



اثر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف حوضه آبریز رودخانه گاماسیاب

سعید جهانبخش اصل^۱، محمد حسین عالی نژاد^{۲*}، وحید سهرابی^۳

۱- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- فارغ التحصیل دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸

چکیده

تأمین بخش عمده‌ای از آب مناطق کوهستانی از طریق رواناب ذوب برف صورت می‌گیرد. بنابراین ارزیابی دقیق آب ناشی از ذوب برف و همچنین اثرات تغییرات آب و هوایی بر روی آن، در مدیریت منابع آب امری ضروری است. در این پژوهش، رواناب ذوب برف در حوضه گاماسیاب تحت شرایط تغییر اقلیم، بررسی شد. برای این منظور، رواناب ناشی از ذوب برف با بدست آوردن سطح پوشش برف در دو سال آبی ۹۷-۹۵ از تصاویر روزانه ماهواره ترا-مودیس در سامانه گوگل ارث انجین و وارد کردن داده‌ها و پارامترهای لازم به مدل SRM، شبیه‌سازی شد. در مرحله بعد با توجه به نزدیکی و طول دوره‌ی آماری مناسب از داده‌های ایستگاه همدید کرمانشاه در مدل‌ها و سناریوهای گردش عمومی جو از سری CMIP5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. ریزمقیاس‌نمایی این مدل‌ها توسط مدل آماری LARS-WG انجام شد. با بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها، برای تولید پارامتر دما از مدل HADGEM-2 تحت سناریوی RCP4.5 و برای تولید پارامتر بارش از همان مدل تحت سناریوی PRC 8.5 استفاده شد. در مرحله نهایی برای برآورد میزان تغییر رواناب ناشی از ذوب برف در دوره آتی میزان تغییرات داده‌های دما و بارش ماهانه نسبت به دوره پایه، به مدل SRM وارد شد. نتایج نشان داد که رواناب ناشی از ذوب برف علی‌الخصوص در فصل بهار کاهش می‌یابد. همچنین با وجود کاهش بارش دبی اوج اردیبهشت‌ماه با همان شدت تکرار می‌شود که علت آن می‌تواند ذوب ذوب هنگام برف بر اثر افزایش دما باشد.

کلمات کلیدی: برف، تغییر اقلیم، سنجش از دور، SRM، گاماسیاب، همدان.

۱- مقدمه

برف به عنوان یکی از انواع حالت‌های بارش، به دلیل وجود تأخیر در تبدیل آن به رواناب، تفاوت خاصی با منابع دیگر تامین آب دارد. از طرفی تغییرات پارامترهای دما و بارش بر بیلان آب و انرژی آن حوضه اثر می‌گذارد. بنابراین، برف و آب معادل آن عامل مهمی در تغییرات آب و هوایی یک منطقه محسوب می‌شود. برآورد و ارزیابی صحیح از ذوب برف و آب معادل آن در کشاورزی، پیش‌بینی سیلاب و مدیریت مخازن یک منطقه بسیار حائز اهمیت است. قسمت عمده غرب کشور در ناحیه کوهستانی قرار دارد و عمده بارش‌ها در فصل زمستان در این منطقه به صورت برف می‌باشد. رواناب ناشی از ذوب برف نقش مهمی در تغذیه رودخانه‌های این منطقه و سهم قابل توجهی در توسعه کشاورزی و اقتصادی منطقه دارد. مطالعات علمی نشان داده است که پدیده تغییر اقلیم آثار قابل توجهی بر بارش، تبخیر و تعرق، رواناب و در نهایت بر تأمین آب دارد. تغییرات اقلیم، بزرگی، فراوانی و خسارت ناشی از وقایع فرین آب و هوایی، هزینه‌های دسترسی به آب در برابر افزایش تقاضا را افزایش می‌دهد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۲۰۱۴: ۴۹). بنابراین، ارزیابی رواناب ناشی از ذوب برف و تأثیر تغییر اقلیم بر روی آن برای مدیریت منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. تخمین دقیق رواناب حوضه‌های آبی در مناطقی که بارش عمده آن به صورت برف می‌باشد، به یک طرحواره مناسب برای ارزیابی صحیح رواناب ناشی از ذوب برف که جزئی از سیستم مدل‌سازی است، دارد (بیلز و کلاین، ۲۰۰۳: ۴۴۹). مدل هیدرولوژیکی SRM^۱ اولین بار در سال ۱۹۷۵ جهت شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی به کار گرفته شد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۶). مالچر و هدیگر^۴ (۲۰۰۱) مساحت پوشش برفی زیرحوضه‌های کوهستانی حوضه اترال واقع شده در شرق کشور اتریش را با استفاده از تحلیل تصاویر سنجنده مودیس تخمین زدند، آنها همچنین با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف حوضه‌های مورد مطالعه را شبیه‌سازی کردند. از قابلیت‌های مدل SRM مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر روی رواناب ذوب برف است (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۱۵). یانگ گنگ^۵ و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی اثر تغییرات آب و هوا را بر رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه کایدو واقع شده در شمال غربی کشور چین را مطالعه نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که رواناب در فصل بهار افزایش و در فصل تابستان به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. عدنان^۶ و همکاران (۲۰۱۷)، مطالعه‌ای با هدف برآورد تغییر اقلیم بر روی رواناب ذوب برف حوضه آبریز رودخانه گیلگیت از حوضه‌های هیمالیا انجام دادند. نتایج این مطالعه

1- Bales and Cline

2- Snowmelt Runoff Model

3- Rango and Martinec

4- Malcher and Heidinger

5- Yonggang

6- Adnan

ضمن قابل قبول بودن شبیه‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM در دوره‌ی پایه حکایت از افزایش ۳۵ الی ۴۰ درصدی رواناب ذوب برف بر اثر افزایش میانگین دمای سالانه تا سه درجه سانتیگراد در اواخر قرن ۲۱ را دارد. شارما^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، با بهره‌گیری از داده‌های بارش پایگاه ECMWF^۲ و داده‌های پوشش برف سنجنده مودیس، رواناب ذوب برف حوضه هیمالیا را با نرم‌افزار SRM شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از ضریب تبیین بالای ۰/۸۸ و همچنین کاهش سطح پوشش برف به مرور زمان در حوضه‌ی مورد مطالعه را داشت. تاپا^۳ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی و با استفاده از تصاویر روزانه مودیس و مدل SRM تأثیر تغییر اقلیم بر روی رواناب برف در حوضه لانگ تنگ هیمالیا را بررسی نمودند. نتایج حاکی از افزایش ۴/۹۸ درجه سانتی‌گراد دما، افزایش میانگین سالانه‌ی بارش بعثت افزایش باران‌های موسمی و کاهش بارش‌های زمستانه و رواناب برف تا اواخر قرن بود. نجف‌زاده و همکاران (۲۰۰۵)، ارزیابی مساحت پوشش برفی در زیرحوضه‌ی پلاسجان (از زیرحوضه‌های زاینده‌رود) را با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نووا در سال‌های زراعی ۷۲-۱۳۷۰ بدست آوردند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل SRM، دبی جریان روزانه را با ضریب تبیین ۰/۹۵ شبیه‌سازی کرد. قربانی‌زاده و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل ذوب برف SRM و همچنین مدل جهانی تغییر اقلیم ECHAM4 به پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف برای نیم قرن آینده (شامل دو دوره‌ی ۲۵ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰) در حوضه‌ای در کارون پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که زمان بیشینه‌ی جریان از بهار به زمستان انتقال خواهد یافت. تیرگر فخری و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب ذوب برف زیرحوضه ارمند را شبیه‌سازی کردند. نتایج این پژوهش که از خروجی سه مدل گردش عمومی جو و شبیه‌سازی رواناب ذوب برف آن بوسیله‌ی مدل SRM شبیه‌سازی انجام شد، حاکی از کاهش ۱۲ درصدی رواناب در دوره‌ی آتی بود. جهانبخش اصل و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای بر روی تغییر اقلیم حوضه شهرچای ارومیه نشان دادند که بر هم خوردن توزیع زمانی بارش و افزایش دما می‌تواند تبعات منفی بیشتری از کاهش بارش داشته باشد. نتایج مطالعه ساری صراف و جلالی عنصرودی (۲۰۱۹)، در بررسی تأثیر اقلیم بر موازنه آبی آبخوان تسوج حاکی از این بود که در دوره‌ی آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۷) به دلیل افزایش دما مقدار قابل توجهی از بارش صرف تبخیر و تفرق خواهد شد. عالی‌نژاد و جهانبخش اصل (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ی رواناب ناشی از ذوب برف حوضه‌ی گاماسیاب را با مدل SRM

1- Sharma

2- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

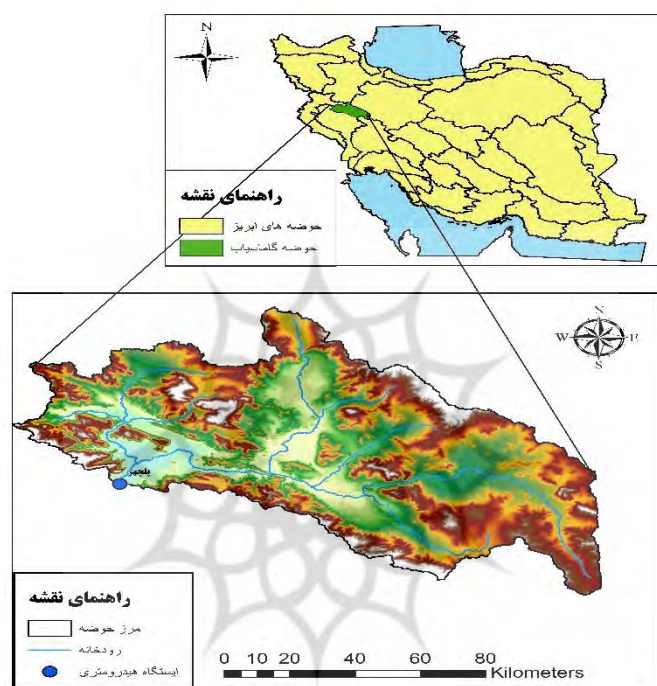
3- Thapa

شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که، سهم جریان رودخانه از ذوب برف در ماه‌های اسفند و فروردین‌ماه چشمگیر است، ولی با افزایش درجه‌حرارت هوا در اردیبهشت‌ماه، سهم باران در جریان پررنگ‌تر می‌شود.

رودخانه‌ی گاماسیاب یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه‌ی سیمره است که از ارتفاعات گرین واقع در جنوب شرقی نهاوند در غرب همدان سرچشمه گرفته و بسوی شرق کرمانشاه حرکت می‌کند و سرشاخه‌های بیشتری در طی مسیر به این رودخانه می‌پیوندد و عمده جریان آن خصوصاً در فصل بهار ناشی از ذوب برف انباشته شده در ارتفاعات می‌باشد. آب این رودخانه دشت‌های استان‌های کرمانشاه، ایلام و خوزستان را مشروب می‌کند و نقش مهمی در تغذیه‌ی سد مخزنی سیمره واقع شده در پایین دست آن را دارد. بررسی رفتار هیدرولوژیکی برف در این منطقه می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های مربوط به کشاورزی، مدیریت مخزن و مدیریت بحران داشته باشد. برای ضرورت این امر می‌توان به سیل ویرانگر فروردین ۹۸ در لرستان و خوزستان اشاره کرد که به گواه اکثر صاحب‌نظران بیشتر رواناب جاری شده در سیل، ناشی از ذوب برف حوضه‌های کوهستانی از جمله حوضه‌ی گاماسیاب بود. هدف این مطالعه، شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل SRM در این حوضه است.

۲- مواد و روش

حوضه‌ی آبریز گاماسیاب در بخش شمال شرقی حوضه‌ی آبریز کرخه واقع شده است که از سراب سنگ سوراخ و چشمه‌سارهای اطراف نهاوند سرچشمه می‌گیرد (زارع‌زاده مهریزی و همکاران، ۲۰۱۷). در مسیر رودخانه‌ی گاماسیاب رشته‌های فرعی مختلفی به آن ملحق می‌شود در جنوب بیستون، شاخه‌ی فرعی رودخانه‌ی دینور به آن پیوسته و به نام گاماسیاب ادامه مسیر می‌دهد و در نزدیکی فرامان به رودخانه‌ی قره‌سو متصل شده و بعد از آن به نام سیمره وارد خاک لرستان می‌شود. حوضه‌ی آبریز آن با مساحتی در حدود ۱۱۰۴۰ کیلومترمربع بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا در این حوضه بین ۱۲۷۵ تا ۳۶۸۰ متر می‌باشد. شکل ۱ حوضه‌ی آبریز گاماسیاب را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت حوضه‌ی گاماسیاب در میان حوضه‌های آبریز کشور
Fig. (1): The Location of Gamasiab basin among the country's catchments

در این مطالعه داده‌های پوشش برف مورد نیاز شبیه‌سازی، از تصاویر روزانه سنجنده مودیس استخراج شد. بدین‌منظور نخست با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده از سنجنده مودیس در نرم‌افزار گوگل ارث انجین سطح پوشش برف در حوضه‌ی گاماسیاب در سال‌های آبی ۹۷-۱۳۹۵ بدست آمد. تمامی تصحیحات هندسی و فرایند واسنجی شدن تصاویر در نرم‌افزار مذکور با دقت بالایی صورت می‌گیرد. در مرحله‌ی بعد برای محاسبه‌ی تغییرات دما و بارش در دوره‌ی آتی از خروجی مدل‌ها و سناریوهای گردش عمومی جو استفاده شد. این مدل‌ها از سری CMIP5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 و با مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند. سپس برای بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها، از طریق مقایسه خروجی مدل‌ها در دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، با دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰)، به‌صورت ماهیانه توسط شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، بهترین مدل و سناریو برای تولید داده‌های دما و بارش دوره‌ی آتی

انتخاب شد و این ارقام به عنوان ورودی به مدل SRM وارد شد. همچنین از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های همدید منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های دبی روزانه‌ی رودخانه در ایستگاه آبسنجی پلچهر (واقع در خروجی حوضه‌ی گاماسیاب) در دوره آماری آبان ماه سال ۹۵ الی خرداد ماه سال ۹۷ استفاده شد. لازم به ذکر است که برنامه‌ی SRM داده‌های ورودی را برای هر منطقه ارتفاعی از یک ایستگاه دریافت می‌کند و این ورودی باید ترکیب صحیحی از ایستگاه‌های موجود در منطقه باشد در این مطالعه نیز از ایستگاه‌های بارانسنجی منطقه برای مقایسه و اصلاح برخی داده‌ها استفاده شد، با این وجود به دلیل مبنا قرار دادن ایستگاه‌های همدید با دقت بیشتر از ذکر ایستگاه‌های بارانسنجی اجتناب شده است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table (1): Geographical characteristics of the studied stations

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع (متر)
		دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	
نهاد	همدید	۱۱	۳۴	۲۲	۴۸	۱۶۷۰
کرمانشاه	همدید	۱۹	۳۴	۰۵	۴۷	۱۳۴۰
ملایر	همدید	۱۸	۳۴	۴۹	۴۸	۱۷۶۰
کنگاور	همدید	۳۰	۳۴	۵۷	۴۷	۱۵۲۰
سنقر	همدید	۴۶	۳۴	۳۵	۴۷	۱۶۹۰
پلچهر	آبسنجی	۴۲	۳۷	۶۲	۴۴	۱۵۹۱

در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف از پارامترهای هواشناسی و داده‌های مربوط به مساحت پوشش برفی که از تحلیل تصاویر سنجنده مودیس به دست آمد، به عنوان ورودی مدل SRM استفاده شد.

در مرحله‌ی نخست و با استفاده از نقشه‌ی DEM در نرم‌افزار ArcGIS و افزونه Hec-GeoHMS مشخصات فیزیوگرافی حوضه شامل نقشه‌ی آبراهه‌ها، مرز حوضه، مساحت و مناطق ارتفاعی بدست آمد. در مرحله‌ی بعد مساحت پوشش برفی از تجزیه و تحلیل تصاویر سنجنده مودیس در مقیاس روزانه توسط سامانه‌ی گوگل ارث انجین استخراج شد.

بطوری که اشاره شد شبیه‌سازی جریان ناشی از ذوب برف در حوضه‌ی مورد مطالعه با استفاده از مدل SRM انجام شد. در این مدل، رواناب حاصل از بارش باران و ذوب برف در مدل مذکور در مقیاس روزانه حساب و

مقدار آن به دبی پایه رودخانه اضافه شد. رواناب روزانه بر مبنای معادله‌ی زیر محاسبه شد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۸).

$$Q_{n+1} = [C_{Sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + C_{Rn} P_n] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - K_{n+1}) + Q_n K_{n+1} \quad (1)$$

Q: جریان روزانه (3. s-1)، Cs: ضریب رواناب برف، a: فاکتور درجه روز (1 d-1 °C)، T: دمای هوا در ایستگاه منتخب (°C)، ΔT: افت و خیز حرارتی در مناطق ارتفاعی، S: نسبت سطح پوشش برف به سطح کل حوضه (درصد)، CR: ضریب رواناب باران، P: بارش برف و باران (cm)، A: مساحت حوضه (km²), $\frac{10000}{86400}$: ضریب تبدیل واحد 1 d-1 km².cm به m³/s، K: ضریب فروکش جریان، n: شماره‌ی روز در یک دوره‌ی محاسباتی. پارامترهای ذکر شده در رابطه فوق را می‌توان از طریق اندازه‌گیری یا با استفاده از نظرات کارشناسی در رابطه با مشخصات فیزیوگرافی حوضه، روابط فیزیکی، تجربی و روابط همبستگی بدست آورد (مک کوئین، ۱۹۹۸: ۵۴۸).

۲-۱- مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG

راسکو^۱ و همکاران (۱۹۹۱) و سیمنوف و بارو^۲ (۱۹۹۷) مدل LARS-WG که یک مدل برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو است، را ارائه نمودند. LARS-WG از سری مدل‌های تصادفی وضع هواست که با استفاده از مولد داده‌های تصادفی پارامترهای بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه در شرایط آب و هوای دوره‌ی پایه و آتی را تولید می‌کند (بابائیان و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۸).

از مدل مذکور برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و تولید داده‌های بارش و دمای حوضه گاماسیاب در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) استفاده شده است. این مدل در منابع بابائیان و کوان (۲۰۰۴) و همچنین سمنوف و همکاران (۱۹۹۸) بطور کامل تشریح شده است.

مدل‌های گردش عمومی جو که در سری CMIP5 استفاده می‌شوند در مقایسه با سری CMIP3 از دقت مکانی مطلوب‌تری برخوردار هستند (مرنگو و همکاران، ۲۰۱۴، ۱۳۸). به همین منظور در این مطالعه ۵ مدل گردش عمومی جو که در گزارش پنجم استفاده شده و توانایی مناسبی در ارزیابی پارامترهای دما و بارش را دارند انتخاب و ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌ها توسط مدل LARS-WG انجام شد (سمنوف و همکاران، ۲۰۱۳: ۲) و چون در این مطالعه از تأثیر منابع عدم قطعیت شده است لذا ابتدا از میان مدل‌ها تعداد پنج مورد انتخاب شد.

1- Racsco

2- Semenov and Barrow

جدول (۲): مشخصات مدل‌های به کاررفته در این مطالعه (سمنوف و استراتونوویچ، ۲۰۱۵: ۱۲۷)

Table (2): Specifications of the models used in this study (Semenov and Stratonovitch, 2015: 127)

ردیف	نام مدل	کشور سازنده	اندازه باخته (درجه)	منبع
۱	EC-EARTH	اروپا	۱/۱۲۵*۱/۱۲۵	Hazelger et al.(2012)
۲	GFDL-CM3	آمریکا	۲/۵*۲/۷۵	Taylor et al. 2011
۳	HADGEM2-ES	انگلستان	۱/۸۸*۱/۲۵	Collins et al. (2011)
۴	MIROC5	ژاپن	۲/۷۷*۲/۸۱	Watanabe et al. (2011)
۵	MPI-ESM-MR	آلمان	۱/۸۵*۱/۸۸	Brovkin et al. (2013)

ابتدا داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی، برای انتخاب بهترین مدل GCM از مدل‌های ذکر شده، در مقیاس روزانه در دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) به مدل وارد شد و برای ۵ مدل مذکور و در شرایط دو سناریوی RCP45 و RCP85 برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ داده تولید شد. داده‌های تولید شده در ۱۰۰ سری تصادفی تولید شد و میانگین پارامترهای مورد نیاز (دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی) در مقیاس ماهانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به دست آمد. جهت بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه‌ی نتایج، از شاخص‌های خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE^1$) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. روابط زیر نحوه‌ی محاسبه این معیارها را نشان دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (P_i - Q_i)^2}{n}} \quad (2)$$

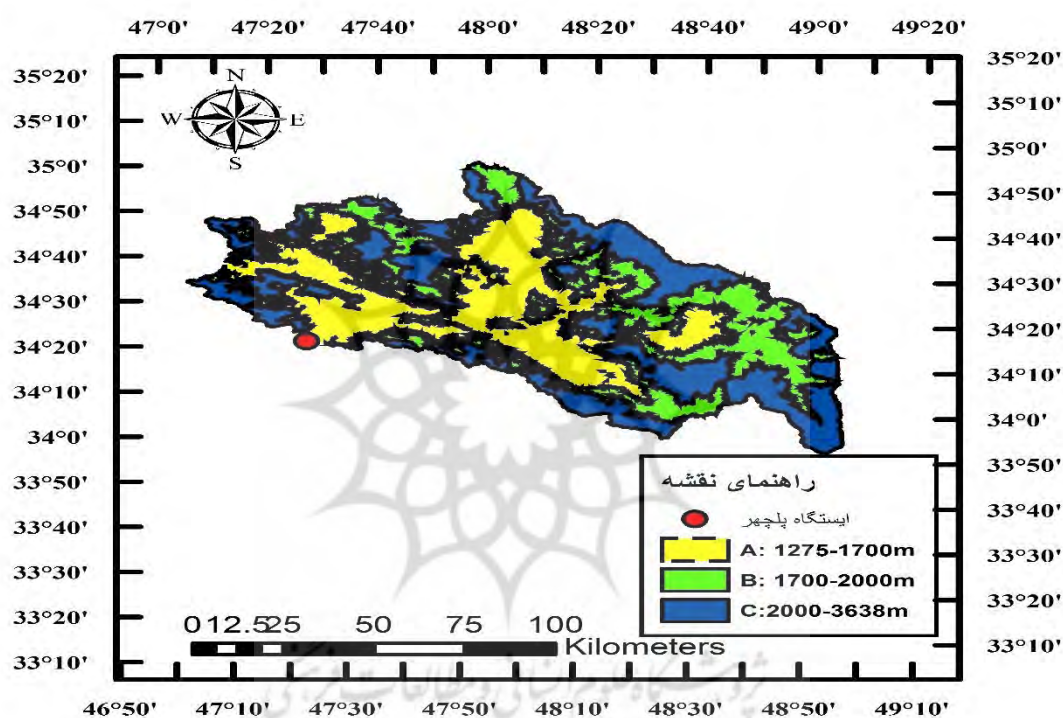
$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_i^n (P_i - \bar{P}_1)(Q_i - \bar{Q}_1)}{\sigma_{P_i} * \sigma_{Q_i}} \right]^2 \quad (3)$$

که در این معادله P_i : داده‌های دوره مشاهداتی، \bar{P}_1 : میانگین داده‌های دوره‌ی مشاهداتی، O_i : داده‌های محاسباتی، \bar{Q}_1 : میانگین داده‌های محاسباتی n : تعداد داده‌ها و σ : انحراف معیار داده‌ها است.

۳- یافته‌ها و بحث

نقشه‌ی جهت جریان، تراکم جریان و آبراهه‌ها با استفاده از نقشه‌ی DEM حوضه ترسیم شد سپس ایستگاه آبسنجی پلچهر واقع در خروجی حوضه به عنوان نقطه‌ی خروجی تعیین شد. با توجه به مشخصات فیزیکی حوضه و فاصله‌ی پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوضه‌ی مناطق ارتفاعی به سه قسمت تقسیم شد. شکل ۲ نقشه‌ی

مناطق ارتفاعی را نشان می‌دهد و در جدول ۳ نتایج محاسبات هیپسومتریک در حوضه‌ی گاماسیاب ارائه شده است.



شکل (۲): نقشه‌ی مناطق ارتفاعی حوضه‌ی گاماسیاب
Fig (2): Map of highlands of Gamasiab basin

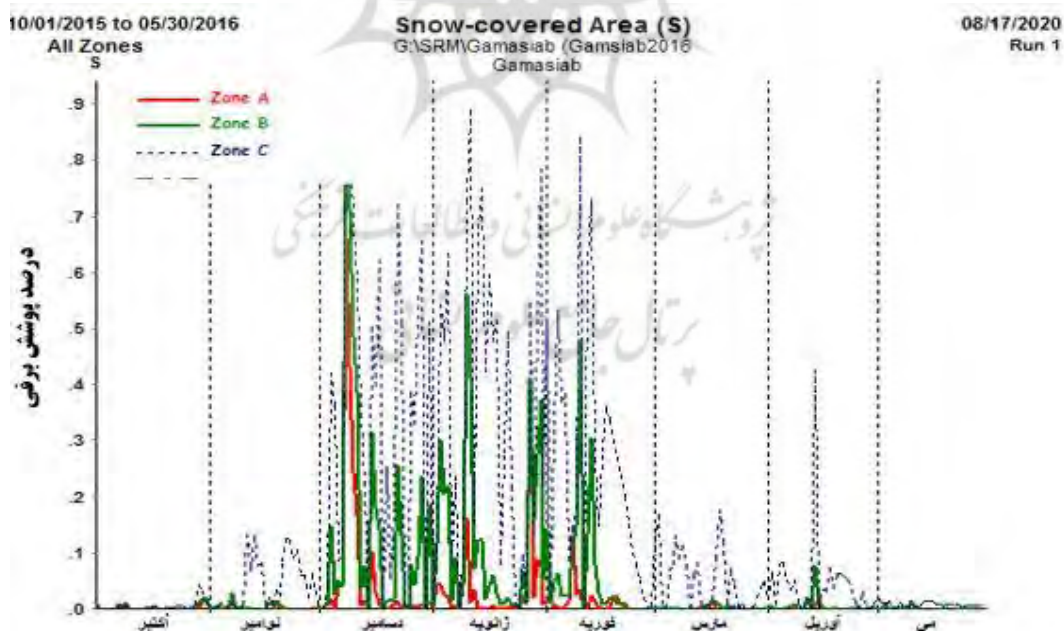
جدول (۳): نتایج محاسبات هیپسومتریک در حوضه‌ی گاماسیاب.

Table (3): Results of hypsometric calculations in Gamasiab basin

طبقة ارتفاعی (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت (درصد)	ارتفاع متوسط (متر)
۱۲۷۵-۱۷۰۰	۳۴۷۵	۳۳/۴۱	۱۴۹۰
۱۷۰۰-۲۰۰۰	۳۴۴۳	۳۳/۱۰	۱۸۵۰
۲۰۰۰-۳۶۳۸	۳۴۵۳	۳۳/۱۹	۲۸۰۰
جمع	۱۰۴۰۱	۱۰۰	۲۵۳۰

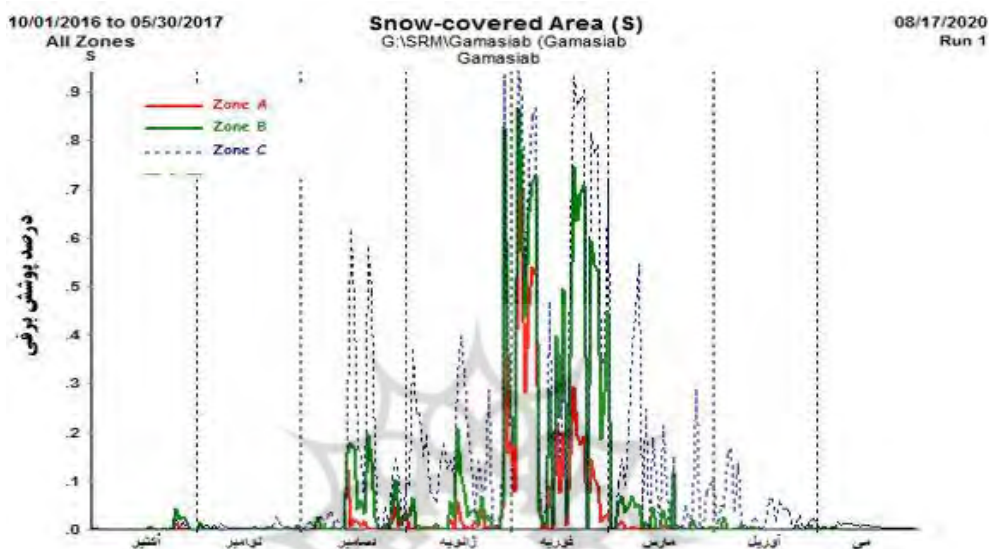
شکل ۳، منحنی پوشش برف در طول اکتبر ۲۰۱۴ الی می ۲۰۱۵ (سال آبی ۹۵-۹۶ ماه‌های آبان تا خرداد) در دوره‌ی واسنجی مدل را نشان می‌دهد. در این شکل درصد پوشش برف در سه منطقه‌ی ارتفاعی (شکل ۲) با

رنگ‌های مختلف نمایش داده شده‌اند. این داده‌ها به صورت روزانه و با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در سامانه گوگل ارث انجین تهیه شده‌اند. همانطور که از این شکل می‌توان فهمید درصد پوشش برف با ارتفاع نسبت مستقیم دارد و در منطقه‌ی سوم ارتفاعی (۳۶۲۸-۲۰۰۰) بعلا ارتفاع بالاتر درصد پوشش برف بیشتر و همچنین تعداد روزهای برفی بیشتری مشاهده می‌شود و این در صورتی است که در منطقه‌ی ارتفاعی اول (۱۷۰۰-۱۲۷۵) که بیشترین مساحت حوضه را نیز در بر گرفته است کمترین درصد پوشش برفی را شامل می‌شود. بیشترین پوشش برف در تمامی مناطق ارتفاعی مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه می‌باشد و می‌توان گفت در حوضه‌ی گاماسیاب از ماه سپتامبر تا ماه آوریل درصد قابل توجهی از مساحت حوضه شامل پوشش برفی می‌باشد. شکل ۴ نیز درصد پوشش برفی حوضه‌ی گاماسیاب در مناطق ارتفاعی سه‌گانه را برای سال آبی ۹۶-۹۷ (دوره‌ی اعتبارسنجی مدل) نشان می‌دهد. از مقایسه‌ی شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت که سال آبی ۹۶-۹۷ دارای پوشش برفی بیشتری بوده است و زمان پوشش برفی منطقه نیز از سال قبل طولانی‌تر بوده است که از بارش بیشتر و دمای کمتر در این سال نتیجه می‌شود.



شکل (۳): منحنی پوشش برف در مناطق ارتفاعی حوضه‌ی گاماسیاب سال آبی ۹۵-۹۶

Figure (3): Snow cover curve in the highlands of Gamasiab basin, water year 2015-16



شکل (۴): منحنی پوشش برف در مناطق ارتفاعی حوضه گاماسیاب سال آبی ۹۶-۹۷

Fig (4): Snow cover curve in the highland areas of Gamasiab basin, water year 2016-17

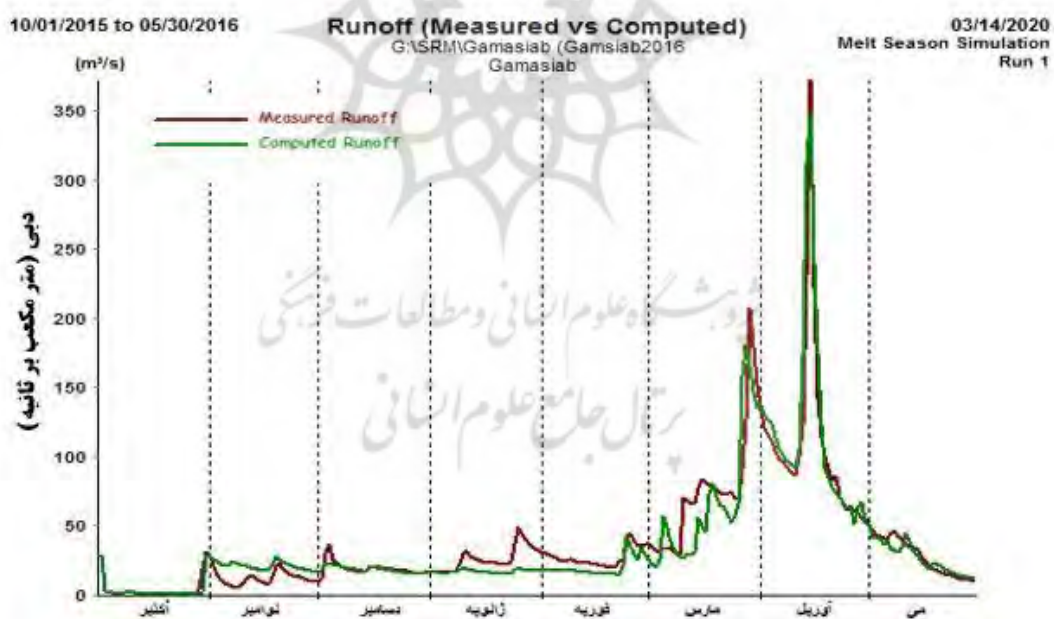
مدل SRM بر پایه درجه - روز استوار می‌باشد و نسبت به این فاکتور حساس است، همچنین ضریب فروکش جریان در این مدل از موثرترین پارامترها برای اجرای مدل می‌باشد که باید به دقت مورد واسنجی قرار گیرد. برای هماهنگ کردن رواناب مشاهداتی و محاسباتی لازم است تمامی پارامترهای لازم در ورودی مدل به دقت تعیین گردند. جدول ۴ پارامترهای مورد نیاز مدل SRM را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول مشهود است این پارامترها در طول زمان ثابت نیستند و بنا به شرایط حوضه تغییر می‌کنند.

جدول (۴): مقدار شاخص‌های استفاده‌شده در مدل SRM در این مطالعه.

Table (4): The amount of indicators used in the SRM model in this study

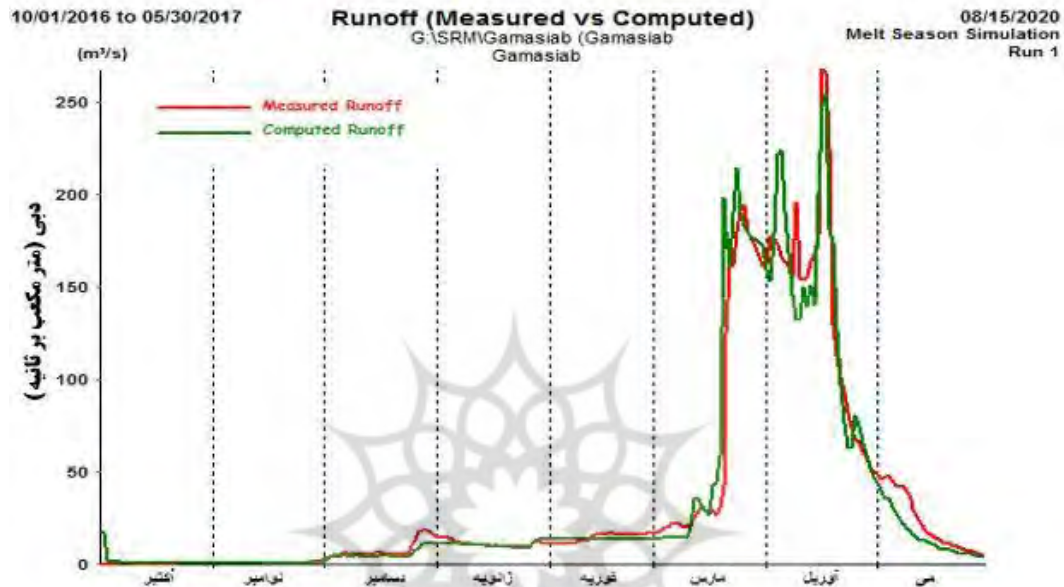
عامل درجه روز ($\text{cm. } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ d}^{-1}$)	ضریب رواناب برف	ضریب رواناب باران	درجه حرارت بحرانی ($^\circ\text{C}$)	ضریب فروکش (K) Y و X	ماه
۰/۳-۰/۳۵	۰/۴-۰/۴۵	۰/۵-۰/۵۲	.	۰/۸۸ و ۱/۲	ژانویه
۰/۳۵-۰/۴	۰/۴۵-۰/۵	۰/۵۲-۰/۵۸	.	۰/۸ و ۱/۴	فوریه
۰/۴۲-۰/۵	۰/۵-۰/۵۲	۰/۶-۰/۶۳	.	۰/۵ و ۱/۱	مارس
۰/۵۲-۰/۶۵	۰/۵۵-۰/۶	۰/۶۴-۰/۶۸	.	۰/۴ و ۱/۰۴	آوریل
۰/۷-۰/۷۵	۰/۶-۰/۶۶	۰/۶۸-۰/۷۲	.	۰/۶ و ۱/۰۱	مه
۰/۷۵-۰/۸	۰/۶۸-۰/۷	۰/۷۴-۰/۸	.	۰/۵ و ۱/۵	ژوئن

شکل‌های ۵ و ۶، شبیه‌سازی رواناب ذوب برف حوضه گاماسیاب در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی را با مدل SRM در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. با نگاهی به این شکل‌ها می‌توان دریافت که مدل شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف را با دقت بالایی اجرا کرده است، بیشترین مقدار ذوب برف در فروردین‌ماه و اوایل اردیبهشت‌ماه رخ داده است. جدول ۵، نتایج ارزیابی مدل SRM را در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌ی گاماسیاب (در محل ایستگاه آبرسانی پلچهر) نشان می‌دهد، با نگاه به این جدول می‌توان دریافت که مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف قابلیت مطلوبی را از خود نشان داده است، طوری که ضریب تعیین (R^2) برای سال‌های آبی ۹۵ الی ۹۶ به ترتیب معادل ۰/۹۳ و ۰/۹ و درصد خطای حجمی آن نیز به ترتیب (DV) ۰/۳ و ۳/۳۳ به دست آمد.



شکل (۵): شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در دوره آماری آبان‌ماه ۹۵ تا خردادماه ۹۶ در حوضه‌ی گاماسیاب

Fig. (5): Simulation of runoff due to snowmelt in the statistical period of November 2015 to June 2016 in Gamasiab basin



شکل (۶): شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در دوره آماری آبان‌ماه ۹۶ تا خردادماه ۹۷ در حوضه گاماسیاب.

Fig. (6): Simulation of runoff due to snowmelt in the statistical period of November 2016 to June 2017 in Gamasiab basin

جدول (۵): نتایج شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه گاماسیاب با مدل SRM.

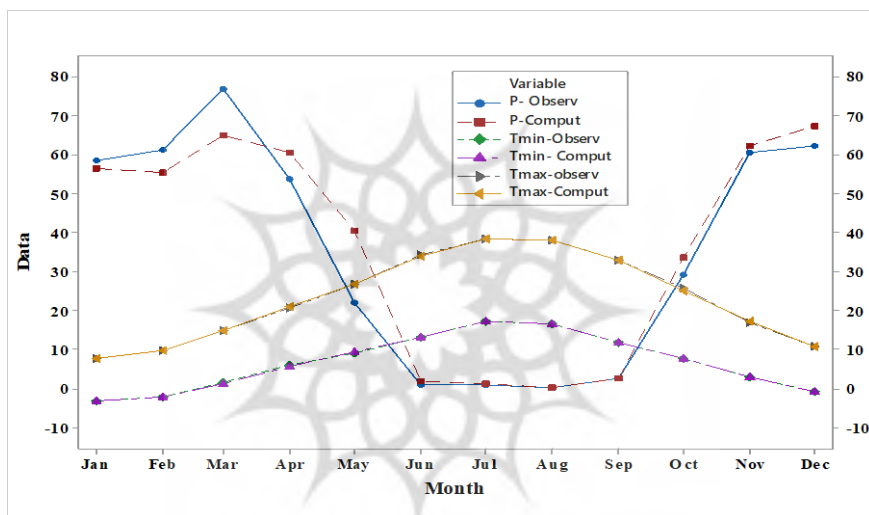
Table (5): Results of simulation of runoff due to snowmelt in Gamasiab basin with SRM model

واحد	مقدار ۹۶-۹۷	مقدار ۹۵-۹۶	شاخص یا معیار ارزیابی
میلیون متر مکعب	۷۱۹/۶۶۵	۷۸۷/۴۴۱	حجم رواناب مشاهده‌ای
میلیون متر مکعب	۷۱۷/۲۵۱	۷۶۲/۸۱۹	حجم رواناب محاسباتی
متر مکعب بر ثانیه	۳۴/۴۱۹	۳۷/۵۰۶	میانگین دبی مشاهده‌ای
متر مکعب بر ثانیه	۳۴/۳۰۴	۳۶/۳۳۳	میانگین دبی محاسباتی
درصد	۰/۳۳۵۵	۳/۱۲۶۹	درصد خطای حجمی (Dv)
بی‌بعد	۹۳	۹۰	ضریب تعیین دبی مشاهده‌ای و محاسباتی (R^2)

۳-۱- اعتبارسنجی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه همدید کرمانشاه

به منظور حصول نتایج دقیق‌تر در تولید داده‌های دما و بارش در دوره‌ی آتی نیازمند دوره‌ی آماری طولانی مدت می‌باشد به همین منظور در منطقه مورد مطالعه با توجه به نزدیکی، ایستگاه همدید کرمانشاه انتخاب شد. جهت ارزیابی توانایی مدل در تولید پارامترها در دوره آتی باید پارامترهای محاسباتی توسط مدل و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های مورد مطالعه با هم مقایسه شوند. شکل ۷ نتایج مقایسه داده‌های محاسباتی و مشاهده‌ای دمای

کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش را در ایستگاه همدید کرمانشاه برای دوره پایه نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل می‌توان دریافت، توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی پارامترهای ذکر شده در این ایستگاه در حد مطلوبی می‌باشد. همچنین توانمندی مدل در شبیه‌سازی پارامتر بارش بسیار خوب و قابل قبول می‌باشد، با این وجود بیشترین خطای مدل‌سازی مربوط به بارش ماه مارس است.



شکل (۷): مقایسه‌ی داده‌های مشاهداتی (O) و محاسباتی (G) در ایستگاه همدید کرمانشاه در دوره‌ی پایه

Fig. (7): Comparison of observational (O) and Generation (G) data in Kermanshah synoptic station in the base period

با مقایسه‌ی پارامترهای مشاهداتی و محاسباتی شامل میانگین ماهانه بارش، دمای کمینه و بیشینه توسط پنج مدل مذکور با شاخص‌های ذکر شده در ایستگاه منتخب، بهترین مدل و سناریو برای تولید داده‌ها در دوره‌ی آتی مشخص شد. نتایج این مقایسه طبق شاخص‌های ارائه شده در روابط شماره‌ی ۲ و ۳ در جداول شماره ۶ الی ۸ نشان داده شده‌اند. نتیجه این بررسی نشان داد که از بین مدل‌های موجود، مدل HADGEM2-ES تحت سناریوی RCP 4.5، بهترین نتیجه را برای بارش و نیز HADGEM2-ES تحت سناریوی RCP 8.5، بهترین نتیجه را برای دمای کمینه و بیشینه پیش‌بینی کرده‌اند. با مشخص شدن بهترین مدل، داده‌های بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه تولید شده در مدل‌ها و سناریوهای منتخب به منظور بررسی وضعیت تغییر اقلیم دما و بارش در دوره‌ی آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحلیل شدند.

جدول (۶): نتایج مقایسه‌ی بارش مدل‌های سری CIMP5 با دوره‌ی پایه

Table (6): Results of comparison of precipitation of CIMP5 series models with base period

بارش RCP85		بارش RCP45		مدل	R
RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۵/۳۸	۰/۹۳۳	۵/۴۵	۰/۹۳۵	EC-EARTH	۱
۴/۱۵	۰/۹۵	۳/۵	۰/۹۷	GFDL-CM3	۲
۳/۰۵	۰/۹۸۶	۳/۳۹	۰/۹۷۶	HADGEM2-ES	۳
۳/۶	۰/۹۷	۴/۷۹	۰/۹۴۴	MIROC5	۴
۴/۳۶	۰/۹۴۶	۷/۲	۰/۸۷۶	MPI-ESM-MR	۵

جدول (۷): نتایج مقایسه‌ی دمای کمینه مدل‌های گردش عمومی جو با دوره‌ی پایه

Table (7): Results of comparing the minimum temperature of general circulation models of the atmosphere with the base period

دمای کمینه RCP85		دمای کمینه RCP45		مدل	R
RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۸۲	۰/۹۹۵۶	۰/۸۸	۰/۹۹۹۶	EC-EARTH	۱
۱/۰۹	۰/۹۹۹۸	۰/۹۱	۰/۹۹۸۶	GFDL-CM3	۲
۱/۰۵	۰/۹۹۶۹	۰/۸۷۳	۰/۹۹۸	HADGEM2-ES	۳
۰/۸۷	۰/۹۹۹۵	۱/۱۲	۰/۹۹۹۵	MIROC5	۴
۰/۸۱۵	۰/۹۹۹۸	۰/۹۳۳	۰/۹۹۹۶	MPI-ESM-MR	۵

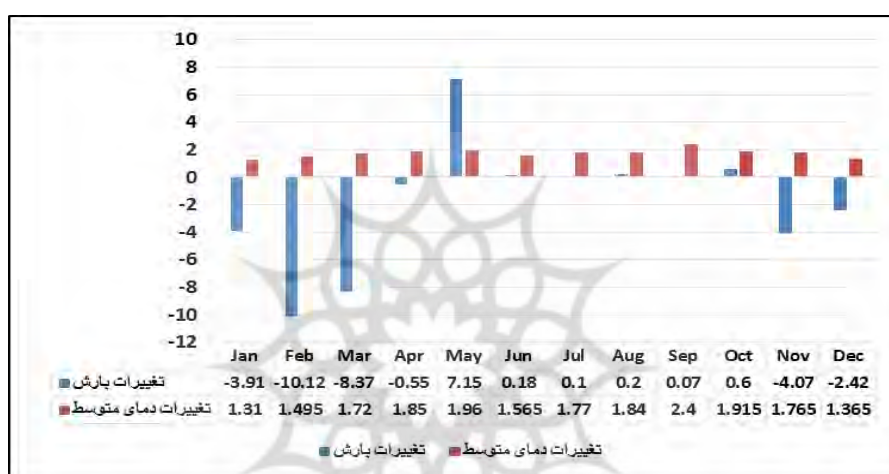
جدول (۸): نتایج مقایسه‌ی دمای بیشینه مدل‌های گردش عمومی جو با دوره پایه

Table (8): Results of comparison of maximum temperature of general circulation models of atmosphere with base period

دمای بیشینه RCP85		دمای بیشینه RCP45		مدل	R
RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۸۲	۰/۹۹۹۴	۰/۸۵	۰/۹۹۹۵	EC-EARTH	۱
۰/۹۹	۰/۹۹۹۵	۰/۸۳	۰/۹۹۹۴	GFDL-CM3	۲
۱/۰۳	۰/۹۹۹۷	۰/۸۱	۰/۹۹۹۶	HADGEM2-ES	۳
۰/۸۴	۰/۹۹۹۶	۱/۱	۰/۹۹۹۲	MIROC5	۴
۰/۸۱	۰/۹۹۹۳	۰/۸۵	۰/۹۹۹۵	MPI-ESM-MR	۵

در مرحله‌ی بعد میانگین میزان تغییرات پارامترهای بارش و دمای متوسط در ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه برای ماه‌های ژانویه تا ژوئن (که شبیه‌سازی در آن انجام شده بود) سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۱۷ به عنوان شاخصی برای تغییر اقلیم به مدل SRM وارد و مدل تحت شرایط تغییر اقلیم اجرا شد. شکل ۸ میانگین

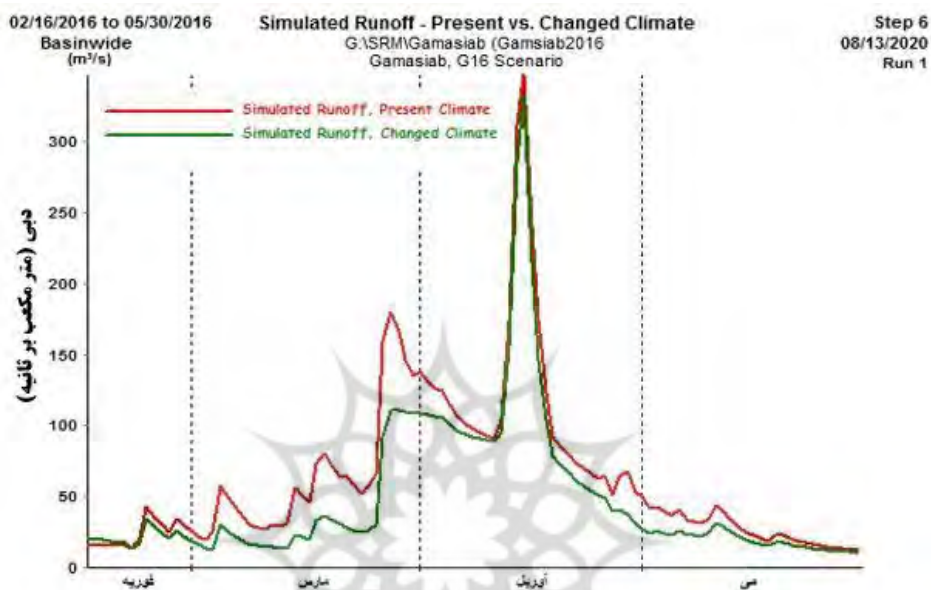
تغییرات دمای متوسط و بارش ماهانه را تحت سناریو و مدل منتخب نشان می‌دهد. همانطور که از شکل می‌توان فهمید در طول دوره شبیه‌سازی (ژانویه تا ژوئن) پارامتر بارش با کاهش و پارامتر دما با افزایش پیش‌بینی شده است.



شکل (۸): تغییرات میانگین دمای متوسط و بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه

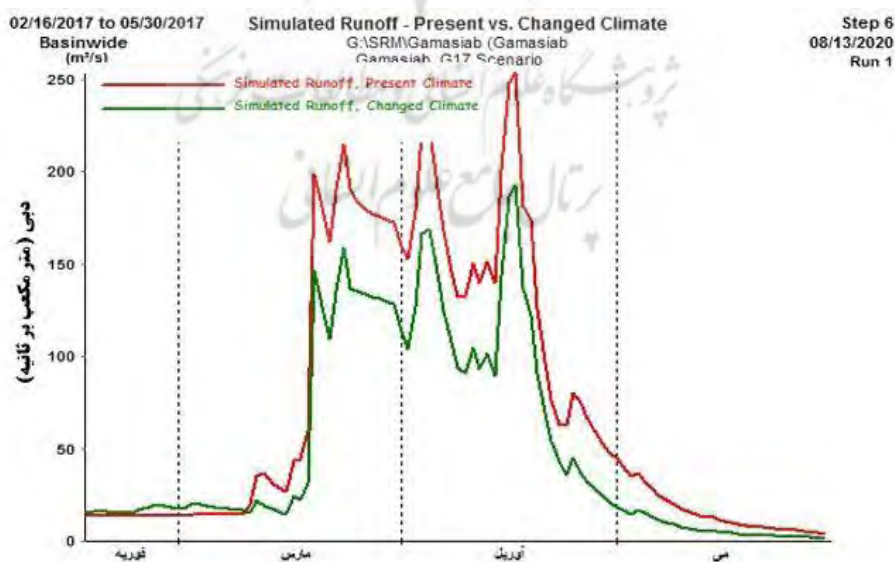
Fig. (8): Changes in the average mean temperature and precipitation of the next period compared to the base period

شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ نتایج شبیه‌سازی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌ی گاماسیاب از زیرحوضه‌های سیمره را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، مقایسه رواناب دوره‌ی کنونی با رواناب ناشی از تغییر اقلیم نشان داد که رواناب ناشی از ذوب برف در اواسط فصل بهار به طور محسوسی کاهش می‌یابد و با وجود کاهش بارش و بعلاوه افزایش دما دبی اوج مانند دوره‌ی پایه رخ خواهد داد. جدول ۹ نتایج ارزیابی مدل SRM را در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف دوره‌ی و آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در حوضه‌ی مورد مطالعه و در محل ایستگاه آبسنجی پلچهر را نشان می‌دهد، به طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد تأثیر پدیده تغییر اقلیم به صورت کاهش حجم جریان رودخانه بویژه در بهار (دوره‌ی گرم) سال پیش‌بینی شده است.



شکل (۹): مقایسه‌ی رواناب برف سال آبی ۹۶-۹۵ و آبی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با سناریوی منتخب.

Fig. (9) : Comparison of snow runoff in the water year 2015-16 and the future (2040-2021) with the selected scenario



شکل (۱۰): مقایسه‌ی رواناب برف سال آبی ۹۷-۹۶ و آبی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با سناریوی منتخب

Fig. (10): Comparison of snow runoff in the 2016-17 and next wet years (2040-2021) with the selected scenario

جدول (۹): مقایسه رواناب شبیه‌سازی شده ناشی از ذوب برف با مقادیر مشاهداتی دوره‌ی پایه با دوره‌ی آتی در حوضه‌ی گاماسیاب با مدل SRM

Table (9): Comparison of simulated runoff due to snowmelt with observational values of base period with future period in Gamasiab basin with SRM model

	شبیه‌سازی سال ۹۵-۹۶ (میلیون متر مکعب)	شبیه‌سازی سال ۹۶-۹۷ (میلیون متر مکعب)
حجم رواناب دوره پایه	۵۷۶/۱	۶۴۶/۱۱
میانگین حجم رواناب (دوره پایه)	۶۳/۵	۷۱/۹
حجم رواناب دوره آتی	۴۳۷	۴۵۷/۰۷
میانگین حجم رواناب دوره آتی	۴۸/۲۶	۵۰/۸۷
درصد تغییرات	-۲۴٪	-۲۹٪

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، تصاویر سنجنده‌ی مودیس می‌تواند ارزیابی مطلوبی از مساحت پوشش برف در حوضه‌ی گاماسیاب را ارائه می‌دهد که فاقد ایستگاه برف‌سنجی است، همچنین نتایج شبیه‌سازی با مدل SRM نشان از قابلیت مدل در شبیه‌سازی رواناب برف در منطقه‌ی مورد مطالعه داشت. تأثیر تغییرات دما و بارش در دوره‌ی آتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای سری CMPI5 که هدف اصلی مطالعه بود، به خوبی بیان شد. نتایج تغییرات دما نشان از افزایش میانگین ۱/۸ درجه سانتی‌گراد را می‌داد. نتایج بارش نیز به صورت میانگین کاهش بیشتر از ۵ درصدی را نشان می‌داد. با این وجود کاهش بارش در ماه‌های سرد سال با شدت بیشتری تخمین زده شده است به طوری که کاهش بارش برای ماه بهمن که از اهمیت بالایی برای تغذیه‌ی پوشش برفی و رودخانه‌ها می‌باشد، حدود ۲۰ درصد تخمین است و این در حالی است که افزایش بارش عمدتاً مربوط به ماه‌های گرم سال است که مقدار آن ناچیز و تأثیر زیادی در رواناب ندارد. به همین دلیل یعنی افزایش دما و کاهش نزولات جوی در فصل سرد، نتایج شبیه‌سازی رواناب نیز کاهش ۲۴ درصدی در دوره‌ی آتی در مقایسه با سال ۹۵-۹۶ و کاهش ۲۹ درصدی در دوره‌ی آتی در مقایسه با سال آبی ۹۶-۹۷ را نشان می‌دهد. با وجود کاهش بارش دبی اوجی که در دوره‌ی پایه در اریب‌هشت‌ماه رخ داده است در دوره‌ی آتی نیز با همان شدت رخ داده است که می‌توان آنرا نتیجه ذوب برف در اثر افزایش دما دانست که می‌تواند هشدار برای سیلاب‌های سهمگین در دوره‌ی آتی باشد. نتایج این مطالعه در انطباق با مطالعات دیگر است به طوری که در مطالعه یانگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز وضعیت مشابهی به دلیل افزایش دما در دوره‌ی آتی برای رواناب ذوب برف پیش‌بینی شد. همچنین در مطالعه قربانی‌زاده و همکاران (۲۰۱۰)، شرایط به طور مشابه حاکی از انتقال

دبی اوج از بهار به سمت زمستان (و کاهش آن در بهار) می‌باشد. نتایج این مطالعه زنگ خطر جدی برای حوضه‌ی گاماسیاب به شمار می‌رود. زیرا نتایج نشان داد که در این حوضه رواناب رودخانه کاهش خواهد یافت. بنابراین، تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی با مشکل مواجه خواهد شد.



۵-منابع

- Adnan, M.; G, Nabi. M, S, Poomee and A, Ashraf. 2017. Snowmelt runoff prediction under changing climate in the Himalayan cryosphere: A case of Gilgit River Basin. *Geoscience Frontiers*, 8(5): 941-949.
- Aalinejad M H, Jahanbakhsh ASL S. (2021). Simulation of runoff from Gamasiab basin snowmelt with SRM model. *Jsaeh.*, 8 (1)
- abaeian, E., nagafineik, Z., zabolabasi, F., habeibei, M., adab, H., malbisei, S. (2009). Climate Change Assessment over Iran during 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Model. *Geography and Development Iranian Journal*, 7(16), 135-152.
- Babaeian, Kwon W T and Im E.S. 2004. Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. Meteorological Research Institute of Ima, srl Final project Report.
- Bales R.C. and Cline D. 2003. Snow hydrology and water resources: western united states, In *Handbook of Weather, Climate and Water: Dynamics, Climate, Physical Meteorology, Weather Systems, and Measurements*, Ed. Potter T.D., Colman B.R., Wiley-Interscience, 10: 443-459.
- Ghorbanizadeh Kharaz H, Sedghi H, Saghafian B, Porhemmat J. Study on the Effect of Climate Change on Snowmelt Runoff Timing in Karoon Basin. *jwmseir*. 2010; 3(9): 45-50.
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., Alinejad, M., Pourasghr, F. (2016). Impact of Climate Change on Precipitation and Temperature by Taking the Uncertainty of Models and Climate Scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 3(7), 107-122.
- Karamouz, mand Araghinezhad, sh. 2014. *Advanced hydrology*. Amirkabir University of Technology Publications (Tehran Polytechnic). (In persian). Third edition.
- Malcher P. and Heidinger M. 2001. Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model. *Envisnow EVG1-CT- 2001-00052*.
- McCuen R. H. 1998. *Hydrologic analysis and design*. Printice-Hall Pub., Inc. N.J., PP.548.
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Torres, R. R., Giarolla, A., Alves, L. M., & Lyra, A. 2014. Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. Working Paper No. 73.
- Najafzadeh, R., Abrishamchi, A., Tajrishi, M., Taheri Shahraeeni, H. (2005). Stream Flow with Snowmelt Runoff Modeling Using RS and GIS (Case Study : Pelasjan sub Basin). *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*, 15(4), 2-11.
- Pangali Sharma, T.P.; Zhang, J.; Khanal, N.R.; Prodhan, F.A.; Paudel, B.; Shi, L.; Nepal, N. (2020). Assimilation of Snowmelt Runoff Model (SRM) Using Satellite Remote Sensing Data in Budhi Gandaki River Basin, Nepal. *Remote Sens.*, 12, 1951.

- Racsko, P. Szeidl, L and Semenov, M. A. (1991). Serial approach to local Stochastic Weather Models. *Ecological Modeling*.
- Rango A. and Martinec J. 1998. The snowmelt runoff model (SRM) user's manual, version 4, URL: [ftp // hydrolab . arsusda. gov/ pub / srm / srm4.pdf](ftp://hydrolab.arsusda.gov/pub/srm/srm4.pdf).
- Sari sarraf, B., Jalali Ansaroodi, T. (2019). The Investigation of the Impact of Climate Change on Water Balance Caused by Precipitation in Tasuj Aquifer for the Period of 2017-2030. *Hydrogeomorphology*, 6(19), 163-185.
- Semenov M A and Barrow E M. (1997). Use of a stochastic weather Generator in the Development of Climate Change Scenarios. *Climate Change*.
- Thapa, S., Li, H., Li, B. *et al*. Impact of climate change on snowmelt runoff in a Himalayan basin, Nepal. *Environ Monit Assess* 193, 393 (2021).
- Tirgar Fakheri, F., Alijani, B., Zeaiean Firuzabadi, P., Akbary, M. (2017). Simulation of snowmelt runoff under climate change scenarios in Armand basin. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(2), 357-368.
- Yonggang Ma, Yue Huang, Xi chen, Yongping Li, Anming Bao. 2013. Modelling Snowmelt Runoff under climate change scenarios in an ungauged Mountainous watershed, Northwest China. *Mathematical problems in Engineering*. Article Hindawi. ID 808565, 9 pages.
- Zarezade Mehrizi, S., Khorani, A., Bazrafshan, J., Bazrafshan, O. (2017). Assessing the efficiency of SWAT model for runoff simulation in Gamasiyab basin. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(4), 881-893.