



پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی در ایستگاه سنندج با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل‌های HADCM3، BCM2 و CGMR

سمیرا قربانی‌نژاد^۱، آزاده ارشیا^۱

۱- دانشجوی ارشد آبخیز داری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

چکیده

تغییر اقلیم از بزرگترین چالش‌های انسان در قرن بیست و یکم است که می‌تواند اثرات شدیدی بر منابع آب، کشاورزی، انرژی و گردشگری داشته باشد. پژوهش پیش رو به بررسی تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریز مقیاس کننده HADCM3، BCM2 و CGMR لارس تحت سناریوهای B1 و A1B می‌پردازد. در این تحقیق جهت ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3، BCM2 و CGMR از مدل LARS-WGS استفاده شد. بعد از جمع‌آوری داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای ایستگاه سینوپتیک سنندج برای دوره پایه ۱۹۸۹-۲۰۰۸ و آماده کردن فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد. ارزیابی مدل، با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R²)، میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش- ساتکلیف (NSE) صورت گرفت. همبستگی در داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر بین داده‌های دوره پایه در سالهای ۱۹۶۹ - ۲۰۰۸ و دوره پیش بینی شده در سال‌های ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰ مشاهده شد. سپس با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3، BCM2 و CGMR تحت سناریوهای B1 و A1B در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مشخص گردید که این ایستگاه به طور کلی با افزایش زیاد دما و کاهش بارش روبه‌رو خواهد بود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریز مقیاس کردن، مدل LARS-WGS، ایستگاه سینوپتیک سنندج

مقدمه:

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر می‌باشد. مهمترین اثر تغییر اقلیم تاثیرگذاری بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی همچون طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرمای بی‌موقع خواهد بود (IPCC، ۲۰۰۷). تغییر اقلیم از بزرگترین چالش‌های انسان در قرن بیست و یکم است که می‌تواند اثرات شدیدی بر منابع آب، کشاورزی، انرژی و گردشگری داشته باشد (Hashmi، ۲۰۰۹). تغییرات دمای کره‌ی زمین و روند رو به افزایش آن با توجه به شرایط آب و هوایی در سراسر جهان به عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود (Hashmi، ۲۰۱۰). در حال حاضر اقلیم شناسان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم، به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوسی می‌پردازند (Barrow و Yu، 2005). معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی است (Johnson و همکاران، ۲۰۰۶). از آنجایی که اجرای این مدل‌ها برای دوره زمانی طولانی مدت نیازمند وقت زیاد و سرعت‌های بالای پردازش است، برای چیره شدن بر این مشکل ساده‌سازی‌هایی از جمله کاهش تفکیک فضایی و حذف برخی از فرآیندهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مقیاس خرد باید صورت گیرد. این ساده‌سازیها باعث افزایش خطای مدل‌های گردش عمومی جو و همچنین موجب بروز خطا در پیش‌بینیها و ارزشیابی اقلیم آتی کره زمین می‌شود. برای



رفع این مشکل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریز مقیاس می‌شوند (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۹). مدل لارس یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد که برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش یا ساعت افتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده بکار می‌رود و به طور کلی تولید داده توسط مدل LARS – WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از: کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی. (اشرف و همکاران، ۱۳۹۱). مریم دوستی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی شاخص‌های اقلیمی حوزه آبخیز تمر در استان گلستان، در شرایط تغییر اقلیم، با کاربرد مدل LARS – WG پرداختند. نتایج حاکی از این است که در مدل HADCM3 تحت سناریوهای A₂ و A1B با پیش‌بینی دوره آتی در سالهای (۲۰۴۶-۲۰۶۵)، میانگین دما تحت سناریو A₂، ۲.۶۸ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی A1B، ۲.۶۳ درجه افزایش خواهد یافت. میزان بارش نیز در سناریوی A₂، ۱۶ درصد و در سناریوی A1B، ۲ درصد افزایش خواهد داشت. اشرف و همکاران (۱۳۹۰)، با داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3، تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 برای دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۱ به بررسی تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت افتابی استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد که در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در تمام شهرهای استان به استثنای تربت جم که در هر سه فصل مذکور و نیز کاشمر که در پاییز دارای روند کاهشی می‌باشند، بارش افزایش خواهد یافت، بیشترین میزان بارندگی مربوط به شهر قوچان و کمترین آن متعلق به ایستگاه سرخس می‌باشد. دمای کمینه در همه فصول و طبق هر سه سناریوی مذکور در غالب شهرستانها دارای روند افزایشی است (بجز شهرستان سرخس در فصل پاییز بر مبنای سناریوی A1B). در رابطه با دما نیز در سالهای ۲۰۳۵-۲۰۱۱ دمای بیشینه استان خراسان رضوی افزایش و میزان ساعات افتابی کاهش می‌یابد. بنابراین طبق این نتایج شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آینده تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت. امروزه استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی اماری مانند: LARS – WG، SDSM و CLIMGEN برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در مناطق زیادی از جهان استفاده شده است. محمدلو و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات روناب حوضه آبخیز باراندوزچای استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو پرداختند. نتایج حاکی از این بود که میانگین ابدی رودخانه در دوره آتی در فصل‌های بهار و تابستان نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد، در صورتی که در فصل‌های پاییز و زمستان میانگین روناب خروجی نسبت به دوره پایه بیشتر خواهد شد. در کل حجم روناب در دوره آتی بیشتر خواهد شد. پژوهش پیش‌رو به بررسی تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریز مقیاس‌کننده BCM2، HADCM3 و CGMR لارس تحت سناریوهای B1 و A1B می‌پردازد.

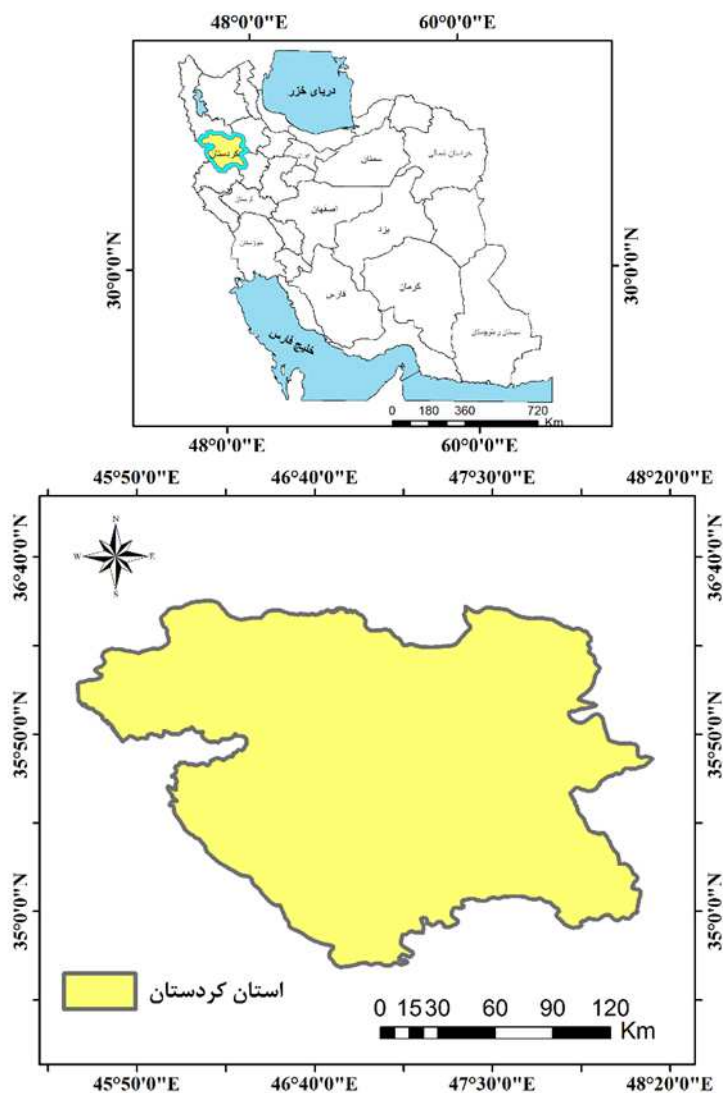
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی:

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان کردستان می‌باشد که موقعیت آن در کشور ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. استان کردستان یکی از استان‌های ایران است که در غرب کشور واقع شده است. مساحت این استان ۲۹،۱۳۷ کیلومتر مربع معادل ۱/۷٪ مساحت کل کشور ایران است. استان کردستان از شمال به استان‌های آذربایجان غربی و زنجان، از جنوب به استان کرمانشاه، از شرق به استان‌های همدان و زنجان و از شرق به کشور عراق محدود است. این استان دارای ۹ شهرستان، ۲۳ شهر، ۲۶ بخش و ۸۳ دهستان می‌باشد. بانه، بیجار، سقز، سنندج، دیواندره، کامیاران، قروه، مریوان و سروآباد از مهمترین شهرهای استان کردستان هستند. استان



کردستان به‌طور کلی تحت تأثیر دو جریان عمده هوای گرم و سرد قرار دارد و اقلیم‌های گوناگونی را به‌وجود می‌آورد. بیشترین میزان بارش جوی در ناحیه غربی استان (شهرهای بانه و مریوان) حدود ۸۰۰ میلی‌متر در سال و کمترین میزان بارندگی آن در ناحیه شرقی حدود ۴۰۰ میلی‌متر در سال است. ایستگاه سنندج به عنوان ایستگاه بررسی شده در این تحقیق در عرض جغرافیایی ۳۵.۲۰ و طول جغرافیایی ۴۷.۰۰ و در ارتفاع ۱۳۷۳.۴ از سطح دریا قرار گرفته است.



شکل (۱): موقعیت مکانی شهرستان بروجرد

روش تحقیق:

در این تحقیق جهت ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3، از مدل LARS-WGS که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد تحت سناریوهای B1 و A1B استفاده شده است. این مدل برای تولید



مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. در جدول ۱ خصوصیات مدل HADCM3 و سه سناریوی تغییر اقلیم نشان داده شده است.

جدول شماره ۱- ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم

تاریخ	پارامتر	مقدار	توضیحات
خصوصیات مدل	طراح مدل	مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی- بریتانیا	
	متغیرهای پیشگویی جوی	دما، مؤلفه‌های افقی سرعت باد، فشار سطح، ظرفیت آب مایع، آب مایع موجود	
	متغیرهای پیشگویی اقیانوسی	دما، شوری، مؤلفه‌های افقی سرعت باد در جو باروکلینیک، عمق لایه اختلاط	
	قدرت تفکیک جوی	عرض جغرافیایی ۲/۷۵ و طول جغرافیایی ۳/۷۵ درجه	
خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم	قدرت تفکیک اقیانوسی	عرض جغرافیایی ۱/۲۵ و طول جغرافیایی ۱/۲۵ درجه	
	قدرت تفکیک سطحی	استوا: ۴۱۷ کیلومتر × ۲۸۷ کیلومتر	
	عرض ۴۵ درجه:	۲۹۵ کیلومتر × ۲۸۷ کیلومتر	
توضیحات	رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر	A1B	
	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان	A2	
	همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر)	B1	

به طور کلی تولید داده به وسیله‌ی مدل LARS-WGS طی سه مرحله صورت می‌گیرد. سه مرحله مذکور شامل کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آتی می‌باشد (Semenov و Barrow 2002). در این مدل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به روش‌های آماری به گونه‌ای ریزمقیاس می‌شوند که به مقدار واقعی بسیار نزدیک باشد. برای کالیبراسیون مدل، بعد از جمع‌آوری داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای ایستگاه سینوپتیک سنندج برای دوره پایه ۱۹۸۹-۲۰۰۸ و آماده کردن فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا می‌شود. از آنجا که مدل LARS-WGS یک مدل تولید تصادفی داده است، خروجی‌های مدل در بخش صحت سنجی مدل در هر بار اجرا متفاوت می‌باشد. به همین دلیل، باید اجزای متفاوتی صورت گیرد و با وزن دهی به هر مقدار تولیدی، میزان خطا به حداقل کاهش یابد. سناریوهای تغییر اقلیم مورد تأیید IPCC سناریوهای A1B و B1 به ترتیب بدبینانه و خوشبینانه اند که A1B توصیفی از جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است؛ به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهشی خواهد بود. سناریوی B1 مورد استفاده در این تحقیق جهانی همگرا با جمعیت جهانی را توصیف می‌کند، اما با تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی نسبت به خدمات و اطلاعات اقتصادی، با کاهش در شدت مادی و معرفی فن‌آوری‌های پاک و منابع مؤثر است. برای پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش در ایستگاه سنندج، با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری سناریوی A1B و B1، از مقایسه سه مدل HADCM3، CGMR و BCM2 استفاده شد. در مرحله ارزیابی مدل، با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R2)، میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف (NSE) که معادلات آنها به ترتیب در روابط ۱ تا ۳ مشخص شده‌اند، داده‌های تولید شده بارش توسط مدل و داده‌های مشاهده شده (داده‌های واقعی) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نتایج اجرای مدل در این مرحله در جدول موجود در بخش بحث و نتایج ارائه شده است.



$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right] \quad (3)$$

که در رابطه ۱: x میانگین کل داده‌های واقعی، y میانگین کل داده‌های شبیه‌سازی شده و n تعداد کل نمونه‌ها می‌باشد و در رابطه ۲: X_i و Y_i به ترتیب آمین داده واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل است. در رابطه ۳: X ، داده مشاهده‌ای، X^2 داده‌های شبیه‌سازی شده و X میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که دربرگیرنده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق فرمول ۴ محاسبه می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCN}^{fut} - F_{GCN}^{base}) \quad (4)$$

که در اینجا، F_{fut} به معنای آینده و Obs به معنای گذشته است. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را مطابق رابطه شماره ۵ تغییر می‌دهد. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، بیشینه و تابش است. (حق طلب و همکاران، ۱۳۹۲).

$$STD_{Fut} = \frac{STD_{Obs}}{STD_{base}} * STD_{Fut} \quad (5)$$

نتیجه‌گیری:

نتایج و بحث:

در مرحله واسنجی، با محاسبه ضریب تعیین R^2 ، $RMSE$ و NSE برای ایستگاه سنندج، همبستگی معنی‌داری بین داده‌های دوره پایه و داده‌های شبیه‌سازی شده مشاهده شد. این همبستگی در داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر بین داده‌های دوره پایه در سالهای ۱۹۶۹ - ۲۰۰۸ و دوره پیش‌بینی شده در سال‌های ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰ مشاهده شد.

جدول شماره ۲ - شاخص همبستگی و خطاسنجی برای پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر

ایستگاه	شاخص اماری	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر
سنندج	NSE	۰.۹۵	0.99	0.99
	RMSE	۵.۲۹	۰.۲۴	0.29
	R^2	0.97	0.85	0.97

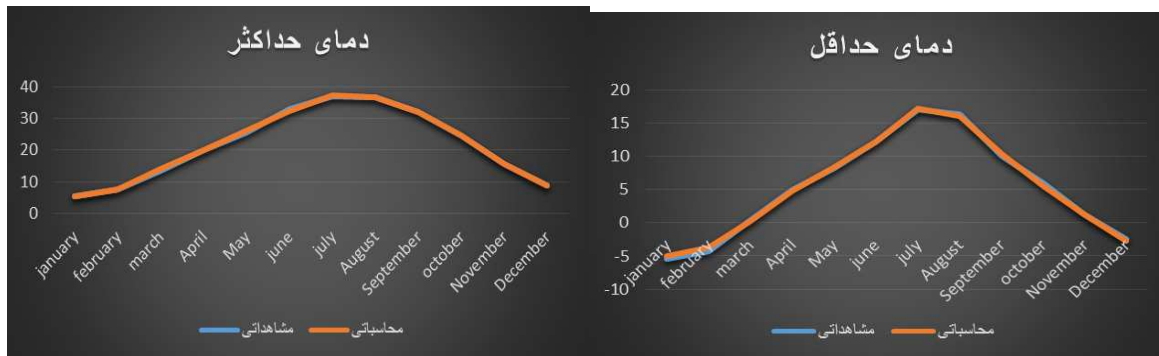
مقایسه‌ی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در دوره‌ی پایه در شکل ۲ نشان داده شده است.



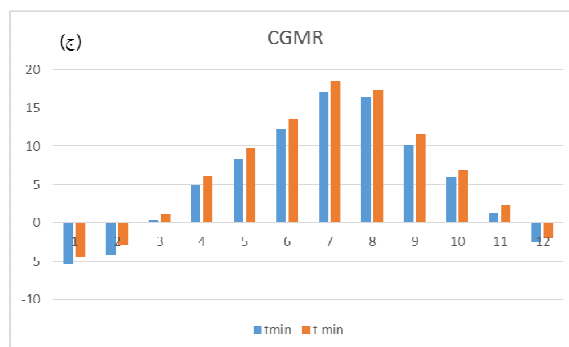
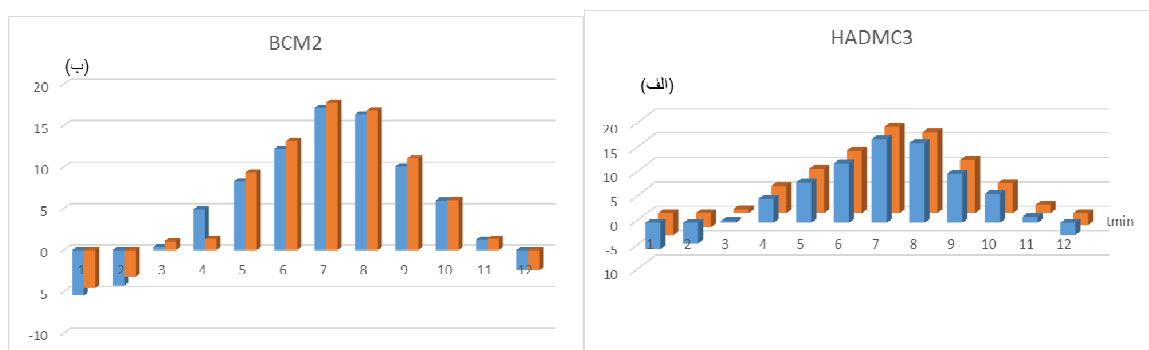
یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز
11th National Conference on Watershed Management Sciences
and Engineering of Iran
Participatory Development in Watershed Management



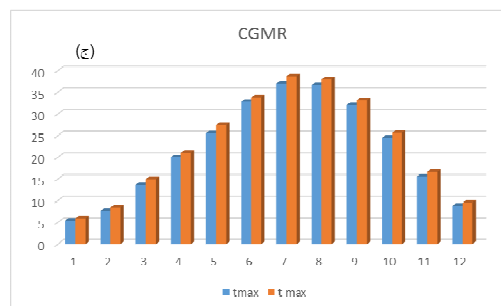
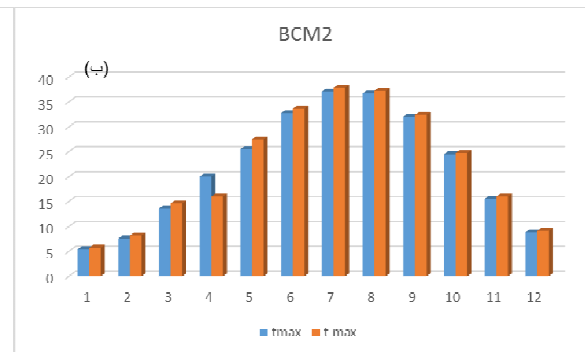
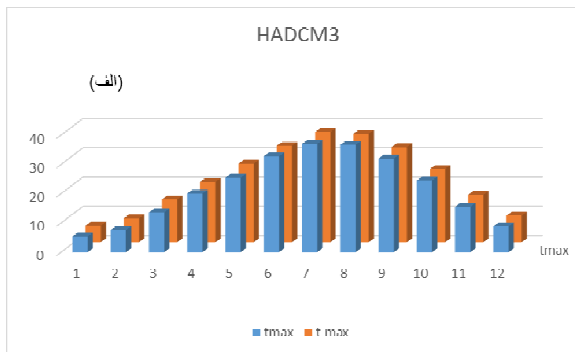
۳۱ فروردین لغایت ۲ اردیبهشت ۱۳۹۵
April 19-21, 2016



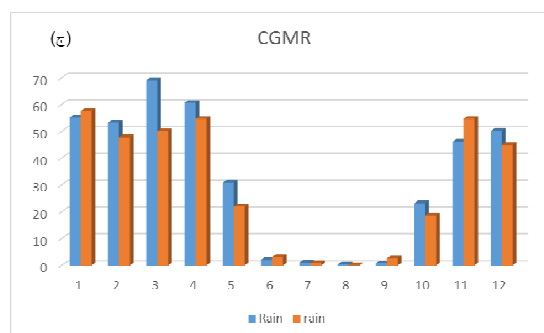
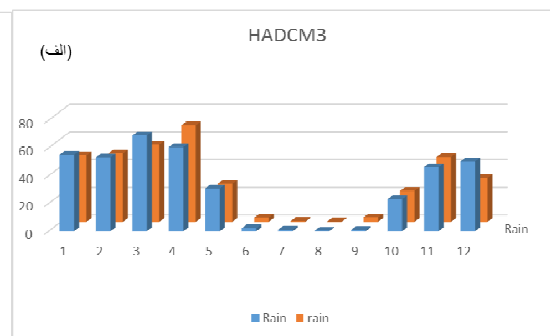
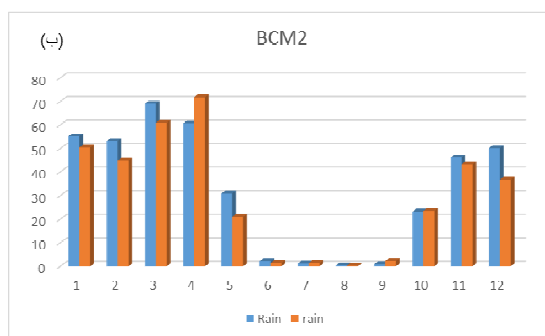
مقایسه‌ی داده‌های دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره آبی در سه مدل اجرا شده در شکل ۳ نشان داده شده است:



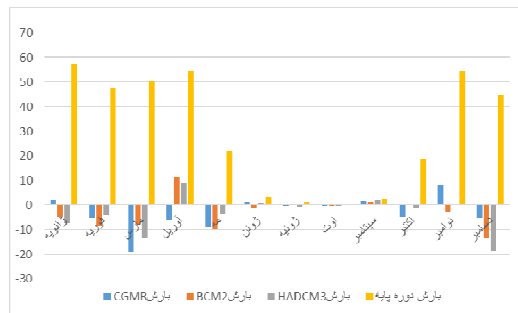
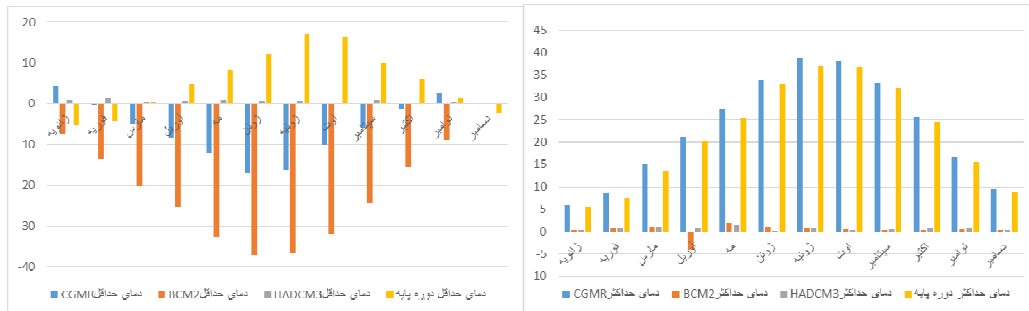
مقایسه‌ی داده‌های دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره آبی در سه مدل اجرا شده در شکل ۴ نشان داده شده است:



مقایسه‌ی داده‌های بارش حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره آبی در سه مدل اجرا شده در شکل ۴ نشان داده شده است:



اختلاف دمای حداقل، حداکثر و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط سه مدل در ایستگاه سنندج در شکل ۵ آمده است:



نتیجه‌گیری:

در این پژوهش ابتدا با اجرای مدل LARS-WGS داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه سینوپتیک سنندج شبیه‌سازی شد که نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی توانایی بالای مدل مولد هواشناسی در تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده و موید تحقیقات ذکر شده توسط Elshamy و Semenov و بابائیان و نجفی نیک می‌باشد. سپس با استفاده از ریزمقیاس نمائی آماری داده‌های مدل HADCM3، CGMR و BCM2 تحت سناریوهای B1 و A1B در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مشخص گردید که این ایستگاه به طور کلی با افزایش زیاد دما و کاهش بارش روبه‌رو خواهد بود. از میان مدل‌ها مدل BCM2 کاهش دما را با شدت بیشتری در تمام طول سال نشان می‌دهد. افزایش دمای حداکثر با شدت بالاتری در مدل CGMR نشان داده شده است اما با اینحال شباهت بیشتری به دمای فعلی دارد اما سایر مدل‌ها کاهش دمای حداکثر را نشان می‌دهد. کاهش بارش شدید در تمام طول سال را در تمام همه مدل‌ها نشان داده می‌شود.

منابع:

- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمال، غ.، داوری، ک.، پیش بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره چهار، مهر - آبان ۱۳۹۰، ص ۹۴۵-۹۵۷.
- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک (۱۳۸۹). تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره 2010-39 با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره پانزدهم، پاییز و زمستان.
- دوستی، م.، حبیب نژاد روشن، م.، شاهدی، ک.، میر یعقوب زاده، م.، بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تهر استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS - WG، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۴، ۱۳۹۲، ص ۱۸۹ - ۱۷۷.
- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP.



یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز

11th National Conference on Watershed Management Sciences
and Engineering of Iran
Participatory Development in Watershed Management



۳۱ فروردین لغایت ۲ اردیبهشت ۱۳۹۵

April 19-21, 2016

- Hashmi, M. Z., Shamseldin, .A. Y., and Melville, B. W., (2010). “Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed.” Stoch Environ Res Risk Assess.
- Hashmi, M. Z., Shamseldin, A.Y., and Melville, B.W., (2009). “Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach.” 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17
- Barrow, E., G. Yu., 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the priarie Adaptation Research Climate Research Services.
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research 35, 203-212.
- Barrow, E., G. Yu., 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the priarie Adaptation Research Climate Research Services.
- Johnson G.L., Hanson C.L., Hardegree S.P., and Ballard E.B. 2006. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. Journal Applied Meteorology, 35: 1878-1896.