

# شبیه‌سازی رواناب ذوب برف حوضه ارمند با استفاده از مدل SRM و تصاویر ماهواره‌ای

متین شینی جابری<sup>1\*</sup>، حسین قربانی‌زاده خرازی<sup>2</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر. [matin\\_sheini@yahoo.com](mailto:matin_sheini@yahoo.com)

2- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.

تاریخ پذیرش: 1402/07/14

تاریخ دریافت: 1401/09/15

## 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. در این مطالعه به منظور پایش زمانی و مکانی سطح پوشش برف و شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه ارمند، از مدل SRM و داده‌های سنجش از راه دور، استفاده شده است. داده‌های هیدرولوژیکی حوضه و داده‌های رستری سنجنده MODIS برای یک دوره آماری 2 ساله (1384-1386) جمع‌آوری و استفاده شد. بعد از پردازش تصاویر سنجنده MODIS در نرم افزار ENVI، سطح پوشش برف مشخص گردید. 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 حوضه ارمند نشان داد.  $R^2$  بدست آمده برای حوضه ارمند در حدود 0/90 می‌باشد.

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

## مقدمه

در حوضه‌های آبریز جهت استفاده از آب معادل برف، در امر ذخیره سازی، کنترل سیلاب‌های فصلی، پیش-بینی روند جریان رودخانه و تأمین آب مورد نیاز پایین-دست لازم است. یکی از روش‌هایی که برای سنجش رواناب ذوب برف استفاده می‌شود استفاده از مدل رواناب ذوب برف (SRM) می‌باشد. مدل رواناب ذوب برف ( $SRM^1$ ) توسط مارتینگ ارائه شد (20). رانگو و مارتینگ 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

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 بررسی سطح پوشش برف و تغییرات آن در طول زمان به حساب می‌آیند. از طرفی آگاهی از میزان ذخایر برف

<sup>1</sup>- Snowmelt Runoff Mode

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 4 درجه سانتیگراد افزایش دما رخ داده است (17). جئورجیوسکی از مدل SRM و تصاویر 8 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 (13). هارشبرگر و همکاران 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 1 تا 15 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 (15). ابودو و همکاران کاربرد مدل رواناب ذوب برف (SRM) را در مناطق کوهستانی به صورت مروری مورد بررسی قرار دادند (11). ژانگ و همکاران ارزیابی کمی منابع آب حوضه دریاچه چینگهای<sup>2</sup> را با استفاده از مدل رواناب ذوب برف (SRM) برای سال 2003-2009 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

فراهم می‌کند (23). رانگو مدل ذوب برف را با استفاده از سنجش از راه دور توسعه داد (24). گراتون و ریچارد اثر درجه حرارت (ورودی مدل SRM) روی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه باتیسکان<sup>1</sup> در کانادا را بررسی کردند. دما با استفاده از 14 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 (14). مالچر و هیدینگر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS رواناب حاصل از ذوب برف را در زیرحوضه‌های کشور اتریش با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی کردند (18). هانگ و گئودانگ مدل SRM را برای شبیه سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز رودخانه گانمییسی 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 (16). مرید و همکاران 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- استفاده کردند. نتایج نشان داد روش بیلان انرژی نسبت به سایر روش‌ها ارقام ذوب برف را با دقت بیشتری برآورد نموده است (22). امره و همکاران به منظور مدل‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز 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 (12). جاین و شوو از

<sup>2</sup>-Qinghai<sup>1</sup>-Batiscan

در کارون را انجام دادند. ارزیابی مدل در شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف و مشارکت باران نشان داد که دبی روزانه با دقت 88 درصد و ضریب تعیین  $0/774$  و حجم کل جریان با  $1/03$  درصد اختلاف با حجم مشاهده‌ای در طول مدت انجام بررسی برآورد شده است. بنابراین مدل با استفاده از داده‌های ماهواره- ای کارایی لازم را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف دارا می‌باشد (3). بیرویدیان و همکاران رواناب ذوب برف را بوسیله مدل SRM برآورد کردند و نتایج بدست آمده را با داده‌های آبنمود رودخانه در آخیز زیارت مقایسه نمودند (2).

نجفی ایگدیر و همکاران 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 حوضه‌های کوهستانی از پتانسیل بالایی برخوردار می‌باشد (9). فتاحی و وظیفه دوست برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف را با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS برای حوضه‌های 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 الگوریتم‌های به کار رفته، می‌توان سطوح پوشش برف را به صورت بهنگام پایش کرد (4).

فتاحی و همکاران شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز بازفت از زیرحوضه‌های کارون را با استفاده از مدل SRM انجام دادند. نتایج نشان داد که با توجه به شاخص‌های ضریب تبیین و تفاضل حجمی که به ترتیب برابر  $82$  و  $18/9$ - درصد بدست

مدیریت منابع آب در مناطق کوهستانی بالا است (26). سنزبا و همکاران مدل‌سازی ذوب برف را برای حوضه نورانگ<sup>1</sup> 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 (25).

فتاحی 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 (5). نجف‌زاده و همکاران با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای نوا و مدل SRM نسبت به برآورد دبی روزانه و حجم رواناب سالانه در یکی از زیر حوضه‌های زاینده‌رود (پلاسجان) اقدام نمودند. نتایج نشان‌دهنده مناسب بودن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود، اما واسنجی پارامترهای مدل پیش از به کار بردن آن ضروری می‌باشد (8).

نجفی و همکاران 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 گرسیون و اختلاف حجم‌ها مقایسه شدند. ضریب گرسیون و اختلاف حجم‌ها به ترتیب برابر  $0/85$  و  $3/79$ - درصد بوده و دقت شبیه‌سازی در حد قابل قبول گزارش شد (10). پورهت و همکاران بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوضه بدون آمار برف، خرسان

<sup>1</sup>-Nuranang

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 49 درجه و 54 دقیقه و 52 ثانیه تا 51 درجه و 47 دقیقه و 46 ثانیه طول شرقی و 31 درجه و 37 دقیقه و 05 ثانیه تا 32 درجه و 36 دقیقه و 03 ثانیه عرض شرقی می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه ارمند بیش از 50 درصد استان چهارمحال و بختیاری را شامل شده و با متوسط آبدهی سالانه حدود 100 مترمکعب، به عنوان اصلی‌ترین پتانسیل آب استان چهارمحال بختیاری مطرح می‌باشد.

## 2- آماده‌سازی اطلاعات

از مهمترین پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد ذوب برف، دما می باشد که این امر ضرورت استفاده از ایستگاه‌ها با اطلاعات قابل قبول و همچنین ایستگاهی که بتواند معرف شرایط متوسط حوضه باشد را نمایان می‌نماید. در شکل (1) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه‌های 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.

آمده، مدل دارای دقت بالایی می‌باشد و قابلیت کاربرد برای حوضه‌های دیگر منطقه را دارد (6).

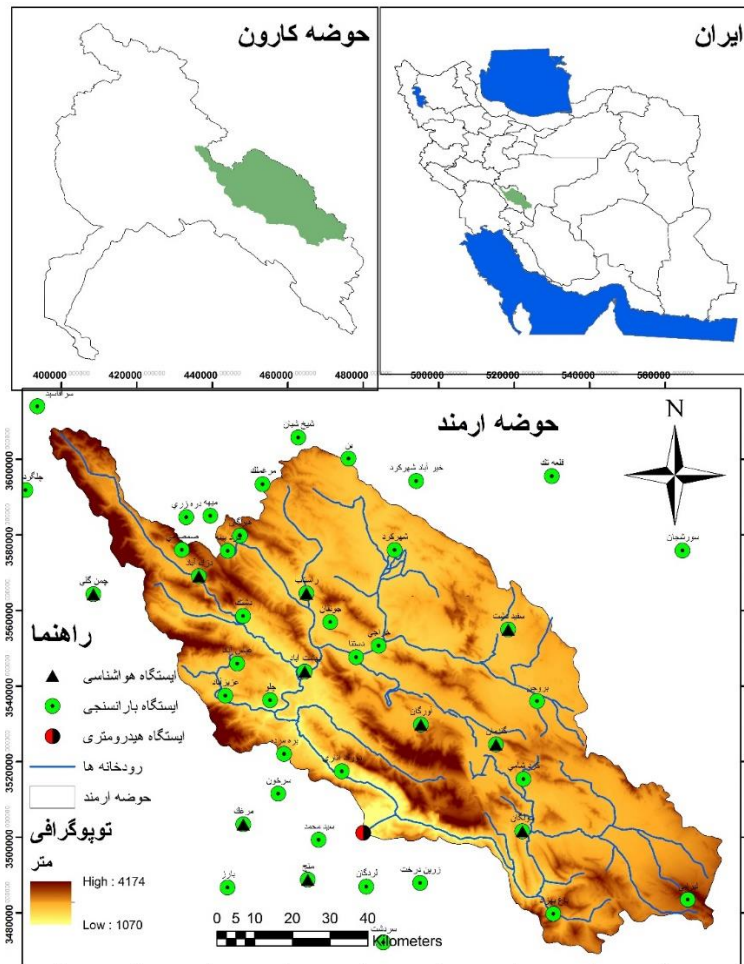
با توجه به این که حوضه ارمند یکی از زیرحوضه های مهم و برفگیر حوضه آبریز کارون می‌باشد، آگاهی از این منبع طبیعی آب جهت برنامه‌ریزی آن خصوصاً در سال‌های خشک که تأمین آب مورد نیاز با مشکلات عدیده‌ای به همراه می‌باشد، بسیار با اهمیت است. هدف عمده این تحقیق برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه ارمند می‌باشد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

1- بازسازی اطلاعات آماری ناقص با توجه به روش های موجود و نرم‌افزارهای تخصصی. 2- تهیه، بررسی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای به منظور محاسبه سطح پوشش برف. 3- محاسبه میزان رواناب ناشی از ذوب برف و سهم آن در آورد سالانه منطقه مورد مطالعه. 4- 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

### 1- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز ارمند یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه آبریز کارون بزرگ به حساب می‌آید. این حوضه



شکل 1- موقعیت حوضه ارمند

### 3- مدل SRM (Snow Runoff Model)

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 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 (7). مدل SRM به طور وسیعی در حوضه‌های ابریز کوهستانی با شیب زیاد که

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 16 منطقه ارتفاعی وارد می‌شود می‌توان استفاده کرد (7). استفاده از سطح پوشش برف 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

(19).

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 (7):

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

#### الف- 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 (21). رابطه اصلی به فرم ذیل است :

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

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  $(\text{Km}^2)$ ،  $K$  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

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 1975 توسط مارتینک در حوضه‌های کوچک اروپا ارائه گردید (20). 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 (7).

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 1986 محاسبه شد

که در این فرمول  $Q$  دبی متوسط روزانه بر حسب  $\text{m}^3/\text{s}$ ،  $C_s$  بیانگر ضریب رواناب برف و  $C_R$  بیانگر ضریب رواناب باران می‌باشد،  $a$  فاکتور درجه-روز بر حسب  $\text{Cm}/\text{C}^0.\text{day}$  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 هیپسومتري،  $S$  نسبت مساحت پوشیده از برف به کل سطح حوضه،  $P$  بارشی که در رواناب شرکت می‌کند بر حسب سانتیمتر (1). دمای بحرانی که از قبل برای مدل تعریف می‌شود

این اطلاعات شامل 1- خصوصیات حوضه آبریز مثل ناحیه های ارتفاعی، منحنی سطح-ارتفاع 2- متغیرهای ورودی: که شامل دما، بارش و سطح پوشش برف می باشند.

### ج- پارامترهای مورد نیاز برای اجرای مدل SRM

این مدل شامل 8 پارامتر زیر می باشد:

- 1- ضریب رواناب برف. 2- ضریب رواناب باران. 3- ضریب درجه - روز. 4- شیب افت درجه حرارت نسبت به ارتفاع. 5- درجه حرارت بحرانی. 6- سطح مؤثر باران. 7- ضریب فروکش. 8- زمان تأخیر
- این پارامترها می توانند از طریق اندازه گیری و یا براساس نظرات کارشناس هیدرولوژی منطقه و با استفاده از خصوصیات حوضه آبریز، روابط فیزیکی، تئوریک و همبستگی برآورد گردند (21).

### 4- سنجش از راه دور

سنجش از دور شامل اندازه گیری 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، می توانند دارای منابع گوناگونی همانند پرتوهای خورشیدی، پرتوهای حرارتی اجسام یا حتی پرتوهای مصنوعی باشند. سنجش از دور یعنی هنر و فن آگاهی یافتن از پدیده ها، اشیاء و نواحی سطح زمین و ثبت آنها به صورت داده داده ها 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 می پردازند، این اختلافها شناخت اجزای تشکیل دهنده یک جسم را میسر می کند.

$\frac{10000}{86400}$  جهت تبدیل واحد از  $(\frac{Cm.Km^2}{day})$  به  $(\frac{m^3}{sec})$  می باشد. مقادیر P، T و S متغیرهایی هستند که می بایست به صورت روزانه وارد مدل شوند. ضریب فروکشی جریان، ضریب رواناب برف و باران، گرادیان دما، دمای بحرانی و زمان تاخیر حوضه آبریز مقادیری هستند که بستگی به خصوصیات حوضه آبریز داشته و می بایست مشخص شوند (21).

چنانچه دامنه تغییرات ارتفاعی حوضه  $(h_{max}-h_{min})$  بیشتر از 500 متر باشد بهتر است که حوضه آبریز به ناحیه هایی با اختلاف ارتفاعی 500 متری کلاس بندی شود. چنانچه برای حوضه ای اختلاف بلندترین و پست ترین نقاط 1500 متر باشد طبق توصیه ارائه شده حوضه آبریز به سه ناحیه تقسیم می گردد. در حالت شبیه سازی جریان مدل SRM می تواند بدون اینکه داده های مربوطه به روز شوند نیز به کار خود ادامه دهد. دبی های اندازه گیری شده که به مدل وارد می شوند فقط جهت بررسی و برآورد دقت شبیه سازی مورد استفاده قرار می گیرند. در حوضه های بدون اندازه گیری دبی، می توان دبی تخمینی از حوضه های مجاور که در آنها اندازه گیری دبی صورت گرفته است به دست آورد. در روش پیش بینی، مدل این قابلیت را دارد که به طور اختیاری توسط دبی جریان واقعی برای دوره های یک تا نه روزه به روز گردد (21).

### ب- اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل SRM

بوسیله یک سری ابزار و دستگاهها بدون حضور در محل و یا ارتباط با پدیده، سپس تجزیه و تحلیل داده ها و ارائه نتیجه به صورت یک سری اطلاعات می باشد. دو جزء اصلی در این تعریف داده و اطلاعات است که اولی یعنی ثبت و اندازه گیری مشاهدات به منظور هدفی خاص، و دومی به معنی بدست آوردن یک سری نتایج از تجزیه و تحلیل داده ها است (یعنی تا زمانی که

## الف-سنجنده MODIS

طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی 500 متر و در 29 باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک 1000 متر برداشت می‌کند. به خاطر اینکه زاویه اسکن این سنجنده  $\pm 55$  درجه بوده و در مدار 705 کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای شکل‌برداری این سنجنده 2330 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 228 کیلوگرم می‌باشد. جدول (3-6) 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 2 روز یکبار مشاهده نمود. مودیس به مدل‌سازی ذوب برف و رواناب کمک می‌کند که این امر می‌تواند در هشداردهی 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 فیتوسنتزی، 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 محدوده های طیفی آن است که دقت عمل آن را در شناسایی پدیده‌ها افزایش می‌دهد. از بین 36 باند طیفی سنجنده MODIS داده‌های باند 4 و 6 به علت قرار گرفتن در

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<sup>1</sup> نامیده می‌شود. تقسیم بندی سنجنده‌ها براساس موارد مختلفی صورت می‌گیرد. از جمله: براساس منبع انرژی، براساس بازده اطلاعاتی. مودیس<sup>2</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 36 باند طیفی اخذ می‌کند. این داده‌ها، همراه با داده‌هایی که توسط مودیس دوم (که بر روی ماهواره آکوا 3 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 انعطاف‌پذیر 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 (12 بیت) و در 36 باند طیفی می‌باشد و دامنه طیفی آن از طول موج‌های 0/4 تا 14/4 میکرومتر می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در 2 باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی 250 متر، در 4 باند

(MODIS)

1- Sensor

2 - Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer



که در این فرمول،  $Q_i$  دبی روزانه اندازه‌گیری شده،  $Q_e$  دبی برآورد شده،  $\bar{Q}$  متوسط دبی اندازه‌گیری شده در سال مورد نظر یا فصل ذوب و  $N$  تعداد روزهای اندازه‌گیری و یا شبیه‌سازی دبی می‌باشد.

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

که در این فرمول،  $V_r$  حجم رواناب اندازه‌گیری شده در طول سال مورد نظر یا در طی فصل ذوب و  $V_r^1$  حجم رواناب شبیه‌سازی شده در طول سال مورد نظر یا در طی فصل ذوب می‌باشد. پارامترها که برآورد کننده دقت مدل هستند به طور اتوماتیک توسط خود مدل حساب می‌شوند (21).

### نتایج و بحث

#### 1- تقسیم‌بندی ارتفاعی و بدست آوردن سطح پوشش برف

با توجه به محاسبات در نرم افزار ARCGIS مشخصات حوضه آرمند در جدول (1) ارائه شده است. براساس این جدول این حوضه دارای مساحتی برابر 10087/17 کیلومتر مربع و محیطی برابر 638/622 کیلومتر می‌باشد. جدول (2) مساحت طبقات ارتفاعی حوضه آبریز آرمند را نشان می‌دهد. برای بدست آوردن منحنی‌های ارتفاعی حوضه‌ها نیز از نرم‌افزار ARCGIS و نقشه رقومی-ارتفاعی حوضه‌ها استفاده شد. بدین ترتیب که نقشه رقومی-ارتفاعی حوضه‌ها به چندین ناحیه ارتفاعی کلاس‌بندی شد و مساحت هر ناحیه اندازه‌گیری شد و نمودارهای هیپسومتری و هیپسومتری تجمعی حوضه‌ها بدست آمد که در شکل (2) نشان داده شده است. محدوده ارتفاعی حوضه آبریز آرمند از 1070 تا 4174 متر و ارتفاع متوسط آن 2400 متر برآورد گردید.

محدوده طیفی مادون قرمز میانی برای تفکیک ابر و برف اهمیت بیشتری دارند. جهت دستیابی به تصاویر مورد نیاز با توجه به در دسترس نبودن بانک اطلاعاتی وزارت نیرو، دریافت تصاویر از سایت سازمان بین‌المللی اطلاعات برف و یخ<sup>1</sup> صورت گرفت که این کار با توجه به محدودیت تبادل اطلاعات در شبکه اینترنت کشور و تحریم ایران از دریافت این تصاویر بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده است. با انطباق ابتدای سال آبی شمسی از روز اول مهرماه با تاریخ میلادی تصاویر ماهواره‌ای با توالی 8 روزه انتخاب و دریافت گردیدند. طبق اندکس تصاویر کشور ایران با 5 تصویر پوشش داده می‌شود که حوضه آبریز آرمند در ردیف 22 و ستون 5 قرار گرفته است. با توجه به استفاده از سیستم مختصات جهانی<sup>2</sup> و محل حوضه از موزاییک‌های تصویری با کد h22.v05 استفاده شده است. این تصاویر ابتدا در نرم افزار ENVI مورد اصلاح قرار گرفته و سپس در نرم‌افزار ARCGIS اطلاعات لایه‌های ارتفاعی از سطح پوشش برف استخراج گردید. تعداد تصاویر مورد استفاده برای هر سال 46 تصویر بوده است.

#### معیارهای ارزیابی مدل

مدل کامپیوتری SRM شامل نموداری از هیدروگراف شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده جریان می‌باشد. یک بازبینی و بازرسی چشمی از نمودار فوق‌الذکر این مطلب را نشان می‌دهد که آیا شبیه‌سازی با موفقیت انجام شده است یا خیر. علاوه بر این نمودار، مدل از دو پارامتر دیگر جهت ارزیابی دقت مدل استفاده می‌کند که عبارتند از:  $R^2$  ضریب تبیین و  $D_v$  تفاضل حجمی. مقدار این دو پارامتر از روابط زیر به دست می‌آید:

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

2-UTM

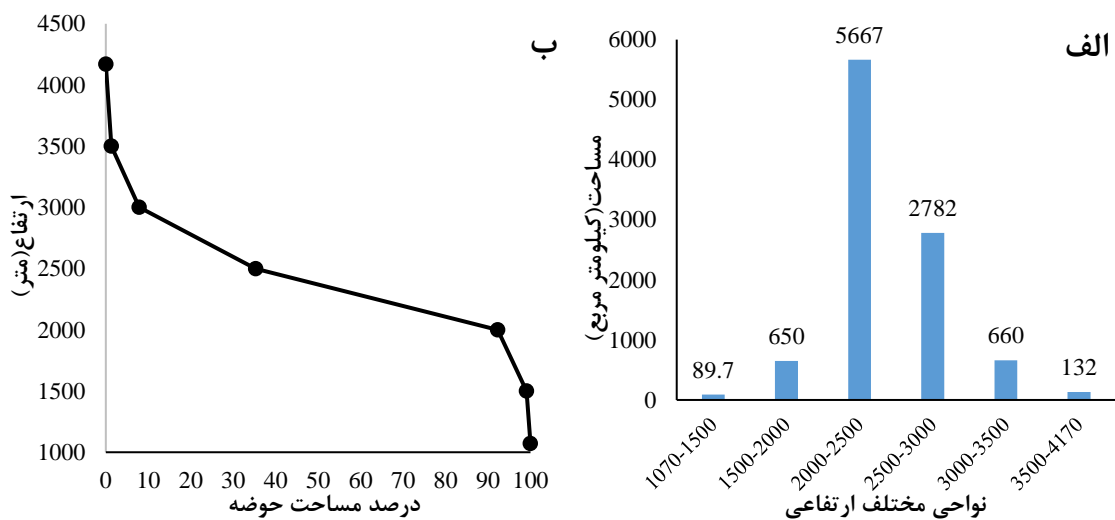
1-National Snow & Ice Data Center

جدول 1- مشخصات حوضه آرمند.

ردیف	مشخصه فیزیوگرافی	مقدار (درجه، دقیقه، ثانیه)
1	طول جغرافیائی شرقی	51 47 46 تا 49 54 52
2	عرض جغرافیائی شرقی	32 36 03 تا 31 37 05
3	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	10087/17
4	محیط حوضه (کیلومتر)	638/622

جدول 2- مساحت طبقات ارتفاعی حوضه آبریز آرمند.

نام طبقه ارتفاعی	طبقات ارتفاعی	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت تجمعی (کیلومتر مربع)	درصد مساحت جزئی	درصد مساحت تجمعی
A	1500-1070	95/43	95/43	0/95	0/95
B	2000-1500	685/04	780/47	6/8	7/75
C	2500-2000	5745/39	6525/86	57	64/75
D	3000-2500	2769/74	9295/60	27/45	92/2
E	3500-3000	660/67	9956/27	6/5	98/7
F	4170-3500	130/89	10087/17	1/3	100



شکل 2- الف) منحنی آلتی متری، ب) منحنی هیپسومتری حوضه آرمند.

متوسط حوضه از ایستگاه اورگان که در ارتفاع 2405 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 85-84 و 86-

با توجه به جدول (2) و شکل (2) فوق مشاهده می شود که حدود 8 درصد حوضه دارای ارتفاعی بیش از 3000 متر و حدود 65 درصد حوضه دارای ارتفاعی زیر 2500 متر دارد. این در صورتی است که ارتفاع متوسط حوضه 2400 متر می باشد. با توجه به ارتفاع

### 3- نتایج استفاده از مدل

شکل (3) هیدروگراف اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در حوضه ارمند در دوره واسنجی را نمایش می‌دهد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (3) ارائه شده است که براساس آن ضریب تبیین  $R^2$  برابر است با 0/90 و درصد اختلاف حجمی دبی برآوردی و مشاهده‌ای در حدود 1/145- می‌باشد. حجم جریان مشاهداتی و برآوردی مدل به صورت روزانه نشان می‌دهد که علاوه بر برآورد خوب مدل SRM، ولی در برآورد مقادیر جریان‌های نادر حداکثری مدل عملکرد ضعیف‌تری داشته است.

جهت اعتبارسنجی سال آبی 86-85 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 مشاهده ای در دوره ارزیابی در شکل (4) نشان داده شده است. نتایج حاصل از دوره ارزیابی نیز در جدول (3) ارائه شده است. براساس این جدول ضریب تبیین در این دوره 0/90 و درصد اختلاف دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده ای 1/284- می‌باشد. با توجه به این شکل 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 (4) مدل SRM نتیجه قابل قبولی داشته و برای حوضه ارمند مدل مناسبی بوده است. حجم جریان روزانه و حجم تجمعی جریان برای مقادیر مشاهداتی و برآوردی مدل نشان می‌دهد که مدل در برآورد حجم جریان‌های نادر حداکثری عملکرد ضعیف‌تری داشته است ولی در برآورد حجم تجمعی جریان موفق بوده است.

85 برای دوره‌های 8 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.

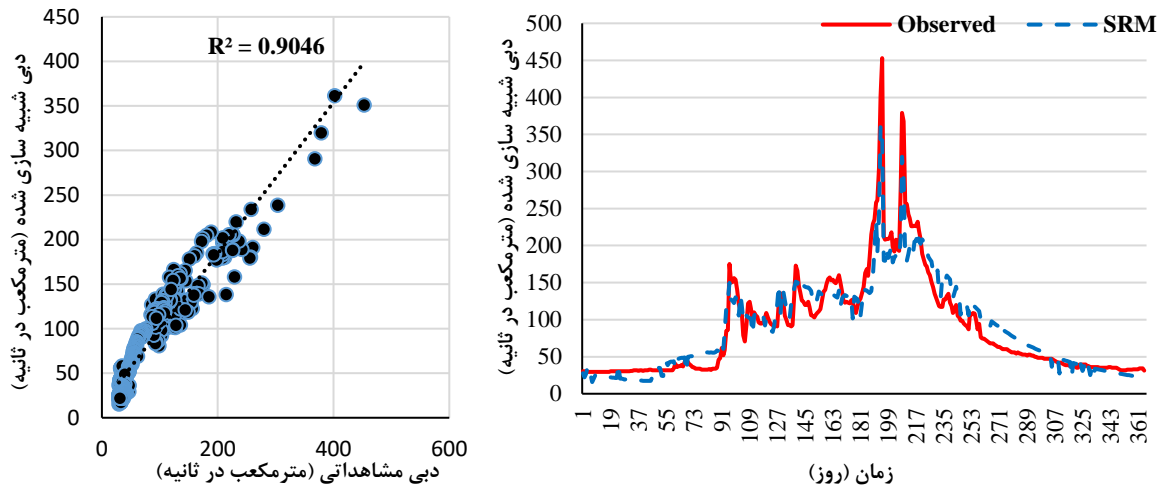
### 2- کاربرد مدل و شبیه‌سازی

پس از وارد کردن پارامترها و متغیرهای مورد نیاز مدل، محاسبات شبیه‌سازی انجام و جریان روزانه حوضه ارمند 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 85-84 و جهت ارزیابی مدل سال آبی 86-85 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>1</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 0/9999 و مقدار  $y$  برابر 0/004 در دوره واسنجی مورد استفاده قرار گرفته است و ضریب دوم در بارش-های سنگین به مقدار  $x$  برابر 0/8014 و مقدار  $y$  برابر 0/025 مورد استفاده قرار گرفته است از همین ضرایب در دوره ارزیابی نیز استفاده گردیده است.

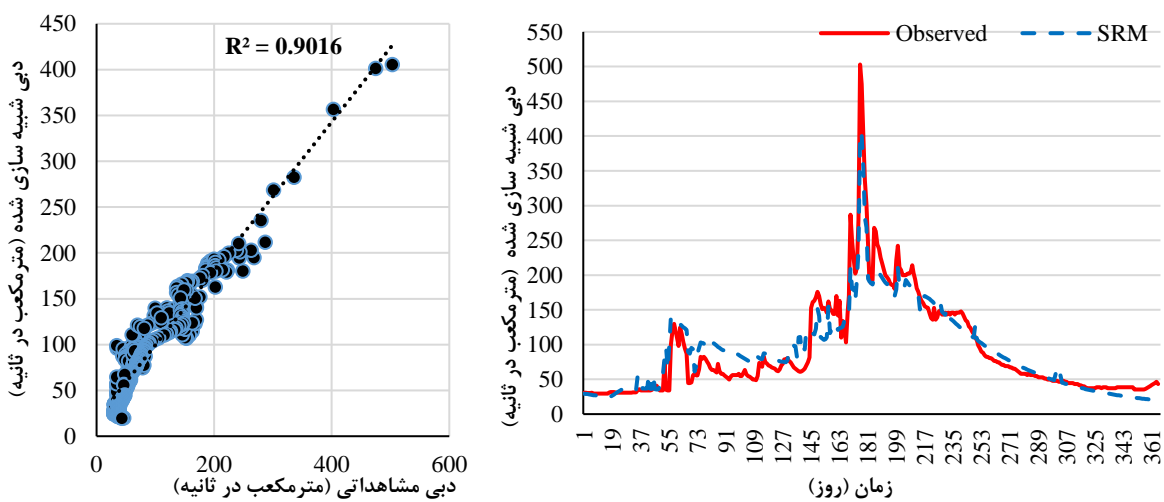
1 -Deterministic



شکل 3- نمودار همبستگی دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی.

جدول (3)- نتایج شبیه‌سازی با مدل SRM در حوضه ارمند دوره واسنجی و ارزیابی.

دوره ارزیابی (سال آبی 85-86)	دوره واسنجی (سال آبی 84-85)	پارامتر
2867/12	2798/57	حجم رواناب اندازه‌گیری شده (میلیون متر مکعب)
2903/92	2830/61	حجم رواناب شبیه‌سازی شده (میلیون متر مکعب)
90/92	88/74	دبی متوسط اندازه‌گیری شده (مترمکعب در ثانیه)
92/08	89/76	دبی متوسط شبیه‌سازی شده (مترمکعب در ثانیه)
0/902	0/904	ضریب تبیین
-1/2835	-1/1446	تفاضل حجمی (درصد)



شکل 4- نمودار همبستگی دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره ارزیابی.

در زمینه بهتر انجام شدن مطالعات دیگر پیشنهادات زیر مطرح می‌شود: چون در بیشتر ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری و قرائت پارامترها به وسیله عامل انسانی انجام می‌شود احتمال دسترسی به ایستگاه‌ها در مواقع ریزش برف کم می‌شود (به علت خراب بودن و بسته شدن راه‌های دسترسی به ایستگاه‌ها) و از طرفی چنین مواردی بهترین زمان جهت اندازه‌گیری هستند بهتر است ایستگاه‌های موجود در ارتفاعات به سیستم‌های خودکار ثبات مجهز شوند. همچنین پیشنهاد می‌شود که جهت ارزیابی درست از سطح پوشش برف، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای پوشش برفی به طور منظم و مرتب تهیه گردد تا دقت شبیه‌سازی بیشتر شود. در صورت عدم امکان تهیه چنین عکس‌هایی می‌بایست اندازه‌گیری زمینی به طور منظم و مرتب انجام گیرد.

#### 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، سپس با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی صورت

پذیرفت. با توجه به نزدیکی مقادیر برآوردی مدل به 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، به طوری که ضریب تبیین دوره واسنجی 0/90 و درصد اختلاف حجمی دبی برآوردی و مشاهده‌ای در حدود 1/145- می‌باشد. همچنین ضریب تبیین دوره اعتبارسنجی 0/90 و درصد اختلاف دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای 1/284- می‌باشد. به طور کلی می‌توان بیان نمود که مدل SRM نتیجه قابل قبولی داشته و برای حوضه ارمند مدل مناسبی بوده است. از این مدل در مناطقی که داده‌های زمینی برف‌سنجی وجود ندارد، می‌توان برای پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف استفاده نمود. بدین صورت که با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و بدست آوردن سطح پوشش برف، و کاربرد مدل SRM این کار امکان پذیر است. 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.

#### منابع

1. انصاری، ه. 1391. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی. مطالعه موردی: حوضه‌های لیقوان چای و صوفی چای). پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی منابع آب. دانشگاه تبریز.
2. بیرویدیان، ن و ن. جندقی. 1384. برآورد رواناب ذوب برف به وسیله مدل SRM و مقایسه نتایج آن با اطلاعات آبنمود رودخانه در آبخیز زیارت. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (6)12: 881-181.
3. پور همت، ج. تقفیان، ب و ح. صدقی. 1384. 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. (1)1: 11-1.
4. فتاحی، ا و م. وظیفه دوست. 1390. برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی حوضه‌های استان گلستان). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. (3)26: 168-149.

5. فتاحی، ا. 1374. مدل تحلیل کمی ذوب برف حوضه سد لتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران.
6. فتاحی، ا. دلاور، م و ا. قاسمی. 1390. شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوضه آبریز بازفت. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. (23): 20: 141-129.
7. معتمدی، ع و ح. صدقی. 1392. هیدرولوژی برف. انتشارات ارکان دانش. 272 صفحه.
8. نجف زاده، ر. ابریشم چی، ا. تجربی، م و ح. طاهری شهرآئینی. 1383. شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف. مجله آب و فاضلاب. 52: 11-1.
9. نجفی ایگدیر، ا. قدوسی، ج. ثقفیان، ب و ج. پرهمت. 1386. 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. 76: 185-177.
10. نجفی، م. ر. شیخی‌وند، ج و ج. پرهمت. 1383. 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. (3): 11: 122-111.
11. Abudu, S. Cui, C. L. Saydi, M and J. P. KING. 2012. Application of snowmelt runoff model (SRM) in mountainous watersheds: A review. Water Science and Engineering. 5(2): 123-136.
12. Emre, A. Akyu, Z. Ormanc, A. S. Ensoyc, A. S 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.
13. 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.
14. Gratton, D. G and C. Richarc. 2001. The Importance of the air temperature variable for the snowmelt runoff modelling usingthe SRM model. 58th Eastern Snow Conference. Ottawa. Ontario. Canada.
15. Harshburger, B. J. Karen, S. H. Von, P. W. Brandon, C. M. Troy, R. B 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.
16. Hong, M. A and C. Guodong. 2003. A test of Snowmelt Runoff Model (SRM) for the Gongnaisi River basin in the western Tianshan Mountions, China. Chinese Science Bulletin. 48: 2253-2259.
17. 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.
18. 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 :1-40
19. Martinec, J and A. Rango. 1986. Parameter values for snowmelt runoff modeling. Journal of Hydrology. 84: 197-219.
20. Martinec, J. 1975. Snowmelt-Runoff Model for Stream Flow Forecasts. Nordic Hydrology (Denmark). 6(3): 145-154.
21. Martinec, J. Rango, A and R. Roberts. 2007. Snowmelt Runoff Model (SRM) user's

- manual. New Mexico State University. Las Cruces.
22. Morid, S. Gosain, A.K. and A.K. Keshari. 2004. Response of different snowmelt algorithms to synthesized climatic data for runoff simulation. *Journal of the Earth and Space Physics (Iran)*. 30 (1):1-9.
  23. Rango, A and J. Martinec. 1979. Application of a snowmelt-runoff model using Landsat data. *Nordic Hydrology (Denmark)*. 10(4): 225–238.
  24. Rango, A. 1988. Progress in developing an Operational snowmelt-runoff forecast model with remote sensing input. *Nordic hydrology*. 19(2): 65-76.
  25. Senzeba, K. T. Bhadra, A 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. Xie, H. Yao, T. Li, H and S. Duan. 2014. Quantitative water resources assessment of Qinghai Lake basin using Snowmelt Runoff Model (SRM). *Journal of Hydrology*. 519: 976–987.

## Simulation of snowmelt runoff in Armand basin using SRM model and satellite images

Matin Sheini Jabari \*<sup>1</sup> Hossein Ghorbanizadeh Kharazi<sup>2</sup>,

- 1- MSc. student, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Shoshtar Branch, Shoushtar, Iran. **matin\_sheini@yahoo.com**
- 2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Shoshtar Branch, Shoushtar, Iran.

### Abstract

Snow in mountainous areas is one of the main components of the hydrological cycle, however, there are many changes in its temporal and spatial distribution. In this study, the SRM model and remote sensing data were used in order to monitor the time and space of the snow cover level and simulate the runoff caused by snowmelt in Armand Basin. The hydrological data of the basin and the raster data of the MODIS sensor were collected and used for a period of 2 years (water years 2005-06 to 2006-07). After processing MODIS sensor images in ENVI software, the snow cover level was determined. The simulation with the SRM model showed successful and acceptable results. So that the results of the evaluation of the model using two indicators, the Coefficient of determination and the volume difference, showed the high accuracy of the model in estimating the runoff resulting from snowmelt in the Armand Basin. The  $R^2$  obtained for Armand Basin is about 0.90.

**Keywords: Snowmelt, SRM model, MODIS sensor, Armand basin.**