

اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و رواناب حوضه توسط مدل HBV تحت سناریوهای مدل BCM2

میثم حیدری^۱، محمدرضا خزائی^۲، علی اکبر اختری^۳

تاریخ ارسال ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۱

چکیده

تغییر اقلیم موجب تغییر متغیرهای اقلیمی حوضه آبریز شده و بر منابع آب‌های سطحی تاثیر می‌گذارد و می‌تواند موجب بحران در خصوص منابع آب گردد. با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر منابع آب سطحی حوضه رودخانه بشار در کهگیلویه و بویراحمد، سناریوهای آینده A2, A1B, B1 مدل اقلیمی BCM2.0 به روش عامل تغییرات ریزمقیاس شد. جریان روزانه رودخانه با استفاده از مدل پیوسته HBV شبیه‌سازی شد. سری‌های متغیرهای اقلیمی مشاهداتی و سناریوهای آینده به مدل هیدرولوژیکی HBV وارد شد و جریان روزانه اقلیم فعلی و اقلیم آینده (۹۳-۲۰۶۷) شبیه‌سازی شد. با مقایسه جریان شبیه‌سازی شده اقلیم فعلی و اقلیم آینده، اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای حوضه ارزیابی شد. نتایج حاکی از افزایش دما و تبخیر و تعرق در کلیه ماه‌های سال و کاهش چشم‌گیر بارش و دبی جریان رودخانه در اغلب ماه‌های سال در آینده است. بر این مبنای میانگین بارش سالانه تا ۴۰٪ و میانگین جریان تا ۵۰٪ کاهش می‌یابد. جریان‌های روزانه کمینه نیز به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت. مثلاً ۹۵٪ Q با دوره بازگشت ۲ و ۲۵ سال به ترتیب تا ۵۱ و ۶۶ درصد کاهش می‌یابد. از این رو اتخاذ تدابیر آمادگی برای رویارویی با شرایط اقلیم تغییر یافته آینده به‌ویژه در ارتباط با منابع آب ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، جریان‌های کمینه، رواناب، سیلاب، رودخانه بشار.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. تلفن: ۰۹۳۹۴۲۵۸۱۶۰. آدرس پست الکترونیکی: heidari.meisam.aa@gmail.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۴۴۵۰۵۷۹. آدرس پست الکترونیکی: m_r_khazae@yahoo.com (نویسنده مسئول)

^۳ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. تلفن: ۰۹۱۸۸۵۸۳۲۱۶. آدرس پست الکترونیکی: akhtari@razi.ac.ir

مقدمه

فعالیت های بشر سبب بالا رفتن غلظت گازهای گلخانه‌ای و افزایش دمای کره زمین و تغییر اقلیم شده است (Wang et al., 2013). سناریوهای منتشر شده توسط هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) نشانگر افزایش دمای زمین در سال‌های پیش رو است (IPCC, 2001). این موضوع منجر به تغییر سایر متغیرهای اقلیمی مانند بارش، تبخیر-تعرق و متغیرهای وابسته به اقلیم از جمله رواناب و منابع آب می‌گردد (IPCC, 1995). برای اتخاذ تدابیر سازگاری با شرایط تغییر یافته آینده، به خصوص در ارتباط با وضعیت منابع آب، لازم است اثرات تغییر اقلیم آینده بر رواناب حوضه‌ها پیش‌یابی شود.

ارزیابی آثار هیدرولوژیکی تغییر اقلیم شامل دو مرحله کلی فراهم نمودن سناریوهای مناسب اقلیم آینده و شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از این سناریوها است. معتبرترین ابزار در شبیه‌سازی بازخورد اقلیم کره زمین به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های گردش عمومی^۱ می‌باشد (IPCC, 2001). این مدل‌ها داده‌های اقلیمی را برای سراسر کره زمین شبیه‌سازی می‌کنند؛ اما وضوح مکانی و زمانی خروجی این مدل‌ها کم است و استفاده مستقیم از آن‌ها در مقیاس حوضه آبریز اصلاً توصیه نمی‌شود. این داده‌ها باید ابتدا با وضوح بهتری ریز مقیاس گردند تا برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم یک حوضه آبریز قابل استفاده شوند (Kidson and Thompson, 1998) و (Chen et al., 2012). حفظ همبستگی متغیرهای اقلیمی مانند بارش و دما در فرایند کاهش مقیاس برای ارزیابی آثار هیدرولوژیکی تغییر اقلیم ضروری است (Fowler et al., 2007) و (Khazaei et al., 2012). روش‌های کاهش مقیاس که نوعاً این همبستگی را حفظ می‌کنند روش‌های عامل تغییر (Change Factor (CF))، مولدهای استوکستیک داده‌های هواشناسی (Weather Generators) (WG) و (Regional Climate Models) RCMs هستند (خزائی، ۱۳۹۵). در اکثر مطالعاتی که به

ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر هیدرولوژی یک حوضه آبریز پرداخته‌اند از روش عامل تغییر استفاده شده است (Teng et al., 2012). از مزایای این روش سادگی استفاده از آن است (Chiew et al., 2010) و Fowler et al., 2007). علاوه بر آن، در این روش نوعاً از سناریوهای خروجی GCM ها در مقیاس ماهانه استفاده می‌گردد که عموماً برای GCM های مختلف در هر منطقه در دسترس است (خزائی، ۱۳۹۵). پس از فراهم شدن سناریوهای ریزمقیاس شده آینده برای حوضه، مرحله بعدی شبیه‌سازی رواناب حوضه برای اقلیم تاریخی و سناریوهای اقلیم آینده و مقایسه آن‌ها است. در این خصوص لازم است یک مدل هیدرولوژیکی مناسب ابتدا برای حوضه واسنجی و اعتبارسنجی شود. این مراحل عموماً در مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب و منابع آب حوضه به کار می‌رود که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات (Xu et al., 2005)، (Khazaei et al., 2012)، (Devkota et al., 2015)، (Chen et al., 2012)، (Kay et al., 2009)، و (Rzaqian and همکاران، ۱۳۹۵) اشاره کرد. با وجود آن ارزیابی اثر این تغییر اقلیم جهانی بر چرخه هیدرولوژیکی حوضه یکی از چالش‌های محققان است (IPCC (2013) و Murray and Bloschl (2011). عدم قطعیت‌های متعددی در مراحل مختلف چنین مطالعاتی وجود دارد. همچنین روش‌های مختلفی برای انجام هر مرحله وجود دارد که هر یک برای بعضی از اهداف مناسب و برای بعضی مناسب نیست.

در این مقاله، وضعیت جریان رودخانه و منابع آب سطحی حوضه آبریز بشار در شرایط اقلیم تغییر یافته آینده پیش‌یابی شده است. به این منظور از سناریوهای اقلیمی مدل BCM2.0 استفاده شده است. برای بررسی عدم قطعیت سناریوهای انتشار، از سه سناریوی A2، A1B و B1 استفاده شده است که دامنه ۸۰ درصدی سناریوهای انتشار را در بر می‌گیرد. کاهش مقیاس توسط روش عامل تغییر انجام شده است. این روش به ویژه در مطالعات ارزیابی تغییرات میانگین‌ها و سیکل ماهانه جریان، روشی مناسب است. ضمن آنکه در بسیاری از مطالعات

¹ Global Circulation Model

مولفه بهینه یابی خودکار به روش الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. تابع هدف بهینه‌یابی در واسنجی، ضریب نش-ساتکلیف (EC) و ضریب تعیین (R^2) می‌باشد.

$$EC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2} \quad (1)$$

که در آن Q_{oi} و Q_{si} به ترتیب جریان‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در روز i -ام، n تعداد روزهای دوره و \bar{Q}_{oi} میانگین مقادیر مشاهداتی است. دامنه تغییرات ضریب EC بین ۱ (کاملاً منطبق) و منفی بی‌نهایت می‌باشد. ضریب تعیین، مربع ضریب همبستگی سری‌های جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی است.

ریز‌مقیاس‌نمایی

در این مقاله ریز‌مقیاس‌نمایی به روش عامل تغییرات انجام شده است. در این روش برای ریز‌مقیاس نمودن دما از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$T_{ij}^F = T_j^{FGCM} - T_j^{BGCM} + T_{ij}^O \quad (2)$$

که در آن T_{ij}^F دمای روز i -ام از سری دمای سناریوی اقلیم آینده است که در ماه j -ام از ماه‌های سال قرار دارد. T_{ij}^O دمای روز i -ام از سری دمای مشاهداتی است که در ماه j -ام از ماه‌های سال قرار دارد. T_j^{FGCM} میانگین دمای ماه‌های j -ام سناریوی دمای آینده مدل GCM و T_j^{BGCM} میانگین دمای ماه‌های j -ام دوره پایه مدل GCM است.

در روش عامل تغییرات به منظور کاهش مقیاس داده‌های بارش از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$P_{ij}^F = \frac{P_j^{FGCM}}{P_j^{BGCM}} P_{ij}^O \quad (3)$$

که در آن P_{ij}^F بارش روز i -ام از سری بارش سناریوی اقلیم آینده است که در ماه j از ماه‌های سال قرار دارد.

جریان‌های حدی نیز به کار رفته است. علاوه بر آن به دلیل آنکه سناریوهای روزانه بسیاری از GCM ها از جمله BCM2.0 در منطقه مورد مطالعه در دسترس نیست، روش عامل تغییر که در آن از سناریوهای ماهانه استفاده می‌گردد، روشی مناسب است (خزائی، ۱۳۹۵). جریان روزانه رودخانه توسط مدل مفهومی پیوسته HBV به خوبی شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه دامنه وسیعی از آثار تغییر اقلیم در حوضه ارزیابی گردیده، که از جمله می‌توان به: مقادیر ماهانه بارش، دما، تبخیر و تعرق، جریان رودخانه و توزیع مقادیر جریان‌های کمینه (که در مطالعات دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفت است) و سیلاب‌ها اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی توسط مدل HBV

مدل HBV¹ توسط موسسه هواشناسی و هیدرولوژیکی سوئد توسعه داده شده است (Bergström (1976)). امکان استفاده از این مدل برای طیف وسیعی از حوضه‌ها با شرایط اقلیمی گوناگون وجود دارد و در بیش از ۴۰ کشور استفاده شده است (Ashagrie et al., (2006), Bergstrom (et al., (2001), Siebert et al., (2012)).

HBV یک مدل پیوسته‌ی مفهومی است و می‌تواند در حکم مدلی نیمه توزیعی با تقسیم حوضه به چندین زیرحوضه اجرا شود. هر زیر حوضه با توجه به ارتفاع، دریاچه، یخچال‌های طبیعی و پوشش گیاهی به چندین ناحیه تقسیم می‌شود. در این تحقیق از نسخه HBV-Light (Seibert and McDonnell, 2002) استفاده شده است. HBV دارای مولفه‌های انباشت و ذوب برف، محاسبه رطوبت خاک، تولید رواناب و روندیابی جریان است (Siebert et al., 2012). ورودی‌های مدل شامل سری‌های روزانه بارش، دما، تبخیر و تعرق و خصوصیات حوضه از جمله مساحت، اطلاعات توپوگرافی و نرخ تغییرات بارش و دما با ارتفاع می‌باشد. چهارده پارامتر مدل HBV از طریق واسنجی به دست می‌آیند. واسنجی مدل توسط یک

¹ Hydrologiska Byrans Vattenavdelning

جدول (۱): پارامترهای واسنجی شده مدل HBV

پارامتر	قسمت در مدل	مقدار واسنجی شده
PERC	مولفه انتقال	۳/۹۹
UZL	مولفه انتقال	۴۱/۴
K0	مولفه انتقال	۰/۱۱
K1	مولفه انتقال	۰/۰۷
K2	مولفه انتقال	۰/۰۱۸
TT	مولفه برف	۰/۱۵
CFMAX	مولفه برف	۱/۸۷
SFCF	مولفه برف	۰/۵
CFR	مولفه برف	۰/۰۵
CWH	مولفه برف	۰/۱
TT	مولفه برف	۰/۱۵
FC	مولفه رطوبت خاک	۴۹۸
LP	مولفه رطوبت خاک	۰/۵۲۸
BETA	مولفه رطوبت خاک	۱/۷۳
MAXBAS	مولفه روندیابی	۱/۰۰۴

در مرحله واسنجی مدل، شاخص نش-ساتنکلیف برای داده‌های روزانه معادل ۰/۸۵ و ضریب تعیین برابر ۰/۸۶ بدست آمد. در مرحله اعتبارسنجی نیز مقدار شاخص نش-ساتنکلیف ۰/۸۳ و ضریب تعیین ۰/۸۶ بدست آمد. این مقادیر درمقایسه با دیگر مطالعات (Zhang et al., 2005 و Kamali et al., 2007) و معیارهای قابل قبول آنها (ضریب نش-ساتنکلیف بزرگتر از ۰/۶ یا ۰/۷) به میزان قابل توجهی به مقدار ایده‌آل خود نزدیک است. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی و اعتبار سنجی به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) نشان دهنده این موضوع می‌باشد.

P_{ij}^{FGCM} بارش روز i -ام از سری بارش مشاهداتی ثبت شده است که در ماه j از ماه‌های سال قرار دارد. P_{ij}^{FGCM} میانگین بارش ماه‌های j سناریوی آینده بارش مدل GCM و P_{ij}^{BGCM} میانگین بارش ماه‌های j سری بارش مدل GCM در دوره پایه است.

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

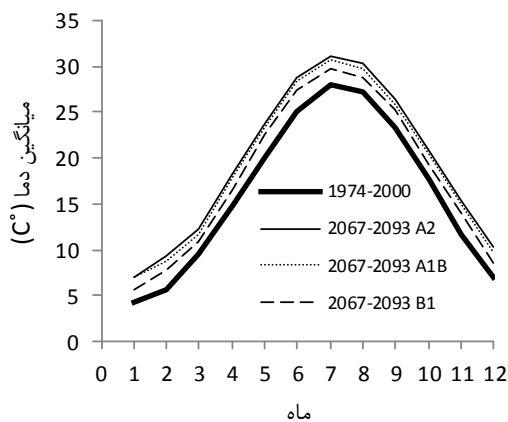
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شامل حوضه رودخانه بشار واقع در محدوده جغرافیایی ۵۱ تا ۵۲ درجه طول شرقی و ۳۰ تا ۳۱ درجه عرض شمالی در استان کهگیلویه و بویراحمد است. مساحت حوضه ۲۸۰۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۲۲۷۷ متر از سطح دریا می‌باشد. از مجموع ۲۷ سال داده بارش روزانه و دمای حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه تبخیرسنجی یاسوج برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم استفاده شده است. از مجموع ۸ سال داده با کیفیت جریان رودخانه و بارش و دمای هم دوره آن، ۴ سال برای واسنجی و ۴ سال برای اعتبارسنجی مدل به‌کار رفته است. سناریوهای اقلیمی مورد استفاده، خروجی-های مدل جهانی اقلیم BCM2.0 تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2, A1B, B1 برای منطقه مورد مطالعه است، که به ترتیب بیانگر حالات خوش-بینانه، بینابینی و بدبینانه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. خروجی مورد استفاده از مدل اقلیمی مربوط به دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۴ و دوره آینده ۹۳-۲۰۶۷ می‌باشد.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

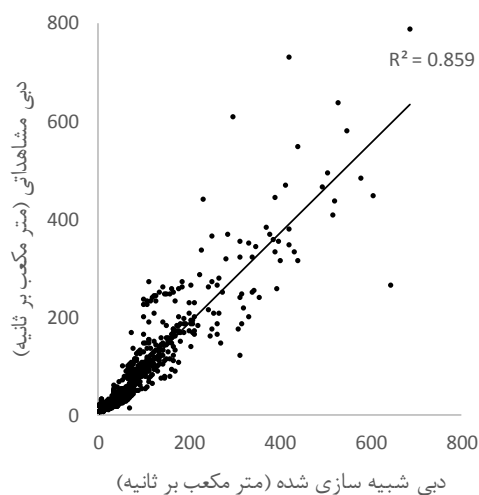
واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی HBV برای شبیه‌سازی جریان حوضه، توسط دو دوره چهارساله انجام شد. پارامترهای واسنجی شده مدل در جدول (۱) ارائه شده است.

های مختلف بین ۲ تا ۱۵ درصد است و مقدار سالانه آن بین ۶ تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

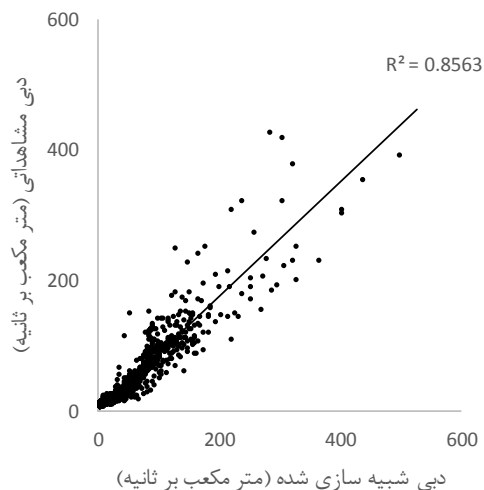


شکل (۳): پیش‌یابی اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه دما

نتایج پیش‌یابی اثر تغییر اقلیم بر بارش و جریان رودخانه در هر ماه از سال در شکل (۴) ارائه شده است. همچنین مقادیر پیش‌یابی شده جریان در هر ماه از سال برای هر سه سناریوی آینده و دوره پایه در جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس این سناریوها در اغلب ماه‌های سال میانگین بارش و دبی جریان کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه در ماه ۳ (مارس) دبی جریان در دوره پایه ۱۲۲ متر مکعب بر ثانیه است که پیش‌یابی می‌شود در دوره آینده (۹۳-۲۰۶۷) به مقداری بین ۴۰ تا ۸۱ کاهش یابد. مقدار بارش نیز از ۱۷۵ میلی‌متر در دوره پایه به مقداری بین ۹ تا ۳۹ میلی‌متر تحت سناریوهای آینده کاهش می‌یابد. در این ماه کاهش بارش با کاهش جریان همراه است. در ماه پنجم بارش از ۲۳ میلی‌متر در اقلیم فعلی به مقداری بین ۳۱ تا ۴۸ میلی‌متر تحت



شکل (۱): مقایسه مقادیر جریان روزانه مشاهداتی و شبیه سازی شده در مرحله واسنجی



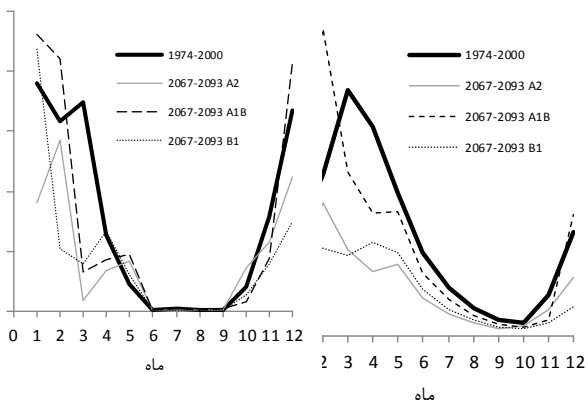
شکل (۲): مقایسه مقادیر جریان روزانه مشاهداتی و شبیه سازی شده در مرحله اعتبارسنجی

۳-۲- ارزیابی آثار تغییر اقلیم

اثر تغییر اقلیم بر دما در شکل (۳) نشان داده شده است. پیش‌یابی می‌شود در همه ماه‌های سال میانگین دما افزایش یابد. مقدار افزایش دما در تابستان بیشتر از افزایش دما در زمستان می‌باشد. دامنه افزایش دما برای سناریوهای مختلف و ماه‌های مختلف بین ۱/۵ تا ۳/۴ درجه سانتیگراد است و دمای متوسط سالانه بر اساس سناریوهای مختلف در آینده بین ۱/۸ تا ۳/۲ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. درصد افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل برای سناریوهای مختلف و ماه-

بیشتر از نیمه دوم سال است. همچنین میانگین جریان سالانه دوره پایه ۴۹ متر مکعب بر ثانیه است که پیش یابی می‌شود در دوره ۲۰۶۷-۹۳ بر مبنای سه سناریوی A1B، B1 و A2 کاهش یابد و به ترتیب به مقادیر ۴۸، ۲۳/۶ و ۲۴/۲ متر مکعب بر ثانیه برسد. در شکل (۵) توزیع لوگ پیرون نوع ۳ (LP3) بر توزیع جریان‌های روزانه حداقل سالیانه (Q_{95%}) برازش داده شده است و نشان می‌دهد که این توزیع برازش مناسبی بر جریان‌های کمینه دارد. این توزیع در ابتدا بر مبنای برازش مناسب بر جریان‌های کمینه در مطالعات گذشته انتخاب شد (خزائی و همکاران، ۱۳۸۲) و سپس نکویی برازش آن برای داده‌های مورد مطالعه در سطح اعتماد ۱۰٪ با استفاده از آزمون کلوگروف-اسمیرنوف تأیید شد. در شکل (۶) توزیع LP3 بر داده‌های روزانه Q_{95%} دوره پایه و سناریوهای آینده برازش شده است و توسط آن اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های روزانه کمینه سال نشان داده شده است. بر این مبنای تغییر اقلیم موجب کاهش قابل توجه مقادیر جریان‌های کمینه سال در دوره آینده می‌شود. این موضوع می‌تواند نگران کننده باشد زیرا Q_{95%} جریانی است که در هر سال ۵٪ اوقات جریان رودخانه کمتر از آن است و لذا اهمیت بسزایی در مواردی از قبیل تامین آب شرب، کیفیت آب، کشاورزی و محیط زیست حوضه دارد. در جدول (۳) مقادیر Q_{95%} در دوره بازگشت‌های مختلف برای دوره پایه و سناریوهای آینده ارائه شده است. به عنوان نمونه در دوره بازگشت ۲ سال، مقدار Q_{95%} دوره پایه ۴/۰۸ متر مکعب بر ثانیه است که در دوره ۲۰۶۷-۹۳ تحت سناریوهای مختلف مقداری بین ۲/۸۴ تا ۱/۹۹ متر مکعب بر ثانیه می‌رسد. در شکل (۷) برازش توزیع گامبل بر جریان‌های روزانه حداکثر سالیانه در دوره تاریخی نشان داده شده است که حاکی از برازش خوب این توزیع بر داده‌ها است.

با مقایسه توزیع فراوانی جریان‌های حداکثر دوره آینده با توزیع فراوانی دوره پایه، اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های روزانه حداکثر سالیانه حوضه‌ی بشار در شکل (۸) ارزیابی شد. در این شکل، توزیع فراوانی سیلاب‌ها برای سناریوهای A1B، A2 و B1،

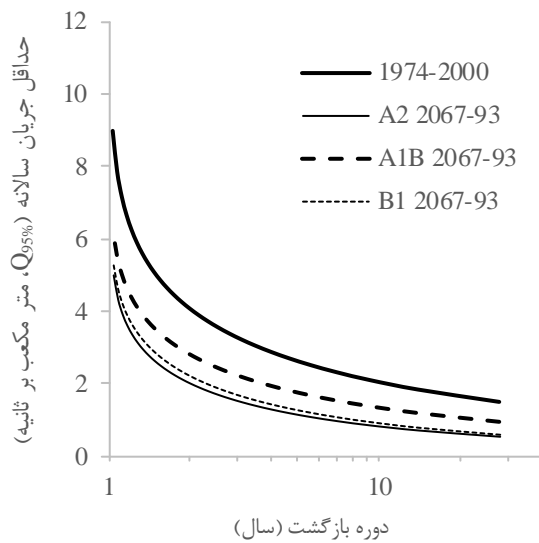


شکل (۴): پیش‌یابی اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه دبی و بارش حوضه رودخانه بشار. محور افقی ماه‌های میلادی است.

جدول (۲): میانگین‌های ماهانه دبی حوضه رودخانه بشار در دوره تاریخی و سناریوهای تغییر اقلیم آینده (متر مکعب بر ثانیه)

ماه	۲۰۶۷-۹۳			۲۰۰۰-۱۹۷۴
	A2	A1B	B1	
۱	۳۱	۸۸	۴۲	۵۲
۲	۶۶	۱۵۲	۴۳	۸۰
۳	۴۳	۸۱	۴۰	۱۲۲
۴	۳۲	۶۱	۴۶	۱۰۳
۵	۳۵	۶۱	۴۱	۷۱
۶	۱۹	۳۱	۲۳	۴۱
۷	۱۱	۱۸	۱۳	۲۴
۸	۶	۱۰	۷	۱۳
۹	۴	۶	۴	۸
۱۰	۵	۴	۳	۶
۱۱	۱۳	۸	۷	۲۰
۱۲	۲۹	۶۰	۱۴	۵۱

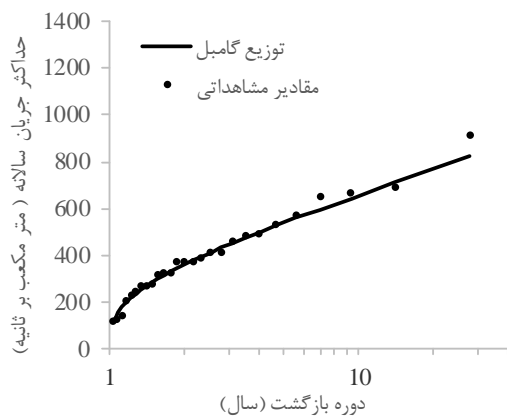
سناریوهای آینده افزایش می‌یابد؛ اما میانگین دبی جریان که در دوره پایه ۷۱ متر مکعب بر ثانیه است، تحت سناریوهای آینده به مقداری بین ۳۵ تا ۶۱ متر مکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد. کاهش جریان در این ماه (با وجود افزایش بارش) می‌تواند به علت کاهش جریان ماه‌های گذشته و افزایش تبخیر و تعرق باشد. در مجموع در نیمه اول سال میلادی تغییر بارش و



شکل (۶): پیش‌یابی اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های روزانه کمینه سال ($Q_{95\%}$)

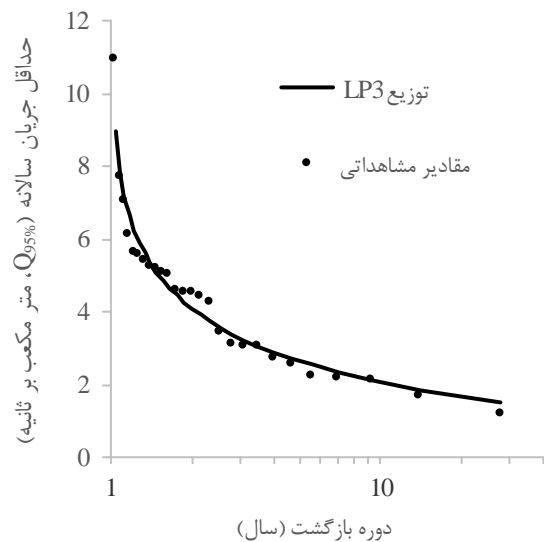
جدول (۳): مقادیر $Q_{95\%}$ در دوره بازگشت‌های مختلف برای دوره پایه و سناریوهای آینده (متر مکعب بر ثانیه)

دوره ۲۰۶۷-۹۳			دوره ۱۹۷۴-۲۰۰۰	دوره بازگشت
A2	A1B	B1		
۱/۹۹	۲/۸۴	۲/۱۹	۴/۰۸	۲
۱/۱۳	۱/۷۸	۱/۲۶	۲/۶۴	۵
۰/۸۰	۱/۳۶	۰/۹۰	۲/۰۷	۱۰
۰/۵۴	۱/۰۰	۰/۶۱	۱/۵۷	۲۵
۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۴۶	۱/۳۰	۵۰
۰/۳۲	۰/۶۷	۰/۳۶	۱/۰۹	۱۰۰
۰/۲۵	۰/۵۶	۰/۲۸	۰/۹۳	۲۰۰



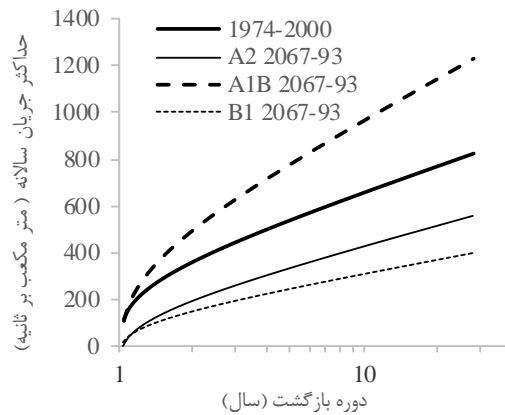
شکل (۷): برازش توزیع گامبل بر جریان‌های روزانه حداکثر سالیانه

خروجی مدل BCM2 برای دوره آینده (دوره‌ی ۹۳-۲۰۶۷) با توزیع فراوانی سیلاب‌های تاریخی (دوره-۲۰۰۰ تا ۱۹۷۴) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر جریان‌های حداکثر تحت سناریوی A1B افزایش و تحت دو سناریوی A2 و B1 کاهش می‌یابند. نتایج حاکی از عدم قطعیت بزرگ سناریوهای انتشار در نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های حداکثر این حوضه است. مقادیر جریان‌های حداکثر در دوره بازگشت‌های مختلف در دوره پایه و تحت سناریوهای آینده در جدول (۴) ارائه شده است. به عنوان نمونه در دوره بازگشت ۲ سال، مقدار جریان حداکثر سالیانه در دوره پایه ۴۴۵ متر مکعب بر ثانیه است که پیش‌یابی می‌شود در دوره ۹۳-۲۰۶۷ تحت سناریوهای مختلف مقداری بین ۱۹۲ تا ۶۳۱ متر مکعب بر ثانیه برسد. در دوره بازگشت ۲۵ سال، مقدار جریان حداکثر سالیانه در دوره پایه ۸۰۳ متر مکعب بر ثانیه است که پیش‌یابی می‌شود در اقلیم آینده به مقداری بین ۳۸۴ تا ۱۲۰۵ متر مکعب بر ثانیه برسد.



شکل (۵): برازش توزیع توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ (LP3) بر توزیع جریان‌های کمینه سال ($Q_{95\%}$)

جریان روزانه رودخانه برای سناریوهای اقلیم آینده و اقلیم فعلی شبیه‌سازی و مقایسه گردید. سه سناریو انتشار که در آن A2 حالت بدبینانه، A1B بینابینی و B1 حالت خوش‌بینانه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد بررسی شد. بر مبنای این پژوهش در اقلیم آینده میانگین ماهانه دما شاهد افزایشی بین ۱/۴۸ سانتیگراد (ماه ژانویه تحت سناریوی B1) تا ۳/۷ سانتیگراد (ماه می تحت سناریوی A2) می‌باشد. تبخیر و تعرق نیز به تبع دما در ماه‌های مختلف و تحت سناریوهای مختلف بین ۲ تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. تحت سناریوهای مورد بررسی، در آینده در اغلب ماه‌های سال بارش و جریان کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال تحت سناریوهای مختلف، در ماه ژوئن بارش به مقداری بین ۵۳ تا ۵۶ درصد و جریان به مقداری بین ۲۴ تا ۵۴ درصد کاهش می‌یابد. میانگین بارش سالانه دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای A1B، B1 و A2 به ترتیب ۶، ۳۹ و ۴۰ درصد کاهش می‌یابد و میانگین جریان سالانه نیز به ترتیب به ۲، ۵۲ و ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. جریان‌های کمینه نیز تحت همه سناریوهای مورد بررسی کاهش چشمگیری خواهد یافت. تحت سناریوهای مختلف، Q_{95} با دوره بازگشت ۲ سال به میزان ۳۰ تا ۵۱ درصد کاهش می‌یابد و Q_{95} با دوره بازگشت ۲۵ سال به میزان ۳۶ تا ۶۶ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به اهمیت جریان‌های کمینه سال در مواردی از جمله کیفیت آب، تامین آب شرب و کشاورزی و محیط زیست حوضه، اتخاذ تدابیر رویارویی با کم‌آبی در آینده ضروری به نظر می‌رسد. همچنین کاهش قابل توجه میانگین بارش و جریان بیانگر لزوم اقدامات پیشگیرانه جهت کاهش آثار زیانبار تغییر اقلیم است. از طرفی لزوم توجه به اثرات تغییر اقلیم در مخازن سدهای این منطقه که عمدتاً برقایی بوده مشهود است. البته منظور نمودن دامنه وسیع‌تری از عدم قطعیت‌ها از جمله عدم قطعیت مدل‌های GCM، مدل‌های هیدرولوژیک و روش‌های ریزمقیاس نمایی در تحقیقات آتی می‌تواند به نتایج مطمئن‌تری جهت اتخاذ تدابیر کاربردی منجر شود.



شکل (۸): پیش‌یابی اثر تغییر اقلیم بر توزیع جریان‌های روزانه حداکثر سالیانه

جدول (۴): جریان‌های روزانه حداکثر سالیانه برای دوره پایه و سناریوهای آینده (متر مکعب بر ثانیه)

دوره بازگشت	۲۰۶۷-۹۳			۱۹۷۴-۲۰۰۰
	A2	A1B	B1	
۲۰۰	۸۰۵	۱۷۲۹	۵۶۰	۱۱۳۱
۱۰۰	۷۱۹	۱۵۵۵	۵۰۱	۱۰۲۲
۵۰	۶۳۳	۱۳۸۰	۴۴۳	۹۱۳
۲۵	۵۴۶	۱۲۰۵	۳۸۴	۸۰۳
۱۰	۴۲۹	۹۶۸	۳۰۴	۶۵۵
۵	۳۳۶	۷۸۰	۲۴۲	۵۳۸
۲	۲۶۲	۶۳۱	۱۹۲	۴۴۵

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر حوضه آبریز رودخانه بشار ارزیابی شد. بدین منظور سناریوهای اقلیمی بارش و دمای مدل BCM2 به روش عامل تغییرات ریزمقیاس شد. داده‌های جریان با مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی مفهومی HBV شبیه‌سازی شد. شاخص نش-سانتکلیف روزانه در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی برابر با ۰/۸۵ و ۰/۸۳ بوده که نشانگر عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی جریان است. با ورود سری داده‌های روزانه اقلیم فعلی (۱۹۷۴-۲۰۰۰) و سناریوهای اقلیم آینده (۲۰۶۷-۹۳) به مدل HBV،

منابع

- خزائی، م. ر.، ۱۳۹۵. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز کوهستانی در ایران، نشریه علمی-پژوهشی حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۵، شماره ۳، صفحات ۴۳-۵۴.
- خزائی، م. ر.، تلوری، ع. ا.، جباری. ۱۳۸۲. تحلیل توزیع فراوانی خشکسالی هیدرولوژیک، فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا و توسعه، شماره ۲، صفحات ۴۵-۵۶.
- رزاقیان، ه. کاکاشاهدی، م. ر.، حبیب نژاد ۱۳۹۵. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز بابل رود با استفاده از مدل IHACRES. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، سال هفتم، شماره ۲۶، ص ۱۷۲-۱۵۹.
- Ashagrie A.G, de Laat P.J.M, de Wit M.J.M, Tu M, Uhlenbrook S. 2006. Detecting the influence of land use changes on discharges and floods in the Meuse River Basin – the predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2006; 10, 691–701.
- Bergström S. 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI RHO 7, Norrköping.
- Bergstrom S, Carlsson B, Gardelin M, Lindström G, Pettersson A, Rummukainen M. 2001. Climate change impacts on runoff in Sweden — assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modeling. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 60176 Norrköping, Sweden; Vol. 16: 101–112.
- Chen H, Xu C, Guo S. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*; 434–435: 36–45.
- Chiew F.H.S, Kirono D.G.C, Kent D.M, Frost A.J, Charles S.P, Timbal B, et al. 2010. Comparison of runoff modeled using rainfall from different downscaling methods for historical and future climates. *J. Hydrol.*; 387: 10–23.
- Devkota L.P, Gyawali D.R. 2015. Impacts of climate change on hydrological regime and water resources management of the Koshi River Basin, Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*; 4: 502–515.
- Fowler H.J, Blenkinsop S, Tebaldi C. 2007. Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology*; 27, 1547-1578.
- IPCC. Climate change Impacts, Adaptation and Vulnerability. 2001. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press, UK.
- IPCC. Climate Change .2007. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Salomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K.B, et al. (Editors). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- IPCC. Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Available online at: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
- Kamali M, Ponnambalam K, Soulis E.D. 2007. Computationally efficient calibration of WATCLASS Hydrologic models using surrogate optimization. *Hydrology and Earth System Sciences*; 4: 2307–2321.
- Kay A.L, Davies H.N, Bell V.A, Jones R.G. 2009. Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. *Climatic Change*; 92: 41-63.
- Khazaei M.R, Zahabiyou B, Saghafian B. 2012. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *International Journal of Climatology*; 32:1997-2006.
- Kidson J.W, Thompson C.S. 1998. A comparison of statistical and model-based downscaling techniques for estimating local climate variations. *Journal of Climate*; 11: 735–753.
- Murray C, Blöschl G. Hydrological modeling in a changing world. 2011. *Progress in Physical Geography*; 35: 249-261.

Siebert J, Vis M.J.P. 2012. Teaching hydrological modeling with a user friendly catchment runoff-model software package, *Earth Syst. Sci.*;16, 3315-3325.

Siebert J. 2000. Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a genetic algorithm, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*;4: 215-224.

Seibert J, McDonnell J.J. 2002. On the dialog between experimentalist and modeler in catchment hydrology: Use of soft data for multi criteria model calibration. *Water resources research*; 38: 1-14.

Teng J, Chiew F.H.S, Vaze J. 2012. Estimation of climate change impact on mean annual runoff across continental Australia using Budyko and Fu equations and hydrological models. *J. Hydrometeorol*;13: 1094–1106.

Wang Y, Wang X, Li C, Wu F, Yang Z. 2014. Spatiotemporal analysis of temperature trends under climate change in the source region of the Yellow River, China. *Theoretical and Applied Climatology* ; 119: 123–133.

Xu C.Y, Widen E, Halldin S. 2005. Modeling hydrological consequences of climate change – progress and challenges. *Adv. Atmos. Sci.*;22: 789–797.

Zhang G.P, Savenije H.H.G. 2005. Rainfall-runoff modeling in a catchment with a complex groundwater flow system: application of the Representative Elementary Watershed (REW) approach. *Hydrology and EarthSystem Sciences*;9: 243–261.

Impacts of Climate Change on climate variables and catchment stream-flow, using HBV model under BCM2 Scenarios

Meisam Heidari¹, Mohammad Reza Khazaei², Ali Akbar Akhtari³

Abstract

Climate change has led to change in climate variables of catchments and has impacts on surface water resources which could create crisis in water resources management. In this study, the impact of climate change was assessed on surface water resources of Bashar river catchment, located in Kohgiluyeh-o-Boyer-Ahmad province. Future B1, A1B, and B2 scenarios of BCM2.0 model were downscaled via Change Factor method. HBV model is calibrated and validated for the catchment. Series of observed climate variables and future scenarios were put into HBV model and daily stream-flow series for both, historic and future (2067-2093) periods, were simulated. By comparing simulated discharges for historic and future periods, the climate change impacts are assessed. Results show that temperature and evapo-transpiration would increase in all of the months in future. Also precipitation and stream-flow would decrease through most of the months in 2067-93 period. Mean precipitation and mean discharge would decrease up to 40 and 50 percent respectively. Annual daily minimum discharges would obviously. For instance, Q95% via return period of 2 and 25 years would reduce up to 51% and 66%, respectively. Therefore, putting expedient measures to encounter changes in future climate is necessary, specially measures related to water resource management.

Keywords: Climate change, low flows discharge, runoff, flood, Bashar River.

¹ M.S. student, Department of civil engineering, Razi university, Kermanshah. Email: heidari.meisam.aa@gmail.com

² Assistant Professor, Department of civil engineering, Payame Noor university, I.R of Iran. Email: m_r_khazaei@yahoo.com (corresponding author)

³ Assistant Professor, Department of civil engineering, Razi university, Kermanshah. Email: akhtari@razi.ac.ir