ارزيابی مقايسه نسخه درجه-روز و تابشي مدل **SRM** در همانندسازي رواناب ناشي از ذوب برف

علي فتح‌زاده*[١]، محمد مهدوي[٢]، راجر بيلز[٣]، علي‌اكبر آبكار[٤]، حسن عسكري‌شيرازي[٥]

[١] استاديار دانشكده منابع طبيعي اردكان، دانشگاه يزد، ايران

[٢] استاد دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[٣] استاد دانشكده مهندسي دانشگاه كاليفرنيا

[٤] استاديار موسسه آموزشي ITC، هلند

[٥] استاد بازنشسته دانشگاه علوم پزشكي تهران، ايران

(تاريخ دريافت: ٨٧/٣/٢٠، تاريخ تصويب: ٨٧/٨/١٨)

چكيده

در حوزه‌هاي آبخيز كوهستاني، ذوب برف و رواناب بدست آمده از آن سهم عمـده‌اي در توليـد جريـان و تـأمين منـابع آب دارد. مـدل SRM از جمله مدل‌هاي هيدرولوژيكي است كه به منظور همانندسازي و پيش‌بيني جريان روزانه در حوزه‌هاي كوهستاني متـأثر از ذوب برف طراحي شده است. مبناي بكار گرفته شده در مدل SRM روش تجربي درجه-روز مي‌باشد كه به رغم گستردگي كاربرد آن به دليـل دارا نبودن عامل‌هاي فيزيكي همواره مورد نكوهش پژوهشگران قرار گرفته است. در اين بررسی با اضافه نمودن مشخصه تـابش بـه مـدل درجه-روز آنرا به يك معادله ساده بيلان انرژي تبديل نموده و مدل از حالت تجربي به فيزيكي تبديل شد. براي اين منظـور حـوزه آبخيـز كرج گزينش و با آماده‌سازي مشخصه‌هاي لازم مدل كلاسيك SRM و مدل تابشي SRM مورد مقايسه واقع شدند. ميزان تابش ميـانگين روزانه با بهره‌گيری از آلبدو، امواج با طول موج كوتاه و بلند، دماي بيشينه و كمينه روزانه و رطوبت نسبي محاسبه شد. سطوح پوشـيده از برف حوضه از تصاوير سنجنده MODIS و به صورت روزانه استخراج شد. نتايج ايـن بررسـی نـشان داد كـه ضـريب تعيـين داده‌هـاي ديداري و برآورد شده (R^2) در مدل SRM تابشي معادل ٠/٦٧٧ و اختلاف حجم دبي‌ها برابر ٥/٥٨- درصد مي‌باشد. بدين ترتيـب مـدل SRM تابشي همبستگي دبي‌هاي ديداري و همانندسازي شده را نسبت به مدل SRM كلاسيك به ميزان ٩/٣ درصد بهبود بخشيد.

واژه‌هاي كليدي: ذوب برف، بيلان انرژي، تابش، درجه-روز، همانندسازي، SRM، حوزه آبخيز كرج

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٣٥٢-٧٢٢٠٩٠٩ فاكس: ٠٣٥٢-٧٢٢٦٧٦٧ E-mail: afathzadeh@yazduni.ac.ir

مقدمه

در حوزه‌هاي آبخيز كوهستاني، ذوب برف و رواناب ناشي از آن سهم عمده‌اي در توليد جريان و تأمين منابع آب دارد. به طور ميانگين ۶۰% از نيمكره شمالي در ميانه زمستان پوشيده از برف است، بيش از ۳۰% سطح زمين بارش فصلي برف دارد و حدود ۱۰% از سطح زمين به طور پيوسته از برف و يخ پوشيده شده است (۷). در كشور ما نيز بيشتر رودخانه‌هاي دائمي و نيز چشمه‌ها و درياچه‌هاي آب شيرين در حوزه‌هاي آبخيز برف‌گير قرار دارند. برآوردهاي موجود نشان مي‌دهد كه حدود ۶۰% منابع آب كشور از ذخائر برفي و يخچالي تأمين مي‌شود (۴)، اين در حالي است كه اين رقم در برخي جاهاي جهان بالغ بر ۹۵% مي‌شود (۱۱).

مدل SRM[۱] از جمله مدل‌هاي هيدرولوژيكي است كه به منظور همانندسازي و پيش‌بيني جريان روزانه ناشي از ذوب برف طراحي شده است. اين مدل براي نخستين بار در سال ۱۹۷۵ براي حوزه‌هاي كوچك اروپا توسط مارتينك[۲] ارائه شد و با پيشرفت روش هاي ماهواره‌اي و كاربرد آنها در تعيين پوشش برف براي حوزه‌هاي بزرگتر تا ۹۱۷۴۴۴ كيلومترمربع مورد بهره برداری واقع شد (۱۳). اين مدل توسط سازمان جهاني هواشناسي نيز براي همانندسازي رواناب، پيش‌بيني رواناب و ارزيابي قابليت تأثير تغيير اقليم بر رواناب مورد تأييد قرار گرفته است (۱۸).

كوستاس[۳] و همكاران (۱۹۹۴)، در مقاله‌اي به معرفي الگوريتم ساده بيلان انرژي براي بهره گيری در مدل SRM پرداختند. آنان در پژوهش خود سه روش درجه-روز (DD)[۴]؛ درجه-روز محدود شده (RDD)[۵] و بيلان انرژي را براي برآورد ذوب برف با هم مقايسه كردند. بدين ترتيب كه در روش درجه-روز داده‌هاي دما، در روش درجه-روز محدود شده داده‌هاي درجه حرارت همراه با مشخصه تابش خالص و در مدل بيلان انرژي كمترين مشخصه‌هاي مورد نياز مانند پوشش ابر، دماي هوا و سرعت وزش باد بكار گرفته شد. نتايج بدست آمده از اين بررسي نشان داد كه تركيب نمودن مشخصه تابش به مدل SRM بهبودي قابل ملاحظه‌اي را نسبت به مدل درجه-روز آن (نسخه كلاسيك) ايجاد مي‌كند (۱۱).

رانگو و مارتينك[۶] (۱۹۹۵)، در مقاله‌اي روش درجه-روز را براي انجام محاسبه های ذوب برف مورد بازبيني قرار دادند و با بيان ويژگي‌هاي مثبت آن مانند دقت خوب و سادگي مدل به دفاع از آن در مقابل روش پيچيده بيلان انرژي پرداختند. اين پژوهشگران چنين نتيجه گرفتند كه مشخصه هاي بيشمار مدل بيلان انرژي و سختي اندازه‌گيري اين مشخصه ها از يك سو و اختلاف اندك نتايج روش درجه-روز با روش بيلان انرژي سبب شده تا در پايه‌هاي زماني بيش از ۲۴ ساعت از مدل درجه-روز بهره برداری بيشتري به عمل آيد (۱۷).

بروبيكر[۷] و همكاران (۱۹۹۶)، در پژوهش خود تأثير داده‌هاي تابش در مدل SRM را مورد بررسي قرار دادند. نتايج بدست آمده نشان داد كه تركيب شاخص تابش و دما مي‌تواند به طور موفقيت‌آميزي آب نگار جريان را همانندسازي كند (۵).

هوك[۸] (۲۰۰۳)، در مقاله خود به بررسي مدل‌هاي ذوب برف دما محور در مناطق كوهستاني پرداخت. اين پژوهشگر ضمن برشمردن برتری های مدل‌هاي دما محور از جمله ساده بودن و دسترسي آسان به مشخصه هاي آن به بررسي عيب های اين مدل‌ها پرداخت. او در بررسی خود با مقايسه نتايج بدست آمده از اجراي مدل درجه-روز در جاهاي مختلف نتيجه گرفت كه روش كلاسيك درجه-روز تنها در شرايط ميانگين از بهترين كارآيي برخوردار بوده و اين مدل

۱- Snowmelt Runoff Model

۲- Martinec

۳- Kustas

۴- Degree-Day

۵- Restricted Degree-Day

۶- Rango & Martinec

۷- Brubaker

۸- Hock

مي‌بايست در هر منطقه و براي آن منطقه تنظيم و واسنجي شود (۹).

پليكيوتي[1] و همكاران (۲۰۰۵)، طي پژوهشي به تكامل مدل ذوب بر پايه شاخص دما در كشور سوئيس پرداختند. آنان در اين بررسی تابش طول موج كوتاه و آلبدو را به مدل اضافه نمودند. نتايج بدست آمده نشان از بهبود مدل تابشي نسبت به مدل درجه-روز داشت. اگر چه اين بهبودي كم بود لكن از نظر آماري معنادار بشمار مي‌آيد (١٦).

پرهمت و همكاران (١٣٨٤)، در مقاله‌اي كاربرد مدل كلاسيك SRM در همانندسازي رواناب بدست آمده از ذوب برف را با بهره گيری از داده‌هاي ماهواره‌اي در حوزه آبخيز خرسان (واقع در جنوب غربي ايران) مورد بررسي قرار دادند. نتايج همانند نشان داد كه بيشترين ناهمخوانی هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي و برآورد شده در زمان اوج سيلابهاست. ضريب تعيين (R^2) دبي‌هاي همانندسازي شده و مشاهده‌اي و اختلاف حجم آنها به ترتيب معادل معادل ۰/۷۷٤ و ۱/۰۳% شد (۲).

بيروديان و جندقي (١٣٨٤)، كاربرد مدل كلاسيك SRM را در حوزه آبخيز زيارت مورد ارزيابي قرار دادند. پس از تهيه مشخصه هاي مورد نياز و اجراي مدل، ميزان رواناب مشاهده‌اي و برآورد شده با بهره گيری از آزمون T-test تجزيه واريانس شد. نتايج بدست آمده نشان داد كه بين ميانگين ميزان بدست آمده از مدل SRM و اطلاعات جمع‌آوري شده از ايستگاه آبسنجی در سطح ٥% تفاوت معناداري وجود ندارد (١).

نجفي و همكاران (١٣٨٣)، در پژوهش خود رواناب بدست آمده از ذوب برف در حوزه آبخيز سد مهاباد را با بهره گيری از مدل كلاسيك SRM مورد بررسي قرار دادند. هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي و همانندسازي شده از ميزان همخوانی، ضريب رگرسيون و اختلاف حجم‌ها مقايسه و بررسي شدند. نتايج بدست آمده نشان داد ضريب رگرسيون دبي‌هاي مشاهده‌اي و همانندسازي شده برابر با ۰/۸٥ بوده و اختلاف حجم آنها معادل ۳/۷۹- درصد برآورد شد (۳).

اين پژوهش نسبت به پژوهش های همانند بالا داراي ٤ تفاوت عمده مي‌باشد:

۱- در بيشتر پژوهش های همانند از نسخه درجه- روز SRM بهره گيری شده است. در حالي كه در اين پژوهش نسخه تابشي SRM به كار گرفته شده است.

۲- تاكنون كارآيي مشخصه تابش در مدل SRM در حوزه‌هاي بزرگ و ميانگين مقياس مورد ارزيابي قرار نگرفته است. اين درحالي است كه يكي از عامل های تعيين كننده در كارآيي مدل‌هاي همانند سازي ذوب برف مقياس حوزه مورد بررسی است.

۳- در بيشتر پژوهش های همانند به منظور تعيين تغيير سطح برف بيشينه از چند تصوير ماهواره‌اي بهره‌گيري شده و تغيير سطح برف در ديگر روزها با توجه به روند تغيير برف از راه درون‌يابي محاسبه شده است. اين در حالي است كه در اين پژوهش به منظور بررسي دقيق تغيير سطح پوشش برف كليه ۳٦٥ تصوير ماهواره‌اي موجود در سال آبي مورد نظر تفسير و مورد بهره‌برداري قرار گرفت.

٤- طبقه‌بندي تصاوير SCA به صورت كسري[2] انجام گرفته است كه در زمره فن‌آوري‌هاي نوين بشمار مي‌رود (١٥). اين در حالي است كه تاكنون در بيشتر پژوهش های همانند كه از تصاوير ماهواره‌اي بهره‌گيري شده است طبقه‌بندي‌ها به صورت باينري (صفر و يك) بوده است. در روش باينري پيكسل‌هاي با بيشتر از ٥٠% برف با كد «يك» و به عنوان پيكسل برفي و پيكسل‌هاي با كمتر از ٥٠ درصد برف با كد «صفر» و به عنوان پيكسل غير برف طبقه‌بندي مي‌شوند. در روش طبقه‌بندي به صورت كسري يا به اصطلاح «زيرـ پيكسل»[3]، پيكسل‌ها بر حسب ميزان برف موجود در آنها از صفر تا صد درصد طبقه‌بندي مي‌شوند. بديهي است هرچه اندازه پيكسل‌ها در تصاوير ماهواره‌اي بزرگتر باشد، ارزش اين نوع طبقه‌بندي بيش از پيش مشخص مي‌شود.

۱- Pellicciotti

۲- Fractional

۳- Sub-Pixel

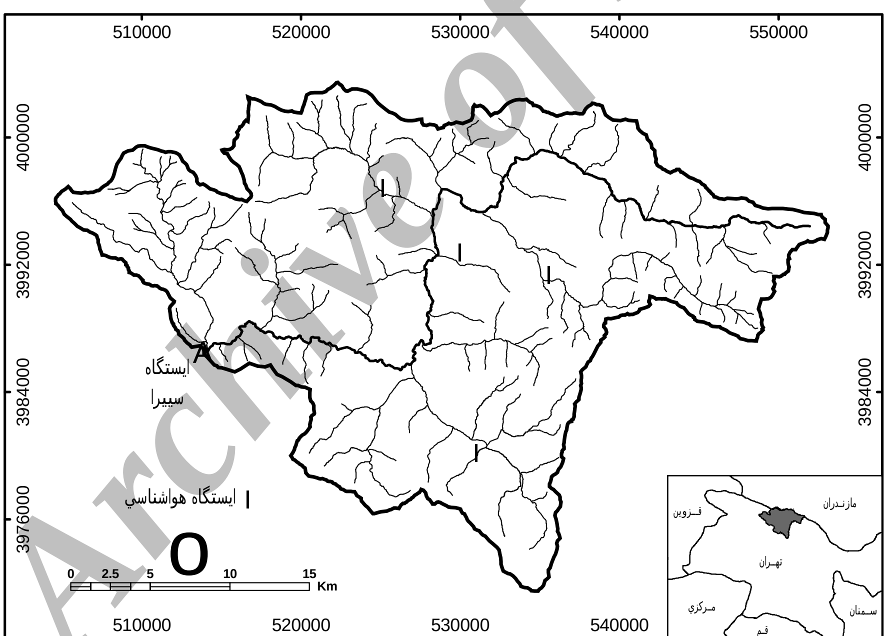
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

حوزه آبخیز سد امیرکبیر (کرج) در بخش مرکـزي شـمال کشور و در استان تهران، شهرسـتان کـرج بـین طـول‌هـاي جغرافیایي '۰۳ °۵۱ الي '۳۵ °۵۱ شرقي و عـرض‌هـاي جغرافیایي '۵۴ °۳۵ الي '۱۱ °۳۶ شمالي قرار گرفته است (شکل ۱). حوزه آبخیز سد کرج از شمال بـه حـوزه آبخیـز چالوس، هراز، طالقان‌رود، از غرب به حوزه آبخیز کردان و از شرق به حوزه‌هاي رودخانه‌هاي منتهي به تهران و رودخانـه جاجرود محدود مي‌شود. کلیه سرشاخه‌هاي رودخانه کرج از ارتفاعات البـرز سرچـشمه مـي‌گیرنـد. در جـدول ۱ برخـي ویژگی‌های فیزیکي حوزه آبخیز مـورد بررسـی بیـان شـده است.

جدول ۱- برخي از ویژگی‌های فیزیکي حوزه آبخیز کرج (تا محل ایستگاه آبسنجی سیبرا)

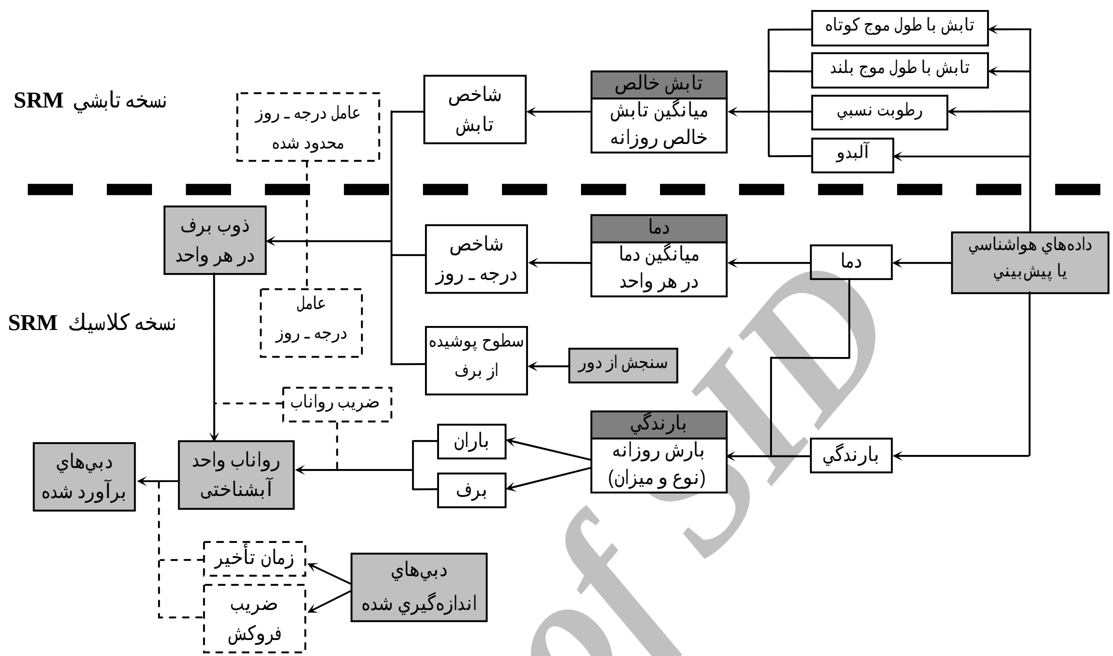
گستره حوزه (km^2)	محیط حوزه (km)	طول حوزه (km)	ضریب گراولیوس (C)	ضریب گردي میلر	ارتفاع کمینه (m)	ارتفاع بیشینه (m)	ارتفاع میانگین وزني (m)	شیب میانگین وزني (%)
۷۲۴/۳	۱۶۰/۷	۴۰	۱/۶۷	۰/۳۵	۱۸۱۴	۴۳۶۵	۲۸۸۶	۵۶/۶



شکل ۱- محدوده توپوگرافي و شبکه آب نگاری حوزه آبخیز سد کرج

مدل مورد بهره‌گیری

در این بررسی برای همانندسـازي روانـاب بدسـت‌آمـده از ذوب برف از مدل SRM تابـشي بهـره‌گیـری شـده اسـت. شکل (۲) دیاگرام شماتیك مدل کلاسیك SRM و تفاوت آن با مدل تابشي SRM و نیز داده‌هاي ورودي، مشخصه‌ها و الگوریتم محاسباتي را نشان مي‌دهد. اجزاي واقـع در زیـر قسمت خط‌چین مـدل فعلـي SRM را ارائـه مـي‌کننـد و اجزاي بالاي خط‌چین بیـانگر مشخـصه‌هـاي مـدل تابـشي SRM هستند.



شكل ۲- دياگرام شماتيك نسخه كلاسيك SRM و تفاوت آن با نسخه تابشي

جدول ۲- ويژگي‌هاي طبقه‌هاي ارتفاعي حوزه آبخيز كرج

گستره (كيلومتر مربع)	طبقه‌هاي ارتفاعي (متر)	ارتفاع ميانگين طبقه (متر)	درصد گستره
۸۰/٤٥	۱۸۱٤ - ۲۳۰۰	۲۰٥۷	۱۱/۱۱
۲٥۲/۹۰	۲۳۰۰ - ۲۸۰۰	۲٥٥۰	۳٤/۹۲
۲٤٤/۳۳	۲۸۰۰ - ۳۳۰۰	۳۰٥۰	۳۳/۷۳
۱۲۱/٤٥	۳۳۰۰ - ۳۸۰۰	۳٥٥۰	۱٦/۷۷
۲٥/۱٦	۳۸۰۰ - ٤۳٦٥	٤۰۸۲/٥	۳/٤۷

در مدل كلاسيك SRM حوزه آبخيز مي‌بايست به واحدهاي هيدرولوژيكي تقسيم شود كه منظور از واحدهاي هيدرولوژيكي طبقه‌هاي ارتفاعي مي‌باشد. طراحان مدل پيشنهاد كرده‌اند كه به ازاء هر ٥۰۰ متر اختلاف ارتفاع، يك طبقه ارتفاعي درنظرگرفته شود. در اين پژوهش با توجه به اختلاف ارتفاع ۲٥۰۰ متري، كل حوزه آبخيز كرج به ٥ طبقه ارتفاعي تقسيم شد. در جدول (۲) محدوده و گستره هركدام از طبقه‌هاي حوزه آبخيز مورد بررسي بيان شده است.

در مدل كلاسيك SRM ميزان ذوب برف هر بخش پوشيده از برف (M) به نسبت شاخص درجه- روز آن واحد هيدرولوژيكي محاسبه مي‌شود:

$$M = aT_d \qquad (1)$$

در اين معادله T_d، شاخص درجه- روز (درجه سلسيوس) و a عامل درجه- روز (سانتيمتر در روز درجه سلسيوس)

مي‌باشد. سپس SRM ميزان سهم ذوب برف را با بارش مستقيم باران در هر واحد هيدرولوژيكي تركيب كرده و برآيند بدست آمده در خروجي حوزه نمايش داده مي‌شود. در نسخه تابشي SRM تابش خالص سطحي بدست آمده از ايستگاه‌هاي هواشناسي و يا تصاوير ماهواره‌اي در هر واحد هيدرولوژيكي به مدل اضافه مي‌شود. سپس ميزان ذوب برف، از حاصلضرب شاخص درجه-روز (T_d) با ضريب درجه روز محدود شده (a_r) به اضافه ميزان ذوب ناشي از شاخص تابش بدست مي‌آيد (۱۱):

$$M = m_Q R_d + a_r T_d \qquad (۲)$$

در معادله ۲، m_Q ثابت فيزيكي مربوط به تبديل انرژي به عمق آب (معادل ۰/۰۲۶ سانتيمتر در روز در وات بر مترمربع) است. (a_r) نيز ضريب درجه- روز محدود شده (سانتيمتر در روز درجه سلسيوس) مي‌باشد كه با a موجود در معادله ۱ متفاوت است. شاخص درجه- روز (T_d) براي هر دو معادله يكسان است. در نسخه درجه- روز SRM ضريب درجه- روز (a) در سرتاسر فصل ذوب (به طورمعمول به صورت افزايشي) تغيير مي‌يابد در حالي كه مشخصه a_r از تغيير كمتري در طول فصل ذوب داشته، به گونه‌اي كه ميزان آنرا مي‌توان ثابت فرض كرد. دامنه تغيير a_r بين ۰/۲ تا ۰/۲۵ مي‌باشد (۱۲ و ۱٤). در اين پژوهش ميزان a_r برابر با ۰/۲۳ در نظر گرفته شده است.

روش پژوهش

همانگونه كه در شكل (۲) مشخص است در مدل تابشي SRM سه بخش اصلي شامل بارش، دما و تابش خالص به‌كار گرفته شده‌اند. بخش‌هاي دما و بارش همانند موارد كلاسيك SRM هستند.

- بخش دما

ميانگين دماي روزانه (T_d) از رابطه $0.5(T_{max} + T_{min})$ بدست آمده و با گراديان ۰/٦٥ $^\circ$C به ازاء هر ۱۰۰ متر، در ميانگين طبقه ارتفاعي هر واحد هيدرولوژيكي تلفيق شد. براى محاسبه دماي ميانگين روزانه حوضه از ايستگاه‌هاي هواشناسي گاجره، نساء، آسارا و شهرستانك بهره‌گيرى شد. شاخص درجه-روز (T_d) برابر است با دماي ميانگين روزانه هر واحد آبشناختي هرگاه بزرگتر از صفر درجه سلسيوس باشد.

$$T_d = \max[T_a\ ,\ 0] \qquad (۳)$$

- بخش بارش

در مدل SRM فرض بر آن است كه ميزان بارش و نوع آن (از نظر برف يا باران) در هر طبقه ارتفاعي يا واحد آبشناختي يكنواخت است. چنانچه ميانگين دماى روزانه كمتر از حد آستانه شود (۰/۷۵ $^\circ$C) فرض بر آن است كه بارش آن روز به صورت برف مي‌باشد. ميزان بارش ميانگين روزانه از ايستگاه‌هاي باران‌سنجي و تبخيرسنجي گچسر، شمشك، سيبيرا، شهرستانك، گاجره، نساء و آسارا محاسبه شد.

- بخش تابش خالص

تابش خالص روزانه با بهره‌گيرى از روابط ارائه شده توسط سازمان خواروبار كشاورزى قابل محاسبه مي‌باشد. در اين روابط با بهره‌گيرى از دماي بيشينه و كمينه، آلبدو، ساعات آفتابي و رطوبت نسبي ميانگين تابش روزانه محاسبه مي‌شود (۸):

$$R_{net} = R_{ns} - R_{nl} \qquad (٤)$$

$$R_{ns} = (1-\alpha)\, R_s \qquad (۵)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K^4} + T_{\min,K^4}}{2} \right] \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right)\left(1.35\frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right) \qquad (۶)$$

که در آن:

R_{nl}: تابش طول موج بلند خالص خروجي ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، σ: ثابت استفان - بولتزمن، $T_{max,k}$: بيشينه دماي مطلق روزانه (°K)، $T_{min,k}$: كمينه دماي مطلق روزانه (°K)، E_a: فشار بخار آب واقعي (KP_a)، R_s/R_{so}: نسبت تابش با طول موج كوتاه، R_s: تابش خورشيدي اندازه‌گيري شده يا محاسبه شده ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$)، R_{so}: تابش خورشيدي در شرايط آسمان صاف ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، R_{ns}: تابش خالص يا تابش با طول موج كوتاه خالص $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$ و α: ضريب آلبدو مي‌باشد (جزئيات محاسبه‌های در نشريه فائو ۵۶ موجود مي‌باشد). برای تأمين مشخصه‌هاي لازم در معادله‌های بالا آمار ايستگاه‌هاي هواشناسي سد اميركبير، نساء و شهرستانك به كاربرده شد.

شاخص تابش R_d در مدل تابشي SRM برابر با R_{net} بر حسب وات در مترمربع مي‌باشد مشروط بر اينكه R_{net} بزرگتر از صفر باشد. در غير اين صورت ميزان آن برابر با صفر در نظر گرفته مي‌شود.

$$R_d = \max[R_{net}, 0] \qquad (۷)$$

- سطوح پوشيده از برف و محاسبه ذوب برف

سطوح پوشيده از برف در هر طبقه ارتفاعي براي كليه روزهاي سال آبي ۸٤-۱۳۸۳ از تصاوير MODIS و با به كارگيری مدل تركيب طيفي خطي از راه نرم‌افزار ENVI 4.3 در حد زير-پيكسل استخراج شد. همچنين برای محاسبه ميزان ذوب برف در مدل كلاسيك از معادله ۱ و در مدل تابشي SRM از معادله ۲ بهره‌گيری شد.

- ساختار مدل

الگوريتم به‌كار رفته برای برآورد دبي‌هاي روزانه همانند مدل كلاسيك SRM مي‌باشد:

$$Q_{n+1} = \left[C_{ns}(M_n S_n) + C_{nr} P_n\right] \times A(1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \qquad (۸)$$

$$k_{n+1} = xQ_n^{-y} \qquad (۹)$$

که در آن؛ Q دبي روزانه، C_s ضريب رواناب برف، M ميزان ذوب روزانه برف حسب مورد كه بر پايه معادله ۱ يا ۲ محاسبه مي‌شود، S نسبت پوشش برف به سطح حوزه آبخيز، k ضريب فروكش جريان و x , y ضريب‌هاى منطقه‌اي فروكش جريان مي‌باشند كه همانند مدل كلاسيك SRM محاسبه مي‌شوند.

نتايج

در شكل‌هاي شماره (۳ و ٤) به ترتيب آب نگار دبي‌هاي اندازه‌گيري شده و برآورد شده از دو روش درجه- روز (DD) و درجه- روز محدود شده (RDD) نشان داده شده است. تفسير چشمي هيدروگراف‌هاي اندازه‌گيري شده و همانندسازي شده نشان از همخوانى نسبي مناسب دو روش DD و RDD با ارقام واقعي دارد. علاوه بر مقايسه چشمي هيدروگراف‌ها، دقت همانندسازي با بهره‌گيری از دو مشخصه ضريب تعيين داده‌ها (R^2) و اختلاف حجم ارقام دبي (D_V) مورد ارزيابي قرار گرفت.

ضريب تعيين داده‌ها (R^2) با بهره‌گيری از رابطه زير تعيين شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2} \qquad (۱۰)$$

که در آن Q_i و Q'_i به ترتيب عبارت‌اند از دبي هاي روزانه اندازه‌گيري شده و همانندسازي شده، $\overline{Q}$ عبارت است از دبي ميانگين در طي يك سال آبي يا فصل ذوب برف و n عبارت است از شمار روزهاي اندازه‌گيري دبي.

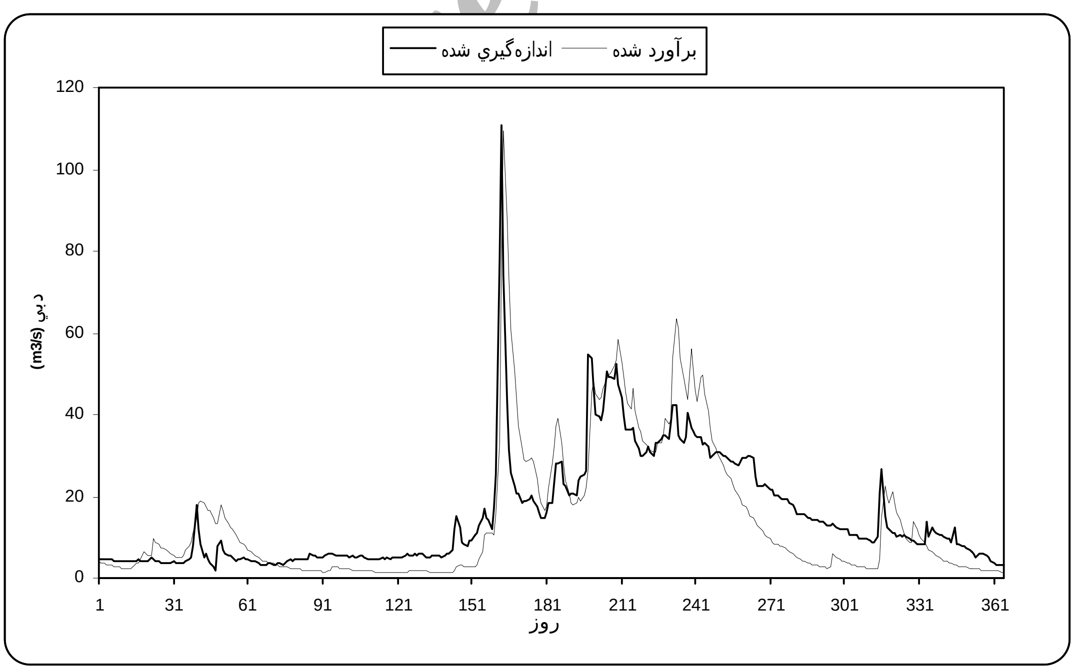
همچنين اختلاف حجم ارقام دبي (D_V) از رابطه زير محاسبه شد:

$$D_V[\%] = \frac{V_R - V'_R}{V_R} \times 100 \qquad (۱۱)$$

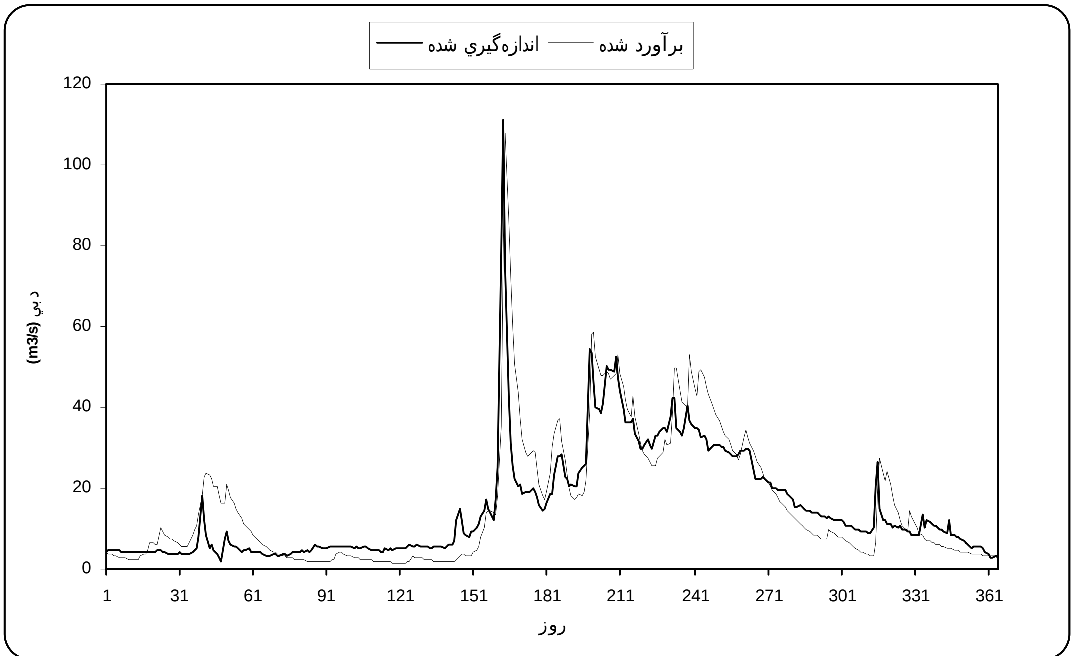
که در آن V_R و V'_R به ترتيب عبارتست از حجـم روانـاب سالانه يا فصلي اندازه‌گيري شده و هماننـدسـازي شـده. در جدول (۳) نتايج بدست آمده از دقـت روش‌هـاي نـام بـرده درج شده است.

جدول ۳- نتايج بدست آمده از اجراي مدل كلاسيك و مدل تابشي SRM
(حجم رواناب بر حسب ميليون مترمكعب و دبي بر حسب مترمكعب در ثانيه)

	نسخه درجه- روز مدل **SRM**	نسخه تابشي مدل **SRM**
حجم رواناب ديده‌اي	٤٧٩/٧٧٥	٤٧٩/٧٧٥
دبي ميانگين ديده‌اي	١٥/٢١٤	١٥/٢١٤
حجم رواناب برآوردي	٤٥٤/٣٥٥	٥٠٦/٥٧٠
دبي ميانگين برآوردی	١٤/٤٠٨	١٦/٠٦٣
اختلاف حجم‌ها (%)	٥/٣	-٥/٥٨
ضريب تعيين داده‌ها (R^2)	٠/٥٨٧	٠/٦٧٧



شكل ۳-آب نگار دبي‌هاي ميانگين روزانه اندازه‌گيري شده و همانندسازي شده با بهره‌گيری از مدل SRM كلاسيك



شکل ۴- آب نگار دبي‌هاي ميانگين روزانه اندازه‌گيري شده و همانندسازي شده با بهره‌گيری از مدل SRM تابشي

بحث

همانگونه که در جدول (۳) ديده مـي‌شـود ميـزان R^2 در روش DD و RDD بـه ترتيـب ۰/۵۸٤ ۰/٦٧٧ مـي‌باشـد. بنـــابراين در روش RDD حـــدود ۹/۳ درصـــد بهبـــود همبستگي بين داده‌هاي ديداري و محاسـبه شـده را ديـده مي‌کنيم. همچنين ميزان اختلاف حجم کل رواناب در روش DD و RDD به ترتيب برابر با ۵/۳ و ۵/۵۸- مي‌باشد. اين بدين معني است کـه در نـسخه درجـه- روز SRM حجـم روانـاب بـرآورد شـده بـه ميـزان ۵/۳ درصـد کمتـر از حـد اندازه‌گيري شده مي‌باشد. از سويي اين رقم در نسخه تابشي درجه- روز معادل ۵/۵۸- درصد بوده که منفـي بـودن ايـن رقم بيانگر مازاد برآورد به ميزان ۵/۵۸ درصد اسـت. بـدين ترتيب چنين نتيجـه گيـری مـی شـود کـه نـسخه تابـشي درجه- روز توانسته است در روزهايي کـه دمـا زيـر نقطـه انجمـــاد بـــوده اســـت ارقـــام ذوب از راه تـــابش و ديگـــر مشخصه‌هاي موثر در ذوب را برآورده نموده و به حجم کـل اضافه نمايد.

بروبيکر و همکاران (۵) ميانگين اختلاف حجـم روانـاب را در حـــوزه کوچـــك پژوهـــشي خـــود (بـــا مـــساحت ۸/٤ کيلومترمربع) در طـي ٦ سـال آبـي بـا نـسخه درجـه- روز SRM برابر بـا ۱۴/۸ درصـد و در نـسخه تابـشي آن ۳/۰۱ درصد برآورد نمودند. از جمله دلايل کاهش شديد اخـتلاف حجـم روانـاب‌هـا در نـسخه تابـشي SRM در پـژوهش نامبردگان را مي‌توان اندازه‌گيري دقيق مشخـصه تـابش بـا بهره گيری از دستگاه تابش‌سنج و نيز انـدازه‌گيـري زمينـي سطوح پوشيده از برف دانست. اين درحالي است که در اين پژوهش ارقام تابش با بهره گيری از روابط فيزيکي و به طور ميانگين در سرتاسر حوضه برآورد شده است. همچنين بهره گيری از تصاوير ماهواره‌اي به رغم دقت قابـل قبـول آن بـه دليل وجود ابر در منطقه مـي‌توانـد سـبب بـروز خطاهـاي نسبي در تعيين سطوح پوشيده از برف شود.

از سويي هـر دو نـسخه SRM ميـزان دبـي را در هنگـام سيلابي (به جـز دبـي بيـشينه لحظـه‌اي سـالانه) بيـشتر از ميزان واقعي برآورد نموده‌اند. پرهمت و همکاران (۲) نيز در

پژوهش خود به این نکته اشاره نموده‌اند که بیشترین ناهمخوانی آب نگارها مربوط به نقاط اوج سیلابي است. یکي از دلایل این امر را مي‌توان مربوط به ضریب رواناب سیلابي دانست. از آنجا که در مدل SRM ضریب های رواناب عادي و سیلابي از هم جداسازی نشده‌اند این مسئله مي‌تواند خود سبب بروز چنین خطاهایي در ارقام برآوردي دبي باشد.

همچنین با مقایسه هیدروگراف‌هاي برآوردي و دیده‌اي درمي‌یابیم که در هر دو روش در ماه‌هاي دي و بهمن ارقام دبي‌هاي برآورد شده کمتر از میزان های محاسبه شده مي‌باشد. دلیل عمده این مسئله مربوط به ضریب فروکش جریان مي‌باشد. همانگونه که پرهمت و همکاران (۲) نیز در پژوهش خود اشاره نموده‌اند ضریب های فروکش جریان از جمله مهم ترین عامل های موثر در میزان حجم رواناب همانندسازي شده مي‌باشد. با توجه به اینکه ضریب های فروکش جریان به طورمستقیم از روي ارقام دبي‌هاي دیده‌اي محاسبه مي‌شوند، نبود دقت کافي در قرائت و اندازه‌گیري داده‌هاي دبي و نیز تغییر غیر متعارف روزانه در دبي مي‌تواند چنین مشکل هایی را در همانندسازي رواناب بدست آمده از برف ایجاد نماید.

دلیل دیگر این مسئله وجود محدود ایستگاه‌هاي هواشناسي در سطح حوزه آبخیز مورد بررسی (٤ ایستگاه واقع در ۲ طبقه ارتفاعي) مي‌باشد. اگرچه در حوزه‌هاي آبخیز كوچك وجود شمار اندكي از ایستگاه‌هاي هواشناسي قادر به تأمین مشخصه‌هاي مورد نیاز مدل مي‌باشد؛ لكن با توجه به گسترش زیاد حوزه مورد بررسی و گوناگونی كمي و كیفي مشخصه‌هاي اقلیمي در سرتاسر حوزه، بهره گیری از گرادیان دمایي و بارندگي بدست آمده از چند ایستگاه محدود در حوزه چندان پاسخگوي نیازهاي مدل نبوده و در نتیجه دقت مدل كاهش مي‌یابد. لذا در حوزه‌هاي آبخیز بزرگ وجود دستكم یك ایستگاه هواشناسي در هر طبقه ارتفاعي برای توزیع بهینه مشخصه‌هاي مورد نیاز مدل ضروري است.

از سوي دیگر همانگونه که دیده مي‌شود نسخه تابشي SRM در فصل ذوب برف و در فاصله ماه‌هاي اردیبهشت تا تیر توانسته است آب نگار جریان را به گونه مناسب‌تري بهبود بخشد. به عبارت دیگر وجود مشخصه تابش به طور واقع‌بینانه‌تري فرایند ذوب را همانندسازي كرده است. به هرحال اگرچه دقت مدل درجه-روز و مدل تابشي SRM به اندازه معادله كامل بیلان انرژي نیست و مواردي همانند تصعید از سطح برف در آن دیده نشده است، لكن سادگی محاسبه و دقت قابل قبول مدل سبب شده است تا حتي طراحان مدل نیز به فكر اضافه نمودن مشخصه تابش در مدل نام برده و نرم‌افزار مربوطه باشند.

سپاسگزاري

بدینوسیله از دکتر توماس پینتر[۱] و آزمایشگاه اطلاعات محیطي دانشگاه سانتاباراراي كالیفرنیا جهت تأمین و آماده‌سازي تصاویر ماهواره‌اي و داده‌هاي دورسنجي این پژوهش صمیمانه تشكر و قدرداني مي‌شود.

۱- Thomas H. Painter

منابع

١- بيروديان، نادر و نادر جندقي، ١٣٨٤. برآورد رواناب ذوب برف به وسيله مدل اس.آر.ام و مقايسه نتايج آن با اطلاعات آبنمود رودخانه در آبخيز زيارت، مجله علوم كشاورزي و منابع طبيعي، ١٢(٦): ١٨١-١٨٨.

٢- پرهمت، جهانگير, بهرام ثقفيان و حسين صدقي، ١٣٨٤. بررسي كاربرد مدل SRM در شبيه سازي رواناب حاصل از ذوب برف با بهره گيری از داده‌هاي ماهواره‌اي در حوزه‌هاي بدون آمار برف (مطالعه موردي حوزه خرسان در كارون)، تحقيقات منابع آب ايران، ١(١): ١-١١.

٣- نجفي، محمدرضا, جواد شيخي‌وند و جهانگير پرهمت، ١٣٨٣. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌هاي برف‌گير با بهره گيری از مدل SRM (مطالعه موردي حوضه سد مهاباد)، مجله علوم كشاورزي و منابع طبيعي، ١١(٣): ١١١-١٢٢.

٤- وزيري، فريبرز، ١٣٨٢. هيدرولوژي كاربردي در ايران- كتاب دوم: شناسايي يخچال‌هاي طبيعي در ايران، انتشارات سازمان مديريت و برنامه‌ريزي كشور

5- Brubaker, K., A. Rango, & W. Kustas, 1996. Incorporating radiation inputs into the snowmelt runoff model, Hydrological Processes, 10(10): 1329–1343.

6- Cline D., Elder K., Bales R., 1998. Scale Effects in a Distributed Snow Water Equivalence and Snowmelt Model for Mountain Basins, Hydrological Processes, 12, 1527-1536.

7- Dozier, J. 1989. Spectral signature of Alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper, Remote sensing environment. 28: 9-22.

8- FAO, 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO 56, Roma.

9- Hock R. 2003. Temperature index melt modelling in mountain areas. Journal of Hydrology 282: 104–115.

10- Howard, Charles D. D. 1996. Discussion to "revisiting the degree-day method for snowmelt computations, By a. Rango and j. Martinec", Water Resources Bulletin, 32(2): 411-413.

11- Kustas, W. P. & Albert Rango, 1994. A simple energy budget algorithm for the snowmelt runoff model, water resources research, 30(5): 1515-1527

12- Martinec, J., 1989. Hour-to-hour snowmelt rates and lysimeter outflow during an entire ablation period, Snow Cover and Glacier Variations (Proceedings of the Baltimore Symposium, Maryland, May 1989). IAHS Pub. 183, 19-28.

13- Martinec, J., A. Rango & R. Roberts, 2007. Snowmelt runoff model (user's manual), USDA pub. 172 pp.

14- US Army Corps of Engineers, 1999. A synopsis and comparison of selected snowmelt algorithms., CRREL Report 99-8.

15- Painter, T. H., J. Dozier, D. A. Roberts, R. E. Davis, & R. O. Green, 2003. Retrieval of subpixel snow-covered area and grain size from imaging spectrometer data, Remote Sensing of Environment, 85(1): 64– 77.

16- Pellicciotti F., B. Brock, U. Strasser, P. Burlando, M. Funk & J. Corripio, 2005. An enhanced temperature-index glacier melt model including the shortwave radiation balance: development and testing for Haut Glacier d'Arolla, Switzerland, Journal of Glaciology, 51(175) 573-587.

17- Rango, A. and Martinec, J. 1995. Revisiting the degree day method for snowmelt computations, Water Resource Bulletin, 31: 657-669.

18- WMO, 1992. Simulated real-time inter-comparison of hydrological models. Operational Hydrological Report 38, WMO, Geneva, Switzerland.

A comparison of degree-day and radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM)

A. Fathzadeh*[1], M. Mahdavi[2], R. C. Bales[3], A. A. Abkar[4] and H. Askari Shirazi[5]
[1] Assistant prof., Natural Resources Faculty of Ardakan, University of Yazd, Yazd, I.R.Iran
[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran
[3] Professor, Engineering Faculty, University of California, Merced, USA
[4] Assistant prof., ITC, The Netherlands
[5] Emeritus Professor, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, IR.Iran
(Received: 09 June 2008, Accepted: 08 November 2008)

Abstract

In highland watersheds, runoff generated by snow melting plays an important role in stream water supply. SRM (Snowmelt Runoff Model) is a hydrologic model which simulates and predicts daily flow in mountain watersheds dominated by snow melting process. The SRM is based on the degree-day procedure which, is a widely used method but does not consider physical factors. In the current research, the factor of radiation was added to the degree-day model to develop a simple energy balance equation. Daily average radiation was calculated by albedo, shortwave and longwave radiation, daily maximum and minimum temperature and relative humidity. The snow covered area (SCA) was obtained from daily MODIS images. The developed model was applied to the stream flow data of Karaj Basin located in northern Iran and the results revealed that the coefficient of determination of the observed and estimated data was 0.677 while the differences between estimated and observed volume of runoff was -5.58%. Therefore, the radiation based of SRM increased the coefficient of determination of estimated and simulated discharge about 9.3%.

Keywords: Snowmelt, Simulation, Energy balance, Radiation, Degree-Day, SRM, Karaj Basin

*Corresponding author: Tel: +98 352 7220909 , Fax: +98 352 7226767 , E-mail: afathzadeh@yazduni.ac.ir