دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

مدل‌سازی بارش-رواناب به‌منظور پیش‌بینی حداکثر جریان روزانه در شرایط تغییر اقلیم

محمد بشیرگنبد

استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، (نویسنده مسوول: mbgonbad@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۳۱
صفحه: ۱۱۵ تا ۱۲۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در سال‌های اخیر مساله تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آبی است که به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در سراسر جهان محسوب می‌شود. دو نشانه‌ی بارز و مشخص تغییر اقلیم تغییر در میانگین و مقادیر حدی متغیرهای اقلیمی است که می‌تواند احتمال بروز سیلاب‌ها را افزایش دهد و آثار زیانباری را در پی داشته باشد. به همین دلیل لازم است تا اثر تغییر اقلیم بر سیلاب حوضه‌ها در دوره‌های آتی بررسی گردد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق با استفاده از داده‌های روزانه بارش و دمای مشاهده‌شده در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی داخل و اطراف حوزه آبخیز بختیاری اثر تغییر اقلیم موردبررسی قرار گرفت. برای پیش‌بینی بارش و دما در آینده از داده‌های مدل گردش عمومی canESM2 تحت سناریوهای حدی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ برای متغیرهای اقلیمی در دوره‌های ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ استفاده شد. معیارهای مؤثر در ریزمقیاس نمایی با توجه به میزان همبستگی متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده پایگاه NCEP انتخاب شد. سپس از مدل نیمه توزیعی MORDOR-SD برای ارزیابی اثرات تغیر اقلیم بر میزان رواناب استفاده شد. این مدل با استفاده از داده‌های روزانه بارش و دما و دبی‌های مشاهده‌ای در ایستگاه تنگ پنج بختیاری در دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۶ واسنجی و اعتباریابی شد. اعمال نتایج تغییرات داده‌های بارش و دمای به‌دست‌آمده از مدل SDSM تحت دو سناریوی ذکرشده و بازتولید آن‌ها به تعداد بسیار زیاد به روش بوت استرپ ناپارامتری و جایگزینی رویدادهای حداکثر روزانه حاصل از آن در مدل هیدرولوژیکی دستیابی به حداکثر جریان روزانه و احتمال مربوط به آن را ممکن ساخت. پس از پایان شبیه‌سازی و محاسبه تابع توزیع تجمعی رویدادهای شبیه‌سازی شده مقادیر حداکثر دبی‌های روزانه در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پارامترهای دما و بارش تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ با متوسط معیارهای ارزیابی MAE= ۱/۲۹، RMSE=۱/۹۶ و NASH=۰/۵۶ برای بارش به‌طور متوسط ۵/۴ تا ۱۱ درصد کاهش نسبت به دوره پایه و برای دما با معیارهای ارزیابی MAE=۲/۲۷، RMSE=۲/۷۱ و NASH=۰/۹۲ از ۶/۵ تا ۱۰/۴ درصد افزایش نسبت به دوره پایه را به دنبال دارد. نتایج معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و کلینگ- گوپتا به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۸۳ است که نشان از توانایی قابل‌قبول مدل هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی است.

نتیجه‌گیری: نتایج نهایی تحقیق نشان داد که حداکثر دبی‌های روزانه شبیه‌سازی‌شده با استفاده از داده‌های سناریوی ۸/۵ در دوره بازگشت‌های مختلف، مقادیر بیشتری را نسبت به حداکثر دبی‌های روزانه در سناریوی ۲/۶ نشان می‌دهد اما نسبت به داده‌های حداکثر روزانه در دوره پایه تغییر قابل‌توجهی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، مدل canESM2، مدل‌هیدرولوژیکی MORDOR-SD

مقدمه

در چند دهه اخیر به دلیل صنعتی شدن جوامع غلظت گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته است، افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای کره زمین و تغییر در دیگر متغیرهای اقلیمی شده است (۱۴). تغییر در دما و بارش سبب تغییر در چرخه آب بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. تحقیقات نشان داده است این مناطق شرایط مستعدتری نسبت به مناطق مرطوب جهت بروز پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم دارند (۲۳). مرطوب‌تر شدن مناطق مرطوب جهان و خشک تر شدن مناطق خشک، با بررسی متوسط بارش در تحقیقات ونت و همکاران (۲۶)، ژانگ و همکاران (۳۱)، آلان و همکاران (۱) و وینسنت و همکاران (۲۵) مشهود است، هرچند نتایج تحقیقات گریو و همکاران (۱۰) چالشی جدی بر این نظریه وارد کرده است. در سال‌های اخیر اثرات ناشی از تغییرات اقلیمی بر چرخه آب و حوزه‌های آبخیز توسط بسیاری از محققان و جوامع علمی بررسی‌شده و نتایج این تحقیقات نشان‌دهنده اثر این تغییرات آب و هوایی روی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ها در مناطق مختلف است (۲۱،۵). طبق گزارش‌های ای پی سی سی (IPCC) تغییر اقلیم می‌تواند باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در سطح جهان شود به‌گونه‌ای که احتمال مواجه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش یابد (۷). افزایش شدت و فراوانی بارش‌های حدی در مشاهدات مقادیر ثبت‌شده ایستگاه‌ها مشهود است (۲۰،۱۸) البته تحقیقاتی هم وجود دارد که این تغییر و افزایش را در مدل‌های گردش عمومی GCM اثبات می‌کند (۱۶،۲). همچنین مدل‌های گردش عمومی افزایش شدت و فراوانی بارش‌های حدی را در دهه‌های آینده نشان می‌دهد (۲۴،۱۷،۱۶). ازآنجاکه افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیانباری را برای جوامع بشری در پی داشته باشد، لازم است تا وضعیت سیلابِ حوضه‌ها در دوره‌های آتی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم موردبررسی و پیش‌بینی قرار گیرد.

این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک بیانگر وضعیتی از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل تولید این گازها است. هرکدام از این سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فن‌آوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوی انتشار اطلاق می‌شود (۱۱). سناریوهای متفاوتی از ۱۹۹۲ تابه‌حال توسط IPCC ارائه‌شده است که برای پیش‌بینی اقلیم در مقیاس دهه تا سده بکار می‌روند که نمونه‌های آن‌هم اکنون در مراکز مختلف اقلیمی در حال اجرا است و اقلیم کره

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]

زمین را تا ۲۳۰۰ میلادی با استفاده از همین مدل‌ها شبیه‌سازی نموده‌اند.

از مدل‌های گردش عمومی نمی‌توان به‌طور مستقیم برای پیش‌بینی منطقه‌ای استفاده کرد و همچنین نمی‌تواند برآورد درستی از پاسخ هیدرولوژیکی به تغییر اقلیم را فراهم سازد و نیازمند ریزمقیاس‌سازی هستند تا در مدل‌های هیدرولوژیکی قابل‌استفاده باشد (۸). علت این امر مربوط به مناسب نبودن مقیاس مدل‌های گردش عمومی و مدل هیدرولوژیکی است. مدل‌های هیدرولوژیکی در مقیاس‌های کوچک‌تر استفاده می‌گردند که نیازمند داده‌های ریزمقیاس مدل‌های گردش عمومی هستند (۱۳). خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی را به روش‌های آماری و دینامیکی ریزمقیاس نمایی می‌کنند. یکی از مدل‌های کامپیوتری مورداستفاده جهت ریزمقیاس نمایی، مدل SDSM است که توسط ویلبای و همکاران (۲۷) ارائه‌شده است. این مدل پیوند بین مدل رگرسیون خطی و تکنیک‌های تولید تصادفی آب و هوایی را بهتر شرح می‌دهد، چون از الگوهای ناحیه‌ای و متغیرهای رطوبت جوّی در تولید متغیرهای محلی استفاده می‌کند که ارتباطات آماری بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های جهانی اقلیم و متغیرهای هواشناسی محلی را برقرار می‌کند.

متغیرهای اقلیمی ریزمقیاس شده مدل‌های گردش عمومی می‌تواند به‌عنوان ورودی در مدل‌های هیدرولوژیکی واردشده تا به نحو مطلوبی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی به‌ویژه رواناب حوضه را در دوره‌های آینده شبیه‌سازی کند. در نقاط مختلف دنیا و ایران تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است (۲۹،۶،۱۶،۲۸).

اثرات تغییر اقلیم و پوشش گیاهی بر رواناب در منطقه کوهستانی در حوضه‌های رودخانه‌ای شمال چین در ۵ دهه گذشته توسط لی و همکاران (۱۹) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقدار دی‌اکسید کربن در این حوضه‌ها افزایش چشمگیری داشته است. نتایج مدل هیدرولوژیکی روند کاهش رواناب در بخش جنوبی و شمال شرقی منطقه و افزایش رواناب در بخش‌های شمالی به دلیل کاهش تابش و افزایش دما را نشان داد.

کاویان و همکاران (۱۵)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز پرداختند. در این تحقیق ۶ مدل GCM برای ارائه تصویری مطلوب از وضعیت عوامل هواشناسی دما و بارندگی ماهانه تا سال ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی در حوزه آبخیز رودخانه هراز مورداستفاده قرار گرفت. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه برای دوره آتی به‌ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و متوسط بارندگی سالانه برای منطقه موردمطالعه به میزان ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. با استفاده از داده‌های ماهانه بارندگی و آبدهی رودخانه و همچنین با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT میزان آورد رودخانه برای افق موردنظر برآورد گردید. برآوردها حاکی از کاهش آوردها به میزان ۱۴ درصد در دوره آتی بوده است. زمانی و همکاران (۳۰)، در حوضه رود زرد در جنوب غربی ایران و تحت دو سناریوی RCP۴/۵ و RCP۸/۵ اثر تغییر اقلیم بر رواناب در دوره ۲۰۴۵-۲۰۲۵ را با استفاده از مدل IHACRES و نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی مدل LARS-WG بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش میانگین دمای سالانه در سناریوهای ذکرشده است. همچنین نتایج شبیه سازی رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم در حالت کلی کاهش میانگین رواناب شبیه سازی شده برای دوره آینده نسبت به دوره پایه را نشان داد.

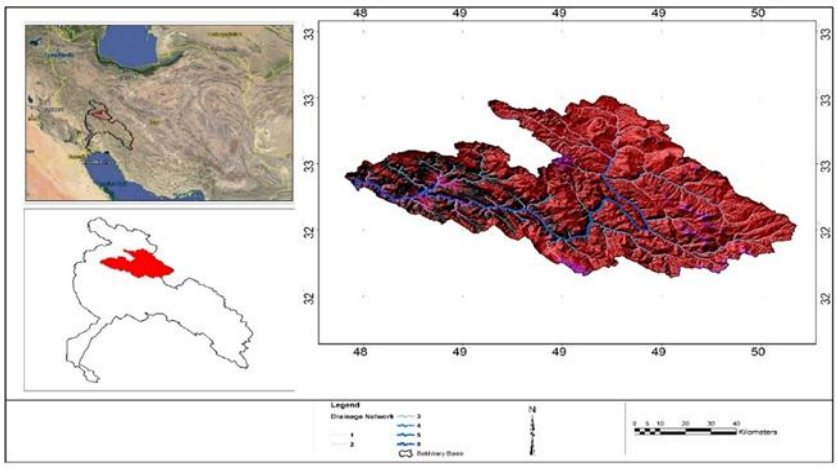
باغبانان و همکاران (۴)، در حوزه آبخیز حبله رود اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات هیدرولوژی را با استفاده از سناریوهای RCP۲/۶، RCP۴/۵ و RCP۸/۵ و مدل هیدرولوژیکی SWAT را در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده همبستگی قابل‌قبول بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی است، همچنین افزایش بارش در کلیه ماه‌های سال‌های آتی که ناشی از نتایج مدل HadGEMS2-ES و تحت سناریوهای یاده شده است افزایش رواناب را نشان می‌دهد.

بخش بزرگی از ایران‌زمین در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع‌شده و بررسی روند تغییرات اقلیمی در آن از اهمیت زیادی برای مدیریت حوزه آبخیز برخوردار است. حوزه آبخیز کارون بزرگ نقش اساسی در تأمین منابع آبی جنوب غرب ایران دارد و بخش عمده‌ای از سدهای بزرگ در این حوضه واقع‌شده است. یکی از زیر حوضه‌های اصلی این منطقه حوزه آبخیز بختیاری است که خروجی آن خواستگاه سد بختیاری است که باهدف تأمین آب پایین‌دست در حال ساخت می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل SDSM و شبیه‌سازی دبی‌های حداکثر در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از یک مدل پیوسته نیمه توزیعی است. بازتولید وقایع بارش با روش مونت‌کارلو و محاسبه رواناب ناشی از ذوب برف و درنتیجه کاهش عدم قطعیت اصلی‌ترین پارامترهای ورودی مدل هیدرولوژیکی، جز اهداف اصلی این پژوهش است. با توجه به اینکه سد بختیاری پس از بهره‌برداری به‌عنوان یکی از منابع آب پایدار در منطقه بوده و همچنین باهدف سازهٔ تأخیری برای مدیریت و مهار سیلاب‌های منطقه طراحی‌شده است میزان حداکثر جریان و حجم آن‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه حوزه آبخیز رودخانه بختیاری در جنوب غرب کشور و در محدوده مختصات جغرافیایی ′۱۵-°۴۸ تا ′۲۰-°۵۰ طول شرقی و ′۳۰-°۳۲ الی ′۳۰-°۳۳ عرض شمالی و در محدوده استان‌های چهارمحال و بختیاری، اصفهان، لرستان و خوزستان با مساحت ۶۳۹۰ کیلومترمربع قرارگرفته است. این حوضه در بالادست حوزه آبخیز رودخانه دز واقع شده که حوزه آبخیز دز نیز در تقسیم‌بندی حوضه‌های کشور جزو حوزه آبخیز کارون بزرگ محسوب می‌شود. برخی خصوصیات و موقعیت حوضه موردمطالعه در جدول (۱) و شکل (۱) ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران زمین و حوضه کارون بزرگ
Figure 1. The location of the studied area in Iran and Karoon catchment

جدول ۱- خصوصیات کلی حوزه آبخیز بختیاری
Table1. Bakhtiary watershed characteristics

آب‌وهوا		فیزیو گرافی	
میانگین بارش سالیانه حوضه (میلی‌متر در سال)	۷۵۸/۱۴	مساحت (کیلومترمربع)	۶۳۹۰
میانگین دمای بهمن‌ماه	۱۰/۲۸	ارتفاع متوسط (متر از سطح دریا)	۲۲۹۵
میانگین دمای مردادماه	۳۸/۴۳	بیشترین ارتفاع (متر از سطح دریا)	۴۰۴۹
		کمترین ارتفاع (متر از سطح دریا)	۳۹۴
وضعیت هیدرولوژی		کاربری اراضی (درصد)	
میانگین رواناب سالیانه (میلی‌متر در سال)	۷۱۰	مرتع	۵۳
میانگین حداکثر سالیانه دبی ۲۴ ساعته (مترمکعب در ثانیه)	۸۰۱/۰۸	انواع جنگل شامل جنگل انبوه، متراکم و تنک	۳۴/۶
حداکثر جریان روزانه مشاهده‌شده (مترمکعب در ثانیه)	۳۱۹۱	بیرون‌زدگی سنگی	۲/۶۵
ماه حداکثر جریان سالانه مشاهده‌شده	اردیبهشت	کشاورزی	۹/۰۶
		سایر کاربری‌ها شامل مناطق مسکونی و جاده‌ها	۰/۶۵
		آب‌بندان‌ها	۰/۰۴

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر حداکثر جریان روزانه حوزه آبخیز بختیاری از داده‌های بارش مربوط به ۱۶ ایستگاه هواشناسی منتخب در داخل و اطراف حوضه موردمطالعه در طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و داده‌های دمای روزانه متعلق به ایستگاه تنگ پنج بختیاری استفاده شد. داده‌های مدل گردش عمومی canESM2 بر اساس گزارش پنجم IPCC تحت سناریوهای حدی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ استفاده گردید. به‌منظور واسنجی و اعتباریابی مدل هیدرولوژیکی از داده‌های دبی مشاهده‌ای ایستگاه تنگ پنج بختیاری که در خروجی حوضه واقع‌شده در طول دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۷۶ استفاده شد.

روش تحقیق

یکی از مهم‌ترین مراحل کار با داده‌های مدل‌های گردش عمومی مرحله ریزمقیاس نمایی است که در این مطالعه از روش آماری و به کمک نرم‌افزار SDSM مراحل شش‌گانه آن شامل کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده غالب، واسنجی مدل، تولید داده‌های تاریخی و صحت‌سنجی مدل، تحلیل داده‌ها و تولید سناریوهای اقلیمی آینده انجام شد. در این مطالعه از خروجی‌های مدل canESM2 تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ که به ترتیب حالت‌های خوش‌بینانه و بدبینانه وضعیت اقلیمی فرض شده در دهه‌های آینده هستند استفاده شد. متغیرهای اقلیمی دما و بارش در دوره‌های ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ که با مدل SDSM ریزمقیاس نمایی شد مورداستفاده قرار گرفت. به‌این‌ترتیب که پس از کنترل کیفی داده‌های دما و بارش در دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ با استفاده از پارامترهای ۲۶ گانه متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوّی داده‌های NCEP و برونداد مدل گردش عمومی جو و با توجه به میزان همبستگی متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده معیارهای مؤثر در ریزمقیاس نمایی مشخص شد. با توجه به اینکه خصوصیات پیش‌بینی‌کننده‌های مؤثر پایگاه NCEP در سلول‌های مختلف متفاوت است و ۱۶ ایستگاه باران‌سنجی منطقه موردمطالعه نیز در سلول‌های یکسانی قرار ندارند، معیار مؤثر ریزمقیاس نمایی متناسب با سلولی که ایستگاه مربوطه در آن واقع‌شده است انتخاب شد. به‌این‌ترتیب که با استفاده از روش چندضلعی‌های تیسن مقادیر بارش متوسط منطقه‌ای برای ایستگاه‌های واقع در سلول‌های مشابه محاسبه و مراحل واسنجی و اعتبار یابی انجام شد. پس از اعتبار یابی مدل با استفاده از ۳۰ درصد داده‌های باقیمانده از مرحله واسنجی، داده‌های روزانه بارش و دما در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ و تحت دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ شبیه‌سازی شد. در مرحله بعد داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی‌شده در دوره آتی به تفکیک سناریوهای ذکرشده به‌عنوان ورودی به مدل هیدرولوژیکی که توسط پارامترهای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]

دوره پایه کالیبره و اعتبار سنجی شده است وارد شد. حوزه آبخیز بختیاری یک حوضه کوهستانی است و در بخش‌هایی از جنوب شرق با ارتفاعات استان چهارمحال و بختیاری بسته‌شده و دارای رژیم بارشی برفی– بارانی است. علاوه بر این مطابق جدول (۱) تغییرات ارتفاعی زیادی در این حوضه وجود دارد؛ بنابراین علاوه بر محاسبات مربوط به تجمع و ذوب برف، تقسیم حوضه به ۱۰ طبقه ارتفاعی با خصوصیات ویژه به‌طوری‌که هر طبقه بین پنج تا ۲۰ درصد مساحت کل حوضه را شامل می‌شود می‌تواند شبیه‌سازی شرایط ذوب برف را نیز مقدور سازد. تغییرات مکانی پارامترهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از محاسبه گرادیان بارش و افتاهنگ دما در هر یک از ۱۰ طبقه ارتفاعی رویکردی برای پاسخ به تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی دما و بارش و نقش آن‌ها در مدل‌سازی بارش–رواناب است.

مدل MORDOR-SD یک مدل نیمه توزیعی و مفهومی بارش–رواناب است. این مدل شبیه‌سازی پیوسته انجام می‌دهد و می‌تواند با فواصل زمانی ساعتی تا روزانه کار کند به همین دلیل به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی اثر تغییرات کاربری اراضی، تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی و در حالت کلی توضیح هر چه دقیق‌تر و نزدیک به واقعیت تر سیستم هیدرولوژیک در نقاط مختلف دنیا در طی ۲۵ سال اخیر استفاده‌شده است (۹). ساختار کلی این مدل در شکل (۲) نشان داده شده است. در مرحله بعدی تحقیق، مدل هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های بارش، دما و دبی روزانه ایستگاه تنگ پنج بختیاری واسنجی و اعتباریابی شد. یک سال ابتدایی در فرایند واسنجی به‌عنوان دوره گرم کردن در نظر گرفته شد. واسنجی ۱۹ پارامتر مدل به‌صورت خودکار و به روش الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. این مدل برای زمانی که حوزه آبخیز به طبقات مختلف ارتفاعی تقسیم می‌شود دارای توضیحاتی به شرح زیر است: اگر هر طبقه i با استفاده از درصد مساحت نسبی s_i نمایش داده شود و میانه ارتفاع این طبقه برحسب متر z_i باشد، آنگاه:

$$\sum_{i=1}^{i=N_b} s_i = 1 \qquad (۱)$$

که در آن i: شاخص طبقه ارتفاعی وN_b: مجموع طبقات ارتفاعی خواهد بود. این مدل برای هر طبقه ارتفاعی i در هر گام زمانی t دارای ورودی‌هایی شامل بارش (میلی‌متر)، درجه حرارت (سانتی‌گراد) و تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر) است. در برخی موارد بارش منطقه‌ای P(t) درجه حرارت T(t) در دسترس است در این مورد با استفاده از گرادیان بارش و دما، ورودی‌های مدل برای هر طبقه مطابق با روابط (۲ و ۳) محاسبه شد:

$$P_i(t) = p(t).\left(1 + \frac{gpz}{1000}\right).(z_i - \bar{z}) \qquad (۲)$$

$$T_i(t) = T(t).\left(1 + \frac{gtz}{100}\right).(z_i - \bar{z}) \qquad (۳)$$

که در آن gpz گرادیان بارش برحسب درصد در هر ۱۰۰۰ متر و gtz گرادیان دما برحسب سانتی‌گراد در هر ۱۰۰ متر تغییر ارتفاع و$\bar{z}$ ارتفاع متوسط حوزه آبخیز است. ارزیابی مدل هیدرولوژیکی حاکی از کارایی آن در شبیه‌سازی جریان در مقابل جریان مشاهده شده است. در این تحقیق ارزیابی مدل با استفاده از ضریب کلاسیک نش– ساتکلیف (Nash–Sutcliffe) و ضریب کلینگ–گوپتا (ling–Gupta) انجام شد. هر چه این ضرایب به یک نزدیک‌تر باشد به این معنی است که فرایند مدل‌سازی از کیفیت مناسبی برخوردار است (۱۲). این معیار مطابق معادله ۴ محاسبه شد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_i - \bar{Q}_i)^2} \qquad (۴)$$

که در آن Q_i: دبی حداکثر مشاهده‌شده، $\hat{Q}_i$: دبی حداکثر برآورد شده در دوره بازگشت i، N: تعداد مشاهدات یا برآوردها می‌باشد.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2} \qquad (۵)$$

که این ضریب توسط سه محتوای همبستگی، انحراف معیار و میانگین با توجه به موارد زیر تعریف می‌شود:

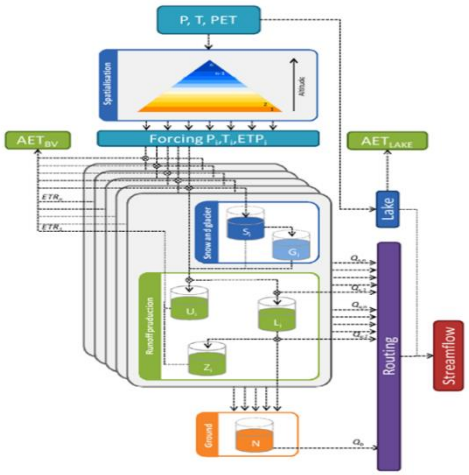
$$r = \frac{cov(X_{sim}, X_{obs})}{\sigma(X_{sim})\sigma(X_{obs})} \qquad \beta = \frac{\mu(X_{sim})}{\mu(X_{obs})}$$

$$\gamma = \frac{\sigma(X_{sim})/\mu(X_{sim})}{\sigma(X_{obs})/\mu(X_{obs})}$$

که در آن $cov(X_{sim}, X_{obs})$: کوواریانس مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای متغیری است که ضریب کلینگ–گوپتای آن مدنظر است، μ و σ: هم به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر مربوطه می‌باشد.

در مرحله آخر به منظور برآورد حداکثر دبی‌های روزانه در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از یک رویکرد احتمالاتی و با توجه به الگوهای روزانه بارش، احتمالات تجمعی رویدادهای آن با استفاده از روش بوت استرپ ناپارامتری محاسبه شد. سپس با استفاده از توزیع احتمال پارامترهای بارش و مقادیر بارش پیشین، مقادیر حداکثر دبی‌های روزانه برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]



شکل ۲- ساختار کلی مدل هیدرولوژیکی موردور
Figure 2. General structure of MORDOR-SD hydrological model

نتایج و بحث

میزان همبستگیِ متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده، تعیین‌کنندهٔ انتخابِ معیارِ مؤثر در ریزمقیاس نمایی دما و بارش است. در این تحقیق پیش‌بینی کننده‌های مؤثر دما شامل میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در نزدیک سطح زمین و میانگین دما در ارتفاع دو متری است. در خصوص متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش پارامترهای، مؤلفه سرعت نصف‌النهاری نزدیک سطح زمین، سرعت جریان هوا در ارتفاع ۵۰۰ هکتو پاسکال، مؤلفه سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی در نزدیک سطح دارای اهمیت هستند.

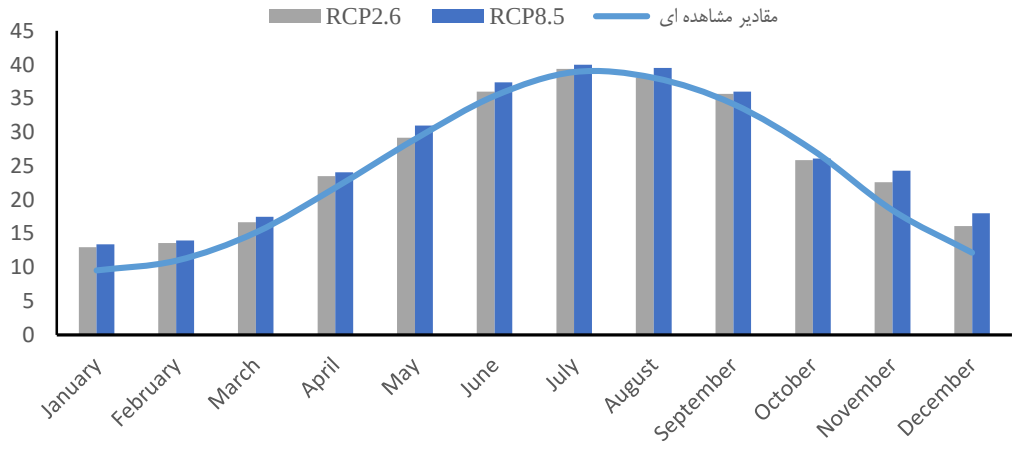
نتایج مرحله واسنجی نشان می‌دهد که در هر دو سناریو معیارهای ارزیابی برآورد دما نسبت به بارش مقادیر قابل اطمینان‌تری را داراست و همبستگی بهتری با داده‌های مشاهده‌ای در مقایسه با داده‌های بارندگی دارد. پس از تعیین معیارهای پیش‌بینی‌کننده، واسنجی و اعتباریابی مدل SDSM مقادیر میانگین پارامترهای بارش و دما در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ تحت دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ تولید شد که نتایج مربوط به آن در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- مقادیر میانگین بارش و دما در دوره پایه و دوره آتی تحت دو سناریو
Table 2. Mean values of precipitation and temperature in the base period and the future period under two scenarios

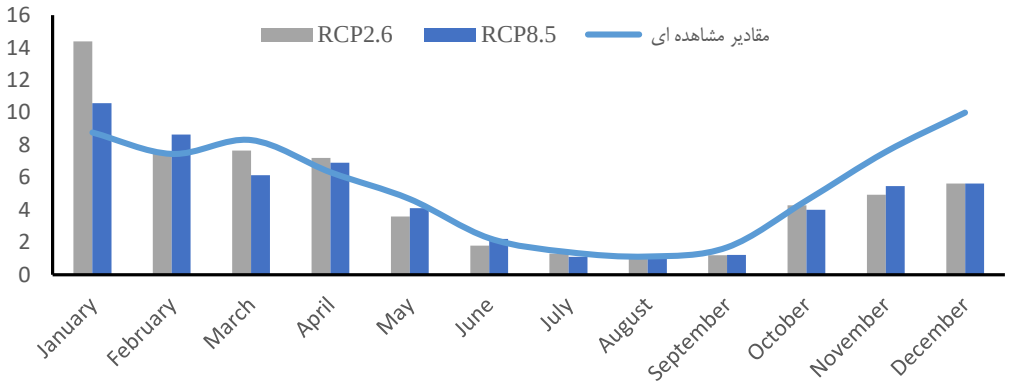
	دوره پایه		دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۰۶				تفاضل و نسبت با دوره پایه			
			بارش		دما		نسبت بارش		تفاضل دما	
	میانگین بارش	میانگین دما	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
ژانویه	۸/۷۶	۹/۵۳	۱۴/۳۹	۱۰/۵۸	۱۳	۱۳/۴	۱/۶۴	۱/۲۱	۳/۴۶	۳/۸۶
فوریه	۷/۴۴	۱۰/۹۸	۷/۵۳	۸/۶۴	۱۳/۶	۱۴	۱/۰۱	۱/۱۶	۲/۶۲	۳/۰۲
مارس	۸/۲۹	۱۵/۱۵	۷/۶۶	۶/۱۴	۱۶/۷	۱۷/۵	۰/۹۲	۰/۷۴	۱/۵۵	۲/۳۵
آوریل	۶/۳۱	۲۱/۷۹	۷/۲۰	۶/۹	۲۳/۵	۲۴/۱	۱/۱۴	۱/۰۹	۱/۷۱	۲/۳۱
می	۴/۶۶	۲۸/۹۶	۳/۶۰	۴/۱	۲۹/۲	۳۱	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۲۴	۲/۰۴
ژوئن	۲/۲۶	۳۵/۳۶	۱/۸	۲/۲	۳۶/۳	۳۷/۴	۰/۸	۰/۹۷	۰/۶۶	۲/۰۳
جولای	۱/۴	۳۸/۹	۱/۳۰	۱/۱	۳۹/۴	۴۰/۰۱	۰/۹۳	۰/۷۹	۰/۵	۱/۱۱
اوت	۱/۱۲	۳۸/۰۵	۱/۱۰	۱/۰۱	۳۸/۱	۳۹/۵	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۰۵	۱/۴۵
سپتامبر	۱/۶۹	۳۴/۱۷	۱/۲	۱/۲۳	۳۵/۷	۳۶	۰/۷۱	۰/۷۳	۱/۵۳	۱/۸۳
اکتبر	۴/۵۷	۲۷/۳۳	۴/۲۷	۴	۲۵/۹	۲۶/۱۳	۰/۹۳	۰/۸۷	−۱/۴۴	−۱/۲۰
نوامبر	۷/۵۷	۱۸/۴۴	۴/۹۴	۵/۴۶	۲۲/۶	۲۴/۳	۰/۶۵	۰/۷۲	۴/۱۵	۵/۸۵
دسامبر	۹/۹۸	۱۲/۱۶	۵/۶۳	۵/۶۳	۱۶/۱	۱۸	۰/۵۶	۰/۵۶	۳/۹۴	۵/۸۴

جدول (۳) معیارهای ارزیابی میانگین خطای مطلق (MAE)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب نش (NASH) را نشان می‌دهد که نتایج حاکی از کارایی بهتر مدل CanESM2 در برآورد دقیق‌تر داده‌های دما نسبت به بارش در دو سناریوی مذکور است. مطابق شکل‌های (۳ و ۴) نتایج نشان می‌دهد که بارش روند نامنظمی داشته ولی در برخی ماه‌ها بخصوص اوایل زمستان افزایش محسوس نسبت به دوره پایه دارد و در ماه‌های آخر فصل پاییز نسبت به دوره پایه افت محسوسی در دوره آتی خواهد داشت ولی دما در دو سناریوی موردبررسی در اغلب ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد که این افزایش در سناریوی RCP۸/۵ شدیدتر است. افزایش دما در ماه‌های نخستین بهار سبب ذوب ذخایر برف انباشته در حوضه و تجمیع آن با بارش‌های فراگیر فصل بهار سبب افزایش خطر وقوع سیل‌های ناگهانی در منطقه خواهد شد که یکی دیگر از اثرات افزایش متوسط دما در دوره‌های آینده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]



شکل ۳– مقایسه متوسط دمای مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در دوره آتی ایستگاه تنگ پنج بختیاری
Figure 3. Comparison of the average temperature observed and simulated in the future period of Tang Panj Bakhtiary station



شکل ۴– مقایسه متوسط بارش مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در دوره آتی ایستگاه تنگ پنج بختیاری
Figure 4. Comparison of the average temperature observed and simulated in the future period of Tang Panj Bakhtiary station

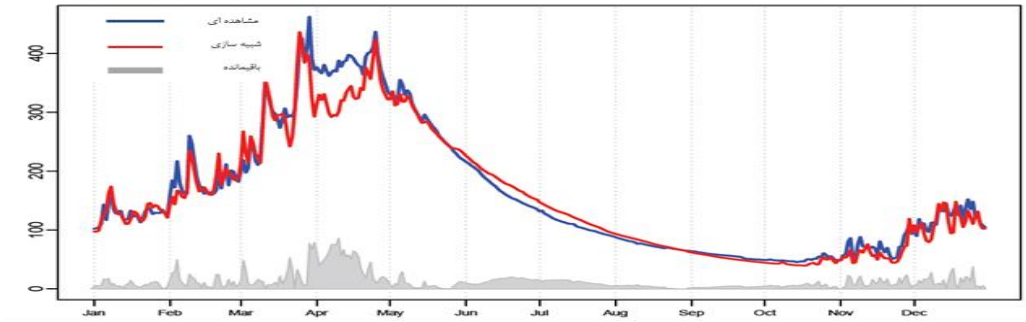
جدول ۳– معیارهای ارزیابی کارایی مدل CanESM2
Table 3. CanESM2 Model performance evaluation criteria

معیار ارزیابی	بارش		دما	
	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
MAE	۱/۳۹	۱/۱۹	۱/۸۱	۲/۷۳
RMSE	۲/۲۴	۱/۶۸	۲/۲۷	۳/۱۵
NSE	۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۹

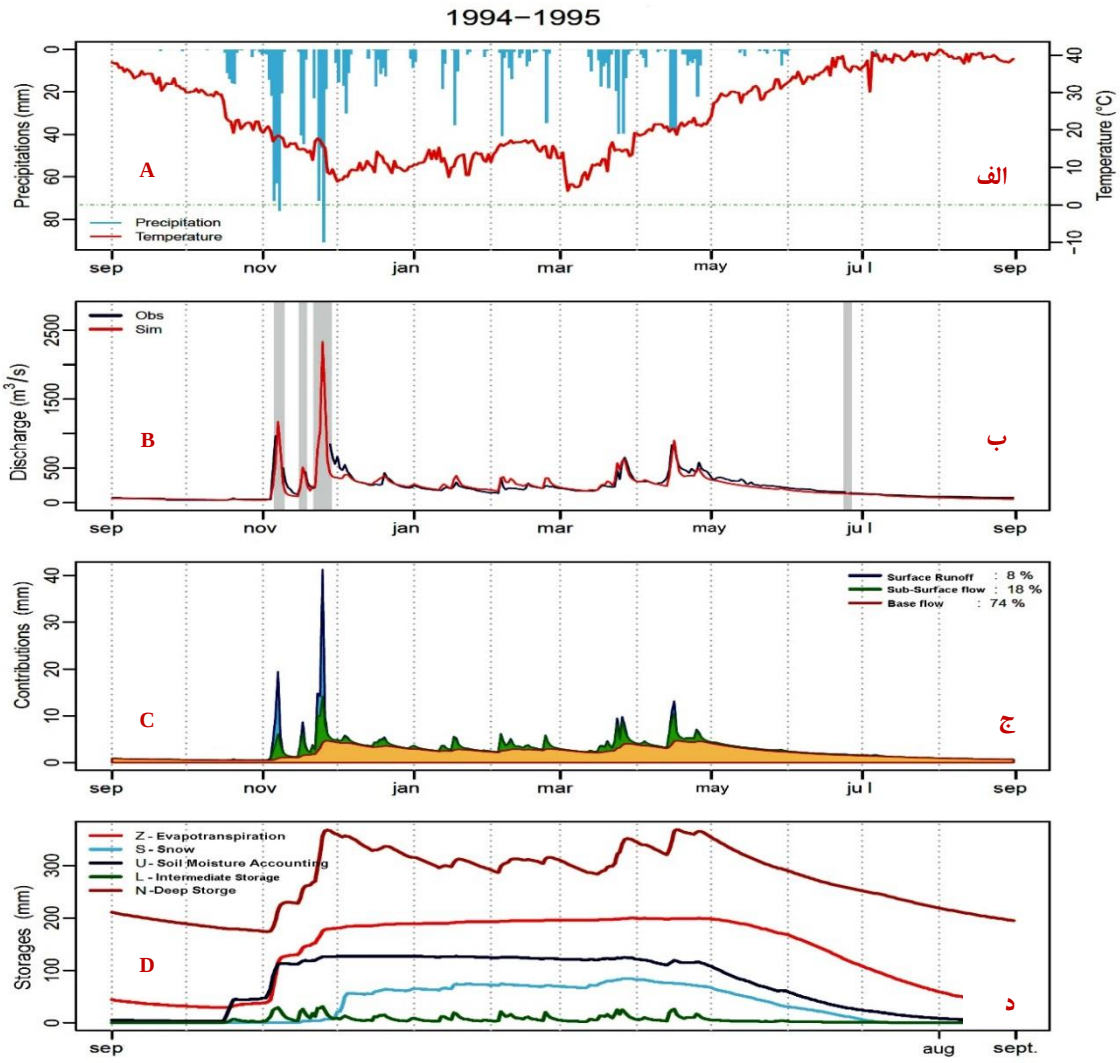
نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیکی

برای انتخاب مدلی که هم‌خوانی بیشتری با شرایط حوضه و هدف تحقیق داشته باشد اقدام به ارزیابی مدل هیدرولوژیکی MORDOR-SD شد. شکل (۵) نتایج شبیه‌سازی جریان متوسط ماهانه در دوره واسنجی مدل را نشان می‌دهد و شکل (۶) نتایج مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی‌شده را همراه با مقادیر بارش و دمای مشاهده‌شده، محتوای هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه شامل درصد مشارکت اجزای هیدرولوژیکی حوضه و میزان نگهداشت حوضه را در یک سال از فرایند مدل‌سازی در دوره اعتبار یابی نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]



شکل ۵- شبیه‌سازی جریان ماهانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی در طول دوره اعتبار سنجی مدل
Figure 5. Monthly flow simulation using the hydrological model during the model validation period



شکل ۶- مقادیر مشاهده‌شده بارش و دما (الف)، جریان روزانه شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده (ب)، سهم مشارکت رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و آب‌پایه در محتوای هیدرولوژیکی (ج) و میزان ذخایر حوضه (د) در یک سال از فرایند شبیه‌سازی در دوره اعتبار یابی مدل هیدرولوژیکی
Figure 6. Observed Temperature and Precipitation (A), Observed and Simulated Daily Flow (B), Contribution of Surface Runoff, Subsurface Flow and Base Flow to Hydrological Content (C) and Watershed Storages (D) in one year of the Simulation Process in Validation Period of the Hydrological Model

نتایج حاصل از اجرای مدل هیدرولوژیکی با توجه به معیارهای ارزیابی نش ساتکلیف و کلینگ گوپتا به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۸۳ است که نشان از توانایی قابل‌قبول مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی در مقیاس روزانه و ماهانه است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]

استفاده از مدل هیدرولوژیکی اعتبار یابی شده با ورودی‌های دما و بارش شبیه‌سازی‌شده در دوره ۲۱۰۰–۲۰۰۶ و مقایسه نتایج آن با مقادیر حداکثر جریان روزانه برآورد شده با استفاده از اطلاعات دوره پایه نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی‌شده با استفاده از داده‌های سناریوی ۸/۵ در دوره بازگشت‌های مختلف، مقادیر بیشتری را نسبت به حداکثر جریان روزانه در سناریوی ۲/۶ نشان می‌دهد اما نسبت به داده‌های حداکثر جریان روزانه در دوره پایه تغییر قابل‌توجهی وجود ندارد. مقادیر حداکثر جریان روزانه در دوره پایه و نتایج حاصل از اجرای مدل با پارامترهای برآورد شده دوره آینده در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- حداکثر دبی‌های روزانه برآورد شده در دوره پایه و دوره آتی با توجه به سناریوهای ۲/۶ و ۸/۵ در دوره بازگشت‌های مختلف
Table 4. Maximum daily discharges calculated in the base period and the future period according to the 2.6 and 8.5 scenarios in the different returns period

متغیر	حداکثر جریان روزانه (مترمکعب در ثانیه)		
دوره شبیه‌سازی / دوره بازگشت	دوره پایه	۲۱۰۰–۲۰۰۶	
		RCP 2.6	RCP 8.5
۱۰	۲۰۵۱	۱۷۷۴	۱۸۹۹
۲۰	۲۶۸۹	۲۴۲۹	۲۵۶۵
۵۰	۳۵۸۲	۳۳۷۶	۳۵۲۶
۱۰۰	۴۲۹۲	۴۱۲۵	۴۲۸۹
۳۰۰	۵۴۶۳	۵۳۸۲	۵۵۴۸
۱۰۰۰	۶۸۱۲	۶۸۳۹	۷۰۱۴

در این پژوهش به مدل‌سازی بارش–رواناب با هدف پیش‌بینی حداکثر جریان روزانه در شرایط تغییر اقلیم پرداخته شد. به‌منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم از سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه RCP با استفاده از مدل SDSM استفاده شد. نتایج مرحله واسنجی نشان می‌دهد که در هر دو سناریو معیارهای ارزیابی برآورد دما نسبت به بارش مقادیر قابل‌اطمینان‌تری را داراست و همبستگی بهتری با داده‌های مشاهده‌ای در مقایسه با داده‌های بارندگی دارد. این به دلیل تغییرپذیری کمتر دما نسبت به بارندگی است. با در نظر داشتن این مطلب که دما پارامتری با توزیع احتمالی نرمال و بارش یک متغیر گسسته است. این مساله مهم بایستی در توسعه مدل‌های اقلیمی آینده در نظر گرفته شود.

نتایج شبیه‌سازی بارش و دما در دوره ۲۱۰۰–۲۰۰۶ روند نامنظم بارش تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه را نشان داد درصورتی‌که دما در دو سناریوی موردبررسی بخصوص در سناریوی بدبینانه مقادیر بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل افزایش واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای تا میزان ۸/۵ وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ میلادی ناشی از فرضیات این سناریو برای دوره آینده باشد، این موضوع با نتایج زبردست و همکاران (۲۹) در حوضه نکا رود و پورتویسرکانی و همکاران (۲۲) در حوضه راهدار فارس همخوانی دارد.

به‌منظور مدسازی جریان نیز از مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی MORDOR-SD که به‌صورت پیوسته فرایند شبیه‌سازی را انجام می‌دهد استفاده شد که معیارهای ارزیابی قابل‌قبول به‌دست‌آمده حاکی از این است که این مدل هیدرولوژیکی می‌تواند با استفاده از معادلات ساختاری خود متغیرهای مختلفی که مهم‌ترین آن‌ها تبخیر و تعرق و برف هستند را در شبیه‌سازی جریان لحاظ کند. یکی دیگر از مزیت‌های این مدل محاسبه اغلب پارامترها ساختاری به‌صورت مکانی است که این مدل را به یک مدل نیمه توزیعی تبدیل کرده است. نتایج شبیه‌سازی حداکثر جریان روزانه نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی‌شده با استفاده از داده‌های سناریوی ۸/۵ در دوره بازگشت‌های مختلف، مقادیر بیشتری را نسبت به حداکثر جریان روزانه در سناریوی ۲/۶ نشان می‌دهد که یافته‌های اسدیه و همکاران (۲) و زمانی و همکاران (۳۰) نیز این نتایج را تائید می‌کند.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر حداکثر جریان روزانه در آینده بیشتر خواهد شد و خطر افزایش سیلاب بخصوص در زمستان بیشتر است. از دلایل آن می‌توان به افزایش بارش در اوایل زمستان اشاره کرد که عدم وجود پوشش گیاهی می‌تواند در تشدید سیل‌های مخرب نقش داشته باشد. از طرف دیگر کاهش مقادیر بارش و افزایش دما در فصل تابستان سیاست‌های بهره‌برداری و تخصیص منابع آب در حوزه آبخیز بختیاری را نیازمند بازنگری می‌داند. استان خوزستان به‌عنوان یکی از قطب های کشاورزی در پایین‌دست این حوضه قرار دارد که این مطلب اعمال سیاست‌های تغییر الگوی کشت، کاهش تقاضا از طریق استفاده از روش‌های نوین آبیاری و حتی استفاده از آب‌های نامتعارف را توصیه می‌کند.

منابع

1. Allan, R.P. and B.J. Soden. 2008. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. Science, 321(5895): 1481-1484.
2. Asadieh, B. and N.Y. Krakauer. 2015. Global trends in extreme precipitation: Climate models versus observations. Hydrology and Earth System Sciences, 19(2): 877-891.
3. Asadieh, B., N.Y. Krakauer and B.M. Fekete. 2016. Historical trends in mean and extreme runoff and streamflow based on observations and climate models. Water (Switzerland), 8(5).
4. Baghbanan, P., A. Ahmad Abadi and A. Karimi. 2021. Investigating the effect of climate change on hydrological changes in Hablehrood catchment. Climate Change Research, 2(5): 27-40.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]

5. Bauwens, A., C. Sohier- and A. Degré. 2013. Impacts of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Meuse catchment. A review. Impacts Du Changement Climatique Sur l'hydrologie et La Gestion Des Ressources En Eau Du Bassin de La Meuse (Synthèse Bibliographique), 17(1): 76-86.
6. Bermúdez, M., J.F. Farfán, P. Willems and L. Cea. 2021. Assessing the Effects of Climate Change on Compound Flooding in Coastal River Areas. Water Resources Research, 57(10): 1-19.
7. Curry, J. 2011. IPCC special reports on extreme events. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
8. Dibike, Y.B. and P. Coulibaly. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. Journal of Hydrology, 307(1-4): 145-163.
9. Garavaglia, F., M. Le Lay, F. Gottardi, R. Garçon, J. Gailhard, E. Paquet, and T. Mathevet. 2017. Impact of model structure on flow simulation and hydrological realism: From a lumped to a semi-distributed approach. Hydrology and Earth System Sciences, 21(8): 3937-3952.
10. Greve, P., B. Orlowsky, B. Mueller, J. Sheffield, M. Reichstein and S. I. Seneviratne. 2014. Global assessment of trends in wetting and drying over land. Nature Geoscience, 7(10): 716-721.
11. Griggs, D.J. and M. Noguer. 2002. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Weather, 57(8): 267-269.
12. Gupta, H.V., H. Kling, K.K. Yilmaz and G.F. Martinez. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology, 377(1–2): 80-91.
13. Hassan, Z., S. Shamsudin and S. Harun. (n.d.). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature.
14. Hemmati, L., and M. Miryaghoubzadeh. 2021. Forecasting of Climate Variables in Future Periods Based on HadCM3 Data using Statistical Downscaling Model (SDSM) in Agh-Chay Basin (West Azarbayjan) Jwmr, 12(23): 95-107.
15. Kavian, A., M. Namdar, M. Golshan and M. Bahri. 2017. Hydrological modeling of Climate Changes Impact on flow discharge in Haraz River Basin. Journal of Natural Environmental Hazards, 6(12): 89-104.
16. Kharin, V.V., F.W. Zwiers, X. Zhang and M. Wehner. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. Climatic Change, 119(2): 345-357.
17. Khazaei, M.R., Hadis Khazaee and Bahram Saghafian. 2020. Climate Change Impact on Extreme Rainfalls in Arid Region of Iran. Journal of Environmental Science and Technology, 22(9): 31-42.
18. Lehmann, J., D. Coumou and K. Frieler. 2015. Increased record-breaking precipitation events under global warming. Climatic Change, 132(4): 501-515.
19. Lei, H., D. Yang and M. Huang. 2014. Impacts of climate change and vegetation dynamics on runoff in the mountainous region of the Haihe River basin in the past five decades. Journal of Hydrology, 511: 786-799.
20. Min, S.K., X. Zhang, F.W. Zwiers and G.C. Hegerl. 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. Nature, 470(7334): 378-381.
21. Parandin, F., A. Khoorani and O. Bazrafshan. 2019. The Impacts of Climate Change on Maximum Daily Discharge in the Payab Jamash Watershed , Iran, 1035-1045.
22. Pourtouiserkani, A. and G. Rakhshandehroo. 2014. Investigating climate change impact on extreme rainfall Events Case study: Chenar-Rahdar basin, Fars, Iran. Scientia Iranica, 21(3): 525-533.
23. Stout, G.E. 1990. Climate and water. Eos, Transactions American Geophysical Union (Vol. 71).
24. Toreti, A., P. Naveau, M. Zampieri, A. Schindler, E. Scoccimarro, E. Xoplaki, H.A. Dijkstra, S. Gualdi and J. Luterbacher. 2013. Projections of global changes in precipitation extremes from Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 models. Geophysical Research Letters, 40(18): 4887-4892.
25. Vicente-Serrano, S.M., R. García-Herrera, D. Peña-Angulo, M. Tomas-Burguera, F. Domínguez-Castro, I. Noguera, N. Calvo, C. Murphy, R. Nieto, L. Gimeno, J.M. Gutierrez, C. Azorin-Molina and A. El Kenawy. 2021. Do CMIP models capture long-term observed annual precipitation trends? Climate Dynamics, (0123456789).
26. Wentz, F.J., L. Ricciardulli, K. Hilburn and C. Mears. 2007. How much more rain will global warming bring? Science, 317(5835): 233-235.
27. Wilby, R.L. 2007. Seasonal Forecasting of River Flows in the British Isles Using North Atlantic Pressure Patterns. Water and Environment Journal, 15(1): 56-63.
28. Wu, C.H., G.R. Huang and H.J. Yu. 2015. Prediction of extreme floods based on CMIP5 climate models: A case study in the Beijiang River basin, South China. Hydrology and Earth System Sciences, 19(3): 1385-1399.
29. Zabardast Rostami, H.A., M. Raeini Sarjaz and M.A. Gholami Sefidkouhi. 2021. Assessment of Climate Change Effects on River Flow of Gelevard Dam Basin. Jwmr, 12(24): 205-216.
30. Zamani, R. 2019. Assessment of Climate Change impacts on Runoff under Different Level of Probabilistic with Uncertainty Approach (Case Study: Zard River Basin). Irrigation Sciences and Engineering.
31. Zhang, X., F.W. Zwiers, G.C. Hegerl, F.H. Lambert, N.P. Gillett, S. Solomon, P.A. Stott and T. Nozawa. 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. Nature, 448(7152): 461-465.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]

Rainfall-Runoff Modeling to Predict Maximum Daily Flow under Climate Change Conditions

Mohammad Bashir Gonbad

Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Malayer University,
(Corresponding author: mbgonbad@ut.ac.ir)
Received: 26 February, 2022 Accepted: 21 May, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: One of the most important challenges in recent years is the issue of climate change and its effects on water resources, which is considered one of the main areas of research around the world. Two obvious signs of climate change are changes in the mean and extreme values of climate variables that can increase the Probability of flood occurrence. Therefore, it is necessary to study the effect of climate change on floods in the future.

Material and Methods: In this study, using the observed daily data of precipitation and temperature in the period 1961-2005 synoptic and climatological stations inside and around the Bakhtiary catchment, the effect of climate change was investigated. To predict future precipitation and temperature, the data of the canESM2 general circulation model under RC 2.6 and RCP 8.5 scenarios for climate variables for the period 2006 to 2100 were used. The effective criteria in downscaling were selected according to the correlation between the predictor and predictands variables from the NCEP-NCAR reanalysis database. Then the MORDOR-SD semi-distributed models were used to evaluate the effects of climate change on runoff. This model was calibrated and validated using daily rainfall, temperature, and observation data at Tang-e-Panj Bakhtiary station for the period 1976-2006. Applying the results of changes in precipitation and temperature data obtained from the SDSM model under the two scenarios mentioned and reproducing them in large numbers by nonparametric bootstrap method and replacing the resulting maximum daily events in the hydrological model to achieve maximum daily flood and probability made it possible. At the end of the simulation and calculation of the cumulative distribution function (CDF) of the simulated events, the maximum daily discharge values in different return periods were calculated.

Results: The results showed that, temperature and precipitation parameters under RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios with average evaluation criteria MAE = 1.29, RMSE = 1.96 and NASH = 0.56 for precipitation decreased by an average of 5.4 to 11% compared to the base period for temperature with evaluation criteria of MAE= 2.27, RMSE= 2.71 and NASH 0.92 = from 6.5 to 10.4% increase compared to the base period. The results of the Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta evaluation criteria are 0.76 and 0.83, respectively, which shows the acceptable ability of the hydrological model in the simulation. The results of the study showed that the maximum daily discharges simulated using scenario 8.5 in different return periods show higher values than the maximum daily discharges in scenario 2.6 but there is no significant change compared to the maximum daily data in the base period.

Conclusion: In general, it can be said that the use of climate data in the future for planning in the field of integrated water resources management and prevention of natural hazards such as extreme floods and droughts can be a useful tool for planning managers.

Keywords: Climate change, Downscaling, Canesm2 model, MORDOR-SD hydrological model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.12.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.115]