

# شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف

حمید طاهری شهرآئینی \*\*\*\*

مسعود تجریشی \*\*\*

احمد ابریشم‌چی \*\*

رضا نجف‌زاده \*

(دریافت ۸۳/۲/۱۰ پذیرش ۸۳/۹/۱۵)

## چکیده

در این مقاله، تغییرات سطح پوشش برف یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبریز زاینده‌رود (پلاسجان) با استفاده از عکس‌های ماهواره نوآ در سال‌های ۱۳۷۰-۷۱ و ۱۳۷۱-۷۲ استخراج شد. از داده‌های زمینی و تغییرات سطح پوشش برف در سال ۱۳۷۱-۷۲ برای واسنجی مدل SRM استفاده شد. مدل حجم رواناب سالانه را با ۰/۲۵ درصد اختلاف و دبی جریان روزانه را با مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۹۵ شبیه‌سازی کرد. برای ارزیابی مدل از داده‌های سال ۱۳۷۰-۷۱ استفاده شد. مدل حجم رواناب سالانه را با ۰/۷۸ درصد اختلاف و دبی جریان روزانه را با مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۹۲ برآورد کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل SRM با سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه به خصوص در حوزه‌هایی که ذوب برف از فاکتورهای اصلی رواناب است، به کار برده شود. واژه‌های کلیدی: مدل ذوب برف (SRM)، شبیه‌سازی، سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) سطح پوشش برف

## Stream Flow with Snowmelt Runoff Modeling Using RS and GIS (Case Study : Pelasjan sub Basin)

*Najafzadeh, R., (M.Sc.), Abrishamchi, A., (Assoc. Prof.), Tajreishy, M., (Assis.Prof.), and Taheri Shahraeeni, H., (M.Sc.)  
Dept., of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran*

### Abstract

In this paper snow-cover variation of a sub basin of Zayand-e-Rood watershed (Pelasjan) have been extracted and monitored using NOAA-AVHRR satellite images of 1371-72 and 1370-71. Snowmelt Runoff Model (SRM) was calibrated using the meteorological data and snow cover variation during year 1371-72. Results show that the difference between the simulated and observed annual volume runoff is 0.25% and the square of correlation coefficient ( $R^2$ ) between the simulated and observed daily runoff is 0.95. The calibrated SRM was verified using meteorological data and snow cover area variation of 1370-71. Results show that the difference between the simulated and observed annual volume runoff is 0.78%, and the square of correlation coefficient ( $R^2$ ) between the simulated and observed daily runoff is 0.92. The results of this research show that the SRM with RS and GIS can be an appropriate tools for stream flow simulation and forecasting, especially, in the watersheds which most important factor in runoff is snow melting .

\* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه صنعتی شریف

\*\* دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

\*\*\* استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

\*\*\*\* دانشجوی دکتری مهندسی عمران، آب، دانشگاه صنعتی شریف

۸۰ حوزه آبریز واقع در ۲۵ کشور مختلف استفاده شده است [۳].

مدل SRM برای سه هدف متفاوت کاربرد دارد. این سه هدف شامل شبیه‌سازی جریان روزانه در فصل ذوب برف و یا در یک سال، پیش‌بینی رواناب فصلی، و ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر سطح پوشش برف و رواناب فصلی است [۳].

مدل SRM برای پیش‌بینی رواناب ذوب برف توسط محققان مختلفی به کار گرفته شده است [۵]. مارتینس و رانگو دامنه تغییرات پارامترهای مدل SRM را مورد بررسی قرار داده و روابط فیزیکی مورد نیاز برای محاسبه این پارامترها را ارائه نمودند [۴]. لاندسا<sup>۴</sup> و همکاران با استفاده از داده‌های سنجش از دور، مدل SRM را برای پیش‌بینی در ۴۲ حوزه در اسپانیا به کار گرفته و نتیجه‌گیری نمودند که مدل برای پیش‌بینی حجمی، با ۶/۹ تا ۲۵/۳ درصد خطا در حوزه‌های مختلف روبروست [۶]. مالچر<sup>۵</sup> با استفاده از عکس‌های ماهواره مادیس<sup>۶</sup>، سطح پوشش برف چهار زیر حوزه از حوزه اتزتال<sup>۷</sup> در شرق اتریش را به دست آورده و با استفاده از مدل SRM رواناب برف را شبیه‌سازی کرد. مدل SRM رواناب زیر حوزه‌های ونت روفن، اوبرگورگل، هوبن و تومپن<sup>۸</sup> را به ترتیب با اختلاف حجم ۲/۳۵، -۵/۵۶، ۰/۴۴ و ۰/۴۹ درصد و با مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۹۳، ۰/۹۲، ۰/۸۷ و ۰/۸۸ شبیه‌سازی کرده است [۷].

سیدل<sup>۹</sup> و مارتینس<sup>۱۰</sup> از عکس‌های ماهواره‌ای لندست، اسپات و نوآ<sup>۱۱</sup>، سطح پوشش برف ۱۳ حوزه واقع در سوئیس را استخراج و با مدل SRM رواناب برف این حوزه‌ها را شبیه‌سازی و اثر تغییر اقلیم را نیز بررسی کردند [۸]. سانگون<sup>۱۲</sup> و همکاران، عکس‌های ماهواره‌های مادیس و نوآ، سطح پوشش برف حوزه‌های ریوگرانند و ریواجو<sup>۱۳</sup> را به دست آوردند و رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی کردند. مدل SRM، رواناب حوزه ریوگرانند را با استفاده از

برف یکی از مؤلفه‌های اصلی سیکل هیدرولوژی در بسیاری از حوزه‌های آبریز کوهستانی دنیاست. در این حوزه‌ها، رواناب برف بخش اصلی جریان رودخانه‌ها به شمار می‌رود. پیش‌بینی رواناب برف به برنامه‌ریزی و مدیریت مؤثرتر و کاراتر منابع آب از جمله مدیریت مخزن و هشدار سیل کمک می‌کند.

برف شکلی از بارش است که به دلیل تأخیر زمانی بین زمان وقوع آن و زمان تولید رواناب و تغذیه سفره آب زیرزمینی رفتار متفاوتی با دیگر شکل‌های بارش دارد. ذخیره برف زمستانی منبع آبی است که می‌توان برای فصل بهار و تابستان برنامه‌ریزی کرد. با وجود تغییرات زیاد در توزیع زمانی و مکانی برف انباشته شده، اطلاعات مشاهده‌ای زمینی برف اندک و معمولاً به نواحی دارای ارتفاع کم محدود می‌شود. این موضوع کاربرد سنجش از دور در تأمین بخشی از اطلاعات برف را از دهه‌های پیش اجتناب‌ناپذیر نموده است.

مدل SRM<sup>۱</sup> که در بعضی از منابع به نام مدل مارتینس-رانگو<sup>۲</sup> آمده است، برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط مارتینس به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب روزانه حاصل از ذوب برف حوزه‌های کوچک کوهستانی اروپا ارائه گردید [۳]. مدل SRM برای حوزه‌هایی که ذوب برف عامل اصلی تشکیل رواناب است، طراحی شده است [۳]. این مدل کاربرد وسیعی یافته است، به طوری که نسخه چهارم آن که در سال ۱۹۹۴ ارائه شد، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، برای حوزه‌های کوهستانی وسیع به بزرگی ۱۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع نیز به طور کاملاً عملیاتی به کار گرفته شد [۳]. این مدل توسط سازمان جهانی هواشناسی به منظور شبیه‌سازی ذوب برف و رواناب حاصل از آن و پیش‌بینی رواناب در زمان واقعی<sup>۳</sup> آزمایش و تأیید شد. نسخه نهایی این مدل که در سال ۲۰۰۲ ارائه شد و اولین نسخه تحت سیستم عامل ویندوز است، علاوه بر کارایی‌های نسخه‌های قبلی، قابلیت شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم را نیز دارد. طبق آخرین آمار منتشر شده توسط گروه طراح مدل، این مدل در بیش از

<sup>4</sup> Landesa

<sup>5</sup> Malcher

<sup>6</sup> MODIS

<sup>7</sup> Otztal

<sup>8</sup> Vent-Rofen, Obergurgel, Huben, Tumpen

<sup>9</sup> Seidel

<sup>10</sup> Martinec

<sup>11</sup> Landsat, Spot and NOAA

<sup>12</sup> Songweon

<sup>13</sup> Rio Grande and Rio Ojo

<sup>1</sup> Snow Runoff Model (SRM)

<sup>2</sup> Martinec-Rango Model

<sup>3</sup> Real Time Forecasting

عکس‌های ماهواره مادیس و نوآ به ترتیب با اختلاف حجم ۱۲/۱- و ۱۰/۳ درصد و با مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۷ و ۰/۸۹ شبیه‌سازی کرده است. این مدل رواناب حوزه ریواجو را با استفاده از عکس‌های ماهواره مادیس و نوآ به ترتیب با اختلاف حجم ۴۶/۶- و ۳۸/۶- درصد و با مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۲۲ و ۰/۶۳ شبیه‌سازی کرده است [۹].

بامگارتن<sup>۱</sup> و همکاران، مدل SRM را با استفاده از مساحت پوشش برف حاصل از عکس‌های ماهواره‌ای نوآ (سنجنده AVHRR)، برای حوزه‌های ازبکستان به کار گرفتند. در این تحقیق، دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی دارای مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۷۴ تا ۰/۹۷ و اختلاف حجم سالانه ۱ تا ۹/۶ درصد گزارش شده است [۱۰]. سوآمی<sup>۲</sup> و بریویو<sup>۳</sup> با استفاده از عکس‌های ماهواره لندست، سطح پوشش برف حوزه کوردول<sup>۴</sup> در شمال ایتالیا را به دست آورده و با استفاده از مدل SRM، رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی کردند. مدل SRM، رواناب حوزه را با اختلاف حجم و مجذور ضریب هم‌بستگی به ترتیب ۴/۶ درصد و ۰/۸۹ شبیه‌سازی کرده است [۱۱]. کوییلو<sup>۵</sup> و همکاران با تعیین پارامتر سطح پوشش برف از عکس‌های ماهواره‌ای نوآ (سنجنده AVHRR)، از مدل SRM برای پیش‌بینی جریان رودخانه در چندین حوزه آبریز در ازبکستان استفاده کردند [۱۲]. در مقاله حاضر، مدل SRM برای پیش‌بینی جریان در حوزه آبریز پلاسجان (زیر حوزه زاینده‌رود) به کار گرفته شده است.

#### ساختار مدل SRM

مدل SRM، مدلی فیزیکی و مفهومی است که براساس روش درجه-روز<sup>۶</sup> استوار است. در این مدل، رواناب ناشی از ذوب برف و باران به طور روزانه محاسبه و به دبی جریان فروکش (دبی پایه) اضافه می‌شود و سپس با لحاظ نمودن ضریب انتقال، دبی خروجی از حوزه محاسبه می‌شود. حداقل متغیرهای هواشناختی لازم برای اجرای مدل، دمای هوا، بارش و مساحت پوشش برف به صورت روزانه است [۳].

ساختار اصلی مدل به صورت رابطه (۱) است [۱]:

$$Q_{n+1} = [C_{Sn} a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + C_{Rn} P_n] \quad (1)$$

$$\frac{10000}{86400} (1 - K_{n+1}) A + Q_n K_{n+1}$$

در این رابطه، Q دبی روزانه (مترمکعب بر ثانیه)، C<sub>s</sub> ضریب رواناب برف، C<sub>R</sub> ضریب رواناب باران، a فاکتور درجه-روز (سانتی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز)، T درجه حرارت ایستگاه مبنا (درجه سانتی‌گراد)، ΔT تفاضل درجه حرارت در ایستگاه مبنا با درجه حرارت در محل متناظر متوسط ارتفاع هیسومتریک حوزه، S نسبت مساحت پوشش برف به مساحت کل حوزه، P بارشی که در تولید رواناب شرکت می‌کند (سانتی‌متر)، A مساحت حوزه یا ناحیه انتخابی (کیلومتر مربع)، n توالی روزها در طی دوره پیش‌بینی یا شبیه‌سازی، K ضریب فروکش جریان (نشان دهنده نرخ کاهش دبی در یک دوره زمانی بدون تأثیر ذوب برف و باران) و کسر ضریب تبدیل  $\frac{10000}{86400}$  cm.km<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> به m<sup>3</sup>/s می‌باشد. K از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$K = \frac{Q_{m+1}}{Q_m} \quad (2)$$

که m و m+1 نشانگر دو روز متوالی در دوره فروکش جریان می‌باشند. مدل SRM با استفاده از پارامتر زمان تأخیر، رواناب را به دبی روزانه در خروجی حوزه تبدیل می‌نماید. اگر زمان تأخیر 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، روز n مطابق با دبی روز n+1 می‌گردد.

مدل SRM قابلیت نمایش همزمان هیدروگراف رواناب محاسبه شده و اندازه‌گیری شده را دارد؛ بنابراین، با کنترل چشمی می‌توان کیفیت شبیه‌سازی را درک کرد. علاوه بر این، مدل از دو معیار مجذور ضریب هم‌بستگی (R<sup>2</sup>) و درصد اختلاف حجمی (Dv) برای ارزیابی مدل استفاده می‌نماید.

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، زیر حوزه پلاسجان از زیر حوزه‌های زاینده‌رود است. حوزه زاینده‌رود در قسمت مرکزی ایران واقع

<sup>1</sup> Baumgartner

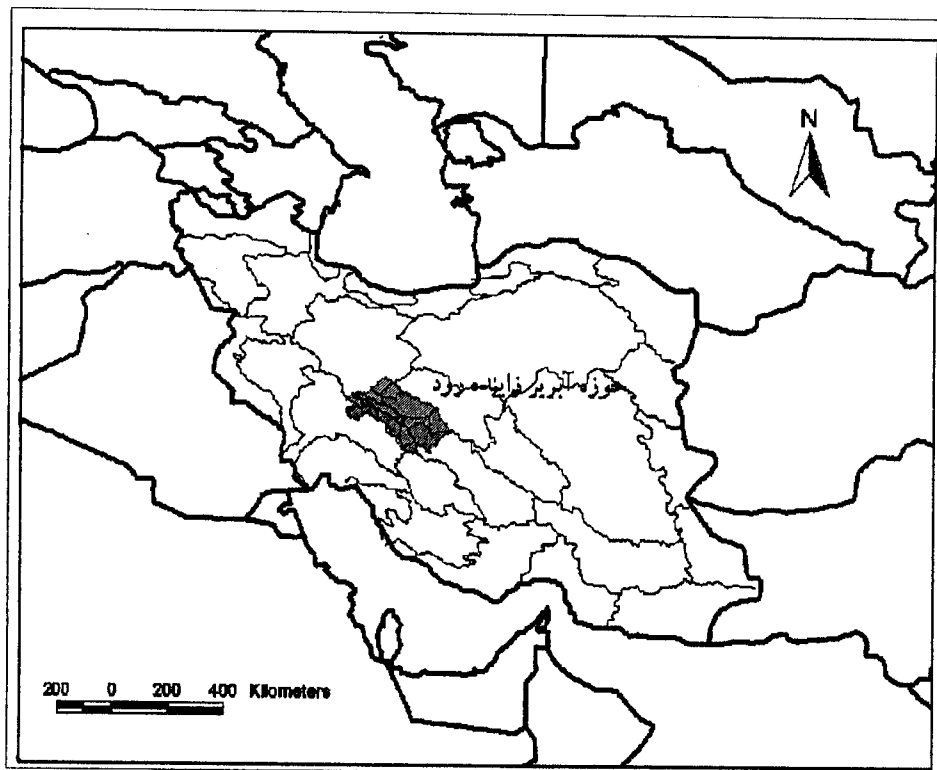
<sup>2</sup> Swamy

<sup>3</sup> Brivio

<sup>4</sup> Cordevole

<sup>5</sup> Qobilov

<sup>6</sup> Degree-Day



شکل ۱- موقعیت حوزه آبریز زاینده رود در ایران

پوشش برف و دبی) و پارامترهای مدل (ضریب رواناب برف و باران، ضریب درجه-روز، نرخ کاهش درجه حرارت با ارتفاع، درجه حرارت بحرانی، ضریب فروکش جریان، زمان تأخیر و سطح مؤثر باران) می‌باشند.

برای به دست آوردن ویژگی‌های حوزه از مدل ارتفاعی رقمی<sup>۱</sup> (DEM) حوزه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. با پردازش مدل ارتفاعی رقمی در محیط GIS، لایه‌های جریان تجمعی و جهت جریان در محیط GIS به دست آمد. با استفاده توأم از این سه لایه، مرز حوزه تهیه شد. با داشتن مرز حوزه پلاسجان، ویژگی‌های حوزه آبریز پلاسجان به دست آمد. حوزه پلاسجان دارای وسعت ۱۶۳۴ کیلومتر مربع و محدوده ارتفاعی حوزه از ۲۱۲۰ تا ۳۹۷۴ متر متغیر و ارتفاع متوسط حوزه ۲۴۶۰ متر است. شکل ۲، موقعیت حوزه پلاسجان در بالادست سد زاینده رود و DEM حوزه را نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن مقدار متوسط بارندگی در سطح حوزه از روش‌های زمین-آماري<sup>۲</sup> استفاده شد. در این مقاله روش‌های تیسسن، میانگین متحرک وزنی، روش‌های رویه چند

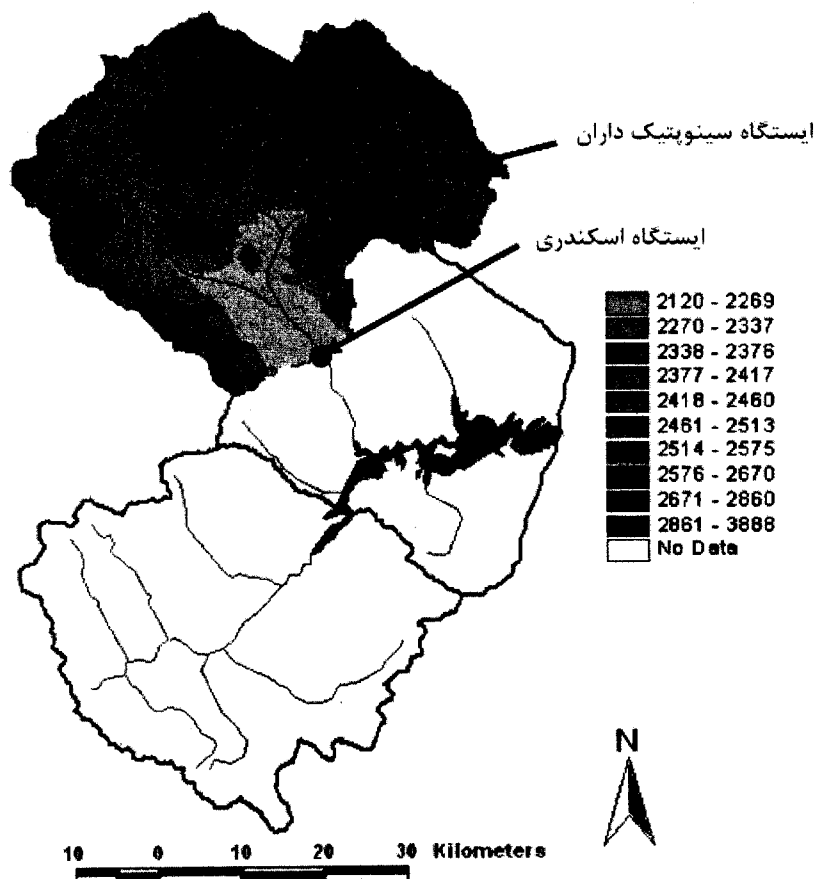
است. شکل ۱، موقعیت حوزه آبریز زاینده رود در ایران را نشان می‌دهد. شهرهای بزرگی مانند اصفهان و نجف‌آباد در حوزه آبریز زاینده رود قرار دارند. حوزه آبریز زاینده رود دارای وسعت ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع است که حدود ۱۷۰۰۰ کیلومتر مربع آن را، مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. ۴۱٪ حوزه آبریز زاینده رود، به خصوص تمامی مناطق بالادست سد زاینده رود، دارای ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر است و بیشتر نزولات جوی به صورت برف می‌باشد [۲]. حوزه آبریز زاینده رود به دلیل انتقال آب از حوزه‌های مجاور (تونل‌های کوه‌رنگ ۱ و ۲ در حال بهره‌برداری هستند و تونل‌های کوه‌رنگ ۳ و چشمه لنگان در حال احداث‌اند) و انتقال آب از رودخانه زاینده رود به شهرهایی مثل کاشان و یزد از حوزه‌های مهم مرکزی ایران به شمار می‌رود.

تنظیم ورودی‌های مدل

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل به سه دسته تقسیم می‌شوند که شامل ویژگی‌های حوزه (مساحت حوزه یا منطقه‌های ارتفاعی و منحنی ارتفاع-مساحت)، متغیرهای هواشناسی و هیدرومتری (داده‌های دما، بارندگی، مساحت

<sup>1</sup> Digital Elevation Model (DEM)

<sup>2</sup> Geostatistics



شکل ۲- DEM زیر حوزه پلاسجان (بر حسب متر) [۱]

سطح پوشش برف از عکس‌های ماهواره نوآ استخراج شد. بعد از به دست آوردن سطح پوشش برف در زمان‌های مختلف، تغییرات سطح پوشش برف در فصل ذوب برف از عمق تجمعی ذوب برف برآورد شد. عمق تجمعی ذوب برف،  $\Delta M$ ، تابعی از فاکتور درجه-روز (a) و تعداد درجه-روز بالای درجه حرارت بحرانی ( $T^+$ ) است و در بازه زمانی بین  $t_1$  و  $t_2$  از رابطه (۳) به دست می‌آید [۷].

$$\Delta M(t_1, t_2) = \sum_{t_1}^{t_2} (aT^+) \quad t_1 < t_x < t_2 \quad (3)$$

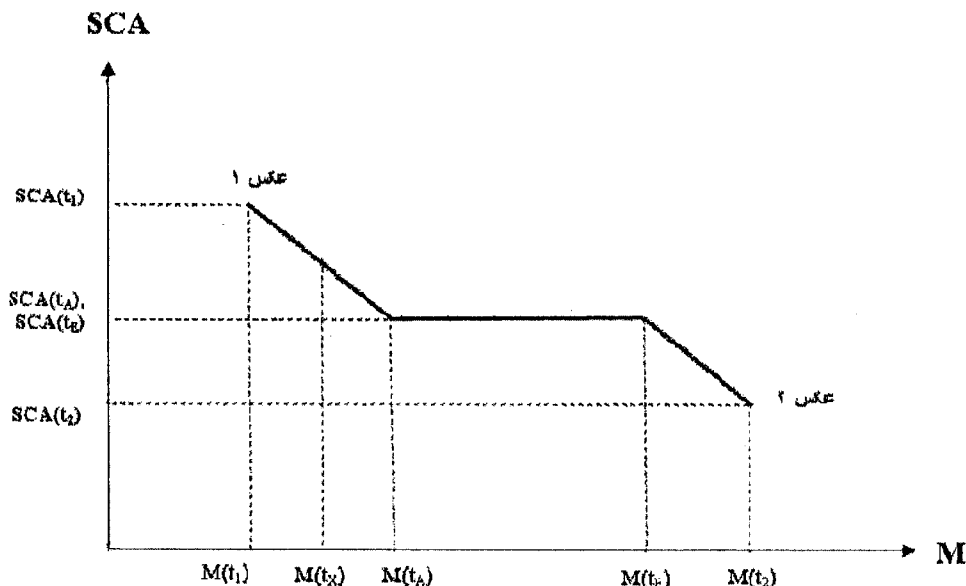
شکل ۳، تغییرات سطح پوشش برف را نسبت به عمق تجمعی ذوب برف نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳، فرض کنید دو عکس ماهواره‌ای در زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$  موجود است و سطح پوشش برف استخراج شده با استفاده از این دو عکس به ترتیب  $SCA(t_1)$  و  $SCA(t_2)$  می‌باشد. اگر در فاصله زمانی بین  $t_A$  و  $t_E$  درجه حرارت پایین‌تر از درجه حرارت بحرانی باشد،

جمله‌ای<sup>۱</sup> (حالت‌های Plane، Linear و Parabolic) و درجه ۲) و روش همبستگی بارش با طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، مقایسه شدند. برای مقایسه بارش‌ها، مقدار بارندگی از روش (CV)<sup>۲</sup> در ایستگاه‌های مختلف در نه روز بارش به صورت جداگانه برآورد شد و مقدار متوسط خطای اریبی<sup>۳</sup> برای هر روش در هر بارش محاسبه شد. برای انتخاب روش مناسب از روش رتبه‌بندی استفاده و روش رویه چند جمله‌ای (حالت Plane) به عنوان روش مناسب انتخاب شد. در این مقاله با استفاده از روش فوق و استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در یازده ایستگاه باران سنجی واقع در داخل و خارج از حوزه پلاسجان، مقدار متوسط بارندگی در سطح حوزه در طول سال‌های ۷۱-۱۳۷۰ و ۷۲-۱۳۷۱ به صورت روزانه تخمین زده شد.

<sup>1</sup> Polynomial Surface

<sup>2</sup> Cross Validation

<sup>3</sup> Mean Bias Error



شکل ۳- تغییرات سطح پوشش برف در طول فصل ذوب برف

در حوزه پلاسجان، چهار ایستگاه برف سنجی وجود دارد که مقدار دانسیته برف در ماه‌های دی، بهمن و اسفند اندازه‌گیری می‌شود. برای به دست آوردن ضریب درجه-روز از رابطه (۵) استفاده شد [۳].

$$a = 1.1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (5)$$

در این رابطه،  $\rho_s$  و  $\rho_w$  به ترتیب چگالی برف و چگالی آب می‌باشند. برای به دست آوردن نرخ کاهش درجه حرارت با ارتفاع، از داده‌های اندازه‌گیری شده در دوازده ایستگاه سینوپتیک و پنج ایستگاه تبخیر سنجی در منطقه مورد مطالعه و اطراف استفاده شد.

پس از به دست آوردن مشخصات حوزه و تنظیم ورودی‌های مدل به صورت روزانه برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۷۱ و ۱۳۷۱-۷۲، از داده‌های سال آبی ۱۳۷۱-۷۲ برای واسنجی مدل استفاده شد. سایر پارامترهای مدل که داده‌های مشاهده‌ای کافی برای تعیین آن‌ها وجود نداشت، در دوره واسنجی مدل تعیین شدند.

شکل ۴، تغییرات دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را در سال ۱۳۷۱-۷۲ نشان می‌دهد. شکل ۵، نمودار هم‌بستگی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده شده را در این دوره نشان می‌دهد. مقایسه دبی شبیه‌سازی شده با مشاهده شده

ذوب برف متوقف می‌شود که در این حالت سطح پوشش برف در زمان  $t_x$  از رابطه (۴) به دست می‌آید [۷].

$$SCA(t_x) = SCA(t_{x-1}) - \quad (4)$$

$$\frac{SCA(t_1) - SCA(t_2)}{\Delta M(t_1, t_A) + \Delta M(t_E, t_2)} \Delta M(t_{x-1}, t_x)$$

برای مدل‌سازی، تعداد ۲۸ عکس ماهواره‌ای در سه سال

پردازش و سطح پوشش برف حوزه پلاسجان استخراج شد. با استفاده از روابط ۳ و ۴، مساحت پوشش برف در طول ذوب برف در سال‌های آبی، ۷۱-۱۳۷۰ و ۷۲-۱۳۷۱ تخمین زده شد و در مدل‌سازی استفاده شد.

یکی دیگر از ورودی‌های مدل، درجه حرارت است که برای تعیین آن از داده‌های ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک داران استفاده شد. همچنین، داده‌های اندازه‌گیری شده دبی در ایستگاه هیدرومتری اسکندری مورد استفاده قرار گرفت.

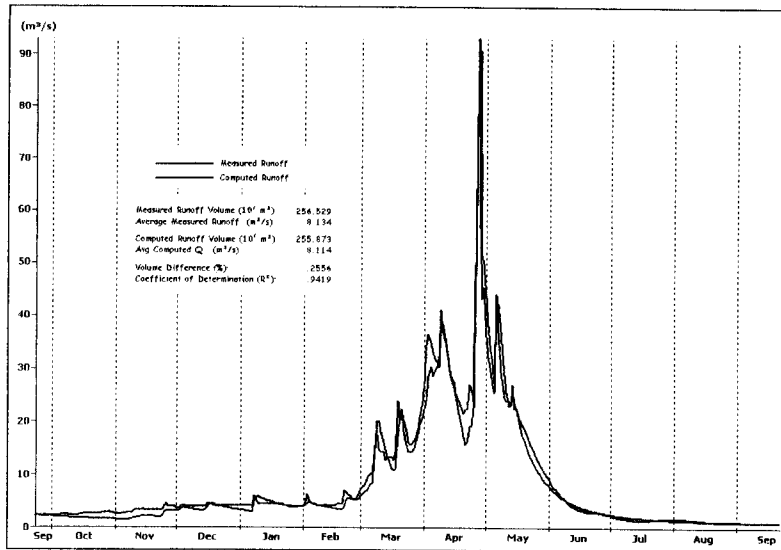
بررسی نتایج واسنجی مدل

پارامترهای مدل شامل ضریب درجه-روز، نرخ کاهش درجه حرارت با ارتفاع، ضریب رواناب برف و باران، درجه حرارت بحرانی، ضریب فروکش جریان، زمان تأخیر و سطح مؤثر باران می‌باشد. پارامترهایی مثل ضریب درجه-روز و نرخ کاهش درجه حرارت با ارتفاع از داده‌های موجود تخمین زده شد. سایر پارامترها در مرحله واسنجی تعیین شدند.

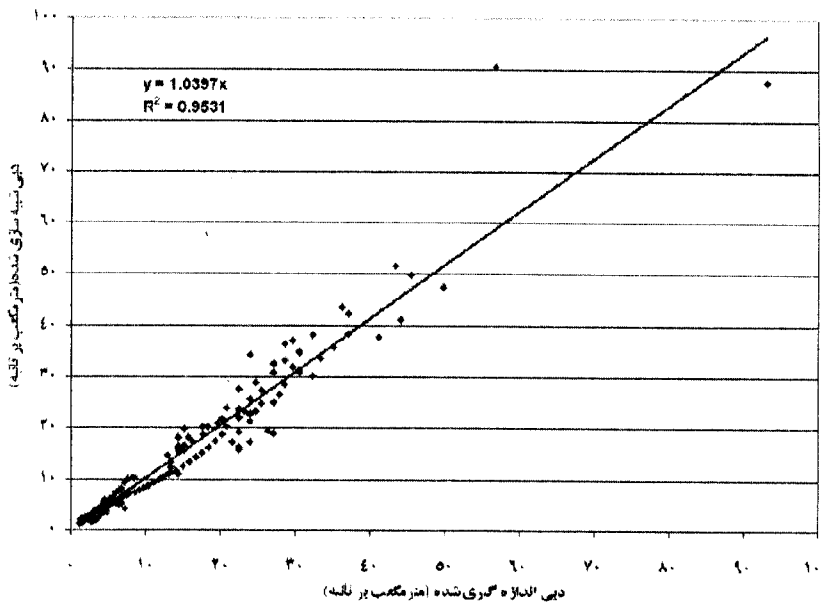
نشان می‌دهد که مجذور ضریب هم‌بستگی دبی شبیه‌سازی شده با مشاهده شده برابر ۰/۹۵ و اختلاف حجمی در کل سال آبی برابر ۰/۲۵ درصد دبی مشاهده شده می‌باشد. جدول ۱ خلاصه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل SRM در سال آبی ۱۳۷۱-۷۲ را نشان می‌دهد.

تحلیل حساسیت پارامترهای مدل برای تحلیل حساسیت مدل SRM نسبت به پارامترها، پارامترهای درجه حرارت بحرانی، ضریب درجه-روز و

ضریب رواناب برف و باران را به اندازه ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ افزایش و کاهش داده و با استفاده از مدل SRM مقدار آورد سالانه در سال آبی ۱۳۷۱-۷۲ برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل به پارامترهای ضریب رواناب باران و برف بیشتر از سایر پارامترها حساس بوده و به پارامتر درجه حرارت بحرانی حساسیت کمتری نشان می‌دهد. در فصل ذوب برف برخلاف فصل تجمع، مدل به پارامترهای ضریب رواناب برف، فاکتور درجه روز و درجه حرارت بحرانی حساس است.



شکل ۴- تغییرات دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در سال ۱۳۷۱-۷۲ [۱]



شکل ۵- نمودار هم‌بستگی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده شده در سال ۱۳۷۱-۷۲ [۱]

۷۱-۱۳۷۰ را نشان می‌دهد. همبستگی بین دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده شده در سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ دارای مجذور ضریب همبستگی برابر ۰/۹۲ می‌باشد. بررسی شکل ۷ انطباق خوب دبی روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. جدول ۲، خلاصه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل SRM در سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ را نشان می‌دهد.

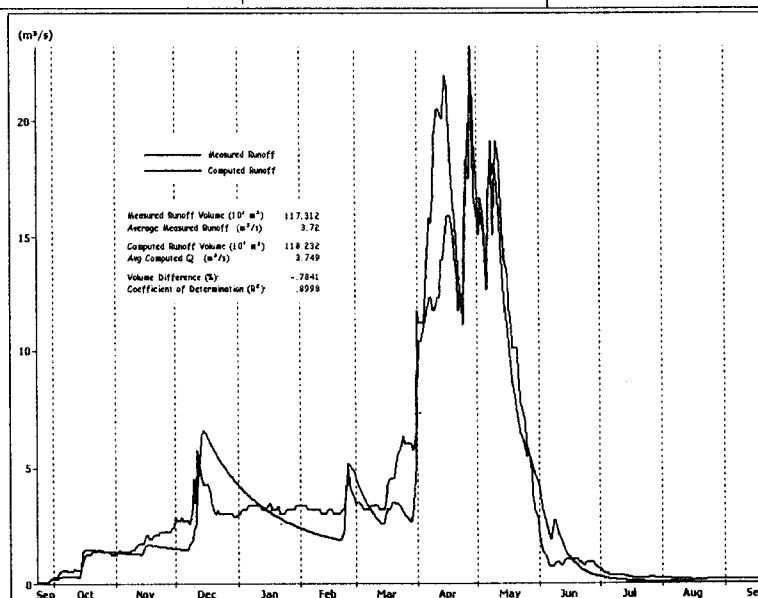
از داده‌های سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ برای ارزیابی مدل SRM و اسنچی شده استفاده شد. دبی روزانه شبیه‌سازی شده و دبی اندازه‌گیری شده در سال ۷۱-۱۳۷۰ در شکل ۶ نشان داده شده است. بررسی شکل ۶ انطباق خوب دبی روزانه اندازه‌گیری شده و دبی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. شکل ۷ نمودار همبستگی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده شده در سال آبی

جدول ۱- خلاصه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل SRM [۱]

پارامتر	۱۳۷۱-۷۲
حجم آورد اندازه‌گیری شده (میلیون مترمکعب)	۲۶۵/۵
حجم آورد شبیه‌سازی شده (میلیون مترمکعب)	۲۵۵/۹
دبی متوسط اندازه‌گیری شده (مترمکعب بر ثانیه)	۸/۱
دبی متوسط شبیه‌سازی شده (مترمکعب بر ثانیه)	۸/۱
مجذور ضریب همبستگی	۰/۹۵
اختلاف حجم (درصد)	۰/۲۵

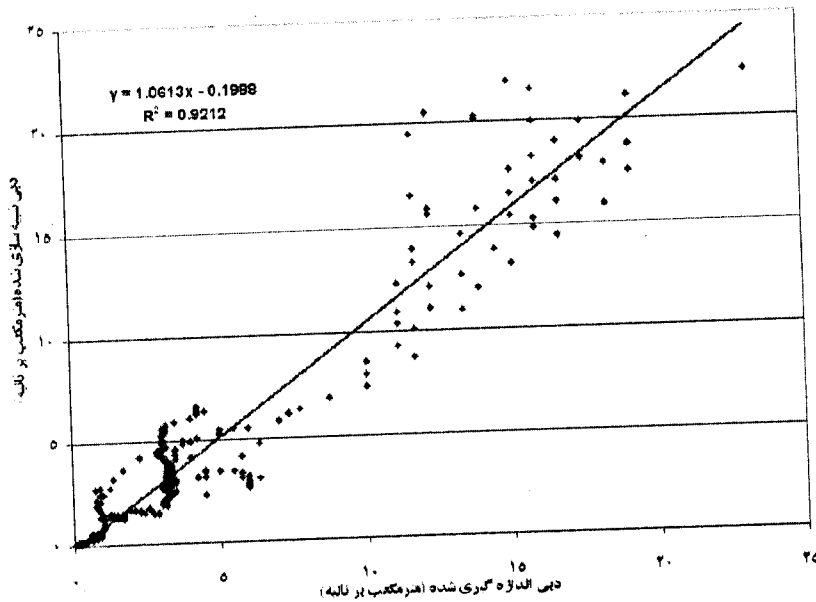
جدول ۲- خلاصه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل SRM [۱]

پارامتر	۱۳۷۰-۷۱
حجم آورد اندازه‌گیری شده (میلیون مترمکعب)	۱۱۷/۳
حجم آورد شبیه‌سازی شده (میلیون مترمکعب)	۱۱۸/۲
دبی متوسط اندازه‌گیری شده (مترمکعب بر ثانیه)	۳/۷
دبی متوسط شبیه‌سازی شده (مترمکعب بر ثانیه)	۳/۷
مجذور ضریب همبستگی	۰/۹۲
اختلاف حجم (درصد)	-۰/۷۸



شکل ۶- تغییرات دبی روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در سال ۷۱-۱۳۷۰ [۱]





شکل ۷- نمودار هم‌بستگی دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده شده در سال ۱۳۷۰-۷۱ [۱]

### نتیجه‌گیری

واسنجی و ارزیابی مدل SRM در حوزه پلاسجان نتایج زیر را نشان می‌دهد [۱]:

۱- از مدل SRM می‌توان در پیش‌بینی جریان‌های روزانه حوزه‌های برف‌گیر که ذوب برف فاکتور اصلی رواناب است، استفاده کرد.

۲- در حوزه‌هایی که فاقد داده‌های اندازه‌گیری زمینی برف‌سنجی می‌باشند، با استفاده از سطح پوشش برف که از

عکس‌های ماهواره‌ای به دست می‌آید و استفاده از مدل SRM می‌توان جریان حوزه آبریز را پیش‌بینی کرد.

۳- این تحقیق نشان می‌دهد که در به کارگیری مدل SRM لازم است قبل از به کارگیری مدل برای هر حوزه، واسنجی پارامترهای مدل انجام گیرد.

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

### منابع

۱- نجف‌زاده، ر. (۱۳۸۳). "شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل SRM و استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

۲- شرکت مهندسی مشاور جاماب، (۱۳۷۷). "طرح جامع آب کشور حوزه آبریز زاینده‌رود".

3- Rango, A. and Martinec, J., (1998). "The Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual", Version 4, URL: <http://hydrolab.arsusda.gov/pub/srm/srm4.pdf>.

4- Engman, E. T. and Gurney, R. J., (1992). "Remote Sensing in Hydrology", Chapman and Hall.

5- Martinec, J. and Rango, A., (1996). "Parameter Value for Snowmelt Runoff Modeling", J. Hydrology, No. 84, pp. 197-219.

6- Gomez-Landes, E., A. Rango and Hall, D.K., (2000). "Improved Snow Cover Remote Sensing for Snowmelt Runoff Forecasting", International Association of Hydrological Sciences (IAHS), N. 267, pp. 61-65.

7- Malcher, P. and Heidinger, M., (2001). "Processing and Data Assimilation Scheme for Satellite Snow Cover Products in the Hydrological Model", 28.04. 2004, Version 1, Envisnow, EVG1-CT-2001-00052.

- 8- Seidel, K. and Martinec, J., (2002). "*Hydrological Application of Satellite Snow Cover Mapping in the Swiss Alps*", Proceedings of EARSeL-LISSIG-workshop, Bern, March 11-13, pp. 79-87.
- 9- Snogweon, L., Klein, A. G., and Over, T.M., (2003). "*An Assessment of the Suitability of MODIS Snow Products for Simulating Stream Flow in the Upper Rio Grande River Basing Using the Snowmelt Runoff Model*", [http ://geog. Tamu.edu/klein/publication/in-review/hp-2003b.pdf](http://geog. Tamu.edu/klein/publication/in-review/hp-2003b.pdf).
- 10- Baumgartner, M.F., Seidel, K., and Martinec, J., (1987). "*Toward Snowmelt Runoff Forecast Based on Multisensor Remote Sensing Information*", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 25, N.6, Nuvenberg.
- 11- Swamy, A. N. and Brivio, P. A., (1996). "*Hydrological Modeling of Snowmelt in the Italian Alps Using Visible and Infrared Remote Sensing*", J. Remote Sensing, Vol. 17, No. 16, pp.3169-3188.
- 12- Qobilv, T., Pertziger, F., Vasilina L., and Baumgartner, M.F., (2000). "*Operational Technology for Snow-Cover Mapping in the Central Asian Mountains Using NOAA-AVHRR Data*", International Association of Hydrological Sciences (IAHS), N. 267, pp. 76-80.