



Application of SRM model in Snowmelt Runoff Simulation Using NOAA AVHRR Images in Ungaged Basins

(Case Study: Khersan sub-basin, Karoon)

Jahangir Porhemmat¹, Bahram Saghafian²,
Hossain Sedghi³,

Abstract

In mountain regions, snowmelt runoff is a key hydrologic component that controls flow regime. In such regions, it is usually impossible to sufficiently measure the climatic and hydrologic data in the spatial and temporal scale required for the simulation of uncertainty. Therefore, predicting snowmelt runoff is carried out with some unknown degree of uncertainty. When calibrated, Snowmelt Runoff Model (SRM) is a hydrologic model, capable of simulating daily discharge in case of minimum measured snow data. The SRM is applied in order to study the capability of this model in simulating the snowmelt runoff in a basin in Iran, which lacks sufficient data. Khersan a sub-basin of Karoon river, is considered for this case study. An Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data is also considered to determine the time series of snow-covered areas. The time-series of daily discharge in 1996 are used for model calibration. Accuracy of the parameters is evaluated based on the time series of daily discharge in 1997. Model accuracy in snowmelt and rainfall runoff simulation is 88% based on evaluation results. The determination coefficient R^2 is 0.774. The difference between the simulated and measured total discharge is 1% for the study period. Based on the results of this research, SRM can be considered as an effective tool to estimate the snowmelt runoff and the quantity of rain and snow contributions. The application of this model is recommended for basins with no measured data.

Keywords: SRM Model, Snowmelt, NOAA images, Simulation, Model Accuracy

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)

جهانگیر پرهمت^۱، بهرام ثقفیان^۲ و حسین صدیقی^۳

چکیده:

ذوب برف و رواناب حاصل از آن در حوزه‌های کوهستانی و مرتفع عامل مهم و کنترل کننده رژیم جریان محسوب می شوند. بعلاوه، در چنین حوزه‌هایی آمار و اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان، به ویژه آمار و اطلاعات برف‌سنجی معمولاً در دسترس نیست. بنابراین، شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی رواناب و سیلاب حاصل از ذوب برف با مشکلات فراوانی مواجه بوده و بطور معمول با خطای زیادی روبرو می شود. مدل SRM (Snowmelt Runoff) از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی است که در صورت واسنجی پارامترهای آن، قابلیت شبیه‌سازی جریان روزانه را بدون استفاده از اطلاعات زمینی برف‌سنجی داراست. به منظور بررسی این قابلیت در حوزه‌های ایران که با کمبود داده‌های زمینی برف‌سنجی مواجه هستند، مدل SRM مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور سرشاخه‌های حوزه کارون که آمار و اطلاعات برف‌سنجی در دسترس نیست در محدوده زیر حوزه خرسان برای این تحقیق انتخاب شد. همچنین، اطلاعات رقومی سنجنده AVHRR ماهواره نوا به عنوان منبع تأمین اطلاعات سری زمانی مساحت تحت پوشش برف استفاده شد. به منظور واسنجی و ارزیابی مدل دو سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ و ۷۷-۱۳۷۶ انتخاب و براساس داده‌های مشاهده‌ای دبی روزانه در سال ۷۶-۱۳۷۵ پارامترهای مدل واسنجی و تعیین و در سال ۷۷-۱۳۷۶ دقت شبیه‌سازی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی مدل در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و نیز مشارکت باران نشان می‌دهد که دبی روزانه با دقت ۸۸ درصد با ضریب تعیین (R^2) ۰/۷۷۴ و حجم کل جریان با ۱/۰۳ درصد اختلاف با حجم مشاهده‌ای در طول این مدت برآورد شده است. با این وصف مدل SRM با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای کارایی لازم را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف و نیز شرایط مشارکت باران و برف در حوزه‌های فاقد آمار دارا بوده و برای این حوزه‌ها توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل SRM، ذوب برف، تصاویر ماهواره‌ای نوا، شبیه‌سازی، کارون

¹Research Assistant Professor Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI) of Iran, porhemmat@scwmri.ac.ir

²Research Assistant Professor SCWMRI of Iran, saghafian@scwmri.ac.ir

³Professor, Ahwaz University, Iran, hsedgh@yahoo.com

^۱ استادیار پژوهشی و عضویت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، ایران

^۲ دانشیار پژوهشی و عضویت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، ایران

^۳ استاد دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

هم‌چنین [Siedel et al. (1993)] مدل SRM را برای پیش‌بینی جریان مورد استفاده قرار دادند. (Mitchel & Dewalle (1998) با بکارگیری سطح تحت پوشش برف از سنجش از دور و نیز منطقه‌بندی منظره‌ای چند پارامتری در حوزه توانداکریک کاربرد مدل SRM را توصیه کردند. هم‌چنین، ایشان نتیجه‌گیری کردند در صورتی که علاوه بر ارتفاع، کاربری اراضی نیز به عنوان یک پارامتر در منطقه‌بندی ارتفاعی لحاظ شود، دقت برآوردهای مدل بهبود می‌یابد.

Gomez-Landesa and Rango (2001) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و بکارگیری مدل SRM برای پیش‌بینی رواناب در ۴۲ حوزه در اسپانیا نتیجه‌گیری کردند که خطای مدل در پیش‌بینی حجمی در حوزه‌های مختلف بین ۶/۹ تا ۲۵/۳ درصد خطا را در حوزه‌های مختلف نشان می‌دهد. Baumgartner et al. (2001) مدل SRM را با استفاده از پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) برای حوزه‌های ازبکستان بکار گرفتند. در این تحقیق همبستگی دبی روزانه مشاهده‌ای با شبیه‌سازی دارای ضریب برازش ۰/۷۴ تا ۰/۹۷ و اختلاف حجمی ۱ تا ۹/۶ درصد گزارش شد. هم‌چنین (Sorman et al. (2001) مدل SRM را در حوزه‌های دجله و فرات با استفاده از سنجش از دور پوشش برفی بکار گرفته و نتیجه‌گیری کردند که در این شرایط مدل با درصد اختلاف و درجه برازش به ترتیب ۰/۲۵ تا ۲/۴۷ درصد و ۰/۹۳ تا ۰/۹۵ حجم و دبی را برآورد می‌کند.

در تحقیق حاضر، واسنجی و ارزیابی مدل SRM برای پیش‌بینی جریان روزانه که بطور غالب به وسیله ذوب برف کنترل می‌شود و نیز رواناب ناشی از بارش باران در تولید آن مؤثر بوده در حوزه خراسان از سر شاخه‌های رودخانه کارون برای اولین بار بکار گرفته می‌شود.

۲- روش تحقیق

۲-۱ معرفی منطقه تحقیق

زیر حوزه خراسان که بخشی از حوزه کارون واقع در جنوب غربی ایران است به عنوان منطقه تحقیق انتخاب شده است. این منطقه در حدفاصل ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شکل (۱) موقعیت این منطقه را در نقشه حوزه‌های اصلی ایران و در حوزه کارون نشان می‌دهد. حوزه خراسان از ارتفاع ۴۴۲۹ متری در قله دنا (بلندترین نقطه زاگرس ایران) شروع و به ارتفاع ۸۵۰ متری در ایستگاه هیدرومتری بارزختم می‌شود. ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه بر اساس نقشه مدل ارتفاعی رقومی حاصل از درون‌یابی خطوط میزان ارتفاعی ۱۰۰ متری نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استخراج شد. جدول (۱) مشخصه‌های اصلی فیزیوگرافی حوزه خراسان و زیر حوزه‌های آن و شکل (۲) منحنی

در حوزه‌های کوهستانی و مرتفع، ذوب برف و رواناب حاصل سهم عمده‌ای را در تولید جریان و منابع آب داراست. در کشور ایران تجمع و ذوب برف هیدرولوژی بسیاری از حوزه‌های اصلی کشور از جمله کارون، دز، کرخ، سفیدرود و کرخه را کنترل می‌کند. از طرفی شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب ذوب برف در عرصه‌های مختلفی کاربرد داشته که از جمله آنها تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، کنترل و هشدار سیل، تفرجگاه‌ها، مدیریت مخازن تولید برق و کشتیرانی را می‌توان نام برد [Bloschl et al (1991)], [US Army Corp of Engineer (1998)], [Moussavi et al (1990)]. با وجود این داده‌های برف‌سنجی مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان‌های حاصل از ذوب برف و یا مشارکت باران و برف در بسیاری از حوزه‌های آبریز به ویژه حوزه‌های کوهستانی مرتفع در دسترس قرار نمی‌گیرد.

مدل SRM (Snowmelt Runoff Model) از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی است که به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان روزانه در حوزه‌های کوهستانی متأثر از ذوب برف طراحی شده است. این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ میلادی برای حوزه‌های کوچک اروپا توسط Martinec توسعه یافت و با پیشرفت تکنیک‌های ماهواره‌ای و کاربرد آنها در تعیین پوشش برفی برای حوزه‌های بزرگتر تا ۱۲۰ هزار کیلومتر مربع مورد استفاده قرار گرفت.

مدل SRM توسط سازمان هواشناسی جهانی (WMO^۱) برای شبیه‌سازی رواناب و نیز پیش‌بینی در زمان واقعی مورد تأیید قرار گرفته است ([WMO (1986)]. این مدل برای سه هدف متفاوت کاربرد دارد. این سه هدف شامل شبیه‌سازی جریان روزانه در فصل ذوب برف و یا در سال، پیش‌بینی رواناب فصلی و نیز ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب و سطح تحت پوشش برف فصلی است ([Rango and Martinec (1998)].

مدل SRM برای پیش‌بینی رواناب ذوب برف توسط محققان بسیاری بکار برده شده است ([Engman et al. (1991)], [برهت و همکاران (۲۰۰۲)], [Paul et al. (1993)], [Rango (1983)], [Rango, Martinec (1986)]. دامنه تغییرات پارامترهای مدل SRM را مورد بررسی قرار دادند و روابط فیزیکی مورد نیاز در محاسبه این پارامترها را ارائه کردند. (Rango & Katwijk (1990) مدل SRM را با بکارگیری یک سری منحنی‌های افت پوشش برفی برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار دادند. در این تحقیق ادعا شده است که مدل SRM هیدروگراف جریان را با ضریب برازش (R^2) معادل ۰/۹۲ و تفاضل حجمی ۲/۵ درصد پیش‌بینی کرده است.

(Baumgartner and Rango (1991) مدل SRM را با استفاده از داده‌های سنجش از دور برای برآورد سطح تحت پوشش برف توصیه کردند.

سپس هیدروگراف روزانه کل جریان در خروجی حوزه را برآورد می‌کند. حداقل متغیرهای هواشناسی ورودی مدل شامل سطح تحت پوشش برف، بارندگی و درجه حرارت است [Rango(1983)]. رابطه اصلی مدل بصورت زیر است:

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

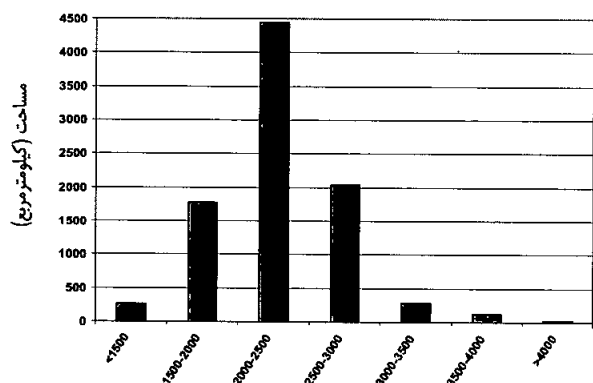
در این رابطه Q دبی روزانه به متر مکعب بر ثانیه، C_{sn} ضریب رواناب برف به صورت کسری از واحد، C_{Rn} ضریب رواناب باران به صورت کسری از واحد، a فاکتور درجه روز بر حسب سانتیگراد در روز، T تعداد درجه روز بر حسب درجه سانتیگراد، ΔT تفاضل درجه حرارت در ایستگاه مبنا با درجه حرارت در محل متناظر با متوسط ارتفاع حوزه یا

هیوسومتری این حوزه را نشان می‌دهند. همچنین، شکل (۱) موقعیت زیرحوزه‌های آن شامل بشار در پاتاوه، ماربر درکتا و زیر حوزه میانی حداقل این دو حوزه تا خروجی خرسان در بارز را نشان می‌دهد. حوزه کارون در خرسان دارای مساحتی حدود ۸۹۶۴ کیلومترمربع بوده که ۳۷ درصد کل حوزه کارون را در پل شالو و ۲۷/۶ درصد آن را در گتوند تشکیل می‌دهد (شکل ۱). همچنین، جدول (۲) مقادیر متوسط دراز مدت پارامترهای اصلی هیدرومتئورولوژیک شامل دبی جریان، بارندگی و درجه حرارت را در حوزه خرسان و زیرحوزه‌های اصلی کارون نشان می‌دهد. همانطور که این جدول نشان می‌دهد متوسط بارندگی در سطح حوزه خرسان ۶۷۹ میلیمتر، متوسط دبی جریان خروجی از حوزه ۱۳۲ مترمکعب در ثانیه و متوسط درجه حرارت سالانه در سطح حوزه ۱۱ درجه سانتیگراد است. همچنین، دبی سالانه این حوزه ۳۱ درصد کل دبی کارون در گتوند و ۳ درصد کل جریان‌های سطحی کشور است.

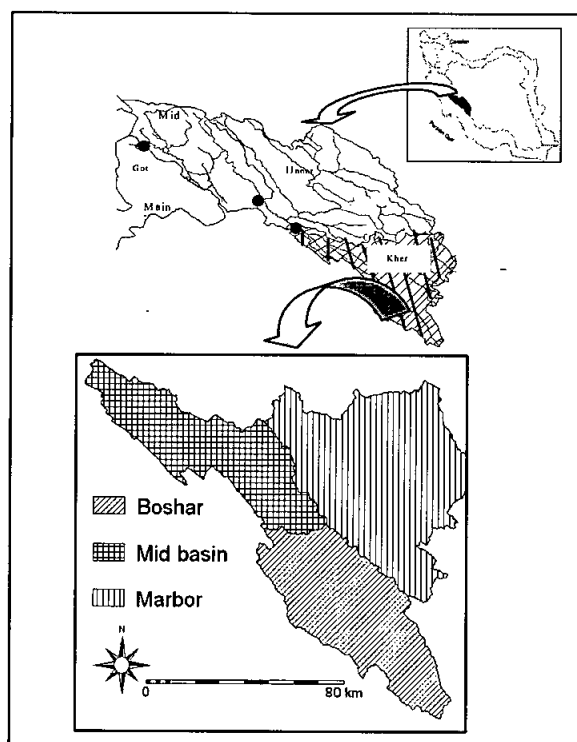
جدول ۱- پارامترهای فیزیوگرافی حوزه خرسان در بارز و زیر

حوزه‌های اصلی آن

محدوده	ماربر در کتا	زیر حوزه میانی	بشار در پاتاوه	کل حوزه
مساحت (km ²)	۴۰۳۴	۲۱۹۷	۲۷۳۲	۸۹۶۴
محیط (km)	۳۶۶	۳۰۳	۲۹۳	۶۸۳
طول ابراهه اصلی (km)	۸۹	۱۱۸	۱۱۵	۲۵۰
طول مرکز ثقل تا خروجی حوزه (km)	۴۹	۵۴	۶۹	۱۱۸
شیب ابراهه اصلی (%)	۲/۳۶	۲/۹	۲/۶۵	۰/۹۲



شکل ۲- هیوسومتری حوزه خرسان



شکل ۱- موقعیت زیرحوزه‌های خرسان در نقشه حوزه‌های اصلی کشور و در حوزه کارون

متوسط ارتفاع نوار ارتفاعی بر حسب درجه‌سنتی‌گراد، S نسبت مساحت بخش پوشیده از برف به کل مساحت حوزه، P بارندگی بر حسب سانتی‌متر، n و n+1 نمایانگر دو روز متوالی، A مساحت حوزه بر حسب کیلومترمربع، K ضریب فروکش که نشان دهنده نرخ کاهش دبی در یک دوره زمانی بدون تأثیر ذوب برف و یا بارش باران است. مقدار K از رابطه زیر بدست می‌آید:

۲-۲- مدل مورد استفاده

مدل SRM از نوع مفهومی است و بر اساس روش درجه-روز رواناب ناشی از ذوب برف را محاسبه می‌کند. این مدل رواناب ناشی از ذوب برف و بارش باران را بطور روزانه و همزمان محاسبه و به دبی جریان فروکش (دبی پایه) اضافه کند. همچنین، در مدل رواناب بدست آمده با یک ضریب انتقال به حوزه منتقل و با دبی پایه شبیه‌سازی شده برای آن روز جمع و

$$K = \frac{Q_{n+1}}{Q_n}$$

در آن Q_n و Q_{n+1} مشابه قبل و K ضریب فروکش است. اگر زمان تأخیر (زمان بین تولید جریان مازاد و خروج آن از حوزه) ۱۸ ساعت باشد درجه روز اندازه‌گیری شده در روز n به دبی اندازه‌گیری شده در روز $n+1$ مربوط می‌شود. در این شرایط تعداد درجه-روز، روز n مطابق با دبی روز $n+1$ می‌شود. علاوه بر این در رابطه فوق ضرایب ثابت که معادل ۰/۱۱۵۷ می‌شود تبدیل ابعاد سانتیمتر-کیلومتر مربع در روز به مترمکعب در ثانیه هستند. پارامترهای مدل SRM شامل ضریب رواناب برف، ضریب رواناب باران، ضریب درجه-روز، شیب افت درجه حرارت با ارتفاع، درجه حرارت بحرانی (درجه حرارتی که در بالای آن بارش به صورت باران و کمتر از آن به صورت برف است)، ضریب فروکش جریان و زمان تأخیر است. در مدل با فرض اینکه این پارامترها بر اساس شرایط فیزیکی تعیین می‌شوند، برنامه‌ای برای بهینه کردن و یا تعیین آنها پیش‌بینی نشده است. بنابراین، بایستی پارامترهای مدل را از قبل بر اساس داده‌های مشاهده‌ای هواشناسی، هیدرومتری و فیزیکی حوزه برآورد و سپس به عنوان ورودی به مدل وارد کرد. سایر پارامترهای مورد نیاز در مدل SRM سطح دریافت کننده باران است که بر اساس تحلیل منطقه‌ای درجه حرارت و شیب افت آن در مقیاس روزانه تعیین می‌شود.

و واسنجی پارامترهای مدل و سال دوم برای ارزیابی پارامترهای واسنجی شده و یا برآوردی برای مدل انتخاب شده‌اند. در این دو سال مدل برای جریان روزانه خروجی از حوزه بکار گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- واسنجی پارامترهای مدل

به منظور استفاده از مدل SRM حوزه خرسان به ۷ ناحیه ارتفاعی مطابق شکل (۴) تقسیم شد، سپس پارامترهای مدل بر اساس این منطقه‌بندی برآورد و یا واسنجی شدند. ضریب رواناب برف به دلیل کمبود داده‌های مشاهده‌ای زمینی به ویژه ناکافی بودن داده‌ها در ارتفاعات به صورت سعی و خطا واسنجی شد. از طرف دیگر، تغییرهای ضریب جریان باران برای مدل SRM بطور روزانه مورد نیاز است. بدین منظور تعداد ۲۷ واقعه بارش‌های مهم در طول سال آبی ۷۶-۷۵ انتخاب شد. برای هر یک از وقایع مؤلفه‌های مختلف بارش و رواناب شامل سطح تحت پوشش باران و برف، کل بارش، میزان بارش باران، ذوب برف و رواناب محاسبه می‌شد. سطح تحت پوشش باران و یا برف براساس گرادیان درجه حرارت و برف‌انباشته قدیمی، کل بارش بر اساس تحلیل بارش نقطه‌ای ایستگاه‌ها و تهیه همباران و نیز ذوب برف بر اساس سطح برف انباشته و درجه حرارت برآورد شد.

همچنین، مؤلفه‌های جریان روزانه براساس تفکیک هیدروگراف برآورد شد که نتایج در شکل (۵) نشان داده شده است. از ۲۷ واقعه بارش در این سال تنها در ۱۲ واقعه سیلاب شکل گرفته است در حالی که در ۱۵ واقعه دیگر با وجود اینکه تا ۲۴/۴ میلیمتر باران در حوزه ثبت شده، ولی سیلاب بوجود نیامده است.

ارزیابی تلفات بارش با استفاده از روش SCS مبتنی بر شماره منحنی یا (Curve Number) CN انجام گرفت. در این تحقیق برای رابطه عمق سیلاب (بارش مازاد) با کل باران پس از تحلیل وقایع فوق نتیجه زیر بدست آمد که نشان دهنده تلفات اولیه (Io) که در رابطه اصلی SCS در صورت کسر به عنوان ضریب ثابت S و معادل ۰/۲ است، تغییر کرده و در واسنجی برای این منطقه ۰/۰۷ بدست آمده است.

$$Q = \frac{(P - 0.07 S)^2}{(P + 0.93 S)} \quad (3)$$

در این فرمول Q عمق رواناب و P بارش و بر حسب اینج هستند. همچنین، S ضریب نگهداشت بر حسب اینج و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (4)$$

مدل SRM نسخه WINSRM1 قابلیت نمایش همزمان هیدروگراف رواناب محاسبه شده و اندازه‌گیری شده را داراست. بنابراین، با کنترل چشمی می‌توان کیفیت شبیه‌سازی را برآورد کرد. علاوه بر این، مدل برای ارزیابی نتایج محاسبات دو معیار ضریب تعیین (R^2) و تفاضل حجمی (D_v) را در اختیار قرار می‌دهد [Rango and Martinec (1998)]. شکل (۳) الگوریتم مدل شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و باران را با استفاده از مدل SRM نشان می‌دهد.

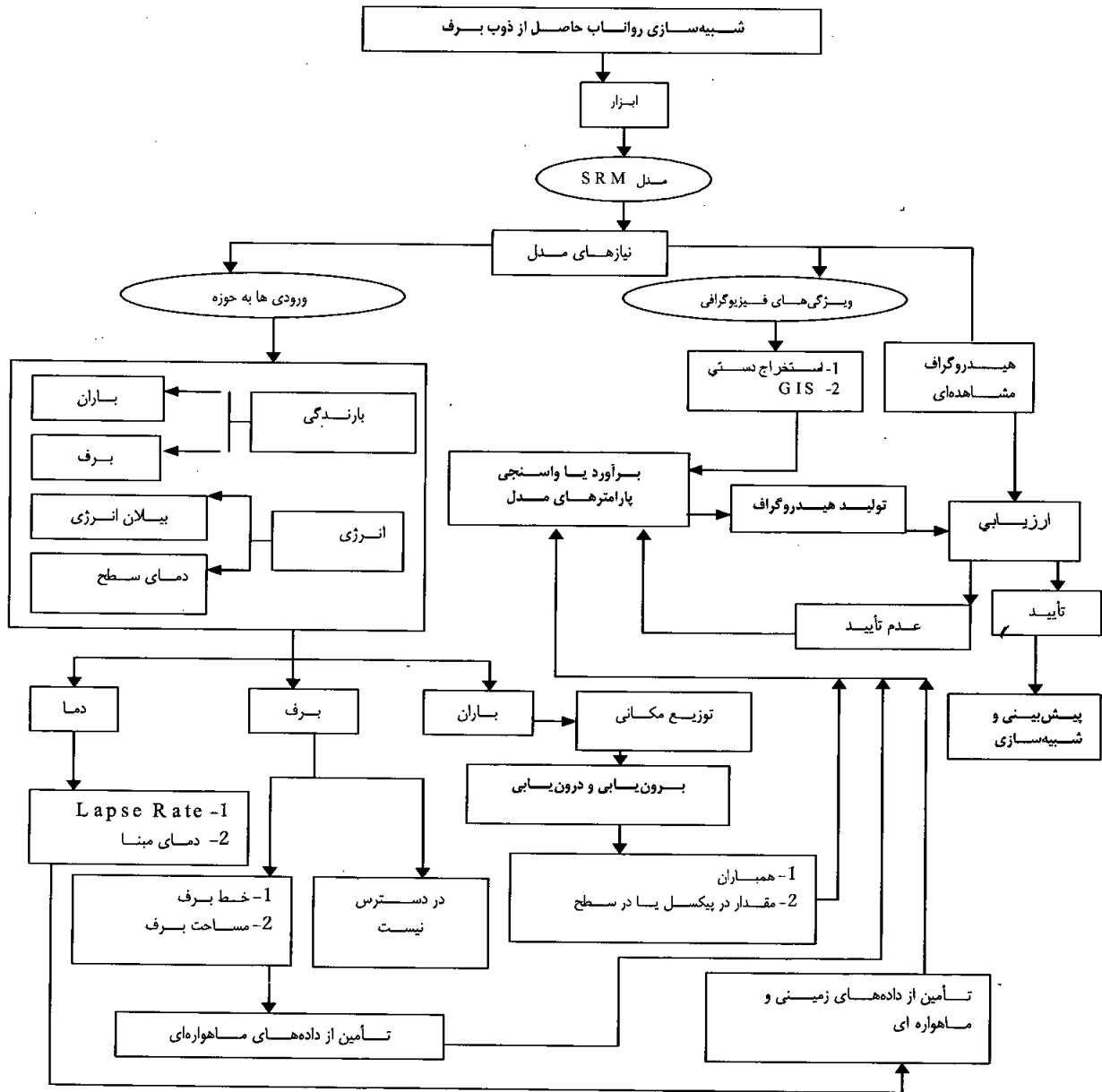
۳-۲- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل سری زمانی روزانه مساحت، پوشش برفی، بارندگی، متوسط درجه حرارت روزانه در سطح حوزه، دبی روزانه جریان در خروجی حوزه و مشخصات فیزیکی حوزه است.

جدول (۱) مشخصات فیزیکی حوزه را که بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی تهیه شده اند، نشان می‌دهد. مساحت پوشش برفی از تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره‌ای نوا (NOAA) تهیه شده اند [پرهمت و همکاران، ۲۰۰۲]. همچنین، بارندگی و درجه حرارت به ترتیب از آمار روزانه اندازه‌گیری شده این عوامل در ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک استفاده شده است [پرهمت، ۲۰۰۲]. دوره زمانی مورد استفاده در این تحقیق دو سال آبی شامل سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۷۵ و ۱۳۷۷-۱۳۷۶ است. سال اول برای بررسی

جدول ۲- مشخصه‌های مهم هیدرومتئورولوژیکی حوزه خراسان و مقایسه با سایر زیر حوزه‌های اصلی کارون

حوزه	بارندگی (mm)	دبی (m ³ /sec)	درجه حرارت (°C)	درصد دبی از کارون در گتوند	درصد دبی از کارون در پل شالو	درصد دبی از جریان سطحی کشور
کارون در گتوند	۷۳۱	۳۹۲	-	۱۰۰	۱۲۸	۱۱/۵
کارون در پل شالو	۷۰۵	۳۰۵	۱۱	۷۷/۸	۱۰۰	۹/۱
خراسان در بارز	۶۸۰	۱۳۲	۱۱	۳۳/۷	۳۷/۱	۳/۴
کارون در ارمند	۶۵۳	۱۱۱	۱۰	۲۸/۳	۳۱	۲/۸
بازفت در مرغک	۱۲۶۰	۷۹	۱۲	۲۰/۲	۲۲/۳	۲



شکل ۳- الگوریتم شبه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و باران در مدل SRM

رطوبتی پیشین برای CN برآوردی نیز تعیین شد که نتایج در جدول (۳) قابل ملاحظه است.

جدول ۳- مقادیر CN نهایی در شرایط سه گانه رطوبتی پیشنهادی SCS برای محدوده‌های هفت گانه حوزه خرسان

ناحیه ارتفاعی	رطوبتی متوسط	رطوبتی مرطوب	رطوبتی خشک
۱ و ۲	۳۴	۶۴	۲۴
۳ و ۴	۴۰	۶۰	۲۱
۵ و ۶	۴۳	۵۳/۵	۲۵
۷	۴۰	۵۳/۵	۲۲

ضریب درجه روز در مدل SRM با واحد سانتیمتر در درجه سانتیگراد در روز، تعداد درجه روز (سانتیگراد در روز) را به عمق آب روزانه ذوب برف (سانتیمتر) تبدیل می کند. بنابراین:

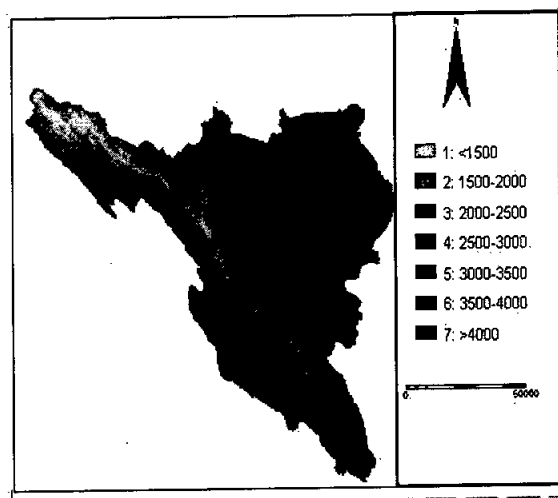
$$M = a(T - T_b) \quad (5)$$

در این حالت M عمق آب حاصل از ذوب برف و T درجه روز به سانتیگراد، T_b درجه حرارت مبنای ذوب برف و صفر درجه سانتیگراد یا ۳۲ درجه فارنهایت فرض می شود. این پارامتر در مدل SRM صفر است. همچنین، ضریب درجه روز است. ضریب درجه روز بر اساس اندازه گیری تغییرهای برف انباشته توسط لیسیمتر، یا بالستک برف و یا اشل برف سنج و درجه حرارت روزانه بدست می آید. این پارامتر معمولاً در طول فصل ذوب برف تغییر می کند و به تدریج از اوایل فصل ذوب برف افزایش می یابد [Bloschl and Gutknecht(1991)]. بعلاوه در صورتی که دانسیته برف در دسترس باشد ضریب درجه روز از رابطه زیر پیشنهاد شد. [Martinec and Rango(1986)], [Rango and Martinec(1998)].

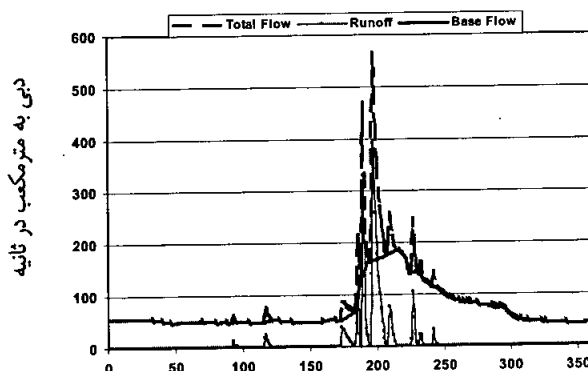
$$a = 1.1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (6)$$

که ρ_s و ρ_w به ترتیب چگالی برف و آب است. با توجه به عدم وجود داده‌های اندازه گیری شده از درجه حرارت روزانه و ذوب برف در ارتفاع متوسط باندهای ارتفاعی، برآورد این پارامتر از داده‌های مشاهده ای میسر نشد. در نتیجه، این پارامتر بر اساس توصیه [Martinec and Rango(1986)] به عنوان حدس اولیه به مدل داده شد و سپس با سعی و خطا واسنجی شد.

نرخ کاهش درجه حرارت با ارتفاع از اطلاعات روزانه درجه حرارت در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوزه و حوزه‌های مجاور در سال‌های آبی ۷۶-۷۵ و ۷۷-۷۶ محاسبه شد. درجه حرارت بحرانی برای تعیین نوع بارش



شکل ۴- موقعیت ۷ ناحیه ارتفاعی حوزه خرسان



شکل ۵- مؤلفه‌های هیدروگراف جریان در بارز در سال آبی ۷۶-۷۵ به روز

CN در رابطه (۴) براساس باران، رواناب مشاهده‌ای و ذوب برف در هر توفان در سال آبی ۷۶-۷۵ محاسبه شد. در چنین شرایطی در هر یک از وقایع بارش سال، رواناب خروجی از حوزه، بارش باران و ذوب برف به نوارهای ارتفاعی محدود شده‌اند که در محاسبات در آن زمان دارای شرایط باران و یا ذوب برف بوده‌اند. برای این منظور رواناب از جدایش هیدروگراف جریان مشاهده‌ای در خروجی حوزه برآورد شد. همچنین، بارش باران از همباران هر توفان و ذوب برف بر اساس گرادیان درجه حرارت روزانه و رابطه درجه روز در هر نوار ارتفاعی محاسبه شدند. جدول (۳) نتایج تحلیل شماره منحنی‌های SCS واسنجی شده را در شرایط مختلف رطوبتی برای حوزه خرسان نشان می‌دهد. لازم بذکر است به دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در خروجی نوارهای ارتفاعی، مقادیر CN برای مجموعه نوارهایی که در تولید رواناب در بارش‌ها فعال بوده‌اند مطابق جدول (۳) برآورد شد. همچنین، براساس شرایط بارش و ذوب برف ۵ روز قبل، شرایط

داده‌های دبی بجز در شرایط سیلابی در دوره‌های زمانی کمتر از روزانه در دسترس قرار نگرفت، پس برآورد زمان تأخیر بر اساس داده‌های مشاهده‌ای دبی و درجه حرارت میسر نشد. بر این اساس، با توجه به مرکزیت مناطق مرتفع حوزه و فاصله آن از خروجی زمان تأخیر معادل ۱۸ ساعت در نظر گرفته شده است.

دوره واسنجی مدل SRM همانطور که قبلاً نیز ذکر شد شامل سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ در حوزه خرسان است. متغیرهای ورودی مدل در این دوره شامل سطح تحت پوشش برف، درجه حرارت ایستگاه مینا (یاسوج)، نرخ کاهش درجه حرارت با ارتفاع، دبی و بارندگی روزانه است. با توجه به این که داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده برای بخش قابل توجهی از عوامل مورد نیاز در منطقه تحقیق در دسترس قرار نداشت، تعدادی از پارامترهای مدل با سعی و خطا بدست آمدند. در این رابطه پارامترهای مدل که داده‌های مشاهده‌ای کافی برای واسنجی آنها در دسترس نبود، شامل ضریب درجه-روز، ضریب رواناب برف، درجه حرارت بحرانی و زمان تأخیر هستند که با استفاده از دامنه‌های توصیه‌ای در راهنمای مدل SRM و نیز شرایط منطقه‌ای و بعضی از عوامل اندازه‌گیری شده به صورت حدس اولیه برآورد و سپس با سعی و خطا واسنجی شده‌اند. شکل (۷) نمودار تغییرهای دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. همچنین، شکل (۸) نمودار همبستگی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده‌ای را در این دوره نشان می‌دهد. مقایسه دبی شبیه‌سازی شده با واسنجی نشان دهنده که مجذور ضریب همبستگی (R^2) دبی شبیه‌سازی شده با واسنجی معادل ۰/۹۱ و در صد اختلاف حجمی در کل سال آبی ۱/۳۵ درصد دبی مشاهده‌ای است.

۳-۲- بررسی نتایج ارزیابی

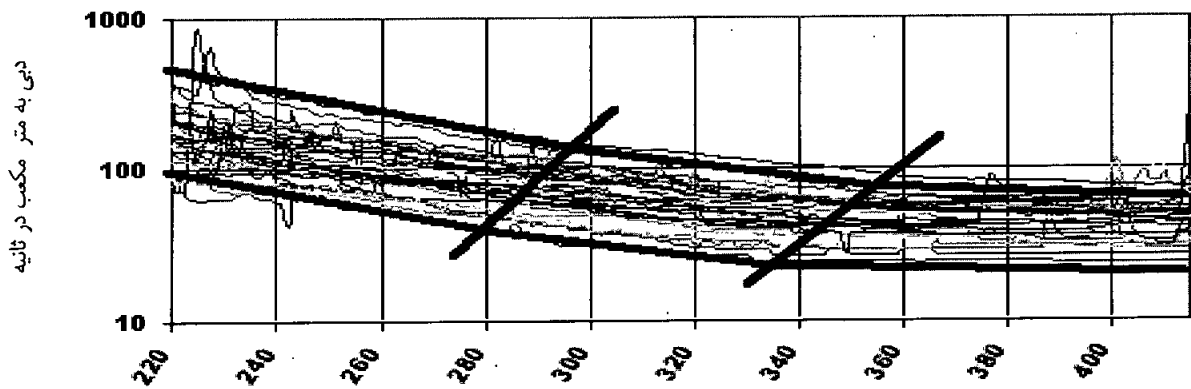
همان طور که قبلاً بیان شد دوره ارزیابی مدل SRM در حوزه خرسان سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ انتخاب شد. در این سال داده‌های مشاهده‌ای بارندگی، سطح تحت پوشش برف، درجه حرارت متوسط روزانه و نرخ کاهش درجه حرارت به عنوان ورودی‌های روزانه مدل مورد استفاده قرار گرفته و نتایج دبی روزانه شبیه‌سازی شده با دبی مشاهده‌ای در این سال بررسی شدند. شکل (۹) هیدروگراف دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. همچنین، شکل (۱۰) نمودار همبستگی دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را در این دوره یک ساله نشان می‌دهد. و با بررسی شکل (۹) دبی روزانه هم در دوره‌های سیلابی و هم در دوره‌های غیر سیلابی انطباق خوبی را نشان می‌دهد. بیشترین عدم انطباق در زمان اوج سیلابهاست. رابطه همبستگی دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای دارای مجذور ضریب همبستگی (R^2) معادل ۰/۷۷ است. بعلاوه اختلاف حجم دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در طول سال آبی مورد ارزیابی معادل ۱/۰۳ درصد بدست آمده است. همچنین ضریب راندمان مدل معادل ۰/۷۶ برآورد شد.

باران یا برف به کار می‌رود. مدل SRM در هر دو فصل بارش و ذوب به درجه حرارت بحرانی نیاز دارد. تعیین درجه حرارت بحرانی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای همزمان نوع بارش و درجه حرارت صورت می‌گیرد. در شرایطی که داده‌های مورد نیاز در دسترس نیست، از مقادیر تجربی سایر مناطق استفاده می‌شود. به عنوان مثال در تحقیقات انجام شده در آلپ درجه حرارت بحرانی را از ۳ درجه سانتیگراد در آوریل تا ۰/۷۵ درجه در ژوئیه نشان می‌دهد. این محدوده برای استفاده در سایر حوزه‌های که اطلاعات کافی ندارند نیز توصیه شده است. در این تحقیق پارامتر درجه حرارت بحرانی معادل ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است. ضریب فروکش (K) پارامتر بسیار مهمی در مدل SRM است، زیرا کسر ($1-K$) قسمتی از ذوب برف روزانه است که بلافاصله به رواناب تبدیل می‌شود. ضریب فروکش از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_{n+1} = xQ_n^{-y} \quad (۷)$$

در این رابطه پارامترهای x و y از داده‌های تاریخی دبی بدست می‌آیند. به منظور محاسبه پارامترهای فروکش جریان، داده‌های دبی روزانه در ۴۳ سال آبی شامل سال‌های مختلف خشک، تر و متوسط از حوزه خرسان در بارز مورد بررسی قرار گرفتند. از ۴۳ سال هیدروگراف روزانه جریان بخش فروکش جدا شد شکل (۶). همانطور که شکل (۶) نشان می‌دهد، اواسط اردیبهشت تا اواخر آبان دوره دارای تغییر و بقیه سال دوره فروکش جریان است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که منحنی فروکش دارای سه بخش است. شیب منحنی در بخش اول زیاد و سپس در بخش‌های بعدی کاهش می‌یابد. این سه بخش به ترتیب از اواسط اردیبهشت تا اواسط تیر، از اواسط تیر تا اواخر شهریور و از اواخر شهریور تا اواسط آبان است. پارامترهای x و y براساس توصیه (Rango and Martinec 1998) برای کل دوره فروکش از نسبت دبی‌های روز جاری به روز ماقبل در مقیاس لگاریتمی، به ترتیب ۰/۹۸۴ و ۰/۰۷۱ بدست آمد. بر اساس مقادیر پارامترهای x و y بدست آمده دبی دوره فروکش در سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ شبیه‌سازی شده است. دبی شبیه‌سازی شده دارای انحراف زیادی از دبی ادامه یافت. با توجه به تغییرات مشاهده شده در شکل (۶) این پارامترها در طول سال ثابت نبوده و بنابراین بر خلاف انتظار سه دسته مقادیر برای این دو پارامتر بدست آمد. این سه دسته مقادیر به ترتیب در دوره‌های زمانی مشاهده‌ای بوده و در نتیجه روش سعی و خطا برای برآورد مقادیر مناسبتر شامل روزهای دارای بارندگی، اوایل فصل ذوب برف تا اواخر این فصل و از اواخر فصل ذوب برف تا اوایل فصل ذوب برف بعدی قرار دارند. مقادیر x به ترتیب برای این دوره‌ها ۰/۹۸، ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۹۹ و y نیز به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۱ بدست آمد.

بر اساس خصوصیات نوسان روزانه رواناب حاصل از ذوب برف می‌توان زمان تأخیر را به طور مستقیم از هیدروگراف جریان سالهای گذشته تعیین کرد [Rango and Martinec (1998)]. از آنجایی که در این حوزه



شماره روز از آغاز سال آبی تا آغاز بارش درسال آبی بعد

شکل ۶- منحنی‌های فروکش دبی روزانه حوزه خرسان در بارز در یک دوره ۴۳ ساله از انتهای بارش در هر سال آبی تا ابتدای بارش درسال بعد (پایان دوره فروکشی هیدروگراف)

هواشناسی و مساحت برفی بدست آمده از اطلاعات ماهواره‌ای در سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ جریان روزانه در خروجی حوزه شبیه‌سازی و پیش‌بینی شد. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده با مشاهده‌ای نتایج زیر را نشان می‌دهد:

۱. مدل SRM در حوزه‌های 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. بعلاوه در شبیه‌سازی جریان روزانه کارایی خوبی داشته بطوریکه در حوزه مورد آزمون دبی روزانه را نسبت به مشاهده‌ای در طول یک سال آبی با ضریب همبستگی ۰/۸۸ و حجم جریان روزانه را در طول این سال با اختلاف ۱/۰۳ درصد در حوزه خرسان از زیر حوزه‌های اصلی کارون برآورد کرده است.

۲. داده‌های ماهواره‌ای قابلیت تأمین بخشی از کمبود اطلاعات زمینی برف، مورد نیاز در مدل‌های هیدرولوژیکی را به صورت سری زمانی دارا هستند.

۳. بررسی ۳ واقعه مهم بارش در طول سال ارزیابی، نشان می‌دهد که خطای برآورد دبی و حجم در شرایط بارش باران نسبت به شرایط بدون باران افزایش یافته است.

۴. به دلیل این که اطلاعات مورد نیاز برای برآورد پارامترهای فیزیکی متعدد مدل SRM در اغلب حوزه‌ها موجود نیست، لازم است قبل از بکارگیری مدل برای هر حوزه واسنجی پارامترهای مدل انجام گیرد.

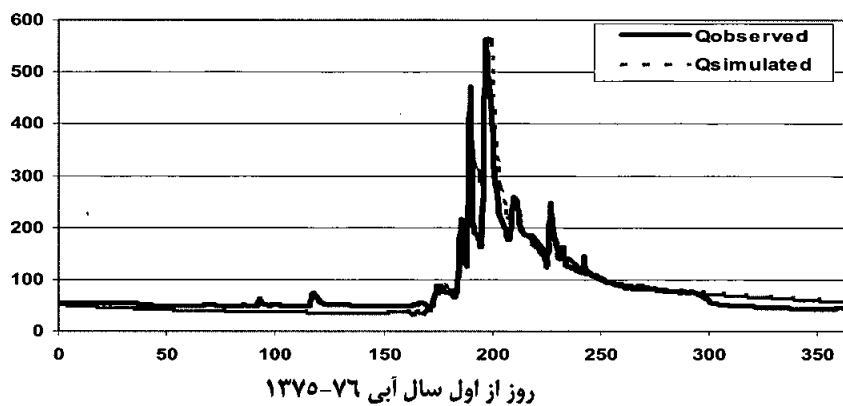
۵. ضرایب X و Y در رابطه فروکش برای محاسبه پارامتر K مقادیر ثابتی نیستند و بر حسب شرایط تأخیری حوزه در تخلیه جریانهای زیر زمینی، آب حاصل از ذوب برف و روانابهای تأخیری تغییر می‌کنند. هر چند که در منابع علمی موجود برای هر یک از این دو پارامتر تنها

بررسی و مقایسه هیدروگرافهای مشاهده‌ای و شبیه‌سازی نشان می‌دهند که اختلاف در دوره‌های سیلابی بیشتر از سایر دوره‌هاست. بدین منظور سه واقعه بارش مهم در طول سال که سیلاب بیشتری نسبت به سایر وقایع داشته‌اند انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مقایسه حداکثر دبی روزانه و نیز حجم برآوردکل مشاهده‌ای درطول دوره سیلاب با نتایج شبیه‌سازی درجدول (۴) نشان داده شده است. ارقام دبی حداکثر روزانه در دو سیلاب با اختلاف فاز یک روزه بوقوع پیوسته و در یک سیلاب همزمان است. همچنین، اختلاف دبی حداکثر روزانه سیلابها به ترتیب ۳۴ و ۳۶ درصد بوده در حالی که اختلاف حجم در طول سیلاب حاصل از این توفانها به ترتیب ۹/۲، ۶/۷ و ۱۱/۹ درصد مقادیر مشاهده‌ای بدست آمده است.

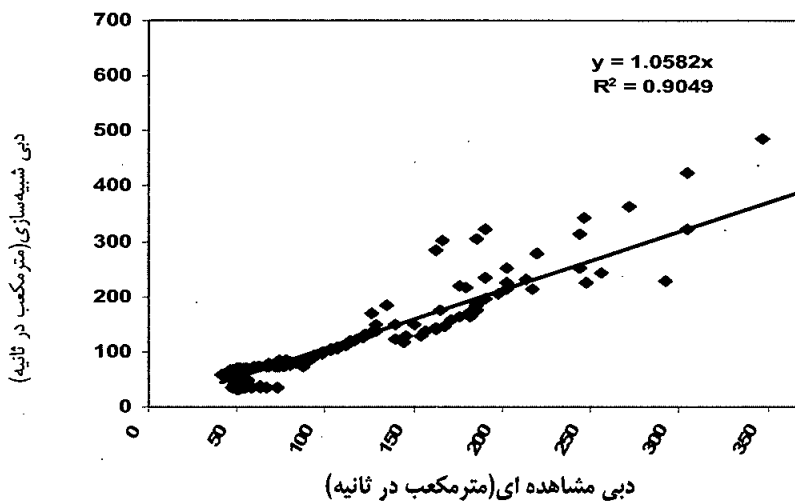
۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

رواناب حاصل از ذوب برف در حوزه‌های دارای برف فصلی که ذوب برف درموردی با بارش باران نیز همراه است و نیز داده‌های مشاهده‌ای زمینی جریان، پوشش و ذوب برف با کمبود روبرو است شرایط پیچیده‌ای را در شبیه‌سازی ایجاد می‌کند. چنین شرایطی در اکثر حوزه‌های برفگیر و بویژه در ایران حاکم است. تأمین بخشی از این داده‌ها از اطلاعات ماهواره‌ای و کاربرد آن در مدل‌های هیدرولوژیکی بخشی از این کمبودها را جبران می‌کند. در این تحقیق حوزه خرسان به عنوان حوزه فاقد سری زمانی اطلاعات برف‌سنجی واقع در سرشاخه‌های رودخانه کارون انتخاب شد. بر اساس داده‌های قابل دسترس ماهواره‌ای، سری زمانی پوشش برفی تهیه و به همراه هیدروگراف جریان روزانه در خروجی حوزه، درجه حرارت و بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان ورودی‌های اصلی مدل ذوب برف SRM مورد استفاده قرارگرفتند. پارامترهای مدل براساس داده‌های مشاهده‌ای عوامل فوق در سطح حوزه در سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ تعیین و یا واسنجی شدند و سپس براساس بارندگی و درجه حرارت ایستگاه‌های

دبی به مترمکعب در ثانیه

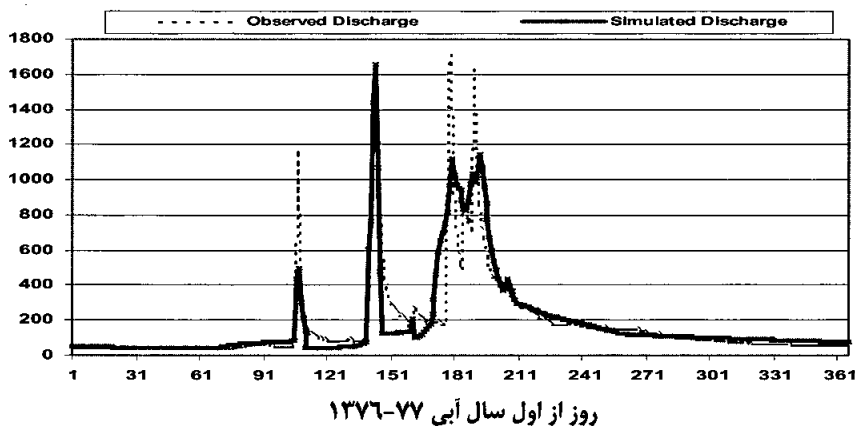


شکل ۷- مقایسه دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی در حوزه خرسان



شکل ۸- نمودار همبستگی دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در دوره واسنجی

دبی به مترمکعب در ثانیه



شکل ۹- مقایسه دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره ارزیابی در حوزه خرسان

۶- مراجع

پرهمت، جهانگیر، (۲۰۰۲). مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS. پایان‌نامه دکترای تخصصی هیدرولوژی و منابع آب، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

پرهمت، جهانگیر، ب، تقیان و ح، صدقی، (۲۰۰۲). مدل تفکیک برف، ابر و زمین در تصاویر ماهواره‌ای نوا NOAA. مجله پژوهش و سازندگی، جلد ۱۵، شماره ۳ و ۴، ص ۱۵-۲

Baumgartner M. F. and A. Rango, (1991). Snow cover mapping using microcomputer image processing systems, *Nordic Hydrology*, (22), p 193-210.

Baumgartner M.F., M. Spreafico and H. W. Weiss, (2001). Operational snowmelt runoff forecasting in the Central Asian Mountains, *IAHS Pub. 267*, p 66-71

Bloschl G., R. Kimbauer and D. Gutknecht, (1991). Distribution snowmelt simulation in an Alpine catchments, 1. Model Evaluation on the basis of snow cover patterns, *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 12p 3171 - 3179.

Engman, E.T., and R.J., Gurney, (1991). Remote sensing in hydrology, 1st Edit, Chapman and Hall, p 225

Gomez-Landesa E. and A. Rango, (2001). Improved snow cover remote sensing for snowmelt runoff forecasting, *IAHS pub. 267*, p 61 - 65.

Martinec J. and A Rango, (1986). Parameter values for snowmelt runoff modeling, *J. Hydrology*, (84), p 197-219.

Mitchel K. and D. R. Dewalle, (1998). Application of snowmelt runoff model using multiple-parameter landscape zones on the Towanda Creek basin, Pennsylvania, *Journal of the American Water Resources Association*, 34 (2), p 335-346.

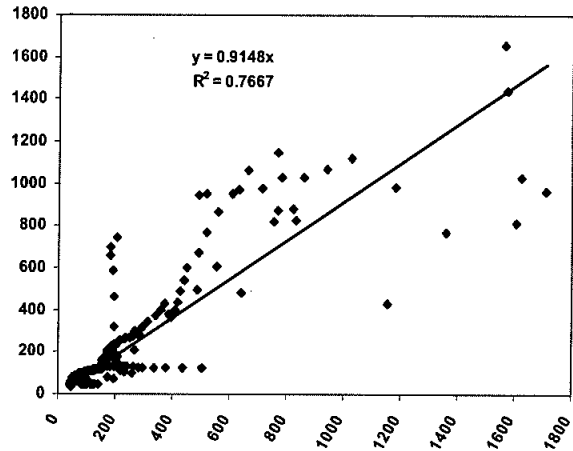
Moussavi M. J. Feyen and G. Wyseure, (1990). Comparison of different structures for a monthly water yield model in seasonally snow-covered mountainous watershed of Iran, *Hydrological Sciences Journal*, 35 (5), p 535-546.

Paul P. R., V. S. Kumar, C. L. V. R. Rao, K. Seidel and H. Heffner, (1993). Operational remote sensing for snow cover and avalanche application in the Himalayas, *International symposium operationalization of remote sensing*, 19-23 April, ITC Enschede, the Netherlands, p 71 - 79.

Rango A., (1983). Application of a simple snowmelt-runoff model to large river basins *Proceeding of the 51st Annual Western Snow Conference*, Vancouver, Washington, p 89 - 99.

Rango A. and V. van Katwijk, (1990). Development and testing of a snowmelt-runoff forecasting technique, *Water Resources Bulletin*, 26 (1), p 135-144.

Rango A., and J. Martinec, (1998). The Snowmelt Runoff Model (SRM) users' manual version 4, URL: <http://hydrolab.arsusda.gov/pub/srm/srm4.pdf>



شکل ۱- نمودار همبستگی دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در دوره ارزیابی (سال آبی ۷۷-۱۳۷۶)

جدول ۴- نتایج بررسی دبی حداکثر روزانه و حجم سیلاب در ۳ واقعه مهم سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ (دبی به مترمکعب در ثانیه)

تاریخ وقوع	دبی حداکثر روزانه		حجم سیلاب	
	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی
۱۱ تا ۱۷ بهمن ۱۳۷۶	۱۵۷۴	۱۶۵۴	۵	۵۷۳
۲۶ اسفند ۱۳۷۶ تا ۳ فروردین ۱۳۷۷	۱۷۰۹	۱۱۲۲	۳۴	۵۴۳
۸ تا ۱۵ فروردین ۱۳۷۷	۱۶۲۱	۱۰۳۰	۲۶	۵۵۵

یک مقدار برای هر حوزه پیشنهاد شده است ولی در این تحقیق داده شد که در حوزه مورد مطالعه برای این پارامترها سه دسته مقادیر می‌تواند اختصاص یابد.

۶- با توجه به اینکه مدل برای یک سال آبی نسبتاً «تر» ارزیابی و از پارامترهای واسنجی یک سال نسبتاً «خشک» استفاده شد، به نظر می‌رسد که برای شرایط پیش‌بینی در صورتی که مدل بر اساس شرایط مناسب واسنجی شود، از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. بنابراین بررسی مدل برای پیش‌بینی زمان واقعی پیشنهاد می‌شود.

۵- پی‌نوشت‌ها:

1. World Meteorological Organization
2. Advanced Very High Resolution Radiometer

Siedel K., J. Martinec, C. Steinmeier and W. Bruesch, (1993)
Remote sensing of snow cover for operational forecasts,
International Symposium on operationalization of remote
sensing, 19 - 23 , April 1993, ITC Enschede, The
Netherlands.

Sorman U., E. Uzunoglu and H. L. Kaya(2001). Application
of the SRM and SLURP models in eastern Turkey using
remote sensing and Geographical Information System,
IAHS Pub. 267, p 81 - 92.

US Army Corp of Engineer,(1998). Engineering and design
runoff from snowmelt, Pub. No. 1110 -2 - 1406.

WMO, 1986. Intercomparison of models of snowmelt runoff,
Operational Hydrological Report 23 WMO, Geneva,
Switzerland.