



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تأثیر تغییر اقلیم بر روی دبی حداکثر روزانه تحت شرایط عدم قطعیت (حوضه دینور استان کرمانشاه)

سحر نجفیان^۱، *محمد رضا یزدانی^۲، آرش آذری^۳ و محمد رحیمی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه سمنان، ^۲ دانشیار دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان،

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۶

چکیده

سابقه و هدف: پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی انجام شده است اما توجه به پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد که در کشور کم‌تر به آن پرداخته شده است. هدف این پژوهش پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی در شرایط تغییر اقلیم بر پایه مدل‌ها و سناریوهای مختلف در دو دوره آتی و مقایسه آن با دوره پایه و همچنین پیش‌بینی تأثیر این پدیده بر دبی و حجم رواناب حوضه دینور کرمانشاه با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوطه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: خروجی ۶ مدل جفت شده گردش عمومی جو شامل INCM3، HADCM3، GFCM21، MPEH5، IPCC4 و NCCCSM تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل A1B، A2 و B1 با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس شدند. برای تعیین دقت مدل‌ها و سناریوها، داده‌های دما و بارش مشاهداتی با داده‌های دما و بارش مدل‌ها و سناریوهای موجود در پایگاه کانادا در دوره پایه مورد ارزیابی قرار گرفت و روش وزن‌دهی برای بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها به کار گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها، متغیرهای دوره‌های آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۴) و (۲۰۴۶-۲۰۶۹) پیش‌بینی شد و با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۷) مقایسه گردید. پس از ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی برای شبیه‌سازی رواناب در دوره‌های آتی، مدل بارش رواناب IHACRES انتخاب و پس از واسنجی و صحت‌سنجی برای پیش‌بینی دبی و حجم رواناب مورد استفاده قرار گرفت. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد دمای حوضه دینور در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ به ترتیب برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به میزان ۱/۷۲، ۱/۵۵ و ۱/۳۹ درجه سانتی‌گراد و در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۹ به ترتیب برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به میزان ۳/۲۷، ۲/۸۸ و ۲/۲۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات بارش حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ به ترتیب برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به میزان ۱۵/۲۲، ۱۷/۹۴ و ۲۳/۲۷ میلی‌متر و در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۹ به ترتیب برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به میزان ۳۵/۴-، ۷/۹۷ و ۲/۵۸ میلی‌متر نسبت به دوره پایه خواهد بود. مقدار دبی متوسط و نیز حجم رواناب در دوره‌های آتی به جز سناریو A1B در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۹، در

* مسئول مکاتبه: m_yazdani@semnan.ac.ir

باقی دوره‌ها تحت سناریوهای مختلف افزایشی بوده اما رژیم دبی‌های حداکثر این حوضه در دوره‌های آتی به‌گونه‌ای است که نسبت به دوره مشاهده‌ای تعدیل یافته است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل منحنی‌های دبی فرکانس با احتمالات مختلف نشان داد در برخی ماه‌ها دبی‌های موردنظر در احتمالات وقوع مختلف کاهش داشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد در دوره‌های آتی مقدار دما و بارندگی پیش‌بینی شده افزایش می‌یابد به‌طوری‌که افزایش دما در دوره دوم بیش‌تر از دوره اول و افزایش بارندگی در دوره اول بیش‌تر از دوره دوم خواهد بود. همچنین مقدار دبی دوره‌های آتی افزایش می‌یابد به‌طوری‌که میزان افزایش دبی در دوره اول بیش‌تر از دوره دوم است و میزان حجم تولیدی رواناب نیز در دوره اول بیش‌تر از دوره دوم و در هر دو دوره بیش‌تر از دوره پایه به‌دست آمد. از طرفی میزان دبی حداکثر روزانه در دوره‌های آتی کم‌تر شده به‌طوری‌که میزان کاهش دبی حداکثر در دوره دوم بیش‌تر از دوره اول است. نتایج منحنی‌های دبی فرکانس نیز نشان داد در صورت عدم ذخیره آب، منطقه با مشکل تأمین نیاز مصارف کشاورزی و شرب و صنعت مواجه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های AOGCM، سناریو انتشار، IHACRES، LARS-WG

مقدمه

در دهه‌های اخیر در نتیجه گسترش فعالیت‌های صنعتی جوامع بشری و تا حدودی شاید در نتیجه فرآیندهای طبیعی اقلیم سیاره زمین در حال تغییر می‌باشد (۱۳). تغییر اقلیم یک پدیده اتمسفری-اقیانوسی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده که باعث گرم شدن زمین و تغییر رفتارهای هیدرولوژیکی برخی مناطق جهان می‌گردد و اما منظور از گرم شدن زمین تغییر دمای زمین در اثر فعالیت‌های بشری است که با تغییرات طبیعی آن فرق دارد. در طول صد سال گذشته کره زمین به‌طور غیرطبیعی گرم‌تر شده که این موضوع دانشمندان را نگران کرده است. آن‌ها حدس می‌زنند فعالیت‌های صنعتی در ایجاد این مشکل بسیار مؤثر است و به گرم شدن زمین کمک می‌کند (۸). بر اساس گزارشات پنل بین‌المللی تغییر اقلیم درجه حرارت کره زمین در طول صد سال گذشته به‌طور متوسط حدود یک درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (۹) و تمام تلاش‌ها در آخرین نشست سران کشورهای جهان این بوده که این افزایش به دو درجه محدود گردد (۵). پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر

سیستم‌های مختلفی تأثیر بگذارد که سیستم منابع آب از اصلی‌ترین آن‌ها است. طبق گزارش‌های هیئت بین‌دول تغییر اقلیم^۱ تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده است (۱۰). به‌دلیل واقع شدن ایران در کمربند پرفشار نیمکره شمالی، اکثر مناطق کشور دارای آب و هوای گرم و خشک تا نیمه‌خشک و در برخی نواحی نیمه‌مرطوب و مرطوب می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی و پایش درازمدت شرایط آب و هوایی در هر منطقه می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض ناگوار تغییرات آب و هوایی نظیر سیل، خشکسالی و... باشد (۷).

کبیری و همکاران (۲۰۱۲) اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کلانچ را در غرب مالزی بررسی کردند و از مدل SDSM برای ریزمقیاس‌سازی و از مدل بارش رواناب HEC-HMS برای شبیه‌سازی رواناب حوضه تا پایان این قرن (سال ۲۱۰۰) استفاده کردند. نتایج نشان داد حجم رواناب پیش‌بینی شده

1- Intergovernmental Panel of Climate Change-IPCC

آب آتی را برای نقاط مختلف مصرف شبیه‌سازی نمودند. در این مطالعه مشخص شد که تغییر اقلیم با اثرگذاری بر روی دما، بارش و تبخیر و تعرق، به‌میزان قابل‌توجهی جریان رودخانه را در آینده تغییر خواهد داد (۳). سوینگت و همکاران (۲۰۰۹) از خروجی سناریو A2 و B2 مدل اقلیمی HadCM3 برای یک دوره ۶۰ ساله استفاده کردند و با کالیبره کردن مدل HEC-HMS، رواناب سطحی آینده را برای دوره مورد مطالعه شبیه‌سازی کردند. نتایج بیانگر افزایش دما و کاهش بارش و تغییرپذیری (نوسانات) بالای رواناب سالانه بود. پیش‌بینی نوسانات جریان نشان از حساسیت منطقه نسبت به تغییرات آب و هوایی در دوره آتی داشت (۱۶). آشفته (۲۰۱۲) با استفاده از مدل Hadcm3 و مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سناریو A2، اثر تغییر اقلیم را در حوضه آیدوغموش برای دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۹ را بررسی نمود. بر پایه نتایج وی دما بین ۱ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد و بارش به‌میزان ۲۸ تا ۳۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (۱). تن و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های بارش رواناب بر نتایج حاصل از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در استرالیا پرداختند و بدین‌منظور از خروجی ۱۵ مدل گردش عمومی و ۵ مدل مفهومی بارش رواناب استفاده کردند. اکثر نتایج حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو، خشکی را به‌ویژه در جنوبی‌ترین بخش منطقه مورد بررسی پیش‌بینی کرده که کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را در حجم رواناب نشان داد. نتایج این بررسی عدم قطعیت ناشی از مدل‌های گردش عمومی جو را به مراتب بزرگ‌تر از عدم قطعیت مدل‌های بارش رواناب نشان داد (۱۷). ویز و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از چهار مدل بارش رواناب SMARG، SACRAMENTO، SIMHYD و IHACRES تأثیرات تغییرات اقلیمی روی

کاهش می‌یابد (۱۱). واتقی و همکاران (۲۰۱۱) رواناب حوضه قره‌سو را تحت تأثیر سناریوهای انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن دسته جمعی مدل‌های گردش عمومی جو^۱ بررسی کردند. آن‌ها در پژوهش خود دما و بارش را توسط مدل LARS-WG برای منطقه ریزمقیاس و سپس با معرفی سری زمانی داده‌های فوق به مدل بارش رواناب IHACRES، سری زمانی بلندمدت رواناب روزانه برای دوره‌های آتی تولید شد. نتایج نشان داد که رواناب در طول زمستان و تابستان افزایش، در پاییز کاهش و در بهار تقریباً بدون تغییر خواهد بود. مقایسه دو سناریو در شبیه‌سازی نشان داد که مدل‌های سری A2 همواره دمای بیش‌تری را نسبت به مدل‌های سری B1 برآورد می‌نماید. ولی در خصوص بارش و رواناب نتایج دو سناریو مشابه به‌دست آمد (۱۸). اشرف و همکاران (۲۰۱۲) برای پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ داده‌های مدل HadCM3 را با استفاده از مدل LARS-WG طبق سه سناریوی A1B، A2 و B1 ریزمقیاس کردند و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی را در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد دمای کمینه در همه فصول و طبق هر سه سناریو در غالب شهرستان‌ها دارای روندی افزایشی است. دمای بیشینه استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آینده افزایش و میزان ساعت آفتابی کاهش می‌یابد. همچنین میزان بارش در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در تمام شهرستان‌ها به‌جز تربت‌جام افزایش خواهد یافت (۲). بویج و همکاران (۲۰۱۱) دبی رودخانه نیل را بر اساس وضعیت فعلی و سناریوهای مختلف از جمله تغییر اقلیم پیش‌بینی نموده و با استفاده از مدل RIBASIM مدیریت منابع

1- Atmosphere- Ocean General Circulation Model-AOGCM

است. این ریسک‌ها از تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلفی از تغییرات روزانه، فصلی، سالانه و محلی، منطقه‌ای و جهانی متفاوت می‌باشند. لحاظ نمودن سیاست‌هایی برای مقابله با تغییرات اقلیمی یک امر مهم در مدیریت ریسک محسوب می‌شود که منعکس‌کننده مدیریت منابع با عدم قطعیت است (۱۲). تغییرات آب و هوایی به‌عنوان یکی از عمیق‌ترین چالش‌هایی که جهان با آن مواجه است و دارای عواقب جدی برای زیرساخت‌های اجتماعی، اقتصادی و کشاورزی و نیز محیط‌زیست طبیعی می‌باشد، به‌طور روزافزونی مورد توجه دانشمندان و سازمان‌های بین‌المللی قرار گرفته است (۱۵). با توجه به تأثیر بارندگی و جریان‌ات سطحی بر اقتصاد و زندگی مردم منطقه که بیش‌تر به حرفه کشاورزی و دامداری مشغولند، پیش‌بینی این جریان‌ات در آینده تأثیر به‌سزایی در مدیریت آب‌های موجود و برنامه‌ریزی بلندمدت دارد.

در علوم مهندسی آب و آب‌شناختی، شناخت و تحلیل تغییرات بارش و آبدوی سطح‌ها از نیازهای اساسی محسوب می‌شود. برآورد رواناب یک حوضه آبخیز جهت مدیریت و پیش‌بینی وقوع سیلاب، مدیریت حوضه آبریز و تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از آن دارای اهمیت می‌باشد. اهداف اصلی پژوهش حاضر عبارتند از: ۱) بررسی اعتبار و کارایی مدل‌های مختلف اقلیمی و همچنین تغییرات پارامترهای اقلیمی و قابلیت مدل بارش رواناب IHACRES در منطقه مطالعاتی با استفاده از آماره‌های آزمون مختلف (۲) برآورد تغییرات حجم رواناب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل IHACRES برای دوره‌های آتی بر اساس داده‌های شبیه‌سازی شده بارندگی و دما در مدل‌های مختلف اقلیمی و مقایسه آن با شرایط موجود (۳) تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر روی دبی‌های

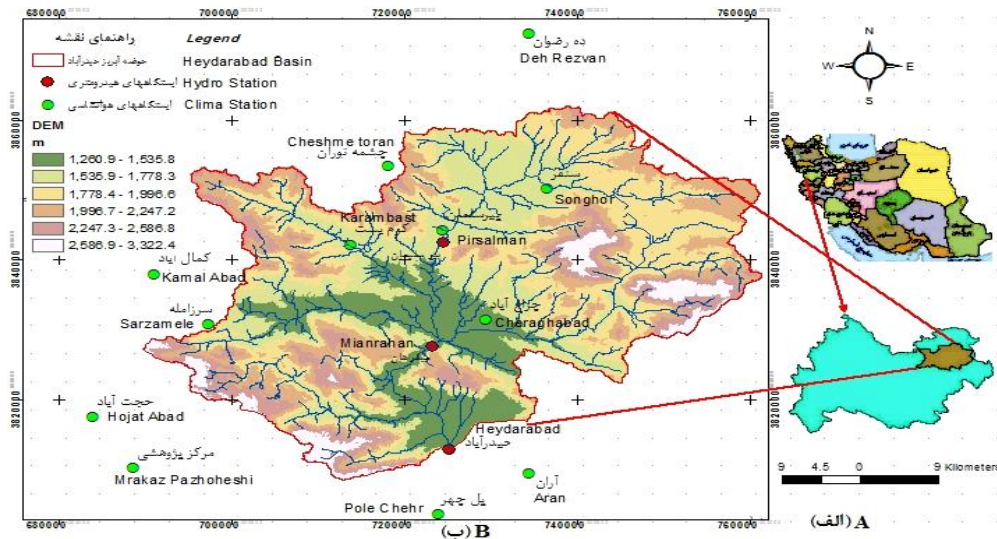
واکنش‌های هیدرولوژیکی ۶۱ حوزه جنوب‌شرق استرالیا را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که نتایج تخمینی مدل IHACRES مطابقت بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی داشت (۱۹). ولزکوئز و همکاران (۲۰۱۱) اثر تغییرات اقلیمی را بر روی جریان رودخانه یکی از حوضه‌های آبریز کشور اسپانیا مورد بررسی قرار داده و راهکارهایی برای چگونگی سازگاری با تغییرات آبی منابع آب در سطح حوضه آبریز ارائه نمودند. در این مطالعه مشخص گردید بیش‌ترین کاهش در متوسط جریان رودخانه در ماه آگوست اتفاق افتاده و با توجه به کمینه بودن میزان جریان در این ماه، وضعیت منابع آب در این ماه بحرانی خواهد بود (۲۰). دابلر (۲۰۱۲) در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پتانسیل خطر سیل در حوضه آلفین لک از مدل‌های GCM و روش ریزمقیاس‌سازی XDS استفاده کرد. نتایج پژوهش نشان از افزایش شدت سیلاب در آینده داشت (۶). زو (۲۰۱۲) اثرات تغییر اقلیم آینده و افزایش دی‌اکسیدکربن و تغییرات ساختمانی پوششی گیاهی روی فرآیندهای هیدرولوژیکی را در چین، مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد تغییر اقلیم بیش‌ترین تأثیر را روی رواناب، چرخه هیدرولوژیکی آب و تبخیر تعرق ناحیه مورد مطالعه داشته است (۲۱). کارلا کارکانو و همکاران (۲۰۰۸) طی پژوهشی جهت مدل‌سازی جریان روزانه در مناطق شمالی ایتالیا دو مدل IHACRES و شبکه عصبی مصنوعی را مورد استفاده قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که وقتی داده‌های ورودی مناسب در دسترس است عملکرد مدل‌های ساده مانند مدل IHACRES نسبت به یک مدل پیچیده بهتر است (۴).

تغییرات آب و هوایی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی برای مردم و طبیعت ریسک‌ها و خطراتی را به دنبال دارد و تحت عنوان تغییر اقلیم شناخته شده

مواد و روش‌ها

موقعیت حوضه آبریز مورد مطالعه: حوضه آبریز دینور واقع در شمال شرق استان کرمانشاه و یکی از زیرحوضه‌های اصلی رودخانه گاماسیاب می‌باشد (شکل ۱).

حداکثر روزانه در حوضه دینور تحت شرایط عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم و مقایسه آن با وضع موجود (۴) ترسیم منحنی‌های دبی فرکانس بر اساس مقادیر پیش‌بینی دبی در سناریوهای مختلف و تحلیل آن‌ها برای برنامه‌ریزی توسعه منابع آبی.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه در ایران (الف) و حوضه آبریز دینور (ب).

Figure 1. Geographical location of study area in Iran (A) and Dinavar Basin (B).

غرب به حوضه آبریز رازآور محدود می‌شود. محدوده مطالعاتی بین طول جغرافیایی $762100\text{ m} - 690300\text{ m}$ شرقی و عرض جغرافیایی $3861921\text{ m} - 3808433\text{ m}$ شمالی (در مقیاس UTM) قرار دارد. حداکثر ارتفاع حوضه $3322/4$ متر و حداقل ارتفاع آن $1260/9$ متر است. وسعت حوضه برابر 2163 کیلومتر مربع تا محل خروجی یعنی ایستگاه هیدرومتری حیدرآباد می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه هیدرومتری (حیدرآباد) استفاده شد (جدول ۱).

سه رودخانه جامیشان، ارمنی‌جان، مریم‌نگار در بخش میانراهان به هم تلاقی خورده و وارد رودخانه دینور می‌شوند. رودخانه دینور یکی از شاخه‌های مهم رودخانه گاماسیاب است. این رودخانه آب‌های سطحی حدود 2500 کیلومتر مربع از زمین‌های شمال شرق استان کرمانشاه شامل سنقر، میانراهان و دینور را زهکشی و به گاماسیاب منتقل می‌کند. این حوضه از سمت شمال به حوضه آبریز گاورود از جنوب به کوه‌های بیستون و پراو از شرق به کوه نخود چال و از

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری منطقه.

Table 1. Climatology and hydrometric stations properties in the region.

ارتفاع (متر) Elevation (m)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	نام ایستگاه Station name	نوع ایستگاه Station type
1443	47-33	34-24	آران Aran	باران‌سنجی Rain gauge
1576	47-27	34-43	پیر سلمان Pirsalman	باران‌سنجی Rain gauge
1500	47-26	34-23	بیستون Bisetoon	باران‌سنجی Rain gauge
1810	47-28	34-49	سطر Satar	باران‌سنجی Rain gauge
1760	47-44	34-42	فارسینج Farsinaj	باران‌سنجی Rain gauge
1900	47-43	34-53	باوله Bavaleh	باران‌سنجی Rain gauge
1680	47-14	34-43	کندوله Kandoleh	باران‌سنجی Rain gauge
1420	47-25	34-38	حسن‌آباد سفلا Hasanabad Sofla	باران‌سنجی Rain gauge
1650	47-05	34-42	مرزبانی Marzbani	باران‌سنجی Rain gauge
1840	47-42	34-35	گرگان Gorgolan	باران‌سنجی Rain gauge
1704	47-35	34-46	سنقر Songhor	سینوپتیک تکمیلی Complementary Synoptic
1382	47-42	34-28	صحنه Sahneh	سینوپتیک Synoptic
1318	47-09	34-21	کرمانشاه kermanshah	سینوپتیک Synoptic
1307	47-27	34-26	حیدرآباد Heydarabad	هیدرومتری - باران‌سنجی Hydrometric- Rain gauge

که در آن‌ها، X_i و Y_i به ترتیب i امین داده مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند.

بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی: یکی از روش‌های بررسی عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار، روش وزن‌دهی پارامترهای مدل‌سازی شده است. بدین‌منظور، داده مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار برای دوره پایه از پایگاه داده محیط‌زیست کانادا استخراج گردید و مدل‌ها بر اساس میزان انحراف پارامتر هواشناسی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی این دوره، وزن دهی شد.

$$W_i = \frac{1 / \Delta T_i}{\sum_{i=1}^N 1 / \Delta T_i} \quad (3)$$

که در آن، ΔT_i انحراف میانگین طولانی‌مدت پارامتر اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌ها در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد مدل‌های گردش عمومی و W_i وزن داده شده به هر یک از این مدل‌ها می‌باشد.

شبیه‌سازی مدل بارش - رواناب: در این مطالعه از مدل بارش رواناب IHACRES استفاده شد که این مدل برای حوضه‌های دارای داده‌های پیوسته بارش، دما و رواناب کاربرد دارد. مدل IHACRES جهت واسنجی و اعتبارسنجی به سری‌های زمانی بارش، رواناب و دما نیازمند است. از داده‌های روزانه سه سال اول دوره مشاهداتی، یعنی سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ (روز ۱۰۹۵) به‌عنوان دوره آماده‌سازی^۳ به مدل داده شد، سپس به‌منظور دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی، واسنجی از

مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار: مدل‌های اقلیمی گردش عمومی جو تأثیر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص دی‌اکسیدکربن که افزایش تدریجی دما را در پی دارد بر اقلیم‌های مختلف کره زمین و پدیده‌های زیست‌شناختی آن سناریوسازی می‌کنند و پژوهشگران با در نظر گرفتن این سناریوها و به کمک مدل‌ها اقلیمی، پارامترهای اقلیمی و هواشناسی مانند بارش و دما را در نقاط مختلف کره زمین پیش‌بینی می‌کنند. در این مطالعه خروجی مدل‌های GFCM21، HADCM3، IPCM4، INCM3، MPEH5 و NCCCSM تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 (که به ترتیب حالت‌های متعادل، اغراق‌آمیز و خوش‌بینانه برای وضعیت اقلیمی دهه‌های آینده فرض شده است) برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۴ و ۲۰۴۶-۲۰۶۹ استفاده شدند.

ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های اقلیمی: یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا مدل آماری LARS-WG است که برای تولید بارش روزانه، تابش، حداکثر و حداقل درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود. جهت ارزیابی مدل آماری LARS-WG، داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره پایه با داده‌های واقعی مقایسه گردید و از آماره ضریب تبیین^۱ و جذر میانگین مربعات خطا^۲ استفاده شد.

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (2)$$

- 1- Coefficient of determination- R^2
2- Root Mean Square Error-RMSE

3- Warm up

رژیم دبی حداکثر روزانه تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه پرداخته شد و میزان انحراف معیار آن بر اساس رابطه زیر به دست آمد. علاوه بر تحلیل دبی‌های حداکثر، حجم رواناب تولیدی در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره‌های آتی نیز محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

که در آن، X_i و \bar{X} به ترتیب i امین داده و میانگین کل داده‌ها و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند.

تحلیل منحنی‌های دبی فرکانس: منحنی‌های دبی فرکانس نشان‌دهنده دبی یا آورد رودخانه در ماه‌های مختلف و در احتمالات (فرکانس) متفاوت می‌باشد. در برنامه‌ریزی‌های توسعه منابع آبی، منحنی‌های دبی فرکانس عموماً به منظور برنامه‌ریزی ماهیانه و سالیانه بهره‌برداری از منابع آب صورت می‌گیرد. در این برنامه‌ریزی‌ها غالباً دبی‌های با احتمال وقوع حدود ۹۰ درصد برای نیازهای بسیار ضروری مانند آب آشامیدنی، صنعت و زیست‌محیطی، دبی‌های با احتمال وقوع حدود ۸۰ درصد برای نیازهای ضروری مانند کشت‌های مهم و صنایع نسبتاً حساس، دبی‌های با احتمال وقوع ۵۰ درصد برای رفع همه نیازهای روزمره و دبی‌های با احتمال وقوع ۲۰ درصد و ۱۰ درصد برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور برای تعیین میزان جریان قابل استحصال حوضه مطالعاتی، از داده‌های ماهانه در سال‌های مختلف برای دوره مشاهداتی و دوره آتی استفاده شد و مقدار جریان با احتمالات مختلف به دست آمد.

سال‌های مختلف آغاز شد و با تغییر طول دوره، دوره واسنجی^۱ ۷ سال (۱۹۹۶-۱۹۹۰) به عنوان مناسب‌ترین طول این دوره انتخاب گردید، سپس صحت‌سنجی^۲ مدل در بازه‌ای خارج از محدوده واسنجی پرداخته شد که طول دوره صحت‌سنجی نیز ۱۴ سال (۲۰۱۰-۱۹۹۷) انتخاب گردید. به منظور ارزیابی شبیه‌سازی جریان برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی، از شاخص‌های ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا برای دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده و نیز از پارامتر آماری نش (NASH) که در سال ۱۹۷۰ توسط نش و ساتکلیف معرفی گردید استفاده شد. این پارامتر به شکل زیر تعریف می‌گردد (۱۴).

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (H_t - \bar{H}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (H_t - \bar{H}_t)^2} \quad (6)$$

که در آن، H_t دبی مشاهداتی، \bar{H}_t دبی شبیه‌سازی شده و \bar{H}_t میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد مشاهدات می‌باشد. هرچه مقدار پارامتر نش به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تطابق بیشتر مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی است.

شبیه‌سازی دبی‌های روزانه منطقه در دوره‌های آتی: پس از تأیید توانایی مدل IHACRES در شبیه‌سازی دبی، برای شبیه‌سازی دبی‌های روزانه حوضه در دوره‌های آتی ابتدا داده‌های روزانه دما و بارش برای دوره‌های آتی توسط LARS-WG، بر اساس خروجی مدل‌های INCM3، HADCM3، GFCM21، MPEHS، IPCCM4 و NCCCSM تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 تولید شد و با ورود این داده‌ها به مدل IHACRES پیش‌بینی داده‌های روزانه دبی برای دوره‌های آتی انجام گرفت. سپس به بررسی تغییرات

- 1- Calibration
- 2- Validation

نتایج و بحث

نتیجه حاصل از ارزیابی مدل LARS-WG: معیارهای خطای مدل LARS-WG برای میانگین داده‌های بلندمدت ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش در دوره پایه برای ایستگاه‌های موجود محاسبه شد و مقدار ضریب تبیین در مورد پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در همه ایستگاه‌ها (در محدوده ۰/۹۹ تا ۰/۸۹)، همچنین مقدار شاخص میانگین مربعات خطا نیز برای هر سه پارامتر در همه ایستگاه‌ها (در محدود ۰/۳۱ تا ۰/۱۳) قرار گرفت. بنابراین می‌توان گفت داده‌های مشاهداتی و داده‌های

تولید شده در دوره پایه از همبستگی مناسبی برای همه ایستگاه‌ها برخوردار می‌باشد و نتایج بیانگر توانایی مدل در شبیه‌سازی و تولید داده برای آینده برای پارامترهای موردنظر در منطقه مطالعاتی است. **نتیجه حاصل از بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار:** ضرایب وزنی ۶ مدل گردش عمومی به تفکیک سناریوها برای شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش منطقه به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ آورده شده است.

جدول ۲- ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای پارامتر دما.

Table 2. GCM models coefficients weighting for temperature data.

مدل / سناریو Model/Scenario	GFCM21	HADCM3	INCM3	IPCM4	MPEH5	NCCCSM
A1B	0.24	0.06	0.24	0.22	0.06	0.19
A2	0.2	0.06	0.26	0.25	0.06	0.17
B1	0.21	0.06	0.25	0.22	0.06	0.19

جدول ۳- ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای پارامتر بارش.

Table 3. GCM models coefficients weighting for precipitation data.

مدل / سناریو Model/Scenario	GFCM21	HADCM3	INCM3	IPCM4	MPEH5	NCCCSM
A1B	0.17	0.34	0.16	0.09	0.13	0.11
A2	0.14	0.47	0.13	0.08	0.1	0.09
B1	0.21	0.29	0.15	0.1	0.13	0.12

به مدل‌های INCM3 و GFCM21. بیش‌ترین وزن در سناریو B1 با وزن ۲۵٪ مربوط به مدل INCM3 می‌باشد. بیش‌ترین وزن برای شبیه‌سازی بارش به میزان ۴۷٪ مربوط به مدل HADCM3 و سناریو A2 است و کم‌ترین وزن برای شبیه‌سازی بارش به میزان ۸٪ مربوط به مدل IPCM4 و برای سناریو A2

بدین‌ترتیب بیش‌ترین وزن برای شبیه‌سازی دما به‌میزان ۲۶٪ مربوط به مدل INCM3 و سناریو A2 است و کم‌ترین وزن برای شبیه‌سازی دما به‌میزان ۶٪ مربوط به مدل‌های HADCM3 و MPEH5 برای سناریوهای A1B، A2 و B1 می‌باشد. همچنین بیش‌ترین وزن در سناریو A1B به‌میزان ۲۴٪ مربوط

یافته است همچنین مقدار افزایش دما در این سناریو نسبت به سناریوهای دیگر در دوره‌های مختلف بیش‌ترین افزایش را داشته است. میزان بارندگی و دما سناریو A2 در مقایسه با سناریوهای دوره اول (هر سه سناریو) به‌ترتیب کاهشی و افزایشی بوده است. همچنین مقدار بارندگی و دما در سناریو A2 دوره دوم نسبت به سناریو A1B همین دوره به‌ترتیب افزایش و کاهش یافته است. مقدار بارش در سناریو B1 نسبت به سناریو A1B و A2 همین دوره به‌ترتیب کاهش و افزایش پیدا کرده است و میزان دما نیز نسبت به آن دو سناریو کاهش یافته است. در مجموع مقدار بارندگی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰) افزایش پیدا می‌کند و در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ کاهش بارندگی داریم. مقدار دما نیز در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰) افزایش پیدا کرده و در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ افزایش بیشتری پیدا کرده است.

می‌باشد. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین وزن سناریو A1B به‌ترتیب به‌میزان ۳۴٪ و ۹٪ مربوط به مدل‌های HADCM3 و IPCM4 است. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن سناریو B1 به‌ترتیب به‌میزان ۲۹٪ و ۱۰٪ مربوط به مدل‌های HADCM3 و IPCM4 می‌باشد.

نتایج پیش‌بینی تغییرات بارش و دما: طبق شکل ۲ نتایج نشان داد مقدار دما و بارندگی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ در سناریو A1B نسبت به دوره پایه افزایشی بوده است، مقدار بارش سناریو A2 بیش‌تر از سناریو A1B و دوره پایه و میزان دما نیز کم‌تر از سناریو A1B و بیش‌تر از دوره پایه بوده است، همچنین در سناریو B1 مقدار بارش نسبت به سناریو A1B و A2 و دوره پایه بیش‌تر شده و میزان دما نسبت به سناریو A1B و A2 کم‌تر شده ولی نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. مقادیر دما و بارندگی در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۶ در سناریو A1B در مقایسه با دما و بارندگی سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۴ به‌ترتیب افزایش و کاهش داشته است، مقدار بارندگی این سناریو نسبت به دوره پایه کاهش



شکل ۲- میانگین بارش (میلی‌متر) و دما (درجه سانتی‌گراد) در دوره پایه و آتی.

Figure 2. Average precipitation (mm) and temperature (°C) in the basic and future periods.

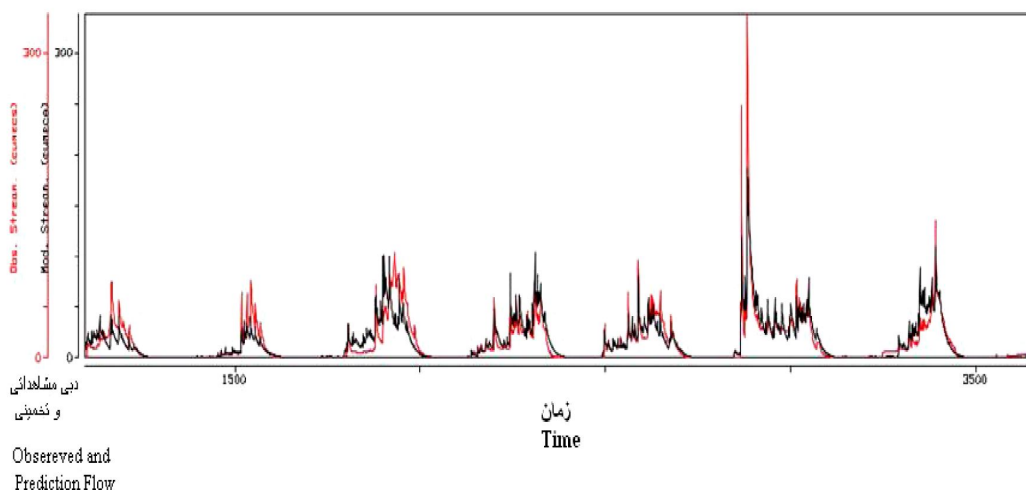
اندازه‌گیری خطا، استفاده از کل دبی‌های روزانه ثبت شده است و پارامترهای مدل بر اساس آن‌ها واسنجی می‌گردد. بنابراین ایجاد خطا در مقادیر حدی با دوره برگشت زیاد که تعداد آن‌ها نیز نسبت به کل دبی‌ها کم‌تر است اجتناب‌ناپذیر است. چرا که اگر پارامترهای مدل برای این مقادیر حدی واسنجی شوند در این صورت در شبیه‌سازی دبی‌های کم‌تر که تعداد آن‌ها نیز در کل دوره بیشتر است دچار خطای زیادی خواهد شد.

نتیجه حاصل از ارزیابی مدل IHACRES مطابق با نتایج ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و شاخص نش برای دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی، مدل بارش رواناب IHACRES با در نظر گرفتن کل دوره شبیه‌سازی در مقیاس روزانه از عملکرد خوبی برخوردار بوده است (جدول ۴ و شکل‌های ۳ و ۴). اما در خصوص برخی از دبی‌های پیک که مقادیر حدی محسوب می‌شوند متأسفانه با خطای زیادی مواجه است. علت امر این است که معیار مدل در

جدول ۴- نتایج خطا در دوره واسنجی و صحت‌سنجی.

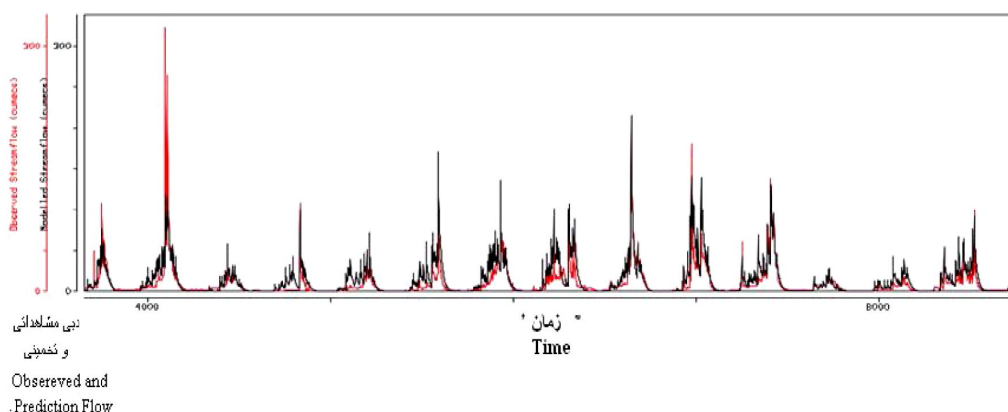
Table 4. Calibration and validation error results.

معیار خطا Criteria Error	دوره واسنجی Calibration stage		دوره صحت‌سنجی Validation stage	
	روزانه Daily	ماهانه Monthly	روزانه Daily	ماهانه Monthly
R ²	0.76	0.92	0.71	0.92
RMSE	11.04	3.98	10.93	5.37
NASH	0.76	0.92	0.63	0.74



شکل ۳- واسنجی مدل IHACRES.

Figure 3. Model Calibration of IHACRES.

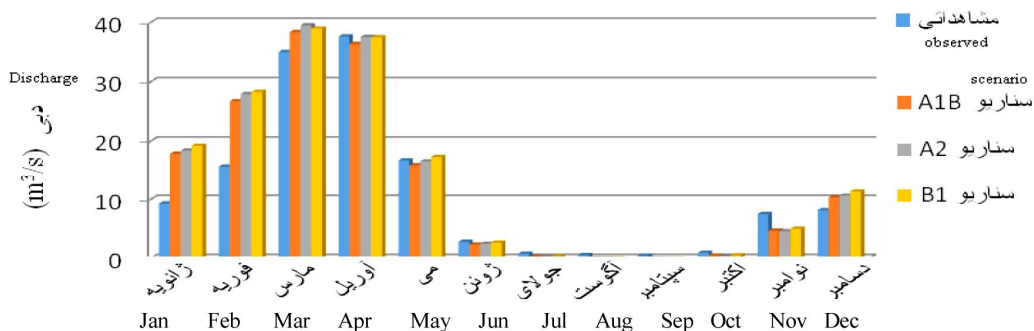


شکل ۴- صحت‌سنجی مدل IHACRES.

Figure 4. Model Verification of IHACRES.

(شکل ۵). در سایر ماه‌های سال (به‌جز ماه می در سناریو B1 که افزایش اندکی داشته است) بر اساس سه سناریو انتشار کاهش دبی رودخانه را نشان می‌دهد. علت این امر جابجایی زمانی وقوع بارش در طول سال در سناریوهای آبی نسبت به دوره مشاهداتی است.

پیش‌بینی دبی: نتایج دبی متوسط ماهانه بلندمدت مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰) و دبی شبیه‌سازی شده سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۴) نشان از افزایش دبی در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس (اوایل آذر تا اوایل فروردین) برای سه سناریو در دوره آبی می‌دهد

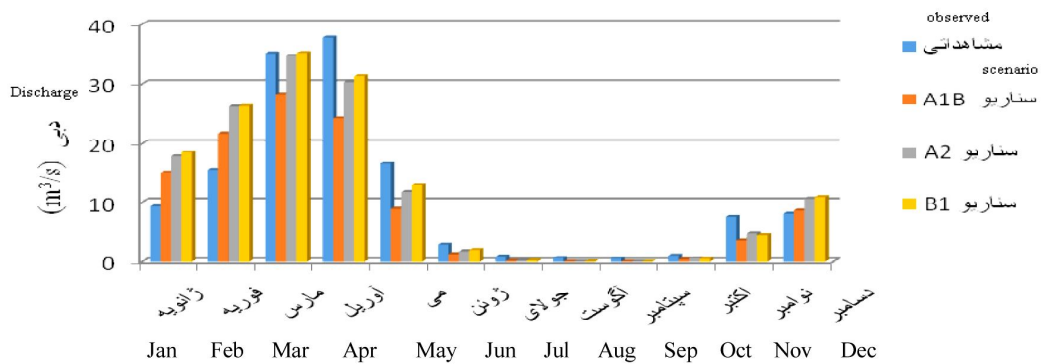


شکل ۵- دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۴).

Figure 5. Observation and simulation of monthly discharge of periods (2011-2034).

ماه مارس در سناریو B1 که تقریباً بدون تغییر بوده است) بر اساس سه سناریو انتشار کاهش دبی رودخانه را نشان می‌دهد. این امر به دلیل جابجایی زمان وقوع بارش (شیفت بارش) از ماه اسفند و ماه‌های اول بهار در طول سال به ماه‌های زمستان و پاییز در سناریوهای آبی می‌باشد.

همچنین نتایج دبی متوسط ماهانه بلندمدت مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰) و دبی شبیه‌سازی شده سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۴) نتایج نشان از افزایش دبی در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه (اوایل آذر تا اوایل اسفند) برای سه سناریو انتشار A1B، A2 و B1 در دوره آبی می‌دهد (شکل ۶). در سایر ماه‌های سال (به‌جز



شکل ۶- دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه دوره‌های آبی (۲۰۴۶-۲۰۶۹).

Figure 6. Observation and simulation of monthly discharge of periods (2046-2069).

مشاهداتی به‌جای تمرکز در چند روز خاص، در بازه زمانی بزرگ‌تری و به‌صورت یکنواخت‌تری اتفاق خواهد افتاد طوری که مقادیر بارش پیش‌بینی شده به مقادیر نرمال نزدیک شده و میزان انحراف معیار آن نسبت به دوره مشاهده‌ای کم‌تر می‌گردد، بنابراین دبی‌های پیک روزانه نیز از نظر مقدار تعدیل‌یافته است.

پیش‌بینی دبی‌های حداکثر روزانه: بررسی دبی‌های حداکثر روزانه در دوره مشاهده‌ای و شبیه‌سازی دوره‌های آبی در سناریوهای A1B، A2 و B1 (جدول‌های ۵ و ۶) نشان می‌دهد مقادیر دبی‌های حداکثر در دوره مشاهده‌ای نوسانات زیادی داشته ولی در دوره‌های آبی برای همه سناریوهای موجود تعدیل پیدا کرده است. علت این موضوع ناشی از این است که میزان بارش در دوره‌های آبی نسبت به دوره

جدول ۵- معیار آماری دبی حداکثر روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده.

Table 5. Statistical criteria of daily maximum observation and simulation discharges.

پارامتر آماری Statistic parameter	1987-2010	2011-2034			2046-2069		
		A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
انحراف معیار STDEV	78.73	10.59	9.21	9.25	7.58	9.17	9.09
میانگین Mean	124.63	55.57	57.58	56.35	39.25	48.56	49.51
حداقل Min	15.1	33.63	37.87	35.02	23.81	30.05	29.79
حداکثر Max	338.18	82.84	73.17	75.45	55.78	66.36	65.14

جدول ۶- انحراف معیار بارندگی مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ماه‌های مختلف.

Table 6. The standard deviation of observation and predict precipitation in different months.

دوره زمانی Time period	ژانویه JAN	فوریه FEB	مارس MAR	آوریل APR	می MAY	ژوئن JUN	جولای JUL	اگوست AUG	سپتامبر SEP	اکتبر OCT	نوامبر NOV	دسامبر DEC
Base (1987-2010)	23.58	25.23	41.53	34.77	17.71	4.27	4.2	3.49	4.34	26.1	59.86	32.45
A1B (2011-2034)	11.94	10.63	12.11	12.59	7.76	0.88	1.12	0.69	1.28	13.64	12.74	12.63
A2 (2011-2034)	12.43	10.18	11.24	12.57	7.49	0.87	1.03	0.57	1.15	11.54	14.69	12.63
B1 (2011-2034)	12.51	10.04	11.57	13.37	7.99	1.14	1.31	0.73	1.51	13.44	14.19	12.98
A1B (2046-2069)	11.18	7.79	10.41	10.96	5.75	0.85	1.19	0.64	1.39	11.6	12.97	11.61
A2 (2046-2069)	11.98	8.97	11.71	12.07	6.35	0.9	1.34	0.72	1.71	14.53	13.45	12.74
B1 (2046-2069)	12.22	8.88	11.62	12.43	6.14	0.94	1.58	0.71	1.51	13.39	13.32	12.85

طبق جدول ۷ در دوره‌های آتی، حجم دبی سناریو B1 بیش‌تر از A2 و نیز حجم دبی سناریو A2 بیش‌تر از A1B بوده است. همچنین با مقایسه دبی حداقل و حداکثر طی ۲۴ سال دوره پایه و دوره‌های آتی نتایج نشان داد مقادیر حداقل دبی در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایش و مقادیر حداکثر دبی نیز نسبت به دوره پایه کاهش یافته است این موضوع بیانگر تعدیل رواناب در دوره‌های آتی می‌باشد.

پیش‌بینی حجم دبی: با موجود بودن دبی‌های روزانه مشاهداتی در دوره پایه و دبی‌های روزانه شبیه‌سازی شده در دوره‌های آتی مقدار حجم دبی سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بر حسب میلیون مترمکعب محاسبه گردید. نتایج نشان داد در همه دوره‌ها و همه سناریوها شاهد افزایش میانگین حجم دبی نسبت به دوره پایه بوده‌ایم (البته به‌استثنا سناریو A1B در دوره دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۶) که در این دوره کاهش بارندگی پیش‌بینی شده است بنابراین طبیعتاً کاهش رواناب و کاهش حجم دبی را به دنبال خواهد داشت).

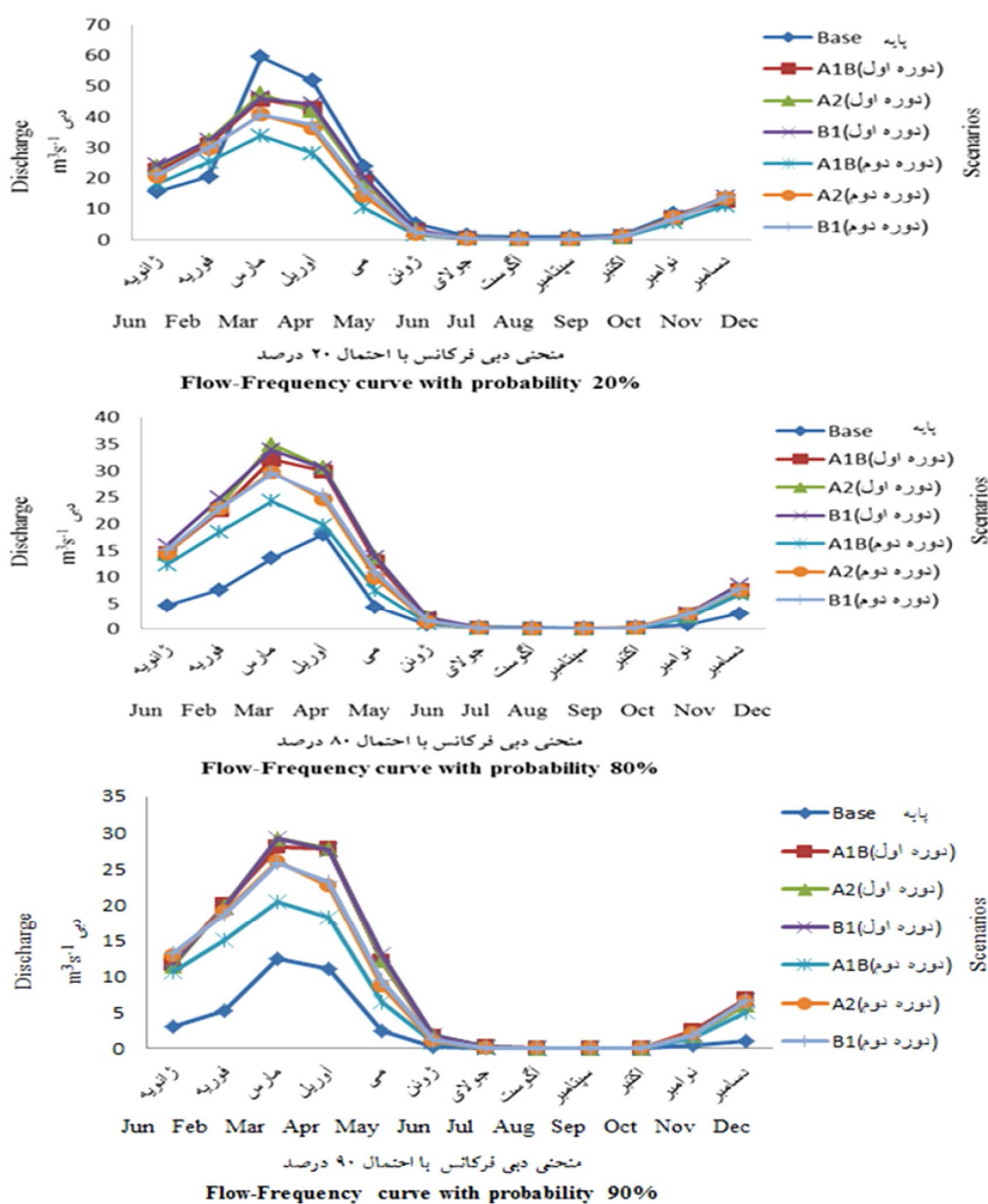
جدول ۷- حجم رواناب سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (MCM).

Table 7. Observations and simulation of annual runoff volume (MCM).

سال year	1987-2010	2011-2034			2046-2069		
		A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
میانگین Mean	365.05	400.76	413.93	420.87	292.74	361.79	371.12
حداقل Min	86.26	312.85	302.58	312.17	215.85	270.33	272.07
حداکثر Max	734.08	488.42	510.03	513.75	355.44	440.14	450.27

شهریور و مهر (جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر) در خصوص دبی‌های مورد نظر برای مقاصد کشاورزی با احتمال ۸۰ درصد، حدود ۱۹ تا ۹۹/۱ درصد کاهش یافته است و برای مقاصد شرب و صنعت نیز با احتمال ۹۰ درصد، حدود ۲/۳ تا ۹۸/۸ درصد کاهش داشته است (شکل ۷).

تحلیل دبی فرکانس: نتایج حاصل از تحلیل تغییرات دبی فرکانس در دوره پایه نسبت به تغییرات آن در دوره‌های آتی بر اساس سناریوهای A1B، A2 و B1 با احتمالات ۲۰، ۸۰ و ۹۰ که برای مقاصد تغذیه مصنوعی، کشاورزی و شرب و صنعت می‌باشد نشان داد درصد تغییرات دبی فرکانس در ماه‌های تیر، مرداد،



شکل ۷- منحنی دبی فرکانس در دوره پایه و دوره‌های آتی.

Figure 7. Flow-Frequency curve in the basic and future period.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در دوره‌های آبی مقدار دما و بارندگی پیش‌بینی شده افزایش می‌یابد به‌طوری‌که افزایش دما در دوره دوم بیش‌تر از دوره اول و افزایش بارندگی در دوره اول بیش‌تر از دوره دوم خواهد بود. پژوهش‌های انجام‌شده توسط برخی از پژوهشگران داخلی نیز بیانگر افزایش دما و بارش تحت‌تأثیر تغییر اقلیم در مناطق مطالعاتی خود دارد (اشرف و همکاران، ۲۰۱۲؛ آشفته، ۲۰۱۲). در سال‌های آبی دارد. همین‌طور مقدار دبی شبیه‌سازی شده حاصل از نتایج خروجی مدل بارش رواناب IHACRES نشان می‌دهد به‌طورکلی در دوره‌های آبی دبی روزانه افزایش می‌یابد به‌طوری‌که میزان افزایش آن در دوره اول بیش‌تر از دوره دوم است، از طرفی میزان حجم تولیدی رواناب نیز در دوره اول بیش‌تر از دوره دوم و در هر دو دوره بیش‌تر از دوره پایه به‌دست آمد که روند آن مشابه با روند تغییرات بارش پیش‌بینی شده در سناریوهای آبی است. این امر با نتایج به‌دست آمده توسط واتقی و همکاران (۲۰۱۱) که در حوضه قره‌سو و در نزدیکی منطقه مطالعاتی این پژوهش صورت گرفته مطابقت دارد. همچنین بررسی دبی‌های حداکثر روزانه در دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی دوره‌های آبی در سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان می‌دهد مقادیر دبی‌های حداکثر در دوره مشاهداتی نوسانات زیادی داشته ولی در دوره‌های آبی برای همه سناریوهای موجود تعدیل پیدا کرده است، این موضوع ناشی از این است که مقادیر بارش پیش‌بینی شده به مقادیر نرمال نزدیک شده و میزان انحراف معیار آن نسبت به دوره مشاهداتی کم‌تر شده است، بنابراین دبی‌های پیک روزانه سیلاب نیز از نظر مقدار تعدیل پیدا کرده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های دبی

فرکانس و با توجه به تمایل کشاورزان و سیاست‌های مراکز تحقیقات کشاورزی منطقه جهت تأمین نیاز آب کشت‌های بهاره و نیز با توجه به افزایش جمعیت در دوره‌های آبی و افزایش نیاز شرب و صنعت منطقه در صورت عدم ذخیره آب، منطقه با مشکل تأمین نیاز مصارف کشاورزی و شرب و صنعت مواجه خواهد بود. این امر در پژوهش‌های ولازکوئز و همکاران (۲۰۱۱) نیز نمود پیدا کرده و بر این اساس راهکارهایی برای سازگاری با تغییر اقلیم پیشنهاد شده است. اما در پژوهش‌های ایشان تنها به تفسیر نتایج بر اساس حجم رواناب تولیدی در سناریوهای آبی پرداخته شده و از منحنی‌های دبی فرکانس برای تحلیل احتمالاتی نتایج استفاده نشده است.

در نهایت نتایج نشان داد حجم عظیم جریان بیش‌تر در پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد که نیاز کشاورزی در منطقه حداقل است. از طرفی در فصل تابستان تا اواخر مهرماه، منطقه حتی جهت تأمین آب شرب نیز با مشکل مواجه است بنابراین به‌نظر می‌رسد با توجه به وقوع حداکثر جریان در فصول زمستان و پاییز، برای تأمین آب منطقه در فصول کم‌آبی در دوره‌های آبی، منطقه نیاز به احداث مخازن بزرگ بر روی رودخانه دارد تا علاوه بر ذخیره آب برای فصل‌های خشک، مازاد جریان در فصل‌های تر، جهت مقاصد تغذیه مصنوعی دشت‌های منطقه استفاده گردد. همچنین می‌توان در ماه‌های خشک قسمتی از ذخیره مازاد را برای تأمین مقاصد زیست‌محیطی اکوسیستم رودخانه رها کرد. این راهکار می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم در کنار روش‌هایی مانند تغییر الگوی کشت بهاره به پاییزه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Ashofteh, P. 2012. Climate change Impact on the crop water requirement using HadCM3 model in Aidoghmoush irrigation network. *Iran. J. Irrig. Drain.* 6: 3. 142-151. (In Persian)
2. Ashraf, B., Mousavi-Baygi, M., Kamali, G.A., and Davari, K. 2012. Evaluation of wheat and Sugar beet water use Variation due to climate change effects in two Coming Decades in the selected plains of Khorasan Razavi Province. *Iran. J. Irrig. Drain.* 6: 2. 105-117. (In Persian)
3. Booiij, M.J., Tollenaar, D., van Beek, E., and Kwadijk, J.C. 2011. Simulating impacts of climate change on river discharges in the Nile basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 36: 13. 696-709.
4. Carcano, E.C., Bartolini, P., Muselli, M., and Piroddi, L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *J. Hydrol.* 362: 3. 291-307.
5. COP21. 2015. UN climate change conference | Paris, <http://www.cop21paris.org/about/cop21>.
6. Dobler, C., Hagemann, S., Wilby, R.L., and Stötter, J. 2012. Quantifying different sources of uncertainty in hydrological projections in an Alpine watershed. *Hydrology and Earth System Sciences.* 16: 11. 4343-4360.
7. Ehteramian, K., Shahabfar, A., and Alizadeh, A. 2004. Evaluation of the ENSO phenomenon on the precipitation regime in Khorasan province. *J. Geograph. Reg. Dev.* 3: 29-42.
8. Eslamian, S., Nosrati, K., and Shahbazi, A. 2004. Climate change impacts on the hydrological drought. *J. Agric. Tehran Univ.* 6: 1. 49-56. (In Persian)
9. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Yokohama, Japan.
10. IPCC. 2007. Synthesis Report of the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
11. Kabiri, R., Kanani, V., and Andrew, C. 2012. Climate Change Impacts on River Runoff in Klang Watershed in West Malaysia. *J. Clim. Res.* 48: 57-71.
12. Kunreuther, H., Heal, G., Allen, M., Edenhofer, O., Field, C., and Yohe, G. 2013. Risk management and climate change. *Nature Climate Change.* 3: 447-450.
13. Lee, H. 2015. The Climate System and Climate Change; *Climate Change Biology*. Chapter 2. (Second Edition), Pp: 13-53.
14. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 3. 282-290.
15. Phillips, J. 2010. Evaluating the level and nature of sustainable development for a geothermal power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 14: 8. 2414-2425.
16. Souvignet, M., Gaese, H., Ribbe, L., Kretschmer, N., and Oyarzun, R. 2008. Climate change impacts on water availability in the Arid Elqui Valley, North Central Chile: a preliminary assessment. In *IWRA World Water Congress*, Montpellier, France.
17. Teng, J., Vaze, J., Chiew, F.H., Wang, B., and Perraud, J.M. 2012. Estimating the relative uncertainties sourced from GCMs and hydrological models in modeling climate change impact on runoff. *J. Hydrometeorol.* 13: 1. 122-139.
18. Vaseghi, R., Massah, A.R., Meshkati, A.H., and Rahimzadeh, F. 2011. Investigation of runoff impact of Ensembles scenarios AOGCM models, 4th Conference of Water Resources Management of Iran, Tehran, Iran, Pp: 23-35. (In Persian)
19. Vaze, J., Post, D.A., Chiew, F.H.S., Perraud, J.M., Viney, N.R., and Teng, J. 2010. Climate non-stationarity-validity of calibrated rainfall-runoff models for use in climate change studies. *J. Hydrol.* 394: 3. 447-457.
20. Velazquez, D., Garrote, L., Andreu, J., Martin-Carrasco, F.J., and Iglesias, A. 2011. A methodology to diagnose the effect of climate change and to identify adaptive strategies to reduce its impacts in conjunctive-use systems at basin scale. *J. Hydrol.* 405: 1. 110-122.
21. Zhu, Q., Jiang, H., Peng, C., Liu, J., Fang, X., Wei, X., Liu, S., and Zhou, G. 2012. Effects of future climate change, CO₂ enrichment and vegetation structure variation on hydrological processes in China. *Global and Planetary Change.* 80: 123-135.



Climate change impacts on the maximum daily discharge under conditions of uncertainty (Dinavar basin in Kermanshah)

S. Najafian¹, *M.R. Yazdani², A. Azari³ and M. Rahimi²

¹M.Sc. Student, Dept. of Agricultural Meteorology, Semnan University,

²Associate Prof., Dept. of Desert Studies, Semnan University,

³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Razi University, Kermanshah

Received: 03/02/2016; Accepted: 05/27/2017

Abstract

Background and Objectives: The phenomenon of climate change and its impact on water resources is of utmost importance that has been less investigated in our country. In this study, the meteorological variables in terms of predicted climate change and were compared with the present situation. The effect of this phenomenon on Dinavar Kermanshah discharge basin taking into account the uncertainty was evaluated.

Materials and Methods: To this end, results of 6 model coupled atmosphere - ocean general circulation of the atmosphere contains MPEH5, IPCM4, INCM3, HADCM3, GFCM21 and NCCCSM under scenarios of greenhouse gas emissions SRES includes A1B, A2 and B1 were Downscaling using the LARS-WG software. To determine the accuracy of the models and scenarios, temperature and precipitation observational data were compared with temperature and precipitation available data on Canada base models and scenarios and weighted method was used to evaluate uncertainty models and scenarios. Then, base of scenario and models uncertainty, was predicted variables in coming period (2011-2034) and (2046-2069) compared with the base period (1987-2010). After the downscaling of climate variables, IHACRES rainfall-runoff models used to simulate runoff in future periods.

Results: Based on the results, it's expected that temperature will be increased respectively 1.72, 1.55 and 1.39 °C in 2011-2034 and 3.27, 2.88 and 2.26 °C in 2046-2069, for A1B, A2 and B1 scenarios compared to the baseline in Dinavar basin. As well as precipitation changes respectively has been 15.22, 17.94 and 23.27 mm for A1B, A2 and B1 scenarios in 2011-2034 and -35.4, 7.97 and 2.58 mm for A1B, A2 and B1 scenarios in 2046-2069 compared to the baseline in this basin. The results showed that the amount of average flow and runoff volume has been increased in future periods except A1B scenario (2046-2069). But, flow regime of maximum daily discharges showed that it is adjust in future period. Flow - Frequency curve analysis with different probability showed that it is required to build large reservoirs to water supply in low flow seasons in future periods.

Conclusion: The results showed that the amount of average temperature and precipitation will be increased in future periods. So that the increase of temperature in the second period is more than the first period and increase of precipitation in the first period will be more than the second period. Also the amount of discharges in future period will be increased so that the increase in the first period will be more than the second period and the volume of runoff in the first period will be more than the second period and in both periods were higher than the base period. But flow regime of maximum daily discharges showed the decreasing in future period, So that the maximum discharge rate decrease in the second period is more than the first period. Flow - Frequency curve analysis also showed that in the absence of water storage, agriculture and industry and drinking in the area faced with supply problems.

Keywords: Climate change, AOGCM models, Emission scenarios, LARS-WG, IHACRES

* Corresponding Author; Email: m_yazdani@semnan.ac.ir