

## شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی روزانه با استفاده از تصاویر با دوره‌ی هشت روزه‌ی سنجنده

### MODIS و مدل آب‌شناسی SRM

#### ( مطالعه‌ی نمونه‌ای: حوضه‌ی روانسر سنجابی استان کرمانشاه )

سید وحید شاهویی<sup>۱\*</sup>، جهانگیر پرهمت<sup>۲</sup>، حسین صدقی<sup>۳</sup>، مجید حسینی<sup>۴</sup>، علی صارمی<sup>۵</sup>

#### چکیده

در این مقاله با استفاده از مدل آب‌شناسی Snowmelt Runoff Model اقدام به شبیه‌سازی رواناب روزانه حوضه‌ی روانسر سنجابی ( با مساحت ۱۲۶۰ کیلومتر مربع) واقع در استان کرمانشاه در ایران شد. جهت محاسبه‌ی سطح پوشش برف در این مطالعه که یک متغیر اصلی و بسیار مهم برای مدل SRM است، از روش سنجش از دور و استفاده از تصاویر سطح پوشش برف محصول MOD10A2 سنجنده‌ی MODIS که سطح پوشش برف را در فواصل ۸ روزه تفکیک کرده است، استفاده شد. شبیه‌سازی رواناب در دوره‌ی آماری ۲ ساله، شامل سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ صورت گرفت که سال ۲۰۰۲ ( ۱ ژانویه تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۲) به عنوان دوره‌ی واسنجی، و سال ۲۰۰۳ ( ۱ ژانویه تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳) به عنوان دوره‌ی اعتبارسنجی مدل انتخاب شدند. نتایج شبیه‌سازی مدل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از ۳ شاخص آماری ضریب ناش ساتکلیف (NSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و تفاضل حجمی ( $D_V$ ) ارزیابی شدند. در ادامه، با مقایسه‌ی آب نگارهای جریان روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، و همچنین با توجه به ضرایب آماری محاسبه شده در سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ مشخص گردید که مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب روزانه هم در دوره‌ی واسنجی و هم اعتبارسنجی دارای نتایج مطلوب و مناسبی است، به طوری که ضریب NSE برای دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹ تعیین شدند.

**کلمات کلیدی:** رواناب روزانه، سنجنده‌ی MODIS، SRM، واسنجی، اعتبارسنجی.

<sup>۱</sup> کاندیدای دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Tell: 09185220703 Email: vahid.shahoei@gmail.com

<sup>۲</sup> استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

<sup>۵</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

## مقدمه

مدل نمادی از واقعیت است که مهم‌ترین ویژگی‌های دنیای واقعی را به صورتی ساده و کلی بیان می‌کند. استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در سالیان اخیر به عنوان یک ابزار مناسب جهت درک فرآیندهای طبیعی اتفاق افتاده در حوضه‌های آبخیز، بسیار گسترش یافته است، به طوری که در این راستا تعداد زیادی از مدل‌های رایانه‌ای برای استفاده در مطالعات آب‌شناسی و منابع آبی توسعه داده شده‌اند. کاربرد این مدل‌ها در ارزیابی کمیت و کیفیت جریان، پیش‌بینی سیلاب، گسترش و حفاظت از منابع آب زیرزمینی، مدیریت یکپارچه‌ی آب‌های سطحی و زیرزمینی، سامانه توزیع آب، تأثیرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی و بسیاری دیگر از اقدامات مدیریتی منابع آبی است (ورس، ۱۹۹۸؛ سینگ و ولهایزر، ۲۰۰۲). در بسیاری از حوضه‌های آبخیز که نیازمند برنامه‌ریزی منابع آب هستند، ایستگاه‌های آب‌سنجی برای اندازه‌گیری رواناب سطحی وجود ندارد، یا اینکه آمار ایستگاه‌های اندازه‌گیری ناقص است، و نی‌ز به نظر نمی‌رسد که در آینده‌ی نزدیک همه مناطق دارای ایستگاه‌های اندازه‌گیری شوند. مدل‌های آب‌شناسی این امکان را می‌دهند تا با شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب، رواناب به دست آمده از بارندگی (برف یا باران)، در حوضه‌های بدون آمار یا دارای آمار ناقص با کمترین هزینه و حداقل زمان ارزیابی شود. در نظر گرفتن برف و رواناب ناشی از آن از جمله موضوع‌های مهمی است که باید در مطالعه‌های آب‌شناسی، کلیماتوژی، آب و هواشناسی، پیش‌بینی و شبیه‌سازی سیلاب، به ویژه در مناطق کوهستانی منظور گردد (تکلی و همکاران، ۲۰۰۵). کوه‌ها و برف‌های آن می‌توانند عمده‌ترین منبع جریان‌های رودی در حوضه‌های آبخیز باشند، بنابراین به منظور مدیریت منابع آب، و همچنین اقتصادهای محلی، و منطقه‌ای، شبیه‌سازی مراحل آب‌شناسی اتفاق افتاده در حوضه‌های کوهستانی لازم است (فونتین و همکاران، ۲۰۰۲).

مدل آب‌شناسی<sup>۱</sup> SRM یک مدل تعینی<sup>۲</sup> و نظری<sup>۳</sup> بر پایه‌ی درجه روز<sup>۴</sup> می‌باشد که جهت شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی رواناب در مقیاس روزانه و در حوضه‌های کوهستانی، که ذوب برف عامل اصلی ایجاد رواناب به شمار می‌رود ایجاد شده است (مارتینک و همکاران، ۲۰۰۸). این مدل در ابتدا برای تعدادی از حوضه‌های کوچک اروپا توسعه داده شد (مارتینک، ۱۹۷۵)، اما امروزه با گسترش دانش و فن‌سنجش از دور<sup>۵</sup> و تصاویر ماهواره‌ای دامنه کاربرد این مدل افزایش پیدا کرده است، به طوری که می‌توان آن را برای هر حوضه با هر مساحتی به کار برد. در همین راستا مدل SRM در حوضه‌های با مساحت ۰/۲۹ تا ۹۱۷۴۴۴ کیلومتر مربع به خوبی به کار برده شده است (مارتینک و همکاران، ۲۰۰۸). ونگ و لی (۲۰۰۶) این مدل را موفق‌ترین مدل شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف می‌دانند. گومز و رنگو (۲۰۰۲) با استفاده از مدل SRM به شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در ۳ حوضه با مساحت‌های مختلف در کوه‌های پیرنه<sup>۶</sup> پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان از شبیه‌سازی مناسب رواناب با کاربرد مدل SRM در حوضه‌ای با مساحت بیشتر (۵۷۲/۹ کیلومتر مربع) داشت، به طوری که اختلاف حجمی جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ۹/۸ درصد محاسبه شد. در دو حوضه‌ی دیگر بررسی شده، که دارای مساحت‌های کمتر بودند (۳۸/۱ و ۲۳/۱ کیلومتر مربع) میزان تفاوت حجم جریان‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بیشتر از حوضه‌ی بزرگتر بود، و مدل، رواناب را به مراتب کمتر از میزان مشاهداتی شبیه‌سازی نمود، که آنها دلیل آن را ناکافی بودن و استفاده از میانگین داده‌های بارش و درجه حرارت بیان کردند. لی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تصاویر سطح پوشش برف سنجنده MODIS<sup>۷</sup> ماهواره Terra<sup>۸</sup> و همچنین ماهواره‌ی NOAA<sup>۹</sup> به شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل SRM در دو حوضه‌ی آبخیز ریوگرند<sup>۹</sup> و ریو اوجو<sup>۱۰</sup> واقع در کلرادو و نیومکزیکوی آمریکا پرداختند. نتایج مطالعه‌ی آنها

<sup>7</sup> moderate-resolution imaging spectroradiometer

<sup>8</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>9</sup> Rio Grande

<sup>10</sup> Rio Ojo

<sup>1</sup> snowmelt runoff model

<sup>2</sup> deterministic

<sup>3</sup> conceptual

<sup>4</sup> degree day

<sup>5</sup> remote sensing

<sup>6</sup> pyrenees

نمودند. کریمی و همکاران (۲۰۱۶) نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذوب برف دو مدل WetSpa<sup>۲</sup> و SRM را در حوضه آبخیز دهنو واقع در استان لرستان در کشور ایران، مقایسه و ارزیابی کردند. آنها از تحقیق خود نتیجه گرفتند که مدل WetSpa دارای عملکرد بهتری در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌ی بررسی شده نسبت به مدل SRM است، به طوری که مقدار ضریب ناش ساتکلیف برای مدل SRM در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی مدل به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۳ تعیین شد و این در حالی است که مقدار ضریب ناش ساتکلیف برای مدل WetSpa در دوره واسنجی و صحت سنجی مدل به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۸ تعیین شد. اکبری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست<sup>۳</sup> جهت استخراج سطح پوشش برف، و با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی رواناب حوضه‌ی سد کارده‌ی شهر مشهد را بررسی قرار کردند. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان دادند که آب‌نگارهای شبیه‌سازی شده به وسیله مدل دارای انطباق مناسبی با آب‌نگار مشاهداتی بوده، و بیشترین حساسیت مدل برای فراسنج‌های ضریب رواناب، سطح پوشش برف و ضریب فروکش جریان است. نظم فر و همکاران در سال ۱۳۹۵ با استفاده از سنجش از دور و مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف را در حوضه‌ی آبخیز دهگلان، شبیه‌سازی کردند. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان دادند که مدل SRM در این حوضه، که تلفیقی از دشت و کوه است، دارای نتایج مناسبی در شبیه‌سازی رواناب نیست، به طوری که ضریب تعیین محاسبه شده برای شبیه‌سازی مدل ۰/۵۲ و اختلاف حجم جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ۲/۳۳ محاسبه شد. از جمله دیگر تحقیقات صورت گرفته در رابطه با شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM می‌توان به مطالعات فنگ و همکاران (۲۰۰۰)، ما و چنگ (۲۰۰۳)، لیو و همکاران (۲۰۰۷)، ژنگ و همکاران (۲۰۰۹)، سنسوی و آیزول (۲۰۱۲)، صفاری شاد و همکاران (۲۰۱۳)، کولت و همکاران (۲۰۱۴)، وفاخواه و همکاران (۲۰۱۴) و ژنگ و همکاران (۲۰۱۴)، اشاره کرد.

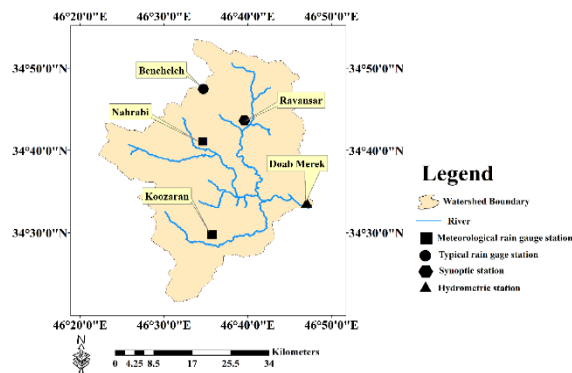
نشان از رضایت بخش بودن شبیه‌سازی صورت گرفته با کاربرد مدل SRM در حوضه‌ی ریوگرند با استفاده از تصاویر سطح پوشش برف سنجنده‌ی MODIS و NOAA بود به طوری که اختلاف حجمی جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با استفاده از تصاویر سطح پوشش برف این دو ماهواره به ترتیب ۲/۶ و ۱۴ درصد تعیین شد. در حوضه‌ی ریو اوجو شبیه‌سازی جریان صورت گرفته به وسیله‌ی مدل SRM با استفاده از محصولات دو سنجنده چندان رضایت بخش نبود، به طوری که تفاوت حجمی جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS، ۳۳/۱ - درصد، و این مقدار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی NOAA، ۱۸/۶ - درصد تعیین شد. در ادامه، آنها آب معادل برف را برای طبقه‌ی ارتفاعی سوم در هر دو حوضه بررسی شده با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی، با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نموده و نتیجه گرفتند که آب معادل برف شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی مدل SRM برای هر دو حوضه و با استفاده از تصاویر هر دو ماهواره با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت می‌کند. طاهیر و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل SRM اقدام به شبیه‌سازی رواناب روزانه در حوضه هانزا<sup>۱</sup> در پاکستان شمالی کردند. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان دادند که مدل SRM دارای کارایی مناسبی در شبیه‌سازی رواناب در این حوضه است، به طوری که ضریب ناش ساتکلیف و اختلاف حجم جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی (Dv) برای دوره‌ی واسنجی مدل به ترتیب ۰/۹ و ۲/۶ -، و برای دوره صحت سنجی، که شامل سه دوره‌ی مختلف بود، به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۲، ۰/۸۳ و ۳، ۱/۲ و ۸/۱ درصد محاسبه شد. آنها در ادامه به پیش‌بینی جریان تحت نمایش‌نامه تغییر اقلیم با استفاده از مدل SRM پرداخته و پیشنهاد ایجاد مخازن جدیدی را بر روی رودخانه جهت تامین نیاز آب آبیاری، تقاضای نیروگاه‌های برق آبی، و همچنین تنظیم سیلاب، با ذخیره‌ی جریان‌های تابستانه

<sup>3</sup> Landsat

<sup>1</sup> Hunza

<sup>2</sup> Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere

شمال غرب کرمانشاه است. شکل و موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی روانسرنجایی و همچنین موقعیت ایستگاه‌های موجود در حوضه‌ی مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- شکل و موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز روانسرنجایی و شبکه‌ی رودها و ایستگاه‌های موجود در حوضه.

### آمار و اطلاعات و داده‌های استفاده شده در پژوهش

در این تحقیق از دو دوره‌ی زمانی داده‌های آب و هواشناسی روزانه استفاده شد (از ژانویه سال ۲۰۰۲ تا دسامبر سال ۲۰۰۳). از داده‌های بارندگی روزانه و داده‌های بیشینه و کمینه دمای روزانه‌ی ایستگاه سینوپتیک روانسرنجایی و همچنین داده‌های رواناب ایستگاه آب سنجی دو آب مرک به عنوان خروجی حوضه، به عنوان متغیرهای ورودی جهت شبیه‌سازی رواناب روزانه با استفاده از مدل SRM استفاده شد. مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است، که در شکل ۱ نیز نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و آب سنجی استفاده شده در تحقیق.

مختصات جغرافیایی			نوع ایستگاه	نام ایستگاه
ارتفاع (متر)	عرض	طول		
۱۳۳۹	۳۴-۳۳-۰۰	۴۶-۴۶-۵۹	آب سنجی	دو آب مرک
۱۳۶۳	۳۴-۴۳-۰	۴۶-۴۰-۰	سینوپتیک	روانسرنج
۱۷۰۰	۳۴-۴۷-۵۸	۴۶-۳۵-۱۳	باران سنج معمولی	بن چله
۱۴۰۱	۳۴-۳۰-۰	۴۶-۳۶-۰	باران سنج هواشناسی	کوزران
۱۴۹۰	۳۴-۴۰-۰	۴۶-۳۴-۰	باران سنج هواشناسی	نهرآبی

با توجه به نتایج تحقیقات ذکر شده به وسیله مدل SRM در شبیه‌سازی روزانه رواناب حوضه‌های آبخیز مختلف در ایران و سایر نقاط جهان، مشخص است که به دلیل کمبود اطلاعات مربوط به برف در حوضه‌های آبخیز کوهستانی امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های لازم برای تحلیل رواناب میسر نبوده، و استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین انتخاب مدلی که بتواند با استفاده از حداقل عوامل و دقت لازم، رواناب به دست آمده از بارندگی (برف و باران) را به طور دقیق در مقیاس‌های زمانی کوچک (روزانه) جهت برنامه‌ریزی‌های منابع آبی پیش‌بینی کند امری ضروری است. با توجه به این مطلب، هدف از انجام پژوهش حاضر شبیه‌سازی رواناب روزانه‌ی حوضه روانسرنجایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۸ روزه به جای ۱ روزه‌ی سطح پوشش برف سنجنده‌ی MODIS جهت تسریع در محاسبه‌ی سطح پوشش برف به عنوان متغیر اصلی و مهم جهت اجرای مدل و ارزیابی و بررسی دقت نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته به وسیله مدل SRM در این حوضه و با استفاده از این تصاویر است.

### مواد و روش‌ها

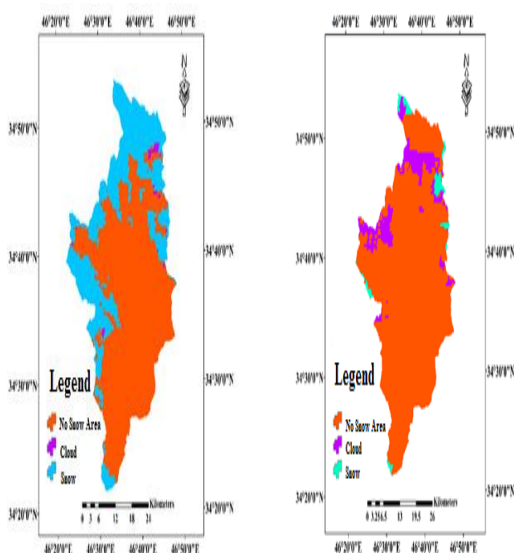
#### منطقه مطالعه شده

حوضه‌ی روانسرنجایی با مختصات جغرافیایی " ۳۰° ۲۱' ۴۶" تا " ۳۰° ۴۹' ۴۶" طول شرقی و " ۰° ۲۰' ۳۴" تا " ۰° ۶' ۳۴" عرض شمالی واقع در استان کرمانشاه در کشور ایران، و به مساحت ۱۲۶۰ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های آبخیز کرخه است. رود اصلی این حوضه قره‌سو است که سرچشمه اصلی آن سراب روانسرنج، واقع در ۵۰ کیلومتری

ژنگ و همکاران (۲۰۱۴) و کریمی و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد.

## داده های ماهواره ای

### نقشه های سطح تحت پوشش برف سنجنده مودیس



شکل ۲- نقشه های روزانه ی سطح پوشش برف استخراج شده از تصاویر سنجنده ی MODIS مربوط به ۱ ژانویه ۲۰۰۲ (الف) و ۱ ژانویه ۲۰۰۳ (ب).

شکل ۲- نقشه های روزانه ی سطح پوشش برف استخراج شده از تصاویر سنجنده ی MODIS مربوط به ۱ ژانویه ۲۰۰۲ (الف) و ۱ ژانویه ۲۰۰۳ (ب).

### تعریف و روابط مدل SRM

در مدل SRM، با توجه به حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه می توان آن را به طبقات ارتفاعی متعددی تقسیم بندی نموده و متغیرهای ورودی و فراسنج های لازم جهت شبیه سازی رواناب را در هر یک از این طبقات وارد کرد. متغیرهای ورودی مدل شامل داده های بارندگی روزانه، دمای روزانه، سطح پوشش برف (SCA) و داده های رواناب روزانه جهت شبیه سازی رواناب در دوره ی آماری بررسی شده هستند. به دلیل محدودیت و نبودن تعداد و پراکنش کافی ایستگاه های آب سنجی و هواشناسی برای داده های بارندگی و دما در هر یک از طبقات ارتفاعی می توان رابطه ی شیب بارندگی و دما را با توجه به ایستگاه های موجود محاسبه کرده، سپس با استفاده از این رابطه مقادیر بارندگی و دما را

سطح پوشش برف (SCA<sup>۱</sup>) یکی از متغیرهای مهم ورودی مدل SRM جهت شبیه سازی رواناب است. نقشه های سطح پوشش برفی سنجنده ی MODIS (فراهم شده به وسیله ی مرکز ملی اطلاعات برف و یخ<sup>۲</sup> ایالات متحده آمریکا، حال و همکاران، ۲۰۰۲) امکان مطالعه توزیع برف را به صورت روزانه فراهم کرده اند (جین و همکاران، ۲۰۰۹). در این مطالعه از محصول MOD10A2 (حال و همکاران، ۲۰۰۲) که شامل نقشه های ۸ روزه ی حداکثر پوشش برفی با وضوح تصویر ۵۰۰ متر، به دلیل عدم دقت و کارایی مناسب محصولات روزانه (MOD10A1) در تعیین سطح پوشش برف (به دلیل وجود پوشش ابری روزانه در این محصولات) نسبت به تصاویر ۸ روزه، و همچنین جهت سرعت بخشیدن به محاسبات در تعیین SCA روزانه در سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ استفاده شد. با وارد کردن این تصاویر در سامانه ی اطلاعات جغرافیایی (GIS<sup>۳</sup>) و تبدیل آنها به شکل شبکه ای<sup>۴</sup> و مختصات جغرافیایی<sup>۵</sup> حوضه ی روانسر سنجایی (WGS-1984-UTM-zone-38N)، و با استفاده از درونیایی خطی بین فواصل ۸ روزه ی تصاویر، متغیر سطح پوشش برف روزانه جهت استفاده در مدل تهیه شد. دو نمونه از نقشه های سطح پوشش برف پس از وارد کردن به محیط ARCMAP و مربوط به ۱ ژانویه سال ۲۰۰۲ و ۱ ژانویه سال ۲۰۰۳ در شکل ۲ نشان داده شده اند.

تحقیقات بسیاری با استفاده از مدل SRM جهت شبیه سازی رواناب روزانه وجود دارند که در آنها از نقشه های پوشش برفی سنجنده ی MODIS جهت محاسبه ی متغیر ورودی SCA برای اجرای مدل استفاده شده است؛ از جمله این پژوهش ها می توان به مطالعات پراساد و روی (۲۰۰۵)، جین و همکاران (۲۰۰۹)، امرزیل و همکاران (۲۰۰۹)، بوکهایگن و بوربانک (۲۰۱۰)، طاهیر و همکاران (۲۰۱۱)،

<sup>3</sup> Geographic Information System

<sup>4</sup> grid

<sup>5</sup> spatial reference

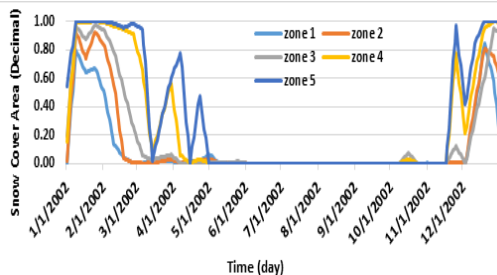
<sup>1</sup> now cover area

<sup>2</sup> National Snow and Ice Data Center

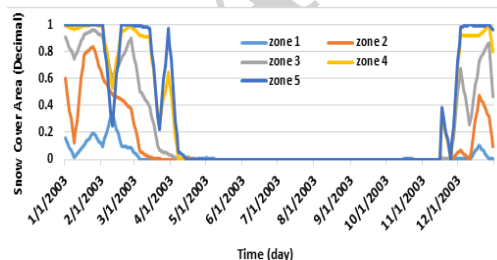
جدول ۲- طبقات ارتفاعی و مشخصات آنها در حوضه‌ی روانسر سنجایی.

شماره‌ی طبقه‌ی ارتفاعی	محدوده‌ی ارتفاعی (متر)	مساحت طبقه‌ی ارتفاعی (کیلومتر مربع)	ارتفاع هیپسومتریک طبقه‌ی ارتفاعی (متر)
۱	۱۶۰۰-۱۳۰۹	۸۵۸/۲۲	۱۴۵۴
۲	۱۹۰۰-۱۶۰۰	۲۳۳/۰۶	۱۷۹۴/۵
۳	۲۲۰۰-۱۹۰۰	۸۹/۴۶	۲۰۴۹/۵
۴	۲۵۰۰-۲۲۰۰	۴۱/۱۶	۲۳۴۹/۵
۵	۲۷۵۵-۲۵۰۰	۵/۴۷	۲۶۰۵/۲۵

تفاضل درجه‌ی حرارت در ایستگاه مبنا با درجه‌ی حرارت در محل متناظر با متوسط ارتفاع فرازسنجی حوضه یا نوار ارتفاعی (درجه‌ی سانتی‌گراد) ؛ S : نسبت پوشش برف به کل حوضه (اعشار) ؛ P : بارشی که در تولید رواناب شرکت می‌کند (سانتی‌متر) ؛ A : مساحت حوضه یا ناحیه‌ی انتخابی (کیلومتر مربع) ؛ n : تعداد روزها طی دوره‌ی پیش-بینی و یا شبه‌سازی ؛ K : ضریب فروکش که نشان دهنده‌ی نرخ کاهش بده در یک دوره‌ی زمانی بدون تاثیر برف یا بارش باران بوده و از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۳- نمودار سطح پوشش برف در ۵ طبقه ارتفاعی حوضه‌ی روانسر سنجایی در سال ۲۰۰۲ (الف) و ۲۰۰۳ (ب).

در هر طبقه‌ی ارتفاعی محاسبه نمود. در این تحقیق حوضه-ی روانسر سنجایی به ۵ طبقه‌ی ارتفاعی تقسیم شد که اطلاعات آنها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. در این تحقیق از با استفاده از داده‌های بارندگی و دمای روزانه‌ی ایستگاه‌های روانسر، بن چله، کوزران و نهرآبی و شیب متغیرهای بارندگی و دما با ارتفاع، در سایر طبقات ارتفاعی که فاقد ایستگاه سنجنده باران و درجه حرارت هستند مقادیر این متغیرها تعمیم داده شدند. متغیرهای ورودی دیگر، SCA و رواناب روزانه ایستگاه آب‌شناسی دوآب مرک و رود قره‌سو در حوضه‌ی روانسر سنجایی به منظور مقایسه نتایج شبه‌سازی رواناب صورت گرفته به وسیله مدل با این مقادیر هستند. جهت محاسبه SCA در هر یک از طبقات ارتفاعی از تصاویر پوشش برفی سنجنده‌ی MODIS استفاده شد. نمودار سطح پوشش برف در هر یک از طبقات ارتفاعی مطالعه شده در حوضه‌ی روانسر سنجایی در سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳، و با استفاده از تصاویر سطح پوشش برف سنجنده‌ی MODIS در شکل ۳ نشان داده شده است. رابطه‌ی محاسبه‌ی رواناب در مدل SRM به صورت زیر است.

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

که در آن Q : بده متوسط روزانه (متر مکعب بر ثانیه) ، Cs : ضریب رواناب برف (اعشار) ؛ CR : ضریب رواناب باران (اعشار) ؛ a : عامل درجه‌ی روز (درجه‌ی سانتی‌گراد بر روز) ؛ T : دمای ایستگاه مبنا (درجه‌ی سانتی‌گراد) ؛  $\Delta T$  :

اعتبارسنجی آن سال ۲۰۰۳ ( اول ژانویه ۲۰۰۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳) در نظر گرفته شد. تحقیقات بسیاری راجع به شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل‌های ذوب برف صورت گرفته است که در آنها دوره‌ی شبیه‌سازی رواناب و ارزیابی مدل ۱ تا ۲ سال در نظر گرفته شده است، که از جمله آنها می‌توان به مطالعات صورت گرفته به وسیله‌ی استراسر و همکاران (۲۰۰۲)، فیزر و همکاران (۲۰۰۳)، گارن و مارکس (۲۰۰۵)، صفاری شاد و همکاران (۲۰۱۳)، وفاخواه و همکاران (۲۰۱۴)، برزوفسکی و همکاران (۲۰۱۴) و کریمی و همکاران (۲۰۱۶)، اشاره کرد. واسنجی مدل SRM به صورت دستی<sup>۴</sup> و تغییر فراسنج‌های مدل (با مقایسه آب‌نگار-های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده جریان) صورت گرفت. جدول ۳ نشان دهنده‌ی فراسنج‌های بهینه‌ی مدل SRM جهت محاسبه‌ی رواناب روزانه در حوضه‌ی روانسر سنجایی است.

$$K = \frac{Q_{n+1}}{Q_n} \quad (2)$$

فراسنج‌های اصلی مدل SRM، که به واسطه آنها می‌توان مدل را واسنجی کرد شامل دمای بحرانی ( $T_{CRIT}$ ) که پایین‌تر از این دما بارش به صورت برف و بالاتر از آن بارش به صورت باران است، عامل درجه‌ی روز ( $a$ )، افتاهنگ دما<sup>۱</sup> ( $\gamma$ )، ضریب رواناب شامل ضریب رواناب ناشی از باران ( $C_R$ ) و ضریب رواناب ناشی از ذوب برف ( $C_S$ )، سطح شرکت کننده در بارش<sup>۲</sup> ( $RCA$ )، ضریب فروکش جریان ( $K$ ) و فراسنج-های  $x$  و  $y$  مربوطه و زمان تاخیر<sup>۳</sup> ( $L$ ) هستند. در این تحقیق با استفاده از مدل WINSRM نسخه‌ی 1.12 که نسخه‌ی تحت ویندوز مدل SRM است اقدام به شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌ی روانسر سنجایی گردید.

#### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در این مطالعه دوره‌ی واسنجی مدل SRM، سال ۲۰۰۲ ( اول ژانویه ۲۰۰۲ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۲) و دوره‌ی

جدول ۳- فراسنج‌های بهینه‌ی محاسبه شده در مرحله‌ی واسنجی مدل.

نام پارامتر	تعریف فراسنج	واحد	مقدار بهینه
$C_R$	ضریب رواناب باران	اعشار	۰/۴
$C_S$	ضریب رواناب برف	اعشار	۰/۳۵
$a$	عامل درجه روز	سانتی متر در درجه‌ی سانتی گراد بر روز	۰/۲۵
$\gamma$	افتاهنگ دما	درجه‌ی سانتی گراد بر روز	۰/۶۵
$x$	فراسنج مربوط به ضریب فروکش جریان	-	۱/۰۰۱۰
$y$	فراسنج مربوط به ضریب فروکش جریان	-	۰/۰۹۱
$RCA$	سطح شرکت کننده در بارش	-	۱
$T_{CRIT}$	دمای بحرانی	درجه‌ی سانتی گراد	۱/۵
$L$	زمان تاخیر	ساعت	۱۲

(مارتینک و همکاران، ۲۰۰۸) که روابط محاسبه این شاخص‌ها در رابطه‌های ۳ و ۴ مشخص شده‌اند.

#### شاخصهای آماری در ارزیابی مدل

ارزیابی مدل SRM به کمک دو شاخص آماری ضریب تبیین ( $R^2$ ) و تفاضل حجمی ( $D_V$ ) صورت می‌گیرد

<sup>3</sup> lag time

<sup>4</sup> manually

<sup>1</sup> temperature lapse rate

<sup>2</sup> rainfall contributing area

ساتکلیف<sup>۱</sup> (NSE) (ناش و ساتکلیف، ۱۹۷۰) هم به عنوان شاخص سوم در ارزیابی بهره‌وری شد. رابطه‌ی محاسبه‌ی این شاخص به وسیله‌ی رابطه‌ی ۵ مشخص شده است:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_{m,i} - Q_{si})^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \quad (5)$$

که در آن  $\bar{Q}_m$  میانگین بده اندازه‌گیری شده،  $Q_{si}$  نشان‌دهنده‌ی بده شبیه‌سازی شده و  $Q_{m,i}$  مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی بده در طول دوره‌ی شبیه‌سازی، و هر سه بر حسب متر مکعب بر ثانیه هستند. مقادیر ضریب NSE بیشتر از ۰/۷۵ نشان از شبیه‌سازی صورت گرفته خوب و مناسب مدل، و مقادیر کمتر از ۰/۵ نشان از شبیه‌سازی نامناسب صورت گرفته با کاربرد مدل است محدوده‌ی عملکرد شبیه‌سازی مدل با توجه به این شاخص در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- محدوده‌ی عملکرد و ارزیابی شاخص ناش ساتکلیف (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷؛ کولت و همکاران ۲۰۱۴).

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش ساتکلیف (NSE)
بسیار خوب	$0.75 < NSE \leq 1$
خوب	$0.65 < NSE \leq 0.75$
رضایت بخش	$0.5 < NSE \leq 0.65$
غیر قابل قبول	$NSE \leq 0.5$

همچنین سطح پوشش برف محاسبه شده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS در هر طبقه ارتفاعی، و همگی در مقیاس زمانی روزانه در سال ۲۰۰۲ به مدل معرفی شدند. از آمار روزانه‌ی ایستگاه آب‌سنجی دو آب‌مرک مربوط به رود قره‌سو و خروجی حوضه نیز جهت ارزیابی و مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب استفاده شد. در ادامه، مقادیر هر کدام از فراسنج‌های لازم مدل SRM در سال ۲۰۰۲ محاسبه و به مدل وارد شدند. پس از چندین بار اجرای مدل، و با مقایسه‌ی آب‌نگارهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان، و با توجه به شاخص‌های ارزیابی آماری در دوره‌ی واسنجی (سال ۲۰۰۲)، مقادیر بهینه‌ی فراسنج‌ها در این دوره تعیین گردیدند که در جدول ۳ آورده شده‌اند.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (3)$$

$$D_V = \frac{V_R - \bar{V}_R}{V_R} \quad (4)$$

در رابطه‌ی ۳،  $\bar{Q}_m$  میانگین بده اندازه‌گیری شده،  $\bar{Q}_s$  میانگین بده شبیه‌سازی شده،  $Q_{m,i}$  مقادیر بده اندازه‌گیری شده و  $Q_{s,i}$  مقادیر بده شبیه‌سازی شده همگی بر حسب متر مکعب بر ثانیه، و در رابطه‌ی ۴،  $V_R$  حجم رواناب اندازه‌گیری شده و  $\bar{V}_R$  حجم رواناب شبیه‌سازی شده در طول دوره‌ی آماری منتخب بر حسب مترمکعب هستند. چنانچه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برابر باشند، مقدار  $R^2$  برابر با یک است (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر این دو شاخص در ارزیابی شبیه‌سازی رواناب روزانه-ی صورت گرفته به وسیله‌ی مدل SRM، از شاخص ناش

## نتایج و بحث

همان‌گونه که در پیشتر آمد، در این تحقیق با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی رواناب روزانه برای دوره‌ی زمانی دوساله (۲۰۰۲-۲۰۰۳) صورت گرفت. سال اول این دوره برای واسنجی مدل و سال دوم جهت اعتبارسنجی آن انتخاب شدند. نخستین قدم در اجرای مدل تعیین طبقات ارتفاعی و وارد کردن مساحت و همچنین متوسط ارتفاع فراسنجی هر طبقه به آن است. در این تحقیق پس از طبقه‌بندی ارتفاع حوضه در ۵ ردیف، و وارد کردن مساحت و متوسط ارتفاع فراسنجی مربوط به هر کدام از آنها با استفاده از ایستگاه-های موجود، و یا با استفاده از مقادیر تعمیم داده شده در طبقاتی که فاقد ایستگاه بودند، متغیرهای بارندگی و دما، و

<sup>1</sup> Nash - Sutcliffe



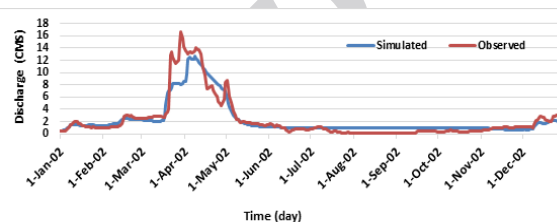
طبقات ارتفاعی بالاتر فاقد ایستگاه، خطا در محاسبه‌ی فراسنج‌های ضریب فروکش جریان و یا مقادیر ضریب رواناب باران و برف، و یا به دلیل خطا در ثبت داده‌های تاریخی آب و هواشناسی حوضه‌ی بررسی شده باشد. در سایر روزهای دوره‌ی واسنجی دو آب‌نگار دارای تطابق نسبتاً خوبی با هم هستند. آب‌نگارهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان در دوره‌ی صحت سنجی مدل (شکل ۴ب) دارای تطابق نسبتاً کاملی با هم هستند، به طوری که مقادیر حداکثری و حداقلی رواناب در این دوره به خوبی شبیه‌سازی شده و بازوهای بالارونده و پایین رونده‌ی دو آب‌نگار از هم‌پوشانی خوبی برخوردارند. نتایج شبیه‌سازی رواناب با کاربرد مدل SRM، و با توجه به معیارهای آماری ارزیابی در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل SRM با توجه به شاخصهای آماری استفاده شده در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی.

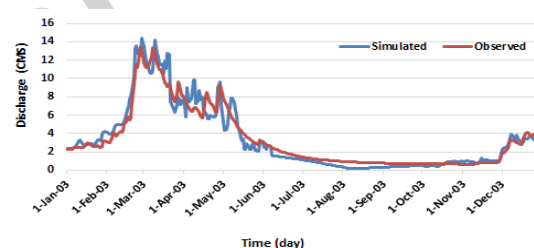
شاخص آماری	دوره‌ی واسنجی (سال ۲۰۰۲)	دوره‌ی اعتبارسنجی (سال ۲۰۰۳)
NSE	۰/۹	۰/۹۵
$D_V$	-۰/۰۱	-۰/۰۰۹۱
$R^2$	۰/۸۶	۰/۹۳

با توجه به نتایج جدول ۵ مشخص است که مدل SRM شبیه‌سازی رواناب روزانه را هم در دوره‌ی واسنجی و هم صحت سنجی به خوبی انجام داده است، به طوری که ضریب NSE در دوره‌ی واسنجی ۰/۹ و در دوره‌ی صحت سنجی بیشتر و ۰/۹۵ است که با توجه به جدول ۴ در محدوده‌ی خیلی خوب و بسیار مناسب شبیه‌سازی صورت گرفته با کاربرد مدل قرار می‌گیرد. اختلاف کل حجم جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ( $D_V$ ) در دوره‌ی واسنجی ۱- درصد و در دوره‌ی صحت سنجی مدل بسیار ناچیز و ۰/۹۱- درصد محاسبه شد، که نشان از ناچیز بودن اختلاف حجم جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در طول این دو دوره است. جدول ۶ میزان کل حجم و متوسط جریان شبیه‌سازی

در مرحله‌ی آخر شبیه‌سازی رواناب حوضه‌ی روانسر سنجایی در سال ۲۰۰۳، با توجه به مقادیر متغیرهای بارندگی، دما و سطح پوشش برف در این سال، و همچنین مقادیر بهینه‌ی فراسنج‌ها در سال ۲۰۰۲ صورت گرفت که مشخص شود آیا مدل با استفاده از فراسنج‌های بهینه‌ی مرحله‌ی واسنجی دارای نتایج قابل قبولی در مرحله‌ی اعتبارسنجی نیز هست و یا خیر؟ شکل ۴ آب‌نگارهای جریان روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را در حوضه‌ی روانسر سنجایی، و با استفاده از مدل SRM در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۴- آب‌نگارهای شبیه‌سازی شده با کاربرد مدل SRM و مشاهداتی جریان روزانه در دوره‌های واسنجی (الف) و اعتبار سنجی (ب).

با توجه به شکل ۴ مدل SRM در دوره‌ی واسنجی (شکل ۴ الف) مقادیر حداکثری رواناب را کمتر از میزان واقعی آن شبیه‌سازی کرده است، به طوری که نقطه‌ی اوج آب‌نگار مشاهداتی در دوره‌ی واسنجی مربوط به روز ۲۹ مارس سال ۲۰۰۲، و مقدار بده در این روز ۱۶/۶ متر مکعب بر ثانیه بوده، و این درحالی است که میزان بده شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی مدل در این روز ۸/۰۶ متر مکعب بر ثانیه است که این امر می‌تواند به دلیل استفاده از درونیایی در تصاویر ۸ روزه سطح پوشش برف جهت استخراج متغیر سطح تحت پوشش برف روزانه، خطا در تعمیم بارندگی و دما به

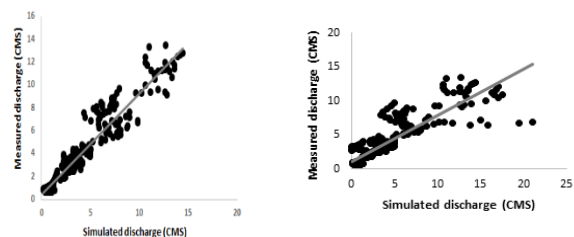
جدول ۶- میزان کل حجم جریان و متوسط بده شبیه‌سازی شده با کاربرد مدل SRM و مقادیر مشاهداتی در دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی.

دوره‌ی اعتبارسنجی (سال ۲۰۰۳)		دوره‌ی واسنجی (سال ۲۰۰۲)		
مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	
۱۰۵/۰۴۷	۱۰۶/۰۰۳	۷۱/۷۱۷	۷۱/۷۳۰	کل حجم جریان (میلیون متر مکعب)
۳/۳۳۱	۳/۳۶۱	۲/۲۷۴	۲/۲۷۵	متوسط بده (متر مکعب بر ثانیه)

در این تحقیق رواناب روزانه‌ی حوضه‌ی آبخیز روانسر سنجایی با استفاده از تصاویر سطح پوشش برف سنجنده‌ی MODIS و مدل آب‌شناسی SRM شبیه‌سازی شد. نتایج مدل در شبیه‌سازی رواناب در این حوضه با استفاده از سه شاخص آماری ارزیابی گردید و مشخص شد که عملکرد مدل هم در دوره‌ی واسنجی و هم در دوره‌ی صحت سنجی بسیار خوب است، به طوری که ضریب ناش ساتکلیف برای این دو دوره به ترتیب ۰/۹ و ۰/۹۵ تعیین شد. تفاضل حجمی جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب در دوره‌ی واسنجی ۱ - درصد و در دوره‌ی اعتبارسنجی بسیار کم و در حدود ۰/۹۱ - درصد محاسبه شد، که این موضوع نشانگر اختلاف بسیار ناچیز حجم جریان شبیه‌سازی شده با مشاهداتی است. با توجه به نمودار همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی رواناب و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی آن، مشخص گردید که مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی رواناب دارای همبستگی بالایی هم در دوره‌ی واسنجی و هم در دوره‌ی صحت سنجی با رواناب اندازه‌گیری شده هستند، به طوری که ضریب تبیین  $R^2$  برای این دو دوره به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۹۳ تعیین شد. با توجه به آبنگارهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان در دو دوره - ی واسنجی و اعتبارسنجی مشخص شد که این دو آبنگار دارای تطابق مناسبی هستند؛ این تطابق در دوره‌ی اعتبارسنجی مدل به مراتب بهتر از دوره‌ی واسنجی آن است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان چنین نتیجه گرفت که تصاویر پوشش برفی سنجنده‌ی MODIS دارای دقت بالایی در تهیه‌ی سطح پوشش برف جهت مطالعات مربوط به برف است، و سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند ابزاری بسیار مناسب و کارآمد در حوضه‌های کوهستانی، که فاقد آمار مناسب

شده در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی مدل SRM، و همچنین مقدار کل حجم و متوسط جریان مشاهداتی در این دوره‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۶، میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره‌ی واسنجی مدل دارای اختلاف کمی (۰/۰۱ متر مکعب بر ثانیه)، و در دوره‌ی صحت سنجی نیز اختلاف این دو مقدار بسیار کم و در حدود ۰/۰۳ مترمکعب بر ثانیه است. نمودار همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب روزانه در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل SRM در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با کاربرد مدل SRM در دوره‌های واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب).

با توجه به شکل ۵ و مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مشخص گردید که این دو دسته داده دارای همبستگی مناسبی هستند به طوری که ضریب تبیین ( $R^2$ ) در دوره‌های واسنجی (شکل ۵ الف) و اعتبارسنجی (شکل ۵ ب) به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۹۳ محاسبه شد.

## نتیجه گیری

Tianshan Region, China. Remote Sensing Technology and Application 15: 18–21.

7) Fierz, C., Riber, P., and Adams, E. 2003. Evaluation of snow-surface energy balance models in alpine terrain. Journal of Hydrology 282: 76–94.

8) Fontaine, T.A., Cruickshank, T.S., Arnold, J.G. and Hotchkiss, R.H. 2002. Development of a snowfall snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). Journal of Hydrology 262: 209–223.

9) Garen, D.C., and Marks, D. 2005. Spatially distributed energy balance snowmelt modelling in a mountainous river basin: estimation of meteorological inputs and verification of model results. Journal of Hydrology 315: 126–153.

10) Gomez-Landesa, E., and Rango, A. 2002. Operational snowmelt runoff forecasting in the Spanish Pyrenees using the snowmelt runoff model. Hydrological Processes 16: 1583–1591.

11) Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., and Bayr, K.J. 2002. MODIS snow cover products. Remote Sensing of Environment 83: 181–194.

12) Immerzeel, W.W., Droogers, P., De Jong, S.M., and Bierkens, M.P. 2009. Large scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing. Remote Sensing of Environment 113: 40–49.

13) Jain, S.K., Goswami, A., and Saraf, A.K. 2009. Role of elevation and aspect in snow distribution in Western Himalaya. Water Resources Management 23: 71–83.

14) Karimi, H., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., and Miryaghoubzadeh, M.. 2016. Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. Environmental Earth Sciences 75: 664.

15) Kult, J., Choi, W., and Choi, J. 2014. Sensitivity of the snowmelt runoff model to snow covered area and temperature inputs. Applied Geography 55: 30–38.

16) Lee, S., Klein, A.G., and Over, T.M. 2005. A comparison of MODIS and NOHRSC snow cover products for simulating stream flow using the snowmelt runoff model. Hydrological Processes 19: 2951–2972.

17) Liu, W., Li, Z.L., and Li, K.B. 2007. snowmelt Runoff modeling in Tashikuergan

پوشش برفی هستند، باشد. از طرف دیگر، با توجه به کوهستانی و برفگیر بودن حوضه ی روانسر سنجابی استان کرمانشاه، و وجود همیشگی برف در دوره های بارش در طبقات ارتفاعی انتخابی (از ژانویه تا می و همچنین ماه های نوامبر و دسامبر سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳) (شکل ۳)، و تفکیک ضریب رواناب ناشی از ذوب برف و باران، مدل SRM که یک مدل درجه روز و شبیه ساز رواناب ناشی از ذوب برف است جهت شبیه سازی رواناب روزانه در این حوضه دارای کارایی و عملکرد بسیار مناسبی است و می توان از آن جهت تصمیم گیری های لازم و اقدامات مناسب در مدیریت منابع آبهای سطحی بر پایه ی رواناب روزانه در این حوضه و در وسعت بزرگتر در سایر حوضه های کوهستانی استفاده کرد.

## منابع

- ۱) اکبری، م.، رعنائی، ا.، میرزاخان ح.، و درگاهی، ع. ۱۳۹۵. شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از نرم افزار آب شناسی SRM، مطالعه ی موردی: حوضه ی آبخیز سد کارده. مهندسی منابع آب ۹(۳): ۶۳–۷۳.
- ۲) نظم فر، ح.، و مرادی، م. ۱۳۹۵. شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه آبی دهگلان). نشریه جغرافیا و برنامه ریزی ۲۰(۵۵): ۲۷۳–۲۸۹.
- 3) Abbaspour, C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., and Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the prealpine alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology 333: 413–430.
- 4) Berezowski, T., Nossent, J., Chormanski, J., and Batelaan, O. 2014. Spatial sensitivity analysis of snow cover data in a distributed rainfallrunoff model. Hydrology and Earth System Sciences 11: 11987–12025
- 5) Bookhagen, B., and Burbank, D.W. 2010. Toward a complete Himalayan hydrological budget: spatiotemporal distribution of snowmelt and rainfall and their impact on river discharge. Journal of Geophysical Research 115: 1–25.
- 6) Feng, X.Z., Li, W.J., Shi, Z.T., and Wang, L.H. 2000. Satellite snow cover monitoring and snowmelt runoff simulation of Manas River in

- 29) Tekeli, A.E., Akyurek, Z., Sorman, A.A., Sensoy, A., and Sorman, A.U. 2005. Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment* 97: 216–230.
- 30) Vafakhah, M., Nouri, A., and Alavipanah, S.K. 2014. Snowmelt runoff estimation using radiation SRM model in Taleghan watershed. *Environmental Earth Sciences* 73: 993-1003.
- 31) Wang, J., and Li S. 2006. Effect of climate change on snowmelt runoffs in mountainous regions of inland rivers in Northwestern China. *Science in China-Series D: Earth Sciences* 49: 881–888.
- 32) Wurbs, R.A. 1998. Dissemination of generalized water resources models in the United States. *Water International* 23: 190–198.
- 33) Zhang, G., Xie, H., and Yao, T. 2014. Quantitative water resources assessment of Qinghai Lake Basin using snowmelt runoff model (SRM). *Journal of Hydrology* 519: 976–987.
- 34) Zhang, P., Wang, J., Liu, Y., and Li, Y. 2009. Application of SRM to flood forecasting and forewarning of Manasi River Basin in Spring. *Remote Sensing Technology and Application* 24: 456–461.
- River Basin, Xinjiang, China. *Technical Supervision in Water Resources* 3: 343–46.
- 18) Ma, H., and Cheng, G.D. 2003. A test of snowmelt runoff model (SRM) for the Gongnaisi River Basin in the western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin* 48: 2253–2259.
- 19) Martinec, J., Rango, A., and Roberts, R. 2008. SRM snowmelt runoff model. Users's Manual. New Mexico State University, Las Cruces, NM.
- 20) Martinec, J. 1975. Snowmelt runoff model for stream flow forecast. *Nordic Hydrology* 6: 145–154.
- 21) Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Binger, R.L., Harmel, R.D., and Veith, T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* 50: 885–900.
- 22) Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1, a discussion of principals. *Journal of Hydrology* 10: 282–290.
- 23) Prasad, V.H., and Roy, P.S. 2005. Estimation of snowmelt runoff in Beas Basin India. *Geocarto International* 20: 41–47.
- 24) Safari Shad, M., Habibnejad Roshan, M., and Ildoromi, A. 2013. Integration of the MODIS snow cover produced into snowmelt runoff modeling. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 42: 107–117.
- 25) Sensoy, A., and Uysal, G. 2012. The value of snow depletion forecasting methods towards operational snowmelt runoff estimation using MODIS and numerical weather prediction data. *Water Resources Management* 26: 3415–3440.
- 26) Singh, V.P., and Woolhiser, D.A. 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology. *Journal of Hydrological Engineering* 7: 270–292.
- 27) Strasser, U., Etchevers, P., and Lejeune, Y. 2002. Inter-comparison of two snow models with different complexity using data from an alpine site. *Nordic Hydrology* 33: 15–26.
- 28) Tahir, A.A., Chevallier, P., Arnaud, Y., Neppel, L., and Ahmad, B. 2011. Modeling snowmelt runoff under climate scenarios in the Hunza River Basin, Karakoram Range, Northern Pakistan. *Journal of Hydrology* 409: 104–117.