دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

مقایسه نسخه درجه روز و تابشی مدل SRM در تخمین رواناب ناشی از ذوب برف

محمدباقر رئیسی[۱]، مهدی وفاخواه[۲] و حمیدرضا مرادی[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: vafakhah@modares.ac.ir)
۳- استاد گروه مهندسی آبخیزادری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ ارسال: ۹۵/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۱۵
صفحه: ۱ تا ۱۱

چکیده

در حوزه‌های کوهستانی و برف‌گیر، رواناب ناشی از ذوب برف عامل مهمی در تغییرات رژیم جریان به‌شمار می‌آید و سهم مهمی در تولید جریان و منابع آب دارد. حال آن‌که در چنین حوزه‌هایی آمار و اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان، به‌ویژه آمار و اطلاعات برف‌سنجی معمولاً در دسترس نیست. بنابراین، شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی رواناب و سیلاب حاصل از ذوب برف با مشکلات فراوانی مواجه است. در این تحقیق برای برآورد رواناب در حوزه آبخیز بهشت‌آباد از مدل SRM کلاسیک و تابشی استفاده شد. هدف از این تحقیق ارزیابی نسخه درجه-روز و تابشی این مدل در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف می‌باشد. بنابراین ابتدا متغیرهای لازم برای مدل SRM کلاسیک و تابشی از ایستگاه‌های هواشناسی تهیّه و سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به‌دست آمد. سپس مدل‌ها برای سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ به‌ترتیب برای واسنجی و آزمون اجرا و مقادیر تخمینی با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد مقایسه گردید. نتایج این بررسی نشان داد برای دوره آزمون مقدار ضریب کارایی (R^2) در مدل تابشی SRM (۰/۷۱) نسبت به مدل کلاسیک (۰/۵۸) به میزان ۱۳ درصد و میزان اختلاف حجم کل رواناب در مدل تابشی SRM نسبت به مدل کلاسیک ۷ درصد بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب معادل برف، پیش‌بینی خشکسالی، شبیه‌سازی، مدل ذوب برف

مقدمه

برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب شرب و کشاورزی به‌صورت جریان‌های تاخیری در فصول پرآبی و جریان‌های حداقل در فصول کم آبی نقش ارزنده ایفا می‌کند. از سوی دیگر رواناب حاصل از ذوب برف به‌دلیل نقش تاخیری آن منبع اصلی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در برخی از موارد به‌دلیل همزمانی با بارش‌های بهاره منشاء بروز سیلاب‌های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانه‌ها می‌گردد (۸). بنابراین در حوزه‌های آبخیز کوهستانی و برف‌گیر، ذوب برف و رواناب ناشی از آن عامل مهم تغییرات رژیم جریان محسوب می‌شود و سهم عمده‌ای را در تولید جریان، سیلاب و منابع آب داراست (۲۸). به‌طوری‌که براساس بررسی‌های انجام گرفته حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر قرار داشته و از آب حاصل از ذوب برف تغذیه می‌کنند (۲۴). از این‌رو پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف با توجه به وضعیت حاکم بر کشور در عرصه‌های گوناگون از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، مدیریت مخازن تولید برقابی، پیش‌بینی خشکسالی، کنترل و هشدار سیل، کیفیت آب و غیره کاربرد دارد (۱۹، ۲۲).

بخش قابل توجهی از بارش‌ها در حوزه آبخیز بهشت‌آباد (واقع در استان چهارمحال و بختیاری) به‌صورت برف می‌باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را در ایجاد رواناب‌های سطحی در این منطقه ایفا می‌کند. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره‌شده می‌باشد و لذا پایش مکانی و زمانی رواناب ناشی از ذوب برف از اهمیت بسیار بالایی در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در این منطقه برخوردار است. علاوه‌بر آن حوزه آبخیز بهشت‌آباد به‌دلیل کوهستانی بودن بسیار سیل‌خیز بوده و معمولا در اوایل فصل بهار با گرم‌شدن زمین و ذوب‌شدن برف‌ها، بستر لازم برای ایجاد سیل در این منطقه فراهم می‌آید.

بنابراین اطلاع از مشارکت ذوب برف در جریان رودخانه بسیار مهم می‌باشد، با این حال اندازه‌گیری مستقیم مشخصات برف و ذوب آن در یک سطح وسیع امکان‌پذیر نیست زیرا نقاط مرتفع که بیش‌تر در معرض بارش برف هستند، از امکانات دسترسی کم‌تری برخوردارند. با توجه به اینکه داده‌های برف‌سنجی مورد نیاز در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و یا مشارکت باران و برف در بسیاری از حوزه‌های آبخیز به‌ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی مرتفع (از جمله حوزه آبخیز بهشت‌آباد) در دسترس نیست، می‌توان با فرمول‌بندی عوامل مؤثر بر ذوب و انرژی محیط مورد نیاز ذوب برف، میزان ذوب را در این حوضه‌ها محاسبه نمود. هدف اساسی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز، درک بهتر از روند چرخه آب می‌باشد (۲۸).

در این زمینه تحقیقات زیادی برای بررسی چگونگی تولید رواناب انجام شده است. مدل‌های شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای بررسی تولید جریان یا چگونگی پاسخ رواناب به تغییرات استفاده شده است. برخی محققین از روش سری‌های زمانی برای برآورد تابع انتقال بارش و جریان استفاده کرده‌اند (۱۱). با این حال سری‌های زمانی رواناب نمی‌توانند اطلاعات زیادی در مورد اثر متقابل عوامل بیرونی و اجزاء داخلی سیستم حوزه آبخیز دارا باشند. به این ترتیب مدل‌های بسیار پیچیده رواناب برای روندیابی آب در کاربری‌های مختلف و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

سطوح مختلف خاک و فرآیندهای تبخیر و تعرق خاص توسعه یافتند (۴،۱،۱۳). در مورد شبیه‌سازی رواناب ذوب برف از مدل‌های مختلفی از جمله MIKE، SLURP[1] و HBV[2] استفاده می‌شود که نیازمند اطلاعات زیادی در مورد اقلیم و شرایط خاک می‌باشند. در این میان مدل شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف (SRM[3]) از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی است که به‌منظور پیش‌بینی جریان روزانه ناشی از ذوب برف طراحی شده است. این مدل براساس شاخص درجه–روز عمل می‌کند و برای نخستین بار در سال ۱۹۷۵ برای حوزه‌های آبخیز کوچک اروپا توسط مارتین ارائه شد و با پیشرفت فنون سنجش از دور در تعیین سطح پوشش برف برای حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر مورد بهره‌برداری قرار گرفت (۲۷). این مدل که از سوی سازمان جهانی هواشناسی در مقایسه با سایر مدل‌ها با داشتن حداقل خطا دقیق‌ترین مدل برای شبیه‌سازی ذوب برف تشخیص داده شده است تاکنون در حوزه‌های آبخیز با محدوده ارتفاعی و مساحت‌های مختلف از ۰/۷۶ تا ۹۱۷۴۴۴ کیلومتر مربع برای برآورد رواناب روزانه استفاده شده است (۱۶). در این مدل بارش برف و باران با استفاده از دمای آستانه تفکیک می‌شود و پوشش برفی حوضه با استفاده از برداشت زمینی و یا استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای تعیین می‌گردد.

آب معادل برف (SWE)[4] به‌عنوان پارامتر اصلی نشان‌دهنده ذخیره برفی، در مدل‌های پیش‌بینی جریان‌های رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پارامتر به‌صورت نقطه‌ای در ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری می‌شود ولی این داده‌ها معمولا دارای تراکم مناسب نبوده و کل حوضه را پوشش نمی‌دهند. بنابراین برای داده‌بردای از روش‌های جدید استفاده می‌شود. امروزه تکنولوژی سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای انقلابی را در عرصه مطالعه سطح پوشش برف بوجود آورده است. به‌طوری که اندازه‌گیری‌های سطح گستره برفی در طول زمان به‌صورت چشم‌گیری دقیق‌تر شده و هر چه بر طول ثبت داده‌های ماهواره‌ای افزوده می‌گردد، تعیین روندهای آماری که به‌لحاظ اقلیمی اهمیت دارند آسان‌تر می‌شود. استفاده از تصاویر نوری داده‌های ماهواره‌ای (NOAA) برای پهنه‌بندی پوشش برف از سال ۱۶۹۱ در ایالات متحده آغاز شده و تا به امروز و همزمان با افزایش دقت مکانی و زمانی تصاویر ماهواره‌ای (با شروع به‌کار سنجنده MODIS) ادامه دارد (۳).

با توجه به اهمیت رواناب حاصل از ذوب برف و سهم آن در منابع آب، پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است به‌طوری که مالچر و هیدینگر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS سطح پوشش برف چهار زیرآبخیز در شرق اتریش را به‌دست آورده و با مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی کردند. مدل رواناب چهارزیرآبخیز را به‌ترتیب با اختلاف حجم ۲/۳۵–، ۵/۵۶–، ۰/۴۴ و ۰/۴۹ درصد و با ضریب تعیین ۰/۹۳، ۰/۹۲، ۰/۸۷ و ۰/۸۸ شبیه‌سازی کرده است.

هونگ و چنگ (۱۰) برای شبیه‌سازی رواناب روزانه حوزه آبخیز Gongnaisi در چین از مدل SRM استفاده کردند. مدل با مقدار ضریب کارآیی ۰/۸۷ و اختلاف حجم ۰/۹ درصد اجرا شد. استوارت و همکاران (۲۵) زمان جریان رواناب ناشی از ذوب برف در شمال غربی امریکا را در شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که با استفاده از مدل‌های اقلیمی و با توجه به تغییر دما و بارش در قرن ۲۱ در مناطق مورد بررسی، رواناب ناشی از ذوب برف حدود ۳۰ تا ۴۰ روز زودتر جاری می‌شود. نبی و همکاران (۱۸) رواناب ناشی از ذوب برف را با نسخه درجه–روز مدل SRM در آبخیز Astor در کشور پاکستان با ضریب کارآیی ۰/۹۱ و اختلاف حجم ۹/۰۱ درصد شبیه‌سازی کردند. بیگز و ویتاکر (۲) با استفاده از تصاویر MODIS، سطح پوشش برف را به‌صورت روزانه در حوزه آبخیز کوهستانی در کالیفرنیا استخراج نمودند و ارتفاع بحرانی منطقه را برای ذوب برف در زمان دبی اوج مشخص نمودند. نتایج نشان داد که بین ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم ذوب در یک محدوده ارتفاعی شامل ۲۲ تا ۳۸ درصد کل حوزه آبخیز اتفاق افتاده و ارتفاع بحرانی ذوب برف در طول فصل ذوب افزایش یافته است. در ادامه وفاخواه و همکاران (۲۷) با شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز طالقان در طی سال‌های ۲۰۱۰– ۲۰۰۸ و با استفاده از مدل SRM دقت بالای مدل در شبیه‌سازی رواناب را تأیید کردند. خادکا و همکاران (۱۲) در حوضه Tamakoshi نپال دقت مدل SRM را (پس از واسنجی) با ضریب کارایی ۰/۸۶ و اختلاف حجم ۲ درصد مناسب ارزیابی کردند.

در مستندات داخلی نیز نجف‌زاده و همکاران (۲۱) در شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز پلاسجان، مدل SRM و داده‌های ماهواره‌ای NOAA را به کار برده و رواناب حاصل از ذوب برف را با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و اختلاف حجمی ۰/۲۵ درصد شبیه‌سازی نمودند. همچنین پرهمت و همکاران (۲۲) در پژوهشی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای در حوزه آبخیز خرسان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین ناهمخوانی هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و برآوردشده در زمان اوج سیلاب‌ها است. ضریب تبیین دبی‌های برآوردشده و مشاهده‌ای و اختلاف حجم آنها به‌ترتیب معادل ۰/۷۷۴ و ۱/۰۳ درصد شد. نجفی ایگدیر و همکاران (۲۰) رواناب حاصل از ذوب برف را با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز شهرچای ارومیه شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش سطح پوشش برف منطقه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر هیدرولوژیکی لازم با استفاده از تصاویر سنجنده NOAA استخراج شد. سپس از مدل SRM برای محاسبه رواناب ناشی از ذوب برف استفاده گردید. در این بررسی داده‌ها و پارامترهای مذکور به‌صورت روزانه و برای سال ۱۹۹۷– ۱۹۹۶ وارد مدل شدند. برای ارزیابی دقت مدل مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی مقایسه شدند که شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی با ضریب تبیین ۰/۸۱ و اختلاف حجمی ۲/۷۵ درصد به‌دست آمد. فتح‌زاده و همکاران (۷) نسخه های کلاسیک و تابشی مدل SRM را در حوزه آبخیز کرج مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که ضریب تبیین داده‌های مشاهده‌ای و برآوردشده در مدل تابشی

1- Semi-Distributed Land Use-based Runoff Processes
2- Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning Model
3- Snowmelt Runoff Model
4- Snow Water Equivalent

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

SRM معادل ۰/۶۸ و اختلاف حجم دبی‌ها برابر ۵/۵۸- درصد بوده و مدل تابشی SRM همبستگی‌های دبی‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده را نسبت به مدل کلاسیک SRM به‌میزان ۳/۹ درصد بهبود بخشید. سیدی علم‌آباد و همکاران (۲۴) دقت برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS و کاربرد مدل‌های آماری (رگرسیون دو و چندمتغیره) در حوزه آبخیز زرینه‌رود را مناسب دانسته و مشخص نمودند که مدل چندمتغیره در برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف براساس شاخص درجه-روز، میانگین درجه حرارت روزانه و سطح پوشش برف (از تصاویر ماهواره‌ای) از دقت بالایی برخوردار است. همچنین میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۷) با مدل‌سازی جریان ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM، ضمن تأیید کارآیی مدل در مدل‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف (ضریب تبیین تا ۰/۹۴)، نشان دادند که عمده بودجه آبی حوزه آبخیز سد کرج از ذوب برف تأمین می‌شود.

اگرچه نسخه درجه-روز مدل SRM تاکنون توسط محققان در حوزه‌های آبخیز متعدد با موفقیت اجرا شده و می‌توان اذعان داشت که درجه حرارت شاخص مناسبی از جریان انرژی در مناطق جنگلی است ولی در مناطق باز این شاخص نسبت به تابش طول موج کوتاه یا سرعت باد نقش کم‌تری در فرآیند ذوب برف دارد (۱۴) و مطالعات نشان می‌دهد که با وارد کردن تابش خورشیدی با طول موج کوتاه به مدل ذوب بر پایه درجه حرارت، مدل‌سازی ذوب برف بهبود داشته و در واقع به یک مدل بیلان انرژی ساده تبدیل می‌شود (۵،۲۶). بنابراین هدف تحقیق حاضر تخمین دبی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از سطوح پوشش برف استخراج شده از تصاویر MODIS و بررسی دقت نسخه درجه روز و تابشی مدل SRM در پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز بهشت‌آباد به‌عنوان یک منطقه کوهستانی و برف‌گیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه تحقیق

حوزه آبخیز بهشت‌آباد با مساحت ۳۸۶۰ کیلومتر مربع در شمال و شمال شرقی حوزه آبخیز کارون شمالی (شامل ۲۷ درصد حوزه آبخیز) در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. متوسط بارش درازمدت سالانه در این حوضه ۴۷۱ میلی‌متر است. کمترین ارتفاع این حوضه ۱۶۶۰ متر در محل خروجی و بیشترین ارتفاع آن ۳۶۲۰ متر در کوه سالداران بوده و از کل مساحت حوضه بهشت‌آباد، ۷۹ درصد در ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد که میانگین شیب حوضه ۲۷ درصد برآورد شده است. متوسط بارش درازمدت سالانه در این حوضه ۴۷۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است (۲۳).

روش پژوهش

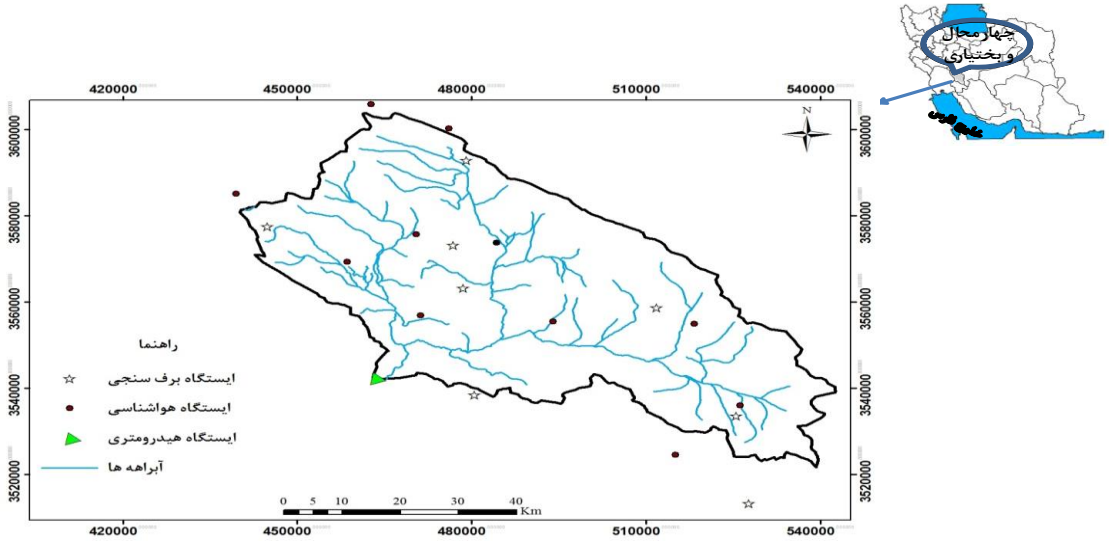
داده‌های ضروری برای اجرای مدل کلاسیک SRM شامل ویژگی‌های حوزه آبخیز و متغیرهای هواشناسی و هیدرومتری و پارامترهای مدل می‌باشند.

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل برای هر طبقه ارتفاعی به‌دست آمد و دبی روزانه در هر طبقه ارتفاعی بر طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$Q_{n+1} = [C_{sn} a_n (T_n) S_n + C_{Rn} P_n] \frac{10000}{86400} (1 - K_{n+1}) A + Q_n K_{n+1} \quad (۱)$$

در این رابطه، Q دبی روزانه (متر مکعب بر ثانیه)، C_S ضریب رواناب برف، C_R ضریب رواناب باران، a فاکتور درجه-روز (سانتی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز)، T درجه‌حرارت درون‌یابی شده (درجه سانتی‌گراد)، S نسبت مساحت پوشش برف به مساحت کل حوزه آبخیز، P بارش مولد رواناب (سانتی‌متر)، A مساحت حوزه یا ناحیه انتخابی (کیلومتر مربع)، n توالی روزها در طی دوره پیش‌بینی یا شبیه‌سازی، K ضریب فروکش جریان می‌باشد. ویژگی‌های حوضه شامل مساحت حوضه و مساحت نواحی ارتفاعی می‌باشد. برای به‌دست‌آوردن ویژگی‌های حوضه ابتدا مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه تهیه شد و در محیط ArcGIS با استفاده از DEM موجود، داده‌های لازم استخراج گردید. شکل ۱ حوزه آبخیز بهشت‌آباد و ایستگاه‌های موجود را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]



شکل ۱- محل ایستگاه‌های برف‌سنجی، هواشناسی (سینوپتیک و باران‌سنجی) و هیدرومتری در حوزه آبخیز بهشت‌آباد
Figure 1.Location of Snow Survey, Climatological (Synoptic and Rainguage Stations) and Hydrometric Station in the Beheshtabad Watershed

متغیرهای هواشناسی و هیدرومتری مورد نیاز برای مدل، شامل درجه حرارت، بارندگی، سطح پوشش برفی و دبی روزانه می‌باشد. این داده‌ها از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری و نیز تصاویر ماهواره‌ای تهیه می‌شود. شکل ۲ نمودار جریانی برآورد رواناب با مدل تابشی SRM را نمایش می‌دهد. در مدل SRM درجه حرارت به‌صورت متوسط روزانه متناظر با طبقات هیپسومتریک و بر اساس نرخ کاهش درجه حرارت[1] روزانه محاسبه می‌شود. که می‌توان از مقادیر حداقل و حداکثر دمای روزانه نیز استفاده کرد و مدل این قابلیت را دارد که مقدار متوسط دمای روزانه را محاسبه کند. در این تحقیق از داده‌های میانگین سالانه دمای ایستگاه‌های موجود در منطقه استفاده و معادله گرادیان به ازاء هر ۱۰۰ متر محاسبه گردید. سپس با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه مبنا (ایستگاه شهرکرد) در ارتفاع میانگین هر طبقه ارتفاعی، داده‌های روزانه برای طبقات ارتفاعی به‌دست آمد. بر اساس خصوصیات نوسانات روزانه رواناب حاصل از ذوب برف می‌توان زمان تأخیر را به‌طور مستقیم از هیدروگراف جریان سال‌های گذشته تعیین نمود. به‌عنوان مثال، اگر دبی هر روز در حوالی ظهر شروع به افزایش نماید، تأخیر دبی نسبت به درجه حرارت حدود شش ساعت می‌باشد. ولی به هر حال، به‌طور معمولی دبی در دوره زمانی نیمه‌شب تا نیمه‌شب گزارش می‌شود و برای مقادیر شبیه‌سازی شده نیاز به تطبیق دارد. سطح فعال بارش باران در تبدیل بارش به رواناب مهم می‌باشد. در مدل SRM فرض بر آن است که میزان بارش و نوع آن (از نظر برف یا باران) در هر طبقه ارتفاعی یا واحد هیدرولوژیک یکنواخت است.

سطح پوشش برف

سطح پوشش برف به‌صورت روزانه مورد نیاز است که از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آید. در این پژوهش تعداد ۷۰ گذر از تصاویر MODIS در منطقه مورد تحقیق (مربوط به سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) استفاده شد. برای استخراج سطح پوشش برف از تصاویر زمین مرجع شده سایت NASA[2] و نرم‌افزارهای سامانه پردازشگر ENVI نسخه ۴/۲ و ArcGIS نسخه ۹/۲ استفاده شد. با توجه به این‌که برف در طول موج مرئی (۰/۵ تا ۰/۷ میکرومتر) دارای انعکاس زیاد و در طول موج کوتاه مادون قرمز (۱ تا ۴ میکرومتر) دارای انعکاس کم است از باندهای ۴ و ۶ برای استخراج نمایه برفی تفاضلی نرمال شده[3] (رابطه ۲) استفاده شد (۹).

$$\left[NDSI = \frac{MODIS_{Band4} - MODIS_{Band6}}{MODIS_{Band4} + MODIS_{Band6}} \right] \quad (۲)$$

در این رابطه NDSI نمایه برفی تفاضلی نرمال‌شده، $MODIS_{Band4}$ تصویر باند چهارم سنجنده MODIS پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و $MODIS_{Band6}$ تصویر باند شش سنجنده MODIS پس از انجام تصحیحات رادیومتریک است.

از آنجا که تهیه تصاویر ماهواره‌ای برای هر روز امکان‌پذیر نیست، سطح پوشش برف را برای چند روز در طول فصل ذوب برف تهیه و برای روزهای دیگر درون‌یابی می‌شود. در این تحقیق از روش ماچلر و همکاران (۱۵) برای درون‌یابی استفاده گردید. در واقع تغییرات سطح پوشش برف از عمق ذوب برف تجمعی به‌دست می‌آید و عمق ذوب برف تابعی از فاکتور درجه-روز (α) و تعداد درجه-روز بالای درجه حرارت بحرانی (T^+) است که در بازه زمانی t_1 و t_2 از رابطه ۳ به‌دست می‌آید.

$$\Delta M(t_1,t_2) = \sum_{t_1}^{t_2} \alpha T^+ \quad t_1 < t_x < t_2 \qquad (۳)$$

فرض کنیم دو تصویر ماهواره‌ای در زمان‌های t_1 و t_2 موجود است و سطح پوشش برف استخراج‌شده با استفاده از این دو تصویر به‌ترتیب $SCA(t_1)$ و $SCA(t_2)$ بوده و فاصله زمانی بین t_A و t_E درجه حرارت پایین‌تر از درجه حرارت

1- Lapse rate
2- http://ladsweb.nascom.nasa.gov
3- Normalized difference snow index (NDSI)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

بحرانی باشد (t_A و t_E دو زمان فرضی بین بازه زمانی t_1 تا t_2 می‌باشد). سطح پوشش برف در t_x از رابطه ۴ به‌دست می‌آید.

(۴)

$$SCA(t_x) = SCA(t_{x-1}) - \frac{SCA(t_1)-SCA(t_2)}{\Delta M(t_1,t_A)+\Delta M(t_E,t_2)} \Delta M(t_{x-1},t_x)$$

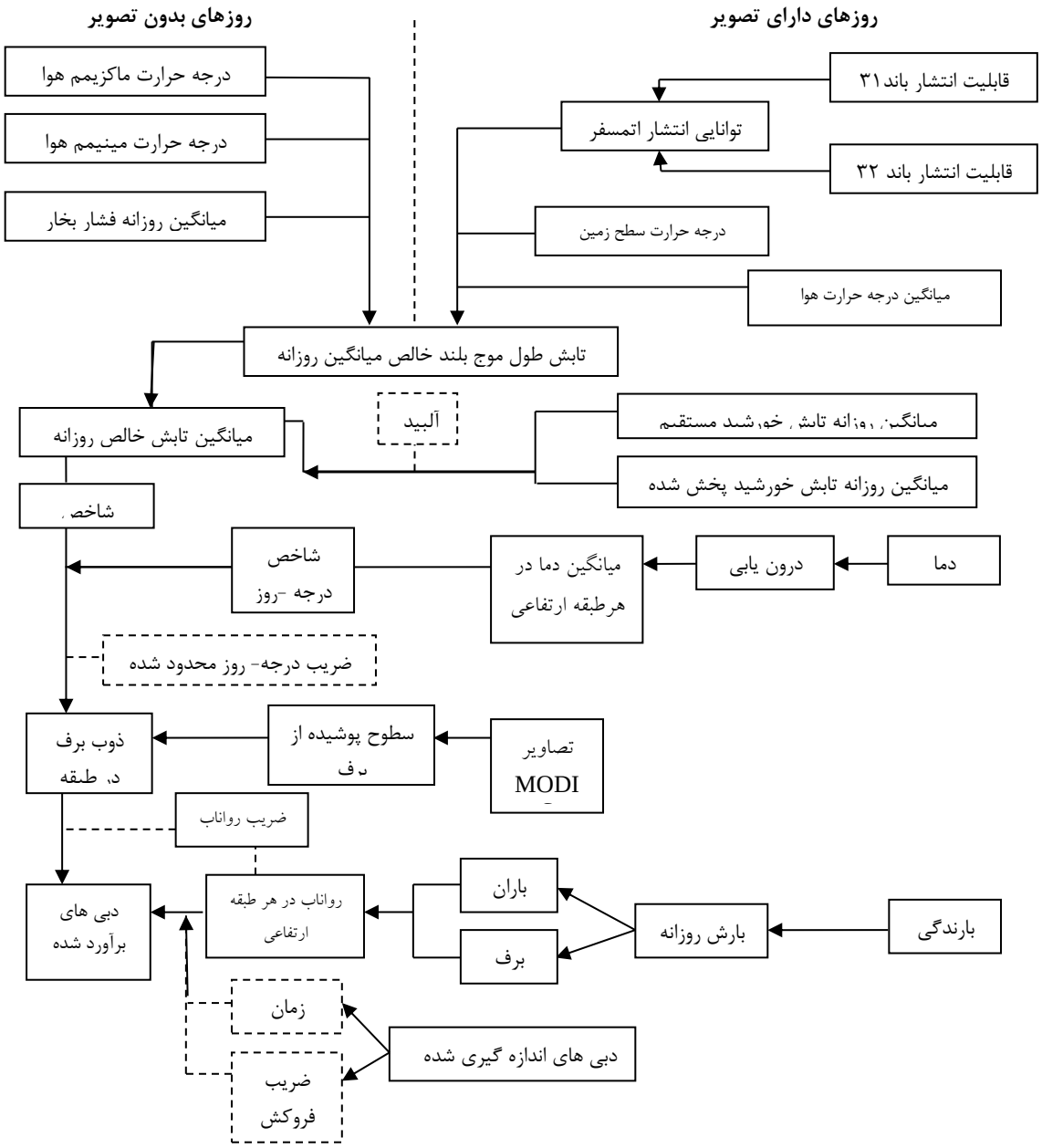
فاکتور درجه–روز (M) به‌صورت مقدار عمق ذوب‌شده به تعداد درجه–روز بوده و به‌صورت معادله ۵ تعریف می‌گردد.

$$M = a.T \qquad (۵)$$

که در آن M ذوب روزانه به سانتی‌متر، a شاخص درجه–روز به سانتی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز و T تعداد درجه–روز است که از تفاضل درجه‌حرارت میانگین روزانه و درجه‌حرارت بحرانی به‌دست می‌آید. در صورت نبود داده، فاکتور ذوب می‌تواند با استفاده از رابطه تجربی (۶) به‌دست آید.

$$a = \frac{1.1\,\rho s}{\rho w} \qquad (۶)$$

در این رابطه ρs چگالی برف و ρw چگالی آب است.



شکل ۲– نمودار جریانی برآورد رواناب با مدل تابشی SRM
Figure 2. Flowchart of Runoff Estimation Using Radiation SRM Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

ضریب رواناب به‌دلیل کمبود داده‌های مشاهده‌ای زمینی بخصوص ناکافی‌بودن داده‌ها در ارتفاعات برای مدل به‌صورت سعی و خطا تعیین می‌شود. سپس مدل SRM میزان سهم ذوب برف را با بارش مستقیم باران در هر واحد هیدرولوژیکی ترکیب کرده و برآیند به‌دست‌آمده در خروجی حوزه نمایش داده می‌شود.

در مدل تابشی SRM میزان ذوب برف از حاصل‌ضرب شاخص درجه–روز (T_d) با ضریب درجه–روز محدود شده (a_r) به اضافه میزان ذوب ناشی از شاخص تابش مطابق معادله (۶) به‌دست می‌آید.

$$M = m_Q R_d + a_r T_d \qquad (۷)$$

در این معادله m_Q ثابت فیزیکی مربوط به تبدیل انرژی به عمق آب (معادل ۰/۰۲۶ سانتی‌متر در روز در وات بر متر مربع) است. a_r نیز ضریب درجه–روز محدود شده (سانتی‌متر در روز درجه سلسیوس) می‌باشد. شاخص درجه روز (T_d) برای هر دو مدل یکسان است.

تابش خالص روزانه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و تصاویر MODIS بر اساس روابط ارائه‌شده توسط FAO محاسبه می‌گردد (۶). در این تحقیق از داده‌های ایستگاه شهرکرد برای تهیه داده‌های لازم طبقات ارتفاعی استفاده گردید. تابش خالص (R_n) در سطح زمین با استفاده از معادله (۷) به‌دست می‌آید.

$$R_n = R_s^{\downarrow} - R_s^{\uparrow} + R_l^{\downarrow} - R_l^{\uparrow} \qquad (۸)$$

در این رابطه $R_s^{\downarrow}$ تابش ورودی با طول موج کوتاه (وات بر مترمربع)، $R_s^{\uparrow}$ تابش خروجی با طول موج کوتاه، $R_l^{\downarrow}$ تابش ورودی با طول موج بلند و $R_l^{\uparrow}$ تابش با طول موج بلند انعکاس‌یافته از سطح می‌باشد.

هر یک از پارامترهای مدل SRM می‌توانند با اندازه‌گیری و یا بر اساس نظرات کارشناسی و با استفاده از خصوصیات حوضه، روابط فیزیکی، تجربی و روابط همبستگی برآورد گردد (۱۹). در نهایت می‌توان از واسنجی مدل برای این پارامترها نیز استفاده کرد. جدول ۲ فواصل جستجو و محدوده بهینه پارامترهای مدل SRM را نشان می‌دهد.

مقایسه دبی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده با دو مشخصه ضریب کارآیی ناش–ساتکلیف (رابطه ۹) و اختلاف حجم ارقام دبی (رابطه ۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. معیار تفاضل حجمی که اختلاف بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است نیز برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \acute{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2} \qquad (۹)$$

$$D_V[\%] = \frac{V_R - \acute{V}_R}{V_R} \times 100 \qquad (۱۰)$$

که در این روابط Q_i و $\acute{Q}_i$ به‌ترتیب دبی‌های روزانه اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، $\bar{Q}$ دبی میانگین در طی یک سال آبی یا فصل ذوب برف، n عبارت است از شمار روزهای اندازه‌گیری دبی، V_R و $\acute{V}_R$ به‌ترتیب حجم رواناب سالانه یا فصلی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده می‌باشند.

نتایج و بحث

جدول ۱ مساحت و درصد طبقات ارتفاعی این حوضه را نشان می‌دهد. Martinec و همکاران (۱۶) فواصل مناسب برای طبقات ارتفاعی را ۵۰۰ متر عنوان کرده‌اند ولی در حوزه آبخیز مورد مطالعه درصد مساحت واقع در طبقه ۲۵۰۰–۲۰۰۰ بیش از ۷۰ درصد سطح کل را شامل می‌شود. بنابراین فواصل طبقاتی مختلفی در نظر گرفته شد. طبقه ارتفاعی ۲۴۰۰–۲۱۰۰ با ۵۴ درصد بیشترین سطح حوضه را شامل می‌شود. این امر نشان‌گر کوهستانی و مرتفع‌بودن حوزه آبخیز بهشت‌آباد می‌باشد. همچنین شکل ۳ سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعی مختلف حوزه آبخیز بهشت‌آباد را نشان می‌دهد.

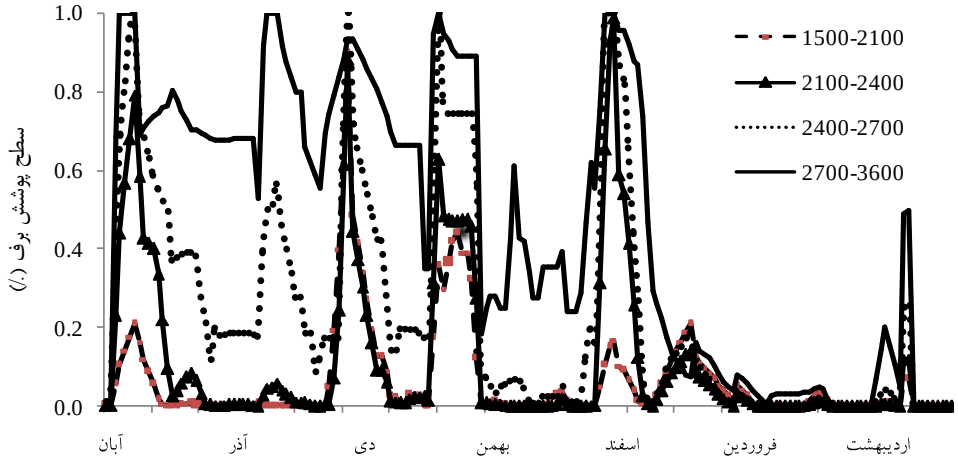
دبی روزانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد و شبیه‌سازی شده با دو روش کلاسیک و تابشی مدل SRM برای دوره آزمون (۹۳–۱۳۹۲) به‌صورت آب‌نمودهای شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱– مساحت و درصد طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز بهشت‌آباد

Table 1.Elevation Zones (Area and Percent) in the Beheshtabad Watershed

طبقه ارتفاعی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۱۵۰۰–۲۱۰۰	۶۵۲/۲۶	۱۶/۸۰
۲۱۰۰–۲۴۰۰	۲۰۹۷/۸۵	۵۴/۰۵
۲۴۰۰–۲۷۰۰	۸۲۷/۲۹	۲۱/۳۱
۲۷۰۰–۳۶۰۰	۳۰۳/۴۰	۷/۸۱

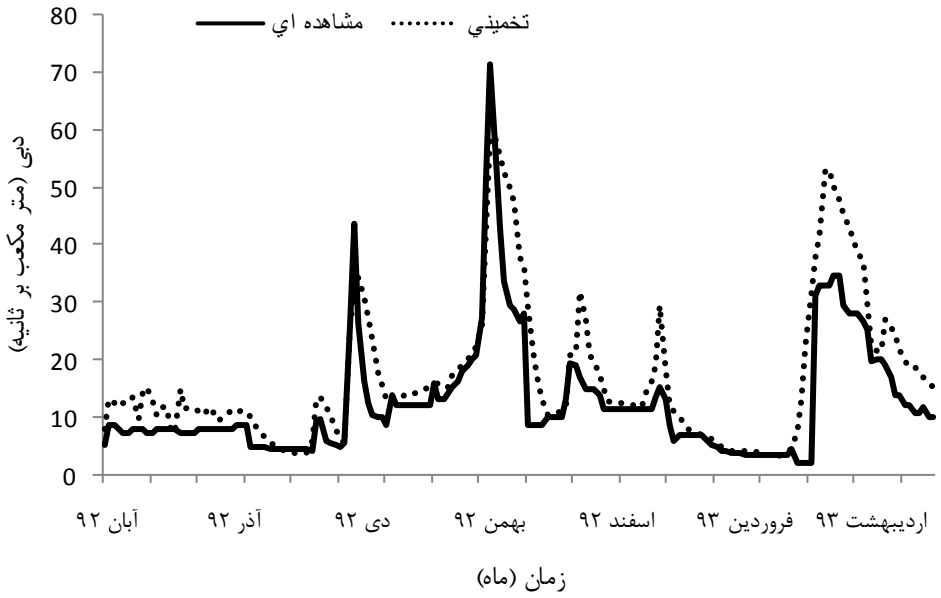
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]



شکل ۳- نسبت سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعی مختلف حوزه آبخیز بهشت آباد
Figure 3.Snow Cover Area Ratio in Different Elevation Zones of the Beheshtabad Watershed

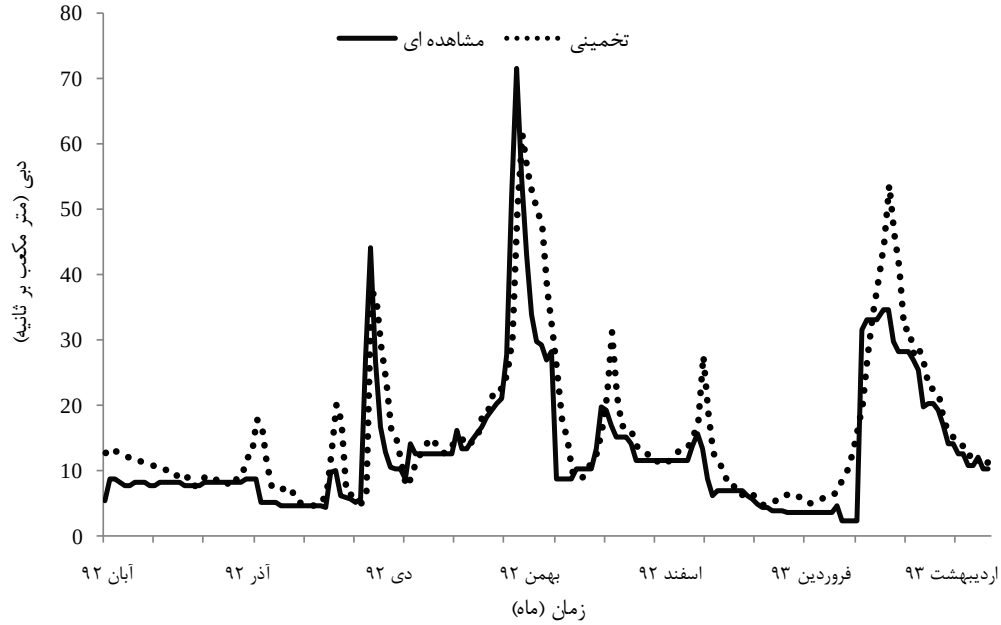
جدول ۲- فواصل جستجو برای واسنجی و محدوده بهینه پارامترهای مدل SRM
Table 2.Interval Search for Calibration and Optimal Interval Parameters of SRM Model

پارامتر	علامت	مقادیر			محدوده بهینه
		حداقل	حداکثر	فاصله	
ضریب فروکش	x	۰/۱	۱/۵	۰/۰۱	۱/۰۲–۱/۱
	y	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۶–۰/۱
ضریب رواناب باران	C_r	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۷–۰/۷۶
ضریب رواناب برف	C_s	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۶۸–۰/۷۸
ضریب درجه–روز	(a)	۰/۰۵	۱	۰/۰۵	۰/۲–۰/۳۵
ضریب درجه–روز محدود شده	(ar)	۰/۰۵	۱	۰/۰۱	۰/۲–۰/۴۰
درجه‌حرارت بحرانی	T_{crit} (℃)	۰	۴	۰/۲	۲



شکل ۴- آب‌نمود روزانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل کلاسیک SRM
Figure 4.Daily Observed and Estimated Hydrographs Using Classic SRM Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]



شکل ۵- آب‌نمود روزانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل تابشی SRM
Figure 5.Daily Observed and Estimated Hydrographs Using Radiation SRM Model

نتایج واسنجی متغیرها (جدول ۲) نشان داد که ضریب فروکش جریان موثرترین متغیر مدل در هماهنگی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است که تعیین سهم تولید ذوب برف روزانه که به‌سرعت به رواناب اضافه می‌شود را به‌خصوص در حوزه‌های آبخیز بزرگ، به‌عهده دارد و در نتیجه لازم است تا به‌دقت مورد واسنجی قرار گیرد. متغیر درجه-روز به تراکم برف وابسته است. بنابراین برای تخمین دقیق این فاکتور، در اختیار داشتن اطلاعات نسبتا دقیقی از تراکم برفی منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین مقایسه چشمی نتایج دبی روزانه شبیه‌سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده (شکل‌های ۴ و ۵) انطباق خوب دبی روزانه اندازه‌گیری شده و دبی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. در هر دو مدل در ابتدای فصل بارندگی دقت دبی‌های تخمینی بسیار کم بوده و در ادامه دقت مدل‌ها بیشتر شده است. همچنین در اکثر مواقع دبی تخمینی بیشتر از دبی مشاهده‌ای می‌باشد. جدول ۳ نتایج کمی مقایسه را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج شبیه‌سازی رواناب ذوب برف با مدل کلاسیک و تابشی SRM در ایستگاه بهشت‌آباد
Table 3. Results of Snowmelt-Runoff Simulation Using Classic and Radiation SRM Models in the Beheshtabad Station

دوره	Dv (%)		NSE	
	کلاسیک	تابشی	کلاسیک	تابشی
واسنجی	-۱۴/۷۲	-۹/۳۲	۰/۶۰	۰/۷۶
آزمون	-۲۸/۳۱	-۲۱/۰۶	۰/۵۸	۰/۷۱

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار R^2 در مدل تابشی SRM (۰/۷۱) نسبت به مدل کلاسیک (۰/۵۸) به‌میزان ۱۳ درصد بهبود یافته است. همچنین میزان اختلاف حجم کل رواناب در مدل کلاسیک و تابشی SRM به‌ترتیب برابر با ۲۸/۳۱- و ۲۱/۰۶- می‌باشد. یعنی در نسخه کلاسیک و تابشی مقدار حجم رواناب برآوردی به‌ترتیب ۲۸ و ۲۱ درصد بیش از مقدار مشاهده‌ای است.

با توجه به آب‌نمود مشاهده‌ای مشخص می‌شود که مقادیر اوج رواناب در فروردین و اواخر اسفند و به‌دنبال بارش باران و نیز گرم‌شدن نسبی هوا و در نتیجه ذوب سریع برف به وقوع پیوسته است. زیرا غالباً در ارتفاعات برف‌گیر ذوب برف در اثر بارش باران بیشتر شده و اوج رواناب در زمان بارش شدید باران رخ خواهد داد. بنابراین برف انباشته شده در فصل بارش برف می‌تواند هنگام ذوب در فصل بهار سیلاب‌های سهمگینی را ایجاد نماید. بنابراین مدیریت حریم رودخانه می‌تواند روند سیل را کاهش داده و از بروز خسارت جلوگیری نماید.

از سوی دیگر با توجه به ذوب عمده ذخیره برف در ماه‌های اسفند و فروردین و به‌دنبال آن کاهش شدید ذخیره برف، کاهش دبی در اواخر فصل بهار و به‌خصوص تابستان کاملا منطقی می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد مدیریت مناسب تاریخ کاشت برای تعدیل اثرات منفی کاهش شدید دبی بر عملکرد محصولات زراعی، به‌عنوان یک راهکار مناسب در نظر گرفته شود. در هر دو نسخه SRM بیشترین عدم انطباق در زمان سیلابی و همزمان با ذوب برف می‌باشد که دبی را بیش از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. پرهمت و همکاران (۲۲) نیز در تحقیق خود به این نکته اشاره نموده‌اند که بیشترین ناهمخوانی آب‌نمودها مربوط به زمان سیلابی است. همچنین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

در اوایل دوره بارندگی با توجه به اینکه ظرفیت جذب و نفوذ آب در خاک زیاد می‌باشد، مقدار رواناب مشاهده‌ای کمتر از مقدار تخمینی است که این به‌دلیل عدم لحاظ رطوبت خاک و قابلیت نفوذ آب در مدل SRM می‌باشد. دلیل دیگر وجود اختلاف بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای وجود ایستگاه‌های هواشناسی محدود در سطح این حوزه آبخیز می‌باشد که با توجه به سطح وسیع حوزه، کوهستانی‌بودن و گوناگونی مشخصه‌های اقلیمی در سرتاسر حوزه، استفاده از گرادیان دمایی و بارندگی چندان پاسخگوی نیازهای مدل نبوده که این امر خود باعث کاهش دقت مدل می‌گردد.

به‌طور کلی دقت مدل تابشی بیش از مدل کلاسیک می‌باشد که با مطالعات فتح زاده و همکاران (۷) و Vafakhah و همکاران (۲۷) مطابقت دارد. در نهایت نتایج مدل نشان می‌دهد که مدل SRM با استفاده از داده‌های سطح پوشش برف MODIS می‌تواند برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب برف در حوزه آبخیز بهشت‌آباد به‌کار رود. کارایی بالای مدل در برآورد دبی را می‌توان به استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌عنوان ورودی‌های مدل (سطح پوشش برف، توپوگرافی منطقه) نسبت داد. بنابراین در حوزه‌هایی که فاقد داده‌های اندازه‌گیری زمینی برف‌سنجی می‌باشند، با استفاده از سطح پوشش برف که از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آید و استفاده از مدل SRM می‌توان جریان حوزه آبخیز را پیش‌بینی کرد. از نتایج به‌دست آمده استنباط می‌شود که با استفاده از مدل تابشی و درجه-روز SRM به آسانی و دقت قابل‌قبول می‌توان رواناب حاصل از ذوب برف را برآورد نمود. همچنین نتیجه‌گیری می‌شود که افزودن تابش به مدل SRM باعث بهبود برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز بهشت‌آباد شده است.

منابع

1. Arp, P.A. and X. Yin. 1992. Predicting water fluxes through forests from monthly precipitation and mean monthly air temperature records. Canadian Journal of Forest Research, 22(6): 864-877.
2. Biggs, T.W. and T.M. Whitaker. 2012. Critical elevation zones of snowmelt during peak discharges in a mountain river basin. Journal of Hydrology, 438(9): 52-65.
3. Bisht, G., V. Venturini, S. Islam and L. Jiang. 2005. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. Remote Sensing of Environment, 97: 52-67.
4. Bobba, A.G. and D.C.L. Lam. 1990. Hydrological modeling of acidified Canadian watersheds. Ecological Modeling, 50(3): 5-32.
5. Brubaker, K., A. Rango and W. Kustas. 1996. Incorporating radiation inputs into the Snowmelt Runoff Model. Hydrological Processes, 10(10): 1329-1343.
6. FAO. 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO 56, Roma.
7. Fathzadeh, A., M. Mahdavi, R.C. Bales, A.A. Abkar and A. Askari Shirazi. 2009. A comparison of degree-day and radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM). Journal of Range and Watershed Management, 62: 99-110 (In Persian).
8. Ghanbarpour, M.R., B. Saghafian, M. Mohseni Saravi and K.C. Abbaspour. 2007. Evaluation of spatial and temporal variability of snow cover in a large mountainous basin in Iran. Nordic Hydrology, 38(1): 45-58.
9. Hall, D.K., G.A. Riggs, V.V. Salomonson, N.E. DiGirolamo and K.J. Bayr. 2002. MODIS snow cover products. Remote Sensing of Environment, 83: 181-194.
10. Hong, M. and G. Cheng. 2003. A test of snowmelt runoff model (SRM) for the Gongnaisi river basin in the western tianshan mountains, China. Chinese Science Bulletin, 48(20): 2253-2259.
11. Jakeman, A.J. and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? Water Resources Research, 29(8): 2637-2649.
12. Khadka, D., B. Mukand, S. Shrestha and N. Tripathi. 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.
13. Kite, G.W., A. Dalton and K. Dion. 1994. Simulation of streamflow in a macro scale watershed using general circulation model data. Water Resources Research, 30(5): 1547-1559.
14. Li, X. and M.W. Williams. 2008 .Snowmelt runoff modelling in an arid mountain watershed, Tarim basin, China. Hydrological Processes, 22(19): 3931-3940.
15. Malcher, P., M. Heidinger, T. Nagler and H. Rott. 2004. Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model. Institute for Meteorology and Geophysics, University of Innsbruck. Envisnow EVG1-CT-2001-00052. www.itek.norut.no/EnviSnow.
16. Martinec, J., A. Rango and R.T. Roberts. 2008. Snowmelt runoff model (SRM) user's manual. New Mexico, New Mexico State University Press, 177 pp.
17. Miryaghoobzadeh, M., M.R. Ghanbarpour and M. Habibnejad Roshan. 2011. Snowmelt river flow modeling using SRM model (case study: Karaj dam basin). Iran Water Resources Research, 7(3): 40-52 (In Persian).
18. Nabi, G., M. Latif, H. Rahman and A. Hussain Azhar. 2011. The role of environmental parameter (degree day) of snowmelt runoff simulation. Soil and Environment, 30(1): 82-87.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

19. Najafi, M.R., J. Sheikhivand and G. Porhemmat. 2004. Estimation of runoff in a snow cover mountainous basin by using SRM model (A case study of Mahabad basin). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 43: 111-121 (In Persian).
20. Najafi Eigdir, A., J. Ghodoosi, B. Saghafian and J. Porhemmat. 2007. Snowmelt runoff estimation by using RS and GIS (A case study in Shahar-chi watershed- Orumiyeh). Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 76: 177-185 (In Persian).
21. Najafzadeh, R., A. Abrishamchi and M. Tajrishi. 2005. Stream Flow with Snowmelt Runoff Modeling Using RS and GIS (Case Study: Pelasjan sub Basin). Water and Wastewater Consulting Engineers, 15(52): 48-55 (In Persian).
22. Porhemat, J., B. Saghafian and H. Sedghi. 2005. Application of SRM model in snowmelt runoff simulation using NOAA images in ungaged basins. Iran Water Resources Research, 1(1): 1-11 (In Persian).
23. Rostamian, R., S.F. Mousavi, M. Heidarpour, M. Afyuni and K. Abaspour. 2008. Application of SWAT2000 model for estimating runoff and sediment in Beheshtabad watershed, a sub-basin of northern Karun. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 12(46): 531-517 (In Persian).
24. Sayedi Elmabad, M., H.R. Moradi and M.Reza. Ghanbarpour. 2009. Estimation of snowmelt runoff using IRS satellite data and statistical models (the case study: Zarinerood basin). Iranian Journal of Watershed Management Science, 3(9): 35-44 (In Persian).
25. Stewart, I.T., D.R. Cayan and M.D. Dettinger. 2004. Changes in snowmelt runoff timing in Western North America under a business as usual climate change scenario. Climate Change, 62(1-3): 217-232.
26. Stroeve, J.C., J.E. Box and T. Haran. 2006. Evaluation of the Modis (MOD10A1) daily snow albedo product over the greenland ice sheet. Remote Sensing of Environment, 105: 155-171.
27. Vafakhah, M., A. Nouri and S.K. Alavipanah. 2015. Snowmelt-runoff estimation using radiation SRM model in Taleghan watershed. Environment Earth Science, 73(3): 993-1003.
28. Vafakhah, M., M. Mohseni Saravi, M. Mahdavi and S.K. Alavipanah. 2011. Comparison of snow cover area (SCA) in NOAA and MODIS Images (A case study: Taleghsn Watershed). Watershed Management Research (Pajouhesh Sazandegi), 92: 80-94 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]

Comparison of Degree-Day and Radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM) for Estimating Runoff from Snow Melting

Mohammad Bagher Raeisi[1], Mehdi Vafakhah[2] and Hamid Reza Moradi[3]

1- PhD Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran
2- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran (Corresponding author: vafakhah@modares.ac.ir)
3- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran
Received: September 28, 2016 Accepted: April 4, 2017

Abstract

In mountainous and snowy watersheds, runoff generated by snow melting is an important factor in changes in flow regime and plays an important role in stream water Supply and water resources**.** However, in such watersheds, hydrological and meteorological required data for simulation, especially snow survey data are usually not available. Therefore, there are many problems for simulation and forecasting runoff generated by snow melting. In this study, were used the degree-day and radiation base of SRM to estimate the runoff in the Beheshtabad watershed. The aim of this study was to evaluate the degree-day and radiation version of the model for estimating runoff from snow melting. Therefore, prepared the variables of classical and radiation SRM and snow cover was obtained from MODIS satellite images and then models were run for calibration period (2012-13) and validation period (2013-14). The efficiency factor (R^2) in the validation period for SRM radiation model (0.71) is 13% more than the classic model (0.58) and the difference between total runoff volumes in the radiation SRM improved 7% compared to the classical model.

Keywords: Drought forecasting, Simulation, Snowmelt runoff model, Snow water equivalent

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.1.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.1]