



پیش‌بینی الگوی فصلی جریان رودخانه قره سو در اثر تغییر اقلیم

محمود آذری* - استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

*تلفن نویسنده مسئول: ۰۵۱۱-۸۸۰۵۴۷۳ - پست الکترونیکی: m.azari@um.ac.ir

چکیده

اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر الگوی فصلی منابع آب سطحی تهدیدی است که بهره-برداری از آن را با چالش جدی مواجه ساخته است. در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر الگوی توزیع زمانی جریان در حوضه قره سو در استان گلستان بررسی شد. بدین منظور از مدل سازی هیدرولوژیکی و خروجی های سه مدل GCM برای آینده استفاده گردید. سپس تغییرات دبی ماهانه و کمینه، جریان بیشینه و الگوی جریان سالانه با محاسبه شاخص های میانگین تغییرات دبی ماهانه و فصلی حوضه، دبی اوج با احتمال وقوع ۵٪ (Q5)، جریان کمینه، ۳۰ روزه، مرکز زمانی جریان و ضریب تغییرات فصلی بررسی گردید. نتایج تحقیق بیانگر کاهش جریان در تابستان و ماه های خشک می باشد. همچنین تعجیل در خروج رواناب، افزایش دبی های سیلابی و کاهش جریان های کمینه از اثرات تغییر اقلیم در حوضه مورد مطالعه می باشد.

کلید واژه: جریان فصلی، رواناب، جریان کمینه، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی

پیش‌بینی الگوی فصلی جریان رودخانه قره سو در اثر تغییر اقلیم

محمود آذری، استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد*

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۵۱۱-۸۷۸۸۰۵، نمبر: ۰۵۱۱-۸۸۰۵۴۷۳، پست الکترونیکی: m.azari@um.ac.ir

چکیده

اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر الگوی فصلی منابع آب سطحی تهدیدی است که بهره‌برداری از آن را با چالش جدی مواجه ساخته است. در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر الگوی توزیع زمانی جریان در حوضه قره سو در استان گلستان بررسی شد. بدین منظور از مدل سازی هیدرولوژیکی و خروجی‌های سه مدل GCM برای آینده استفاده گردید. سپس تغییر در جریان کمینه، جریان بیشینه و الگوی جریان سالانه با محاسبه شاخص‌های میانگین تغییرات دبی ماهانه و فصلی حوضه، دبی اوج با احتمال وقوع ۵٪ (Q5)، جریان کمینه ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰ روزه، مرکز زمانی جریان و ضریب تغیرات فصلی بررسی گردید. نتایج تحقیق بیانگر کاهش جریان در تابستان و ماه‌های خشک می‌باشد. همچنین تعجیل در خروج رواناب، افزایش دبی‌های سیلابی و کاهش جریان‌های کمینه از اثرات تغییر اقلیم در حوضه مورد مطالعه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: جریان فصلی، رواناب، جریان کمینه، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی.

۱- مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و وقوع پدیده تغییر اقلیم ناشی از آن پیامدهای متعددی برای منابع آب جهانی به همراه داشته است. اقلیم گرمتر باعث طریق تغییر بارش، مقدار و زمان وقوع رواناب می‌گردد. هوای گرمتر رطوبت بیشتری را در خود نگه می‌دارد و میزان تبخیر از سطوح مرطوب را افزایش می‌دهد با افزایش رطوبت در جو، وقوع بارش شدیدتر می‌شود که نتیجه آن افزایش پتانسیل سیلاب می‌باشد [1]. بر اساس گزارش ارایه شده توسط IPCC اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب شامل نوسان حجم جریان رودخانه‌ها و تغذیه آب‌های زیرزمینی، تغییر زمان اوج جریان رودخانه از بهار به تابستان و کاهش جریان در تابستان

و پاییز، ادامه عقب نشینی یخچال‌های کوچک، افت کیفیت آب، افزایش فراوانی وقوع سیلاب‌های بزرگ و کاهش حجم جریان‌های کمینه می‌باشد.

تغییر جریان رودخانه در اثر تغییر اقلیم به تغییر در مقدار بارش، زمان وقوع بارش، شدت بارش، مقدار ذوب برف و نوع بارش (برف یا باران) بستگی دارد. تجربه و تحلیل روند مقدار رواناب در رودخانه‌های اصلی جهان از سال ۱۹۱۰ تا ۱۹۷۵ افزایش سه درصدی در مقدار رواناب را نشان می‌دهد. نتایج مطالعات انجام شده بر روی رودخانه‌های بزرگ دنیا همگی شواهدی بر تایید تشیده شرایط هیدرولوژیکی می‌باشد نتایج مطالعات مذکور با نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده در خصوص افزایش رواناب در عرض‌های بالایی و برخی از مناطق استوایی و همچنین کاهش در عرض‌های میانی و مناطق تحت حرارتی همسومی باشد [۲]. مطالعات متعددی در خصوص پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه انجام شده است که در بسیاری از اینها با بهره‌گیری از خروجی مدل‌های اقلیمی و مدل‌های هیدرولوژیکی رفتار حوضه مورد مطالعه قرار گرفته است. اما مطالعات یانگر نتایج متفاوت در خصوص تغییرات ایجاد شده می‌باشد.

[۳] به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب در منطقه ساحلی کامرون و حوضه رودخانه Kamga از دو مدل اقلیمی استفاده کرد نتایج مطالعه نشان داد که افزایش دما و بارش منجر به تغییراتی در جریان سالانه رودخانه به ترتیب به میزان ۳ و ۱۸ درصد در منطقه می‌گردد. Wurbs و Muttiah [۴] برای شیوه‌سازی اثرات روند تغییرات اقلیمی گذشته و مقایسه آن با دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹ در حوضه San Jacinto SWAT از مدل استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد که افزایش جریان رودخانه می‌تواند سیلابی شدن بیشتر را به همراه داشته باشد این در حالی است که فراوانی جریان‌های نرمال و جریان‌های کمینه کاهش یافته است. در مطالعه دیگر Merrit و همکاران [۵] اثر تغییر اقلیم در حوضه Okanagan در کانادا را با خروجی‌های سه مدل چرخش عمومی جو (GCM) و دو سناریوی انتشار با کاربرد مدل UBC برای سه دوره زمانی مورد مطالعه قرار دادند نتایج این تحقیق یانگر شروع زد هنگام ذوب برف، وجود روند مثبت بارش، کاهش جریان بهاره و سالانه در دوره ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ می‌باشد.

در مطالعه هیدرولوژی تغییر اقلیم در سیرا نوادا که برای ۱۵ زیر حوضه و با استفاده از مدل WEAP21 و افزایش دما انجام شده است، ضمن وجود عدم همگنی نتایج در منطقه، تغییر مرکز ثقل رواناب سطحی در سال، به زمان زودتر پیش‌بینی شده است [۶]. بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش، تبخیر و تعرق و دبی جریان در حوضه‌ای در شمال تایوان نیز که توسط Yu و همکاران [۷] با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HBV، داده‌های GCM و مدل‌های تولید داده انجام شده است نیز نشان داد که بارش و دبی جریان در فصل مرطوب افزایش و در ماه‌های خشک کاهش خواهد یافت.

در مطالعه دیگر در ایالت اورگان تاثیرات بالقوه تغییر اقلیم در میزان رواناب سالانه، فصلی و مقادیر کمینه و ییشینه رواناب و عدم قطعیت آن در ۲۱۸ زیر حوضه رودخانه Willamette تعیین شد. نتایج مطالعه نشان داد که تغییرات فصلی رواناب به صورت افزایش در جریان زمستانه و کاهش در جریان تابستانه می‌باشد [۸]. در پژوهشی دیگر Maurer و همکاران [۹] از خروجی مدل‌های GCM، مدل هیدرولوژیک VIC^۱ برای تخمین اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه‌هایی در کالیفرنیا استفاده نمودند نتایج مطالعه اختلاف چندانی را در جریان ماهانه بجز در ماه‌های با جریان کم، نشان نداد. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه Peninsular Malaysia(PM) که توسط Shabban و همکاران [۱۰] انجام شده است یانگر عدم تغییر قابل ملاحظه‌ای میانگین کلی جریان ماهانه رودخانه می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر Jung و Chang [۱۱] ارزیابی تاثیرات تغییر فصلی رواناب در حوضه

۱ Variable Infiltration Capacity (VIC)

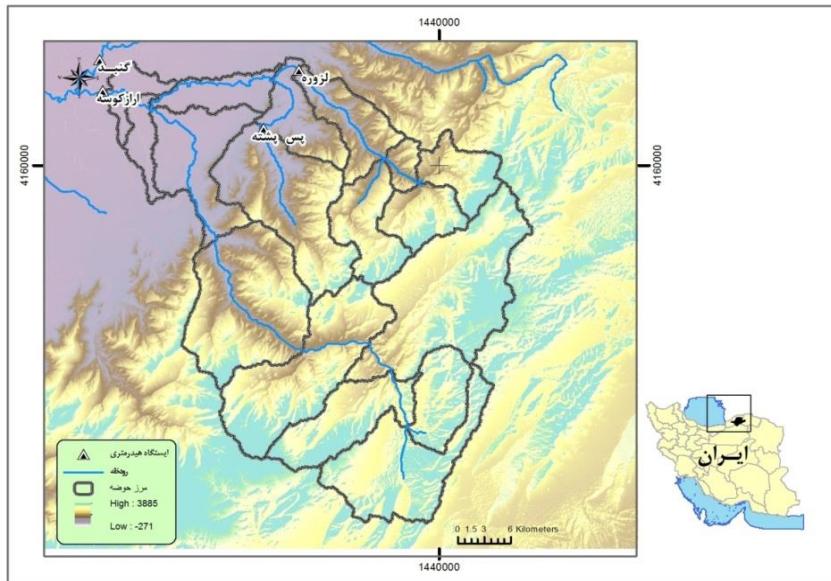
برای قرن ۲۱ با بهره‌گیری از خروجی‌های هشت GCM با دو سناریوی انتشار و مدل بارش-رواناب^۲ Willamete شد که نتایج دلالت بر وجود روند منفی در رواناب بهار و تابستان و روند مثبت در پاییز و زمستان دارد. Rahman و همکاران [۱۲] تاثیر تغییر اقلیم بر حوضه رودخانه Detroit در جنوب انتاریو در کانادا را با استفاده از مدل SWAT و خروجی‌های مدل اقلیمی منطقه‌ای CRCM برای سناریوی A2 و سال‌های ۲۰۷۱-۲۰۴۱ انجام دادند. نتایج مطالعه افزایش جریان به میزان ۱۲ درصد نسبت به دوره تاریخی را نشان می‌دهد همچنین جریان در بهار و زمستان افزایش داشته است در حالی که در پاییز کاهش دیگر مشاهده شده است. با همین روش Wu و همکاران [۱۳] اثرات هیدرولوژیکی افزایش دیگر کربن و تغییر اقلیم در حوضه رودخانه می‌سی‌پی را با استفاده از مدل SWAT بررسی نمودند. نتایج مطالعه افزایش داد که آبدی و رطوبت خاک در بهار افزایش و در تابستان کاهش می‌یابد. توزیع زمانی غیریکنواخت منابع آب در طول سال می‌تواند موید وقوع سیلاب و خشکسالی نیز در آینده باشد.

مطالعات مختلفی در ایران نیز با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب انجام شده است به عنوان نمونه مساح بوانی و مرید [۱۴] اثر تغییر اقلیم روی دما و بارندگی در حوضه آبخیز زاینده‌رود را برای دو سناریوی اقلیمی برای دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از نتایج مدل گردش عمومی جو HadCM3 بررسی نمودند. نتایج مطالعه کاهش ۵/۸ درصدی در جریان ورودی به سد چادگان را نشان می‌دهد. در مطالعه دیگر محمد نژاد [۱۵] تاثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه سد پیشین سیستان و بلوچستان را با مدل توزیعی بارش AFFDEF بررسی کرد. در این مطالعه از سه سناریوی A1، A2 و A1B استفاده شد و نتایج برای سال ۲۰۵۰ کاهش مقدار رواناب را نسبت به دوره تاریخی نشان داد. در مطالعه‌ای دیگر مدل SWAT برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر میزان دسترسی به منابع آب در ایران توسط Abbaspour و همکاران [۱۶] بکار گرفته شد. بدین منظور داده‌های اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ و ۲۰۷۰-۲۰۱۰ از مدل کانادایی CGCM3.1 برای سناریوهای A1B، B1 و A2 استخراج گردیده است. تجزیه و تحلیل میزان شدت بارندگی روزانه بیانگر افزایش فراوانی سیلاب‌های شدید در مناطق مرطوب ایران و خشکسالی‌های طولانی‌تر در مناطق خشک می‌باشد.

در مجموع نتایج مطالعات در نقاط مختلف دنیا دلالت بر اثرات متنوع تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه‌ها دارد. با توجه به اهمیت سنجه‌های فراوانی جریان کمینه و الگوی جریان سالانه در مطالعات خشکسالی، طراحی سیستم‌های بهره‌برداری از منابع آب، برآورد میزان تغذیه آبخوان و حفظ شرایط زیست محیطی، در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر الگوی جریان و تغییرات احتمالی آن در حوضه قره‌سو استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از شاخص‌های مناسب برای مقایسه الگوی جریان در دوره زمانی حال و آینده استفاده گردید تا تغییر در در جریان کمینه، جریان پیشینه و تغییرات جریان سالانه مورد بررسی قرار گیرد.

۲- موارد و روشها

حوضه مورد مطالعه حوضه آبخیز قره‌سو به وسعت ۱۵۴۴ کیلومتر مربع می‌باشد که یکی از سرشاخه‌های آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان می‌باشد. شب متوسط حوضه ۴/۵۸ درصد و طول آبراهه اصلی ۷۸/۸ کیلومتر می‌باشد. رودخانه قره سو از تلفیق رودخانه‌های چهل چای و نرماب و خرمalo ایجاد می‌شود و در نهایت به گرگان‌رود می‌ریزد. حوضه مورد مطالعه دارای شب متوسط عومی به سمت شمال غرب دارد و کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل کاربری اصلی حوضه می‌باشند [۱۷]. شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز قره سو و ایستگاه‌های هیدرومتری آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز قره سو در کشور و استان گلستان

به منظور شبیه‌سازی جریان از مدل SWAT استفاده گردید که برای برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه ارایه شده است [۱۸]. این مدل، فیزیکی، نیمه توزیعی و پیوسته زمانی است و در آن سطح حوضه بر اساس نوع خاک، کاربری اراضی و کلاس‌های شبیه به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU^۳) تفکیک می‌شود و شبیه‌سازی در این واحدها انجام می‌شود. بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، هواشناسی، فرسایش خاک، مواد مغذی، دمای خاک، رشد گیاه، آفت‌کش‌ها، مدیریت کشاورزی و روند جریان رودخانه می‌باشد. مدل، هیدرولوژی هر HRU را با استفاده از رابطه بیلان آبی که شامل بارش روزانه، رواناب، تیغیر و تعرق، نفوذ و جریان برگشتی می‌باشد پیش‌بینی می‌کند. مدل مورد استفاده در این تحقیق قبلاً در تحقیق دیگر توسط آذری و همکاران واسنجی، اعتبار سنجی و آنالیز حساسیت شده است [۱۹] که بدین منظور از آمار روزانه دبی دوره زمانی ۱۹۷۸-۱۹۷۷ و همکاران واسنجی، اعتبار سنجی مدل به ترتیب برای واسنجی و اعتبار سنجی برای سه ایستگاه حوضه در نظر گرفته شده است. مقدار ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تبیین در ایستگاه خروجی حوضه برای دوره واسنجی ۷۷ و برای دوره اعتبار سنجی ۹۵/۰ می‌باشد.

پیش‌بینی جریان دبی برای دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ از داده‌های اقلیمی آنی ریز مقیاس شده سه مدل چرخش عمومی جو شامل CGCM2 از مرکز مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل اقلیم کانادا، مدل HadCM3 از مرکز پیش‌بینی و تحقیقات اقلیمی هادلی انگلستان و SCIRO2 از سازمان تحقیقات علمی و صنعتی استرالیا برای سناریوی استفاده شد. در این مطالعه سناریوهای با بیشترین مطالعات متعددی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گفته است. دوره زمانی تاریخی مدل به منظور مقایسه خروجی‌های ریز مقیاس شده مدل با مقادیر مشاهده‌ای بارندگی و دما، سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۹۹ می‌باشد. برای تبدیل مقادیر هر سناریو در شیوه ۴/۰ درجه به مقادیر ایستگاه مورد نظر، اقدام به درونیابی مکانی با استفاده از روش عکس مجدد فاصله (IDW) با میانگین گیری از ۵

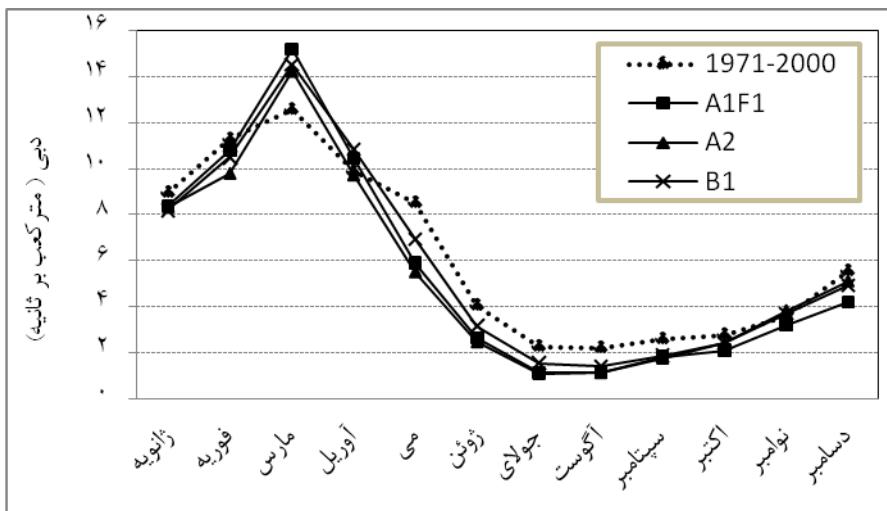
نقشه همسایه گردید.[20]. سپس روش عامل تغییر (CF⁴) برای اصلاح داده‌های GCM و تولید سناریوهای اقیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ مورد استفاده قرار گرفت[21]. سپس داده‌های روزانه پیش‌بینی شده GCM ها پس از اصلاح به روش ذکر شده، برای سناریوهای انتشار (A1F1، A2، A1F1) به عنوان ورودی برای مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور مقایسه ویژگی‌های جریان در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با دوره حال (۲۰۰۰-۱۹۷۱) از شاخص‌های میانگین تغییرات دبی ماهانه، سالانه و فصلی حوضه، دبی اوج با احتمال وقوع ۵٪ (Q5)، جریان کمینه ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه [۸]، ضریب تغییرات فصلی و مرکز زمانی جریان (روزی که نصف جریان سالانه عبور می‌کند) استفاده گردید. انتخاب شاخص‌های ذکر شده بر مبنای شناسایی تغییر در مقدار جریان کمینه و جریان بیشینه و همچنین تغییرات زمانی جریان حوضه می‌باشد.

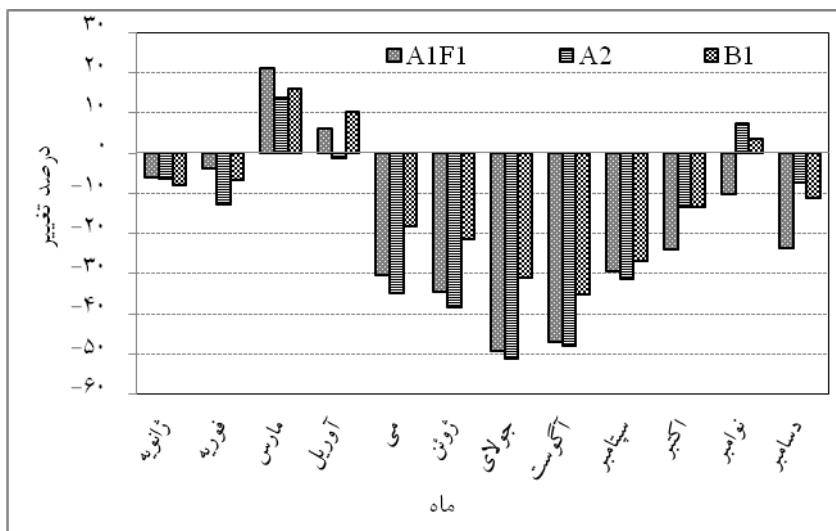
۳- نتایج و بحث

پس از اطمینان از کارایی مدل در شیوه سازی رواناب در ایستگاه اراز کوسه، داده‌های اقیمی شامل دما (بیشینه و کمینه) و بارندگی در مقیاس روزانه برای دوره تاریخی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) به مدل وارد شد و شیوه‌سازی برای دو دوره مذکور انجام شد. در شکل ۲ تغییرات ماهانه دبی برای دوره تاریخی و میانگین سه مدل مورد مطالعه برای سه سناریو A2، A1F1 و A1 ارایه شده است. همچنین در شکل ۳ درصد تغییر دبی برای ماه‌های مختلف ارایه شده است. بر اساس شکل ۳ بجز در ماه‌های مارس، آوریل و نوامبر در سایر ماه‌های سال کاهش جریان پیش‌بینی شده است که بیشترین کاهش برای ماه جولای و آگوست به ترتیب به میزان ۴۹، ۵۱ و ۳۱ درصد برای سناریوهای A2، A1F1 و A1 می‌باشد. تحلیل‌های فصلی موید این موضوع است که در فصول تابستان، پاییز و زمستان افت جریان قابل توجه خواهد بود که میزان آن بسته به سناریو از ۱۰ تا ۴۴ درصد تغییر می‌کند. شواهد موجود و الگوی تغییرات پیش‌بینی شده به خوبی بیانگر تشدید شرایط هیدرولوژی حوضه می‌باشد که این موضوع در تحقیقات Zarghami و همکاران (۲۰۱۱) و مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) که به ترتیب در آذربایجان و حوضه زاینده رود انجام شده است نیز مشاهده شده است. همچنین الگوی تغییرات جریان حوضه به صورت افت جریان در فصل خشک و افزایش جریان در فصل مرطوب نیز همسو با تحقیقات Chang و Jung (۲۰۱۰)، Rahman و همکاران (۲۰۱۲)، Wu و همکاران (۲۰۱۲) و Shrestha و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد. نتایج تحقیق Yu و همکاران نیز نشان داد که بارش و دبی جریان در فصل مرطوب افزایش و در ماه‌های خشک کاهش خواهد یافت.

ضریب تغییرات جریان به عنوان شاخص تغییر پذیری در فصول مختلف هم نشان می‌دهد که در فصول زمستان، بهار و تابستان این ضریب افزایش خواهد یافت که از ۱۶ تا ۷۲ درصد برای سناریوهای مختلف متغیر می‌باشد. تغییر پذیری بیشتر جریان می‌تواند نشانه وقوع دوره‌های خشک و تر بیشتر در منطقه باشد.

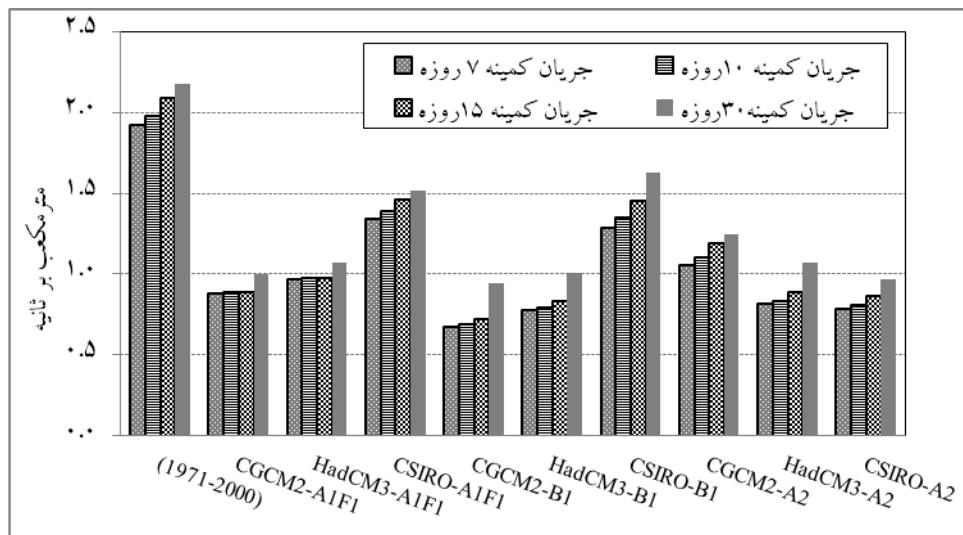


شکل ۲ تغییرات دبی ماهانه دوره تاریخی و میانگین سه مدل مورد مطالعه برای سناریوهای A1F1، A2 و B1 آینده



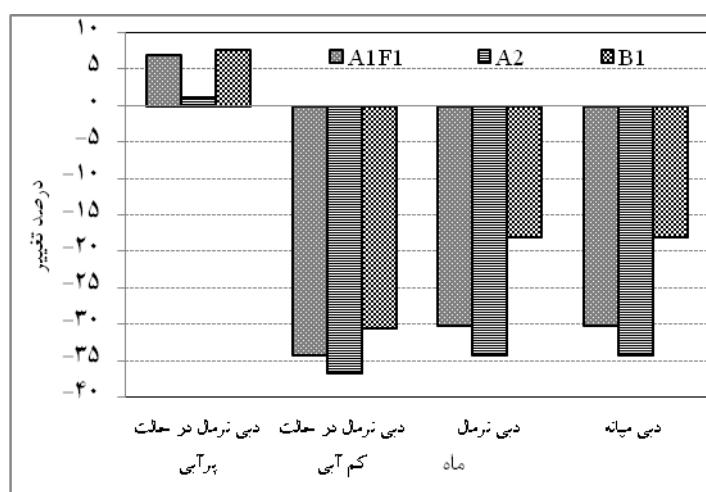
شکل ۳ درصد تغییر دبی ماهانه برای سه سناریوی انتشار A1F1، A2 و B1 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹

با توجه به اهمیت جریان‌های کمینه در خشکسالی و بهره‌برداری آب تغییرات جریان کمینه ۷، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ روزه نیز بررسی شد. در شکل ۴ تغییرات جریان کمینه برای مدل-سناریوهای مورد مطالعه با دوره تاریخی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج تحقیق دلالت بر کاهش قابل توجه جریان‌های کمینه در دوره آتی می‌باشد. به طوری که میانگین کاهش برای این جریانات به ترتیب ۵۴ و ۵۵ درصد برای سناریوهای A1F1، A2 و B1 می‌باشد. در مطالعه Wurbs و Muttiah [4] در حوضه San Jacinto نیز کاهش فراوانی جریان‌های نرمال و جریان‌های کمینه در اثر تغییر اقلیم گزارش شده است.



شکل ۴ تغییرات جریان کمینه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ برای مدل-سناریوهای مورد مطالعه در مقایسه با دوره تاریخی

مرکز زمانی جریان شاخصی دیگری بود که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت این شاخص که بیانگر روزی است که نصف رواناب از حوضه خارج می‌شود در حوضه‌های برفی تغییرات زیادی دارد. نتایج تحقیق نشان داد که برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ هر سه سناریو انتشار این زمان زودتر از دوره تاریخی به وقوع می‌پیوندد. به طوری که این رخداد برای سناریوهای A1, A2, A1F1 و B1 به ترتیب ۴، ۱۲ و ۵ روز زودتر از دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ اتفاق خواهد افتاد. Young و همکاران [6] نیز در تحقیق شان در نوادا تغییر مرکز ثقل رواناب سطحی در سال، به زمان زودتر را از اثرات تغییر اقلیم در هیدرولوژی حوضه می‌دانند. شکل ۵ نیز تغییر دبی نرمال و میانه را برای دوره‌های کم آب و پرآب نشان می‌دهد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در حالت پرآبی دبی نرمال افزایش خواهد یافت و برای حالت کم آبی کاهش تا ۳۷ درصد پیش‌بینی می‌شود در حالت کلی نیز دبی میانه و نرمال برای هر سه سناریو کاهش خواهد یافت که مطالعات متعددی به این موضوع اشاره داشته‌اند [4].



شکل ۵ تغییر دبی نرمال و میانه را برای دوره‌های کم آب و پرآبی

از شاخص‌های دیگری که در این تحقیق محاسبه شد دبی اوج با احتمال ۵ درصد به عنوان شاخصی برای جریان‌های سیلابی می‌باشد نتایج تحقیق نشان داد که میانگین دبی اوج با احتمال ۵ درصد در سناریوهای مختلف افزایش می‌یابد که این افزایش از ۸/۳ تا

۱۵/۷ برای سناریوی انتشار A2 و A1F1 متغیر می باشد. این نشان می دهد که احتمال وقوع سیلاب در حوضه رود به افزایش است که با مطالعات مشابه در ایران و خارج کشور همخوانی دارد.

در مجموعه نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که اثرات تغییر اقلیم بر الگوی فصلی جریان در حوضه قره سو به سمت تشدید وقایع حدی به صورت کم شدن جریان در ماههای خشک و افزایش دبی در ماههای پر آب می باشد. همچنین تعجیل در خروج رواناب، افزایش دبی های سیلابی و کاهش جریان های کمینه از اثرات تغییر اقلیم در حوضه مورد مطالعه می باشد.

۴- مراجع

- [1] Dhar, S. and A. Mazumdar, *Hydrological modelling of the Kangsabati river under changed climate scenario: case study in India*. Hydrological Processes, 2009. **23**(16): p. 2394-2406.
- [2] Huntington, T.G., *Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis*. Journal of Hydrology, 2006. **319**(1-4): p. 83-95.
- [3] Mkankam Kamga, F., *Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon)*. Journal of Hydrology, 2001. **252**(1): p. 145-156.
- [4] Muttiah, R.S. and R.A. Wurbs, *Modeling the impacts of climate change on water supply reliabilities*. Water International, 2002. **27**(3): p. 407-419.
- [5] Merritt, W.S., Y. Alila, M. Barton, B. Taylor, S. Cohen, and D. Neilsen, *Hydrologic response to scenarios of climate change in sub watersheds of the Okanagan basin, British Columbia*. Journal of Hydrology, 2006. **326**(1-4): p. 79-108.
- [6] Young, C.A., M.I. Escobar-Arias, M. Fernandes, B. Joyce, M. Kiparsky, J.F. Mount, V.K. Mehta, D. Purkey, J.H. Viers, and D. Yates, *Modeling the Hydrology of Climate Change in California's Sierra Nevada for Subwatershed Scale Adaptation1*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2009. **45**(6): p. 1409-1423.
- [7] Yu, P.-S. and Y.-C. Wang, *Impact of climate change on hydrological processes over a basin scale in northern Taiwan*. Hydrological Processes, 2009. **23**(25): p. 3556-3568.
- [8] Chang, H. and I.-W. Jung, *Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex large river basin in Oregon*. Journal of Hydrology, 2010. **388**(3-4): p. 186-207.
- [9] Maurer, E.P., L.D. Brekke, and T. Pruitt, *Contrasting Lumped and Distributed Hydrology Models for Estimating Climate Change Impacts on California Watersheds*. Journal of the American Water Resources Association, 2010. **46**(5): p. 1024-1035.
- [10] Shaaban, A.J., M. Amin, Z. Chen, and N. Ohara, *Regional Modeling of Climate Change Impact on Peninsular Malaysia Water Resources*. Journal of Hydrologic Engineering, 2010. **16**(12): p. 1040-1049.
- [11] Jung, I.-W. and H. Chang, *Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA*. Hydrological Processes, 2011. **25**(2): p. 258-277.
- [12] Rahman, M., T. Bolisetti, and R. Balachandar, *Hydrologic modelling to assess the climate change impacts in a Southern Ontario watershed*. Canadian Journal of Civil Engineering, 2012. **39**(1): p. 91-103.

- [13] Wu, Y., S. Liu, and O. Abdul-Aziz, *Hydrological effects of the increased CO₂ and climate change in the Upper Mississippi River Basin using a modified SWAT*. Climatic Change, 2012. **110**(3-4): p. 977-1003.
- [14] مساح‌بوانی، ع. و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۴): ۱۷-۲۷.
- [15] محمدنژاد، ر. ۱۳۸۹. کاربرد مدل توزیعی بارش - رواناب و GIS در بررسی اثرات تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۱۲۸ ص.
- [16] Abbaspour, K.C., M. Faramarzi, S.S. Ghasemi, and H. Yang, *Assessing the impact of climate change on water resources in Iran*. Water Resources Research, 2009. **45**(10): p. W10434.
- [17] موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۱۳۸۱. مطالعات مرحله اول ساماندهی توسعه کشاورزی و منابع طبیعی دشت گرگان و کنبد در استان گلستان. ۱۲۵۰ ص.
- [18] Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams, *Large area hydrologic modeling and assessment part I: model developmentI*. Journal of the American Water Resources Association, 1998. **34**(1): p. 73-89.
- [19] آذری، م.، ح. مرادی، ب. ثقفیان و م. فرامرزی، ۱۳۹۲ ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگان‌رود. نشریه آب و خاک، ۲۷(۳): ۵۴۵-۵۳۷.
- [20] Liu, D. and H. Zuo, *Statistical downscaling of daily climate variables for climate change impact assessment over New South Wales, Australia*. Climatic Change, 2012: p. 1-38.
- [21] Chen, J., F.P. Brissette, and R. Leconte, *Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology*. Journal of Hydrology, 2011. **401**(3-4): p. 190-202.