲۴	۰/۰۷۳	۰/۰۲۰
Apr	۰/۳۱۵	۰/۱۴۷	۰/۶۹۹	**۰/۰۳۸	-۰/۳۰۰	-۰/۱۲۸	۰/۰۸۸	-۰/۲۴۷	-۰/۰۷۱
May	۰/۶۹۱	-۰/۰۶۰	-۰/۲۰۳	۰/۵۹۱	۰/۰۸۰	۰/۰۱۸	۰/۲۳۴	۰/۱۷۳	۰/۰۴۸
Jun	۰/۲۵۲	-۰/۱۶۷	۰/۷۵۷	۰/۰۶۵	۰/۲۶۷	۰/۰۸۷	***۰/۰۰۸	۰/۳۸۰	۰/۰۷۲
Jul	۰/۳۸۸	-۰/۱۲۷	-۰/۲۳۶	۰/۶۹۱	۰/۰۶۰	۰/۰۱۳	۰/۰۸۸	۰/۲۴۷	۰/۰۵۵
Aug	۰/۷۶۱	-۰/۰۴۷	-۰/۰۸۶	۰/۵۵۹	۰/۰۸۷	۰/۰۱۷	۰/۲۷۲	۰/۱۶۰	۰/۰۳۵
Sep	۰/۳۸۸	-۰/۱۲۷	-۰/۵۲۵	**۰/۰۲۱	۰/۳۳۳	۰/۰۸۹	***۰/۰۰۵	۰/۴۰۰	۰/۰۶۵
Oct	۰/۱۵۴	۰/۲۰۷	۰/۸۹۳	۰/۷۲۶	-۰/۰۵۳	-۰/۰۲۲	۰/۷۲۶	۰/۰۵۳	۰/۰۰۸
Nov	۰/۱۵۴	۰/۲۰۷	۱/۴۹۴	۰/۳۳۸	۰/۱۴۰	۰/۰۶۱	**۰/۰۳۰	۰/۳۱۳	۰/۰۸۲
Dec	۰/۰۹۷	۰/۲۴۰	۰/۶۶۲	۰/۶۲۴	-۰/۰۷۳	-۰/۰۴۵	۰/۸۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۰۶

** : معنی‌داری روند در سطح ۹۵٪. *** : معنی‌داری روند در سطح ۹۹٪.

نتایج چشم‌انداز مقادیر بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) در شکل (۴) و وضعیت روند آنها در جدول (۹) و (۱۰) ارائه شده است. میانگین ماهانه بارش آینده میانه برای هر دو سناریو در ماه‌های فوریه (Feb)، مارس (Mar) و نوامبر (Nov)، برای سناریوی SSP2-4.5 در ماه ژوئن (Jun) و سناریوی SSP5-8.5 در ماه ژانویه (Jan) و دسامبر (Dec) نسبت به دوره مشاهداتی دارای روند افزایشی و برای سایر ماه‌ها دارای روند کاهش است. میانگین ماهانه دمای حداکثر برای هر دو سناریوی آینده میانه نسبت به دوره مشاهداتی در تمامی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین افزایش دمای حداکثر هر دو سناریوی آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه ژوئیه (Jul) است. کمترین افزایش دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 آینده میانه مربوط به ماه دسامبر (Dec) و برای سناریوی SSP5-8.5 در ماه ژانویه (Jan) است. میانگین ماهانه دمای حداقل هر دو سناریوی آینده میانه نسبت به دوره مشاهداتی

نتایج قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد در بررسی وضعیت روند آینده نزدیک متغیر دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 در ماه Apr و Aug در سطح اطمینان ۹۹ درصد و سناریوی SSP5-8.5 در ماه Mar و Jul در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه May و از ماه Aug تا Oct در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار افزایشی است. متغیر دمای حداقل سناریوی SSP2-4.5 در ماه May، Sep و Nov در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Aug، Mar و Oct در سطح اطمینان ۹۵ درصد و سناریوی SSP5-8.5 در ماه May، Mar، Jul، Aug و Sep در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای روند معنی‌دار است. نتایج تحقیق نیرومندفرد و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) ایستگاه بیرجند نشان داد تغییرات دمای حداکثر و حداقل در دوره آینده نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای روند افزایشی بوده و پارامتر بارش دارای روند سینوسی است و در برخی ماه‌ها افزایش و در برخی کاهش است.

در تمامی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین افزایش دمای حداقل سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب مربوط به ماه فوریه (Feb) و ماه آگوست (Aug) است و کمترین افزایش به ترتیب



شکل ۴- مقایسه میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی دوره آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) نسبت به دوره مشاهداتی

مقادیر ماهانه بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل سناریوی SSP2-4.5 آینده میانه در تمامی ماه‌ها بدون روند می‌باشند. مقادیر ماهانه بارش سناریوی SSP5-8.5 آینده فقط در ماه ژوئیه (Jul) و دسامبر (Dec) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است و در مابقی ماه‌ها فرض H_0 تأیید شده است. مقادیر ماهانه دمای حداکثر SSP5-8.5 آینده میانه در ماه ژوئن (Jun)، ژوئیه (Jul) و دسامبر (Dec) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه ژانویه (Jan)، آوریل (Apr) و

جدول ۹- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی طبق سناریوی SSP2-4.5 در دوره آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵)

ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	۰/۷۶۱	۰/۰۴۷	۰/۱۶۲	۰/۱۰۷	۰/۲۳۳	۰/۰۶۳	۰/۷۲۶	۰/۰۵۳	۰/۰۱۵
Feb	۰/۴۹۸	-۰/۱۰۰	-۰/۳۱۷	۰/۶۹۱	۰/۰۶۰	۰/۰۴۱	۰/۸۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۱۰
Mar	۰/۶۵۷	-۰/۰۶۷	-۰/۱۹۱	۰/۲۷۲	۰/۱۶۰	۰/۰۷۹	۰/۷۶۱	۰/۰۴۷	۰/۰۱۴
Apr	۰/۰۹۷	-۰/۲۴۰	-۱/۰۳۱	۰/۳۶۲	۰/۱۳۳	۰/۰۴۱	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۲۸
May	۰/۶۹۱	۰/۰۶۰	۰/۲۴۸	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۴۸	۰/۴۶۹	۰/۱۰۷	۰/۰۳۳
Jun	۰/۸۷۰	-۰/۰۲۷	-۰/۱۱۵	۰/۲۹۳	۰/۱۵۳	۰/۰۹۰	۰/۲۳۴	۰/۱۷۳	۰/۰۳۵
Jul	۰/۶۹۱	-۰/۰۶۰	-۰/۰۸۷	۰/۱۸۳	۰/۱۹۳	۰/۰۵۱	۰/۱۶۸	۰/۲۰۰	۰/۰۴۵
Aug	۰/۴۹۸	-۰/۱۰۰	-۰/۱۸۷	۰/۱۱۸	۰/۲۲۷	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	۰/۲۶۷	۰/۰۴۴
Sep	۰/۷۹۷	۰/۰۴۰	۰/۱۳۳	۰/۱۹۹	۰/۱۸۷	۰/۰۶۰	۰/۰۸۰	۰/۲۵۳	۰/۰۴۸
Oct	۰/۵۲۸	۰/۰۹۳	۰/۵۶۸	۰/۳۱۵	-۰/۱۴۷	-۰/۰۵۸	۰/۳۶۲	-۰/۱۳۳	-۰/۰۱۴
Nov	۰/۱۹۹	-۰/۱۸۷	-۱/۱۲۹	۰/۳۶۲	۰/۱۳۳	۰/۰۸۱	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۵۸
Dec	۰/۷۶۱	۰/۰۴۷	۰/۱۳۷	۰/۹۴۴	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۷	۰/۶۹۱	-۰/۰۶۰	-۰/۰۲۷

جدول ۱۰- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی طبق سناریوی SSP5-8.5 در دوره آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵)

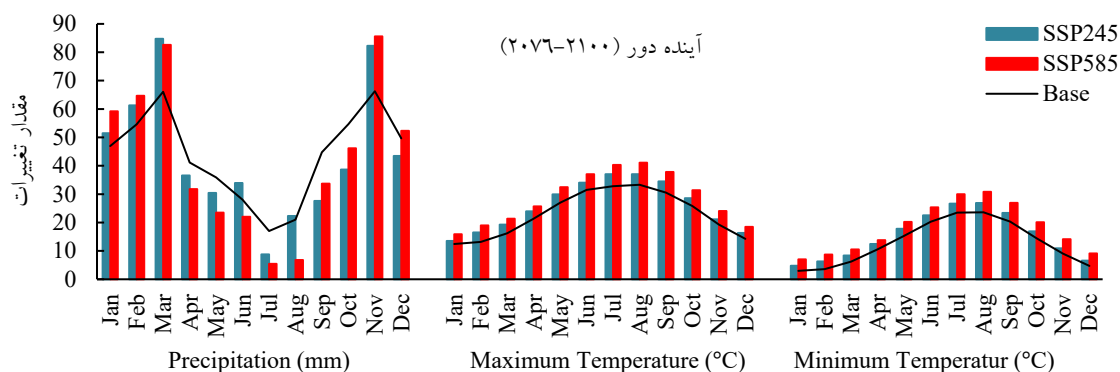
ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	۰/۶۲۴	-۰/۰۷۳	-۰/۱۷۳	۰/۰۲۳	۰/۳۲۷	۰/۱۳۶	۰/۰۱۶	۰/۳۴۷	۰/۱۱۰
Feb	۰/۶۵۷	۰/۰۶۷	۰/۲۴۳	۰/۱۱۸	۰/۲۲۷	۰/۰۸۹	۰/۱۶۸	۰/۲۰۰	۰/۰۵۰
Mar	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۱	۰/۴۹۸	۰/۱۰۰	۰/۰۵۴	۰/۳۸۸	۰/۱۲۷	۰/۰۴۸

Apr	۰/۸۷۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۱۰۶	۰/۰۴۷	۰/۲۸۷	۰/۱۱۰	۰/۰۱۲	۰/۳۶۰	۰/۱۱۹
May	۰/۹۴۴	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۲	۰/۱۰۷	۰/۲۳۳	۰/۱۰۵	۰/۰۰۵	۰/۴۰۰	۰/۱۱۱
Jun	۰/۰۷۲	-۰/۰۲۶۰	-۰/۰۷۵۴	۰/۰۰۶	۰/۳۹۳	۰/۱۸۰	۰/۰۰۰	۰/۵۲۷	-۰/۱۴۲
Jul	۰/۰۱۴	-۰/۰۳۵۳	-۰/۰۳۵۸	۰/۰۰۲	۰/۴۴۷	۰/۱۳۶	۰/۰۰۰	۰/۵۴۰	۰/۱۲۳
Aug	۰/۸۳۴	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷	۰/۳۲۰	۰/۰۹۰	۰/۰۰۱	۰/۵۸۰	۰/۰۹۶
Sep	۰/۲۱۶	۰/۱۸۰	۱/۲۰۹	۰/۵۵۹	۰/۰۸۷	۰/۰۳۶	۰/۰۲۱	۰/۳۳۳	۰/۰۶۴
Oct	۰/۳۶۲	۰/۱۳۳	۰/۸۹۸	۰/۷۲۶	-۰/۰۵۳	-۰/۰۱۸	۰/۱۴۱	۰/۲۱۳	۰/۰۳۳
Nov	۰/۷۶۱	۰/۰۴۷	۰/۲۳۸	۰/۰۹۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۱۵	۰/۴۹۸	۰/۱۰۰	۰/۰۳۷
Dec	۰/۰۱۰	-۰/۰۳۷۳	-۱/۰۵۰۸	۰/۰۰۳	۰/۴۳۳	۰/۱۲۶	۰/۰۰۷	۰/۳۸۷	۰/۱۰۰

** : معنی‌داری روند در سطح ۹۵٪ *** : معنی‌داری روند در سطح ۹۹٪

سناریوی SSP2-4.5 در ماه آگوست (Aug) و سناریوی SSP5-8.5 در ماه دسامبر (Dec) نسبت به دوره مشاهداتی دارای روند افزایشی و برای سایر ماه‌ها دارای روند کاهش‌ی است. میانگین ماهانه دمای حداکثر برای هر دو سناریوی آینده دور در تمامی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین افزایش دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه ژوئیه (Jul) و کمترین افزایش دمای حداکثر سناریوی SSP5-8.5 آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه ژانویه (Jan) است. بیشترین افزایش دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه ژانویه (Jan) است. میانگین ماهانه دمای حداکثر آینده دور برای هر دو سناریو در تمامی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین افزایش دمای حداکثر سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه آگوست (Aug) و کمترین افزایش سناریوی SSP2-4.5 مربوط به ماه ژانویه (Jan) و برای سناریوی SSP5-8.5 مربوط به ماه آوریل (Apr) است (شکل ۵).

نتایج قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد در بررسی وضعیت روند آینده میانه متغیر دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 در ماه Oct در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Nov در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است و سناریوی SSP5-8.5 در ماه Jan، Jul و Aug در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه May و Sep در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. متغیر دمای حداقل سناریوی SSP2-4.5 در ماه Oct در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Nov در سطح اطمینان ۹۵ درصد و سناریوی SSP5-8.5 از ماه Jun تا Oct، Jan و May در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Apr در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. نتایج چشم‌انداز مقادیر بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره آینده دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) در شکل ۵ و وضعیت روند آن‌ها در جداول (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است. میانگین ماهانه بارش آینده دور برای هر دو سناریو در ماه‌های ژانویه (Jan) تا مارس (Mar) و ماه نوامبر (Nov)، برای



شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی دوره آینده دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی.

سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است و در مابقی ماه‌ها فرض H_0 تأیید شده است. مقادیر دمای

مقادیر ماهانه بارش سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 آینده دور به ترتیب فقط در ماه آوریل (Apr) و ژوئن (Jun) در

آینده دور از ماه مه (May) تا سپتامبر (Sep) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه مارس (Mar)، ماه آوریل (Apr) و اکتبر (Oct) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. در مابقی ماه‌ها عدم وجود روند معنی‌دار و تأیید فرض H_0 مشاهده شده است (جدول ۱۱ و ۱۲).

حداکثر و حداقل سناریوی SSP2-4.5 آینده دور در تمامی ماه‌ها بدون روند می‌باشند. مقادیر ماهانه دمای حداکثر SSP5-8.5 آینده دور در ماه مه (May)، ژوئن (Jun)، آگوست (Aug) و سپتامبر (Sep) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه آوریل (Apr) در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. مقادیر ماهانه دمای حداقل SSP5-8.5

جدول ۱۱- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی طبق سناریوی SSP2-4.5 در دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶)

ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	۰/۶۵۷	۰/۰۶۷	۰/۲۶۹	۰/۱۲۹	۰/۲۲۰	۰/۰۹۵	***۰/۰۱۸	۰/۳۴۰	۰/۰۹۴
Feb	۰/۴۱۴	۰/۱۲۰	۰/۴۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۲	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۱۹
Mar	۰/۱۰۷	-۰/۲۳۳	-۱/۳۹۸	۰/۳۱۵	۰/۱۴۷	۰/۰۵۲	۰/۲۷۲	۰/۱۶۰	۰/۰۴۶
Apr	***۰/۰۲۳	۰/۳۲۷	۱/۲۲۸	۰/۴۴۱	-۰/۱۱۳	-۰/۰۴۵	۰/۷۲۶	۰/۰۵۳	۰/۰۱۵
May	۰/۹۸۱	۰/۰۰۷	۰/۰۲۷	۰/۹۴۴	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۵	۰/۶۹۱	۰/۰۶۰	۰/۰۰۸
Jun	۰/۴۹۸	۰/۱۰۰	۰/۳۵۷	۰/۷۹۷	۰/۰۴۰	۰/۰۱۴	۰/۹۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴
Jul	۰/۸۳۴	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۵۹۱	-۰/۰۸۰	-۰/۰۳۱	۰/۳۶۲	-۰/۱۳۳	-۰/۰۲۳
Aug	۰/۶۹۱	-۰/۰۶۰	-۰/۰۹۶	۰/۹۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۶	۰/۲۳۴	۰/۱۷۳	۰/۰۲۱
Sep	۰/۸۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۹۴	۰/۷۶۱	-۰/۰۴۷	-۰/۰۱۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Oct	۰/۱۸۳	-۰/۱۹۳	-۱/۰۱۲	۰/۲۵۲	۰/۱۶۷	۰/۰۶۷	۰/۶۵۷	۰/۰۶۷	۰/۰۲۳
Nov	۰/۵۵۹	-۰/۰۸۷	-۰/۴۶۶	۰/۲۵۲	۰/۱۶۷	۰/۰۹۱	۰/۰۸۸	۰/۲۴۷	۰/۰۸۹
Dec	۰/۴۶۹	-۱/۰۰۷	۰/۲۵۰	-۱/۱۹۹	۰/۱۸۷	۰/۰۵۴	۰/۵۹۱	۰/۰۸۰	۰/۰۲۱

جدول ۱۲- بررسی وضعیت روند متغیرهای اقلیمی طبق سناریوی SSP5-8.5 در دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶)

ماه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		
	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q	p-value	Z	Q
Jan	۰/۰۷۲	۰/۲۶۰	۱/۲۳۵	۰/۶۲۴	۰/۰۷۳	۰/۰۲۵	۰/۲۷۲	۰/۱۶۰	۰/۰۴۱
Feb	۰/۱۹۹	-۰/۱۸۷	-۰/۵۹۹	۰/۱۰۷	۰/۲۳۳	۰/۱۰۲	۰/۰۸۸	۰/۲۴۷	۰/۰۸۲
Mar	۰/۵۲۸	-۰/۰۹۳	-۰/۷۲۱	۰/۱۸۳	۰/۱۹۳	۰/۰۶۸	***۰/۰۴۲	۰/۲۹۳	۰/۰۹۴
Apr	۰/۵۲۸	-۰/۰۹۳	-۰/۲۹۳	***۰/۰۲۱	۰/۳۳۳	۰/۱۵۸	***۰/۰۳۰	۰/۳۱۳	۰/۰۷۹
May	۰/۰۹۷	-۰/۲۴۰	-۰/۹۸۱	***۰/۰۰۶	۰/۳۹۳	۰/۱۴۹	***۰/۰۰۵	۰/۴۰۷	۰/۱۰۷
Jun	***۰/۰۳۴	-۰/۳۰۷	-۰/۹۳۷	***<۰/۰۰۰۱	۰/۶۲۷	۰/۲۲۱	***<۰/۰۰۰۱	۰/۶۴۷	۰/۱۶۵
Jul	۰/۴۹۸	۰/۱۰۰	۰/۰۹۰	۰/۱۲۹	۰/۲۲۰	۰/۰۴۷	***۰/۰۰۰	۰/۵۱۳	۰/۱۰۱
Aug	۰/۷۹۷	-۰/۰۴۰	-۰/۰۶۴	***۰/۰۰۰	۰/۵۴۷	۰/۱۵۰	***<۰/۰۰۰۱	۰/۶۰۰	۰/۱۲۴
Sep	۰/۹۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	***۰/۰۰۳	۰/۴۳۳	۰/۱۱۵	***<۰/۰۰۰۱	۰/۶۰۰	۰/۱۲۷
Oct	۰/۵۹۱	۰/۰۸۰	۰/۴۶۰	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۴۸	***۰/۰۱۸	۰/۳۴۰	۰/۱۱۲
Nov	۰/۴۴۱	۰/۱۱۳	۰/۵۶۸	۰/۹۴۴	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۹	۰/۱۰۷	۰/۲۳۳	۰/۰۷۴
Dec	۰/۴۹۸	-۰/۱۰۰	-۰/۴۶۰	۰/۸۳۴	۰/۰۳۳	۰/۰۱۱	۰/۷۹۷	۰/۰۴۰	۰/۰۱۰

** معنی‌داری روند در سطح ۹۵٪، *** معنی‌داری روند در سطح ۹۹٪

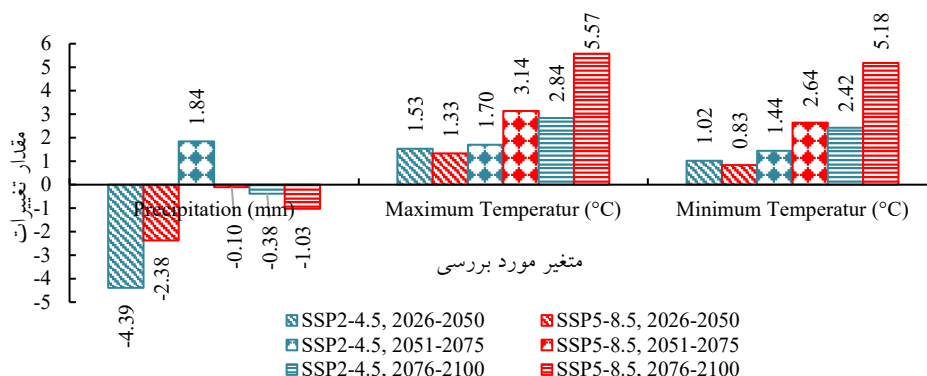
سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه Dec در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. متغیر دمای حداقل سناریوی SSP2-4.5 در ماه Jul در سطح اطمینان ۹۹ درصد و سناریوی SSP5-8.5 در ماه Jan، Dec و از Jun تا Oct و Feb در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ماه May، Mar و Nov در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است.

نتایج قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد در بررسی وضعیت روند آینده دور متغیر بارش سناریوی SSP2-4.5 در ماه Aug در سطح اطمینان ۹۹ درصد و سناریوی SSP5-8.5 در ماه Mar و Sep در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار است. متغیر دمای حداکثر سناریوی SSP2-4.5 در ماه Jan و Jul در سطح اطمینان ۹۵ درصد و سناریوی SSP5-8.5 در ماه Jan، Sep، Aug، Jun و Oct در سطح اطمینان ۹۵ درصد و سناریوی SSP5-8.5

هر سه دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) افزایش خواهد داشت که این افزایش در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) در سناریوی SSP2-4.5 نسبت به سناریوی SSP5-8.5 و در دو دوره آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) در سناریوی SSP5-8.5 نسبت به سناریوی SSP2-4.5 مشهودتر است. همچنین می‌توان گفت میزان افزایش متغیر دمای حداکثر برای هر دو سناریو در هر سه دوره آتی نسبت به دمای حداقل بیشتر خواهد بود (شکل ۶).

۳-۴- میانگین تغییرات متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی

میانگین تغییرات متغیر بارش در هر سه دوره آتی جز سناریوی SSP2-4.5 آینده میانه نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) دارای روند کاهشی است. این کاهش در سناریوی SSP2-4.5 نسبت به سناریوی SSP5-8.5 در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) بیشتر و در آینده دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) کمتر است. میانگین تغییرات دمای حداکثر و دمای حداقل در



شکل ۶- میانگین تغییرات متغیرهای اقلیمی سناریوها در دوره‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی

پایه در نظر گرفته شد. در ادامه با بررسی آزمون‌های آماری از بین سه مدل EC-Earth3-Veg-LR، MIROC-ES2L و EC-Earth3-CC از مجموعه مدل‌های CMIP6، مدل EC-Earth3-CC به‌عنوان مدل برتر در این ایستگاه انتخاب شد. پیش‌نگری برای سه دوره آماری آینده نزدیک، میانه و دور طبق دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و مقیاس‌گاهی به روش نسبت‌گیری خطی توسط نرم‌افزار CMHyd انجام شد.

نتایج بررسی آماره‌های سنجش خطا نشان داد مدل‌ها توانایی مناسبی در برآورد بارش ندارند و از عدم قطعیت بالایی برخوردارند اما برای دما نتایج مناسب خواهند داشت. نتایج بررسی میانگین تغییرات ماهانه متغیر بارش در هر سه دوره آتی جز سناریوی SSP2-4.5 آینده میانه نسبت به دوره مشاهداتی دارای روند کاهشی است و این کاهش در سناریوی SSP2-4.5 نسبت به سناریوی SSP5-8.5 در آینده نزدیک بیشتر و در آینده دور کمتر است. میانگین تغییرات دمای حداکثر و دمای حداقل در هر سه دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی دارای افزایش است و این افزایش در دو دوره آینده

Sung و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی نتایج پیش‌بینی دوره آتی تغییر اقلیم با استفاده از مدل NIMS-KMA از سری مدل‌های CMIP6 نشان دادند دمای جهانی به میزان ۱/۹۲ تا ۵/۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بررسی نتایج مدل NorESM2-MM سری CMIP6 طبق سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) نشان داد میانگین دمای حداکثر و حداقل حوضه آبریز دریاچه ارومیه نسبت به دوره پایه در آینده نزدیک (۲۰۳۱-۲۰۵۵) به ترتیب $1/8^{\circ}\text{C}$ و $1/1-1/8^{\circ}\text{C}$ در آینده دور (۲۰۷۱-۲۰۹۵) به ترتیب $4/8^{\circ}\text{C}$ و $1/5$ و $1/3-4/3^{\circ}\text{C}$ افزایش خواهد یافت (عبدالعی زاده و همکاران، ۱۴۰۲).

۴- نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی پیش‌نگری و ارزیابی تغییر اقلیم ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد گرگان واقع در حوضه قره‌سوی استان گلستان است. داده‌های بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل روزانه ایستگاه مورد مطالعه از اداره کل هواشناسی استان گلستان تهیه شد و داده‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۴ به‌عنوان دوره

منابع

1. Abdolalizadeh, F., Khorshiddoust, A.M., Jahanbakhsh Asl, S. (2023). Projection and Evaluation of the Trend of Temperature, Precipitation and Drought in Urmia Lake Catchment. *Hydrogeomorphology*, 10(36): 38-57. <https://doi.org/10.22034/HYD.2023.56103.1687>. (In Persian).
 2. Abedi Koupai, J., Vahabi, R. (2023). Climate Change Assessment Using Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) and Its Effect on Runoff Using HEC-HMS model. *Journal of Water and Soil Science*, 27 (2): 19-32. <https://doi.org/10.47176/jwss.27.2.49830>. (In Persian).
 3. Afsharinia, M., Panahi, F., Ehteram, M. (2024). Investigation of Climate Change Using CMIP6 Models Outputs (Case Study: Kashan Plain). *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 54 (2): 136-256. <http://doi.org/10.22125/IWE.2023.383176.1704>. (In Persian)
 4. Ahmadi, M., and Kamangar, M. (2023). Projection the extreme temperatures of Iran's cold season using a multi-model Hamadi system with socio-economic scenarios of CMIP6 models. *Journal of the Nivar*, 47(120-121), 71-88. <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.389079.1240>. (In Persian)
 5. Almasi, A., Fatemi, A.E. and Eghbalzadeh, A. (2024). The prediction of monthly rainfall in Kermanshah Synoptic Station under the social-economic scenarios of the sixth climate change report. *Advanced Technologies In Water Efficiency*, 4 (1): 40-64. <https://doi.org/10.22126/ATWE.2024.10245.1097>. (In Persian).
 6. Ansari, S., Dehban, H., Zareian, M.J., Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the output of CMIP6 model. *Iranian Water Research Journal*, 16 (1): 11-24. <https://doi.org/10.22034/IWRJ.2022.11204>. (In Persian).
 7. Azad, A. and Ahmadi, A. (2023). Temperature and Precipitation Projections in the Khazar
- میان و دور در سناریوی SSP5-8.5 نسبت به سناریوی SSP2-4.5 مشهودتر است. همچنین می‌توان گفت میزان افزایش متغیر دمای حداکثر برای هر دو سناریو در هر سه دوره آبی نسبت به دمای حداقل بیشتر خواهد بود. بیشترین افزایش دمای حداکثر طبق سناریوی SSP2-4.5 نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه دوره آبی در ماه Jul و کمترین افزایش به ترتیب در دوره آینده نزدیک، میان و دور در ماه Jan، Dec و Jan و طبق سناریوی SSP5-8.5 بیشترین افزایش به ترتیب در ماه Jul، Mar و Aug و کمترین افزایش در هر سه دوره در ماه Jan مشاهده شده است. بیشترین افزایش دمای حداقل طبق سناریوی SSP2-4.5 نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب در دوره آینده نزدیک، میان و دور در ماه Jul، Feb و Aug و کمترین افزایش به ترتیب در ماه Apr، Dec و Jan و طبق سناریوی SSP5-8.5 بیشترین و کمترین افزایش دوره نزدیک به ترتیب در ماه Feb و Jan و در دو دوره دیگر در ماه Aug و بیشترین و کمترین افزایش هر دو دوره میان و دور به ترتیب در ماه Aug و Apr مشاهده شده است. نتایج بررسی وضعیت روند سناریوی SSP2-4.5 مقادیر ماهانه بارش در تمامی ماه‌های دوره آبی جز ماه Apr آینده دور، مقادیر ماهانه دمای حداکثر تمامی ماه‌های هر سه دوره آبی و دمای حداقل تمامی ماه‌های هر سه دوره آبی جز ماه May و Jun دوره نزدیک و ماه Jan آینده دور فاقد روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد است. وضعیت روند معنی‌داری پارامترهای اقلیمی سناریوی SSP5-8.5 در هر سه دوره آبی نسبت به سناریوی SSP2-4.5 افزایش یافته است.
- در نهایت نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دمای هوا در ایستگاه مورد نظر در حال گرم‌تر شدن است و می‌تواند بر کیفیت (افزایش غلظت نمک، افزایش دمای آب، کاهش اکسیژن محلول در آب و...) و کمیت منابع آبی (تقاضای برداشت بیشتر منابع سطحی و زیرزمینی، افزایش تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت خاک و...) تأثیرگذار باشد بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آبی اثر تغییر اقلیم بر رواناب مورد بررسی قرار گیرد.

- <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>.
15. Haleem, K., Khan, A. U., Khan, J., Ghanim, A. A., & Al-Areeq, A. M. (2023). Evaluating Future Streamflow Patterns under SSP245 Scenarios: Insights from CMIP6. *Sustainability*, 15(22), 16117. <https://doi.org/10.3390/su152216117>.
 16. IPCC (2021). Climate change 2021 – the physical science basis: working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
 17. Iranshahi, M., Ebrahimi, B., Yousefi, H., & Moridi, A. (2022). Investigating the Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation Using Neural Network and CMIP6 (Case Study: Aleshtar and Khorramabad Stations). *Journal of Water and Irrigation Management*, 12 (4): 821-845. <http://doi.org/10.22059/jwim.2022.346796.1009>. (In Persian)
 18. Jiménez-Navarro, I. C., Jimeno-Sáez, P., López-Ballesteros, A., Pérez-Sánchez, J., Senent-Aparicio, J. (2021). Impact of Climate Change on the Hydrology of the Forested Watershed That Drains to Lake Erken in Sweden: An Analysis Using SWAT⁺ and CMIP6 Scenarios. *Forests*, 12(12), 1803. <https://doi.org/10.3390/f12121803>.
 19. Karimi, H., & Ataei, P. (2022). Farmers' cultural biases and adaptation behavior towards drought: A case in Sistan plain. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 24(4), 793-809. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-55258-en.html>.
 20. Khansalari, S., and Mohammadi, S. A. (2023). Projection of extreme precipitation over Iran based on the ensemble approach of CMIP6 models in the near future (2026-2050) with rank-based weighting. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(3), 727-746. <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.351711.1007476>. (In Persian)
 21. Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., Mortezaie Farizhendi, GH. (2018). Performance of Series Model CMIP5 in Simulation and Projection of Climatic Variables of Rainfall, (Caspian) Sea Basin by Evaluating the Effect of Bias Correction Methods and Using Ensemble of CMIP6 Climate Models. *Iran Water Resources Research*, 19 (4): 172-198. <https://doi.org/10.22034/IWRR.2023.180043>. (In Persian).
 8. Babel, M.S., Shinde, V.R., Sharma, D. and Dang, N.M. (2020). Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. *Environmental Research*, 185: 109400. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109400>.
 9. Bararkhanpour, S., Ghorbani, Kh., Salari Jazi, M., Rezaei Ghaleh, L. (2019). Study of Seasonal and Annual Rainfall Changes with Quantile regression method (Case Study: Gorgan Hashem-Abad Station. *Journal of Climate Research*, 10 (39): 89-104. (In Persian).
 10. Chamanehfar, S., Mousavi Baygi, M., Babaeian, I. Modaresi, F. (2022). Future Projection for Extreme Indices of Precipitation and Temperature over the Period 2026-2100 Based on the Output of CMIP6 Models (Case study: Mashhad). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5 (16): 963-976. (In Persian). [20.1001.1.20087942.1401.16.5.7.2](https://doi.org/10.22059/ijid.2022.346796.1009).
 11. Doscher R., Acosta M., Alessandri A., Anthoni P., Arneth A., Arsouze T., ... and Zhang Q. (2021). The EC-earth3 Earth system model for the climate model intercomparison project 6. *Geoscientific Model Development Discussions*, 1-90. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2973-2022>.
 12. Erkol, Z. İ., Yesilyurt, S. N. and Dalkilic, H. Y. (2022). Impacts of Climate Change on Spatial Drought Distribution in Mediterranean Basin: Different Climate Models and Downscaling Methods. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1392478/v1>.
 13. GhorbaniMinaei L., Mosaedi A., Zakerinia M., Kalbali E. and GhaneiSough M. (2024). Evaluation the Effect of Future Climate Change on the Temperature and Precipitation Trends in the Gharesou Basin Based on the CMIP6 Models. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (2): 245-268. (In Persian). [10.22059/IJSWR.2024.369146.669613](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2024.369146.669613).
 14. Güçlü, Y. S. (2018). Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566: 685-704.

- twenty-first century simulated by NIMS-KMA CMIP6 model based on new GHGs concentration pathways. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13143-021-00225-6>.
29. Taheri, E.S. Mousavi, S.F. and Karami, H. (2023). Optimization of Dam Reservoir Operation Using Metaheuristic Algorithms under Meteorological Drought Conditions (Case Study: Aydoghmoush Dam). *Journal of Water and Soil Science*, 27 (2): 71-90. <https://doi.org/10.47176/jwss.27.2.1014> . (In Persian).
 30. Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H. and Abbaspour, K. C. (2019). The future of extreme climate in Iran. *Scientific reports*, 9(1): 1464. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8>.
 31. Valizadeh, N., Karimi, V., Fooladi Heleileh, B., Hayati, D., & Bijani, M. (2022). Formulating of small-scale farmers' perception towards climate change in arid areas: Facilitating social interventions for agricultural sustainability. *Water and Environment Journal*, 36(2), 199-213. <https://doi.org/10.1111/wej.12741>.
 32. Wijngaard, J. B., Klein Tank, A. M. G., & Können, G. P. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23 (6): 679-692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>.
 33. Yazdanpanah, M., Zobeidi, T., Warner, L. A., Löhr, K., Lamm, A. and Sieber, S. 2023. Shaping farmers' beliefs, risk perception and adaptation response through Construct Level Theory in the southwest Iran. *Scientific Reports*. 13(1): 5811. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32564-x>.
 34. Zarrin, A. and Dadashi-Roudbari, A.A. (2021). Technical Note: Assessing the Effect of Climate Change on Heavy Precipitation in Iran Based on a CMIP6 Ensemble Model. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8 (4): 119-124. <http://doi.org/20.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9>. (In Persian).
 35. Zarrin, A. and Dadashi-Roudbari, A.A. (2022). Climate Risk Management (CRM) and Temperature and Wind Speed (Case Study: Yazd). *Physical Geography Research Quartely*, 50 (3): 593-609. <http://doi.org/10.22059/JPHGR.2018.248177.1007156>. (In Persian)
 22. Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S. and Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, 13(4): 490. <https://doi.org/10.3390/w13040490>.
 23. Niroumand fard, F., Khashei Sivaki, A., Hashemi, R., Ghorbani, Kh. (2022) Investigation of Climate Change Projection on Temperature and Precipitation Parameters Using CMIP6 Models (Case Study: Birjand Station), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (9): 2009-2026. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284>. (In Persian).
 24. O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., and Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42: 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.
 25. Rashidi Ghane, M., Motevalli, S., janbaz Ghobadi, Gh.R., Kouhi, M. (2023). Evaluation of the ability of three statistical methods to downscale the output of temperature and precipitation of CMIP6 models in the Kashfrud basin. *Journal of Climate Research*, 14(53), 117-132. (In Persian).
 26. Rashidi Ghane, M., Motevalli, S., janbaz Ghobadi, Gh.R., Kouhi, M. (2023). Evaluation of the ability of three statistical methods to downscale the output of temperature and precipitation of CMIP6 models in the Kashfrud basin. *Journal of Climate Research*, 14 (53): 117-132. (In Persian).
 27. Shoja, F., Shamsipour, A. (2023). Projection of future Precipitation changes in Tehran's water supply watersheds. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 36 (2): 151-180. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.42622.1908>. (In Persian).
 28. Sung, H. M., Kim, J., Shim, S., Seo, J. B., Kwon, S. H., Sun, M. A., ... & Byun, Y. H. (2021). Climate change projection in the

- the Necessitate for Formulate and ImPlement the National Adaptation Plan (NAPs). *Journal of Water and Sustainable Development*, 9 (1): 85-94.
<http://doi.org/10.22067/JWSD.V9I1.2111.1095>. (In Persian)
36. Zarrin, A. and Dadashi-Roudbari, A.A. (2023). Investigating the Impacts of Climate Change on Water Security in Iran. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10 (1): 37-44.
<http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i1.2301-1210>. (In Persian).
37. Zhang, X., Hua, L., & Jiang, D. (2022). Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 15(2): 100128.
<https://doi.org/10.1016/j.aosl.2021.100128>.