



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی (مطالعه موردی: حوضه گالیکش در استان گلستان)

الهه سهرابیان^۱، مهدی مفتاح‌هلقی^۲، *خلیل قربانی^۳، سعید گلپان^۴ و مهدی ذاکری‌نیا^۲

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آدانشیار گروه مهندسی آب،
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲آستادیار دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را در روی زمین تحت تأثیر قرار خواهد داد. شرایط اقلیمی گرم‌تر باعث تشدید چرخه آب، تغییر بارش و تغییر در مقدار و زمان ظهور رواناب می‌گردد. شمال ایران با توجه به شرایط خاص اقلیمی و اهمیت کشاورزی، یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق به تغییر اقلیم می‌باشد. از این‌رو این پژوهش به دنبال ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی حوضه گالیکش با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی می‌باشد. آشفته و مساح (۲۰۰۸) تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دبی پیک حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ را برای سناریوی A2 مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از هفت مدل AOGCM استفاده گردید. در مجموع نتایج نشان داد که دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰ بین ۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (۳).

مواد و روش‌ها: در این پژوهش مدل بارش- رواناب IHACRES برای منطقه مورد مطالعه واسنجی گردید. سپس بر اساس نتایج خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، مقادیر دما و بارش برای دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حوضه به مدل IHACRES معرفی گردید.

یافته‌ها: نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی مدل LARS-WG، نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱، دما و بارندگی نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۵) به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت. در نهایت نتایج مدل IHACRES نشان داد که رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو به ترتیب به میزان ۶۳۷، ۴/۴۳ و ۷/۹۴ مترمکعب در ثانیه، کاهش پیدا کرده که نشان از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه در دوره آتی دارد. نتایج پژوهش لزوم توجه به تأثیرات تغییر اقلیم در اتخاذ تدابیر لازم به‌منظور سازگاری با تغییر اقلیم در سیاست‌های آتی مدیریت حوضه گالیکش مورد تأکید قرار می‌دهد.

* مسئول مکاتبه: ghorbani.khalil@yahoo.com

نتیجه‌گیری: بررسی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای تغییر اقلیم مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ برای هر سه سناریو افزایش یافته و بیش‌ترین افزایش مربوط به سناریوی B1 می‌باشد. شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه در دوره آتی و مقایسه مقادیر آن با دوره مشاهداتی بیانگر کاهش متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره آتی هر سه سناریو می‌باشد که با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دما قابل قبول بوده و بیش‌ترین کاهش مربوط به سناریوی B1 است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌سازی بارش - رواناب، LARS-WG، مدل IHACRES

مقدمه

تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (۱۶). در مقیاس کلی افزایش تدریجی دمای کره زمین و اقیانوس‌ها را در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، مهم‌ترین عامل تغییر اقلیم می‌دانند. هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC)^۱ با قطعیت بالا (احتمال ۹۹ درصد) گزارش کرده است که دمای سطح خشکی و آب در کره زمین از قرن ۱۹ تا کنون به میزان ۰/۴ تا ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. همچنین در مقیاس جهانی از سال ۱۹۹۰ تا کنون شاهد ۱۰ سال گرم بوده‌ایم که از سال ۱۸۶۰ تا کنون بی‌سابقه بوده است (۱۷). افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و همه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیم می‌باشند، بگذارد (۱۱ و ۱۲). افزایش دمای سطح زمین و تغییرات در الگوهای بارندگی پدیده‌های قالب در تغییر اقلیم می‌باشد که این دو تقریباً تمام بخش‌های دیگر چرخه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تمام

مدل‌های جفت شده اقیانوسی جوی (AOGCMs)^۲ افزایش دما در سطح زمین و افزایش شدت بارش و مقدار آن بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای را در قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند (۹). همچنین در حوضه‌هایی که بخش قابل توجهی از جریان رودخانه از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود حساسیت کم‌تری به تغییرات اقلیم دارند (۲).

مطالعات متعددی روی تأثیرات بالقوه تغییر اقلیم بر منابع آب شامل تأثیر روی کمیت آب، هیدرولوژی و تقاضای آب انجام شده است. گوسین و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر رواناب در ۱۲ حوضه رودخانه‌های هند را برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ مورد مطالعه قرار دادند نتایج مطالعه آن‌ها دلالت بر کاهش جریان و افزایش شدت سیلاب و خشکسالی دارد (۸). موتیه و وربز (۲۰۰۲) برای شبیه‌سازی اثرات روند تغییرات اقلیمی گذشته در حوضه سن جاکیتو تگزاس از مدل SWAT^۳ استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها 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 (۱۸). استیل و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم را بر رواناب برای نه حوضه در کشور ایرلند با استفاده از مدل گردش عمومی

2- Atmosphere-Ocean General Circulation Models
3- Soil And Water Assessment Tool

1- Intergovernmental Panel On Climate Change

HADCM3 از مدل LARS-WG¹، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و نتیجه گرفتند جریان رودخانه‌ها در دوره آتی کاهش خواهد یافت (۲۲). مطالعات ذکر شده نشان می‌دهد که فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه تا چه حد می‌تواند به تغییرات بارندگی و دما حساس باشد و مهم‌تر این‌که این حساسیت به‌طور قابل‌توجهی از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت می‌باشد.

در این پژوهش تلاش شده است تا تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر دما و بارش و همچنین رواناب حوضه گالیکش واقع در استان گلستان در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل گردش عمومی HADCM3 و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، A2 و B1 مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس کردن خروجی مدل گردش عمومی جو و از مدل IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب در دوره آتی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

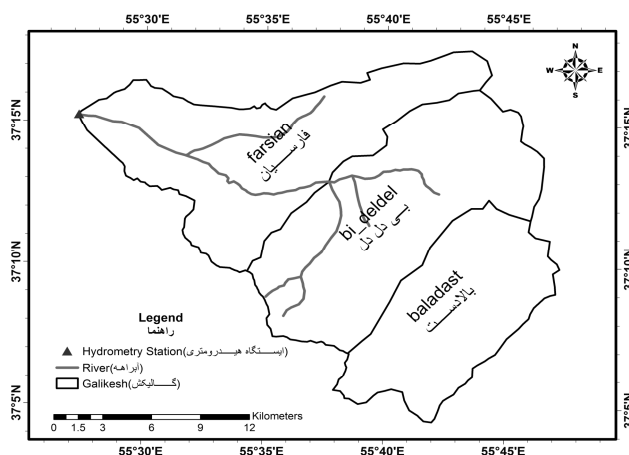
منطقه مطالعاتی: حوضه آبریز گالیکش، واقع در استان گلستان از زیرحوضه‌های گرگانرود می‌باشد که دارای مساحتی برابر با ۴۰۴/۸ کیلومتر مربع و محیطی برابر با ۸۸/۶ کیلومتر است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۴۶۱ متر، حداقل ارتفاع ۳۷۸ متر و ارتفاع متوسط حوضه برابر با ۱۲۹۵ متر از سطح دریا و شیب متوسط حوضه ۲۳/۳ درصد می‌باشد. رودخانه اوغان در این حوضه قرار دارد که رواناب این رودخانه به رودخانه گرگانرود متصل شده و در نهایت در سد گلستان ذخیره می‌شود. طول شاخه اصلی رودخانه ۲۶۷/۲

ECHAM5 و سناریوی انتشار A1B، مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از مدل مفهومی بارش-رواناب HBV-Light برای بررسی وضعیت جریان رودخانه در دوره آتی ۲۰۶۰-۲۰۱۰ استفاده گردید. در ابتدا داده‌های بارش و دمای استخراج شده از مدل ECHAM5 با استفاده از روش ریزمقیاس کردن مکانی تناسبی، ریزمقیاس شده و به مدل بارش-رواناب معرفی گردید. نتایج در مجموع نشان داد که بارش زمستانه و بارش تابستانه به‌ترتیب افزایش و کاهش دارند. همچنین میزان رواناب رودخانه تحت تأثیر تغییر اقلیم خواهد کرد (۲۰). آشفتگی و مساح (۲۰۰۸) تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دبی پیک حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ را برای سناریوی A2 مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از هفت مدل AOGCM استفاده گردید. در مجموع نتایج نشان داد که دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰ بین ۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین محدوده تغییرات بارش ۸۰- تا ۱۰۰ درصد خواهد بود. مقایسه شدت سیلاب‌های نمونه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف در دوره آتی با وضعیت کنونی آن نشان داد که دبی پیک حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم خواهد نمود (۳). عباسپور و همکاران (۲۰۰۹) برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان دسترسی به منابع آب از مدل SWAT استفاده کردند. بدین منظور داده‌های اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ از مدل کانادایی CGCM3.1 را به‌کار بستند. نتایج مطالعه آن‌ها افزایش شدت بارندگی روزانه و فراوانی سیلاب‌های شدید در مناطق مرطوب ایران و خشکسالی‌های طولانی‌تر در مناطق خشک را نشان می‌دهد (۲). ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) برای پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی بر اساس خروجی‌های مدل

1-Hadley Centre Coupled Model, version3
2- Long Ashton Research Station Weather Generator

ایستگاه هیدرومتری گالیکش در ارتفاع ۲۵۰ متری و در طول جغرافیایی $28^{\circ} 55'$ و عرض جغرافیایی $16^{\circ} 37'$ قرار دارد.

کیلومتر و شیب خالص شاخه اصلی $3/5$ درصد می‌باشد. زمان تمرکز با استفاده از روش کریچ برابر $2/3$ ساعت و زمان تاخیر برابر $2/3$ ساعت است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه گالیکش.

Figure 1. Geographical location of Galikesh basin.

تفکیک اقیانوسی آن $1/25$ درجه عرض جغرافیایی و $1/25$ درجه طول جغرافیایی است. سناریوهای تغییر اقلیم مورد تأیید IPCC سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب بدبینانه، متوسط و خوشبینانه‌اند که A1B توصیفی از جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است، به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. سناریو A2 توصیفی از جهان بسیار ناهمگن است که به طور مداوم با افزایش جمعیت جهانی و منطقه‌ای و با محور رشد اقتصادی همراه می‌باشد. سناریو B1 جهانی همگرا با جمعیت جهانی را توصیف می‌کند، اما با تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی نسبت به خدمات و اطلاعات اقتصادی، با کاهش در شدت مادی و معرفی فن‌آوری‌های پاک و منابع مؤثر است (۱۳).

ابتدا بر اساس داده‌های مشاهداتی دوره‌های گذشته و بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه تغییر اقلیم

تغییر اقلیم: در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا لازم است تا داده‌های دوره پایه مشخص شوند. داده‌های مورد نیاز در این پژوهش، مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۵ است. برای متغیر دما داده‌های روزانه نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه، ایستگاه لزوره به دلیل دارا بودن داده‌های کامل و ارتفاعی برابر متوسط ارتفاع سایر ایستگاه‌ها به عنوان مبنا انتخاب گردید. همچنین جهت ارزیابی تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش و دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ از خروجی‌های مدل اقلیمی HADCM3 در مدل تولید داده LARS-WG استفاده شد. مدل گردش عمومی جو HADCM3 یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی جوی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است (۱۰). قدرت تفکیک جوی این مدل شبکه‌ای با ابعاد $2/75$ درجه عرض جغرافیایی و $3/75$ درجه طول جغرافیایی و قدرت

به صورت مستمر در مجلات علمی مرتبط با هیدرولوژی توضیح داده شده است. این مدل یک مدل مفهومی و یکپارچه است که دارای دو بخش است:

الف) یک بخش که بارش را در پایه زمانی K (r_k) به بارش مؤثر (u_k) (بخشی از بارش که سرانجام جریان رودخانه می شود) و بارش مازاد که سرانجام به وسیله تبخیر و تعرق از بین می رود (با فرض نفوذناپذیر بودن حوضه آبخیز)، تبدیل می کند و ب) یک تابع تبدیل خطی (یا هیدروگراف واحد، UH)، که بارش مؤثر را به جریان مدل سازی شده (x_k) تبدیل می کند. در اینجا این بخش ها به ترتیب بخش تلفات و بخش تابع تبدیل (هیدروگراف واحد) نامیده می شوند. بخش تلفات برای تمام فرآیندهای غیرخطی بارش - رواناب در مقیاس حوزه آبخیز در نظر گرفته می شود، بخش تابع تبدیل مبتنی بر تئوری سیستم های خطی است (۵ و ۷) (شکل ۲).

روابط به کار رفته در مدول غیرخطی کاهش به منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در حوضه به شرح زیر است:

$$U_k = r_k * S_k \quad (1)$$

$$S_k = C * r_k + (1 + \frac{1}{r_k * (t_k)}) S_{k-1} \quad (2)$$

$$S_0 = 0$$

$$\tau_w(t_k) = \tau_w e^{0.062f(R-t_k)} \quad (3)$$

$$\tau_w(t_k) > 1$$

$$X_k = a^q X_{k-1} + b^q U_{k-1} + a^s X_{k-1} + b^s U_{k-1} \quad (4)$$

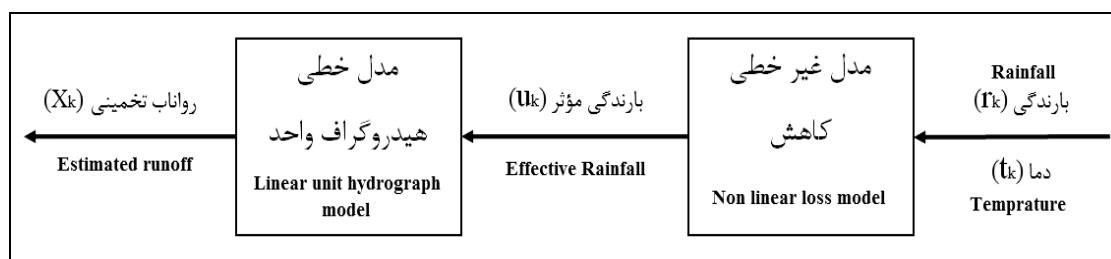
برای دوره آماری پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۵ داده های بارش و دما شبیه سازی شد. سپس خروجی های مدل که شامل دمای کمینه و بیشینه روزانه، بارش و انحراف معیار آن ها می باشد، با داده های پایه مقایسه گردیدند. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی در ادامه کار این مدل جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده مصنوعی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از سناریوهای A1B، A2 و B1 تأیید شده توسط IPCC اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور برای دوره آتی تولید شد. سپس تغییرات پارامترهای دمای بیشینه، کمینه و بارش مورد ارزیابی قرار گرفته شد.

مدل بارش - رواناب: با توجه به این که مدل های تغییر اقلیم، بارش و دما را برای دوره های اقلیمی آینده شبیه سازی می کنند بدین منظور برای بررسی رواناب در دوره های اقلیمی آینده به مدل هایی نیاز است تا بر اساس بارش و دما رواناب را شبیه سازی کنند، به این مدل ها، مدل های بارش - رواناب گفته می شود. یکی از ساده ترین و کاربردی ترین مدل های بارش - رواناب که از دقت خوبی نیز برخوردار می باشد، مدل IHACRES است که در زیر به شرح مختصری از آن می پردازیم:

مدل بارش - رواناب IHACRES (تعیین هیدروگراف های واحد و اجزاء جریان های ناشی از داده های بارش، تبخیر و جریان رودخانه) مشترکاً توسط هیدرولوژیست های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوزه آبخیز (ICAM) دانشگاه ملی استرالیا، کانبرا^۱ و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CEH) انجمن تحقیقات زیست محیطی انگلستان توسعه یافته بود که

(رابطه ۴) به رواناب سطحی تبدیل خواهد شد. در رابطه (۴) پارامترهای q و s پارامترهای مربوط به تفکیک هیدروگراف حوضه به دو قسمت هیدروگراف سریع (q) و هیدروگراف کند (s) می‌باشند. به‌طورکلی، در این روش سه پارامتر f ، τ_w و C از مدول غیرخطی کاهش (رابطه‌های ۱، ۲ و ۳) و سه پارامتر از چهار پارامتر a^s ، a^q ، b^s و b^q از مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۴) باید براساس داده‌های مشاهداتی برای حوضه مورد مطالعه کالیبره گردند.

که در آن‌ها، S_k ضریب رطوبتی حوضه است که تابعی از تبخیر و تعرق در حوضه بوده و با رابطه‌های (۲) و (۳) بیان می‌گردد. در رابطه (۳)، $\tau_w(t_k)$ مقدار شاخص S_k را در رابطه (۲) در هنگامی که بارش رخ نمی‌دهد، کنترل می‌کند. که در آن R دمای مرجع، τ_w ثابت زمانی خشک شدن حوضه و f فاکتور تعدیل دما است. در رابطه (۳) پارامتر C به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره واسنجی یکسان گردد. سپس بارندگی مؤثر توسط مدول خطی هیدروگراف



شکل ۲- فلوجارت شبیه‌سازی بارش- رواناب همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی در روش ارائه شده توسط جکمن و هورنبرگر (۱۹۹۳) (۱۵).

Figure 2. Rainfall-runoff simulations flowchart with linear and nonlinear modules in the provided method by Jakeman and Hornberger [15].

(در چین) تا نزدیک ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع و همچنین برای پایه‌های زمانی ۶ دقیقه تا یک ماه با موفقیت به‌کار رفته است. از سایر موارد استفاده مدول IHACRES می‌توان به کاربرد آن در حوزه‌های فاقد آمار دبی و همچنین حوزه‌های دارای آمار اشاره کرد، به‌طوری‌که جهت استفاده از مدول IHACRES در حوزه‌های فاقد آمار بین خصوصیات حوزه آبخیز مانند تراکم زهکشی، شیب، طول دامنه و ... و پارامترهای مدول مانند f ، $1/c$ و غیره رابطه رگرسیونی برقرار کرده و مقادیر بهینه پارامترها تعیین می‌گردد. اما در حوزه‌های دارای آمار مانند حوزه آبخیز گالیکش

داده‌های مورد نیاز مدول: مدول مذکور به سه سری زمانی داده‌ها نیاز دارد، که شامل:
 ۱- داده‌های بارندگی که می‌تواند بر حسب میلی‌متر و یا اینچ باشد.
 ۲- داده‌های درجه حرارت (بر حسب درجه سلسیوس، فارنهایت و یا کلونین می‌تواند می‌باشد).
 ۳- داده‌های مشاهده‌ای جریان رودخانه (می‌تواند بر حسب مترمکعب در ثانیه، میلی‌گرم لیتر در پایه زمانی، میلی‌متر در هر پایه زمانی، لیتر بر ثانیه یا فوت مکعب بر ثانیه باشد).
 کاربردهای مدول IHACRES: مدول IHACRES در حوزه‌های آبخیز با اندازه‌های مختلف از ۴۹۰ مترمربع

مقدار NSE صفر نشان می‌دهد که مدل، نسبت به استفاده از مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی بهتر یا بدتر پیش‌گویی نمی‌کند. اگر NSE بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شوند، اما زمانی که مقادیر NSE بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ است، نتایج مدل رضایت‌بخش به‌شمار می‌رود (۱۹).

نتایج و بحث

نتایج مدل اقلیمی: به‌منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی از آزمون مقایسه میانگین (T-test) و آزمون مقایسه واریانس (Levene) استفاده شد. بر اساس نتایج عملکرد مدل در مرحله ارزیابی، با استفاده از آزمون مقایسه میانگین و واریانس، شبیه‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در تطابق بسیار خوبی با داده‌های مشاهداتی است. همچنین نتایج نشان داد در هیچ ماه از سال اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در سطح ۰/۰۵ درصد وجود ندارد.

در ادامه مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو Hadcm3 و تولید داده‌های مصنوعی با استفاده از سناریوهای A1B، A2 و B1 اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای پیش‌گفته تولید شد. پس از آنالیز داده‌های تولید شده توسط مدل LARS-WG، جهت ارزیابی توانایی مدل در تولید داده‌های هواشناسی ایستگاه‌ها در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، از آزمون t-test و رسم نمودار استفاده شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل‌های ۳ تا ۵).

بر اساس سری‌های زمانی مورد استفاده و به روش آزمون و خطا مقادیر بهینه پارامترهای مدل تعیین می‌گردد (۶).

ارزیابی مدل بارش رواناب: در مدل IHACRES از آمار روزانه دما، بارش و رواناب مشاهداتی ایستگاه گالیکش استفاده شد. پس از بررسی عملکرد مدل برای دوره‌های مختلف، دوره (۱۹۹۲-۱۹۸۵) برای واسنجی و دوره (۲۰۰۲-۲۰۰۸) برای صحت‌سنجی انتخاب شدند. در این پژوهش وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌عنوان فرض صفر در نظر گرفته شد. معنی‌داری یا عدم معنی‌داری اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به روش آزمون t-student با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین گردید. همچنین جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی مدل از معیارهایی مانند خطای مطلق (MBE)^۱، ناش-ساتکلیف (NSE)^۲ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^۳ استفاده شد (۲۱). که روابط آن‌ها در زیر ارائه شده است:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i) \quad (5)$$

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{mean})^2} \right] \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \quad (7)$$

اگر مقدار NSE برابر با ۱ باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد.

- 1- Mean Of Bias Error
- 2- Nash Sutcliffe
- 3- Root Of Mean Square Error

جدول ۱- مقادیر p-value آزمون t و F برای مقایسه اختلاف میانگین‌ها و واریانس‌های ماهانه دوره مشاهداتی با دوره پایه بدون سناریو.

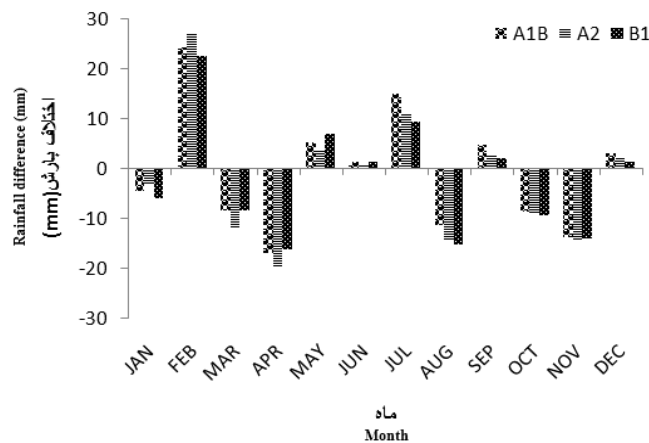
Table 1. T-test p-value and F amounts to compare the mean and variance of monthly observations of the base period without scenario.

حداقل دما Min Temperature	حداکثر دما Max Temperature	بارش Precipitation		ماه Month
آماره t T Statistics	آماره t T Statistics	آماره F F Statistics	آماره t T Statistics	
0.651	0.618	0.590	0.943	ژانویه (Jan)
0.650	0.175	0.726	0.358	فوریه (Feb)
0.257	0.711	0.736	0.773	مارس (Mar)
0.997	0.530	0.625	0.194	آوریل (Apr)
0.672	0.543	0.968	0.689	می (May)
0.420	0.306	0.887	0.608	ژوئن (Jun)
0.624	0.671	0.191	0.258	جولای (Jul)
0.925	0.203	0.568	0.326	آگوست (Aug)
0.690	0.149	0.680	0.242	سپتامبر (Sep)
0.791	0.423	0.615	0.714	اکتبر (Oct)
0.741	0.857	0.286	0.181	نوامبر (Nov)
0.157	0.448	0.477	0.807	دسامبر (Dec)

جدول ۲- آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌های تولید شده تحت سناریوهای مختلف با دوره مشاهداتی.

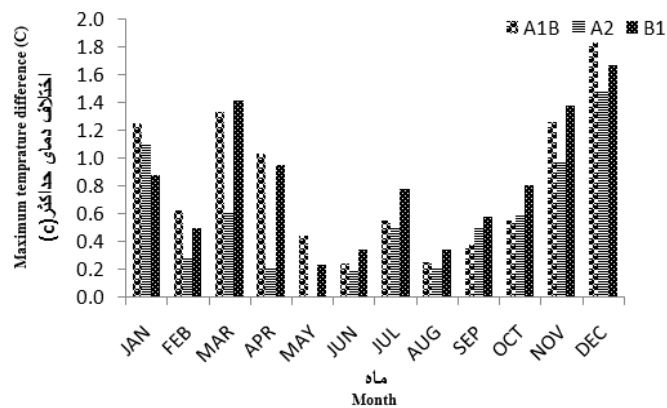
Table 2. Comparison of generated data mean with the observation period under different scenarios.

حداقل دما Minimum Temperature			حداکثر دما Maximum Temperature			بارش Rainfall	ماه Month		
سناریوی B1 (B1 Scenario)	سناریوی A2 (A2 Scenario)	سناریوی A1B (A1B Scenario)	سناریوی B1 (B1 Scenario)	سناریوی A2 (A2 Scenario)	سناریوی A1B (A1B Scenario)	سناریوی B1 (B1 Scenario)	سناریوی A2 (A2 Scenario)	سناریوی A1B (A1B Scenario)	
-2.732	-3.266	-3.729	-2.177	-2.708	-3.150	0.728	0.446	0.584	ژانویه (Jan)
-3.074	-2.471	-3.413	-1.013	-0.579	-1.256	-2.933	-3.193	-3.05	فوریه (Feb)
-4.898	-2.756	-4.741	-3.476	-2.054	-3.307	1.211	1.534	1.216	مارس (Mar)
-3.571	-3.54	-3.67	-1.957	-0.066	-2.02	0.971	1.227	1.029	آوریل (Apr)
-4.701	-2.682	-5.015	-1.204	-0.074	-1.407	-0.244	-0.042	-0.137	می (May)
-3.404	-2.698	-3.308	-1.615	-1.219	-1.359	-1.657	-1.49	-1.652	ژوئن (Jun)
-5.301	-4.26	-4.483	-3.155	-2.551	-2.715	0.217	0.274	0.4	جولای (Jul)
-3.838	-3.357	-3.513	-1.674	-1.336	-1.439	2.003	1.904	1.541	آگوست (Aug)
-5.363	-5.365	-4.846	-2.743	-2.624	-2.232	-0.004	-0.041	-0.231	سپتامبر (Sep)
-3.916	-3.393	-3.283	-2.314	-1.913	-1.828	1.908	1.846	1.815	اکتبر (Oct)
-4.136	-2.572	-3.608	-3.203	-2.283	-2.883	1.381	1.405	1.340	نوامبر (Nov)
-6.116	-5.510	-6.607	-4.909	-4.409	-5.344	-0.361	-0.44	-0.511	دسامبر (Dec)



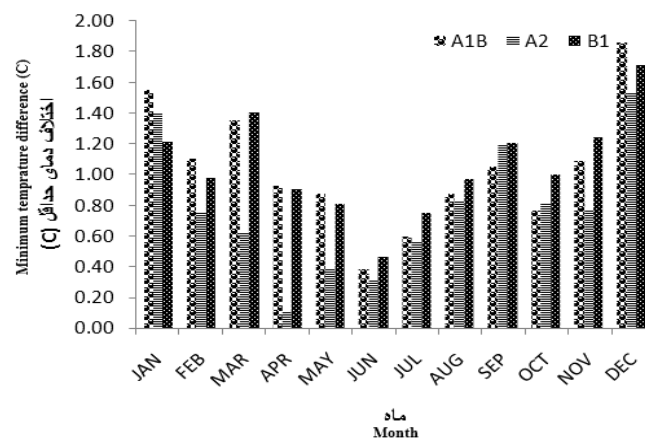
شکل ۳- تغییرات ماهانه بارش در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه.

Figure 3. The monthly rainfall changes in the future (2011-2030) under different scenarios compared to the base period.



شکل ۴- تغییرات ماهانه دمای حداکثر در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه.

Figure 4. The maximum monthly temperature changes in the future (2011-2030) under different scenarios compared to the base period.



شکل ۵- تغییرات ماهانه دمای حداقل در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه.

Figure 5. The minimum monthly temperature changes in the future (2011-2030) under different scenarios compared to the base period.

شبهه‌سازی بارش - رواناب: مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل IHACRES در جدول ۳ آمده است. شکل ۶ و جدول ۴ وضعیت عملکرد مدل IHACRES را در دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مدل IHACRES با ضریب همبستگی (r) ۰/۸۲ در دوره واسنجی و ۰/۷۴ در دوره صحت‌سنجی بخوبی توانسته است الگوی تغییرات رواناب منطقه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کند. همچنین با توجه به مقادیر ضریب NSE ($0.75 < NSE < 0.36$) نتایج مدل رضایت‌بخش به‌شمار می‌رود. باید توجه داشت که با توجه به شکل ۶، مدل دبی‌های حداکثر را کم‌تر از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

در نهایت میزان معنی‌داری اختلاف بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل IHACRES با استفاده از آزمون t-Student مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که بین مقادیر جریان مشاهداتی و محاسباتی در مقیاس روزانه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، انتظار می‌رود حداکثر دمای حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ برای سناریوی A1B بین ۰/۲۵ تا ۱/۸۳، برای A2 بین ۰/۱۹ تا ۱/۴۸ و برای B1 بین ۰/۲۴ تا ۱/۶۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. در رابطه با حداقل دمای حوضه نیز برای سناریوی A1B بین ۰/۳۹ تا ۱/۸۶، برای A2 بین ۰/۱۲ تا ۱/۵۴ و برای B1 بین ۰/۴۷ تا ۱/۷۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهیم داشت. این در حالی است که حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در هر سه سناریو در برخی ماه‌ها شاهد کاهش بارندگی و در برخی دیگر شاهد افزایش بارندگی خواهد بود. به‌طورکلی در ماه‌های فوریه، می، ژوئن، جولای، سپتامبر و دسامبر در هر سه سناریو افزایش بارندگی و در سایر ماه‌ها برای هر سه سناریو، کاهش بارندگی را خواهیم داشت ولی در نهایت متوسط مجموع بارش سالانه برای هر سه سناریو روند کاهشی را نشان می‌دهد.

در مجموع با توجه به افزایش میانگین دمای حداقل و حداکثر می‌توان انتظار داشت میانگین دمای حوزه مطالعاتی در دهه‌های آتی افزایش چشمگیری داشته باشد.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای به‌دست آمده از کالیبراسیون مدل.

Table 3. The obtained values from the model calibration.

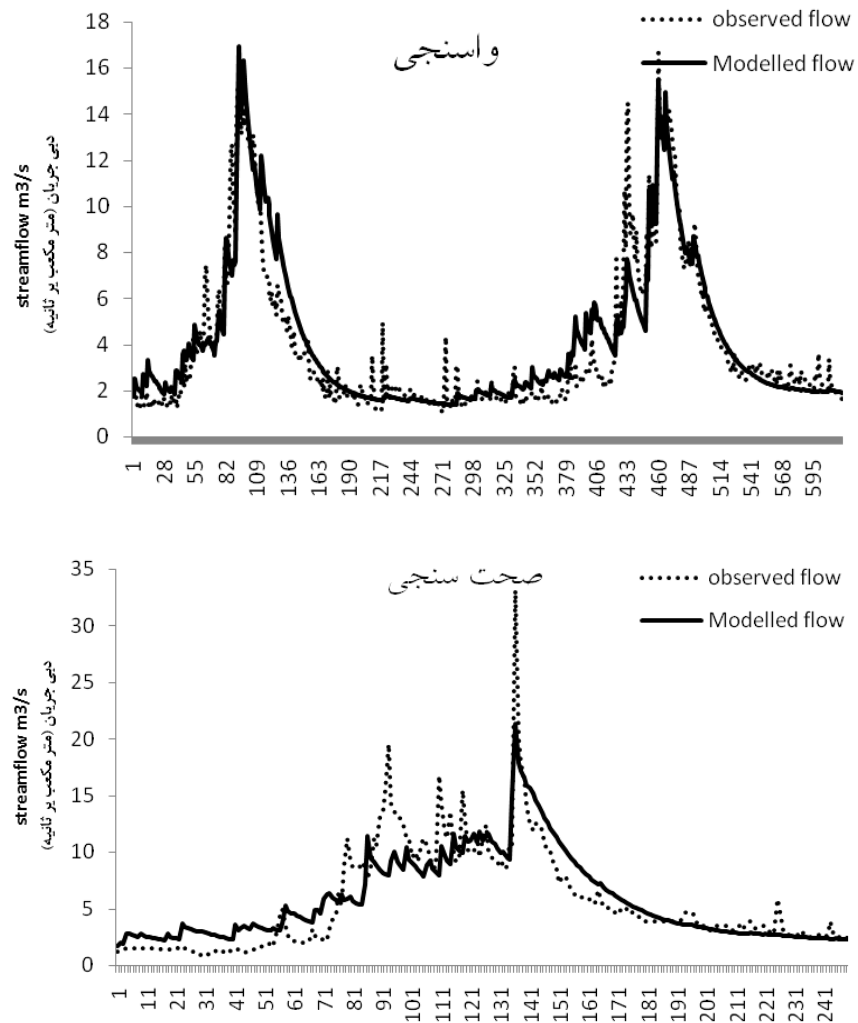
f	τ_w	a^q	b^q	a^s	b^s	C
4	7	-0.956	0.021	-0.998	0.001	0.0017

F: فاکتور تعدیل دما، τ_w : ثابت زمانی خشک شدن حوضه، a^q : نرخ تنظیم هیدروگراف جریان سریع، b^q : زمان رسیدن به اوج هیدروگراف جریان سریع، a^s : نرخ تنظیم هیدروگراف جریان کند، b^s : زمان رسیدن به اوج هیدروگراف جریان کند و C: ظرفیت تعادل جرمی.

جدول ۴- معیارهای ارزیابی آماری بین مقادیر جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل IHACRES.

Table 4. Statistical evaluation indexes between the observed and simulated values using IHACRES model.

MBE	NSE	RMSE	R	
-0.18	0.67	1.5	0.8	واسنجی (Test)
0.017	0.52	1.4	0.74	صحت‌سنجی (Validation)

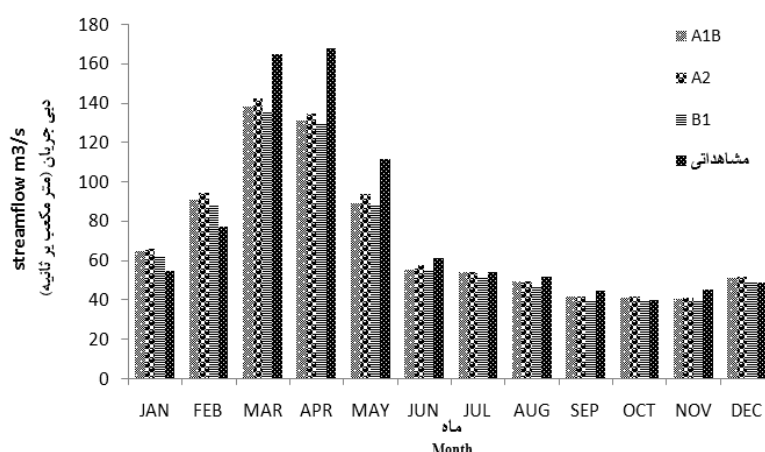


شکل ۶- سری زمانی رواناب مشاهداتی و مدل شده توسط IHACRES در دوره واسنجی (۱۹۸۵-۱۹۹۲) و صحت‌سنجی (۲۰۰۲-۲۰۰۸).

Figure 6. Runoff time series of observations and IHACRES model in calibration (1985-1992) and validation period (2002-2008).

می‌دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ به میزان ۶/۳۷ مترمکعب بر ثانیه در سناریوی A1B، ۴/۴۳ مترمکعب بر ثانیه در A2 و ۷/۹۴ مترمکعب بر ثانیه در B1 نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۵ کاهش خواهد یافت (جدول ۵). شکل ۷ تغییرات بلندمدت ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل را در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد.

پیش‌بینی رواناب در دوره‌های اقلیمی آتی: پس از واسنجی مدل، سری زمانی رواناب ماهانه حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ برای نمونه‌های دما و بارش تولید شده حاصل از مدل LARS-WG برای هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 با استفاده از مدل هیدرولوژی IHACRES شبیه‌سازی شد. سپس متوسط رواناب ماهانه درازمدت (۲۰ ساله) در دوره آتی با متوسط رواناب ماهانه دوره مشاهداتی در هر سه سناریو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان



شکل ۷- میانگین درازمدت ماهانه رواناب طی دوره مشاهده شده و دوره‌های تغییرات اقلیمی سناریوهای A1B، A2 و B1.

Figure 7. Long-term monthly flow average during observed and A1B, A2 and B1 scenarios climate change periods.

جدول ۵- پارامترهای آماری سالانه دبی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1.

Table 5. The annual flow statistical parameters under A1B, A2 and B1 scenarios.

سناریوی B1	سناریوی A2	سناریوی A1B	پارامتر آماری	دوره
B1 Scenario	A2 Scenario	A1B Scenario	Statistical Parameter	Period
76.57	76.57	76.57	میانگین Mean	۱۹۸۵-۲۰۱۰
46.05	46.05	46.05	انحراف معیار Standard deviation	1985-2010
68.63	72.14	70.19	میانگین Mean	۲۰۱۱-۲۰۳۰
34.22	35.90	34.28	انحراف معیار Standard deviation	2011-2030

همکاران (۲۰۱۳) که اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم بر حوضه آبخیز گرگانرود را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار داده و کاهش مقدار بارندگی سالانه و افزایش آبدهی را نتیجه گرفتند مطابقت دارد (۴ و ۱).

نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه گلیکش واقع در استان گلستان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و سناریوهای A1B، A2 و B1 مدل گردش عمومی HADCM3

با توجه با این‌که اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف می‌تواند متفاوت باشد، بنابراین نتیجه‌ای که در یک منطقه با شرایط خاص گرفته می‌شود را نمی‌توان به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد. برای مقایسه نتایج این پژوهش با کارهای انجام شده باید کارهایی که در این منطقه و یا مناطق اطراف آن با شرایط مشابه انجام شده مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش بختیاری و همکاران (۲۰۱۳) که نشان از کاهش چشم‌گیر مقدار رواناب در سرشاخه‌های گرگانرود و کاهش بارندگی در ماه‌های خشک سال می‌باشد و نیز پژوهش آذری و

در نهایت کاهش متوسط مجموع بارش سالانه را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه در دوره آتی و مقایسه مقادیر آن با دوره مشاهداتی بیانگر کاهش متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره آتی برای هر سه سناریو می‌باشد که با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دما قابل قبول می‌باشد و بیش‌ترین کاهش مربوط به سناریوی B1 می‌باشد.

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی از داده‌های مدل HADCM3 نشان می‌دهد که دمای حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ برای هر سه سناریو افزایش می‌یابد و بیش‌ترین افزایش مربوط به سناریوی B1 می‌باشد. حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در هر سه سناریو در ماه‌های فوریه، می، ژوئن، جولای، سپتامبر و دسامبر افزایش بارندگی و در سایر ماه‌ها، کاهش بارندگی و

منابع

1. Azari, M., Moradi, H.R., Saghafian, B., and Faramarzi, M. 2013. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gourganroud River Basin. *Water Soil J.* 27: 537-547. (In Persian)
2. Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S., and Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research.* 45: 1-16.
3. Ashofteh, P., and Massah, A.R. 2008. Uncertainty Analysis of Climate Change Impact on the Bayesian Approach (Case study: Aidoghmoush Basin East Azerbaijan), M.Sc. Thesis, Department of Irrigation and Drainage, Tehran University. (In Persian)
4. Bakhtiari, T., Sahebi, H., and Ghaderi, T. 2013. application of waep model and studying the effect of climate change in Groganroud watershed water consumption systems. 5th Iranian Conferences on Water Resources Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
5. Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. 1970. *Time Series Analysis: Forecasting and Control.* Holden-Day, San Francisco. 230p.
6. Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J., and Cuddy, S.M. 2005. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. <http://www.toolkit.net.au/ihacres>.
7. Dooge, J.C.I. 1973. *Linear Theory of Hydrologic Systems.* Technical Bulletin No 1468. United States Department of Agriculture, Washington DC. 327p.
8. Gosain, A., Rao, S., and Basuray, D. 2006. Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. *Current Science.* 90: 3. 346-353.
9. Hamlet, A.F., and Lettenmaier, D.P. 2007. Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western U.S. *Water Resources Research* 43, W06427, doi:10.1029/2006WR005099.
10. Hadley, C. 2006. Effect of climate change in the developing countries. UK Meteorological Office.
11. IPCC. 2001. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J. (Eds.), *Special Report on The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability.* Cambridge University Press, UK. PP 517.
12. IPCC. 2007. Summary for Policymakers. P1-18, In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
13. IPCC. 2007. Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881p.

14. Jiang, T., Chen, Y.D., Chong-yu, X., Xiaohong, C., Xi, C., and Vijay, P. 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *J. Hydrol.* 336: 316-333.
15. Jakeman, A.J., and Hornberger, G.M. 1993. How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-Runoff Model? *Water Resources Research*, 29: 2637-2649.
16. Karamooz, M., and Araghinejad, Sh. 2005. *Advanced Hydrology*. Amirkabir Univ. Press, 464p. (In Persian)
17. Mkankam Kamga, F. 2001. Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon). *J. Hydrol.* 252: 1-4. 145-156.
18. Muttiah, R.S., and Wurbs, R.A. 2002. Modeling the impacts of climate change on water supply reliabilities. *Water International*. 27: 3. 407-419.
19. Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K., and Rohde, A. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agriculture and Forest Meteorology*. 98-99: 257-277.
20. Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, Sh., Hanafin, J., and Nolan, P. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *J. Hydrol.* 356: 28-45.
21. Wilcox, B.P., Brakensike, D.L., and Wight, J.R. 1990. Predicting Runoff from rangeland Catchments: A Comparison of two Models. *Water Resource*. 26: 2410-2410.
22. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*. 78: 3-4. 137-146.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Effects of climate change on runoff from rainfall (Case study: Galikesh Watershed in Golestan)

E. Sohrabian¹, M. Meftah Halaghi², *Kh. Ghorbani³, S. Golian⁴ and M. Zakerinia³

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Resource, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Resource, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Water Resource, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Shahrood University of Technology

Received: 04/30/2014; Accepted: 09/10/2014

Abstract

Background and Objectives: Climate change is one of the most important challenging problems that has affected different parts of the human life on the Earth. Warmer climatic conditions intensify the water cycle, change precipitation and also changes the amount of runoff and its appearance time. Northern part of Iran is the most vulnerable area to the climate change due to its special climatic conditions and the importance of agriculture. Therefore, current study tries to use hydrological modeling for assessment of the impacts of climate change on hydrological conditions of Galikesh basin. Ashofte and Massah (2008) studied the effect of uncertainty of climate change on peak discharge of Aidoghamoosh basin in 2040-2069 period under A2 emission scenario. Their results demonstrated that the basin temperature will increase 1 to 6 degrees in the 2050 period in comparing with base period (3).

Material and Methods: In this study, IHACRES model were calibrated for understudy region. Then, based on the output of HadCM3 model under A1B, A2 and B1 emission scenarios, temperature and precipitation data for 2011-2030 period were downscaled using LARS-WG model and used as input for IHACRES model to simulate surface runoff.

Results: The results confirmed the efficiency of the model and indicated that in future climate conditions for 2011-2030 period, the temperature and precipitation will decrease and increase, respectively comparing with observation period (1985-2010). Finally, the results of IHACRES model demonstrated that runoff will decrease in the future period comparing to the observation period under A1B, A2 and B1 emission scenarios by the amounts of 6.37, 4.43 and 7.94 cubic meter per second, respectively which indicates the effect of climate change on basin discharge in future period. The results emphasize the importance of consideration of climate change effects in making necessary decisions for adaptation to climate change in future policies.

Conclusion: Investigation of the output of HadCM3 model for different climate change scenarios indicates the increase of temperature in 2011-2030 period for three understudy scenarios and give its maximum increase to B1 scenario. Simulating the monthly runoff in future period and comparing its amounts with observation period shows the average decline of long term annual runoff in future period for three scenarios which is acceptable according to the decrease of precipitation and temperature and the maximum decrease belongs to B1 scenario.

Keywords: Climate change, Rainfall-runoff modelling, LARS-WG, IHACRES

* Corresponding Author; Email: ghorbani.khalil@yahoo.com

