

جغرافیا و توسعه شماره ۳۵ تابستان ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۱

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۸/۱۲

صفحات: ۲۰۰ - ۱۸۱

پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه‌ی شمال غرب ایران

دکتر سیدحسین میرموسوی^۱، لیلا صبور^۲

چکیده

مطالعه و اندازه‌گیری تغییرات سطوح برف به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب، بسیار حائز اهمیت است. با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی امکان اندازه‌گیری دائم زمینی جهت تخمین منابع برفابی و تشکیل پایگاه داده‌ها وجود ندارد. به همین جهت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی مناطق برفگیر و ارزیابی تغییرات آن بسیار مهم می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس منطقه‌ی شمال غرب ایران مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میلادی می‌باشد. روش مورد استفاده در این مطالعه شاخص NDSI، طبقه‌بندی‌های نظارت نشده و نظارت شده می‌باشد که پس از مقایسه بین روش‌ها، طبقه‌بندی نظارت شده به عنوان روش مناسب انتخاب گردید. بررسی نقشه‌های مربوط به تغییرات پوشش برفی در ماه آوریل نشان داد که در طول دوره‌ی مورد مطالعه، کمترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۰۸ با ۱۰۴۰/۰۱ کیلومتر مربع و بیشترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۷ با ۱۰۴۷۱/۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد. این موضوع، نشان‌دهنده‌ی تغییرات ۱۰۰۰ درصدی در طول یک دهه در میزان پوشش برف منطقه شمال غرب ایران بوده و آسیب‌پذیری منابع آب وابسته به ذوب برف را در این منطقه نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد در سال‌هایی که میانگین دمای فصل سرد پایین‌تر می‌باشد، سطح پوشش برف در بهار همان سال بیشتر از سال‌های دیگر می‌باشد به طوری که در سال ۲۰۰۷ کمترین میانگین دما را در طول ده سال داشته (۲/۶ درجه سانتیگراد) در حالی که بیشترین سطح پوشش برفی در طول ده سال نیز مربوط به همین سال می‌باشد (۱۰۴۷۱/۷۸ کیلومتر مربع). کلیدواژه‌ها: برف، سنجنده MODIS، شاخص NDSI، طبقه‌بندی نظارت شده، شمال غرب ایران.

مقدمه

از نظر اقلیم‌شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را مطالعه می‌کنند در یک دید جهانی پایش برف یک ضرورت است. زیرا خصوصیات فیزیکی درون برف بر تغییرات روزانه و اقلیمی و حتی تغییرات بلندمدت اقلیمی تأثیر می‌گذارد (Brown, 2002: 2). برآورد دقیق سطح پوشش، 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 (عادل، ۱۳۸۴: ۱۲).

برخی از محققان معتقدند که داده‌های سنجهش از دور می‌تواند ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف نسبت به روش‌های مساحی سنتی ارائه دهد (Metcalfe & Buttle, 1999: 66).

از این‌رو، امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده‌های سنجهش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به صورت عملیاتی اجرا می‌گردد (Johansson et al, 2001: 596). با عنایت به پیشرفت‌های موجود در چند دهه‌ی گذشته، توسط کشورهای مختلف سنجنده‌ها ماهواره‌ای متعدد و متنوعی طراحی و به فضا ارسال شده که یکی از مهمترین آن‌ها ماهواره‌ی TERRA است. سنجنده ODIS ماهواره مذکور، با توجه به قابلیت‌های فنی و اپتیکی خود تصاویر متنوعی را در باندهای مختلف الکترومغناطیس عرضه می‌دارد (نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳: ۳).

در سطح جهان مطالعات زیادی در خصوص سنجهش برف و برآورد سطح حاصل از آن با استفاده از تصاویر ماهواره ای انجام گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

استانلی^۱ و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعات خود، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به ارزیابی و پایش منابع آب حاصل از پوشش برف در حوضه‌ی

کارپاتیان پرداخته و بدین وسیله آب حاصل از ذوب برف را برآورد نموده‌اند. جوها و خالسا^۲ (۲۰۰۷) به ارزیابی پوشش برف فصلی برای ۸ حوضه در آسیای مرکزی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین کاهش پوشش برف متعلق به منطقه‌شان تاین است و دلیل تنوع پوشش برف را ناشی از الگوهای چرخشی متغیر در طول زمستان می‌دانند. لویز^۳ و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای پس از پایش تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ سنجنده مودیس بر اساس شاخص NDSI میزان پوشش برف و تغییرات آن را در پاتاگونیا شمالی بررسی کرده‌اند. بر اساس نتایج این مطالعه حداقل پوشش برف در ماه مارس ۲۰۰۷ با مساحت ۳۶۰۰ کیلومتر مربع و حداکثر پوشش برف متعلق به ماه اوت سال ۲۰۰۱ با مساحت ۱۱۳۲۳ کیلومتر مربع بوده است. از مطالعات دیگر در این مورد می‌توان به مطالعات آرچر^۴ و همکاران (۱۹۹۴)، کلین^۵ و همکاران (۱۹۹۸)، سامانتا^۶ (۲۰۰۴) و ریگس^۷ و همکاران (۲۰۰۳) اشاره نمود.

در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه‌ی پایش پوشش برف به وسیله‌ی تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات قائمی و مرید (۱۳۷۳) اشاره نمود که در مطالعه خود، برف حوضه‌ی دماوند را با استفاده از عوامل هواشناسی از قبیل 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 ارزیابی نموده‌اند.

2-Jodha & Khalsa
3-Lopez
4-Archer
5-Kelin
6-Samantha
7-Riggis

1-Stansalie

همکاران (۱۳۸۵) حسینی و پرهمت (۱۳۸۶)، رسولی و ادهمی (۱۳۸۶)، رایگانی و همکاران (۱۳۸۷)، متکان و همکاران (۱۳۸۷)، قربانی‌زاده خرازی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره نمود.

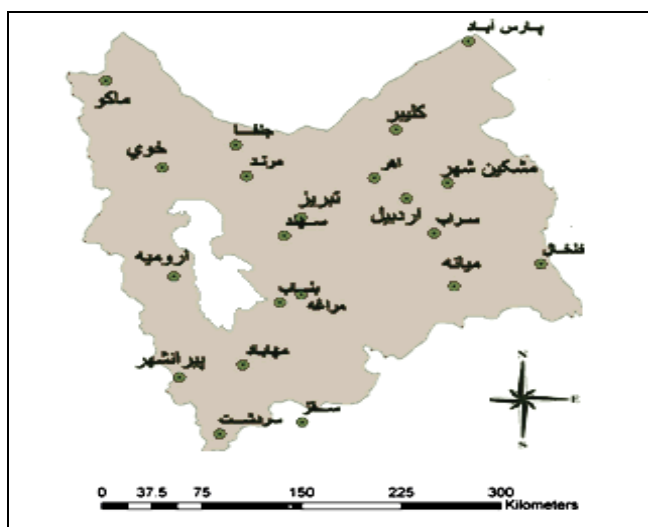
در این مطالعه نیز با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS تغییرات سطح پوشش برف از سال ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در منطقه شمال غرب ایران ارزیابی شده است. بر اساس این تحلیل‌ها، نقشه‌های سطوح پوشیده از برف تهیه شده و تغییرات آن در سال‌های مختلف ارزیابی شده و نهایتاً رابطه دما با تغییرات سطح پوشش برف نیز تحلیل شده است.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر ماهواره TERRA-MODIS منطقه شمال غرب ایران می‌باشد. محدوده‌ی زمانی تصاویر انتخابی، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ می‌باشد. در انتخاب تصاویر نکاتی در نظر گرفته شده است، بدین ترتیب که هر سال ۳ تصویر انتخاب شده است. تاریخ این تصاویر عبارتند از: بیست و سوم آوریل، بیست و پنجم ماه مه و بیست و ششم ماه ژوئن. این بازه برای این در نظر گرفته شده است که قبل از آن امکان ریزش برف وجود دارد و پس از این تاریخ نیز تقریباً تمامی سطوح با پوشش برفی به دلیل افزایش دما ذوب می‌شود و کار پایش بی‌ثمر خواهد بود. همچنین برای بررسی رابطه دما با تغییرات پوشش برف از آمار تعداد ۱۵ ایستگاه سینوپتیک منطقه‌ی شمال غرب استفاده شده است (نقشه ۱).

شهرآئینی و همکاران (۱۳۸۰)، نیز در مطالعه‌ی خود، نتایج آماری به‌دست آمده از ارتباط بین مساحت سطح پوشش برف در حوزه‌ی آبریز رودخانه هیرمند در اواخر فصل بارش برف و مساحت سطح آب در هامون‌ها در سیستان در اواسط بهار را ارائه داده و با اندازه‌گیری مساحت پوشش برف در این حوزه ارتفاع احتمالی سطح آب هامون‌ها را نیز تخمین زده‌اند. پرهمت و ثقفیان (۱۳۸۳)، در مطالعه‌ی خود تأثیر قدرت تفکیک‌پذیری اطلاعات ماهواره‌ای در تعیین سطح تحت پوشش برف را مورد بررسی قرار داده‌اند. بدین منظور سنجنده AVHRR ماهواره NOAA با قدرت تفکیک‌پذیری اسمی معادل ۱۱۰۰ متر و سنجنده TM ماهواره LANDSAT با قدرت تفکیک‌پذیری اسمی معادل ۵/۲۸ متر انتخاب و مقایسه کرده‌اند. شریفی و همکارانش (۱۳۸۵) در مطالعات خود به تحلیل رابطه‌ی عمق برف با ارتفاع در حوضه‌ی صمصامی که یکی از سرشاخه‌های کوچک کارون است، پرداخته‌اند. در این مطالعه بررسی تغییرات عمق برف در ارتفاعات مختلف، از طریق اندازه‌گیری عمق در ۲۵۸ نقطه واقع در محدوده، به مساحت ۵/۲ کیلومتر مربع و در اوایل اسفند ۱۳۸۴ انجام گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تأثیر ارتفاع روی عمق برف به طبقات ارتفاعی بستگی دارد بطوری‌که تا ارتفاع ۲۷۸۰ متر، رابطه خطی معنی‌داری وجود دارد؛ حال آنکه در ارتفاعات بالاتر، ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. به نظر می‌رسد در ارتفاعات بالاتر، در نظر گرفتن عوامل دیگری مانند تأثیر باد، اجتناب ناپذیر باشد. از جمله مطالعات دیگر از این قبیل می‌توان به مطالعات دینی و همکاران (۱۳۸۵)، رایگانی و



نقشه ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (شمال غرب ایران)
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۴۷

روش‌ها

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در مرحله‌ی اول نسبت به تصحیح رادیومتریکی و تصحیح هندسی تصاویر اقدام شد. به‌طور کلی، به نحوه تغییر و تبدیل یک تصویر ماهواره‌ای رقومی به صورتی که دارای مقیاس و مختصات شود، تصحیح هندسی می‌گویند. عمل تصحیح هندسی در سیستم مختصات UTM انجام می‌گیرد. در این مطالعه تطابق هندسی داده‌ها با خطای ریشه میانگین مربعات کمتر از یک پیکسل انجام شده است.

شاخص‌های پایش تصاویر و انتخاب بهترین شاخص

در این مطالعه سه شاخص زیر برای پایش تصاویر انتخاب و با بررسی هر کدام از آن‌ها، بهترین روش برای پایش تصاویر انتخاب شده است. این سه شاخص عبارتند از:

شاخص NDSI

در این روش، ابتدا، معیارهای بازتابشی دوگانه (یعنی مقدار بازتابش پیسکل‌ها در باند شش بیشتر از ۱۱

درصد و مقدار بازتابش پیسکل‌ها در باند چهار مساوی یا بیشتر از ۱۰ درصد) و به شرط $NDSI > 0.4$ بر اساس معادله (۱) اعمال می‌گردد. در مرحله‌ی بعد، بر اساس معادله‌ی (۱) آزمون‌های سه‌گانه مشروط به منظور استخراج مقادیر NDSI اجرا می‌شود.

حاصل به‌کارگیری شاخص NDSI این خواهد شد که پیسکل‌هایی با ارزش -1 تا $+1$ ایجاد خواهد شد که ارزش‌هایی که از -1 تا صفر می‌باشند نشان‌دهنده‌ی مناطقی است که برف در آن‌ها وجود ندارد و از صفر تا $+1$ مناطقی را شامل می‌شود که برف با توجه به سنگینی و سبکی (بسته به عمق آن) ضرایب مثبت را به خود اختصاص می‌دهد. هر قدر عمق برف بیشتر باشد، عدد مورد نظر به ۱ نزدیکتر و هر چه کم‌عمق‌تر باشد به صفر متمایل می‌شود. الگوریتم نقشه برفی MODIS از باندهای ۶ و ۴ این سنجنده بطور اتوماتیک جهت استخراج شاخص برفی تفاضلی نرمال شده (NDSI) اجرا و بر اساس معادله زیر محاسبه می‌گردد:

(Bashir, 2008: 66)

$$NDSI = \frac{MODIS_{Band4} - MODIS_{Band6}}{MODIS_{Band4} + MODIS_{Band6}} = \frac{green - SWIR}{green + SWIR} \quad (1)$$

خودکار است می‌توان باندهای ورودی مختلف را طبقه‌بندی کرد. در این روش فقط تعداد خوشه‌ها^۴ و بیشترین تعداد تکرار مورد نیاز است. این روش یک روش سریع است که برای شناسایی و طبقه‌بندی برف و یخ دقت قابل ملاحظه‌ای را داراست.

طبقه‌بندی نظارت شده

در این روش ابتدا نقاط آموزشی از پوشش برف برداشته و به سیستم معرفی می‌شود. در این روش نمونه‌هایی از هر نوع پوشش موجود در تصویر برداشته می‌شود که این نمونه برداری‌ها در این پژوهش محدود به ۴ پوشش برف، آب، پوشش گیاهی و سطوح سنگی و خاکی می‌شود. برای نمونه برداری دقیق تر از این عوارض ابتدا یک تصویر رنگی کاذب^۵ از تصویر مورد نظر تهیه می‌شود، از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص هر رنگ از ۳ رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته می‌شود. در تصویر رنگی کاذب (FCC)، رنگ قرمز به باند مادون قرمز، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده می‌شود، در نتیجه پوشش گیاهی که حداکثر بازتاب را در باند مادون قرمز دارد، به رنگ قرمز، آب به رنگ آبی و خاک لخت به رنگ‌های قهوه‌ای - خاکستری دیده می‌شود. اگر تصاویر رنگی کاذب به طور مناسب و صحیح تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر حاصله خوش ترکیب و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت (Richards & Xiuping, 2006:193).

در رابطه (۱):

باند چهار (۰/۶۶۵ - ۰/۵۴۵) دارای بازتابش برابر یا بیشتر از ۱۰ درصد باشد.
باند شش (۰/۸۷۶ - ۰/۸۴۱) دارای بازتابش بیش از ۱۱ درصد باشد.

طبقه‌بندی نظارت نشده

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در جداسازی پوشش برف از دیگر پوشش‌ها، روش طبقه‌بندی نظارت نشده است. در روش دسته‌بندی نظارت نشده هیچ نوع اطلاعات مخزنی در سیستم دسته‌بندی وارد نمی‌شود. این روش بر اساس تکنیک‌های آنالیز^۱ دسته‌بندی قرار دارد. اساس کار دسته‌بندی در طبقه‌بندی نظارت نشده، روش خوشه‌ای^۲ می‌باشد. در روش خوشه‌ای که با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت نشده صورت می‌گیرد، پیکسل‌ها بر اساس درجه‌ی روشنایی در خوشه‌های مشخص قرار می‌گیرند. پوشش برف نیز بر اساس روشنایی پیکسل‌ها در یک یا چند خوشه قرار می‌گیرند که درجه‌ی روشنایی پیکسل‌ها بستگی به عمق پوشش برف دارد. در فرآیند طبقه‌بندی نظارت نشده، اساس کاربر، طبقه‌بندی گروهی است، در یک طبقه قرار دادن پیکسل‌ها در سنجش از دور بر اساس ویژگی‌های طیفی مشابه آنها، فرایندی است که به آن خوشه‌بندی گویند (Richards & Xiuping, 2006:249). علت انتخاب این روش طبقه‌بندی متعدد است از آن جمله می‌توان از عدم امکان انتخاب نواحی آموزشی نام برد، بویژه مواقعی که امکان دریافت داده‌های آموزشی سخت می‌باشد. با استفاده از maxset^۳ که یک روش

4-Cluster
5-False color composite image

1-Elustering Analysis
2-Clustering
3-Maximum set basic probability classifier

یافته‌ها

مقایسه و انتخاب روش مناسب پایش

به منظور انتخاب کارآمدترین روش جهت پایش پوشش برف، ابتدا، نقشه‌های NDSI برای ماه‌های مورد نظر، استخراج گردید و سپس محدوده‌های برفی از سایر محدوده‌ها تفکیک شد. نقشه شماره ۲- الف، حاصل اجرای این عملکرد می‌باشد که به عنوان نمونه ارائه شده است. نقشه‌های برفی نهایی تهیه شده در فرمت باینری بوده و از منطبق بولین پیروی می‌کند. در مدل NDSI، کل تصویر به دو پهنه برفی و بدون برف طبقه‌بندی می‌گردد لکه‌های روشن نشان‌دهنده‌ی پوشش برف و نواحی تیره فاقد برفند (نقشه ۲- الف و جدول ۱).

هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رسانیدن داده‌های کم‌ارزش و استفاده‌ی حداکثر از اطلاعات مفید می‌باشد. انتخاب ترکیب باندی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد. یک روش، مقایسه چشمی تصاویر حاصل از ترکیب‌های مختلف است که معمولاً بسیار مشکل و وقت‌گیر است. راه دیگر، مبتنی بر معیارهای آماری تصاویر مورد استفاده در ساخت تصاویر رنگی است. از جمله روش‌های انتخاب ترکیب‌باندی روش‌های فاکتور شاخص مطلوب^۱ (OIF)، تعیین ماتریس حداکثر واریانس - کواریانس^۲ و تجزیه مؤلفه‌های اصلی است

(Richards & Xiuping, 2006:194).

جدول ۱: مساحت برآورد شده توسط شاخص NDSI بر روی تصاویر منطقه شمال غرب (بر مبنای کیلومتر مربع)

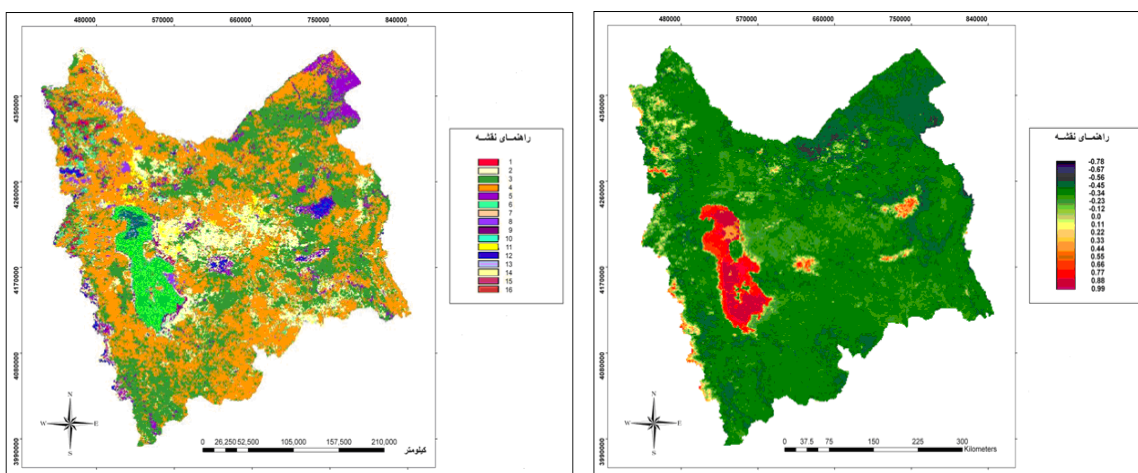
سال	۲۳ آوریل	۲۴ می	۲۶ ژوئن
۲۰۰۰	۲۵۶۶/۶۴	۱۴۲/۹۶	۴/۹۴
۲۰۰۱	۷۴۳/۷۸	۹۱/۶۶	۰
۲۰۰۲	۳۹۵۴/۶۱	۴۶۲/۳۷	۳۶/۴۹
۲۰۰۳	۱۷۳۳/۳۵	۲۸۲	۲۳/۴
۲۰۰۴	۳۵۲۷/۲۳	۴۶۷/۲۴	۱۴/۸۱
۲۰۰۵	۲۱۱۲/۶۵	۴۴۴/۵۵	۴۵/۰۷
۲۰۰۶	۵۰۷۹/۶۲	۲۵۷/۳۷	۴۱/۶۴
۲۰۰۷	۹۴۰۱/۵۱	۴۲۶/۲۴	۶۳/۷۵
۲۰۰۸	۷۲۴/۹۱	۱۱۵/۴۷	۳۳/۹۸
۲۰۰۹	۵۱۴۴/۲۳	۱۳۱/۸	۱۶/۵۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۷۶

برف هستند، ارزش یک و به بقیه ارزش صفر داده شد. در شکل شماره‌ی ۲- ب خوشه‌های شماره‌ی ۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۵، خوشه‌های حاوی برف و یخ هستند (جدول ۲).

جهت پایش تغییرات پوشش برف به روش طبقه‌بندی نظارت نشده نیز، پس از خوشه‌بندی پیکسل‌ها، نسبت به جداسازی خوشه‌های حاوی پیکسل‌های برف از سایر خوشه‌ها پرداخته شد. به خوشه‌هایی که نشان‌دهنده‌ی

1-Optimum index factor
2- Maximum variance – covariance matrix determination



شکل ۲ - ب: نقشه حاصل از به کارگیری روش maxset

بر روی تصویر مورخ ۲۳ آوریل ۲۰۰۰

شکل ۲ - الف: نقشه حاصل از به کارگیری روش شاخص ndsi

بر روی تصویر مورخ ۲۳ آوریل ۲۰۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۷۷:۱۳۹۰

جدول ۲: مساحت برآورد شده توسط روش نظارت نشده

بر روی تصاویر منطقه شمال غرب (بر مبنای کیلومتر مربع)

سال	۲۳ آوریل	۲۴ می	۲۶ ژوئن
۲۰۰۰	۲۴۶۸/۱۲	۱۸۷/۱۸	۱۰/۷۳
۲۰۰۱	۸۰۵/۱۷	۱۰۹/۰۴	۰/۲۱
۲۰۰۲	۴۰۸۷/۹	۵۲۲/۹	۴۹/۱۶
۲۰۰۳	۱۸۴۱/۷۵	۳۰۲/۱	۲۴/۴۷
۲۰۰۴	۳۳۸۵/۳۴	۶۰۴/۰۴	۱۷/۳۹
۲۰۰۵	۱۷۸۸/۷۳	۳۲۵/۸۵	۳۶/۰۶
۲۰۰۶	۵۱۳۷/۱۵	۱۹۴/۲۶	۲۳/۴
۲۰۰۷	۹۳۱۰/۵	۲۴۵/۵۷	۴۱/۲۱
۲۰۰۸	۴۷۷/۸۲	۶۲/۰۴	۲۵/۳۱
۲۰۰۹	۴۰۴۰/۹	۹۵/۶۲	۱۹/۹۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۷۹ ۱۳۹۰

بازتاب طیفی تصویر باشد. شکل شماره (۳) تصاویر رنگی کاذب یا کامپوزیت حاصل از تصاویر ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ می‌باشد. در این نقشه‌ها برف به رنگ سفید مشاهده می‌شود (جدول ۳).

به منظور به کارگیری روش نظارت شده، نمونه‌گیری از ارزش طیفی پیکسل‌های تصاویر با توجه به بازتاب طیفی که بر روی تصاویر با رنگ‌های متفاوت از هم مشخص می‌شوند، انجام می‌گیرد. باید نهایت دقت را به‌کار برد که پیکسل‌های انتخابی نزدیک به میانگین

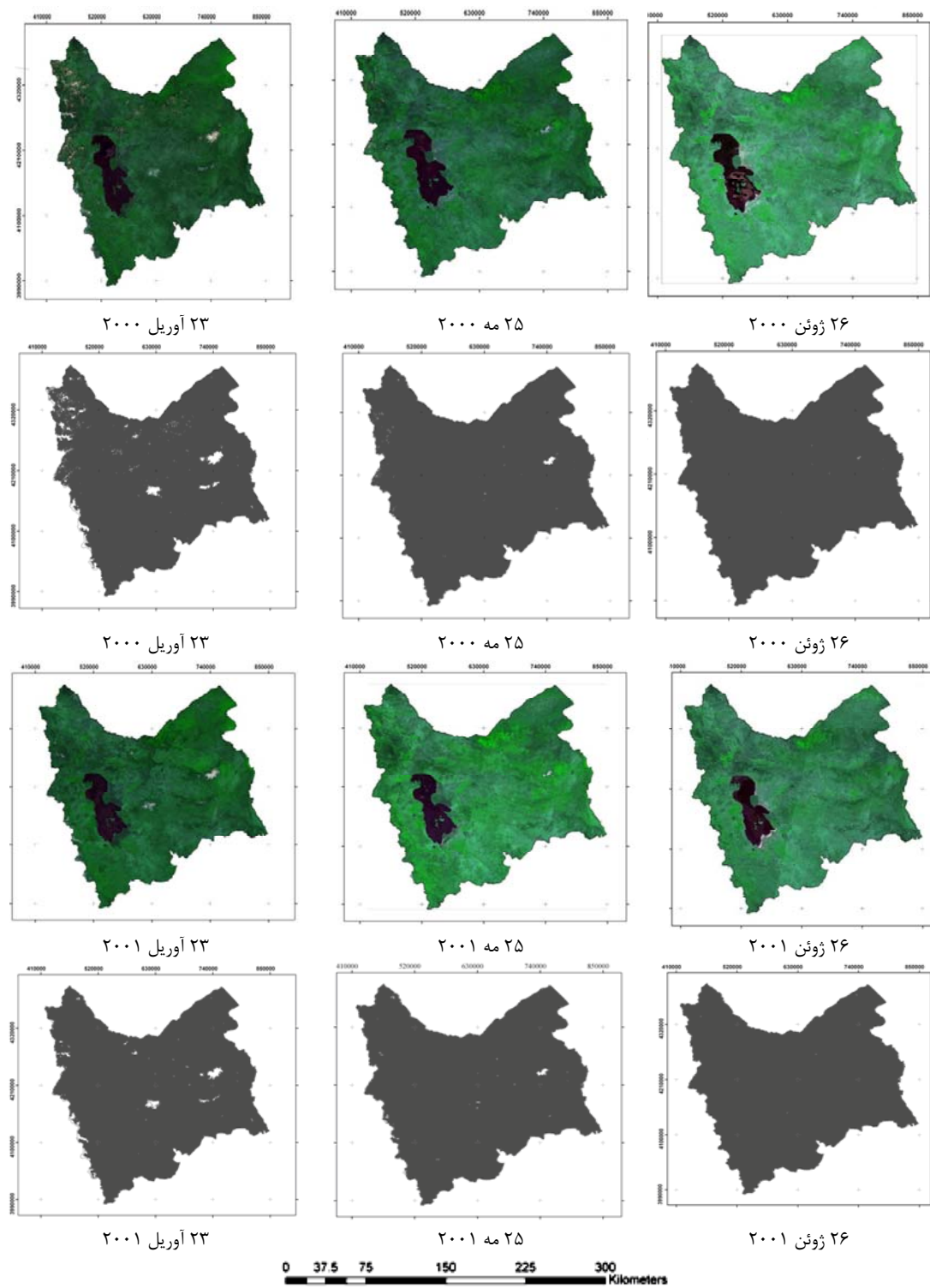
جدول ۳: مساحت برآورد شده پوشش برف توسط نظارت شده (بر مبنای کیلومتر مربع)

سال	۲۳ آوریل	۲۵ می	۲۶ ژوئن
۲۰۰۰	۲۵۷۰/۰۸	۲۱۵/۵۱	۶/۴۴
۲۰۰۱	۱۲۸۳/۴۳	۱۱۸	۳/۶۵
۲۰۰۲	۵۳۲۵/۴	۱۱۹۷/۱۳	۱۲۷/۲۱
۲۰۰۳	۱۸۹۳	۳۷۲	۲۹/۴
۲۰۰۴	۴۲۴۸/۹	۱۱۳۵/۰۸	۹۴/۸۷
۲۰۰۵	۲۴۵۱/۳۷	۷۱۹/۱	۵۵/۵۴
۲۰۰۶	۵۵۰۰/۱۳	۴۱۹/۸۶	۶۰/۵۳
۲۰۰۷	۱۰۴۷۱/۷۸	۶۷۱/۰۱	۱۲۶/۶۴
۲۰۰۸	۱۰۴۰/۰۱	۱۷۰/۴۳	۳۸/۲
۲۰۰۹	۵۱۳۵	۱۴۵/۸	۲۲/۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۸۰

دسته‌های مختلف اجرا می‌شود و معیارها و پارامترهای بررسی دقت و کیفیت دسته‌بندی در هر اجرا (با تعداد دسته‌های مختلف) محاسبه می‌گردد. بر اساس این پارامترها و معیارها بهترین اجرا (دسته‌بندی) انتخاب می‌شود. اما این انتخاب همواره آسان نیست. بنابراین روش نظارت نشده نیز برای پایش، روش کارآمدی تشخیص داده نشد. روش نظارت شده به دلیل ارائه نقشه‌های رنگی کاذب به صورت دقیق و قابل تفکیک برای باندهای مختلف و نداشتن معایب موجود در روش‌های NDSI و روش طبقه‌بندی نظارت نشده، به عنوان روش کارآمد جهت پایش تغییرات مربوط به پوشش برف در منطقه‌ی شمال غرب ایران انتخاب گردید.

ارزیابی نتایج حاصل از سه روش استفاده شده در این مطالعه نشان می‌دهد که به دلیل اینکه در شاخص NDSI پهنه‌های آب و برف به صورت یکسان در نظر گرفته می‌شود و برای پایش برف ابتدا بایستی نقشه‌ای تحت عنوان پهنه‌های آبی تهیه شود و بعد از تهیه نقشه‌های NDSI، این مناطق فیلتر شده و از پوشش برف و یخ جدا شود و این امر می‌تواند دقت نقشه‌های نهایی استخراج شده را پایین بیاورد بنابراین روش مناسبی تشخیص داده نشد. در روش نظارت نشده نیز مشکل اصلی در روش‌های دسته‌بندی و انتخاب مناسب و بهینه تعداد دسته‌ها می‌باشد. از آنجا که هیچ قاعده‌ای برای تعریف و تعیین دقیق تعداد دسته‌ها وجود ندارد، لذا تعداد دسته‌ها معمولاً بر اساس تکنیک خطا و آزمایش مشخص می‌شود. دسته‌بندی با تعداد



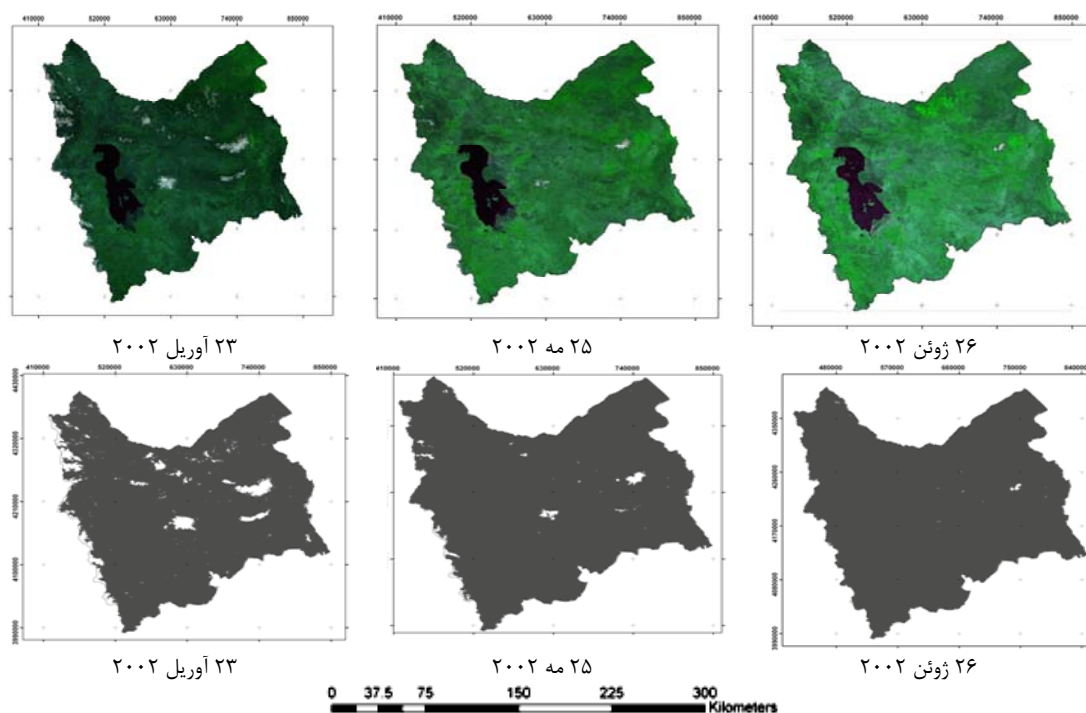
شکل ۳: محدوده‌ی پوشش برف استخراج شده تصاویر سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۸۱-۸۲

پایش تغییرات پوشش برف بر اساس روش

طبقه‌بندی نظارت شده

نقشه‌های حاصل از روش طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصاویر سال ۲۰۰۰ میلادی نشان می‌دهد، مساحت برآورد شده برف بر روی تصویر ۲۳ آوریل، برابر با ۲۵۷۰/۰۸ کیلومتر مربع می‌باشد. همانطور که در نقشه مشاهده می‌شود دو توده‌ی ارتفاعی مهم منطقه (سهند و سبلان) جزو نقاط برفگیر منطقه می‌باشند، به جز این دو توده دیواره غربی منطقه و قسمت‌هایی از شمال غرب منطقه نیز دارای پوشش برف می‌باشد. در دیگر قسمت‌های منطقه نیز پوشش برف به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. همزمان با افزایش دمای منطقه از پوشش برف کاسته شده و در تاریخ ۲۵ مه به ۲۱۵/۵۱ کیلومتر مربع می‌رسد. در این زمان بیشتر مساحت برف در توده‌ی سبلان به چشم می‌خورد و در بقیه نواحی به صورت لکه‌هایی مشاهده می‌شود. در نهایت در نقشه‌ی تاریخ ۲۶ ژوئن مشاهده می‌شود، که

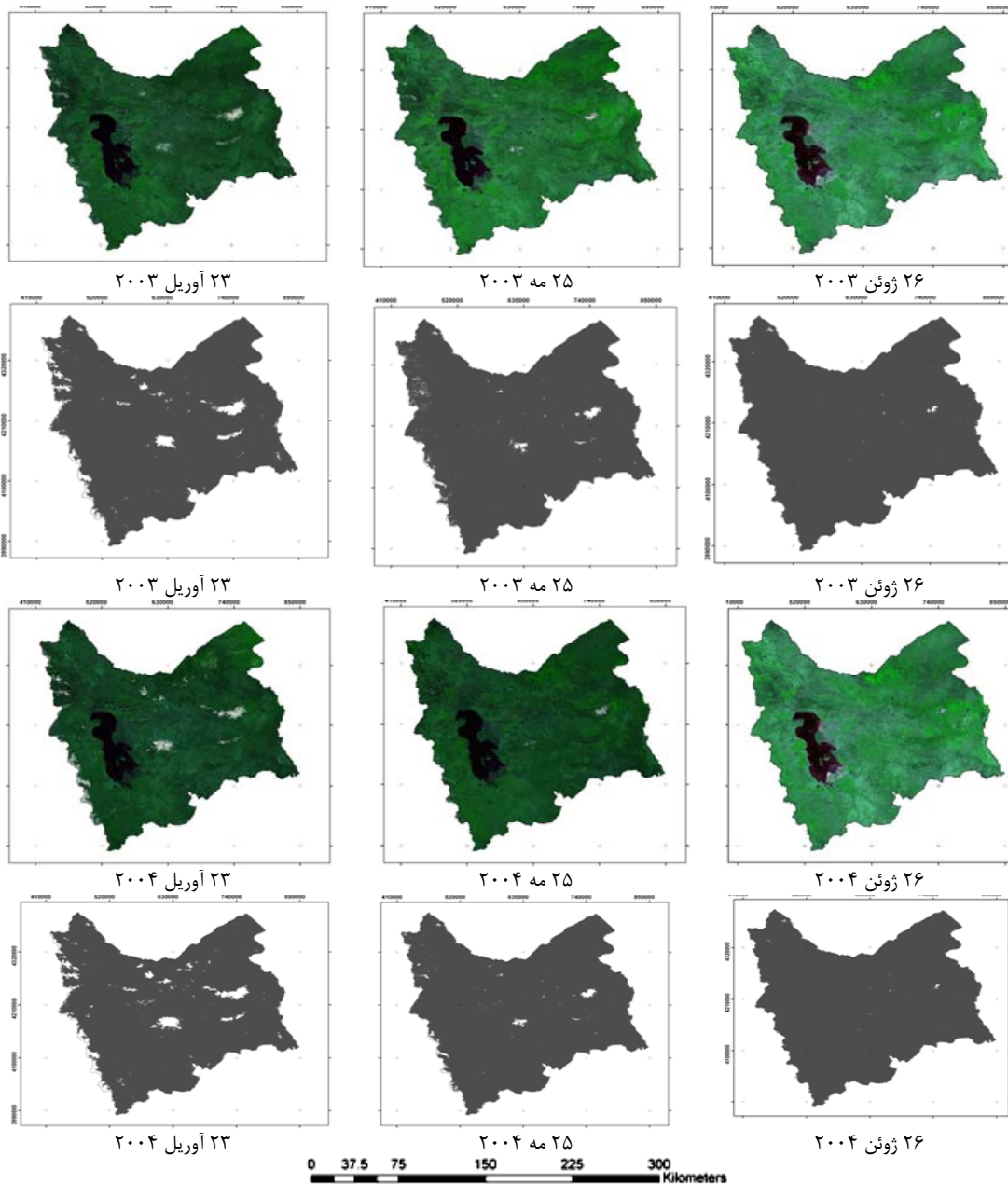
پهنه برفی تنها بخش کوچکی از توده‌ی سبلان را می‌پوشاند که مساحت آن برابر با ۶/۴۴ کیلومتر مربع می‌باشد (نقشه ۳). در نقشه‌ی پوشش برفی سال ۲۰۰۱ مساحت برآوردی برای ماه آوریل برابر با ۱۲۸۲/۴۳ کیلومتر مربع، برای ماه مه ۱۱۸ و ماه ژوئن ۳/۶۵ کیلومتر مربع می‌باشد. مقایسه میزان پوشش برفی سال ۲۰۰۱ با سال ۲۰۰۰ نشان‌دهنده‌ی تغییر قابل ملاحظه در میزان پوشش برف بین این دو سال می‌باشد. میزان پوشش برف در سال ۲۰۰۱ تقریباً ۱۰۰ درصد (یک برابر) کمتر از سال ۲۰۰۰ می‌باشد (شکل ۳). در ماه آوریل سال ۲۰۰۲، سطح پوشش برف در منطقه شمال غرب ایران افزایش بسیار زیادی را نسبت به سال قبل نشان می‌دهد به طور که در این ماه، میزان پوشش برف ۵۳۲۵/۴ کیلومتر مربع برآورد گردید که بیش از چهار برابر ماه آوریل سال ۲۰۰۱ می‌باشد. در ماه مه ۱۱۹۷/۱۳ و ماه ژوئن ۱۲۷/۲۱ کیلومتر مربع از سطح منطقه پوشیده از برف بود (شکل ۴).



شکل ۴: محدوده پوشش برف استخراج شده تصاویر سال ۲۰۰۲
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۸۲

مربع می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که میزان تغییرات پوشش برف در منطقه از سالی به سال دیگر نوسانات شدیدی دارد و این امر نشان‌دهنده‌ی آسیب‌پذیری شدید منابع آب وابسته به ذوب برف در منطقه می‌باشد (شکل ۵).

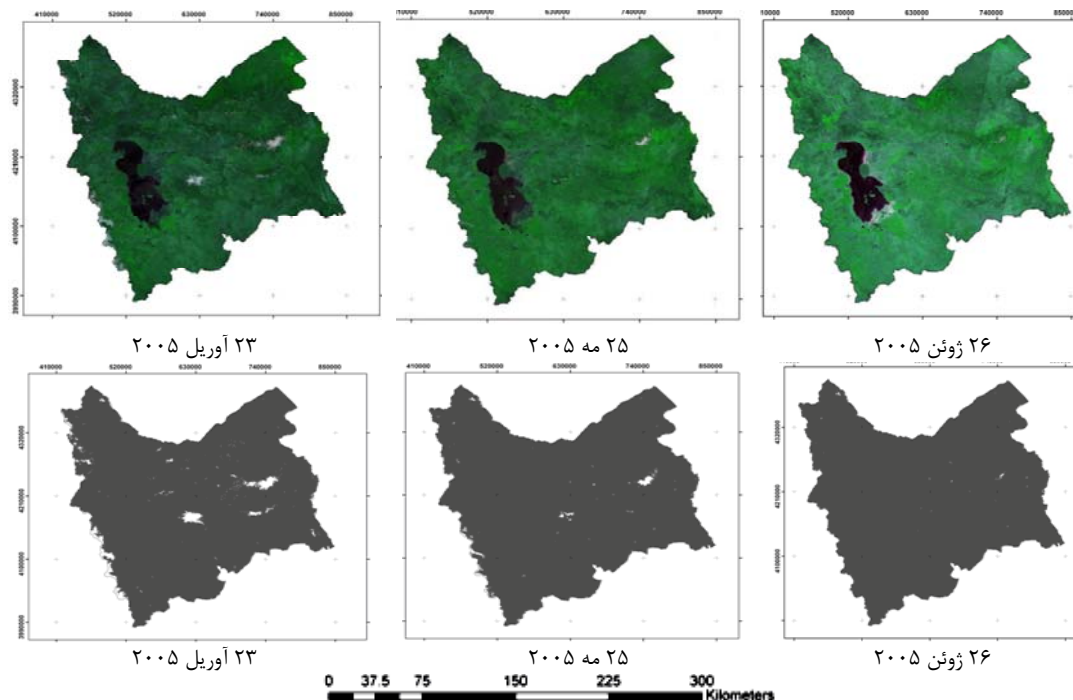
نقشه‌های مربوط به سال ۲۰۰۳ برای ماه آوریل ۱۸۹۳، ماه مه ۳۷۲ و ماه ژوئن ۲۹/۴ کیلومتر مربع سطح پوشیده از برف را نشان می‌دهند. درحالی‌که میزان این پوشش برای سال ۲۰۰۴ برای ماه آوریل ۴۲۴۸/۹، ماه مه ۱۱۳۵/۰۸ و ماه ژوئن ۹۴/۸۷ کیلومتر



شکل ۵: محدوده پوشش برف استخراج شده تصاویر سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۳

پوشش برفی منطقه‌ی شمال غرب ایران در ماه آوریل ۲۴۵۱/۳۷، ماه مه ۷۱۹/۱ و ماه ژوئن ۵۵/۵۴ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۶).

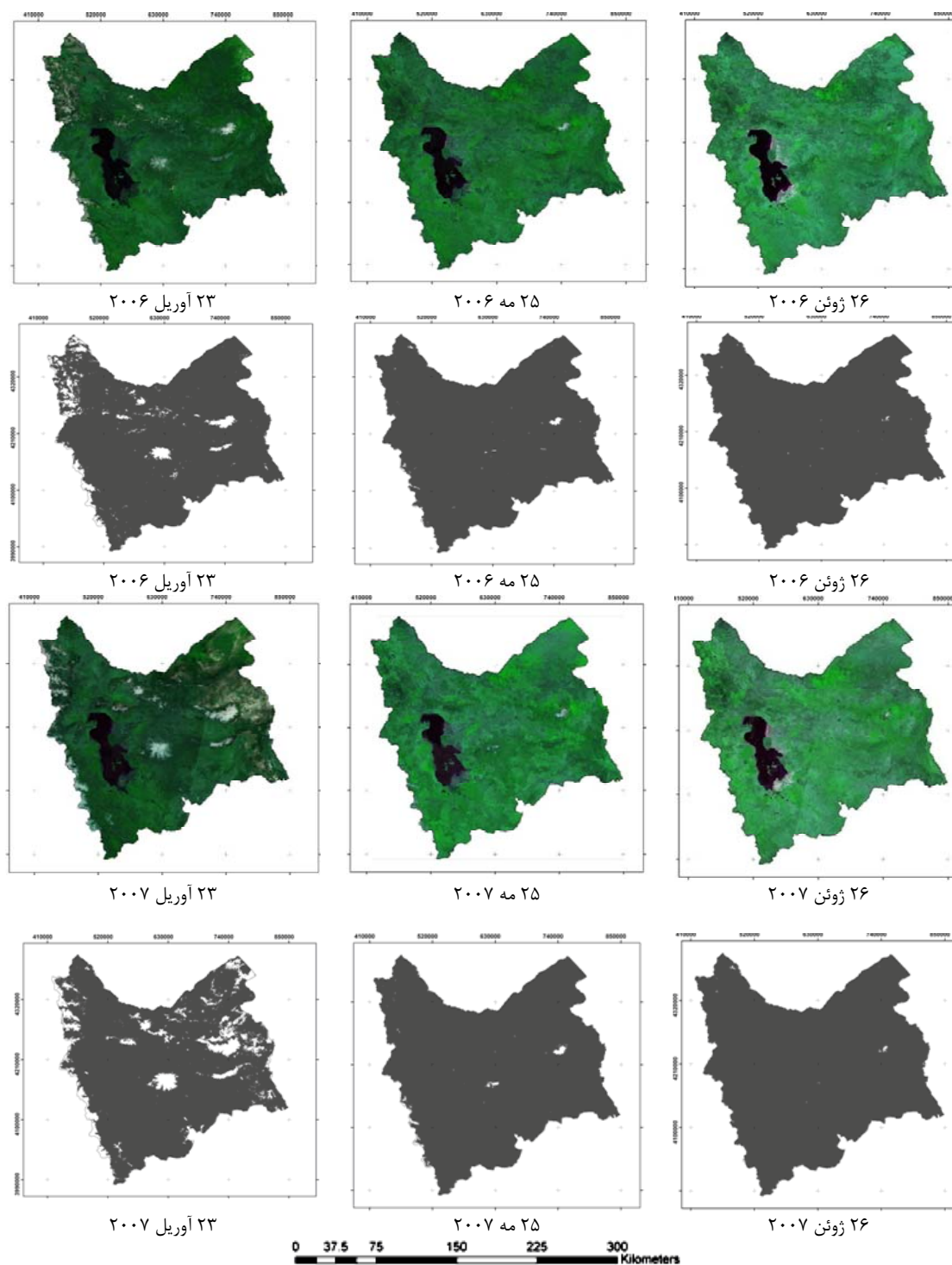
در سال ۲۰۰۵ میزان سطوح پوشیده از برف منطقه‌ی شمال غرب ایران نسبت به سال قبل کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. میزان این کاهش تقریباً یک برابر کمتر از سال قبل می‌باشد. مساحت برآورد شده



شکل ۶: محدوده پوشش برف استخراج شده تصاویر سال ۲۰۰۵
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۴

عنوان پربارش‌ترین سال از نظر بارش برف می‌باشد. میزان پوشش برف در این سال در مقایسه با سال ۲۰۰۸ به عنوان کمترین سال از نظر پوشش برف، ده برابر بیشتر می‌باشد که این امر حاکی از دامنه تغییرات شدید در میزان بارش برف حتی به میزان ۱۰۰۰ درصد در طول یک دهه می‌باشد. محاسبات به عمل آمده در سال ۲۰۰۷ میزان پوشش برف در ماه آوریل ۱۲۶/۶۴، ماه مه ۶۷۱/۰۱ و ماه ژوئن ۱۲۶/۶۴ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد (نقشه ۷).

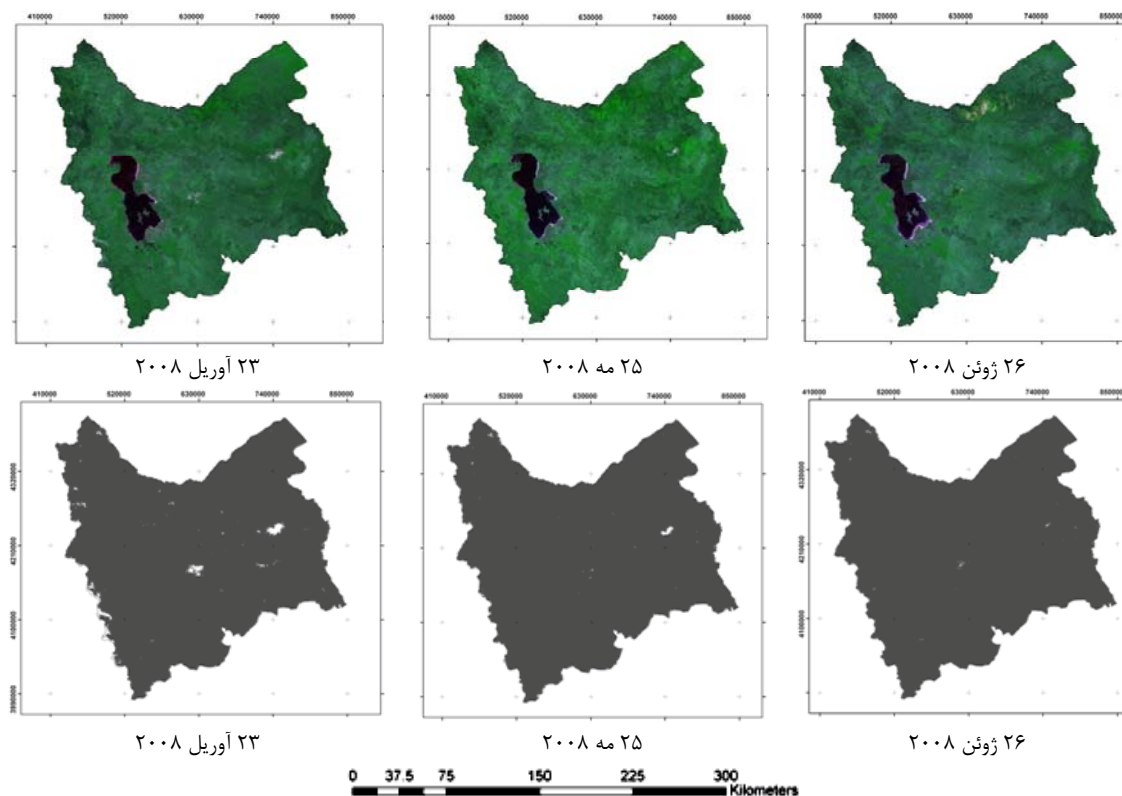
ارزیابی نقشه‌های تهیه شده برای سال ۲۰۰۶ نیز حاکی از افزایش دوباره سطوح پوشیده از برف در منطقه‌ی شمال غرب ایران است. به طوریکه محدوده پوشیده از برف این منطقه به میزان بیش از دو برابر میزان سال قبل رسیده است. محاسبات به عمل آمده نشان می‌دهد که در این سال در ماه آوریل ۵۵۰۰/۱۳، ماه مه ۴۱۹/۸۶ و ماه ژوئن ۶۰/۵۳ کیلومتر مربع از سطح منطقه زیر پوشش برف می‌باشد (شکل ۷).
 ارزیابی نقشه‌های مربوط به سال ۲۰۰۷ نیز نشان می‌دهد که این سال در بین سال‌های مورد مطالعه به



شکل ۷: محدوده‌ی پوشش برف استخراج شده‌ی تصاویر سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۷
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۵-۱۴

است. محاسبات انجام شده میزان سطوح برفی را در ماه آوریل ۱۰۴۰/۰۱، ماه مه ۱۷۰/۴۳ و ماه ژوئن ۳۸/۲ نشان داد (شکل ۸).

بررسی نقشه‌های مربوط به سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که میزان سطوح پوشیده از برف در این سال به کمترین میزان در طول ده سال مورد مطالعه رسیده

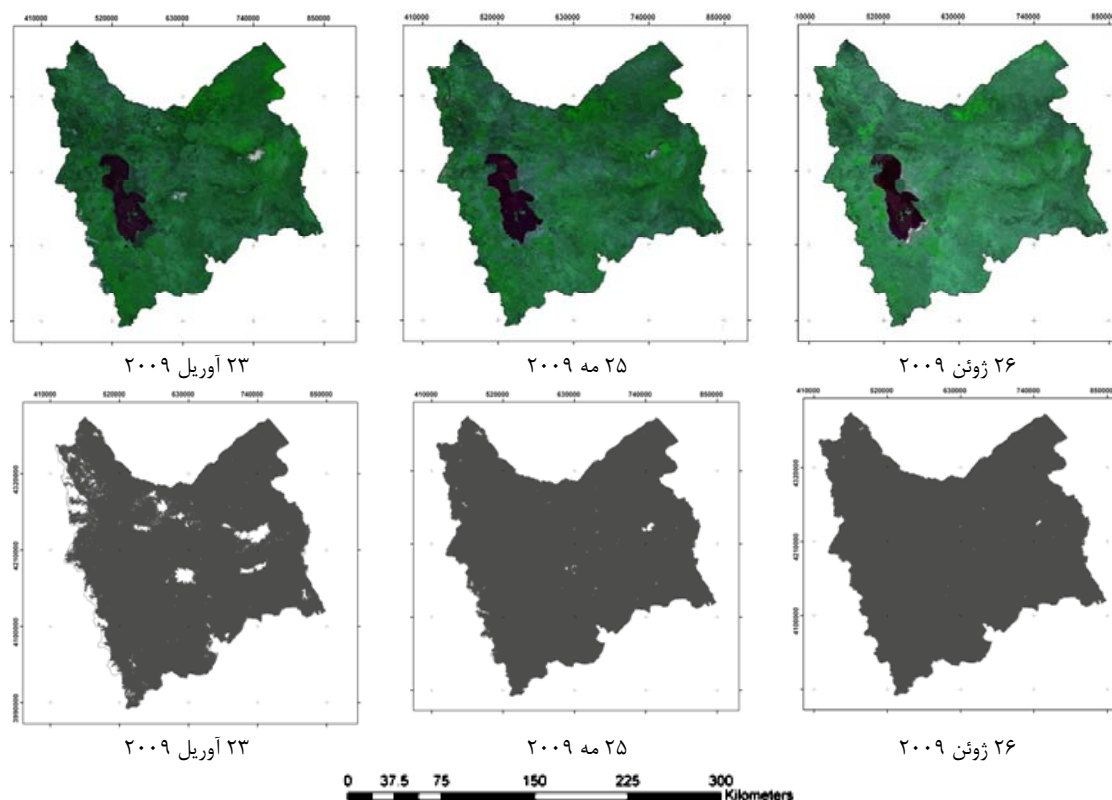


شکل ۸: محدوده‌ی پوشش برف استخراج شده تصاویر سال ۲۰۰۸

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۸۵

میزان پوشش برف در ماه آوریل به ۵۱۳۵ کیلومتر از سطح منطقه رسیده است. این میزان برای ماه‌های مه ۱۴۵/۸ و ژوئن ۲۲/۵ برآورد شده است (شکل ۹).

در سال ۲۰۰۹ به عنوان آخرین سال مورد مطالعه، پس از کاهش بسیار شدید در میزان پوشش برفی در سال ۲۰۰۸ دوباره افزایش تقریباً پنج برابری در میزان این پوشش اتفاق افتاده است. به طوری که در این سال



شکل ۹: محدوده‌ی پوشش برف استخراج شده تصاویر سال ۲۰۰۹
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۶

می‌باشد. این سال به همراه سال ۲۰۰۸، کمترین پوشش برفی دوره‌ی مورد نظر را دارا می‌باشد. بیشترین پوشش برفی نیز متعلق به سال ۲۰۰۷ می‌باشد که این سال با میانگین دمای فصل سرد ۲/۶ درجه، کمترین دمای هوا در طی دوره را به خود اختصاص داده است. بنابراین می‌توان استنباط نمود که میزان پوشش برف منطقه شمال غرب ایران در فصول سردی که میانگین دمای هوا پایین می‌باشد بیشتر بوده و در شرایط معکوس کمتر می‌باشد و این موضوع می‌تواند در پیش‌بینی تغییرات میزان منابع آب قابل تأمین از طریق ذوب برف در فصل بهار و تابستان در نظر گرفته شود (جدول ۴).

از آنجایی که دمای هوا مؤثرترین عامل در پایداری پوشش برف در مناطق کوهستانی می‌باشد و هرچه دمای هوا کمتر باشد، شرایط برای تشکیل بلورهای برف و نهایتاً بارندگی به شکل برف فراهم خواهد بود، در این بخش سعی شده است تا برای قضاوت بهتر در مورد مقدار پوشش برف و میزان پایداری این پوشش مقایسه‌ای بین مساحت پوشش برف و دمای رخ داده در ایستگاه‌های سینوپتیک به عمل آید برای این منظور میانگین دمای هوای هر سال، از نوامبر سال قبل، یعنی آغاز فصل سرد تا اواخر ماه آوریل در نظر گرفته شده است. ارزیابی میانگین دمای هوای فصل سرد با میزان پوشش برفی در سال‌های مورد مطالعه نشان داد که بیشترین دمای رخ داده طی ۱۰ سال آمار موجود، متعلق به سال ۲۰۰۱ با دمای ۵/۸ درجه سانتیگراد

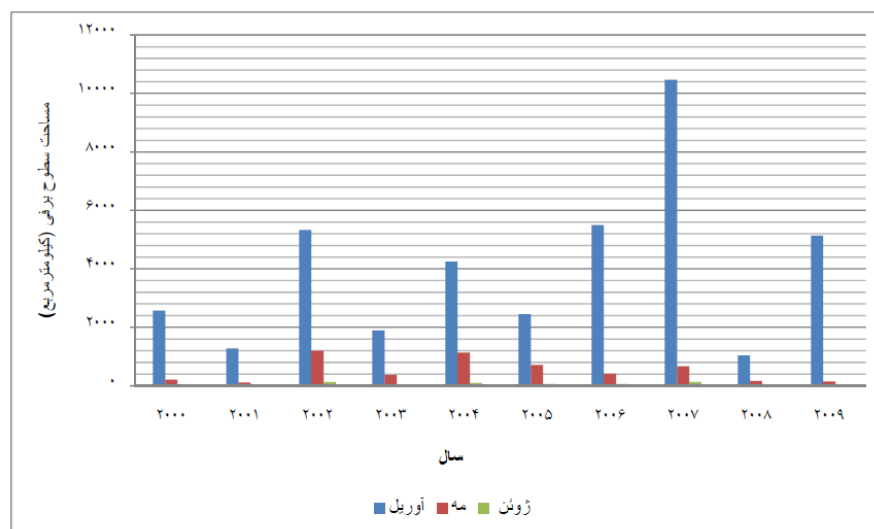
جدول ۴: میانگین دمای فصل سرد ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه‌ی شمال غرب ایران (بر مبنای سانتیگراد)

ایستگاه	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹
اهر	۴/۴	۵/۴	۵/۳	۲/۸	۴/۹	۳/۳	۴/۹	۲/۶	۳/۳	۳/۸
جلفا	۶/۷	۷/۹	۶/۹	۴/۱	۶/۸	۴/۲	۶/۵	۳/۷	۶	۴/۱
مراغه	۵/۵	۶/۶	۵/۹	۵	۶/۱	۴/۵	۶/۶	۳/۴	۵	۴
میانه	۵/۹	۷/۲	۶/۱	۵	۶/۷	۴/۸	۶/۹	۳	۵/۸	۵
سراب	۱/۷	۳	۲/۴	۰/۵	۲/۴	۰	۲/۷	۰/۲-	۰/۷	۰/۵
تبریز	۵/۲	۶/۴	۵/۵	۴/۱	۵/۹	۳/۹	۶	۲/۹	۴/۶	۳/۱
خوی	۵/۱	۶	۵/۵	۳/۵	۵/۳	۳/۲	۵/۳	۲/۴	۴/۲	۳/۵
مهاباد	۵/۷	۶/۶	۶/۲	۵/۲	۶	۴/۳	۶/۸	۳/۸	۵/۳	۴/۲
ماکو	۳/۲	۴/۲	۳/۴	۱/۵	۳/۲	۱/۶	۳/۳	۰/۷	۲/۴	۲/۵
ارومیه	۴/۶	۵/۴	۴/۸	۴	۴/۸	۳/۳	۴/۷	۲/۵	۳/۸	۳
پیرانشهر	۴/۸	۶	۵/۲	۴/۴	۵/۴	۳/۷	۶/۳	۳/۲	۵/۱	۳/۴
سردشت	۵/۴	۶/۳	۵/۴	۴/۷	۵/۶	۴/۶	۶/۴	۳/۸	۵/۷	۴/۷
پارس‌آباد	۴/۸	۵/۸	۵/۱	۳/۹	۵	۳/۴	۵/۵	۲/۷	۴/۴	۳/۹
اردبیل	۳/۸	۴/۵	۴/۹	۲/۴	۴/۵	۲/۹	۵	۲/۳	۲/۷	۲/۴
خلخال	۴/۴	۵/۴	۴/۸	۳/۵	۴/۸	۳/۲	۵/۲	۲/۵	۴	۴/۵
میانگین	۴/۷	۵/۸	۵/۲	۳/۶	۵/۲	۳/۴	۵/۵	۲/۶	۴/۲	۳/۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۷

نشان‌دهنده‌ی دامنه تغییرات بالا در میزان پوشش برف منطقه‌ی شمال غرب و وجود سال‌های استثنایی از نظر شرایط بارش برف در این بخش از ایران می‌باشد. همچنین مقایسه‌ی تغییرات پوشش برف در سال‌های مورد مطالعه حاکی از وجود توالی بارش کم در یک سال و بارش نسبتاً زیاد در سال بعد می‌باشد (شکل ۱۰).

به‌طور کلی مقایسه‌ی تغییرات سطوح پوشیده از برف منطقه شمال غرب در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۷ دارای بیشترین میزان می‌باشد (۱۰۴۷۱/۷۸ کیلومترمربع) در حالی که در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ که دارای پوشش برف بیشتری نسبت به سال‌های دیگر می‌باشند به‌طور متوسط ۵۳۲۰ کیلومترمربع در ماه آوریل می‌باشد که در مقایسه با سال ۲۰۰۷ تقریباً نصف می‌باشد که این امر



شکل ۱۰: نمودار مقایسه تغییرات سطح پوشش برف بر مبنای طبقه‌بندی نظارت شده در منطقه‌ی شمال غرب ایران
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۹

نتیجه

به طور کلی نتایج اصلی این مطالعه عبارتند از :

۱- نتایج حاصل از بررسی سه روش نظارت نشده، NDSI و نظارت شده جهت پایش تغییرات پوشش برف نشان داد که روش طبقه‌بندی نظارت شده به دلیل ارائه نقشه‌های رنگی کاذب به صورت دقیق و قابل تفکیک برای باندهای مختلف و نداشتن معایب موجود در روش‌های NDSI و نظارت نشده، به عنوان روش کارآمد جهت پایش تغییرات مربوط به پوشش برف در منطقه شمال غرب ایران می‌باشد.

۲- بررسی نقشه‌های مربوط به تغییرات پوشش برفی در ماه آوریل نشان داد که در طول دوره‌ی مورد مطالعه، کمترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۰۸ با ۱۰۴۰/۰۱ کیلومتر مربع و بیشترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۷ با ۱۰۴۷۱/۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده‌ی تغییرات ۱۰۰۰ درصدی در طول دهه در میزان پوشش برف منطقه شمال غرب ایران بوده و آسیب‌پذیری منابع آب وابسته

به ذوب برف را در منطقه‌ی شمال غرب ایران در برخی سال‌ها نشان می‌دهد.

۳- در ماه مه کمترین مساحت محاسبه شده مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ با ۱۱۸ کیلومتر مربع و بیشترین مقدار مربوط به سال ۲۰۰۲ با ۱۱۹۷/۱۳ کیلومتر مربع می‌باشد. مقایسه بین این دو سال نیز حاکی از تغییرات بیش از ده برابری در منطقه در ارتباط با ماندگاری برف از یک ماه تا ماه بعدی می‌باشد که این موضوع در منطقه شمال غرب ایران از دامنه تغییرات بسیار بالایی برخوردار است .

۴- ارزیابی نقشه‌های مربوط به ماه ژوئن نشان داد که کمترین مساحت پوشش برفی مربوط به سال ۲۰۰۱ با ۳/۶۵ و بیشترین مقدار مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ به میزان ۱۲۷/۲۱ کیلومتر مربع می‌باشد.

۵- ارزیابی رابطه بین میانگین دمای فصل سرد با میزان پوشش برف نشان داد در سال‌هایی که میانگین دمای فصل سرد پایین‌تر می‌باشد سطح پوشش برف در بهار همان سال بیشتر از سال‌های دیگر می‌باشد. گواه این استنباط سال ۲۰۰۷ می‌باشد که کمترین میانگین دما

- شریفی، محمدرضا؛ علی محمد آخوندعلی؛ جهانگیر پرهت (۱۳۸۵). بررسی تغییرات آب معادل برف با ارتفاع در مقیاس حوضه‌های کوچک (مطالعه موردی: حوضه صمصامی از سرشاخه‌های کارون). هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه.
- طاهری شهرآئینی، حمید؛ مسعود تجرشی؛ نادر جلالی؛ احمد ابریشم‌چی (۱۳۸۰). استخراج مدل تجربی ارتباط مساحت آب هامون‌ها با مساحت پوشش برف حوزه‌ی آبریز هیرمند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- عادل، ام‌البنین (۱۳۸۴). کلیماتولوژی بارش برف در شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. مرکز GIS و سنجش از دور دانشگاه تبریز.
- قائمی، هوشنگ؛ سعید مرید (۱۳۷۳). تحلیل برف در حوضه‌ی آبخیز رودخانه دماوند، مجموعه مقالات اولین سمینار هیدرولوژیکی برف و یخ سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.
- قربانی‌زاده خرازی، حسین؛ حسین صدقی؛ بهرام ثقفیان؛ جهانگیر پرهت (۱۳۸۸). شبیه‌سازی زمان جریان رواناب ناشی از ذوب برف تحت شرایط تغییر اقلیم در نیم قرن آینده، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.
- نجف‌زاده، رضا؛ احمد ابریشمی؛ مسعود تجرشی؛ حمید طاهری شهرآئینی (۱۳۸۳). شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف، مجله آب و فاضلاب. شماره ۵۲.
- متکان، علی‌اکبر؛ پرویز ضیائیان‌فیروزآبادی؛ داوود عاشورلو؛ سپیده داداشی‌خانقاه (۱۳۸۷). ارزیابی شاخص جهانی پوشش برف برای مطالعه سطح پوشش برف در مقیاس منطقه‌ای، مجله علوم محیطی. شماره ۴.
- صبور، لیلیا (۱۳۹۰). پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و تحلیل سری زمانی برف، پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد. استاد راهنما سیدحسین میرموسوی. دانشگاه زنجان. گروه جغرافیا.

- را در طول ده سال مورد بررسی داشته (۲/۶) درجه سانتیگراد) در حالی که بیشترین سطح پوشش برفی در طول ده سال نیز مربوط به همین سال می‌باشد (۱۰۴۷۱/۷۸ کیلومترمربع).
- ۶- نتیجه قابل تأمل در این مطالعه، توالی یک سال در میان مربوط به پوشش کم و زیاد برف در منطقه شمال غرب ایران می‌باشد. به طوری که با تناوب یک ساله، یک‌سال پوشش کم و سال بعد پوشش زیاد اتفاق افتاده است. این موضوع نیز می‌تواند در پیش‌بینی سال‌های با پوشش کم یا زیاد برف در نظر گرفته شود.

منابع

- پرهت، جهانگیر؛ بهرام ثقفیان (۱۳۸۳). ارزیابی قدرت تفکیک‌پذیری اطلاعات ماهواره‌ای در تعیین سطح تحت پوشش برف، اولین کنفرانس مدیریت منابع آب، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران.
- حسینی، مجید؛ جهانگیر پرهت (۱۳۸۶). ارزیابی مدل ذوب برف (SRM) در حوزه‌ی آبخیز طالقان، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. مدیریت حوزه‌های آبخیز.
- دینی، غلامرضا؛ پرویز ضیائیان‌فیروزآبادی؛ منوچهر فرج‌زاده‌اصل (۱۳۸۵). بررسی تغییرات سطوح برفگیر در ارتفاعات البرز مرکزی با استفاده از تصاویر سنجنده‌های MODIS و AVHRR، همایش ژئوماتیک.
- رایگانی، بهزاد؛ خواجه‌الدین سیدجمال‌الدین سلطانی؛ سعید کوپایی (۱۳۸۵). تهیه نقشه‌های سطح پوشیده از برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در زیرحوزه‌ی قلعه‌ی شاهرخ، همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود.
- رسولی، علی‌اکبر؛ سلام ادهمی (۱۳۸۶). محاسبه‌ی آب معادل از پوشش برف با پردازش تصاویر سنجنده MODIS، جغرافیا و توسعه. شماره ۱۰.

- Metcalfe, R. A., and Buttle, J. M (1999). Semi-distributed water balance dynamics in a small Boreal Forest Basin, *Jornal of Hydrologi*, Vol 226.
- Richards. J. A., Xiuping. J (2006). Remote sensing Digittl Image Analysis, An Itroudction, chapter 9, 4th Edition, Springer.
- Riggs, G. A., Hall, D. K. and Salomonson, V. V (2003). MODIS snow products user guide for collection 4 data products, The MODIS Snow/ Ice Global Mapping Project Website.
- Samantha K. M (2004). Hydrological modeling using MODIS data for snow covered area in the Northern Boreal Forest of Manitoba. University of Calgary.
- Stansalie, G., S, Catana., and C, Flueraru (2006). Evaluation and monitoring of snow cover water resources in carpathian basins using geographic information, National Meteorological Administration (NMA).
- Archer, D. R., Bailey, J. O., Barrett, E. C. and Greenhill, D (1994). The potential of satellite remote sensing of snow over Great Britain in relation to cloud cover, *Nordic Hydrology*, 25.
- Bashir, Furrukh, Ghulam, Rasul (2008). Estimation of Average Snow Cover over Northern Pakistan, *Pakistan Journal of Meteorology*, Vol. 7, Issue 13.
- Johansson, B., Caves, R., Fergusun, R. and Turpin, O (2001). Using remote sensing data to update the simulated snow pack of the HBV runoff model, proceedings symposium of Remote Sensing and Hydrological 2000, Santa Fe New Mexico, USA. IAHS Pub. No. 267
- Jodha, S., S. Khalsa (2007). Variability in central asia seasonal snow cover during the MODIS period of record, University of Colorado, National Snow and Ice Data Center.
- Klein, A. G., Hall, D. K. and Riggs, G. A. (1998). Global snow cover monitoring using MODIS, 27th International Symposium on Remote Sensing of Environment.
- Lopez, P., P. Sirguyey., Y.Arnaud., B. Pouyaud., and P. Chevallier (2008). Snow cover monitoring in the Northern Patagonia Icefield using MODIS satellite images (2000–2006)" *Glibal and Planetary Change*. Vol 61 .