دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی کارایی مدل بارش- رواناب SIMHYD تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

هادی رزاقیان[۱]، کاکا شاهدی[۲] و بهروز محسنی[۳]

۱- استادیار، دانشگاه پیام نور، گروه منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، تهران، ایران، (نویسنده مسوول: hrazzaghian@yahoo.com)
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری
۳- مربی دانشگاه پیام نور، گروه منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، تهران، ایران.
تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۳

چکیده

حوزه آبخیز بابلرود و استان مازندران از جمله مناطقی هستند که در سالیان اخیر حوادث اقلیمی متفاوتی را تجربه کرده‌اند. بر این اساس لزوم بررسی هرچه بیشتر تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز مورد تأکید قرار می‌گیرد. این کار از طریق مدل‌های تغییر اقلیم و بارش- رواناب که قادر به شبیه‌سازی و محاسبه اثر تغییرات اقلیمی بر مؤلفه‌های هیدرولوژیک اعم از بارش، دما، تبخیر و تعرق و رواناب هستند انجام می‌پذیرد. در این تحقیق با استفاده از این روش، داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCm3 با به‌کارگیری مدل LARS-WG تحت دو سناریوی A2 (بدبینانه)، B1 (خوش‌بینانه) برای دوره‌های زمانی ۲۰۶۵-۲۰٤٦ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ ریزمقیاس شدند. در مرحله بعد متغیرهای مورد پیش‌بینی به مدل بارش- رواناب SIMHYD معرفی شدند. در شبیه‌سازی رواناب روزانه حوزه آبخیز بابلرود در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۲، بهترین دوره واسنجی و صحت‌سنجی با در نظرگرفتن طول دوره و پارامترهای آماری بهینه و فرآیند آنالیز حساسیت مدل، به‌منظور به‌حداقل رساندن خطای شبیه‌سازی انتخاب شدند. نتایج نشان داد تطبیق معقولی از الگوی تغییرات رواناب بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در نمودار مشهود است. به‌طوری‌که مقادیر نسبتاً بالای ضرایب تبیین (R^2=۰/۷۳) و ناش- ساتکلیف (Nash=۰/۵۳) در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی، بیانگر کارایی این مدل در شبیه‌سازی جریان‌های معمول و کمینه می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد حدود تغییرات میانگین دبی سالیانه در مدل SIMHYD، ۲۳+ تا ۵۸+ درصد افزایش داشته است که بیشترین افزایش دبی در ماه‌های اکتبر و نوامبر (حدود مهر و آبان) و بیشترین کاهش در ماه‌های جولای و آگوست (حدود تیر و مرداد) در سال‌های آتی می‌باشد. بر این اساس وضعیت ماه‌های کم‌بارش سال به سوی خشکی بیشتر و ماه‌های پربارش به‌سوی سیلابی شدن پیش خواهد رفت.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، شبیه‌سازی، مدل HadCm3، ناش- ساتکلیف

مقدمه

فرآیند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش، مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشند. این پدیده به‌دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن (اثرات محیطی و اقتصادی- اجتماعی) از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم، طراحی شده و عمل می‌نمایند. تغییر اقلیم با ایجاد پدیده خشکسالی و تأثیر بر میزان شدت و تداوم آن، موجب کاهش پوشش گیاهی و به تبع آن تأثیر بر پاسخ‌های هیدرولوژیک در سطح حوزه آبخیز می‌گردد (۸). همچنین افزایش دمای هوا در اثر تغییر اقلیم، موجب تغییر رژیم بارشی از برف به‌سمت باران، تغییر مقدار و شدت رواناب، نسبت برف به باران و میزان آب ذخیره شده در توده برف خواهد شد و میزان بارش روی برف، در ارتفاعات میانی و پست کوهستان کاهش و در مناطق مرتفع افزایش می‌یابد که در نهایت بر دبی اوج جریان روزانه تأثیرگذار خواهد بود (۲۷). گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)[۱] نشان می‌دهد تغییر اقلیم موجب تغییر در ویژگی‌های هیدرولوژیک در چند دهه اخیر در سطح جهان شده، به‌طوری‌که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر و در عرض‌های پایینی کمتر و احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی افزایش یافته‌است (۱۰). برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف در دوره‌های آتی، می‌بایست در ابتدا مقدار متغیرهای اقلیمی در آینده شبیه‌سازی گردد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد که معتبرترین آنها استفاده از خروجی‌های مدل‌های اتمسفر– اقیانوس گردش عمومی جو (AOGCM)[۲] می‌باشد. بایستی توجه داشت که معمولاً در مطالعات هیدرولوژی، سلول‌های محاسباتی مدل‌های اتمسفر– اقیانوس گردش عمومی جو بزرگ‌تر از وسعت منطقه مطالعاتی است. بنابراین در این گونه مطالعات نیاز به ریزمقیاس نمایی خروجی این مدل‌ها می‌باشد (۲). روش‌های ریزمقیاس نمایی مختلفی، در برگرداندن خروجی‌های بزرگ‌مقیاس گردش عمومی جو به مقیاس کوچک‌تر توسعه یافته‌اند. روش آماری از معمول‌ترین روش‌های کوچک‌مقیاس کردن به‌شمار می‌رود (۶). در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بُعدی جفت‌شده جوی- اقیانوسی می‌باشند. از انواع مدل‌های گردش عمومی جفت‌شده جوی- اقیانوسی که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافت، مدل HadCm3[۳] است. مدل مذکور از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های مدل جوی و مدل اقیانوسی تشکیل شده‌است (۲۲). اخیراً قدرت تفکیک مدل‌های گردش عمومی و منطقه‌ای افزایش پیدا کرده است، ولی هیچ‌یک از این مدل‌ها نمی‌توانند آب و هوای واقعی را در مقیاس منطقه‌ای یا کوچکتر برآورد یا پیش‌بینی کنند. مدل‌های مصنوعی مولد پارامترهای هواشناسی، مدل‌هایی هستند که

1- Intergovernmental Panel on Climate Change
2- Atmosphere Ocean Global Circulation Models
3- Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model

خروجی مدل‌های عددی گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری به نحوی ریزمقیاس می‌نمایند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت دارد. مدل LARS_WG یکی از مدل‌های معروف مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که همه مشاهدات روزانه را در فرایند شبیه‌سازی به‌کار می‌گیرد. خروجی مدل LARS_WG شامل کمینه و بیشینه دما، بارش کمینه و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد که به‌عنوان ورودی اغلب مدل‌های بارش- رواناب برای مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۲۵). مدل‌های مختلفی برای ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب در دوره‌های آتی وجود دارد که یکی از این مدل‌ها، SIMHYD[1] می‌باشد. مدل مذکور یک مدل مفهومی و یکپارچه‌ی بارش- رواناب است که جریان روزانه را با استفاده از داده‌های بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه شبیه‌سازی می‌کند (۲۱). مطالعات متعددی روی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب شامل تأثیر روی کمیت آب، هیدرولوژی و تقاضای آب انجام شده است. گوسن و همکاران (۷)، تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر رواناب در ۱۲ حوزه رودخانه‌های هند را برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها دلالت بر کاهش جریان و افزایش شدت سیلاب و خشکسالی دارد. کمال و مساح‌بوآنی (۱۲) در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز قره‌سو از زیرحوزه‌های رودخانه کرخه، از مدل اقلیمی HadCm3 تحت سناریوی A2 و از مدل‌های هیدرولوژی SIMHYD و IHACRES استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان از هماهنگی دو مدل در شبیه‌سازی تغییرات رواناب منطقه دارد. به‌گونه‌ای که هر دو مدل، کاهش رواناب را برای فصل پاییز و افزایش رواناب را برای فصل‌های دیگر تخمین می‌زنند. نهایتاً یافته‌های این تحقیق نشان از تأثیر قابل توجه عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژی تأثیر کمتر نوسانات اقلیمی در برآورد رواناب یک حوزه تحت تأثیر تغییر اقلیم دارد. اخوان و همکاران (۱)، اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه شهرچای ارومیه را با استفاده از مدل SIMHYD مورد بررسی قرار دادند. متوسط سالانه رواناب، افزایش جزئی به مقدار ۰/۹۲ درصد در افق ۲۰۲۰ را نشان داد. کاهش رواناب به مقدار ۹/۲۱ درصد در افق ۲۰۵۵ و ۱۸/۷۱ درصد در افق ۲۰۹۰ نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شد. همچنین رواناب رودخانه در فصول زمستان و بهار کاهش و در فصول تابستان و پاییز افزایش خواهند داشت. حسین‌زاده و طباطبایی (۹)، در مطالعه خود کارایی دو مدل بارش- رواناب SIMHYD و Sacramento را در شبیه‌سازی رواناب حوزه سد امیرکبیر مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. از جمله معیارهای ارزیابی در این مطالعه، ضریب ناش- ساتکلیف[2] (Nash)، ضریب تعیین[3] (R^2) و یک معیار خطا (RMSE)[4] بودند. نتایج نشان داد مدل SIMHYD بهترین عملکرد را از شبیه‌سازی رواناب حوزه نسبت به داده‌های مشاهداتی در هر دو دوره‌ی واسنجی و صحت‌سنجی داشته است. ثانی‌خانی و همکاران (۲۳)، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز قره چای واقع در استان مرکزی را مورد بررسی قرار دادند. ایشان برای پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان براساس خروجی مدل HadCm3 از مدل LARS-WG، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد و نتیجه گرفته شد که جریان رودخانه‌ها در دوره آتی کاهش خواهد یافت (۲۹). برای تشخیص بهترین ترکیب چند مدل در شبیه‌سازی دبی رودخانه، از مدل‌های SMAR, SACRAMENTO ,SIMHYD, AWBM, HEC-HMS, SWAT, MIKE SHE و TANK استفاده شد. نتایج نشان داد که ترکیب ۵ مدل (SWAT فیزیکی و چهار مدل مفهومی SMAR، SACRAMENTO، SIMHYD و AWBM) بهترین عملکرد را در ارزیابی و شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیز در میان هشت مدل مذکور داشته‌اند (۱۵). خوش‌روش و همکاران (۱۳) به منظور مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب و فراوانی سیلاب حوزه آبخیز نکارود از مدلHadCm3 تحت سناریوی A2 استفاده نمودند و خروجی مدل اقلیمی را به مدل بارش- رواناب HMS-SMA **معرفي** نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای منطقه در ماه‌های مختلف بین ۱/۴۱ تا ۳/۴۷ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه گرمتر می‌شود. هم‌چنین نتایج نشان داد که میزان دبی حداقل هفت روزه برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در دوره آینده ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ می‌تواند نزدیک به هفت درصد کاهش داشته باشد. تحقیق حاضر به‌واسطه در دسترس بودن داده‌های بسیار بلندمدت و روزانه، به ارزیابی فرآیند تغییر اقلیم و تأثیر آن بر رواناب حوزه آبخیز بابلرود در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCm3 می‌پردازد. این عمل در قالب دو سناریوی متفاوت اقلیمی A2 (بدبینانه)، B1 (خوش‌بینانه) با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG و شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل SIMHYD انجام پذیرفت.

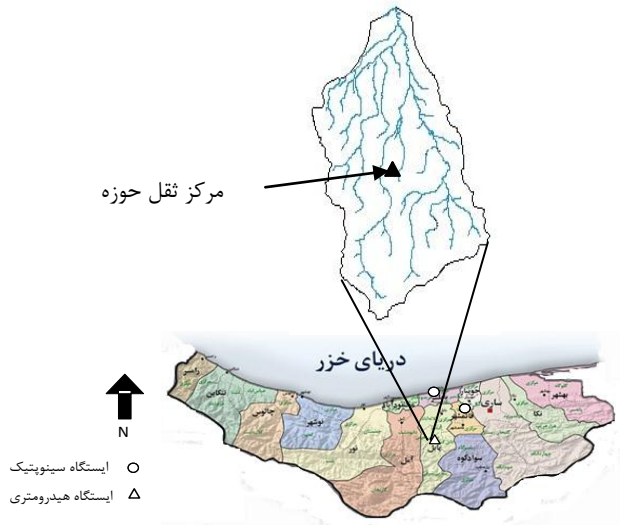
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران در بخش جنوبی دریای خزر، با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومترمربع شامل حدود ۳۰ حوزه آبخیز کوچک و بزرگ می‌باشد. حوزه آبخیز بابلرود یکی از ده حوزه آبخیز بزرگ استان در بخش مرکزی این استان، با مساحتی بالغ بر ۵۱۷۲۵ هکتار، بین ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفت. این حوزه آبخیز دارای ۵ زیر حوزه اصلی به نام‌های بابلک، اسکلیم‌رود، کارسنگ‌رود، آذررود و اراضی پست می‌باشد. شکل ۱ وضعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Simple of HYDROLOG
2- Nash-Sutcliffe Coefficient
3- Determination Coefficient
4- Root Mean Square Error

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.216]



شکل ۱- موقعیت حوزه و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان مازندران
Figure 1. Studied Basin and stations situation in Mazandaran province

داده‌ها و روش مورد مطالعه

در این تحقیق به‌منظور شناسایی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه و انتخاب مدل اقلیمی مورد نظر با توجه به داده‌های مورد نیاز مدل، از آمار بلندمدت و در دسترس ایستگاه‌های هواشناسی بابلسر و قراخیل، برای میزان تشعشع و ساعات آفتابی و ایستگاه‌های کلیماتولوژی و هیدرومتری گلوگاه بندپی در مرکز ثقل حوزه و اداره آب بابل در خروجی حوزه (شکل ۱)، برای مقادیر بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و دبی روزانه که دارای آمارِ بدون نقص در دوره آماری ۳۰ ساله پایه ۲۰۱۱-۱۹۸۲ بود استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده
Table 1. Specification of used stations

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)
بابلسر	هواشناسی سینوپتیک	۵۲°۳۹ ´	۳۶°۴۳ ´	-۲۱
قراخیل	هواشناسی کلیماتولوژی	۵۲°۴۶ ´	۳۶°۲۷ ´	۱۵
گلوگاه بندپی	کلیماتولوژی و هیدرومتری	۵۲°۳۷ ´	۳۶°۱۸ ´	۲۰۰
اداره آب بابل	کلیماتولوژی و هیدرومتری	۵۲°۳۹ ´	۳۶°۳۲ ´	۰

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات برای محدوده مطالعاتی، نسبت به آزمون همگنی داده‌ها در صورت نیاز و اصلاح داده‌ها اقدام شد. در مرحله بعد، توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی پایه ایستگاه‌های مورد مطالعه، براساس سناریوی حالت پایه مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین توانمندی این مدل مطابق داده‌های ۳۰ سال دیده‌بانی (۲۰۱۱ - ۱۹۸۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت ارزیابی توانمندی مدل LARS-WG برای تولید داده‌های تصادفی در حوزه آبخیز بابلرود از پارامترهای آماری ضریب ناش- ساتکلیف (رابطه ۱)، ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۲)، میانگین خطای مطلق (رابطه ۳) و ضریب تبیین (رابطه ۴) استفاده شد (۲۰).

$$NS=\left[1-\frac{\sum(X_0-X_s)^2}{\sum(X_0-\bar{X}_0)^2}\right] \quad (۱)$$

$$R^2=1-\frac{\sum(\sqrt{Q_s}-\sqrt{Q_0})^2}{\sum(\sqrt{Q_0}-\sqrt{\bar{Q}_0})^2} \quad (۲)$$

$$MAE=\frac{\sum|X_0-X_s|}{N} \quad (۳)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(X_0-X_s)^2}{N}} \quad (۴)$$

در روابط بالا X_0 : داده مشاهده‌ای، X_s: داده شبیه‌سازی شده، $\bar{X}_0$: میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد داده‌ها می‌باشند. هرچه ضرایب R^2 و ناش- ساتکلیف به عدد یک نزدیک‌تر بوده، نشان‌دهنده رابطه قوی بین داده‌ها و تناسب بیشتر مدل و پارامترهای آن با شرایط منطقه است. متغیرهای ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق به‌عنوان معیاری از خطای فرآیند شبیه‌سازی بوده و هر چه به صفر میل بیشتری داشته باشند؛ بیانگر توانمندی مدل در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی بیشتر خواهد بود (۱۸). در مرحله بعد، خروجی‌های مدل منتخب تحت دو سناریوی متفاوت اقلیمی در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در مقیاس جهانی به‌دست آمد و به مقیاس ایستگاهی تبدیل شدند. سپس داده های بارش، تبخیر و دبی مشاهده‌ای در دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۱-۱۹۸۲) به‌عنوان ورودی‌های مدل SIMHYD به‌منظور انجام واسنجی[1] و صحت‌سنجی[2] استفاده شد. پس از این مرحله، مقادیر پیش‌بینی‌شده بارش و تبخیر توسط مدل اقلیمی HadCm3، به مدل بارش- رواناب SIMHYD داده شد و تغییرات دبی در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ مشخص گردید و در نهایت تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز بابلرود مورد ارزیابی قرار گرفت.

1- Calibration
2- Verification

مدل بارش- رواناب SIMHYD

یکی از کاربردی‌ترین مدل‌ها که به‌عنوان مدل تغییر اقلیم قادر به شبیه‌سازی رواناب می‌باشد، مدل SIMHYD است که از دقت خوبی نیز برخوردار می‌باشد. این مدل نسخه ساده‌شده مدل مفهومی بارش– رواناب HYDROLOG در سال ۱۹۷۲ و MODHYDROLOG در سال ۱۹۹۱ است. مدل‌های مذکور به‌ترتیب از ۱۷ و ۱۹ پارامتر استفاده می‌نمایند که مدل SIMHYD در مقایسه با آنها از نه پارامتر استفاده می‌نماید که شامل ضریب جریان پایه، آستانه نفوذپذیری، ضریب نفوذ، شکل نفوذ، ضریب جریان زیرسطحی، کسر نفوذ، ظرفیت ذخیره قطع بارش، ضریب تغذیه و ظرفیت ذخیره رطوبت خاک می‌باشد. ضریب جریان پایه همان شاخص جریان پایه است که با ضرب آن در میزان رواناب، سهم جریان پایه به‌دست می‌آید. ظرفیت ذخیره برگاب بارش، منظور اختلاف بین بارش و تبخیر در ذخیره برگاب است. کسر نفوذ، درصدی از کل بارش قابل جذب از سطح زمین می‌باشد (۲۱).

آنالیز حساسیت مدل SIMHYD

آنالیز حساسیت با تحلیل حساسیت مدل SIMHYD به تغییر هر یک از پارامترهای نه‌گانه در فرآیند آنالیز حساسیت مدل انجام می‌پذیرد. از این طریق پارامترهایی که نسبت به بقیه نیازمند دقت و توجه بیشتری هستند؛ مشخص می‌شوند (۵). این پارامترها دارای مقادیر پیش‌فرض، کمینه و بیشینه در مدل می‌باشند (جدول ۲). در این مدل بارش روزانه ابتدا به وسیله برگاب ذخیره می‌شود که هر روز توسط فرآیند تبخیر از بین می‌رود. سپس بارش باقی‌مانده وارد تابع نفوذ می‌شود که ظرفیت نفوذ را تعیین می‌کند. بارش مازادی که از ظرفیت نفوذ تجاوز می‌نماید به رواناب مازاد نفوذ تبدیل می‌شود. رطوبتی که نفوذ می‌کند وارد تابع رطوبت خاک می‌شود و از آنجا آب را به جریان زیر سطحی (داخلی)، آب زیرزمینی و ذخیره رطوبتی خاک هدایت می‌کند. جریان داخلی در ابتدا به‌صورت تابعی خطی از رطوبت خاک تخمین زده می‌شود. بنابراین مدل، تولید رواناب را از سه منبع مورد بررسی و تخمین قرار می‌دهد که عبارتند از: رواناب مازاد بر نفوذ، جریان زیرسطحی و رواناب مازاد بر اشباع و جریان پایه. میزان تغذیه آب زیرزمینی که تابعی خطی از رطوبت خاک می‌باشد نیز توسط مدل برآورد می‌گردد (۲۱).

جدول ۲- مقادیر پیش‌فرض، بیشینه و کمینه پارامترهای نه‌گانه مدل

Table 2. Values of Default, Maximum and Minimum of Nine model parameters

ردیف	پارامتر	کمینه	پیش‌فرض	بیشینه
۱	ضریب جریان پایه (Base flow coefficient)	۰	۰/۳	۱
۲	آستانه نفوذپذیری (Infiltration threshold)	۰	۱	۵
۳	ضریب نفوذپذیری (Coefficient Infiltration)	۰	۲۰۰	۴۰۰
۴	شکل نفوذ (Infiltration shape)	۰	۳	۱۰
۵	ضریب جریان زیرسطحی (Inter flow Coefficient)	۰	۰/۱	۱
۶	کسر نفوذ داخلی (Pervious Fraction)	۰	۰/۹	۱
۷	ظرفیت ذخیره برگاب (Rain fall Interception Store)	۰	۱/۵	۵
۸	ضریب تغذیه (Recharge Coefficient)	۰	۰/۲	۱
۹	ظرفیت ذخیره رطوبت خاک (Soil Moisture Store Capacity)	۰	۳۲۰	۵۰۰

داده‌های مورد نیاز مدل SIMHYD

داده‌های موردنیاز مدل؛ آمار روزانه بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و رواناب حوزه مطالعه در طول دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۲ می‌باشد که برای انجام عملیات واسنجی، صحت‌سنجی و ارزیابی عملکرد مدل استفاده شد. جهت دستیابی به بهترین تعداد دوره اختصاص‌یافته به مراحل واسنجی و صحت‌سنجی، از ضرایب ناش- ساتکلیف و R^2 استفاده گردید. این مدل شامل هفت روش بهینـــــــه‌سازی (جدول ۳)، هشت تابع هدف اولیه (جدول ۴) و چهار تابع هدف ثانویه (جدول ۵) است. توابع هدف اولیه و ثانویه برای ارزیابی کمی نتایج صحت‌سنجی براساس ضریب ناش- ساتکلیف استفاده می‌شوند. از تعامل این پارامترها، در کل می‌توان ۷×۸×۴=۲۲۴ حالت را برای مدل‌سازی درنظر گرفت. از بین آنها مدل بهینه با توجه به پارامترهای آماری شناسایی می‌گردد (۱۶).

جدول ۳- انواع روش‌های بهینه‌سازی در مدل SIMHYD

Table 3. Variety of optimize methods on SIMHYD model

ردیف	روش بهینه‌سازی	معادل انگلیسی
۱	الگوریتم ژنتیک	Genetic Algorithm
۲	الگوی جست و جوی چند آغازه	Pattern Search Multi-Start
۳	نمونه‌برداری تصادفی یکنواخت	Uniform Random Sampling
۴	بهینه‌ساز با شروع چندگانه روزنبرک	Rosenbrock Multi-Start Optimizer
۵	تک آغاز روزنبرک	Rosenbrock Single-Start
۶	روش تکاملی به‌هم ریخته پیچیده	SCE-UA
۷	الگوی جست و جو	Pattern Search

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.216]

جدول ۴- انواع توابع اولیه مدل SIMHYD

Table 4. Variety of Primary functions of SIMHYD model

ردیف	تابع	معادل انگلیسی
۱	ضریب ناش- ساتکلیف	Nash- Sutcliffe Coefficient
۲	مجموع مربعات خطا	Sum of Squares Error
۳	ریشه میانگین مربعات خطا	RMSE=Root Mean Square Error
۴	اختلاف ریشه میانگین مربعات در اریبی	Root Mean Square difference about bias
۵	مقدار مطلق بیاس	Absolute bias
۶	مجموع مربع ریشه ها	Sum of Squares Roots
۷	مجموع مربعات اختلاف مربعات	Sum of Squares difference of Square
۸	مجموع اختلاف لگاریتم‌ها	Sum of difference of logs

جدول ۵- انواع توابع ثانویه مدل SIMHYD

Table 5. Variety of Secondary functions of SIMHYD model

ردیف	تابع	معادل انگلیسی
۱	عدم لحاظ تابع ثانویه	None
۲	اختلاف رواناب به درصد	Runoff difference in %
۳	منحنی تداوم جریان	Flow duration curve
۴	روش دوم جریان پایه	Base flow method 2

نتایج و بحث

بررسی توانمندی مدل LARS-WG

برای ارزیابی خروجی‌های مدل، داده‌های دیده‌بانی و مدل‌سازی‌شده چهار متغیر دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج آن در قالب جدول ۶ ارائه شده است به‌طور کلی مقادیر بسیار بالای ضرایب ناش- ساتکلیف و R^2 و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، حاکی از توانمندی مدل LARS-WG در ریزمقیاس نمایی و مدل‌سازی اقلیم دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲) براساس سناریوی حالت پایه داشت که با نتایج تحقیقات یعقوبی و مساح (۲۸) و سرکار و چیچولیکار (۲۴) هماهنگی دارد.

جدول ۶- نتایج ارزیابی مدل LARS-WG

Table 6. Results of LARS-WG model evaluation

پارامترهای آماری	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر	ساعت آفتابی
Nash	۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
MAE	۸/۳۰	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱۷
RMSE	۹/۵۶	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۱۹
R^2	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹

ارزیابی تغییر اقلیم در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰

در جدول ۷ و ۸ مقادیر میانگین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲)، دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ (دوره اول) و دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (دوره دوم) تحت دو سناریوی اقلیمی A2 (بدبینانه) و B1 (خوش‌بینانه) حاصل از خروجی مدل HadCm3 بیان شد. از بررسی نتایج مشخص می‌گردد، مقادیر میانگین بارش ماهانه در سناریوی B1 شاهد تغییرات میزان بارش از ۴۳- تا ۱۷+ درصد و در سناریوی A2 از ۴۵- تا ۳۲+ درصد نسبت به حالت پایه بوده که با نتایج آشفته و بزرگ‌حداد (۳) و بختیاری و همکاران (۴) مبنی بر افزایش بارش در ماه‌های پر بارش و کاهش بارش در سایر ماه‌ها هماهنگی دارد.

جدول ۷- مقایسه مقادیر بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (میلی‌متر) تحت دو سناریوی متفاوت

Table 7. Comparison of simulated and observational rainfall values (mm) under two different scenarios

دوره زمانی \ ماه		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دوره پایه ۲۰۱۱-۱۹۸۲		۷۸/۹	۸۳/۶	۱۰۰	۷۴/۱	۶۸/۹	۶۳/۷	۵۸/۹	۸۱/۷	۱۱۹/۵	۱۵۹	۱۰۴/۳	۷۹/۷
دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶	B1	۶۸/۴	۷۷/۱	۹۲/۹	۸۸/۲۰	۵۸/۹	۶۰/۰	۴۵/۷	۵۸/۱	۱۱۴	۱۷۳/۵	۱۲۱/۸	۷۶/۱
	A2	۵۵/۶	۷۹/۷	۱۱۱	۸۰/۶	۶۹/۷	۵۷/۴	۳۵/۵	۷۱/۵	۱۱۸/۳	۲۱۰	۱۰۸/۷	۷۴/۹
دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰	B1	۶۴/۴	۷۰/۲	۹۴	۹۴/۱	۶۶/۴	۶۱/۴	۴۱/۲	۴۷/۴	۱۰۳/۴	۱۷۵/۹	۱۲۸/۷	۷۸/۲
	A2	۷۰/۰	۷۷/۹	۹۰/۲	۸۲/۴	۵۱/۰	۴۴/۳	۲۹/۳	۴۵/۴	۹۵/۲	۱۶۴/۶	۱۲۰/۲	۷۶/۹

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.216]

جدول ۸- مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (میلی‌متر) تحت دو سناریوی متفاوت
Table 8. Comparison of observed and simulated potential evapotranspiration values under two different scenarios

دوره زمانی / ماه		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دوره پایه ۱۹۸۲-۲۰۱۱		۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۵۱	۲/۷۱	۳/۶۱	۴/۴۷	۵/۰۶	۴/۸۲	۳/۸۰	۲/۸۰	۱/۹۸	۱/۲۴
دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵	B1	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۸۸	۱/۲۰	۱/۷۵	۲/۰۵	۲/۱۴	۲/۰۲	۱/۵۳	۱/۳۰	۰/۸۸	۰/۵۵
	A2	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۸۲	۱/۲۵	۱/۷۷	۲/۰۶	۲/۲۲	۱/۹۶	۱/۵۵	۱/۲۴	۰/۸۶	۰/۵۶
دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹	B1	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۹۱	۱/۲۲	۱/۷۷	۲/۰۹	۲/۲۰	۲/۰۸	۱/۵۶	۱/۳۰	۰/۸۷	۰/۵۵
	A2	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۹۳	۱/۲۷	۱/۸۶	۲/۲۰	۲/۳۱	۲/۱۷	۱/۶۱	۱/۳۳	۰/۹۰	۰/۵۶

واسنجی و ارزیابی مدل SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب

در شبیه‌سازی رواناب روزانه در دوره سی‌ساله، بهترین دوره‌های واسنجی۱۰ سال (۱۹۸۳ تا ۱۹۹۲) و صحت‌سنجی ۱۸ سال (۱۹۹۴ تا ۲۰۱۱) و دو سال ابتدایی هر دوره برای مرحله گرم کردن با در نظر گرفتن ضرایبR^2 و ناش- ساتکلیف و همچنین روش‌های بهینه‌سازی مدل برای به‌حداقل رساندن خطای شبیه‌سازی انتخاب شدند. برای این منظور، مجموع ۲۲۴ حالت برای هر مدل انجام و از میان هفت روش بهینه‌سازی مدل، روش الگوی جست و جوی چند آغازه انتخاب گردید (جداول ۹ و ۱۰). از نتایج این جداول و مقادیر بالا و حدود قابل‌قبول ضرایب کارایی (R^2>۰/۷۵ ،Nash>۰/۳۶)، عملکرد مدل SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب همانند نتایج محققینی چون موتوویلف و همکاران (۱۹) و ژانگ و همکاران (۳۰)، قابل‌قبول و در حد خوب ارزیابی می‌گردد.

جدول ۹- نتایج ارزیابی مدل SIMHYD در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی
Table 9. Results of evaluating SIMHYD model on calibration and validation stages

دوره	R^2	ضریب ناش- ساتکلیف
واسنجی	۰/۷۴	۰/۵۴
صحت‌سنجی	۰/۶۵	۰/۳۷

جدول ۱۰- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل SIMHYD با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مدل
Table 10. Results of calibration and validation of SIMHYD model by using optimize model methods

روش بهینه‌سازی مدل	واسنجی		صحت‌سنجی	
	R^2	Nash	R^2	Nash
تک آغاز روزنبرک	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۳۶
الگوریتم ژنتیک	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۶۵	۰/۳۶
الگوی جست و جوی چند آغازه	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۳۷
نمونه‌برداری تصادفی یکنواخت	۰/۶۲	-۱/۱۴	۰/۵۷	-۰/۳۵
بهینه‌ساز با شروع چندگانه روزنبرک	۰/۶۷	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۲۶
روش تکاملی به‌هم ریخته پیچیده	۰/۵۷	-۳/۱۵	۰/۵۲	-۱/۱۸
الگوی جست و جو	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۳۶

آنالیز حساسیت مدل SIMHYD

نتایج حاصل از فرآیند آنالیز حساسیت که روی متغیرهای نُه‌گانه مدل SIMHYD به‌منظور درک حساسیت مدل به تغییر پارامترها و دستیابی به بهترین شبیه‌سازی در جداول ۱۱ و ۱۲ آمده است. کارایی مدل با مقادیر ضریب تغذیه، ضریب جریان زیرسطحی و شکل نفوذ رابطه معکوس و در مقابل با پارامترهای سهم نفوذ، آستانه نفوذ، ضریب نفوذ و ظرفیت ذخیره رطوبت خاک رابطه مستقیم داشت. همچنین مدل SIMHYD بیشترین حساسیت را نسبت به پارامترهای ضریب جریان پایه و ظرفیت ذخیره رباش باران و کمترین میزان حساسیت‌پذیری را نسبت به آستانه نفوذپذیری داشت. با افزایش مقدار پارامتر ضریب جریان پایه تا عدد ۰/۱۳۴، شاهد روند افزایشی در مقدار ضریب کارایی مدل و پس از آن این مقدار کاهش می‌یابد. برای مقایسه این نتایج از ضریب کارایی ناش- ساتکلیف استفاده شد که جباری و همکاران (۱۱) و بهمنش و همکاران (۵) در مطالعات خود ضریب‌کارایی ناش را به‌عنوان یکی از بهترین معیارها برای ارزیابی توانمندی مدل SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز معرفی نمودند. از مقایسه نتایج جداول ۱۱ و ۱۲ مشخص گردید که عملیات آنالیز حساسیت، بر نیل به کاهش خطای شبیه‌سازی تأثیر چندانی نداشت. بنابراین در ادامه از ویژگی‌های مدل قبل از فرآیند آنالیز حساسیت به‌منظور شبیه‌سازی جریان استفاده شد. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی رواناب توسط مدل در مرحله واسنجی بهتر از صحت‌سنجی بود که با نتایج حسین‌زاده و طباطبایی (۹) در حوزه آبخیز سد امیرکبیر و شهبازی (۲۵) در حوزه آبخیز قره سو (اردبیل) هماهنگی دارد. شکل ۲ مقادیر دبی‌های روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را در طول دوره آماری پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲) نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.216]

جدول ۱۱- مقادیر اختصاص‌یافته به متغیرهای نه‌گانه مدل در مرحله آنالیز حساسیت

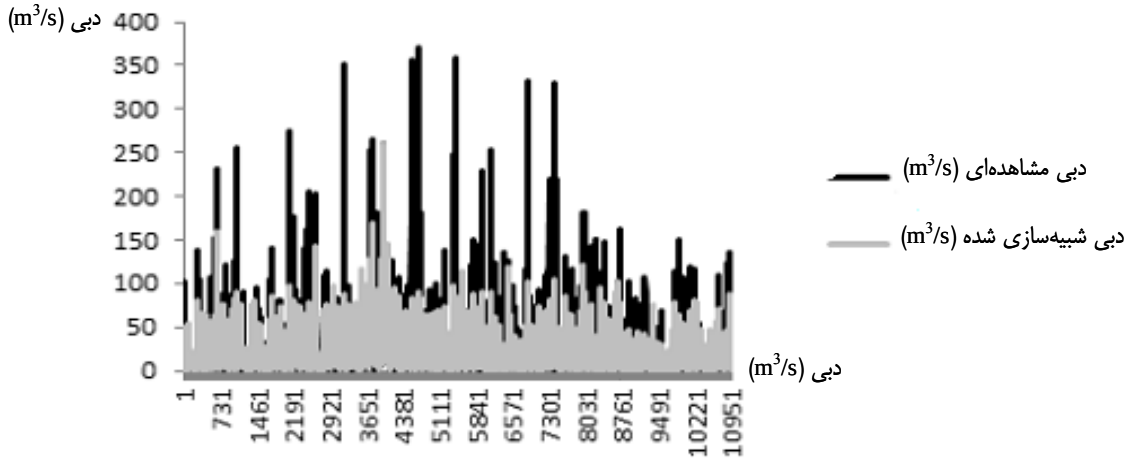
Table 11. Values of allocate to nine model variables in the stage of sensitivity analysis

متغیر	بازه تغییرات در مدل	قبل از آنالیز حساسیت	بعد از آنالیز حساسیت
ضریب جریان پایه	۰-۱	۰/۱۷۸	۰/۱۳۴
آستانه نفوذپذیری	۰-۵	بدون حساسیت	-
ضریب نفوذپذیری	۰-۴۰۰	۱۲۴	۲۹۶/۹۱
شکل نفوذ	۰-۱۰	۰/۸	۱/۵۶
ضریب جریان زیرسطحی	۰-۱	۰/۱۴	۰/۰۱
کسر (سهم) نفوذ	۰-۱	۱	۰/۹۴
ظرفیت ذخیره برگاب	۰-۵	۰	۲/۷۷
ضریب تغذیه	۰-۱	۱	۰/۶۸
ظرفیت ذخیره رطوبت خاک	۰-۵۰۰	۵۰۰	۳۶۴/۳۷

جدول ۱۲- نتایج ارزیابی مدل SIMHYD در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی پس از آنالیز حساسیت

Table 12. Results of evaluating SIMHYD model on calibration and validation stages after sensitivity analysis

دوره	R^2	D	ضریب ناش- ساتکلیف
واسنجی	۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۵۳
صحت‌سنجی	۰/۶۴	۰/۳۷	۰/۳۴



شکل ۲- مقادیر دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده (مترمکعب بر ثانیه) براساس مدل SIMHYD در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲)

Figure 2. Daily discharge values of simulated and observational (m^3/s) on basis SIMHYD model in base period (1982-2011)

ارزیابی مدل SIMHYD

براساس نتایج به‌دست آمده از شکل ۲، هرچند عملکرد مدل SIMHYD در شبیه‌سازی دبی‌های حداکثری چندان مطلوب نیست؛ ولیکن تطبیق معقولی از الگوی تغییرات رواناب بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در نمودار مشهود است. با توجه به همین نمودار و مقادیر نسبتاً بالای ضرایب تبیین و ناش- ساتکلیف در مراحل واسنجی، صحت‌سنجی، این مدل توانست جریان‌های معمول و کمینه را به میزان مناسبی در دوره آماری پایه شبیه‌سازی نماید. این موضوع با نتایج تحقیقات لی‌بونگات و کولس (۱۶) در حوزه آبخیز کویی‌سب[1] در کشور نامبیا و لی و همکاران (۱۷) در حوزه رودخانه‌های جنوب‌شرقی فلات تبت مطابقت دارد.

پیش‌بینی تغییرات جریان حوزه آبخیز بابلرود با مدل SIMHYD

جدول ۱۳ مقایسه مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه حوزه آبخیز بابلرود را نشان می‌دهد. نتایج نشان از افزایش مقادیر جریان در همه ماه‌ها به‌جز فوریه و ژانویه در دو دوره در سناریو B1 دارد. بیشترین افزایش دبی در این سناریو در ماه‌های اکتبر و آوریل به ترتیب ۱۸/۶ و ۱۶ مترمکعب بر ثانیه و بیشترین کاهش در ماه فوریه به میزان ۴/۶ مترمکعب بر ثانیه روی می‌دهد. بیشترین دبی در سناریوی B1 مربوط به ماه‌های اکتبر و نوامبر در فصل پاییز می‌باشد. همچنین کمترین دبی در دوره‌های آتی مربوط به ماه‌های تابستان (آگوست و جولای) می‌باشد. در سناریوی A2 در همه ماه‌ها به‌جز ماه‌های ژانویه و فوریه (در هر دو دوره) و دسامبر (تنها در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰) افزایش دبی روی داده است. بیشترین دبی‌ها در هر دو سناریو مربوط به ماه‌های اکتبر و نوامبر به ترتیب برابر ۵۳/۷ و ۵۰/۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. کمترین دبی‌ها در دوره‌های آتی مربوط به ماه‌های جولای و آگوست به ترتیب به میزان ۶/۵ و ۷/۱ مترمکعب برثانیه می‌باشد. میانگین دبی ماهانه دوره پایه (۱۷/۴۲ مترمکعب بر ثانیه) نسبت به میانگین دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ (۲۵/۴۳ مترمکعب بر ثانیه) و میانگین دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (۲۳/۲۶ مترمکعب بر ثانیه) کمتر می‌باشد. مقادیر میانگین دبی ماهانه در سناریوی B1 شاهد تغییرات میزان دبی از ۲۱- تا ۶۹+ درصد و در سناریوی A2 از ۱۶- تا ۱۰۰+ درصد نسبت به حالت پایه بوده که با توجه به نتایج این تحقیق و پیش‌بینی افزایش بسیار زیاد بارش در ماه‌های اکتبر و نوامبر در سال‌های آتی، پیش‌بینی افزایش مقادیر جریان در این دو ماه دور از انتظار نخواهد بود که با نتایج کوپیتکوویسکی و همکاران (۱۴) و

1- Kuiseb

سیل‌وال و همکاران (۲۶) مبنی بر افزایش جریان در ماه‌های پربارش همخوانی دارد.

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز بابلرود در دوره‌های ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ میلادی، خروجی مدل گردش عمومی جو HadCm3 با سناریوهای A2 وB1 از طریق مدل LARS-WG ریزمقیاس نمایی شدند. پس از این مرحله مقادیر پیش‌بینی شده دما و بارش توسط مدل اقلیمی HadCm3 ، به مدل بارش- رواناب SIMHYD داده شد. هر چند عملکرد مدل SIMHYD در شبیه‌سازی دبی‌های حداکثری چندان مطلوب نیست؛ ولیکن تطبیق معقولی از الگوی تغییرات رواناب بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در نمودار مشهود است. به‌طوری‌که مقادیر نسبتاً بالای ضرایب تبیین و ناش- ساتکلیف در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی، بیانگر کارایی این مدل در شبیه‌سازی جریان‌های معمول و کمینه می‌باشد.

میزان بارش در حوزه آبخیز بابلرود با افزایش بارش در ماه‌های پربارش (مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر) و کاهش شدید بارندگی در ماه‌های کم‌بارش تابستان همراه خواهد بود. همچنین میانگین دبی ماهانه دوره پایه (۱۷/۴۲ مترمکعب بر ثانیه) نسبت به میانگین دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ (۲۵/۴۳ مترمکعب بر ثانیه) و میانگین دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (۲۳/۲۶ مترمکعب بر ثانیه) کمتر می‌باشد. با توجه به نتایج این تحقیق، بیشترین افزایش دبی در ماه‌های اکتبر و نوامبر (حدود مهر و آبان) و بیشترین کاهش در ماه‌های جولای و آگوست (حدود تیر و مرداد) در سال‌های آتی می‌باشد. بر این کمترین دبی‌ها در دوره‌های آتی مربوط به ماه‌های جولای و آگوست در فصل تابستان می‌باشد که پیش‌بینی روند کاهش بارش (جدول ۷) در سال‌های آینده، این موضوع را تأیید می‌نماید. اکتبر و نوامبر در سال‌های آتی، پیش‌بینی افزایش مقادیر جریان در این دو ماه دور از انتظار نخواهد بود که با نتایج کوپیتکوویسکی و همکاران (۱۴) و سیل‌وال و همکاران (۲۶) مبنی بر افزایش جریان در ماه‌های پربارش همخوانی دارد. کمترین دبی‌ها در دوره‌های آتی مربوط به ماه‌های جولای و آگوست در فصل تابستان می‌باشد که پیش‌بینی روند کاهش بارش (جدول ۷) در سال‌های آینده، این موضوع را تأیید می‌نماید.

جدول ۱۳- مقایسه مقادیر دبی ماهانه مشاهده‌ای و شبیه سازی شده (m^3/s)

Table 13. Comparison of monthly observed and simulated discharge values (m^3/s)

دوره زمانی / ماه		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دوره پایه		۲۰/۴	۲۴/۲	۲۸/۲	۱۴/۴	۱۰/۰	۵/۹	۶/۰	۷/۵	۱۶/۲	۲۶/۸	۲۵/۱	۲۴/۳
دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶	B1	۱۹/۷	۲۲/۲	۳۱/۲	۲۹/۴	۱۹/۰	۱۷/۷	۱۲/۰	۱۲/۴	۲۴/۶	۴۵/۴	۴۰/۱	۲۴/۷
	A2	۱۷/۴	۲۳/۵	۳۳/۶	۳۰/۶	۱۸/۸	۱۵/۳	۹/۰	۸/۲	۲۰/۰	۵۳/۷	۵۰/۶	۲۸/۸
دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰	B1	۱۸/۴	۱۹/۶	۳۰/۱	۳۰/۴	۲۱/۱	۱۸/۴	۱۰/۹	۹/۹	۲۰/۶	۴۳/۲	۴۰/۹	۲۵/۱
	A2	۱۷/۸	۲۰/۳	۲۷/۸	۲۵/۳	۱۵/۲	۱۱/۸	۶/۵	۷/۱	۱۵/۶	۳۳/۶	۳۳/۵	۲۱/۵

منابع

1. Akhavan, S., A. Rajabi and S. Shabanloo. 2013. Investigation of Climate Change and Effect on Runoff in Future Periods on the Shahrchay Watershed. 2th National Conference Climate Change and Effect on Agriculture and Environment, Center of Agriculture and Natural Resources Research of Azarbaijan-Gharbi Province, 9 pp (In Persian).
2. Arnell, N.W., M.B. Charlton and J.A. Lowe. 2014. The Effect of Climate Policy on the Impacts of Climate Change in the UK. Journal of Hydrology, 510: 424-435.
3. Ashofteh, P.S. and A.R. Massah. 2012. Investigation of AOGCM Model Uncertainty and Emission Scenarios of Greenhouse Gases Impact on the Basin Runoff under Climate Change: Case study in Gharanghu Basin, East Azerbaijan. Iran-Water Resources Research, 8: 36-47 (In Persian).
4. Bakhtiari, B., Sh. Purmusavi and N. Sayari. 2015. Impact of Climate Change on Intensity-Duration-Frequency Curves of Precipitation: Case study in Babolsar station. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 8: 694-704 (In Persian).
5. Behmanesh, J., A. Jabari, M. Montaseri and H. Rezaei. 2014. Comparing AWBM and SYMHYD Models in Rainfall-Runoff Modeling: Case study in Nazlouchay Catchment in West Azarbijan. Geography and Environmental Planning Journal, 52: 39-42 (In Persian).
6. Chen, J., F.P. Brissette, D. Chaumont and M. Braun. 2013. Performance and Uncertainty Evaluation of Empirical Downscaling Methods in Quantifying the Climate Change Impacts on Hydrology over two North American River Basins. Journal of Hydrology, 479: 200-214.
7. Gosain, A.K., S. Rao and D. Basuray. 2006. Climate Change Impact Assessment on Hydrology of Indian River Basins. Current Science, 90: 346-353.
8. Guardiola, M., P.A. Troch, D.D. Breshears, T.E. Huxman, M.B. Switanek, M. Durcik and N.S. Cobb. 2011. Decreased Stream flow in Semi-arid Basins Following Drought-Induced Tree Die-off: A Counter-Intuitive and Indirect Climate Impact on Hydrology. Journal of Hydrology, 406: 225-233.

9. Hoseinzadeh-chahkandak, M. and S.M. Tabatabaei. 2015. Performance Comparison of SYMHYD and Sacramento Models in Run-off Simulation of Karaj Basin. 14th National Conference on Hydraulic, Department of Civil Engineering University of Sistan and Baluchestan, 13 pp (In Persian).
10. IPCC. 2010. Summary for Policy Makers Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fifth Assessment Report. Cambridge University Press, 881 pp.
11. Jabari, A., J. Behmanesh and A. Jabari. 2012. Modeling of Daily Water Balance in Basins by Method SIMHYD: Case Study in Nazlouchay Basin, 3th National Conference of Water Comprehensive Management, 11 pp (In Persian).
12. Kamal, A.R. and A.R. Massah Bavani. 2010. Climate Change and Variability Impact in Basin's Runoff with Interference of Tow Hydrology Models Uncertainty. Journal of Water and Soil, 24: 920-931 (In Persian).
13. Khosh ravesh, M., M. Raeini and E. Nikzad Tehrani. 2017. Application of Continuous Rainfall-Runoff HMS-SMA Model in Estimating Flood and Drought Frequencies of the Neka Basin under Climate Change A2 Emissions Scenario using HadCM3 Model. Journal ofWatershed Management Research, 14: 128-151 (In Persian).
14. Kopytkovskiy, M., M. Geza and E. McCray. 2015. Climate-Change Impacts on Water Resources and Hydropower Potential in the Upper Colorado River Basin. Journal of Hydrology: Regional Studies 3: 473-493.
15. Kumar, A., R. Singh, P. Jena, C. Chatterjee and A. Mishra. 2015. Identification of the Best Multi-Model Combination for Simulating River Discharge. Journal of Hydrology, 525: 313-325.
16. Leibundgut, C. and Ch. Külls. 2007. Rainfall Runoff Relationships of the Semiarid Kuiseb Basin Institut für Hydrologic der Albert-Ludwigs-Universität Freiburgi. Br Matti Gerspacher.
17. Li, F., Y. Zhang, X. Zongxue, T. Jin, C. Liud, W. Liua and F. Mpelasokab. 2013. The Impact of Climate Change on Runoff in the Southeastern Tibetan Plateau. Journal of Hydrology, 505: 188-201.
18. Littlewood, L.G., R.T. Clarke, W. Collischonn and B.F.W. Croke. 2007. Predicting Daily Stream flow using Rainfall Forecasts, a Simple Loss Module and Unit Hydrographs: Two Brazilian catchments. Environmental Modeling and Software, 22: 1229-1239.
19. Motovilov, Y.G., L. Gottschalk, K. Engeland and A. Rohde. 1999. Validation of a Distributed Hydrological Model against Spatial Observations. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99: 257-277.
20. Nash, J.E. and I.V. Sutcliffe. 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part 1- a Discussion of Principles. Journal of Hydrology: 10: 282-290.
21. Podger, G. 2005. RRL: Rainfall Runoff Library, USER GUIDE; CRC for Catchment Hydrology, Australia.
22. Pope, V.D., M.L. Gallani, P.R. Rowntree and R.A. Stratton. 92000. The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model HadAM3. Climate Dynamics, 16: 123-146.
23. Sanikhani, H., M. Gohardoost and M. Sadeghi. 2016. The Impacts of Climate Change on Runoff of Ghareh-Chay Basin inMarkazi Province. Journal ofWatershed Management Research, 13: 12-22 (In Persian). Iran (In Persian).
24. Sarkar, J. and J.R. Chicholikar. 2016a. Future Climate Change Scenario at Hot Semi-arid Climate of Ahmedabad (23.04°N, 72.38°E), India Based on Statistical Downscaling by LARS-WG Model. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 13: 35-42.
25. Semenov, M.A. and P. Stratonovitch. 2010. The use of Multi-model Ensembles from Global Climate Models for Impact Assessments of Climate Change. Climate Research, 41: 1-14.
26. Silwal, G., R. Kayastha and P. Mool. 2016. Application of Temperature Index Model for Estimating Daily Discharge of Sangda River Basin, Mustang, Nepal. Journal of Climate Change, 2: 15-26.
27. Surfleet, C.G. and D. Tullos. 2013. Variability in Effect of Climate Change on Rain-on-Snow Peak Flow Events in a Temperate Climate. Journal of Hydrology, 479: 24-34.
28. Yaghoubi, M. and A.R. Massah Bavani. 2014. Temperature and Rainfall Simulation of Future Period on Azam-Harat River by Using Lars-WG Model. Climate Change Conference and a Way toward Sustainable Future, NGO of Earth Supporters Population, 10 pp (In Persian).
29. Zarghami, M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hassanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts of Climate Change on Runoffs in East Azarbaijan, Iran. Journal of Global and Planetary Change, 1698: 1-10.
30. Zhang, X., D. Watersb and E. Robin. 2013. Evaluation of SYMHYD, Sacramento and GR4J Rainfall Runoff Models in Two Contrasting Great Barrier Reef Catchments, 20th International Congress on Modeling and Simulation. Adelaide, Australia, 1–6 December 2013, www.mssanz.org.au/modsim 2013.

Evaluation of SIMHYD Rainfall-Runoff Model Efficiency in Climate Change Conditions

Hadi Razaghian[1], Kaka Shahedi[2] and Behrouz Mohseni[3]

1- Assistant Professor, Payame Noor University, Department of Natural Resources and environmental Engineering, Tehran, I.R. of Iran (Corresponding Author: hrazzaghian@yahoo.com)
2- Associate Professor, University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Instructor of Payame Noor University, Department of Natural Resources and environmental Engineering, Tehran, I.R. of Iran
Received: June 19, 2017 Accepted: December 4, 2017

Abstract

Babolroud watershed and Mazandaran province of such as are that in recent years, different extreme events have been happened. On this basis, emphasize necessity to investigate further on impact of climate change on watershed runoff. This work is done by climate change and rainfall-runoff models that able to simulate and calculate of climate changes impact on hydrologic components Including precipitation, temperature, evapotranspiration and runoff. In this study, using this method, the data model HadCm3 general circulation of the atmosphere with the use of LARS WG model according to A2 (pessimist), B1(optimist) two scenarios for the time periods 2046-2065 and 2080-2099 be downscaled. Then predicted variables were introduced to SIMHYD rainfall-runoff model. The simulated daily runoff in the period 1982-2011, were selected the best period of calibration and verification with regard to the duration and optimizing statistical parameters and model sensitivity analysis process, in order to minimize the simulation error. The results showed a reasonable match of the runoff changes pattern between the observed and simulated. So that relatively high values of coefficients of determination (R2=0.73) and Nash-Sutcliffe (0.53) during calibration, validation, indicated the model efficiency to simulating common and minimal flow. The results, showed some changes in the average annual rate SIMHYD, +23 to +58 percent that the highest increase rate in October and November and the largest decline in July and August in the future years are. The situation of low rainfall months will be shift to more drought and rainy months toward the flooding.

Keywords: Sensitivity analysis, Simulation, HadCm3 Model, Nash-Sutcliffe

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.216]