دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی سناریوهای حدی تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه آبریز سد شهید رجایی تحت مدل HBV-light

فاطمه صفری سوخته‌کلایی[۱]، رضا نوروز ولاشدی[۲] و مجتبی خوش‌روش[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، (نویسنده مسوول: r.norooz@sanru.ac.ir)
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳
صفحه: ۹۳ تا ۱۰۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: مدیریت آب در حوضه‌های آبی با توجه به کمبود ایستگاه‌های داده‌برداری به‌سختی امکان‌پذیر است. امروزه شبیه‌سازی بارش-رواناب با مدل‌های مختلف به مدیریت منابع آبی موجود کمک خواهد کرد. لذا استفاده از مدل‌های هیدرولوژی که با حداقل داده‌ها امکان شناخت و مدیریت حوضه را فراهم می‌کنند، می‌تواند روشی مناسب باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی رواناب ناشی از بارش و بررسی مکانیسم تشکیل رواناب و جریان خروجی در حوضه آبریز سد شهید رجایی واقع در شهرستان ساری، از مدل HBV-light با داده‌های موجود از سال ۱۹۸۱ تا سال ۲۰۱۵ استفاده شد. از ۷۰ درصد داده‌های سری زمانی در مرحله واسنجی (۱۹۸۱-۲۰۰۵) و حدود ۳۰ درصد آن (۲۰۰۶-۲۰۱۵) در مرحله صحت سنجی استفاده شد. همچنین عملکرد آن تحت شرایط تغییر اقلیم با دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در دو بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۰) و آینده دور (۲۰۴۱-۲۰۶۵) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد افزایش دما به ترتیب در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 به مقدار ۱۱/۵ و ۱۳/۹ درصد در آینده نزدیک و به ترتیب ۱۳/۹ و ۲۴/۲ درصد در آینده دور بوده است. همچنین میزان بارش در دو سناریوی اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 در آینده دور و آینده نزدیک حدود ۵۸ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج خروجی مدل نشان داد اثر سناریوهای اقلیمی بر دبی‌های اوج در آینده نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۰) افزایشی و در آینده دور (۲۰۴۱-۲۰۶۵) کاهشی خواهد بود. اختلاف میانگین دبی‌های اوج در پنجره زمانی آینده نسبت به دوره پایه در سطح اعتماد ۹۵ درصد (آزمون کروسکال والیس) معنی‌دار بوده است. به ترتیب در دو سناریوی اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 در آینده نزدیک ۳۶ و ۲۸ درصد افزایش و در آینده دور ۱۲ و ۳ درصد کاهش خواهد یافت. بررسی توزیع احتمالاتی داده‌ها نشان داد مقادیر دبی اوج از تابع ویبول نوع سوم پیروی می‌کند. این تغییرات در دبی‌های اوج با توجه به تغییر توزیع آماری احتمال رخداد پدیده‌های حدی (دبی‌های اوج شدید) را افزایش خواهد داد. لذا وقوع بارش‌های حدی و دبی‌های اوج شدیدتر با دور بازگشت کمتری رخ خواهد داد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، این نتایج حاکی از آن است مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری از منابع آبی تجمیع شده در محل سد شهیدرجایی با چالش جدی روبرو خواهد شد. لذا پیشنهاد می‌شود ضمن بررسی دقیق‌تر و مقایسه با نتایج دیگر مدل‌های هیدرولوژیکی سناریوهای حدی پیش‌رو در مدیریت حوضه آبریز اعمال شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، پیش‌یابی، تغییر اقلیم، حوضه آبریز، رواناب، RCP

مقدمه

امروزه رشد جمعیت و پیشرفت فنّاوری، استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی را به دنبال داشته که موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه کربن دی‌اکسید در اتمسفر شده است. به دنبال افزایش متوسط غلظت این گازها، افزایش متوسط دما و تغییرات اقلیمی رخداده است. تغییرات اقلیمی می‌تواند بر میزان بارندگی و رواناب تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد که با در نظر گرفتن محدودیت منابع آبی در کشور با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیم خشک آن، تأثیر مستقیمی بر سیاست‌گذاری‌های مدیریت آبی کشور خواهد داشت. در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از سدها، که متأثر از آبدهی و رواناب ورودی به این مخازن‌اند، مسئله تغییر اقلیم، که بارش و دما از مهم‌ترین عناصر آن به شمار می‌روند، یکی از فرازسنج‌های اصلی و تأثیرگذار است (۱). پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر تمامی جنبه‌های مختلف مدیریتی کشور مطابق برخی از پژوهش‌های انجام گرفته و بررسی اثر متقابل آن شامل منابع آب (۲)، کشاورزی (۳)، محیط‌زیست (۴)، بهداشت، صنعت و اقتصاد (۵) اثرات منفی داشته باشد. لذا کاربری مدل‌های هیدرولوژیکی در مباحث مدیریت منابع آب و بررسی اثر متغیرهای مختلف نظیر تغییر اقلیم و آب‌وهوا کاربرد دارد (۶،۷). حال مدلی که با دقت بیشتر و عدم قطعیت پایین‌تری عمل پیش‌یابی را انجام دهد و در مقابل با آمار و اطلاعات اندک از حوضه بتواند پاسخ مناسب هیدرولوژیکی حوضه را برآورد و ارائه کند مناسب است، مطالعات زیادی در این زمینه و مدل‌های مختلف در دنیا انجام شده است (۶). برای نمونه دیوا و همکاران در سال ۲۰۱۵ مطالعه مروری بر مدل‌های مختلف هیدرولوژی نظیر TOPMODEL، MIKESHE، VIC، SWAT و مدل HBV داشته‌اند (۶). نیرومند و همکاران (۸) در سال ۲۰۱۸ به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش-رواناب HBV-light حوضه محمدآباد در استان گلستان پرداختند. نتایج مطالعه ایشان تحت مدل سناریوهای مختلف اقلیمی قدیمی Hadcm3 نشان داد در برخی از ماه‌های سال بارش در دوره ۲۰۱۱ لغایت ۲۰۴۰ افزایش و در برخی ماه‌ها کاهش دارد. رواناب ناشی از بارش‌ها به‌طورکلی تحت سناریوهای حدی بالا افزایش خواهد یافت (۸). گودرزی و همکاران ۲۰۱۵ در پژوهش خود ضمن اینکه اعلام نمودند تغییرات اقلیمی مهم‌ترین معضل کره زمین در سده حاضر است. ایشان در پژوهش خود تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 با کاربست مدل گردش عمومی HadCM3 و مدل مفهومی بارش- رواناب IHACRES در سه دوره زمانی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

مختلف (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) از طریق مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG بررسی نمودند. نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG با استفاده از شاخص‌های آماری و خطا سنجی مختلف نشان داد اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. ایشان ضمن تائید کارایی مدل در حوضه موردمطالعه بیان نمودند رواناب سطحی سالانه بلندمدت در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه به ترتیب ۵,۴، ۲۲,۳۵ و ۶۵,۴ درصد کاهش می‌یابد (۴). در مطالعه‌ای دیگر حسن‌پور کاشانی و همکاران در سال ۲۰۱۶ به مدل‌سازی فرآیند غیرخطی بارش- رواناب با استفاده از مدل خطی ولترا پرداختند (۹). بدین منظور، داده‌های بارش و رواناب هم‌زمان مربوط به پانزده رویداد از حوزه آبخیز ناورود واقع در شمال کشور جمع‌آوری نمودند، پس از آموزش و تست مدل نتایج عملکرد مدل ولترا با شبکه عصبی پرسپترون چندلایه را مقایسه نمودند. نتایج ایشان نشان داد که مدل هوشمند شبکه عصبی از توانایی بالاتری نسبت به مدل ولترا در پیش‌بینی‌های رواناب حوزه آبخیز ناورود برخوردار بود. به‌طورکلی ایشان بیان داشتند، مدل خطی ولترا همانند سایر مدل‌های خطی در شبیه‌سازی فرآیند غیرخطی بارش-رواناب کارآیی بالایی نداشته و نیاز به تعمیم مدل به مرتبه‌های بالاتر و کاهش تعداد پارامترهای قابل تخمین آن است (۹). بینش و همکاران نیز در سال ۲۰۱۸ به بررسی و تحلیل اثر تغییر اقلیم بر رژیم بارش‌های حداکثری حوزه سیل برگردان غرب در سه افق زمانی ۲۰۳۶، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ بر اساس داده‌های گزارش ارزیابی پنجم IPCC و تحت سناریوی RCP8.5 پرداختند. بررسی‌های ایشان ضمن تائید مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بهترین مدل به لحاظ دقت و توانایی شبیه‌سازی روند تغییرات بارش در حوزه مورد بررسی، مدل MRI-CGCM3 است. لذا پس از اجرای مدل نتایج ایشان حاکی از افزایش مقدار بارش در دوره‌های زمانی آینده است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل بارش‌های حدی حوزه نیز نشان می‌دهد که با حرکت به سمت آینده دور مقدار و شدت بارش‌های حداکثر سالانه برای یک دوره بازگشت معین افزایش می‌یابد. همچنین فراوانی و احتمال وقوع بارش‌های حدی حوزه با افزایش قابل‌توجهی همراه بوده و به‌کارگیری راهکارهای تطبیقی جهت پیشگیری از پدیده سیل و آب‌گرفتگی شهری در حوضه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (۳).

خوش‌روش و همکاران در سال ۲۰۱۶ به ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه پرداختند. ایشان با بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب و پیشامدهای خشک‌سالی و سیلاب حوزه نکارود در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و استفاده از مدل نیمه توزیعی SMA در این ارزیابی دریافتند، دمای منطقه در ماه‌های مختلف بین ۱/۴۱ تا ۳/۴۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. بارش برای ماه‌های سرد تا ۲۳ درصد افزایش، اما در ماه‌های گرم تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج فراوانی خشک‌سالی و سیلاب تحقیق ایشان نشان داد که میزان دبی حداقل هفت‌روزه برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در دوره آینده ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ می‌تواند نزدیک به هفت درصد کاهش داشته باشد (۱۰). در پژوهشی دیگر مسکار و فضل اولی در سال ۲۰۱۳ به بررسی الگوی رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی با استفاده از نسخه سوم یک مدل عددی پرداختند. ایشان به‌منظور پیش‌بینی روند رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی، از مدل GSTARS3.0 به دلیل داشتن خاصیت نیمه دوبعدی و شبه‌پایدار، قابلیت شبیه‌سازی انتقال رسوب در حالت عدم تعادل و به‌کارگیری دامنه وسیعی از معادلات انتقال رسوب، استفاده نمودند. نتایج اجرای مدل نشان داد، با انتخاب تابع یانگ ۱۹۷۹ به‌عنوان رابطه حمل رسوب، تعداد سه لوله جریان و ضریب زبری ۰/۰۴، نتایج مدل تطابق بهتری با نتایج واقعی دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که پس از طی ۵۰ سال از زمان بهره‌برداری سد، حجم رسوبات انباشته‌شده در مخزن به حدود ۲۱ میلیون مترمکعب می‌رسد که تقریباً ۲۲٪ از حجم مفید مخزن را پر خواهد نمود (۱۱). همچنین یعقوبی و مساح بوانی در سال ۲۰۱۴ نیز به تحلیل حساسیت و مقایسه عملکرد سه مدل مفهومی HBV، IHARCES و HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش-رواناب پیوسته در حوضه‌های نیمه‌خشک کشور پرداختند. حساس‌ترین پارامترهای مدل HBV را (BETA، MAXBAS و UZL) ارزیابی نمودند (۱۲).

با بررسی پژوهش‌های پیشین ضمن بررسی اهمیت و ضرورت انجام پژوهش، استفاده از خروجی مدل‌های فیزیکی مفهومی و آماری جهت بررسی اثر تغییر اقلیم امری اجتناب‌پذیر خواهد بود (۳،۴،۸). لذا محققان ضمن ارزیابی عملکرد این مدل‌ها و تعیین پارامترهای مناسب، واسنجی و کاهش عدم قطعیت به دنبال تحلیلی صحیح و ارائه راهکارهای مدیریتی برای حوضه‌های مختلف آبخیز در شرایط متفاوت اقلیمی هستند. لذا هدف از پژوهش حاضر، استفاده از ابزار ساده و بررسی کارایی مدل مفهومی HBV-Light که در اقلیم مختلف نسبت به کاهش ورودی و افزایش دقت خروجی‌ها مورد تائید قرار گرفته است (۸،۱۲،۱۳)، جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم تحت سناریوهای اقلیمی آینده در محل خروجی حوضه آبریز سد شهید رجایی در شهرستان ساری است.

مواد و روش‌ها

استان مازندران با وسعتی معادل ۲/۴ میلیون هکتار (۱/۴۵ درصد مساحت کشور)، بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این پژوهش در حوضه آبریز سد شهید رجایی واقع در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی شهر ساری و حوضه آبریز رودخانه تجن، به مختصات عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی، انجام شد (شکل ۱). داده‌های موردنیاز مدل HBV مطابق طرح‌واره شکل ۲، از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری (سلیمان تنگه ۱۳۳۳-۱۳۹۴، ارتفاع ۳۸۶ متر از سطح دریاهای آزاد- عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

۱۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه ۱۳ دقیقه و ۴۱ ثانیه) موقعیت مطابق نقشه شکل ۱ دریافت شد. حداقل متغیرهای مورد نیاز برای اجرای مدل P (بارش–mm/day)، T (دما–C˚)، Q (دبی–mm/day) و E (تبخیر–mm/day) بوده است که به‌صورت روزانه و همچنین میانگین ماهانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفته است. از ۷۰ درصد اطلاعات برای واسنجی و ۳۰ درصد در مرحله صحت سنجی استفاده شد. به‌منظور یافتن بهترین پارامترهای مدل که نزدیک‌ترین مقادیر شبیه‌سازی را به داده‌های مشاهداتی اندازه‌گیری شده را به ما خواهد داد، از روش تصادفی مونت‌کارلو (۱۴،۱۵) استفاده‌شده است. این پارامترهای مورد نیاز در اجرای این مدل شبیه‌سازی در زیرروال‌های مرتبط (شکل ۲) با آب، خاک، اقلیم، تابع عکس‌العمل و برف است که در ادامه تشریح خواهد شد.

مدل Hydrologiska Byrans Vattenavdelning به‌اختصار HBV مدلی مفهومی است که در سال‌های گذشته در مطالعات بارش–رواناب حوضه‌ها در بسیاری از نقاط جهان و همچنین کشور اسکاندیناوی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶). این مدل در موسسه هواشناسی و هیدرولوژی سوئد نسخه‌های مختلفی دارد که جدیدترین نسخه آن HBV-light در سال ۱۹۹۳ در دانشگاه اوپسلا تهیه شد (۱۷). این مدل یک مدل مفهومی و شامل محاسبات مفهومی برای فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه است (شکل ۲). این مدل می‌تواند در حکم مدلی نیمه توزیعی با تقسیم حوضه به چندین زیرحوضه اجرا شود. هر زیرحوضه با توجه به ارتفاع، دریاچه، یخچال‌های طبیعی و پوشش گیاهی به چندین ناحیه تقسیم می‌شود. مدل شامل روتین‌هایی مطابق شکل ۲ برای انباشت و ذوب برف، محاسبه رطوبت خاک و تولید رواناب است که درنهایت به کمک تابع وزنی ساده مثلثی، رواناب ایجاد شده را روندیابی می‌کند (۱۷). روال برف: انباشت بارش هنگامی‌که دما کمتر از TT باشد به‌صورت برف خواهد بود. ذوب برف وقتی شروع می‌شود که دما کمتر از TT باشد و از روش ساده درجه–روز برای آن استفاده می‌شود (روابط (۱) و (۲)). واحد متغیرها و پارامترهای روابط زیر در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

$$Melt=CFMX(Tt-TT) \quad (۱)$$

$$MeltWater=CFMX\ (Tt-TT)\ (mm.day\text{-}1) \quad (۲)$$

CFMX فاکتور درجه–روز، TT آستانه دما، Tt میانگین روزانه، CFR ضریب تصحیح انجماد آب ذوب شده برف است (۱۷). روال خاک: در این قسمت تغذیه آب زیرزمینی و تبخیر واقعی به‌صورت تابعی از ذخیره واقعی آب شبیه‌سازی می‌شود. این قسمت اصلی‌ترین بخش کنترل شکل‌گیری رواناب است و دارای ۳ پارامتر در رابطه (۳) است.

$$recharge/(P(t)) =((SM(t))/FC))\ BETA \quad (۳)$$

که در آن، BETA: پارامتری که سهم نسبی در رواناب (تابع عکس‌العمل یا افزایش رطوبت خاک) از هر میلی‌متر بارش یا ذوب برف را کنترل می‌کند. FC: حداکثر ظرفیت ذخیره رطوبت در خاک است. LP: پارامتر نشانگر محدوده پتانسیل تبخیر است. LP مقدار رطوبت خاک است که بالاتر از آن تبخیر به مقدار پتانسیل می‌رسد. تابع عکس‌العمل: در این بخش رواناب محاسبه‌شده تبدیل به دبی در خروجی زیرحوضه می‌شود. با در نظر گرفتن دولایه خاک، بارش ورودی باتوجه به رابطه (۴) در حالت‌های زیر از آن خارج می‌شود: خروج از لایه اول با ضریب ذخیره سریع K1، نفوذ به لایه زیرین خاک با نرخ ثابت نفوذ PERC، اگر آستانه UZL (پارامتر آستانه) از حالت ذخیره تجاوز کند مازاد آن با ضریب ذخیره K0 خارج می‌شود و درنهایت آب از لایه زیرزمینی با ضریب ذخیره آهسته K2 خارج می‌شود.

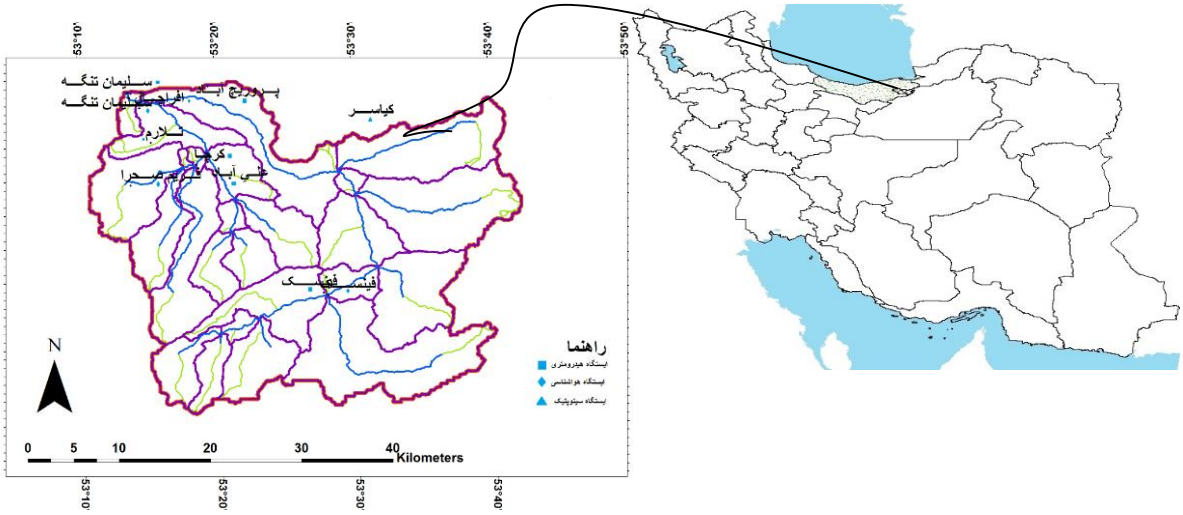
$$Q(t) =KK.SUZ+K2SLZ+K0MAX(SUZ\text{-}UZL) \quad (۴)$$

که در این رابطه Q(t) خروجی دو مخزن است (۱۷). درنهایت روال روند یابی: این رواناب درنهایت از تابع وزنی مثلثی با پارامتر MAXBAS برای روندیابی جریان محاسبه‌شده در خروجی استفاده می‌شود. طراحی سرریز، شبیه‌سازی سیلاب و ارزیابی منابع آب از دیگر موارد استفاده مدل است. این مدل شامل محاسبات مفهومی برای فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه است. معادله کلی بیلان آب در مدل به‌صورت رابطه شماره ۵ و به شکل یر است.

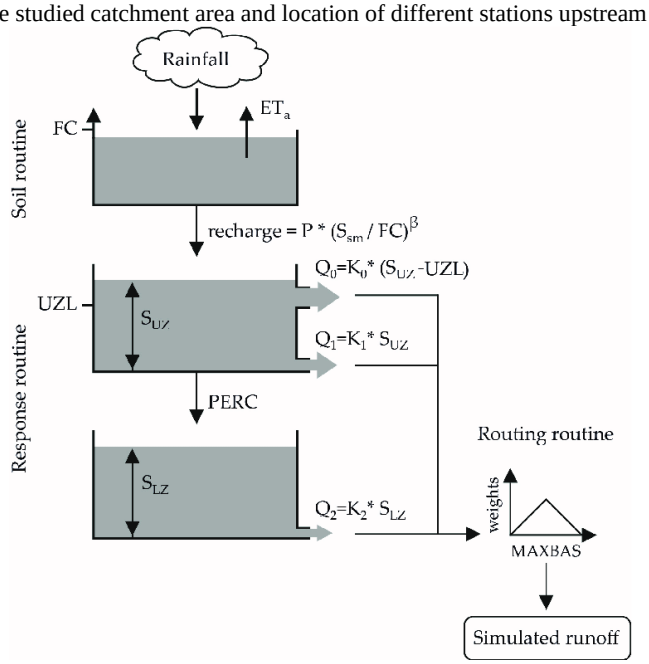
$$P–E–Q=d/dt\ (SP+SM+UZ+LZ+Lake) \quad (۵)$$

که در این رابطه P: بارش، E: تبخیر، Q: رواناب، SP: برف، SM: رطوبت خاک، UZ و LZ: ذخیره لایه زیرزمینی بالا و پایینی آب و Lake: حجم آب دریاچه‌هاست (۷،۱۷). واحدهای معادله بیلان یکسان‌سازی و حسب میلی‌متر (mm) ارائه می‌شود. درنهایت پارامترهای مورد نیاز در زیر روال‌های (شکل ۲) تعریف شده در خروجی حوضه آبریز سد شهید رجایی و بر اساس بهترین خروجی در جدول شماره ۱ ارائه شده است. از نمایه‌های آماری RMSE، NS، R^2 و KGE نیز برای بررسی دقت خروجی مدل استفاده شد (۱۵). روابط محاسبه نمایه‌ها در جزئیات مقاله نانکی و همکاران (۱۵) در سال ۲۰۲۱ و راهنمای مدل (۱۷) ارائه شده است. همچنین مطابق جدول شماره ۲ بهترین مقادیر پارامترها ارائه شده است (۷،۱۴،۱۵،۱۸).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]



شکل ۱- مرز حوضه آبریز موردمطالعه و موقعیت ایستگاه‌های مختلف در بالادست سد شهید رجایی
Figure 1. Boundary of the studied catchment area and location of different stations upstream of Shahid Rajaei Dam



شکل ۲- ساختار زیرروال‌های مدل مفهومی HBV-light بارش رواناب (۱۷)
Figure 2. Subroutine structure of the HBV-light conceptual model Rainfall-Runoff (17)

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های مختلف مورد استفاده در اجرای مدل
Table 1. Geographic characteristics of trials area in model

ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی ("ثانیه،'دقیقه،°درجه)	طول جغرافیایی ("ثانیه،'دقیقه،°درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
کیاسر	سینوپتیک	"۱۷،'۱۴،°۳۶ شمالی	"۲۸،'۳۲،°۵۳ شرقی	۷۱۰
افراچال	اقلیم‌شناسی	"۳۰،'۱۴،° ۳۶ شمالی	"۳۴،'۱۵،°۵۳ شرقی	۱۳۰۰
سلیمان‌تنگه	اقلیم‌شناسی	"۰۸،'۱۵،°۳۶ شمالی	"۵۲،'۱۳،°۵۳ شرقی	۴۵۴
فریم صحرا	اقلیم‌شناسی	"۴۱،'۰۹،° ۳۶ شمالی	"۴۲،'۱۶،° ۵۳ شرقی	۷۲۰
سلیمان‌تنگه	هیدرومتری	"۱۲،'۱۵،°۳۶ شمالی	"۴۱،'۱۳،° ۵۳ شرقی	۳۸۶
ریگ چشمه	هیدرومتری	"۵۴،'۲۱،°۳۶ شمالی	"۵۵،'۱۰،° ۵۳ شرقی	۲۲۳
پروریچ آباد	هیدرومتری	"۴۵،'۱۴،° ۳۶ شمالی	"۰۹،'۱۹،° ۵۳ شرقی	۵۰۶
فینسک	هیدرومتری	"۵۶،'۰۳،° ۳۶ شمالی	"۵۶،'۲۷،° ۵۳ شرقی	۱۵۵۹

نتایج و بحث

برای به دست آوردن مناسب‌ترین داده‌های زیرروال برف، خاک و پارامترهای مدل در تابع روندیابی و عکس‌العمل (شکل ۲) از الگوریتم تصادفی مونت‌کارلو (۱۴) استفاده شد. بعضی پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیستند و تعیین آن‌ها مشکل و با

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

عدم قطعیت (۱۵،۱۶) همراه است. بنابراین بایستی بعد از واسنجی پارامترهای مدل، عدم قطعیت ناشی از وجود خطا در مدل را بررسی کرد و راه‌کارهایی جهت کاهش و کنترل عدم قطعیت نتایج ارائه شود. پارامترهای مورد استفاده مدل و محدوده آن‌ها طی واسنجی خودکار مدل با الگوریتم مونت‌کارلو در جدول ۲ نشان داده شده است. در آنالیز حساسیت پارامترهای روال عکس‌العمل (Response routine) مدل پارامترهای ضریب فروکش K1، K2 و آستانه خروجی از مخزن UZL به‌عنوان پارامترهای حساس شناسایی شدند که نشان از تأثیر آب زیرزمینی بر خروجی دبی روزانه‌ی مدل مذکور در محل خروجی سد شهید رجایی دارد. لازم به ذکر است با توجه به حساسیت بالای پارامترهای مذکور در اقلیم و حوضه مورد مطالعه مقادیر فرین بالا و پایین نیز بر اساس مطالعات مختلف و شرایط لایه‌های خاک در منطقه مقداری فراتر از مقادیر پیشنهادی در راهنما و سایر پژوهش‌های موردی انجام شده در اقلیم مختلف نظیر مطالعات (۸،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۹) در نظر گرفته شد، تا نتایج بهتری حاصل شود. برای مثال آستانه خروجی مخزن در محدوده صفر تا ۵۰ در پیشنهاد شده است (۱۷،۱۹). درحالی‌که در این پژوهش در اجرای شبیه‌ساز مونت‌کارلو صفر تا ۷۰ در نظر گرفته شد. تا خروجی مناسب مطابق ستون آخر جدول شماره ۲ حاصل شد. تفسیر نتایج شبیه‌سازی مدل در شکل ۳ در مرحله صحت سنجی بر مبنای پارامترهای خروجی شبیه‌ساز مونت‌کارلو ارائه شده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، نقاط پراکنش حول خط محور قطر ۱:۱ و ضریب تبیین ۰/۸۷و آماره‌های کارایی مدل نشان می‌دهد ضریب نش ساتکلیف ۰/۶۶ به‌دست آمده که مطابق مقاله (۷،۱۵،۱۸) در محدوده خوب ارزیابی شده است. این خروجی نسبتاً خوب از شبیه‌سازی بر اساس پارامترهای خروجی شبیه‌ساز مونت‌کارلو در مدل HBV کاملاً در شکل ۳ نمایان شده است. با توجه به توزیع آماری داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در حوضه آبریز که از توزیع نرمال پیروی نمودند، از رویکرد پارامتری برای بررسی همخوانی نقاط پراکنش (شکل ۳) به روش همبستگی پیرسون استفاده شد. در سطح اعتماد ۹۵ درصد همخوانی خوبی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مشاهده شده است.

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مدل و کنترل کمی و کیفی آماری داده‌ها، برای به‌دست آوردن مناسب‌ترین پارامترهای مدل از الگوریتم مونت‌کارلو استفاده شد. بعضی پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی مستقیماً قابل‌اندازه‌گیری نیستند و تعیین آن‌ها مشکل و با عدم قطعیت همراه است. بنابراین بایستی بعد از واسنجی پارامترهای مدل، عدم قطعیت ناشی از وجود خطا در مدل را بررسی شود و راه‌کارهایی جهت کاهش و کنترل عدم قطعیت نتایج ارائه شود. لذا ضمن بررسی دقیق اطلاعات ورودی، پارامترهای مورد استفاده مدل و محدوده آن‌ها طی واسنجی خودکار مدل با الگوریتم مونت‌کارلو (Mont Carlo) ارائه شد. نتایج واسنجی و خروجی مناسب نهایی در جدول شماره ۲ ارائه شده است. همچنین نمایه‌های آماری RMSE، NS، R^2 و KGE به‌ترتیب در دوره واسنجی (۱۹۸۱–۲۰۰۵) ۰/۴۴، ۰/۷۳، ۰/۷۹ و ۰/۷۶و در دوره صحت سنجی (۲۰۰۶–۲۰۱۵) به ترتیب معادل ۰/۲۶، ۰/۶۵، ۰/۸۷ و ۰/۶۱ بوده است. در کل نتایج معیارهای عملکرد خوب و مناسب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی روشن ساخت که مدل با پارامترهای بهینه‌شده بر مبنای الگوریتم مونت‌کارلو (جدول ۲) می‌تواند به‌خوبی شبیه‌سازی رواناب را برای این حوضه عملی سازد. نتایج این تحقیق با نتایج (۸،۱۲،۱۳،۱۵،۲۰،۲۱) که عملکرد مدل HBV را مورد ارزیابی قرار دادند همخوانی دارد، البته در این پژوهش برخلاف تحقیق آن‌ها (۱۵،۲۰–۲۲) بنابه مرطوب بودن و دائمی بودن جریان رودخانه‌ای در حوضه بالادست سد شهید رجایی و پارامترهای بارش به‌طور متوسط بیش برآوردی در نتایج حاصل‌شده است. این امر می‌تواند به دلیل دائمی بودن و وجود دبی پایه پایدار در رودخانه بالادست باشد. پس از تائید مدل‌سازی رواناب و برآورد نسبتاً مناسب دبی در محل مورد نظر به پایش اقلیمی در حوضه مورد نظر پرداخته شد.

نمودارهای تغییرات اقلیمی برای دو سناریوی تولیدشده نسبت به دوره تاریخی طبق شکل‌های ۴ و ۵ شامل تغییرات سالانه دما، بارش و دبی برای دوره‌های زمانی موردمطالعه است و نشان‌دهنده تغییرات میزان بارش و دما طی سال‌های ۲۰۶۵–۲۰۱۶ است. مشاهده می‌شود که دمای هوا برای هر دو بازه زمانی آتی در سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی (سال‌های ۲۰۱۵–۱۹۸۱) به طور متوسط ۱۶ درصد افزایش (میزان درصد افزایش در سناریوهای مختلف در پنجره زمانی آینده نزدیک و دور در جدول (۳) ارائه شده است) و میزان بارش نیز برای سال‌های آتی کاهش محسوسی (به طور متوسط ۵۸ درصد کاهش) داشته است. همچنین تغییرات بارش در سال‌های ۲۰۶۵–۲۰۴۱ (آینده دور) به بعد نسبت به سال‌های ۲۰۴۰–۲۰۱۶ (آینده نزدیک)، برای هر دو سناریو به‌صورت افزایشی بوده و می‌تواند حاکی از احتمال بروز بارش‌ها به‌صورت سیل‌آسا برای سال‌های مذکور باشد. طبق پژوهشی که اکبری و صیاد (۱) در سال ۲۰۲۱ انجام داده‌اند، ضمن دسته‌بندی مطالعات تغییر اقلیم به دو دسته که عده‌ای از آن مربوط به مدل‌سازی و عده‌ای مربوط به پیامدهای تغییر اقلیم بوده است. در اکثر موارد افزایش احتمال رخداد پدیده‌های فرین اقلیمی نظیر افزایش ناگهانی دمای هوا اذعان داشته‌اند. افزایش دما موجب افزاش ذوب برف می‌شود و تأثیر زیادی روی هیدرولوژی حوضه خواهد داشت. درنتیجه این تغییرات اقلیمی افزایش بارش در فصل‌های سرد و کاهش آن در فصل‌های گرم را در پی خواهد داشت و تشدید بارندگی در فصول سرد می‌تواند وقوع سیلاب‌های بزرگی را در حوضه به همراه داشته باشد. همچنین عباسپور و همکاران (۲) در سال ۲۰۰۸ گزارش نمودند که احتمال وقوع سیلاب‌های شدیدتر در اثر تغییر اقلیم در مناطق شمالی کشور بیشتر است. میانگین بارش سالانه در سناریوی RCP2.6، ۲۰۹ میلی‌متر و در سناریوی RCP8.5 216 میلی‌متر و نسبت به دوره تاریخی ۲۰۰۵–۱۹۷۹ (۴۶۳ میلی‌متر)، به ترتیب ۵۵ و ۵۳ درصد کاهش نشان می‌دهد. همچنین میانگین دمای ماکزیمم و حداقل به ترتیب در سناریوی RCP2.6، ۲۱ و ۸ درجه و در

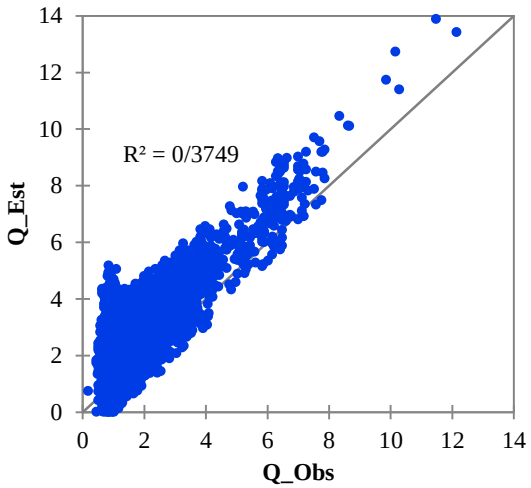
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

سناریوی RCP8.5، ۲۲ و ۸/۵ درجه است که نسبت به دوره تاریخی (۱۹/۲۲ و ۶/۷۴ درجه)، به‌ترتیب ۸/۵ و ۱۴ درصد در سناریوی RCP2.6 و ۱۲ و ۲۳/۵ درصد در سناریوی RCP8.5 افزایش دارد.

روند تغییرات دمای حداقل در هر دو سناریوی اقلیمی برای اکثر ماه‌ها افزایشی بوده است ولی برای ماه‌های مربوط به زمستان و پاییز کاهش دما نسبت به دوره گذشته اتفاق خواهد افتاد. دمای حداکثر نیز در اکثر ماهای سال برای هر دو سناریو افزایش داشته است، ولی برای ماهای پاییز کاهش دمای حداکثر رخ خواهد داد. همچنین مشاهده می‌شود که بارش برای هر دو سناریو روند کاهشی محسوسی خواهد داشت و این کاهش در فصل‌های گرم سال در سناریوی RCP8.5 در مقایسه با سناریوی RCP2.6 بیشتر خواهد بود. در ماه آوریل در سناریوی RCP8.5 شاهد افزایش بارش و در ماه می نیز شاهد کاهش بسیار کمتر بارش در مقایسه با سناریوی RCP2.6 نسبت به دوره گذشته خواهیم بود. این امر حاکی از تأثیر تغییرات دما بر روند بارشی حوضه است. با مقایسه مطالعه لکزائیان و همکاران (۲۳) در سال ۲۰۱۶ نشان دادند که تحت سناریوهای اقلیمی A2 و B2 روی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، افزایش دما در ماه‌های گرم و کاهش آن در ماه‌های پاییز و زمستان محسوس‌تر بوده است. همچنین تغییرات بارش نیز شامل افزایش محسوس بارندگی در فصل‌های زمستان و پاییز و کاهش آن در فصل‌های گرم سال بوده است. پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز مدل HBV از خروجی مدل بزرگ‌مقیاس پس از ریزمقیاس نمایی در دو سناریوی تعریف شده، مدل اجرا و پیش‌یابی جریان در محل خروجی حوضه به دست آمد. پس از تحلیل نتایج و دریافت اطلاعات خروجی مدل تجزیه‌وتحلیل آماری و مقایسه با دوره پایه برای دبی‌های اوج حاصل انجام شد. در شکل (۴) نیز مقایسه میانگین دبی‌های اوج در شرایط تغییر اقلیم در دو سناریوی اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 در پنجره زمانی آینده دور (۲۰۴۱–۲۰۶۵) و نزدیک (۲۰۱۶–۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۱–۲۰۱۵) آمده است. در نمودار ارائه شده (شکل ۴) حروف متفاوت (a, b,c) نشان از تفاوت معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد آزمون ناپارامتری مقایسه میانگین (کروسکال–والیس) در میانگین دبی‌های اوج پیش‌یابی شده در پنجره زمانی آینده دور (۲۰۴۱–۲۰۶۵) و نزدیک (۲۰۱۶–۲۰۴۰) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱–۲۰۱۵) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو سناریو اقلیمی در آینده نزدیک بیشترین افزایش‌ها در دبی اوج اتفاق خواهد افتاد. با توجه به توزیع آماری بارش برای حوضه مورد مطالعه که از توزیع ویبول ۳ پیروی می‌کند. با بررسی تغییرات هیستوگرام بارش ضمن کاهش بارش اما احتمال رخداد بارش‌های حدی به‌طور قابل توجه‌ای منطبق با سایر مطالعات انجام شده توسط گودرزی و همکاران، آسمن و نتایج بینش وهمکاران به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ (۳،۴،۲۴) به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. لذا افزایش احتمال رخداد دبی‌های اوج در آینده نزدیک مورد تائید و قابل‌بررسی و تفحص بیشتر و دقیق‌تر خواهد بود.

آزمون ناپارامتری کروسکال–والیس (۲۵) به‌منظور مقایسه میانگین سری‌های زمانی مربوط به دما، بارش و دبی حداکثر سناریوهای اقلیمی RCP در آینده دور و آینده نزدیک در مقایسه با دوره پایه انجام شد (جدول ۳). برای سطح اطمینان ۹۵ درصد و درجه آزادی ۴ مقدار آماره آزمون K برابر ۴۵/۶ شد. با توجه به اینکه سطح معنی‌داری برآورد شده کمتر از مقدار بحرانی بوده است لذا فرض صفر آزمون رد شد و فرض مقابل نابرابری میانگین جامعه آماری متوسط دبی مبنی بر تغییر معنی‌دار آن و تائید اثر تغییر اقلیم بر مقدار دبی در نقطه خروجی حوضه در محل سد شهید رجایی پذیرفته شد. حروف متفاوت نشان از تفاوت معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد آزمون ناپارامتری مقایسه میانگین (کروسکال–والیس) در میانگین دبی‌های اوج پیش‌یابی شده در پنجره زمانی آینده دور و نزدیک نسبت به دوره تاریخی است (جدول ۳). به‌طور مشابه در این تحقیق نیز وجود اختلاف در دبی‌های اوج ماهانه به دلیل افزایش احتمال وقوع رخدادهای حدی علاوه بر افزایش تفاوت قابل توجه‌ای نیز در دو سناریو به‌خصوص در پنجره زمانی آینده دور به وجود آورده است (جدول ۴). تغییر در مقدار و زمان دبی‌های اوج حوضه بر کشاورزی و موجودات آبزی و در کل اکوسیستم منطقه تأثیر قابل‌توجهی خواهد داشت (۲۶). همچنین در مقایسه با سایر مطالعات و پژوهش وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ که در آن به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریانات ورودی به مخزن هوآبینه در حوضه رودخانه سرخ پرداخته شد، ضمن مطابقت نتایج ایشان با پژوهش حاضر مشخص شد از میان متغیرهای مختلف اقلیمی، تغییرات دما اثر بیشتری نسبت به بارش بر روند جریان و تغییرات ورودی منابع آبی به مخزن پشت سد دارد. تغییر اقلیم با کاهش جریان آبدهی در مخزن سد بر بوم‌سامانه و شرایط زیست‌جانوران آبزی نیز اثرگذار است و شرایط زیست‌گونه و تولیدمثل آن‌ها را به مخاطره خواهد انداخت.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]



شکل ۳- مقایسه دبی‌های شبیه‌سازی‌شده مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در حوضه
Figure 3. Comparison of simulated discharges of the model in comparison with the measured values in the basin

جدول ۲- محدوده‌ی پارامترها و مقادیر نهایی در فرآیند واسنجی مدل مفهومی HBV با الگوریتم مونت‌کارلو
Table 2. Range of parameters and final values in the calibration process of the HBV with Monte Carlo algorithm

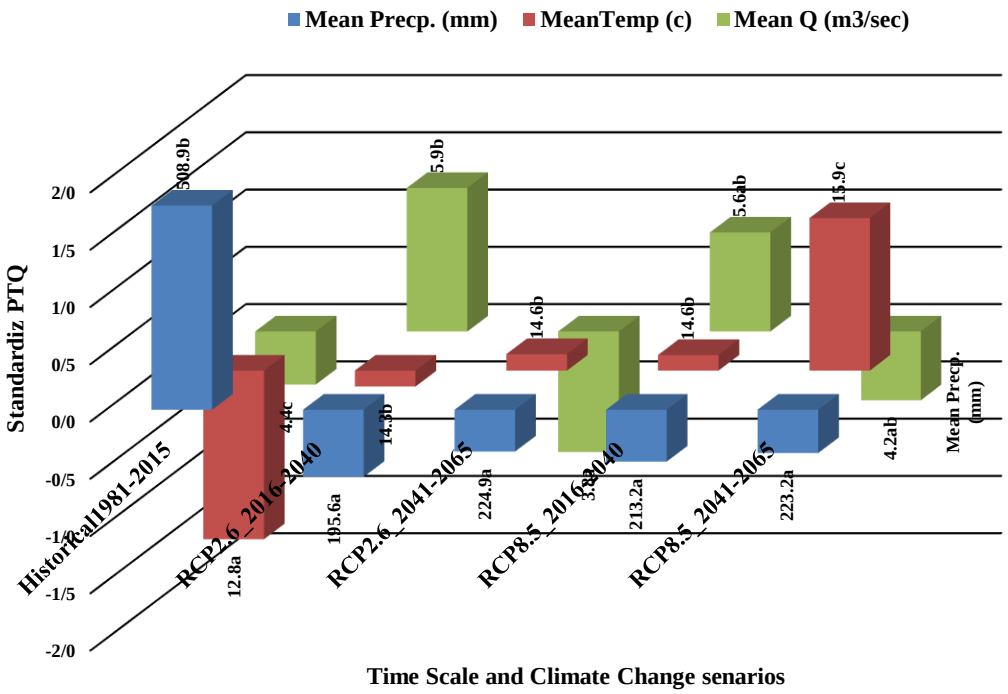
پارامتر	واحد	توضیح پارامتر	محدوده	خروجی مناسب نهایی
		Snow routine		
TT	C	آستانه دما	-2-0/5	-1.29
CFMAX	mm C^{-1}d^{-1}	فاکتور درجه – روز	0/5-4	3.20
SFCF	–	فاکتور تصحیح برف	0/5-0/9	0.87
CFR	–	ضریب انجماد مجدد	0/05	0.05
CWH	–	ظرفیت ذخیره آب	0/1	0.10
		Soil routine		
FC	mm	بیشینه ذخیره در خاک	100-550	422.7
LP	–	آستانه کاهش تبخیر	0/3-1	0.98
BETA	–	ضریب ذخیره و نفوذ عمقی خاک	1-5	3.44
		Response routine		
PERC	mm.d^{-1}	جریان بیشینه از لایه بالایی به پایین	0-4	1.37
UZL	mm	آستانه خروجی از مخزن پایین	0-70	69.26
K_0	d^{-1}	ضریب فروکش(بالای مخزن پایین)	0/1-0/5	0.47
K_1	d^{-1}	ضریب فروکش (پایین مخزن بالایی)	0/01-0/2	0.18
K_2	d^{-1}	ضریب فروکش (مخزن پایین)	0/001-0/05	0.06
		Routing routine		
MAXBAS	d	روند یابی، طول تابع وزنی	1-2/5	2.20

جدول ۳- نتایج آزمون ناپارامتری کروسکال والیس برای مقایسه میانگین تغییرات دما، بارش و جریان خروجی بیشینه در دوره پایه در مقایسه با دو دوره اقلیمی آینده نزدیک و دور تحت سناریوهای اقلیمی حدی RCP
Table 3. Results of Kruskal-Wallis nonparametric test to compare the mean changes of temperature, precipitation and maximum outflow in the base period compared to the two near and distant future climates under the RCP extreme climatic scenarios

سناریو اقلیمی_پنجره زمانی	بارش (میلی‌متر)	اختلاف (درصد)	دما (درجه سلسیوس)	اختلاف (درصد)	متوسط دبی بیشینه (مترمکعب بر ثانیه)	اختلاف (درصد)
Historical1981-2015	508.9^{b}	-	12.8^{a}	-	4.4^{c}	-
RCP2.6_2016-2040	195.6^{a}	**-61.6***	14.3^{b}	**11.5***	5.9^{b}	**35.8***
RCP2.6_2041-2065	224.9^{a}	**-55.8***	14.6^{b}	**13.9***	3.8^{a}	**-12.3***
RCP8.5_2016-2040	213.2^{a}	**-58.1***	14.6^{b}	**13.9***	5.6^{ab}	**27.7***
RCP8.5_2041-2065	223.2^{a}	**-56.1***	15.9^{c}	**24.2***	4.2^{ab}	**-2.9***

۱ برجسته بودن اعداد به همراه علامت * در اختلاف حسب درصد نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (سطح اطمینان ۹۵ درصد) میانگین داده‌ها در سناریوی موردنظر نسبت به دوره تاریخی است. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین سری زمانی مورد نظر در دوره پایه با دیگر سناریوهاست. *علامت مثبت + به معنی افزایش و علامت منفی – به مفهوم کاهش است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]



شکل ۴- مقایسه مقادیر استانداردشده دما، بارش و دبی‌های خروجی مدل HBV در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه

Figure 4. Comparison of standardized values of temperature, precipitation and output flows of HBV model in the conditions of climate change compared to the base period.

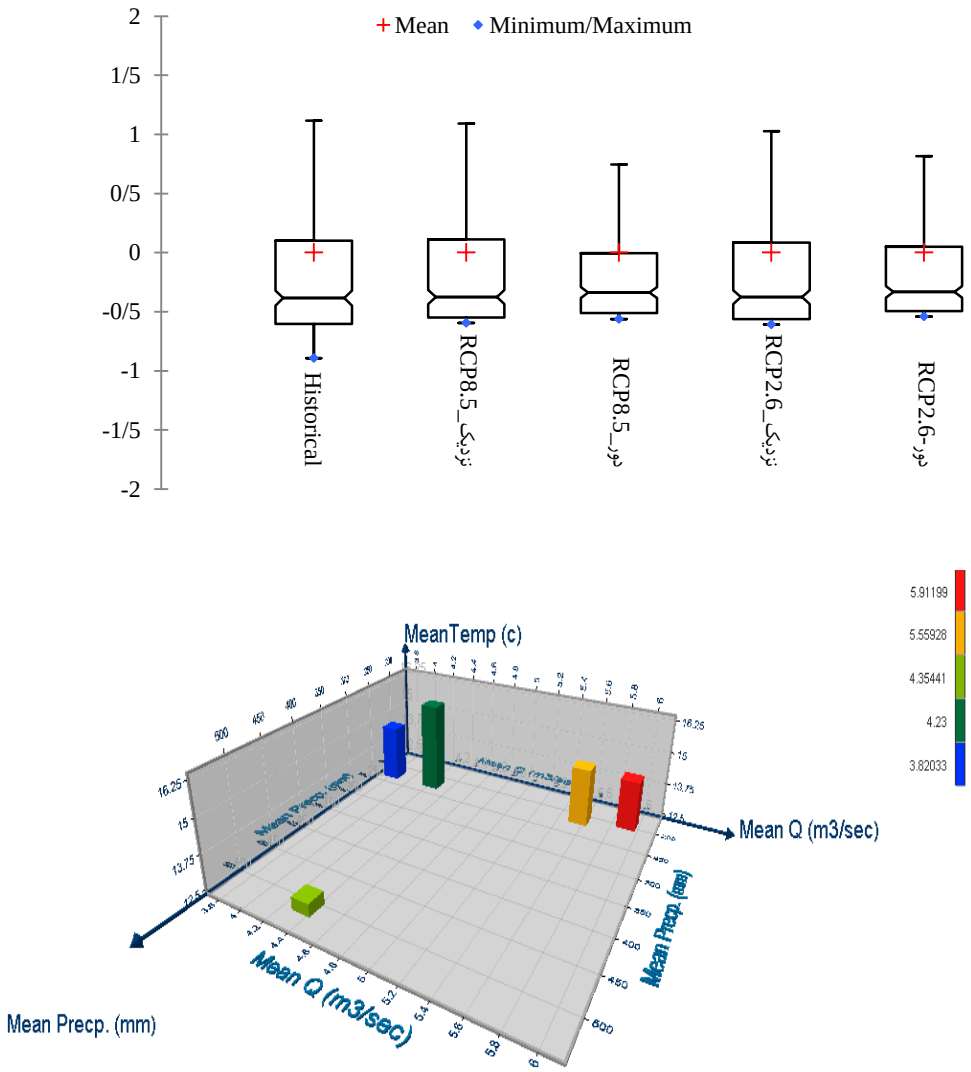
جدول ۴ – ماتریس مقایسه اختلاف میانگین دبی‌های اوج تاریخی (۱۹۸۱–۲۰۱۵) در مقایسه با سناریوهای حدی RCP در دو دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۱۶–۲۰۴۰) و آینده دور (۲۰۴۱–۲۰۶۵)

Table 4. Comparison matrix of the difference between the mean historical peak discharges (1981-2015) compared to the RCP extreme scenarios in the two time periods of the near future (2016-2040) and the distant future (2041-2065)

سناریوهای متناظر اقلیمی و پنجره زمانی	دوره پایه	RCP8.5_نزدیک	RCP8.5_دور	RCP2.6_نزدیک	RCP2.6_دور
دوره پایه	0.0	**120.2** [a*]	**195.6** [a]	**111.7** [a]	**216.6** [a]
RCP8.5_نزدیک		0.0	75.4	-8.4	96.5
RCP8.5_دور			0.0	-83.9	21.0
RCP2.6_نزدیک				0.0	**104.9**[a]
RCP2.6_دور					0.0

*Bonferroni corrected significance level: 0.05_ Significant differences is Bold[a] (Critical difference: 100)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]



شکل ۵- مقایسه میانگین دبی‌های اوج در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه
Figure 5. Comparison of average peak discharges in climate change conditions compared to the base period

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تعدد و تنوع مدل‌های هیدرولوژی موجود، انتخاب بهترین مدل دشوار است و نیاز به مقایسه مدل‌ها برای تشخیص قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل دارد. به‌طورکلی مدل‌های بارش رواناب محدودیت‌های بسیاری دارند (۷،۹،۱۱،۱۲) و به‌دقت متوسطی می‌رسند. از طرف دیگر به دلیل کمبود اطلاعات در حوضه‌ها در این پژوهش سعی شد کارایی مدل HBV که نسبت به مدل‌های دیگر (۷،۱۲،۲۰،۲۷) از فرآیندهای ساده هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی رواناب استفاده می‌کند، بهره‌برداری شود. همان‌طور که مشخص است، میانگین‌ها و انحراف معیار داده‌های مدل و مشاهداتی باهم یکسان می‌باشند که نشان‌دهنده دقت خوب مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی است. همچنین ارقام به‌دست‌آمده نمایه‌های آماری در واسنجی و صحت سنجی بسیار نزدیک به هم بوده که نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی رواناب طی دوره‌های ذکرشده است. درنهایت با توجه به کمبود مطالعات تطبیقی و مقایسه مدل‌های مختلف پیشنهاد می‌شود در حوضه مورد مطالعه ضمن بررسی موارد مشابه و عدم قطعیت و اثر پارامترهای اقلیمی و اثر گرمایش جهانی بهترین مدل جهت مدیریت منابع آبی در حوضه پیشنهاد شود. به‌طورکلی حسب دسته‌بندی اخیر ارائه شده توسط اکبری و صیاد (۱) این مطالعه ضمن بهره‌برداری از خروجی سناریوهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس در محدوده مورد مطالعه به بررسی پیامد تغییر اقلیم بر نتایج مدل مفهومی بارش-رواناب پرداخته است، نتایج نشان از تغییرات معنی‌دار مقدار بارش و دما در آینده اقلیمی حوضه آبریز مورد مطالعه دارد. این تغییر معنی‌دار حسب تحلیل‌های مدل ساده رواناب-بارش منجر به تغییر میزان

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

حجم مخزن سد شهید رجایی بر اساس تغییر معنی‌دار دبی در سناریوهای اقلیمی پیش رو در محل دارد. لذا مقتضی است مدیران سیاست‌گذار در بخش منابع آب ضمن بررسی دقیق سناریوهای سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و تناسب آن با تغییر میزان واداشت تابشی در منطقه به تصمیم‌گیری بپردازند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از سازمان هواشناسی کشور و شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران که آمار و اطلاعات مورد نیاز این پژوهش را در اختیار ما قرار داده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورند.

منابع

1. Akbary, M. and V. Sayad. 2021. Analysis of climate change studies in Iran. Physical Geography Research Quarterly, 53(1): 37-74 (In Persian).
2. Abbaspour, K.C., M. Faramarzi, S.S. Ghasemi and H. Yang. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. Water resources research, 45(10): 1-16 (In Persian).
3. Binesh, N., M.H. Niksokhan and A. Sarang. 2018. Analysis of Climate Change Impact on Extreme Rainfall Events in the West Flood-Diversion catchment of Tehran. Journal of Watershed Management Research, 9(17): 226-234 (In Persian).
4. Goudarzi, M., B. Salahi and S.A. Hosseini. 2015. Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes (Case Study: Urmia Lake Basin). Iranian Journal of Ecohydrology, 2(2): 175-189 (In Persian).
5. Mutsindikwa, T.C., Y. Yira, A.Y. Bossa, J. Hounkpè, S. Salack, I.A. Saley and A. Rabani. 2021. Modeling climate change impact on the hydropower potential of the Bamboi catchment. Modeling Earth Systems and Environment, 7(4): 2709-2717.
6. Devia, G.K., B.P. Ganasri and G.S. Dwarakish. 2015. A review on hydrological models. Aquatic procedia, 4: 1001-1007.
7. Jansen, K.F., A.J. Teuling, J.R. Craig, M. Dal Molin, W.J. Knoben, J. Parajka, M. Vis and L.A. Melsen. 2021. Mimicry of a Conceptual Hydrological Model (HBV): What's in a Name? Water Resources Research, 57(5): e2020WR029143.
8. Niroumandfar, F., M. Zaherinia and B. Yazarloo. 2018. Investigating the effect of climate change on river flow using HBV-light rainfall-runoff model; Case study MohammadAbad watershed, Golestan. Irrigation and Water Engineering, 7(4): 152-163 (In Persian).
9. Hasanpour Kashani, M., M.A. Ghorbani, Y. Dinpazhouh, and S. Shahmorad. 2016. Rainfall-Runoff Simulation in the Navrood River basin using Truncated Volterra Model and Artificial Neural Networks. Journal of Watershed Management Research, 6(12): 1-10 (In Persian).
10. Khoshravesh, M., M. Raeini and E. Nikzad Tehrani. 2017. Application of Continuous Rainfall-Runoff HMS-SMA Model in Estimating Runoff and Flood and Droughts Frequency of Neka BasinunderA2 Climate Scenario of HadCM3 Model. Journal of Watershed Management Research, 7(14): 140-128 (In Persian).
11. Meskar, H. and R. Fazloula. 2013. Investigation of Sedimentation Pattern in The Shahid Rajaee Reservoir Using Gstar3.0 Numerical Model. Journal of Watershed Management Research, 4(7): 16-29 (In Persian).
12. Yaghoubi, M. and A.R. Massah Bavani. 2014. Sensitivity analysis and comparison of capability of three conceptual models HEC-HMS, HBV and IHACRES in simulating continuous rainfall-runoff in semi-arid basins. Journal of the Earth and Space Physics, 40(2): 153-172 (In Persian).
13. Rusli, S.R., D. Yudianto and J.-t. Liu. 2015. Effects of temporal variability on HBV model calibration. Water Science and Engineering, 8(4): 291-300.
14. Zhang, Z., Q. Cheng, B. Qi and Z. Tao. 2021. A general approach for the machining quality evaluation of S-shaped specimen based on POS-SQP algorithm and Monte Carlo method. Journal of Manufacturing Systems, 60: 553-568.
15. Nonki, R.M., A. Lenouo, R.M. Tshimanga, F.C. Donfack and C. Tchawoua. 2021. Performance assessment and uncertainty prediction of a daily time-step HBV-Light rainfall-runoff model for the Upper Benue River Basin, Northern Cameroon. Journal of Hydrology: Regional Studies, 36: 100849.
16. Seibert, J. 1997. Estimation of parameter uncertainty in the HBV model: Paper presented at the Nordic Hydrological Conference (Akureyri, Iceland-August 1996). Hydrology Research, 28(4-5): 247-262.
17. Seibert, J. 1996. HBV light, in User's manual, Uppsala University, Institute of Earth Science, Department of Hydrology, Uppsala.
18. Kult, J., W. Choi and J. Choi. 2014. Sensitivity of the Snowmelt Runoff Model to snow covered area and temperature inputs. Applied Geography, 55: 30-38.
19. Shiwakoti, S. 2017. Hydrological modeling and climate change impact assessment using HBV light model: a case study of Karnali River basin. Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment, 8(4): 296-304 (In Persian).
20. Aamiri, A. and H. Salimi. 2021. Comparison of the Performance of MISDc and HBV Hydrological Models in Runoff Simulation of Kakareza Basin in Lorestan Province. Journal of Water and Sustainable Development, 7(4): 51-60.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

21. Esmaeili-Gisavandani, H., M. Lotfirad, M.S.D. Sofla and A. Ashrafzadeh. 2021. Improving the performance of rainfall-runoff models using the gene expression programming approach. Journal of Water and Climate Change, 12(7): 3308-3329.
22. Maxander, O. 2021. The impact of different evapotranspiration models in rainfall runoff modelling using HBV-light, in TVVR21/5012. 2021, Division of Water Resources Engineering: LUND UNIVERSITY LIBRARIES. p. TVVR21/5012.
23. Lakzaianpour, G.H., O. Mohamadrezapour and M. Malmir. 2016. Evaluating the Effects of Climatic Changes on Runoff of Nazloochaei River in Uremia Lake Catchment Area. Geography And Development Iranian Journal, 14(42): 183-198 (In Persian).
24. Usman, M., C.E. Ndehedehe, H. Farah and R. Manzanas. 2021. Impacts of climate change on the streamflow of a large river basin in the Australian tropics using optimally selected climate model outputs. Journal of Cleaner Production, 315: 128091.
25. Conover, W.J. 1999. Practical nonparametric statistics. Vol. 350. john wiley & sons.
26. Feng, Y., W. Wang, D. Suman, S. Yu and D. He. 2019. Water cooperation priorities in the Lancang-Mekong River basin based on cooperative events since the Mekong River Commission establishment. Chinese geographical science, 29(1): 58-69.
27. Fathzadeh, A., M. Mahdavi, R. Bales, A. Abkar and A. Shirazi. 2009. A comparison of degree-day and radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM). Journal of Range and Watershed Managment, 62(1): 99-110.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]

Evaluation of Extreme Scenarios of Climate Change on Discharge of the Shahid Rajaei Dam Catchment under HBV-light Model

Fatemeh Safari Sokhtehkolaei[1], Reza NoRooz Valashedi[2] and Mojtaba Khoshravesh[3]

1- M.Sc. graduated in Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, (Corresponding author: r.norooz@sanru.ac.ir)
3- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
Received: 28 November, 2021 Accepted: 3 January, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Water management in water basins is difficult due to the lack of data collection stations. Today, rainfall-runoff simulations with different models will help manage existing water resources. Therefore, using hydrological models that allow the identification and management of the basin with minimal data can be a suitable method.

Material and Methods: In this study, in order to simulate runoff caused by rainfall and to investigate the mechanism of runoff formation and outflow in the catchment area of the Shahid Rajaei Dam, located in Sari, the HBV-light model with existing data from 1981 to 2015 was used. Its performance was also evaluated under climate change conditions with two scenarios of RCP2.6 and RCP8.5 in the two time periods of near future (2016-2040) and distant future (2041-2065).

Results: The results showed that the increase in temperature in the two scenarios of RCP2.6 and RCP8.5 by 11.5 and 13.9% in the near future and 13.9 and 24.2% in the distant future, respectively. Rainfall in the two climate scenarios RCP2.6 and RCP8.5 will also decrease by about 58% in the distant and near future. The output results of the model showed that the effect of climate scenarios on peak discharges will increase in the near future (2016-2040) and decrease in the distant future (2041-2065). The difference between the mean peak discharges in the future time window compared to the base period was significant at the 95% confidence level (Kruskal-Walli's test). RCP2.6 and RCP8.5 will increase by 36% and 28% in the near future and decrease by 12% and 3% in the near future, respectively. These changes in peak discharges will increase the probability of occurrence of extreme phenomena (severe peak discharges) due to changes in the statistical distribution.

Conclusion: In general, these results indicate that the management, operation and maintenance of water resources accumulated at the site of the Shahid Rajaei Dam will face serious challenges. Therefore, it is suggested to apply advanced leading scenarios in catchment management while examining more closely and comparing with the results of other hydrological models.

Keywords: Climate Change, Catchment, Forecast, Precipitation, RCP, Runoff

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.8.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.93]