دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

کاربرد مدل بارش- رواناب پیوسته HMS-SMA برای برآورد رواناب و فراوانی خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌های حوزه نکا تحت سناریوی اقلیمی A_2 مدل $HadCM_3$

مجتبی خوش‌روش[۱]، محمود رائینی[۲] و اسماعیل نیکزاد طهرانی[۳]

۱- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: khoshravesh_m24@yahoo.com)
۲ و ۳- دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۶

چکیده

ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوزه، کمک شایانی به تصمیم‌گیران و مدیران منابع آب خواهد کرد. یکی از ابزارهای پُرکاربرد و مورد استفاده برای ارزیابی این پدیده، استفاده از شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی با مدل بارش- رواناب است. هدف از این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب و پیشامدهای خشک‌سالی و سیلاب حوزه نکارود در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ است. در این پژوهش از مدل نیمه توزیعی SMA در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوزه نکارود استفاده شد. در این راستا نخست پارامترهای مدل پیوسته نیمه‌توزیعی SMA برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت، سپس برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر هیدرولوژی حوزه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی، داده‌های مدل اقلیمی $HadCM_3$-AR_4 تحت سناریوی انتشار A_2 از مجموع سناریوی SRES برای منطقه ریزمقیاس شد. در ادامه داده‌های ریزمقیاس شده به مدل SMA معرفی شده و تغییرات رواناب در دوره‌های آینده مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده توسط این مدل اقلیمی در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نشان می‌دهد که 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. هم چنین نتایج فراوانی خشک‌سالی و سیلاب 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.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی جو، ریزمقیاس، مدل نیمه توزیعی بارش- رواناب

مقدمه

رشد صنایع و کارخانه‌ها از آغاز انقلاب صنعتی و در پی آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یک‌سو و ویرانی جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی کشاورزی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه گاز CO_2 در چند دهه اخیر شده است، به گونه‌ای که غلظت این گاز از ۲۸۰ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۷۵۰ به ۳۷۹ میلی‌گرم در لیتر در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته است (۱۰). تحقیقات نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گاز در سال‌های پایانی سده ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد (۱۱). افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین به وجود آورده است، که در منابع علمی به آن تغییر اقلیم گفته می‌شود (۱۰). فرایند تغییر اقلیم، به ویژه تغییرات دما و بارش، مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی است. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی- اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چون کارکرد سامانه‌های زیستی وابسته اقلیم، مانند کشاورزی و صنایع، بر پایه پایداری اقلیم طراحی‌شده است (۳،۱). تغییرات معنی‌دار دمای کره زمین یا گرایش جهانی به عنوان مهم‌ترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است (۱۰).

داده‌های هواشناسی و یافته‌های مدل‌های شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که میانگین دمای هوا روندی افزایشی دارد (۴)، که خود ممکن است سبب کاهش مقدار بارش تابستانه و افزایش احتمال رخداد خشک‌سالی و موج گرمایی، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک شود (۴). از سویی دیگر، انتظار می‌رود که پدیده تغییر اقلیم در سده ۲۱ ادامه یابد (۲۴). بنابراین افزایش پیوسته انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد. مهم‌ترین اثر تغییر اقلیم تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی نظیر توفان، سیل، تگرگ، خشک‌سالی و سرماهای نابهنگام خواهد بود (۳). از این‌رو بسیار مهم است که تغییرات اقلیمی پیش‌بینی و پی‌آمدهای آن به‌ویژه روی منابع آب مورد بررسی قرار گیرد (۲۰).

مدل‌های اقلیمی و سناریوی انتشار

در حال حاضر از روش‌های مختلفی برای تولید سناریوی اقلیمی در دوره‌های آینده استفاده می‌شود. این روش‌ها عبارتند از: تولید سناریوهای مصنوعی، استفاده از داده‌های گذشته متغیر اقلیمی منطقه و استفاده از مدل‌های سه‌بعدی جفت شده اقیانوس- جو (AOGCM)[1] (۱۹). در حال حاضر معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده اقیانوس- جو می‌باشند (۲۵،۲۱).

مدل AOGCM بر پایه قوانین فیزیکی که با روابط ریاضی داده می‌شود استوار هستند. این روابط در یک شبکه سه‌بعدی در سطح کره زمین حل می‌شوند (۱۵). AOGCM ابزاری معتبر برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیم و تهیه

1- Atmosphere Ocean General Circulation Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

ورودی‌های مدل هیدرولوژیکی است. پژوهش‌های بسیاری در زمینه اثرات تغییرات اقلیم بر رواناب سطحی به‌وسیله ترکیب نمودن خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی و مدل‌های هیدرولوژیکی انجام شده است (۲۵،۱۲). هم‌چنین چند مورد شبیه‌سازی از مدل‌های GCM برای منطقه مورد مطالعه انجام شد که تغییرات اقلیمی را برای دوره‌های آینده پیش‌بینی کردند که در بین این مدل‌ها، مدل $HadCM_3$ هم‌گونی بیش‌تری با داده‌های مشاهده‌ای این منطقه دارد (۲۳،۱۷،۶).

محققان بسیاری اثر تغییرات اقلیم را با استفاده از این نوع مدل‌های اقلیمی در ترکیب با مدل‌های هیدرولوژیکی روی رواناب حوزه بررسی کردند که نشان دادند، مدل‌های هیدرولوژیکی چارچوبی را برای ارزیابی رابطه مابین جو، فعالیت‌های انسان و منابع آب فراهم می‌کنند (۱۸،۱۴).

استیل‌دان و همکاران (۲۴) با استفاده از مدل گردش عمومی $ECHAM_5$ و سناریوی انتشار A_1B، تأثیر اقلیم بر هیدرولوژی جریان رودخانه نه حوزه در کشور ایرلند با استفاده از مدل مفهومی بارش–رواناب HBV-Light را مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در این حوزه‌ها، بارش زمستانه روندی افزایشی و بارش تابستانه روند کاهشی در دوره ۲۰۶۰–۲۰۱۰ داشته است.

مساح بوانی (۱۹)، با بهره‌گیری از داده‌های مدل گردش عمومی $HadCM_3$ و دو سناریوی A_2 و B_2، اثرات این پدیده بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان را برای دوره‌های ۲۰۳۹–۲۰۱۰ و ۲۰۹۹– ۲۰۷۰، بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش گویای کاهش بارندگی و افزایش دما تا پایان سال ۲۱۰۰، به‌خصوص در نیمه دوم سده است. شبیه‌سازی دبیورودی، با استفاده از تکنیک شبکه عصبی، به سد چادگان نمایشگر افت جریان ورودی به سد تا ۵/۸ درصد است. مقایسه سناریوهای A_2 و B_2 نشان از وضعیت بحرانی‌تر سناریوی A_2 در این حوزه دارد.

حسینی و همکاران (۹) مدل‌سازی بارش–رواناب را در شرایط تغییر اقلیم به‌منظور پیش‌بینی جریان آتی حوزه صوفی‌چای بررسی کردند و نشان دادند که اختلاف میان مدل‌های اقلیمی تحت سناریوی انتشار A_2 برای دوره نزدیک به‌خصوص در فصول گرم سال نسبتا اندک است ولی در دوره دور، اختلاف‌ها قابل توجه‌اند.

آذری و همکاران (۲) با استفاده از مدل‌های AOGCM ($CGCM_1$، $HadCM_3$، SCIRO) به بررسی تغییر اقلیم بر رواناب حوزه گرگان‌رود در دوره ۲۰۹۹–۲۰۷۰ با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT پرداخته است. نتایج مطالعه ضمن کارایی مدل، نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده با استفاده از روش مقیاس کاهی تناسبی، برای دوره زمانی ۲۰۹۹–۲۰۷۰ مقدار بارندگی سالانه حوزه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد برای ماه‌های مختلف خواهد بود.

ثانی‌خانی و همکاران (۲۲) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز قره چای پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقدار حداکثر دبی جریان در افق‌های ۱۴۰۰، ۱۴۳۵ و ۱۴۷۰ به‌ترتیب به‌میزان ۱۴، ۲۷ و ۴۳ درصد در مقایسه با داده‌های تاریخی کاهش خواهد یافت.

کمال و مساح بوانی (۱۵) با استفاده از مدل‌های AOGCM به بررسی تغییر اقلیم بر رواناب حوزه قره‌سو در دوره ۲۰۶۹–۲۰۴۰ پرداخته است. آنها ابتدا مدل مفهومی بارش– رواناب SIMHYD در دوره پایه ۲۰۰۰–۱۹۷۱ برای حوزه قره‌سو را مورد واسنجی و راستی‌آزمایی قرار دادند، سپس با استفاده از روش مقیاس‌کاهی تناسبی، اقدام به شبیه‌سازی رواناب در دوره آینده کردند. نتایج آنها نشان داد که استفاده از مدل‌های AR_4 ضمن مدیریت بیش‌تر عدم قطعیت، نتایج کاربردی‌تری نسبت به مدل‌های TAR دارند.

قلی‌نژاد (۸) در تحقیق مشابهی با تأکید بر تأثیر تغییر اقلیم روی فراوانی سیل، روش محاسبه رطوبت خاک SMA را برای حوزه نکارود برای بررسی فراوانی وقوع سیلاب در دوره‌های خشک و تر بررسی کرد. وی با استفاده از واسنجی دستی و خودکار میزان جریان روزانه رودخانه را برآورد نمودند. نتایج وی نشان داد که تقریبا دبی‌های مشاهده شده تطابق خوبی با جریان شبیه‌سازی شده داشت.

ذهبیون و همکاران (۲۷) اثر تغییر اقلیم را روی رواناب حوزه قره‌سو به‌وسیله شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی با مدل فیزیکی بارش–رواناب SWAT تحت سناریوی انتشار A_2 از مدل $HadCM_3$ در دوره ۲۰۶۹–۲۰۴۰ بررسی کردند. مقایسه پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در دوره ۲۰۶۹–۲۰۴۰ نشان می‌دهد که دمای منطقه در ماه‌های مختلف بین ۱ تا ۴ سلسیوس نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. به‌جز در ماه‌های بدون بارش، بارندگی نیز تغییری بین ۳۰– درصد تا ۳۰ درصد خواهد داشت.

فلمینگ و وینسنت (۷) در تحقیقی مدل‌سازی هیدرولوژیکی، الگوریتم بیلان رطوبت خاک (SMA) را برای تشریح توزیع مکانی ظرفیت رطوبت خاک به کار گرفتند. در این تحقیق سه مدل سالانه، نیمه‌سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل فصلی و نیمه‌سالانه در مقایسه با مدل سالانه، شبیه‌سازی مناسب‌تری را ارایه می‌دهد، به‌طوری‌که مدل سالانه اساساً در شرایط تر معتبر بوده و مقدار پیش‌بینی بیش‌تری از جریان در شرایط خشک می‌دهد.

تغییرات اقلیم باعث تغییر در فراوانی، شدت، پراکنش و زمان بارش می‌شود، که این مسئله می‌تواند سبب رخداد پدیده‌های فرین خشک‌سالی و سیلاب شود. این پدیده هم چنین باعث تغییر در حجم، زمان و مدت رواناب می‌شود. پیامدِ چنین رخدادهایی دگرگونی در منابع آب و بازبینی در مدیریت آن‌ها را در بر خواهد داشت (۱۹،۱۵).

مطالعات ذکر شده نشان می‌دهد که فرایندهای هیدرولوژیکی حوزه تا چه حد می‌تواند به تغییرات بارندگی و دما حساس باشد و هم چنین این حساسیت به طور قابل توجهی از ناحیه به ناحیه دیگر متفاوت است. در مجموع با توجه به پژوهش‌های قبلی و هم چنین شرایط خاص آب و هوایی، تاکنون مطالعات کمی در زمینه تغییر اقلیم بر رواناب (با تأکید بر روی فراوانی سیل و خشک‌سالی) با استفاده از

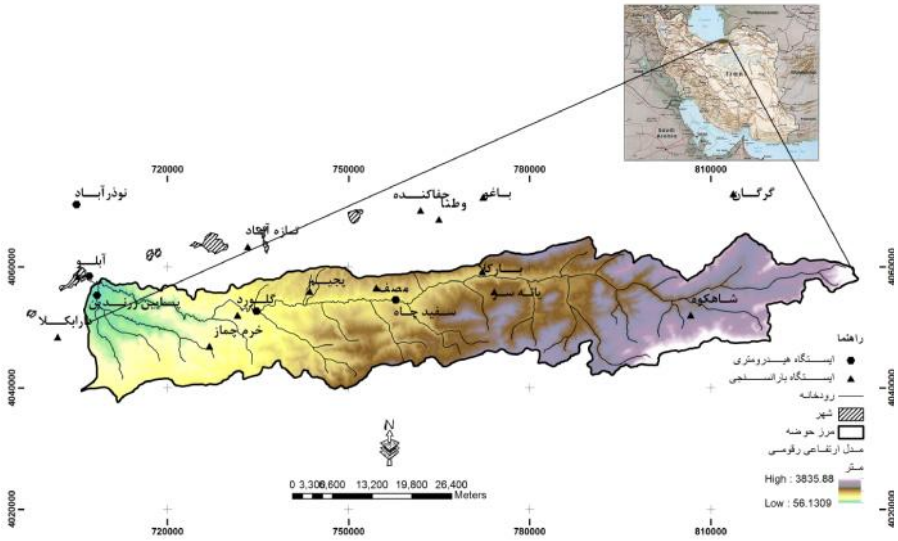
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

مدل‌های AOGCM به ویژه در شمال ایران انجام شده است. از این رو پژوهش حاضر به بررسی اثرات این پدیده بر دما، بارش و رواناب (خشک‌سالی و سیلاب) حوزه نکارود می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز نکارود با مساحت ۱۴۲۸ کیلومترمربع در خاور استان مازندران، در رشته‌کوه البرز، در طول ″۲۶ ′۳۷ °۵۳ تا ″۲۵ ′۴۴ °۵۴ شرقی و عرض ″۱۸ ′۲۸ °۳۶ تا ″۹ ′۴۱ °۳۶ شمالی قرار دارد. رودخانه نکا از بلندی‌های شاه‌کوه در جنوب شرقی شهرستان گرگان سرچشمه می‌گیرد و پس از پیمودن نزدیک به ۱۷۵ کیلومتر در صیدگاه گهرباران به دریای مازندران می‌ریزد.

بخش کلانی از مسیر رودخانه در رشته‌کوه البرز و در جهت شرقی- غربی و به موازات خط ساحلی دریا قرار دارد و پس از گذر از بخش کوهستانی، مسیر پرپیچ و خم ۴۰ کیلومتری آبرفت‌های دشت نکا را می‌پیماید و آنگاه به دریا می‌ریزد. پوشش گیاهی بالادست حوزه مرتعی، میانه جنگلی و پایین‌دست، کاربری‌های کشاورزی و مسکونی دارد. سازند زمین‌شناسی حوزه غالباً از لایه نازک آهکی تشکیل شده است. شکل ۱ حوزه نکا و ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوزه نکارود

Figure 1. Location of weather and hydrometric stations in Nekarood basin

اطلاعات هواشناسی موردنیاز مدل هیدرولوژی عبارتند از بارش، دماهای کمینه و بیشینه روزانه (دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ میلادی) که به مدل معرفی شده است. داده‌های بارندگی از آمار چهار ایستگاه باران‌سنجی گلورد، سفیدچاه، پجیم و بارکلا و دمای روزانه از آمار دو ایستگاه همدیدی برما و سفیدچاه به‌دست آمده است. هم‌چنین دبی روزانه ایستگاه آب‌سنجی (هیدرومتری) گلورد به دلیل وجود داده‌های مورد اطمینان به‌عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوزه انتخاب شد (شکل ۱).

مدل اقلیمی و سناریوی انتشار مورد استفاده

در این پژوهش برای شبیه‌سازی‌های آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) از خروجی‌های مدل $HadCM_3$ زیرمجموعه‌ای از چهارمین گزارش ارزیابی IPCC (AR_4) از مرکز پژوهش‌ها و پیش‌بینی اقلیم هادلی انگلستان[1] با قدرت تفکیک اتمسفری ۲/۵× ۳/۷۵ ، تحت سناریوی انتشار A_2 از مجموع سناریوی SRES استفاده شد. در سناریوی A_2 جهان هم‌گرا در نظر گرفته نمی‌شود. به عبارت دیگر مشخصات تحت این سناریو این است که ۱) جهان در کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند، ۲) جمعیت دنیا به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد و ۳) توسعه اقتصادی منطقه محور است (۵). با توجه به توضیحات بالا مشخص می‌شود که سناریوی A_2 دارای بیش‌ترین انتشار دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن است. تراکم بیش از حد این گازها در جو به وقوع پدیده گلخانه‌ای منجر می‌شود. این گازها توانایی جذب انرژی گرمایی بازتابی سطح زمین را دارند، لذا می‌توانند موجب افزایش جذب انرژی گرمایی در جو شوند و در نتیجه اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود (۱۰). بنابراین سناریوی A_2 با توجه به رشد جمعیت در آینده و توسعه اقتصادی پیشرو در کشورها، محتمل‌ترین سناریو برای آینده است.

ریزمقیاس نمایی تناسبی[2]

یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها است که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی هم‌خوانی ندارد. روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به این روش‌ها، ریزمقیاس نمایی گفته می‌شود (۲۵).

1- Hadley Centre Coupled Ocean

2 - Atmosphere Model Proportional Downscaling

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

روش تناسبی مستقیماً از اطلاعات سلولی که ایستگاه موردنظر در آن قرار گرفته است استفاده می‌کند که به‌طور معمول نسبت‌های ماهانه برای سری‌های تاریخی به دست می‌آید. ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می‌شوند. لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل، مقادیر اختلاف برای دما (رابطه ۱) و نسبت برای بارندگی (رابطه ۲) برای متوسط دراز مدت هر ماه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و دوره شبیه‌سازی‌شده پایه توسط همان مدل (۲۰۱۰-۱۹۸۱) برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود (۱۳).

$$\Delta T_i = (\overline{T}_{GCM\,,\,fut\,,i} - \overline{T}_{GCM\,,base,i}) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$\Delta P_i = \left[\frac{\overline{P}_{GCM\ ,\ fut\ ,i}}{\overline{P}_{GCM\ ,base\ ,i}} \right] \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که $\Delta \mathbf{T_i}$ و $\Delta \mathbf{P_i}$ به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین درازمدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($12 \geq i \geq 1$)، $\overline{T}_{GCM\,,base,i}$ و $\overline{T}_{GCM\,,\,fut,i}$ به ترتیب میانگین ۳۰ ساله دمای پایه و شبیه‌سازی‌شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد ذکرشده برقرار است. سپس از روش عامل تغییر برای تولید سری زمانی سناریوهای اقلیمی استفاده می‌شود. در این روش، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (در اینجا ۲۰۰۰-۱۹۸۱) افزوده (در مورد دما) و ضرب (در مورد بارش) می‌شود:

$T = T_{obss} + \Delta T$ رابطه (۳)

$P = P_{obss} + \Delta P$ رابطه (۴)

در رابطه فوق T_{obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی (در اینجا روزانه) در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)، T سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما در دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و ΔT سناریوی تغییر اقلیم کوچک‌مقیاس شده می‌باشد. در رابطه (۴) برای بارندگی نیز موارد ذکرشده برقرار است.

معرفی مدل HEC-HMS

مدل HEC-HMS یک برنامه رایانه‌ای برای تجزیه و تحلیل و تبدیل بارندگی به رواناب است، که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک شرکت مهندسان ارتش آمریکا تهیه شده است. این برنامه، آبنمود جریان را برای رخدادهای تاریخی و یا فرضی در مکان‌های مختلف حوزه آبریز توصیف می‌کند و هم چنین مخازن کنترل‌شده و یا مسیرهای انحرافی را نیز می‌تواند شبیه‌سازی کند.

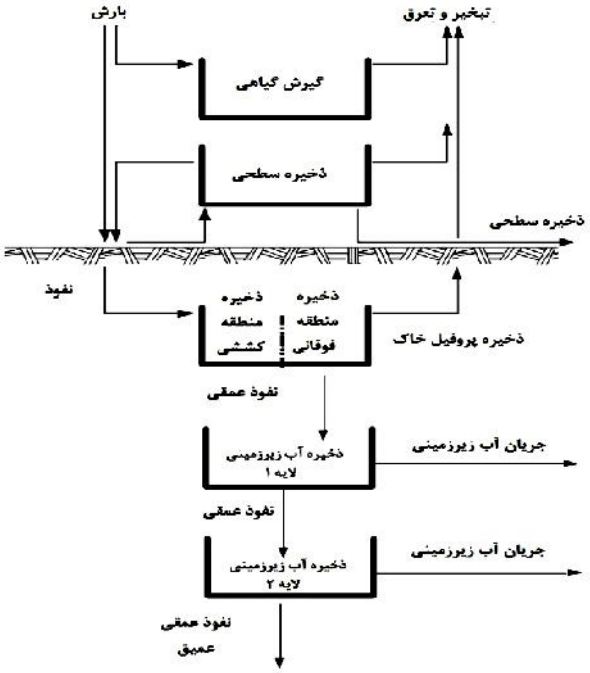
این برنامه می‌تواند با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، مشخصات حوزه و بارش، آبنمود سیلاب مقطع خروجی حوزه را محاسبه کند. در این مدل ابتدا با استفاده از الحاقیه HEC-GeoHMS از طریق مدل ارتفاعی رقومی (DEM) به محاسبه پارامترهای فیزیکی حوزه اقدام شد. بعد از محاسبه پارامترهای فیزیکی، شبیه‌سازی رواناب با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS انجام پذیرفت. اجرای تمامی پروژه‌ها با ایجاد حداقل یک مدل حوزه، یک مدل هواشناسی و یک مشخصه کنترل، امکان‌پذیر است. در مدل حوزه پس از معرفی عناصر هیدرولوژیکی، در هر زیرحوزه، سه بخش تلفات، رواناب مستقیم و آب‌پایه تعیین شد. بدین ترتیب برای محاسبه میزان تلفات، از مدل پیوسته احتساب کننده رطوبت خاک (SMA)، برای محاسبه رواناب مستقیم از روش آبنمود واحد کلارک و برای محاسبه آب‌پایه از روش مخزن خطی استفاده شد (۲۶،۷).

مفاهیم اساسی و معادلات مدل SMA

مدل SMA[1] در HEC-HMS بر اساس مدل بارندگی لیوزلی (۱۸) که در سال ۱۹۹۸ جزییات آن توسط بنت تشریح شد، طراحی شده است. این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک و عمق خاک و لایه‌های زیرزمینی شبیه‌سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET)، مدل جریان سطحی و جریان آب زیرزمینی، تلفات ناشی از تبخیر و تعرق پتانسیل و نفوذ را در کل حوزه آبخیز محاسبه می‌کند. مدل SMA شامل یکسری لایه‌های ذخیره کننده و جریان است که در شکل ۲ نمودار مفهومی آن آورده شده است. از لحاظ مفهومی الگوریتم HMS-SMA مسیر بارش را به پنج زون در یک حوزه آبخیز تقسیم می‌کند (شکل ۲). ۱۲ پارامتر برای مدل‌سازی فرایند هیدرولوژیک گیرش گیاهی، ذخیره چالابی، نفوذ، ذخیره خاک، نفوذ عمقی و ذخیره آب زیرزمینی لازم است. عمق‌های بیشینه هر زون ذخیره، درصدی که هر زون ذخیره در آغاز شبیه‌سازی پر می‌شود و نرخ انتقال مانند نرخ نفوذ بیشینه برای شبیه‌سازی حرکت آب درون زون‌های ذخیره مورد نیاز است. افزون بر بارش، تنها ورودی دیگر برای الگوریتم SMA، نرخ تبخیر و تعرق پتانسیل است.

1- Soil Moisture Accounting

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]



شکل ۲- طرح کلی مفهومی الگوریتم محاسبه رطوبت خاک پیوسته
Figure 2. The overall concept design of the algorithm of continuous soil moisture calculation

به منظور واسنجی مدل، دو آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با هم مقایسه شده و برای هم‌پوشانی، یک سری از ویژگی‌ها و پارامترهای ورودی مدل اصلاح می‌شود. معیار برازش نتایج مدل و داده‌های مشاهداتی، یک تابع هدف خطی است. این تابع تفاوت بین آبنمود مشاهداتی و محاسباتی (شبیه‌سازی‌شده) را در نقاط مختلف محاسبه می‌کند. اگر دو آبنمود دقیقاً بر هم منطبق باشند، این مقدار برابر صفر است. این عمل در سیستم مدل هیدرولوژیکی تحت عنوان اعتبارسنجی و توسط پنج تابع هدف شامل انحراف معیار، خطای مطلق میانگین، میانگین خطای مطلق مقادیر اوج، خطای حجم رواناب و خطای ریشه میانگین مربعات انجام می‌گیرد. در هر روش با استفاده از یک الگوریتم خاص میزان اختلاف بین پارامتر مشاهده‌ای و پارامتر برآوردشده تعیین می‌شود. مقدار حداقل تابع هدف نشان‌دهنده کوچک‌ترین اختلاف بین آبنمودهای مشاهداتی و محاسباتی بوده و پارامترهای معرفی‌شده، پارامترهای بهینه‌شده می‌باشند. توضیحات کامل هر یک از توابع هدف در زیر آمده است.

الف) انحراف معیار (SD)

$$SD = \sqrt{(1/n)\sum (Q - \overline{Q})^2}$$ رابطه (۵)

که در آن Q: جریان شبیه‌سازی‌شده و $\overline{Q}$ میانگین جریان رودخانه است.

ب) خطای مطلق میانگین (MAE)

$$MAE = \sqrt{\left[\sum (Q_o - Q_s)^2\right]/n}$$ رابطه (۶)

که در آن Q_o دبی مشاهده شده و Q_s دبی شبیه‌سازی شده است.

ج) میانگین خطای مطلق مقادیر اوج (AEPM)

$$AEPM = \left[(1/n)\sum |(Q_o - Q_s)/Q_o|\right]\times 100$$ رابطه (۷)

د) خطای حجم رواناب (EV)

$$EV = \left[(V_o - V_s)/V_o\right]\times 100$$ رابطه (۸)

که در آن V_o و V_s، به ترتیب حجم رواناب مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده است.

ه) خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\left[\sum (Q_o - Q_s)^2\right]/n}$$ رابطه (۹)

نتایج و بحث

وضعیت متغیرهای اقلیمی منطقه در دوره‌های آینده جدول ۱ نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی تناسبی داده‌های دما و بارش طرح از خروجی مدل $HadCM_3$ را طبق رابطه‌های ۱ و ۲ برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ برای حوزه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با اضافه کردن این تغییرات به مقادیر مشاهداتی، داده‌ها برای دوره آینده کوچک مقیاس شدند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

جدول ۱- نتایج کوچک‌مقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش به روش تناسبی برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰
Table 1. The results of downscaling of temperature and precipitation data using proportional method during 2040-2069

HadCM3	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
بارش (میلی‌متر)	۴۲/۹۱	۴۹/۲۴	۵۰/۷۳	۳۳/۳۷	۳۸/۸۳	۳۵/۳۷	۳۸/۶۳	۳۰/۰۴	۱۹/۷۸	۲۴/۳۳	۲۰/۳۷	۳۲/۵۲
تغییر (درصد)	۰/۹	۱/۱	۱/۱	۱/۲	۱	۱/۱	۱	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۸
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۶	۱۲/۴	۷/۱	۴/۳	۳/۶	۵/۵	۱۱/۲	۱۵/۹	۱۹/۷	۲۱/۹	۲۲/۷	۲۰/۸
تغییر (درجه سانتی‌گراد)	۲/۵	۲/۳	۲/۹	۲/۴	۱/۴	۱/۷	۲/۶	۳/۲	۳/۵	۳/۳	۲/۴	۲/۳

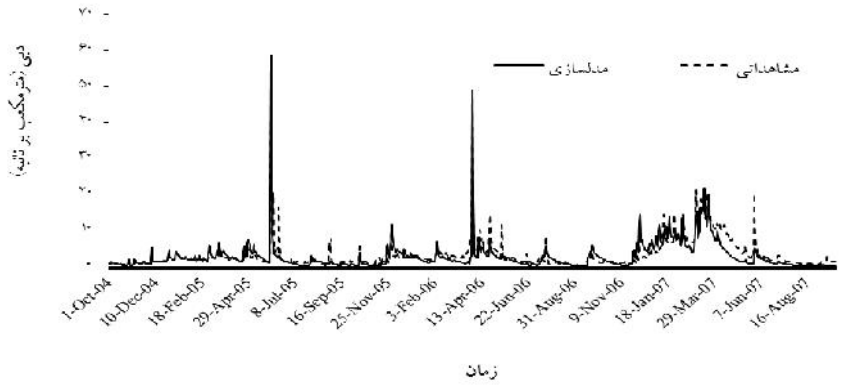
واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی

دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ به لحاظ وجود و کیفیت مناسب داده‌های آماری بارش و دبی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. دوره سه ساله (اکتبر ۲۰۰۴ تا سپتامبر ۲۰۰۷) برای واسنجی و دوره سه ساله (اکتبر ۲۰۰۷ تا سپتامبر ۲۰۱۰) برای اعتبارسنجی مدل انتخاب شد. نتایج ابتدایی واسنجی مدل نشان داد که جریان رودخانه‌ها در بهار و زمستان، بیش‌تر از جریان شبیه‌سازی‌شده و در تابستان و پاییز کمتر از آن برآورد شده است. علت این امر به خاطر رطوبت پیشین خاک است، که در فصل بهار و زمستان مخزن آب زیرزمینی بیشتر از مخزن آب زیرزمینی فصل تابستان و پاییز بوده است. این خطا احتمالا به خاطر تفاوت بین پاسخ‌گویی بارش و رواناب غیرخطی در حوزه و ساختار خطی مدل SMA است.

در این پژوهش ابتدا رویکرد بهینه‌سازی پارامترها، به صورت نیمه‌سالانه، به کار برده شد تا پارامترهای مدل SMA به‌صورت جداگانه، برای فصول زمستان و تابستان منظم شود. صرف‌نظر از شرایط اولیه مدل، ظرفیت ذخیره سطحی SMA و میزان نفوذ بیشینه خاک به عنوان پارامترهای وابسته فصلی، مورد توجه قرار می‌گیرند. دلیل منطقی تغییرات فصلی این پارامترها، این است که در زمستان، بارش عمدتاً روی سطح تجمع می‌یابد که باعث کاهش آب توسط پارامتر ذخیره سطحی است. هم‌چنین بارش به صورت برف و خواص فیزیکی تغییر یافته خاک (مانند هدایت هیدرولیکی پایین به سبب آب یخزده در حفره‌های خاک) میزان نفوذپذیری را در زمستان کاهش می‌دهد (۵).

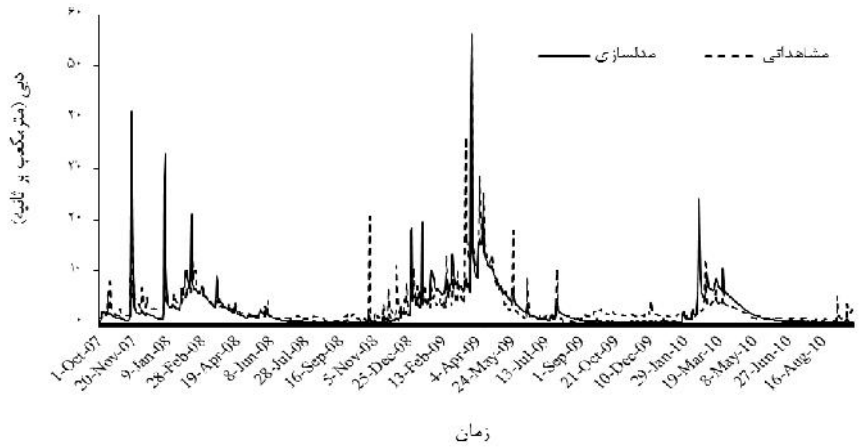
بدین ترتیب، برای هم‌خوانی میان جریان اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی، در مرحله واسنجی مدل، نفوذ بیشینه تنظیم شد. هم چنین سعی شده است که این تطابق با وقوع سیلاب‌های بزرگ صورت گیرد. سایر پارامترها نظیر نفوذ عمقی خاک و هم چنین ذخیره کششی نیز برای تطابق مناسب بین جریان اوج شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای تنظیم شدند. با توجه به شکل ۳، شبیه‌سازی دوره‌های خشک جریان (دوره‌هایی که بارش رخ نداده است) نشان می‌دهد که جریان شبیه‌سازی‌شده مقداری کمتر از جریان واقعی را به‌دست می‌دهد که علت این امر هم در رطوبت پیشین خاک است که سعی شده است با استفاده از واسنجی خودکار، مقدار پارامتر بهینه برآورد شود.

شکل ۴ مقایسه آبنمود جریان روزانه مدل‌سازی شده و مشاهده‌شده را در رودخانه نکا برای مرحله اعتبارسنجی مدل نشان می‌دهد. اعتبارسنجی مدل به منظور تعیین تأثیرپذیری روش‌های واسنجی و پارامتره کردن استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بعد از فروکش کردن سیل، جریان شبیه‌سازی‌شده با جریان مشاهده‌ای اختلاف زیادی ندارد که در این مرحله، این عامل مستقل از خصوصیات بارش بوده و بستگی به وضعیت زهکشی حوزه، ازنظر تخلیه آب زیرزمینی (پارامتر ضریب ذخیره در مدل SMA)، رواناب‌های دیررس و زیرسطحی و خارج شدن آب نگه‌داشته شده در سطح حوزه دارد.



شکل ۳- ابنمود جریان روزانه مدل‌سازی شده و مشاهده شده برای دوره واسنجی (۲۰۰۷-۲۰۰۴)
Figure 3. Simulated and observed of daily flow hydrograph for calibration period (2004-2007)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

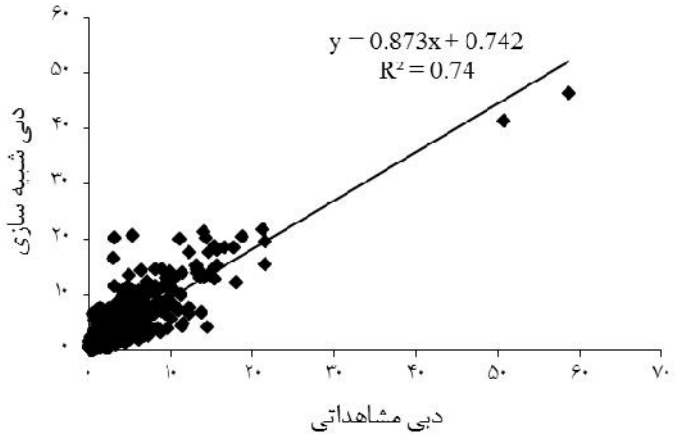


شکل ۴- آبنمود جریان روزانه مدل‌سازی شده و مشاهده شده برای دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰- ۲۰۰۷)
Figure 4. Simulated and observed of daily flow hydrograph for validation period (2007-2010)

جدول ۲ سنجه‌های آماری دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. با اجرای مدل در مرحله واسنجی نسبت به مرحله اول (بدون بهینه کردن پارامترها) نشان داد که معیارهای برازش برای تطبیق یافتن مدل شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای کاهش یافتند. هم‌چنین برای دوره اعتبارسنجی مدل، تابع هدف AEPM همخوانی بهتری را نسبت به دوره واسنجی داشت. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب ضریب تعیین برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی را برای حوزه نکارود نشان می‌دهد. ضریب تعیین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۷۴و ۰/۶ به‌دست آمد که همبستگی خوبی را میان دبی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای نشان می‌دهد. هم‌چنین معنی‌داری ضرایب همبستگی پیرسون، در سطح اعتماد یک و پنج درصد بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل به‌طور معنی‌داری در مرحله واسنجی ($r=0.86$، $P<0.001$) دبی سیل را شبیه‌سازی می‌کند که حاکی از همبستگی بالا و معنی‌دار میان داده‌های شبیه‌سازی‌شده و داده‌های مشاهده‌ای است. هم‌چنین ضرایب همبستگی برای مرحله اعتبارسنجی نشان داد که بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای، تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود و مدل به خوبی جریان رودخانه را شبیه‌سازی می‌کند ($r=0.78$، $p<0.001$).

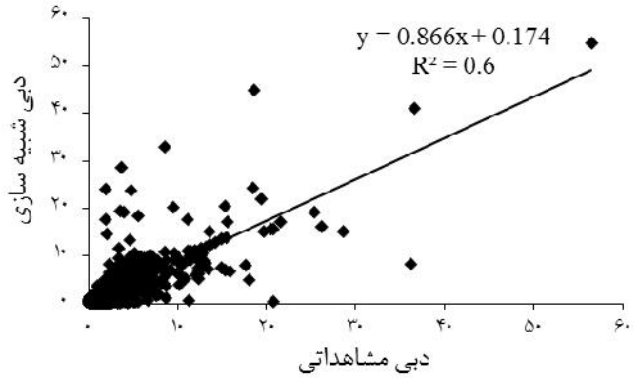
جدول ۲- نتایج تخمین‌های آماری برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی
Table 2. The results of statistical estimations for the calibration and validation period

اندازه‌گیری	تاریخ شبیه‌سازی	MAE (m^3/s)	EV (%)	RMSE (m^3/s)	AEPM (%)	Sd (m^3/s)	R^2
دوره واسنجی	Oct.2004-Sep.2007	۰/۱۱	-۴/۷۷	۲/۳۴	۲۲/۶۳	۳/۵۷	۰/۷۴
دوره اعتبارسنجی	Oct.2007-Sep.2010	۰/۱۸	۶/۳۹	۲/۹۱	۱۱/۸۹	۴/۴۸	۰/۶



شکل ۵- رابطه همبستگی میان دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای دوره واسنجی (۲۰۰۷-۲۰۰۴)
Figure 5. The correlation between observed flow and simulated flow for calibration period (2004-2007)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]



شکل ۶- رابطه همبستگی میان دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۲۰۰۷).
Figure 6. The correlation between observed flow and simulated flow for validation period (2007-2010)

بررسی تغییرات دما، بارش و رواناب

با توجه به تأثیر بارز متغیرهای دما و بارش بر سامانه‌های منابع آب، کشاورزی و محیط‌زیست، تجزیه و تحلیل در زمینه تأثیر پدیده تغییر اقلیم روی رواناب حوزه، عمدتاً بر روی این دو متغیر هواشناسی است. میانگین درازمدت ماهانه دمای منطقه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد و متوسط افزایش دمای سالانه در این دوره، نزدیک به ۲/۵ درجه سانتی‌گراد است. به‌طوری‌که متوسط بیشترین افزایش در ماه خرداد و برابر ۳/۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش در ماه آذر و برابر ۱/۴ درجه سانتی‌گراد است. در مقایسه فصلی نیز، بهار بیشترین افزایش دما را نسبت به دیگر فصل‌ها با مقدار ۳/۱ درجه سانتی‌گراد دارد. این در حالی است که در زمستان متوسط افزایش دما برابر ۱/۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بارش در فصل زمستان، ۱۱ درصد افزایش دارد و این در حالی است که در سایر ماه‌ها به‌ویژه در تابستان نزدیک به ۲۰ درصد کاهش خواهد داشت. با توجه به کاهش چشم‌گیر بارش برای سناریوی موردنظر، انتظار خشک‌سالی شدید در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ دور از انتظار نخواهد بود. پس از معرفی سری-های زمانی ریزمقیاس‌شده دما و بارش منطقه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ به مدل هیدرولوژیکی SMA، سری زمانی رواناب حوزه نکارود در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تولید شد. روند متوسط سالانه نشان دادکه رواناب در دوره آینده چهار درصد کاهش خواهد داشت. بیش‌ترین افزایش نیز در ماه فروردین (۱۶ درصد) و بیش‌ترین کاهش در ماه شهریور (۲۰ درصد) خواهد بود. در ماه‌های اسفند تا خرداد در دوره آینده، بارندگی کم می‌شود ولی دبی جریان افزایش می‌یابد که این کاهش جریان به علت برفی بودن جریان رودخانه در این ماه‌ها است.

بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر فراوانی سیل و خشک‌سالی

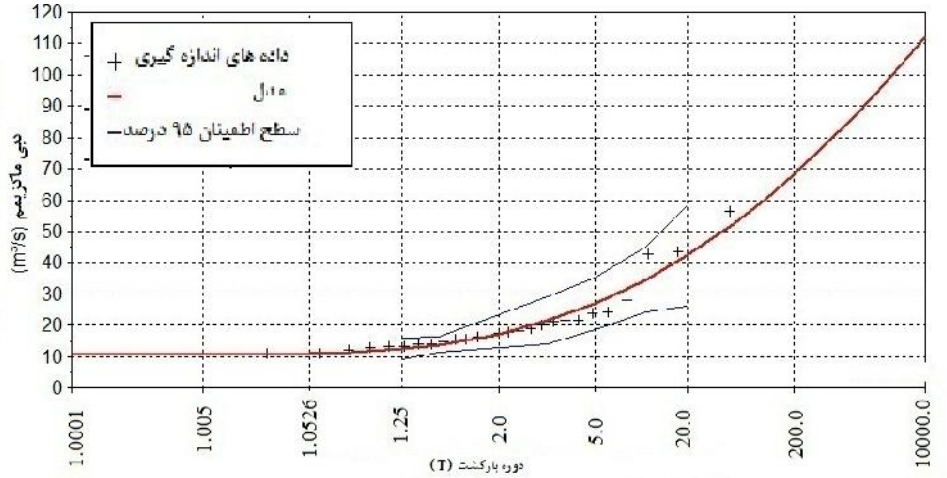
دبی کم آب هفت روزه و دبی بیشینه روزانه برای دو دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ و ۲۰۶۹-۲۰۴۰ برای آنالیز تأثیر تغییر اقلیم بر فراوانی خشک‌سالی و سیل استفاده شد. توزیع پیرسون نوع سه بهترین توزیع آماری برای دبی کم آب هفت روزه و دبی بیشینه، پس از برازش داده‌ها در نرم‌افزار HYFA، انتخاب شد. شکل‌های ۷ و ۸ نتایج برازش داده‌ها با توزیع تجربی (ویبول) را برای دبی بیشینه روزانه و شکل‌های ۹ و ۱۰ نتایج برازش داده‌ها را با توزیع تجربی ویبول برای کم آب هفت روزه نشان می‌دهد. جدول ۳ نتایج فراوانی سیل و کم آب هفت روزه را نشان می‌دهد. سیلاب محاسبه‌شده برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در دوره پایه ۱۹۸۱-۲۰۱۰ (شکل ۷) و دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (شکل ۸) به ترتیب ۶۸ و ۵۲ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد، که نزدیک به ۲۳ درصد کاهش داشت. به همین ترتیب برای سایر دوره‌های بازگشت، برای حوزه مورد مطالعه، نسبت به دوره۲۰۴۰-۲۰۶۹ کاهش فراوانی سیلاب ممکن است دیده شود. اما برای نتایج فراوانی خشک‌سالی، دبی هفت روزه محاسبه‌شده برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در دوره پایه ۱۹۸۱-۲۰۱۰ (شکل ۹) و دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (شکل ۱۰) به‌ترتیب ۲/۳۶ و ۲/۱۹ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد، که نزدیک به هفت درصد کاهش دارد. به همین ترتیب برای سایر دوره‌های بازگشت برای حوزه مورد مطالعه نسبت به دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹، کاهش دبی حداقل هفت روزه را تجربه کرده است. علت این است که سناریوی A_2 که دارای بیش‌ترین انتشار دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن است، افزایش دما و بارش کمتری را پیش‌بینی کرده است. تراکم بیش از حد این گازها در جو به وقوع پدیده گلخانه‌ای منجر می‌شود. این گازها می‌توانند موجب افزایش جذب انرژی گرمایی در جو شوند و در نتیجه اثر گلخانه‌ای تشدید شود (۱۶).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

جدول ۳- فراوانی‌های (درصد) خشک‌سالی و سیلاب برای دوره پایه و دوره آینده تحت سناریوی A_2 مدل $HadCM_3$، با دوره‌های بازگشت مختلف

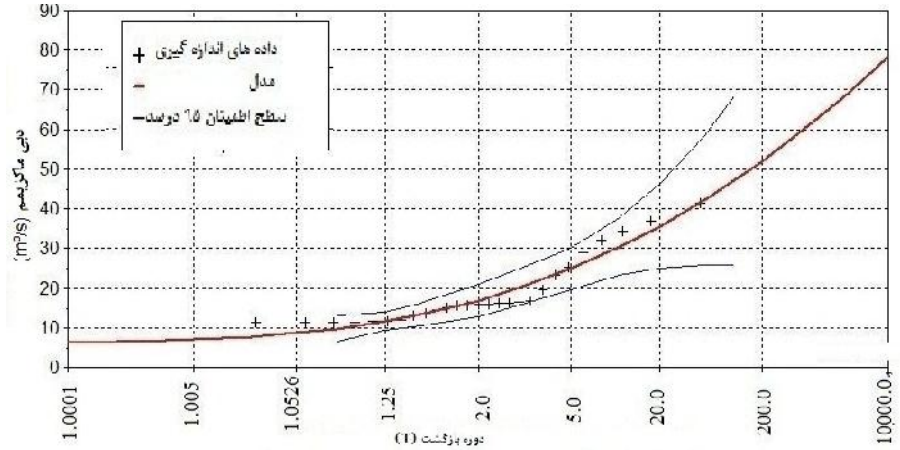
Table 3. Frequencies (percentage) of droughts and floods for the base and future periods under the A2 scenario of HadCM3 model with different return periods.

دوره بازگشت (سال)	مقدار سیلاب (m^3/s)		مقدار دبی حداقل ۷ روزه (m^3/s)	
	دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰	دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹	دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰	دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹
۲۰۰	۶۸	۵۲	۲/۳۶	۲/۱۹
۱۰۰	۶۰/۲	۴۷/۲	۲/۶۸	۲/۵۳
۵۰	۵۲/۴	۴۲/۳	۲/۹۷	۲/۸۳
۲۰	۴۲/۲	۳۵/۶	۳/۲۵	۳/۱۴
۱۰	۳۴/۵	۳۰/۴	۳/۴۷	۳/۴
۵	۲۷	۲۴/۹	۳/۶۹	۳/۶۸
۳	۲۱/۷	۲۰/۷	۳/۸۳	۳/۸۶
۲	۱۷/۲	۱۶/۸	۳/۹۵	۴/۰۲



شکل ۷- توزیع فراوانی دبی بیشینه روزانه برای دوره پایه ۱۹۸۱-۲۰۱۰ تحت سناریوی A_2 مدل $HadCM_3$

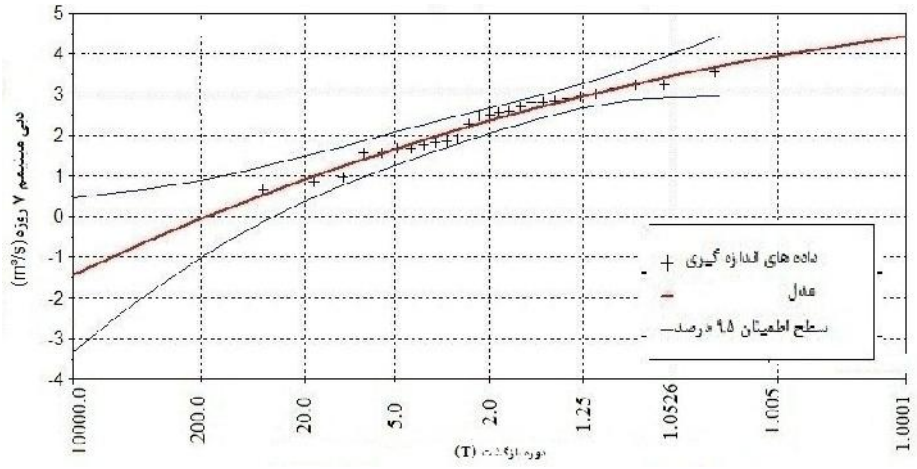
Figure 7. The frequency distribution of maximum daily flow for the base period of 1981-2010 under the A2 scenario of HadCM3 model



شکل ۸- توزیع فراوانی دبی بیشینه روزانه برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ تحت سناریوی A_2 مدل $HadCM_3$

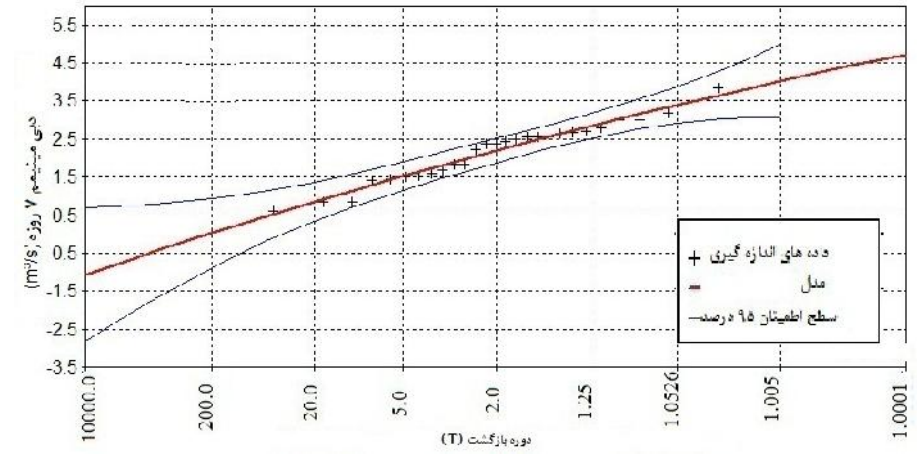
Figure 8. The frequency distribution of maximum daily flow for the period 2040-2069 under the A2 scenario of HadCM3 model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]



شکل ۹- توزیع فراوانی دبی کم آب ۷ روزه برای دوره پایه ۱۹۸۱-۲۰۱۰ تحت سناریوی A_2 مدل $HadCM_3$

Figure 9. The frequency distribution of 7-day's minimum flow for the base period of 1981-2010 under the A2 scenario of HadCM3 model



شکل ۱۰- توزیع فراوانی دبی کم آب ۷ روزه برای دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۶۹ تحت سناریوی A_2 مدل $HadCM_3$

Figure 10. The frequency distribution of 7-day's minimum flow for the future period 2040-2069 under the A2 scenario of HadCM3 model

در سال‌های اخیر توجه بسیاری از متخصصین هیدرولوژی به مسئله گرم شدن هوا و تغییراتی که در اقلیم به وجود خواهد آمد، جلب شده است. به‌خصوص این‌که گرم شدن هوا بیش‌تر در مناطقی محسوس است که با خشک‌سالی نیز مواجه می‌باشند. مهم‌ترین عاملی که برای گرم شدن تدریجی هوا ذکر می‌شود، حبس شدن انرژی تابشی خورشید در اتمسفر به‌وسیله گازهایی است که غلظت و تراکم آن‌ها در اتمسفر باعث حبس شدن انرژی خورشید شده و به نام گازهای گلخانه‌ای معروف می‌باشند. هم‌چنین گرم شدن آب‌وهوا، زمین را از راه‌های گوناگون به سمت خشکی خواهد برد. درجه حرارت زیاد، رطوبت خاک را بیشتر تبخیر می‌کند و موجب بحران می‌شود. با توجه به این‌که بخشی از مساحت حوزه در اقلیم نیمه‌خشک قرار دارد، طبعا اثرات گرم‌تر شدن هوا بر زیستگاه‌های آن مخرب‌تر است. در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر جریان خروجی حوزه نکارود در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با مدل $HadCM_3$ از مدل‌های AOGCM تحت سناریوی A_2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. هم چنین مدل پیوسته شبیه‌سازی بارش-رواناب SMA برای مطالعه وضعیت هیدرولوژی حوزه آبخیز تحت شرایط اقلیم به‌کار برده شد. نتایج سناریوی اقلیمی دما و بارش مدل $HadCM_3$ از چهارمین گزارش IPCC و سری زمانی رواناب شبیه‌سازی‌شده توسط مدل بارش-رواناب SMA، نشان می‌دهد متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی حوزه نکارود در دوره آینده، تغییرات قابل‌توجهی خواهند داشت. مقایسه پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط این مدل اقلیمی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نشان می‌دهد که دمای منطقه در ماه‌های مختلف بین ۱/۴ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. بارش برای ماه‌های سرد ۲۳ درصد افزایش اما

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

در ماه‌های گرم ۲۵ درصد کاهش می‌یابد که می‌تواند بر مقدار کلی آب قابل‌دسترس، زمان پیک و وقایع حدی اثرگذار باشد. از آن‌جایی‌که دما و بارش، بیش‌ترین تأثیر را بر تغییرات هیدرولوژی حوزه دارند، شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که رواناب از ۲۰- تا ۱۶/۶۷ درصد تغییر می‌یابد. میزان دبی حداقل هفت روزه برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰ نزدیک به هفت درصد کاهش داشته است که نشان از وقوع خشک‌سالی‌ها در دوره آینده است. هم‌چنین میزان دبی بیشینه روزانه برای حوزه موردمطالعه با استفاده از توزیع پیرسون نوع ۳ نشان داد که برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰، نزدیک به ۲۳ درصد کاهش داشته است.

نتایج به دست آمده در این پژوهش برای تغییرات بارش و دما در دوره آتی موید تحقیقات صورت گرفته آذری و همکاران (۲)، کمال و مساح بوانی (۱۵) و دوستی و همکاران (۶) می‌باشد. هم‌چنین برای متغیر رواناب موید تحقیقات صورت گرفته کمال و مساح بوانی (۱۵) و بابائیان و همکاران (۳) می‌باشد. با توجه به نتایج گرفته‌شده و هم‌چنین تغییراتی که در متغیرهای اقلیمی که در آینده رخ خواهد داد، پیشنهاد می‌شود که مسئولان و برنامه‌ریزان بخش‌های کشاورزی، منابع آب، محیط‌زیست، صنعت و اقتصاد راه‌کارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید اتخاذ کنند.

منابع

1. 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 Gharanghu Basin, East Azerbaijan. Iran-Water Resources Research, 8: 36-47.
2. Azari, M., H.R. Moradi, B. Saghafian and M. Faramarzi. 2013. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gourganroud River Basin. Journal of Water and Soil, 27: 537-547 (In Persian).
3. Babaeian, I., M. Zarghami, M. Koohi, O. Babaeian, M. Karimian and R. Modirian. 2013. Water Resources Assessment over Gharaghom Catchment under Climate Change, Case Study of Daregaz Sub-Basin. Journal of Water and Soil, 27: 907-918 (In Persian).
4. Chartzoulakis, K. and G. Psarras. 2005. Globalchange Effects on Crop Photosynthesis and Production in Mediterranean: The Case Study of Greece. Agriculture Ecosystems & Environment, 106: 147 157.
5. Cunderlik, J.M. and S.P. Simonovic. 2005. Hydrological Extremes in a Southwestern Ontario River Basin under Future Climate Conditions. Hydrological Sciences Journal, 50: 631-654.
6. Dousti, M., M. Habibnezhad Roshan, K. Shahedi and M.H. Miryaghoubzade. 2013. Study of Climate Indices of Tamar River Basin Golestan Province in Terms of Climate Change Using by LARS-WG Model. Journal of the Earth and Space Physics, 39: 177-189 (In Persian).
7. Fleming, M. and N. Vincent. 2004. Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System. Journal of Hydrologic Engineering, 9: 175-183.
8. Gholinezhad, K. 2010. Assess of for Wet and Dry Periods Based on Historical Data and Long-Term Rainfall-Runoff Simulations (Case Study: Neka Basin). MSc Thesis, Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch. 121 pp (In Persian).
9. Hosseini, S.H., M.A. Ghorani and A. Massah Bavani. 2015. Raifall-runoff modelling under the climate change condition in order to project future streamflows of sufichay watershed. Journal of Watershed Management Research, 6: 1-14 (In Persian).
10. IPCC. 2007. Summary for Policy markers, in: Climate Change 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.
11. IPCC-TGCIA. 1999. Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, Eds. Carter, T.R., M. Hulme M. and Lal. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69 pp.
12. Jiang, T., Y.D. Chen, C. Xu, X. Chen, X. Chen and V.P. Singh. 2007. Comparison of hydrological Impacts of Climate Change Simulated by in the Dongjiang Basin, Six Hydrological Models. South China. Journal of Hydrology, 336: 316-333.
13. Jones, P.D. and M. Hulme. 1996. Calculating Regional Climatic Times Series for Temperature and Precipitation: Methods and Illustrations. International Journal of Climatology, 16: 361-377.
14. Jothityangkoon, C., M. Sivapalan and D.L. Farmer. 2001. Process Controls of Water Balance Variability in a Large Semi-Arid Catchment: Downward Approach to Hydrological Model Development. Journal of Hydrology, 254: 174-198.
15. Kamal, A.R. and A.R. Massah Bavani. 2012. Comparison of Future Uncertainty of AOGCM-TAR and AOGCM-AR4 Models in the Projection of Runoff Basin. Journal of the Earth and Space Physics, 38: 175-188 (In Persian).
16. Kazemizad, M. 2007. Factors Affecting the Earth's Greenhouse Warming and Its Consequences. Journal of Geological Education, 29: 22-49 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

17. Kordjazi, M., S. Bagheri, E. Babaian and A.J. Molaarazi. 2011. Analysis of Meteorological Drought in Golestan Province during 2010-2039 using HadCM3 Model. 4th National Conferences on Water Resources Management, Amirkabir University of Technology. 18 pp (In Persian).
18. Leavesley, G.H., S.L. Markstrom, P.J. Restrepo and R.J. Viger. 2002. A Modular Approach to Addressing Model Design, Scale and Parameter Estimation Issues in Distributed Hydrological Modeling. Hydrological Processes, 16: 173-187.
19. Massah Bavani, A.R. 2006. Risk Assessment of Climate Change and Impacts on Water Resources, Case Study of Zayandehroud Basin. PhD Thesis, Water structures, Tarbiat Modares University, 145 pp (In Persian).
20. Maurer, E.P. 2007. Uncertainty in Hydrologic Impacts of Climate Change in the Sierra Nevada, California, under Two Emissions Scenario. Climatic Change, 82: 309-325.
21. Mitchell, T.D. 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. Climatic Change, 60: 217-242.
22. Sanikhani, H., M.R. Gohardoust and M. Sadeghi. 2016. The Impacts of Climate Change on Runoff of Ghareh-Chay Basin in Markazi Province, Iran. Journal of Watershed Management Research, 7: 12-22 (In Persian).
23. Shahkouei, E. and G.R. Roushan. 2013. Temporal Variations of Degree-Day Required for Soybean Based on Climate Changes in the (future) Coming Decades Case Study: Gorgan City. Journal of Geographic Space Planning, 7: 51-66 (In Persian).
24. Steele-Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The Impacts of Climate Change on Hydrology in Ireland, Journal of Hydrology, 356: 28-45.
25. Wilby, R.L. and I. Harris. 2006. A Frame Work for Assessing Uncertainties in Climate Change Impacts: Low Flow Scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research, 42: 1-10.
26. Yousefi, E., H. Abghari and M. Erfanian. 2014. Investigation of Different Time Scales Rainfall-Runoff Modeling and Calibration Using HMS SMA. Watershed Management Research, 101: 79-87 (In Persian).
27. Zahbioun, B., M.R. Goudarzi and A.R. Massah Bavani. 2010. Application of SWAT Model in Runoff Estimates in Future Periods Affected by Climate Change. Journal of Climate Research, 3: 43-57 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]

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

Mojtaba Khoshravesh[1], Mahmoud Raeini[2] and Esmaeil Nikzad-Tehrani[3]

1- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
(Corresponding author: khoshravesh_m24@yahoo.com)
2- Associate Professor and Graduated M.Sc., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: December 2, 2014 Accepted: March 7, 2015

Abstract

Evaluation of climate change and its possible consequences on hydrological processes in catchments will help water resources managers and decision makers in the future. One of the common tools for evaluating of these events is the utilization of rainfall-runoff model to simulate the hydrological processes. The aim of this study is to investigate the effects of climate change on runoff, drought and flood events in the period of 2040-2069 in the Neka basin. In this study, a semi- distributed model was employed to evaluate the impacts of climate change on hydrological processes at the Neka basin. In this approach, at first the parameters of SMA, a continuous semi- distributed model, was calibrated for the 1981-2010 based period, then in order to evaluate the effects of climate change and global warming on basin hydrology during the 2040-2069 period, the Hadcm3-AR4 climate model data, under A2 emissions scenario, was used to downscale the region. Finally, the downscaled data was presented to the SMA model and the future runoff changes were evaluated. Comparisons of the observed and simulated climate parameters derived from climate models for the 2040-2069 period show that the air temperature might be increasing by 1.41 to 3.47^{o}C at different months relative to the base period. Precipitation also might increase by about 23 percent for the cold months, while during the warm months it may decrease by 25 percent. Also, the drought and flood events frequencies show that the 7- day low flow might decrease by 7% in a 200 year return period relative to base period.

Keywords: Climate Change, Climate Model, Downscaling, Global Circulation Model, Rainfall-Runoff Semi-Distributed Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.13.5]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.140]