

## بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش-رواناب HBV-light

### : مطالعه موردی حوضه محمدآباد در استان گلستان

فریبا نیرومندفر<sup>۱</sup>، مهدی ذاکری نیا<sup>۲</sup>، بهناز یازرلو<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۰

#### چکیده

رواناب سطحی، یکی از دلایل عمده در فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، رسوبگذاری در مخازن و کاهش کیفیت آب رودخانه می‌باشد. بنابراین، پیش‌بینی دقیق پاسخ حوضه به رویدادهای بارش مهم می‌باشد. مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده شده‌ای از سیستم هیدرولوژی واقعی هستند که به مطالعه درباره کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. از طرفی 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 کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیم می‌باشند، بگذارد. در نظر گرفتن تغییرات توأم نوسانات متغیرهای اقلیمی و مقادیر متوسط آن در تأثیر بر رواناب، نتایج واقعی‌تری را در پی خواهد داشت. در این تحقیق تلاش شده است تا تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوضه آبخیز محمدآباد در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ میلادی مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش مدل بارش-رواناب HBV-light برای منطقه مورد مطالعه واسنجی گردید. سپس بر اساس نتایج مدل HadCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، مقادیر دما و بارش برای دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و به منظور شبیه سازی رواناب حوضه به مدل HBV-light معرفی گردید. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی مدل LARS-WG، نشان می‌دهد که دما برای دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۲) افزایش خواهد یافت و بارش نیز در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی در برخی از ماه‌ها افزایش و در برخی دیگر کاهش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، مدل‌سازی بارش-رواناب، مدل LARS-WG، مدل HBV-light، حوضه محمدآباد

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

۰۹۳۶۱۷۱۳۸۰۶، گرگان خیابان استرآبادی-کوچه ۱۴-آپارتمان گل نرگس ۲، faribaniroumandfard@gmail.com

آدانشار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۰۹۱۱۱۷۷۳۲۶۵،

a\_zakerinia@yahoo.com (مستول مکاتبه و نویسنده مسئول مقاله)

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند، ۰۹۳۹۰۹۲۷۳۷۷، گرگان خیابان شهیدبهبشتی-کوچه بهشت ۷-

آپارتمان فردوس، yazarloobehnaz@yahoo.com

## مقدمه

تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت منطقه از اطلاعات ثبت و مشاهده شده انتظار می‌رود. در مقیاس عمومی، به افزایش تدریجی دمای زمین و اقیانوس‌ها و بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، اصطلاحاً تغییر اقلیم می‌گویند. تغییرات اقلیم، بزرگی، فراوانی و خسارات ناشی از وقایع حدی آب‌وهوایی، مانند هزینه‌های دسترسی به آب در برابر افزایش تقاضا را افزایش می‌دهد. بی‌شک مسئله تغییر اقلیم و گرم شدن جهان یکی از مسائل و نگرانی‌های امروز بشر است که ذهن دانشمندان را به سختی به خود مشغول کرده است. اما این نگرانی زمانی به اوج خود می‌رسد که به دیگر بحران فراروی انسان عصر حاضر، یعنی بحران آب که بزرگترین دغدغه‌ی بشر در قرن حاضر خوانده می‌شود، بینجامد (بریشمچی و همکاران، ۱۳۸۸).

امروزه موضوع تغییر اقلیم بر همگان روشن است و پیامدهای آن نه تنها در سطوح جامعه بلکه در زندگی روزمره انسان‌ها آشکار است، در نتیجه باید تأثیرات پدیده تغییر اقلیم به بحث و چالش کشیده شود، زیرا تأثیرات منفی این پدیده بر اقلیم کره زمین و سیستم‌های دیگر شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و اقتصاد، به سبب نگرش جوامع بر توسعه سریع صنعت و توجه کم‌تر به محیط زیست، شدت گرفتن آن را به دنبال داشته است. واضح است که در چنین شرایطی، آگاهی داشتن از آثار منطقه‌ای و جهانی پدیده تغییر اقلیم بر روندهای هیدرولوژیکی و منابع آبی اهمیت زیادی می‌یابد. تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب نسبت به مقادیر گذشته آن افزایش یافته است (IPCC, 2007).

از آنجا که در حوضه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوضه میسر نمی‌باشد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی با دقت قابل‌قبولی را ارائه کند امری ضروری به نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳).

LARS-WG5 یکی از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی می‌باشد که برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به کار می‌رود (Semenov et al., 1998). سایر پارامترهای آب و هوایی همانند سرعت باد و نقطه شبنم را نیز می‌توان توسط این مدل شبیه‌سازی نمود (Parlange et al., 2000). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۰ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از توزیع نیمه تجربی است که به دفعات از آن استفاده شده است. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های آب و هوایی (دما و بارش) مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا توسط Williams et al. (1991) و ۲۰ ایستگاه واقع در اقلیم‌های متفاوت انگلیس توسط Semenov et al. (2008) گزارش شده است. نتایج بابائیان و نجفی (۱۳۸۵) نیز بیانگر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در دوره آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی است. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۰)، با ریزمقیاس‌نمایی تغییرات آب و هوایی با مدل LARS-WG تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 با استفاده از خروجی مدل HadCM3، افزایش ۲/۳ درجه‌ای دما و کاهش ۳ درصدی بارش در طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۰ را برای استان آذربایجان شرقی گزارش نمودند. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴)، با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زاینده‌رود

هیدرولوژی جریان رودخانه با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 و سناریوی انتشار A1B، مورد بررسی قرار دادند. در آن تحقیق که برای ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند صورت گرفت 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 کوچک‌مقیاس کردن مکانی تناسبی کوچک‌مقیاس شده و به مدل بارش رواناب معرفی گردید. نتایج در مجموع نشان داد که بارش زمستانه و بارش تابستانه به ترتیب افزایش و کاهش دارند. همچنین میزان دبی رودخانه تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد نمود. یعقوبی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی عملکرد سه مدل مفهومی و پیوسته HBV-light، HEC-HMS و IHACRES در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه نیمه‌خشک اعظم هرات را مورد ارزیابی قرار دادند. در تعیین عملکرد مدل‌ها از معیارهای عملکرد شامل ضریب نش (N)، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و معیارهای خطای Bias (مجموع خطا در حجم جریان) و  $RMSE^3$  (جذر میانگین مربعات خطا) استفاده شد. نتایج نشان داد، مدل HBV-light با ضریب نش ۰/۷۶، ضریب تعیین ۰/۷۷، معیار خطای ۰/۰۰۴- و ۰/۷۲ بیشترین و مدل HEC-HMS با ۰/۶۲، ۰/۶۷، ۰/۰۷ و ۱/۳ کمترین کارایی را در دوره واسنجی دارند. در دوره صحت-سنجی برای مدل HBV-light، این ضرایب به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۶۷، ۰/۱۵- و ۰/۸ و برای مدل HEC-HMS، ۰/۵۷، ۰/۵۵، ۰/۰۳- و ۱/۰۲ است، در نهایت مشخص شد مدل HBV-light بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی رواناب پیوسته حوضه دارد. Masih et al. (2010)، در تحقیقی مدل مفهومی بارش-رواناب پیوسته HBV-light را در حوضه کوهستانی و نیمه خشک کرخه و ۱۱ زیرحوضه آن برای بررسی کارایی این مدل و امکان انتقال پارامترهای واسنجی شده این

با استفاده از خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نشان دادند که در هر دوره، میانگین سالانه بارش در این منطقه کاهش و میانگین سالانه دما افزایش پیدا می‌کند. گودرزی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر میزان دما و بارش حوضه آبخیز اسکندری واقع در استان اصفهان که از منابع مهم تأمین کننده آب سد زاینده‌رود می‌باشد، برای دهه ۲۰۲۰ به بررسی پرداختند. بدین منظور از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل Had-CM3 استفاده شد. نتایج حاکی از افزایش ۷/۲ درصدی بارش سالانه و افزایش یک درجه سانتی‌گرادی دمای متوسط سالانه می‌باشد. ایشان با بررسی مقادیر فصلی پارامترهای اقلیمی بیان داشتند که بارش در فصل تابستان بیش از فصول دیگر کاهش داشته و در این فصل افزایش دمای قابل توجهی مشاهده می‌شود، بدین ترتیب نتیجه گرفتند که در دهه آینده با کمبود آب جدی در این فصل روبرو خواهیم بود. ثانی‌خانی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبی‌چای در استان آذربایجان شرقی پرداختند. جهت پیش‌بینی تغییر اقلیم بر مبنای مدل‌های گردش عمومی (GCM) از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس نمایی استفاده گردید. با استفاده از LARS-WG تغییر اقلیم در حوضه آبی‌چای با بکارگیری مدل HadCM3 و سناریوهای A1B، A2 و B1 در افق ۲۰۵۵، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه بودند. در بخش دیگری از تحقیق، جهت شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، از مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن با استفاده از الگوهای ورودی مختلف، استفاده گردید. نتایج بدست آمده حاکی از کاهش قابل توجه میزان رواناب در حوضه بودند. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده لازم است تا جهت سازگاری با تغییر اقلیم، راهکارهای مدیریتی مناسب در سطح حوضه مورد توجه قرار گیرد. Steele et al. (2008)، تأثیر تغییر اقلیم را بر

1-Nash-Sutcliffe

2- Determination Coefficient

3- Root of Mean Squares Error

گردیده است. شکل ۱ موقعیت این حوضه را در ایران و در استان گلستان نشان می‌دهد.

### مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار

از مهم‌ترین مدل‌های تدوین شده در این زمینه مدل‌های معروف به گردش عمومی است. این مدل‌ها می‌توانند چرخه‌ی عمومی جو را شبیه‌سازی کنند و برای شبیه‌سازی جو-اقیانوس با مقیاس‌های گوناگون به کار گرفته می‌شوند.

### سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای

سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مطالعه شده در این پژوهش و خصوصیات آنها در جدول ۱ آمده است.

### معرفی مدل LARS\_WG

LARS-WG5 یکی از مولدهای داده‌های هواشناسی می‌باشد که برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده از داده‌های مدل GCM به کار می‌رود. ابتدا داده‌ها باید در سطح نقطه یا حوضه ریزمقیاس شوند. الگوی مصنوعی مولد پارامترهای هواشناسی، الگوهایی عددی‌اند که خروجی الگوهای گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری به نحوی کوچک مقیاس می‌کنند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت دارد. مدل LARS-WG از سه بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: کالیبراسیون، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده. نیاز اصلی مدل در مرحله کالیبراسیون، فایلی است که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی ایستگاه سرمو در حوضه محمدآباد با در نظر گرفتن دوره ۲۹ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۲) به عنوان دوره پایه، تهیه گردید. در

حوضه به حوضه‌های فاقد آمار به کار بردند. ابتدا برای بررسی کارایی، مدل برای یک دوره ۷ ساله واسنجی شد. سپس منطقه‌ای کردن صورت گرفت. نتایج نشان داد که مدل با داشتن ضرایب قابل قبول عملکرد در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، برای این حوضه کارایی دارد و همچنین با انتقال پارامترهای این حوضه به حوضه‌های فاقد آمار، نتایج قابل قبولی به دست آمد. پژوهشی که توسط مهدی زاده و همکاران (۲۰۱۱)، در حوضه سد گلستان که با استفاده از داده‌های مدل CGCM3 برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ تحت دو سناریوی A2 و B1 انجام گرفت، بطور کلی نشان می‌دهد بارش میانگین ماهانه در فصول تابستان و بهار کاهش و در فصول زمستان و پاییز افزایش می‌یابد.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه مورد مطالعه

در این پژوهش، حوضه آبریز محمدآباد از زیر حوضه‌های حوضه گرگانرود استان گلستان می‌باشد. این حوضه دارای مساحتی برابر ۳۸۷/۵ کیلومتر مربع و محیطی برابر با ۸۹ کیلومتر می‌باشد و از نظر جغرافیایی در طول شرقی "۵۵° ۴۹' ۵۴" و عرض شمالی "۳۴° ۴۲' ۳۶" قرار دارد. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۵۰۰ متر، حداقل ارتفاع ۵۰۰ متر و ارتفاع متوسط حوضه ۱۹۰۶ متر از سطح دریا و شیب متوسط حوضه ۱۰/۳ درصد می‌باشد. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۶/۷۵ کیلومتر و شیب خالص شاخه اصلی ۹/۹۵ درصد می‌باشد. این حوضه دارای یک ایستگاه باران‌سنجی معمولی به نام سرمو و یک ایستگاه هیدرومتری است. ایستگاه باران‌سنجی سرمو در ارتفاع ۵۰۰ متری و در طول جغرافیایی ۶۷° ۴۰' و عرض جغرافیایی ۵۲° ۳۰' قرار دارد. ایستگاه هیدرومتری در ارتفاع ۵۰۰ متری و در طول جغرافیایی ۷۸° ۴۰' و عرض جغرافیایی ۳۲° ۳۰' قرار دارد که در سال ۵۵-۱۳۵۴ تأسیس

جدول ۱. خصوصیات سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1

سناریوی انتشار	ویژگی
A1B	رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه ی قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری های نوین و مؤثر
A2	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان
B1	همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد، کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع پاک و مؤثر

این پژوهش از مدل HadCM3 با روش ریز مقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 استفاده شد و مدل براساس آن اجرا گردید. سپس با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین، جذر میانگین مربعات خطا، میانگین انحراف خطا<sup>۱</sup> و میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> (معادله‌های ۱ تا ۴) اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره پایه و مقایسه آنها با داده‌های واقعی (مشاهده شده) گردید.

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

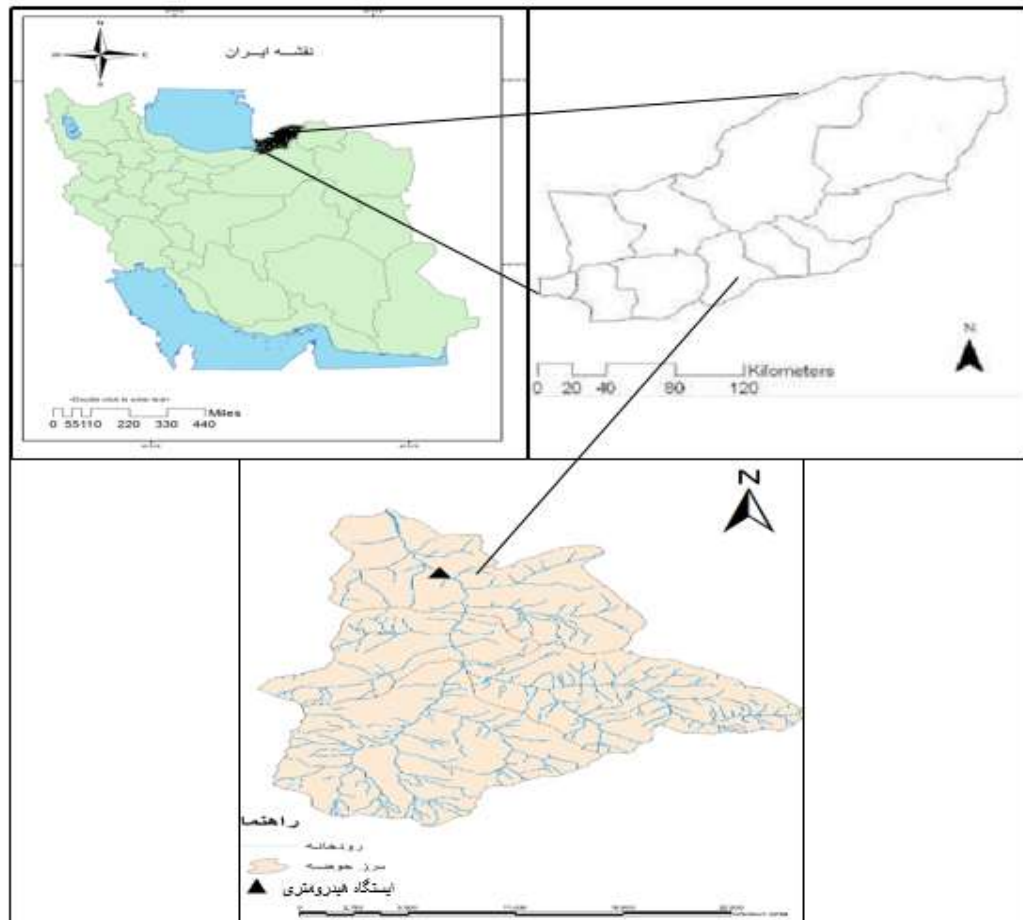
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (4)$$

در فرمول‌های بالا،  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب  $i$  امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه سازی شده توسط مدل،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در جامعه آماری و  $n$  تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس از اطمینان از درستی نتایج و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده‌های مشاهده شده، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ گردید.

1- Mean of Bias Error  
2- Mean of Absolute Error



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه محمدآباد

گردد. نسخه استفاده شده در این تحقیق HBV-light توسعه یافته مدل سیبرت در سال ۲۰۰۲ است. کاربرد این مدل به دلایل زیر است:

- (۱) ساختار ساده ولی انعطاف‌پذیر آن که قابلیت تقسیم‌بندی به ناحیه‌های ارتفاعی و گیاهی را دارد.
- (۲) به اطلاعات زیادی نیاز ندارد و داده‌های ورودی آن در دسترس است.
- (۳) در شرایط آب و هوایی متفاوت، قابلیت استفاده دارد.

مدل شامل روال‌هایی<sup>۲</sup> برای انباشت و ذوب برف، محاسبه رطوبت خاک و تولید رواناب است که در نهایت به کمک تابع وزنی ساده مثلثی، رواناب ایجاد شده را روندیابی می‌کند (سیبرت و ویس، ۲۰۱۲).

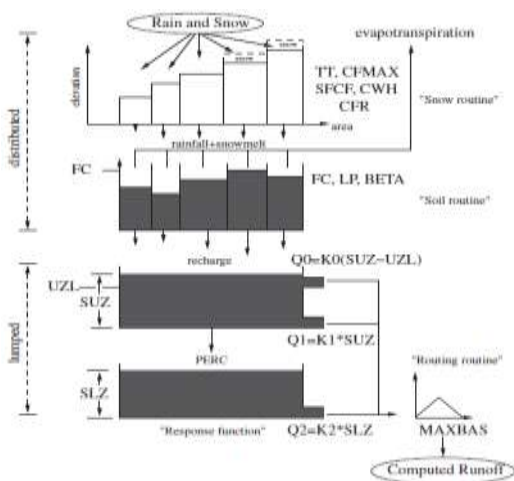
### معرفی مدل HBV-light

مدل HBV-light<sup>۱</sup> در موسسه هواشناسی و هیدرولوژی سوئد در اوایل دهه هفتاد توسعه داده شد (Bergstrom et al., 1976). امکان استفاده از این مدل برای طیف وسیعی از حوضه‌ها با شرایط اقلیمی گوناگون وجود دارد. این مدل برای پیش‌بینی سیلاب در کشور اسکانندیناوی و بسیاری اهداف دیگر مانند طراحی سرریز، شبیه‌سازی سیلاب و ارزیابی منابع آب به کار می‌رود. این مدل یک مدل مفهومی و شامل محاسبات مفهومی برای فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه است. این مدل در حکم مدلی نیمه توزیعی است که می‌تواند با تقسیم حوضه موردنظر به چندین زیر حوضه با توجه به ارتفاع، دریاچه، یخچال‌های طبیعی و پوشش گیاهی به چندین ناحیه تقسیم

خروج از لایه اول با ضریب ذخیره سریع  $K_1$ ، نفوذ به لایه زیرین خاک با نرخ ثابت نفوذ PERC، اگر آستانه UZL (پارامتر آستانه) از حالت ذخیره تجاوز کند مازاد آن با ضریب ذخیره  $K_0$  خارج می‌شود و در نهایت آب از لایه زیرزمینی با ضریب ذخیره آهسته  $K_2$  خارج می‌شود.

$$Q_{(t)} = K_1 SUZ + K_2 SLZ + K_0 MAX(SUZ - UZL) \quad (۸)$$

۴- روال روندیابی: در نهایت از تابع وزنی مثلثی با پارامتر MAXBAS برای روندیابی جریان محاسبه شده در خروجی حوضه استفاده می‌شود (شکل ۲). برای واسنجی مدل HBV-light، الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup> که یک روش واسنجی خودکار است، به کار برده شد.



شکل ۲- ساختار کلی مدل HBV-light (سیبرت ۲۰۰۰)

## نتایج و بحث

تغییر در دما و بارش جزء اولین اثرات تغییر اقلیم در یک منطقه است. سپس این تغییرات در شاخص‌های هیدرولوژی حوضه تأثیرگذار خواهد بود. در این قسمت در ابتدا به بررسی وضعیت دما و بارش مشاهداتی منطقه مورد مطالعه پرداخته و در پایان تأثیر تغییرات دما و بارش منطقه بر رواناب حوضه تحت مدل بارش-رواناب دوره‌ی آبی تعیین می‌شود.

۱- روال برف: انباشت بارش هنگامی که دما کمتر از TT (آستانه دما) باشد به صورت برف خواهد بود (شکل ۲). ذوب برف وقتی شروع می‌شود که دما کمتر از TT باشد و از روش ساده درجه - روز (معادله ۵ و ۶) برای محاسبه آن استفاده می‌شود.

$$\text{Melt} = \text{CFMAX} (T_t - \text{TT}) \quad (۵)$$

$$\text{Melt water} = \text{CFMAX} (T - \text{TT}) \text{ (mm day}^{-1}\text{)} \quad (۶)$$

CFMAX فاکتور درجه - روز، TT آستانه دما،  $T(t)$  میانگین دمای روزانه، CFR ضریب تصحیح انجماد آب ذوب شده برف است.

۲- روال خاک: در این قسمت تغذیه آب زیرزمینی و تبخیر واقعی آب شبیه‌سازی می‌شود (شکل ۲). این قسمت اصلی‌ترین بخش کنترل شکل‌گیری رواناب است و دارای ۳ پارامتر در معادله (۷) است:

$$\frac{\text{Recharge}}{P(t)} = \left( \frac{\text{SM}(t)}{\text{FC}} \right)^{\text{Beta}} \quad (۷)$$

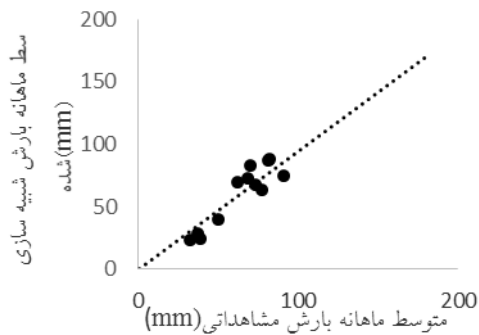
BETA: پارامتری که سهم نسبی در رواناب (تابع عکس‌العمل یا افزایش رطوبت خاک) از هر میلی‌متر بارش یا ذوب برف را کنترل می‌کند. FC: حداکثر ظرفیت ذخیره رطوبت در خاک. LP: پارامتر نشانگر محدوده پتانسیل تبخیر است. LP مقدار رطوبت خاک است که بالاتر از آن تبخیر و تعرق به مقدر پتانسیل می‌رسد. این پارامتر به صورت درصدی از FC است. همچنین  $\text{SM}(t)$  ذخیره واقعی خاک و  $P(t)$  مجموع بارش و برف روزانه است.

۳- تابع عکس‌العمل: در این بخش رواناب محاسبه شده تبدیل به دبی در خروجی زیرحوضه می‌شود. با در نظر گرفتن دو لایه خاک، بارش ورودی با توجه به معادله (۸) در حالت‌های زیر از آن خارج می‌شود:

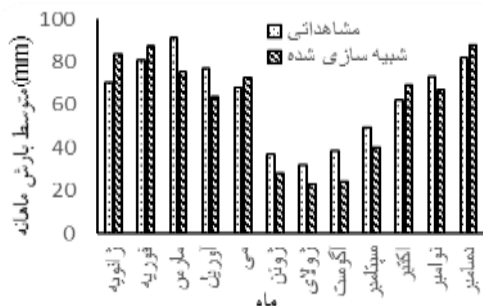
1- Hydrologiska Bryans Vattenavdelning

2- Routine

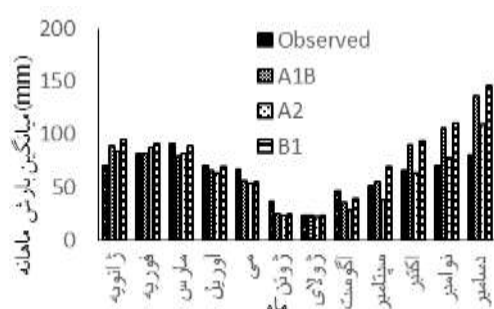
3- Genetic Algorithm



شکل (۳): متوسط ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره آماری (۱۹۸۲-۲۰۱۰) در ایستگاه سرمو



شکل (۴): متوسط بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۰)



شکل (۵): میانگین ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو در دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) و دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۰)

نتایج مدل اقلیمی: 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 ۲۰۱۰-۱۹۸۲ است. جهت ارزیابی تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش و دما در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ از خروجی‌های مدل اقلیمی HadCM3 در مدل تولید داده LARS-WG استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره‌های پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۰) در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان ضریب تبیین برای بارندگی بالا بدست آمده است و از میان شاخص‌های خطاسنجی میانگین انحراف خطا (MBE)<sup>۱</sup> کوچک‌تر بوده و مقدار این متغیرها همیشه بین صفر و ۱ قرار دارد که مقادیر کوچک‌تر آن بیانگر وجود اختلاف‌های کم‌تر (اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در طول دوره آماری) در تولید داده توسط مدل است (جدول ۳). همچنین با توجه به این که اختلاف چندانی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و پیش‌بینی شده در دوره پایه، مشاهده نمی‌شود و مقادیر بیش‌تر حول محور یک به یک متمرکز هستند (شکل ۳)، از این رو، توانایی مدل در شبیه‌سازی مورد تأیید قرار گرفت. در شکل ۴ نمودار مقایسه متوسط بارش‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۲) رسم گردیده، که نتایج نشان از این دارد که بیشترین مقدار افزایش بارش ماهانه شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه و بیشترین مقدار کاهش در ماه مارس می‌باشد.

جدول (۳): ارزیابی مدل در دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۰) با استفاده از آماره‌های واسنجی

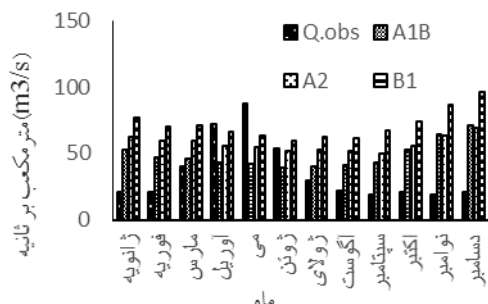
متغیر	MAE	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>
بارندگی	۰/۳۲	۰/۰۹	۰/۳۴	۰/۸۴



بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ به میزان ۱۵۵/۹۱ متر مکعب بر ثانیه در سناریو A1B، ۱۰۵/۴۸ متر مکعب بر ثانیه در A2 و ۱۶۷/۴۵ متر مکعب بر ثانیه در B1 نسبت به دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰ افزایش خواهد یافت (جدول ۴). شکل ۷ تغییرات بلند مدت ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل را در دوره‌ی آبی نسبت به دوره‌ی مشاهداتی نشان می‌دهد. این نتایج با یافته‌های یازرلو و همکاران (۱۳۹۴) که به طور کلی حاکی از افزایش میزان بارش در حوضه مذکور می‌باشد، همخوانی دارد.

جدول(۴): پارامتر آماری سالانه دبی تجت سناریوهای A1B، A2 و B1 در مدل HBV-light

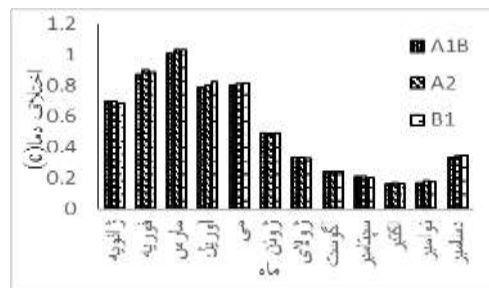
سناریوها و دوره پایه	مجموع متوسط سالانه دبی (متر مکعب بر ثانیه)
A1B	۵۸۳/۵۰
A2	۶۸۸/۹۹
B1	۸۵۶/۴۴
۱۹۸۲-۲۰۱۰	۴۲۷/۵۸



شکل (۷): میانگین درازمدت ماهانه رواناب، طی دوره مشاهده شده و دوره‌های تغییرات اقلیمی سناریوهای A1B، A2 و B1

با افزایش بارش‌های میانگین ماهانه در دوره آینده تحت سه سناریوی اقلیمی در اواخر فصل تابستان و در فصل‌های پاییز و زمستان شاهد تاثیر این تغییرات در رواناب حوضه در این فصل‌ها نیز هستیم که با توجه به نتایج شکل ۷ در فصل‌های پاییز و زمستان و تابستان

نمودار متوسط بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو در دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) و دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۰) در شکل ۵ رسم گردید. براساس نتایج در ماه‌های ژانویه، فوریه، اکتبر، نوامبر، دسامبر و در ماه سپتامبر تحت سناریوهای A1B و B1 شاهد افزایش بارش و در ماه سپتامبر در سناریوی A2 و نیز در سایر ماه‌ها شاهد کاهش بارش نسبت به دوره مشاهداتی خواهیم بود. طبق نمودار، بیشترین افزایش بارش تحت هر سه سناریو در ماه دسامبر و بیشترین کاهش بارش در هر سه سناریو در ماه ژوئیه مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش بارش تحت سناریوی B1 در ماه دسامبر به میزان ۱۴۶/۱۵ میلی-متر و بیشترین مقدار کاهش بارش ماهانه تحت سناریوی A2 در ماه ژوئیه به میزان ۲۱/۷۶ میلی-متر می‌باشد. همچنین در شکل ۶ مشاهده می‌شود که دمای حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ برای سناریوی A1B بین ۰/۱۶ تا ۱/۰۱، برای A2 بین ۰/۱۷ تا ۱/۰۳ و برای B1 بین ۰/۱۶ تا ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یافته است.



شکل (۶): تغییرات دما در دوره‌های (۲۰۱۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه

### پیش‌بینی رواناب در دوره‌های اقلیمی آبی توسط مدل HBV-light:

پس از واسنجی مدل، سری زمانی رواناب ماهانه حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ برای نمونه‌های دما و بارش تولید شده حاصل از مدل LARS-WG برای هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 با استفاده از مدل HBV-light شبیه‌سازی شد. سپس متوسط رواناب ماهانه دراز مدت (۳۰ ساله) در دوره آبی با متوسط رواناب ماهانه دوره مشاهداتی در هر سه سناریو مورد

سناریوی A2 و ۲۰/۶۵ متر مکعب بر ثانیه در سناریوی B1 نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۲ افزایش- خواهد یافت. نتایج بدست آمده از این مطالعه در قسمت بارش با پژوهش مهدی زاده و همکاران (۱۳۹۰)، در حوضه سد گلستان که با استفاده از مدل CGCM3 برای سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تحت دو سناریوی A2 و B1 انجام گرفت و بطور کلی نتایج نشان می‌دهد که بارش میانگین ماهانه در فصل‌های تابستان و بهار کاهش و در فصل‌های زمستان و پاییز افزایش می‌یابد، مطابقت دارد. همچنین براساس پژوهش مهدی زاده، در ایستگاه کریم‌ایشان با اقلیم مرطوب تغییرات در بارش برای سناریوی A2 با شدت بیشتری رخ خواهد داد. اما در این پژوهش که از سه سناریو انتشار استفاده شده است، در ایستگاه سرمو با اقلیم معتدل بیشترین تغییرات بارش تحت سناریو B1 در پاییز و اوایل زمستان و اواخر تابستان مورد انتظار خواهد بود. همچنین پژوهشی که بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور برای دوره 2010-2039 انجام دادند، نشان داد که بررسی نتایج بر روی شمال شرق کشور، بیانگر جابجایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد می‌باشد در صورتی که نتایج اشاره شده در متن (شکل ۵) برای ایستگاه مورد نظر، بارش در فصل پاییز تحت سه سناریو افزایش بیشتری نسبت به ماه‌های سرد دارد و می‌توان گفت بارش از ماه‌های سرد به ماه‌های معتدل (پاییز) جابجایی پیدا کرده است، بطوریکه ماه‌های سرد سال در اولویت بعدی قرار می‌گیرند. در نهایت نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در دوره آینده افزایش بارش-رواناب در اواخر فصل تابستان و در فصل‌های پاییز و زمستان و نیز کاهش در فصل بهار و اوایل تابستان را شاهد خواهیم بود.

شاهد افزایش رواناب و در فصل بهار کاهش رواناب مشاهده می‌شود. بیشترین میزان افزایش رواناب تحت سه سناریو در دوره آینده نسبت به دوره پایه در ماه دسامبر و نیز بیشترین کاهش در هر سه سناریو نسبت به دوره پایه در ماه می اتفاق افتاده است. از طرفی اقلیم منطقه مورد مطالعه معتدل می‌باشد. با افزایش دما در دوره آینده، افزایش بارش و رواناب در ماه‌های سرد سال مشاهده شده است که این می‌تواند ناشی از وجود رطوبت خاک موجود در منطقه مورد نظر باشد.

### نتیجه‌گیری کلی:

در این تحقیق تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه محمدآباد واقع در استان گلستان در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ توسط مدل اقلیمی LARS-WG و سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل گردش عمومی HadCM3 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که دمای حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای هر سه سناریو نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین افزایش میزان بارش ماهانه تحت هر سه سناریو در ماه دسامبر و کاهش میزان بارش ماهانه در ماه ژولای در دو سناریوی A1B و B1 و در سناریوی A2 در ماه آگوست نسبت به دوره مشاهداتی ملاحظه می‌شود که بیشترین افزایش بارش تحت سناریوی B1 در ماه دسامبر به میزان ۰/۸۲ میلی‌متر و بیشترین کاهش بارش ماهانه تحت سناریو A2 در ماه آگوست به میزان ۰/۳۸ می‌باشد. از طرفی بیشترین افزایش رواناب تحت سناریوی B1 در ماه دسامبر به میزان ۲/۵۵ مترمکعب بر ثانیه و بیشترین کاهش رواناب تحت سناریوی A1B در ماه می به میزان ۰/۵۲ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. مجموع متوسط تغییرات رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ به میزان ۱۰/۵۰ مترمکعب بر ثانیه در سناریوی A1B، ۱۳/۸۷ متر مکعب بر ثانیه در

## منابع

- ابریشمچی، ا. ۱۳۸۸. بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر پارامترهای دما و بارش در حوضه‌ی آبریز کرخه، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، ایران.
- بابائیان، ا.، ز. نجفی نیک، ۱۳۸۵. ارزیابی مدل LARS-WG برای مدلسازی پارامترهای هواشناسی در استان خراسان در سال ۱۹۶۱-۲۰۰۳. مجله نیوار. شماره ۶۳: ۳۰-۲۴.
- ثانی خانی، ه.، ی. دین پژوه، س.، پور یوسف، س.، زمانژادقویدل، و ب. صولتی، ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آچی چای در استان آذربایجان شرقی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۶): ۱۲۳۴-۱۲۲۵.
- شریفی، ف. ش. صفارپور، و س. ع. ایوب زاده، ۱۳۸۳. ارزیابی مدل رایانه‌ای AWBM2002 در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوضه‌های آبخیز ایران. پژوهش و سازندگی ۳۶: ۴۲-۳۵.
- ضرغامی، م.، ا.، عبدی، ا.، بابائیان، ی. حسن زاده، و ر. کنانی، ۱۳۹۰. اثرات تغییرات آب و هوایی در آبراهه ها در شرق جمهوری آذربایجان. در مطبوعات ایرانی، جهانی و تغییر سیاره ای، بصورت آنلاین در دسترس در ۳۰ ژوئن ۲۰۱۱. ۳۰-۶.
- گودرزی، م. و م. ج. سلطانی، ۱۳۹۳. پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش دهه ۲۰۲۰. مجله علمی- ترویجی سامانه های سطوح آگیر باران. ۳(۲): ۳۸-۳۱.
- مهدی زاده ص. م. مفتاح هلقی س. سیدقاسمی و مساعدی ا. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان. مجله پژوهش های آب و خاک. ۱۸(۳): ۱۱۷-۱۳۲.
- مساح بوانی، ع. ر. و س. مرید. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود در اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹(۴): ۲۷-۱۷.
- یازرلو ب.، م.، ذاکری نیا، م. عبدالحسینی. ۱۳۹۴. پیش‌بینی بارش‌های سنگین با توجه به تأثیرات تغییر اقلیم قرن ۲۱ در استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد بیست و دوم، شماره سوم، ص ۱۵۰: ۱۳۷.
- یعقوبی، م.، ع. مساح بوانی، ۱۳۹۲. تحلیل حساسیت و مقایسه عملکرد سه مدل مفهومی HBV، IHACRES و HEC- HMS در شبیه‌سازی بارش-رواناب پیوسته در حوضه‌های نیمه خشک (بررسی موردی: حوضه اعظم هرات-یزد). مجله‌ی فیزیک زمین و هوا، ۴۰(۲): ۱۷۲-۱۵۳.

Bergstrom, S., 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments, SMHI Report RHO7, Norrtkoping, 134p.

IPCC. 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, UK. Pp: 1-8.

Masih, I., S., Uhlenbrook, S. Maskey, and M. D., Ahmad, 2010, Regionalization of a conceptual rainfall-runoff model based on similarity of the flow duration curve: a case study from the semi-arid Karkheh basin, Iran, Journal of Hydrology, 391, 188-201.

Parlange, M. B., and R.W. Katz, 2000. An extended version of the Richardson Model for simulating daily weather variables. J. Apply Meteorology, 39: 610-622.

Semenov, M. A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research, 35: 203-212.

Semenov, M. A., and R. J. Brooks. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Climate Research, 10: 95-107.

Seibert, J., 2000, Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using genetic algorithm. Hydrol. Earth Syst. Sci. 4(2), 215-224.

Steele Dunne, S., P., Lynch, R., McGrath, T., Semmler, Sh., Wang, J. Hanafin, and P. Nolan. 2008, "The impacts of climate change on hydrology in Ireland". Journal of Hydrilogy, 356: p. 28-45.

Williams, A.G. 1991. Modeling future climates: From GCMs to statistical downscaling approaches, University of Toronto at Scarborough, 56p.

## Investigating the effect of climate change on river flow using HBV-light rainfall-runoff model ; Case study MohammadAbad watershed, Golestan

F. Niroomandfard<sup>1</sup>, M. Zakerinia<sup>2</sup> and B. Yazarloo<sup>3</sup>

### <sup>1</sup> Abstract

Overland flow is one of the main causes of erosion and decrease of soil fertility, sedimentation in reservoirs and decrease of water quality of rivers. Therefore, accurate prediction of catchment's response to rainfall events is an important issue. Hydrologic models are simplified representation of a real hydrological system which helps us study the catchments reaction towards different inputs and better understand hydrological processes. Besides, the increase of greenhouse gases in future periods, and consequently, the aggravation of changes in climate parameters may have many negative effects on different systems, such as water resources, environment, industry, hygiene, agriculture, and all systems which are interacted with climate system. Considering simultaneous changes of fluctuations and average values of climate variables which influence runoff, will lead to more realistic results. This study aims to consider the effect of climate change on overland flow in Mohammad-Abad Catchment, located in Golestan Province, during 2011-2040 periods. In this study, HBV-light model was calibrated for understudy region. Then, based on the output of HadCM3 model under A1B, A2 and B1 emission scenarios, temperature and precipitation data for 2011-2040 period were downscaled using LARS-WG model and used as input for HBV-light model to simulate surface runoff. The results in addition to verify the efficiency of LARS-WG model, showed that the temperature in the period of 2010-2040, will increase in comparison to the observation period (1982-2010), and also precipitation will increase in some months and will decreased in others in future in comparison to the observed period.

**Keywords:** Climate change, Rainfall-runoff modeling, LARS-WG model, HBV-light model, MohammadAbad catchment.

---

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resource, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 09361713806, Gorgan street Estarabadi-lane 14- apartment Gol narges 2, [faribaniroumandfard@gmail.com](mailto:faribaniroumandfard@gmail.com)

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Resource, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 09111773265, [a\\_zakerinia@yahoo.com](mailto:a_zakerinia@yahoo.com) (main author)

<sup>3</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resource, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 09390937377, Gorgan street Shahidbeheshti-lane 7- apartment Ferdoss, [yazarloobehnaz@yahoo.com](mailto:yazarloobehnaz@yahoo.com)