

تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب^۱

محمد رضا قنبر پور^۲ محسن محسنی ساروی^۳ بهرام ثقفیان^۴ حسن احمدی^۵ کریم عباسپور^۶

چکیده

در حوضه‌های کوهستانی بخش عمده‌ای از بارندگی به صورت برف نازل می‌شود و جریان حاصل از ذوب برف قسمت اعظم رواناب در فصول بهار و تابستان را تشکیل می‌دهد. رواناب حاصل از ذوب برف در تامین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی و تغذیه سفره‌های زیرزمینی مؤثر بوده و در برخی موارد منشاء بروز سیلاب‌های مخرب می‌باشد. بنابراین شناخت دقیق ویژگی‌های برف در زمان و مکان به منظور مدیریت صحیح و مؤثر منابع آب حایز اهمیت بسیار است. مطالعات گذشته نشان داده است که سطح پوشش برف یک متغیر اساسی در شبیه‌سازی و پیش بینی رواناب حاصل از ذوب برف بوده و تغییرات آن در زمان و مکان می‌تواند به عنوان شاخص مهمی از ویژگی‌های برف در مقیاس یک حوضه آبخیز مورد مطالعه قرار گیرد. هدف اصلی این تحقیق شناخت مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری برف و رتبه بندی زیرحوضه‌ها بر اساس سهم ذوب برف در رواناب بوده که در توسعه مدل‌های شبیه سازی و پیش بینی رواناب در فصل ذوب برف حایز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق تغییرات زمانی و مکانی سطح پوشش برف به صورت فراوانی انباشت و ماندگاری برف در حوضه کارون با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و روش هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است. با کاربرد یک مدل بیلان آبی و روابط منطقه‌ای، سهم ذوب برف در رواناب سالیانه برای سطوح مختلف حوزه تعیین گردیده و رتبه‌بندی سطوح حوزه بر اساس اطلاعات مکانی حاصل از مقدار سهم ذوب برف زیر حوضه در رواناب و سطوح فراوانی و پتانسیل انباشت و ماندگاری سطح برف انجام گرفته است. در این تحقیق دمای آستانه ریزش برف نیز که از پارامترهای اساسی مطالعات برف در مناطق کوهستانی است با استفاده از تحلیل داده‌های سینوپتیک و داده‌های دورسنجی تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: سطح پوشش برف، تغییرات زمانی و مکانی، رواناب حاصل از ذوب برف، سنجش از دور.

^۱ - تاریخ دریافت: ۸۳/۳/۱۱، تاریخ پذیرش: ۸۳/۶/۳۰

^۲ - دانش آموخته دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران (E-mail: m_ghanbarpour@yahoo.com)

^۳ - دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۴ - دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

^۵ - استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۶ - دانشیار پژوهشکده علوم فنی وزیست محیطی ایواگ، سوئیس

می‌شود. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز کارون و زیر حوزه‌های اصلی آن را نشان می‌دهد. ارتفاع در این حوزه از ۸۰۰ متر در محل ایستگاه هیدرومتری پل شالو در خروجی حوزه تا ارتفاع حدود ۴۴۰۰ متر در ارتفاعات آن تغییر می‌کند. سطح پوشیده از برف در این حوزه در بهمن ماه به بیشترین مقدار رسیده و فروکش سطح برف از اسفند ماه آغاز می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه نیز ۷۲۰ میلی‌متر برآورد گردیده است. دبی متوسط سالیانه در محل ایستگاه پل شالو معادل ۳۲۸/۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

جمع آوری اطلاعات و آمار

در این مطالعه ۱۵۶ تصویر ماهواره نوآ با قدرت تفکیک^۲ ۱/۱ کیلومتر مربع از سال ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۷ در طول ده سال مورد استفاده قرار گرفته است. سطح پوشیده از برف در هر یک از تصاویر مذکور با استفاده از الگوریتم‌های موجود به منظور تفکیک برف از ابر و زمین در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی توسط شرکت جاماب (۱۳۸۲) آماده گردیده است. سپس هر یک از این تصاویر با توجه به وجود و یا عدم وجود برف در محیط سلولی^۳ به صورت نقشه‌های با ارزش یک و صفر^۴ تبدیل شده‌اند. آمار روزانه بارندگی، درجه حرارت و درصد برف به طور همزمان مربوط به ۴ ایستگاه سینوپتیک موجود در محدوده مورد مطالعه در طی سال‌های آماری ۶۷-۱۳۶۶ الی ۷۸-۱۳۷۷ به مدت ۱۲ سال مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ارزشمند بودن داده‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نیز داده‌های روزانه سینوپتیک از یک سو و نیز عدم دسترسی به داده‌های بیشتر، سال‌های دارای آمار در این تحقیق مبنای تجلیل هر یک از این اطلاعات یاد شده قرار گرفته است. آمار و اطلاعات مربوط به دمای ماهانه در ۳۳ ایستگاه و آمار بارندگی ماهانه در ۲۶ ایستگاه هواشناسی متعلق به وزارت نیرو و سازمان هواشناسی در داخل و اطراف حوضه بر اساس کامل بودن طول دوره آماری و صحت آمار انتخاب گردید. دبی جریان ماهانه ۳۴ ایستگاه هیدرومتری نیز در

حرکت سیستم‌های بارانزا به دو بخش پیش کوه و پشت کوه تقسیم‌بندی کرده‌اند. در این مطالعه مشخص گردیده است که مناطق پیش کوه به دلیل قرار گرفتن در جهت حرکت سیستم‌های بارانزا از مقدار بارندگی بیشتری برخوردار هستند. در این منطقه بندی تعیین مرز مشخص بین مناطق به سادگی قابل استخراج نبوده و عدم وجود ایستگاه باران سنجی و برف سنجی کافی و قابل اطمینان بر عدم دقت در این منطقه بندی می‌افزاید. پرهمت (۱۳۸۱) مدل هیدرولوژیک اس آر ام^۱ را به منظور شبیه سازی رواناب در حوزه خرسان یکی از زیر حوزه‌های، حوزه آبخیز کارون به کار برده است. سطح پوشش برف یکی از ورودی‌های این مدل بوده که با استفاده از تصاویر ماهواره نوآ در دو سال آماری استخراج شده است. وی الگوریتم‌های تفکیک سطح برف و ابر و زمین را تشریح و مورد استفاده قرار داده است. هدف اصلی در تحقیق حاضر تعیین پراکنش مکانی و زمانی سطح پوشش برف به منظور شناخت مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری برف و رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها بر اساس سهم ذوب برف در رواناب و ویژگی‌های سطح برف می‌باشد. اطلاعات حاصله می‌تواند در برنامه‌ریزی سنجش برف و مدیریت بهینه منابع آب در فصول کم آبی به کار رود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

در این مطالعه حوزه آبخیز کارون در جنوب غرب ایران تا محل ایستگاه پل شالو به مساحت تقریبی ۲۴۱۴۱ کیلومتر مربع انتخاب گردیده است. این حوزه بخشی از پنج استان کشور، یعنی استان‌های چهارمحال بختیاری، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و فارس را شامل می‌شود که از شمال به حوزه رودخانه‌های زاینده‌رود و کر و مسیل‌های آباده و از غرب به حوزه رودخانه‌های دز و کرخه و از شرق به حوزه رودخانه‌های زاینده رود و از جنوب به حوزه رودخانه‌های زهره، مارون، علا و جراحی محدود

^۱-Resolution

^۲-Raster

^۳-Binary

^۱-SRM (Snowmelt Runoff Model)

مقدار تجمعی عمق برف در مقابل متوسط دمای روزانه تعیین گردیده است. شکل (۴) نمونه‌ای از روش استخراج دمای آستانه را در ایستگاه سینوپتیک کوه‌رنگ نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴) در ایستگاه سینوپتیک کوه‌رنگ در دمای کمتر از $2/8$ - درجه سانتیگراد کل بارندگی به صورت بارش برف مشاهده شده است. از سوی دیگر در دمای حدود $4/7$ درجه سانتیگراد نیز کل بارندگی به صورت باران بوده و در محدوده بین این دو آستانه، بارش به صورت ترکیبی از برف و باران مشاهده گردیده است. به منظور تعیین آستانه ریزش برف، میانه مشاهدات در این محدوده مشخص و دمای مربوط به آن به عنوان دمای آستانه انتخاب گردید. دمای آستانه در ایستگاه‌های سینوپتیک کوه‌رنگ، یاسوج، بروجن و شهرکرد به ترتیب $1/6$ ، $3/5$ ، $1/9$ و $2/4$ درجه سانتیگراد محاسبه گردید که متوسط این مقادیر به عنوان دمای آستانه در کل حوزه معادل $2/4$ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. لایه اطلاعاتی سطوح پتانسیل برف شامل مناطق پوشیده از برف، منطقه ریزش و ذوب برف و منطقه فاقد سطح برف را می‌توان با استفاده از نقشه هم دمای فصل زمستان بر اساس دمای صفر درجه سانتیگراد به عنوان آستانه ذوب برف و دمای $2/4$ درجه سانتیگراد به عنوان آستانه ریزش برف استخراج نمود.

تعیین سهم ذوب برف در رواناب سالیانه

در حوضه‌های کوهستانی ذوب برف سهم عمده‌ای از رواناب به خصوص در فصل بهار و تابستان را شامل می‌شود. به منظور بررسی سهم ذوب برف در رواناب در سطوح حوضه، معادله بیلان آبی ارایه شده توسط رانگو و مارتینس (۱۹۸۲) به صورت رابطه (۲) مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر بارندگی فصل ذوب برف بر اساس رابطه بارندگی و ارتفاع و کاربرد مدل رقومی ارتفاع در سطح حوضه محاسبه گردیده است (جاماب، ۱۳۸۲). ضریب رواناب سالیانه نیز از نسبت بارندگی سالیانه حوضه به رواناب سالیانه محاسبه گردیده است. به منظور محاسبه رواناب در فصل ذوب برف، آمار رواناب ماهانه در هر یک از زیر حوضه‌ها، مورد استفاده قرار گرفته است.

تصاویر مربوط به بهار و تابستان به ترتیب به منظور استخراج لایه‌های اطلاعاتی انباشت و ماندگاری سطح برف به کار گرفته شد. به منظور انتخاب تصاویر ماهواره‌ای به نحوی که به صورت ماهانه بتواند از روند پیوسته‌ای برخوردار باشد، در هر ماه سعی شد حداقل یک تصویر و در صورت وجود تعداد کافی دو تصویر در هر نیمه ماه (۱۵ روز) انتخاب شود. در این تحقیق رابطه (۱) به منظور استخراج لایه‌های اطلاعاتی فوق در محیط سلولی توسعه و مورد استفاده قرار گرفت. ویژگی این روش در این است که یک سری زمانی تصاویر سطح پوشش برف از یک سطح در مقاطع زمانی مختلف مورد تحلیل قرار می‌گیرد و امکان تعیین احتمال وقوع پدیده‌های مورد بررسی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی فراهم می‌شود.

$$P = \frac{\left(\sum_{i=1}^N Smap_i \right)}{N} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:

P : فراوانی انباشت یا ماندگاری سطح پوشش برف (درصد)،

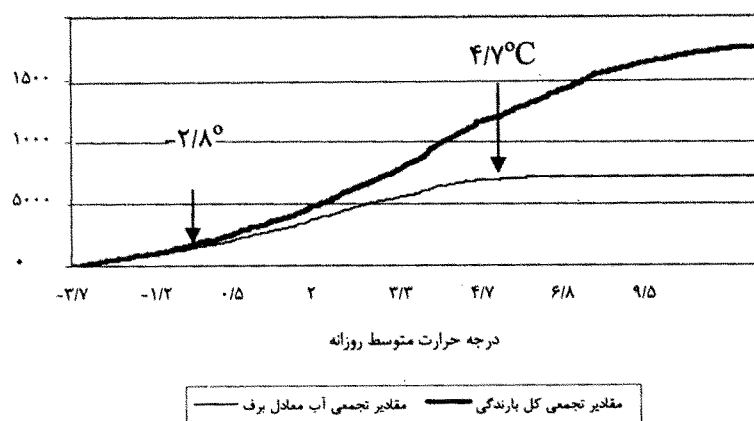
$Smap_i$: نقشه سطح پوشش برف در تاریخ t (ارزش هر سلول

پوشیده از برف برابر یک، بدون پوشش برف، صفر)،

N : تعداد تصاویر سطح برف مورد استفاده.

فرایند انباشت و ماندگاری سطح برف علاوه بر عوامل توپوگرافی تحت کنترل عوامل هواشناسی از قبیل دمای هوا قرار دارد. با استفاده از تعیین دمای آستانه ریزش برف^۱ و کاربرد نقشه‌های هم‌دما می‌توان سطوح پتانسیل ریزش و ماندگاری سطح برف را از دیدگاه هواشناسی استخراج نمود. در منطقه مورد مطالعه رابطه بین دما و ارتفاع از دقت مناسبی برخوردار بوده و می‌توان با توجه به این رابطه و کاربرد مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌های هم‌دما در فصل ریزش برف را ترسیم نمود. شکل‌های (۲ و ۳) به ترتیب رابطه گرادیان دما در فصل زمستان و مدل رقومی ارتفاع در حوزه آبخیز کارون را نشان می‌دهد. دمای آستانه با تحلیل همزمان بارندگی و دما و درصد برف در ایستگاه‌های سینوپتیک و ترسیم مقادیر تجمعی مقدار کل بارندگی و

۱-Critical Temperature



شکل ۴- نحوه تعیین درجه حرارت آستانه ریزش برف در ایستگاه سینوپتیک کوهرنگ

می‌باشد. در این منطقه پتانسیل ریزش برف وجود دارد و در صورت وقوع آن، سطح برف در طول فصل ریزش استمرار داشته و انباشت برف صورت می‌گیرد. منطقه ریزش و ذوب برف نیز مناطقی است که دما بین آستانه ریزش و ذوب برف یعنی به ترتیب $2/4$ و صفر درجه سانتیگراد می‌باشد. در این منطقه نیز پتانسیل توام ریزش و ذوب برف وجود خواهد داشت. در مناطق فاقد سطح پوشش، دما بالاتر از $2/4$ درجه سانتیگراد می‌باشد و پتانسیل ریزش برف وجود نداشته و بارندگی به صورت باران به وقوع می‌پیوندد.

به منظور رتبه‌بندی سطوح مرتفع حوضه بر اساس تغییرات زمانی و مکانی سطح پوشش برف ابتدا واحدهای هیدرولوژیکی مجزا به نحوی که کلیه سطوح مرتفع حوضه را بپوشاند به صورت لایه اطلاعاتی شکل (۸) تعیین گردید. انباشت و ماندگاری سطح برف در هر یک از واحدهای هیدرولوژیک، بر اساس تحلیل داده‌های دور سنجی و کاربرد دمای آستانه با استفاده از روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی مذکور تعیین گردیده که نتایج آن در جدول (۱) آمده است. با توجه به جدول (۱) می‌توان وضعیت هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی را از نظر ویژگی‌های یادشده مورد بررسی و مقایسه قرار داد. به عنوان مثال در واحد هیدرولوژیک B حداکثر مقادیر از نظر درصد فراوانی انباشت و ماندگاری سطح برف و درصد سطوح پتانسیل

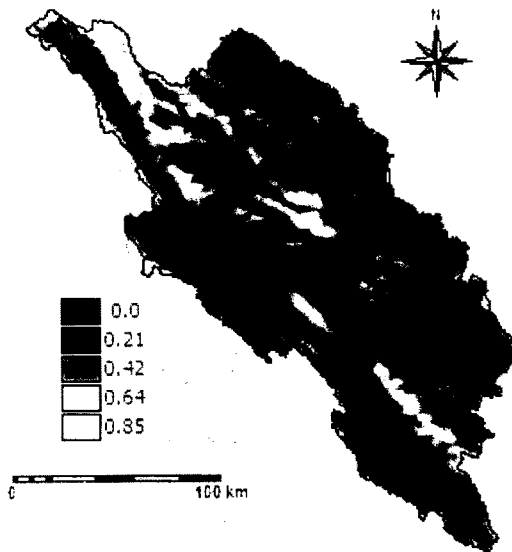
نتایج

رتبه‌بندی سطوح مرتفع حوضه بر اساس ویژگی‌های سطح برف

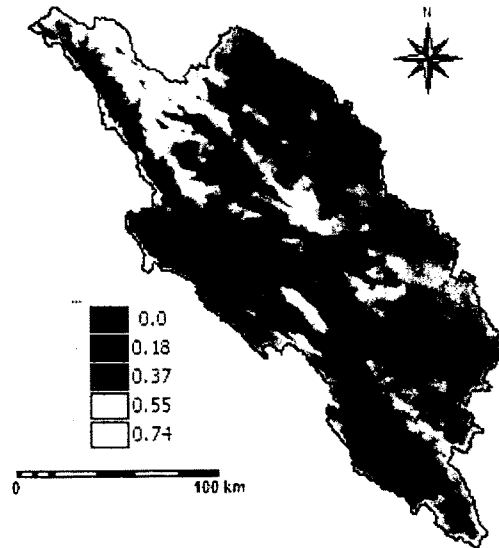
لایه‌های اطلاعاتی انباشت و ماندگاری سطح برف از روی هم‌گذاری تصاویر سطح پوشش برف مربوط به هر یک از دوره‌های ریزش و ذوب برف بر اساس رابطه (۱) استخراج گردید. هر سلول از نقشه‌های حاصل، احتمال مشخصی از انباشت و ماندگاری سطح برف در سطح حوضه را نشان می‌دهد که به نوعی تلفیقی از تغییرات زمانی و مکانی برف در فصل ریزش و ذوب محسوب می‌شود. شکل‌های (۵ و ۶) به ترتیب لایه‌های اطلاعاتی انباشت و ماندگاری سطح برف در حوزه کارون را نشان می‌دهد. مناطق با رنگ روشن‌تر نشان‌دهنده درصد فراوانی بیشتر انباشت و ماندگاری سطح برف می‌باشد. لایه اطلاعاتی سطوح پتانسیل برف شامل مناطق پوشیده از برف، منطقه ریزش و ذوب برف و منطقه فاقد سطح برف با استفاده از نقشه هم دمای فصل زمستان و با در نظر گرفتن دمای صفر درجه سانتیگراد به عنوان آستانه ذوب برف و دمای $2/4$ درجه سانتیگراد به عنوان آستانه ریزش برف تهیه گردید که در شکل (۷) نشان داده شده است. مناطق پوشیده از برف که در شکل (۷) با رنگ سفید نشان داده شده است، سطوحی از حوزه است که در طول فصل ریزش برف دمای مساوی یا کمتر از صفر

بر طبق این جدول بیشترین دقت طبقه‌بندی در محدوده ۲ دو تا سه درجه سانتیگراد مشاهده می‌گردد که استخراج این پارامتر از طریق تحلیل داده‌های سینوپتیک در ایستگاه‌های موجود را تایید می‌کند.

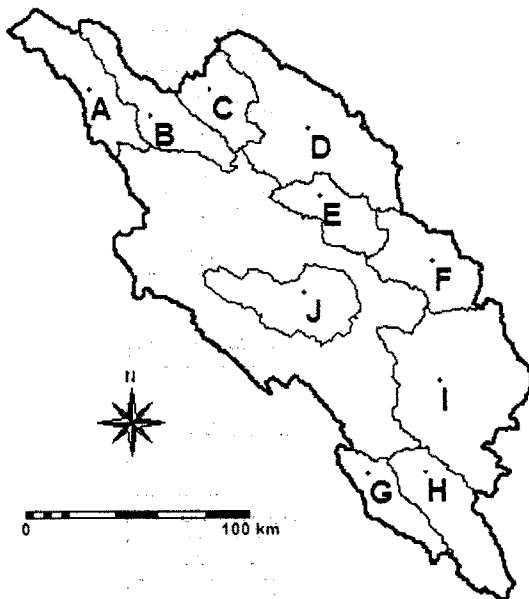
سلول‌های مربوط به سطوح فاقد پوشش برف در نقشه پتانسیل سطح برف با نقشه مشاهداتی سطح برف به طور دقیق طبقه‌بندی شده‌اند و ۱۰ درصد از سلول‌ها در طبقات دیگر قرار گرفته‌اند که خطای طبقه‌بندی محسوب می‌گردد.



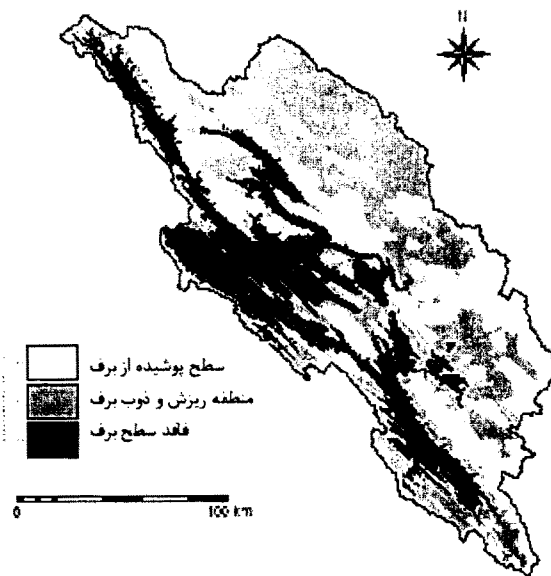
شکل ۶- درصد فراوانی ماندگاری سطح برف در حوزه کارون



شکل ۵- درصد فراوانی انباشت سطح برف در حوزه کارون



شکل ۸- واحدهای هیدرولوژیکی منتخب در حوزه کارون



شکل ۷- سطوح پتانسیل سطح برف بر اساس دمای آستانه

بحث و نتیجه گیری

استخراج لایه‌های اطلاعاتی انباشت و ماندگاری سطح برف کارایی تحلیل سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات هیدرولوژی برف را به خوبی نشان می‌دهد. سطوح پوشیده از برف در اثر عوامل اقلیمی و توپوگرافی دستخوش تغییرات سریع و ناهمگن قرار می‌گیرد. تصاویر ماهواره‌ای با توجه به اینکه از یک سطح در مقاطع زمانی مختلف قادر به تصویربرداری می‌باشند در مطالعات برف سنجی این امکان را فراهم می‌سازند که پراکنش این پدیده متغیر در زمان و مکان به طور همزمان مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به لایه‌های اطلاعاتی فراوانی انباشت و ماندگاری برف مناطقی که از فراوانی بیشتری برخوردارند نشان دهنده زیاد بودن مقدار آب معادل برف اولیه و یا عدم وجود انرژی کافی برای ذوب برف به علت عوامل اقلیمی و توپوگرافی محلی می‌باشد. این اطلاعات با توجه به مشکلات اندازه‌گیری برف در حوزه‌های کوهستانی از اهمیت بالایی برخوردار هست. لایه اطلاعاتی ماندگاری برف در واقع الگوی مکانی ذوب برف در حوزه را نشان می‌دهد. به نوعی می‌توان تقدم و تاخر در ذوب برف را با دقت حدود هزار متر مربع مورد بررسی قرار داد. این لایه اطلاعاتی نقاطی از حوزه را که تا مدت بیشتری سطح برف را در طول بهار و تابستان حفظ می‌کنند نشان می‌دهد.

در این تحقیق محاسبه سهم ذوب برف در رواناب در فصل بهار و تابستان که از نظر به دست آوردن آب بسیار حایز اهمیت می‌باشد با استفاده از مدل بیلان آرایه شده است. متوسط رواناب حاصل از ذوب برف در محل خروجی حوزه آبخیز کارون (ایستگاه پل شالو) معادل ۱۵۲/۵ میلیمتر برآورد گردیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در حدود ۵۰ درصد از رواناب در بهار و تابستان را ذوب برف تشکیل می‌دهد. این تحقیق اهمیت منابع برف در تولید رواناب در فصل بهره‌برداری و استحصال آب را نشان می‌دهد. با پهنه‌بندی مناطق مرتفع حوزه بر اساس انباشت و ماندگاری سطح برف و سهم ذوب برف واحدهای هیدرولوژیک در رواناب سالیانه، تصویر جامعی از تغییرات

ویژگی‌های برف در زمان و مکان آرایه گردیده است. در این تحقیق رتبه بندی واحدهای هیدرولوژیک از نظر فراوانی و پتانسیل انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و نیز سهم ذوب برف در رواناب انجام گرفته است. نتایج رتبه‌بندی از دو دیدگاه یاد شده از همخوانی بالایی برخوردار بوده و یکدیگر را تایید می‌کند. بر اساس تلفیق نتایج این تحقیق می‌توان واحد هیدرولوژیک B و G که در شکل (۸) نشان داده شده را به ترتیب مهم‌ترین و کم اهمیت‌ترین مناطق حوزه کارون از دیدگاه هیدرولوژی برف و ذخایر آبی در فصول کم آبی بر شمرد. اسلامی و فیروزبخت (۱۳۷۳) در حوضه کارون دو منطقه پیش کوه و پشت کوه را به منظور پهنه‌بندی سطوح حوضه در ارتباط با ویژگی‌های ریزش و ذخیره برف معرفی کرده‌اند که تعیین مرز این مناطق با توجه به پیچیدگی آثار اقلیم و توپوگرافی بر انباشت و ماندگاری برف بسیار مشکل می‌باشد. در تحقیق حاضر با توجه به منطقه بندی حوضه بر اساس ویژگی‌های زمانی و مکانی انباشت و ماندگاری برف، مناطق با درجه اهمیت مختلف تعیین گردیده است. منطقه‌بندی آرایه شده در این مقاله مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری برف و نیز مناطق با سهم بیشتر ذوب برف در رواناب سالیانه را با دقت بیشتری نسبت به مطالعات قبلی نشان می‌دهد. در این تحقیق روشی به منظور واسنجی دمای آستانه با استفاده از تحلیل داده‌های دورسنجی توسعه یافته است. روش آرایه شده با دقت طبقه بندی بیش از ۸۰ درصد، مقادیر حاصل از تحلیل داده‌های سینوپتیک را تایید می‌کند.

شناخت دقیق پراکنش مکانی ذخایر آبی در حوضه‌های کوهستانی به صورت برف در اعمال مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب حایز اهمیت می‌باشد. با توجه به پیچیدگی و مشکلات اندازه‌گیری ویژگی‌های برف در مناطق کوهستانی، دستیابی به اطلاعات مکانی از ویژگی‌های برف از جمله سطوح مؤثر در انباشت و ماندگاری برف و سهم ذوب برف در رواناب و اولویت مناطق مختلف حوزه بر اساس عوامل مورد بررسی، می‌تواند در امر توسعه و اصلاح شبکه برف سنجی موجود، برنامه‌ریزی عملیات صحرایی سنجش برف سالیانه، مدیریت خشک سالی و پیش بینی رواناب فصلی سودمند باشد.

منابع

- ۱-اسلامی، منصور و علیرضا فیروزبخت، ۱۳۷۳. بررسی توزیع مکانی بارش برف در حوضه‌های دز و کارون، مجموعه مقالات اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ، وزارت نیرو، سازمان تحقیقات منابع آب.
- ۲-پرهمت، جهانگیر، ۱۳۸۱. مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های دورسنجی و سیستم GIS، پایان نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- ۳-جاماب، ۱۳۸۲. مکانیابی بهینه ایستگاه‌های برف سنجی حوزه آبریز کرخه، دز، کارون و جراحی، شرکت مهندسی مشاور جاماب، وابسته به وزارت نیرو.
- ۴-قنبرپور، محمدرضا، ۱۳۸۱. کاربرد سنجش از دور در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی برف در مناطق کوهستانی. مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور، نیوار، شماره ۴۴ و ۴۵ ص ص ۶۷-۷۸.
- 5-Allen, T. & S. Walsh, 1993. Characterizing Multitemporal Alpine Snowmelt Patterns for Ecological Inferences. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59: 1521-1529.
- 6-Balk, B. & K. Elder, 2000. Combining Binary Decision Tree and Geostatistical Methods to Estimate Snow Distribution in a Mountain Watershed. *Water Resources Research* 36(1): 13-26.
- 7-Doesken, N.J. & A. Judson, 1996. *The Snow Booklet: A Guide to the Science, Climatology, and Measurement of Snow in the United States*. Colorado State University Department of Atmospheric Science: Fort Collins, CO; 84 pp.
- 8-Elder, K., Dozier J. & J. Michaelsen, 1991. Snow Accumulation and Distribution in an Alpine Watershed. *Water Resources Research* 27(7):1541-1552.
- 9-Luce, CH, D.G. Tarboton & K.R. Cooley, 1998. The Influence of the Spatial Distribution of Snow on Basin-averaged Snowmelt. *Hydrological Processes* 12: 1671-1683.
- 10-Martinec, J. & A. Rango, 1991. Indirect Evaluation of Snow Reserves in Mountain Basins, *Proceedings of the Vienna Symposium: Snow Hydrology and Forests in High Alpine Areas*, IAHS Publ. No. 205, pp. 111-119.
- 11-Rango, A. & J. Martinec, 1982. Snow Accumulation Derived From Modified Depletion Curves of Snow Coverage, *Proceedings of the Exeter Symposium: Hydrological Aspects of Alpine and High Mountain Areas*, IAHS Publ. No. 138, pp. 83-90.
- 12-Rango, A. 1993. Snow Hydrology Processes and Remote Sensing. *Hydrological Processes* 7:121-138.
- 13-Seyfried M.S. & B.P. Wilcox, 1995. Scale and the Nature of Spatial Variability: Field Examples Having Implications for Hydrologic Modeling. *Water Resources Research* 31(1): 173-184.

An Evaluation of Regions Effective in Accumulation and Persistence of Snow Cover and Snowmelt Contribution in Runoff

M. R. Ghanbarpour¹

M. Mohseni Saravi²

B. Saghafian³

H. Ahmadi⁴

K. Abbaspour⁵

Abstract

A significant portion of precipitation falls as snow in mountainous regions with the snowmelt being the main source of water supply in low flow seasons, ground water recharge, and even sometimes the main cause of flooding. Information on the timing, magnitude, and contributing area of snow accumulation and melt is required for successful water resource management. Many studies have indicated that snow cover is an important variable for runoff modeling and forecasting, particularly in mountainous areas. Temporal and spatial variability of snow cover could be known as an important index of snow cover characteristics at the watershed scale.

The major objective in this research is to investigate the effective regions in accumulation and persistence of snow cover as well as ranking of upland hydrological units based on the contribution of snowmelt to the runoff. This information is useful in developing snowmelt simulation and forecasting models. In this research snow cover variability in space and time was simulated using remote sensing as well as meteorological analysis. Contribution of snowmelt to runoff on upland hydrologic units was determined using a water balance model along with regional relationships. Also critical temperature, which is one of the most important variables in snow studies, was determined using remotely sensed and synoptic data.

Keywords: Snow cover, Spatial and temporal variability, Snowmelt runoff, Remote sensing.

¹-Ph.D. Graduate in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
(E-mail: ghanbarpour@yahoo.com)

²-Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

³-Associate Professor, Institute of Soil Conservation and Watershed Management

⁴-Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

⁵-Associate Professor, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, EAWAG