

شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه های کوهستانی با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوضه آبریز بازفت

دریافت مقاله: ۹۰/۷/۱۰ پذیرش نهایی: ۹۰/۹/۲۰

صفحات: ۱۴۱-۱۲۹

ابراهیم فتاحی: استادیار هیات علمی پژوهشکده اقلیم شناسی مشهد^۱

Emai: ebfat2002@yahoo.com

مجید دلاور: دانشجوی دکتری منابع آب دانشگاه تهران

Emai: ebfat@yahoo.com

الیه قاسمی: کارشناس ارشد اقلیم شناسی

Emai: e-ghasemi2012@yahoo.com

چکیده

حوضه آبریز بازفت یکی از زیر حوضه های آبریز کارون بزرگ می باشد این حوضه آبریز کاملاً کوهستانی و مرتفع می باشد و رواناب ناشی از ذوب برف در آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از مدل شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف SRM (Snowmelt Runoff Modelling)، رواناب روزانه حاصل از ذوب برف با استفاده از اطلاعات برف بدست آمده از تصاویر هشت روزه سنجنده MODIS در این حوضه آبریز مورد شبیه سازی و ارزیابی قرار گیرد. نتایج کاربرد مدل، شبیه سازی موفق و قابل قبولی را نشان داد بطوریکه نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی به تربیت برابر با ۸۲ و ۱۸/۹- درصد می باشد. مقادیر بدست آمده دقت بالای مدل را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف را برای حوضه مذکور نشان می دهد. و نشانگر قابلیت کاربرد مدل برای حوضه های دیگر منطقه می باشد.

کلید واژگان: شبیه سازی، ذوب برف، مدل SRM، سطح پوشش برف، حوضه بازفت

مقدمه

شبیه سازی و پیش بینی رواناب آبهای سطحی و رودخانه ها در زمینه های مختلف از جمله در بخش تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت، کنترل و هشدار سیل، گردشگری و مدیریت مخازن

^۱ نویسنده مسئول: بزرگراه تهران کرج-خروجی ۱۷-بلوار پژوهش-پژوهشکده هواشناسی

دارای کاربرد می‌باشد. لذا برای پیش‌بینی زمان واقعی و اقلیمی رواناب‌ها غالباً از مدل‌های هیدرولوژیکی شبیه‌سازی رواناب استفاده می‌گردد که عموماً بر اساس بارش باران و ذوب برف عمل می‌کنند. در اکثر مواقع کار با داده‌های این مدل‌ها سخت و پیچیده است اما چندین مدل وجود دارد که توانسته‌اند با سهولت بیشتر شرایط مختلف هیدرولوژیکی را برآورده کنند. مشهورترین آنها، (Martinec, 1975) ^۱SRM، (Quick, 1995) ^۲UBC و (Leavesley, 1983) ^۳PRMS هستند. در بین تمام این مدل‌ها، مدل SRM با استفاده از مساحت پوشش برف به عنوان ورودی، دارای بیشترین کاربرد در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی رواناب حوضه‌های کوهستانی است.

این مدل بر اساس شاخص درجه - روز عمل می‌کند و اولین بار توسط مارتینک (۱۹۷۵) به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب روزانه حاصل از ذوب برف در حوضه‌های کوچک کوهستانی در اروپا ارائه شده است. این مدل بعدها توسعه یافته و در بیش از ۱۰۰ حوضه در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۲ تا ۶۰ درجه شمالی و ۳۳ تا ۵۴ درجه جنوبی و با مساحت‌های ۰/۲۹ تا ۹۱۷۴۴۴ کیلومتر مربع در بیش از ۳۰ کشور مورد استفاده قرار گرفته است (Seidel & Martinec, 2004).

در این مدل ریزش برف و باران با استفاده از دمای آستانه تفکیک می‌شود و پوشش برفی حوضه با استفاده از برداشت زمینی و یا استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای تعیین می‌گردد. بنحوی که در حوضه‌های کوهستانی و فاقد اطلاعات زمینی مربوط به پوشش برف می‌توان از این مدل استفاده کرد. بطوریکه این مدل می‌تواند برای اهداف ذیل بکار برده شود:

۱- شبیه‌سازی رواناب روزانه ناشی از ذوب برف در یک فصل سال یا دوره چند ساله که به منظور بهبود عملکرد مدل و تعیین پارامترهای آن در حوضه مورد نظر، رواناب شبیه‌سازی شده با رواناب اندازه‌گیری شده مقایسه می‌گردد. همچنین در حوضه‌هایی که فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشند، شبیه‌سازی می‌تواند برای محاسبه الگوی فصلی یا سالانه رواناب بکار برده شود.

۲- پیش‌بینی کوتاه مدت و فصلی رواناب با استفاده از دما و بارش پیش‌بینی شده به عنوان داده‌های ورودی، رواناب در یک دوره کوتاه مدت (یک هفته ای) یا یک دوره فصلی پیش‌بینی

-
1. Snowmelt Runoff Model
 2. University of British Columbia
 3. Precipitation-Runoff Modeling System

می شود. برای دسترسی به دقت بالاتر در پیش بینی، مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده در هر دوره چند روزه با یکدیگر مقایسه می گردد.

۳- اثر تغییرات اقلیم بر پوشش برف و تغییرات رواناب ناشی از آن را بررسی می کند (WinSRM, 2007).

مالچر و هیدینگر (۲۰۰۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS^۱، رواناب حاصل از ذوب برف را زیر حوضه های کشور اتریش با استفاده از مدل SRM شبیه سازی کردند. هانگ و همکارانش (۲۰۰۳) نیز این مدل را برای شبیه سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز رودخانه گانمیزی در غرب چین بکار بردند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. با توجه به اینکه آنها سطح پوشش برف را با استفاده تصاویر ماهواره ای برآورد نمودند، نتایج حاصل از مدل نشان داد سطح پوشش برف به تغییرات اقلیم و بخصوص کاهش دما وابسته است. در ترکیه امره و همکاران (۲۰۰۵) به منظور مدل سازی رواناب حاصل از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز فرات از منحنی های تخلیه برف استخراج شده از نقشه های پوشش برف MODIS استفاده کردند. نتایج اولیه مطالعه ایشان نشان داد که از این اطلاعات می توان برای شبیه سازی و همچنین پیش بینی رواناب ذوب برف در آن کشور استفاده کرد.

جاین و همکارانش (۲۰۰۵) مدل SRM را برای بررسی تغییر اقلیم با استفاده از چگونگی میزان تغییرات رواناب حاصل از ذوب برف در شمال غربی چین بکاربردند، نتایج این مطالعه نشان داد تغییر فصل ذوب برف، افزایش جریان آب در فصل ذوب و کاهش در جریانهای بعد از فصل ذوب، تحت سناریو ۴ درجه سانتیگراد افزایش دما رخ داده است. جورجیوسکی (۲۰۰۹) نیز از این مدل و تصاویر ۸ روزه پوشش برف MODIS، MOD10A2 برای شبیه سازی جریان ذوب برف در روسیه استفاده کرد و نتیجه گرفت که این مدل را می توان برای پیش بینی کوتاه مدت رواناب در دامنه کوه ها و مناطقی از حوضه آبریز کراسنودار در روسیه مورد استفاده قرار داد.

هارشبرگر و همکارانش (۲۰۱۰) با استفاده از مدل SRM، داده های برف سنجنده MODIS و اطلاعات ایستگاه های تله متری برف در حوضه های کوهستانی غرب ایالات متحده به بررسی جریانهای کوتاه مدت تا متوسط ۱ تا ۱۵ روزه پرداختند و به منظور بهینه سازی 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

1. ModerateResolution Imaging Spectroradiometer

استفاده کردند. مقایسه این شبیه سازی نشان داد پیشرفت قابل توجهی در بهبود عملکرد مدل رویداده است.

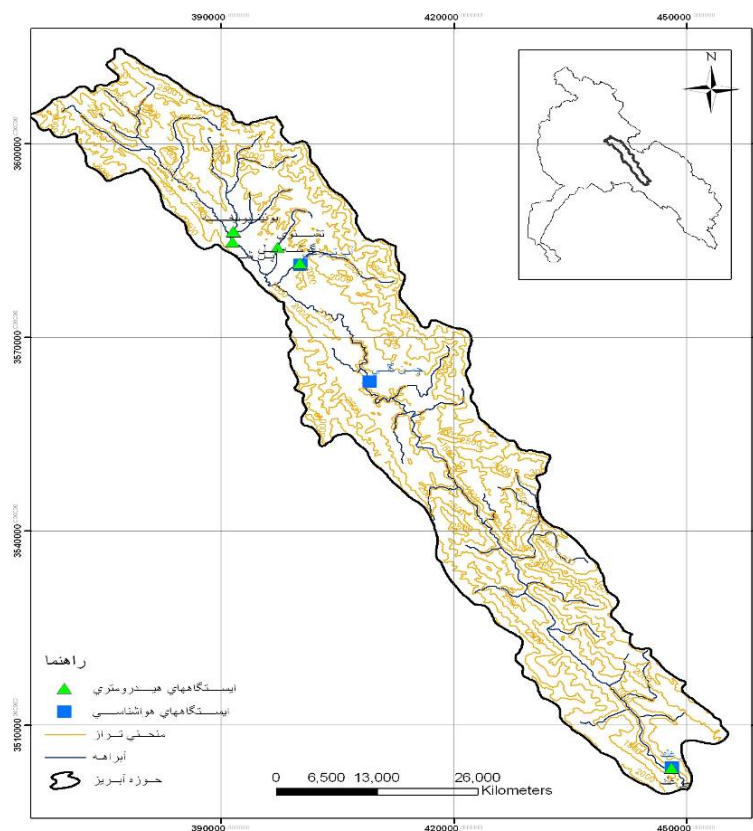
از آنجا که بیشتر حوضه های آبریز ایران کوهستانی و برفگیر می باشد، استفاده از مدل SRM به همراه تصاویر ماهواره ای در سالهای اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. از جمله آنها می توان به کاربرد مدل SRM به همراه سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره NOAA در حوضه آبریز خراسان توسط پرهمت و همکاران (۱۳۸۴) اشاره کرد. بیرودیان (۱۳۸۴) در تخمین رواناب حوضه آبریز زیارت و حسینی و پرهمت (۱۳۸۶) در حوضه آبریز طالقان از این مدل استفاده کردند. نجفی و همکارانش (۱۳۸۶) با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR و میریعقوبزاده (۱۳۸۶) و قاسمی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، از مدل SRM برای شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه های شهرچایی ارومیه، سد کرج و حوضه آبریز بختیاری بهره جستند و به نتایج قابل قبولی در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف برای مناطق مذکور دست یافته اند که بیانگر قابلیت کاربرد مدل برای حوضه های دیگر در این مناطق می باشند.

در این پژوهش سعی شده که کاربرد مدل SRM و تصاویر سنجنده ماهواره ای MODIS برای شبیه سازی رواناب حوضه آبریز بازفت مورد بررسی قرار گیرد.

روش کار

- ناحیه مورد مطالعه

حوضه آبریز بازفت یکی از زیر حوضه های آبریز کارون بزرگ با وسعت ۲۹۷۳ کیلومتر مربع می باشد که در قسمت مرکزی حوضه واقع شده است. این حوضه کاملاً کوهستانی و مرتفع بوده بطوریکه ۲۹۲۴ کیلومتر مربع از وسعت آن را ارتفاعات تشکیل می دهد. حداقل ارتفاع در حوضه ۸۶۱ متر و حداکثر ارتفاع آن ۴۰۹۱ متر از سطح دریا مربوط به قسمت های شمالی آن می باشد. متوسط رقم ارتفاعی در این محدوده معادل ۲۱۱۵ متر از سطح دریا می باشد. رودخانه بازفت، از شاخه های مهم رودخانه کارون بوده که از دامنه های کوه های بلند تورک و منار واقع در ۸۰ کیلومتری جنوب غربی فریدن سرچشمه می گیرد. طول این رودخانه ۱۶۰ کیلومتر بوده و حوضه آبریز آن در مناطق مرتفع، برفگیر و کوهستانی واقع گردیده است. و دارای جریان آب دائمی است. دبی متوسط دراز مدت این رودخانه در ایستگاه مرغک حدود ۶۹/۱ متر مکعب بر ثانیه می باشد. شکل شماره (۱) موقعیت حوضه آبریز بازفت را نشان می دهد.



شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز بازفت

– ساختار مدل رواناب ذوب برف

مدل SRM یک مدل هیدرولوژیکی، مفهومی و عینی براساس روش درجه - روز است این مدل به منظور شبیه سازی و پیش‌بینی جریان روزانه در حوضه های کوهستانی که مهمترین عامل در تولید رواناب در این حوضه ها، ذوب برف می‌باشد، طراحی شده است. (WinSRM, 2007).

محاسبه میزان آب تولید شده در این حوضه در اثر ذوب برف و بارش باران با استفاده از معادله زیر انجام می شود:

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

که در آن A = مساحت حوضه آبریز در هر زون به Km^2 ، n = شماره روز در یک دوره محاسباتی و $\frac{10000}{86400}$ = ضریبی است که واحد Q را $[\text{cm km}^2 \text{d}^{-1}]$ به $[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$ تبدیل می کند. متغیرهای: Q = خروجی روزانه بر حسب $[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$ ، T = تعداد درجه-روز $[\text{C}^0 \text{d}]$ ، ΔT = گرادیان حرارتی هر ناحیه ارتفاعی، S = نسبت سطح پوشیده شده از برف به کل محدوده و P = بارش (برف یا باران) بر حسب cm می باشد.

پارامترهای هیدرولوژیکی: C_S = ضریب رواناب برف، C_R = ضریب رواناب باران، a = عامل درجه-روز بر حسب $[\text{cm}^0 \text{c}^{-1} \text{d}^{-1}]$ ، نشان دهنده عمق ذوب برف به ازای افزایش یک روز درجه-روز، K = ضریب رکورد یا تضعیف، یعنی تضعیف رواناب در یک دوره زمانی بدون محاسبه بارش یا ذوب برف، L = زمان تمرکز و T_{CRIT} = دمای بحرانی می باشد (WinSRM, 2007).

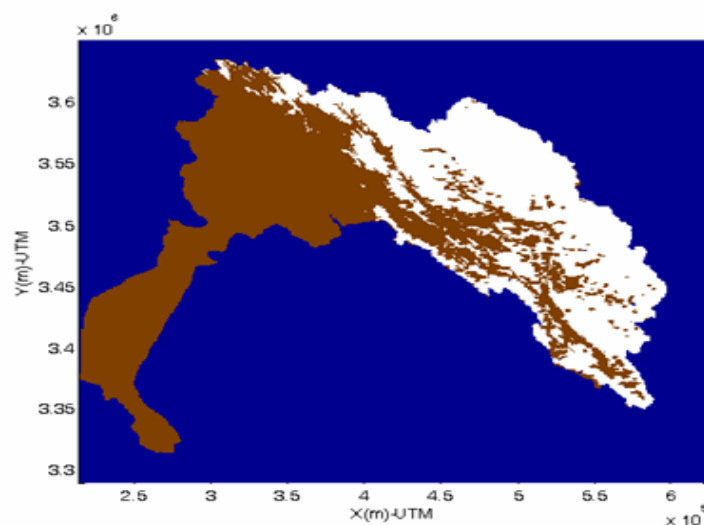
- فرایند اجرای مدل

برای شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM برای فاصله زمانی ژانویه ۲۰۰۱ تا ژوئن ۲۰۰۱ (دی ۱۳۷۹ تا خرداد ۱۳۸۰) درحوضه آبریز بازفت، فاکتور S (سطح پوشش برف) با استفاده از تصاویر ۸ روزه سنجنده MODIS به دلیل قدرت تفکیک زمانی و طیفی مناسب این تصاویر با ترکیب باندهای ۴ و ۶ و کاربرد شاخص NDSI^1 به همراه آستانه گذارهای لازم با استفاده از نرم افزار Erdas استخراج و پس از انجام عملیات برونیابی، نقشه برف تهیه شده با مدل رقومی ارتفاعی ترکیب و منحنی تخلیه برف $[\text{SCDCs}^2]$ برای دوره مورد نظر بدست آمد و درصد مساحت پوشش برف روزانه از منحنی تخلیه برف $[\text{SCDCs}]$ که متغیر اساسی مدل بشمار می رود محاسبه شد در شکل شماره (۲) سلولهای برفدار در گذر ۲۰۰۱/۱/۲۰ در حوضه کارون که زیر حوضه بازفت بخشی از آن می باشد به عنوان نمونه ارائه شده است. مقادیر دما و بارش روزانه از داده های ثبت شده در ایستگاه مرغک بدست آمد و مقادیر دبی روزانه با استفاده از آمار دبی اندازه گیری شده در ایستگاههای هیدرومتری مرغک به مدل وارد شده است. همچنین در مورد پارامترهای ورودی به مدل، مقادیر ضریب رواناب برف $[\text{Cs}]$ ، باران $[\text{Cr}]$ ، افت محیطی دما و فاکتور درجه-روز $[\alpha]$ بصورت متوسط فصلی و دمای بحرانی و زمان تاخیر برای تمام حوضه در نظر گرفته شده و سطح مشارکت کننده در بارش

1. Normalized-difference snow index ($\text{NDSI} = (\text{MODIS4} - \text{MODIS6}) / (\text{MODIS4} + \text{MODIS6})$)

2. Snow cover depletion curves

[RCA^۱] به صورت روزانه به مدل وارد شد. همچنین برای تعیین ضریب فروکش جریان از رابطه ارائه شده توسط مارتینک و رنگو بصورت $k_{n+1} = xQ_n^{-y}$ استفاده گردید. با بهره گیری از آمار روزانه ایستگاه مرغک از روی نمودار تجربی Q_{n+1} بر حسب Q_n بدست آمد و مقادیر X و Y به مدل وارد شد در نهایت پس از استخراج و آماده سازی متغیرها و پارامترهای فیزیکی حوضه، این اطلاعات به مدل وارد و فرآیند شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف به صورت روزانه در نرم افزار SRM به منظور بررسی نقش پوشش برف در تغییرات دبی رودخانه در حوضه آبریز بازفت مورد بررسی قرار گرفت.



شکل (۲) سطح پوشش برف حوضه کارون بر اساس تصاویر MODIS در تاریخ ۲۰-۰۱-۲۰۰۱

- ارزیابی دقت مدل SRM

پارامترهای ارزیابی که توسط مدل جهت ارزیابی دقت جریان شبیه سازی شده مورد استفاده قرار می گیرد ضریب تبیین و تفاضل حجمی می باشد. که ضریب تبیین (R^2) از طریق فرمول شماره (۲) تعیین می گردد.

3. Rainfall Contributing Area

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

که در آن R^2 : معیار سنجش مدل، Q_i : خروجی روزانه اندازه گیری شده، Q'_i : خروجی روزانه محاسبه شده، $\bar{Q}$: متوسط خروجی اندازه گیری شده برای کل دوره و n : تعداد داده ها می باشد. همچنین معیار تفاضل حجمی که اختلاف بین رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده است نیز برای ارزیابی دقت مدل استفاده می شود که از طریق فرمول شماره (۳) محاسبه می گردد.

$$D_v[\%] = \frac{V_R - V'_R}{V_R} \times 100 \quad (3)$$

که در آن V_R : حجم رواناب اندازه گیری شده سالانه و V'_R : حجم رواناب محاسبه شده سالانه می باشد.

نتایج و بحث

- نتایج

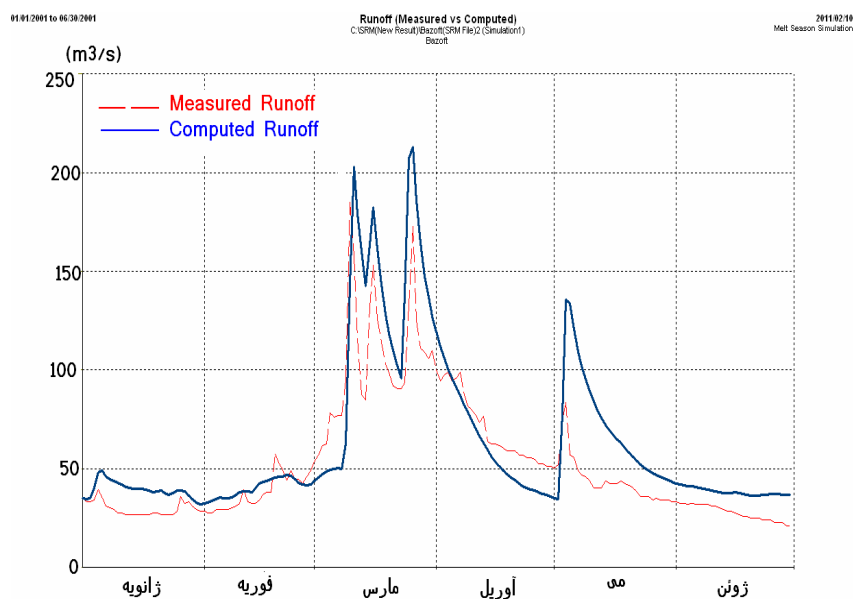
فرآیند شبیه سازی جریان حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز بازفت با محاسبه فاکتورها و پارامترهای مورد لزوم در دوره ژانویه ۲۰۰۱ تا ژوئن ۲۰۰۱ (دی ماه ۱۳۷۹ تا خردادماه ۱۳۸۰) انجام گرفته است. که نتیجه حاصل از این شبیه سازی به صورت گرافیکی در شکل شماره (۳) نشان داده شده است.

پارامترهای ارزیابی که توسط مدل جهت ارزیابی دقت جریان شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته است، ضریب تبیین و تفاضل حجمی می باشد. این مقادیر در دوره شبیه سازی به ترتیب ۸۲ و ۱۸/۹- درصد بدست آمده است. مقادیر فوق دقت نسبتاً بالای مدل را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف را برای حوضه مذکور نشان می دهد بطوریکه با توجه به نتایج حاصل از تفاضل حجمی بدست آمده و اشکال گرافیکی حاصل از هیدروگراف، دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده در طی دوره مورد نظر در مجموع نتایج قابل قبولی را ارائه می نمایند.

با توجه به نتایج هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی روزانه مشاهده می شود مقادیر اوج رواناب در ماه مارس (اسفند ماه) و اوایل ماه می (اواخر فروردین ماه) و بدنال بارش باران بوقوع

پیوسته است زیرا غالباً در ارتفاعات حوضه های برفگیر ذوب برف در اثر بارش باران بیشتر می شود و اوج رواناب در زمان بارش نسبتاً شدید باران بر روی حوضه رخ خواهد داد. در این حوضه آبریز نیز بمانند اکثر زیر حوضه های کارون بزرگ دوره پر آبی رودخانه ها در بلندیه های حوضه همزمان با بارندگی و ذوب برف رخ داده است و معمولاً از نیمه دوم زمستان شروع و تا نیمه دوم بهار ادامه می یابد همانطور که تغییرات آبدهی فصلی در ایستگاههای آبسنجی مرغک بر روی رودخانه بازفت نشان می دهد به طور طبیعی این رودخانه بیشترین درصد جریان فصلی را در بهار با ۴۶ درصد جریان و جریان زمستانه در حدود ۲۹/۷ درصد از جریان سالانه می باشد.

همچنین بیشترین درصد آبدهی ماهانه به ترتیب در ماههای اسفند، اردیبهشت و فروردین از ۱۴ درصد تا ۲۰ درصد جریان پایه رودخانه در نوسان می باشد (جدول ۱).



شکل شماره (۳) شبیه سازی جریان در دوره ژانویه تا ژوئن ۲۰۰۱ (دی ۱۳۷۹ تا خرداد ۱۳۸۰) در حوضه آبریز بازفت

جدول شماره (۱) درصد آبدهی متوسط ماهانه وفصلی نسبت به سالانه در ایستگاه مرغک برحسب

مترمکعب بر ثانیه

ایستگاه رودخانه	ز.ب.	م.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.	ز.ب.
بازفت (مرغک)	ماهانه	۲/۴۲	۳/۵۷	۶/۴۳	۶/۵۶	۸/۶۹	۱۴/۴۶	۲۰/۹۰	۱۶/۱۶	۹/۰۲	۵/۳۹	۳/۶۴	۲/۷۶
فصلی	۱۲/۴۲	۲۹/۷۲	۴۶/۰۷	۱۱/۷۹									

- تحلیل حساسیت پارامترهای مدل : برای تحلیل حساسیت مدل به پارامترها، پارامترهای ضریب رواناب برف و باران، فاکتور درجه -روز و افت محیطی دما با $+10$ و -10 درصد افزایش و کاهش به مدل وارد شده است. مشخص گردید ضریب رواناب برف، فاکتور درجه -روز و افت محیطی دما بر ضریب تبیین و تفاضل حجمی موثرند. ولیکن افت محیطی دما نسبت به دو مولفه دیگر از حساسیت کمتری برخوردار است. ضریب فروکش، دمای بحرانی و ضریب رواناب باران بر ضریب تبیین چندان تأثیر گذار نیستند. بنابراین مدل در فصل ذوب نسبت به پارامترهای ضریب رواناب برف، فاکتور درجه -روز و افت محیطی دما حساس است.

نتیجه گیری

۱- شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز بازفت نشان می دهد این مدل قادر به مشخص کردن و تخمین رواناب روزانه در حوضه مذکور می باشد و همبستگی بین دبی مشاهداتی و شبیه سازی روزانه در فاصله ژانویه ۲۰۰۱ تا ژوئن ۲۰۰۱ (دی ماه ۱۳۷۹ تا خردادماه ۱۳۸۰) مؤید این مطلب است. اما برای حصول نتایج دقیقتر لازم است که عملیات واسنجی بصورت دراز مدت انجام پذیرد.

۲- استفاده از سطح پوشش برف که از تصاویر ماهواره ای MODIS بدست آمده است نتایج قابل قبولی را در شبیه سازی جریان حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM درحوضه آبریز بازفت به همراه داشته است.

- ۳- مدل SRM یک مدل درجه - روز می باشد و به این فاکتور حساس است. فاکتور درجه - روز به تراکم برف وابسته است بنابراین برای تخمین دقیق این فاکتور، در اختیار داشتن اطلاعات نسبتاً دقیقی از تراکم برفی منطقه ضروری به نظر می رسد.
- ۴- بدلیل حساسیت مدل SRM به نرخ کاهش دما با ارتفاع، محاسبه دقیق آن در ارتقاء دقت شبیه سازی صورت گرفته بوسیله مدل مؤثر خواهد بود.
- ۵- ضریب فروکش جریان مؤثرین پارامتر مدل در هم آهنگی بین رواناب شبیه سازی و مشاهداتی است و لازم است تا بدقت مورد واسنجی قرار گیرد.
- ۶- با استفاده از نتایج بدست آمده، این مدل امکان بررسی سهم پوشش برف فصلی [برف جدید]، پوشش برف دائم [برف اولیه] و بارندگی [باران] را در رواناب حوضه آبریز بازفت میسر می سازد.

منابع و مآخذ

۱. بیرودیان، نادر و نادر جندقی (۱۳۸۴) برآورد رواناب ذوب برف به وسیله مدل SRM و مقایسه نتایج آن با اطلاعات آبنمود رودخانه در آبخیز زیارت، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶، سال دوازدهم، صص.
۲. پرهت، جهانگیر، بهرام ثقفیان و حسین صدقی (۱۳۸۴) بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده های ماهواره ای در حوضه های بدون آمار برف (مطالعه موردی حوزه خرسان در کارون، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، سال اول).
۳. حسینی، مجید. و جهانگیر پرهت (۱۳۸۶) ارزیابی مدل ذوب برف (SRM) در حوضه آبخیز طالقان. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران - مدیریت حوضه های آبخیز ۱۳۸۶.
۴. قاسمی، الهه، علیجانی، بهلول و ابراهیم فتاحی (۱۳۸۹) شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM، مطالعه موردی حوضه آبریز بختیاری. همایش برف و یخ شهرکرد ۱۳۸۹.
۵. میریعقوبزاده، میرحسن (۱۳۸۶) شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران.

۶. نجفی، احمد، جمال قدوسی، بهرام ثقفیان و جهانگیر پرهمت (۱۳۸۶) برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچایی ارومیه. پژوهش و سازندگی، شماره ۷۶، سال بیستم.
۷. نجفی، محمدرضا، جواد شیخیوند و جهانگیر پرهمت (۱۳۸۳) برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه های برف گیر با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوضه سد مهاباد، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شماره ۳، سال یازدهم.

Emre, A., Akyu, Z., Ormanc, A.S., Ensoyc, A.S. and Orman, A.U., (2005). **Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey**. Remote Sensing of Environment, 97, 216 – 230

Georgievsky, M .V, (2009). **Application of the Snowmelt Runoff modelin the Kuban river basin using MODIS satellite images**. Environmental Research Letters, 4, 4, 1-5.

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 Streamflow Forecasts Obtained Using an Enhanced Version of SRM**. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 00(0):1-15. DOI: 10.1111/j.1752-1688.

Hong, M.A. and Guodong1, C., (2003). **A test of Snowmelt Runoff Model (SRM) for the Gongnaisi River basin in the western Tianshan Mountains, China**. Chinese Science Bulletin, 48, 2253-2259.

Jian ,W. and Shuo ,L. ,(2005). **Effect of climatic change on snowmelt runoffs in mountainous regions of inland rivers in Northwestern China**. Earth Sciences, 881-888.

Leavesley, G.H., Lichty, R.W., Troutman, B.M., and Saindon, L.G.,(1983). **Precipitation-Runoff Modeling System: User's Manual: U.S.** Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 83, 1-207.

Malcher, P. and Heidinger, M., (2004). ***Processing and data Assimilation Scheme for Satellite Snow Cover Products in the Hydrological Model***. Envisnow, 00052, 1-40.

Martinec, J., (1975). ***Snowmelt Runoff Model for Streamflow Forecasts***. Nordic Hydrology. 6, 145–154.

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

Quick, M.C., (1995). ***The UBC watershed model***. In: Singh, V.J. (Ed.). ***Computer Models of Watershed Hydrology***. Water Resources Publications, Colorado, 233–280.

Seidel, K., and Martinec, J. (2004). ***Remote sensing in snow hydrology: Runoff modeling, effect of climate change***. Springer.

WinSRM, (2007). ***Snowmelt Runoff Model (SRM) user's manual***. 1-172.