سنجش از دور و GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.۱۱, No. ۲, Summer ۲۰۱۹

۷۹-۹۲

کاربرد مدل SRM و داده‌های ماهواره‌ای MODIS در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز تکاب)

زهرا همتی[۱*]، کریم سلیمانی[۲]، میرحسن میربعقوب‌زاده[۳]

۱. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. استاد گروه آبخیزداری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵

چکیده

حوضه آبخیز تکاب، یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبخیز دریاچه ارومیه است. این حوضه آبخیز، کاملا مرتفع و کوهستانی بوده و رواناب ناشی از ذوب برف آن، اهمیت بسیار زیادی دارد. تجمع برف در ماه‌های زمستان یک سال، در ماه‌های بهار سال بعدی پراهمیت تلقی می‌شود و آب حاصل از ذوب برف، برای تاسیسات آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری که سیلاب‌های قابل توجهی را در زمانی که ذوب برف با بارندگی گرم بهاره همراه باشد، به‌وجود می‌آورد. بنابراین پیش‌بینی ذوب برف، لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد و بدون در نظر گرفتن این عامل مدیریت منابع و مخازن و برنامه‌ریزی منابع آبی و هیدرولوژی رودخانه‌ها میسر نخواهد بود. برای شبیه‌سازی جریان در حوضه آبخیز تکاب از مدل رواناب ذوب برف SRM، از سال‌های آبی ۸۳-۸۴ و برای اعتبارسنجی آن از سال‌های آبی ۸۴-۸۵ استفاده شد. با توجه به اینکه تصاویر سنجنده‌ی MODIS از قدرت تفکیک زمانی مناسب در برف‌سنجی برخوردار هستند، برای برآورد سطح تحت پوشش برف از این تصاویر استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق، نشان داد که استفاده از نقشه‌های پوشش برفی به‌دست آمده از تصاویر MODIS در پیش‌بینی رواناب حوضه مفید است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل، قابلیت و توانایی شبیه‌سازی جریان رواناب حاصل از ذوب برف را دارا است. برای ارزیابی مدل از دو شاخص ضریب تعیین و تفاضل حجمی استفاده شده است که در این مطالعه به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۲۷/۸۴ درصد هستند. مقادیر بدست آمده، نشان می‌دهند که مدل در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف این حوضه دقت بالایی دارد و نشانگر قابلیت کاربرد مدل برای حوضه‌های دیگر منطقه است.

کلید واژه‌ها: رواناب، ذوب برف، مدلSRM، MODIS، حوضه‌ی آبخیز تکاب

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ساری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری شماره همراه: ۰۹۳۵۷۶۴۲۱۳۸

Email: he.hemmati.z@gmail.com

۱- مقدمه

برف شکلی از بارش است که به دلیل تاخیر زمانی، بین زمان وقوع آن و زمان تولید رواناب و تغذیه سفره‌ی آب زیرزمینی، رفتار متفاوتی با دیگر شکل‌های بارش دارد(موحد دانش، ۱۳۷۶). ذوب برف در رواناب سطحی و در میزان نفوذ به‌صورت ضمنی منظور می‌شود و از جمله پارامترهایی است که اندازه‌گیری مستقیم آن در یک سطح وسیع امکان‌پذیر نیست. زیرا نقاط مرتفع که بیشتر در معرض بارش برف هستند، از امکانات دسترسی کمتری برخوردارند. از این‌رو باید با فرمول‌بندی عوامل موثر بر ذوب و انرژی محیط که صرف ذوب می‌شود، میزان ذوب را محاسبه کرد (حبیب‌نژاد روشن و میریعقوب زاده، ۱۳۹۳). به این منظور، مدل‌های متعددی برای ذوب نقطه‌ای و ذوب حوضه‌ای ارائه شده است، که هر کدام تحت شرایط خاص واسنجی می‌شود. در بین این مدل‌ها، مدل شبیه‌ساز جریان رواناب حاصل از ذوب برف SRM[1] به صورت گسترده جهت شبیه‌سازی جریان و همچنین پیش‌بینی رواناب مورد استفاده قرار گرفته است (Rango and Martinec,1981).

Paudel and Andersen (2011)، نقشه‌های پوشش برفی تصاویر سنجنده MODIS، با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر را برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی مناسب برشمردند، چرا که هیچ ایستگاه اندازه‌گیری زمینی داده‌های برف در منطقه نپال در دسترس نیست. JamilBut and Bilal (2011)، در حوضه‌ی آبخیز ایندس[2] در شمال پاکستان مدل SRM را به‌منظور شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف، در سال‌های آبی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ به‌کار بردند و نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نشان داد این مدل با سطح همبستگی ۹۵٪ به‌خوبی رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی می‌کند. Tahir et al(2011) در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی‌هانزا[3] به شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM و تصاویر سنجنده‌ی MODIS پرداختند. ایشان با توجه به تاثیر اخیر تغییرات آب‌وهوایی، در کاهش میزان بارش این حوضه بر شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف به‌منظور مدیریت منابع آبی تاکید داشتند. نتایج نشان داد مدل SRM، مدلی کارآمد است، هم‌چنین استفاده از این مدل تحت سناریوهای آینده تغییر آب‌وهوا دو برابر شدن رواناب در فصل تابستان را تا سال ۲۰۷۵ نشان می‌دهد. Trent et al (2012)، با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در حوضه رودخانه‌ی مرسد[4] کالیفرنیا، مناطقی که بیشترین حساسیت به ذوب برف را داشتند مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که مدل‌ها و داده‌ها به‌ویژه داده‌هایی که از سطح پوشیده از برف روزانه تصاویر ماهواره‌ای در دسترس هستند، می‌توانند در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف مورد استفاده قرار گیرد. Rittger et al (2013)، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS که در حال حاضر، به‌طور گسترده در پایش پوشش برفی مورد استفاده قرار می‌گیرد را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که توصیف پوشش برفی به وسیله ترکیب طیفی بسیار دقیق‌تر از روش‌های تجربی است.Karimi et al (2016)، نتایج ذوب برف شبیه‌سازی شده، توسط هر دو مدل SRM و WetSpa[5] در حوضه هرو-دهنو، واقع در استان لرستان را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. مشخص شد که مدل WetSpa رواناب حاصل از ذوب برف را بسیار موثرتر از مدل SRM در این حوضه با ضریب نش-ساتکلیف ۰.۵۴ و ۰.۵۳ به ترتیب برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی شبیه‌سازی می‌کند، در حالی‌که ضریب نش-ساتکلیف برای مدل WetSpa در دوره‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب ۰.۷۷ و ۰.۸ تعیین شد. Qian_Yang et al (2016)، طی تحقیقی با

1. Snowmelt Runoff Model
2. Indus
3. Hunza
4. Merced
5. Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere

عنوان کاربرد مدل رواناب ذوب برف در حوضه‌ی سونوهوایانگ با استفاده از داده‌های سنجش از دور MODIS به این نتیجه رسیدند که میزان اوج رواناب در اواسط آوریل و اواخر ماه می، اتفاق می‌افتد. ضریب تعیین و انحراف معیار به ترتیب ۰.۵۷ و ۲۵/۵۹ درصد تخمین زده شد و اشتباهات مدل، عمدتا به‌دلیل نادیده گرفتن روند فیزیکی ذوب برف و عدم وجود مواد کافی در محل است. میریعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۰) رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌ی آبخیز سد کرج را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SRM مدل‌سازی کردند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد مدل SRM در حوضه‌ی آبخیز سد کرج با ضریب تبیین ۰/۴۷ و ۰/۹۴ به‌خوبی قادر به مدل کردن فرایند رواناب حاصل از ذوب برف است. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲)، داده‌های پوشش برف سنجنده‌ی MODIS ماهواره‌های Terra و Aqua را برای تهیه نقشه‌های پوشش برف ترکیبی در استان آذربایجان‌غربی در دوره ی ۳ ماهه زمستان سال ۱۳۸۳ به کار بردند. نتایج نشان داد لایه‌های ترکیبی تولید شده، درصد پوشش ابر را به‌طور میانگین در طول دوره‌های آماری، حدود۱۳/۷۲ ٪ نسبت به داده‌های ماهواره‌ی Terra و ۱۴/۲۱ ٪ نسبت به داده‌های ماهواره‌ی Aqua کمتر برآورد کرده است. همچنین، نقشه‌های پوشش برف تهیه شده به روش ترکیبی، درصد پوشش برف را به طور میانگین حدود ۸/۹۴٪ نسبت به داده‌های ماهواره‌ی Terra و ۷/۳۰ ٪ نسبت به داده‌های ماهواره‌ی Aqua بیشتر برآورد کرده است. رشیدی و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه‌ی آبریز دربند سملقان با استفاده از مدل SRM و اطلاعات برف به‌دست آمده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS رواناب حاصل از ذوب برف را مورد شبیه‌سازی قرار دادند که نتایج کاربرد مدل، شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی را نشان داد به‌طوری که در آن مقادیر دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی به‌ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۳/۳- درصد برای سال نخست و ۰/۷۲ و ۰/۳ برای سال بعدی است. مقادیر به‌دست آمده، دقت بالای مدل را در برآورد رواناب ذوب برف حوضه مورد مطالعه، نشان می‌دهد و بیانگر قابلیت کاربرد مدل برای حوضه‌های دیگر منطقه است.

۲- روش کار

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

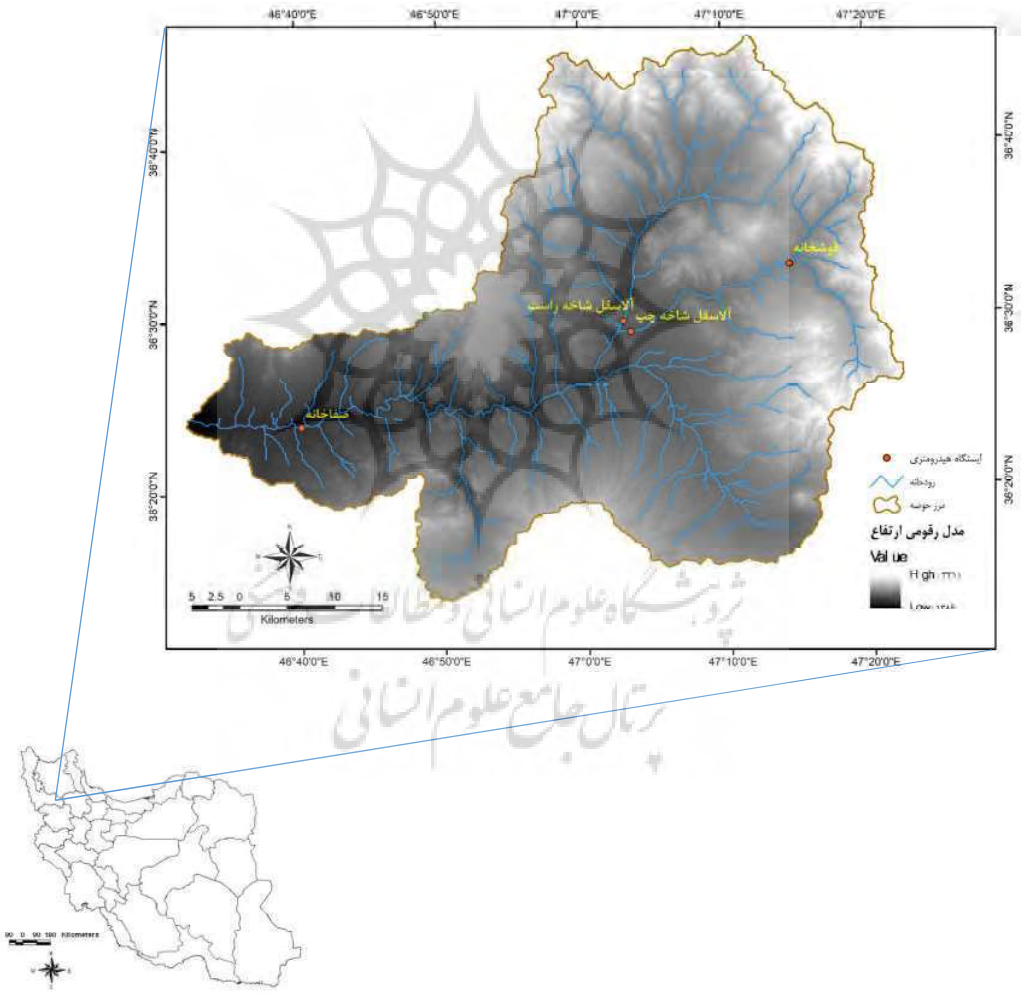
رودخانه‌ی زرینه رود که به‌نام محلی جغاتو مشهور است، یکی از مهم‌ترین و طویل‌ترین رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه است. این حوضه‌ی آبخیز در مختصات جغرافیایی ۴۵ – ۴۵ تا ۱۵ – ۴۵ طول شرقی و ۳۰ – ۳۵ تا ۴۵ – ۳۶ عرض شمالی گسترده شده است. طول رودخانه زرینه‌رود حدود ۳۰۰ کیلومتر بوده و حوزه آبریز آن بیش از ۱۱۰۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه حوضه‌ی آبخیز تکاب، یک قسمت از حوضه‌ی آبخیز زرینه رود است که در شرق حوضه‌ی زرینه‌رود به مختصات جغرافیایی ۱۳-۳۶° تا ۴۶-۳۶° عرض شمالی و ۳۱-۴۶° تا ۲۲-۴۷° است که شکل شماره (۱) نمایی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲- داده‌ها

۲-۲-۱- سنجنده‌ی MODIS

از میان ماهواره‌های هواشناسی خورشید آهنگ مدار قطبی، با هدف ایجاد نقشه‌های برفی، در مقایسه با سایر سنجنده‌ها مانند NOAA، MODIS هم قدرت تفکیک مکانی قابل قبول و هم قدرت بازنگری زمانی سریع به‌همراه تنوع زیادی از باندهای طیفی خاص را عرضه نموده است. این سنجنده بر روی اولین ماهواره NASA EOS به‌نام Terra نصب و در ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. هم‌چنین این سنجنده بر روی ماهواره Aqua، که در ۳ می ۲۰۰۲ در مدار مربوطه قرار گرفت، نیز کار گذاشته شده است. سنجنده‌ی MODIS دارای ۳۶ باند است که ۱۱ باند آن در محدوده‌ی نور مرئی، ۹ باند آن در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک، ۶ باند در مادون قرمز حرارتی، ۴ باند در محدوده ی مادون

قرمز موج کوتاه و ۶ باند در محدوده‌ی مادون قرمز امواج بلند، تنظیم شده است. هم‌چنین در فناوری سنجنده‌ی MODIS، باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک نیز در محدوده‌ی طیف الکترومغناطیس قرار گرفته است. قدرت تفکیک باندهای سنجنده متفاوت بوده و بین ۲۵۰ متر و ۱۰۰۰ متر در نوسان است (میریعقوب زاده، ۱۳۸۶). از بین ۳۶ باند طیفی این سنجنده، داده‌های باند ۴ و ۶ که به‌علت قرار گرفتن در محدوده‌ی طیفی مادون قرمز میانی برای تفکیک ابر و برف اهمیت بیشتری دارند، مورد استفاده قرار گرفته است. جدول (۱)، مشخصات باندهای سنجنده و جدول (۲) کدهای سنجنده‌ی MODIS را نشان می‌دهد. در این تحقیق به منظور برآورد سطح پوشش برف از ترکیبات MOD10A1 استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول۱. مشخصات باندهای سنجنده‌ی MODIS

شماره‌ی باند	پهنای باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	۶۲۰-۶۷۰	۲۵۰
۲	۸۴۱-۸۷۶	۲۵۰
۳	۴۵۹-۴۷۹	۵۰۰
۴	۵۴۵-۵۶۵	۵۰۰
۵	۱۲۳۰-۱۲۵۰	۵۰۰
۶	۱۶۲۸-۱۶۵۲	۵۰۰
۷	۲۱۰۵-۲۱۵۵	۵۰۰
۸	۴۰۵-۴۲۰	۵۰۰
۹	۴۳۸-۴۴۸	۵۰۰
۱۰	۴۸۳-۴۹۳	۵۰۰
۱۱	۵۲۶-۵۳۶	۵۰۰
۱۲	۵۴۶-۵۵۶	۵۰۰
۱۳	۶۶۲-۶۷۲	۵۰۰
۱۴	۶۷۳-۶۸۳	۵۰۰
۱۵	۴۳-۷۵۳	۵۰۰
۱۶	۸۶۲-۸۷۷	۵۰۰
۱۷	۸۹۰-۹۲۰	۵۰۰
۱۸	۹۳۱-۹۴۱	۵۰۰
۱۹	۹۱۵-۹۶۵	۵۰۰
۲۰	۳/۶۶۰-۳/۸۴۰	۱۰۰۰
۲۱	۳/۹۲۹-۳/۹۸۹	۱۰۰۰
۲۲	۳/۹۲۹-۳/۹۸۹	۱۰۰۰
۲۳	۴/۰۲۰-۴/۰۸۰	۱۰۰۰
۲۴	۴/۴۳۳-۴/۴۹۸	۱۰۰۰
۲۵	۴/۴۸۲-۴/۵۴۹	۱۰۰۰
۲۶	۱/۳۶۰-۱/۳۹۰	۱۰۰۰
۲۷	۶/۵۳۵-۶/۸۹۵	۱۰۰۰
۲۸	۷/۱۷۵-۷/۴۷۵	۱۰۰۰
۲۹	۸/۴۰۰-۸/۷۰۰	۱۰۰۰
۳۰	۹/۵۸۰-۹/۸۸۰	۱۰۰۰
۳۱	۱۰/۷۸۰-۱۱/۲۸۰	۱۰۰۰
۳۲	۱۱/۷۷۰-۱۲/۲۷۰	۱۰۰۰
۳۳	۱۳/۱۸۵-۱۳/۴۸۵	۱۰۰۰
۳۴	۱۳/۴۸۵-۱۳/۷۸۵	۱۰۰۰
۳۵	۱۳/۷۸۵-۱۴/۰۸۵	۱۰۰۰
۳۶	۱۴/۰۸۵-۱۴/۳۸۵	۱۰۰۰

جدول۲. مشخصات کدهای سنجنده‌ی MODIS

۰	بدون اطلاعات
۱	بدون تصمیم گیری
۱۱	شب
۲۵	بدون پوشش برفی
۳۷	دریاچه
۵۰	پوشش ابری
۲۰۰	پوشش برفی
۲۵۵	زمین

۲-۲-۲- مدل رواناب حاصل از ذوب برف SRM

ساختار مدل رواناب ذوب برف

مدل شبیه‌سازی ذوب برف SRM، که بر اساس شاخص درجه روز عمل می‌کند اولین بار توسط مارتینک در سال ۱۹۷۵ به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب روزانه حاصل از ذوب برف در حوضه‌های کوچک کوهستانی رشته کوههای آلپ ارائه شد. مدل، روی حوضه‌هایی به وسعت ۱۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع آزمایش شده و نتایج رضایت‌بخشی داشته است (میریعقوب‌زاده، ۱۳۸۶؛ Rango and Martinec ۱۹۸۱).

در این مدل، پوشش برفی حوضه با استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای و یا استفاده از برداشت زمینی تعیین می‌شود و ریزش برف و باران نیز با استفاده از دمای آستانه تفکیک می‌شود. در حوضه‌های کوهستانی و فاقد اطلاعات زمینی درباره‌ی پوشش برف می‌توان از این مدل استفاده کرد. هم‌چنین این مدل برای اهداف دیگر نیز می‌تواند به‌کار برده شود: الف) شبیه‌سازی جریان‌های روزانه در فصل ذوب برف در یک سال یا توالی از سال‌ها، ب) پیش‌بینی رواناب فصلی و کوتاه مدت و ج) استفاده برای کارهای جدید ارزیابی اثر بالقوه تغییر آب و هوا بر پوشش برفی فصلی و رواناب در سال‌های اخیر (Martinec et al, 2008).

ساختار اصلی مدل در حالت نیمه توزیعی به‌صورت رابطه ریاضی زیر بنا شده است (Martinec and Rango, 2008).

رابطه (۱)

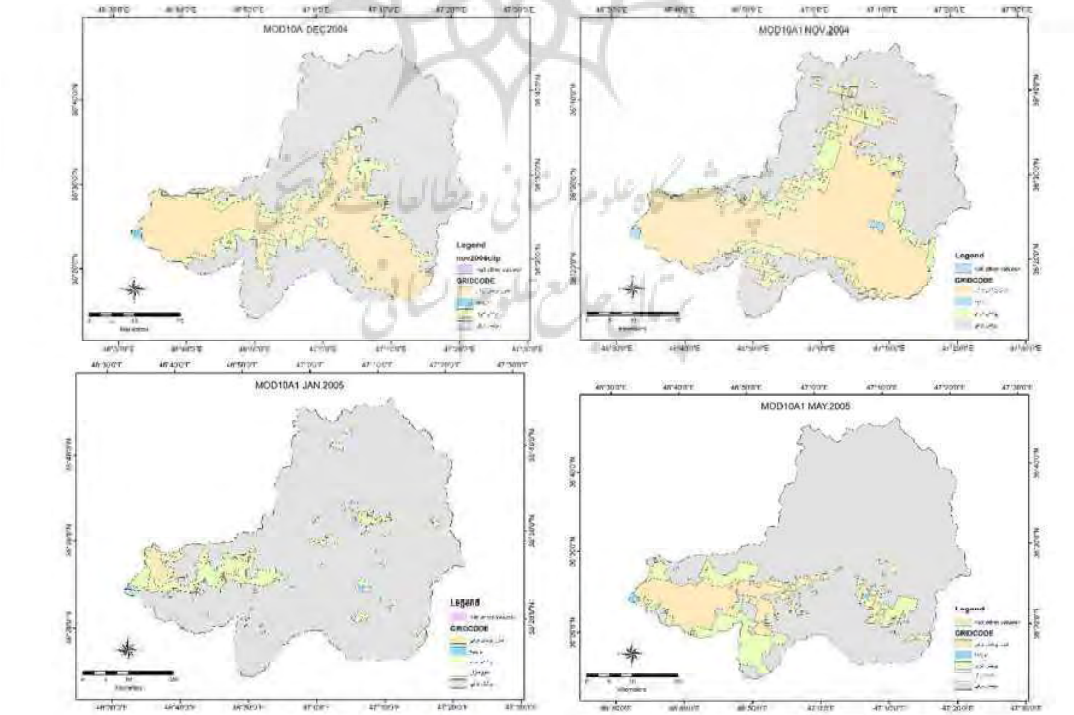
$$Q_{n+1} = [c_{sn}.\alpha_n(T_n + \Delta T_n)S_n + c_{rn}P_n]\frac{A.10000}{86400}(1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1}$$

که در این معادله:

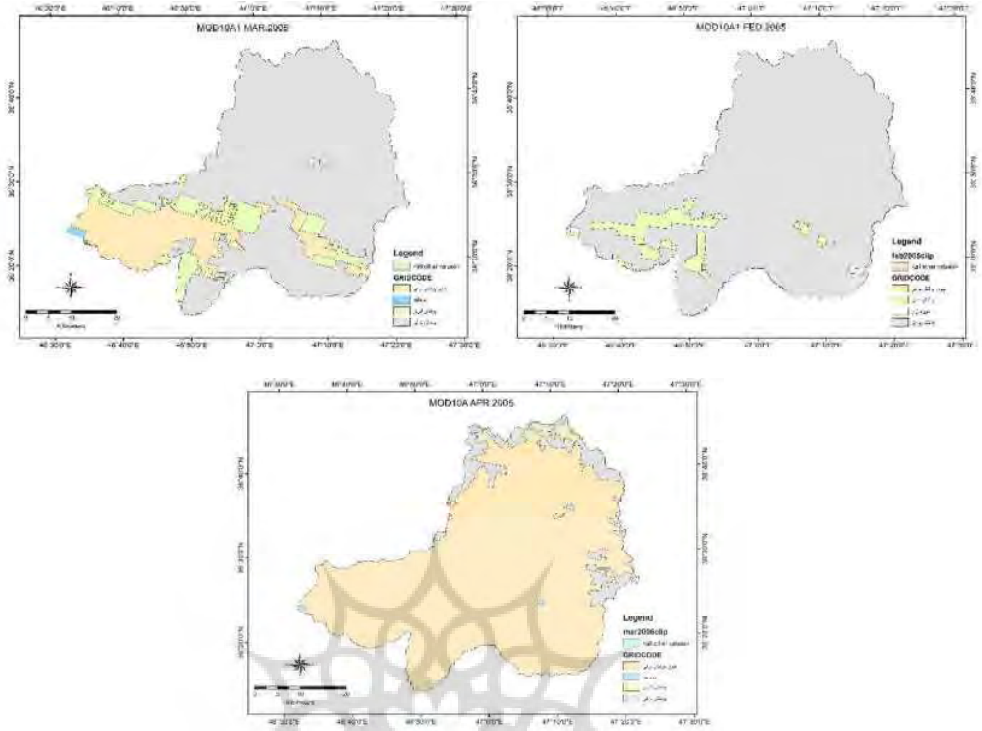
Q: میزان آبدهی متوسط روزانه (m^3 / s)، C: ضریب رواناب که بیان کننده‌ی افت‌ها است و تحت عنوان نسبت رواناب به بارندگی تعریف می شود، C_s: اشاره به ذوب برف و C_r اشاره به بارندگی دارد، α: فاکتور درجه روز است و نشان دهنده‌ی عمق حاصل از ذوب برف است که در یک درجه روز ایجاد می شود ($cm.°C^{-1}.d^{-1}$)، T: تعداد درجه روزها ($°C.d$)، S: نسبت سطح پوشیده از برف به مساحت کل، P: میزان بارندگی که در تولید رواناب مشارکت دارد (cm). به‌این منظور از یک مقدار فرضی دمای حد آستانه T_{CRIT} برای تعیین مشارکت بارندگی در تولید رواناب استفاده می‌شود، n: توالی روزها در طول دوره‌ی محاسبه‌ی آبدهی، ΔT: تعدیل دما با استفاده از گرادیان دما به متوسط ارتفاع حوضه بر حسب $C°.d$(سانتیگراد-روز)، K: ضریب فروکش جریان، A: مساحت ناحیه‌ی انتخابی (Km^2).

برآورد سطح تحت پوشش برف

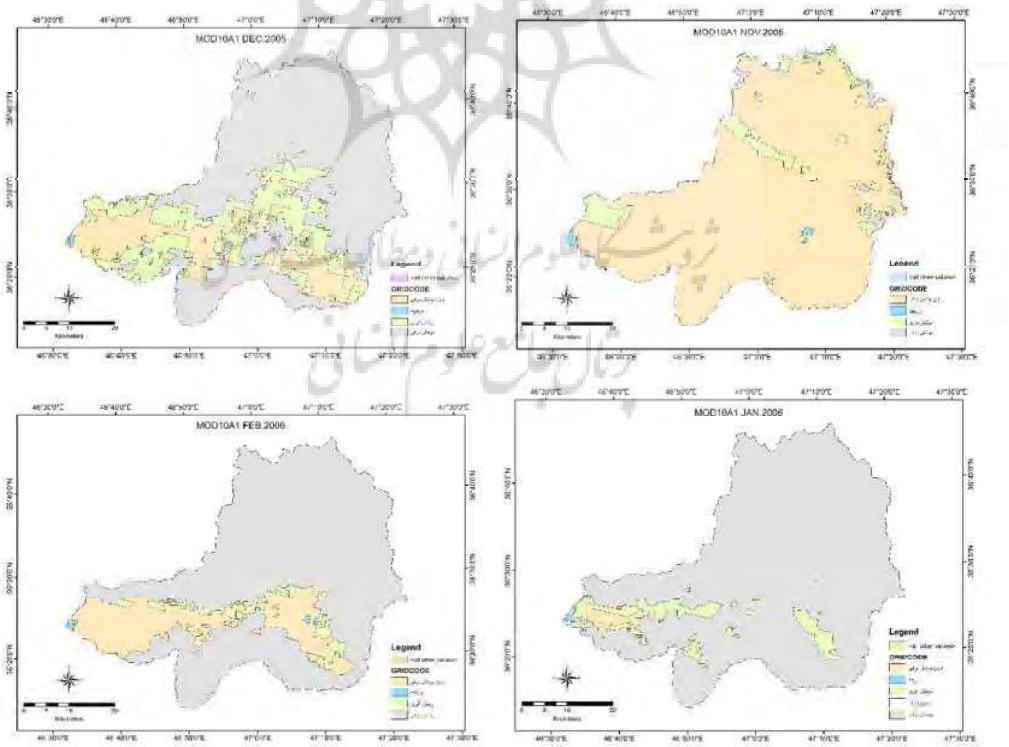
به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM در حوضه‌ی زرینه رود برای سال ۸۴-۸۳، سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر روزانه سنجده‌ی MODIS که قدرت تفکیک مکانی قابل قبول و قدرت بازنگری زمانی سریع به‌همراه تنوع زیادی از باندهای طیفی خاص را عرضه می‌نماید، تخمین زده شد. برای این منظور، پس از جمع‌آوری تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز، به‌منظور افزایش دقت تفکیک پدیده‌ها برای تصحیح مقیاس تصویر و زمین مرجع کردن آن، اصلاحات ژئومتری روی تصاویر ماهواره‌ای در محیط ArcMap صورت گرفت. سپس مرحله‌ی تشخیص و جداسازی برف با توجه به خصوصیات طیفی برفی و بعد از انجام این مراحل مساحت سطح پوشش برف برای هر روز به‌دست آمد. شکل‌های (۲) و (۳) نمونه‌هایی از تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده را نشان می‌دهد.



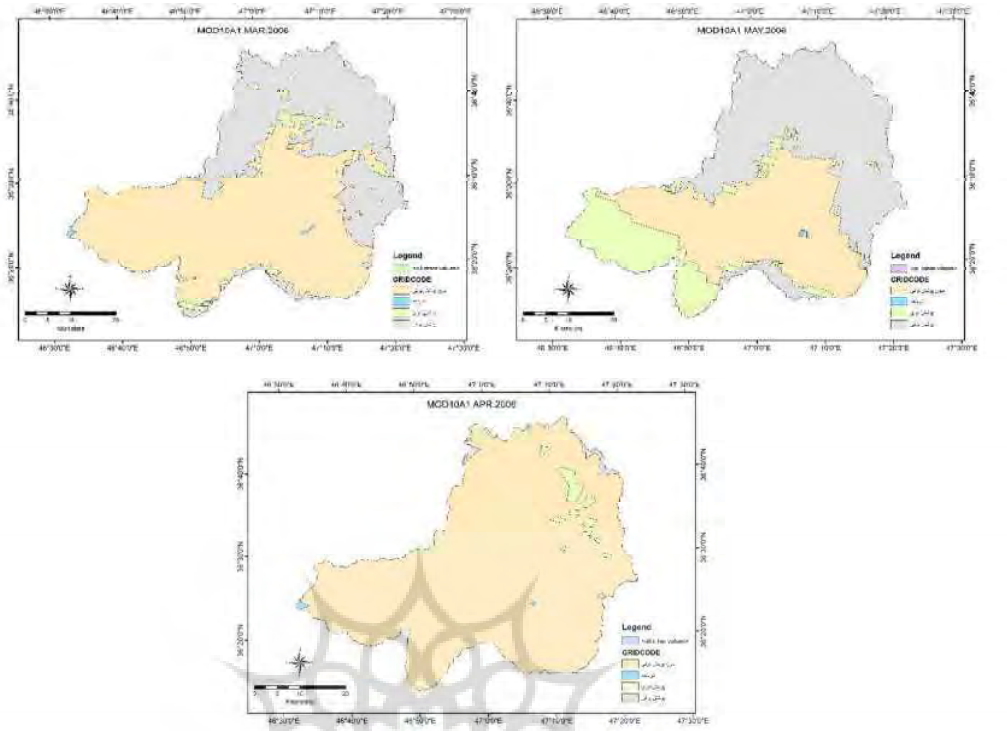
ادامهٔ شکل ۲. تفکیک برف، ابر و زمین در تصاویر ماهواره ای سنجنده‌ی MODIS در سال آبی ۸۵-۸۴



ادامهٔ شکل ۲. تفکیک برف، ابر و زمین در تصاویر ماهواره ای سنجنده‌ی MODIS در سال آبی ۸۵-۸۴



شکل ۳. تفکیک برف، ابر و زمین در تصاویر ماهواره ای سنجنده‌ی MODIS در سال آبی سال آبی ۸۶-۸۵



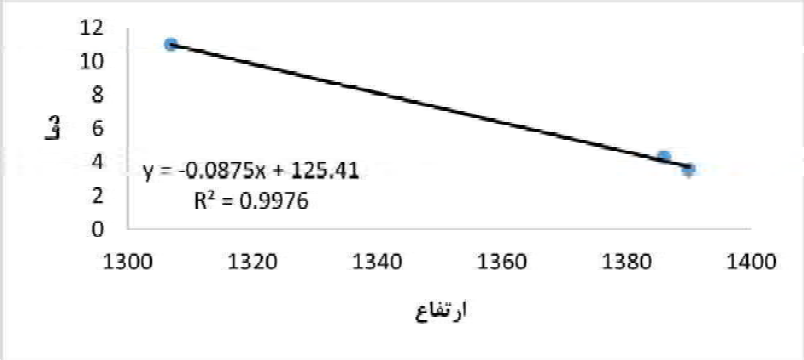
ادامهٔ شکل ۳. تفکیک برف، ابر و زمین در تصاویر ماهواره ای سنجنده‌ی MODIS در سال آبی سال آبی ۸۶-۸۵

مقادیر بارش روزانه با استفاده از دبی ایستگاه صفاخانه و برای دما، بعد از انتخاب دوره مشترک آماری به‌دلیل در دسترس نبودن داده‌های دمایی ایستگاه‌های موجود در داخل حوضه، از ایستگاه‌هایی که در خارج حوضه واقع شده بودند، استفاده و اقدام به درون یابی و تبدیل دمای نقطه‌ای به ارتفاع موردنظر گردید. با توجه به این‌که دما با ارتفاع تغییر می‌نماید و به طریقی این تحقیق وجود ارتباط مستقیم تغییرات دما با تغییرات ارتفاع را بیان می‌کند، اقدام به انتخاب حداقل ۳ درجه-روز به‌صورت تصادفی برای هر ماه به‌منظور ایجاد ارتباط و در نتیجه تبدیل دمای نقطه‌ای به ارتفاع موردنظر شد که از این بین روابطی که بالاترین همبستگی را داشتند، برای ماه مورد نظر انتخاب شد. جدول (۳)، مشخصات ایستگاه‌های دماسنجی مورد استفاده و شکل شماره‌ی (۴) گرادیان‌های استخراجی برای مهر ماه را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های تبخیرسنجی مورد استفاده در تحقیق

نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه	طول ایستگاه	عرض ایستگاه
بوکان	۱۳۰۷	۴۵ ۴۳	۳۶ ۴۵
مهاباد	۱۳۸۶	۴۶ ۱۲	۳۶ ۳۲
شاهین‌دژ	۱۳۹۰	۴۶ ۳۱	۳۶ ۳۷

مقادیر دبی روزانه با استفاده از آمار دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری صفاخانه، آلاسقل شاخه راست، آلاسقل شاخه چپ و قوشخانه سفلی برای منطقه‌ی مورد مطالعه به مدل وارد شد. هم‌چنین در مورد پارامترهای ورودی به مدل، مقادیر ضریب رواناب برف، باران، افت محیطی دما و فاکتور درجه-روز به‌صورت متوسط فصلی و دمای بحرانی و زمان تاخیر برای تمام حوضه در نظر گرفته‌شده و سطح مشارکت کننده در بارش به‌صورت روزانه به مدل وارد شد.



شکل۴. رابطه‌ی گرادیان بین ایستگاه‌های تبخیرسنجی - مهر ۸۴

برای تعیین ضریب فروکش جریان، از رابطه ارائه شده توسط Martinec and Rango به‌صورت $K_{n+1} = xQ_n^{-y}$ استفاده شد. در نهایت به‌منظور بررسی نقش پوشش برف در تغییرات دبی رودخانه در حوضه‌ی آبخیز تکاب پس از استخراج و آماده‌سازی متغیرها و پارامترهای فیزیکی حوضه، این اطلاعات به مدل وارد و فرآیند شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف به‌صورت روزانه در مدل SRM مورد بررسی قرار گرفت.

ارزیابی کارآیی مدل SRM

این مدل، جهت ارزیابی دقت جریان شبیه‌سازی شده از یک معیار کیفی مشاهده تطابق هیدروگراف‌ها و از دو معیار صحت شامل ضریب تبیین و درصد تفاضل حجم رواناب استفاده می‌کند.

مقدار ضریب تبیین R^2 مطابق رابطه زیر است:

رابطه (۲) $$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_{i'})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2}$$

که در آن: Q_o: دبی روزانه اندازه‌گیری شده؛ Q_e: دبی روزانه محاسبه شده

درصد تفاوت حجم

درصد تفاوت حجم رواناب، D_V طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۳) $$D_V = \frac{V_R - V_R'}{V_R} \times 100$$

که در آن:

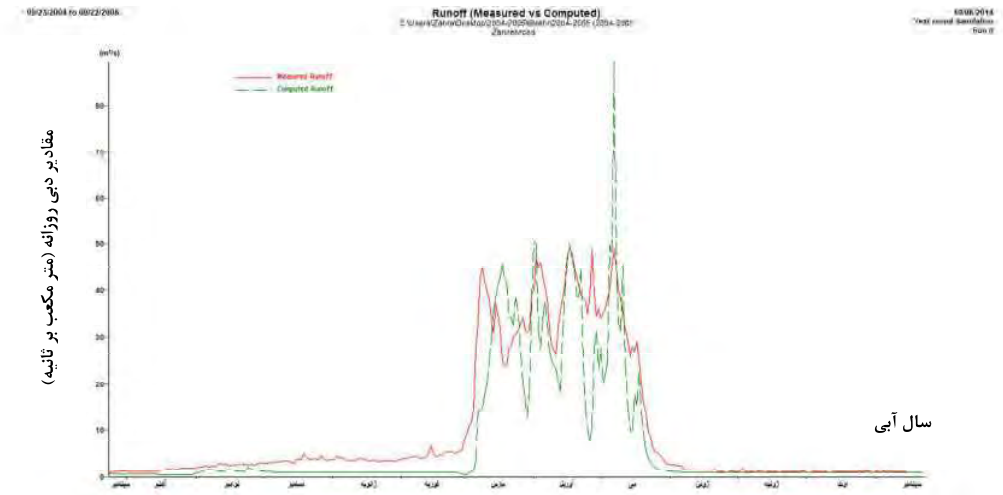
V_R: حجم رواناب اندازه‌گیری شده فصلی یا سالانه؛

V_R': حجم رواناب محاسبه شده فصلی یا سالانه

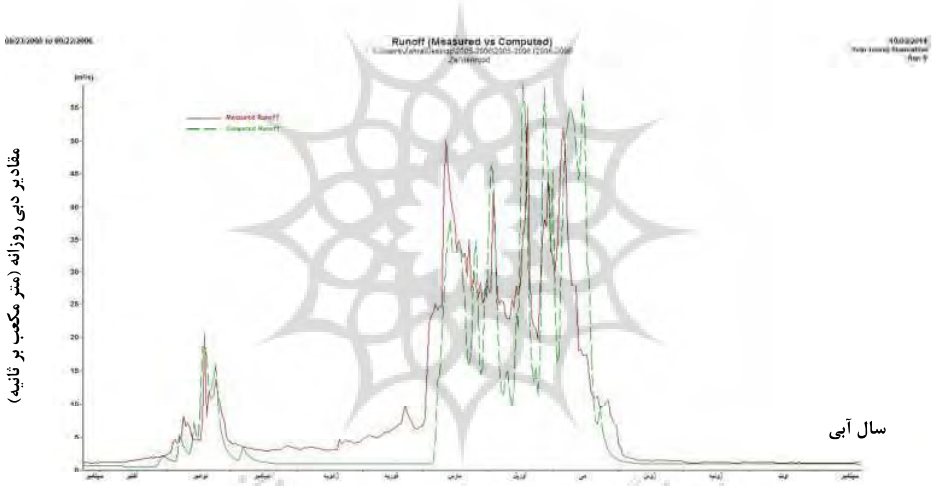
۳- نتایج و بحث

فرآیند شبیه‌سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوضه‌ی آبخیز تکاب با محاسبه‌ی پارامترها و فاکتورهای مورد نیاز در سال آبی ۸۴-۸۳ صورت گرفته است که نتیجه‌ی حاصل از این شبیه‌سازی به‌صورت گرافیکی در شکل(۵) و (۶) نشان داده شده است. پارامترهای ارزیابی که توسط مدل جهت ارزیابی دقت جریان شبیه‌سازی مورداستفاده قرار گرفته است، ضریب تبیین و تفاضل حجمی است. این مقادیر برای دوره‌ی شبیه‌سازی به‌ترتیب ۷۵ ٪ و ۲۷/۸۴ ٪ به‌دست آمده است. مقادیر فوق دقت نسبتا بالای مدل را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف را برای حوضه‌ی مذکور نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی روزانه مشاهده می‌شود مقادیر اوج رواناب در ماه مارس (اسفند)، آوریل (فروردین) و اوایل می (اردیبهشت) به‌دنبال بارش باران به‌وقوع پیوسته است، زیرا غالبا در ارتفاعات حوضه‌های برف‌گیر، ذوب برف در اثر بارش باران بیشتر می‌شود و اوج رواناب در زمان بارش نسبتا شدید باران بر روی حوضه رخ خواهد داد.



شکل ۵. شبیه‌سازی جریان در سال آبی ۸۴-۸۳ حوضه‌ی آبخیز تکاب



شکل ۶. اعتبارسنجی جریان در سال آبی ۸۵-۸۴ حوضه‌ی آبخیز تکاب

با توجه به دو هیدروگراف روزانه‌ی سال‌های آبی ۸۴-۸۳ و ۸۶-۸۵ می‌توان نتیجه گرفت که عمده جریان حوضه‌ی آبخیز تکاب ناشی از ذوب برف است. هم‌چنین اثر تاخیری برف بر روی جریان حوضه نیز در هیدروگراف‌های خروجی مشاهده می‌شود که لزوم مدیریت منابع آب این حوضه را در کاهش خسارت‌های ناشی از سیل ذوب برف در اوایل فصل ذوب و در طی فصل بهار با بارش باران در روزهای گرم این فصل که دمای قطرات باران بالا می‌باشد را گوشزد می‌نماید.

جدول ۴. ارزیابی مقادیر جریان شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل در سال‌های آبی ۸۴-۸۳ و ۸۵-۸۴ در حوضه‌ی آبخیز تکاب

سال آبی	Q مشاهداتی (m^3/s)	Q محاسباتی (m^3/s)	q مشاهداتی (m^3)	q محاسباتی (m^3)	R^2	Δv %
۸۴-۸۳	۹/۵۹۸	۶/۹۲۶	۳۰۲/۶۹۵	۲۱۸/۴۱۸	۰/۷۵۳	۲۷/۸۴
۸۶-۸۵	۸/۹۲۹	۷/۵۲۷	۲۸۱/۵۹۸	۲۳۷/۳۸۴	۰/۶۴۰۳	۱۵/۷

۴- نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج حاصل از مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب ناشی از بارندگی و ذوب برف در حوضه‌ی آبخیز تکاب با داده‌های مشاهداتی طی سال‌های ۸۴-۸۳ و ۸۶-۸۵ حاکی از دقت قابل قبول مدل با ضریب همبستگی (۷۵ ٪ و ۶۴ ٪) است.

در ارتفاعات، ذوب برف و در مناطق کم ارتفاع بارندگی، عامل اصلی ایجاد رواناب است که مدل با توجه به دمای بحرانی قادر به تفکیک بارش باران از برف است. مدل SRM در حوضه‌های کوهستانی مختلفی که وسعت آن‌ها از ۰/۷۶ تا ۱۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع و محدوده ارتفاعی ۳۰۵ تا ۷۶۹۰ متر متغیر است، به‌کار برده شده است که در تحقیق حاضر ارتفاع منطقه ۲۳۴۸ متر و وسعت ۲۴۳۰/۷۱ با ضریب تبیین ۰/۷۵ ٪ و اختلاف حجمی ۲۷/۸۴ ٪ به‌دست آمد.

مدل SRM علاوه بر محاسبه رواناب رودخانه، قادر است رواناب خالص ذوب برف را در روزهای مورد نظر محاسبه کند. نتایج نشان می‌دهد که رواناب حاصل از ذوب برف با افزایش دما و سطح پوشش برف زیادتر شده است. مدل SRM در حوضه‌های برف‌گیر و فاقد داده‌های زمینی و آمار برف‌سنجی با استفاده از سطح تحت پوشش برف که از اطلاعات ماهواره‌ای قابل دسترس هستند، رواناب حاصل از ذوب برف و باران را با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کند، این مسئله با توجه به این‌که در ایران در اکثر حوضه‌ها برداشت داده‌های برف‌سنجی صورت نمی‌پذیرد، یک مزیت بسیار عالی است. به‌علاوه، مدل در شبیه‌سازی جریان روزانه، کارایی خوبی داشته، به‌طوریکه در حوضه‌ی مورد مطالعه دبی روزانه را نسبت به مشاهده‌ای در طول یک سال آبی با ضریب همبستگی ۰/۷۵ و حجم جریان روزانه را در طول این سال با اختلاف ۲۷/۸۴ ٪ برآورد کرده است که مقدار این پارامترها در شبیه‌سازی که در حوضه ماسا بلاتن توسط (Schaper et al,2000) صورت گرفت، به‌ترتیب ۰/۶۴ و ۳۱/۶ ٪ تخمین زده شد. مدل SRM، ابزار مناسبی برای محاسبه رواناب برف حوضه‌های کوهستانی با استفاده از داده‌های هواشناسی و سنجش از دور است که در آن هیچ‌گونه آمار و اطلاعاتی از وضعیت برف وجود ندارد، نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیقات میریعقوب‌زاده و قنبرپور (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از مدل SRM، به آسانی و با دقت نسبتا زیادی می‌توان رواناب حاصل از ذوب برف را برآورد کرد. آن‌چه در این زمینه دارای اهمیت فراوان است، وجود و دقت اطلاعات اولیه مدل است که باعث افزایش دقت کار می شود. در این زمینه جمیل بات وبیلال (۲۰۱۱)، در حوضه‌ی آبخیز ایندس (Indus) در شمال پاکستان و بیرودیان و جندقی (۱۳۸۴) در حوضه‌ی آبخیز برف‌گیر زیارت، به‌منظور شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف مدل SRM را مورد استفاده قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که برای برآورد دبی و سیلاب‌های ناشی از ذوب برف می‌توان با اطمینان بیشتری از مدل یاد شده استفاده کرد. همچنین میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌ی آبخیز سد کرج را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SRM مدل‌سازی کردند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل SRM در حوضه‌ی آبخیز سد کرج با ضریب تبیین ۰/۴۷ و ۰/۹۴ به‌خوبی قادر به مدل کردن فرایند رواناب حاصل از ذوب برف است. با توجه به دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی که در مطالعه‌ی حاضر به‌ترتیب برابر ۰/۷۵ ٪ و ۲۷/۸۴ ٪ به‌دست آمد، نشان از تطابق نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات فوق الذکر دارد.

ریتگر و همکاران (۲۰۱۳) و یوکی یانگ و همکاران (۲۰۱۳) کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS که در حال حاضر به‌طور گسترده در پایش پوشش برفی مورد استفاده قرار می‌گیرد را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که توصیف پوشش برفی به‌وسیله ترکیب طیفی بسیار دقیق‌تر از روش‌های تجربی است و با به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، بهبود قابل توجهی در پیش‌بینی برف حاصل می‌آید. هم‌چنین قنبرپور و

همکاران (۲۰۰۷) در حوضه‌ی آبخیز کارون و میریعقوب زاده و قنبرپور (۱۳۸۸) در حوضه‌ی آبخیز سد کرج و هراز در مطالعاتشان نقشه‌های سطوح پوشیده شده از برف را با استفاده از داده‌های دورسنجی استخراج نمودند و به این نتیجه رسیدند در مناطقی که امکان اندازه‌گیری مستقیم برف سنجی وجود ندارد، روش‌های غیرمستقیم نتایج امیدوارکننده‌ای را به‌همراه خواهند داشت. نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر نشان داد که استفاده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS و یا ماهواره‌های مشابه، راه حل مفیدی برای پایش زمانی و مکانی پوشش برف برای حوضه‌های کوهستانی است و استفاده از محصولات فوق برای مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی و آبشناسی بسیار مهم است. این موضوع در رابطه با محصولات سنجنده‌ی MODIS به علت دارا بودن قدرت تفکیک مکانی مناسب از جمله اهم امتیازات این سنجنده است که می‌تواند در روند برآورد سطح پوشش برف و برآورد مقادیر آب معادل برف بسیار سودمند و موثر باشد.

۵- منابع

بیرودیان ن.، ن. جندقی، ۱۳۸۴، **برآورد رواناب ذوب برف به وسیله مدل SRM و مقایسه نتایج آن با اطلاعات آبنمود رودخانه در آبخیز زیارت**، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ششم، صص.

حبیب نژاد روشن م. و میریعقوب زاده، م.ح.، ۱۳۹۳، **هیدرولوژی برف**، انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۲۵۴صفحه.

رشیدی م.، حاجی بیگلو، م.، سربازی، م. و قادری،م.، ۱۳۹۶، **برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های آبریز استان خراسان شمالی با استفاده از مدل WinSRM (مطالعه موردی: حوضه آبریز دربند سملقان)**، علوم و مهندسی آبیاری، تابستان ۹۶، دوره ۴۰، شماره دوم، صص ۱۷۱-۱۵۹.

عرفانیان م.، درویش پور، ا. و عبقری، ه.، ۱۳۹۲، **برآورد سطح پوشش برف با ترکیب داده‌های پوشش برف ماهواره‌های Terra و Aqua در استان آذربایجان غربی**، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ۱۰ صفحه.

موحد دانش، ع. ا.، ۱۳۷۶، **مقدمه ای بر هیدرولوژی**، انتشارات عمیدی، جلد دوم، ۴۲۰ صفحه.

میریعقوب‌زاده، م.ح.، ۱۳۸۶، **شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران،صص ۱۷۸.

میریعقوب‌زاده، م.ح. و قنبر پور، م.ر.، ۱۳۸۸، **بررسی دقت تفکیک رقومی پارامترهای ابر، برف و زمین در تصاویر ماهواره ای MODIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز هراز)**، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، زمستان ۱۳۸۸، سال سوم، شماره ۹.

میریعقوب‌زاده، م.ح.، قنبرپور، م.ر. و حبیب نژاد، م.، ۱۳۹۰، **مدلسازی جریان ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل هیدرولوژیکی رواناب حاصل از ذوب برف(مطالعه موردی حوضه آبخیز سد کرج)**، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال هفتم، شماره سوم، صص. ۵۲-۴۰.

Ghanbarpour, M.R., Saghafian, B., Sarvari, M.M. & Abbaspour, K.c., 2007, **Evaluation of Spatial AND Temporal Variability of snow cover in a Large Mountainous Basin in Iran**: Nordic Hydrology, 38: 45-58 pp.

JamilBut, M.& Bilal, M., 2011, **Application of snowmelt runoff model for water resource management**: Hydrological Processes, Article first published on line: 29. APR, DOI: 10. 1002/hypo. 8099. http://onlinelibrary.wiley.com/athens.

Martinec, J., Rango, A. & Raberts, R., 2008, **Snowmelt Runoff Model Users Manual**.

Rittger, k.h., painter, T. & Dozier, J., 2013, **Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS**: Advances in Water Resources, 51 (2013) 367–380.

Tahir, A.A., Chevallier, P., Neppel, A.Y. & Bashir Ahmad, L., 2011, **Modeling snowmelt runoff under climate scenarios in the Hunza River basin, Karakoram Range, Northern Pakistan.**, Original Research Article: Journal of Hydrology, In Press, Corrected Proof, Available online 23 August.

Trent, W., Biggs, T., Whitaker, M., 2012, Critical elevation zones of snowmelt during peak discharges in a mountain river basin: **Journal of Hydrology**, 438–439 (2012) 52–65.

Paudel, K. & Andersen, P., 2011, **Monitoring snow cover variability in an argo pastoral area in the Trans Himalayan region of Nepal using MODIS data with improved cloud removal methodology**: Original Research Article, Remote sensing of Environment, 115(5): 1234-1246 pp.

Rango, A. & Martinec, J., 1981, **Accuracy of snowmelt Runoff Simulation**: Nordic Hydrology, no. 12, 256-274 pp.

Rittger, k.h., painter, T. & Dozier, J., 2013, **Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS**. Advances in Water Resources 51 (2013) 367–380.

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

Schaper, J., Martinec, J. & Seidel, K, 2000, **Distributed Mapping of Snow and Glaciers for Improved Runoff Modeling**, Swiss Federal Institute of Technology ETH, Zurich, Switzerland, 11 pp.

Qian Yang., Shengbo Chen ., Hongjie Xie ., Xiaohua Hao ., Wenchun Zhang, 2016, **Application of snowmelt runoff model (SRM) in upper Songhuajiang Basin using MODIS remote sensing data:** Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International: 16444742.

Akbari, M., Ranaee, E., Mirzakhan, H., Dargahi, A., Jargeh, M., 2017, **Simulation of Snowmelt Runoff Using SRM Model and Comparison With Neural Networks ANN and ANFIS (Case Study&58; Kardeh dam basin)**: Majallah-i āb va Khāk, Volume 30, Number 6, 2017, pp. 1794-1807(14).

Martinec, J. & Rango, A., 2008, **Snowmelt Runoff Model Users Manual**.

Yuqiong, L., D. Peters-Lidard, C.H., Kumar, S., L.Foster, J., Shaw, M., Tian, Y. & M.Fall, G., 2013, **Assimilating satellite-based snow depth and snow cover products for improving snow predict-tions in Alaska**, Advances in Water Resources 54 (2013) 208–227.

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال یازدهم، شماره دوم، تابستان 1398
Vol.11, No. 2, Summer 2019 Iranian Remote Sensing & GIS
79-92

Application of Snowmelt Runoff Model Using MODIS Data (a case study: Tekab Watershed)

Hemmati, Z.*[1], Solaimani, K.[2], Miryaghoubzadeh, M.H.[3]

1. M.Sc in Watershed Management Engineering , University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran.
2. Professor of department of watershed management, University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran
3. Assistant Professor, Urmia University, Faculty of Natural Resources-Urmia University-Iran

Abstract

Takab watershed basin is one of the most important basins of Lake Urmia. The basin is quite hilly and mountainous, and the runoff from its snow melting is of substantial significance. Snow accumulation in winter is considered to be crucial in the spring of the following year, and the water from snow melting is especially important for water facilities in a way that it results in serious floods when the snow melts with warm spring rain. Therefore, the prediction of snow melting seems necessary. Furthermore, managing water resource and reservoirs as well as planning of rivers hydrology would not be possible without considering this factor. The SRM snow melt runoff model was used to simulate the flow considering the 83-84 water years. Furthermore, to test the validity of the model, the 84-85 water years was used. Due to the fact that the MODIS images have the appropriate time resolution, such images have been used to estimate the underlying snow area. Results of the study showed that the use of snow cover maps, derived from MODIS images, is useful in predicting the runoff of the basin. The findings also show that the model has the ability to simulate the snowmelt runoff. To evaluate the model, two indexes, namely, the coefficient of determination and volume difference were used which were obtained as 0.75 and 27.84%, respectively. The obtained values indicate that the model has high accuracy in estimating the runoff from snow melting in this basin and represents the applicability of the model to other basins in the region.

Keywords: Runoff, Snow Melting, SRM Model, MODIS, Takab Watershed basin

Correspondence Address: Sari_ Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Email: he.hemmati.z@gmail.com