

# شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از نرم افزار SRM و تصاویر ماهواره ای

روح اله محتشم زاده<sup>۱</sup>، حسین قربانی زاده خرازی<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۳

## چکیده

برف در مناطق کوهستانی یکی از مولفه‌های اصلی سیکل هیدرولوژیکی به شمار می‌رود، با این حال تغییرات زیادی در توزیع زمانی و مکانی برف وجود دارد. معمولاً اطلاعات اندازه‌گیری شده برای برف اندک بوده و عموماً به نواحی دارای ارتفاع کم محدود می‌شود. در این مطالعه برای شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف، از مدل SRM و داده‌های سنجش از راه دور، استفاده شده است. داده‌های هیدرولوژیکی حوضه ارمند به ۲ سال کالیبراسیون و ارزیابی تقسیم شده است، تا بتوان میزان رواناب ناشی از ذوب برف را برای آینده پیش‌بینی نمود. در تحقیق حاضر، به منظور پایش زمانی و مکانی سطح پوشش برف، از داده‌های با فرمت رستری و برای یک دوره آماری ۲ ساله (۱۳۸۴-۱۳۸۶) با سنجنده MODIS به صورت فواصل زمانی ۸ روزه و با دقت مکانی ۵۰۰ متر جمع‌آوری و استفاده شد. بعد از پردازش تصاویر سنجنده MODIS در نرم افزار ENVI، سطح پوشش برف مشخص گردید. سپس فایل DEM حوضه با کمک نرم افزار ARCGIS ترسیم گردید. به منظور بدست آوردن میزان مساحت برف در هر ارتفاعی پردازش تصویر بر روی پیکسل‌ها صورت گرفت. کل حوضه به ۶ زیرحوضه براساس ارتفاع و مساحت برف مربوطه تقسیم شده و به عنوان ورودی مدل به کار رفت. شبیه‌سازی با مدل SRM نتایج موفق و قابل قبولی را نشان داد به طوری که نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی دقت بالای مدل را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف را برای حوضه مذکور نشان می‌دهد. میزان تخمین پارامتر  $R^2$  بدست آمده توسط مدل SRM برای حوضه ارمند در حدود ۰/۷۶ می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ذوب برف، مدل SRM، سنجنده MODIS، حوضه ارمند، ضریب تبیین.

## مقدمه

بررسی سطح پوشش برف و تغییرات آن در طول زمان به حساب می‌آیند. از طرفی آگاهی از میزان ذخایر برف در حوضه‌های آبریز جهت استفاده از آب معادل برف، در امر ذخیره‌سازی، کنترل سیلاب‌های فصلی، پیش‌بینی روند جریان رودخانه و تأمین آب مورد نیاز پایین‌دست لازم است. یکی از روش‌هایی که برای

سنجش از راه دور و استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای در چند دهه اخیر رشد سریع و چشمگیری یافته است که در رشته‌های مربوط به علوم زمین کاربرد وسیعی دارد. به خصوص در مواردی که اطلاعات زمینی وجود نداشته و یا به روز نبوده و تغییرات سریع را نشان می‌دهد می‌توان از این اطلاعات بهره‌مند شد. با توجه به ضرورت و اهمیت برف به عنوان مهمترین منبع آبی مناطق کوهستانی، تصاویر ماهواره‌ای که اطلاعات روزانه را از زمین برداشت می‌کنند ابزار ارزشمندی در

فرات از منحنی‌های تخلیه برف استخراج شده از نقشه‌های پوشش برف MODIS استفاده کردند. نتایج نشان داد که از این اطلاعات می‌توان برای شبیه‌سازی و همچنین رواناب ذوب برف برای این حوضه استفاده کرد (Emre et al. 2005).

جاین و شوو (۲۰۰۶) از مدل SRM برای بررسی تغییر اقلیم با استفاده از چگونگی میزان تغییرات رواناب حاصل از ذوب برف در شمال غربی چین استفاده کردند. نتایج نشان داد تغییر فصل ذوب برف، افزایش جریان آب در فصل ذوب و کاهش در جریان‌های بعد از فصل ذوب، تحت سناریو ۴ درجه سانتیگراد افزایش دما رخ داده است (Jian and Shuo 2006).

ژورجیوسکی (۲۰۰۹) از مدل SRM و تصاویر ۸ روزه پوشش برف MODIS برای شبیه‌سازی جریان ذوب برف در روسیه استفاده کرد و نتیجه گرفت که این مدل را می‌توان برای پیش بینی کوتاه مدت رواناب در دامنه کوه‌ها و مناطقی از حوضه آبریز کراسنودار در روسیه مورد استفاده قرارداد (Georgievsky 2009).

هارشبرگر و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل SRM داده‌های برف سنجینده MODIS و اطلاعات ایستگاه‌های تله متری برف در حوضه‌های کوهستانی غرب آمریکا به بررسی جریان‌های کوتاه مدت تا متوسط ۱ تا ۱۵ روزه پرداختند و به منظور بهینه‌سازی عملکرد مدل و کمک به اجرای آن از روش شاخص درجه حرارت برای دستیابی به میزان ذخیره برفی و از حداکثر و حداقل دمای بحرانی برای جداسازی بارش جامد و مایع و یا مخلوطی از باران و برف استفاده کردند. مقایسه این شبیه‌سازی نشان داد پیشرفت قابل توجهی در بهبود عملکرد مدل روی داده است (Harshburger et al. 2010).

سنجش رواناب ذوب برف استفاده می‌شود استفاده از مدل رواناب ذوب برف (SRM) می‌باشد.

مدل رواناب ذوب برف (SRM) توسط مارتینگ (۱۹۷۵) ارائه شد (Martinec 1975). رانگو (۱۹۸۸) مدل ذوب برف را با استفاده از سنجش از راه دور توسعه داد (Rango 1988). رانگو و مارتینگ (۱۹۷۹) کاربرد مدل ذوب برف را با استفاده از داده‌های ماهواره لندست مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که لندست یک راه موثر برای به دست آوردن پارامتر ورودی پوشش برف مورد نیاز برای مدل ذوب برف را فراهم می‌کند (Rango and Martinec 1979).

گراتون و ریچارد (۲۰۰۱) اثر درجه حرارت (ورودی مدل SRM) روی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه Batiscan در کانادا را بررسی کردند. دما با استفاده از ۱۴ سناریو بدست آورده و در مدل قرار داده شد. نتایج نشان داد که عملکرد اجرای مدل با بکار بردن تمامی ایستگاه‌ها با وزن‌های مساوی نتایج خوبی ارائه داده است (Gratton and Richarc 2001).

مالچر و هیدینگر (۲۰۰۱) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS رواناب حاصل از ذوب برف را در زیرحوضه‌های کشور اتریش با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی کردند (Malcher and Heidinger 2001).

هانگ و گئودانگ (۲۰۰۳) مدل SRM را برای شبیه‌سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز رودخانه گانمیسی در غرب چین بکار بردند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. با توجه به اینکه آن‌ها سطح پوشش برف را با استفاده تصاویر ماهواره‌ای برآورد نمودند، نتایج حاصل از مدل نشان داد سطح پوشش برف به تغییرات اقلیم و بخصوص کاهش دما وابسته است (Hong and Guodong 2003).

امره و همکاران (۲۰۰۵) به منظور مدل‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز

نجف‌زاده و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از عکس-های ماهواره‌ای نوا و مدل SRM نسبت به برآورد دبی روزانه و حجم رواناب سالانه در یکی از زیر حوضه‌های زاینده‌رود (پلاسجان) اقدام نمودند. نتایج نشان دهنده مناسب بودن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود، اما واسنجی پارامترهای مدل پیش از به کار بردن آن ضروری می‌باشد.

نجفی و همکاران (۱۳۸۳) برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه برفگیر سد مهاباد را با استفاده از مدل SRM مورد بررسی قرار دادند. هیدروگراف شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده از نظر ضریب گرسبون و اختلاف حجم‌ها مقایسه شدند. ضریب گرسبون و اختلاف حجم‌ها به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۳/۷۹- درصد بوده و دقت شبیه‌سازی در حد قابل قبول گزارش شد.

پورهمت و همکاران (۱۳۸۴) بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوضه بدون آمار برف، خرسان در کارون را انجام دادند. ارزیابی مدل در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و مشارکت باران نشان داد که دبی روزانه با دقت ۸۸ درصد و ضریب تعیین ۰/۷۷۴ و حجم کل جریان با ۱/۰۳ درصد اختلاف با حجم مشاهده‌ای در طول مدت انجام بررسی برآورد شده است. بنابراین مدل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای کارایی لازم را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف دارا می‌باشد.

بیرودیان و همکاران (۱۳۸۴) رواناب ذوب برف را بوسیله مدل SRM برآورد کردند و نتایج بدست آمده را با داده‌های آبنمود رودخانه در آخیز زیارت مقایسه نمودند.

نجفی ایگدیر و همکاران (۱۳۸۶) نسبت به برآورد ذوب برف با استفاده از مدل SRM و تعیین سطوح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوضه چائی از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه اقدام نمودند نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در

ابودو و همکاران (۲۰۱۲) کاربرد مدل رواناب ذوب برف (SRM) را در مناطق کوهستانی به صورت مروری مورد بررسی قرار دادند.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) ارزیابی کمی منابع آب حوضه Buha در داخل حوضه دریاچه Qinghai را با استفاده از مدل رواناب ذوب برف (SRM) برای سال ۲۰۰۳-۲۰۰۹ انجام دادند. آنها از نقشه‌های هشت روزه ماهواره MODIS بهره بردند. نتایج نشان داد که بارش نقش غالب را در تغییرات سطح دریاچه ایفا می‌کند و این که SRM یک ابزار مؤثر برای تخمین تخلیه ذوب برف و مدیریت منابع آب در مناطق کوهستانی بالا است.

سنزبا و همکاران (۲۰۱۵) مدل‌سازی ذوب برف را برای حوضه Nuranang در منطقه شرقی هیمالیا انجام دادند. برای اینکار از تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 و مدل SRM استفاده شد. این سنجنده نقشه برداری پوشش برف را با استفاده از روش شاخص تفاوت برف نرمال (NDSI) انجام می‌دهد. نتایج نشان داد که کاربرد مدل SRM رضایت بخش بوده و می‌تواند در چنین حوضه‌هایی با محدودیت داده بخصوص در شرق هیمالیا استفاده شود.

فتاحی (۱۳۷۴) مدل تحلیلی کمی ذوب برف را در حوضه لتیان مورد بررسی قرار داد. نتایج محاسبه شده با استفاده از مدل SNOW (که صرفاً برای آن مطالعه تهیه شده بود) بیانگر برتری روش درجه-روز نسبت به بیان انرژی، به دلیل دسترسی راحت‌تر به پارامترها و کم بودن تعداد آنها می‌باشد.

مرید و همکاران (۱۳۸۳) عملکرد روش‌های مختلف برآورد ذوب برف را با استفاده از داده‌های اقلیمی در شبیه‌سازی جریان حوضه آبخیز امامه از زیر حوضه‌های جاجرود مورد نقد و بررسی قرار دادند. آنها از روش‌های SWAT، درجه-روز، SRM و SNOW-17 استفاده کردند. نتایج نشان داد روش بیان انرژی نسبت به سایر روش‌ها ارقام ذوب برف را با دقت بیشتری برآورد نموده است.

منطقه مورد مطالعه. ۴- بررسی کارایی مدل SRM در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در منطقه مورد مطالعه و تعیین محاسن و معایب مدل مذکور در این تحقیق.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز ارمند یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه آبریز کارون بزرگ به حساب می‌آید. این حوضه در مناطق کوهستانی قرار گرفته و در فصول سرد ارتفاعات این حوضه پوشیده از برف است و منبع طبیعی مناسبی برای فصول گرم و کم آب به حساب می‌آید. مشخصات جغرافیائی حوضه ارمند ۴۹ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۶ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۰۵ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۳۶ دقیقه و ۰۳ ثانیه عرض شرقی می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه ارمند بیش از ۵۰ درصد استان چهارمحال و بختیاری را شامل شده و در حدفاصل استان های چهارمحال بختیاری ، فارس و خوزستان می باشد .

### آماده سازی اطلاعات

از مهمترین پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد ذوب برف، دما می باشد که این امر ضرورت استفاده از ایستگاه ها با اطلاعات قابل قبول و همچنین ایستگاهی که بتواند معرف شرایط متوسط حوضه باشد را نمایان می نماید. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه های هواشناسی و ایستگاه های بارانسنجی و ایستگاه هیدرومتری در حوضه ارمند نشان داده شده است. برای بدست آوردن آمار دقیقی از میزان رواناب حوضه از ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه ارمند استفاده گردید.

حوضه های کوهستانی از پتانسیل بالایی برخوردار می باشد.

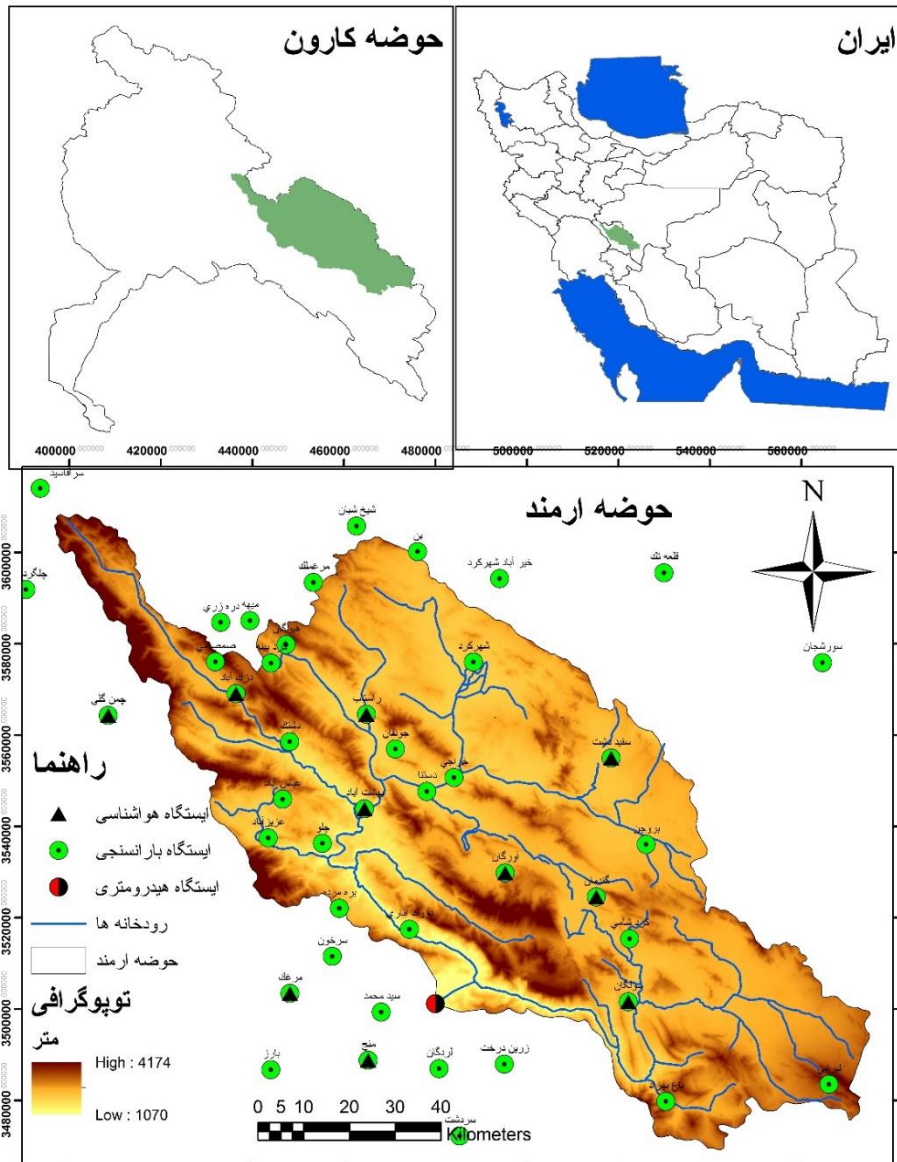
فتاحی و وظیفه دوست (۱۳۹۰) برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف را با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS برای حوضه های استان گلستان انجام دادند. نتایج نشان داد که با توجه به دقت مکانی و زمانی تصاویر ماهواره ای MODIS و قابل دسترس بودن این تصاویر از طریق اینترنت، برای پایش سطح پوشش برف بسیار مناسب هستند، بنابراین با اجرای الگوریتم های به کار رفته، می توان سطوح پوشش برف را به صورت بهنگام پایش کرد.

فتاحی و همکاران (۱۳۹۰) شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز بازفت از زیرحوضه های کارون را با استفاده از مدل SRM انجام دادند. نتایج نشان داد که با توجه به شاخص های ضریب تبیین و تفاضل حجمی که به ترتیب برابر ۸۲ و ۱۸/۹- درصد بدست آمده، مدل دارای دقت بالایی می باشد و قابلیت کاربرد برای حوضه های دیگر منطقه را دارد.

با توجه به این که حوضه ارمند یکی از زیرحوضه های مهم و برفگیر حوضه آبریز کارون می باشد، آگاهی از این منبع طبیعی آب جهت برنامه ریزی آن خصوصاً در سال های خشک که تأمین آب مورد نیاز با مشکلات عدیده ای به همراه می باشد، بسیار با اهمیت است. هدف عمده این تحقیق برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه ارمند می باشد که به تبع اهداف دیگری متناسب با این روش، به آن مرتبط می باشد که شامل موارد زیر می باشد.

۱- بازسازی اطلاعات آماری ناقص با توجه به روش های موجود و نرم افزارهای تخصصی.

۲- تهیه، بررسی و تحلیل تصاویر ماهواره ای به منظور محاسبه سطح پوشش برف. ۳- محاسبه میزان رواناب ناشی از ذوب برف و سهم آن در آورد سالانه



شکل ۱- موقعیت حوضه ارمند

### مدل SRM (Snow Runoff Model)

یکی از ساده‌ترین مدل‌ها به لحاظ استفاده از پارامترهای مورد نیاز می‌باشد. این مدل یک مدل درجه-روز است که فقط به داده‌های دما و بارندگی نیاز دارد. اما علاوه بر این داده‌ها از داده‌های ماهواره‌ای سطح پوشش برف نیز که حداکثر برای ۱۶ منطقه ارتفاعی وارد می‌شود می‌توان استفاده کرد (معمدی و صدقی، ۱۳۹۲). استفاده از سطح پوشیده از برف به دلیل همبستگی بالا بین سطح پوشش برف و رواناب ذوب برف یک مزیت به حساب می‌آید. برای

حوضه‌های فاقد مقادیر اندازه‌گیری شده، پارامترها را براساس تجربه می‌توان تخمین زد، اما داشتن برخی از داده‌های قدیمی جریان مفید خواهد بود. مدل SRM برای پیش‌بینی جریان نیز به کار می‌رود و استفاده از این مدل برای تخمین اثرات بسیار معمول است. این مدل شامل دمای برف پشته، ظرفیت سرمایی و روندیابی آب مایع نیست، اگرچه این داده‌ها زمانی که انتظار می‌رود کل باران روی برف به صورت آزاد از میان برف پشته تراوش می‌کند قابل تعیین است. در مدل SRM یک شاخص تعدیل یافته تشعشع-درجه

### ساختار مدل

این مدل براساس روش درجه-روز استوار می‌باشد و جریان ناشی از باران و ذوب برف را به طور روزانه محاسبه و به دبی جریان فروکشی اضافه و با تأثیر دادن ضریب انتقال، به دبی خروجی از حوضه تبدیل می‌کند (Martinec et al. 2007).  
رابطه اصلی به فرم ذیل است :

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

که در این فرمول Q دبی متوسط روزانه بر حسب  $m^3/s$  بیانگر ضریب رواناب باران می‌باشد، a فاکتور درجه - روز بر حسب  $Cm/C^0.day$  که نشان دهنده میزان عمق آب ناشی از ذوب برف به ازای یک درجه - روز است، T درجه حرارت هوا در ایستگاه مبنا بر حسب درجه سلسیوس،  $\Delta T$  تصحیح درجه حرارت به وسیله گرادیان دما با استفاده از ایستگاه دماسنجی به متوسط ارتفاع هیپسومتر، S نسبت مساحت پوشیده از برف به کل سطح حوضه، P بارشی که در رواناب شرکت می‌کند بر حسب سانتیمتر (انصاری، ۱۳۹۱).

دمای بحرانی که از قبل برای مدل تعریف می‌شود و معین می‌کند که آیا بارش شرکت کننده در رواناب، باران است که در این صورت تأثیر فوری بر مقدار رواناب دارد و اگر معین شد که بارش اتفاق افتاده برف است دارای تأثیر ذخیره‌ای و تأخیری می‌باشد، A مساحت حوضه آبریز یا سطح انتخابی بر حسب  $Km^2$ ، K ضریب فروکشی جریان که مشخص کننده مقدار کاهش یا تنزل دبی در دوره زمانی بدون ذوب برف یا بارش می‌باشد و مقدار آن برابر است با:  $k = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}$  که در این فرمول m و m+1 نشان دهنده دو روز متوالی در دوره کاهش دبی می‌باشد، n نشان دهنده توالی روزها در طول مدت محاسبه دبی می‌باشد. نسبت

حرارت برای روندیابی ذوب برف نیاز است تا یک مدل توزیعی شود اما حداقل داده‌های پوشش ابری اگر این گزینه استفاده شود مورد نیاز است. گزینه تشعشعات به طور کامل در مدل SRM گنجانده نشده است (معتمدی و صدقی، ۱۳۹۲). مدل SRM به طور وسیعی در حوضه‌های ابریز کوهستانی با شیب زیاد که داده‌های ماهواره‌ای سطح پوشش برف آن از طریق ماهواره به دست آمده است مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این مدل علاوه بر شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان روزانه می‌توان در جهت ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر روی سطح پوشش برف و رواناب فصلی نیز استفاده کرد. این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط مارتینک در حوضه‌های کوچک اروپا ارائه گردید. برخلاف تصورات معمول به نظر می‌رسد هیچ محدودیتی کاربردی در ارتباط با وسعت حوضه و طبقات ارتفاعی وجود ندارد. به هر حال توصیه می‌شود که فرمول ضریب فروکش به دقت ارزیابی شود (معتمدی و صدقی، ۱۳۹۲).

اجرای مدل با یک مقدار دبی معلوم یا تخمینی شروع شده و در صورت وجود متغیرهای ورودی دما، بارندگی و سطح پوشش برف می‌تواند تا تعداد روزهای بیشماری ادامه یابد. به عنوان یک آزمایش یک دوره ده ساله بدون مراجعه به دبی‌های اندازه‌گیری شده توسط مارتینک و رانگو در سال ۱۹۸۶ محاسبه شد (Martinec and Rango 1986).

سازمان هواشناسی جهانی (WMO) مدل SRM را برای شبیه‌سازی رواناب و نیز پیش‌بینی در زمان واقعی مورد تأیید قرار داد. این مدل برای سه هدف متفاوت کاربرد دارد که شامل (معتمدی و صدقی، ۱۳۹۲):

- ۱- شبیه‌سازی جریان روزانه در فصل ذوب برف در یک یا چند سال متوالی
- ۲- پیش‌بینی فصلی و کوتاه مدت رواناب
- ۳- ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرهای اقلیمی بر رواناب و سطح تحت پوشش برف فصلی است.

۱- ضریب رواناب برف. ۲- ضریب رواناب باران.  
 ۳- ضریب درجه - روز. ۴- شیب افت درجه حرارت  
 نسبت به ارتفاع. ۵- درجه حرارت بحرانی. ۶- سطح  
 مؤثر باران. ۷- ضریب فروکش. ۸- زمان تأخیر  
 این پارامترها می‌توانند از طریق اندازه‌گیری و یا  
 براساس نظرات کارشناس هیدرولوژی منطقه و با  
 استفاده از خصوصیات حوضه آبریز، روابط فیزیکی،  
 تئوریک و همبستگی برآورد گردند (Martinec et al.  
 2007).

### سنجش از راه دور

سنجش از دور شامل اندازه‌گیری و ثبت انرژی  
 بازتابی از سطح زمین و جو پیرامون آن از یک نقطه  
 مناسب بالاتر از سطح زمین است. پرتوهای بازتابی که  
 از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند، می‌توانند دارای  
 منابع گوناگونی همانند پرتوهای خورشیدی، پرتوهای  
 حرارتی اجسام یا حتی پرتوهای مصنوعی باشند.  
 سنجش از دور یعنی هنر و فن آگاهی یافتن از پدیده‌ها،  
 اشیاء و نواحی سطح زمین و ثبت آنها به صورت داده  
 بوسیله یک سری ابزار و دستگاه‌ها بدون حضور در  
 محل و یا ارتباط با پدیده، سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها  
 و ارائه نتیجه به صورت یک سری اطلاعات می‌باشد.  
 دو جزء اصلی در این تعریف داده و اطلاعات است که  
 اولی یعنی ثبت و اندازه‌گیری مشاهدات به منظور  
 هدفی خاص، و دومی به معنی بدست آوردن یک سری  
 نتایج از تجزیه و تحلیل داده‌هاست (یعنی تا زمانی که  
 داده‌ها مورد تجزیه تحلیل (بررسی) قرار نگیرند به  
 اطلاعات تبدیل نخواهند شد).

استفاده از سنجش از راه دور بر این اصل استوار  
 است که اجسام مختلف موجود در روی سطح زمین یا  
 داخل جو، به نسبت مختلفی به بازتاب، جذب، عبور  
 و گسیل انرژی الکترومغناطیسی می‌پردازند، این  
 اختلاف‌ها شناخت اجزای تشکیل دهنده یک جسم را  
 میسر می‌کند.

$\frac{10000}{86400}$  جهت تبدیل واحد از  $(\frac{cm \cdot km^2}{day})$  به  $(\frac{m^3}{sec})$   
 می‌باشد.

مقادیر P، T و S متغیرهایی هستند که می‌بایست  
 به صورت روزانه وارد مدل شوند. ضریب فروکشی  
 جریان، ضریب رواناب برف و باران، گرادیان دما، دمای  
 بحرانی و زمان تأخیر حوضه آبریز مقادیری هستند که  
 بستگی به خصوصیات حوضه آبریز داشته و می‌بایست  
 مشخص شوند (Martinec et al. 2007).

چنانچه دامنه تغییرات ارتفاعی حوضه  $(h_{max}-h_{min})$   
 بیشتر از ۵۰۰ متر باشد بهتر است که حوضه آبریز به  
 ناحیه‌هایی با اختلاف ارتفاعی ۵۰۰ متری کلاس‌بندی  
 شود. چنانچه برای حوضه‌ای اختلاف بلندترین و  
 پست‌ترین نقاط ۱۵۰۰ متر باشد طبق توصیه ارائه شده  
 حوضه آبریز به سه ناحیه تقسیم می‌گردد.

در حالت شبیه‌سازی جریان مدل SRM می‌تواند  
 بدون اینکه داده‌های مربوطه به روز شوند نیز به کار  
 خود ادامه دهد. دبی‌های اندازه‌گیری شده که به مدل  
 وارد می‌شوند فقط جهت بررسی و برآورد دقت شبیه-  
 سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حوضه‌های بدون  
 اندازه‌گیری دبی، می‌توان دبی تخمینی از حوضه‌های  
 مجاور که در آنها اندازه‌گیری دبی صورت گرفته است  
 به دست آورد. در روش پیش‌بینی، مدل این قابلیت را  
 دارد که به طور اختیاری توسط دبی جریان واقعی برای  
 دوره‌های یک تا نه روزه به روز گردد (Martinec et al.  
 2007).

### اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل SRM

این اطلاعات شامل ۱- خصوصیات حوضه آبریز  
 مثل ناحیه‌های ارتفاعی، منحنی سطح-ارتفاع  
 ۲- متغیرهای ورودی: که شامل دما، بارش و سطح  
 پوشش برف می‌باشند.

### پارامترهای مورد نیاز برای اجرای مدل SRM

این مدل شامل ۸ پارامتر زیر می‌باشد:

### سنجنده MODIS

هر وسیله‌ای که اشعه الکترومغناطیسی منعکس شده از پدیده‌های مختلف یا سایر انرژی‌های ساطع شده را جمع‌آوری نموده و به شکلی مناسب برای کسب اطلاعات از محیط اطراف ارائه دهد، سنجنده نامیده می‌شود. تقسیم بندی سنجنده‌ها براساس موارد مختلفی صورت می‌گیرد. از جمله: براساس منبع انرژی، براساس بازده اطلاعاتی.

مودیس<sup>۲</sup> (اسپکترو رادیومتر شکل بردار با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده‌ای است که بر روی ماهواره ترا (EOS AM-1) قرار داده شده است. در هر کدام از ماهواره‌های EOSPM و EOSAM یک سنجنده مودیس قرار داده شده است. سنجنده مودیس ماهواره ترا، هر دو روز یکبار از تمام سطح زمین شکل برداری می‌کند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می‌کند. این داده‌ها، همراه با داده‌هایی که توسط مودیس دوم (که بر روی ماهواره آکوا ۳ قرار داده شده است) گرفته می‌شوند، آگاهی ما را نسبت به حرکات و تغییرات جهانی و همچنین فرآیندهایی که بر سطح زمین، اقیانوس‌ها و سطوح پایینی جو به وقوع می‌پیوندند، بهبود بخشیده است. مودیس در توسعه مدل‌های انعطاف پذیر درباره سیستم‌های کره زمین، نقش حیاتی بازی می‌کند و امکان پیش‌بینی تغییرات جهانی را به طور دقیق فراهم می‌کند که این امر می‌تواند به مدیران و سیاستگذاران در زمینه حفاظت از محیط زیست و مدیریت بهینه منابع کمک نماید.

سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی می‌باشد و دامنه طیفی آن از طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۴ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۲۹ باند دیگر نیز

تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند. به خاطر اینکه زاویه اسکن این سنجنده  $\pm 55$  درجه بوده و در مدار ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای شکل برداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد و در نتیجه در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می‌سازد. ابعاد این سنجنده  $1 \times 1/6 \times 1$  متر می‌باشد و وزن آن نیز ۲۲۸ کیلوگرم می‌باشد. جدول (۶-۳) مشخصات باندهای سنجنده مودیس را نشان می‌دهد.

هدف از سنجنده مودیس، فراهم کردن یک سری جامع از مشاهدات جهانی از سطح زمین، اقیانوس‌ها و جو در نواحی مختلف طیفی می‌باشد به گونه‌ای که بتوان تمام سطح کره زمین را در هر ۲ روز یکبار مشاهده نمود.

مودیس به مدل‌سازی ذوب برف و رواناب کمک می‌کند که این امر می‌تواند در هشدار دهی بهتر سیلابها و روش‌های مدیریت بهینه آب و آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. مودیس به طور روزانه شرایط جوی و آب و هوایی از قبیل درجه حرارت و رطوبت را اندازه‌گیری می‌کند. تیم تحقیقاتی مودیس شاخص‌های مختلفی را توسعه دادند که این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص‌های انکسار تابش فعال فیتوستنتری، سطح برگ، پوشش گیاهی، آتش‌سوزی، پوشش زمین، تغییر پوشش زمین، آلبدو، شاخص تابع توزیع انعکاس دو محوری، پوشش برف، یخ دریا، درجه حرارت سطح زمین و ...

از دیگر محاسن این سنجنده باریک بودن محدوده‌های طیفی آن است که دقت عمل آن را در شناسایی پدیده‌ها افزایش می‌دهد. از بین ۳۶ باند طیفی سنجنده MODIS داده‌های باند ۴ و ۶ به علت قرار گرفتن در محدوده طیفی مادون قرمز میانی برای تفکیک ابر و برف اهمیت بیشتری دارند.

1-Sensor

2-Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)



تفاضل حجمی. مقدار این دو پارامتر از روابط زیر به دست می آید:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_e)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_e - \bar{Q})^2} \quad (2)$$

که در این فرمول،  $Q_i$  دبی روزانه اندازه گیری شده،  $Q_e$  دبی برآورد شده،  $\bar{Q}$  متوسط دبی اندازه گیری شده در سال مورد نظر یا فصل ذوب و  $N$  تعداد روزهای اندازه گیری و یا شبیه سازی دبی می باشد.

$$D_v[\%] = \frac{V_r - V_r^1}{V_r} \times 100 \quad (3)$$

که در این فرمول،  $V_r$  حجم رواناب اندازه گیری شده در طول سال مورد نظر یا در طی فصل ذوب و  $V_r^1$  حجم رواناب شبیه سازی شده در طول سال مورد نظر یا در طی فصل ذوب می باشد. پارامترها که برآورد کننده دقت مدل هستند به طور اتوماتیک توسط خود مدل حساب می شوند (Martinec et al. 2007).

## نتایج و بحث

### تقسیم بندی ارتفاعی و بدست آوردن سطح

#### پوشش برف

با توجه به محاسبات در نرم افزار ARCGIS مشخصات حوضه ارمند در جدول (۱) ارائه شده است. براساس این جدول این حوضه دارای مساحتی برابر ۶۳۸/۶۲۲ کیلومتر مربع و محیطی برابر ۱۰۰۸۷/۱۷ کیلومتر می باشد.

جهت دستیابی به تصاویر مورد نیاز با توجه به در دسترس نبودن بانک اطلاعاتی وزارت نیرو، دریافت تصاویر از سایت سازمان بین المللی اطلاعات برف و یخ<sup>۱</sup> صورت گرفت که این کار با توجه به محدودیت تبادل اطلاعات در شبکه اینترنت کشور و تحریم ایران از دریافت این تصاویر بسیار زمان بر و پرهزینه بوده است. با انطباق ابتدای سال آبی شمسی از روز اول مهرماه با تاریخ میلادی تصاویر ماهواره ای با توالی ۸ روزه انتخاب و دریافت گردیدند. طبق اندکس تصاویر کشور ایران با ۵ تصویر پوشش داده می شود که حوضه آبریز ارمند در ردیف ۲۲ و ستون ۵ قرار گرفته است. با توجه به استفاده از سیستم مختصات جهانی<sup>۲</sup> و محل حوضه از موزاییک های تصویری با کد h22.v05 استفاده شده است. این تصاویر ابتدا در نرم افزار ENVI مورد اصلاح قرار گرفته و سپس در نرم افزار ARCGIS اطلاعات لایه های ارتفاعی از سطح پوشش برف استخراج گردید. تعداد تصاویر مورد استفاده برای هر سال ۴۶ تصویر بوده است.

### معیارهای ارزیابی مدل

مدل کامپیوتری SRM شامل نموداری از هیدروگراف شبیه سازی شده و اندازه گیری شده جریان می باشد. یک بازبینی و بازرسی چشمی از نمودار فوق الذکر این مطلب را نشان می دهد که آیا شبیه سازی با موفقیت انجام شده است یا خیر. علاوه بر این نمودار، مدل از دو پارامتر دیگر جهت ارزیابی دقت مدل استفاده می کند که عبارتند از:  $R^2$  ضریب تبیین و  $D_v$

### جدول ۱- مشخصات حوضه ارمند

| مقدار (درجه، دقیقه، ثانیه) | مشخصه فیزیوگرافی          | ردیف |
|----------------------------|---------------------------|------|
| ۵۲ ۵۴ ۴۹ ۴۶ ۴۷ ۵۱          | طول جغرافیائی شرقی        | ۱    |
| ۰۵ ۳۷ ۳۱ ۳۰ ۳۶ ۳۲          | عرض جغرافیائی شرقی        | ۲    |
| ۱۰۰۸۷/۱۷                   | مساحت حوضه (کیلومتر مربع) | ۳    |
| ۶۳۸/۶۲۲                    | محیط حوضه (کیلومتر)       | ۴    |

1- National Snow & Ice Data Center

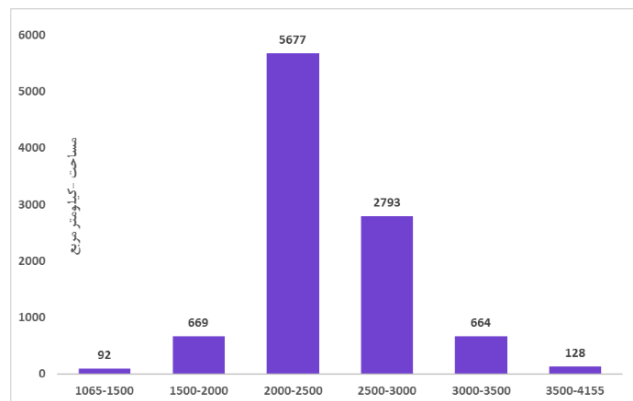
2- UTM

اندازه گیری شد و نمودارهای هیپسومتری و هیپسومتری تجمعی حوضه‌ها بدست آمد که در شکل (۲) نشان داده شده است. محدوده ارتفاعی حوضه آبریز ارمند از ۱۰۷۰ تا ۴۱۷۴ متر و ارتفاع متوسط آن ۲۴۰۰ متر برآورد گردید.

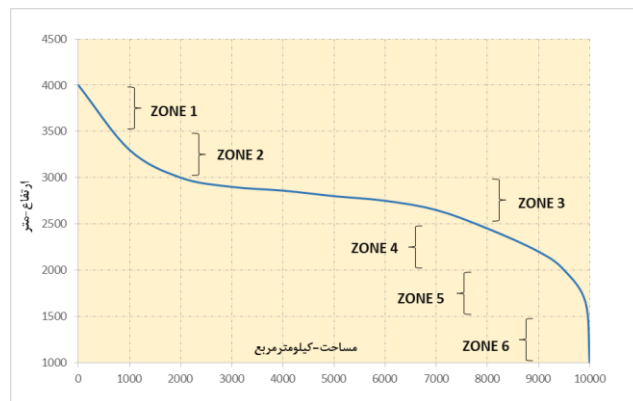
جدول (۲) مساحت طبقات ارتفاعی حوضه آبریز ارمند را نشان می‌دهد. برای بدست آوردن منحنی‌های ارتفاعی حوضه‌ها نیز از نرم افزار ARCGIS و نقشه رقومی- ارتفاعی حوضه‌ها استفاده شد. بدین ترتیب که نقشه رقومی- ارتفاعی حوضه‌ها به چندین ناحیه ارتفاعی کلاس بندی شد و مساحت هر ناحیه

جدول ۲- مساحت طبقات ارتفاعی حوضه آبریز ارمند

| نام طبقه ارتفاعی | طبقات ارتفاعی | مساحت (کیلومتر مربع) | مساحت تجمعی (کیلومتر مربع) | درصد مساحت جزئی | درصد مساحت تجمعی |
|------------------|---------------|----------------------|----------------------------|-----------------|------------------|
| A                | ۱۵۰۰-۱۰۷۰     | ۹۵/۴۳                | ۹۵/۴۳                      | ۰/۹۵            | ۰/۹۵             |
| B                | ۲۰۰۰-۱۵۰۰     | ۶۸۵/۰۴               | ۷۸۰/۴۷                     | ۶/۸             | ۷/۷۵             |
| C                | ۲۵۰۰-۲۰۰۰     | ۵۷۴۵/۳۹              | ۶۵۲۵/۸۶                    | ۵۷              | ۶۴/۷۵            |
| D                | ۳۰۰۰-۲۵۰۰     | ۲۷۶۹/۷۴              | ۹۲۹۵/۶۰                    | ۲۷/۴۵           | ۹۲/۲             |
| E                | ۳۵۰۰-۳۰۰۰     | ۶۶۰/۶۷               | ۹۹۵۶/۲۷                    | ۶/۵             | ۹۸/۷             |
| F                | ۴۱۷۰-۳۵۰۰     | ۱۳۰/۸۹               | ۱۰۰۸۷/۱۷                   | ۱/۳             | ۱۰۰              |



شکل ۲- منحنی آلتیمتری حوضه ارمند



شکل ۳- منحنی هیپسومتری

با توجه به جدول (۲) و شکل (۲) فوق مشاهده می‌شود که حدود ۸ درصد حوضه دارای ارتفاعی بیش از ۳۰۰۰ متر و حدود ۶۵ درصد حوضه دارای ارتفاعی زیر ۲۵۰۰ متر دارد. این در صورتی است که ارتفاع متوسط حوضه ۲۴۰۰ متر می‌باشد. با توجه به ارتفاع متوسط حوضه از ایستگاه اورگان که در ارتفاع ۲۴۰۵ متری قرار دارد به عنوان یک ایستگاه مناسب استفاده شد.

با توجه به اینکه مقادیر سطح پوشیده از برف با استفاده از تصاویر برای سال‌های آبی ۸۳-۸۲ و ۸۴-۸۳ برای دوره‌های ۸ روزه به دست آمده است، لذا در نرم افزار SRM نیاز به بدست آوردن سطح پوشش برف به صورت روزانه می‌باشد به همین خاطر با استفاده از درون‌یابی مقادیر سطح پوشش برف برای روزهایی که اطلاعات موجود نبود به دست آمد.

#### کاربرد مدل و شبیه‌سازی

پس از وارد کردن پارامترها و متغیرهای مورد نیاز مدل، محاسبات شبیه‌سازی انجام و جریان روزانه حوضه ارمنند تخمین زده شد و هیدروگراف شبیه‌سازی شده با هیدروگراف اندازه‌گیری شده مقایسه شد، هرچه انطباق میان هیدروگراف شبیه‌سازی شده با هیدروگراف اندازه‌گیری شده بیشتر باشد نشان از دقت بالا در شبیه‌سازی می‌باشد.

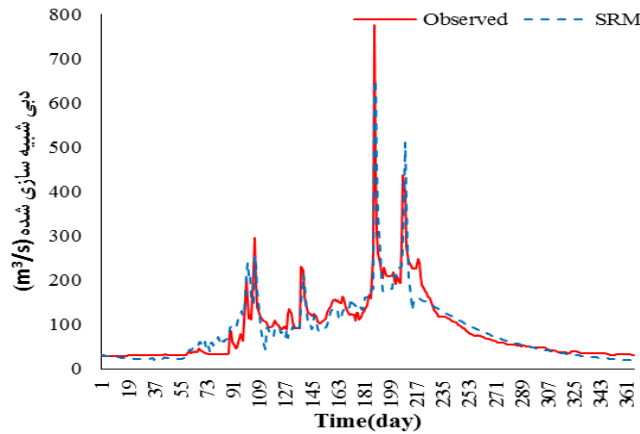
در این تحقیق دوره مورد استفاده جهت واسنجی مدل SRM سال آبی ۸۳-۸۲ و جهت ارزیابی مدل سال آبی ۸۴-۸۳ مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه مدل فاقد بهینه‌ساز پارامترهای مدل می‌باشد فرض بر این بوده است که مدل از نوع تعیینی<sup>۱</sup> بوده و کلیه پارامترهای مدل از اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز و داده‌های مشاهداتی حاصل می‌شود. با توجه به اینکه بخش زیادی از این پارامترهای مدل در منطقه مطالعاتی در دسترس نیست در دوره واسنجی این پارامترها تعیین می‌گردند.

در این تحقیق از دو سری ضریب فروکش استفاده شده است که ضریب فروکش اول به مقدار  $x$  برابر ۰/۹۹۹۹ و مقدار  $y$  برابر ۰/۰۰۴ در دوره واسنجی مورد استفاده قرار گرفته است و ضریب دوم در بارش‌های سنگین به مقدار  $x$  برابر ۰/۸۰۱۴ و مقدار  $y$  برابر ۰/۰۲۵ مورد استفاده قرار گرفته است از همین ضرایب در دوره ارزیابی نیز استفاده گردیده است.

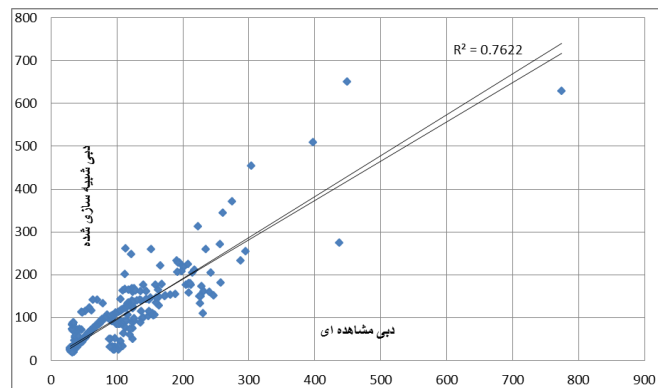
#### نتایج استفاده از مدل

شکل (۴) هیدروگراف اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در حوضه ارمنند در دوره واسنجی را نمایش می‌دهد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (۳) ارائه شده است که براساس آن ضریب تبیین  $R^2$  برابر است با ۰/۷۶۲۲ و درصد اختلاف حجمی دبی برآوردی و مشاهده‌ای در حدود ۱/۶۱۸۸ می‌باشد. جهت اعتبارسنجی سال آبی ۸۳-۸۲ انتخاب شد. با استفاده از آمار و اطلاعات این سال آبی و پارامترهای کالیبره شده در دوره واسنجی شبیه‌سازی صورت گرفت. مقایسه دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در دوره واسنجی در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج حاصل از دوره ارزیابی نیز در جدول (۳) ارائه شده است. براساس این جدول ضریب تبیین در این دوره ۰/۷۵۴۰ و درصد اختلاف دبی شبیه

سازی شده و مشاهده‌ای ۰/۹۳۱۳- می‌باشد. با توجه به این شکل شماره ۶ مشاهده می‌شود که مقادیر برآوردی به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک بوده که این نشان از عملکرد خوب مدل می‌باشد همچنین بررسی معیار ارزیابی ضریب تبیین نیز این مطلب را تأیید می‌کند. با توجه به شکل (۴) مدل SRM نتیجه قابل قبولی داشته و برای حوضه ارمنند مدل مناسبی بوده است.



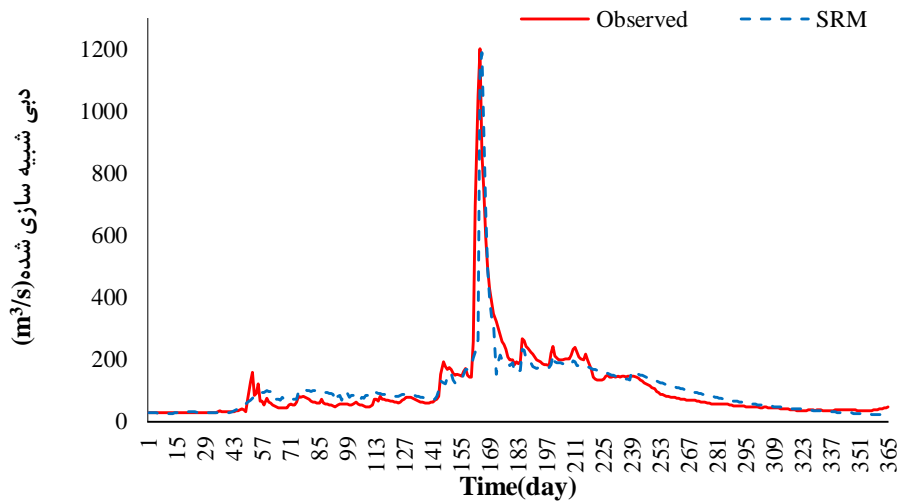
شکل ۴- مقایسه دبی روزانه مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره واسنجی ( سال آبی ۸۳-۸۲ ) در حوضه ارمند



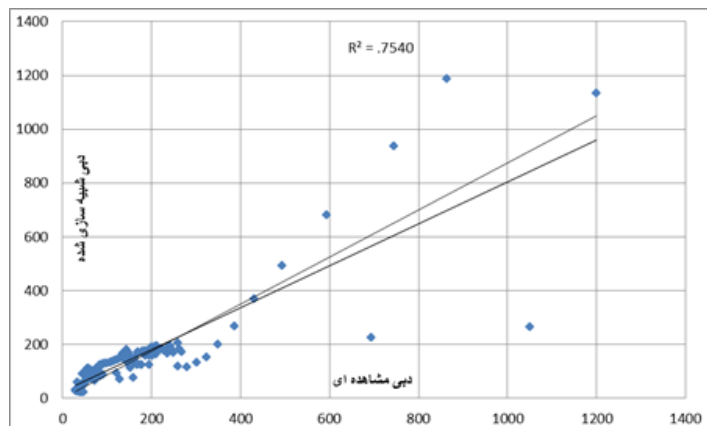
شکل ۵- مقایسه دبی روزانه مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره واسنجی ( سال آبی ۸۳-۸۲ ) در حوضه ارمند

جدول ۳- نتایج شبیه‌سازی با مدل SRM در حوضه ارمند دوره واسنجی و ارزیابی.

| پارامتر                                      | دوره واسنجی (سال آبی ۸۴-۸۵) | دوره ارزیابی (سال آبی ۸۶-۸۵) |
|--|-----------------------------|------------------------------|
| حجم رواناب اندازه گیری شده (میلیون متر مکعب) | ۱۶۳۸۸,۱۵۸                   | ۱۹۰۴۵,۴                      |
| حجم رواناب شبیه‌سازی شده (میلیون متر مکعب)   | ۱۶۳۶۷,۲۲                    | ۱۹۵۲۶,۴                      |
| دبی متوسط اندازه گیری شده (مترمکعب در ثانیه) | ۹۰/۳۶                       | ۱۰۴/۴                        |
| دبی متوسط شبیه‌سازی شده (مترمکعب در ثانیه)   | ۸۸/۸۹                       | ۱۰۶/۳                        |
| ضریب تبیین                                   | ۰/۷۶۲۲                      | ۰/۷۵۴۰                       |
| تفاضل حجمی (درصد)                            | ۱/۶۱۸۸                      | -۰/۹۳۱۳                      |



شکل ۶- مقایسه دبی روزانه مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ارزیابی (سال آبی ۸۴-۸۳) در حوضه ارمند



شکل ۷- مقایسه دبی روزانه مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ارزیابی (سال آبی ۸۴-۸۳) در حوضه ارمند

مقادیر مشاهداتی می‌توان نتیجه گرفت که مدل در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در این منطقه موفق بوده است. این در حالی است که با بررسی معیار ارزیابی ضریب تبیین نیز این مطلب تأیید می‌شود. از این مدل می‌توان برای مناطقی که داده‌های زمینی برف‌سنجی وجود ندارد با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و بدست آوردن سطح پوشش برف، اقدام به پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف نمود. همچنین مقدار خطای برآوردی دبی و حجم در شرایط بارش نسبت به شرایط بدون باران افزایش می‌یابد، یعنی خطای مدل در شرایط سیلابی بیشتر است.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت شبیه‌سازی ذوب برف حوضه ارمند از مدل SRM استفاده شد. برای این منظور با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS سطح پوشش برف بدست آمد و سپس با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که این مدل برای حوضه آبریز ارمند قابل بکارگیری می‌باشد، و آن به دلیل این است که سرشاخه‌های رودخانه کارون وابستگی زیادی به ذوب برف دارند و حوضه ارمند نیز از سرشاخه‌های اصلی رودخانه کارون می‌باشد. با توجه به نزدیکی مقادیر برآوردی مدل به

منابع

۱. انصاری، ه. ۱۳۹۱. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی. مطالعه موردی: حوضه‌های ليقوان چای و صوفی چای). پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی منابع آب. دانشگاه تبریز.
۲. بیرویدیان، ن.، جندقی، ن. (۱۳۸۴). برآورد رواناب ذوب برف به وسیله مدل SRM و مقایسه نتایج آن با اطلاعات آبنمود رودخانه در آبخیز زیارت. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۶)۱۲.
۳. پرهت، ج.، ثقفیان، ب.، صدقی، ح. (۱۳۸۴). بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوزه‌های بدون آمار برف (مطالعه موردی حوزه خرسان در کارون، تحقیقات منابع آب ایران). (۱)۱: ۱-۱۱.
۴. فتاحی، ا. (۱۳۷۴). مدل تحلیل کمی ذوب برف حوضه سد لتیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران.
۵. فتاحی، ا.، دلاور، م.، قاسمی، ا. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوضه آبریز بازفت. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. (۲۳)۲۰: ۱۲۹-۱۴۱.
۶. فتاحی، ا.، وظیفه دوست، م. (۱۳۹۰). برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی حوضه‌های استان گلستان). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. (۳)۲۶: ۱۴۹-۱۶۸.
۷. مرید، س.، گوساین، ا. ک.، کشاری، ا. ک. (۱۳۸۳). عملکرد روش‌های مختلف برآورد ذوب برف با استفاده از داده‌های اقلیمی مصنوعی در شبیه‌سازی جریان. نشریه فیزیک زمین و فضا. (۱)۳۰.
۸. معتمدی، ع.، صدقی، ح. (۱۳۹۲). هیدرولوژی برف. انتشارات ارکان دانش. ۲۷۲ صفحه.
۹. نجف زاده، ر.، ابریشم چی، ا.، تجریشی، م.، طاهری شهرآئینی، ح. (۱۳۸۳). شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف. مجله آب و فاضلاب. ۵۲: ۱-۱۱.
۱۰. نجفی ایگدیر، ا.، قدوسی، ج.، ثقفیان، ب.، پرهت، ج. (۱۳۸۶). برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچایی ارومیه. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۶: ۱۸۵-۱۷۷.
۱۱. نجفی، م. ر.، شیخی‌وند، ج.، پرهت، ج. (۱۳۸۳). برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های برفگیر با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوضه سد مهاباد. علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. (۳)۱۱: ۱۱۱-۱۲۲.
12. Abudu, S., C. L. Cui, M. Saydi and J. P. KING (2012). "Application of snowmelt runoff model (SRM) in mountainous watersheds: A review." *Water Science and Engineering* 5(2): 123-136.
13. Emre, A., Z. Akyu, A. S. Ormanc, A. S. Ensoyc and A. U. Orman (2005). "Using Modis snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey." *Remote Sensing of Environment* 97: 216 – 230.
14. Georgievsky, M. V. (2009). "Application of the Snowmelt Runoff model in the Kuban river basin using MODIS satellite images." *Environmental Reserch Letters* 4: 1-6.
15. Gratton, D. G. and C. Richarc (2001). The Importance of the air temperature variable for the snowmelt runoff modelling using the SRM model. 58th Eastern Snow Conference. Ottawa, Ontario, Canada.
16. Harshburger, B. J., S. H. Karen, P. W. Von, C. M. Brandon, R. B. Troy and A. Rango (2010). "Evaluation of Short-to-Medium Range Streamflow Forecasts Obtained Using an Enhanced Version of SRM." *Journal of the American Water Resources Association*

(JAWRA) 46(3): 603-617.

17. Hong, M. A. and C. Guodong (2003). "A test of Snowmelt Runoff Model (SRM) for the Gongnaisi River basin in the western Tianshan Mountains, China." Chinese Science Bulletin 48: 2253-2259.

18. Jian, W. and L. Shuo (2006). "Effect of climatic change on snowmelt runoffs in mountainous regions of inland rivers in Northwestern China." Earth Sciences 49(8): 881-888.

19. Malcher, P. and M. Heidinger (2001). "Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model." Envisnow EVG1-CT-2001-00052.

20. Martinec, J. (1975). "Snowmelt-Runoff Model for Stream Flow Forecasts." Nordic Hydrol 6(3): 145-154.

21. Martinec, J. and A. Rango (1986). "Parameter values for snowmelt runoff modeling." Journal Hydrol 84: 197-219.

22. Martinec, J., A. Rango and R. Roberts (2007). Snowmelt Runoff Model (SRM) user's manual, New Mexico State University, Las Cruces.

23. Rango, A. (1988). "Progress in developing an Operational snowmelt-runoff forecast model with remote sensing input." Nordic hydrology 19(2): 65-76.

24. Rango, A. and J. Martinec (1979). "Application of a snowmelt-runoff model using Landsat data." Nord. Hydrol 10(4): 225-238.

25. Senzeba, K. T., A. Bhadra and A. Bandyopadhyay (2015). "Snowmelt runoff modelling in data scarce Nuranang catchment of eastern Himalayan region." Remote Sensing Applications: Society and Environment 1: 20-35.

26. Zhang, G., H. Xie, T. Yao, H. Li and S. Duan (2014). "Quantitative water resources assessment of Qinghai Lake basin using Snowmelt Runoff Model (SRM)." Journal of Hydrology 519: 976-987.

