

مدل سازی جریان خروجی زیرحوضه های کارون بزرگ در شرایط اقلیمی آینده

مرضیه کیهان پناه^۱، رفعت زارع بیدکی^{۲*}، جواد بذرافشان^۳

۱. دانش آموخته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳. دانشیار دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۰۵؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۳/۳۰)

چکیده

تغییر اقلیم با تغییر در چرخه هیدرولوژی، جریان خروجی از حوضه را تحت تأثیر قرار می دهد. دانستن میزان تغییرات احتمالی در مقادیر بارش و رواناب خروجی حوضه به برنامه ریزی و مدیریت بهتر منابع آب کمک خواهد کرد. تغییرات بارش ناشی از تغییر اقلیم با مدل های گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف شبیه سازی می شود. بررسی تغییرات رواناب به کاربرد مدل های بارش - رواناب نیاز دارد. هدف از این پژوهش، مدل سازی جریان خروجی بخشی از حوضه کارون، که از تغییر اقلیم به وجود آمده، است. بنابراین، دما و بارش حوضه آبخیز کارون بزرگ برای سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵، با استفاده از دو مدل گردش عمومی جو و فرایند کوچک مقیاس سازی تحت دو سناریوی A2 و B1 شبیه سازی شد. سپس جریان خروجی سه زیرحوضه اندیمشک، اهواز و یاسوج به وسیله مدل بارش رواناب IHACRES و با استفاده از مقادیر بارش و دمای پیش بینی شده تحت دو سناریوی A2 و B1 شبیه سازی شد. مقایسه ها نشان داد در دوره های آتی تحت هر دو سناریو، مقادیر بارش، بیشترین و کمترین دما افزایش خواهند داشت. نتایج شبیه سازی رواناب نیز نشان داد در حوضه های مطالعه شده میزان رواناب دوره های آتی تحت هر دو سناریو، در فصل های بهار و تابستان، کاهش و در پاییز و زمستان، افزایش خواهد یافت.

کلیدواژگان: پیش یابی، تغییر اقلیم، شبیه سازی، کوچک مقیاس سازی آماری، مدل چرخش عمومی جو.

مقدمه

اقلیم یک منطقه، میانگین شرایط جوئی بلندمدت آن منطقه است. رشد صنایع و کارخانه‌ها و به‌موجب آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یک سو و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر سبب افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص گاز CO₂ در چند دهه اخیر شده است. افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین به‌وجود آورده است که در نوشته‌های علمی به آن تغییر اقلیم گفته می‌شود. اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به‌تبع آن چه وضعیتی برای اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست؛ بنابراین به‌طور کاملاً غیرقطعی و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است.

از آنجا که فعالیت‌های اقتصادی جوامع و متعاقب آن رشد صنایع و کارخانه‌ها و تغییرات کاربری اراضی از عوامل اصلی افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، لازم است وضعیت اقتصادی - اجتماعی کره زمین طی دوره‌های آتی بررسی شود. به‌طور کلی، یک سناریوی غیراقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی - اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است که به آن سناریوی انتشار (SRES)^۱ نیز گفته می‌شود. سناریوهای انتشار به‌منظور کشف توسعه آینده در محیط زیست جهانی و فراهم‌آوردن مرجعی ویژه برای انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در جو بنا نهاده شده‌اند. خانواده سناریوهای A2 تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی است. در خانواده B1 تأکید بر پایداری محیط زیست در سطح جهانی است.

معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های جهانی گردش عمومی اقیانوس - اتمسفر (AOGCM) است [۱ و ۲]. مدل‌های AOGCM بر پایه قوانین فیزیکی استوارند که در قالب روابط ریاضی ارائه می‌شوند. مدل‌های گردش عمومی جو هنوز قابلیت اجرا در مقیاس ایستگاهی را ندارند، بنابراین، روش‌های مختلفی ابداع شده‌اند تا خروجی این مدل‌ها را به‌مقیاس ایستگاهی تبدیل کنند [۳ - ۸].

مقدار و زمان‌بندی خروج رواناب از هر حوضه آبخیز تابع شرایط اقلیمی، اداپیک، فیزیوگرافی و نیز کاربری اراضی آن و ارتباط پیچیده اجزای چرخه هیدرولوژی در آبخیز است. تغییر اقلیم به تغییر در مقادیر دما و بارش و به‌تبع آن تغییر در مقادیر نفوذ، تبخیر و تعرق و الگوی تولید رواناب در سطح حوضه آبخیز منجر می‌شود. مدل IHACRES در مناطق خشک به‌علت اینکه جریان‌های زودگذر وجود دارند و واکنش به متغیرهای اقلیمی سریع‌تر صورت می‌گیرد، قابل اجراست. هدف اصلی مدل IHACRES تعیین رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز با استفاده از تعداد کمی پارامتر است [۹]. مدل یادشده به دو سری داده‌های بارش و دما به‌عنوان ورودی و همچنین به داده‌های جریان مشاهداتی به‌منظور واسنجی مدل و بررسی دقت نتایج شبیه‌سازی نیاز دارد. فرایند واسنجی مدل شامل تخمین پارامترهایی است که حداقل تابع هدف را مشخص می‌کنند [۱۰].

اهمیت موضوع تغییر اقلیم و آثار آن از جنبه‌های مختلف نظیر منابع آب موجب شده است پژوهشگران مختلف توجه ویژه‌ای به این موضوع داشته‌کنند و دامنه مطالعات در این زمینه افزایش شایان توجهی داشته‌باشد. در مطالعه بذرافشان و همکارانش [۱۱] ضمن استفاده از دو مدل LARS-WG و ClimGen برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی ۱۵ ایستگاه هواشناسی ایران، مشخص شده است که مدل LARS-WG در تولید داده‌های بارندگی و تابش خورشید عملکرد بهتری از مدل رقیب دارد.

حجاری‌زاده و همکارانش [۱۲] در مطالعه‌ای آثار تغییر اقلیم بر هیدروگراف سیلاب را در دوره‌های آتی با استفاده از مدل گردش عمومی جو CGCM3 و بر اساس سناریوی انتشار A2 در حوضه آبخیز بختیاری ارزیابی کردند. برای شبیه‌سازی سیلاب حوضه آبخیز نیز از مدل بارش - رواناب HEC-HMS استفاده شد. براساس نتایج شبیه‌سازی در حوضه آبخیز کاهش بارش مشاهده شد و افزایش بیشترین و کمترین دما پیش‌بینی شد. آنها نتیجه گرفتند بارش‌های حدی در حوضه آبخیز با شدت بیشتری نسبت به دوره پایه رخ خواهند داد که این امر نشان‌دهنده افزایش وقوع سیلاب‌ها در دوره آتی خواهد بود. خیرفام و همکارانش [۱۳] به تخمین دبی روزانه با استفاده از مدل IHACRES در برخی از حوضه‌های آبخیز استان گلستان پرداختند و نتایج شبیه‌سازی نشان داد در بیشتر ایستگاه‌ها و در هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی، مقادیر برآوردی مدل

بررسی شده بود. میزان درصد کاهش رواناب، ناشی از تغییر اقلیم در سطح منطقه در دهه های ۱۹۷۰، ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ به ترتیب برابر ۳۶، ۲۸، ۵۳ و ۱۰ درصد بود. میزان کاهش رواناب ناشی از فعالیت های انسانی در این دهه ها به ترتیب برابر ۶۴، ۷۲، ۴۷ و ۹۰ درصد به دست آمد. پاراچو و همکارانش [۱۹] برای منطقه پنسیلوانیا در جنوب غربی اروپا با استفاده از مدل های AOGCM و RCM و سناریوی انتشار AIB، سناریوهای بارش را در دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۶۹-۲۰۹۸ تعیین کردند و گفتند که بارش منطقه مطالعه شده کاهش خواهد یافت. المزروی و همکارانش [۲۰] با استفاده از نوعی مدل GCM (مدل CMIP3) تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1، پیش بینی کردند که تا پایان قرن جاری، مناطق شمالی شبه جزیره عربستان نسبت به مناطق جنوبی افزایش دمای بیشتری را شاهد خواهند بود. همچنین مشخص شد که بارش در مناطق شمالی و جنوبی عربستان حدود ۱/۵ درصد برای هر دهه به ترتیب کاهش و افزایش خواهد یافت.

ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر فرکانس سیلاب (منطقه مطالعه شده: حوضه بازفت) را الماسی و سلطانی [۲۱] انجام دادند. آنها از چهار مدل گردش عمومی جو استفاده کردند و با رویکرد وزنی برای کاهش عدم قطعیت در پیش بینی اقلیم بهره گرفتند. به علاوه، در این مقاله جریان پیک لحظه ای (IPF) با استفاده از برخی معادلات تجربی برآورد شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقدار سیل در آینده برای همه دوره بازگشت ها کاهش خواهد یافت.

پیش بینی آثار تغییر اقلیم بر روند ماهانه دبی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه گالیکش) توسط قربانی و همکارانش [۲۲] انجام شد. آنها از مدل گردش عمومی جو HADCM3 و مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای این مطالعه استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تحت شرایط سناریوهای مختلف دما در ماه های مختلف افزایش و بارش سالانه کاهش می یابد.

دگنت و دیسه [۲۳] به منظور درک تغییر اقلیم آینده در بالادست حوضه رودخانه نیل آبی از دو روش ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و SDSM استفاده کردند. آنها در این مطالعه نتیجه گرفتند هر دو روش ریزمقیاس نمایی توانایی زیادی برای شبیه سازی مقادیر اقلیم منطقه ای کنونی با اطمینان زیاد دارند. هر دو روش افزایش

به خصوص در مقادیر دبی اوج کمتر از مقادیر مشاهداتی بود. در مجموع، نتایج مدل IHACRES در تعدادی از زیر حوضه های مطالعه شده نسبتاً قابل قبول ارزیابی شد. یعقوبی و بوانی [۱۴] حساسیت و مقایسه عملکرد سه مدل مفهومی HBV، IHACRES و HEC-HMS در شبیه سازی بارش - رواناب پیوسته در حوضه های آبخیز نیمه خشک (مطالعه موردی حوضه اعظم هرات-یزد) را تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل HBV در دوره واسنجی و صحت سنجی بیشترین کارایی را دارد.

ترامبلی و همکارانش [۱۵] اثر تغییر اقلیم روی واقعه رگبار در Morocco را بررسی کردند. آنها در این تحقیق از سناریوی AIB و ۱۵ مدل RCM استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد طی دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بارش ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت، اما یک تغییر پذیری بزرگ و انحراف کمی بین مدل ها طی دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ یافت شد. صمدی و همکارانش [۱۶] یک مدل هیدرولوژیکی مفهومی مرکب در زمینه خروجی های مدل HadCM3 از مدل های گردش عمومی جو (GCM)، همراه با دو تکنیک مدل کوچک مقیاس سازی آماری و شبکه عصبی مصنوعی، برای محاسبه چگونگی تغییر ممکن جریان رودخانه کرخه به کار بردند و پارامترهای دما، بارش و جریان رودخانه ای را برای سال های ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ پیش بینی کردند و روش آماری را در این پیش بینی ها ارجح تر یافتند. ساتو و همکارانش [۱۷] آثار تغییر اقلیم بر دبی رودخانه به وسیله شبیه سازی هیدرولوژیکی برای چندین حوضه آبخیز رودخانه در ژاپن را با استفاده از آخرین ورژن با رزولوشن خیلی زیاد مدل گردش عمومی جو (AOGCM) و با رزولوشن افقی حدود ۲۰ کیلومتر بررسی کردند. دوره پایه ۱۹۸۰-۱۹۹۹ و دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و سناریوی انتشار AIB را در نظر گرفتند. نتایج پژوهش آنها نشان داد حتی اگر مقدار بارش تغییر زیادی در آینده نکند، دبی رودخانه به طور معناداری به علت افزایش بارش، کاهش ذوب برف و افزایش تبخیر و تعرق در دمای زیاد هوا تغییر خواهد کرد و افزایش دمای هوا برآیند مهم تری بر چرخه هیدرولوژیکی به ویژه در مناطقی دارد که آب آنجا اغلب با ذوب برف تأمین می شود. چانگ و همکارانش [۱۸] آثار تغییر اقلیم و فعالیت های انسانی بر رواناب رودخانه وی در کشور چین را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها بیان کننده کاهش میزان بارش و رواناب در محدوده

براساس طرح جامع آب کشور، حوضه آبخیز کارون بزرگ به نُه زیرحوضه آبخیز تفکیک شده است که شامل کارون بالا، خرسان، سزار، بختیاری، کارون وسط، کارون پایین، پایاب دز، پایاب کارون ۲ و پایاب کارون ۱ است. حوضه آبخیز کارون از نظر تقسیمات اداری، همه یا بخش‌هایی از هفت استان کشور را در خود جای داده است، که بیشترین مساحت آن در استان خوزستان واقع شده است. حوضه آبخیز کارون مختصات جغرافیایی ۴۸°:۲' تا ۵۲°:۰' طول شرقی و ۲۹°:۵۶' تا ۳۴°:۷' عرض شمالی دارد. ارتفاع آن از ۲۶ متر پایین‌تر از سطح دریا تا ۴۴۰۷ متر بالاتر از سطح دریا متغیر است و متوسط ارتفاع ۱۵۳۷ متر و شیب متوسط آن ۲۴ درصد است [۲۶]. رودخانه اصلی این حوضه کارون است. این رودخانه از مرتفع‌ترین قله‌های سلسله کوه‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرد و به خلیج فارس می‌ریزد و به‌عنوان مهم‌ترین و پرآب‌ترین منبع آب سطحی کشور محسوب می‌شود که دلیل اصلی انتخاب این منطقه برای مطالعه حاضر است. طول رودخانه کارون تقریباً ۹۵۰ کیلومتر است و آورد سالانه آن مطابق اندازه‌گیری‌های ایستگاه اهواز ۲۲ میلیارد مترمکعب تخمین زده شده است. میانگین بارش در سطح حوضه ۶۳۲ میلی‌متر است.

روند بارش، کمترین و بیشترین دما را نشان دادند. همچنین تحلیل داده‌های اقلیم ریزمقیاس‌شده در دو روش نشان داد LARS-WG افزایش نسبتاً بیشتری از SDSM دارد.

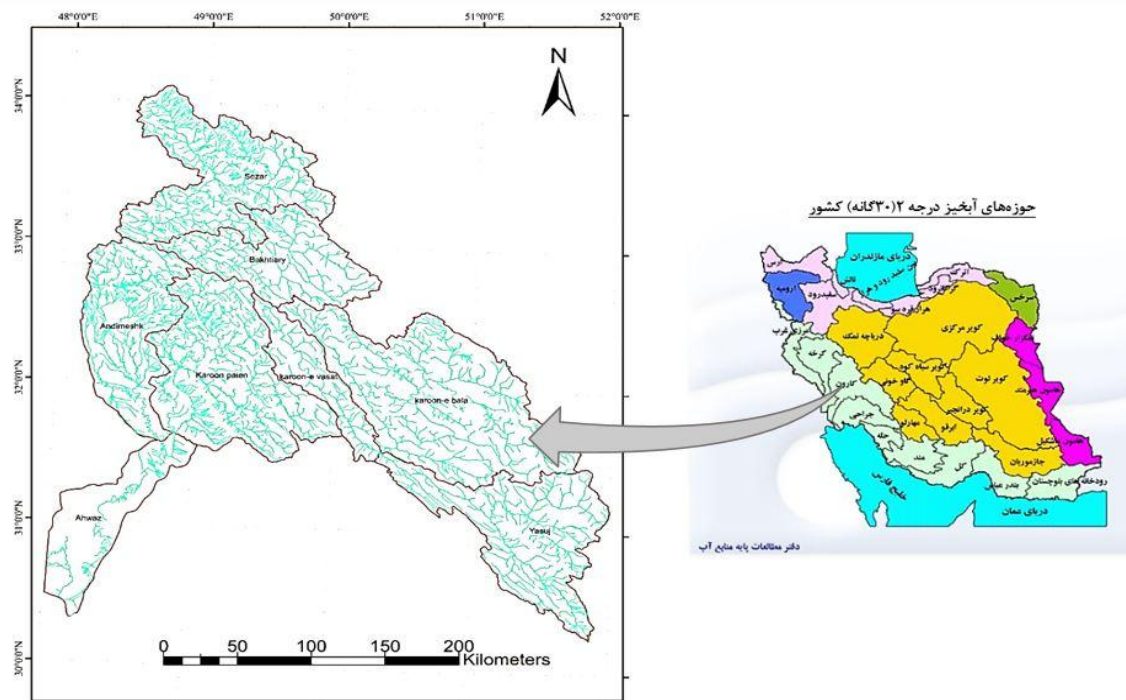
قرارگیری بیشتر مساحت ایران در منطقه اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک، لزوم مطالعه رژیم دما و بارش ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی را تشدید می‌کند. اگرچه آثار مثبت گرمایش جهانی با افزایش طول مدت رشد گیاهان، کاهش استفاده از انرژی در دوره سرد سال و غیره می‌تواند باشد، از طرف دیگر سبب نیاز بیشتر انرژی برای تهویه در دوره گرم سال، افزایش خشکسالی‌ها، کاهش منابع آب و مواردی از این نوع می‌شود [۲۴ و ۲۵].

هدف از این تحقیق، برآورد میزان رواناب در سه زیرحوضه از زیرحوضه‌های آبخیز کارون در دوره‌های آتی با توجه به سناریوهای مختلف است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز کارون بزرگ با مساحتی حدود ۶۷۲۵۷ کیلومترمربع در جنوب غربی ایران واقع است (شکل ۱). حوضه آبخیز کارون بزرگ متشکل از رودخانه‌های دز و کارون است که داخل ارتفاعات زاگرس میانی قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز کارون

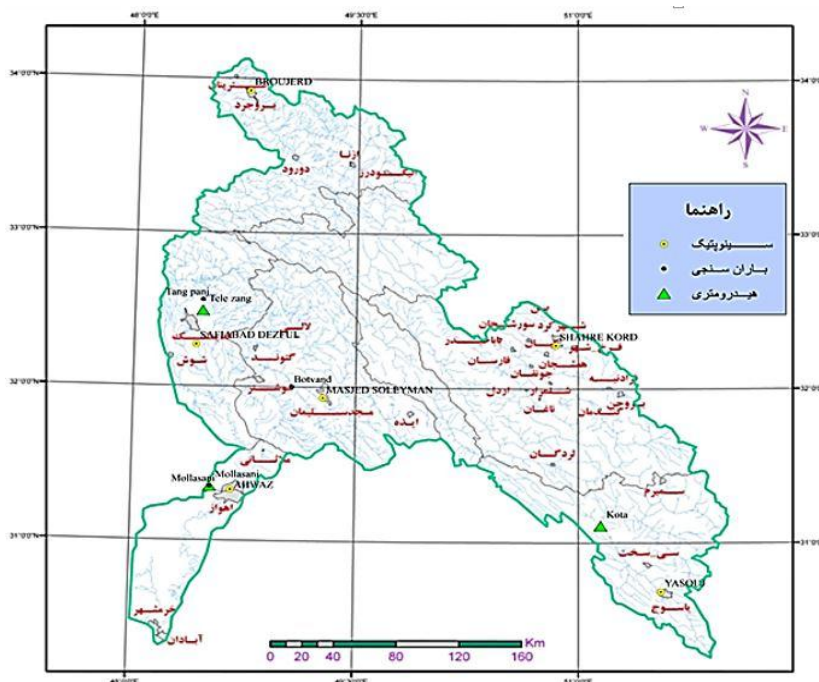
روش کار

این تحقیق روزانه است. مشخصات ایستگاه های منتخب در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۲ نقشه پراکنش این ایستگاه ها را در سطح حوضه آبخیز کارون نشان می دهد.

داده های مورد نیاز این مطالعه، که شامل دما، بارش و دبی ثبت شده در ایستگاه های درون حوضه آبخیز کارون بودند، از بخش آمار و اطلاعات وزارت نیرو و سازمان هواشناسی تهیه شد. مقیاس زمانی داده های ایستگاه های موجود در

جدول ۱. نام و نوع ایستگاه های منتخب در حوضه آبخیز کارون

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مشخصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)		ارتفاع ایستگاه (m)	سازمان متولی
			طول	عرض		
			جغرافیایی	جغرافیایی		
۱	تله زنگ	هیدرومتری	۴۸۵ ۴۶'	۳۲۵ ۴۹'	۴۸۰	وزارت نیرو
۲	ملائانی	هیدرومتری	۴۸۵ ۵۳'	۳۱۵ ۳۵'	۲۸	وزارت نیرو
۳	کوتا	هیدرومتری	۵۱۵ ۱۵'	۳۱۵ ۱۱'	۱۶۰۰	وزارت نیرو
۴	بتوند	باران سنجی	۴۹۵ ۰۷'	۳۲۵ ۰۰'	۱۴۰	وزارت نیرو
۵	ملائانی	باران سنجی	۴۸۵ ۵۳'	۳۱۵ ۳۵'	۲۸	وزارت نیرو
۶	تنگ پنج	باران سنجی	۴۸۵ ۴۶'	۳۲۵ ۵۶'	۵۴۰	وزارت نیرو
۷	بروجرد	سینوپتیک	۴۸۵ ۷۵'	۳۳۵ ۹۲'	۱۶۲۹	سازمان هواشناسی
۸	صفی آباد	سینوپتیک	۴۸۵ ۴۲'	۳۲۵ ۲۷'	۸۲/۹	سازمان هواشناسی
۹	شهر کرد	سینوپتیک	۵۰۵ ۸۵'	۳۲۵ ۲۸'	۲۰۴۸/۹	سازمان هواشناسی
۱۰	مسجد سلیمان	سینوپتیک	۴۹۵ ۲۸'	۳۱۵ ۹۳'	۳۲۰/۵	سازمان هواشناسی
۱۱	اهواز	سینوپتیک	۴۸۵ ۶۷'	۳۱۵ ۳۳'	۲۲/۵	سازمان هواشناسی
۱۲	یاسوج	سینوپتیک	۵۱۵ ۵۵'	۳۰۵ ۶۸'	۱۸۱۶/۳	سازمان هواشناسی



شکل ۲. پراکنش ایستگاه های منتخب در حوضه آبخیز کارون

دارند، نتایج این مدل‌ها با هر دو سناریوی در نظر گرفته‌شده توسط مدل لارس کوچک مقیاس شدند.

آزمون Q (آزمون کیفیت) به منظور بررسی خصوصیات آماری داده‌های مصنوعی و مشاهداتی توسط نرم‌افزار LARS-WG اجرا می‌شود تا اختلاف‌های قابل توجه آماری در آنها وجود نداشته باشد. همین‌طور برای مقایسه داده‌های مشاهداتی و نتایج به‌دست‌آمده برای دوره آتی، از شاخص‌های ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^2$)، ضریب تبیین (R^2) و خطای مطلق (MAE^Y) استفاده شد. هر چه مقدار شاخص‌های خطا ($RMSE$ و MAE) کمتر و ضریب تبیین زیاد (R^2) باشد، نشان‌دهنده تطابق آماری بیشتر دو دوره پایه و آتی است.

در این تحقیق به منظور بررسی اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب زیرحوضه‌های آبخیز اندیمشک، اهواز و یاسوج از روش ارائه‌شده توسط جکمن و هورنبرگر [۲۸] در مدل بارش رواناب IHACRES استفاده شده است. در بین مدل‌های بارش - رواناب مدل IHACRES به‌علت داده‌های اندک مورد نیاز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به‌آسانی می‌تواند در بسیاری از حوضه‌های آبخیز به‌کار برده شود [۲۹]، به‌طوری که این مدل برای داده‌های با پایه زمانی شش دقیقه تا یک ماه و برای حوضه‌های آبخیز با مساحت‌های متنوع از 490 m^2 در چین تا 10 Km^2 هزار در انگلستان استفاده شده است [۳۰].

به‌منظور انتخاب دوره مناسب واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES برای به‌حداقل‌رساندن خطای شبیه‌سازی، نوسانات سالانه بارش حوضه آبخیز و میانگین بلندمدت آن بررسی شد و دوره مناسب بر اساس بیشترین ضریب تشخیص کالیبراسیون مدل (D) و کمترین خطای کل در حجم جریان (Bias) بین رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی، انتخاب شد. طبق نظر Jakeman و Croke [۳۱]، موضوع مهم در این مدل، فراوانی وقایع مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به مناطق مرطوب‌تر وقایع جریان فراوانی کمتری دارند. به این معنا که برای کاهش عدم قطعیت در پارامترهای مدل و به‌علت تکرار کمتر بارندگی، طول دوره واسنجی باید تا جای ممکن

در انتخاب ایستگاه‌ها دو معیار کیفیت داده‌ها و موقعیت مکانی مورد توجه قرار گرفت. با توجه به محدودیت زمانی داده‌های موجود برای بارش، دما و رواناب در یک دوره مشترک در ایستگاه‌های منتخب و همچنین وسعت زیاد حوضه آبخیز، دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ به‌عنوان دوره پایه برای پارامترهای دما و بارش انتخاب شد. دوره مشترک ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ به‌عنوان دوره پایه برای پارامتر رواناب در نظر گرفته شد.

مدل‌های اقلیمی را بر اساس ساختار و نوع عملکرد به چهار نوع مدل‌های توازن انرژی (EBM^1)، مدل‌های تابشی همرفتی (RCM^2)، مدل‌های دوبعدی دینامیکی - آماری (SDM^3) مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) دسته‌بندی می‌شوند. مدل‌های یادشده آثار افزایش گازهای گلخانه‌ای را به‌طور مکانیکی برای همه کره زمین ارزیابی می‌کنند که مدل‌های GCM در بین آنها، سه‌بعدی و زمان دارد و به‌علت گستردگی ابعاد زمانی و مکانی و پیچیدگی خاصی که دارند، قادرند سیستم اقلیمی را با در نظر گرفتن بیشتر فرایندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای در مقیاس بزرگ، بر اساس سناریوهای اقلیمی، شبیه‌سازی کنند [۲۷].

برای ریزمقیاس‌نمایی تغییرات اقلیمی در این مطالعه از مدل LARS-WG⁴ استفاده شد. هسته اصلی بخش آماری این مدل مبتنی بر زنجیره مارکف است که بارها از آن برای مدل‌سازی رخداد بارش استفاده شده است. برای به‌کارگیری این مدل لازم است داده‌های بارش، تشعشع خورشیدی، کمترین و بیشترین دما در مقیاس زمانی روزانه موجود باشند. البته چنانچه داده‌های تشعشع خورشیدی موجود نباشند، می‌توان ریزمقیاس‌نمایی کرد؛ کشور ایران این مزیت را دارد که داده‌های تشعشع خورشیدی در ایستگاه‌های محدودی اندازه‌گیری می‌شوند. از بین مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار، دو مدل HADCM3 (HadCM3) و IPCM4 (IPSL) انتخاب شدند که هر دو سناریو (A2 و B1) و هر دو دوره آتی (۲۰۱۱ - ۲۰۳۰ و ۲۰۴۶ - ۲۰۶۵) را در بر

5. Root Mean square error
6. Coefficient of determination
7. Mean Absolute Error

1. Energy Balance Model
2. Regional Climate Model
3. System Definition Model
4. Long Ashton Research Station Weather generator

که در آن، Δ بازه زمانی و τ_q و τ_s ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی (بر حسب روز) هستند. نسبت حجمی جریان سریع و آهسته به صورت رابطه ۹ در نظر گرفته می شوند.

$$V_q = 1 - V_s = \frac{\beta_q}{1 + \alpha_q} = 1 - \frac{\beta_s}{1 + \alpha_s} \quad (9)$$

در ارزیابی نتایج شبیه سازی پیوسته جریان توسط این مدل از معیارهای آماری مختلفی استفاده می شود، معیار ضریب تعیین^۱ براساس رابطه میان مجذور مربعات خطا و واریانس مقادیر مشاهداتی بیان می شود. R sqrt ضریب تعیین واسنجی مدل، Q_o جریان روزانه مشاهده شده، Q_M جریان روزانه شبیه سازی شده و $\overline{Q_o}$ متوسط جریان روزانه مشاهداتی است. $Bias$ ^۲ (اریبی) خطای کل در حجم جریان (mm/yr) و n تعداد داده هاست. پارامترهای R sqrt و $Bias$ توسط خود مدل محاسبه شده، مقدار عددی R sqrt بین منفی بی نهایت تا ۱ متغیر است و مقدار یک نشان دهنده تطابق کامل است [۳۵]. مقادیر پارامتر $Bias$ هم نشان دهنده بیشتر یا کمتر بودن جریان شبیه سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است. به بیانی، مشخص می کند که مدل جریان را بیشتر از واقعیت شبیه سازی کرده است یا کمتر [۳۲]. با اطمینان از نتایج مدل، دبی متوسط ماهانه بلندمدت (برای ۳۰۰ سال داده) در هر سه زیرحوضه با کمک نرم افزار متلب برای دوره های پایه و آتی محاسبه شد.

نتایج

بررسی عملکرد مدل LARS-WG در کوچک مقیاس سازی آزمون کیفیت توسط نرم افزار روی مقادیر کوچک مقیاس شده انجام شد. با توجه به مقادیر p-value مربوط به آماره های t و F به دست آمده در این مرحله، به طور کلی می توان به نتایج خروجی مدل لارس اعتماد داشت زیرا نتایج همه ایستگاه های منتخب نشان داد شبیه سازی کمترین و بیشترین دما با میزان p-value زیاد آماره های t و F همراه بوده است. درباره نتایج مربوط به ارزیابی عملکرد مدل لارس در شبیه سازی مقادیر بارش دوره های آتی هم در ۹۴ درصد موارد مقادیر p-value بیشتر از سطح اطمینان ۱ درصد بود. برای نمونه، مقادیر

بیشتر در نظر گرفته شود. این مدل شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش مؤثر به رواناب تعریف شده است [۳۲ و ۳۳]. در بخش تبدیل بارش به بارش مؤثر (بخش غیرخطی)، بارش مؤثر از حاصل ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوضه در هر بازه زمانی محاسبه می شود (رابطه ۱).

$$u_k = [c(\Phi_k - l)]^p r_k \quad (1)$$

که در آن c ضریب تعادل حجم بارش، l آستانه شاخص رطوبت خاک، P فاکتور واکنش غیر خطی و r_k بارش مشاهداتی است. Φ_k شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$\Phi_k = r_k + [1 - \Phi_{k-1} \frac{1}{\tau_k}] \quad (2)$$

که در آن، τ_k برابر شدت خشکی خاک و به عنوان تابعی از دما است که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$\tau_k = \tau_w \exp\left(f(T_{ref} - T_k) \times 0.062\right) \quad (3)$$

که در آن، τ_w شدت خشکی خاک مینا، f تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات)، T_{ref} دمای مرجع و T_k دما در بازه زمانی مد نظر هستند. بعد از محاسبه بارش مؤثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می شود [۳۲ و ۳۳].

در بخش تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی) که سه پارامتر τ_s ، τ_k و VS دارد، ترکیب دو مؤلفه جریان سریع $x_k^{(q)}$ و جریان آهسته $x_k^{(s)}$ به تولید رواناب x_k منجر می شود که با استفاده از روابط ۴ تا ۹ محاسبه می شود [۳۴].

$$X_k = x_k^{(q)} + x_k^{(s)} \quad (4)$$

$$x_k^{(q)} = -\alpha_q x_{k-1}^{(q)} + \beta_q u_k \quad (5)$$

$$x_k^{(s)} = -\alpha_s x_{k-1}^{(s)} + \beta_s u_k \quad (6)$$

که در آن، α_q و β_q به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و α_s و β_s به ترتیب ثابت زمانی جریان آهسته هستند که با استفاده از روابط ۷ و ۸ به دست می آیند.

$$\tau_q = \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_q)} \quad (7)$$

$$\tau_s = \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_s)} \quad (8)$$

1. Coefficient of determination
2. Overall error in flow volume

p-value حاصل از آزمون T-test ایستگاه سینوپتیک شهرکرد، که برای پارامترهای دما و بارش از آن استفاده شد، در جدول ۲ نشان داده شده است.

بررسی عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی دما و بارندگی

با توجه به مقادیر درج‌شده در جدول ۳ و مقادیر

شبیه‌سازی‌شده مربوط به دوره‌های آتی به‌دست‌آمده از سناریوها و مدل‌های GCM، واسنجی و صحت‌سنجی خروجی‌های مدل لارس نشان داد این مدل برای حوضه آبخیز کارون و پارامترهای کمترین و بیشترین دما، اعتبار زیاد نتایج را دارد. به‌طور نمونه، نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM در ایستگاه شهرکرد در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر p-value به‌دست‌آمده از آزمون T-test ایستگاه سینوپتیک شهرکرد

پارامتر	کمترین دما	بیشترین دما	بارش
ماه			
ژانویه	۰/۹۶۲	۰/۵۹۸	۰/۵۴۱
فوریه	۰/۹۵۸	۰/۵۱۵	۰/۷۰۷
مارس	۰/۹۰۹	۰/۳۹۷	۰/۲۸۶
آوریل	۰/۹۱۱	۰/۷۸۲	۰/۳۶۲
می	۰/۱۳۸	۰/۹۴۹	۰/۷۱
ژوئن	۰/۰۸۶	۰/۴۱۸	۰/۴۸۷
ژوئلی	۰/۱۶۷	۰/۰۲۶	۰/۳۷۳
آگوست	۰/۸۶	۰/۳۷۹	۰/۲۷۲
سپتامبر	۰/۷۰۶	۰/۸۵	۰/۸۱۷
اکتبر	۰/۶۱۵	۰/۹۱۱	۰/۳۹۹
نوامبر	۰/۵۸۸	۰/۷۴۸	۰/۶۸۹
دسامبر	۰/۴۷۳	۰/۷۸۱	۰/۱۹

جدول ۳. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM در ایستگاه شهرکرد

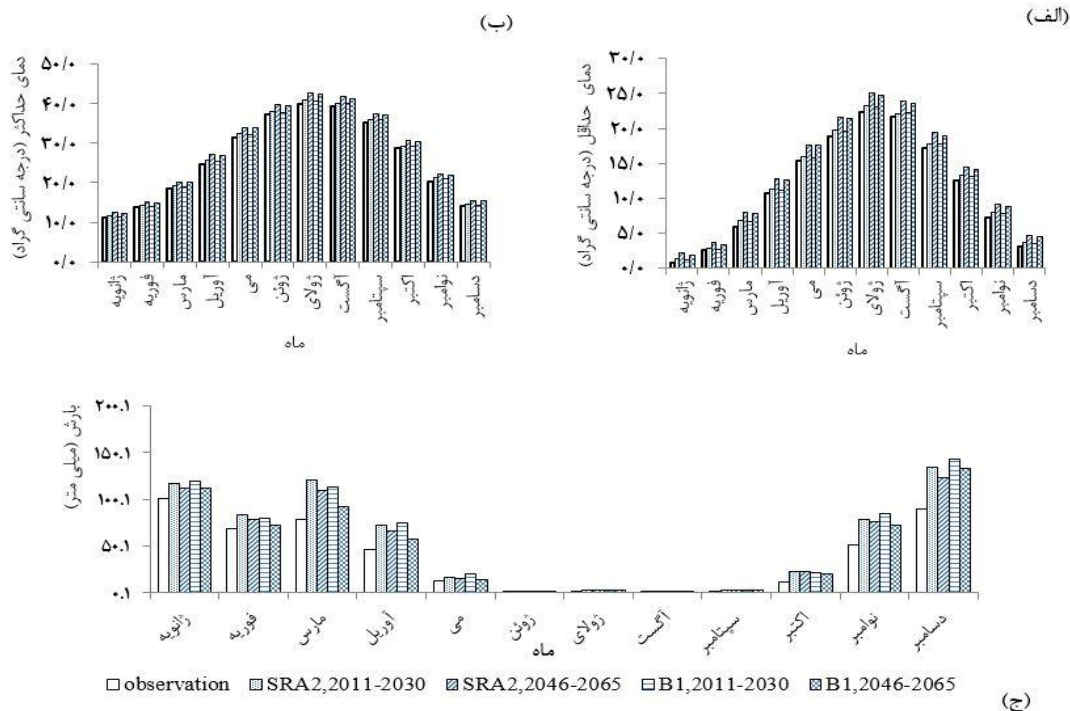
پارامتر	مدل گردش عمومی شاخص آماری / دوره آتی و سناریو	HADCM3			IPCM4		
		R2	RMSE	MAE	R2	RMSE	MAE
کمترین دما	SRA2,2030-2011	۰/۹۹۷	۳/۱۲۶	۲/۱۸۲	۰/۹۹۱	۵/۵۵۲	۳/۸۰۴
	SRA2,2065-2046	۰/۹۹۹	۲/۱۶۹	۲/۰۹۷	۰/۹۹۹	۱/۸۲۸	۱/۷۸۴
	B1,2030-2011	۰/۹۹۹	۰/۵۸۳	۰/۵۳۷	۰/۹۹۹	۰/۶۹۰	۰/۶۳۹
	B1,2065-2046	۰/۹۹۹	۲/۱۶۹	۲/۰۹۷	۰/۹۹۹	۱/۶۱۹	۱/۵۹۱
بیشترین دما	SRA2,2030-2011	۱/۰۰۰	۰/۷۷۹	۰/۷۴۶	۱/۰۰۰	۰/۶۴۵	۰/۶۲۱
	SRA2,2065-2046	۱/۰۰۰	۲/۲۲۰	۲/۱۵۵	۱/۰۰۰	۱/۸۶۵	۱/۸۲۷
	B1,2030-2011	۱/۰۰۰	۰/۶۱۸	۰/۵۸۱	۱/۰۰۰	۰/۷۰۴	۰/۶۶۴
	B1,2065-2046	۱/۰۰۰	۲/۲۲۰	۲/۱۵۵	۱/۰۰۰	۱/۶۴۶	۱/۶۲۸
بارش	SRA2,2030-2011	۰/۹۹۷	۳/۱۲۶	۲/۱۸۲	۰/۹۹۱	۵/۵۵۲	۳/۸۰۴
	SRA2,2065-2046	۰/۹۹۵	۲/۲۹۸	۱/۶۵۷	۰/۹۹۷	۳/۴۶۵	۲/۳۲۸
	B1,2030-2011	۰/۹۹۲	۴/۳۴۴	۲/۹۴۷	۰/۹۹۵	۲/۸۷۷	۱/۹۱۰
	B1,2065-2046	۰/۹۹۵	۲/۲۹۸	۱/۶۵۷	۰/۹۹۷	۶/۸۰۱	۴/۹۸۲

به دست آمده، که در بخش ۳-۱ بیان شد، می توان به نتایج خروجی مدل لارس اعتماد داشت. میانگین بلندمدت دما و بارش هر ماه در دوره های آتی براساس نتایج مدل HADCM3 محاسبه شد. شکل ۳ نتایج کوچک مقیاس سازی داده های کمترین دما، بیشترین دما و بارش برای متوسط حوضه آبخیز در دوره پایه و دو دوره آتی از خروجی مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 را نشان می دهد.

در این جدول مقادیر ارزیابی با اعتبار کمتر، متمایز شده اند. با توجه به مقادیر RMSE و MAE می توان نتیجه گرفت کاربرد مدل ها درباره بیشترین و کمترین دما اعتبار بیشتری دارد. در ادامه، فقط از خروجی های هر دو سناریوی مدل HADCM3 برای مطالعه آثار تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز کارون استفاده خواهد شد.

نتایج کوچک مقیاس سازی

با توجه به مقادیر p-value مربوط به آماره های F و t



شکل ۳. میانگین های ماهانه نتایج کوچک مقیاس سازی داده های کمترین دما (الف)، بیشترین دما (ب) و بارش (ج) با مدل لارس در دوره ها و سناریوهای مختلف

بیشتر مشاهده می شود. بیشترین افزایش در میزان بارندگی مربوط به سناریوی B1 در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ و در فصل پاییز است، ولی به طور کلی مقادیر بارش پیش بینی شده توسط سناریوی انتشار A2 برای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ افزایش بیشتری را نسبت به سناریوی انتشار B1 نشان می دهند و در هر دو سناریو متوسط افزایش بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بیشتر از دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ پیش بینی شد.

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل IHACRES

نتایج شبیه سازی جریان در مرحله واسنجی مدل ارزیابی شد. با توجه به معیارهای عملکرد مدل در دوره واسنجی

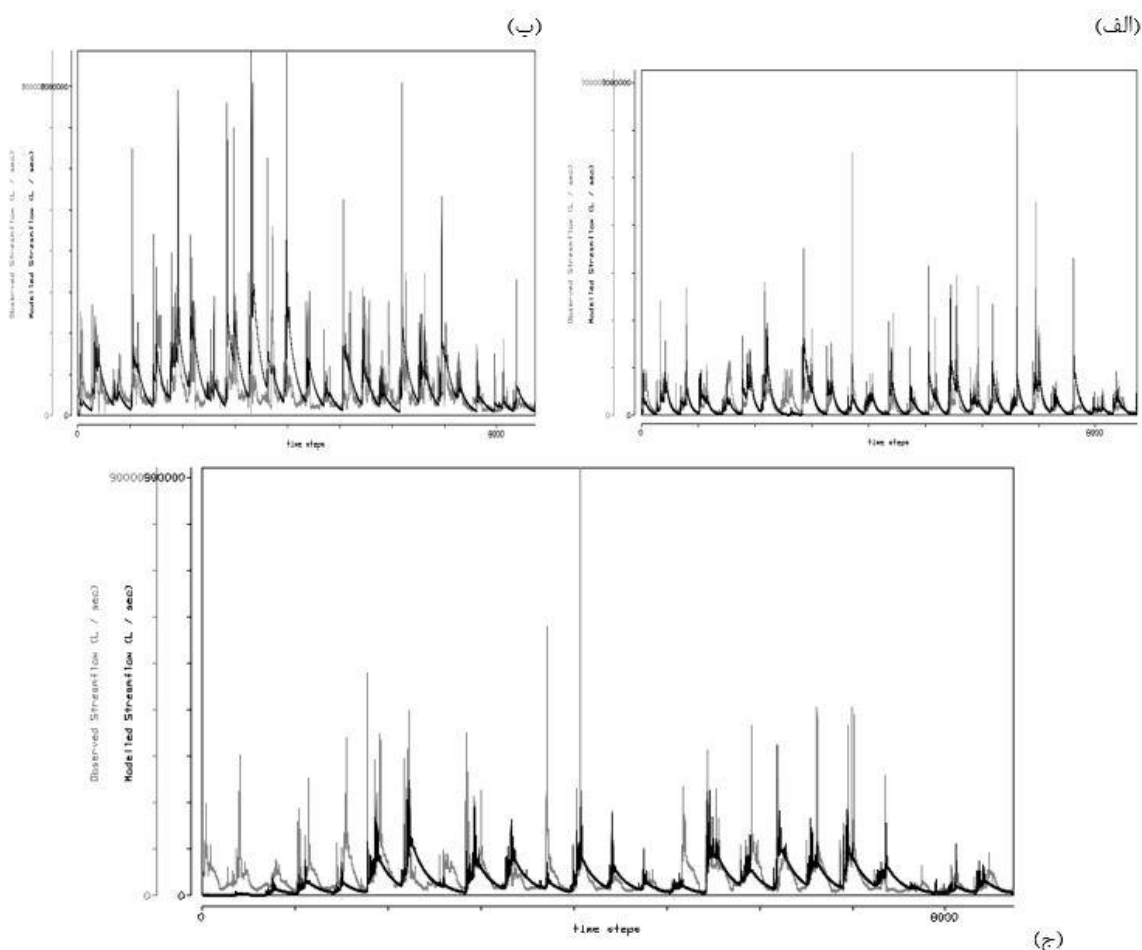
برای پارامتر کمترین دما از ۰/۴ تا ۱/۵ درجه سانتی گراد اختلاف در فصل زمستان، ۰/۵ تا ۲/۳ درجه سانتی گراد اختلاف در فصل بهار، ۰/۷ تا ۲/۵ درجه سانتی گراد اختلاف در فصل تابستان و ۰/۵ تا ۱/۸ درجه سانتی گراد اختلاف در فصل پاییز مشاهده می شود. پارامتر بیشتر دما هم در همه موارد افزایش متوسط دمای فصلی را نشان می دهد. فصل های بهار و تابستان نسبت به دیگر فصول افزایش دمای حداکثر بیشتری را تجربه خواهند کرد. پارامتر بارش هم در همه سناریوها و دوره های آتی، افزایش بارش را نسبت به دوره پایه نشان می دهد. افزایش بارش در فصل زمستان و پاییز نسبت به دیگر فصول،

سه زیرحوضه آبخیز در شکل‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات شکل‌ها می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی مدل در هر سه زیرحوضه آبخیز برای دوره اعتبارسنجی قابل قبول است. بر اساس نتایج شکل ۴ مدل توانایی کمتری در شبیه‌سازی دبی‌های حداکثر دارد، به طوری که دبی‌های کمتری را نسبت به دبی‌های حداکثر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

(جدول ۵)، مدل توانایی لازم برای شبیه‌سازی‌های دبی زیرحوضه‌های آبخیز مد نظر را دارد. در مرحله اعتبارسنجی نیز مقایسه ترسیمی و ارزیابی کمی مقادیر جریان روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ برای هر سه زیرحوضه امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل را فراهم می‌کند. بر این اساس، مقایسه گرافیکی مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای مراحل ارزیابی یادشده در هر یک از

جدول ۴. دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی انتخاب شده برای زیرحوضه‌های آبخیز کارون

زیرحوضه	دوره واسنجی	دوره اعتبارسنجی
اندیمشک	1/Feb/1987- 2/Feb/1990	1/Feb/1990-25/Dec/2010
اهواز	25/Sep/2006- 16/Jul/2008	1/Feb/1987-25/Dec/2006
ياسوج	30/Jul/2008- 25/Dec/2010	1/Feb/1987-25/Dec/2009



شکل ۴. مقایسه مقادیر جریان روزانه مشاهداتی و محاسباتی زیرحوضه الف) اندیمشک، ب) اهواز و ج) یاسوج در مرحله ارزیابی

هیدروگراف منفرد سه پارامتر f ، τ_w و C (به ترتیب شدت خشکی خاک مبنا، تابع تعدیل دما و ضریب تعادل حجم بارش) از مدول غیرخطی کاهش و همچنین سه پارامتر از چهار پارامتر α_s ، β_q ، α_q و β_s (به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و ثابت زمانی جریان آهسته) از مدول خطی هیدروگراف برای زیرحوضه های آبخیز اندیمشک، اهواز و یاسوج طبق جدول ۶ به دست آمدند. همان طور که در جدول ملاحظه می شود، پارامتر $1/C$ یا ظرفیت نگهداری رطوبت حوضه آبخیز در سه زیرحوضه اندیمشک، اهواز و یاسوج مقادیر بسیار متفاوتی را نشان می دهد و برای زیرحوضه آبخیز یاسوج نگهداشت بارش نسبت به دو زیرحوضه آبخیز دیگر بیشتر است. پارامتر Vs هم که نشان دهنده میزان مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه ای است برای زیرحوضه آبخیز یاسوج بیشتر از دو زیرحوضه آبخیز دیگر است.

Motovilov و همکارانش [۳۶] بیان کردند که اگر مقادیر ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگ تر یا مساوی ۰/۷۵ باشد، نتایج خوب و در صورتی که این مقدار بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه سازی قابل قبول است. بنابراین، با توجه به جدول ۵ نتایج شبیه سازی هر سه زیرحوضه آبخیز قابل قبول است.

نتایج به دست آمده از این شبیه سازی و متوسط گیری برای متوسط ماهانه بلندمدت در سه دوره آتی و پایه در شکل ۵ نشان داده شده است.

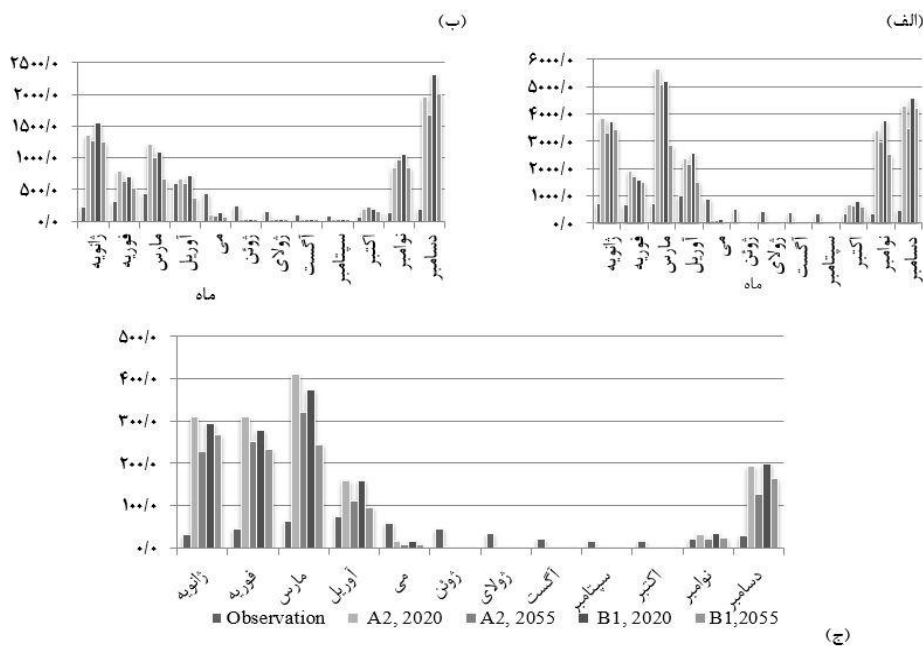
همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، ماه های زمستان و پاییز به جز ماه اکتبر با افزایش رواناب و ماه های بهار و تابستان به جز ماه آوریل با کاهش رواناب در دوره های آتی مواجه خواهند بود. این کاهش رواناب فصل های گرم سال می تواند ناشی از افزایش دمای آن ها باشد.

شبیه سازی بارش - رواناب

با واسنجی نتایج مدل IHACRES و در نظر گرفتن حالت

جدول ۵. مقادیر معیارهای ارزیابی نتایج شبیه سازی جریان در مرحله واسنجی مدل IHACRES

معیارهای ارزیابی نتایج / زیرحوضه آبخیز	اندیمشک	اهواز	یاسوج
<i>R sqrt</i>	۰/۴۶۵	۰/۳۸۳	۰/۴۶۳
<i>Bias</i>	۵/۰۲۸	۴/۷۳۶	-۲/۱۳۴



شکل ۵. متوسط درازمدت دبی ماهانه (مترمکعب بر ثانیه) در زیرحوضه

(الف) اهواز، (ب) اندیمشک و (ج) یاسوج برای دوره های آتی و پایه

جدول ۶. پارامترهای به‌دست آمده از مدل غیر خطی و مدل خطی هیدروگراف در زیرحوضه‌های آبخیز کارون

پارامتر زیرحوضه آبخیز	τ_w (day)	$f(C^{-1})$	I/C (mm)	V_s (-)	α_s	α_b	β_s	β_b
اندیمشک	۲	۰	۷۳/۰۱	۰/۹۵۴	۰/۹۵۴	-۰/۹۸۷	۰/۰۴۶	۰/۰۱۲
اهواز	۲	۰	۱/۰۸	۰/۹۶۶	۰/۹۶۶	-۰/۹۹۴	۰/۰۳۴	۰/۰۰۶
یاسوج	۲۷	۳/۵	۱۳۰۲/۰۸	۰/۹۹۴	۰/۹۹۴	-۰/۹۵۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵

نتیجه‌گیری

از آنجا که نتایج مولدهای وضع هوا، با استفاده از آمار درازمدت هواشناسی اعتبار بیشتری می‌یابد، در این مطالعه از ایستگاه‌های با ۳۰ سال آمار و واجد کمترین خلأ آماری استفاده شد. برای بررسی آثار تغییر اقلیم بر رواناب، از خروجی‌های مدل HADCM3 (مدل مناسب انتخابی برای منطقه) تحت سناریوهای A2 و B1 که با مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG به‌دست آمدند، استفاده شد. با استفاده از مدل IHACRES رواناب دوره‌های آتی پیش‌بینی شد که البته این مدل به‌وسیله داده‌های دما، بارش و رواناب مشاهداتی برای سه زیرحوضه اندیمشک، اهواز و یاسوج واسنجی و اعتبارسنجی شد. در نهایت، نتایج زیر به‌دست آمد که با نتایج مشکواتی و همکارانش [۳۷] خلیلی اقدام و همکارانش [۳۸] آبایی و همکارانش [۳۹] همخوانی دارد:

مدل لارس توانمندی خوبی در شبیه‌سازی سری زمانی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی را دارد. بنابراین، می‌توان از مدل لارس برای تولید داده‌های گمشده، تطویل داده‌های روزانه بر اساس رفتار دوره دیدبانی و نیز برای تولید داده‌های روزانه با استفاده از رفتار دوره آماری و سناریوهای ویژه تغییر اقلیم برای دوره آینده استفاده کرد و خروجی‌های آن را برای مطالعه تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای در حوضه آبخیز کارون به کار برد.

با ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش، دمای حوضه آبخیز در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به‌طور متوسط و به ترتیب ۰/۶ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. این می‌تواند به این دلیل باشد که در آینده نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۳۰) هنوز انتشار گازهای گلخانه‌ای زیاد نباشد، پس تغییر اقلیم شدید نیست؛ در حالی که در آینده دور (۲۰۴۶-۲۰۶۵) اثر سیگنال‌های مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آتی قوی‌تر است و تغییر اقلیم با اثر بیشتری نمود می‌یابد. با

توجه به مطالعات انجام‌شده در سطح جهان، بیشتر مدل‌های اقلیمی برای نیم‌کره شمالی افزایش دما را تأیید می‌کنند. مطالعات عباسی و همکارانش [۴۰]، روشن و همکارانش [۴۱]، بحری و زاهدی [۴۲] و دیگر مطالعات انجام‌شده در کشور افزایش میانگین دما برای دوره‌های آتی را نشان دادند.

در دوره‌های آتی شاهد افزایش بارش به‌طور متوسط به‌میزان ۱۴/۳ میلی‌متر برای دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ و ۱۳/۵ میلی‌متر برای دوره ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ خواهیم بود. در این میان، در فصل‌های زمستان و پاییز افزایش بارش بیشتر از فصل‌های بهار و تابستان خواهد بود. افزایش بارش در فصل تابستان به‌علت همراهی با افزایش دما لزوماً بهبود شرایط دسترسی به منابع آب و به‌دنبال آن بهبود وضعیت زیستی و معیشتی جوامع انسانی و همچنین افزایش سطح کشاورزی را به‌دنبال نخواهد داشت، چرا که افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق و از دسترس خارج شدن منابع آب خواهد شد.

نتایج روشن و همکارانش [۴۱] هم نشان داد با افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته خواهد شد و با تشدید ذوب برف‌ها و یخ‌ها در مناطق کوهستانی و مرتفع و افزایش بارش‌های همرفتی، پتانسیل رخداد سیلاب را در آن سال‌ها افزایش می‌دهد. همچنین این افزایش دما موجب کاهش بارش‌های جامد و کاهش تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز و همچنین کاهش جریان آب در فصول بهار و تابستان می‌شود.

شبیه‌سازی رواناب در دوره‌های آتی برای هر دو سناریوی انتشار A2 و B1 در زیرحوضه آبخیز اهواز، بیان‌کننده کاهش رواناب فصل تابستان و افزایش رواناب فصل‌های زمستان و پاییز است. نتایج فصل بهار کاهش رواناب در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و افزایش آن در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت هر دو سناریوی A2 و B1 را نشان می‌دهد. زیرحوضه‌های آبخیز اندیمشک و یاسوج در همه

- [4]. Bardossy A. Downscaling from GCMs to local climate through stochastic linkages. *J Environ Manage.* 1997; 49:7-17.
- [5]. Wilby RL, Wigley TML, Conway D, Jones PD, Hewiston BC, Main J, Wilks DS. Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. *Water Resour Res.* 1998; 34:2995-3008.
- [6]. Mearns LO, Bogardi I, Giorgi F, Matyasovskay I, Paleski M. Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling. *J Geophys Res.* 1999; 104:6603-6621.
- [7]. Murphy J. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *J Clim.* 1999; 12:2256-2284.
- [8]. Salon S, Cossarini G, Libralato S, Gao X, Solidoro S, Giorgi F. Downscaling experiment for the Venice lagoon. I. Validation of the present-day precipitation climatology. *Clim Res.* 2008;38:31-41.
- [9]. Carcano, E.C., P. Bartolini, M. Muselli and L. Piroddi. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modeling daily stream flows. *Hydrology.* 2008; 362: 291-307.
- [10]. Ye, W., A.J. Jakeman and P.C. Young. Identification of improved rainfall runoff models for an ephemeral low-yielding Australian catchment. *Environmental Modelling and Software.* 1998; 13: 59-74.
- [11]. Bazrafshan J., A. Khalili., Horfar A., Torabi, S. And Hajjam S. Evaluation and comparison of the two models (ClimGen and LARS-WG) of the simulated meteorological variables in different climatic conditions. *Iran Water Resources Research.* Fifth year. 2010; 1:44-57. [Persian].
- [12]. Hajarizadeh, Z., Fattahi. A, Masahbavani, A. And Naserzade, M. Effects of climate change on flood hydrograph in future periods Case Study: Watershed Bakhtiari. *Journal of geography.* New period. Tenth year. 2012; 34:5-23. [Persian].
- [13]. Kheyfam H, Mostafazadeh, H. Sadeghi. Estimation of daily discharge using catchment areas of Golestan province. *Journal of Watershed Management.* forth year. 2013; 7: 114-127. [Persian].
- [14]. Yaqubi, M, Masahbavani, A. Sensitivity analysis and comparison of three conceptual model of HBV, IHACRES and HEC-HMS rainfall-runoff Simulation joined in the semi-arid basins (case study of a large basin Herat-Yazd). *Journal of Earth and Space Physics.* 2014; 40(2):153-172. [Persian].

سناریوها و دوره های آتی، افزایش رواناب برای فصل های زمستان و پاییز و کاهش رواناب برای فصل های بهار و تابستان را نشان دادند. از طرف دیگر، همان طور که در مطالعه یعقوبی و بوانی [۱۴] هم اشاره شد، باید توجه داشت که مدل در برآورد دبی های حداکثر، عملکرد ضعیف و غیر قابل قبولی داشته است.

با توجه به این مطالعه و نتایج به دست آمده از آن می توان پیشنهادهایی را به منظور بهبود و تکمیل مطالعات به شرح زیر ارائه کرد:

پیشنهاد می شود علاوه بر روش کوچک مقیاس سازی با مدل LARS-WG از روش های کوچک مقیاس سازی دیگر مانند SDSM, ClimGen, و... به طور هم زمان استفاده شود تا اطمینان پذیری نتایج ریزمقیاس سازی افزایش یابد.

در این تحقیق از مدل بارش رواناب IHACRES که فقط به ورودی های دما، بارش و رواناب نیاز دارد، برای تخمین میزان رواناب در دوره های آتی استفاده شد؛ پیشنهاد می شود برای تخمین بهتر و دقیق تر میزان رواناب در دوره های آتی مدل هایی که به پارامترها و ورودی های گسترده تری از حوضه آبخیز نیاز دارند استفاده شود تا به انجام دقیق تر صحت سنجی و واسنجی مدل برای داده های مشاهداتی منجر شود. همچنین پیشنهاد می شود هم زمان از چند مدل برای تخمین رواناب در دوره های آتی استفاده شود و عدم قطعیت استفاده از مدل های مختلف در بررسی آثار تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز نیز در نظر گرفته شود.

لازم است مسئولان و برنامه ریزان کشور در بخش های حوادث غیرمترقبه، آب و کشاورزی، راهکارها و استراتژی خاصی برای مقابله با آثار منفی پدیده تغییر اقلیم، سازگاری با تغییر اقلیم و تخفیف آثار آن اتخاذ کنند.

منابع

- [1]. Wilby R. L, Harris I. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames. UK. *Water Resources Research.* 2006; 42: 7.
- [2]. Mitchell T.D. Pattern scaling: An examination of accuracy of the technique for describing future climates. *Climate Change.* 2003; 60:217-242.
- [3]. Barrow E, Hulme M, Semenov MA. Effect of using different methods in the construction of climate change scenarios: examples from Europe. *Clim Res* 1996; 7:195-211.

- [15]. Trambly Y, Badi W, Driouech F, Adlouni, S. El, Neppel, L. and Servat, E. Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco, *Global and Planetary Change*. 2012;83: 104-114.
- [16]. Samadi S.Z, Gregory J. Carbone, Mahdavi M, Sharifi F, Bihanta M. Statistical downscaling of river runoff in a semi arid catchment. *Journal of Water Resource Manage*. 2012; 10.1007/s11269-012-0170-6.
- [17]. Sato, Y, T. Kojiri, Y. Michihiro, Y. Suzuki, and E. Nakakita. Estimates of climate change impact on river discharge in Japan based on a super-high-resolution climate model. *Terr. Atmos. Ocean. Sci*. 2012;23: 527-540. doi: 10.3319/TAO.2012.05.03.02(WMH).
- [18]. Chang, J, Y. Wang, E. Istanbuluoglu, T. Bai, Q. Huang, D. Yang and S. Huang. Impact of Climate Change and Human Activities on Runoff in the Weihe River Basin, China. *Quaternary International*, 2014; 169-179.
- [19]. Parracho AC, Melo-Gonçalves P, Rocha A. Regionalization of precipitation for the Iberian Peninsula and climate change. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2015; 94: 146-154.
- [20]. Almazroui M, Saeed F, Nazrul Islam Md, Alkhalaf AK. Assessing the robustness and uncertainties of projected changes in temperature and precipitation in AR4 Global Climate Models over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*. 2016; 182 (15): 163-175.
- [21]. Almasi, P. & Soltani, S. Assessment of the climate change impacts on flood frequency (case study: Bazoft Basin, Iran). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. pp 1-12. (2016). doi:10.1007/s00477-016-1263-1.
- [22]. Ghorbani kh, sohrabian e, salarijazi m, abdolhosseini m. Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using ihacres hydrological model (case study: galikesh watershed). *Journal of soil and water resources conservation summer 2016; (5) 4: 19-34*.
- [23]. Mekonnen, D. F. and Disse, M.: Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River Basin (UBNRB) using statistical down scaling techniques, *Hydrology and Earth System Sciences Discuss*. 2016. doi:10.5194/hess-2016-543, in review.
- [24]. Babaeian., A. Najafinik, Z. Zabulabbasi F., Habibinokhandan, M. Adab H., Malbusi, S., Evaluation of climate change in the period from 2010 to 2039 AD, using downscaling data general circulation models ECHO-G. *Geography and Development*. 2009;16: 135-152. [Persian].
- [25]. Kuchaki A, Nasirimahallati. M, A. Soltani., Sharifi H., Kamali, Gh., Rezvanimoghaddam, P., Simulation of climate change in a doubling of CO2 to Vsylh→Y general circulation models. desert. 2003; 2: 178-191. [Persian].
- [26]. Tabatabaei M., Shahed K., Soleimani. Artificial neural network model to estimate the suspended sediment concentration of river using MODIS data (Case study Molasani station - Karoon River). *Journal of Soil and Water*. 2013; 27 (1): 193-204. [Persian].
- [27]. Abbasi F, Babaeian I, Malbusi S, Asmari M, Golimokhtari L. Assessment of climate change in the coming decades (2025 to 2100) using data from the downscaling of general circulation models, *Geographical Research Quarterly*. 2012;27(1):190-205. [Persian].
- [28]. Jakeman A. J. and Hornberger G. M. How much complexity Is warranted in a rain fall runoff model? *Water resources research*. 1993;29(8): 26 37- 2 649.
- [29]. Croke B.F.W., Letcher R.A., and Jakeman A.J. 2006. Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Naomi River Basin, Australia. *Journal of Hydrology*. 319:51-71.
- [30]. Littlewood I.G., Down K., Parker J.R., and Post D.A. 1997. IHACRES Catchment-scale rainfall-streamflow modelling (PC version). Center for Ecology and Hydrology, The Australian National University. 95p
- [31]. Croke B.F.W., and Jakeman A.J. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions. In: Wheatear, H.S. Sorooshian, S. Sharma, K.D.(Eds.): *Hydrological Modeling in Arid and Semi-arid Areas*. Cambridge University Press, Cambridge. 2008; 41-48.
- [32]. Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate and S.M. Cuddy. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. 2005. <http://www.toolkit.net.au/ihacres>.
- [33]. McIntyre, N. and A. Al-Qurashi. Performance of ten rainfall-runoff models applied to an aarid catchment in Oman. *Environmental Modelling and Software*. 2009; 24: 726-738.
- [34]. Taesombat, W. and N. Sriwongsitanon. Flood Investigation in the Upper Ping river basin using

- mathematical models. *Kasetsart Natural Science*. 2010; 44: 152- 166.
- [35]. Blaker, R.S. and J.P. Norton. Efficient investigation of the feasible parameter set for large models. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*. 2007; 1526-1532.
- [36]. Motovilov, Y. G., L. Gottschalk, K. England, and A. Rodhe. Validation of distributed hydrological model against spatial observations. *Agric. Forest Meteorology*. 1999;98-99: 257-277.
- [37]. Meshkaty, A., Kordjazy M., Babaeian, A. Evaluation of meteorological data simulated LARS in Golestan province in the period 1993-2007. *Research Applied Geographical Sciences*. 2010;16 (19) :81-96. [Persian].
- [38]. Khaliliaghdam, N. Mosaedi, H. Soltani, A. Kamkar, B. Evaluation of LARS-WG model ability in forecasting some of Sanandaj atmospheric parameter. *Journal of Soil and Water Conservation researches*. 2012; 19(4):85-103. [Persian].
- [39]. Babaian B., Mirzaei F., T. Sohrabi. LARS-WG model performance evaluation in 12 coastal stations of Iran. *Technical Note. Journal of Water Research*. 2011;9:222-217. [Persian].
- [40]. Abbasi, F., Babaeian. A, Habibinokhandan M., Golimokhtari, L., Malbusi,s S. Evaluation of the impact of climate change on temperature and precipitation in Iran in the coming decades with the help of models MAGICC-SCENGEN. *Physical Geography Research*. 2008;72: 91-110. [Persian].
- [41]. Roshan, GH. Khoshakhlagh, F. Azizi, GH. Test for Suitable general circulation model to detecting of temperature and precipitation amounts, under conditions of global warming. *Geography and Development*. 2012; 27:19-36. [Persian].
- [42]. Bahri, M. Zahedi, E. Effects of climate change on the hydrological regime of surface flow Arazkuseh catchment. *Applied Research of Geographic Sciences*. 2016;16 (4): 109-132. [Persian].