تعيين مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاري سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب[۱]

محمدرضا قنبرپور[۲] محسن محسني ساروي[۳] بهرام ثقفيان[۴] حسن احمدي[۵] كريم عباسپور[۶]

چكيده

در حوضه‌هاي كوهستاني بخش عمده‌اي از بارندگي به صورت برف نازل مي‌شود و جريان حاصل از ذوب برف قسمت اعظم رواناب در فصول بهار و تابستان را تشكيل‌مي‌دهد. رواناب حاصل از ذوب برف در تامين منابع آب آشاميدني و كشاورزي و تغذيه سفره‌هاي زيرزميني مؤثر بوده و در برخي موارد منشاء بروز سيلاب‌هاي مخرب مي‌باشد. بنابراين شناخت دقيق ويژگي‌هاي برف در زمان و مكان به منظور مديريت صحيح و مؤثر منابع آب حايز اهميت بسيار است. مطالعات گذشته نشان داده است كه سطح پوشش برف يك متغير اساسي در شبيه‌سازي و پيش بيني رواناب حاصل از ذوب برف بوده و تغييرات آن در زمان و مكان مي‌تواند به عنوان شاخص مهمي از ويژگي‌هاي برف در مقياس يك حوضه آبخيز مورد مطالعه قرار گيرد. هدف اصلي اين تحقيق شناخت مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاري برف و رتبه بندي زيرحوضه‌ها بر اساس سهم ذوب برف در رواناب بوده كه در توسعه مدل‌هاي شبيه سازي و پيش بيني رواناب در فصل ذوب برف حايز اهميت مي‌باشد. در اين تحقيق تغييرات زماني و مكاني سطح پوشش برف به صورت فراواني انباشت و ماندگاري برف در حوضه كارون با استفاده از تحليل تصاوير ماهواره‌اي و روش هواشناسي مورد بررسي قرار گرفته است. با كاربرد يك مدل بيلان آبي و روابط منطقه‌اي, سهم ذوب برف در رواناب ساليانه براي سطوح مختلف حوزه تعيين گرديده و رتبه‌بندي سطوح حوزه بر اساس اطلاعات مكاني حاصل از مقدار سهم ذوب برف زير حوضه در رواناب و سطوح فراواني و پتانسيل انباشت و ماندگاري سطح برف انجام گرفته است. در اين تحقيق دماي آستانه ريزش برف نيز كه از پارامترهاي اساسي مطالعات برف در مناطق كوهستاني است با استفاده از تحليل داده‌هاي سينوپتيك و داده‌هاي دورسنجي تعيين شده است.

واژه‌هاي كليدي: *سطح پوشش برف, تغييرات زماني و مكاني, رواناب حاصل از ذوب برف, سنجش از دور.*

[۱]- تاريخ دريافت: ۸۳/۳/۱۱ ، تاريخ پذيرش: ۸۳/۶/۳۰

[۲]- دانش آموخته دكتري آبخيزداري دانشكده منابع طبيعي, دانشگاه تهران **(E-mail: m_ghanbarpour@yahoo.com)**

[۳]- دانشيار دانشكده منابع طبيعي, دانشگاه تهران

[۴]- دانشيار پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري

[۵]- استاد دانشكده منابع طبيعي, دانشگاه تهران

[۶]- دانشيار پژوهشكده علوم فني وزيست محيطي ايواگ, سوئيس

مقدمه

برف يكي از اشكال مهم بارش در چرخه هيدرولوژيك مناطق كوهستاني بوده كه در تامين منابع آب شرب و كشاورزي به صورت جريان‌هاي تاخيري در فصول پر آبي و جريان‌هاي حداقل در فصول كم آبي و توليد انرژي نقش ارزنده ايفا مي‌كند. از سوي ديگر رواناب حاصل از ذوب برف[1] منبع اصلي تغذيه سفره‌هاي زيرزميني و در برخي از موارد به دليل همزماني بارش‌هاي بهاره منشاء بروز سيلاب‌هاي مخرب با حجم جريان زياد مي‌گردد.

سطح پوشش برف[2] به عنوان يك متغير هيدرولوژيكي تحت تاثير عوامل پيچيده هواشناسي و توپوگرافي قرار دارد. ارتفاع, شيب, جهت و دما از مهم‌ترين اين عوامل محسوب مي‌شوند كه چگونگي انباشت و ذوب برف و تغييرپذيري سطح پوشش برف را در زمان و مكان كنترل مي‌كنند. مطالعات متعددي نشان داده است كه سطح پوشش برف يك متغير اساسي در شبيه‌سازي و پيش‌بيني رواناب حاصل از ذوب برف بوده و تغييرات آن در زمان و مكان مي‌تواند به عنوان شاخص مهمي از ويژگي‌هاي برف در مقياس يك حوزه آبخيز مورد استفاده قرار گيرد (رانگو و مارتينك[3] ١٩٨٢, مارتينك و رانگو ١٩٩١). در مناطق كوهستاني پراكنش سطح برف از ناهمگني مكاني زيادي برخوردار است (الدر و همكاران[4] ١٩٩١, دوسكن و جادسون[5] ١٩٩٦, لوس[6] و همكاران ١٩٩٨, بالك و الدر[7] ٢٠٠٠). الگوي زماني و مكاني رواناب حاصل از ذوب برف نيز متاثر از ناهمگني سطح برف در مراحل ريزش و ذوب مي‌باشد (سي فرايد و ويلكوگس (١٩٩٥), لوس و همكاران ١٩٩٨). اندازه‌گيري و سنجش برف در حوزه‌هاي كوهستاني و شناخت تغييرات آن به دليل عدم دسترسي مناسب, تاثير تنوع ويژگي‌هاي توپوگرافي و فيزيوگرافي در برآورد پارامترهاي هيدرولوژيك برف و ناكافي بودن ايستگاه‌هاي هواشناسي در مناطق مرتفع ضرورت كاربرد روش‌هاي غيرمستقيم از جمله تحليل داده‌هاي دور سنجي را نشان مي‌دهد. رانگو (١٩٩٣) اهميت سنجش از دور در تعيين سطح پوشش برف در مناطق كوهستاني را مورد تاكيد قرار داده است. با استفاده از تحليل تصاوير ماهواره‌اي و كاربرد الگوريتم‌هاي موجود مي‌توان سطح پوشش برف را با دقت مناسب استخراج نمود. قنبرپور (١٣٨١) چگونگي تعيين سطح پوشش برف به كمك داده‌هاي دورسنجي را تشريح كرده است. در آن مطالعه قابليت تصاوير ماهواره نوآ[8] در مقايسه با ديگر داده‌هاي دورسنجي در تعيين پارامترهاي هيدرولوژيكي برف در مناطق كوهستاني و كاربرد آن در پيش‌بيني رواناب ناشي از ذوب برف مورد بحث قرار گرفته است. آلن و والش[9] (١٩٩٣) تغييرات زماني و مكاني سطح پوشش برف در منطقه مونتانا در كوه‌هاي راكي را مورد بررسي قرار داده‌اند. و منطقه مورد نظر بر اساس ارتفاع و جهت شيب طبقه بندي كردند. در آن مطالعه با استفاده از تصاوير ماهواره, سطوح حوزه از حالت كاملا پوشيده از برف تا حالت فاقد پوشش برف بر اساس عوامل توپوگرافي تقسيم بندي شده است.

در تحقيق حاضر حوزه آبخيز كارون با توجه به اهميت برف در توليد رواناب سالياني و نقش آن در توليد بخش اعظمي از منابع آبي كشور انتخاب گرديده است. با توجه به شرايط طبيعي حوزه مذكور, جريان رودخانه‌ها در اين حوزه در فصول بهار و تابستان متاثر از ذوب برف بوده و شناخت دقيق از پراكنش برف در اين مناطق به منظور مديريت جامع منابع آب, پيش بيني سيلاب‌هاي بهاره, كنترل سيلاب و مديريت مخازن سدها حايز اهميت مي‌باشد. اطلاعات مربوط به زمان, مقدار و سطوح مؤثر در انباشت و ذوب برف به منظور اعمال مديريت موفقيت آميز منابع آب ضروري مي‌باشد. در حوزه آبخيز كارون تا به حال مطالعاتي در رابطه با هيدرولوژي برف صورت گرفته است. اسلامي و فيروزبخت (١٣٧٣) با مطالعه حوزه‌هاي آبخيز دز و كارون, مناطق مرتفع در حوزه‌هاي مذكور را با توجه به جهت

[1]- Snowmelt runoff
[2]-Snow cover
[3]- Rango & Martinee
[4] -Elder
[5]-Doesken & Judson
[6]-Luce
[7]-Balk & Elder
[8]-NOAA AVHRR
[9]-Allen & Walsh

حرکت سیستم‌هاي بارانزا به دو بخش پیش کوه و پشت کوه تقسیم‌بندي کرده‌اند. در این مطالعه مشخص گردیده است که مناطق پیش کوه به دلیل قرار گرفتن در جهت حرکت سیستم‌هاي بارانزا از مقدار بارندگي بیشتري برخوردار هستند. در این منطقه بندي تعیین مرز مشخص بین مناطق به سادگي قابل استخراج نبوده و عدم وجود ایستگاه باران سنجي و برف سنجي کافي و قابل اطمینان بر عدم دقت در این منطقه بندي مي‌افزاید. پرهمت (۱۳۸۱) مدل هیدرولوژیك اس آر ام[۱] را به منظور شبیه سازي رواناب در حوزه خرسان یکي از زیر حوزه‌هاي، حوزه آبخیز کارون به کار برده است. سطح پوشش برف یکي از ورودي‌هاي این مدل بوده که با استفاده از تصاویر ماهواره نوآ در دو سال آماري استخراج شده است. وي الگوریتم‌هاي تفکیك سطح برف و ابر و زمین را تشریح و مورد استفاده قرار داده است. هدف اصلي در تحقیق حاضر تعیین پراکنش مکاني و زماني سطح پوشش برف به منظور شناخت مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاري برف و رتبه‌بندي زیر حوضه‌ها بر اساس سهم ذوب برف در رواناب و ویژگي‌هاي سطح برف مي‌باشد. اطلاعات حاصله مي‌تواند در برنامه‌ریزي سنجش برف و مدیریت بهینه منابع آب در فصول کم آبي به کار رود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتي

در این مطالعه حوزه آبخیز کارون در جنوب غرب ایران تا محل ایستگاه پل شالو به مساحت تقریبي ۲٤۱٤۱ کیلومتر مربع انتخاب گردیده است. این حوزه بخشي از پنج استان کشور، یعني استان‌هاي چهارمحال بختیاري، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و فارس را شامل مي‌شود که از شمال به حوزه رودخانه‌هاي زاینده‌رود و کر و مسیل‌هاي آباده و از غرب به حوزه رودخانه‌هاي دز و کرخه و از شرق به حوزه رودخانه‌هاي زاینده رود و از جنوب به حوزه رودخانه‌هاي زهره، مارون، علا و جراحي محدود مي‌شود. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز کارون و زیر حوزه‌هاي اصلي آن را نشان مي‌دهد. ارتفاع در این حوزه از ۸۰۰ متر در محل ایستگاه هیدرومتري پل شالو در خروجي حوزه تا ارتفاع حدود ٤٤۰۰ متر در ارتفاعات آن تغییرمي‌کند. سطح پوشیده از برف در این حوزه در بهمن ماه به بیشترین مقدار رسیده و فروکش سطح برف از اسفند ماه آغاز مي‌شود. متوسط بارندگي سالیانه نیز ۷۲۰ میلیمتر برآورد گردیده است. دبي متوسط سالیانه در محل ایستگاه پل شالو معادل ۳۲۸/۵ مترمکعب بر ثانیه مي‌باشد.

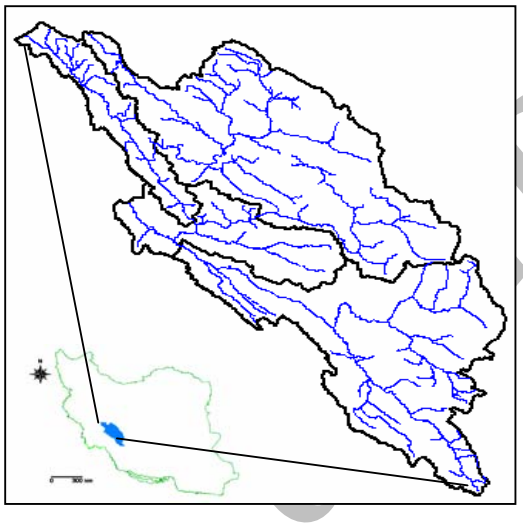
جمع آوري اطلاعات و آمار

در این مطالعه ۱۵٦ تصویر ماهواره نوآ با قدرت تفکیك[۲] ۱/۱ کیلومتر مربع از سال ۱۳٦۸ الي ۱۳۷۷در طول ده سال مورد استفاده قرار گرفته است. سطح پوشیده از برف در هر یك از تصاویر مذکور با استفاده از الگوریتم‌هاي موجود به منظور تفکیك برف از ابر و زمین در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایي توسط شرکت جاماب (۱۳۸۲) آماده گردیده است. سپس هر یك از این تصاویر با توجه به وجود و یا عدم وجود برف در محیط سلولي[۳] به صورت نقشه‌هاي با ارزش یك و صفر[٤] تبدیل شده‌اند. آمار روزانه بارندگي، درجه حرارت و درصد برف به طور همزمان مربوط به ٤ ایستگاه سینوپتیك موجود در محدوده مورد مطالعه در طي سال‌هاي آماري ٦۷-۱۳٦٦ الي ۷۸-۱۳۷۷ به مدت ۱۲ سال مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ارزشمند بودن داده‌هاي حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌اي و نیز داده‌هاي روزانه سینوپتیك از یك سو و نیز عدم دسترسي به داده‌هاي بیشتر، سال‌هاي داراي آمار در این تحقیق مبناي تحلیل هر یك از این اطلاعات یاد شده قرار گرفته است. آمار و اطلاعات مربوط به دماي ماهانه در ۳۳ ایستگاه و آمار بارندگي ماهانه در ۲٦ ایستگاه هواشناسي متعلق به وزارت نیرو و سازمان هواشناسي در داخل و اطراف حوضه بر اساس کامل بودن طول دوره آماري و صحت آمار انتخاب گردید. دبي جریان ماهانه ۳٤ ایستگاه هیدرومتري نیز در

[۱]-SRM (Snowmelt Runoff Model)

[۲]-Resolution
[۳]-Raster
[٤]-Binary

محدوده مورد مطالعه كـه تحـت نظـارت وزارت نيـرو اداره مي‌شود جمع آوري گرديـد. دوره آمـاري مشـترك انتخـاب شده براي بارندگي, دما و دبي جريان در اين مطالعه از سال آماري ٥٩-١٣٥٨ الي ٧٨-١٣٧٧ به مدت ٢٠ سال انتخاب گرديد.



شكل١- موقعيت حوزه آبخيز كارون و زير حوزه‌هاي اصلي آن

تغييرات زماني و مكاني سطح پوشش برف

شرايط توپوگرافيك از قبيل شيب, جهت, ارتفاع, باد و موقعيت جغرافيايي و طبيعي مانند چگونگي قرارگيري منطقه نسبت به جهت و مسير عبور توده‌هاي باران زا در انباشت و ماندگاري برف تاثير گذار مي‌باشد. مناطقي ممكن است از درصد بالاي ريزش برف برخوردار باشد, ولي به دليل عوامل توپوگرافي و اقليمي سطح پوشش برف تداوم نداشته و به سرعت ذوب شود. اين مناطق نقش برف در ايجاد رواناب‌هاي لحظه‌اي در فصل ريزش برف (پاييز و زمستان) را نشان مي‌دهد. در هر واقعه ريزش برف با توجه به شرايط دما و بارندگي و موقعيت طبيعي و توپوگرافي محل, ماندگاري سطح برف متغير خواهد بود. با فراهم شدن امكان ريزش برف از نظر سينوپتيكي, پديده بارش در مناطق مرتفع به صورت برف ظاهر مي‌شود. در بعضي شرايط در اثر تغييرات ناگهاني دماي هوا و افزايش آن, ريزش باران و نيز كم عمق بودن برف, سطح برف به سرعت كاهش مي‌يابد. در عين حال در بعضي از مناطق به دليل ويژگي‌هاي اقليمي و توپوگرافي, انباشت برف تا مدت بيشتري استمرار داشته و وقايع ريزش برف در بارش‌هاي بعدي نيز به آن اضافه مي‌شود. ماندگاري سطح برف از ديدگاه ذخيره آبي به خصوص در فصول بهار و تابستان حايز اهميت مي‌باشد. در اين تحقيق به منظور تعيين مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاري سطح برف, دو روش تحليل داده‌هاي دورسنجي و روش هواشناسي مورد استفاده قرار گرفته است.

با استفاده از تحليل تصاوير سطح پوشش برف مي‌توان لايه‌هاي اطلاعاتي انباشت و ماندگاري سطح برف را در محيط سامانه اطلاعات جغرافيايي به صورت سلولي استخراج نمود. با توجه به اينكه ريزش برف در منطقه مورد مطالعه عموما در پاييز آغاز و تا اوايل بهار ادامه مي‌يابد و فروكش سطح برف نيز از انتهاي زمستان آغاز مي‌گردد, تصاوير سطح پوشش برف در فصول پاييز و زمستان و

تصاوير مربوط به بهار و تابستان به ترتيب به منظور استخراج لايه‌هاي اطلاعاتي انباشت و ماندگاري سطح برف به كار گرفته شد. به منظور انتخاب تصاوير ماهواره‌اي به نحوي كه به صورت ماهانه بتواند از روند پيوسته‌اي برخوردار باشد, در هر ماه سعي شد حداقل يك تصوير و در صورت وجود تعداد كافي دو تصوير در هر نيمه ماه (۱۵ روز) انتخاب شود. در اين تحقيق رابطه (۱) به منظور استخراج لايه‌هاي اطلاعاتي فوق در محيط سلولي توسعه و مورد استفاده قرار گرفت. ويژگي اين روش در اين است كه يك سري زماني تصاوير سطح پوشش برف از يك سطح در مقاطع زماني مختلف مورد تحليل قرار مي‌گيرد و امكان تعيين احتمال وقوع پديده‌هاي مورد بررسي در محيط سامانه اطلاعات جغرافيايي فراهم مي‌شود.

$$P = \frac{\left(\sum_{1}^{N} Smap_t\right)}{N} * ۱۰۰ \qquad (۱)$$

كه در آن :

P: فراواني انباشت يا ماندگاري سطح پوشش برف (درصد)،

$Smap_t$: نقشه سطح پوشش برف در تاريخ t (ارزش هر سلول پوشيده از برف برابر يك, بدون پوشش برف, صفر)،

N : تعداد تصاوير سطح برف مورد استفاده.

فرايند انباشت و ماندگاري سطح برف علاوه بر عوامل توپوگرافي تحت كنترل عوامل هواشناسي از قبيل دماي هوا قرار دارد. با استفاده از تعيين دماي آستانه ريزش برف[۱] و كاربرد نقشه‌هاي همدما مي‌توان سطوح پتانسيل ريزش و ماندگاري سطح برف را از ديدگاه هواشناسي استخراج نمود. در منطقه مورد مطالعه رابطه بين دما و ارتفاع از دقت مناسبي برخوردار بوده و مي‌توان با توجه به اين رابطه و كاربرد مدل رقومي ارتفاع, نقشه‌هاي همدما در فصل ريزش برف را ترسيم نمود. شكل‌هاي (۲ و ۳) به ترتيب رابطه گراديان دما در فصل زمستان و مدل رقومي ارتفاع در حوزه آبخيز كارون را نشان مي‌دهد. دماي آستانه با تحليل همزمان بارندگي و دما و درصد برف در ايستگاه‌هاي سينوپتيك و ترسيم مقادير تجمعي مقدار كل بارندگي و مقدار تجمعي عمق برف در مقابل متوسط دماي روزانه تعيين گرديده است. شكل (٤) نمونه‌اي از روش استخراج دماي آستانه را در ايستگاه سينوپتيك كوهرنگ نشان مي‌دهد. با توجه به شكل (٤) در ايستگاه سينوپتيك كوهرنگ در دماي كمتر از ۲/۸- درجه سانتيگراد كل بارندگي به صورت بارش برف مشاهده شده است. از سوي ديگر در دماي حدود ٤/۷ درجه سانتيگراد نيز كل بارندگي به صورت باران بوده و در محدوده بين اين دو آستانه, بارش به صورت تركيبي از برف و باران مشاهده گرديده است. به منظور تعيين آستانه ريزش برف, ميانه مشاهدات در اين محدوده مشخص و دماي مربوط به آن به عنوان دماي آستانه انتخاب گرديد. دماي آستانه در ايستگاه‌هاي سينوپتيك كوهرنگ, ياسوج, بروجن و شهركرد به ترتيب ۱/٦, ۳/۵, ۱/۹و ۲/٤ درجه سانتيگراد محاسبه گرديد كه متوسط اين مقادير به عنوان دماي آستانه در كل حوزه معادل ۲/٤ درجه سانتيگراد در نظر گرفته شد. لايه اطلاعاتي سطوح پتانسيل برف شامل مناطق پوشيده از برف, منطقه ريزش و ذوب برف و منطقه فاقد سطح برف را مي‌توان با استفاده از نقشه هم دماي فصل زمستان بر اساس دماي صفر درجه سانتيگراد به عنوان آستانه ذوب برف و دماي ۲/٤ درجه سانتيگراد به عنوان آستانه ريزش برف استخراج نمود.

تعيين سهم ذوب برف در رواناب ساليانه

در حوضه‌هاي كوهستاني ذوب برف سهم عمده‌اي از رواناب به خصوص در فصل بهار و تابستان را شامل مي‌شود. به منظور بررسي سهم ذوب برف در رواناب در سطوح حوضه, معادله بيلان آبي ارايه شده توسط رانگو و مارتينس (۱۹۸۲) به صورت رابطه (۲) مورد استفاده قرار گرفت. مقادير بارندگي فصل ذوب برف بر اساس رابطه بارندگي و ارتفاع و كاربرد مدل رقومي ارتفاع در سطح حوضه محاسبه گرديده است (جاماب, ۱۳۸۲). ضريب رواناب ساليانه نيز از نسبت بارندگي ساليانه حوضه به رواناب ساليانه محاسبه گرديده است. به منظور محاسبه رواناب در فصل ذوب برف, آمار رواناب ماهانه در هر يك از زير حوضه‌ها, مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-Critical Temperature

$$(H_w + P)C = R \qquad (۲)$$

که در آن:

H_w: ارتفاع آب معادل برف به ميليمتردر ابتداي فصل ذوب برف،

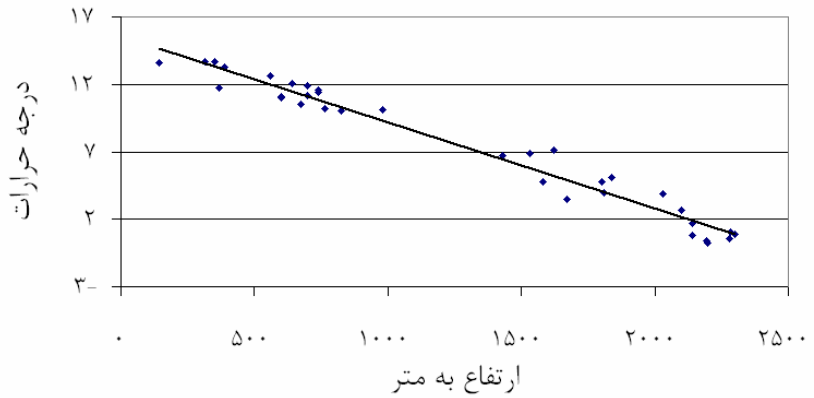
P: بارندگي فصل ذوب برف (بهار و تابستان) به ميليمتر،

C: ضريب رواناب ،

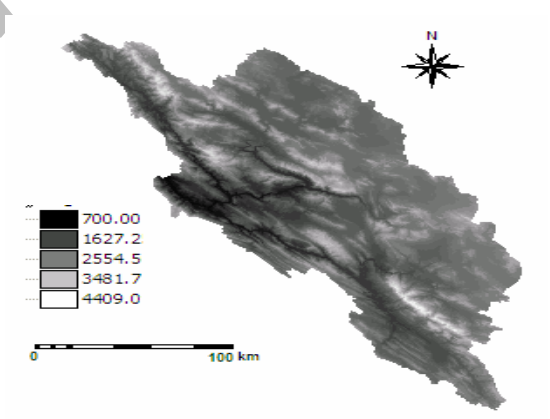
R: رواناب در فصل ذوب برف به ميليمتر.

رتبه‌بندي مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاري و سهم ذوب برف

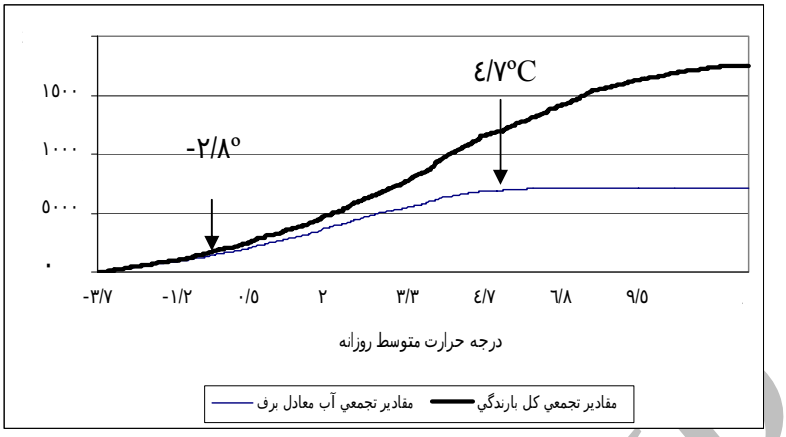
شناخت دقيق تغييرات مكاني سطح برف مستلزم دسترسي به اطلاعات با دقت زماني و مكاني مناسب مي‌باشد. تغييرپذيري سطح برف به دليل اثر عوامل اقليمي و توپوگرافي امكان شبيه سازي سطوح حوضه از ديدگاه هيدرولوژي برف را مشكل مي‌سازد. در اين تحقيق از يكسو با توجه به كاربرد سري زماني داده‌هاي دورسنجي و استخراج لايه‌هاي اطلاعاتي انباشت و ماندگاري سطح برف و از سوي ديگر استخراج لايه‌هاي اطلاعاتي پتانسيل سطح برف حاصل از روش هواشناسي و تحليل دماي آستانه امكان منطقه‌بندي سطوح مرتفع حوضه فراهم مي‌شود كه در بخش نتايج نشان داده شده است. رتبه‌بندي و منطقه‌بندي سطوح مرتفع حوضه با توجه به روي‌هم‌گذاري لايه‌هاي اطلاعاتي يادشده و نيز واحدهاي هيدرولوژيك حاصل مي‌گردد. لايه اطلاعاتي حاصل مناطق مؤثر را بر اساس عوامل مورد بررسي نشان مي‌دهند.



شكل ۲- رابطه گراديان دماي متوسط فصل زمستان در حوزه آبخيز كارون



شكل ۳- مدل رقومي ارتفاع در حوزه آبخيز كارون (ارتفاع به متر)



شكل ٤- نحوه تعيين درجه حرارت آستانه ريزش برف در ايستگاه سينوپتيك كوهرنگ

نتايج

رتبه‌بندي سطوح مرتفع حوزه بـر اسـاس ويژگـي‌هـاي سطح برف

لايه‌هاي اطلاعاتي انباشت و ماندگاري سطح برف از روي‌هم‌گذاري تصاوير سطح پوشش برف مربوط به هر يك از دوره‌هاي ريزش و ذوب برف بر اساس رابطه (۱) استخراج گرديد. هر سلول از نقشه‌هاي حاصل, احتمال مشخصي از انباشت و ماندگاري سطح برف در سطح حوزه را نشان مي‌دهد كه به نوعي تلفيقي از تغييرات زماني و مكاني برف در فصل ريزش و ذوب محسوب مي‌شود. شكل‌هاي (۵ و ٦) به ترتيب لايه‌هاي اطلاعاتي انباشت و ماندگاري سطح برف در حوزه كارون را نشان مي‌دهد. مناطق با رنگ روشن‌تر نشان‌دهنده درصد فراواني بيشتر انباشت و ماندگاري سطح برف مي‌باشد. لايه اطلاعاتي سطوح پتانسيل برف شامل مناطق پوشيده از برف, منطقه ريزش و ذوب برف و منطقه فاقد سطح برف با استفاده از نقشه هم دماي فصل زمستان و با در نظر گرفتن دماي صفر درجه سانتيگراد به عنوان آستانه ذوب برف و دماي ٢/٤ درجه سانتيگراد به عنوان آستانه ريزش برف تهيه گرديدكه در شكل (۷) نشان داده شده است. مناطق پوشيده از برف كه در شكل (۷) با رنگ سفيد نشان داده شده است, سطوحي از حوزه است كه در طول فصل ريزش برف دماي مساوي يا كمتر از صفر مي‌باشد. در اين منطقه پتانسيل ريزش برف وجود دارد و در صورت وقوع آن, سطح برف در طول فصل ريزش استمرار داشته و انباشت برف صورت مي‌گيرد. منطقه ريزش و ذوب برف نيز مناطقي است كه دما بين آستانه ريزش و ذوب برف يعني به ترتيب ٢/٤ و صفر درجه سانتيگراد مي‌باشد. در اين منطقه نيز پتانسيل توام ريزش و ذوب برف وجود خواهد داشت. در مناطق فاقد سطح پوشش، دما بالاتر از ٢/٤ درجه سانتيگراد مي‌باشد و پتانسيل ريزش برف وجود نداشته و بارندگي به صورت باران به وقوع مي‌پيوندد.

به منظور رتبه‌بندي سطوح مرتفع حوضه بر اساس تغييرات زماني و مكاني سطح پوشش برف ابتدا واحدهاي هيدرولوژيكي مجزا به نحوي كه كليه سطوح مرتفع حوزه را بپوشاند به صورت لايه اطلاعاتي شكل (۸) تعيين گرديد. انباشت و ماندگاري سطح برف در هر يك از واحدهاي هيدرولوژيك, بر اساس تحليل داده‌هاي دور سنجي و كاربرد دماي آستانه با استفاده از روي‌هم‌گذاري لايه‌هاي اطلاعاتي مذكور تعيين گرديده كه نتايج آن در جدول (۱) آمده است. با توجه به جدول (۱) مي‌توان وضعيت هر يك از واحدهاي هيدرولوژيكي را از نظر ويژگي‌هاي يادشده مورد بررسي و مقايسه قرار داد. به عنوان مثال در واحد هيدرولوژيك B حداكثر مقادير از نظر درصد فراواني انباشت و ماندگاري سطح برف و درصد سطوح پتانسيل

پوشش برف مشاهده مي‌گردد. از سوي ديگر در واحد هيدرولوژيك G حداقل اين مقادير مشاهده مي‌گردد.

رتبه‌بندي سطوح مرتفع حوزه بر اساس سهم ذوب برف در رواناب

به منظور محاسبه سهم ذوب برف در رواناب در هر يك از مناطق مرتفع حوضه كارون بر اساس رابطه (۲)، مقادير آب معادل برف در زير حوضه‌هاي داراي آمار مناسب محاسبه گرديد. مقادير رواناب حاصل از ذوب برف در هر يك از زير حوضه‌ها با اعمال ضريب رواناب تعيين گرديد. جدول (۲) مقادير رواناب حاصل از ذوب برف در زير حوضه‌هاي داراي آمار را نشان مي‌دهد. رابطه مقادير محاسباتي و ويژگي‌هاي فيزيوگرافي زيرحوضه‌هاي داراي آمار جدول (۲) به منظور تعيين روابط منطقه‌اي محاسبه رواناب حاصل از ذوب برف در واحدهاي هيدرولوژيك فاقد آمار مورد بررسي قرار گرفت. ارتفاع متوسط وزني، مساحت كل زير حوضه، درصد مساحت مناطق با ارتفاع ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰ متر و بالاتر به عنوان عوامل فيزيوگرافي انتخاب گرديد. رابطه رواناب حاصل از ذوب برف و درصد مساحت بالاتر از ۳۰۰۰ متر به عنوان مناسب‌ترين رابطه انتخاب و به منظور محاسبه رواناب حاصل از ذوب برف در زير حوضه‌هاي فاقد آمار مورد استفاده قرار گرفت. ضريب همبستگي در اين رابطه معادل ۰/۷۷ بوده و اين رابطه در سطح ۹۵ درصد معني‌دار است. تعداد نمونه‌ها در اين رابطه برابر با تعداد زيرحوضه‌هاي مورد بررسي مي‌باشد. با توجه به كاربرد مدل بيلان و رابطه منطقه‌اي (۳) مقادير رواناب حاصل از ذوب برف در هر يك از واحدهاي هيدرولوژيك شكل (۸) محاسبه گرديده كه در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۱) مي‌توان وضعيت هر يك از واحدهاي هيدرولوژيك را از نظر سهم مقدار رواناب حاصل از ذوب برف مورد بررسي و مقايسه قرار داد. در واحدهاي هيدرولوژيك B, A, H و E به ترتيب بيشترين مقادير متوسط رواناب حاصل از ذوب برف مشاهده مي‌گردد. از سوي ديگر در واحد هيدرولوژيك G و D كمترين مقدار رواناب حاصل از ذوب برف مشاهده مي‌گردد كه سهم اندك ذوب برف در رواناب در واحدهاي هيدرولوژيك مذكور را نشان مي‌دهد.

$$S = ۱۵/۶(PA_h) + ۵۳/۵ \qquad (۳)$$

كه در آن:

S: رواناب حاصل از ذوب برف به ميليمتر،

PA_h: درصد مساحت مناطق با ارتفاع ۳۰۰۰ متر و بالاتر.

تحليل حساسيت دماي آستانه

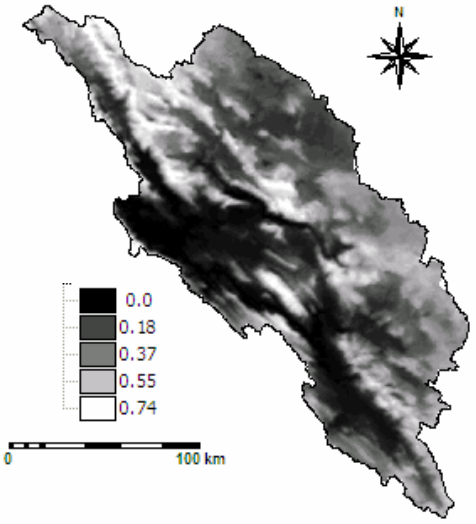
دسترسي به داده‌هاي دورسنجي اين امكان را فراهم مي‌سازد كه سطوح پتانسيل سطح برف حاصل از تحليل دماي آستانه ريزش برف مورد آزمون قرار گيرد. تعيين دماي آستانه با استفاده از آمار سينوپتيك همواره داراي عدم قطعيت بوده و مي‌توان به كمك داده‌هاي دورسنجي، كه به عنوان داده‌هاي مشاهداتي محسوب مي‌گردد واسنجي شود. به اين منظور لايه اطلاعاتي درصد فراواني انباشت برف حاصل از تحليل داده‌هاي دورسنجي در شكل (۵) مورد استفاده قرار گرفت. بر اين اساس سطوح داراي فراواني كمتر از ۱۰ درصد انباشت برف به عنوان سطوح داراي پتانسيل فاقد سطح پوشش برف، سطوح بين ۱۰ تا ۵۰ درصد به عنوان سطوح پتانسيل انباشت و ذوب برف و مناطق بيشتر از ۵۰ درصد معادل سطوح پتانسيل ريزش برف طبقه‌بندي گرديد. سطوح مفروض پتانسيل سطح پوشش برف با در نظرگرفتن مقادير ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ درجه سانتيگراد به عنوان دماي آستانه ريزش برف استخراج گرديد. با استفاده از روي هم گذاري لايه اطلاعاتي طبقه‌بندي شده مشاهداتي و لايه‌هاي اطلاعاتي مفروض حاصل از تغيير در دماي آستانه و كاربرد ماتريس خطا[۱] در سامانه اطلاعات جغرافيايي، مقدار دقت طبقه‌بندي[۲] سطوح پتانسيل بر اساس لايه مشاهداتي تعيين گرديد. جدول (۳) نتيجه تحليل حساسيت دماي آستانه در طبقه بندي سطوح پتانسيل سطح پوشش برف را نشان مي‌دهد. به طور مثال ۹۰ درصد دقت در طبقه‌بندي سطوح فاقد پوشش برف در دماي ۲/۵ درجه سانتيگراد نشان مي‌دهد كه ۹۰ درصد از

[۱]-Confusion Matrix

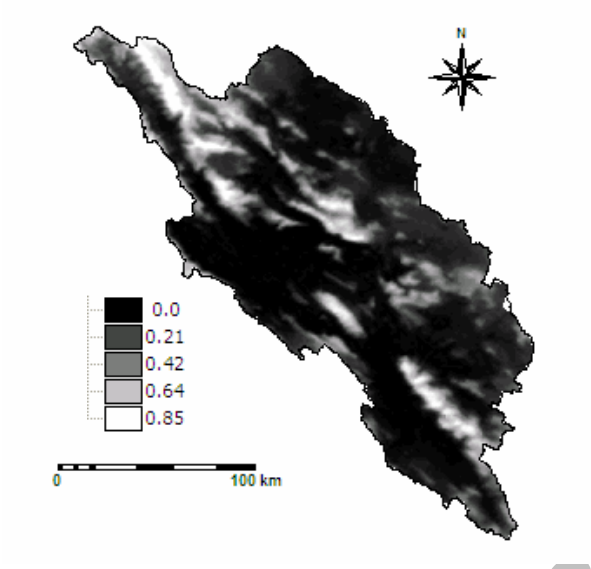
[۲]-Accuracy of Classification

سلول‌هاي مربوط به سطوح فاقد پوشش برف در نقشه پتانسيل سطح برف با نقشه مشاهداتي سطح برف به طور دقيق طبقه‌بندي شده‌اند و ۱۰ درصد از سلول‌ها در طبقات ديگر قرار گرفته‌اند كه خطاي طبقه‌بندي محسوب مي‌گردد.

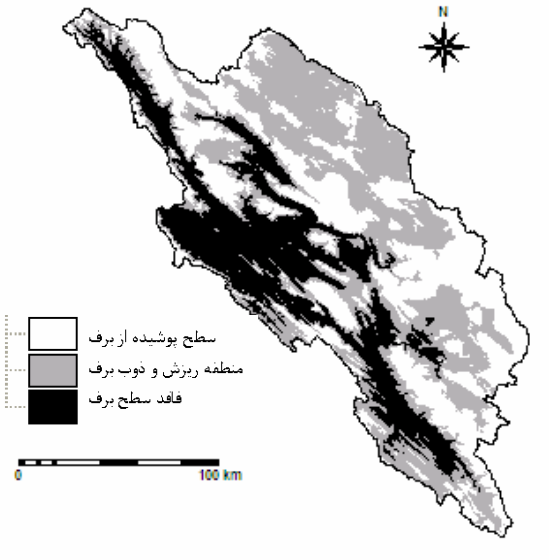
بر طبق اين جدول بيشترين دقت طبقه‌بندي در محدوده ۲ دو تا سه درجه سانتيگراد مشاهده مي‌گردد كه استخراج اين پارامتر از طريق تحليل داده‌هاي سينوپتيك در ايستگاه‌هاي موجود را تاييد مي‌كند.



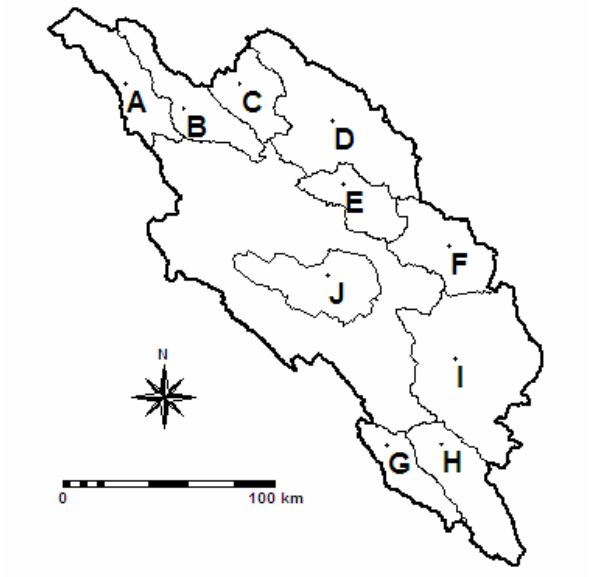
شكل ۵- درصد فراواني انباشت سطح برف در حوزه كارون



شكل ٦- درصد فراواني ماندگاري سطح برف در حوزه كارون



شكل ۷- سطوح پتانسيل سطح برف بر اساس دماي آستانه



شكل ۸- واحدهاي هيدرولوژيكي منتخب در حوزه كارون

جدول ۱- رتبه بندي واحدهاي هيدرولوژيك بر اساس انباشت و ماندگاري برف و سهم ذوب برف در رواناب

واحد هيدرولوژيك	درصد فراواني		درصد سطوح پتانسيل		رواناب ذوب برف به ميليمتر	رتبه
	انباشت برف	ماندگاري سطح برف	ريزش و ذوب برف	سطح پوشش برف		
A	۵۳	۲۱	۲۹/۶	۳۰/۹	۲۱۳/۲	۲
B	۶۲	۳۸	۲۳/۶	۶۳/۸	۵۱۴/۱	۱
C	۵۱	۱۱	۵۸/۸	۴۱/۲	۱۴۸/۸	۶
D	۳۳	۲	۷۹/۷	۲۰/۳	۷۵/۷	۹
E	۴۸	۸	۵۴/۸	۴۵/۲	۲۰۶/۹	۴
F	۵۲	۴	۳۸/۶	۶۱/۴	۱۳۱/۶	۸
G	۲۸	۲	۶۲	۱۴/۹	۵۸/۳	۱۰
H	۳۷	۹	۳۱/۶	۴۰/۳	۲۱۰/۹	۳
I	۳۹	۷	۴۲/۱	۵۳/۱	۱۷۸/۲	۵
J	۱۹	۳	۲۶/۶	۱۵/۱	۱۳۵/۴	۷

جدول ۲- مقادير رواناب حاصل از ذوب برف و ويژگي‌هاي فيزيوگرافي زير حوضه‌هاي مورد مطالعه

زير حوضه	ارتفاع متوسط وزني به متر	مساحت به كيلومتر مربع	درصد مساحت بالاتر از ارتفاع			رواناب حاصل از ذوب برف به ميليمتر
			۲۰۰۰ متر	۲۵۰۰ متر	۳۰۰۰ متر	
ارمند	۲۴۳۳/۸	۹۹۴۲	۹۳/۴	۳۹/۷	۹/۱	۱۰۱/۴
بارز	۲۳۱۱/۹	۸۹۹۹/۷	۸۰/۴	۳۲/۶	۶/۱	۱۲۱
بتاري	۲۲۰۱/۱	۸۶۰/۸	۸۵/۷	۱۴/۱	۰/۱	۱۸۴/۴
دهكده شهيد	۲۶۷۳/۹	۲۰۳/۵	۱۰۰	۸۰/۲	۱۵/۱	۳۵۴/۸
كتا	۲۴۶۵	۴۰۲۷/۷	۹۴/۷	۴۲/۸	۷/۱	۹۱/۸
مرغك	۲۱۸۱/۵	۲۱۴۶/۴	۶۱/۵	۲۸/۹	۸/۳	۳۲۴/۸
پل شالو	۲۲۹۷/۹	۲۴۱۴۰	۷۹/۱	۳۲/۵	۷/۲	۱۳۶/۳
شاه مختار	۲۳۶۶/۶	۸۹۰/۲	۸۷/۴	۴۱/۲	۳/۱	۲۰۵/۴
سولكان	۲۵۲۴/۷	۲۲۸۸/۶	۱۰۰	۴۷/۵	۶/۱	۴۱/۲
پاتاوه	۲۲۸۹,۹	۲۸۰۰	۷۸/۸	۲۸/۸	۵/۹	۱۵۸
تنگ زرد	۲۵۶۱/۹	۱۰۴۵	۱۰۰	۵۶/۵	۴/۸	۳۶/۸
باغملك	۱۲۶۴/۸	۱۶۹/۳	۱۳/۴	۶/۳	۰	۱۵/۵
گوشه پل	۲۵۵۶/۲	۹۹	۸۶/۱	۵۱/۳	۲۵/۸	۴۶۹/۳

جدول ۳- دقت طبقه بندي لايه اطلاعاتي پتانسيل سطح پوشش برف بر اساس تحليل حساسيت دماي آستانه

نام طبقات نقشه	دماي آستانه ريزش برف به درجه سانتيگراد					
	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵
	درصد دقت در طبقه بندي					
فاقد سطح برف	۹۸	۹۶	۹۵	۹۰	۸۱	۶۸
ريزش و ذوب برف	۳۰	۴۲	۴۷	۵۹	۶۳	۶۶
سطح پوشيده از برف	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰
كليه طبقات	۷۳	۷۶	۷۸	۸۰	۷۸	۷۵

بحث و نتيجه گيري

استخراج لايه‌هاي اطلاعاتي انباشت و ماندگاري سطح برف كارايي تحليل سري زماني تصاوير ماهواره‌اي در مطالعات هيدرولوژي برف را به خوبي نشان مي‌دهد. سطوح پوشيده از برف در اثر عوامل اقليمي و توپوگرافي دستخوش تغييرات سريع و ناهمگن قرار مي‌گيرد. تصاوير ماهواره‌اي با توجه به اينكه از يك سطح در مقاطع زماني مختلف قادر به تصويربرداري مي‌باشند در مطالعات برف سنجي اين امكان را فراهم مي‌سازند كه پراكنش اين پديده متغير در زمان و مكان به طور همزمان مورد مطالعه قرار گيرد. با توجه به لايه‌هاي اطلاعاتي فراواني انباشت و ماندگاري برف مناطقي كه از فراواني بيشتري برخوردارند نشان دهنده زياد بودن مقدار آب معادل برف اوليه و يا عدم وجود انرژي كافي براي ذوب برف به علت عوامل اقليمي و توپوگرافي محلي مي‌باشد. اين اطلاعات با توجه به مشكلات اندازه‌گيري برف در حوزه‌هاي كوهستاني از اهميت بالايي برخوردار هست. لايه اطلاعاتي ماندگاري برف در واقع الگوي مكاني ذوب برف در حوزه را نشان مي‌دهد. به نوعي مي‌توان تقدم و تاخر در ذوب برف را با دقت حدود هزار متر مربع مورد بررسي قرار داد. اين لايه اطلاعاتي نقاطي از حوزه را كه تا مدت بيشتري سطح برف را در طول بهار و تابستان حفظ مي‌كنند نشان مي‌دهد.

در اين تحقيق محاسبه سهم ذوب برف در رواناب در فصل بهار و تابستان كه از نظر به دست آوردن آب بسيار حايز اهميت مي‌باشد با استفاده از مدل بيلان ارايه شده است. متوسط رواناب حاصل از ذوب برف در محل خروجي حوزه آبخيز كارون (ايستگاه پل شالو) معادل ۱۵۲/۵ ميليمتر برآورد گرديده است. بنابراين مي‌توان نتيجه گرفت در حدود ۵۰ درصد از رواناب در بهار و تابستان را ذوب برف تشكيل مي‌دهد. اين تحقيق اهميت منابع برف در توليد رواناب در فصل بهره‌برداري و استحصال آب را نشان مي‌دهد. با پهنه‌بندي مناطق مرتفع حوزه بر اساس انباشت و ماندگاري سطح برف و سهم ذوب برف واحدهاي هيدرولوژيك در رواناب ساليانه, تصوير جامعي از تغييرات ويژگي‌هاي برف در زمان و مكان ارايه گرديده است. در اين تحقيق رتبه بندي واحدهاي هيدرولوژيك از نظر فراواني و پتانسيل انباشت و ماندگاري سطح پوشش برف و نيز سهم ذوب برف در رواناب انجام گرفته است. نتايج رتبه‌بندي از دو ديدگاه ياد شده از همخواني بالايي برخوردار بوده و يكديگر را تاييد مي‌كند. بر اساس تلفيق نتايج اين تحقيق مي‌توان واحد هيدرولوژيك B و G كه در شكل (۸) نشان داده شده را به ترتيب مهم‌ترين و كم اهميت‌ترين مناطق حوزه كارون از ديدگاه هيدرولوژي برف و ذخاير آبي در فصول كم آبي بر شمرد. اسلامي و فيروزبخت (۱۳۷۳) در حوضه كارون دو منطقه پيش كوه و پشت كوه را به منظور پهنه‌بندي سطوح حوضه در ارتباط با ويژگي‌هاي ريزش و ذخيره برف معرفي كرده‌اند كه تعيين مرز اين مناطق با توجه به پيچيدگي آثار اقليم و توپوگرافي بر انباشت و ماندگاري برف بسيار مشكل مي‌باشد. در تحقيق حاضر با توجه به منطقه بندي حوضه بر اساس ويژگي‌هاي زماني و مكاني انباشت و ماندگاري برف, مناطق با درجه اهميت مختلف تعيين گرديده است. منطقه‌بندي ارايه شده در اين مقاله مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاري برف و نيز مناطق با سهم بيشتر ذوب برف در رواناب ساليانه را با دقت بيشتري نسبت به مطالعات قبلي نشان مي‌دهد. در اين تحقيق روشي به منظور واسنجي دماي آستانه با استفاده از تحليل داده‌هاي دورسنجي توسعه يافته است. روش ارايه شده با دقت طبقه بندي بيش از ۸۰ درصد, مقادير حاصل از تحليل داده‌هاي سينوپتيك را تاييد مي‌كند.

شناخت دقيق پراكنش مكاني ذخاير آبي در حوضه‌هاي كوهستاني به صورت برف در اعمال مديريت و برنامه‌ريزي منابع آب حايز اهميت مي‌باشد. با توجه به پيچيدگي و مشكلات اندازه‌گيري ويژگي‌هاي برف در مناطق كوهستاني, دستيابي به اطلاعات مكاني از ويژگي‌هاي برف از جمله سطوح مؤثر در انباشت و ماندگاري برف و سهم ذوب برف در رواناب و اولويت مناطق مختلف حوزه بر اساس عوامل مورد بررسي, مي‌تواند در امر توسعه و اصلاح شبكه برف سنجي موجود, برنامه‌ريزي عمليات صحرايي سنجش برف ساليانه, مديريت خشك سالي و پيش بيني رواناب فصلي سودمند باشد.

منابع

١-اسلامي, منصور و عليرضا فيروزبخت،١٣٧٣. بررسي توزيع مكاني بارش برف در حوضه‌هاي دز و كارون، مجموعه مقالات اولين سمينار هيدرولوژي برف و يخ, وزارت نيرو, سازمان تحقيقات منابع آب.

٢-پرهمت, جهانگير، ١٣٨١. مدل توزيعي رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌هاي دورسنجي و سيستم GIS، پايان نامه دكتري, دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم و تحقيقات.

٣-جاماب، ١٣٨٢. مكانيابي بهينه ايستگاه‌هاي برف سنجي حوزه آبريز كرخه, دز, كارون و جراحي, شركت مهندسين مشاور جاماب, وابسته به وزارت نيرو.

٤-قنبرپور, محمدرضا، ١٣٨١. كاربرد سنجش از دور در تعيين پارامترهاي هيدرولوژيكي برف در مناطق كوهستاني. مجله علمي و فني سازمان هواشناسي كشور, نيوار, شماره ٤٤و٤٥ ص ص ٧٨-٦٧.

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. Ghanbarpour[1] M. Mohseni Saravi[2] B. Saghafian[3] H. Ahmadi[4] K. Abbaspour[5]

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