



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۰ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۹

صفحه‌های ۱۱۲-۱۰۱

شبیه‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب ناشی از ذوب برف (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز سراب صیدعلی - لرستان)

علی حقی‌زاده^۱، حسین یوسفی^{۲*}، یزدان یاراحمدی^۳، آرمان کیانی^۴

۱. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خرم‌آباد، ایران.
 ۲. دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران.
 ۳. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، ایران.
 ۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ایران.
- تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

برف و رواناب ناشی از ذوب آن نقش اساسی در تأمین منابع آب را دارا می‌باشد. در این پژوهش تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز سراب صیدعلی واقع در شمال استان لرستان مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه با استفاده از سطح پوشش برف استخراج‌شده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷ و داده‌های اقلیمی پیش‌بینی‌شده توسط مدل گردش عمومی با استفاده از نرم‌افزار Lars-WG رواناب ناشی از ذوب برف تحت سه سناریو A1B، A2 و B2 در سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ با استفاده از مدل SRM مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از دو آماره ضریب تبیین و تفاضل حجمی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار ۰/۸۷ برای ضریب تبیین و ۳/۶۲- برای تفاضل حجمی نشان از دقت مدل می‌دهد. سپس با استفاده از سه سناریوی مذکور پارامترهای اقلیمی برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ از طریق مدل گردش عمومی پیش‌بینی شد، سپس با استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی‌شده میزان پوشش برفی از طریق روابط رگرسیونی چندمتغیره برای آینده برآورد گردید و به مدل SRM معرفی و شبیه‌سازی برای سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ انجام گرفت. نتایج نشان داد که میانگین رواناب در ماه نوامبر تا می برای سه سناریو به ترتیب ۴/۳، ۴/۴ و ۴/۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد اما میانگین درازمدت دبی رواناب از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ برابر ۶/۰۷ مترمکعب می‌باشد که این کاهش حجم رواناب در آینده را می‌توان با کاهش پوشش برفی توجیه نمود.

کلیدواژه‌ها: پارامترهای اقلیمی، پوشش برف، حجم رواناب، رگرسیونی چندمتغیره.

Simulation of Climate Change Impact on Snowmelt Runoff (Case study: Sarab Seyed Ali Watershed-Lorestan)

Ali haghizadeh¹, Hossein Yousefi^{2*}, Yazdan Yarahmadi³, Arman Kiyani⁴

1. Associate Professor, Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Iran
2. Associate Professor, Department of Renewable Energy and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran
3. Ph.D. Candidate in Watershed Science and Engineering, Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran
4. M.Sc. Student, Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Malayer, Iran.

Received: December 09, 2019

Accepted: April 13, 2020

Abstract

Snow and snow melt runoff have a major role to play in supplying water. In this study the impact of climate change on runoff caused by snowmelt was studied in Sarab Seyed Ali watershed in north of Lorestan province. In this study, using snow cover level extracted from Landsat 5 and 7 satellite images and climatic data predicted by general circulation model using Lars-WG software snowmelt runoff under three scenarios A1B, A2 and B2 in the year 2010 to 2013 was simulated using the SRM model. The simulation results were evaluated using two statistic including coefficient of determination and volume difference. The value of 0.87 for the coefficient of explanation and -3.62 for the volume difference indicates the accuracy of the model. Then, using these three scenarios, the climate parameters for 2020 to 2060 were predicted through general circulation model, then using the predicted climate parameters, the rate of snow cover was estimated through multivariate regression equations and was into SRM model. The simulation was done for 2020 to 2060. The results showed that the average runoff in November to May for the three scenarios was 4.3, 4.4 and 4.2 m³/s, respectively, while the long-time mean runoff from 1980 to 2013 was 6.07 m³. However, this decrease in future runoff volume can be justified by the reduction of snow cover.

Keywords: Climatic parameters, Multivariate regression, Runoff volume, Snow cover.

مقدمه

برف و رواناب ناشی از ذوب آن، نقش اساسی در تأمین منبع آب شرب و کشاورزی به صورت جریان‌های تاخیری، به‌ویژه در مناطق کوهستانی ایفا می‌کند (۲۲). پیش‌بینی تغییرات هیدروگرافی برای مدیریت منابع آب در زاگرس امری ضروری است (۴). اثر تغییر اقلیم بر منابع آب به عنوان موضوعی چالش‌برانگیز در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا مطرح بوده و انتظار می‌رود که تغییر در متوسط فراسنج‌های اقلیمی به‌ویژه دما و بارندگی تأثیر قابل توجهی بر منابع آب قابل دسترس آینده بگذارد (۲۱). از آنجایی که در بسیاری از موارد آب قابل دسترس برای مصارف شرب و کشاورزی در بسیاری از حوضه‌های کشور ناشی از برف است بنابراین آگاهی از ذوب برف و رواناب ناشی از آن در حوضه‌های کوهستانی کشور از اساسی‌ترین نیاز مدیران در حیطة منابع آب می‌باشد.

هم‌چنین این پدیده با تشدید تبخیر و تأثیر بر ذوب برف می‌تواند بر توزیع جریان رودخانه‌ها مؤثر باشد (۷). مدل (Snowmelt Runoff Model) با استفاده از پوشش برف به عنوان ورودی به مدل، دارای بیش‌ترین کاربرد در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های کوهستانی است و سهم پوشش برف فصلی، دائمی و بارندگی را در ایجاد رواناب تولیدشده در حوضه مشخص می‌کند (۱۱).

در حوضه‌هایی که فاقد آمار دقیقی از پوشش برف می‌باشند باید از تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج پوشش برفی استفاده کرد (۱). از آنجاکه مساحت پوشش برف و تداوم آن به میزان زیادی به دما و بارش بستگی دارد و در شرایط تغییر اقلیم تغییر می‌کند (۱۳). لذا دسترسی به آب در آینده و مدیریت آن در درازمدت با دشواری امکان‌پذیر است (۴). مدل‌های چرخش عمومی جو- اقیانوس

AOGCM به عنوان ابزار اصلی پیش‌بینی اقلیم معرفی شده‌اند (۲۰). فواید GCM برای مطالعات اثرات محلی به‌واسطه تفکیک مکانی درشت آن‌ها و ناتوانی در حل و فصل مشخصه‌ها در مقیاس کم‌تر از شبکه مانند ابرها و توپوگرافی محدود شده است (۲۴). تکنیک‌های مختلفی برای تبدیل شبکه‌بندی بزرگ مقیاس مدل‌های آب و هوای جهانی به سطوح محلی و ناحیه‌ای توسعه‌یافته که به این عمل ریزمقیاس‌سازی می‌گویند (۲۶). در این زمینه مطالعات گوناگونی در ایران و دیگر کشورهای جهان انجام پذیرفته است به‌طوری‌که الماسی و همکاران (۲) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوزه آبخیز بازفت پرداختند. نتایج نشان از عملکرد مناسب مدل SDSM در ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی به‌ویژه دمای حداقل و حداکثر داد.

قاسمی و همکاران (۱۱) به بررسی نوسانات رواناب حاصل از ذوب برف تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آینده پرداختند. در این پژوهش با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم و تغییرات سطح پوشش برف، شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل SRM در دوره‌های یادشده را ارزیابی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی، کاهش حجم رواناب در دوره‌های یادشده را نشان می‌دهد.

فتاحی و مقیمی (۱۰) به بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر روند برف شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات پوشش برف دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش آن در ماه ژانویه دارد. این روند می‌تواند بیانگر اثر گرمایش جهانی و اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه باشد. به‌طوری‌که بررسی نمایه‌های حدی منطقه نیز این فرض را تقویت می‌کند.

شفائی و همکاران (۷) اثر پدیده تغییر اقلیم بر مدیریت مخازن سطحی حوضه گرگانرود را بررسی کردند، نتایج نشان داد که میانگین تخصیص از ۹۲ به ۹۰

و همکاران (۱۸) با استفاده از مدل SRM و داده‌های برف سنجنده MODIS و ایستگاه‌های تله متری در حوضه‌های کوهستانی غرب ایالات متحده، به بررسی جریان‌های کوتاه مدت تا متوسط ۱ تا ۱۵ روز پرداختند و به منظور بهینه‌سازی عملکرد مدل و کمک به اجرای آن از روش شاخص درجه حرارت برای دستیابی به میزان ذخیره برفی و از حداکثر و حداقل دمای بحرانی برای جداسازی بارش جامد و مایع و یا مخلوطی از باران و برف استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده بهبود عملکرد مدل SRM و داده‌های برف می‌باشد.

بات و بیلال (۱۴) از نرم‌افزار SRM در شبیه‌سازی ذوب برف در حوضه آبرایندوز رود در شمال پاکستان در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ میلادی به منظور برآورد رواناب استفاده کردند. نتایج نشان داد داده‌های برآوردی با داده‌های تخمینی داری همبستگی منسجمی هستند. سلامی و همکاران (۶) از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک همدان و مقدار تغییرات بارش و دما در سطح احتمال ۹۰ درصد برای سناریوی انتشار A2، به عنوان بحرانی‌ترین شرایط از نظر تغذیه آب زیرزمینی استفاده کردند. مقادیر بارش و دما نیز به وسیله مدل لارز-دبلیوجی، به شکل روزانه برای دوره آبی تولید گردید و نتایج نشان‌دهنده افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۳۸ متر در دوره آبی، به خصوص در مناطق جنوب و جنوب‌غربی آبخوان، ناشی از برداشت چشمگیر آب زیرزمینی بود. جدکا و همکاران (۱۶) فعالیت‌های برفی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه زلب زاندمری را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم باعث نازک شدن توده‌های برفی و کاهش سطح پوشش برف و ذوب ناگهانی آن‌ها می‌شود. عدنان و همکاران (۱۲) میزان حجم رواناب تولیدی ناشی از ذوب برف تحت شرایط تغییرات آب و هوایی در بخشی از رشته کوه‌های هیمالیا مورد

درصد و میانگین ذخایر مخازن نیز حدود ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج نشان می‌دهد که از ارزیابی‌های مدیریت منابع آب گذشته نمی‌توان برای آینده استفاده کرد. سادات‌آشفته و بزرگ حداد (۵) اثر تغییر اقلیم بر منابع آب را با ارائه رویکردهای احتمالاتی در حوزه آبخیز آغموداغوش در آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار دادند و با برازش توزیع‌های مختلف آماری بر رواناب‌های تولیدی و با استفاده از آزمون نیکویی برازش پی‌بردند متوسط رواناب بلندمدت سالانه در سه دوره آبی، نسبت به دوره پایه بلندمدت کاهش می‌یابد. اکبری و همکاران (۱) با استفاده از نرم‌افزار SRM، رواناب ناشی از ذوب برف را در حوزه آبخیز سد کارده در استان خراسان رضوی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد حجم رواناب محاسباتی انطباق خوب و مناسبی با حجم رواناب مشاهداتی دارد. عجم زاده و ملائی نیا (۸) اثر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس با ریزمقیاس‌سازی پارامترهای اقلیمی به وسیله نرم‌افزارهای SDSM و LARS-WG مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان رواناب در ماه‌های آپریل، می، ژوئن، اکتبر کاهش یافته، اما دما افزایش می‌یابد. تیرگر فاختری و همکاران (۴) میزان رواناب ناشی از ذوب برف را تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوضه ارمنند منطقه زاگرس مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در آینده به ازای هر سال ۰/۱۲ متر مکعب در ثانیه کاهش میزان دبی وجود خواهد داشت. چانگ‌چون و همکاران (۱۵) اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و سطح پوشش برف و روند تغییرات آن‌ها را در حوضه رودخانه تاریم چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش جهش در دما و بارش در میانه‌های دهه ۱۹۸۰ با استفاده از روش‌های تعیین روند ناپارامتریک دیده می‌شود، ولی تغییر در سطح پوشش برف قابل توجه نیست. هارشبرگ

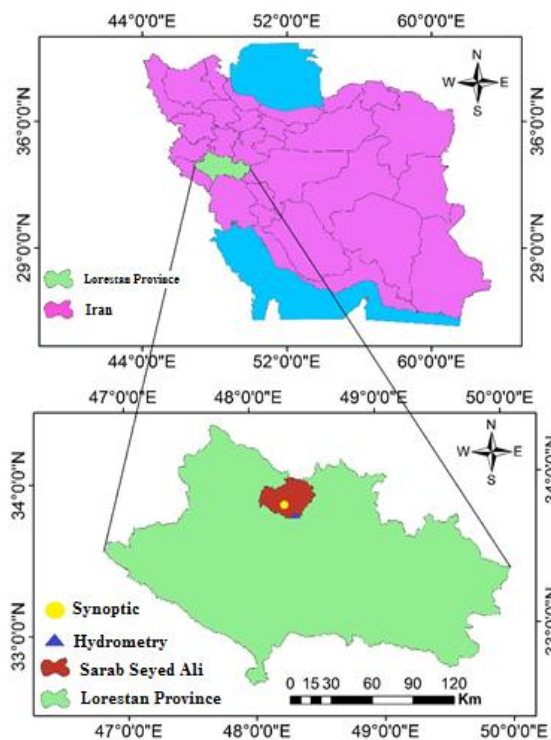


Figure 1. Location of the study area

روش انجام تحقیق

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS حوضه مورد مطالعه براساس ارتفاع به پنج ناحیه تقسیم شده است. سپس داده‌های بارندگی و دمایی ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک الشتر، دبی‌های روزانه اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه به همراه پوشش برفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI برای روزهای اخذ شده و هم‌چنین پوشش برفی برآورد شده براساس روابط رگرسیونی چند متغیره (حداقل و حداکثر دما، بارندگی و ساعات آفتابی) از طریق نرم‌افزار Minitab برای دیگر روزها در طول دوره شبیه‌سازی وارد مدل SRM مدل شد و شبیه‌سازی جریان و دقت مدل برآورد گردید. در گام بعدی با داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک الشتر با استفاده از مدل Lars-WG ریزمقیاس نمایی برای آینده تحت سناریوهای A1، A1B

مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد افزایش سه درجه‌ای حرارت در قرن بیست و یکم باعث افزایش ۳۵ تا ۴۰ درصدی رواناب در این منطقه می‌شود. در این پژوهش سعی شده است که میزان تأثیر تغییر اقلیم بر پوشش سطح برف و به طبع آن اثری که بر میزان رواناب می‌گذارد مورد بررسی قرار گیرد به طوریکه در مطالعات دیگران پوشش سطح برف در آینده براساس دمای متوسط و بارندگی براساس سناریوها محاسبه گردیده است، اما در این پژوهش سعی شده است پارامترهای اقلیمی منطقی‌تری چون حداقل و حداکثر دما، میزان بارندگی و ساعت آفتابی براساس سناریوها در آینده محاسبه شود و به‌واسطه آن میزان رواناب با دقت بالاتری برآورد گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوزه آبخیز سراب صیدعلی در شمال استان لرستان می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ} 52' 57''$ تا $34^{\circ} 04' 39''$ عرض شمالی قرار دارد. حوزه آبخیز سراب صیدعلی منطقه‌ای کوهستانی به وسعت ۷۸۰ کیلومتر مربع را دارا می‌باشد که دارای میانگین بارندگی ۴۵۰ میلی‌متر در سال و تحت تأثیر بارش‌های مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد که بیش‌ترین نزولات جوی آن در ماه‌های دی، بهمن و فروردین اتفاق می‌افتد. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد است. حداقل ارتفاع، حداکثر ارتفاع و میانگین ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۱۴۴۹، ۳۶۲۷ و ۲۰۹۸ متر از سطح دریا می‌باشد. درون منطقه مورد مطالعه یک ایستگاه سینوپتیک و در خروجی حوضه نیز یک ایستگاه هیدرومتری (سراب صیدعلی الشتر) قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان لرستان را نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب ناشی از ذوب برف (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز سراب صیدعلی - لرستان)

$$\text{NDSI} = \frac{\text{BAND 2} - \text{BAND 5}}{\text{BAND 2} + \text{BAND 5}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

Band2 در محدوده طول موج سبز و Band5 در محدوده مادون قرمز میانی قرار می‌گیرد.

تخمین پوشش برف برای دوره زمانی شبیه‌سازی گذشته و آینده

پوشش برف از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز سراب صیدعلی می‌باشد. به دلیل آن‌که قدرت تفکیک زمانی ماهواره لندست ۵ و ۷ به صورت ۱۶ روزه می‌باشد و داده برف به صورت روزانه برداشت نمی‌شود لذا در این پژوهش، برای اکثر روزها تصاویر سنجنده TM و ETM+ برای محاسبه پوشش برف در طول دوره شبیه‌سازی (نوامبر ۲۰۰۲ تا ژوئن ۲۰۰۳) وجود نداشته و هم‌چنین برای شبیه‌سازی رواناب در آینده نیازمند وجود پوشش برفی می‌باشیم که از ورودی‌های مدل می‌باشد، بنابراین تخمین پوشش سطح برف در آینده از روش آنالیز رگرسیون چندمتغیره (۱۹) بین پوشش برفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای در روزهای جمع‌آوری شده و متغیرهای روزانه‌ای چون بارندگی، حداقل دما و حداکثر دما با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab انجام پذیرفت.

مدل ذوب برف SRM

مدل SRM یک مدل هیدرولوژیکی، مفهومی و عینی براساس روش درجه روز-روز است که به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان روزانه در حوضه‌های کوهستانی که مهم‌ترین عامل در تولید رواناب در این حوضه‌ها می‌باشد طراحی شده است (۲۵). نرم‌افزار مربوط به این مدل در بیش از ۱۰۰ حوضه در ۲۰۰ کشور در عرض ۳۳ تا ۵۴ درجه جنوبی و از ۳۲ تا ۶۰ درجه شمالی در حوضه‌های ۱ تا ۱۲۰ هزار کیلومتر مربع به‌کار

و B2 پیش‌بینی صورت گرفت. سپس پوشش برف براساس معادلات رگرسیونی چند متغیره برای آینده تخمین زده شده است و وارد مدل شدند و تغییرات رواناب برای آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم تعیین گردید.

ناحیه‌بندی منطقه

بالاترین نقطه ارتفاعی منطقه مربوط به کوه کلان به ارتفاع ۳۶۲۷ متر است و این در حالی است که کم‌ترین ارتفاع منطقه مربوط به دوآب سراب صیدعلی می‌باشد که در خروجی حوضه قرار دارد. برای آن‌که مدل در برآورد نتایج دقت لازم را داشته باشد ناحیه‌بندی مناطق براساس فواصل ارتفاعی ۵۰۰ متر به مناطق مجزا باید تقسیم شود (۲۳). بر این اساس ناحیه‌بندی حوزه آبخیز سراب صیدعلی از طریق DEM با قدرت تفکیک ۳۰ متر و با کمک نرم‌افزار ArcGIS به مناطق با محدوده ارتفاعی نزدیک به هم تقسیم‌بندی شد و براساس آن خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی برای هر ناحیه مشخص گردید.

استخراج پوشش برف

به منظور برآورد پوشش برف، از تصاویر سنجنده TM و ETM+ ماهواره لندست ۵ و ۷ در بازه زمانی ۲۸ نوامبر ۲۰۰۲ تا ۲۱ ژوئن ۲۰۰۳ (۷ آذرماه ۱۳۸۱ تا خردادماه ۱۳۸۲) استفاده شد. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در دو ردیف و گذر ۶۶-۱۳۶ و ۳۴-۱۳۶ ماهواره لندست ۵ و ۷ قرار می‌گیرد، بنابراین تصاویر ابتدا با یکدیگر جفت و جور شدند و تصحیحات اتمسفری، هندسی و رادیومتریک روی آن‌ها انجام گرفت. این سنجنده به دلیل بالا بودن قدرت تفکیک مکانی بالا، قابلیت خوبی را در تعیین بهینه پوشش برفی دارد (۱)، لذا از شاخص نرمال شده تمایز برفی (NDSI) که به صورت رابطه (۱) نشان داده شده است استفاده گردید.

ارزیابی مدل از داده‌های ذکر شده برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ از خروجی مدل اقلیمی Hadcm3 توسط نرم‌افزار Lars-WG استفاده شد و ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 مورد مطالعه قرار گرفت. سپس بعد از ارزیابی مدل پیش‌بینی اقلیمی برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ توسط خروجی مدل اقلیمی برای سه سناریوی بیان شده انجام پذیرفت. سناریو A1B بیان می‌دارد که آینده میزان سوخت فسیلی با حفظ تعادل مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین در کنار آن سوخت غیر فسیلی نیز استفاده می‌گردد. سناریوی A2 یک جهان متفاوت به شکل مطرح دیگر مشخصه‌های فرهنگی، منطقه تقویت شده با تأکید بر ارزش‌های خانواده و سنت‌های محلی که رشد بالای جمعیت و سرعت رشد اقتصادی پایین را بیان می‌کند. سناریو B2 یک جهان با تأکید بر راه‌کارهای منطقه‌ای در خصوص مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، این جهان یک جهان ناهمگن با سرعت کم در حال تغییرات فناوری‌های مختلف البته با تأکید بر ابداعات اجتماعی و جامعه به منظور یافتن راه‌کارهای منطقه‌ای به جای راه‌کارهای کلی است.

ارزیابی مدل SRM

پارامترهای ارزیابی که توسط مدل جهت ارزیابی دقت جریان شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد ضریب تبیین و تفاضل حجمی می‌باشد. که ضریب تبیین (R^2) از طریق رابطه (۳) تعیین می‌گردد (۹):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_i')^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن R^2 معیار سنجش مدل، Q_i دبی روزانه اندازه‌گیری شده، Q_i' دبی روزانه محاسبه شده توسط مدل، \bar{Q} متوسط دبی اندازه‌گیری شده برای کل دوره و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

همچنین معیار تفاضل حجمی که اختلاف بین رواناب

رفته است (۲۳) در این پژوهش رواناب شبیه‌سازی شده روزانه مثل رواناب ذوب برف به همراه بارندگی در سطح حوضه مورد مطالعه به صورت رابطه (۲) محاسبه شده است:

$$Q_{n+1} = [C_{S_n} \times \alpha_n (T_n + \Delta T_n) S_n + C_{R_n} \times P_n] \frac{A \times 10000}{86400} (1 - K_{n-1}) Q_n K_{n+1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

اجزای این رابطه شامل Q برابر است با متوسط دبی روزانه (متر مکعب بر حسب ثانیه)، C_S ضریب رواناب برف، S_R ضریب رواناب باران، α عامل درجه روز که، عمق ذوب ناشی از یک درجه روز را نشان می‌دهد (سانتیمتر بر درجه سانتی‌گراد بر روز)، T تعداد درجه روز (حسب سانتی‌گراد-روز)، ΔT تعدیل دما با استفاده از شیب دما به محل مناظر متوسط ارتفاع حوزه (سانتی‌گراد-روز)، S پوشش نسبی برف، P بارش مولد رواناب (سانتی‌متر)، A مساحت منطقه ارتفاعی مورد نظر (کیلومتر مربع)، K ضریب فروکش جریان که نشان‌دهنده نرخ کاهش بده جریان در یک دوره زمانی بدون برف می‌باشد. n توالی روزها طی دوره شبیه‌سازی می‌باشد.

مدل تغییر اقلیم و سناریوهای اقلیمی آینده

نرم‌افزار Lars-WG یکی از مشهورترین مدل‌های آماری مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید بارش روزانه، کمینه و بیشینه درجه حرارت و تابش در یک ایستگاه تحت تأثیر تغییر اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (۳). مدل گردش عمومی Hadcm3 یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی جوی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی بریتانیا طراحی شده است. در این پژوهش از مقادیر روزانه بارش، حداقل دما، حداکثر دما (۱۷) و ساعات آفتابی در دوره آماری ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶ (۱۳۷۷ تا ۱۳۹۴) استفاده شده است. همچنین برای

شبیه‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب ناشی از ذوب برف (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز سراب صیدعلی - لرستان)

بعد از محاسبه شاخص NDSI توسط محاسبات بانندی در نرم‌افزار ENVI5.3 حد آستانه ۰/۴ بر شاخص مورد نظر اعمال شد تا پوشش سطح برف استخراج شود. به‌علت در دسترس نبودن داده‌های آموزشی برای طبقه‌بندی نظارت شده، از طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده شد. الگوریتم K-Means شاخص NDSI به دو کلاس برف و غیر برف طبقه‌بندی گردید. که شکل (۲) نمونه‌ای از شاخص NDSI استخراج شده از سنجنده ETM+ با حد آستانه ۰/۴ برای منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۲۲ نوامبر ۲۰۰۲ می‌باشد. بعد از طبقه‌بندی، پوشش سطح برف برای هر ناحیه ارتفاعی برای تاریخ‌های تصویربرداری به‌صورت شکل (۳) استخراج شد.

مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است نیز برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود که از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌گردد:

$$D_v[\%] = \frac{V_R - V'_R}{V_R} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن V_R حجم رواناب اندازه‌گیری شده سالانه و V'_R حجم رواناب محاسبه شده سالانه می‌باشد.

بحث و نتایج

پس از تعیین مرز حوزه آبخیز سراب صیدعلی، منطقه براساس خصوصیات ارتفاعی به پنج ناحیه برای ورود به مدل تقسیم شد که پارامترهای ورودی به مدل مانند مساحت، متوسط ارتفاع و درصد مساحت جهت‌های جغرافیایی هر حوضه به‌صورت جدول (۱) از DEM استخراج گردید.

Table 1. Characteristics of Altitudes of Sarab Seyed Ali Watershed

Zone number	1	2	3	4	5
Height (m)	1449-1950	1950-2450	2450-2950	2950-3450	3450-3672
Average height (m)	1700	2271	2660	3179	3514
Area (km ²)	385	207.81	129	54.6	3.82
Average height for slope (m)	1702	2186	2660	3164	3505
Percentage of area for slope	10.82	7.6	8.16	4.86	10.48
Average height for slope (m)	1699	2179	2644	3170	3511
Percentage of area for slope	10.46	13.2	13.27	13.54	15.18
Average height for slope (m)	1691	2174	2650	3172	3520
Percentage of area for slope	12.72	9.8	8.41	7.13	9.16
Average height for slope (m)	1680	2190	2672	3173	3502
Percentage of area for slope	14.23	16.72	17	21.95	17

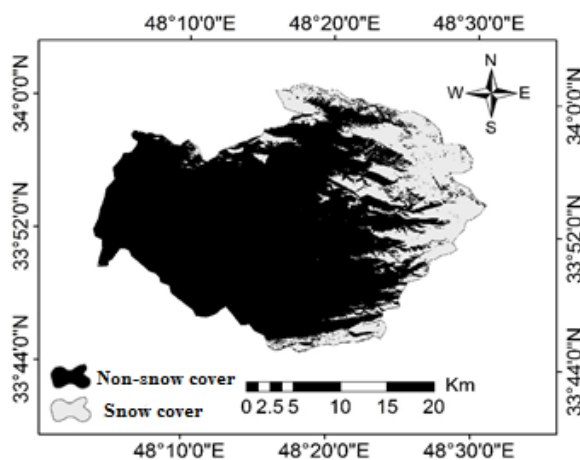


Figure 2. Extracted NDSI index with a threshold of 0.4

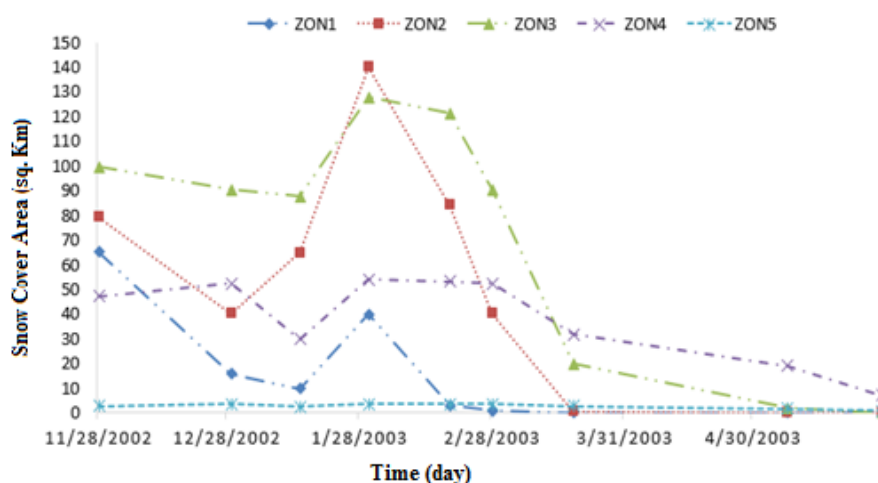


Figure 3. Changes in snow cover in each area in Sarab Seyed Ali Watershed

گرافیکی در شکل (۴) نشان داده شده است. به منظور ارزیابی نرم افزار برای دوره شبیه سازی از مقادیر ضریب همبستگی و تفاضل حجمی استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. مقدار همبستگی ۰/۸۷ و تفاضل حجمی ۳/۶۲- دقت مدل را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف برای حوضه مذکور نشان می دهد. میزان رواناب ناشی از ذوب برف برای دوره تاریخی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ مورد کالیبراسیون قرار گرفته است به طوری که ضریب همبستگی و شاخص تفاضل حجمی بیانگر آن می باشد. با توجه به هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی مقادیر اوج رواناب در اواخر فوریه و اواسط مارس (اواخر بهمن ماه تا اواسط اسفندماه) مشاهده می شود که می توان علت وقوع آن را بارندگی در دوره یادشده بیان نمود.

قابلیت مدل Lars-WG در شبیه سازی ایجاد داده های بارندگی، حداقل دما، حداکثر دما و ساعات آفتابی از طریق ضریب همبستگی بین داده های مشاهداتی و تخمینی به صورت جدول (۴) نشان داده شد. نتایج نشان از دقت مدل، در پیش بینی متغیرهای اقلیمی بین سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ دارد.

آنالیز همبستگی چندمتغیره با استفاده از نرم افزار Minitab بین پوشش برفی و دمای حداقل، حداکثر، بارندگی و ساعات آفتابی که به صورت جدول (۲) نشان داده شده است، انجام پذیرفت. نتایج نشان داد دمای حداقل رابطه مستقیمی با پوشش سطح برفی دارد اما این در حالی است که دمای حداکثر و ساعات آفتابی رابطه معکوسی با پوشش سطح برفی دارد که با افزایش انرژی گرمایی ذوب برف بیشتر صورت می پذیرد. نزولات جوی از اواخر نوامبر تا اواسط فوریه به صورت برف می باشد و بارندگی از اهمیت کمتری برخوردار است و این در حالی است که بارندگی بعد از این ماهها به علت ریزش روی پوشش برفی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هم چنین در ناحیه های با میانگین ارتفاع بیشتر رابطه مستقیمی با پوشش سطح برفی دارد. بنابراین پوشش سطح برفی برای دوره شبیه سازی ۲۸ نوامبر ۲۰ تا ۳۱ می و برای دمای حداقل، حداکثر، بارندگی و ساعات آفتابی پیش بینی شده در سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ برآورد شد.

فرآیند شبیه سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوزه آبخیز سراب صیدعلی از اواخر نوامبر تا اواخر ماه می انجام پذیرفت. نتایج حاصل از این شبیه سازی به صورت

شبیه‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب ناشی از ذوب برف (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز سراب صیدعلی - لرستان)

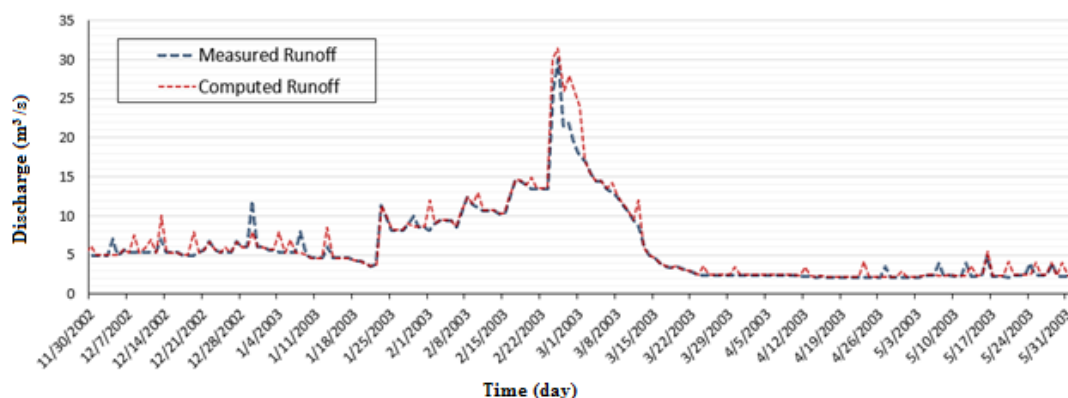


Figure 4. Runoff measured and simulated by the SRM model

Table 2. Correlation coefficient and correlation equations between snow cover and climate variables

Zone	Correlation coefficient (R2)	Correlation equation
1	0.81	$Snow_1 = 145 + 4.17(T_{Min}) - 6.56(T_{Max}) - 0.34(Sun) - 15.4(Rain)$
2	0.80	$Snow_2 = 200 + 3.44(T_{Min}) - 9.71(T_{Max}) - 5.29(Sun) - 17.4(Rain)$
3	0.79	$Snow_3 = 108 + 2.91(T_{Min}) - 4.03(T_{Max}) - 0.97(Sun) + 2.93(Rain)$
4	0.82	$Snow_4 = 66.8 + 1.01(T_{Min}) - 2.24(T_{Max}) - 0.57(Sun) + 0.63(Rain)$
5	0.79	$Snow_5 = 3.04 + 0.05(T_{Min}) - 0.06(T_{Max}) - 0.06(Sun) + 0.207(Rain)$

Table 3. Statistical evaluation of SRM software during the simulation period from late November to late May

Average Observation Discharge (m³/s)	Average Computational Discharge (m³/s)	Runoff volume of observations (m³)	Runoff Computational of observations (m³)	Correlation coefficient	Volume difference
6.18	6.41	98873568	102457440	0.87	-3.62

بعد از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی توسط مدل Lars-WG میزان پوشش سطح برف با استفاده از معادلات همبستگی جدول (۲) برای هر روز در طی دوره شبیه‌سازی در آینده برآورد گردید و همراه با دیگر متغیرهای اقلیمی پیش‌بینی شده و دیگر پارامترها به مدل SRM معرفی شد و شبیه‌سازی رواناب در دوره آماری ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ برای سناریوهای اقلیمی انجام شد، و مقدار اندازه‌گیری شده در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ در ماه و روزهای یکسان آورده شده است که شکل (۵) کاهش پوشش سطح برف و در نتیجه آن کاهش رواناب نشان می‌دهد. مقادیر عددی نشان داد که میانگین دبی متوسط در دوره شبیه‌سازی در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ برای سه سناریوی A1B، A2 و B1 به ترتیب ۴/۳، ۴/۴ و ۴/۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. اما این در حالی است که میانگین دبی در طول دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ میلادی برای ماه‌های نوامبر تا می برابر با ۶/۰۷ بوده است که نشان از

Table 4. Correlation coefficient between climate variables measured and predicted by Lars-WG model

Climate variable	Correlation coefficient
Rainfall	0.87
Minimum temperature	0.89
Maximum temperature	0.92
Sunny hours	0.91

پیش‌بینی میزان بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی در طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 براساس مدل اقلیمی Hadcm3 انجام شد. سپس نتایج این پیش‌بینی به صورت محاسبات ماهانه در جدول (۵) آورده شد، که براساس این نتایج دمای حداقل به میزان ۱/۹ درجه سانتی‌گراد، دمای حداکثر ۲/۳ افزایش یافته و این در حالی است که ساعات آفتابی تغییرات محسوسی نشان نداده است ولی میزان بارندگی نزدیک به ۵۰ میلی‌متر نسبت به دوره حاضر در ماه‌های گفته‌شده تغییر کاهشی داشته است.

لندست به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا توصیه می‌گردد. به طوری که با استفاده از تصاویر سنجنده TM و ETM+ ماهواره لندست می‌توان نقشه پوشش برف را با دقت بالا برآورد کرد. این نتایج با مطالعات، اکبری و همکاران (۱) همخوانی دارد. شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف توسط مدل SRM در حوزه آبخیز سراب صیدعلی نشان می‌دهد که این مدل قادر است میزان رواناب را در حوضه‌های کوهستانی برفگیر با دقت مناسبی محاسبه کند که با مطالعات فتاحی و همکاران (۹)، اکبری و همکاران (۱)، هارشبرگ و همکاران (۱۸) مطابقت دارد. از آنجایی که مدل SRM یک مدل مبتنی بر درجه روز می‌باشد و فاکتور درجه روز تا حد قابل توجهی تابع پارامترهای تراکمی برف می‌باشد.

کاهش دبی در آینده را نشان می‌دهد. بیش‌ترین کاهش دبی در سناریو B1 و کم‌ترین میزان کاهش دبی متوسط در سناریو A2 اتفاق افتاده است. افزایش دما در حوزه آبخیز سراب صیدعلی موجب ذوب سریع تر برف شده است، از طرفی دیگر پوشش سطح برف، به دلیل تأثیر متغیرهای اقلیمی بر نزولات جوی، کاهش داشته است و باعث کم‌شدن دبی متوسط رواناب در آینده شده است.

نتیجه‌گیری

تخمین پوشش سطح برف با استفاده از مشاهدات زمینی کاری بس دشوار است اما با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مناطق کوهستانی می‌توان پوشش سطح برف را محاسبه کرد. برای مناطق با وسعت کم تصاویر ماهواره

Table 5. Rainfall, Min temperature, Max temperature and Sunny hours for the coming period

Scenario	Parameter	Month						
		November	December	January	February	March	April	May
A1B	Rainfall(mm)	70	62	65	68	32	35	15
	Min temperature(C°)	0.15	-2.6	-2.3	0	2.6	6.8	8
	Max temperature(C°)	15.6	11.5	12	16	20.8	25.2	30
	sunny hours	188.2	153.3	183.9	192.3	260.4	259.6	315.4
A2	Rainfall(mm)	63	60	57	59	25	29	8
	Min temperature(C°)	0.17	-2.15	-2	0.1	1.9	7.7	9.7
	Max temperature(C°)	15.3	11	11.7	15.1	20.5	25.1	29
	sunny hours	196	166.6	190.9	202.2	278.6	273.2	321.3
B1	Rainfall(mm)	66	57	61	62	29	31	13
	Min temperature(C°)	0.4	-2.4	-2.6	0.3	2.9	7.1	8.8
	Max temperature(C°)	16.1	11.6	12.8	16.3	22.1	26.6	31.3
	sunny hours	194.1	162.3	190	194.4	271.2	265	317.5

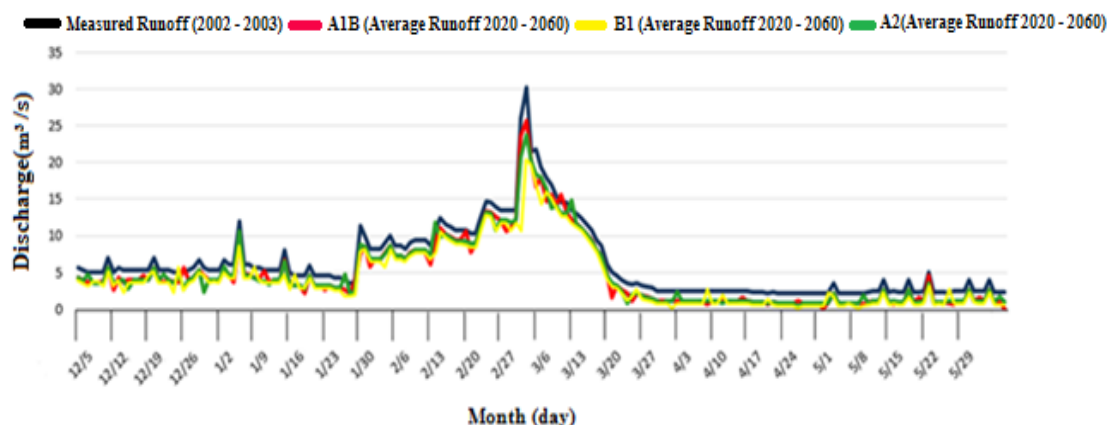


Figure 5. Simulation of runoff for base period and future

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۰ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۹

منابع

۱. اکبری م. رعنائی ا. میرزاخان ح. درگاهی ع. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از نرم‌افزار آشناسی SRM (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سدکارده). مهندسی منابع آب. ۹ (۳۰): ۶۳-۷۴.
۲. الماسی پ، سلطانی س، گودرزی م، مدرس ر. (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوزه آبخیز بازفت. علوم آب و خاک. ۲۰ (۷۸): ۳۹-۵۲.
۳. بابائیان ا. نجفی نیک ز. زابل عباسی ف. حبیبی نوخندان م. ادب ح. ملبوسی ش. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه. ۷ (۱۶): ۱۳۵-۱۵۲.
۴. تیرگر فاخری ف. علیجانی ب. ضیایان فیروزآبادی پ. اکبری م. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوزه آرمند. اکوهیدرولوژی. ۴ (۲): ۳۵۷-۳۶۸.
۵. سادات آشفته پ. بزرگ حداد ا. (۱۳۹۲). ارائه رویکرد احتمالاتی ارزیابی اثرات تغییرات اقلیم بر منابع آب. مهندسی منابع آب. ۶ (۱۹): ۵۱-۶۶.
۶. سلامی ه. ناصری ح م. مساح بوانی ع. (۱۳۹۴). پیش‌بینی احتمالاتی اثرهای تغییر اقلیم بر آبخوان آبرفتی دشت همدان- بهار. مدیریت آب و آبیاری. ۵ (۱): ۲۷-۴۱.
۷. شغائی ا. عراقی نژاد ش و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۲). بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر بهره‌برداری از مخازن سطحی حوزه گرگانرود. مدیریت آب و آبیاری. ۳ (۲): ۴۳-۵۸.
۸. عجم‌زاده ع و ملائی نیا م. (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس با ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به‌وسیله نرم‌افزارهای SDSM و LARS-WG. تحقیقات منابع آب ایران طبیعی. ۱۲ (۱): ۹۵-۱۰۹.

لذا داشتن اطلاعات کافی در مورد درجه- روز باعث بالارفتن دقت شبیه‌سازی می‌شود. به دلیل آن‌که مدل SRM حساسیت قابل توجهی به نرخ کاهش دما در ارتفاعات مختلف دارد بنابراین میزان این نرخ باید برای هر منطقه با ضریب اطمینان بالا محاسبه گردد تا شبیه‌سازی با دقت قابل قبولی انجام شود. دمای حوزه در دوره آینده افزایش دو تا سه درجه‌ای در دماهای حداقل و حداکثر را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که این پدیده باعث ذوب سریعتر پوشش برفی و تأثیر بر نزولات جوی از حالت برف به باران را دارد هم‌چنین بارندگی در دوره آینده کاهش بیش از ۴۰ میلیمتری را در هفت ماه بیان شده در تحقیق را دارد که این کاهش بارندگی از یک سو باعث کاهش به تاخیر افتادن ذوب برف می‌شود و از سوی دیگر احتمال آن‌که بارندگی تحت تأثیر دماهای حداقل به برف تبدیل شود باعث کاهش پوشش سطح برف در منطقه می‌شود که با یافته‌های سادات آشفته و بزرگ حداد (۵)، عجم‌زاده و ملائی نیا (۸)، چانگ‌چون و همکاران (۱۵) تطابق دارد. در حالت کلی انتظار می‌رود که میزان دبی رواناب به دلیل افزایش دما و تأثیر بر پوشش برفی افزایش پیدا کند اما به دلیل کاهش بارش برف و کاسته شدن از پوشش برفی دبی افزایش نیافته بلکه در دوره آینده مقدار آن کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که در سناریو A1B، A2 و B1 در دوره آینده، کاهش دبی متوسط در ماه نوامبر تا می برای سه سناریو به ترتیب ۱/۷۷، ۱/۶۷ و ۱/۸۷ مترمکعب بر ثانیه نسبت به دبی متوسط در دوره پایه می‌باشد که می‌توان این کاهش از میزان رواناب را در این دوره از سال را با کاهش پوشش برفی توجیه کرد که با نتایج پژوهش تیرگر فاخری و همکاران (۴) و جدکا و همکاران (۱۶) هم‌خوانی دارد. بنابراین روند مساحت پوشش برفی حالت کاهشی دارد که به‌نوبه خود باعث کاهش حجم رواناب در باقی فصول و ماه‌های سال دارد که به نوبه خود در درازمدت باعث ایجاد خشکسالی، مهاجرت، گسترش فقر و غیره می‌شود.

- developing countries. UK Meteorological Office.
18. Harshburger, B.J., Karen, S.H., Von, P.W., Brandon, C.M., Troy, R.B. & Rango, A. (2010). Evaluation of Short-to-Medium Range Streamflow Forecasts Obtained Using an Enhanced Version of SRM. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 46(3), 603-617.
 19. Khadka, D., Babel, M.S., Shrestha, S. & Tripathi, N.K. (2014). Climate change impact on glacier and snow melt and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region. *Journal of Hydrology*, 511, 49-60.
 20. Kislby, C.G. & Jones, P.D. (2007). A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modeling and Software*, 22, 1705-1719.
 21. Lorena, L., Leonardo, V., Enrique, R. & Goffredi, L. (2010). Basin-scale water resources assessment in Oklahoma under systematic climate change scenarios using a fully distributed hydrologic model. *J. Hydrol. Eng.*, 15, 107-118.
 22. Rango, A. & Martinec, J. (1995). Revisiting the degree day method for snowmelt computations. *JAWRA Am Water Resour Assoc*, (31), 657-669.
 23. Seidel, K. & Martinec, J. (2002). March. Hydrological applications of satellite snow cover mapping in the Swiss Alps. In *Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space* Vol. 80.
 24. Wilby, R., Abrahart, R. & Dawson, C. (2003). Detection of conceptual model rainfall-runoff processes inside an artificial neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 48(2), 163-181.
 25. WinSRM, (2007). Snowmelt Runoff Model (SRM) uses manual. PP: 1-177.
 26. Xu, Z. & Li, J. (2002). Short- term Inflow forecasting using and artificial neural network model. *Hydrological Processes*, 16(12), 2423-2439.
 9. فتاحی ا. دلاور م. قاسمی ا. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوضه آبریز بازفت. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۲۰(۲۳):۱۲۹-۱۴۱.
 ۱۰. فتاحی ا. مقیمی ش. (۱۳۹۸). اثر تغییرات اقلیمی بر روند برف شمال غرب ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۹ (۵۴): ۴۷-۶۳.
 ۱۱. قاسمی ا. فتاحی ا. بابائی ام. (۱۳۹۲). بررسی نوسانات رواناب حاصل از ذوب برف تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آینده. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۱۳(۴): ۱۱۱-۱۲۲.
 12. Adnan M., Nabi, G., Poomee, M., Ashraf, A. & Casteller, A. (2017). Snowmelt Runoff prediction under changing climate in the Himalayan cryosphere: a case of Gilgit River Basin. *Geoscience Frontiers*, 8(5), 941- 949.
 13. Brown, R.D. & Mote, P.W. (2009). The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *J. Clim.*, 22, 2124-2145.
 14. Butt, M.J. & Bilal, M. (2011). Application Snowmelt runoff model for water resource management. *Hydrological Processes*, 25(24), 3735-3747.
 15. Changchun, X., Yaning, Ch., Weihong, L. & Hongtao, Ch. Y.Ge. (2007). Potential impact of climate change on snow cover area in the Tarim River basin. *Journal of Environmental Geology*, 53(7), 1465-1474.
 16. Gadek, B., kaszka, R., Raczowska, Z., Rojan, E., Casteller, A. & Bebi, P. (2017). Snow Avalanche activity in Zelb Zandarmeerii in a time of climate change (Tatra Mts: Poland). *CATENA*. 158, 201-212.
 17. Hadley, C. (2006). Effect of climate change in the