



Investigation of AOGCM Model Uncertainty and Emission Scenarios of Greenhouse Gases Impact on the Basin Runoff under Climate Change, Case study Gharanghu Basin, East Azerbaijan

P.S. Ashofteh^{۱*} and A.R. Massah^۲

Abstract

This research was aimed to investigate the changes of runoff considering the uncertainty of AOGCM models and emission scenarios that may occur due to climate change in the period of ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (۲۰۲۰s). First, the monthly temperature and precipitation data of AOGCM models (models of TAR reports) were provided for the baseline period (۱۹۷۱-۲۰۰۰) and the future period (۲۰۱۰-۲۰۳۹) under the SRES emission scenarios, namely A۲ and B۲. Then, these data were spatially and temporally downscaled to Gharanghu basin by proportional and change factor methods. Results showed that the temperature increased and the precipitation decreased in the future compared to the baseline period. The monthly probability distribution function of the temperature and the precipitation in the period of ۲۰۲۰s was constructed using weighting method; comparing observed and modeled temperature and precipitation. A semi- conceptual model (IHACRES) was calibrated for simulation of the monthly runoff of the basin. Using the Monte Carlo approach, ۲۰۰۰ samples of temperature and precipitation were generated by the probability distribution functions and were introduced to IHACRES. Finally ۳۰-year time series of monthly runoff were simulated in ۲۰۲۰s. The results were compared to the baseline result which indicated that the climate change will affect the runoff in the basin.

Keywords: Climate change, Uncertainty, Emission scenario, Monte Carlo, Runoff, Gharanghu Basin.

بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوضه قرنقو، آذربایجان شرقی

پریسا سادات آشفته^{۱*} و علیرضا مساح بوانی^۲

چکیده

این تحقیق تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قرنقو در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی را با لحاظ نمودن عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM^۱ و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، بررسی می‌نماید. ابتدا مقادیر دما و بارش ماهانه هفت مدل AOGCM تحت سناریوهای A۲ و B۲ در دوره آبی و دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ برای حوضه، تهیه شده و سپس کوچک مقیاس شدند. نتایج نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما در دوره آبی داشته، به طوری که دمای حوضه در دوره آبی برای سناریوی A۲ بین ۰/۲ تا ۳ و برای B۲ بین ۰/۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین حوضه در دوره آبی شاهد افزایش بارندگی برای فصل پاییز و کاهش آن برای فصل تابستان بوده و محدوده تغییرات بارش برای سناریوی A۲ بین ۹۳- تا ۱۳۹٪ و برای B۲ بین ۶۱- تا ۱۵۷٪ خواهد بود. برای دخالت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM، این مدل‌ها وزن‌دهی شدند. با واسنجی مدل IHACRES رابطه بارش - رواناب ماهانه حوضه شبیه‌سازی شده و با استفاده از روش مونت کارلو تعداد ۲۰۰۰ نمونه از تابع توزیع احتمالاتی ماهانه دما و بارندگی کوچک مقیاس شده حوضه، تولید گردید. با معرفی این مقادیر به IHACRES، ۲۰۰۰ سری رواناب ماهانه در دوره آبی شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان می‌دهند که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره آبی به میزان ۱/۷۳ برای A۲ و ۰/۴۴ متر مکعب بر ثانیه برای B۲ نسبت به دوره مشاهداتی افزایش نشان می‌دهد. این افزایش رواناب برای سناریوی A۲ بیشتر از سناریوی B۲ خواهد بود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، عدم قطعیت، سناریوی انتشار، مونت کارلو، رواناب، حوضه قرنقو

تاریخ دریافت مقاله: ۱۲ اسفند ۱۳۸۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۸ مهر ۱۳۹۱

۱- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation & Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, parisa_ashofteh@yahoo.com
۲- Assistant Professor, College of Abureyhan, University of Tehran, Pakdasht, Iran, armassah@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲- استادیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

سیلاب‌های نمونه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف در دوره آتی با وضعیت کنونی آن، نشان داد که دبی پیک حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد نمود. (Minville et al., ۲۰۰۸) به بررسی عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کانادا با استفاده از مدل HSAMI پرداخت. در این تحقیق از پنج مدل GCM و دو سناریوی انتشار استفاده شد. نتایج نشان از افزایش ۱ تا ۱۴ درجه‌ای دما و تغییر ۹- تا ۵۵ درصدی بارش فصلی را داد. همچنین میزان رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد نمود. موارد مشابهی نیز (Christensen et al., ۲۰۰۶, Purkey et al., ۲۰۰۷ و Jiang et al., ۲۰۰۷) به انجام رسیده است.

گرچه تحقیق‌های انجام شده قبلی روش‌های قابل قبولی را به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه ارائه می‌کنند، ولی در اکثر مطالعات، مباحث مربوط به انواع عدم قطعیت که می‌تواند تأثیر بارزی بر نتایج نهایی بگذارد، نادیده گرفته شده است. از طرف دیگر در تحقیق‌های دیگر علی‌رغم این که سعی شده عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در محاسبات لحاظ شود، اما تمامی مدل‌های AOGCM به‌کار رفته با وزن یکسان اعمال شده‌اند. در این تحقیق سعی شده است تا علاوه بر لحاظ نمودن تأثیرات عدم قطعیت‌های مربوط به مدل‌های AOGCM و سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های AOGCM وزن‌دهی شده تا این دو نقیصه با ارائه روشی جدید برطرف گردد.

۲- مواد و روش‌ها

ابتدا منطقه طرح معرفی شده سپس روش‌های مورد نیاز برای تحقیق که شامل تولید سناریوهای تغییر اقلیم (تحت سناریوهای انتشار^۳ A۲ و B۲)، کوچک مقیاس کردن^۴ خروجی مدل‌های AOGCM، وزن‌دهی مدل‌ها، شبیه‌سازی بارش- رواناب، تحلیل عدم قطعیت و تحلیل نتایج می‌باشد، ارائه می‌شود. مراحل انجام تحقیق در نمودار شکل ۱ ارائه شده است.

۲-۱- منطقه مطالعاتی

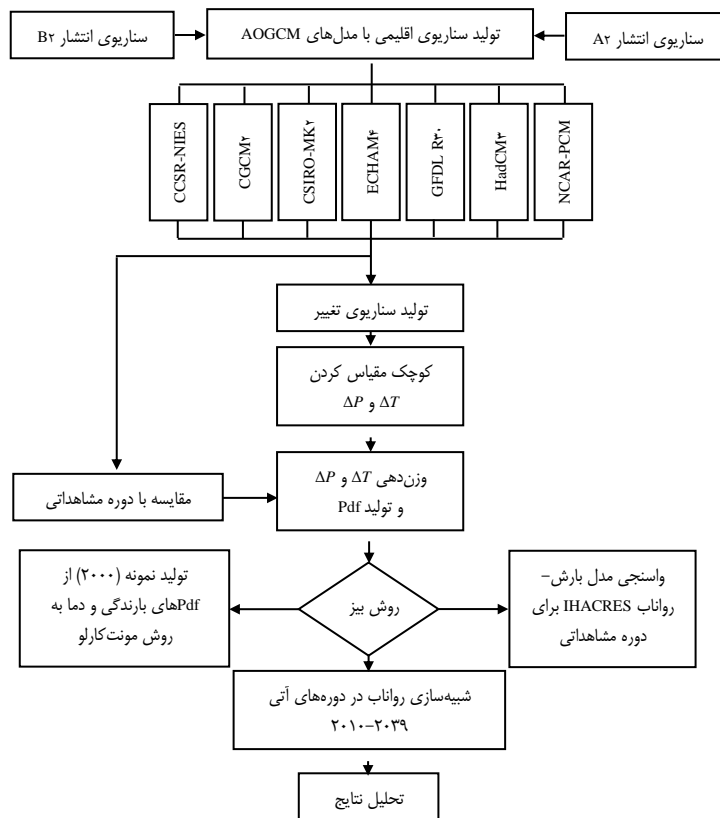
منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوضه قرنقو است که یکی از زیر حوضه‌های قزل اوزن بوده و در موقعیت جغرافیایی ۲۵°-۴۶° تا ۵۵°-۴۷° طول شرقی و ۵۵°-۳۶° تا ۵°-۳۷° عرض شمالی و در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند (استان آذربایجان شرقی) قرار گرفته و دارای

میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتباً در حال افزایش است به‌گونه‌ای که سناریوهای اخیر IPCC^۲ افزایش متوسط جهانی دما را ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند (IPCC, ۲۰۰۷). این پدیده که به آن تغییر اقلیم اطلاق می‌شود، می‌تواند با احتمال زیاد بر بخش‌های مختلفی تأثیر بگذارد که بخش منابع آب از اصلی‌ترین آنها می‌باشد. از آنجا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیانباری برای جوامع بشری داشته باشد، لذا در سال‌های اخیر تحقیقاتی در این مورد صورت گرفته است.

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان جریان‌های کم رودخانه Thames در انگلستان انجام گردید (Wilby and Harris, ۲۰۰۶). در این تحقیق منابع عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM، روش‌های کوچک مقیاس کردن، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های مختلف شبیه‌سازی بارش- رواناب و عدم قطعیت مربوط به پارامترهای آن‌ها با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف و روش مونت کارلو شبیه‌سازی گردیده است. نتایج نشان داد که عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM بیشترین سهم و سناریوهای گازهای گلخانه‌ای کمترین سهم را در برآورد تابع احتمالاتی رواناب دارند. (Steele et al., ۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم را بر رواناب با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM۵ و سناریوی انتشار A۱B، مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که برای ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند صورت گرفت، از مدل مفهومی بارش- رواناب HBV-Light برای بررسی وضعیت جریان رودخانه در دوره آتی ۲۰۶۰-۲۰۱۰ استفاده گردید. در ابتدا داده‌های بارش و دمای استخراج شده از مدل ECHAM۵ با استفاده از روش کوچک مقیاس کردن مکانی تناسبی، کوچک مقیاس شده و به مدل بارش- رواناب معرفی گردید. نتایج در مجموع نشان دادند که بارش زمستانه و بارش تابستانه به‌ترتیب افزایش و کاهش دارند. همچنین میزان دبی رودخانه تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد نمود. در تحقیق دیگری که توسط آشفته (۱۳۸۷) انجام گرفت، تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دبی پیک حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و برای سناریوی A۲ مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از هفت مدل AOGCM استفاده شده بود. نتایج نشان می‌دهند که دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰s بین ۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین محدوده تغییرات بارش ۸۰- تا ۱۰۰٪ خواهد بود. مقایسه شدت

منطقه طی ماه‌های آبان تا اواخر اردیبهشت و بخش اعظم آن، در ماه‌های فروردین و اردیبهشت و ۳/۴ درصد آن نیز در فصل تابستان به وقوع می‌پیوندد. ضریب برف‌گیری سالانه حوضه ۲۷ درصد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه کل حوضه ۴۰۳/۷ میلی‌متر بوده که از این مقدار به‌طور متوسط ۳۳۲/۶ میلی‌متر تبخیر می‌گردد. با در نظر گرفتن میزان تبخیر و بارش، حجم آب خروجی از حوضه ۲۵۰/۴ میلیون متر مکعب برآورد شده است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۵). مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه در جدول ۱ آورده شده است.

وسعت ۳۵۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. قله‌های منفرد متعددی در سطح حوضه پراکنده شده است که کوه بزداغ با ارتفاع ۳۶۰۵ متر، از مرتفع‌ترین آنها بوده و پست‌ترین نقطه آن نیز به ارتفاع ۱۰۴۳ متر، در بخش خروجی حوضه و در نزدیکی شهر میانه قرار گرفته است. رودخانه اصلی این حوضه رودخانه قرنقو با طول حدود ۱۲۰ کیلومتر و با جهت جریان شرقی- غربی می‌باشد (شکل ۲). اقلیم منطقه متأثر از موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی محلی است. چرخنده‌های غربی، منبع عمده تزریق رطوبت به محدوده محسوب می‌شوند و با توجه به زمان ورود آنها، ۸۵/۷ درصد بارندگی‌های

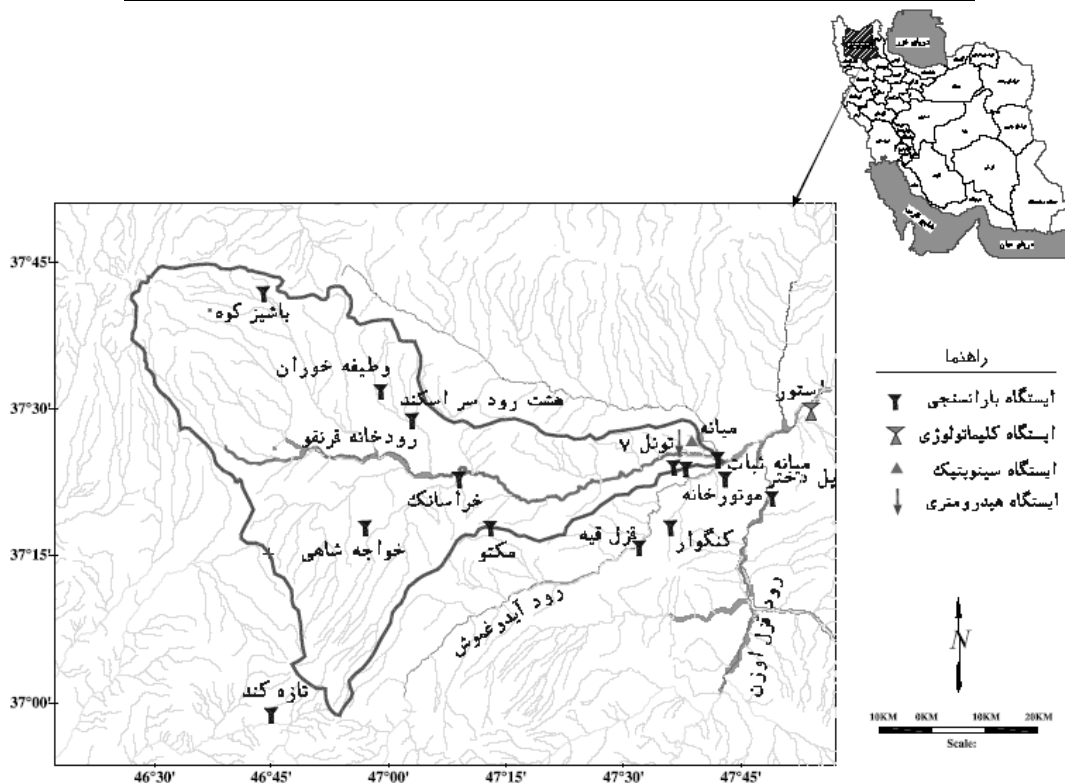


شکل ۱- نمودار مراحل مختلف انجام تحقیق

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع حوضه (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
وطیفه خوران	باران‌سنجی	۱۷۶۰	۴۶°-۵۹'	۳۷°-۳۲'
میانه ثبات	باران‌سنجی	۱۱۰۰	۴۷°-۴۲'	۳۷°-۲۵'
هشت‌رود سر اسکند	باران‌سنجی	۱۷۵۰	۴۷°-۰۳'	۳۷°-۲۹'
تونل ۷	باران‌سنجی	۱۱۰۰	۴۷°-۳۷'	۳۷°-۲۴'
خواج‌شاهی	باران‌سنجی	۱۶۰۰	۴۶°-۵۷'	۳۷°-۱۸'
استور	کلیما‌تولوژی	۱۲۰۰	۴۷°-۵۴'	۳۷°-۳۰'
پل دختر	باران‌سنجی	۱۲۰۰	۴۷°-۴۹'	۳۷°-۲۱'
موتور خانه	باران‌سنجی	۱۰۶۰	۴۷°-۴۳'	۳۷°-۲۳'
تازه کند	باران‌سنجی	۱۸۵۰	۴۶°-۴۵'	۳۶°-۵۹'
کنگوار	باران‌سنجی	۱۳۲۰	۴۷°-۳۶'	۳۷°-۱۸'

۳۷-۱۶	۴۷-۳۲	۱۴۹۹	باران سنجی	قرزل قبه
۳۷-۱۸	۴۷-۱۳	۱۶۹۰	باران سنجی	مکتو
۳۷-۲۴	۴۷-۳۸	۱۲۰۰	سینوپتیک	میانه



شکل ۲- حوضه رودخانه قرنقو و جانمایی ایستگاه‌های هواشناسی

۲-۲- تولید سناریوهای اقلیمی برای دوره آتی

معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های AOGCM می‌باشند (Wilby and Harris, ۲۰۰۶). این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی حاکم بر جو که توسط معادله دیفرانسیلی پاره‌ای ارائه می‌شود، استوار هستند. در این تحقیق از خروجی هفت مدل AOGCM شامل CCSR-NIES، CGCM۲، CSIRO-MK۲، ECHAM۴-OPYC۳، GFDL-R۳۰، HadCM۳ و NCAR DOE PCM استفاده شده است (IPCC-TGCI, ۱۹۹۹). جدول ۲ مشخصات این مدل‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۳- سناریوهای انتشار

از ورودی‌های مورد نیاز مدل‌های AOGCM، مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی می‌باشد. IPCC تاکنون سناریوهای متفاوتی را ارائه نموده که SRES^۵ از جدیدترین آنها می‌باشد. هر کدام از زیر سناریوهای SRES مربوط به یکی از گروه‌های A۱، A۲، B۱ و B۲ می‌باشد. در خانواده A۲ تأکید بر رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت اقتصادی و در خانواده B۲ تأکید بر راه حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست، با سرعت تغییرات تکنولوژی کمتر، اما با تنوع بیشتر می‌باشد (IPCC, ۲۰۰۷).

جدول ۲- مشخصات مدل‌های AOGCM موجود در سایت IPCC (IPCC-TGCI, ۱۹۹۹)

نام مدل	گروه مؤسس	سناریوی شبیه‌سازی	قدرت تفکیک		مرجع
			اتمسفری	اقیانوسی	
ECHAM۴	MPI (Germany)	A۲, B۲	۲/۸° × ۲/۸°	۲/۸° × ۲/۸°	Stendel et al., ۲۰۰۰
HadCM۳	HCCPR (UK)	A۲, Arb, Arc, Br	۲/۵° × ۳/۷۵°	۲/۵° × ۳/۷۵°	Gordon et al., ۲۰۰۰
CSIRO MK۲	CSIRO (Australia)	A۱, A۲, B۱, B۲	۳/۲° × ۵/۶°	۳/۲° × ۵/۶°	Gordon and O'Farrell, ۱۹۹۷
CGCM۲	CCCMA (Canada)	A۲, B۲	۳/۷° × ۳/۷°	۱/۸° × ۱/۸°	Flato and Boer., ۲۰۰۱

GFDL-Rr [*]	GFDL (USA)	A ₂ , B ₂	۴/۵° × ۷/۵°	۴/۵° × ۳/۷۵°	Knutson et al., ۱۹۹۹
NCAR PCM	NCAR (USA)	A ₂ , B ₂ , A ₁ B	۴/۵° × ۷/۵°	۱/۰° × ۱/۰°	Meehl et al., ۲۰۰۱
CCSR NIES	CCSR/NIES (JAPAN)	A ₁ , A ₁ FI, A ₁ T, A ₂ , B ₁ , B ₂	۵/۶° × ۵/۶°	۲/۸° × ۲/۸°	Nozawa et al., ۲۰۰۱

حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره آتی و ΔP سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده بارندگی می‌باشد.

۲-۶- تحلیل عدم قطعیت

در مطالعات تغییر اقلیم، منابع مختلف عدم قطعیت بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارد. این منابع شامل عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، عدم قطعیت روش‌های کوچک مقیاس کردن، عدم قطعیت مربوط به سناریوهای مختلف انتشار و عدم قطعیت در روش شبیه‌سازی بارش - رواناب می‌باشد. در این تحقیق در نظر است تا تأثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و همچنین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه محاسبه گردد. برای لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها از رویکرد بیزی^۸ استفاده خواهد شد. مراحل این رویکرد عبارتند از: (۱) تولید توزیع احتمالاتی پیشین^۹ برای پارامترهای آماری، (۲) تعیین تابع درست‌نمایی احتمالاتی^{۱۰} داده‌های مشاهداتی به‌عنوان تابعی از پارامترها و (۳) تعیین توزیع احتمالاتی پسین^{۱۱} یک سیستم. توزیع احتمالاتی پسین بر اساس توزیع‌های پارامترهای ورودی (توزیع پیشین) و تابع احتمالاتی تعیین می‌گردد (Katz, ۲۰۰۲).

بنابراین با لحاظ نمودن رویکرد بیزی لازم است در ابتدا تابع توزیع احتمالاتی^{۱۲} سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی محاسبه شود. برای این کار هر یک از مدل‌ها، براساس مقدار انحراف میانگین دما و بارندگی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند. روش وزن‌دهی مذکور، روش میانگین مشاهداتی دما و بارندگی^{۱۳} نام دارد که توسط مساح بوانی و همکاران (۱۳۸۵ ب) ارائه شده و طبق رابطه (۵) محاسبه می‌گردد:

$$R_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{B_{x,i}}} \quad (5)$$

در این رابطه $B_{x,i}$ انحراف میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در دوره پایه در ماه (x) از میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد مدل‌های AOGCM و R_i وزن داده شده به هر یک از این مدل‌ها (i) می‌باشد.

در این تحقیق، با استفاده از روابط (۱) و (۲) و همچنین براساس وزن‌دهی مدل‌ها توسط رابطه (۵) با کمک نرم‌افزار SIMLAB (Giglioli and Saltelli, ۲۰۰۳)، توابع توزیع چگالی احتمال تولید

به‌دلیل انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در خانواده A₂ و B₂، در این تحقیق از این سناریوها استفاده می‌شود.

۲-۴- تولید سناریوی تغییر اقلیم^۶

به‌منظور حذف نوفه^۷ در شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی ناشی از بزرگ بودن سولول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM (جدول ۲)، معمولاً به‌جای استفاده مستقیم از داده‌های مدل در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌های ۳۰ ساله این داده‌ها استفاده می‌شود (روابط (۱) و (۲)) (Jones and Hulme, ۱۹۹۶):

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \right) \quad (2)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به‌ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای متوسط درازمدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}_{GCM, fut, i}$ متوسط ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه (در اینجا ۲۰۳۹-۲۰۱۰)، $\bar{T}_{GCM, base, i}$ متوسط ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای هر ماه، $\bar{P}_{GCM, fut, i}$ متوسط ۳۰ ساله بارندگی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $\bar{P}_{GCM, base, i}$ متوسط ۳۰ ساله بارندگی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

۲-۵- کوچک مقیاس کردن

به‌منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های طرح به لحاظ مکانی از روش تناسبی استفاده می‌شود. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سولولی استخراج می‌شود که منطقه مورد مطالعه در آن قرار می‌گیرد (روابط (۳) و (۴)) (Wilby and Harris, ۲۰۰۶):

$$T = T_{obs} + \Delta T \quad (3)$$

$$P = P_{obs} \times \Delta P \quad (4)$$

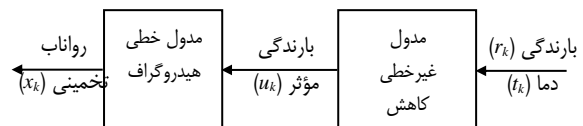
در رابطه (۳)، T_{obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی (ماهانه) در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)، T سری زمانی دما حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) و ΔT سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده دما می‌باشد. در رابطه (۴)، P_{obs} بیانگر سری زمانی بارندگی مشاهداتی (ماهانه) در دوره پایه، P سری زمانی بارندگی

می‌گردد. پس از مشخص شدن pdfهای سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی ماهانه می‌توان با استفاده از روش مونت کارلو و تولید نمونه‌های زیاد (مثلاً ۲۰۰۰ نمونه)، تأثیر این عدم قطعیت را بر رواناب رودخانه محاسبه کرد.

۷-۲- شبیه‌سازی بارش- رواناب

براساس بررسی‌های به‌عمل آمده الگوریتمی که Jakeman and Hornberger (۱۹۹۳) برای شبیه‌سازی بارش- رواناب ارائه کرده است، با توجه به ورودی‌های مورد نیاز و قوام علمی لازم، مناسب تشخیص داده شد. از منطق بارش- رواناب شبیه‌سازی شده در مدل IHACRES استفاده شد و در فرتن براساس این منطق برنامه‌نویسی شد. اساس این روش که در شکل ۳ ارائه شده از دو مدول غیر خطی تلفات^{۱۴} و مدول خطی هیدروگراف واحد^{۱۵} تشکیل می‌شود. بدین شکل که در ابتدا بارندگی r_k و دما t_k در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی موثر u_k تبدیل شده و سپس به‌وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود.

برای واسنجی مدل برای حوضه از داده‌های مشاهداتی دما و بارش و دبی ماهانه حوضه قرنقو در دوره پایه استفاده گردید. پس از آن، ۲۰۰۰ سری از سری‌های زمانی دما و بارش تولید شده به‌وسیله روش مونت کارلو برای دوره ۲۰۲۰s به مدل IHACRES معرفی شده و تعداد ۲۰۰۰ سری زمانی رواناب ماهانه تولید گردید.



شکل ۳- شبیه‌سازی بارش- رواناب در روش Jakeman and Hornberger (۱۹۹۳)

۸-۲- تجزیه و تحلیل رواناب

به‌منظور برآورد رواناب رودخانه در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و تحت سناریوهای A۲ و B۲، متوسط رواناب ماهانه درازمدت (۳۰ ساله) برای ۲۰۰۰ نمونه در دوره آتی با متوسط رواناب ماهانه دوره مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت.

۳- نتایج

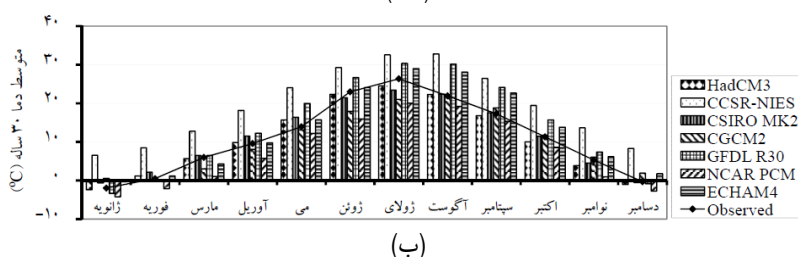
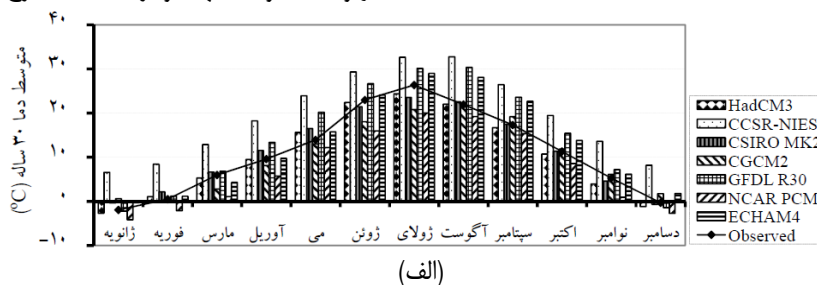
۱-۳- بررسی عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی دما و بارندگی حوضه قرنقو در دوره (۲۰۰۰-۱۹۷۱)

در ابتدا به کمک داده‌های دما و بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی حوضه قرنقو در جدول ۱، سری زمانی متوسط حوضه محاسبه گردید. سپس فایل داده‌های ماهانه دما و بارندگی مدل‌های AOGCM از سایت IPCC در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ (به‌دلیل آن‌که ایستگاه‌های موجود در حوضه داده‌های این دوره را پوشش می‌دهند، لذا این دوره به‌عنوان دوره پایه انتخاب شد) تهیه گردید (IPCC-DDC, ۱۹۸۸). در این تحقیق از برنامه (GCM-RDP)^{۱۶} که توسط مساح بوانی و همکاران (۱۳۸۵ ب) ارائه گردیده، استفاده شده که می‌تواند پس از وارد کردن مختصات مکانی مورد نظر و طول دوره آماری مورد نیاز، سری زمانی متغیر اقلیمی مربوط به سلولی که منطقه مورد مطالعه در آن واقع شده را استخراج نماید (مساح بوانی و همکاران، ۱۳۸۵ ب). پس از آن، میانگین ۳۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۷۱) ماهانه دما و بارندگی سلول مذکور از مدل فوق محاسبه شد. نهایتاً این مقادیر با میانگین ۳۰ ساله ماهانه دما و بارندگی مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل‌های ۴ و ۵، مقایسه بین داده‌های مدل‌های AOGCM و داده‌های مشاهداتی را برای بارش و دما برای دو سناریوی A۲ و B۲ نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مدل‌های AOGCM در تخمین میانگین درازمدت دما و بارش ماهانه منطقه با یکدیگر تطابق نداشته که این خود نشان‌دهنده وجود عدم قطعیت در خروجی این مدل‌ها می‌باشد. وجود عدم قطعیت در مدل‌های مختلف AOGCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی منطقه‌ای توسط تحقیقات دیگر نیز به اثبات رسیده است (مساح بوانی و همکاران، ۱۳۸۵ الف؛ قربانی واقعی و همکاران، ۱۳۸۷؛ New and Hulme, ۲۰۰۰؛ Wilby and Harris, ۲۰۰۶). در ادامه به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌ها، از معیارهای عملکرد ضریب همبستگی r ^{۱۷}، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^{۱۸} و میانگین خطای مطلق (MAE)^{۱۹} استفاده شد.

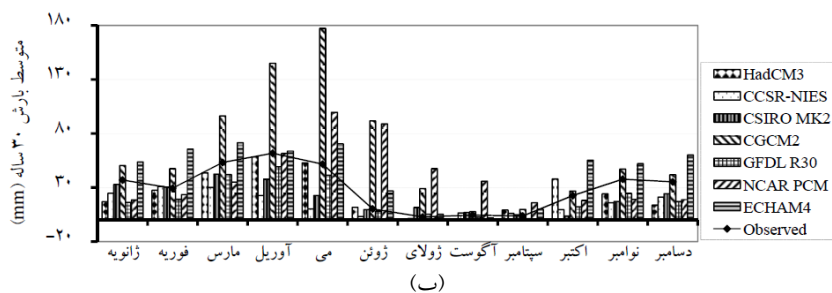
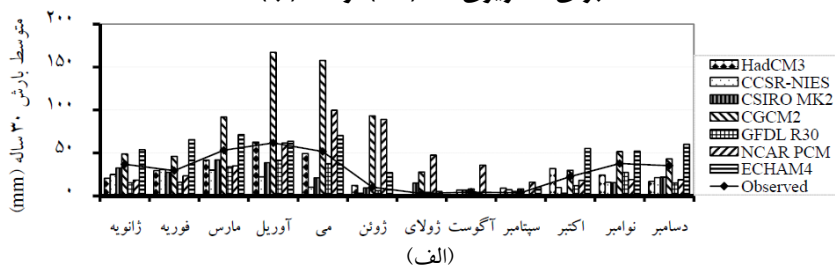
اکثر مدل‌ها قادر به شبیه‌سازی دمای منطقه با ضریب همبستگی بالا و خطای کم می‌باشند (جدول ۳). در میان این مدل‌ها، مدل HadCM۳ دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی دما می‌باشد. این در حالی است که شاخص‌های عملکرد، حاکی از توانایی کمتر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش نسبت به دما دارد. در این میان، مدل‌های GFDL R۳۰ و HadCM۳ دارای بهترین عملکرد و مدل NCAR DOE PCM دارای کمترین عملکرد در شبیه‌سازی بارندگی می‌باشد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که به‌دلیل پایین بودن عملکرد مدل NCAR DOE PCM در شبیه‌سازی بارندگی حوضه قرنقو، از دخالت

دادن داده‌های دما و بارش این مدل در محاسبات آبی صرفنظر
 ۳-۲- محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی حوضه
 در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ گردید.

ابتدا سری زمانی دما و بارش ماهانه شش مدل AOGCM (مدل‌های جدول ۳ به غیر از مدل NCAR DOE PCM) تحت سناریوی A۲ و B۲ تهیه و برای منطقه طرح، کوچک مقیاس شد.



شکل ۴- میانگین ۳۰ ساله ماهانه دمای مشاهده‌ای متوسط حوضه و مدل‌های مختلف AOGCM برای سناریوی A۲ (الف) و B۲ (ب)



شکل ۵- میانگین ۳۰ ساله ماهانه بارندگی مشاهده‌ای متوسط حوضه و مدل‌های مختلف AOGCM برای سناریوی A۲ (الف) و B۲ (ب)

جدول ۳- شاخص‌های عملکرد مدل‌های AOGCM نسبت به داده‌های مشاهده‌ای

بارندگی			دما			متغیر اقلیمی
MAE (mm)	RMSE (mm)	r (%)	MAE (°C)	RMSE (°C)	r (%)	معیار عملکرد
۷/۱۶	۹/۴۳	۹۰/۰	۰/۸۲	۰/۹۹	۹۹/۵	مدل
						HadCM۳

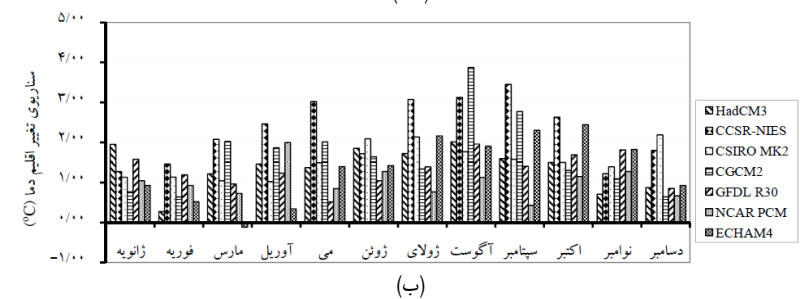
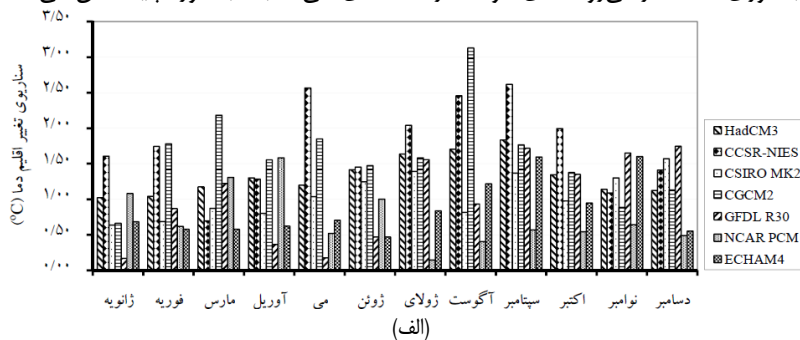
۱۵/۰۲	۲۰/۱۶	۷۰/۰	۸/۳۰	۸/۴۰	۹۹/۰	CCSR-NIES
۱۱/۹۰	۱۵/۳۰	۸۰/۰	۱/۲۲	۱/۵۰	۹۸/۹	CSIRO MK2
۳۵/۲۹	۵۱/۶۹	۷۷/۰	۲/۰۴	۲/۶۳	۹۶/۸	CGCM2
۱۱/۶۶	۱۳/۸۲	۹۶/۰	۳/۴۳	۴/۲۳	۹۸/۹	GFDL R30
۲۴/۷۵	۳۲/۸۶	۱۸/۰	۳/۵۶	۳/۹۳	۹۸/۵	NCAR DOE PCM
۱۶/۰۱	۱۹/۳۹	۸۹/۰	۲/۲۳	۲/۸۳	۹۸/۵	ECHAM4-OPYC3

سپس متوسط درازمدت دما و بارندگی ماهانه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ برای سناریوی A2 بین ۰/۲ تا ۳ و برای B2 بین ۰/۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. در مقایسه با سایر مدل‌ها، مدل CCSR-NIES در اکثر ماه‌ها، دمای آبی بیشتری را نسبت به دوره پایه در هر دو سناریو نشان می‌دهد. که نتایج در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.

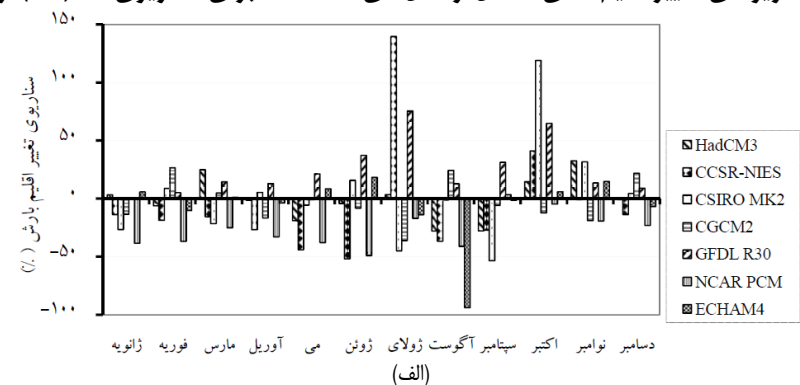
همچنین مدل ECHAM4 برای سناریوی A2 و مدل GFDL-R30 برای سناریوی B2، در اغلب ماه‌ها کمترین افزایش را برای دمای آبی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. از طرف دیگر همانطور

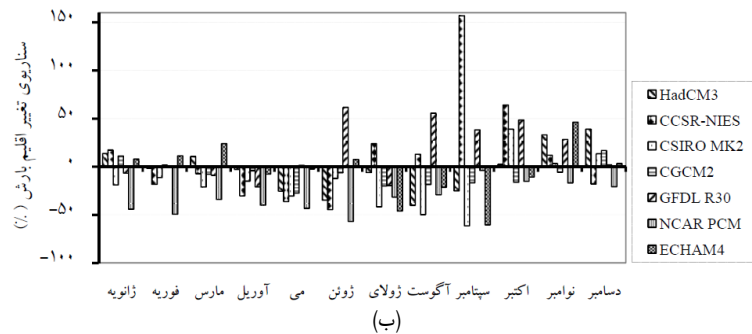
دوره شیب‌سازی شده پایه توسط همان مدل (۲۰۰۰-۱۹۷۱) محاسبه گردید. نهایتاً با استفاده از روابط (۱) و (۲) سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی منطقه برای سناریوی A2 و B2 محاسبه شده است.

تمامی مدل‌ها دمای بیشتری را برای دوره آبی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند (شکل ۶). به طوری که انتظار می‌رود دمای حوضه در



شکل ۶- سناریوهای تغییر اقلیم دمای حاصل از مدل‌های AOGCM برای سناریوی A2 (الف) و B2 (ب)





شکل ۷- سناریوهای تغییر اقلیم بارش حاصل از مدل‌های AOGCM برای سناریوی A2 (الف) و B2 (ب)

استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، به تعداد مناسب (۲۰۰۰ عدد) سناریوی تغییر اقلیم دما و بارندگی از هر pdf انتخاب شد. سپس با استفاده از روابط (۳) و (۴)، ۲۰۰۰ سری زمانی ماهانه دما و بارندگی برای حوضه محاسبه گردید.

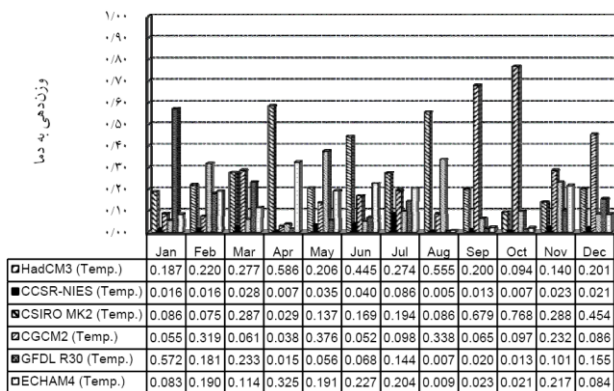
۳-۴- شبیه‌سازی بارش - رواناب

به‌منظور واسنجی و صحت‌یابی مدل IHACRES، از آمار ماهانه دما و بارش متوسط حوضه و آمار دبی ماهانه ایستگاه تونل ۷ در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ استفاده گردید. در این دوره، سال‌های مختلف برای واسنجی مدل مورد آزمون قرار گرفت. نتایج (شکل ۱۰ الف)) نشان داد که دوره ۱۹۷۱-۱۹۹۰ (اول ژانویه ۱۹۷۱ تا اول دسامبر ۱۹۹۰) با ضریب همبستگی (۲) ۰/۷۲ و معیار خطای (RMSE) ۱۷/۷۱ بهترین عملکرد را داشته است. پس از واسنجی مدل، دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۰ (اول ژانویه ۱۹۹۱ تا اول دسامبر ۲۰۰۰) برای صحت‌یابی مدل استفاده گردید. نتایج (شکل ۱۰ ب)) نشان از عملکرد قابل قبول مدل در شبیه‌سازی رواناب دارد.

که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، مدل‌های مختلف در تخمین میزان تغییر بارش دوره آتی نسبت به پایه هماهنگ نبوده و برخی از مدل‌ها بارش دوره آتی را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کمتر نشان می‌دهند. با این وجود می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی حوضه، در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ شاهد افزایش بارندگی عمدتاً برای فصل پاییز و کاهش آن برای فصل تابستان بوده و همچنین محدوده تغییرات بارش برای سناریوی A2 بین ۹۳- تا ۱۳۹٪ و برای سناریوی B2 بین ۶۱- تا ۱۵۷٪ خواهد بود. در این میان مدل CCSR-NIES در مقایسه با سایر مدل‌ها، دارای بیشترین دامنه نوسان میزان بارش آتی نسبت به پایه بوده و مدل‌های HadCM3 و CGCM2 دارای کمترین دامنه نوسان برای سناریوی A2 و مدل CGCM2 دارای کمترین دامنه نوسان برای B2 می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، گرچه مدل CGCM2 در دوره پایه بارشی بیشتر از مشاهداتی تولید کرده ولی در دوره آتی نسبت به سایر مدل‌ها تغییرات کمتری برای بارش در نظر دارد.

۳-۳- تحلیل عدم قطعیت

به‌منظور تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، لازم است تا پس از تعیین محدوده‌های سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی ماهانه، هر یک از سناریوها براساس روش میانگین مشاهداتی دما و بارندگی (رابطه (۵)) وزن دهی شده و pdfهای ماهانه این دو متغیر محاسبه شوند. مقادیر وزن‌دهی برای متغیرهای دما و بارش در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است.

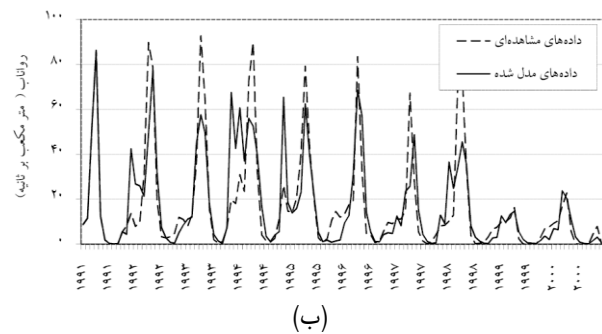
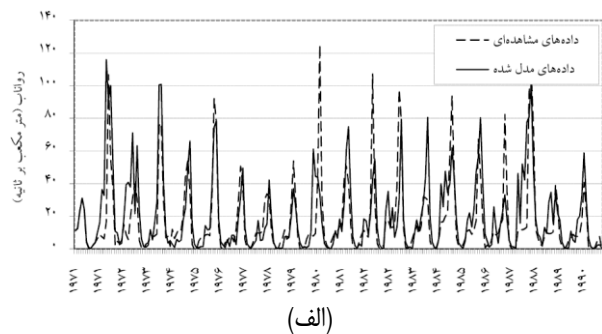


(الف)

مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل‌ها بیشترین وزن را برای هر دو متغیر دما و بارش در هر دو سناریوی A2 و B2 به خود اختصاص داده است. همچنین مدل CCSR-NIES کمترین وزن را برای دما و مدل CGCM2 کمترین وزن را برای بارش در سناریوهای A2 و B2 اختیار کرده است. بنابراین مدل HadCM3 می‌تواند بیشترین تأثیر را بر بارش و دما و نهایتاً بر رواناب منطقه طرح داشته باشد. پس از مشخص شدن pdfهای سناریوهای تغییر اقلیم منطقه طرح، با

شکل ۹- وزن دهی به مدل های مختلف AOGCM برای متغیر بارندگی برای سناریوی A2 (الف) و B2 (ب)

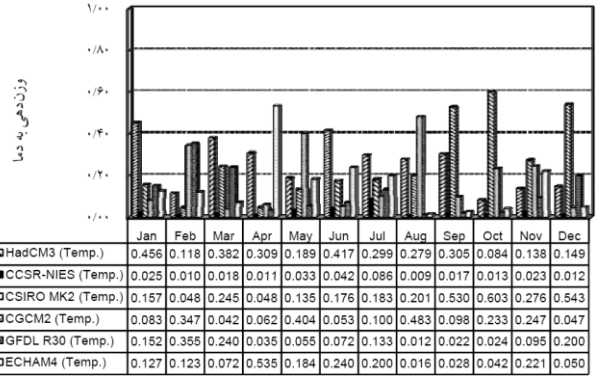
همچنین نتایج نشان می دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ به میزان ۱/۷۳ متر مکعب بر ثانیه در A2 و ۰/۴۴ متر مکعب بر ثانیه در B2 نسبت به دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ افزایش نشان می دهد (جدول ۴). این افزایش رواناب در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ برای سناریو A2 بیشتر از سناریوی B2 خواهد بود. همچنین نتایج نشان می دهد که میزان ضریب تغییرات دبی نیز در دوره های آبی کاهش خواهد یافت. به گونه ای که میزان کاهش آن در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره مشاهداتی برای سناریوهای A2 و B2 به ترتیب برابر ۲۶/۸ و ۲۸/۱ درصد می باشد. از طرف دیگر تغییرات جریان، محدود به میانگین و ضریب تغییرات نشده و توزیع سالانه جریان را نیز در بر خواهد گرفت که این مهم در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- مقایسه رواناب مشاهداتی حوضه با رواناب مدل شده در دوره واسنجی (الف) و صحت یابی (ب)

جدول ۴- پارامترهای آماری سالانه دبی تحت سناریوهای A2 و B2

دوره	پارامتر آماری	دبی (m ³ /s)	دبی (m ³ /s)
۱۹۷۱-۲۰۰۰	میانگین	۱۷/۳۲	۱۷/۳۲
	انحراف معیار	۱۹/۵۷	۱۹/۵۷
	ضریب تغییرات	۱۱۲/۹۹	۱۱۲/۹۹

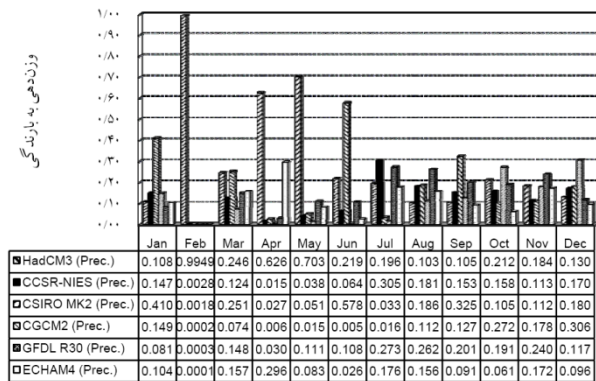


(ب)

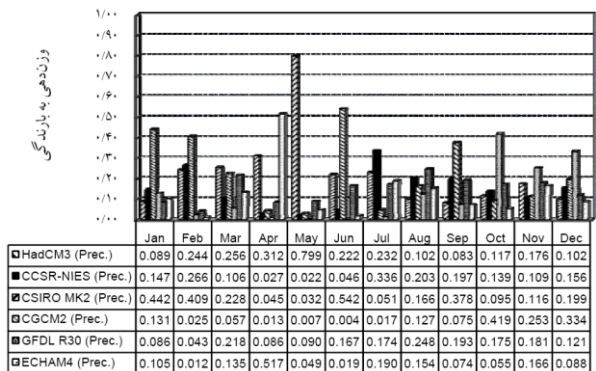
شکل ۸- وزن دهی به مدل های مختلف AOGCM برای متغیر دما برای سناریوی A2 (الف) و B2 (ب)

۳-۵- بررسی رواناب حوضه در دوره آبی

پس از واسنجی مدل برای هر یک از سناریوهای A2 و B2، تعداد ۲۰۰۰ سری رواناب ماهانه حوضه برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ برای نمونه های دما و بارش تولید شده از مراحل قبل، شبیه سازی گردید. سپس متوسط رواناب ماهانه درازمدت (۳۰ ساله) برای ۲۰۰۰ نمونه در دوره آبی با متوسط رواناب ماهانه دوره مشاهداتی در دو سناریوی فوق مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۱۱ ارائه گردیده است.



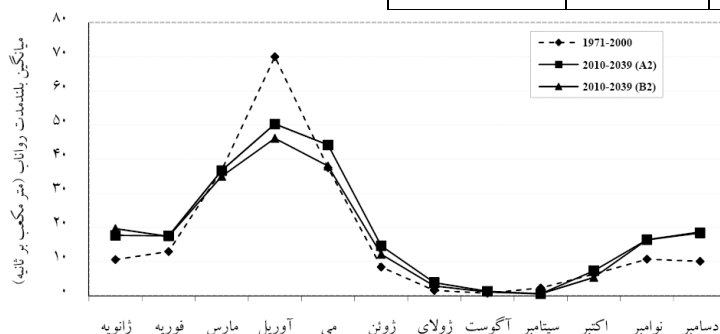
(الف)



(ب)

۸۱/۱۹	۸۲/۶۸	ضریب تغییرات	
-------	-------	--------------	--

B2	A2	سناریو	
۱۷/۷۶	۱۹/۰۵	میانگین	۲۰۱۰-۲۰۳۹
۱۴/۴۲	۱۵/۷۵	انحراف معیار	



شکل ۱۱- میانگین درازمدت ماهانه رواناب، طی دوره مشاهده شده و دوره‌های تغییرات اقلیمی سناریوی A2 و B2

میزان کاهش آن در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی برای سناریوهای A2 و B2 به ترتیب برابر ۲۶/۸ و ۲۸/۱ درصد می‌باشد.

به‌طور کلی در این تحقیق یک روش جدید برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب یک حوضه با لحاظ کردن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM (به‌وسیله وزن‌دهی آن‌ها) و سناریوهای A2 و B2 ارائه شده است. در این تحقیق عدم قطعیت مربوط به روش‌های مختلف کوچک مقیاس کردن در محاسبات لحاظ نگردیده است. این امر می‌تواند بر محدوده تغییرات رواناب تأثیرگذار باشد. لحاظ کردن این منبع عدم قطعیت به همراه عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM و ارائه روش‌های وزن‌دهی دیگر برای منابع عدم قطعیت احتیاج به ارائه یک متدولوژی جدید دارد که محقق این مقاله در حال تحقیق در این زمینه می‌باشند.

پی‌نوشت‌ها

- ۱- Atmospheric- Ocean General Circulation Model
- ۲- Intergovernmental Panel of Climate Change
- ۳- Emission Scenarios
- ۴- Downscaling
- ۵- Special Report on Emission Scenarios
- ۶- Climate Change Scenario
- ۷- Noise
- ۸- Bayesian Approach
- ۹- Prior Probability Distribution
- ۱۰- Likelihood
- ۱۱- Posterior Probability Distribution
- ۱۲- Probability Distribution Function
- ۱۳- Mean Observed Temperature-Precipitation
- ۱۴- Non- Linear Loss Module
- ۱۵- Linear Unit Hydrograph Module
- ۱۶- GCM- Retrieve Data Program

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه رودخانه قرقو واقع در استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با لحاظ نمودن عدم قطعیت‌های مربوط به مدل‌های مختلف AOGCM و تحت سناریوهای A2 و B2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

- با بررسی سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی از داده‌های مدل‌های AOGCM نشان می‌دهد که دمای حوضه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ برای سناریوی A2 بین ۰/۲ تا ۳ و برای B2 بین ۰/۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. این در حالی است که حوضه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ شاهد افزایش بارندگی عمدتاً برای فصل پاییز و کاهش آن برای فصل تابستان بوده و همچنین محدوده تغییرات بارش برای سناریوی A2 بین ۹۳- تا ۱۳۹٪ و برای سناریوی B2 بین ۶۱- تا ۱۵۷٪ خواهد بود.

- نتایج حاصل از وزن‌دهی مدل‌های AOGCM نشان داد که مدل HadCM3 بیشترین وزن را در شبیه‌سازی متغیر دما و بارش برای دو سناریوی A2 و B2 دارا می‌باشد.

- پس از وزن‌دهی مدل‌ها با استفاده از روش مونت کارلو ۲۰۰۰ نمونه از pdfهای ماهانه دما و بارندگی تولید و ضمن معرفی به مدل IHACRES، ۲۰۰۰ سری رواناب ماهانه برای حوضه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره آتی به میزان ۱/۷۳ متر مکعب بر ثانیه در A2 و ۰/۴۴ متر مکعب بر ثانیه در B2 نسبت به دوره مشاهداتی افزایش نشان می‌دهد. این افزایش رواناب برای سناریوی A2 بیشتر از سناریوی B2 خواهد بود. همچنین میزان ضریب تغییرات دبی نیز در دوره‌های آتی کاهش خواهد یافت. به‌گونه‌ای که

Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.

IPCC, (۲۰۰۷), "Climate Change ۲۰۰۷: The Physical Science Basis," *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp ۹۹۶.

Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M., (۱۹۹۳), "How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-Runoff Model?," *Water Resources Research*, ۲۹(۸), pp. ۲۶۳۷-۲۶۴۹.

Jiang, T., Chen, Y.D., Xu, Ch., Chen, Xi. and Singh, V.P., (۲۰۰۷), "Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China," *Journal of Hydrology*, ۳۳۶: pp. ۳۱۶-۳۳۳.

Katz, R.W., (۲۰۰۲), "Techniques for estimating uncertainty in climate change scenarios and impact studies," *Climate Research*, ۲۰: pp. ۱۶۷-۱۸۵.

Jones, P.D. and Hulme, M., (۱۹۹۶), "Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations," *International Journal of Climatology*, ۱۶(۴), pp. ۳۶۱-۳۷۷.

Minville, M., Brissette, F. and Leconte, R., (۲۰۰۸), "Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed," *Journal of Hydrology*, ۳۵۸: pp. ۷۰-۸۳.

New, M. and Hulme, M., (۲۰۰۰), "Representing uncertainty in climate change scenario: a Monte-Carlo approach," *Integrated Assessment*, ۱: pp. ۲۰۳-۲۱۳.

Purkey, D.R., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M.W., Dale, L.L., Yates, D. and Dracup, J.A., (۲۰۰۷), "Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley," *Climatic Change*, ۸۷: pp. ۱۰۹-۱۲۲.

۱۷- Coefficient of Correlation

۱۸- Root Mean Square Error

۱۹- Mean Absolute Error

۵- مراجع

آشفته, پ., (۱۳۸۷), "آنالیز عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم بر رژیم سیلاب با رویکرد بیزی; مطالعه موردی حوضه آیدوغموش, آذربایجان شرقی", پایان نامه دوره کارشناسی ارشد, گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران.

قربانی واقعی, ح. مساح بوانی, ع. ر. و بهرامی, ح., (۱۳۸۷), "ارزیابی عملکرد مدل های AOGCM در شبیه سازی داده های اقلیمی بندرانزلی", سومین کنفرانس منابع آب ایران, ۲۳ تا ۲۵ مهر ماه ۱۳۸۷, تبریز.

مهندسین مشاور یکم, (۱۳۸۵), "گزارش هواشناسی مطالعات طراحی کشاورزی آیدوغموش".

مساح بوانی, ع. مرید, س. و محمد زاده, م., (۱۳۸۵ الف), "وضعیت آینده اقلیم حوضه زاینده رود تحت تأثیر تغییر اقلیم: مقایسه ای بین سناریوهای مدل های مختلف AOGCM", دومین کنفرانس منابع آب ایران, ۳ و ۴ بهمن ماه ۱۳۸۵, اصفهان.

مساح بوانی, ع. و مرید, س. و محمد زاده, م., (۱۳۸۵ ب), "بررسی تأثیر عدم قطعیت در توزیع تجمعی احتمالاتی رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم", دومین کنفرانس منابع آب ایران, ۳ و ۴ بهمن ماه ۱۳۸۵, اصفهان.

Christensen, N. and Lettenmaier, D.P., (۲۰۰۶), "A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin," *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, ۳(۶), pp. ۳۷۲۷-۳۷۷۰.

Giglioli, N. and Saltelli, A., (۲۰۰۳), Simlab ۲,۲, Software for sensitivity and uncertainty analysis. *Simlab Manual*, Joint Research Centre European Commission.

IPCC-DDC, (۱۹۸۸). <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>.

IPCC-TGCI, (۱۹۹۹), *Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*. eds. Carter, T.R., Hulme, M. and Lal, M., Version ۱, ۶۹pp. Intergovernmental Panel on

Wilby, R.L. and Harris, I., (۲۰۰۶), "A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK," *Water Resources Research*, ۴۲(۲), pp, ۱-۱۰.

Steele- Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, Sh., Hanafin, J. and Nolan, P., (۲۰۰۸), "The impacts of climate change on hydrology in Ireland," *Journal of Hydrology*, ۳۵۶(۱-۲), pp, ۲۸-۴۵.