

برآورد رواناب ذوب برف با سنجش از دور و مدل SRM در حوزه آبخیز سقز

هیرش انتظامی^{۱*}، سید کاظم علوی پناه^۲، حمیدرضا متین فر^۳، علی درویشی بلورانی^۴ و کامران چپی^۵

^۱ دانشجوی دکتری مخاطرات اقلیمی، دانشکده ادبیات، دانشگاه رازی کرمانشاه، ^۲ استاد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ^۳ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ^۴ دانشیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران و ^۵ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

چکیده

اهمیت برف و آب حاصل از ذوب آن در تامین منابع آب باعث شده است که مطالعات فراوانی در نقاط مختلف در زمینه برف‌سنجی و محاسبه رواناب صورت گیرد. این پژوهش در حوزه آبخیز سقز در استان کردستان صورت گرفته که با توجه به کوهستانی بودن منطقه و اهمیت بالای برف و آب حاصل از ذوب آن، برآورد رواناب روزانه حوضه مورد بررسی قرار گرفته و از مدل رواناب ذوب برف SRM برای برآورد رواناب روزانه استفاده شد. بر این اساس، داده‌ها و متغیرهای مورد نیاز در چهار سال متوالی از ۲۰۰۶ الی ۲۰۰۹ جمع‌آوری و رواناب ذوب برف برای چهار سال برآورد شد. برای محاسبه سطح برف از تصاویر سنجنده MODIS استفاده شد. پس از جداسازی پوشش برف این تصاویر، با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی مساحت برف روزانه برآورد شد و همراه با متغیرهای دیگر وارد مدل شد تا رواناب روزانه برآورد شود. برای کسب نتایج دقیق‌تر و مدل کردن رفتار رواناب روزانه حوضه، واسنجی و اعتبارسنجی مدل انجام شد. با انجام واسنجی، مناسب‌ترین مقدار برای هر پارامتر به دست آمد. برای بررسی دقت مدل و مقایسه نتایج با داده‌های زمینی رواناب از ضریب تبیین و درصد تفاضل حجمی مدل استفاده شد. بر اساس نتایج، ضریب تبیین بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۴ و تفاضل حجمی بین ۶/۸ تا ۷/۲ درصد بدست آمد که کارایی بالای مدل را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم LSU، تصاویر MODIS، روش Subpixel، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سطح پوشش برف

مقدمه

(Liu و همکاران، ۲۰۱۲). الگوهایی از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی و کاربری اراضی عوامل تغییرات مکانی توزیع، انباشتگی و ذوب برف هستند (Burkard و همکاران، ۱۹۹۱). مقدار و عمق برفی که می‌تواند در زمستان انباشته شود و سپس، در فصل بهار ذوب شود، بسته به نوع پوشش گیاهی فرق می‌کند (Samantha، ۲۰۰۴). در حوضه‌هایی که رواناب ناشی از ذوب برف در آن‌ها غالب است، برای تشخیص تغییرات اقلیمی و بررسی نقل و انتقال انرژی بین توده برفی و اتمسفر که منجر به تغییرات در انرژی درونی پوشش برفی و ایجاد رواناب می‌شود،

بارش برف در حوضه‌های کوهستانی به‌عنوان یک منبع آبی بسیار مهم نقش بسیار بزرگی در تأمین نیازهای آبی این مناطق دارد. با توجه به دوام و ماندگاری آن، برف می‌تواند در فصل کم آبی برای حل مشکل کم آبی مفید بوده و ذوب تدریجی آن باعث تداوم جریان آب در فصل خشک می‌شود. عوامل آب و هوایی مانند حرارت، بارندگی، الگوی چرخه‌های اتمسفری، فعالیت جبهه‌ای، نرخ کاهش دمای جو، پایداری توده‌های هوایی و بادهای همه تأثیر بزرگی بر روی توزیع و خصوصیات برف در حوزه آبخیز دارند

همکاران، ۲۰۰۸). این مدل، ابتدا در سال ۱۹۷۵ به وسیله Martinec معرفی و نسخه‌های بعدی آن به وسیله Martinec و Rango تدوین شد (Martinec، ۱۹۷۵). مدل SRM به وسیله سازمان جهانی هواشناسی برای شبیه‌سازی مورد آزمایش قرار گرفته است که در مقایسه با سایر مدل‌ها با داشتن کمینه خطا دقیق‌ترین مدل برای شبیه‌سازی رواناب ذوب برف تشخیص داده شد (Martinec و Seidel، ۲۰۰۲).

محققان دریافتند که SRM همراه با پوشش برف MODIS و داده‌های بارندگی به‌طور قابل توجهی مدل‌سازی رواناب را در هیمالیا بهبود می‌بخشد (Bookhagen و Burbank، ۲۰۱۰). در شمال غربی چین، مطالعات متعددی برای استفاده از SRM برای شبیه‌سازی فرایندهای رواناب ذوب برف متمرکز شده است (Liu و همکاران، ۲۰۱۲). در اسپانیا، Rango و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از مدل SRM اقدام به شبیه‌سازی و پیش‌بینی دبی روزانه حوضه کردند. آن‌ها از ترکیب خطی نوارهای ۱ و ۲ سنجنده AVHRR^۴ برای به‌دست آوردن درصد پوشش برف هر پیکسل استفاده کردند. همچنین، برای بررسی دقت این روش، آن‌ها از تصاویر TM^۵ همان روز و همان منطقه برای مقایسه با تصاویر NOAA استفاده کردند. در شرق ترکیه، Tekeli و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تصاویر MODIS، رواناب ذوب برف را مدل‌سازی کردند. طبق مقایسه نقشه پوشش برف MODIS با اندازه‌گیری‌های زمینی پوشش برف آن‌ها، انطباق خوبی را نشان می‌دهد که دامنه صحت آن بین ۶۲ تا ۸۲ درصد را نشان می‌دهد. در چین، Yan و همکاران (۲۰۱۰) از این مدل برای برآورد رواناب استفاده کردند. آن‌ها از پنج روش مختلف درجه حرارت را محاسبه و در مدل قرار دادند که بر اساس نتایج، R^2 برابر ۰/۷۸ به‌دست آمد. Zhang و همکاران (۲۰۰۷) از مدل SRM برای شبیه‌سازی رواناب در حوضه رودخانه کایدو استفاده کرده و نتایج مقدار ۰/۸۴ را برای R^2 نشان می‌دهد که نشان‌دهنده دقت بالای آن است. Tahir و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل SRM به تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف حوضه رودخانه

بررسی و درک نقش هیدرولوژیکی و تبدیل‌های بیوژئوشیمیایی ضروری است (Cline، ۱۹۹۷). سامانه مدل‌سازی برای تحلیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب ذوب برف و منابع آب باید به شدت گسترش پیدا کند (Huang و Li، ۲۰۱۱). برف منبع اصلی رودخانه‌ها می‌باشد که به وضعیت اجتماعی و اقتصادی مردم کمک می‌کند و همچنین، به راحتی می‌تواند در مواقعی سیل ایجاد کند، بنابراین، اهمیت مطالعه برف واضح و روشن است (Huang و همکاران، ۲۰۱۲).

سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در تحقیقات علوم زمین کاربردی وسیع پیدا کرده‌اند. در زمینه منابع آب و برف‌سنجی نیز استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌شدت افزایش یافته است. با توجه به این‌که سنجنده‌ها اطلاعات روزانه را از سطح زمین دریافت می‌کنند، بنابراین، بررسی تغییرات سطح برف و آب حاصل از ذوب آن بسیار آسان و کم هزینه است. یکی از سنجنده‌هایی که کاربرد فراوانی در برف‌سنجی دارد، سنجنده MODIS^۱ است. این سنجنده اصلی‌ترین سنجنده از سری ماهواره‌هایی است که تحت برنامه‌های EOS^۲ به فضا پرتاب شده‌اند (Strabala، ۲۰۰۳). هدف از پرتاب آن بررسی درجه حرارت سطح زمین، اقیانوس‌ها، پوشش گیاهی، ابرها، هواویزه‌ها و پوشش برف است (Krause و همکاران، ۲۰۰۵). این سنجنده دارای قدرت تفکیک رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت)، تفکیک طیفی بالا (۳۶ نوار در طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرون)، تفکیک زمانی بالا (سیکل تکرار زمانی یک تا دو روز) و تفکیک مکانی متوسط (۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر) می‌باشد.

مدل رواناب ذوب برف SRM^۳ یکی از مهمترین مدل‌های مورد استفاده در برآورد رواناب ذوب برف است که یک مدل هیدرولوژیکی و مشاهداتی درجه-روز مورد استفاده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب ناشی از باران و ذوب برف در نواحی کوهستانی است. این مدل، برای حوضه‌های کوچک اروپا توسعه یافته است. اما برای حوضه‌های بزرگ‌تر و بالای ۱۰۰ هزار کیلومتر مربع نیز به‌کار رفته است (Martinec و

^۱ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

^۲ Earth Observing System

^۳ Snowmelt Runoff Models

^۴ Advanced Very High Resolution Radiometric

^۵ Thematic Mapper

هشت روزه MODIS رواناب ذوب برف را در حوزه آبخیز نیاوند شبیه‌سازی کردند. آن‌ها در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ عمل واسنجی و در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ عمل صحت‌سنجی را انجام دادند. بر اساس نتایج، مدل اجرا شده آن‌ها دقت همبستگی حدود ۰/۷۵ را نشان داد و در بین پارامترها، کمترین تاثیرگذاری مربوط به ضریب رواناب باران بود. Jahanbakgh Asl و همکاران (۲۰۱۶) وضعیت رواناب ذوب برف حوضه شهرچای را بررسی کردند. آن‌ها سطح پوشش برف را از تصاویر یک کیلومتری سنجنده MODIS استخراج و از مدل SRM برای برآورد رواناب استفاده کردند. بر اساس نتایج، سهم رواناب حاصل از ذوب برف در جریان رودخانه این حوضه در ماه‌های فروردین و اردیبهشت چشمگیرتر است. Akbari و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SRM اقدام به شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز سد کارده با استفاده از تصاویر لندست و شاخص NDSI برای برآورد برف کردند. نتایج آن‌ها مقدار ۰/۹۱ و ۰/۲۱ را برای ضریب همبستگی و درصد تفاضل حجمی نشان می‌دهد. Shahoei و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل SRM و با به‌کارگیری تصاویر هشت روزه سنجنده MODIS، رواناب حاصل از ذوب برف را در حوضه روانسر سنجایی استان کرمانشاه شبیه‌سازی کردند. آن‌ها سال ۲۰۰۲ را به‌عنوان دوره واسنجی و سال ۲۰۰۳ را به‌عنوان دوره اعتبارسنجی در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها دقت بالای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. Artimani و همکاران (۲۰۱۹) کارایی مدل SRM را در برآورد رواناب حوزه آبخیز بوجین بررسی کردند. آن‌ها از تصاویر MODIS برای تعیین سطح برف حوضه استفاده کردند که نتایج دقت شبیه‌سازی رواناب را در حدود ۷۰ درصد نشان داده است.

با توجه به شرایط کوهستانی بودن، مشکلات ناشی از کمبود آب و اهمیت و نقش برف در تهیه آب برای مصارف مختلف در منطقه مورد مطالعه، این تحقیق با هدف بررسی میزان قابلیت کاربرد مدل SRM در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه مورد مطالعه و همچنین، مدل کردن رفتار رواناب روزانه حوضه و تعیین مناسب‌ترین مقدار برای پارامترهای مدل در آن است. چنان‌که در مرور منابع مشاهده شد،

هوانزاد پاکستان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کارایی بالایی در این منطقه داشته و پوشش برف و رواناب حاصل از آن در این حوضه روند افزایشی را داشته است که دلیل آن افزایش بارش زمستانه بوده است. Wang و همکاران (۲۰۱۱) با مدل SRM و داده‌های ماهواره‌ای بارش برف در حوضه رودخانه هی‌هی چین را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها از تصاویر MODIS برای این تحقیق استفاده کردند. نتایج آن‌ها دقت بالای تصاویر و مدل را نشان می‌دهد.

Vafakhah و همکاران (۲۰۱۱) به برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از مدل SRM در حوضه طالقان پرداختند. در این مطالعه، با دو روش درجه-روز و تابشی به برآورد رواناب پرداخته و درجه حرارت به هفت روش درون‌یابی شد. نتایج نشان داد که برآورد درجه حرارت با روش‌های مختلف می‌تواند بین حجم رواناب مشاهده شده و برآورد شده تفاوت ایجاد کند. Shahabi و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از سنجنده MODIS رواناب حوضه زاب را شبیه‌سازی کردند که نتایج، دقت ۸۹ درصد را نشان داد. Fouladvand (۲۰۱۵) با استفاده از مدل SRM و تصاویر برف هشت روزه سنجنده MODIS رواناب حوضه رودخانه ماربره لرستان را شبیه‌سازی کرد. در این تحقیق، همچنین، از تصاویر روزانه این سنجنده برای برآورد رواناب استفاده شد و نتایج با نتایج تصاویر برف هشت روزه مقایسه شد که این مقایسه بهتر بودن تصاویر هشت روزه را ثابت کرده است. Azizi Bahram (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SRM رواناب حاصل از ذوب برف در فصل ذوب در حوضه همدان-بهار را شبیه‌سازی کرد. در این مطالعه، نقشه برف تهیه‌شده با مدل رقومی ارتفاعی ترکیب و منحنی تخلیه برف SCDCs برای دوره شش‌ماهه (دی تا خرداد ۹۳-۹۲) به‌دست آمد و درصد مساحت پوشش برف روزانه از این منحنی که متغیر اساسی مدل بشمار می‌رود، محاسبه شد. معیارهای دقت مدل شامل مقدار ضریب تبیین، تفاضل حجمی و معیار دقت مدل بین رواناب شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به ترتیب ۸۰، ۱/۵۲ و ۷۳ درصد برآورد شد که نشان‌دهنده موفقیت اجرای شبیه‌سازی رواناب در این مطالعه می‌باشد. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۶) با به‌کارگیری مدل SRM و تصاویر

کارائی لازم بوده، استفاده نشد. عدم همگونی فاصله زمانی تصاویر نیز به همین دلیل می‌باشد. بعضی از تصاویر استفاده شده دارای ابر بودند، برای جداسازی برف از آن‌ها از الگوریتم ابر آزادی‌خواه استفاده شد. تصاویری که برای هر سال بارگذاری شده‌اند، در فاصله زمانی شروع بارش برف تا پایان ذوب برف در حوضه هستند که بسته به سال متفاوت بوده، از شش تا هشت ماه است. بنابراین، در خارج از دامنه اشاره شده تصویر وجود ندارد، چون به‌طور کلی فاقد برف بوده، تأثیری در رواناب ذوب برف ندارند. برای تبدیل این ۱۲ تصویر به داده‌های روزانه برف از نمودار ترسیم شده، روند افزایش و کاهش برف (بر اساس ۱۲ تصویر) و همچنین، آمارهای بارش برف در حوضه در این فاصله زمانی و روند ذوب برف ناشی از افزایش درجه حرارت استفاده شده است. برای بررسی دقت این روش، هر سال دو تصویر اضافی بارگذاری و سطح برف آن‌ها با نتایج حاصل از روش اشاره شده فوق مقایسه شدند. دقت بالای ۹۵ درصد این روش نشان‌دهنده مناسب بودن آن برای داده‌های روزانه برف است.

ب) داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری: متغیرهای ورودی هواشناسی و هیدرومتری مقادیری هستند که رژیم اقلیمی، جریان آب و سطح پوشش برف را توصیف می‌کنند. داده‌های هواشناسی و هیدرومتری از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کردستان و اداره کل هواشناسی استان کردستان تهیه شدند. داده‌های مربوط به متوسط درجه حرارت روزانه و بارش روزانه کلیه ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی تهیه شد. برای این هدف از ۱۴ ایستگاه هواشناسی در داخل حوضه (شکل ۱) و ۱۰ ایستگاه در خارج از حوضه استفاده شد. از ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در سطح حوضه نیز آمار دبی روزانه آن‌ها دریافت شد تا به‌عنوان داده‌های مشاهده‌ای نهایتاً با دبی‌های روزانه برآورد شده به‌وسیله مدل SRM مقایسه شوند. در انتهای حوضه مورد مطالعه، سد شهید کاظمی وجود دارد که رواناب جاری در حوضه از طریق سه رودخانه سقز، آدینان و خورخوره وارد این سد می‌شود. در محل تلاقی این سه رودخانه، سه ایستگاه هیدرومتری وجود دارند که دبی روزانه را اندازه‌گیری می‌کنند. مجموع

استفاده از مدل SRM برای شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در مطالعات فراوانی که انجام شده، نتایج موفقیت‌آمیزی به همراه داشته و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین سطح برف، به‌عنوان یکی از ورودی‌های مهم مدل، کارائی بالایی دارد و در همه مطالعات از این تصاویر استفاده شده است. ولی با توجه به این‌که هر پیکسل در یک تصویر ماهواره‌ای منطقه بزرگی را تحت پوشش قرار می‌دهد، کوچک‌ترین خطا در تعیین یک پیکسل به‌عنوان برف یا غیر برف، می‌تواند نتایج را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، در این مطالعه، بر خلاف مطالعات پیشین، برای محاسبه سطح برف از روش‌های دقیق‌تر یعنی از الگوریتم‌های Subpixel استفاده شده است. در روش‌های Subpixel هر پدیده‌ای از جمله برف در سطح کوچک‌تر از پیکسل بررسی و محاسبه می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز سقز در شمال استان کردستان و زاگرس شمالی قرار دارد و یکی از زیرحوضه‌های مهم دریاچه ارومیه است. این حوضه که منطقه‌ای حدود ۴۵۵۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد، در طول جغرافیایی ۴۶° تا ۴۸° ۴۶° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵° تا ۳۶° ۴۰° شمالی قرار دارد (شکل ۱). این حوضه در منطقه‌ای کوهستانی، سردسیر و مرطوب واقع شده، ارتفاع کمینه و بیشینه حوضه به‌ترتیب ۱۳۸۳ و ۳۱۶۰ متر و ارتفاع متوسط حوضه ۲۲۶۰ متر و میانگین بارش سالانه آن حدود ۴۰۰ میلی‌متر است. حوضه در جهت جنوب به شمال قرار گرفته و دارای سه رودخانه اصلی به نام‌های سقز، آدینان و خرخره می‌باشد که همگی به سد شهید کاظمی می‌ریزند.

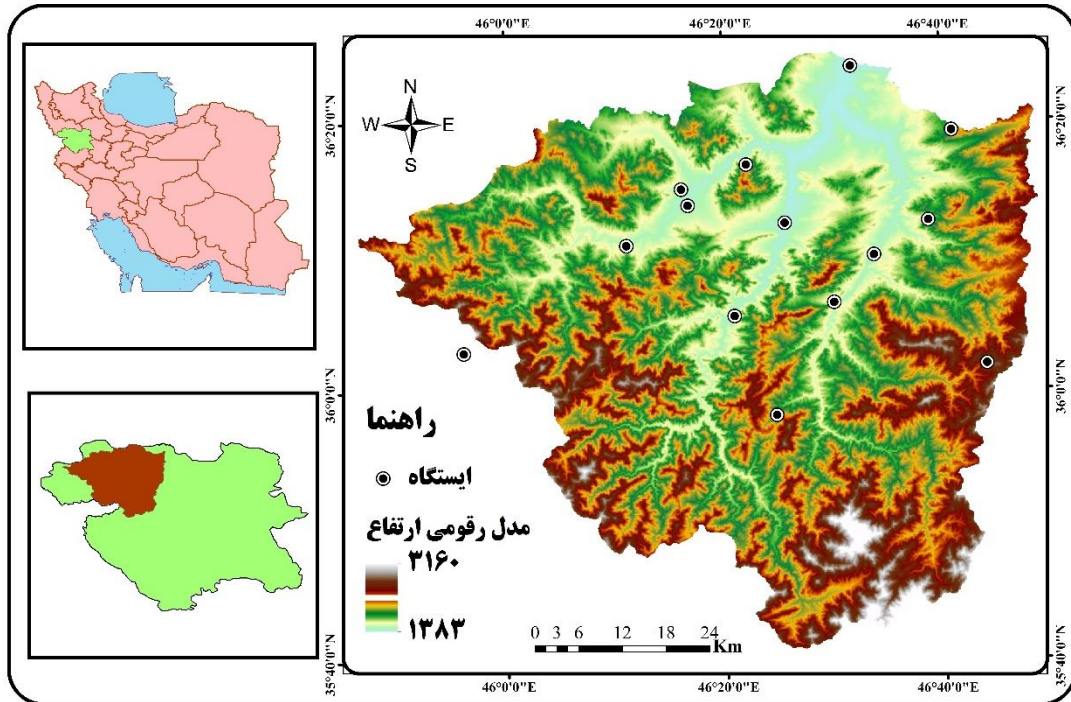
داده‌های مورد استفاده

الف) تصاویر MODIS: سطح برف یکی از ورودی‌های مدل برآورد رواناب است که نیاز به برآورد آن و بررسی تغییرات آن در طی فصل بارش و ذوب ضروری می‌باشد. برای این مطالعه برای هر سال ۱۲ تصویر MODIS در فواصل زمانی مختلف مربوط به آن سال آبی تهیه شد. انتخاب تصاویر بر اساس کیفیت، از تصاویری که به‌دلایلی از جمله وجود ابر زیاد، فاقد

زون‌های ارتفاعی با فواصل تقریبی ۵۰۰ متر تقسیم می‌شود. در این تحقیق، حوضه مورد مطالعه به سه زون ارتفاعی A (۱۳۸۲-۱۹۰۰ متر)، B (۱۹۰۰-۲۴۰۰ متر) و C (۲۴۰۰-۳۱۶۰ متر) تقسیم شد که به صورت رابطه (۱) نشان داده شده است (Martinec و همکاران، ۱۹۹۸).

دبی روزانه این سه ایستگاه، دبی روزانه کل حوضه را معرفی می‌کند.

مدل رواناب ذوب برف: با توجه به این که استفاده از مدل SRM در تحقیقات مختلف نتایج با ارزشی را به همراه داشته و کارائی بالای آن در مناطق کوهستانی نشان داده شده است، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در مدل SRM حوضه مورد مطالعه به



شکل ۱- نقشه حوزه آبخیز سقز و موقعیت آن در کشور

$$Q_{n+1} = \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{C_{SA_n} \times a_{A_n} (T_n + \Delta T_{A_n}) S_{A_n} + C_{RA_n} \times P_{A_n}}{86400} \right] \frac{A_A \times 10000}{86400} \\ \left[\frac{C_{SB_n} \times a_{B_n} (T_n + \Delta T_{B_n}) S_{B_n} + C_{RB_n} \times P_{B_n}}{86400} \right] \frac{A_B \times 10000}{86400} \\ \left[\frac{C_{SC_n} \times a_{C_n} (T_n + \Delta T_{C_n}) S_{C_n} + C_{RC_n} \times P_{C_n}}{86400} \right] \frac{A_C \times 10000}{86400} \end{array} \right\} (1 - K_{n+1}) + Q_n K_{n+1} \quad (1)$$

در دوره باران و ذوب برف، n نتیجه روزها در طی دوره ذوب برف و $\frac{10000}{86400}$ برای تبدیل از سانتی‌متر در کیلومتر مربع بر روز به متر مربع بر ثانیه است.

متغیرهای مدل

الف) پوشش برف (S): برای محاسبه پوشش برف حوضه از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده شد. الگوریتم NDSI^۱ یکی از مهمترین و در عین حال

که در آن، Q_n و Q_{n+1} دبی متوسط روزانه و روز آینده (متر مکعب بر ثانیه)، C_{sn} ضریب رواناب برف، a_n عامل درجه-روز (سانتی‌متر بر درجه در روز)، T_n مقدار درجه حرارت روزانه (درجه در روز)، ΔT_n میزان کاهش یا افزایش درجه حرارت روزانه با توجه به ارتفاع متوسط حوضه یا منطقه به دلیل افزایش یا کاهش ارتفاع، S_n نسبت سطح برف به سطح کل منطقه، C_{Rn} ضریب رواناب باران، P_n میزان بارندگی (سانتی‌متر)، A مساحت منطقه (کیلومتر مربع)، K ضریب کاهش دبی

¹ Normalized Difference Snow Index

لایسی متر و غیره اندازه‌گیری می‌شود. عامل درجه-روز می‌تواند به صورت ماهانه و با زون‌های ارتفاعی تغییر کند که از رابطه تجربی (۲) محاسبه می‌شود (Martinec, ۱۹۷۵). با استفاده از این رابطه و آمار و اطلاعات موجود در زمینه برف‌سنجی حوضه، عامل درجه-روز محاسبه شد که مقدار $۰/۲۵$ را نشان داد.

$$a = 1.1 P_s / P_w \quad (2)$$

که در آن، P_s چگالی برف (gcm^{-3}) و P_w چگالی آب (gcm^{-3}) است.

ب) ضریب رواناب برف و باران (C_r, C_s): ضرائب رواناب بازتاب تفاوت بین بارش باران یا برف قابل استفاده و رواناب حوضه هستند. این مقدار با نسبت بارش اندازه‌گیری شده به رواناب اندازه‌گیری شده مطابقت دارد. ضریب رواناب باران (C_r) مقدار رواناب ناشی از بارش باران را بیان می‌کند. ضریب رواناب برف (C_s) نیز مقدار رواناب ناشی از ذوب برف را بیان می‌کند. در منطقه مورد مطالعه، بر اساس آمار بارش سالیانه و رواناب سالیانه حوضه، ضریب رواناب برف و باران در دامنه $۰/۵$ تا $۰/۶$ به دست آمد. برای تعیین این ضرایب و تفکیک آن‌ها از یکدیگر، این دو ضریب به صورت جداگانه و طبق آمار محاسبه شدند. یعنی در زمانی که بارش در حوضه فقط به صورت باران بوده، منجر به ایجاد رواناب شده، ضریب رواناب باران اندازه‌گیری شده است. همچنین، ضریب رواناب برف در زمانی که رواناب حوضه فقط ناشی از ذوب برف بوده و بارندگی وجود نداشته، محاسبه شده است.

ج) ضریب فروکش: ضریب فروکش (K)، در SRM به صورت K-1 مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تعیین نسبت مقدار ذوب روزانه که فوراً به صورت رواناب ظاهر می‌شود، از این رابطه استفاده می‌شود که از پارامترهای مجزا x و y تعیین می‌شود. این پارامتر ثابت نیست، ولی بر طبق رابطه (۳) با کاهش دبی مقدار آن افزایش می‌یابد (Martinec, ۱۹۷۵).

$$K_{n+1} = X (Q_n^{-y}) \quad (3)$$

K-1 نسبت ذوب روزانه که فوراً به صورت رواناب ظاهر می‌شود. X و Y با استفاده از داده‌های جریان آب محاسبه می‌شوند. برای تعیین پارامترهای X و Y در این رابطه، در یک نمودار مقدار مقادیر دبی روزهای N در مقابل دبی روزهای $N+1$ ترسیم شد. سپس، با

پرباربردترین الگوریتم‌های محاسبه سطح برف در تصاویر ماهواره‌ای است. ولی با توجه به این که ثابت شد که روش‌های Subpixel در مقایسه با روش‌های Pixel base دارای دقت بالاتری در محاسبه سطح برف حوضه هستند، در این مطالعه از روش‌های Subpixel استفاده شده است (Entezami و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، از الگوریتم LSU^1 که یک روش subpixel است، برای محاسبه این پارامتر استفاده شد.

ب) درجه حرارت T: به منظور برآورد مقدار درجه-روز، متوسط درجه حرارت روزانه باید محاسبه شود. با توجه به این که سطح حوضه به سه طبقه ارتفاعی تفکیک شده است، با استفاده از گرادیان ارتفاعی درجه حرارت متوسط یعنی کاهش $۰/۶$ درجه سانتی‌گراد در هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، درجه حرارت روزانه هر طبقه محاسبه شد. برای این گرادیان و تعیین درجه حرارت در ارتفاعات مختلف از کلیه ایستگاه‌های داخل حوضه استفاده شد. سپس، بر اساس میانگین ارتفاع هر طبقه، مقدار $T\Delta$ محاسبه شده و مقدار درجه-روز به وسیله $T + T\Delta$ محاسبه شد.

ج) بارش P: با توجه به این که بیشتر ایستگاه‌های موجود در منطقه در ارتفاع پایین قرار دارند، بنابراین، محاسبه مقدار بارش در ارتفاع بالا مشکل می‌باشد. در این حالت، برای محاسبه بارش در نواحی فاقد ایستگاه از نرم‌افزار ArcGIS و روش درون‌یابی کریجینگ استفاده شد. برای تشخیص روش مناسب در تعیین مقدار بارش در کلیه نقاط حوضه، با استفاده از ۱۰ ایستگاه داخل حوضه و ۱۰ ایستگاه خارج از حوضه و تعیین چهار ایستگاه در سطح حوضه به عنوان شاهد، روش‌های مختلف از جمله روش IDW، روش کریجینگ، روش چند ضلعی‌های تیسن و غیره انجام شدند. در نهایت، مشخص شد که روش کریجینگ دقیق‌ترین روش بوده و بهترین نتایج را به دنبال خواهد داشت.

پارامترهای مدل

الف) عامل درجه-روز (a in $^{\circ}\text{C day}^{-1}$, $\text{cm}^{\circ}\text{day}^{-1}$):

عامل درجه-روز به وسیله مقایسه کاهش روزانه آب معادل برف که به وسیله اشل اندازه‌گیری برف،

¹ Linear Spectral Unmixing

در نهایت، بر اساس نزدیکی مقادیر رواناب برآورد شده با رواناب مشاهده شده، بهترین مقدار برای هر پارامتر به دست می‌آید. در واقع، بعد از هر بار اجرای مدل مقدار ضریب تبیین مدل (R^2) که نشان‌دهنده مقدار دقت مدل است، محاسبه می‌شود. سپس، برای هر پارامتر عددی که بهترین مقدار را برای ضریب تبیین (بالاترین دقت مدل) به دست می‌آورد، به عنوان مناسب‌ترین عدد برای آن پارامتر محسوب می‌شود. برای واسنجی از داده‌های یک‌سال (۲۰۰۶-۲۰۰۷) استفاده شد. اعتبارسنجی در واقع به این مفهوم است که با بهره‌گیری از یک سری داده جدید اعتبار نتایج حاصل از واسنجی مدل را بررسی کرد. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های سه سال دیگر یعنی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۷، ۲۰۰۹-۲۰۰۸ و ۲۰۱۰-۲۰۰۹ (هر سال به صورت مجزا) اعتبارسنجی انجام شد.

نتایج و بحث

محاسبه پوشش برف: پوشش برف در ۱۲ تصویر ماهواره‌ای دانلود شده برای هر سال با استفاده از الگوریتم LSU در نرم‌افزار ENVI تعیین شد. سپس، برای محاسبه مساحت پوشش برف، تصاویر با فرمت shp به محیط نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده شدند تا محاسبات صورت گیرد. شکل‌های ۳ الی ۶، روند تغییرات سطح برف منطقه را در چهار سال مختلف نشان می‌دهند که بر اساس آن‌ها سطح برف حوضه در اواسط تا اواخر ژانویه به بیشینه مقدار خود می‌رسد. همچنین، به نظر می‌رسد که در همه این سال‌ها روند شروع بارش برف تا خاتمه ذوب برف حدود شش الی هشت ماه طول خواهد کشید.

نتایج برآورد رواناب روزانه: برای محاسبه میزان رواناب روزانه حوضه از مدل SRM استفاده شد. با قراردادن تمامی متغیرها و پارامترها در مدل، مقدار رواناب روزانه حوزه آبخیز سقز برآورد شد. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار رواناب حاصل از ذوب برف با درجه حرارت و سطح برف رابطه مستقیمی دارد که با افزایش درجه حرارت و سطح برف مقدار رواناب ناشی از ذوب برف نیز افزایش یافته است. نتایج رواناب روزانه به دست آمده از مدل نشان می‌دهد که چند تغییر مهم در روند کاهش و افزایش آن وجود دارد.

ترسیم بهترین خط پردازش برای نمودار فوق، مقادیر X و Y محاسبه خواهد شد.

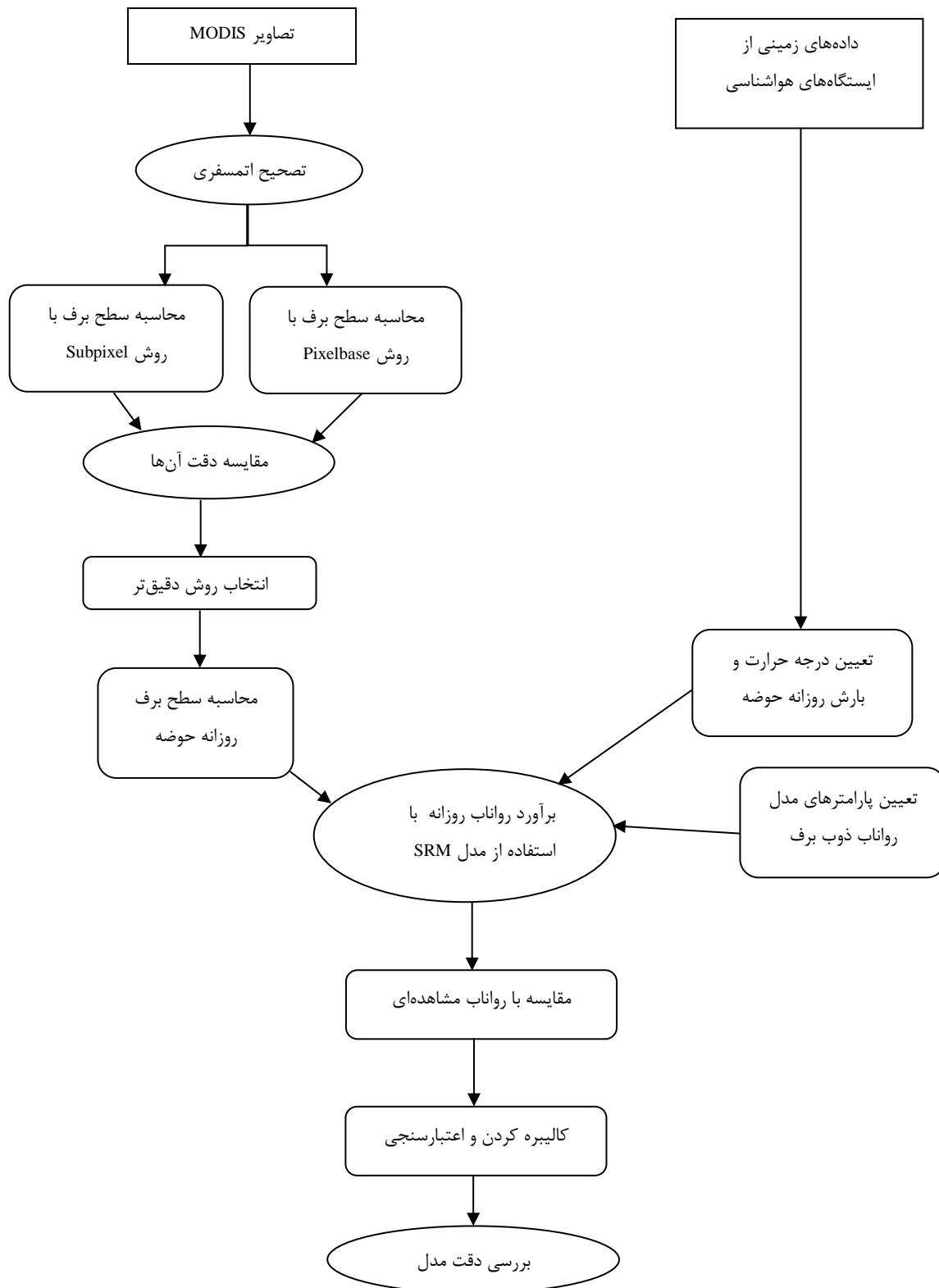
بررسی دقت مدل: استفاده از مدل SRM و یا هر مدل دیگری برای برآورد رواناب، به طور یقین دارای یکسری خطا می‌باشد. بنابراین، با توجه به این که این مدل‌ها به نوعی پیش‌بینی می‌کنند، صددرصد دقیق نیستند و دارای دقت خاصی برحسب نوع مدل، نوع و دقت داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه هستند. برای بررسی دقت یک مدل روش‌های متعددی وجود دارند. در این تحقیق، برای بررسی میزان دقت مدل و رواناب پیش‌بینی شده از دو روش بسیار مهم و رایج استفاده شده است. این روش‌ها با استفاده از مقایسه بین نتایج به دست آمده از مدل یعنی رواناب شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی یعنی رواناب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری دقت کار را بررسی می‌کنند. این دو روش عبارتند از ضریب تبیین (رابطه ۴) و درصد تفاضل حجمی (D_V) (رابطه ۵):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (4)$$

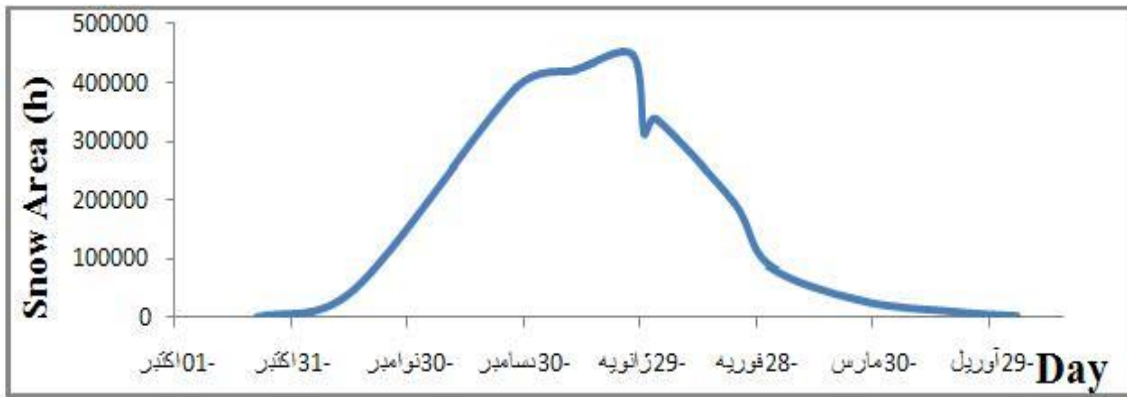
$$D_V = \frac{V_R - V_{R'}}{V_R} \times 100 \quad (5)$$

که در آن‌ها، O_i ، \bar{O} ، O' ، V_R و $V_{R'}$ به ترتیب دبی روزانه مشاهده‌ای، میانگین دبی مشاهده‌ای، دبی روزانه شبیه‌سازی شده، حجم کل رواناب مشاهده‌ای و حجم کل رواناب شبیه‌سازی شده هستند.

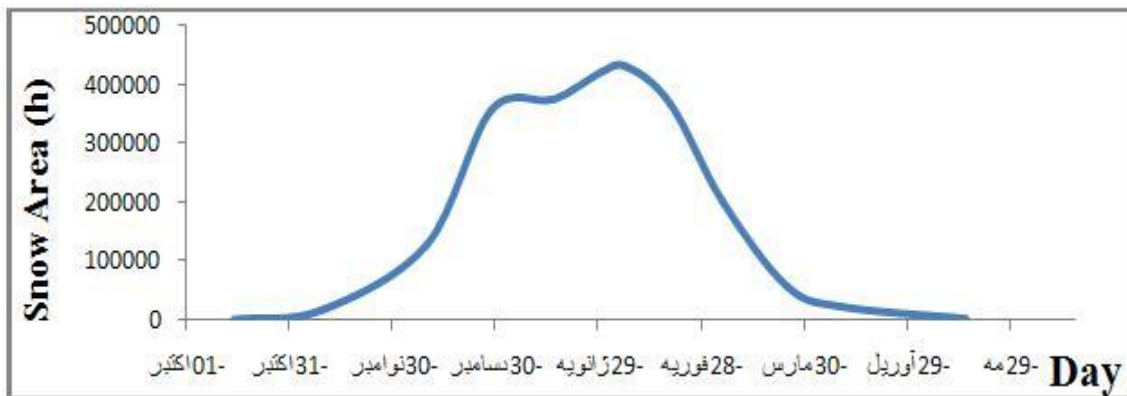
واسنجی و اعتبارسنجی مدل: واسنجی و اعتبارسنجی از مهمترین مراحل اجرای یک مدل هیدرولوژیکی هستند. واسنجی مدل با استفاده از پارامترهای مدل انجام می‌شود که در آن مقدار هر کدام از پارامترهای مهم مدل (عامل درجه-روز، ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران) را با نسبت‌های ۱۰ درصدی از مقدار مورد نظر هر پارامتر تغییر داده، بعد از هر تغییر دوباره مدل اجرا می‌شود. چون این پارامترها قراردادی بوده، در حوضه‌های مختلف مقدار آن‌ها می‌تواند بسته به شرایط تغییر کند. بنابراین، پیدا کردن بهترین مقدار برای آن‌ها، کیفیت و دقت کار را بالا خواهد برد.



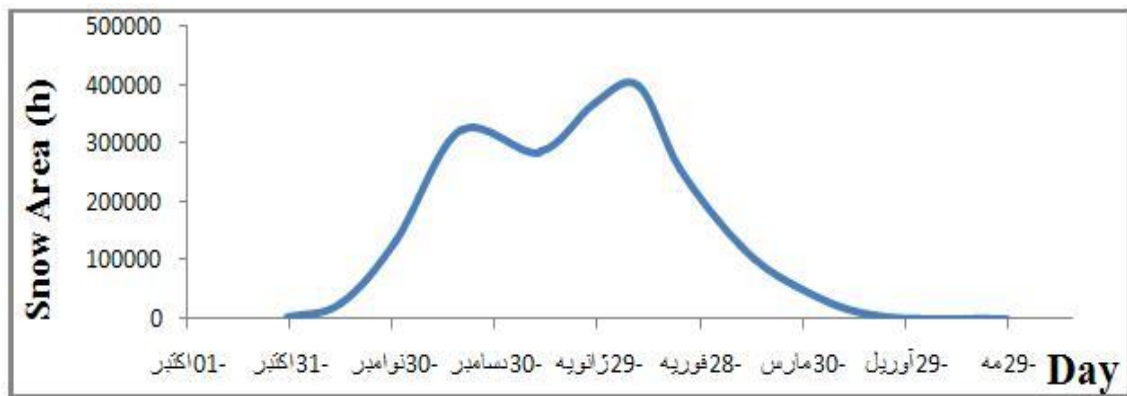
شکل ۲- دیاگرام برآورد رواناب روزانه با استفاده از مدل SRM به‌طور خلاصه



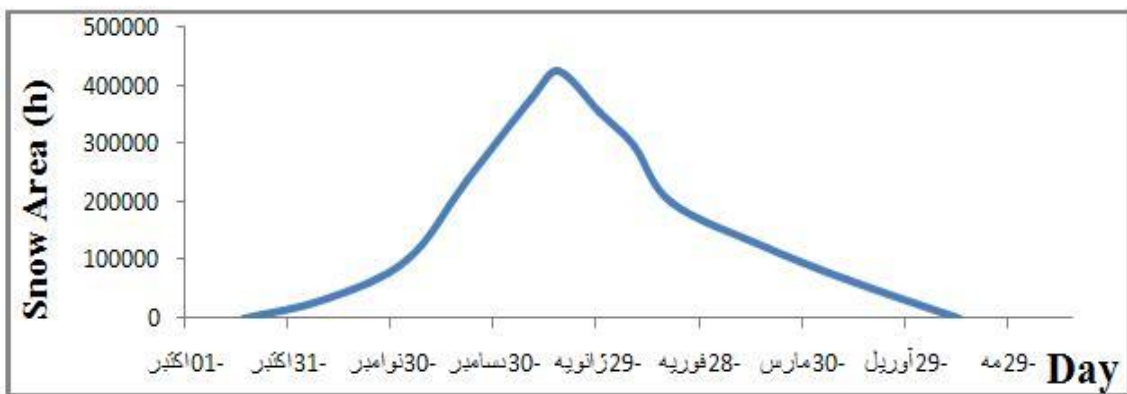
شکل ۳- نمودار تغییرات سطح برف حوضه در سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷



شکل ۴- نمودار تغییرات سطح برف حوضه در سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۸



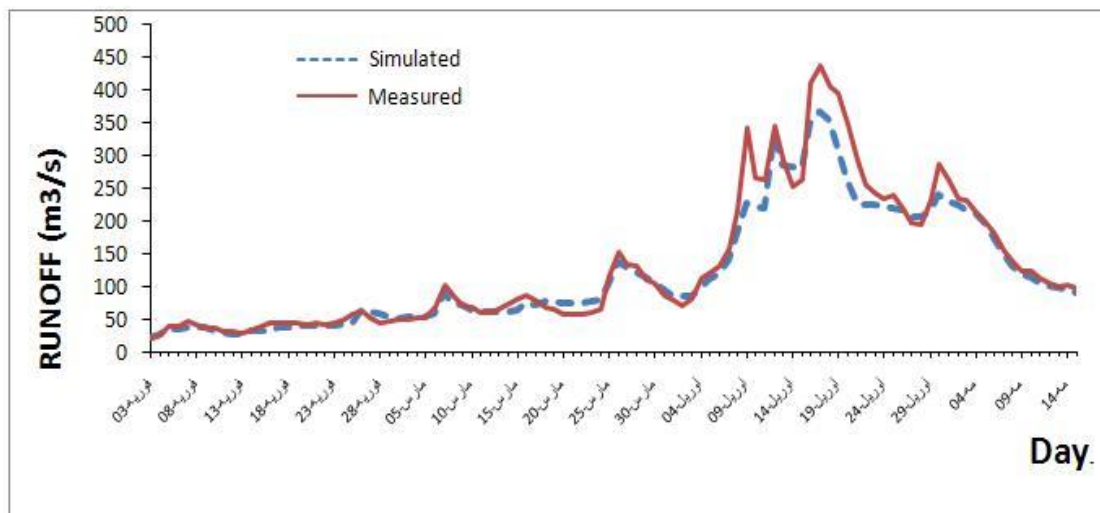
شکل ۵- نمودار تغییرات سطح برف حوضه در سال آبی ۲۰۰۸-۲۰۰۹



شکل ۶- نمودار تغییرات سطح برف حوضه در سال آبی ۲۰۰۹-۲۰۱۰

برآورد شده با رواناب مشاهده‌ای (اندازه‌گیری شده) مقایسه شود. برای مقایسه، آن‌ها در یک نمودار کنار هم قرار داده می‌شوند (شکل ۷). در این نمودار، می‌توان تغییرات رواناب مشاهده‌ای و رواناب شبیه‌سازی شده را مشاهده کرد که نشان می‌دهد، روند کلی و بیشینه و کمینه آن‌ها تقریباً مشابه بوده، همچنین، در بیشتر مواقع مقدار رواناب شبیه‌سازی شده از رواناب مشاهده شده کمتر است. بنابراین، بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که رواناب مشاهده‌ای و برآورد شده بسیار به هم نزدیک بوده، شباهت آن‌ها زیاد است.

بر این اساس، در زانویه، فوریه و اوائل مارس رواناب روزانه به شدت متغیر است و به‌طور مکرر و با نوسان کم افزایش و کاهش می‌یابد که دلیل آن یکی تغییرات مکرر درجه حرارت روزانه و تأثیر آن بر ذوب روزانه است و دیگر بارش برف در این مواقع است. در اواخر مارس و اوائل آوریل مقدار رواناب به شدت افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش بارندگی و افزایش درجه حرارت و در نتیجه، افزایش ذوب برف است. بعد از این مرحله، کاهش روزانه رواناب مشاهده می‌شود که ناشی از کاهش بارندگی و کاهش سطح برف است. بعد از محاسبه رواناب روزانه، حال باید این رواناب



شکل ۷- نمودار مقایسه رواناب روزانه برآورد شده با مشاهده شده در سال ۲۰۰۶-۲۰۰۷

مدل اجرا و ضریب تبیین مدل محاسبه شد. بر اساس نتایج که در شکل ۸ نشان داده شده است، مناسب‌ترین عدد برای سه پارامتر عامل درجه-روز، ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران به ترتیب برابر $0/4$ ، $0/45$ و $0/6$ است. در واقع این سه پارامتر باهم و در کنار هم تغییر کرده تا مدل بهترین و دقیق‌ترین مقدار خود را نشان دهد.

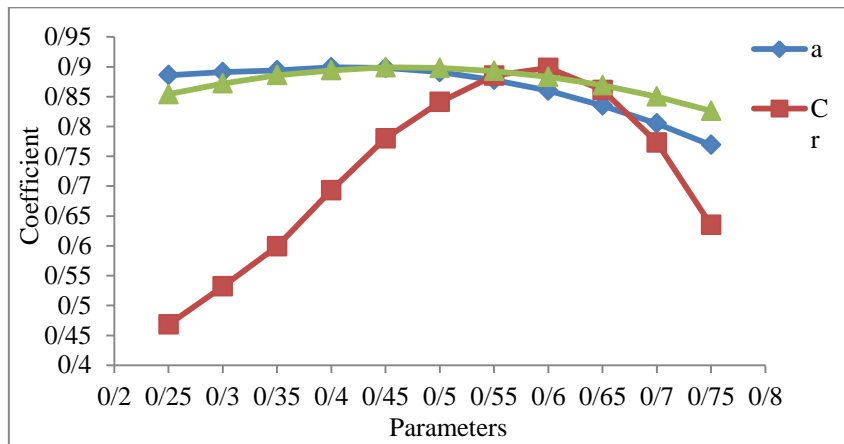
برای اعتبارسنجی از مقادیر به‌دست آمده برای پارامترها در مرحله واسنجی (به ترتیب $0/4$ ، $0/45$ و $0/6$ برای عامل درجه-روز، ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران) برای محاسبه مقادیر رواناب روزانه استفاده شد. بر این اساس، طبق نتایج واسنجی، در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۸، ۲۰۰۸-۲۰۰۹ و ۲۰۰۹-۲۰۱۰ اعتبارسنجی انجام شد، یعنی مدل رواناب ذوب

بررسی دقت مدل: همان‌طور که بیان شد، برای بررسی دقت مدل از ضرائب تبیین و درصد تفاضل حجمی استفاده شد. برای ضریب تبیین مقدار $0/90$ به‌دست آمد. دامنه این ضریب بین صفر و یک است که مقدار یک نشان‌دهنده بالاترین دقت است (Krause و همکاران، ۲۰۰۵). بر این اساس، با توجه به عدد به‌دست آمده می‌توان گفت که دقت رواناب برآورد شده بسیار خوب است. درصد تفاضل حجمی نیز مقدار $7/2$ درصد را نشان می‌دهد. بنابراین، این ضریب نیز دقت بالای مدل را نشان می‌دهد.

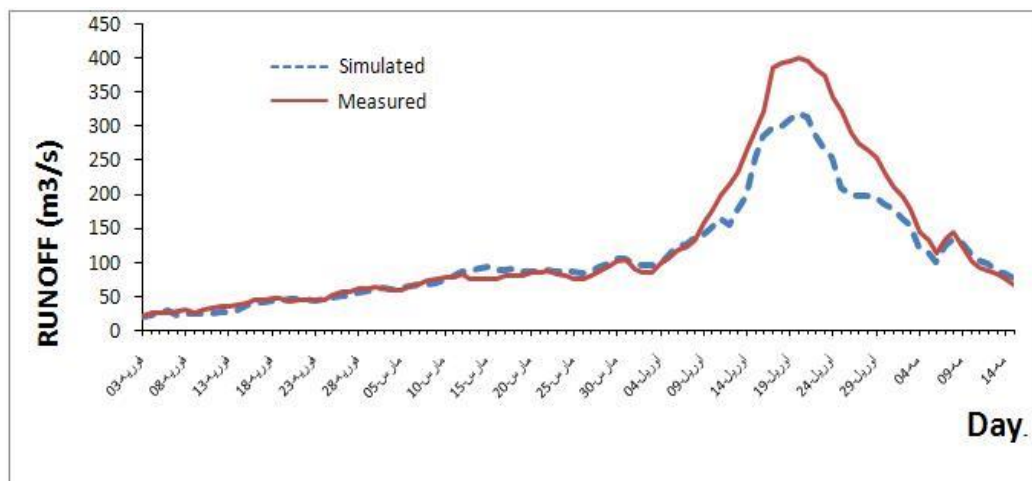
واسنجی و اعتبارسنجی مدل: در این تحقیق، از سه پارامتر عامل درجه-روز، ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران برای واسنجی مدل استفاده شد. ابتدا، تغییرات پارامترها اجرا شد و پس از هر تغییر

مقادیر ضریب تبیین و تفاضل حجمی در بهترین حالت ۰/۹۴ و ۶/۸ درصد به دست آمدند که این مقادیر اعتبار مدل را نشان می‌دهد.

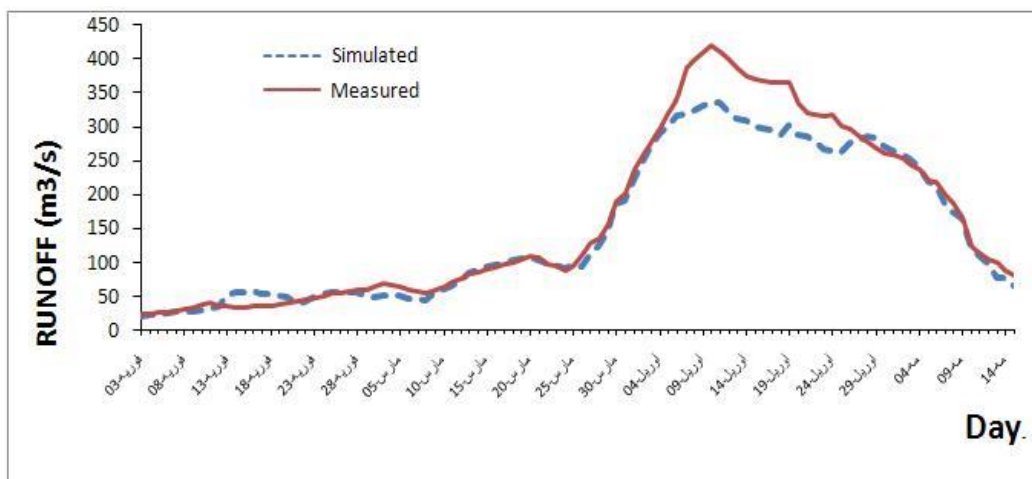
برف در این سال‌ها اجرا شد. بنابراین، رواناب روزانه شبیه‌سازی و با رواناب اندازه‌گیری شده مقایسه شد (شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱). سپس، مقدار ضریب تبیین و درصد تفاضل حجمی برای هر سال محاسبه شد.



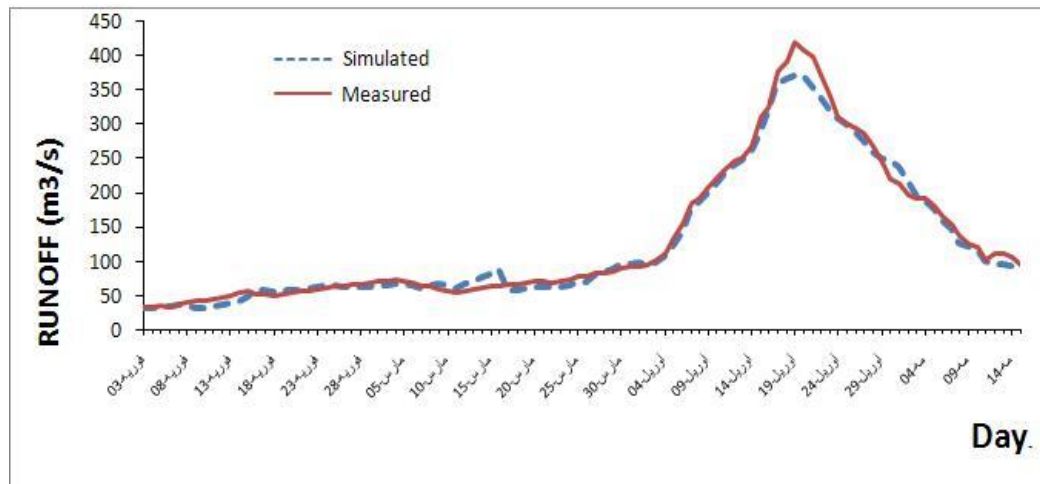
شکل ۸- تغییرات ضریب تبیین با تغییر مقدار پارامترها



شکل ۹- نمودار مقایسه رواناب روزانه برآورد شده با مشاهده شده در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸



شکل ۱۰- نمودار مقایسه رواناب روزانه برآورد شده با مشاهده شده در سال ۲۰۰۸-۲۰۰۹



شکل ۱۱- نمودار مقایسه رواناب روزانه برآورد شده با مشاهده شده در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰

نتیجه‌گیری

واسنجی و اعتبارسنجی مدل موجب بیشتر شدن دقت آن و تعیین بهترین مقدار برای پارامترها و همچنین، مدل کردن رواناب روزانه این حوضه است. با اجرای واسنجی مشخص شد که در منطقه مورد مطالعه مناسب‌ترین عدد برای سه پارامتر عامل درجه-روز، ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران به ترتیب برابر 0.4 ، 0.45 و 0.6 می‌باشد و استفاده از این ضرایب در این منطقه دقت شبیه‌سازی را بالا می‌برد. با علم به این که مقدار دقت مدل بعد از انجام واسنجی و اعتبارسنجی از حدود ۹۰ درصد به بالای ۹۴ درصد رسیده که این اهمیت و نقش این مراحل را نشان می‌دهد. مقایسه نمودار رواناب شبیه‌سازی شده با نمودار رواناب مشاهده‌ای در چهار سال مورد مطالعه نشان می‌دهد که روند تغییراتی آن‌ها و روند افزایشی و کاهش‌ی در آن‌ها تقریباً مشابه بوده، شکل یکسانی را نشان می‌دهند که این نشان از توانایی و کارایی مدل در شبیه‌سازی رواناب است. البته نکته قابل بحث در این نمودارها این است که در زمان‌های اوج دبی، اختلاف بین رواناب شبیه‌سازی شده با رواناب مشاهده‌ای بالا رفته، از دقت آن کاسته می‌شود. یعنی در این نقاط کارایی مدل کاهش پیدا کرده، مقدار رواناب را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. در نهایت، این که مدل SRM در مناطق صعب‌العبور و مناطقی که آمار مناسب در اختیار نیست، می‌تواند محققین را در کسب اطلاعات و آمار دقیق از رواناب منطقه مورد نظر یاری کرده، می‌تواند نقش موثری در مدیریت این منابع ایفا کند.

پوشش برف در هیدرولوژی، به‌خصوص در حوضه‌هایی که بیشتر رواناب سالیانه آن‌ها از ذوب برف تولید می‌شود، اهمیت زیادی دارد. بنابراین، دقت و صحت اطلاعات درباره پوشش برف برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مطالعه، از تصاویر سنجنده MODIS برای محاسبه پوشش برف حوضه استفاده شد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به‌ویژه با به‌کارگیری روش‌های Subpixel که به دلیل محاسبه دقیق‌تر سطح برف در بسیاری از پژوهش‌های مربوط به سطح برف مورد استفاده قرار گرفته است، برای محاسبه سطح برف قابلیت و کارایی این مدل را افزایش داده و نتایج دقیق‌تری را نشان می‌دهد. با مقایسه روند تغییرات سطح برف و روند تغییرات دبی حوضه در سال‌های آماری نشان می‌دهد که دوره زمانی وجود برف در حوضه از اوایل نوامبر (شروع بارش برف) تا اوایل می (پایان ذوب برف) است. همچنین، زمان اوج برف در این منطقه در ماه‌های دسامبر و ژانویه است که این زمان بارش برف با دوره کشاورزی و باغداری هماهنگی کمتری داشته و این لزوم مدیریت مناسب و ذخیره مناسب منابع آب را برای فصل مصرف آب در منطقه بیشتر کرده است. با توجه به این که زمان اوج دبی در ماه آوریل و اوائل ماه می بوده است. بنابراین، این نشان می‌دهد که در روند ذوب برف در منطقه بیشتر از دو ماه تاخیر وجود دارد که لزوم برنامه‌ریزی برای مدیریت و پیشینه استفاده از این منابع را می‌رساند.

منابع مورد استفاده

1. Akbari, M., E. Ranaee, H. Mirzakhani and A.R. Dargahi. 2016. Snowmelt runoff simulation using the SRM hydrological model, case study: the Kardeh Dam Basin. *Journal Management System*, 9(30): 63-74 (in Persian).
2. Artimani, M., M. Zeinivand and H. Tahmasebipour. 2019. Performance evaluation of SRM and HBV models in simulation of snowmelt runoff in Bujin Basin. *Iran Water Resources Research*, 15(2): 228-241 (in Persian).
3. Azizi Bahram, V. 2016. Mapping snow cover changes and simulating snow melt runoff using SRM Model and remote sensing (Hamedan-Bahar Area). MSc Thesis, Isfahan University of Technology, 118 pages (in Persian).
4. Bookhagen, B. and D.W. Burbank. 2010. Toward a complete Himalayan hydrological budget: spatiotemporal distribution of snowmelt and rainfall and their impact on river discharge. *Journal of Geophysical Research*, 115(3): 1-25.
5. Burkard, M.B., H.R. Whiteley, H.O. Schroeter and J.R. Donald. 1991. Snow depth/area relationships for various landscape units in Southwestern Ontario. *Proceedings of 48th Annual Eastern Snow Conference*, Guelph, Ont., Canada, 51-65.
6. Cline, D. 1997. Snow surface energy exchanges and snowmelt at a continental, mid-latitude Alpine site. *Water Resource*, 33: 689-701.
7. Ebrahimi, R., S. Hamzeh and S. Marofi. 2016. Modeling the snow cover and snowmelt runoff using a combination of SRM hydrological model and satellite imagery. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6(23): 66-77 (in Persian).
8. Entezami, H., S.K. Alavipanah, A. Darvishi Bolorani, H.R. Matinfar and K. Chapi. 2017. Comparison of NDSI and LSU methods in estimation of snow cover with MODIS sensor, case study: Saghez Watershed Basin. *Physical Geography Research Quarterly*, 9(2): 207-219 (in Persian).
9. Fouladvand, E. 2015. Snow runoff modeling using SRM hydrology model and MODIS satellite images of Marbore River Basin, Lorestan. MSc Thesis, University of Advanced Technology, 76 Pages (in Persian).
10. Huang, Y., X. Chen, Y. Li, A. Bao and Y. Ma. 2012. A Simulation-based two-stage interval-stochastic programming model for water resources management in Kaidu-Konqi Watershed, China. *Journal of Arid Land*, 4(4): 390-398.
11. Jahanbakgsh Asl, S., Y. Dinpajoh, M.H. Aalineghad, Kh. Valizadeh Kamran and M. Parhizkar. 2016. Simulation of snow-melt runoff in Shahrchay Basin using the SRM Model. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 27(63): 1-14 (in Persian).
12. Krause, D., P. Boyle and F. Base. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5: 89-97.
13. Li, Y.P. and G.H. Huang. 2011. Planning agricultural water resources system associated with fuzzy and random features. *Journal of the American Water Resources Association*, 47(4): 841-860.
14. Liu, T., P. Willems and X.W. Feng. 2012. On the usefulness of remote sensing input data for spatially distributed hydrological modelling: case of the Tarim River Basin in China. *Hydrological Processes*, 26(3): 335-344.
15. Marks, D., A. Winstral, S.V. Vactor, D. Robertson and R.E. Davis. 2001. Topographic and canopy controls on snow deposition, snow-cover energy balance and snowmelt. *Proceedings Symposium of Remote Sensing and Hydrological 2000*, Santa Fe, New Mexico, USA, IAHS Publication, 267: 129-135.
16. Martinec, J. 1975. Snowmelt runoff model for stream flow forecast. *Nordic Hydrology*, 6(3): 145-154.
17. Martinec, J., A. Rango and R. Roberts. 1995. The Snowmelt Runoff Model (SRM) user's manual (version 3.2). USDA Hydrology Laboratory, Agricultural Research Service, Beltsville, Maryland. <https://hrs1.ba.ars.usda.gov/srmhome/srmmanual/srmmanual.html>. Accessed 15, August 1995.
18. Martinec, J., A. Rango and R. Roberts. 2008. Snowmelt Runoff Model (SRM) user's manual. New Mexico State University Las Cruces, New Mexico, USA. 177 Pages.
19. Rango, A., E. Gomez-Landesa and M. Bleiweiss. 2002. Comparative satellite capabilities for remote sensing of snow cover in the Rio Grande Basin. *Proceedings of the Western Snow Conference*, 70th Annual Meeting, 21-26.
20. Samantha, K. and M. Poon. 2004. Hydrological modeling using MODIS data for snow covered area in the northern boreal forest of Manitoba. MSc Thesis, University of Calgary, 157 Pages.
21. Seidel, K. and J. Martinec. 2002. Hydrological applications of satellite snow cover mapping in the Swiss Alps. *Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space*, Bern, 79-87.

22. Shahabi, H., S. Khezri, B. Bin Ahmad and M.T. Ariffin. 2014. Application of moderate resolution imaging spectroradiometer snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the central Zab Basin, Iran. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12: 1212-1223.
23. Shahoi, S.V., J. Porhemmat, H. Sadeghi and A. Saremi. 2019. daily runoff simulation using eight-day period of MODIS satellite images and SRM hydrological model, case study: Ravansar Sanjabi Basin in Kermanshah Province. *Journal Management System*, 12(40): 1-12 (in Persian).
24. Strabala, K. 2003. MODIS cloud mask user's guide, cooperative institute for meteorological satellite studies website. Accessed 15, December 2003, 32 pages.
25. Tahir, A., P. Chevallier, Y. Arnaud and B. Ahmad. 2011. Snow cover dynamics and hydrological regime of the Hunza River Basin, Karakoram Range, Northern Pakistan. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7: 2275-2290.
26. Tekeli, E.A., Z. Akyurek, A.A. Sorman, A. Sensoy and U.A. Sorman. 2005. Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97: 216-230.
27. Vafakhah, M., M. Mohseni Saravi, M. Mahdavi and S.K. Alavipanah. 2011. Comparison of snow cover area in NOAA and MODIS images (Taleghan Watershed). *Watershed Management Research*, 92: 80-94 (in Persian).
28. Wang, C., C.Y. Zhao and Z.D. Feng. 2011. Simulating snow process by using SRM in different watersheds in the upper reaches of Heihe River Basin. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 47(3): 1-8.
29. Yan, D., Ch. Xi and L. Lanhai. 2010. The simulation of snowmelt runoff in the ungauged Kaidu River Basin of Tianshan mountains, China. *Environmental Earth Sciences*, 62: 1039-1045.
30. Zhang, Y., L. Baolin, A. Anming, Z. Chenghu, Ch. Xi and Zh. Xueren. 2007. Study on snowmelt runoff simulation in the Kaidu River Basin. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50: 26-35.