

## برآورد برف انباشته در حوزه بالادست سد کارون ۴ با استفاده از آبدهی روزانه خروجی حوزه آبریز

حمیدرضا اسلامی، شرکت پایشگر تدبیرافزار، مهندسی منابع آب، مدیرعامل\*  
معصومه عیوضی، شرکت پایشگر تدبیرافزار، مهندسی منابع آب، کارشناس بخش منابع آب  
\*تلفن: ۰۹۱۲۵۵۷۵۸۶۱، نمابر: ۸۸۹۳۱۴۳۲، پست الکترونیکی: hreslami@yahoo.com

### چکیده

برف از جمله منابع اصلی رواناب سطحی در مناطق کوهستانی می‌باشد که پایش مکانی آن نقش مهمی در زمینه مدیریت منابع آب ایفا خواهد نمود. از این رو در این مقاله به منظور تعیین ذخیره و ذوب برف به شبیه‌سازی بارش - رواناب با استفاده از مدل مفهومی بارش - رواناب NAM، در حوزه آبریز بالادست سد کارون ۴ پرداخته شد. برای نیل به هدف فوق از عوامل هواشناسی و هیدرولوژی نظیر بارندگی، تبخیر و تعرق، درجه حرارت و رواناب ثبت شده در سال‌های گذشته استفاده شد. سپس با استفاده از انتخاب آستانه دمایی مناسب و رده‌بندی ارتفاعی حوزه، سطح پوشش برف در هر رده ارتفاعی تعیین شد. همچنین به منظور نشان دادن کارایی این روش و کنترل نتایج ذخیره برفی در رده‌های ارتفاعی مختلف، سطح پوشش برف با پردازش تصاویر ماهواره‌ای NOAA به روش آستانه‌ای نیز تعیین شد. نتایج نشان داد که مدل بارش - رواناب NAM به همراه مدل اتوکالیبراسیون SCE، توانسته رواناب ناشی از بارش و ذوب برف را بخوبی شبیه‌سازی نماید. همچنین با مقایسه نتایج سطح پوشش برف با تصاویر ماهواره‌ای کارایی و دقت این روش نمایان شد. این روش بخوبی توانسته با در نظر گرفتن آستانه مناسب دمایی ریزش برف و بارندگی را از هم متمایز و سطح پوشش برف را در مناطق مختلف تعیین نماید.  
واژه‌های کلیدی: برف - شبیه‌سازی، بارش - رواناب، تصاویر ماهواره‌ای، SCE.

## ۱- مقدمه

تجمع برف در مناطق کوهستانی در طول فصول سرد سال به صورت توده‌های برف می‌باشد که با فرارسیدن فصل گرما، این توده‌های برفی به تدریج ذوب شده و موجب ایجاد جریان‌های زیرسطحی و سطحی می‌گردد و به این ترتیب سفره‌های آب زیرزمینی، مخازن سدها و دریاچه‌ها، تغذیه می‌شوند (Maidment, ۱۹۹۲). از این رو مدل‌سازی ویژگی‌های سطحی بارش برف از دیدگاه هیدروکلیمایی نقش بسزایی در زمینه‌های مختلف نظیر: مدیریت حوضه‌های آبخیز، کنترل سیلاب، فرسایش خاک، پیش‌بینی خشکسالی و تأمین آب مصرفی دارد. بنابراین، برآورد دقیق سطح پوشش برف و حجم آب معادل مربوطه، به عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، بویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد، محسوب می‌شود (Maidment, ۱۹۹۲).

قائمی و مرید (۱۳۷۳) در مطالعه برف حوزه دماوند با استفاده از عوامل هواشناسی نظیر بارندگی و درجه حرارت و بدون آمار مستقیم برف‌سنجی، مقدار ریزش برف سالانه، ذوب برف و نهایتاً خط پیشروی و پسروی برف را در سال‌های مختلف مطالعه نمودند. نکونام و مزیدی (۱۳۸۹) با استفاده از معادلات رگرسیون دما، بارش و ضریب برفی، ذخیره برف در طی سال ۱۳۷۰ لغایت ۱۳۸۵ را در حوزه آبریز فخرآباد محاسبه نمودند. نتایج آنها نشان داد که ۲۴ درصد از کل ریزش‌های جوی سالانه این حوزه به صورت برف است. محققان، معتقدند که داده‌های سنجش از دور می‌تواند ارزیابی بهتری از محدوده‌های پوشش برف در حوزه‌های آبریز نسبت به روش‌های دیگر ارائه دهند (Metacalf & Buttle, ۱۹۹۹). پرهت و ثقفیان (۱۳۸۶) سطح پوشش برف حوزه کارون واقع در زاگرس ایران را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA و LANDSAT محاسبه و ابراز داشتند که مساحت برف در دو تاریخ متفاوت، یکی در اوایل فصل ذوب و دیگری در اواخر آن، به ترتیب ۱۵ و ۱۷ درصد باهم اختلاف دارند. ولی با توجه به محدودیت‌های روزهای ابری در تهیه سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از این تکنولوژی در کاربردهای هیدرولوژی، در مواقعی با مشکلاتی همراه خواهد بود. با توجه به اینکه دسترسی به آمار و اطلاعات پوشش برف و همچنین برآورد حجم ذخایر برفی در حوزه‌های آبریز، نقش مهمی در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب و طراحی و احداث سازه‌های مختلف داشته، ارائه روشی که بتواند بدون محدودیتی، مساحت سطح پوشش برف و حجم معادل آن را تعیین نماید الزامی است. هدف از انجام این تحقیق ارائه راه کاری مناسب، جهت تعیین مساحت سطح پوشش برف و حجم معادل آن در سطح حوزه بوده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۱- مبانی بارش رواناب

در این تحقیق به منظور تعیین سطح پوشش برف لازم بود که رواناب در سطح حوزه شبیه‌سازی شود. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته روی مدل‌های مختلف، مدل هیدرولوژی NAM<sup>۱</sup> برای فرآیند مدل بارش-رواناب در حوزه آبریز بالادست محل احداث سد کارون ۴ انتخاب شد. مدل هیدرولوژی NAM، رفتار چرخه هیدرولوژیکی را با استفاده از مجموعه‌ای از دستورات ساده شده ریاضی در حوزه مورد مطالعه شبیه‌سازی می‌کند. این مدل، بخش‌های مختلف فرآیند بارش - رواناب را در یک محیط پیوسته در چهار مخزن ذخیره مختلف (ذخیره سطحی، زیرسطحی، زیرزمینی و ذخیره برف) و مرتبط با هم در نظر

<sup>۱</sup>. Nedbør Afstrømnings Model

می‌گیرد. هر مخزن بیانگر یک بخش یا یک محیط داخل حوزه می‌باشد. همچنین می‌توان مدل را برای حالت پیوسته یا برای تک‌واقع‌های مورد استفاده قرار داد. مدل بارش-رواناب NAM، از نوع مفهومی، یک پارچه (صفر بعدی) و قطعی است.

#### ۲-۲- کالیبراسیون مدل

کاربرد موفقیت آمیز مدل های بارش-رواناب بستگی زیادی به چگونگی کالیبراسیون مدل دارد. در طول سه دهه گذشته تلاش‌های بسیاری در جهت کالیبراسیون مدل‌های بارش-رواناب توسط محققین مختلف انجام شده‌است. از جمله روش‌های ارائه شده در مدل‌های مفهومی بارش-رواناب، روش بهینه‌سازی است. ثنوری و کاربردهای بهینه‌سازی سراسری در طول دهه گذشته افزایش چشمگیری داشته و محدوده گسترده‌ای از الگوریتم‌های مختلف برای آن ارائه شده‌است. رشد سریع کاربردهای محاسبات کامپیوتری کمک شایانی به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی سراسری در مدل‌های بارش-رواناب کرده است. در این تحقیق از یک روش بهینه‌یابی سراسری به نام جوامع تصادفی تکاملگرا (SCE) که یک روش بسیار قوی و کارا برای بسیاری از مسائل می‌باشد استفاده شده‌است. این روش براساس طبیعت مسائل بهینه‌سازی مدل بارش-رواناب، به اشتراک گذاشتن اطلاعات و براساس مفاهیم ارائه شده تکامل تصادفی طبیعی توسعه داده شده‌است. در این روش جستجو از یک جمعیت تصادفی از نقاط درون فضای امکان پذیر شروع می‌شود. این جمعیت به جوامع مختلفی تقسیم شده که هر کدام براساس ابعاد مسئله دارای تعداد نقاط خاصی است. هر جامعه براساس فرآیندهای تولید مثل که از شکل هندسی پیچیده‌ای استفاده می‌کند، جستجو را در جهت‌های مناسب هدایت می‌کند. در دوره‌های تناوب تکامل، تمام جوامع دوباره برزده شده و یک جمعیت دیگر با خصوصیات مناسب‌تر بوجود می‌آید و نهایتاً جمعیت بدست آمده دوباره در یک سری جوامع تقسیم‌بندی می‌شود. با ادامه دادن جستجو، تمام جمعیت تمایل دارد که به سمت همسایگی بهینه سراسری حرکت کند (قادری و همکاران، ۱۳۸۵).

#### ۳-۲- میانگین مکانی داده‌ها

با توجه به وسعت حوزه استفاده از داده‌های بارندگی و تبخیرسنجی یک ایستگاه به عنوان متوسط بارش و تبخیر در سطح حوزه از دقت مدل کاسته خواهد شد. از این رو در این تحقیق برای افزایش دقت، در مدل تهیه شده بارش-رواناب به منظور تعیین مقادیر متوسط بارش و تبخیر در یک حوزه یا زیر حوزه از روش میانگین‌گیری وزنی مکانی انجام شده است. در این مطالعه، وزن‌دهی ایستگاه‌های تبخیرسنجی و باران‌سنجی توسط مدل اتوکالیبراسیون SCE انجام شده است. بطوریکه برای هر کدام از ایستگاه‌ها یک محدوده بین ۰/۱ تا ۱/۵ انتخاب شده و مدل براساس میزان مشارکت هر کدام از ایستگاه‌ها در تولید رواناب وزن ایستگاه مورد نظر را مشخص می‌کند. ایستگاه‌هایی که مشارکت بیشتری در تولید رواناب داشته‌اند وزن بالاتر و به ایستگاه‌هایی که مشارکت کمتری در ایجاد رواناب داشته‌اند وزن کمتری اختصاص یافته است. بعد از چندین بار اجرای مدل بارش رواناب در حوزه، ایستگاه‌هایی که در رواناب یک حوزه نقش اساسی را دارند استخراج می‌گردد.

#### ۴-۲- تجمع و ذوب برف

با توجه به اینکه سطح وسیعی از رواناب تشکیل شده در حوزه آبریز بالادست سد کارون ۴، ناشی از ذوب برف می‌باشد از این رو نمی‌توان از این پارامتر در شبیه‌سازی رواناب حوزه چشم‌پوشی کرد. انتخاب یک آستانه دمایی، مناسب‌ترین پارامتری است که می‌تواند برف را از باران جدا نماید. از این رو نیاز است که درجه حرارت سطح حوزه نیز به مدل داده شود. انتخاب درجه حرارت آستانه‌ای برای جداسازی برف و بارش از یکدیگر توسط مدل اتوکالیبراسیون SCE انجام شده است. پس از تعیین این دمای آستانه‌ای (T.) در هر بازه زمانی، در صورتی که دما پایین‌تر از دمای T. باشد، وقوع بارش به صورت برف بوده و مقدار آن در ظرف همان رده ارتفاعی ذخیره می‌گردد و زمانی که دما، بالاتر از T. باشد، بارش به صورت باران اتفاق می‌افتد.

همچنین بازای دمای بالاتر از  $T$ ، ذوب برف اتفاق می افتد. بر اساس روش درجه-روز (degree-day) می توان میزان رواناب ناشی از ذوب برف را به طریق زیر محاسبه کرد:

$$Q_s = \begin{cases} C_{snow}(T - T_0) & T > T_0 \\ 0 & T < T_0 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن  $Q_s$  میزان ذوب برف،  $C_{snow}$  ضریب درجه-روز و  $T$  درجه حرارت است. میزان تبخیر از سطح برف ناچیز فرض شده است.

## ۲-۵- تغییرات دما و بارش

با توجه به اینکه در مناطق کوهستانی درجه حرارت، بارش و پوشش برف در یک حوزه بطور محسوسی دارای تغییرات می باشد. هر چه که به طرف ارتفاعات بالاتر حوزه آبریز پیش برویم این تغییرات مشخص تر می شوند. می توان با تقسیم بندی حوزه به نواحی کوچکتر ارتفاعی و انجام محاسبات تجمع و ذوب برف در هر ناحیه بطور جداگانه شبیه سازی رواناب را با دقت بیشتری انجام داد. دما و میزان بارش در هر ناحیه از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$T_{zone} = T_{ref} + (H_{zone} - H_{ref})\beta \quad (2)$$

$$P_{zone} = P_{ave} + P_{ave}(H_{zone} - H_{mid})PLPS \quad (3)$$

که،  $T_{zone}$ : دما در محدوده مورد نظر،  $T_{ref}$ : دما در ایستگاه مبنای دما،  $H_{zone}$ : میانگین ارتفاع در ناحیه مورد نظر،  $H_{ref}$ : ارتفاع در ایستگاه مبنای دما،  $\beta$ : میزان کاهش دما،  $P_{zone}$ : میزان بارش در محدوده ارتفاعی مورد نظر،  $H_{mid}$ : ارتفاع میانه حوزه آبریز،  $P_{ave}$ : بارش متوسط محاسبه شده از ترکیب وزنی ایستگاه ها و  $PLPS$ : ضریب تغییرات بارش نسبت به ارتفاع می باشد.

## ۲-۶- ارزیابی مدل ها

برای ارزیابی عملکرد مدل بارش - رواناب تهیه شده از معیارهای ارزیابی که توسط Green در سال ۱۹۸۶ ارائه شده اند استفاده شده است. این معیارها شامل ریشه میانگین مجموع مربعات نرمال شده (NRMSE)، شاخص راندمان (EI) و خطای میانگین نرمال (NME) می باشند. می توان معیارهای ارزیابی عملکرد را بصورت زیر معرفی نمود:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (QF_i - Q_i)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4)$$

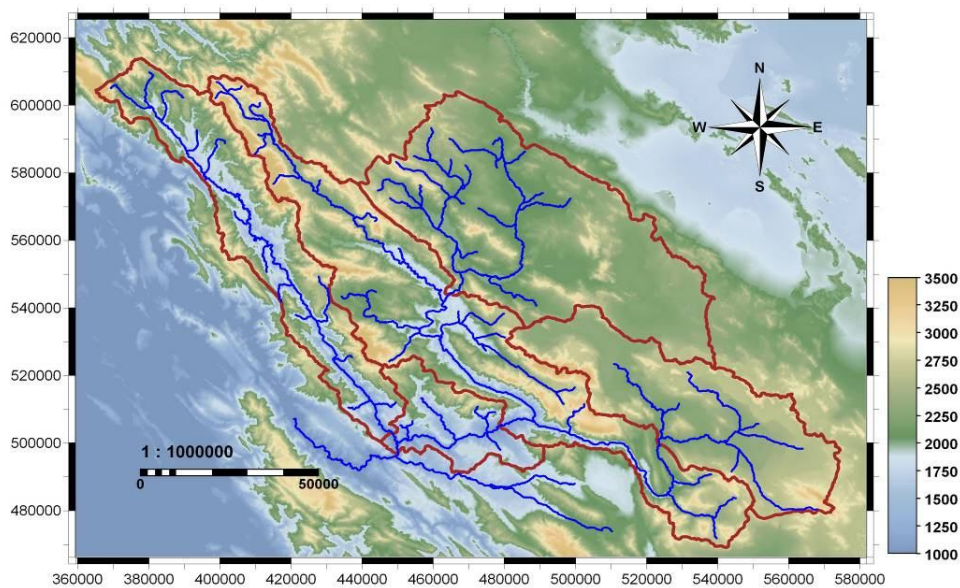
$$EI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - QF_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (5)$$

$$NME = \frac{\overline{QF} - \bar{Q}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n QFi} \quad (6)$$

در این روابط،  $Q_i$ : دبی مشاهده شده،  $QF_i$ : دبی شبیه سازی شده و  $\bar{Q}$ : متوسط دبی مشاهده شده است. میزان عدد بهینه برای EI برابر با یک و برای NME و NRMSE برابر با صفر می باشد. هرچه عدد EI به مقدار یک و اعداد NME و NRMSE به مقدار صفر نزدیک باشند مقدار دبی های شبیه سازی شده دقیق تر هستند و نتایج مناسبتری دارند.

## ۲-۷- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوزه آبریز بالادست محل احداث سد کارون ۴ در استان چهار محال بختیاری می باشد. محدوده مورد مطالعه و نقشه مدل نقطه ای ارتفاعی که در شکل (۱) نشان داده شده است (اسلامی، ۱۳۸۵). در شمال غرب حوزه مناطق کوهستانی بازفت و کوهرنگ میباشد که عمده برف حوزه در این مناطق ذخیره میگردد. مدل نقطه ای ارتفاعی از خطوط توپوگرافی ۱۰۰ متری نقشه های با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ تهیه شده است. براساس مدل نقطه ای ارتفاعی تهیه شده محدوده ۱۲۸۷۵ کیلومتر مربعی دارای متوسط ارتفاعی ۲۸۰۰ متر از سطح دریا میباشد. برای مدل سازی ذخیره و ذوب برف منطقه مورد مطالعه به بیست رده ارتفاعی مساوی تقسیم شده که جزئیات آنرا در جدول (۱) مشاهده میکنید.



شکل (۱): نقشه مرز حوزه ، رودخانه و مدل نقطه ای ارتفاعی محدوده مطالعاتی

جدول (۱): ارتفاع متوسط ، فراوانی و مساحت تجمعی رده های ارتفاعی بیستگانه

ردیف	ارتفاع متوسط (متر)	فراوانی جزئی (درصد)	فراوانی تجمعی (درصد)	مساحت تجمعی (کیلومتر مربع)	ردیف	ارتفاع متوسط (متر)	فراوانی جزئی (درصد)	فراوانی تجمعی (درصد)	مساحت تجمعی (کیلومتر مربع)
۱	۱۰۳۴	۰.۶۰	۰.۶	۷۷	۱۱	۲۶۳۳	۱۱.۱۸	۸۲.۰	۱۰۵۵۲
۲	۱۱۸۵	۰.۵۰	۱.۱	۱۴۱	۱۲	۲۷۹۱	۶.۵۷	۸۸.۵	۱۱۳۹۸
۳	۱۳۵۹	۱.۳۶	۲.۵	۳۱۶	۱۳	۲۹۴۷	۴.۳۶	۹۲.۹	۱۱۹۶۰
۴	۱۵۱۲	۲.۴۴	۴.۹	۶۳۱	۱۴	۳۱۱۲	۲.۷۳	۹۵.۶	۱۲۳۱۱
۵	۱۶۷۱	۳.۶۱	۸.۵	۱۰۹۶	۱۵	۳۲۷۰	۱.۶۴	۹۷.۳	۱۲۵۲۲
۶	۱۸۳۴	۵.۳۵	۱۳.۹	۱۷۸۵	۱۶	۳۴۳۵	۱.۱۷	۹۸.۴	۱۲۶۷۳
۷	۱۹۸۹	۴.۴۸	۱۸.۳	۲۳۶۲	۱۷	۳۵۹۸	۰.۶۷	۹۹.۱	۱۲۷۵۹
۸	۲۱۴۸	۱۸.۲۹	۳۶.۶	۴۷۱۷	۱۸	۳۷۴۲	۰.۵۰	۹۹.۶	۱۲۸۲۴
۹	۲۳۱۲	۱۸.۹۵	۵۵.۶	۷۱۵۷	۱۹	۳۹۰۷	۰.۲۸	۹۹.۹	۱۲۸۶۰
۱۰	۲۴۶۳	۱۵.۱۹	۷۰.۸	۹۱۱۳	۲۰	۴۰۲۹	۰.۱۲	۱۰۰.۰	۱۲۸۷۵

## ۲-۸- روش تحقیق

در این مطالعه با مدل سازی رواناب حوزه آبریز بالادست سد کارون ۴، تلاش شد تا اطلاعاتی از شرایط برفی (سطح پوشش برف و آب معادل از ذوب آن) این حوزه بدست آید. داده‌هایی که در این تحقیق به کار برده شد شامل بارش، تبخیر و تعرق، درجه حرارت (در صورت استفاده از ذوب برف) و جریان خروجی حوزه، که به صورت توزیع زمانی روزانه به مدل وارد و در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفت.

همانطور که گفته شد در این تحقیق از الگوریتم SCE برای اتوکالیبراسیون مدل بارش- رواناب استفاده شده است. مدل استفاده شده در این تحقیق ترکیبی از الگوریتم ارائه شده توسط Duan و همکاران (۱۹۹۳ و ۱۹۹۲) همراه با روش‌های ارائه شده توسط Liang و همکاران (۲۰۰۴) برای به دست آوردن پارامترهای SCE می‌باشد. در این تحقیق اتوکالیبراسیون یک مسئله بهینه سازی بارش- رواناب مدنظر بوده است که تعداد ابعاد آن با توجه به انتخاب تعداد ایستگاه‌های هواشناسی بیش از ۲۰ و تعداد جوامع در نظر گرفته شده برای حل مسئله در حدود ۵۰ بوده است.

بعد از چندین بار اجرای مدل بارش رواناب با ایستگاه‌ها (بارسنجی، تبخیرسنجی) و رده‌های ارتفاعی مختلف، از بین اطلاعات مشاهده‌ای ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ، بروجن و لردگان ایستگاه سینوپتیک کوهرنگ با بالاترین وزن انتخاب گردید. از این رو در این مدل از اطلاعات بارش، دما و تبخیر ایستگاه سینوپتیک کوهرنگ با ارتفاع ۲۲۸۵ متر استفاده شد و سپس رواناب شبیه سازی شده در تمام رده‌های ارتفاعی با هم جمع شده و در مدل NAM روندیابی شد.

در این مدل سازی در مجموع ۱۵ پارامتر به شرح: ۹ پارامتر مربوط به مدل NAM؛ ۲ پارامتر مربوط به وزن ایستگاه باران سنجی و تبخیرسنجی و ۴ پارامتر مربوط به مدل ذخیره و ذوب برف به همراه گرادیان ارتفاعی باران توسط مدل SCE واسنجی گردید.

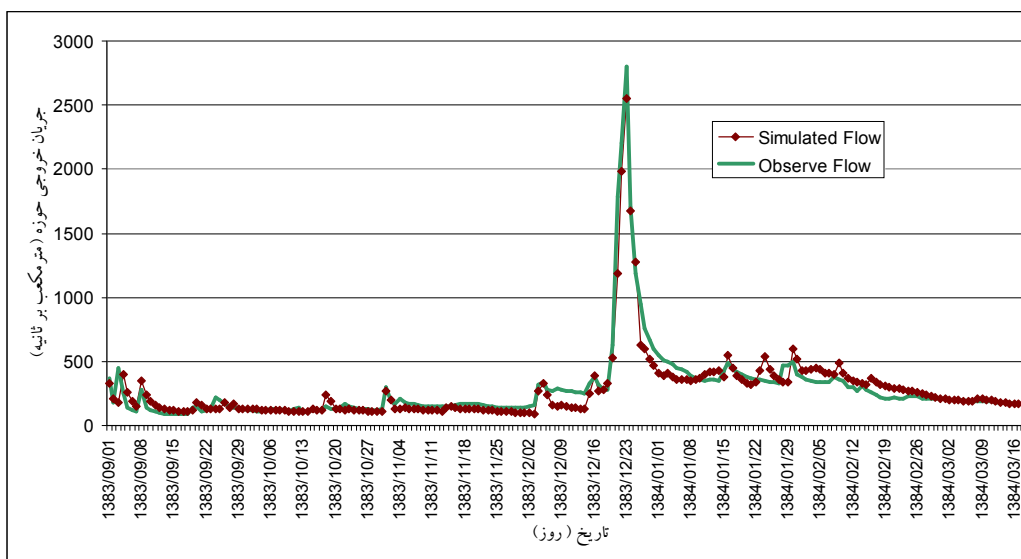
## ۳- نتایج و بحث

همانگونه که ذکر شد در این تحقیق از مدل بارش- رواناب NAM برای شبیه سازی و پیش بینی جریان رودخانه کارون در حوزه آبریز بالادست سد کارون ۴ استفاده شد. برای این منظور از داده‌های سال‌های ۷۴-۱۳۷۳ لغایت ۸۱-۱۳۸۰ برای واسنجی و تعیین پارامترهای مدل و از داده‌های سال‌های ۸۲-۱۳۸۱ لغایت ۸۴-۱۳۸۳ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. مدل اتوکالیبراسیون خود کار SCE نیز برای کالیبراسیون و تعیین پارامترهای مدل بارش- رواناب استفاده شد. نتایج با استفاده از پارامترهای، میانگین خطای نرمال شده (NME)، راندمان مدل (MEFF) و میانگین ریشه مجموع مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) ارزیابی و در نهایت بهترین مدل تعیین شد. نتایج معیارهای ارزیابی برای هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق با این جدول، پارامترهای ارزیابی هم در قسمت واسنجی و هم در قسمت اعتبارسنجی مقادیر مناسبی را ارائه نموده‌اند. همانطور که مشاهده می‌کنید، راندمان مدل که نشان دهنده صحت برازش داده‌ها است، برای هر دو دوره، از مرز مورد قبول ۰/۷۵ بالاتر می‌باشد.

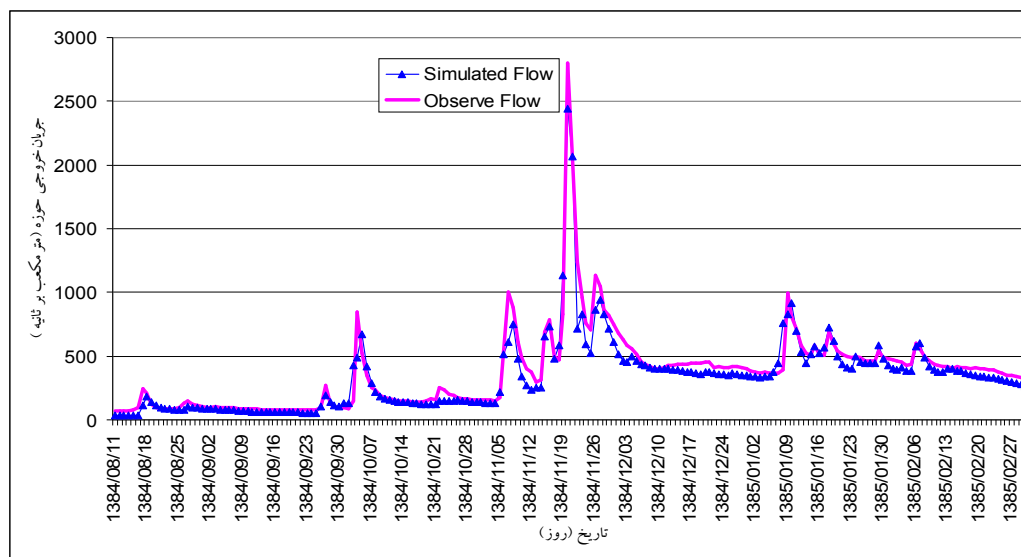
جدول (۲): مقادیر خطای محاسبه شده در واسنجی، اعتبارسنجی پارامترهای مدل

ردیف	شرح خطا	مخفف	واسنجی	اعتبارسنجی
۱	میانگین خطای نرمال شده	NME	۰.۰۷	۰.۱۲
۲	راندمان مدل	MEFF	۰.۷۴	۰.۷۶
۳	میانگین ریشه مجموع مربعات خطای نرمال شده	NRMSE	۰.۵۶	۰.۵۶

به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد مدل مورد آزمون و تعیین میزان دقت مدل طراحی شده علاوه بر استفاده از سه پارامتر ارزیابی خطا، جریان خروجی شبیه سازی شده همراه با مقادیر مشاهده شده در طول دوره ۱۳۸۳-۸۴ و ۱۳۸۴-۸۵ به ترتیب در شکل های (۲) و (۳) به صورت مجزا نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان می دهد، مدل کالیبره شده، بخوبی توانسته در تمام دوره ها حتی دوره های بحرانی، مقادیر را شبیه سازی نماید. به طور که مشاهده می کنید این مدل سیلاب های رخ داده شده را نیز بخوبی پیش بینی و شبیه سازی نموده است.

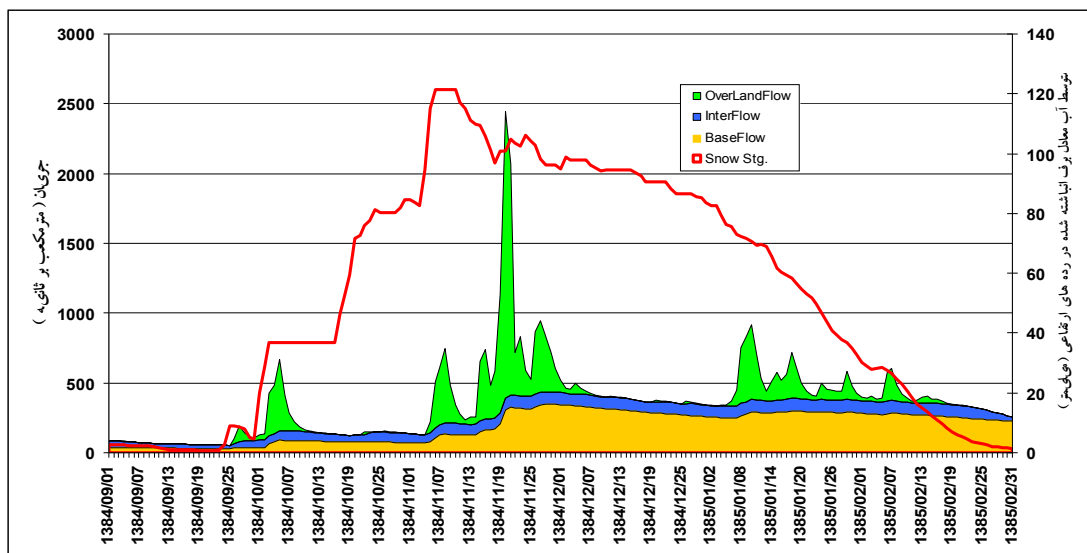


شکل (۲): مقایسه جریان شبیه سازی شده و مشاهده ای در دوره اعتبارسنجی مدل در سال آبی ۱۳۸۳-۸۴



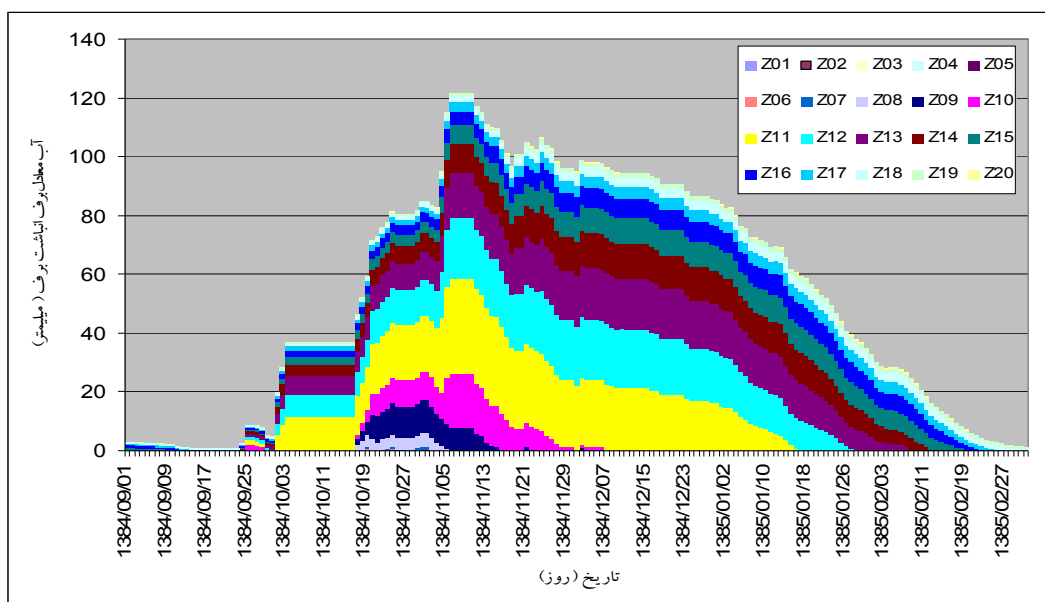
شکل (۳): مقایسه جریان شبیه سازی شده و مشاهده ای در دوره اعتبارسنجی مدل در سال آبی ۱۳۸۴-۸۵

همان طور که در ابتدای مقاله در ساختار مدل بارش-رواناب اشاره شد. جریان خروجی حوزه از ترکیب سه جریان سطحی QOF، جریان زیرسطحی QIF و جریان آب زیرزمینی QBF تشکیل می‌شود. شکل (۴) تغییرات شبیه‌سازی شده جریان‌های سه گانه به همراه آب معادل برف ذخیره شده در حوزه را نشان می‌دهد. میزان سهم هر جریان در جریان خروجی حوزه در دوره موردنظر برای QOF و QIF و QBF به ترتیب ۲۸ و ۱۹ و ۵۲ درصد می‌باشد. با توجه به شکل (۴) با افزایش دما برف ذخیره شده در حوزه، ذوب شده به طوری که در اسفند ماه به حداکثر مقدار خود رسیده که این با واقعیت مطابقت داشته است.



شکل (۴): جریانهای سه گانه مدل و مقدار آب معادل برف انباشته شبیه سازی شده مدل

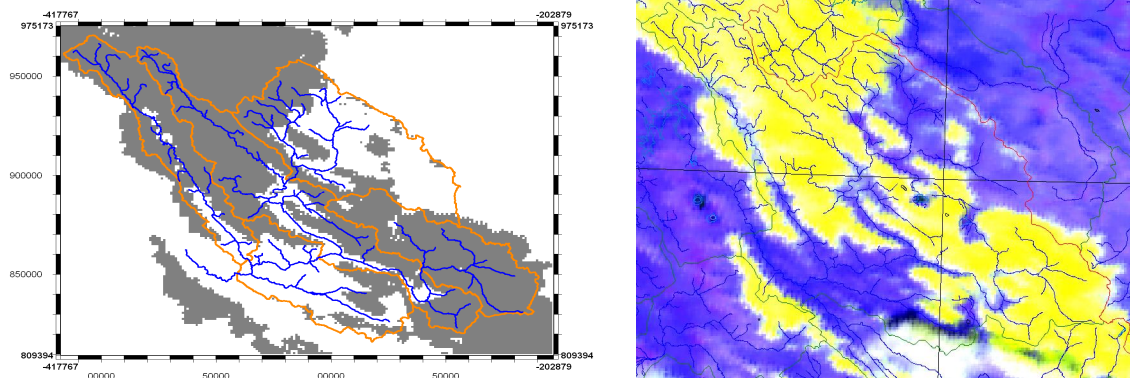
همانطور که گفته شد در این تحقیق به منظور تعیین سطح پوشش برف با استفاده از نقشه DEM، ابتدا حوزه به رده‌های ارتفاعی ۲۰ تقسیم و سپس براساس گرادیان ارتفاعی دما و بارش میزان پوشش برف و آب معادل برف انباشته شده در هر رده ارتفاعی تعیین شد. شکل (۵)، آب معادل برف انباشته شده در رده‌های مختلف ارتفاعی را نشان می‌دهد.



شکل (۵): درصد مشارکت هر یک از رده های ارتفاعی شبیه سازی شده در انباشت برف

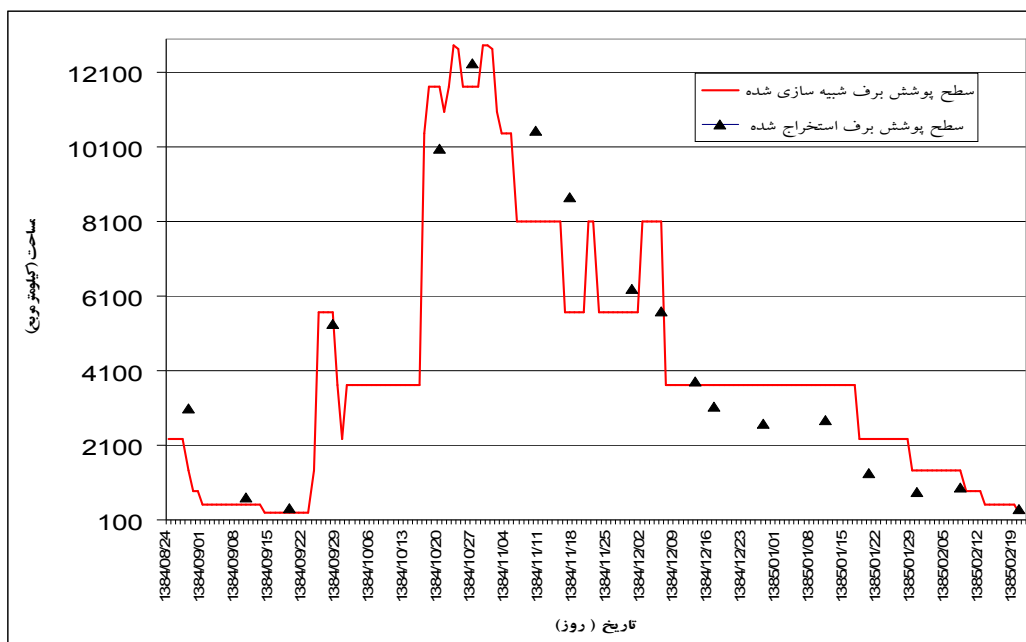


با مدل سازی بارش - رواناب در سطح حوزه آبریز، میزان برف در حوزه نیز تعیین شد. سپس به منظور بررسی دقت و کارایی این روش مساحت پوشش برف از تصاویر ماهواره ای NOAA محاسبه و مقایسه گردیده شد. شکل (۶) به ترتیب تصویر ماهواره ای گرفته شده توسط ماهواره NOAA و توزیع مکانی برف که از پردازش تصویر ماهواره ای بدست آمده را نشان می دهد.



شکل (۶): تصویر ماهواره ای NOAA مورخ ۱۷ بهمن ۱۳۸۴ و مساحت برف جداشده

با توجه به ابری بودن بعضی از روزها و عدم دقت آنها در صورت ابری بودن، ۱۸ تصویر مناسب را انتخاب و سطح پوشش برف برای هر تصویر محاسبه شد. شکل (۷) نتایج هر دو روش را نشان می دهد. مطابق با شکل (۸) مساحت تعیین شده از مدل بارش - رواناب و تصاویر ماهواره ای تقریباً یکسان بوده است.



شکل (۹): مقایسه سطح پوشش برف شبیه سازی شده و استخراج شده از تصاویر ماهواره ای

#### ۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش مدل سازی جریان رودخانه کارون، به منظور تعیین سطح پوشش برف و آب معادل آن در حوزه آبریز بالادست محل سد کارون ۴ در استان چهارمحال بختیاری، مورد بررسی قرار گرفت که به عنوان نتیجه گیری می توان به موارد زیر اشاره نمود.

- مدل های مفهومی چند منظوره بارش- رواناب کاربردهای زیادی در هیدرولوژی بویژه در پیش بینی سیلاب دارند ولی کاربرد موفقیت آمیز مدل های بارش- رواناب، بستگی زیادی به چگونگی کالیبراسیون مدل دارد. همانطور که نتایج نشان می دهد نتایج حاصل از اتوکالیبراسیون مدل با مقادیر دبی های مشاهداتی همبستگی بسیار نزدیکی را داشته است. از این رو می توان بیان کرد که مدل تهیه شده دارای پایداری و کارایی کافی در پیدا کردن نقاط بهینه می باشد.
- نتایج نشان داد که استفاده از روش میانگین گیری وزنی مکانی در محاسبه بارش و تبخیر متوسط سطح حوزه و تعیین وزن های ایستگاه های تبخیرسنجی و باران سنجی توسط مدل اتوکالیبراسیون SCE، بر کارایی مدل افزوده است.
- با توجه به وابستگی زیاد ذخیره و ذوب برف به درجه حرارت محیط و تغییرات زیاد درجه حرارت در ارتفاعات مختلف، طبقه بندی رده های ارتفاعی و تخمین آن در هر رده ارتفاعی از روش گرادیان ارتفاعی، به کارایی مدل افزوده است.
- نتایج نشان می دهد که مقادیر مساحت سطح پوشش برف شبیه سازی شده و استخراج شده از تصاویر ماهواره ای NOAA، به هم نزدیک می باشد، که خود نشان از صحت کارکرد مدل می باشد.
- با توجه به نتایج این مقاله می توان ذخایر برفی حوزه را بدون هیچ محدودیتی و با تقریب خوبی در هر زمان مورد نظر پیش بینی نمود و سپس برنامه ریزی های لازم را جهت کنترل و استفاده بهینه از این منابع را انجام داد.
- در مراحل انجام تحقیق مواردی مشاهده شد که به عنوان پیشنهاد ارائه می گردد تا در انجام تحقیق های بعدی در نظر گرفته شود:
  - با توجه به وابستگی زیاد ذخیره و ذوب برف به درجه حرارت محیط و تخمین آن از روش گرادیان ارتفاعی، پیشنهاد می شود که برای شرایط خشک و تر روابط ارتفاعی به طور جداگانه تعریف و در مدل منظور شود و در صورت وجود ایستگاه مناسب در رده های ارتفاعی مختلف از حداقل دو تا سه ایستگاه به عنوان دمای مبنا استفاده شود.
  - با توجه به تغییرات ارتفاعی و دمایی منطقه، پیشنهاد می شود منطقه به رده های ارتفاعی بیشتر (بیشتر از ۲۰ رده) تقسیم و شبیه سازی براساس آن انجام شود.
  - پیشنهاد می شود که از روش ارائه شده در این تحقیق، برای دیگر مناطق برفگیر کشور نیز استفاده شود.
- با توجه به نتایج پوشش برفی در سطح حوزه، سطح پوشش برف تعیین شده از طریق مدل بارش- رواناب NAM و از طریق تصاویر ماهواره ای NOAA اختلاف جزئی را داشته که می تواند به دلیل دقت کم تصاویر ماهواره ای NOAA باشد. از این رو پیشنهاد می شود که برای مقایسه از تصاویر ماهواره ای MODIS که دقت جزء تصاویر آن بیشتر است، استفاده شود.

## ۵- مراجع

- [۱] Maidment, D. R. (۱۹۹۲). "Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, Inc, New York, USA.
- [۲] قائمی، هوشنگ و مرید، سعید. (۱۳۷۳). "تحلیل برف در حوزه آبریز رودخانه دماوند"، مجموعه مقالات اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.
- [۳] نکونام، زری و مزیدی، احمد. (۱۳۸۹). "تحلیل پوشش برف در حوزه فخرآباد یزد"، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ص ۱-۱۱.
- [۴] Metcalfe, R. A. and Buttle, J. M. (۱۹۹۹). "Sem-distributed Water Balane dynamics in a small Boreal Forest Basin, Journal of Hydrology, vol. ۲۲۶.
- [۵] پرهت، جهانگیر و ثقفیان، بهرام. (۱۳۸۶). "مقایسه دقت تصاویر ماهواره‌ای AVHRR و TM در تعیین پوشش برفی"، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۶۰، ص ۳۸۳-۳۹۵.
- [۶] قادری، ک، اسلامی، ح، ثقفیان، ب و سامانی، جمال. (۱۳۸۵). "اتوکالیبراسیون مدل بارش - رواناب با استفاده از روش بهینه‌سازی سراسری "SCE، مجله تحقیقات منابع آب، جلد ۵، شماره ۲، ۵۲-۳۹، ۱۳۸۵.
- [۷] اسلامی، ح. (۱۳۸۵) "نقش برف در رواناب رودخانه کارون بر اساس مدل مفهومی مخزنی"، سی‌دی مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود.
- [۸] Liong, S. Y. and N. Muttill. (۲۰۰۴). "Shuffled Complex Evolution Coupled with Experimental Design Technique," National University of Singapore, Singapore ۱۱۹۲۶۰.