مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۶/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۱/۲۶
صفحات: ۱۰۴-۸۹

مدلسازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز

عطاالله کاویان*[۱]، مریم نامدار[۲]، محمد گلشن[۳]، معصومه بحری[۴]

چکیده

تغییر اقلیم بر روی کمبود دبی جریان رودخانه، سیلاب‌ها و زوال سیستم آبی تأثیر دارد که با پیش‌بینی آن می‌توان مدیریت بهتری بر روی منابع آبی داشت. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های AOGCM و عدم‌قطعیت مربوط به آن‌ها روند تغییر اقلیم حوضه آبخیز هراز برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با سناریو انتشار A2 بررسی شد که در این راستا از شش مدل اقلیمی در ایستگاه‌های بلده و رینه استفاده شد. حوضه آبخیز هراز با مساحت ۴۰۱۲ کیلومتر مربع در استان مازندران واقع شده است. برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان خروجی حوضه از مدل توزیعی SWAT استفاده شد، این مدل به تغییرات زمین و آب و هوا حساس می‌باشد. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل از دبی جریان در دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ استفاده شد. بعد از اطمینان از کارایی مدل، میزان تغییرات اقلیمی ریزمقیاس شده توسط مدل‌های مطالعاتی برای هر یک از فاکتورهای اقلیمی ورودی به مدل SWAT اعمال و تغییرات رواناب در دوره‌های آتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه برای دوره آتی به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و متوسط بارندگی سالانه برای منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج مقایسه دبی جریان‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که میزان دبی اوج برای دوره آتی افزایش خواهد یافت، درحالی‌که متوسط دبی جریان رودخانه به‌مقدار ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین لازم است جهت جلوگیری از مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی طولانی مدت به تغییرات اقلیمی نیز توجه شود.

واژگان کلیدی: رواناب، تغییر اقلیم، رودخانه هراز، HadCM3، SWAT.

۱- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری(نویسنده مسئول) a.kavian@sanru.ac.ir
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری m.namdar11@yahoo.com
۳- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری m.golshan@sanru.ac.ir
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد masomeh.bahri@yahoo.com

مقدمه

سیستم اقلیم در طول زمان تحت تأثیر محرک‌ها و بازخوردهای زیادی بین مؤلفه‌های سامانه اقلیم و عوامل خارجی شامل فوران‌های آتشفشانی، تغییرات ناشی از دخالت بشر و همچنین تغییرات حاصل از تابش خورشید می‌باشد (محمدیان، ۱۳۹۴). تغییر اقلیم باعث تغییر در میزان، زمان و نوع بارش، افزایش خشکسالی، افزایش تقاضا برای آب، تغییر در نوع مدیریت منابع آب و همچنین افزایش سطح آب دریاها و مشکلات ناشی از آن می‌شود. پژوهشگران و اقلیم شناسان در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش کلی زمین و به‌دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین را مهمترین نگرانی موجود می‌شمارند (معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱). پیش‌بینی تغییرات اقلیم یکی از راهکارهای مدیریتی است که به برنامه‌ریزی صحیح جهت استفاده از منابع محدود آب کمک شایانی می‌کند (بارو و یو، ۲۰۰۵؛ معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱).

برخی محققان اذعان داشته‌اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش همزمان تبخیر و تعرق و بارش به تسریع چشمگیر چرخه آب کمک نموده که خود منشاء بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (آندرایدز و لتنمایر، ۲۰۰۶). به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو برای بازسازی اقلیم گذشته یا پیش‌بینی اقلیم آینده، این قبیل مدل‌ها را به مدل‌های اقلیم جهانی (GCM[1]) معروف نموده است. هدف مدل‌های GCM محاسبه همه شاخص‌های سه بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است. همه عوامل اقلیمی قابل توجه، در مدل‌های گردش عمومی جو منظور شده است و خود بر سه نوع، گردش عمومی جو (AGCM[2])، گردش عمومی اقیانوس (OGCM[3]) و مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس - جو (AOGCM[4]) تقسیم می‌شوند. در مدل‌های گردش عمومی جو معادلات توضیح دهنده تکامل زمانی دما، باد، بارش، بخار آب و فشار در ارتباط با لایه نازک اتمسفر (حدود۵۰ متر) می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۳). مدل‌های HadCM3، HadGEM، INCM3، IPCM4، NCCCSM و NCPCM از مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر می‌باشند که در سال‌های اخیر به‌طور وسیع به‌منظور برنامه‌ریزی برای منابع آب و مدیریت استفاده می‌شود (اشرف، ۱۳۹۰؛ پروانه و همکاران، ۱۳۹۴؛ بیوی، ۲۰۱۳).

اعتماد به نتایج مدل‌ها تا حد زیادی متفاوت است و به‌طور عمده به روش‌ها و ساختار سناریو اقلیمی و مدل هیدرولوژیک بستگی دارد. با استفاده از داده‌های جهانی اگر دمای کره زمین به میزان یک درجه افزایش یابد، رواناب در مقیاس جهانی ۴ درصد افزایش می‌یابد (کالکیک و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای سید قاسمی و همکاران (۱۳۸۵) اثرات تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای را بر مقدار بارندگی و دما با مدل GCM پیش‌بینی و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تأثیر این تغییرات را در جریان رودخانه زاینده رود بررسی کرداند، نتایج شبیه‌سازی برای دوره‌های مورد بررسی کاهش جریان در ماه‌های اردیبهشت و خرداد و انتقال پیک جریان به ماه‌های دی و فروردین را نشان می‌دهد. قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر

[1]- Global circulation model
[2]- Atmosphere General Circulation Model
[3]- Ocean General Circulation Model
[4]- Atmosphere Ocean General Circulation Model

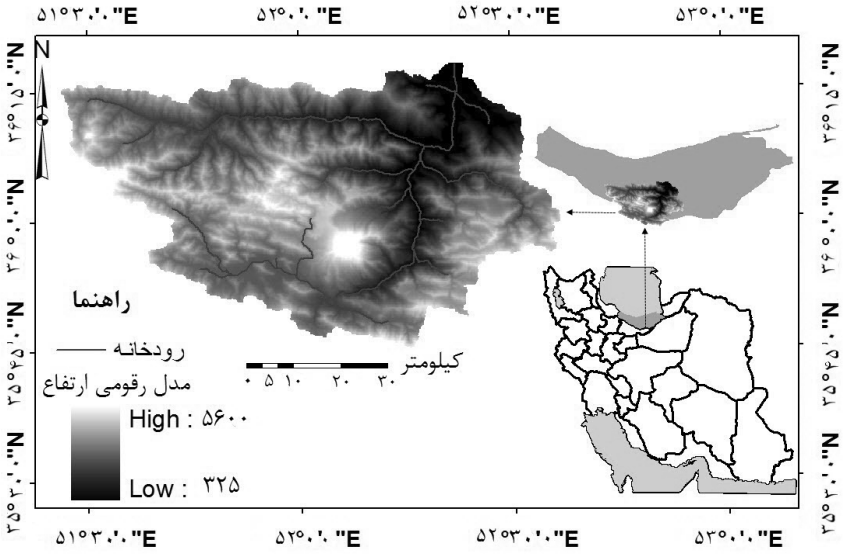
تحت سناریو A2 اقدام به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز پایاب شهرچای نمودند و با استفاده از مدل یکپارچه IHACRES تغییرات اقلیمی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که متوسط دبی برای دوره آتی ۱۰/۵ درصد کاهش خواهد یافت. همین‌طور در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر دبی جریان می‌توان مطالعات نیکبخت‌شهبازی و همکاران (۱۳۹۵)، دستورانی و همکاران (۱۳۹۱) و آذری و همکاران (۱۳۹۲) را بیان کرد. در مطالعات خارج از کشور نیز مولینا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل SWAT به بررسی اثرات منفی تغییرات اقلیمی بر منابع آب ترکیه پرداختند، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تمام مولفه‌های رژیم آبی کاهش یافته در نتیجه تنش آبی و دما افزایش یافته است. پیراس و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری، تأثیر تغییر اقلیم بر بارندگی و دبی اوج مناطق مدیترانه‌ای را بررسی کرداند، نتایج نشان داد که استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی کارایی بالایی دارند. همچنین می‌توان به مطالعات تان و همکاران (۲۰۱۵) در رودخانه جوهار مالزیا و بیگر و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه‌های کوهستانی چین در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه اشاره کرد. البته باید به این مهم توجه داشت که ارزیابی حساسیت مدل به تغییرات آب و هوایی لزوماً یک طرح از عواقب احتمالی تغییرات آب و هوایی را ارائه نمی‌دهد، با این حال، چنین مطالعاتی بینش ارزشمندی را در حساسیت سیستم‌های هیدرولوژیکی در آینده به تغییرات اقلیم فراهم می‌کنند (ژانگ و چانگ، ۲۰۱۱).

حوضه آبخیز هراز دارای وسعت زیادی بوده و با متوسط آبدهی ۳۱/۱۰ مترمکعب برثانیه (کاویان و همکاران، ۱۳۹۴) پرآب‌ترین رودخانه در استان مازندران به حساب می‌آید. از این رو تحقیق در درک و پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی حوضه بر روند تغییرات جریان رودخانه حائز اهمیت می‌باشد و نقش مهمی در مدیریت منابع آب حوضه دارا می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل تغییر اقلیم LARS-WG تغییرات بارندگی و دمای حوضه آبخیز هراز ارزیابی شد و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تأثیر این تغییرات بر روند دبی جریان مطالعه شد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین '۴۳ °۵۱ تا '۳۶ °۵۲ طول شرقی و بین '۴۵ °۳۵ تا '۲۲ °۳۶ عرض شمالی و در جنوب استان مازندران واقع شده است (شکل۱). وسعت حوضه آبخیز هراز بالغ بر ۴۰۱۲ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط دمای سالانه حدود ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط میزان بارندگی سالانه طولانی مدت از حداقل ۳۰۲ میلی‌متر در بخش تقریباً مرکزی حوضه تا حداکثر ۱۰۶۹ میلی‌متر در بخش شرقی حوضه در نوسان است.



شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی

مدل هیدرولوژیکی SWAT

در این تحقیق مدل توزیعی SWAT (ver.2012) بر پایه روابط فیزیکی و تجربی برای شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه هراز مورد استفاده قرار گرفت. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی پیوسته و توزیعی است که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی، سازمان کشاورزی آمریکا (USDA ARS) در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسعه یافته است، مؤلفه‌های اصلی مدل SWAT شامل هیدرولوژی، اقلیم و چرخه نیترات می‌باشد (نیتچ، ۲۰۰۵).

تشریح پایگاه داده‌ها و اجرای مدل

داده‌های مکانی مدل SWAT شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلول ۳۰ متری، نقشه کاربری اراضی (نوع کاربری با کد مربوطه: مراتع علفی (RNGE)، مراتع بوته‌ای (RNGB)، مزارع آبی (AGRR)، مزارع دیم (AGRC)، جنگل (FRST)، بایر (EXPS))، نقشه خاک با ۵۷ نوع خاک (براساس گروه هیدرولوژیکی خاک، تعداد لایه‌های خاک، مواد آلی خاک و ..) وارد مدل شد. همچنین داده‌های آماری هواشناسی شامل بارندگی، درجه حرارت حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی و سرعت باد برای ۱۲ ایستگاه از سال آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بر پایه گام زمانی روزانه از اداره کل هواشناسی کشور تهیه شد. آمار رواناب مشاهداتی مربوط به ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ واقع در خروجی حوضه آبخیز هراز برای دوره زمانی مشابه (۲۰۱۴-۲۰۰۰) از شرکت آب منطقه‌ای مازندران تهیه شد.

آنالیز حساسیت، عدم قطعیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل

پارامترهای زیادی بر خروجی مدل تأثیر دارند که لازم است پارامترهایی که از حساسیت بیشتری برخوردارند مشخص و در دوره واسنجی مدل مورد توجه قرار گیرند. این مرحله از محاسبات توسط الگوریتم SUFI2 (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷) در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد. این الگوریتم مقدار حساسیت پارامترها را با استفاده از مقادیر p-value و t-state بعد از چندین بار اجرای مدل مشخص می‌کند که در این پژوهش برای تحلیل حساسیت پارامترها، تعداد ۴۰۰ تکرار انجام شد. هر مقدار که قدر مطلق t-state بیشتر و مقدار p-value نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. آمار آب-هواشناسی ورودی به مدل برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به فرمت مدل تهیه شد و با درنظر گرفتن ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی مدل و ۳۰ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل، دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ برای واسنجی مدل و دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شدند. به‌منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل از نمایه‌های آماری R^2 (ضریب تبیین)، ضریب NS[1] (ضریب نش-ساتکلیف) و RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) استفاده شد.

تولید سناریو تغییر اقلیم

مدل LARS-WG خود همبستگی بین داده‌های مشاهداتی را برای مدل‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش به کار می‌برد (سیمینو، ۲۰۰۲). شبیه‌سازی وقوع بارش نیز بر اساس سری‌های تر و خشک مدل می‌شود. در این مدل متغیرهای هواشناسی بزرگ مقیاس به‌صورت مستقیم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و متغیرهای اقلیمی ناحیه‌ای متناسب با منطقه مورد نظر جهت بررسی تغییرات اقلیمی تنظیم می‌گردند (خان‌محمدی، ۲۰۰۶). داده‌های بارش روزانه در ناحیه مورد نظر برای هر ماه با استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول مورد بررسی قرار می‌گیرند و داده‌های تاریخی جهت تعیین مشخصات آماری نظیر تعداد روزهای خشک و تر، میانگین و توزیع بارش‌های روزانه در هر ماه از سال به‌کار گرفته می‌شوند (کینگ و همکاران، ۲۰۱۵).

استفاده از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جو (AOGCM) معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند (لانی و همکاران، ۱۹۹۹، ویلبی و هاریس، ۲۰۰۶). عوامل مختلفی بر عدم‌قطعیت مدل‌سازی اقلیمی تأثیر گذار می‌باشند که ساختار دینامیکی مدل اقلیمی (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (نوبرگ و همکاران، ۲۰۱۱) از مهمترین عوامل می‌باشند. برای این‌منظور در این تحقیق از نتایج ۶ مدل اقلیمی HadCM3، HadGEM، INCM3، IPCM4، NCCCSM و NCPCM تحت سناریو A2 برای پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ استفاده شد، سناریو A2 به دلیل در نظر گرفتن رشد زیاد جمعیت

[1]- Nash Sutcliffe

و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی با دیدگاه منطقه‌ای در جهت تعیین میزان گاز گلخانه (IPPC، ۲۰۰۱) انتخاب شد. مشخصات مربوط به مدل‌های ریزمقیاس نمایی در جدول ۱ آورده شده است (ازلی، ۲۰۱۰).

جدول ۱: مشخصات مدل‌های اقلیمی مورد استفاده برای ریزمقیاس نمایی تغییرات اقلیمی

نام مدل اقلیمی جهانی	نام مخفف مدل	موسسه	کشور	تفکیک مکانی
HADCM3	HADCM3	مرکز اداره هواشناسی هادلی[1]	انگلستان	۵.۲ × ۷۵.۳°
HADGEM	HADGEM	دفتر هواشناسی اتحادیه مدل TM [2]	انگلستان	۲.۱ × ۸.۱°
INM-CM3	INCM3	ریاضیات عددی[3]	روسیه	۱ × ۵°
IPSL-CM4	IPCM4	پیر سیمون لاپلاس[4]	فرانسه	۵.۲ × ۷۵.۳°
CCSM3	NCCCSM	مرکز ملی جو[5]	آمریکا	۴.۱ × ۴.۱°
NCAR	NCPCM	مرکز ملی تحقیقات جوی[6]	آمریکا	۸.۲ × ۸.۲ °

فرآیند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث در قلمرو علوم محیطی می‌باشد (ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹). در این تحقیق مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه هواشناسی بلده و رینه از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ شد.

با توجه به‌اینکه در حوضه مورد مطالعه بین بالادست و پایین دست حوضه ۵۲۷۵ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد، یک ایستگاه در پایین دست و یک ایستگاه در بالادست حوضه به‌منظور بررسی و ریزمقیاس کردن روند تغییرات آب و هوا انتخاب شد سپس تأثیر تغییرات مشاهده شده بر ایستگاه‌های مجاور اعمال شد (جدول ۲). پس از مرتب‌سازی داده‌ها و ایجاد فایل‌های مورد نیاز، مدل‌ها برای دوره پایه اجرا شدند. مرحله صحت‌سنجی مدل متناسب با داده‌های ۲۰ ساله مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه شدند. در بخش واسنجی مدل، بعد از جمع‌آوری داده‌ها و آماده کردن آن‌ها برای دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۰)، مدل برای این دوره اجرا شد. در این تحقیق مدل اقلیمی به تعداد ۵ بار تکرار شد و نتایج به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله ارزیابی مدل، با استفاده از آماره‌های R^2، NS و RMSE داده‌های اقلیمی تولید شده توسط مدل‌های مطالعاتی و داده‌های مشاهده شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

[1]- Met Office Hadley Centre
[2]- Met Office Unified Model TM
[3]- Institute for Numerical Mathematics
[4]- Institute Pierre Simon Laplace
[5]- National Center for atmospheric
[6]- National Center for Atmospheric Research

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ایستگاه مرجع	ایستگاه‌های تحت تأثیر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
بلده (پایین دست حوضه)	بلده	۵۷۱۷۳۵	۴۰۰۵۵۷۶	۷۸۳۱
	چمستان	۶۰۰۳۸۷	۴۰۳۷۳۰۵	۱۵۰
	گت کلا	۶۳۴۷۰۸	۴۰۰۶۴۶۳	۱۶۴۰
	کدیر	۵۷۰۶۳۸	۴۰۳۴۱۰۱	۱۲۵۰
	کره سنگ	۶۲۲۶۹۲	۴۰۱۸۰۸۷	۲۲۰
	پنجاب	۶۱۴۳۶۲	۳۹۹۵۴۸۲	۸۶۰
	رزن	۶۰۶۱۱۶	۴۰۰۶۴۶۹	۱۲۴۰
	شیخ موسی	۶۴۰۴۹۹	۳۹۹۷۲۷۷	۱۵۰۰
رینه (بالادست حوضه)	رینه	۵۹۶۲۵۹	۳۹۴۳۳۸۳	۲۲۴۰
	ناندل	۶۰۶۶۰۸	۳۹۸۸۲۹۴	۲۴۰۰
	لاسم	۶۰۸۴۰۵	۳۹۶۴۲۷۹	۲۴۰۰
	اندوار	۶۳۲۰۸۰	۳۹۹۲۳۳۹	۲۰۰۰

شبیه‌سازی تغییرات روند هیدرولوژیکی با مدل SWAT

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی رژیم جریان هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در مدل SWAT با تغییر در ورودی‌های مدل قابل شبیه‌سازی است. مدل توزیعی این کارایی را دارد تا در هر زیرحوضه متناسب با خروجی‌های مدل‌های GCM میزان تغییرات بارندگی، دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش خورشید، رطوبت و سطح دی‌اکسید کربن را اعمال کند (آرنولد و همکاران، ۲۰۰۹). روابط مورد استفاده برای اعمال کردن مقدار تغییرات بارش، دمای حداقل و حداکثر، مطابق روابط زیر می‌باشد (رضایی‌زمان و همکاران، ۱۳۹۲):

معادله (۱) $$T_{mx} = T_{mx} + adj_{tmp}$$

معادله (۲) $$T_{mn} = T_{mn} + adj_{tmp}$$

معادله (۳) $$R_{day} = R_{day}.\left(1 + \frac{adj_{pcp}}{100}\right)$$

که R_{day} مقدار بارندگی در زیرحوضه بر حسب میلی‌متر، adj_{pcp} درصد تغییرات در بارندگی، T_{mx} دمای حداکثر روزانه بر حسب درجه سلسیوس، adj_{tmp} تغییر در دما و T_{mn} دمای حداقل روزانه بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد. این تغییرات به‌طور ماهیانه در مدل SWAT اعمال شد.

نتایج و بحث

مدل SWAT با استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کره سنگ و پارامترهای حساس واسنجی و صحت‌سنجی شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی در جدول ۳ آورده شده است. به منظور واسنجی مدل توسط الگوریتم SUFI2 از پارامترهای حساس در منطقه مطالعاتی استفاده شد در جدول ۴ بازه مقادیر

پارامترها و مقادیر بهینه مشخص شده، نشان داده شده است. شکل ۲ نتایج حاصل از اجرای مدل برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه، در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ را برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. متوسط دبی شبیه‌سازی شده برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ برابر با ۲۸/۹۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که به متوسط دبی اندازه‌گیری شده (۲۷/۴۳ مترمکعب بر ثانیه) نزدیک می‌باشد و مقدار دبی شبیه‌سازی شده برای اکثر دوره زمانی در محدوده عدم‌قطعیت ۹۵ درصد قرار دارد.

همچنین مدل زمان وقوع دبی اوج و مقادیر دبی اوج را به‌طور مناسبی شبیه‌سازی کرده است به‌طوری‌که با زمان رخداد بارندگی شدید مطابقت دارد. طبق نتایج حاصله بیشترین مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده برابر با ۸۷/۹۴ متر مکعب در ماه ژوئن سال ۲۰۰۵ می‌باشد که بیشترین مقدار دبی اوج اندازه‌گیری شده در این تاریخ برابر با ۸۰ متر مکعب بر ثانیه و مقدار بارندگی برابر با ۱۰۲ میلی‌متر می‌باشد. کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی اوج در مطالعات ین و همکاران (ویلبی و هاریز، ۲۰۰۶: ۸۶)، کالکیک و همکاران (۲۰۱۵) و بیگر و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان شده است. در شکل ۳ پراکنش مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل بر روی خط ۱:۱ نشان داده شده است. نمایه‌های آماری نشان داد که مدل از دقت بالایی برای شبیه‌سازی رواناب منطقه برخوردار می‌باشد (جدول ۵).

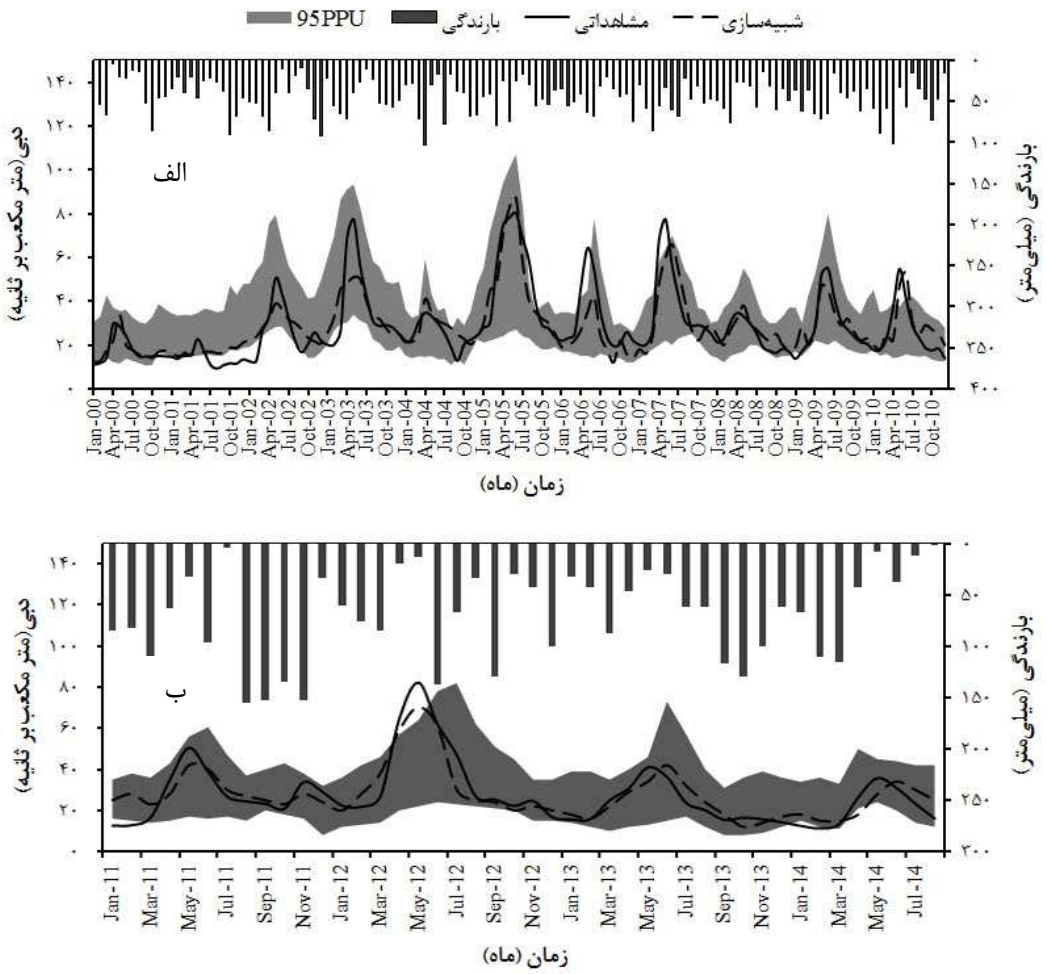
جدول ۳: پارامترهای مورد مطالعه برای تحلیل حساسیت با استفاده از الگوریتم SUFI2

پارامتر	توضیحات	t-Stat	P-Value
r__LAT_TTIME.hru	زمان تأخیر جریان زیرسطحی (day)	۰/۵۱	۰/۷۳
v__SMFMX.bsn	نرخ ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mm/day)	۰/۶۸	۰/۷۲
r__SOL_AWC().sol	نرخ ظرفیت رطوبت خاک (mmH2O/mm Soil)	۰/۸۳	۰/۶۸
r__SLOPE	شیب متوسط زمین در هر HRU	۰/۹۵	۰/۵۳
v__GW_REVAP	ضریب صعود مویینگی از سفره کم عمق	۱/۰۸	۰/۲۶
r__EPCO.hru	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه	۱/۲۸	۰/۲۳
v__Rchrg_Dp	درصد تغذیه سفر عمیق از سفره سطحی	۱/۳۹	۰/۲
v__REVAPMN	حداقل مقدار آب برای تبخیر آب زیرزمینی (mm)	۱/۴۲	۰/۱۶
r__Sol_Alb	ضریب بازتاب لایه خاک	۱/۴۶	۰/۱۴
v__CH_N2	ضریب مانینگ رودخانه	۱/۵۴	۰/۱
v__SURLAG	ضریب تأخیر رواناب سطحی (روز)	۱/۶۷	۰/۱
v__SFTMP	متوسط دمای هوا برای بارش برف (c۰)	۱/۸۹	۰/۰۱
v__ALPHA_BF	پارامتر آلفا در جریان پایه (روز)	۲/۶۵	۰/۰۲۲
v__TIMP	فاکتور تأخیر دمای فشرده سازی برف	۲/۳۷	۰/۰۲۶
v__SMTMP	دمای پایه ذوب توده برف (c۰)	۳/۵۳	۰/۰۰۱
r__ESCO	فاکتور جبران تبخیر خاک	۴/۲۳	۰/۰۰۲
v__CH_K2	هدایت هیدرولیکی مؤثر (mm/hr)	۴/۴۸	۰/۰۰۰۳
v__ALPHA_BNK	ضریب تخلیه کانال (day)	۴/۷۸	۰
r__SOL_BD	چگالی توده خاک (gr/cm3)	۵/۳۴	۰
r__CN2	شماره منحنی	۶/۱۲	۰

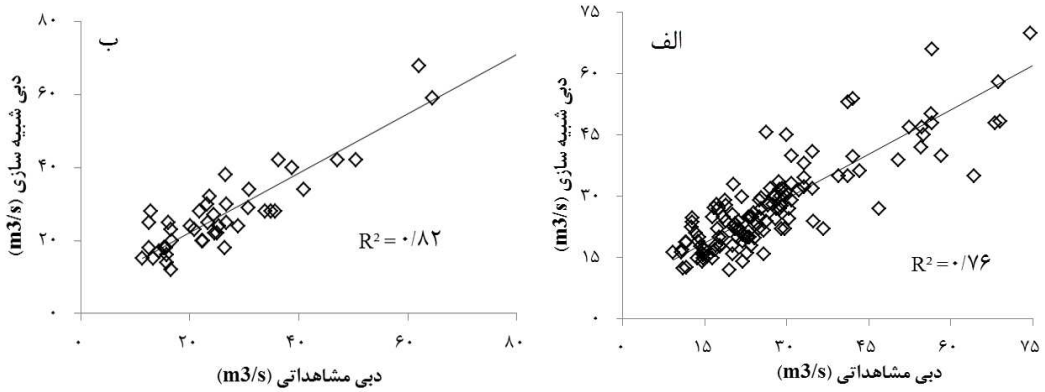
v- به‌معنای جایگزین کردن مقادیر موجود با مقدار داده شده و r به‌معنای ضرب کردن مقادیر موجود پارامتر در (۱+) مقدار داده شده است.

جدول ۴: پارمترهای واسنجی و مقدار بهینه آن‌ها برای حوضه آبخیز هراز با استفاده از الگوریتم **SUFI2**

پارامتر	مقدار	حداقل	حداکثر
SMTMP	۰/۴۵	۰	۲
ESCO	۰/۶۸	۰	۱
CH_K2	۴۸/۴۲	۰/۰۱	۳۰۰
ALPHA_BNK	۰/۰۱	۰	۱
SOL_BD	۱/۵	۰/۹	۲/۵
CN2	۳/۹۲	۰/۴	۸



شکل ۲: نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب در دوره: الف) واسنجی ب) صحت‌سنجی



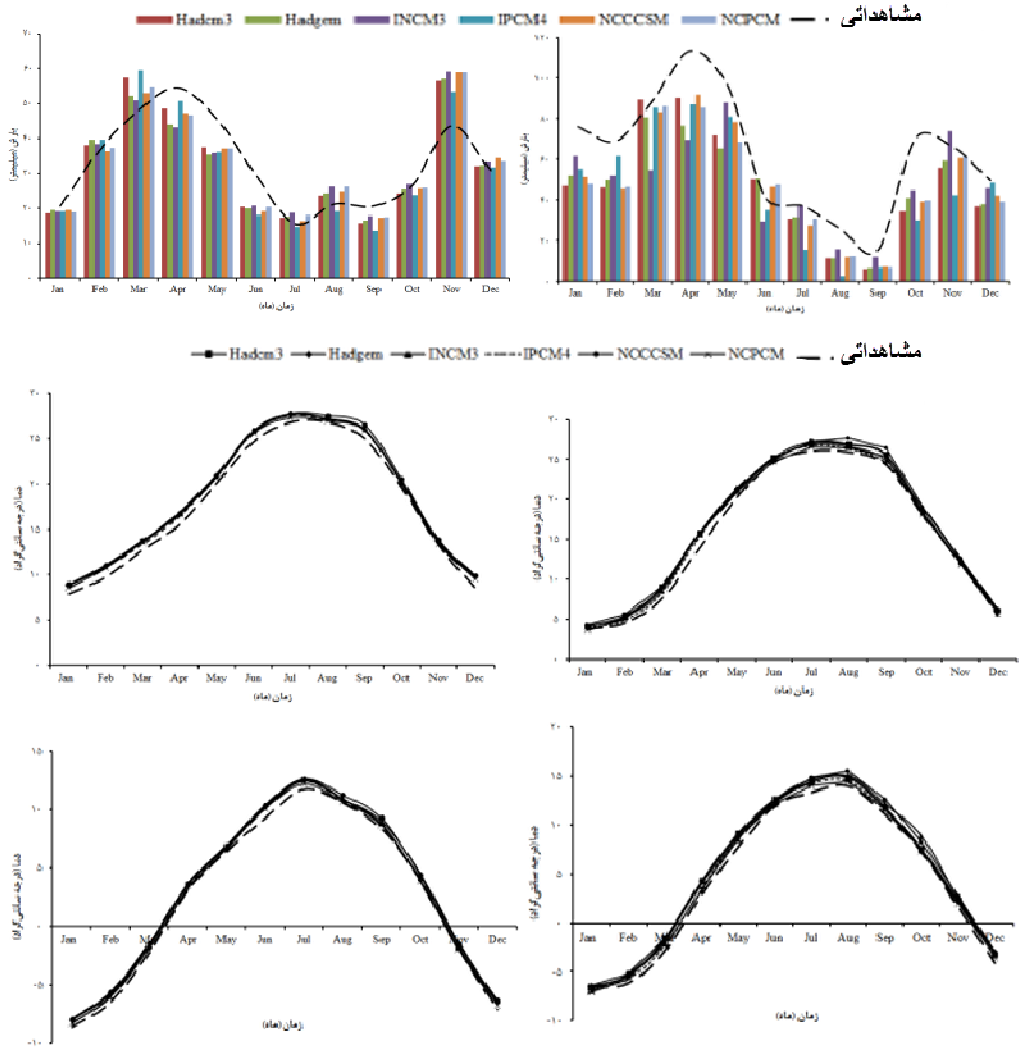
شکل ۳: ضریب تبیین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره: الف) واسنجی ب) صحت‌سنجی

جدول ۵: ارزیابی کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه هراز

دوره	نمایه‌های آماری		
	NS	R^2	RMSE
واسنجی	۰/۷۳	۰/۷۶	۶/۵۲
صحت‌سنجی	۰/۷۸	۰/۸۲	۱۶/۵

تأثیر تغییر اقلیم بر متغییرهای اقلیمی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر میانگین بارش سالانه برای ایستگاه‌های هواشناسی بلده و رینه برای دوره پایه (۱۹۹۰–۲۰۱۰) به‌ترتیب ۳۹۴ و ۵۴۷ میلی‌متر می‌باشد. همچنین کمینه بارش سالانه برای منطقه ۳۴۲ میلی‌متر در سال ۲۰۱۰ و بیشینه بارش سالانه ۶۹۵ میلی‌متر در سال ۱۹۹۶ می‌باشد. شکل ۴ نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی داده‌های دما و بارش با استفاده از مدل‌های مطالعاتی را برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نشان می‌دهد. با توجه به مطالعات انجام شده (جاهد و همکاران، ۱۳۹۰؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲) آماره‌های خطاسنجی مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی در هریک از ایستگاه‌های مطالعاتی تعیین شد که نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ نشان داده شده است. نمایه‌های آماری نشان می‌دهند که مدل‌های مورد مطالعه در هر دو ایستگاه از قابلیت خوبی برای ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی حوضه آبخیز هراز برخوردار می‌باشد.



شکل ۴: نتایج ریز مقیاس کردن داده‌های هواشناسی با مدل‌های مطالعاتی (سمت راست ایستگاه رینه؛ چپ ایستگاه بلده)

جدول ۶: آماره‌های خطاسنجی متغیرهای هواشناسی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (۲۰۳۰-۲۰۱۱)

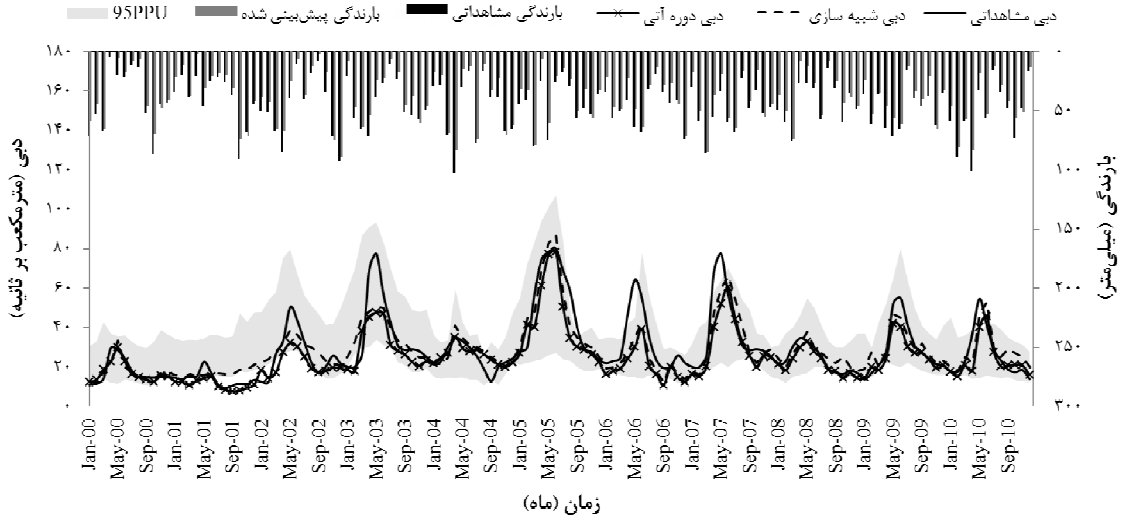
ایستگاه	مدل اقلیمی	میانگین بارش ماهانه			میانگین دمای حداقل ماهانه			میانگین دمای حداکثر ماهانه		
		R^2	RMSE	NS	R^2	RMSE	NS	R^2	RMSE	NS
بلده	HADCM3	۰/۹۱	۳/۱	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۲	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۳	۰/۸۸
	HADGEM	۰/۸۹	۲/۶	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۲۹	۰/۹۲
	INCM3	۰/۹۲	۳/۹	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۸۷	۰/۷۸	۰/۳۴	۰/۷۵
	IPCM4	۰/۸۵	۳/۴	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۲۵	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۲۵	۰/۸۶
	NCCCSM	۰/۸۸	۲/۶	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۴	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۳	۰/۹۶
	NCPCM	۰/۷۸	۴/۸	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۳۶	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۳۷	۰/۸۴
رینه	HADCM3	۰/۸۴	۶/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۳۳	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۳۲	۰/۸۹
	HADGEM	۰/۸۶	۳/۸	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۳۷	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۴	۰/۹۲
	INCM3	۰/۹۴	۴/۵	۰/۷۹	۰/۹۴	۰/۲	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۳	۰/۸۸
	IPCM4	۰/۸۸	۲/۸	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۳۲	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۲۴	۰/۹۴
	NCCCSM	۰/۷۸	۵/۶	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۸۵	۰/۷۵	۵/۶	۰/۸۲
	NCPCM	۰/۸۲	۳/۳	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۳۱	۰/۸۶	۰/۹۲	۵/۳	۰/۷۷

بررسی تغییرات دما، بارش و رواناب

با توجه به تأثیر بارزتر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی بر سیستم‌های منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و غیره، مطالعات اولیه در زمینه تأثیر پدیده تغییر اقلیم، عمدتاً بر روی این دو متغیر می‌باشد (نامدار، ۱۳۹۴). با توجه به شکل ۴ متوسط دراز مدت ماهانه دمای حداکثر و حداقل منطقه در دوره شبیه‌سازی شده برای ایستگاه هواشناسی بالادست (رینه) و پایین‌دست (بلده) افزایش دمای قابل توجهی را در فصل‌های بهار و تابستان نشان می‌دهد. در بین مدل‌های مطالعاتی مدل NCCCSM بیشترین افزایش دما برای متوسط سالانه دمای حداقل و حداکثر سالانه را نشان می‌دهد. در حوضه آبخیز هراز در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر افزایش دمای حداکثر به‌ترتیب ۰/۸۵، ۰/۶۵ و ۱/۰۴ درجه سانتی‌گراد و افزایش دمای حداقل ۰/۹، ۰/۶۰ و ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. افزایش دما در ماه‌های گرم سال در اثر تغییر اقلیم در مطالعات دونگ و همکاران (۲۰۱۴)، تان و همکاران (۲۰۱۵) و رضایی زمان و همکاران (۱۳۹۲) نیز عنوان شده است. مدل IPCM4 در هر دو ایستگاه مطالعاتی نسبت به مدل‌های دیگر کمترین پیش‌بینی بارندگی را دارد و مدل INCM3 نیز بیشترین پیش‌بینی بارندگی را دارد. متوسط بارندگی ماهانه منطقه در دوره شبیه‌سازی شده برای ایستگاه بلده، در ماه‌های نوامبر و مارس با استفاده از همه مدل‌های مطالعاتی افزایش بارندگی را نشان می‌دهد و در سایر ماه‌ها اکثراً کاهش بارندگی رخ داده است و برای ایستگاه رینه با استفاده از مدل INCM3 در ماه نوامبر و با مدل HadCM3 در ماه

مارس افزایش بارندگی رخ داده است، به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که متوسط بارندگی حوضه هراز در ماه‌های پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت که با نتایج مطالعات نامدار (۱۳۹۴) در حوضه آبخیز هراز مطابقت دارد.

جهت بررسی تغییرات رواناب، سری‌های زمانی ریزمقیاس شده دمای حداکثر، حداقل و بارش ماهانه در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ به مدل هیدرولوژیکی SWAT اعمال و سری زمانی رواناب حوضه هراز در دوره ۲۰۳۰ – ۲۰۱۱ تولید شد. شکل ۵ مقدار تغییرات طولانی مدت ماهانه دبی جریان رودخانه را در دوره‌ی آتی (۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰) نسبت به دوره‌ی مشاهداتی نشان می‌دهد. مقدار متوسط دبی و دبی اوج پیش‌بینی شده رودخانه هراز برای دوره زمانی آتی به‌ترتیب ۲۵ و ۷۸/۱۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. دبی تجمعی برای فصل زمستان ۳ درصد و برای فصل پاییز ۶ درصد افزایش یافته است درحالی که برای فصل بهار و تابستان مقدار کاهش دبی به‌ترتیب ۱۲ و ۷ درصد می‌باشد که با توجه به قرار گرفته حوضه آبخیز هراز در سلسله کوه‌های البرز و وجود قله دماوند با ارتفاع ۵۶۰۰ متر در منطقه مطالعاتی، نتایج حاصله با مطالعات قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) منوط به کاهش دبی در مناطق کوهستانی مطابقت دارد. شروع دبی‌های اوج برای دوره‌ی آتی از اوایل بهار می‌باشد که زودتر از دوره پایه می‌باشد و به‌طور مستقیم تحت تأثیر افزایش دمای مناطق بالادست می‌باشد که با مطالعات سید قاسمی و همکاران (۱۳۸۵) و بیوی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.



شکل ۵: شبیه‌سازی رواناب ماهانه برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در حوضه آبخیز هراز

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان هیدرولوژیکی رودخانه هراز که از شریان‌های حیاتی شمال کشور می‌باشد انجام شده است. بدین منظور از ۶ مدل اقلیمی HadCM3، HadGEM، INCM3، IPCM4،

NCCCSM و NCPCM که از مدل‌های AOGCM می‌باشند استفاده شد و مقدار تغییرات برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی انتشار A2 استخراج شد. ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی نشان داد که مدل‌های مورد استفاده برای ارزیابی تغییرات اقلیمی از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشند. مدل NCCCSM برای دمای حداقل و دمای حداکثر بیشترین افزایش و مدل IPCM4 کمترین افزایش دما را برای این پارامترها نشان می‌دهد. همچنین برای بارندگی منطقه مدل INCM3 بیشترین و مدل IPCM4 کمترین پیش‌بینی را داشته‌اند. بنابراین با وجود اختلاف بین نتایج مدل‌ها جهت کاهش عدم‌قعیت پیش‌بینی‌های اقلیمی صورت گرفته، از نتایج همه مدل‌های اقلیمی برای تعیین مقدار تغییرات در پارامترهای اقلیمی دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی استفاده شد. مدل هیدرولوژیکی SWAT با توجه به کاربرد وسیع و موفقیت‌آمیز آن در ایران و جهان، به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه انتخاب شد. جهت ارزیابی تبعات تغییر اقلیم بر دبی جریان رودخانه هراز، مدل هیدرولوژیکی SWAT با استفاده از دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری کره سنگ واسنجی شد. آنالیز حساسیت پارامترهای مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2 نشان داد که با توجه به خصوصیات منطقه پارامتر شماره منحنی (CN) نسبت به سایر پارامترها از بیشترین حساسیت برخوردار می‌باشد. با اعمال تغییرات اندک در مقدار این پارامتر نتایج شبیه‌سازی مدل به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. بنابراین جهت مدیریت و برنامه‌ریزی در منطقه این پارامتر حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به ضرایب آماری به‌دست آمده، مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی منطقه از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشند. مقدار و زمان وقوع دبی اوج شبیه‌سازی شده متناسب با دبی اوج مشاهداتی می‌باشد همچنین روند صعودی و نزولی هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با یکدیگر مطابقت دارند. بنابراین تغییرات اقلیمی ریزمقیاس شده بر ورودی‌های مدل اعمال شد و تغییرات حاصله در خروجی منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که میزان دبی جریان رودخانه هراز برای دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ در فصل پاییز بیشترین افزایش دبی را خواهد داشت، اما به‌طورکلی مقدار دبی متوسط رودخانه هراز به مقدار ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج به‌دست آمده صرف نظر از جهت تغییرات هر یک از مؤلفه‌ها، دلالت بر اهمیت الگوی زمانی تغییرات در طول سال دارد که نقش مؤثری در مدیریت منابع آب حوضه دارا می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر ضمن بیان اهمیت اثرات بالقوه تغییر اقلیم در وضعیت هیدرولوژی حوضه لزوم توجه به بحث تغییر اقلیم و پیامدهای آن را در مدیریت منابع آب حوضه آبخیز رودخانه هراز متذکر می‌گردد.

منابع

آذری محمود، مرادی حمیدرضا، ثقفیان بهرام، فرامرزی منیره (۱۳۹۲)، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود، مجله علوم آب و خاک، دوره بیست و هفتم، شماره سوم، صص ۵۳۷-۵۴۷.

اشرف بتول، موسوی بایگی محمد، کمالی غلامعلی، داوری کامران (۱۳۹۰)، پیش‌بینی نیاز آبی چغندر در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریز مقیاس کننده LARS-WG، مجله آب و خاک، دوره ۲۵، شماره پنجم، صص۱۱۹۶-۱۱۸۴.

پروانه بهروز، شیراوند هنگامه، درگاهیان فاطمه (۱۳۹۴)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو، مجله جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۲، شماره چهل و پنجم، ۱۳-۱.

ثانی‌خانی هادی، دین‌پژوه یعقوب، پوریوسف سعید، زمانزاده قویدل سروین، صولتی بهاره (۱۳۹۲)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی)، مجله آب و خاک، دوره بیست و هفتم، شماره ششم، ۱۲۳۴-۱۲۲۵.

جاهد رضا، کمال نویدجلال، بابازاده حسین (۱۳۹۰)، صحت‌سنجی عملکرد شبیه‌های گردش عمومی جو (AOGCM) در شبیه‌سازی داده‌های دما در منطقه‌ی کرمان، مجله مهندسی منابع آب، شماره چهارم، صص ۶۴-۵۱.

حمیدیان‌پور محسن، باعقیده محمد، عباس‌نیا محسن (۱۳۹۵)، ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره چهل و هشت، شماره اول، صص ۱۲۳-۱۰۷.

دستورانی محمدتقی، بحری معصومه، پناهی مهسا (۱۳۹۱)، بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تاثیر آن بر دبی رودخانه جاجرود، مجموعه مقالات هشتمین همایش مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان.

ذهبیون باقر، گودرزی محمدرضا، مساح‌بوانی علیرضا (۱۳۸۹)، کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، پژوهش‌های اقلیم شناسی، دوره اول، شماره سوم، صص ۱۶-۱.

رضایی زمان، مصطفی، مرید، سعید، دلاور، مجید (۱۳۹۲)، «ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود»، مجله آب و خاک، ۲۷(۶): ۱۲۵۹-۱۲۴۷.

رضائی علی (۱۳۸۵)، بررسی اثر گسترش اراضی دیم بر شدت حوزه آبخیز قزل اوزن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قزل اوزن)، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب.

سید قاسمی سمانه، ابریشم چی احمد، تجریشی مسعود (۱۳۸۵)، اثرات تغییرات جریان رودخانه زاینده رود بر اثر تغییر اقلیم، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

عساکره حسین (۱۳۸۳)، تغییر اقلیم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان.

کاویان عطاالله، گلشن محمد، روحانی حامد، اسمعلی عوری اباذر (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوضه آبخیز هراز با مدل SWAT، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی تهران، شماره چهل و هفتم، صص۲۱۱-۱۹۷.

قاسمی الهه، فتاحی ابراهیم، بابائی ام‌السمله (۱۳۹۲)، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب با رویکرد عدم‌قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو»، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره چهارم، شماره سیزدهم، ۵۳-۳۷.

محمدیان عباس (۱۳۹۴)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی و رسوب حوزه آبخیز سد طرق مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد.

معافی‌مدنی سیده فاطمه، موسوی بایگی محمد، انصایر حسین (۱۳۹۱)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی آمار خروجی مدل LARS-WG، مجله جغرافیا ومخاطرات طبیعی، دوره سوم، صص ۳۷-۲۱.

نامدار مریم (۱۳۹۳)، پیش‌بینی رواناب سطحی بر پایه تغییرات اقلیمی حوزه آبخیز هراز، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

نیکبخت‌شهبازی علیرضا، ظهرابی نرگس، تابان حجت (۱۳۹۵)، ارزیابی عدم‌قطعیت مدل‌های گردش کلی جو در تخمین بارش و رواناب حوضه دز علیا تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله فیزیک زمین و فضا، مقالات آماده انتشار.

Abbaspour K.C. (2007), "SWAT-CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Programs", Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag: Duebendorf, Switzerland; 95.

Andreadis K.M., Lettenmaier D.P. (2006), "Trends in 20th century drought over the continental United States", Geophysical Research Letters, 33: L10403.

Arnold JG., Srinivasan P., Muttiah R.S., Williams J.R. (2009), "Swat User Manual, Large area hydrologic modeling and assessment", Water Resources Association, volume 34, number 1, pp 73–89.

Azli Wan. (2010), "Modeling climate change in Malaysia", Malaysian Meteorological Department, Ministry of Science, Technology and Innovation, Climate Change and Biodiversity Workshop.

Barrow E., Yu G. (2005), "Climate Scenario for Alberta", A report prepared for the priarie Adaptation Research.

Bavay M., Grünewald T., Lehning M. (2013), "Response of snow cover and runoff to climate change in high Alpine catchments of Eastern Switzerland", Advances in Water Resources, volume 55, pp 4-16.

Bieger K., Hormann G., Fohrer N. (2015), "Detailed spatial analysis of SWAT-simulated surface runoff and sediment yield in a mountainous watershed in China", Hydrological Sciences, volume 60, number 5, pp 784-800.

Dong W., Cui B., Liu Z., Zhang K. (2014), "Relative effects of human activities and climate change on the river runoff in an arid basin in northwest China", Hydrological processes, volume 28, pp 4854-4864.

IPPC. (2001), "Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", editors: J. T. Hhoughton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson. Cambrige. U. K, Cambridge University Press.

Jung I.W., Chang H. (2011), "Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA", Hydrological Processes, volume 25, pp 258-277.

Kalcic M., Chaubey I., Frankenberger J. (2015), "Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries", Agricultural and Biological Engineering, volume 8, pp 1 -12.

Khanmohammadi S., Coulibaly P., Dibike Y. (2006), "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods", Hydrology, volume 319, pp 357–382.

King L.M., McLeod A. I., Simonovic S. P. (2015), "Improved weather generator algorithm for multisite simulation of precipitation and temperature", The American Water Resources Association, volume 51, number 5, pp 1305-1320.

Lane M., Kirshen P., and Vagel R. (1999), "Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE", Water resource planning management, volume 125, pp 194-204.

Molina E., Trolle D., Martinez S., Sastre A, (2014), "Hydrological and Water quality impact assessment of a Mediterranean Limon-reservoir under climate change and land use management Scenarios", Hydrology, 509: 354-366.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R, (2005), Soil and water assessment tool theoretical documentation, Version 2005. 647 pages.

Nobrega, M. T., Collischonn, W., Tucci, C. E. M., Paz, A. R, (2011), "Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil", Hydrology and Earth System Sciences, volume 15, number 2, pp 585-595.

Piras M., Mascaro G., Deidda R., Vivonia E. (2016), "Impacts of climate change on precipitation and discharge extremes through the use of statistical downscaling approaches in a Mediterranean basin", Total Environment, volume 543, pp 965–980.

Semenov M.A., Barrow E.M. (2002), "LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.

Tan M., Ibrahim A., Yusop Z., Duan Z., Ling L. (2015), "Impacts of landuse and climate variability on hydrological components in the Johor River basin", Malaysia. Hydrological Sciences, volume 60, pp 1-17.

Wilby R., Haris I. (2006), "A frame work for assessing uncertainties in Climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames", U.K.water resources research.

Hydrological modeling of Climate Changes Impact on flow discharge in Haraz River Basin

Ataollah Kavian*[1], Maryam Namdar[2], Mohamad Golshan[3], Masomeh Bahri[4]

1- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

Email: a.kavian@sanru.ac.ir

2- MSc in Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

3- PhD Student of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

4- MSc in Watershed Management, Yazd University, Iran

Received: 2016-09-17 **Accepted:** 2017-04-15

Abstract

In this research was assessed the climate change in 2011-2030 periods with A2 emission scenario by using of AOMCM models and uncertainty related that for this purpose were utilized of 6 models in Rineh and Baladeh stations. Climate change is effective on, river flow shortages, floods, and the declining water system that with predicting the climate change can perform fair management of water resources. The Haraz Watershed with 4012 square kilometer area is located in Mazandaran Province. To assess the impact of these changes on the watershed outlet, SWAT hydrological model was used. This model is sensitive to changes in terrain and weather. The time horizon 2000-2014 was used in order for calibration and validation the model. Then, after ensuring the performance of the SWAT model, the downscaled climate change data were determined by the study models for each climate factors input to SWAT model runoff change in future periods were assessed. The climate model results showed that the annual minimum and maximum temperature will be increased 0.7 ° C and 0.62 respectively. The average annual rainfall for the study area will be decreased at a rate of 18 percent. Compare current flow simulation showed that the peak flow for the future period will increase nevertheless the average flow discharge will decrease in the amount of 12 percent. Therefore the climate change should be considered in order to tackle with environmental hazards and Long-term planning.

Keywords: Runoff, Climate Change, Haraz River, HadCM3, SWAT Model.