

## بر آورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM (مطالعه موردی: حوضه آبریز سهزاب)

سکینه کدخدایی<sup>۱</sup>

سعید جهانبخش اصل<sup>۲</sup>

خلیل ولیزاده کامران<sup>۳</sup>

### چکیده

ذخایر برفی حوضه‌های کوهستانی از منابع آبی مهم کشور محسوب می‌شوند که شناخت دقیق کمیت این منابع به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و هم به دلیل بهره‌برداری بهینه از منابع آب ضروری است. در این پژوهش از تصاویر سطح برف MODIS (MOD 10 A2) و تغییرات سطح پوشش برف در سال ۹۰-۱۳۸۹ برای شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز سهزاب (از زیر حوضه‌های قسمت جنوبی سبلان) با به‌کارگیری مدل SRM، استفاده شد. ارزیابی مدل SRM با استفاده از دو شاخص ضریب همبستگی و تفاضل حجمی به ترتیب برابر با ۸۱ و ۲/۳ درصد می‌باشد. شاخص ضریب همبستگی از نظر قابل قبول بودن بستگی به کیفیت داده‌ها دارد و ممکن است با داشتن داده‌های کافی مقدار ۸۵٪ هم قابل قبول نباشد ولی در حوضه‌ای با داده‌های کم و بی‌کیفیت مقادیر پایین‌تر هم قابل قبول می‌باشند. با توجه به کمبود داده‌های هواشناسی و زمینی در حوضه آبریز سهزاب، نتیجه به‌دست‌آمده برای حوضه مذکور قابل قبول می‌باشد. استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و تصاویر ماهواره‌ای به همراه داده‌های زمینی قوی می‌توانند به‌عنوان

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

Email:sakinehkhodai@yahoo.com - Tel:09375208625

۲- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تبریز

ابزاری برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مخصوصاً در حوضه‌هایی که ذوب برف یکی از فاکتورهای ایجاد رواناب است، مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: برف، تصاویر MODIS، مدل SRM، حوضه سهزاب، سیلان.

### مقدمه

در مناطق سرد، کوهستانی و مرتفع بخش اعظم بارندگی‌ها به شکل برف نازل می‌شود. تجمع برف در ماه‌های فصل زمستان یک سال، در ماه‌های بهار سال بعدی پراهمیت تلقی می‌شود و آب حاصل از ذوب، زمانی که با بارندگی گرم بهاره همراه باشد، سیلاب‌های قابل توجهی را به وجود می‌آورد (نجفی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۱۲)، لذا برآورد دقیق سطح پوشش برف و حجم آب معادل به‌عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب در مناطقی که بارش برف دارای سهم زیادی در نزولات جوی است، محسوب می‌شود (ادهمی، ۱۳۸۴: ۱). ایران سرزمین کم‌آبی است که در عرض‌های معتدل و ناحیه گرم و خشک قرار گرفته و بارش برف به‌ویژه در مناطق کوهستانی آن به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آبی جهت ذخیره آب برای فصول گرم سال محسوب می‌شود (دینی، ۱۳۸۴: ۱). از جمله مناطق کوهستانی برف‌گیر ایران، کوهستان سیلان می‌باشد که در این پژوهش سطح پوشش برفی و آب معادل حوضه آبریز سهزاب به‌عنوان یکی از زیر حوضه‌های جنوبی آن مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر از بین مدل‌های شبیه‌سازی جریان، مدل SRM<sup>۱</sup> که با استفاده از مساحت پوشش برف به‌عنوان ورودی دارای بیشترین کاربرد در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی رواناب حوضه‌های کوهستانی است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۰) برای شبیه‌سازی جریان رواناب حاصل از ذوب برف استفاده شد. اهمیت انجام این پژوهش عمدتاً به دلیل تأثیر آب حاصل از ذوب برف در آبدهی رودخانه و همچنین اختلاف زمانی بارش برف و ذوب و پیوستن آن به آب‌های مصرفی می‌باشد. پژوهشگران داخلی و خارجی با روش‌های متفاوتی اقدام به بررسی پوشش برف کرده‌اند.

1-Snowmelt Runoff Model

مالچر و هیدنگر<sup>۱</sup> (۲۰۰۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS<sup>۲</sup>، سطح پوشش برف زیر حوضه‌های کشور اتریش را استخراج کرده و با استفاده از مدل SRM، رواناب ناشی از ذوب برف این حوضه‌ها را شبیه‌سازی نمودند. کلین و بارت<sup>۳</sup> (۲۰۰۳)، نقشه‌های پوشش برفی حوضه ریوگراند<sup>۴</sup> را از طریق تصاویر سنجنده MODIS برای پوشش برفی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۱ استخراج نمودند. در این پژوهش دقت و اعتبار نقشه‌های برفی حاصل از تصاویر با نقشه‌های برفی حاصل از روش‌های دیگر (دستی) مقایسه شده و برتری‌های آن ذکر گردیده است همچنین با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف این حوضه برآورد شد. جورجیوسکی<sup>۵</sup> (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 پیش‌بینی کوتاه‌مدت رواناب در دامنه کوه‌ها و مناطقی از حوضه آبریز کرانسودار<sup>۶</sup> در روسیه مورد استفاده قرار داد. هارشبرگر<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از مدل SRM، داده‌های برف سنجنده MODIS و اطلاعات ایستگاه‌های تله‌متری برف در حوضه‌های کوهستانی غرب ایالات متحده به بررسی جریان‌های کوتاه‌مدت 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 که پیشرفت قابل توجهی در بهبود عملکرد مدل روی داده است. نجف زاده و همکاران (۱۳۸۳)، تغییرات سطح پوشش برف یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز زاینده‌رود (پلاسجان) را با استفاده از عکس ماهواره‌ای NOAA<sup>۸</sup>، ۱۳۷۰-۷۱ و ۱۳۷۰-۷۲ استخراج کردند، این پژوهشگران همچنین برای شبیه‌سازی رواناب از مدل

1 - Malcher&Heidinger

2- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

3 - Klein & Barnett

4 - Rio Grand

5 - Georgievsky

6 - Krasnodar

7- Harshburger

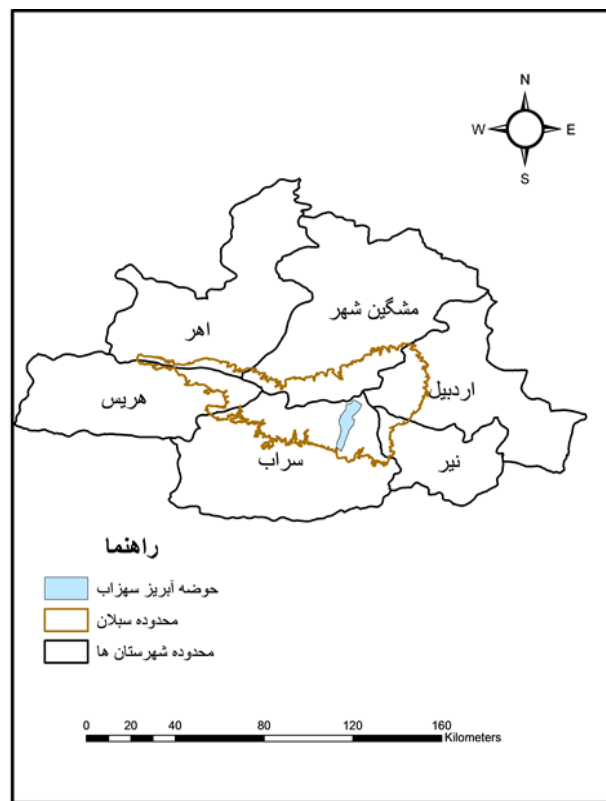
8 -National Oceanic and Atmospheric Administration

SRM استفاده کردند که مدل، دبی جریان روزانه را با مجذور ضریب همبستگی ۹۵٪ شبیه‌سازی کرد. نتیجه پژوهش نشان داد که مدل SRM می‌تواند به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی جریان رودخانه بخصوص در حوضه‌هایی که ذوب برف از فاکتورهای اصلی رواناب است، به‌کاربرده شود. میر یعقوب زاده و قنبر پور (۱۳۸۹)، در حوضه آبخیز کرج، کاربرد نقشه‌های برفی حاصل از تصاویر سنجنده MODIS در مدل‌سازی ذوب برف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش برای استخراج نقشه پوشش برفی از شاخص NDSI استفاده شد و همچنین برای شبیه‌سازی جریان در سال آبی ۸۱-۸۰ از مدل SRM استفاده گردید که مدل با ضریب تبیین ۴۶۸۷/۰ و تفاضل حجم ۱۲۹۲/۰ مترمکعب بر ثانیه، جریان را شبیه‌سازی کرد. پژوهشگران مذکور این نتایج را نشان از دقت داده‌های حاصل از نقشه‌های پوشش برفی به‌دست‌آمده از تصاویر MODIS دانستند. فتاحی و همکاران (۱۳۹۰)، برای شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز بازفت از تصاویر ماهواره‌ای ۸ روزه MODIS و مدل SRM استفاده کردند. نتایج کاربرد مدل شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی را نشان داد، بطوریکه نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی به ترتیب برابر با ۸۲ و ۱۸/۹- می‌باشد. مختاری‌مطلق و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از تصاویر هشت‌روزه MODIS تغییرات سطح پوشش برف حوضه آبریز زیارت‌گران در سال آبی ۹۰-۸۹ را استخراج کردند و با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف را با مجذور ضریب همبستگی ۷۴٪ شبیه‌سازی نمودند، نتایج نشان داد که در حوضه‌هایی مانند بیشتر حوضه‌های ایران که فاقد داده‌های اندازه‌گیری برف می‌باشند، سطح پوشش برف را می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دست آورد. با توجه به مطالعاتی که در خارج و داخل کشور انجام شده است می‌توان نتیجه گرفت که پایش مکانی و زمانی سطح پوشش برف و آب معادل از آن، اهمیت بسیار بالایی در مدل‌های هیدرولوژیکی دارد، به‌منظور کاربردی کردن نتایج حاصل از این روش‌ها می‌بایست داده‌های زمینی کامل‌تر و دقیق‌تری در اختیار پژوهشگران قرار گیرد. مطالعات در مورد پوشش برف، آب حاصل از ذوب و اثرات ناشی از آن اگر در مقیاس‌های کوچک (شاخه‌های فرعی رودخانه‌ها، استخراج نقشه‌های پوشش برفی برای تک تک حوضه‌های برف‌گیر و...) مدنظر قرار گیرد در مدیریت

منابع آب، مدیریت مخازن و سامانه‌های هشدار سیل و... برای هر منطقه متناسب با شرایط خاص آن، برنامه‌ریزی‌های دقیقی انجام می‌گیرد که متناسب با توسعه پایدار خواهد بود.

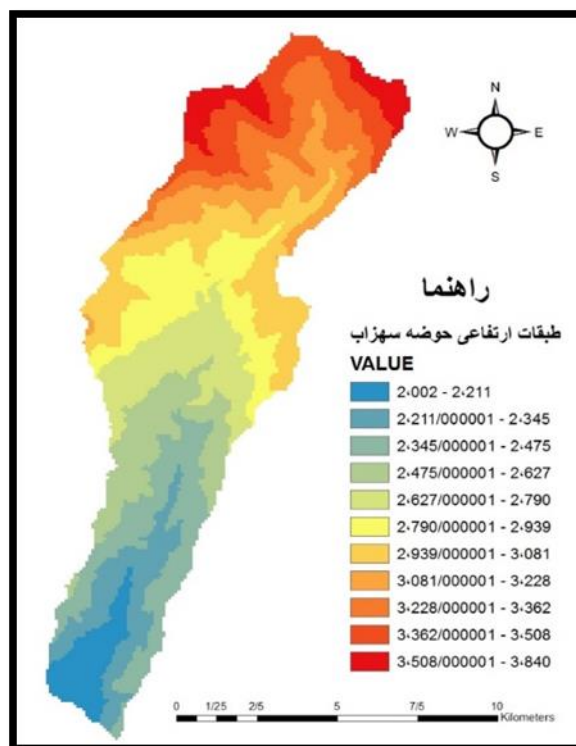
### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سهزاب یکی از زیر حوضه‌های کوهستان سیلان با وسعت ۷۸/۶۹ کیلومترمربع می‌باشد که در قسمت جنوبی حوضه واقع شده است. رودخانه سهزاب از دامنه‌های جنوبی سیلان سرچشمه گرفته و به طرف شهرستان سراب جاری می‌گردد. شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز سهزاب را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز سهزاب

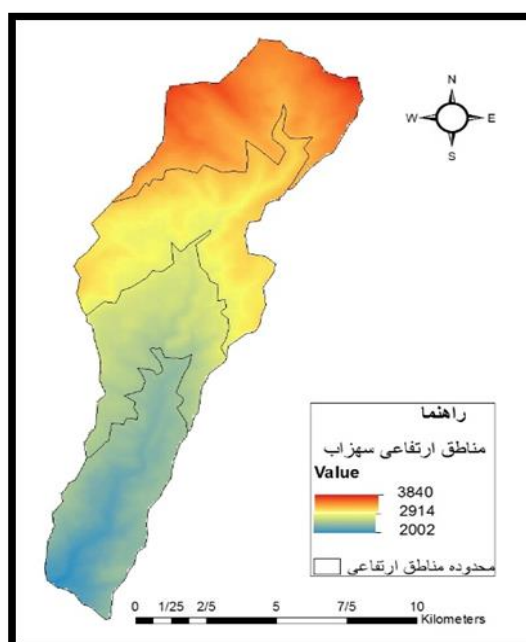
این حوضه، یک حوضه کوهستانی و مرتفع می‌باشد به طوری که ۲۱/۳۳ کیلومتر مربع از وسعت آن را ارتفاعات بالاتر از ۳۰۰۰ متری تشکیل می‌دهند. حداقل ارتفاع در حوضه آبریز سهزاب ۲۰۰۲ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۸۴۰ متر از سطح دریا (با متوسط ارتفاع ۲۸۴۹ متر) می‌باشد. شکل ۲ مدل رقومی سهزاب را نشان می‌دهد.



شکل (۲) نقشه مدل رقومی حوضه آبریز سهزاب

در پژوهش حاضر جهت برآورد آب معادل برف، حوضه آبریز سهزاب و به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM برای فاصله زمانی دی ۱۳۸۹ تا خرداد ۱۳۹۰، فاکتور S (سطح پوشش برف) با استفاده از تصاویر ۸ روزه سنجنده MODIS، با ترکیب باندهای ۴ و ۶ و کاربرد شاخص NDSI به همراه آستانه گذاری‌های لازم با

نرم افزارهای ENVI و GIS استخراج گردید. شکل ۳، نقشه هیپسومتریک تهیه شده در محدوده مطالعاتی را نشان می دهد. جدول ۱، مساحت باندهای ارتفاعی را نشان می دهد. بر اساس جدول ۱، بیشترین وسعت حوضه را طبقات ارتفاعی ۲۸۱۳-۳۱۸۵ متری به خود اختصاص داده اند.



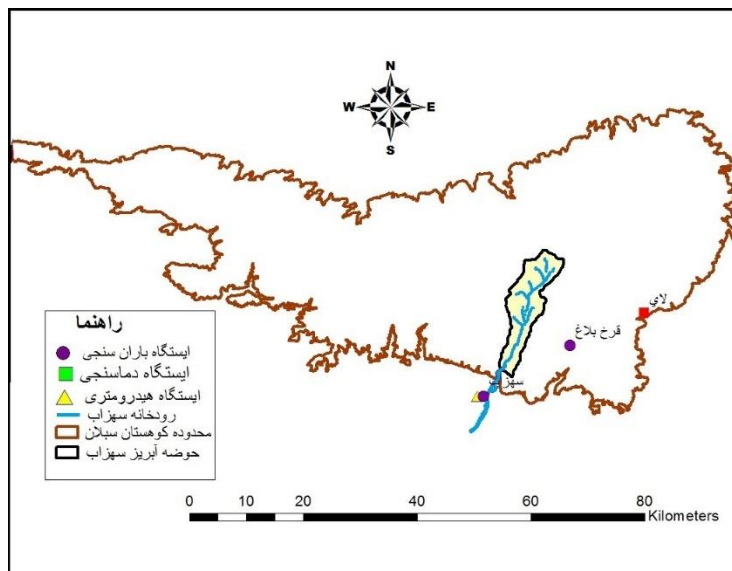
شکل (۳) نقشه هیپسومتریک حوضه آبریز سهزاب

جدول (۱) نتایج محاسبات هیپسومتریک در حوضه سهزاب

ردیف	طبقه ارتفاعی (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت (%)	ارتفاع متوسط (متر)
۱	۲۰۰۲-۲۴۷۸	۱۹/۵۶	۲۴/۸۶	۲۳۱۵
۲	۲۴۷۸-۲۸۱۳	۱۶/۳۷	۲۰/۸	۲۶۴۳
۳	۲۸۱۳-۳۱۸۵	۲۳/۱۶	۲۹/۴۴	۲۹۸۴
۴	۳۱۸۵-۳۸۴۰	۱۹/۶	۲۴/۹	۳۳۸۶

## مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به منظور رسیدن به اهداف موردنظر، تصاویر ۸ روزه سنجنده MODIS و همچنین داده‌های دما، بارش و دبی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۴، موقعیت هر یک از ایستگاه‌هایی که از داده آن، برای پژوهش حاضر استفاده شده است را نشان می‌دهد.



شکل (۴) موقعیت ایستگاه‌های محدوده حوضه آبریز سبزاب

## تولیدات سطح برف سنجنده MODIS

اطلاعات رقومی سنجنده MODIS، به عنوان منبع تأمین اطلاعات سری زمانی مساحت تحت پوشش برف استفاده شد. تولیدات سطح برف سنجنده مودیس با استفاده از الگوریتم Snow map و در گام‌های زمانی ۸ روزه تولید شد. الگوریتم Snow map بر پایه شاخص NDSI و بازتابش باندهای ۲ و ۴ می‌باشد (کمالی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۴۹۶). شاخص



NDSI به عنوان جداکننده ابر و برف خصوصاً تفکیک برف از ابرهایی که هم در بخش نور مرئی و هم در بخش مادون قرمز دارای انعکاس بالایی هستند کاربرد دارد (رسولی، ۱۳۹۰، ص ۳۰۷). شاخص NDSI طبق رابطه ۱، محاسبه می شود (هال<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۸۶).

$$NDSI = \frac{band(0.555\mu m) - band(1.64\mu m)}{band(0.555\mu m) + band(1.64\mu m)} \quad (1)$$

طبق مطالعات (سالمانسون و اپل<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴: ۳۵۸) برای برآورد سطح پوشش برف با باندهای ۵۰۰ متر سنجنده MODIS به کارگیری شاخص NDSI کافی است؛ لذا ارزش کم این شاخص (کمتر از ۰/۴) نشانگر وجود ابر و به نسبت، مقادیر زیاد، نشانگر وجود برف می باشد (دینی، ۱۳۸۴: ۳۰). این الگوریتم با دو آستانه گذاری دیگر مورد استفاده قرار می گیرد:

۱ - بازتاب باند ۲ بالاتر از ۱۱٪ که این عامل برای جداسازی برف از آب است.

۲ - بازتاب باند ۴ بالاتر از ۱۰٪ که این عامل اشیاء تاریک را از صحنه خارج می کند.

### پردازش تصاویر

کلیه عملیات پردازش تصاویر شامل تبدیل سیستم مختصات، عملیات برش تصویر، جداسازی منطقه مورد مطالعه و تفکیک مناطق ارتفاعی، با استفاده از ابزار پردازش تصویر در نرم افزار GIS صورت گرفت. در نهایت با روی هم قرار دادن لایه های اطلاعاتی شامل لایه های کلاس ارتفاعی و تصاویر سطح برف (MOD 10 A2) سطح پوشیده از برف به تفکیک هر کلاس ارتفاعی تعیین گردید. پس از انجام عملیات برون یابی، نقشه برف تهیه شده با مدل رقومی ارتفاعی ترکیب شد و منحنی تخلیه برف (SCDCs<sup>۳</sup>) برای دوره مورد نظر به دست آمد و درصد مساحت پوشش برف روزانه از منحنی تخلیه برف که متغیر اساسی مدل به شمار می رود، محاسبه شد. تاریخ این تصاویر و مساحت برف هر کدام از تصاویر در جدول ۳ ارائه شده است.

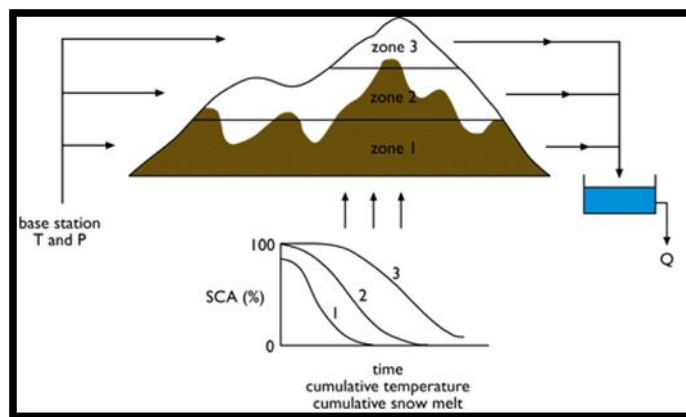
1- Hall

2- Salomanson&Appel

3- Snow Cover Depletion Curves

### مدل SRM

مدل SRM مدل فیزیکی و مفهومی است که بر اساس روش درجه-روز<sup>۱</sup> استوار است. در این مدل رواناب ناشی از ذوب برف و باران به‌طور روزانه محاسبه شده و به دبی جریان فروکش (دبی پایه) اضافه می‌شود و سپس با لحاظ نمودن ضریب انتقال، دبی خروجی از حوضه محاسبه می‌گردد. حداقل متغیرهای هواشناختی لازم برای اجرای مدل، دمای هوا، بارش و مساحت پوشش برف به‌صورت روزانه است. ساختار اساسی SRM به‌صورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است (رانگو و مارتینک،<sup>۲</sup> ۱۹۹۸)



شکل (۵) ساختار مدل SRM به‌صورت شماتیک (تهیه شده توسط رانگو و مارتینک، ۱۹۹۸)

در مدل مذکور رواناب ناشی از ذوب برف و باران به‌طور روزانه محاسبه شده و با لحاظ فروکش جریان، دبی خروجی از حوضه برآورد می‌گردد. ساختار اصلی مدل به‌صورت رابطه ریاضی، رابطه ۲ می‌باشد که اجزای مدل در جدول ۲ توضیح داده شده‌اند.

$$(۲) \quad = [C_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + C_{rn} P_n] \frac{4.10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} Q_{n+1}$$

<sup>۱</sup> - Degree-Day  
<sup>۲</sup> - Rangó&Martínez

جدول ۲: اجزای مدل SRM (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸)

ردیف	فاکتور	توضیحات
۱	Q دبی روزانه ( $m^3 s^{-1}$ )	میزان آب تولیدشده در یک حوضه در اثر ذوب برف و بارش باران، به مترمکعب بر ثانیه.
۲	$C_s$ ضریب رواناب برف	به صورت اختلاف بین آب در دسترس (ذوب برف + بارش باران) و جریان خروجی از حوضه در یک دوره معین بیان می شود. تغییرات این ضریب به صورت ۱۵ روزه توصیه می شود.
۳	a عامل درجه روز ( $cm \cdot c^{-1} \cdot d^{-1}$ )	به صورت مقدار عمق ذوب شده به تعداد درجه روز بوده و به صورت ( $M=aT$ ) بیان می شود. M: مقدار ذوب (cm)، a: فاکتور درجه روز ( $c^{-1} \cdot d^{-1}$ ) و T: تعداد درجه روز ( $c \cdot d$ )
۴	T درجه حرارت ایستگاه مینا (C)	درجه حرارت های ثبت شده در ایستگاه مینا به درجه سانتی گراد.
۵	$\Delta T$ گرادیان حرارتی هر ناحیه ارتفاعی	اگر چند ایستگاه دما سنجی در ارتفاعات مختلف قرار داشته باشد با استفاده از داده های آنها می توان گرادیان درجه حرارت را به دست آورد. در صورت نبودن آمار معمولاً یک گرادیان $-6/5 \text{ } ^\circ C$ به ازای هر یک کیلومتر توصیه می شود.
۶	S پوشش نسبی برف	نسبت مساحت پوشش برف به مساحت کل حوضه (به درصد) که سطوح پوشیده از برف با تفسیر تصاویر ماهواره ای به دست می آید. یکی از الگوریتم های استخراج پوشش برف شاخص NDSI می باشد.
۷	$C_r$ ضریب رواناب باران	به صورت اختلاف بین آب در دسترس (ذوب برف + بارش باران) و جریان خروجی از حوضه در یک دوره معین بیان می شود. تغییرات این ضریب به صورت ۱۵ روزه توصیه می شود.
۸	P بارش (برف و باران) (cm)	بارشی که در تولید رواناب شرکت می کند، به سانتی متر.
۹	A مساحت حوضه ( $km^2$ )	مساحت حوضه آبریز یا ناحیه انتخابی در هر Zone به کیلومتر مربع.
۱۰	تبدیل $cm \cdot km^2 \cdot d^{-1}$ به $m^3/s$	ضریبی است که واحد Q را به مترمکعب بر ثانیه تبدیل می کند.
۱۱	K ضریب فروکش جریان	پارامتر مهمی در مدل SRM است و نشان دهنده نرخ کاهش دبی در یک دوره زمانی بدون تأثیر ذوب برف و باران می باشد. K از رابطه ( $K = Q_{m+1} / Q_m$ ) به دست می آید که m و m+1 نشانگر دو روز متوالی در دوره فروکش جریان می باشند.
۱۲	n شماره روز در یک دوره محاسباتی	توالی روزها در طی دوره پیش بینی یا شبیه سازی.

### تهیه نقشه هیپسومتریک

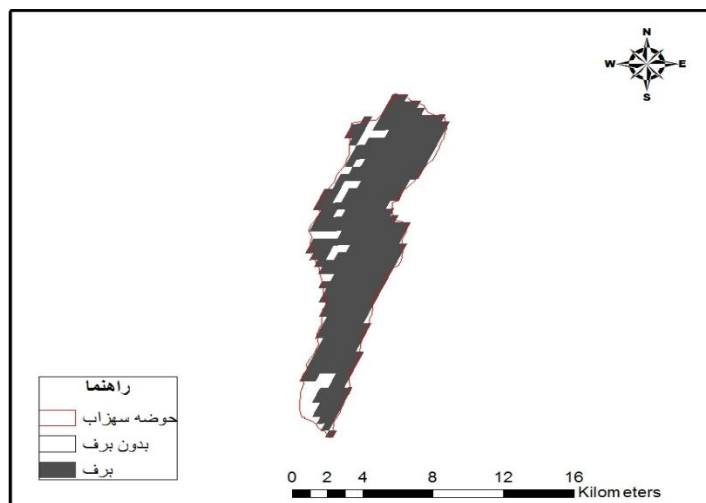
یکی از پارامترهای لازم در مدل SRM، تعیین مناطق ارتفاعی، محاسبه مساحت هر یک از این مناطق و متوسط ارتفاع هر یک از آن‌ها می‌باشد (جدول شماره ۱). بدین منظور در پژوهش حاضر نقشه هیپسومتریک مربوط به حوضه سهزاب، با استفاده از مدل رقوم-ارتفاع در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار Arc.Map تهیه گردید. پس از تهیه نقشه هیپسومتریک که به صورت رستر بوده و دارای سلول‌هایی با ابعاد ۸۵ در ۸۵ متری می‌باشند، با استفاده از تعداد سلول‌های هر منطقه ارتفاعی، مساحت آن‌ها تعیین گردید.

### یافته‌ها و بحث

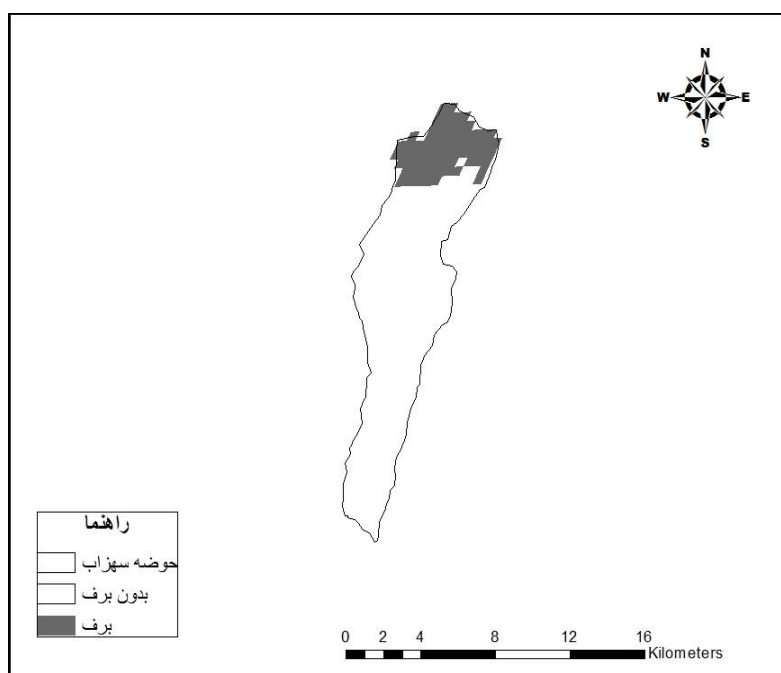
همان‌طور که نتایج جدول ۳ نیز نشان می‌دهد، پس از اجرای الگوریتم NDSI برای تصاویر ترکیبی هشت روزه در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۲۸ مشاهده گردید که سطح پوشش برف در حوضه سهزاب، در این موقع از سال صفر می‌باشد و عدم پوشش برف در این تاریخ و بعد از آن، منبع آبی مهمی محسوب نمی‌گردد. به‌عنوان نمونه تصاویر مربوط به تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۱۹ در شکل ۶ و تاریخ ۱۳۹۰/۳/۱۲ در شکل ۷، نشان داده شده‌اند؛ همان‌طور که در تصویر شکل ۶ دیده می‌شود، در این موقع از سال که همراه با ورود جبهه هوای سرد به ایران، بارش برف رخ می‌دهد هر چهار منطقه ارتفاعی دارای پوشش برف می‌باشند ولی در شکل ۷، مشاهده می‌شود که فقط منطقه ارتفاعی ۳۸۴۰-۳۱۸۵ (ارتفاع به متر) دارای پوشش برف به مساحت ۱۳۸۸۹۰۰/۶۲ مترمربع می‌باشد که نشانگر گرم شدن هوا و ذوب پوشش برف در سایر مناطق ارتفاعی است. در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۲۸، این پوشش برف نیز ذوب شده و مقدار آن به صفر می‌رسد؛ چرا که ماندگاری سطح پوشش برف به تغییرات آب و هوایی و به‌ویژه کاهش دمای هوا وابسته است. مقادیر دمای روزانه از داده‌های ثبت شده در ایستگاه لای و بارش روزانه از ایستگاه‌های سهزاب و قرخ بلاغ به دست آمد و مقادیر دبی روزانه با استفاده از آمار دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری سهزاب، وارد مدل شد.

جدول (۳) نتایج محاسبه سطح برف در سال آبی ۱۳۸۹ با استفاده از تصاویر ۸ روزه در حوضه سهزاب

تاریخ تصویر	سطح برف تصاویر ۸ روزه MODIS(Km <sup>2</sup> )	تاریخ تصویر	سطح برف تصاویر ۸ روزه MODIS(Km <sup>2</sup> )
۱۴ دی - ۲۱ دی	۷۵/۸۷	۱۳ فروردین - ۲۰ فروردین	۲۳/۲۲
۲۲ دی - ۲۹ دی	۷۳/۲۳	۲۱ فروردین - ۲۸ فروردین	۴۷/۷۲
۳۰ دی - ۷ بهمن	۶۴/۶۳	۲۹ فروردین - ۵ اردیبهشت	۳۳/۱۷
۸ بهمن - ۱۵ بهمن	۶۷/۱۴	۶ اردیبهشت - ۱۳ اردیبهشت	۱۸/۵
۱۶ بهمن - ۲۳ بهمن	۷۱/۷	۱۴ اردیبهشت - ۲۱ اردیبهشت	۲۴/۲۳
۲۴ بهمن - ۱ اسفند	۷۷/۱۱	۲۲ اردیبهشت - ۲۹ اردیبهشت	۱۸/۹۲
۲ اسفند - ۹ اسفند	۷۸	۳۰ اردیبهشت - ۶ خرداد	۱۴/۱۷
۱۰ اسفند - ۱۷ اسفند	۶۶/۳۷	۷ خرداد - ۱۴ خرداد	۸/۴۶
۱۸ اسفند - ۲۵ اسفند	۷۳	۱۵ خرداد - ۲۲ خرداد	۰/۴۹
۲۶ اسفند - ۴ فروردین	۶۲/۹۹	۲۳ خرداد - ۳۰ خرداد	0
۵ فروردین - ۱۲ فروردین	۵۶/۴۹		



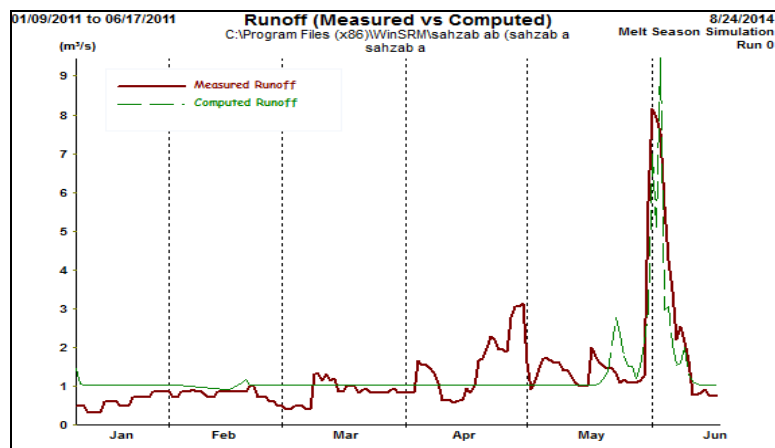
شکل (۶) نقشه پوشش برفی در ۱۳۸۹/۱۰/۱۹



شکل (۷) نقشه پوشش برفی در ۱۳۹۰/۳/۱۲

در این پژوهش به دلیل عدم وجود ایستگاه حرارت سنجی در داخل حوضه مورد مطالعه، از آمار ایستگاه لای که در نزدیکی حوضه قرار دارد استفاده شده است، با در نظر گرفتن فاصله این ایستگاه، محاسبه گرادیان درجه حرارت مقدور نگردید، لذا از مقدار توصیه شده  $-۶/۵$  درجه سانتی‌گراد در هر کیلومتر استفاده شد (معمدی و صدقی، ۱۳۹۲، ص ۱۱۶). محدوده تغییرات درجه حرارت بحرانی در کوه‌های آلپ از  $+۳$  درجه سانتی‌گراد در آوریل تا  $+۰/۷۵$  درجه سانتی‌گراد در ژوئیه می‌باشد. این محدوده را در سایر حوضه‌ها که اطلاعات کافی ندارند نیز می‌توان به کار برد. در این پژوهش درجه حرارت بحرانی  $+۰/۸۵$  درصد (همان) در نظر گرفته شده است. فرایند شبیه‌سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز سه‌زاب، با محاسبه فاکتورها و پارامترهای مورد لزوم در فاصله ماه ژانویه ۲۰۱۱ تا

ژوئن ۲۰۱۱ (تقریباً دی ماه ۱۳۸۹ تا خرداد ۱۳۹۰) انجام گرفت. نتیجه این شبیه‌سازی به صورت گرافیکی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل (۸) تغییرات دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در سال آبی ۱۳۸۹، حوضه سهزاب

در حوضه آبریز سهزاب به دلیل کمبود و فاصله زیاد ایستگاه سنجش داده‌های آب و هواشناسی و نبود داده کافی معلوم شد که مدل SRM نیازمند داده‌های قوی برای مدل‌سازی می‌باشد. پارامترهای ارزیابی که توسط مدل برای برآورد دقت جریان شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد ضریب تبیین و تفاضل حجمی می‌باشد. این مقادیر در دوره شبیه‌سازی به ترتیب برای R: ۸۱ درصد و  $D_v$ : ۲/۳ درصد به دست آمد. مقدار ضریب همبستگی از نظر قابل قبول بودن بستگی به کیفیت داده‌ها دارد و ممکن است با داشتن داده‌های کافی مقدار ۸۵ درصد هم قابل قبول نباشد ولی در حوضه‌های با داده‌های کم، مقادیر پایین‌تر نیز می‌توانند قابل قبول باشد (رانگو و مارتینک، ۱۹۹۸). شکل ۹ نتیجه به دست آمده از شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با نرم‌افزار SRM را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی روزانه، ملاحظه می‌شود که مقادیر اوج رواناب در خرداد ماه و به دنبال بارش باران و افزایش دما به وقوع پیوسته است زیرا در ارتفاعات حوضه‌های برف‌گیر، ذوب برف در اثر بارش باران بیشتر می‌شود و اوج رواناب در زمان بارش نسبتاً شدید باران بر روی حوضه رخ خواهد داد. مدل برای به دست آوردن ذوب

برف روزانه، از مقدار متوسط دما استفاده می‌کند و چون در فصل زمستان در حوضه مورد مطالعه معمولاً مقدار متوسط دما کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد است، از نقطه‌نظر مدل در این چند ماه ذوبی اتفاق نمی‌افتد، در این پژوهش نیز مدل SRM توانسته است آب معادل ذوب برف در خرداد ماه را به خوبی شبیه‌سازی کند.

Basin Name: sahzab a	
Simulation: sahzab a	
Run Date: 8/24/2014	
Statistics	Run Results
Measured Runoff Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	17.669
Average Measured Runoff (m <sup>3</sup> /s):	1.278
Computed Runoff Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	17.262
Average Computed Runoff (m <sup>3</sup> /s):	1.249
Volume Difference (%):	2.3068
Coefficient of Determination (R <sup>2</sup> ):	0.6642

شکل (۹) نتایج شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با نرم‌افزار SRM در سال آبی ۱۳۸۹، حوضه سهزاب

### نتیجه‌گیری

- در حوضه‌هایی که فاقد داده‌های اندازه‌گیری زمینی برف‌سنجی می‌باشند، با استفاده از سطح پوشش برف که از تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آید و با استفاده از مدل SRM می‌توان جریان حوضه‌های آبریز را شبیه‌سازی کرد زیرا در این پژوهش استفاده از سطح پوشش برف که از تصاویر ماهواره‌ای مودیس به دست آمده است نتایج قابل قبولی را در شبیه‌سازی جریان حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM در حوضه آبریز سهزاب به همراه داشته است.

- مدل برای به دست آوردن ذوب برف روزانه، از متوسط دما استفاده می‌کند و چون در فصل زمستان معمولاً مقدار متوسط دما کمتر از صفر درجه است، از نقطه نظر مدل در این چند ماه ذوبی اتفاق نیفتاده است، ولی در فصل زمستان در وسط روز دما بالا رفته و ذوب اتفاق می‌افتد.



- شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز سهزاب نشان می‌دهد این مدل قادر به مشخص کردن و تخمین رواناب روزانه در حوضه مذکور می‌باشد و همبستگی بین دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در فاصله دی ماه ۱۳۸۹ تا خرداد ماه ۱۳۹۰، مؤید این مطلب است؛ اما برای حصول نتایج دقیق‌تر لازم است که ارزیابی پارامترهای مدل (ضریب تبیین و تفاضل حجمی) به صورت درازمدت صورت گیرد.

## منابع

- ادهمی، سلام، ۱۳۸۴، کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی پوشش برف (مطالعه موردی حوضه آبی چای)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- دینی، غلامرضا، (۱۳۸۴)، «بررسی تغییرات سطوح برف‌گیردرالبرز مرکزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- رسولی، علی‌اکبر، (۱۳۹۰)، «مقدمه‌ای بر هواشناسی و اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای»، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، چاپ اول.
- فتاحی، ابراهیم، دل‌اور، مجید، قاسمی، الهه، (۱۳۹۰)، «شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM (مطالعه موردی: حوضه آبریز بافت)»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۳، سال ۱۳۹۰، صص ۱۲۹-۱۴۱.
- کمالی، مرتضی، حجام، سهراب، وظیفه دوست، مجید، (۱۳۹۰)، «بررسی سطح پوشش برف و تأثیر آن بر عملکرد گندم در استان خراسان»، نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۶، سال ۹۰، صص ۱۵۰۲-۱۴۹۴.
- مختاری مطلق، پیمان، جوانی، رهنما، شریفان، حسین، (۱۳۹۲)، «برآورد رواناب حاصل از ذوب برف فصلی به کمک مدل SRM (مطالعه موردی حوضه آبریز زیارت در استان گلستان)»، اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، اصفهان، ۱۳۹۲.
- معتمدی، علی، صدقی، حسین، (۱۳۹۲)، «هیدرولوژی برف»، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، چاپ اول.
- میریعقوب‌زاده، میرحسین، قنبر پور، محمدرضا، (۱۳۸۹)، «بررسی نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در مدل‌سازی رواناب ذوب برف»، (مطالعه موردی حوضه آبخیز سد کرج)، مجله علوم زمین، شماره ۷۶، سال ۱۹، صص ۱۴۱ تا ۱۴۸.
- نجف زاده، رضا، ابریشم چی، احمد، تجریشی، مسعود، طاهری شهر آئینی، حمید، (۱۳۸۳)، «شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف»، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۲، سال ۱۳۸۳، صص ۲-۱۱.

- نجفی، محمدرضا، شیخی وند، جواد، پرهمت، جهانگیر، ۱۳۸۳، «برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های برف‌گیر با استفاده از مدل SRM (مطالعه موردی حوضه سد مهاباد)»، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۳، سال یازدهم، صص ۱۱۱-۱۲۱.

- Georgievsky, M.V, (2009), Application of the Snowmelt Runoff Modeling the Kuban river basin Using MODIS Satellite Image, *Environmental Research Letters*, NO.4, PP. 1-5.
- Hall, D. K. Riggs, G. A. Salomonson, V. V. DeGirolamo, N. E. Bayr, K. J. & Jin, J. M, (2002), MODIS Snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, No.83, PP. 181-194.
- Harshburger, B.J. Karen, S.H. Von, P.W. Brandon, C.M. Troy, R.B. and Rango, A. (2010), Evaluation of Short-to-Medium Range Stream flow Forecasts Obtained Using an Enhanced Version of SRM, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*:1-15. PP.1752-1688.
- <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data>.
- Klein, A. G. & Barnett, A. C, (2003), Validation of daily MODIS snow cover maps of Upper Rio Grande river basin for the 2000-2001 snow year, *Remote Sensing of Environment*, NO. 86, PP. 162-176.
- Malcher, P. and Heidinger, M, (2001), Processing and Data Assimilation Scheme for Satellite Snow Cover Products in the Hydrological model, 28.4.2004, Version 1, Envisnow EVG1-CT-2001-00052.
- Rango, A. and Martinec, J. (1998), The Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual, Version 4, URL: [ftp // hydrolab.arsusda. gov/ pub / srm / srm4. pdf](ftp://hydrolab.arsusda.gov/pub/srm/srm4.pdf).
- Salomonson, V.V. & Appel, I, (2004), Estimating Fractional Snow Cover from MODIS Using the Normalized Difference Snow Index, *Remote Sensing of Environment journal*, No. 89, PP. 351-360.