

ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه بیرجند

مصطفی یعقوب زاده*^۱، یوسف رضائی^۲

۱. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند

چکیده:

افزایش میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند منجر به گرم شدن جهانی شود و این امر آب و هوا را تحت تاثیر قرار داده و منجر به وقوع پدیده تغییر اقلیم شود. در این تحقیق سعی شد روند تغییرات بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک بیرجند در طی دوره‌های زمانی مختلف از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۱۰۰ میلادی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گیرد. مدل‌های *CSIROMK3.6*، *GFDL-ESM2M*، *GISS-E2-R*، *IPSL-CM5A-MR* و *MIROC-ESM* به همراه سناریوهای انتشار *RCP2.6*، *RCP4.5*، *RCP6*، *RCP8.5* ارزیابی تغییرات بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه را در دوره زمانی‌های مختلف آینده نسبت به دوره زمانی پایه برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند انجام دادند. برای اطمینان از نتایج مدل‌ها، ابتدا مقایسه‌ای بین داده‌های متغیرهای هواشناسی - حاصل از مدل‌ها با ایستگاه سینوپتیک در دوره زمانی پایه انجام شد. نتایج تحقیق مشخص کرد مدل‌های *GFDL-ESM2M* و *GISS-E2-R* از دقت بیشتری در برآورد متغیرهای هواشناسی در دوره زمانی پایه و آتی برخوردارند. همچنین روند تغییرات بارش از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ میلادی برای مدل‌ها و سناریوهای مختلف متغیر خواهد بود. با این وجود، مدل‌های *GFDL-ESM2M* و *MIROC-ESM* در بین مدل‌ها و سناریو *RCP8.5* در بین سناریوها کاهش بارش بیشتری را برآورد می‌کنند. از مقایسه سناریوها در همه مدل‌ها نیز مشخص شد که دمای بیشینه در سناریو *RCP8.5* و *RCP2.6* به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش را در طی دوره‌های آتی خواهد داشت. همچنین این تحقیق مشخص کرد مدل‌های مختلف *GCM* و سناریوهای انتشار برآورد متفاوتی از متغیرهای هواشناسی خواهند داشت و باید در انتخاب مدل و سناریو برای هر منطقه دقت بیشتری انجام داد.

واژه‌های کلیدی: گزارش پنجم تغییر اقلیم، مدل AOGCM، سناریو انتشار، متغیرهای هواشناسی، دوره آتی

در دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۰۰ و تحت دوسناریو A2 و B1 مناطق همگن اقلیمی متفاوت از دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ تعیین شدند.

نوده فراهانی و همکاران (۱۳۹۷) اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های آینده در حوضه شادگان را با استفاده از سه خروجی مدل گردش کلی تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر افزایش دمای حداکثر و حداقل در تمام ماه‌های سال در دوره آینده نسبت به دوره پایه در حوضه شادگان می‌باشد.

بینش و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و تحلیل اثر تغییر اقلیم بر رژیم بارش‌های حداکثری حوزه سیل برگردان غرب در سه افق زمانی ۲۰۳۶، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ براساس داده‌های گزارش پنجم IPCC و تحت سناریو RCP8.5 پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در مجموع در حوزه افزایش بارش در دوره‌های زمانی آینده برآورد می‌کند.

زارع زاده مهریزی و همکاران (۱۳۹۷) از خروجی‌های چهار مدل گزارش پنجم و دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 برای برآورد بارندگی و دمای ماهانه و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جریان در آینده استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بارش در دوره‌های زمانی مختلف بین ۳۱/۶- تا ۵۲/۸ درصد، دما نیز حداکثر تا ۲/۷۵ و ۲/۱۵ درجه در کرمانشاه و ۳/۴۳ و ۴/۲۶ در ایستگاه همدان افزایش خواهد یافت. پورکریمی و همکاران (۱۳۹۷) و گودرزی و همکاران (۱۳۹۶) برای برآورد رطوبت و رواناب حوضه و عسگری و همکاران (۱۳۹۶) تاثیر بر مناطق پوشش گیاهی و تولید دام را با استفاده از داده‌های گزارش پنجم برآورد کردند.

در این تحقیق سعی شد ابتدا مقایسه ای بین داده‌های مدل‌های GCM و ایستگاه سینوپتیک در دوره پایه صورت گیرد و سپس روند تغییرات دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ میلادی به کمک چهار سناریو و پنج مدل تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مقایسه‌هایی بین سناریوها و مدل‌های گزارش پنجم و دوره‌های آتی در برآورد متغیرهای هواشناسی انجام شد و سپس قطعیت نتایج مدل‌ها در مورد هر یک از متغیرهای هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت.

به دلیل انتشار دائمی گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های آینده انتظار می‌رود افزایش روند جهانی دما به طور بالقوه وجود داشته باشد. این افزایش دما بر جنبه‌های مختلف کشاورزی، مدیریت منابع آب و محیط زیست اثر خواهد گذاشت. مطالعاتی در ایالات متحده (Li et al., 2013; Schwartz et al., 2015; Barfus and Bernhofer, C. 2014) انجام شده است. برای مثال اسچارتز و همکاران (Schwartz et al., 2015) افزایش دما را در نقاط مختلف آمریکا را برآورد کردند که سبب افزایش مرگ و میر ناشی از افزایش دما می‌شود. شریف (Sharif, 2015) دما را با سه سناریو و مدل CGCMs تحلیل کرد. چندین مطالعه نیز در انگلستان، استرالیا، کانادا و هلند انجام شده است (Vardoulakis et al., 2014; Martin et al., 2012; Huynen and Martens 2015; Hajat et al., 2014; Guo et al., 2016). در داخل کشور نیز هوشمند و خردادی (۱۳۹۳) با بررسی باند عدم قطعیت ناشی از ۱۵ مدل AOGCM تحت تاثیر سه سناریو انتشار A1B، A2 و B1 به بررسی تغییرات پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی در ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در حوضه قره قوم پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود بیشترین محدوده عدم قطعیت در برآوردهای مربوط به سناریو A1B و برای دمای کمینه و بارندگی سناریو B1 و برای دمای بیشینه سناریو A2 تعیین شد. در تحقیقی که ایمانی و همکاران (Amani et al., 2016) در شش شهرستان فارس با استفاده از دو مدل AOGCM و سه سناریو انتشار برای سه دوره آتی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در آینده با روند افزایش دما و تبخیر و تعرق و کاهش بارش بخصوص برای دوره‌های آینده دور، شدت خشکی در استان افزایش خواهد یافت. پورمحمدی و مالکی نژاد (Poormohammadi and Malekinezhad, 2013) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در ۴۰ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پرداختند و براساس سه پارامتر بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه با استفاده از روش آنالیز خوشه به جداسازی مناطق همگن اقلیمی اقدام کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که

1. Atmosphere-Ocean General Circulation Models

مواد و روش‌ها

۵۹ درجه و ۷ دقیقه شرقی قرار دارد. مشخصات مدل‌های ارائه شده در این تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است. برای استفاده ساده‌تر از عنوان مختصر مدل‌ها در شکل‌ها و جداول این تحقیق استفاده شده است.

این تحقیق با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند انجام شده است. این ایستگاه در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و شمال جغرافیایی

جدول ۱- مدل‌های تغییر اقلیم ارائه شده در این تحقیق (IPCC., 2013)

شماره	مدل	اسم اختصار مدل در این تحقیق	کشور ارائه دهنده	قدرت تفکیک
۱	CSIROMK3.6	CSIRO	استرالیا	۱/۸*۱/۸
۲	GFDL-ESM2M	GFDL	آمریکا	۲*۲
۳	GISS-E2-R	GISS	آمریکا	۲*۲
۴	IPSL-CM5A-MR	IPSL	فرانسه	۴*۲
۵	MIROC-ESM	MIROC	ژاپن	۳*۳

اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

سناریوی RCP6: در سناریوهای RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 با کاهش واداشت‌های تابشی، میزان افزایش دی اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. سناریوی انتشار RCP6 توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

سناریوی RCP4.5: این سناریو توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

سناریوی انتشار RCP2.6: این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن

از ورودی‌های اصلی مدل‌های تغییر اقلیم (AOGCM)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشد که تحت سناریوهای مختلف انتشار به مدل معرفی می‌گردد. از آنجا که تغییرات اقلیمی آینده به شدت به فعالیت‌های بشری در سال‌های آینده بستگی دارد، لذا مدل‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های سناریوهای انتشار اجرا می‌شوند. هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خود (AR5^۲) از سناریوهای جدید RCP^۳ به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده نموده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 بوده که براساس واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. سناریوهای مورد استفاده در این پژوهش سناریوهای جدید گزارش پنجم شامل RCP8.5، RCP6، RCP2.6 و RCP4.5 بوده که مشخصات آنها به شرح زیر می‌باشد:

سناریوی RCP8.5: بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر این سناریو پیش خواهد رفت. به طوریکه ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{obs} - \overline{x_i^{obs}})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i^{sim} - \overline{x_i^{obs}})^2} \quad (۳)$$

که در این رابطه‌ها، X_i^{sim} : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های GCM، X_i^{obs} : مقادیر اندازه‌گیری شده و $\overline{x_i^{obs}}$: متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک می‌باشد.

نتایج و بحث:

برای انتخاب مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق، از پنج مدل پرکاربرد استفاده شد. برای اینکه بتوان از صحت این مدل‌ها اطلاعاتی حاصل نمود ابتدا مقایسه‌ای بین دوره پایه این پنج مدل و داده ایستگاه سینوپتیک انجام شد. جدول (۲) نتایج ارزیابی مدل‌های مورد استفاده برای هر سه متغیر هواشناسی را نشان می‌دهد. بر طبق این جدول و براساس پایین بودن مقادیر RMSE و MAE همه مدل‌ها نتایج قابل اطمینانی را نشان می‌دهند. با این وجود دو مدل GISS-E2-R و GFDL-ESM2M نتایج نزدیک تر به داده ایستگاه سینوپتیک را مشخص می‌کنند و به نتایج این دو مدل بیشتر می‌توان اطمینان کرد.

به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد.

برای انجام این تحقیق، داده‌های بارش و دمای بیشینه و دمای کمینه با پسوند BCSD از سایت IPCC بدست آمد. داده‌های ماهانه BCSD توسط مدل‌های GCM و سازمان منتشر کننده این مدل، ریزمقیاس شده می‌باشند و برای منطقه بیرجند با در اختیار داشتن طول و عرض جغرافیایی ایستگاه بیرجند در نرم افزار متلب و میانگین‌گیری از چهار شبکه اطراف ایستگاه تعیین شده است. هر شبکه داده دارای حدود ۱۰۳ کیلومتر مربع وسعت در جهت طولی و عرضی می‌باشد. بنابراین در این تحقیق به دلیل اینکه تغییرات سالانه مدنظر می‌باشد داده‌ها مجدداً توسط روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بصورت روزانه مشخص نشده است.

به منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این تحقیق، سه معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تعیین (R2) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{obs} - x_i^{sim})^2}{n}} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i^{obs} - x_i^{sim}|}{n} \quad (۲)$$

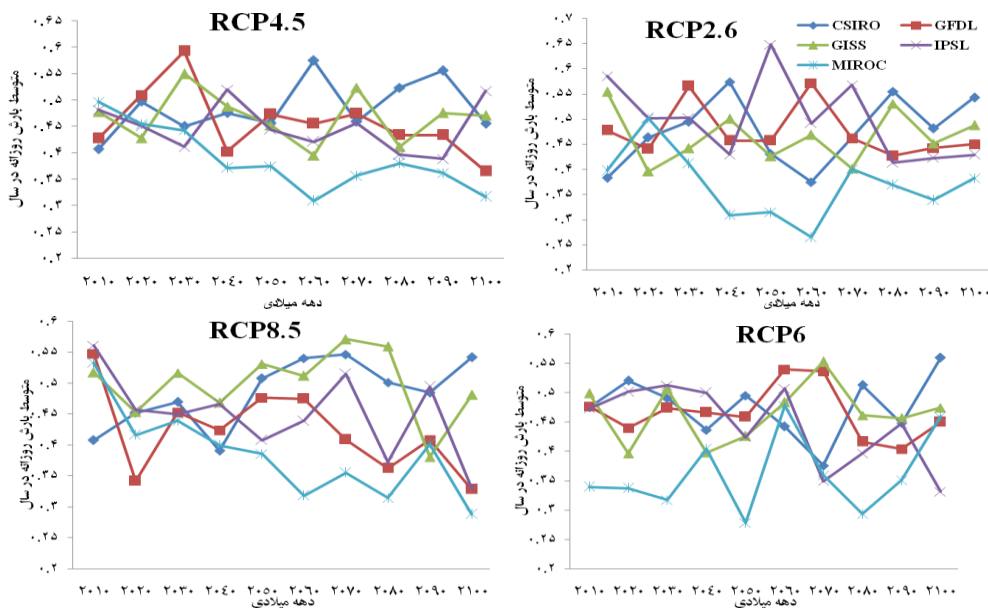
جدول ۲- ارزیابی مدل‌های GCM مورد استفاده در این تحقیق با داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند

R ²			MAE			RMSE			Model
Tmin	Tmax	P	Tmin	Tmax	P	Tmin	Tmax	P	
۰/۹۹۷	۰/۹۹۵	۰/۹۵۹	۰/۷۰۴	۰/۹۳۳	۰/۰۱۵	۰/۹۰۷	۱/۰۶۸	۰/۱۰۲	GFDL-ESM2M
۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۵۱	۰/۷۳۴	۰/۶۵۱	۰/۰۰۸	۰/۸۱۳	۰/۷۷۵	۰/۱۰۶	GISS-E2-R
۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۵۶	۰/۶۸۰	۰/۷۸۱	۰/۰۲۵	۰/۷۷۸	۰/۹۳۲	۰/۱۰۹	CSIROMK3.6
۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۳۸	۰/۷۹۰	۱/۲۲۲	۰/۰۲۵	۰/۸۷۴	۱/۳۱۹	۰/۱۰۹	IPSL-CM5A
۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۲۶	۰/۷۱۹	۱/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۸۲۷	۱/۱۷۶	۰/۱۴۵	MIROC-ESM

*P بارش، Tmax دمای بیشینه و Tmin دمای کمینه

روند نزولی مقادیر بارش برای بعضی مدل‌ها مانند MIROC در بعضی سناریوها مانند ۲/۶ و ۶ مشخص است. البته در بعضی مدل‌ها مانند CSIRO طبق بعضی سناریوها شاید افزایش بارش نیز تا سال ۲۱۰۰ اتفاق بیفتد. در مقایسه سناریوها نیز مقادیر بارش برآورد شده توسط سناریو ۸/۵ نسبت به سایر سناریوها کمتر می‌باشد.

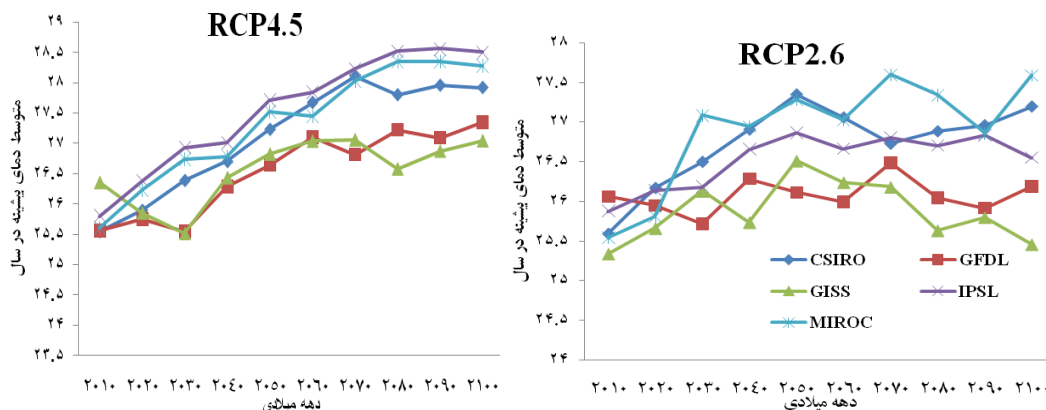
پس از اطمینان از صحت مدل‌ها در برآورد متغیرهای هواشناسی برای دوره پایه، روند تغییرات بارش روزانه تا سال ۲۱۰۰ برای پنج مدل و چهار سناریو بررسی شد (شکل ۱). آنچه در همه سناریوها مشخص است روند تغییرات بارش از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۱۰۰ میلادی تقریباً یکسان و با شیب کم نزولی کاهش بارش است. در این میان

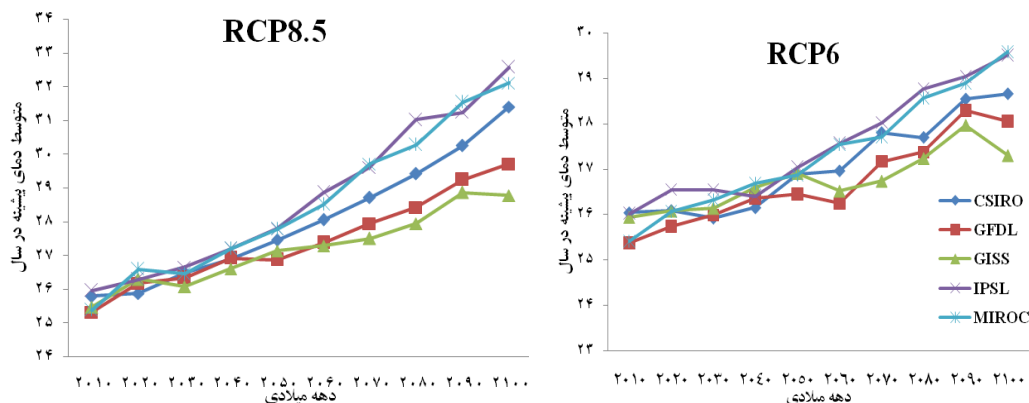


شکل ۱- تغییرات مقادیر بارش روزانه در سال مدل‌های تغییر اقلیم در طی دوره‌های آبی برای سناریوهای انتشار

سناریوهای دیگر بیشتر خواهد بود. همچنین از مقایسه سناریوها در همه مدل‌ها واضح است که دمای بیشینه در سناریو ۸/۵ بیشترین و در سناریو ۲/۶ کمترین افزایش را در طی سال‌های آبی خواهد داشت. این افزایش دما برای سناریو ۸/۵ و دو مدل MIROC و IPSL بیشتر از ۶ درجه سانتیگراد در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ خواهد بود. یعقوب زاده و همکاران (Yaghoobzadeh et al., 2017) نیز افزایش دما را در دهه‌های آینده را با استفاده از داده‌های گزارش چهارم برآورد کرده بودند.

شکل (۲) تغییرات مقادیر دمای بیشینه را از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ برای مدل‌های تغییر اقلیم در چهار سناریو نشان می‌دهد. هر چهار سناریو برای هر پنج مدل تغییر اقلیم روند افزایش دمای بیشینه را تا سال ۲۱۰۰ نشان می‌دهند. البته بین مدل‌ها در روند افزایش تفاوت وجود دارد و مدل‌های IPSL و CSIRO افزایش بیشتر دما را در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ مشخص می‌کنند. بر طبق مدل‌های GISS و GFDL برای نتایج سناریو ۲/۶ افزایش بسیار اندک تا ۲۱۰۰ وجود خواهد داشت که میزان این افزایش در

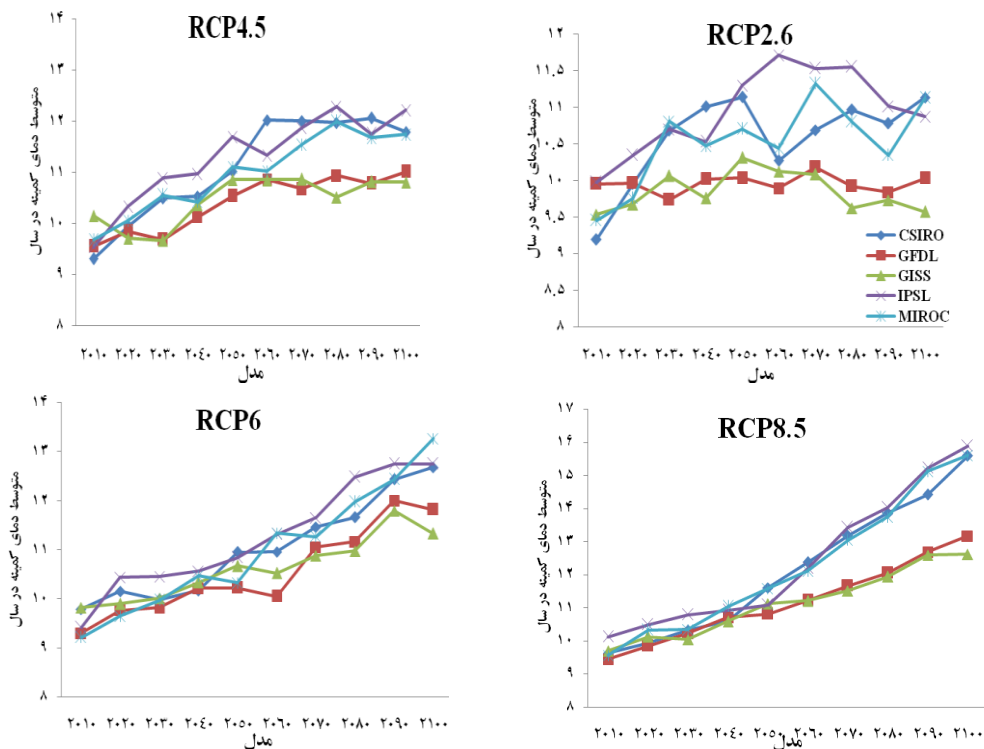




شکل ۲- تغییرات دمای بیشینه مدل‌های تغییر اقلیم در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ برای چهار سناریو ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵

صورت که سه مدل CSIRO، IPSL و MIROC برآورد افزایش دمای بیشتری نسبت به دو مدل GFDL و GISS دارند که در سناریو ۸/۵ این افزایش دما ممکن است تا ۶ درجه سانتیگراد هم برسد و حتی برای سناریو ۲/۶ نیز افزایش دمای کمینه در آینده برآورد شده است. این در حالی است - که دو مدل GFDL و GISS برای سناریو ۲/۶ تغییرات بسیار ناچیزدما را تا سال ۲۱۰۰ برآورد می‌کنند.

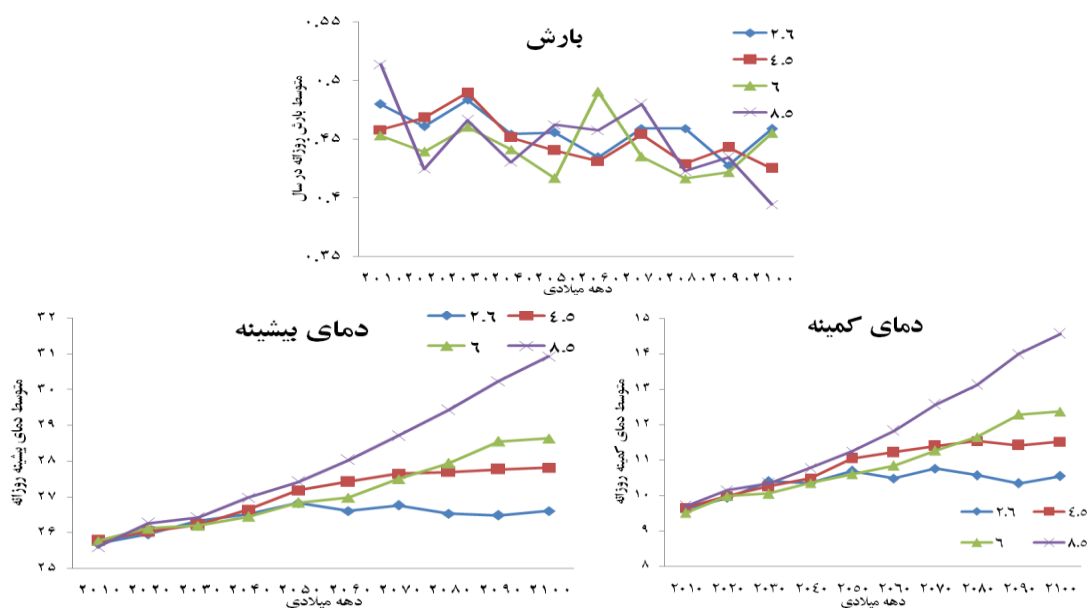
تغییرات دمای کمینه در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ برای پنج مدل و در قالب چهار سناریو در شکل (۳) نشان داده شده است. روند افزایش دمای کمینه در طی سالیان بعد از سال ۲۰۱۰ برای چهار سناریو مشابه با تغییرات دمای بیشینه است و فقط میزان افزایش دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه کمتر است. برطبق این شکل، سه مدل CSIRO، IPSL و MIROC نسبت به دو مدل GFDL و GISS از نظر رفتار افزایش متفاوت‌تر می‌باشند بدین-



شکل ۳- تغییرات دمای کمینه مدل‌های تغییر اقلیم در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ برای چهار سناریو ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵

افتاد که این کاهش یا افزایش بارش متغیر خواهد بود. در مقایسه سناریوها، سناریو ۸/۵ بیشترین کاهش بارش و بیشترین افزایش دمای کمینه و دمای بیشینه را نشان خواهد داد. سناریو ۲/۶ برای بارش تغییرات سینوسی ولی برای دمای کمینه و دمای بیشینه افزایش بسیار کمتر از سه سناریو دیگر را برآورد می‌کند.

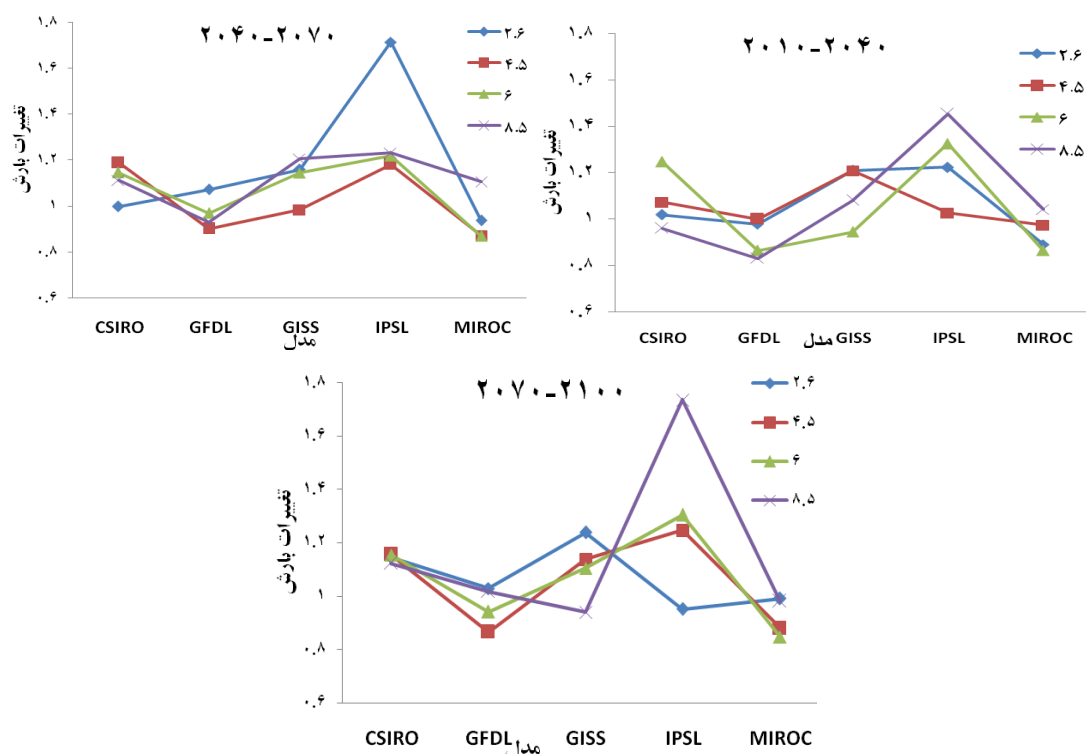
شکل (۴) تغییرات بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه را برای ۴ سناریو در طی سالیان ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ نشان می‌دهد. برخلاف بارش که روند مشخصی برای چهار سناریو در آن وجود ندارد و ممکن است در بعضی سال‌ها بر طبق بعضی سناریوها افزایش بارش اتفاق بیفتد دمای کمینه و دمای بیشینه تا سال ۲۱۰۰ افزایش مقدار خواهند داشت. ولی آنچه مشخص است در طی سال‌ها کاهش بارش اتفاق خواهد



شکل ۴- تغییرات بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه برای سناریوهای انتشار در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

روند تغییرات بارش بر طبق سناریوهای مختلف و دوره‌های آتی مختلف، متفاوت است. همچنین مدل‌های مختلف، برای دوره‌های مختلف کاهش بارش متفاوت ارائه می‌نمایند. البته رفتار مدل IPSL برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و سناریو ۲/۶ و برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ و سناریو ۸/۵ با سناریو و مدل‌های دیگر تفاوت دارد.

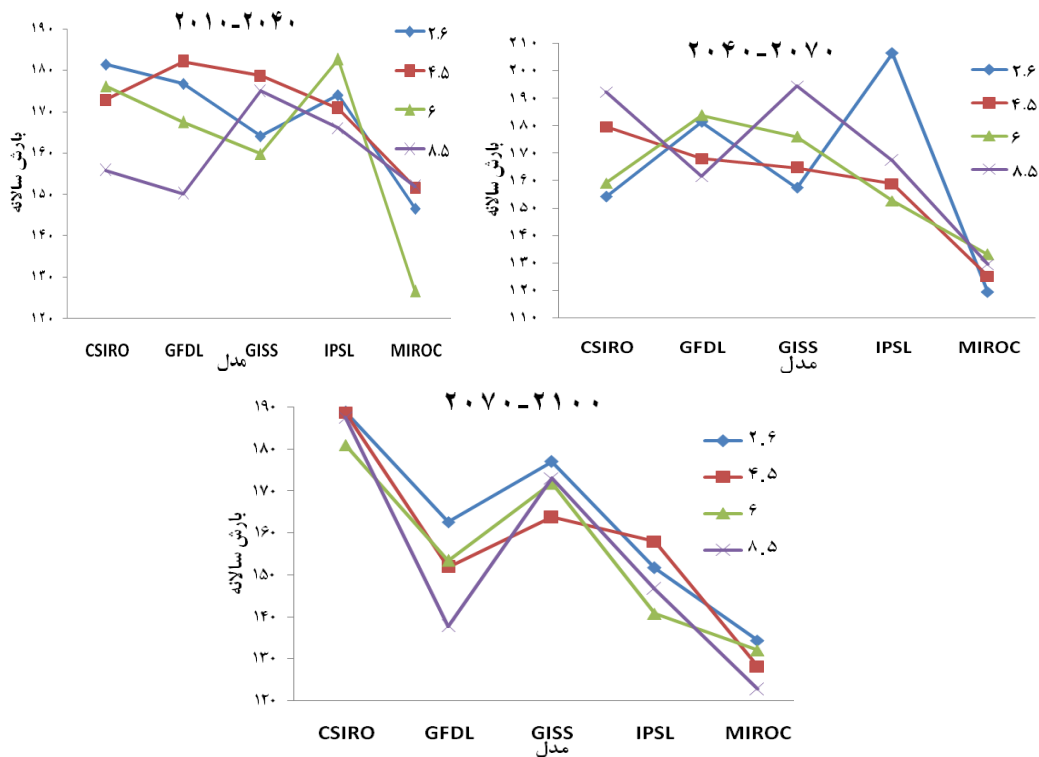
روند تغییرات بارش روزانه برآورد شده توسط مدل‌های تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه برای چهار سناریو برای سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ در شکل (۵) نشان داده شده است. بر طبق این نمودارها، مدل‌های IPSL و GFDL به ترتیب بیشترین افزایش و کمترین کاهش بارش را نسبت به دوره پایه برآورد می‌کنند. البته



شکل ۵- تغییرات بارش در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه برای مدل‌ها و سناریوهای انتشار تغییر اقلیم

این میزان کاهش بارش سالانه به ۱۲۰ میلی‌متر در سال نیز می‌رسد ولی مدل CSIRO به نسبت بارش بیشتر سالانه را نسبت به دیگر مدل‌ها تخمین می‌زند که البته ممکن است در یک دوره و تحت سناریو خاص، مدل دیگر بارش بیشتری برآورد کند و این امر متغیر است. در مقایسه دوره‌ها نیز دوره ۲۰۴-۲۰۷۰ (۲۰۵۵) نسبت به دو دوره دیگر بارش بیشتری را برآورد می‌کند.

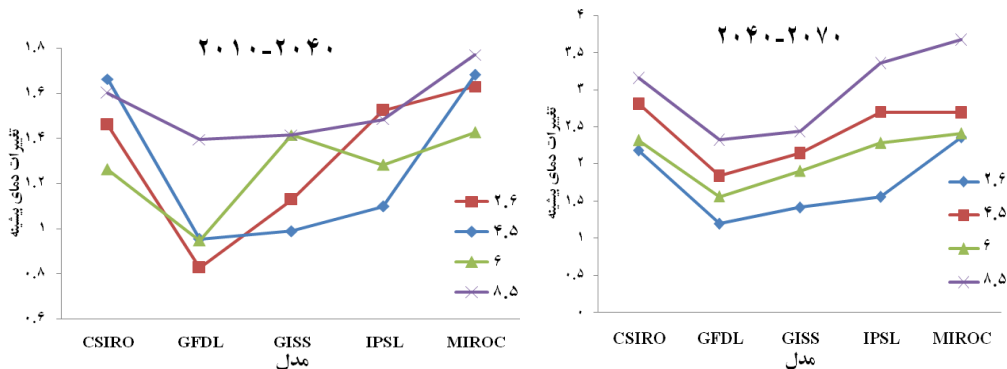
به دلیل اینکه در این تحقیق از بارش روزانه در ماه استفاده شده است و به دلیل تغییرات کمتر بارش بخصوص در تابستان در مقایسه با زمستان و بهار، در شکل (۶) از مجموع بارش برآورد شده سالانه استفاده شد. در این شکل مقادیر بارش متوسط برآورد شده توسط سه دوره آتی تحت پنج مدل و چهار سناریو نشان داده شده است. بین مدل‌ها، مدل MIROC بارش سالانه کمتری نسبت به چهار مدل دیگر در هر سه دوره و تحت همه سناریوها برآورد می‌کند که

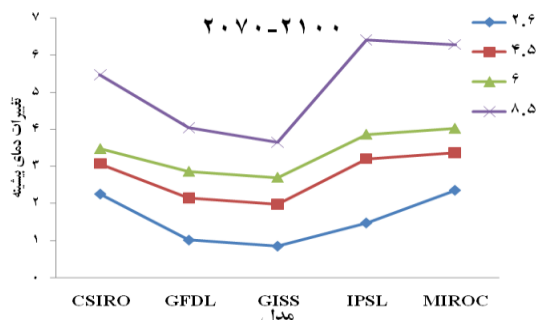


شکل ۶- مقادیر بارش سالانه در برابر مدل‌های تغییر اقلیم برای سناریوهای انتشار در طی سه دوره آتی

نسبت به دوره پایه برآورد می‌کند. در مقایسه دوره‌ها نیز دوره آتی دورنسبت به دودوره دیگر افزایش بیشتر دما را برآورد می‌کند. نکته قابل توجه تغییرات دما در دوسناریو ۴/۵ و ۶ در دو دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ می‌باشد که در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۷۰ سناریو ۴/۵ نسبت به سناریو ۶ و در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۱۰۰ سناریو ۶ نسبت به سناریو ۴/۵، افزایش دما را نسبت به دوره پایه برآورد می‌کند.

شکل (۷) روند تغییرات دمای بیشینه را برای پنج مدل تحت چهار سناریو تغییر اقلیم برای سه دوره آتی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. تغییرات دمای بیشینه برخلاف بارش، روند یکنواخت و روبه افزایش دارد و بجز در دوره آتی نزدیک (۲۰۱۰-۲۰۴۰) در دو دوره آتی دیگر، مدل‌ها روند افزایش دما را در آینده نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند. مدل‌های IPSL و MIROC بیشترین افزایش دما و مدل GISS و GFDL کمترین تفاوت دما را در آینده

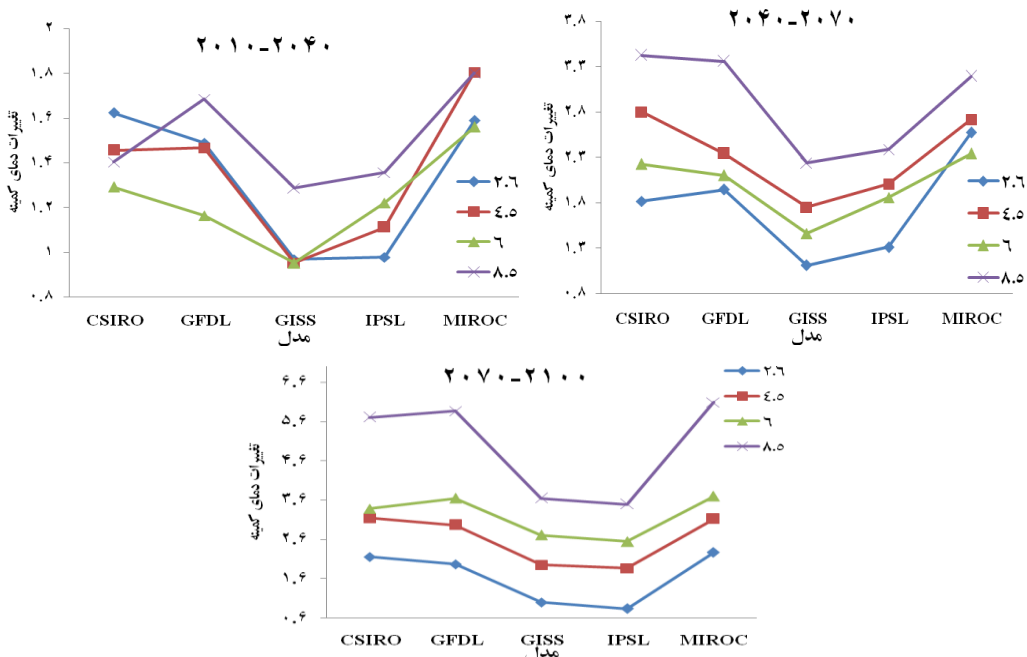




شکل ۷- تغییرات دمای بیشینه در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه برای مدل‌ها و سناریوهای انتشار تغییر اقلیم

و مدل‌های MIROC و GFDL بیشترین افزایش دما را در دوره آتی نسبت به دوره پایه را داشته‌اند. تغییرات دما در سناریو ۴/۵ و ۶ نیز مشابه با تغییرات این دو سناریو برای دمای بیشینه می‌باشد ولی دو سناریو ۸/۵ و ۲/۶ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار افزایش دما را نسبت به دوره پایه در مقایسه سناریوها برآورد کرده‌اند.

شکل (۸) روند تغییرات دمای کمینه را برای پنج مدل تحت چهار سناریو در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. تغییرات دمای کمینه از نظر افزایش در دوره آتی دور نسبت به دوره پایه، مشابه دمای بیشینه ولی بامقدار افزایش کمتر می‌باشد. با این تفاوت که برخلاف دمای بیشینه، مدل‌های IPSL و GISS کمترین افزایش دما



شکل ۸- تغییرات دمای کمینه (Tmin) در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه برای مدل‌ها و سناریوهای انتشار تغییر اقلیم

و کمترین افزایش در دوره ۲۰۲۵ مدل GFDL مشاهده شده است. بیشترین مقدار افزایش دمای کمینه و دمای بیشینه نیز متعلق به دوره ۲۰۸۵ مدل MIROC می‌باشد. مدل GISS کمترین میزان افزایش دمای بیشینه و دمای کمینه را برای سه دوره برآورد می‌کند.

جدول (۳) روند تغییرات بارش، دمای کمینه و بارش را برای پنج مدل و سه دوره آتی نشان می‌دهد. به غیر از دو مدل GFDL و MIROC که کاهش بارش را برای سه دوره برآورد می‌کنند سه مدل دیگر افزایش به مقدار کم را برآورد می‌کنند. بیشترین افزایش بارش برای دوره ۲۰۵۵ مدل IPSL

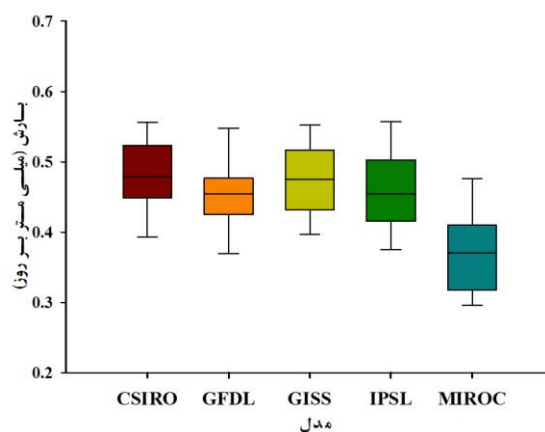
جدول ۳- روند تغییرات بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه برای مدل‌های تغییر اقلیم و دوره‌های آبی

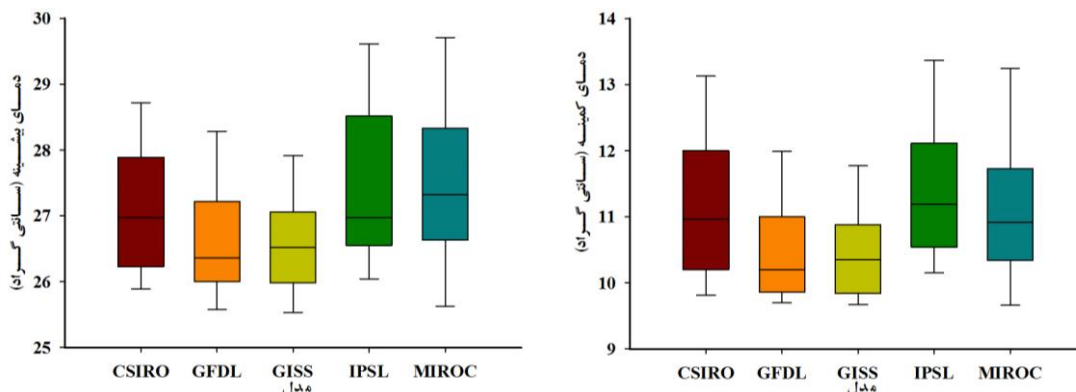
بارش روزانه	دمای بیشینه	دمای کمینه	
۱/۰۷۴	۱/۴۹۷	۱/۴۴۳	CSIRO
۱/۱۱۳	۱/۶۲۴	۲/۵۶۶	
۱/۱۴۵	۳/۵۷۱	۳/۵۹۸	
۰/۹۱۸	۰/۰۳۱	۱/۴۵۰	GFDL
۰/۹۶۹	۱/۷۳۰	۲/۴۳۶	
۰/۹۶۴	۲/۵۲۰	۳/۶۱۲	
۱/۱۱۱	۱/۲۳۷	۱/۰۳۹	GISS
۱/۱۲۵	۱/۹۷۸	۱/۶۳۹	
۱/۱۰۶	۲/۲۹۵	۲/۳۲۴	
۱/۲۵۸	۱/۳۴۷	۱/۱۶۵	IPSL
۱/۳۳۸	۲/۴۷۹	۱/۸۹۱	
۱/۳۱۰	۳/۷۴۴	۲/۱۸۳	
۰/۹۴۲	۱/۶۲۷	۱/۶۸۸	MIROC
۰/۹۴۸	۲/۷۹۱	۲/۷۰۵	
۰/۹۲۵	۴/۰۱۱	۳/۷۹۲	

ودمای کمینه مدل GISS از قعطیت بیشتر برخوردارند. همچنین این شکل نشان می‌دهد مدل MIROC مقادیر کمتری از بارش و مدل‌های GFDL و GISS مقادیر کمتر دما را برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ در هرچهار سناریو برای آینده برآورد می‌کنند. این نتایج با نتایج ارزیابی دوره پایه پنج مدل که در آن دو مدل GFDL و GISS نتایج نزدیک به ایستگاه سینوپتیک را نشان دادند مطابقت زیادی دارد.

دامنه تغییرات مدل‌های GCM

برای اینکه بتوان مقایسه ای بین مدل‌های GCM و ارزیابی صحت مقادیر برآورد شده آن‌ها برای هر یک از متغیرهای بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه انجام داد می‌توان از نمودار جعبه‌ای که قطعیت مدل‌ها را نیز بررسی می‌نماید استفاده کرد. شکل (۹) نمودار جعبه‌ای مقادیر بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه پنج مدل GCM را برای هرچهار سناریو ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل در مورد بارش مدل GFDL و در مورد دمای بیشینه





شکل ۱۰- نمودار جعبه‌ای مقادیر بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه مدل‌های GCM برای چهار سناریو انتشار

نتیجه‌گیری:

مختلف کاهش بارش متفاوت ارائه می‌نمایند. در بین مدل‌ها، مدل MIROC بارش سالانه کمتری نسبت به چهار مدل دیگر در هر سه دوره و تحت همه سناریوها برآورد می‌کند که این میزان کاهش بارش سالانه به ۱۲۰ میلی‌متر در سال نیز می‌رسد ولی مدل CSIRO به نسبت بارش بیشتر سالانه را نسبت به دیگر مدل‌ها تخمین می‌زند که البته ممکن است در یک دوره و تحت سناریو خاص، مدل دیگر بارش بیشتری برآورد کند و این امر متغیر است. در مقایسه دوره‌ها نیز دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۰ (۲۰۵۵) نسبت به دو دوره دیگر بارش بیشتری را برآورد می‌کند. تغییرات دمای بیشینه برخلاف بارش، روند یکنواخت و روبه افزایش دارد و بجز در دوره آتی نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۰) در دو دوره آتی دیگر، مدل‌ها روند افزایش دما را در آینده نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند. مدل‌های IPSL و MIROC و مدل‌های MIROC و GFDL به ترتیب بیشترین افزایش دمای بیشینه و کمینه برآورد می‌کند. در مقایسه دوره‌ها نیز دوره آتی دور نسبت به دو دوره دیگر افزایش بیشتر دما را برآورد می‌کند. نتایج مدل‌ها مشخص کرد که هر یک از مدل‌ها برآورد متفاوت در آینده نشان می‌دهند و این لزوم انتخاب مدل مناسب را مشکل می‌کند. همچنین نمودار جعبه‌ای مشخص کرد که مدل‌ها از قطعیت متفاوتی نسبت به برآورد متغیرهای هواشناسی برای دوره‌های آتی برخوردارند ولی در بین این پنج مدل مدل‌های GFDL و GISS دارای محدوده قطعیت بهتری هستند.

در این تحقیق ابتدا سعی شد مقایسه ای بین داده‌های متغیرهای هواشناسی حاصل از مدل‌ها و ایستگاه سینوپتیک بیرجند انجام گیرد تا از صحت نتایج این مدل در آینده اطمینان حاصل شود. سپس روند تغییرات بارش روزانه، دمای کمینه و دمای بیشینه از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۱۰۰ میلادی با مدل‌ها و سناریوهای تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق در همه سناریوها مشخص کرد روند تغییرات بارش از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۱۰۰ میلادی تقریباً یکسان و با شیب کم نزولی کاهش بارش است. در مقایسه بین سناریوها نیز مقادیر بارش برآورد شده توسط سناریو ۸/۵ نسبت به سایر سناریوها کمتر می‌باشد. همچنین از مقایسه سناریوها در همه مدل‌ها واضح است که دمای بیشینه در سناریو ۸/۵ بیشترین و در سناریو ۲/۶ کمترین افزایش را در طی سال‌های آتی خواهد داشت. این افزایش دما برای سناریو ۸/۵ و دو مدل MIROC و IPSL بیشتر از ۶ درجه سانتیگراد در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ خواهد بود. در مقایسه سناریوها، سناریو ۸/۵ بیشترین کاهش بارش و بیشترین افزایش دمای کمینه و دمای بیشینه را نشان خواهد داد. سناریو ۲/۶ برای بارش تغییرات سینوسی ولی برای دمای کمینه و دمای بیشینه افزایش بسیار کمتر از سه سناریو دیگر را برآورد می‌کند. برطبق نتایج، مدل‌های IPSL و GFDL به ترتیب بیشترین افزایش و کاهش بارش را نسبت به دوره پایه برآورد می‌کنند. البته روند تغییرات بارش بر طبق سناریوهای مختلف و دوره‌های آتی مختلف، متفاوت است. همچنین مدل‌های مختلف، برای دوره‌های

- منابع:
- Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
11. Li, T., Horton, R.M., Kinney, P. 2013. Future projections of seasonal patterns in temperature-related deaths for Manhattan. *Nat. Climate Chang* 3: 717–721.
 12. Martin, S.L., Cakmak, S., Hebburn, C.A., Avramescu, M.L., Tremblay, N. 2012. Climate change and future temperature-related mortality in 15 Canadian cities. *Int. J. Biometeorology*, 56 (4), 605–619.
 13. Mills, D., Schwartz, J., Lee, M., Sarofim, M., Jones, R., Lawson, M., Duckworth, M., Deck, L. 2015. Climate change impacts on extreme temperature mortality in select metropolitan areas in the United States. *Climatic Change*, 131: 83–95.
 14. Node Farahani, M. A., Rasekhi, A., Parma, B., Keshvari, A. 2018. The Effects of Climate Change on Temperature, Precipitation and Drought in Upcoming Period in Shadegan Basin, Iran-Water Resources Research. 14(3): 160-173.
 15. Poormohammadi, S., Malekinezhad, H. 2013. Classification of Homogeneous Climatic Regions under the Impact of Climate Change and Greenhouse Gas Emissions Scenarios Using L-Moments Technique in Iran, *Journal of Watershed Management Research*, 4(8): 58-76.
 16. Pourkarimi, Z., Moghadasi, M., Mohseni Movahhed, A., Delavar, M. 2018. The Effect of Climate Change on the Hydrological and Agricultural Drought Characteristics in Zarinehrud Basin Using SRI and SSWI Indices and SWAT Model, 49(5):1145-1157.
 17. Sharif, M., 2015. Analysis of projected temperature changes over Saudi Arabia in the twenty-first century. *Arabian Journal of Geosciences*. 8 (10): 8795–8809.
 18. Schwartz, J.D., Lee, M., Kinney, P.L., Yang, S., Mills, D., Sarofim, M.C., Jones, R., Streeter, R., Juliana, A.S. Peer, J., Horton, R.M. 2015. Projections of temperature-attributable premature deaths in 209 U.S. cities using a cluster-based Poisson approach. *Environmental Health*, 14(6): 85–99
 19. Vardoulakis, S., Dear, K., Hajat, S., Heaviside, C., Eggen, B., McMichael, A.J., 2014. Comparative assessment of the effects of climate change on heat- and cold-related mortality in the United Kingdom
 1. Amani, Z., Deihimfard, R. Makhtasi Bidgli, E. 2016. Evaluation of drought under increasing of temperature due to climate change in rain fed wheat-growing areas of Fars province using Aridity Index, *Electronic Journal f Crop Production*, 9(2): 151-174.
 2. Asgari, S., Ghahreman, N., babaeian, I. 2017. Quantifying the possible impacts of climate change on temperature-humidity index, (THI) under RCP scenarios across Iran, *Journal of Climate Research*, 8(31-32), 1-18.
 3. Barfus, K., Bernhofer, C. 2014. Assessment of GCM performances for the Arabian Peninsula, Brazil, and Ukraine and indications of regional climate change. *Environ. Earth Sci*. 12: 4689–4703.
 4. Binesh, N., Niksokhan, M.H., Sarang, A. 2018. Analysis of Climate Change Impact on Extreme Rainfall Events in the West Flood-Diversion catchment of Tehran, *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 226-234.
 5. Godarzi, M.R., Faraji, A. 2017. Assessment of different downscaling techniques for low flow indices under climate change effects, *Journal of Climate Research*, 8(31-32), 57-72.
 6. Guo, Y., Li, S., Liu de, L., Chen, D., Williams, G., Tong, S. 2016. Projecting future temperature-related mortality in three largest Australian cities. *Environ. Pollut*. 208: 66–73.
 7. Hajat, S., Vardoulakis, S., Heaviside, C., Eggen, B. 2014. Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s. *J. Epidemiol. Community Health*, 68: 641–648.
 8. Hooshmand, D., Khordadi, M.j. 2014. Uncertainty Assessment of AOGCMs and Emission Scenarios in Climatic Parameters Estimation (Case Study: Mashhad Synoptic Station). *Geography and Environmental Hazards*, 3(11): 77-92.
 9. Huynen, M.M., Martens, P. 2015. Climate change effects on heat- and cold-related mortality in the Netherlands: a scenario-based integrated environmental health impact assessment. *Int. J. Environ. Public Health*, 12 (10): 13295–13320.
 10. IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. The physical science basis. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J.,

- Growing Season of Wheat. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 11(4): 586-596.
21. Zarezade Mehrizi, SH., Khorani, A., Bazrafshan, J., Bazrafshan, O. 2018. Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Gamasiab river basin, Iranian Journal of Ecohydrology, 5(3): 777-789.
 20. Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., Ramezani, Y., M. Pourreza-Bilondi, M. 2017. The Investigation of uncertainty Emissions Scenarios of Climate Change in Soil Moisture Estimation during the and Australia. Environ. Health Perspect. 122: 1285-1292.