

تغییرات زمانی - مکانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی

قاسم عزیزی* - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
مجتبی رحیمی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
حسین محمدی - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
فرامرز خوش‌اخلاق - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۱

چکیده

با توجه به نقش کلیدی پوشش برف در تأمین منابع آب و اثرگذاری آن بر سیستم‌های زیست‌محیطی، هدف از مطالعه حاضر پایش پوشش برف و تغییرپذیری مکانی و زمانی آن در دامنه‌های جنوبی البرز است. بدین منظور، از داده‌های ساعتی و ماهانه ایستگاه‌های منطقه و محصولات برف‌سنجنده مودیس استفاده شد. ارزیابی دقت داده‌های سنجنده در مقابل داده‌های ایستگاهی بیانگر ارتباط مناسب میان آن‌هاست؛ به طوری که در صورت حذف محدودیت تصاویر (ابرناکی)، دقت محصولات مودیس به مراتب افزایش می‌یابد و از حداقل ۶۷ به حداکثر ۹۶ درصد می‌رسد. بررسی روند ماهانه پوشش برف نشان داد که پوشش در اوایل پاییز و اواخر زمستان رو به افزایش و در ژانویه و به‌ویژه فصل بهار به میزان فزاینده‌ای در حال کاهش است؛ به طوری که مقادیر آماره من - کندال در ماه می به ۲/۲- می‌رسد. این وضعیت نشان‌دهنده کوتاه‌شدن دوره تداوم پوشش برف و افزایش دوره ذوب آن است. از نظر ارتفاعی، پوشش برف در حال پسروی است؛ زیرا روند آن در همه طبقات ارتفاعی، به‌ویژه در ارتفاعات ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، رو به کاهش است. مقایسه وضعیت پوشش برف با شرایط دما و بارش نشان می‌دهد در بیشتر مواقع ناهنجاری‌های منفی پوشش برف با ناهنجاری مثبت دما و منفی بارش تطابق دارد.

کلیدواژه‌ها: البرز جنوبی، برف، سنجنش از دور، محصول MOD10

مقدمه

پوشش برفی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های سطح زمین (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۴۶) و اجزای تعریف‌شده اکوسیستم‌ها در نواحی کوهستانی و عرض‌های بالای جغرافیایی است (برنامه محیط زیست سازمان ملل، ۲۰۰۷: ۶) که نقش مهمی در هیدرو- اقلیم جهانی ایفا می‌کند. گذشته از آلودگی بالا و هدایت حرارتی اندک برف، که اثر درخور توجهی در بیابان انرژی، خنک‌کنندگی اتمسفر، و الگوهای گردشی جو دارد (بندروز، ۲۰۰۴؛ ما و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونگ، ۲۰۱۶)، رفتار سیستم‌های هیدرولوژیکی ارتباط نزدیکی با وسعت، تداوم، و ذوب برف دارند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۲۴). برف همچون مخزن موقت آب عمل می‌کند که برای تأمین آب در بسیاری از نواحی حیاتی است (شاهرودی، ۲۰۱۴: ۶۳۸). ذوب فصلی برف، به‌طور مکرر، با حفظ جریان رودخانه‌ها و شارژ سفره‌های زیرزمینی در فصول خشک سبب تأمین آب میلیاردها مصرف‌کننده پایین دست می‌شود (میریعقوب‌زاده و قنبرپور، ۱۳۸۹: ۱۴۱). به همین دلیل، اطلاعات برف، به‌ویژه در نواحی کوهستانی که پوشش برف برای مدتی طولانی‌تر باقی می‌ماند و ذوب آن عرضه آب برای جمعیت پایین دست را فراهم می‌کند، بسیار مهم است (گاورو و باردوسی، ۲۰۰۹: ۱۳۶). پایش پوشش سطح برف راهکاری مناسب برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی این پدیده اقلیمی و همچنین توزیع بارش منطقه‌ای است. پوشش برف می‌تواند با استفاده

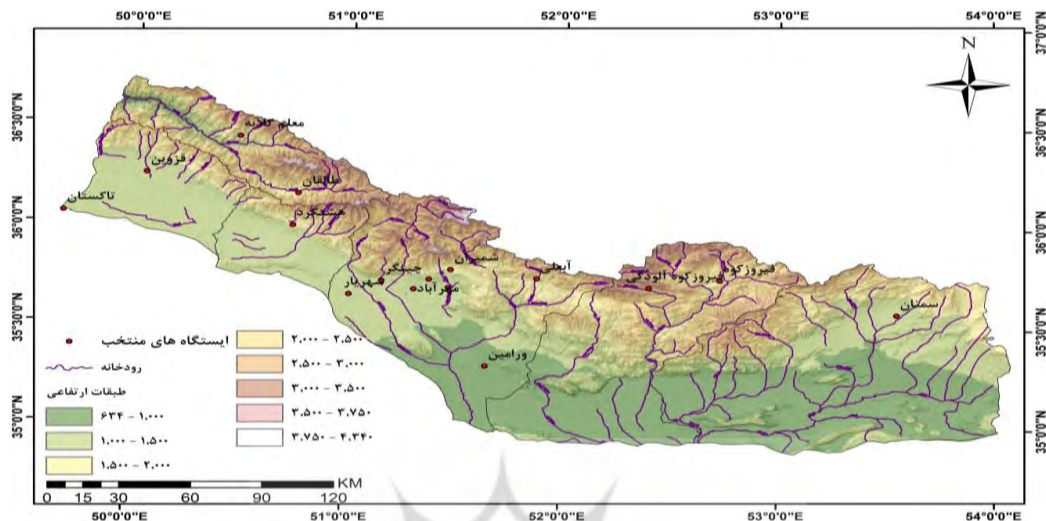
از ایستگاه‌های اندازه‌گیری، مدل‌سازی، فناوری دورسنجی، و برنامه‌های کاربردی سنجش شود (لیندسی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۲۹۶۲). ایستگاه‌های زمینی هرچند اطلاعات دقیقی از مکان اندازه‌گیری در اختیار قرار می‌دهند، از نظر مقیاس فضایی، همواره با محدودیت مواجه‌اند؛ زیرا در بسیاری از نقاط جهان نمی‌توان با استفاده از شبکه پراکنده ایستگاه‌های هواشناسی اطلاعات کافی به منظور تولید داده‌های بلندمدت برف در مقیاس مکانی تهیه کرد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۴۶). ویژگی‌های مکانی و زمانی برف را هرچند می‌توان از طریق مدل‌سازی نیز پایش کرد، به دلیل فقدان اطلاعات از نظر شرایط اولیه، دقت، و صحت نتایج مدل‌سازی پایین است (گارن و مارکس، ۲۰۰۵: ۱۲۷). طی دهه‌های اخیر با پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در زمینه دورسنجی، برخی از مشکلات مربوط به اندازه‌گیری برف، همچون پراکنده‌گی نامناسب ایستگاه‌ها، دسترسی‌نداشتن به اطلاعات مناطق با ارتفاع زیاد، و داده‌های گم‌شده تا حدودی مرتفع شده است. البته، ویژگی‌های برف همچون آلبیدوی بسیار بالای برف در مقایسه با سایر سطوح طبیعی، بازتاب بالای برف در محدوده مرئی، و انعکاس پایین در باند مادون قرمز نزدیک شناسایی برف با استفاده از دورسنجی را آسان‌تر می‌کند (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳۰). در حال حاضر، انواع حس‌گرهای ماهواره‌ای از جمله AVHRR (رامسی، ۱۹۹۸)، MODIS (هال و همکاران، ۲۰۰۲)، GEOS (رومانف، ۲۰۰۳)، و MERIS (مالچر و همکاران، ۲۰۰۳) برای پایش برف در دسترس‌اند و از آن‌ها به‌طور گسترده برای بررسی نوسانات و تغییرات پوشش برف در سطح جهانی استفاده می‌شود. سنجنده مودیس به دلیل پوشش فضایی جهانی با دقت مکانی مناسب و پوشش مکرر زمانی در مقیاس‌های مختلف بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. با استفاده از تصاویر این سنجنده، تغییرپذیری زمانی و مکانی پوشش برف (یادل و همکاران، ۲۰۱۱؛ بورمن و همکاران، ۲۰۱۲؛ کان جیان و همکاران، ۲۰۱۲؛ دای و چی، ۲۰۱۴؛ کاستادینف و همکاران، ۲۰۱۵؛ تهیر و همکاران، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶) و تغییرات زمان ذوب برف (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳؛ دایتز و همکاران، ۲۰۱۴؛ ددیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ جوشی و همکاران، ۲۰۱۵) در بسیاری از نقاط جهان مطالعه شده است. مطالعه تغییرات مکانی و زمانی پوشش‌های برف با استفاده از پایگاه داده‌های مختلف و روش‌های جدید هرچند برای عرض‌های جغرافیایی بالا، که تغییرات درجه حرارت محسوس‌تر است، از اهمیت زیادی برخوردار است، برای کشورهای خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران، که تغییرات زمانی و مکانی بارش آن شدید و همواره از کمبود آب رنج می‌برد، دوچندان است؛ زیرا پوشش برف منبع اصلی آب شیرین در بیشتر نقاط ایران است؛ به‌طوری‌که حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر جریان دارد (نماب، ۱۳۷۵: ۱۳۱). اهمیت زیاد پوشش‌های برف در تأمین منابع آبی ایران و از طرف دیگر قابلیت بالای تکنیک‌ها و داده‌های دورسنجی سبب اجرای پژوهش‌های مختلف در این زمینه شده است. در ایران نیز، همانند سایر نقاط جهان، تغییرات مکانی-زمانی پوشش برف (فتاحی و وظیفه‌دوست، ۱۳۹۰؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ طاهری و ارکیان، ۱۳۹۲؛ میرموسوی و صبور، ۱۳۹۳) و تغییرات ذوب برف و مدل‌سازی رواناب (نجفی و همکاران ۱۳۸۶) در ارومیه، رسولی و ادهمی (۱۳۸۶) در حوضه آبی‌چای، میریعقوب‌زاده و قنبرپور (۱۳۸۹) در حوضه سد کرج، داداشی و همکاران (۱۳۹۳) در استان تهران و صابری و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه سیمین‌دشت) با استفاده از تصاویر و محصولات مودیس به‌صورت موردی و در مدت‌زمان کوتاه انجام شده است. جدی‌ترین پژوهش داخلی مرتبط با پوشش برف را کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵) انجام دادند. آن‌ها با استفاده از محصول برف مودیس، طی دوره ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲، واقعیت‌هایی از ارتباط روزهای برف‌پوشان و خصوصیات فیزیوگرافی همچون ارتفاع، شیب، و جهت شیب در ایران را به نمایش گذاشتند. البرز مرکزی حجیم‌ترین و مرتفع‌ترین ناحیه کوهستانی شمال کشور است که رودهای مهم و پُرابی از جمله جاجرود، کرج، و طالقان در دامنه‌های جنوبی آن جریان دارند. هیدرو اقلیم این ناحیه به‌شدت تحت تأثیر پوشش فصلی برف قرار دارد و بخش درخور توجهی از کل رواناب سالانه حاصل ذوب برف است. نیاز آبی این ناحیه از کشور به دلیل تراکم جمعیتی بسیار زیاد (بیش از ۲۰ درصد جمعیت کشور) و تمرکز صنایع متعدد بسیار بالاست. از این‌رو، پوشش برف نقش حیاتی در عرضه آب برای مصارف مختلف و تولید برق آبی

دارد. تغییرات حجم برف در این منطقه، از طریق اثرگذاری بر دسترسی آب، رفاه انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین مطالعه تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف برای بهبود مدیریت منابع آب پایین دست در این منطقه ضروری است. تحقیقات مرتبط با برف را در این ناحیه به صورت اندازه‌گیری‌های پراکنده و موردی سازمان مدیریت منابع آب یا محققان در مقیاس زیرحوضه‌ای و دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و عمدتاً در غالب مدل‌سازی آب معادل برف انجام داده‌اند و اطلاع جامعی از پوشش برفی بلندمدت آن (بیش از ده سال) وجود ندارد. علاوه بر این، به نظر می‌رسد هنوز محصولات برف‌سنجنده مودیس در کشور برای یک دوره مستمر چندساله به وسیله ایستگاه‌های زمینی ارزیابی نشده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقت محصولات برف‌سنجنده مودیس و ترکیب داده‌های دورسنجی و ایستگاهی به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی و در نهایت ارتباط این تغییرات با عناصر اقلیمی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، از داده‌های ۱۶ ایستگاه همدید واقع در منطقه مورد مطالعه و داده‌های سنجنده مودیس استفاده شد. بدین منظور، نخست، برای استخراج پوشش برف، محصولات MOD10A1 و MOD10A2 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی 500×500 متر و فرمت hdf طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۵ از مرکز ملی داده‌های برف و یخ (NSIDC) ناسا دریافت شد. تصاویر MOD10A2 از اول ژانویه تا دوم ژوئن و از اول اکتبر تا ۲۷ دسامبر برای هر سال (۳۱ تصویر) و در مجموع شامل ۴۶۵ تصویر (۳۱×۱۵) است. برای ارزیابی دقت تصاویر و بررسی ارتباط تغییرات پوشش برف با عناصر اقلیمی، داده‌های عمق برف، بارش، و دما در مقیاس ساعتی و ماهانه برای ایستگاه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه (شکل ۱ و جدول ۱) از سازمان هواشناسی کشور دریافت و پردازش شد. همچنین، به منظور بررسی تغییرات پوشش برف در ارتفاعات مختلف، از مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۵۰ متر تهیه‌شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شد. در محصولات برف مودیس برای آشکارسازی پوشش برف از شاخص NDSI استفاده می‌شود. الگوریتم به کارگرفته‌شده برای تشخیص و استخراج برف در این محصولات را هال (2002) کاملاً شرح داده است. از آنجا که در این محصولات، علاوه بر برف، سایر پدیده‌ها نظیر ابر (کد ۵۰) و زمین بدون برف (کد ۲۵) تفکیک‌شدنی است، به منظور تفکیک پیکسل‌ها و استخراج پوشش برف، تصاویر دریافتی در محیط نرم‌افزار GIS پردازش و کد عددی مرتبط با برف (۲۰۰) از سایر کدها جدا شد. سپس، به منظور ارزیابی تصاویر، محصول روزانه این سنجنده (MOD10A1) برای زمستان‌های (دسامبر- فوریه) ۲۰۰۷-۲۰۰۹ (۲۶۷ تصویر) پردازش شد و دقت آن‌ها با داده‌های عمق برف ایستگاهی ارزیابی شد. چنانچه عمق برف در ایستگاه یک سانتی‌متر و بیشتر باشد، پیکسل واقع در محل ایستگاه به‌عنوان پوشش برف و در غیر این صورت به‌عنوان بدون برف در نظر گرفته شد. با توجه به محدودیت ناشی از وجود ابر در مرحله دوم عملیات ارزیابی با حذف روزهای ابری انجام شد. درجه کلی توافق بین تصویر و ایستگاه با استفاده از ضریب ارائه‌شده توسط پاراجکا و بلاش (۲۰۰۶) نشان داده شد. این ضریب به صورت تعداد روزهای طبقه‌بندی صحیح (برف- برف و بدون برف- بدون برف) تقسیم بر تعداد کل روزهای هر ماه (در مرحله دوم تعداد روزهای بدون ابر هر ماه) بر حسب درصد برای هر ایستگاه تعریف شد. همچنین، پس از حذف روزهای ابری، چنانچه تصویر زمین بدون برف را به‌عنوان برف شناسایی نموده، خطای بیش‌برآوردی و در حالت برعکس خطای کم‌برآوردی در نظر گرفته شد. برای پایش بلندمدت پوشش برف از تصاویر هشت‌روزه (MOD10A2) استفاده شد. در این تصاویر چنانچه پوشش برف حتی در یک روز از دوره مشاهده شود، آن پیکسل به‌عنوان برف شناسایی و به‌عنوان حداکثر وسعت پوشش برف در نظر گرفته می‌شود. اگر برفی مشاهده نشود، پوششی که دارای بیشترین تکرار باشد به‌عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به منطق حداقل‌رسانی ابرناکی، پیکسلی ابری شناسایی می‌شود که تمام هشت روز پوشیده از ابر باشد (ریگس و همکاران، ۲۰۰۶). در این مرحله نیز با جداسازی کد مرتبط با برف (۲۰۰) در محیط

نرم‌افزار GIS، مساحت پهنه برفی در هر تصویر استخراج شد. در نهایت، پس از پایش پوشش برف، روند تغییرپذیری آن به وسیله آزمون رگرسیون خطی و من-کندال ارزیابی شد. همچنین، برای بررسی ارتباط ناهنجاری‌های پوشش برف و شرایط اقلیمی منطقه از شاخص نمره استاندارد (Z index) استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع | تاریخ تأسیس | دوره مشترک | متوسط سالانه روزهای برفی طی دوره مشترک |
|-----------------|---------------|---------------|--------|-------------|------------|--|
| چیتگر | ۳۵٫۴۴ | ۵۱٫۱ | ۱۳۰۵٫۲ | ۱۹۹۶ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۹٫۴ |
| دوشان تپه | ۳۵٫۴۲ | ۵۱٫۲ | ۱۲۰۹٫۲ | ۱۹۷۲ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۸٫۶ |
| شمیران | ۳۵٫۴۸ | ۵۱٫۲۹ | ۱۵۴۹٫۱ | ۱۹۸۸ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۲۱٫۳ |
| آبلی | ۳۵٫۴۵ | ۵۱٫۵۳ | ۲۴۶۵٫۲ | ۱۹۸۳ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۵۱ |
| شهریار | ۳۵٫۴ | ۵۱٫۰۱ | ۱۱۶۲٫۹ | ۲۰۰۷ | ** | - |
| فیروزکوه | ۳۵٫۵۵ | ۵۲٫۵ | ۱۹۷۵٫۶ | ۱۹۹۳ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۲۳٫۳ |
| فیروزکوه آلودگی | ۳۵٫۴۳ | ۵۲٫۲۴ | ۲۹۸۵٫۷ | ۱۹۹۵ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۴۸٫۶ |
| ورامین | ۳۵٫۱۹ | ۵۱٫۳۹ | ۹۷۳ | ۲۰۰۷ | ** | - |
| ژئوفیزیک | ۳۵٫۴۴ | ۵۱٫۲۲ | ۱۴۱۸٫۶ | ۱۹۹۱ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۱۳٫۷ |
| مهرآباد | ۳۵٫۴۱ | ۵۱٫۱۹ | ۱۱۹۰٫۸ | ۱۹۵۱ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۱۱٫۲ |
| معلم کلايه | ۳۶٫۲۶ | ۵۰٫۲۹ | ۱۶۲۹٫۲ | ۲۰۰۱ | ** | - |
| قزوین | ۳۶٫۱۵ | ۵۰٫۰۳ | ۱۲۷۹٫۱ | ۱۹۵۹ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۱۸٫۲ |
| تاکستان | ۳۶٫۰۳ | ۴۹٫۴ | ۱۲۸۲٫۴ | ۲۰۰۴ | ** | - |
| طالقان | ۳۶٫۱ | ۵۰٫۴۶ | ۱۸۵۷ | ۲۰۰۸ | ** | - |
| هشتگرد | ۳۶ | ۵۰٫۴۵ | ۱۶۱۳ | ۲۰۰۶ | ** | - |
| سمنان | ۳۵٫۳۵ | ۵۳٫۳۳ | ۱۱۳۰٫۸ | ۱۹۶۵ | ۲۰۱۲-۲۰۰۱ | ۵٫۹ |

** ایستگاه‌هایی که فقط برای ارزیابی تصاویر استفاده شده‌اند.

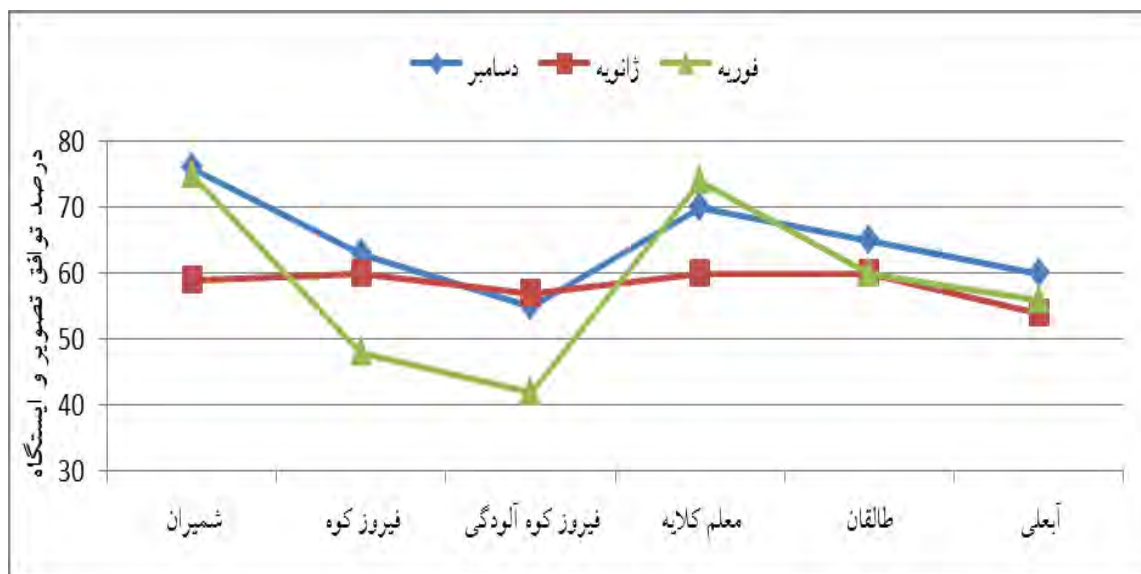
یافته‌های تحقیق

ارزیابی تصاویر

امروزه به‌طور گسترده‌ای از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش محیط و شناخت تغییرات استفاده می‌شود. هرچند این تصاویر مزایای گوناگونی دارند، اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم محدودیت اصلی آن‌ها به‌شمار می‌رود. از این‌رو، استفاده از آن‌ها قبل از هر چیز نیازمند ارزیابی و بررسی دقت بر اساس اطلاعات مستقیم مکانی است. همان‌طور که در روش تحقیق بیان شد، برای ارزیابی دقت تصاویر از درصد توافق بین مشاهدات زمینی و تصویر استفاده شده است. جدول ۲ نتایج ارزیابی تصاویر روزانه محصول برف‌سنجنده مودیس را در مقابل داده‌های مشاهداتی عمق برف در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. درصد توافق بین داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای برای سه ماه پُربرف به‌ترتیب از دسامبر تا فوریه ۸۱، ۶۷ و ۷۵ درصد است. در واقع، میزان خطای تصاویر از ۳۳ تا ۱۹ درصد در نوسان است. البته، نتایج این جدول حاصل میانگین همه ایستگاه‌های مورد استفاده است و در نواحی برف‌خیز امکان دارد حتی میانگین دقت تصاویر تا ۴۰ درصد نیز کاهش یابد (شکل ۲). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، خطاهای موجود در بیشتر مواقع ناشی از وجود ابر در محل پیکسل ایستگاه است. از این‌رو، مرحله دوم ارزیابی با حذف روزهای ابری انجام شد. نتایج نشان می‌دهد در این مرحله دقت تصاویر به‌مراتب افزایش یافته و درصد توافق برای هر سه ماه به بیش از ۹۵ درصد می‌رسد؛ که مقداری بسیار مناسب است. در این مرحله، غالب خطاهای باقی‌مانده نیز از نوع کم‌برآوردی است و بیشتر در ایستگاه‌های پایین‌دست مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه این ایستگاه‌ها در کنار شهرها قرار دارند، ممکن است کم‌برآوردی تصاویر نسبت به ایستگاه به دلیل ویژگی‌های همگن‌تر محل استقرار ایستگاه و پایداری بیشتر برف نسبت به اطراف ایستگاه (محیط شهری) باشد. حالت‌های بیش‌برآوردی بیشتر در ایستگاه طالقان مشاهده می‌شود. این منطقه به وسیله ارتفاعات محاصره شده و در زمستان پوشیده از برف است، بنابراین، احتمال وجود برف در اطراف ایستگاه و در مقابل ذوب برف در محل ایستگاه وجود دارد. در مجموع، دقت محصول برف‌سنجنده مودیس برای استخراج پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز، به‌ویژه پس از حذف ابر، بسیار مناسب و پذیرفتنی است. از این‌رو، با توجه به جابه‌جایی ابرها، از محصول هشت‌روزه این سنجنده برای پایش و بررسی تغییرات پوشش برف استفاده شد.

جدول ۲. درصد توافق تصاویر MOD10A1 با داده‌های ایستگاهی در منطقه مورد مطالعه (زمستان‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹)

| ماه | همه روزها | بدون روزهای ابری | کم‌برآوردی | بیش‌برآوردی |
|--------|-----------|------------------|------------|-------------|
| دسامبر | ۸۱ | ۹۶ | ۳٫۵ | ۰٫۲ |
| ژانویه | ۶۵ | ۹۵ | ۴٫۷ | ۰٫۲ |
| فوریه | ۷۵ | ۹۵٫۸ | ۳٫۷ | ۰٫۵ |



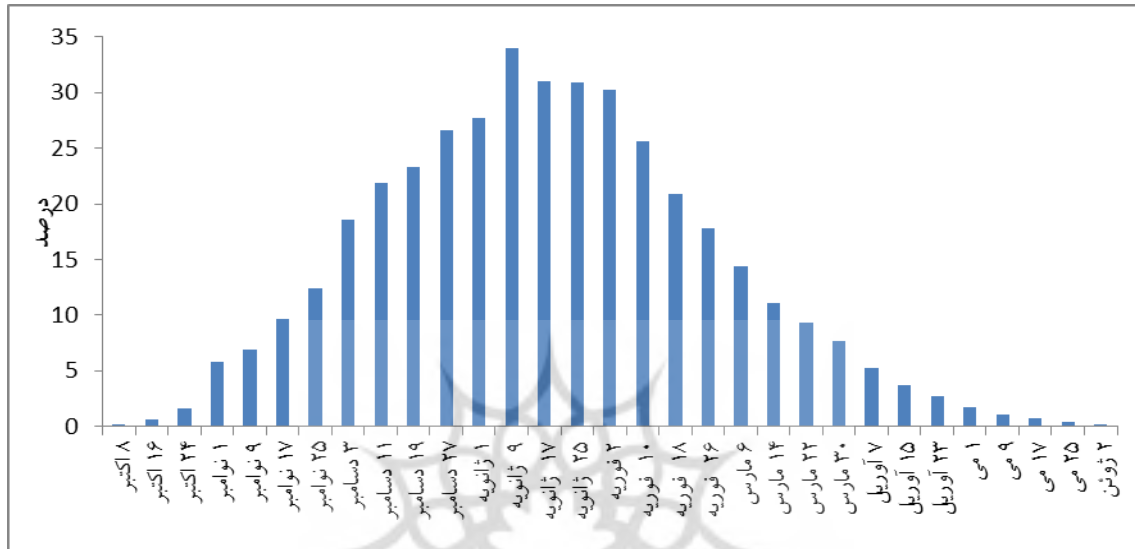
شکل ۲. دقت تصاویر MOD10A1 در ایستگاه‌های برف خیز منطقه مورد مطالعه (زمستان‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹)

پوشش برف و روند تغییرات آن

شکل ۳ میانگین پانزده ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۵) درصد مساحت پوشش برف در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ریزش برف در منطقه از اکتبر شروع شده و همراه با کاهش دمای هوا تجمع برف افزایش یافته است و در تصویر ۹ ژانویه به حداکثر مقدار خود، یعنی ۱۲۰۷۳ کیلومتر از ۳۵۵۰۸ کیلومتر مربع (۳۴ درصد)، می‌رسد. پس از آن، با افزایش تدریجی دما، روند کاهش پوشش برف شروع می‌شود و سرانجام در اوایل ژوئن تقریباً به صفر درصد می‌رسد. رفتار دبی ماهانه منطقه نیز نشان می‌دهد هم‌زمان با شروع دوره ذوب برف (اسفند) حجم آب‌ها افزایش می‌یابد که در اردیبهشت‌ماه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بنابراین، آب حاصل از ذوب برف نقش بسزایی در تأمین آب، به‌ویژه در فصول خشک، سال دارد. ژانویه و فوریه به ترتیب با ۳۱/۴ و ۲۵/۶ درصد بیشترین پوشش برفی ماهانه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین و کمترین پوشش برفی این دو ماه به ترتیب با ۷۶/۲ درصد و ۹/۷ درصد متعلق به ۹ ژانویه ۲۰۰۸ و ۲ فوریه ۲۰۱۵ است. در مقیاس فصلی، بیشترین و کمترین پوشش برف در پاییز ۲۰۰۶ (۱۶ درصد) و ۲۰۱۰ (۳/۶ درصد)، زمستان ۲۰۰۸ (۴۰/۵ درصد) و ۲۰۱۰ (۱۴ درصد) و بهار ۲۰۰۷ (۵/۳ درصد) و ۲۰۰۸ (۰/۷ درصد) مشاهده می‌شود. در مقیاس سالانه، سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ با متوسط ۱۸/۵ و ۱۷/۱ درصد از بیشترین و سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۱ با متوسط ۷ و ۱۰ درصد از کمترین پوشش برفی برخوردارند. جدول ۳ نتایج حاصل از محاسبه ضریب تغییرات پوشش برف نسبت به ارتفاع را در سطح منطقه مورد مطالعه و در طبقات ارتفاعی مختلف نشان می‌دهد. مقدار این ضریب در طبقات کمتر از ۱۵۰۰ متر بسیار شدید است؛ در حالی که برای زون‌های بالای ۲۵۰۰ متر طی پاییز و زمستان کمتر از ۲۰ درصد است. در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه درصد پوشش برف در طبقات کمتر از ۱۵۰۰ متر بسیار محدود و ضریب تغییرات نیز از میزان بسیاری برخوردار بود، در بررسی نهایی روند پوشش برف، طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر حذف شد.

سری زمانی فصلی (شکل ۴) نشان می‌دهد پوشش برف در همه زون‌های ارتفاعی، به‌ویژه طبقات ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، طی پانزده سال اخیر رو به کاهش است، اما مقدار آن چندان درخور توجه نیست و از سطح معناداری برخوردار نیست. عدم معناداری روند پوشش برف هر فصل با آزمون رگرسیون در جدول ۴ تأیید شده است. در فصل پاییز، شیب خط برای مناطق کمتر از ۲۵۰۰ متر منفی، اما در مناطق بیش از این ارتفاع مثبت است. این شیب منفی در زمستان تا نواحی کمتر از ۳۰۰۰ متر نیز مشاهده می‌شود. در مقایسه با پاییز، در این فصل شیب مثبت خط رگرسیون در نواحی مرتفع به سطح

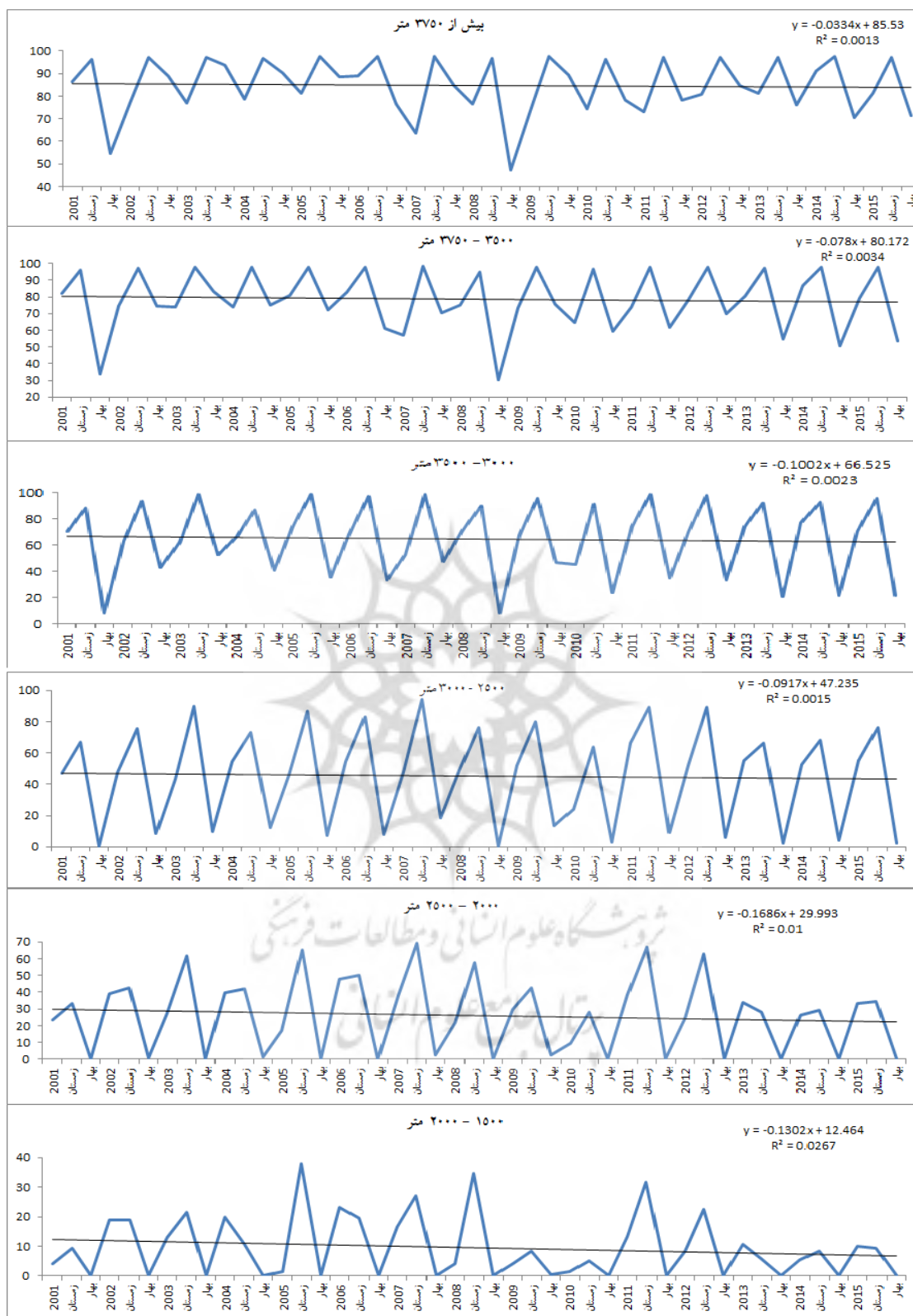
معناداری نزدیک‌تر است؛ هرچند از آن فاصله زیادی دارد و در بهترین حالت در طبقه ارتفاعی بیش از ۳۷۵۰ متر به ۰٫۱۶ رسیده است. به عبارتی دیگر، افزایش جزئی پوشش برف در نواحی مرتفع طی فصل زمستان بیشتر از فصل پاییز است. در فصل بهار، به استثنای مناطق کمتر از ۲۰۰۰ متر (که تقریباً هیچ روندی ندارند)، در سایر طبقات ارتفاعی روند پوشش برف رو به کاهش است؛ زیرا شیب خط رگرسیون منفی است. البته در این فصل، همچون دو فصل دیگر، روند پوشش برف معنادار نیست.



شکل ۳. میانگین پوشش برفی منطقه مورد مطالعه بر حسب درصد (۲۰۱۵-۲۰۰۱)

جدول ۳. درصد ضریب تغییرات پوشش برف منطقه به تفکیک طبقات ارتفاعی (۲۰۱۵-۲۰۰۱)

| طبقات ارتفاعی | پاییز | زمستان | بهار |
|---------------|-------|--------|--------|
| ۴۳۰۰-۳۷۵۰ | ۸٫۶۸ | ۰٫۴۳ | ۱۶٫۸۴ |
| ۳۷۵۰-۳۵۰۰ | ۹٫۷۸ | ۰٫۹۲ | ۲۴٫۸۵ |
| ۳۵۰۰-۳۰۰۰ | ۱۲٫۷۱ | ۴٫۳۲ | ۴۳٫۵۸ |
| ۳۰۰۰-۲۵۰۰ | ۱۸ | ۱۲٫۵۵ | ۷۲٫۸۸ |
| ۲۵۰۰-۲۰۰۰ | ۳۳٫۲۳ | ۳۱٫۹ | ۱۴۱٫۶۷ |
| ۲۰۰۰-۱۵۰۰ | ۶۸٫۱۸ | ۶۰٫۹۴ | ۱۷۱٫۱۷ |
| ۱۵۰۰-۱۰۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰٫۵ | ۸۰٫۱۲ |
| ۱۰۰۰-۶۰۰ | ۱۳۱٫۸ | ۲۳۰٫۳۴ | ۱۵۴٫۳۲ |
| کل منطقه | ۲۹ | ۳۱٫۱۷ | ۴۸٫۲۴ |



شکل ۴. روند درصد پوشش برف (فصلی) زون‌های ارتفاعی منطقه طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۱

جدول ۴. آزمون روند پوشش فصلی برف منطقه مطالعاتی با روش رگرسیون خطی

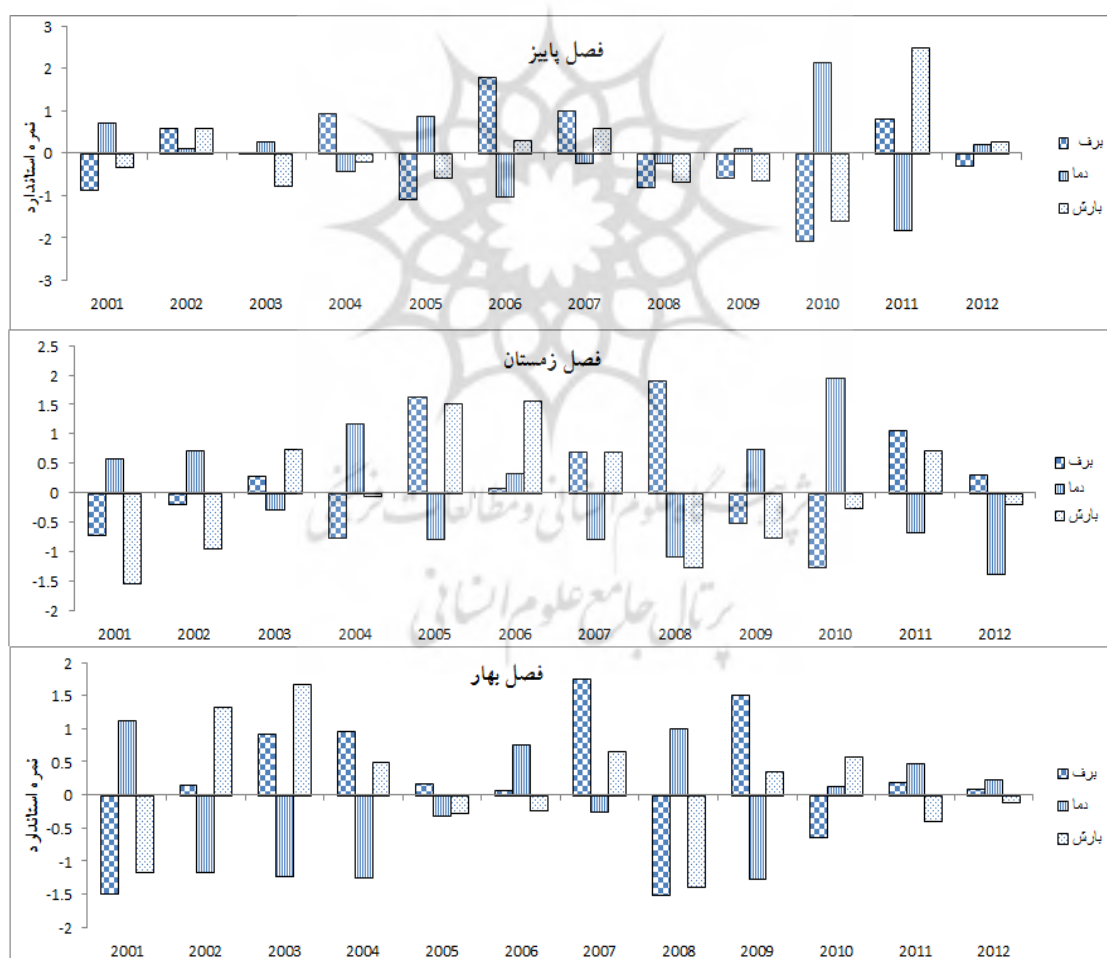
| فصل بهار | | | فصل زمستان | | | فصل پاییز | | | طبقات ارتفاعی (متر) |
|----------|------|--------|------------|------|--------|-----------|------|--------|---------------------|
| p-value | R | شیب خط | p-value | R | شیب خط | p-value | R | شیب خط | |
| ۰/۸۳ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۲ | ۰/۳۹ | ۰/۲۴ | -۰/۵۸ | ۰/۳۵ | ۰/۲۵ | -۰/۴ | ۲۰۰۰-۱۵۰۰ |
| ۰/۵۶ | ۰/۱۶ | -۰/۰۳ | ۰/۴ | ۰/۲۳ | -۰/۷۹ | ۰/۷۸ | ۰/۰۷ | -۰/۱۷ | ۲۵۰۰-۲۰۰۰ |
| ۰/۳۵ | ۰/۲۵ | -۰/۲۹ | ۰/۶۵ | ۰/۱۲ | -۰/۲۷ | ۰/۳۴ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۳۰۰۰-۲۵۰۰ |
| ۰/۲۹ | ۰/۲۹ | -۰/۸۹ | ۰/۴۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۷ | ۰/۴ | ۰/۲۳ | ۰/۴۴ | ۳۵۰۰-۳۰۰۰ |
| ۰/۴۵ | ۰/۲۱ | -۰/۷۲ | ۰/۳۲ | ۰/۲۷ | ۰/۰۵ | ۰/۶۵ | ۰/۱۲ | ۰/۲۱ | ۳۷۵۰-۳۵۰۰ |
| ۰/۵۹ | ۰/۱۵ | -۰/۴۴ | ۰/۱۶ | ۰/۳۷ | ۰/۰۳ | ۰/۷۷ | ۰/۰۸ | ۰/۱۲ | بیش از ۳۷۵۰ |

به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرپذیری پوشش برف، روند زمانی داده‌های ماهانه نیز با استفاده از آزمون من- کندال ارزیابی شد (جدول ۵). در اکتبر (به‌جز مناطق کم‌ارتفاع) و به‌ویژه نوامبر، روند پوشش برف مخصوصاً در زون‌های ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر در حال افزایش است؛ هرچند این افزایش معنادار نیست. در دسامبر تغییرات محسوسی در پوشش برف بیشتر طبقات ارتفاعی مشاهده نمی‌شود و به‌جز مناطق بیش از ۳۷۵۰ متر، که از شیب ضعیف تا متوسط افزایشی برخوردار است، در سایر طبقات نمرات من- کندال در حوالی صفر است. در ماه‌های پُربرف منطقه، یعنی ژانویه و فوریه، به‌جز نواحی بسیار مرتفع، روند پوشش برف منفی است. این روند کاهشی به‌خصوص در ژانویه و در زون‌های ارتفاعی کمتر از ۳۵۰۰ متر در حال رسیدن به سطح معناداری است. روند پوشش برف در ماه مارس برای همه زون‌های ارتفاعی مثبت است؛ این افزایش برای طبقات ۱۵۰۰ تا ۰۲۰۰ متر و بیش از ۳۷۵۰ متر در حال نزدیک شدن به سطح معناداری است. در آوریل نیز روند ضعیف کاهشی برای زون‌های ارتفاعی بیش از ۲۵۰۰ متر مشاهده‌شدنی است. پوشش برفی ماه می نسبت به سایر ماه‌های سال طی دوره مورد مطالعه کاهش چشم‌گیری داشته است؛ به‌طوری‌که مقدار روند از ارتفاع ۲۵۰۰ متر به بالا با شیب متوسط تا شدیدی کاهش یافته است. روند کاهشی این ماه در طبقات ارتفاعی ۳۰۰۰ تا ۳۷۵۰ متر (که بیشترین حجم ذخیره پوشش برفی در این ماه به آن‌ها اختصاص دارد) به سطح معناداری رسیده و در نواحی بیش از ۳۷۵۰ متر نیز به سطح معناداری بسیار نزدیک است. این شرایط موجب شده روند پوشش برف کل منطقه مطالعاتی در این ماه به نمره $-۲/۱۸$ برسد که در سطح ۹۵ درصد معنادار است. در مجموع، بررسی روندهای ماهانه نشان می‌دهد پوشش برف در پاییز (به‌ویژه نوامبر) و اواخر زمستان رو به افزایش و در ماه‌های ژانویه، فوریه، و به‌ویژه طی فصل بهار به میزان فزاینده‌ای در حال کاهش است. این وضعیت نشان‌دهنده کوتاه‌شدن دوره تداوم پوشش برفی و شروع زود هنگام دوره ذوب آن است. با توجه به اینکه کاهش روند در محدوده ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۷۵۰ متر (عمده مساحت برف خیز منطقه) بیش از سایر مناطق است، می‌توان گفت پوشش برفی در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی در حال کاهش و پس‌روی است.

جدول ۵. آزمون روند ماهانه پوشش برف منطقه مطالعاتی با روش من- کندال

| می | آوریل | مارس | فوریه | ژانویه | دسامبر | نوامبر | اکتبر | طبقة ارتفاعی |
|--------|-------|------|-------|--------|--------|--------|-------|--------------|
| ۰/۱ | ۰/۱۹ | ۱/۳۸ | -۰/۱۹ | -۱/۲۸ | -۰/۱۴ | -۰/۹ | ۰/۴۹ | ۲۰۰۰-۱۵۰۰ |
| ۰/۴۰ | ۰ | ۰/۸۹ | -۰/۷۹ | -۱/۲۸ | -۰/۱ | ۰/۱ | -۰/۲ | ۲۵۰۰-۲۰۰۰ |
| -۱/۳ | -۰/۷ | ۰/۱۸ | -۰/۸۹ | -۱/۷۸ | ۰ | ۱/۳۸ | ۱/۱ | ۳۰۰۰-۲۵۰۰ |
| *-۲/۱۸ | -۰/۸۹ | ۰/۳ | -۰/۷۹ | -۱/۶۸ | ۰/۱ | ۱/۱۸ | ۰/۸۹ | ۳۵۰۰-۳۰۰۰ |
| *-۱/۹۸ | -۰/۵ | ۰/۹۸ | ۰/۴۴ | -۰/۹۸ | ۰/۱۹ | ۰/۹ | ۰ | ۳۷۵۰-۳۵۰۰ |
| -۱/۷۸ | -۱/۱ | ۱/۲۹ | ۱/۲۳ | ۰/۹۹ | ۱/۲۸ | ۱/۱ | -۰/۱ | بیش از ۳۷۵۰ |
| *-۲/۱۸ | -۰/۱ | ۱ | -۰/۶۹ | -۱/۷۸ | -۰/۱ | ۰/۷۹ | ۰/۶۹ | کل منطقه |

هرچند غالب ایستگاه‌های منطقه در ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر قرار دارد و حتی در نواحی بیش از ۳۰۰۰ متر هیچ ایستگاهی وجود ندارد، مقایسه میانگین بارش و دمای همه ایستگاه‌ها و درصد پوشش برف کل منطقه مورد مطالعه (شکل ۵) نشان می‌دهد در بیشتر مواقع ناهنجاری‌های مثبت پوشش برف با ناهنجاری مثبت بارش و ناهنجاری منفی دما تطابق دارد. به عبارت دیگر، با کاهش دما و افزایش بارش، احتمال افزایش پوشش برف بیشتر است. البته در بعضی مواقع (زمستان ۲۰۰۸) ممکن است، ضمن ناهنجاری منفی بارش، به واسطه ناهنجاری شدید منفی دما، پوشش برف ماندگاری بیشتری داشته باشد و مقدار آن افزایش یابد. در بعضی مواقع، ناهنجاری مثبت بارش می‌تواند موجب کاهش پوشش برف شود (بهار ۲۰۱۰)؛ زیرا باران گرم سبب ذوب برف ارتفاعات می‌شود. همچنین، در فصل بهار ممکن است ناهنجاری منفی بارش، حتی در صورت ناهنجاری مثبت دما، موجب افزایش پوشش برف شده باشد؛ زیرا کاهش بارش در آن موقع از سال سرعت ذوب برف را کاهش می‌دهد (بهار ۲۰۱۱). البته، در ارتباط با ناهنجاری پوشش برف فصل بهار به میزان برف در فصل زمستان نیز باید توجه کرد. حالتی دیگر که در ماه‌های سرد، نظیر دسامبر و ژانویه، مشاهده می‌شود، بدین صورت است که ناهنجاری منفی دما، چنانچه با ناهنجاری منفی بارش همراه باشد، می‌تواند موجب کاهش پوشش برف شود (دسامبر ۲۰۰۸)؛ زیرا در این ماه‌ها دمای هوا در ارتفاعات غالباً کمتر از صفر درجه است؛ اما کمبود بارش سبب کاهش ریزش برف می‌شود.



شکل ۵. ناهنجاری فصلی پوشش برف، دما، و بارش در منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص Z

نتیجه‌گیری

کاهش منابع آب در اثر تغییر اقلیم مسئله جدی زیست‌محیطی دهه‌های اخیر به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک جهان است. در این مناطق آب قابل دسترس عمدتاً از مناطق کوهستانی، که دارای بارش بیشتری هستند، تأمین می‌شود و از آنجا که ریزش‌های جامد به صورت جریان‌های تأخیری در فصول پُربابی و جریان‌های کمینه در فصول کم‌آبی نقش ارزنده‌ای در تأمین آب ایفا می‌کنند، آگاهی از ذخیره پوشش برفی و شناخت تغییرات مکانی و زمانی آن بسیار مهم است. از این‌رو، در مطالعه حاضر به کمک روش‌های ماهواره‌ای و آماری به مطالعه وضعیت پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی و روند تغییرات آن پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی دقت تصاویر ماهواره‌ای نشان داد محصول روزانه برف‌سنجنده مودیس توانایی مناسبی در برآورد مساحت پوشش برفی منطقه مطالعاتی دارد. اما وجود ابر بر روی تصاویر یکی از محدودیت‌های اصلی استفاده از محصول MOD10A1 است؛ به‌طوری‌که در پژوهش حاضر، پس از حذف روزهای ابری، متوسط دقت این تصاویر از ۶۷ درصد به بیش از ۹۵ درصد (جدول ۲) و حتی در ایستگاه‌های برف‌خیز به ۱۰۰ درصد رسیده است. خطاهای حاصله این سنجنده نیز بیشتر از نوع کم‌برآوردی است. از آنجا که ابرها به سرعت در حال تغییر و روزانه جابه‌جا می‌شوند، تغییرات برف تدریجی است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای پایش بلندمدت پوشش برف از تصاویر هشت‌روزه (MOD10A2) این سنجنده استفاده شود. نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های پاراجکا و بلاش (۲۰۰۶) در اتریش و سورمان و همکاران (۲۰۰۷) در ترکیه همسو است. نتایج پایش پوشش برف نشان داد ریزش و تجمع برف از اکتبر شروع می‌شود و در بیشتر سال‌ها تا اواخر ماه می تداوم می‌یابد که در اوایل ژانویه به حداکثر مقدار خود می‌رسد (شکل ۳). در مقیاس ماهانه، ژانویه و فوریه از بیشترین مساحت پوشش برف برخوردارند. از نظر مکانی، تداوم و وسعت پوشش برف از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. همان‌طور که تعداد روزهای برفی در ایستگاه‌های غربی بیش از شرقی است، حوضه‌های رودخانه شاهرود و کرج از درصد پوشش برف بیشتری نسبت به حوضه‌های سمنان و حبله‌رود نیز برخوردارند. نتایج روند پوشش برف نشان می‌دهد هرچند برای بیشتر ماه‌ها و زون‌های ارتفاعی تغییرات پوشش برف دارای روند منفی است، به‌ندرت این روند کاهشی معنادار است. در تحقیقات مشابه نظیر تهیر و همکاران (۲۰۱۵ و ۲۰۱۶) در پاکستان، کاستادینف و همکاران (۲۰۱۵) در امریکا نیز به عدم معناداری روند تغییرات پوشش برف در بیشتر ماه‌ها اشاره شده است. در مقیاس زمانی برای کل منطقه مطالعاتی بیشترین روند افزایشی در مارس با نمره ۱ و شدیدترین روند کاهشی در ماه می با نمره ۲/۱۸- و از نظر مکانی بیشینه روند کاهشی در طبقات ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۷۵۰ متر مشاهده شد. کاهش معنادار پوشش برف بهاره نیمکره شمالی نیز تأیید شده است (RUGSL, 2011). مقایسه شرایط بارش و دما با وضعیت پوشش برف نشان داد در بیشتر سال‌ها ناهنجاری منفی پوشش برف با ناهنجاری مثبت دما و ناهنجاری منفی بارش هم‌زمان بوده است.

منابع

- ایلدرمی، ع.؛ حبیب‌نژاد، م.؛ صفری شاد، م. و دلال اوغلی، ع. (۱۳۹۴). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شاخص NDSI به منظور تهیه نقشه پوشش برف (مطالعه موردی: حوضه بهار)، *فضای جغرافیایی*، ۵: ۱۴۰-۱۲۵.
- طاهری، ح. و اراکیان، ف. (۱۳۹۲). بررسی تغییرپذیری تعداد روزهای برفی و عمق برف در ایران، *نیوار*، ۸۲-۸۳: ۵۸-۴۷.
- ابراهیمی، ه.؛ غیبی، ا. و ملکوتی، ح. (۱۳۹۱). روند تغییرات پوشش برف در مناطق برف‌خیز ایران با استفاده از داده‌های سنجنده مادیس، *نیوار*، ۷۹-۷۸: ۱۰-۳.
- تماب (۱۳۷۵). بولتن وضعیت آب کشور، ۸(۱۲): ۸۹۰.
- دادشی، م.؛ مختاری، م. و طیبیا، ع. (۱۳۹۳). محاسبه سطح برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی: استان تهران)، *اولین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی*، دانشگاه آزاد یزد.
- رسولی، ع.ا. و ادهمی، س. (۱۳۸۶). محاسبه آب معادل پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده مودیس، *جغرافیا و توسعه*، ۱۰: ۲۳-۳۶.

- فتاحی، ا. و وظیفه‌دوست، م. (۱۳۹۰). برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS مطالعه موردی: حوضه‌های استان گلستان، *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۰۲: ۱۶۸-۱۴۹.
- کیخسروی کیانی، م.ص. و مسعودیان، ا. (۱۳۹۵). واکاوی پیوند روزهای برف‌پوشان با ارتفاع، شیب، و وجه شیب در ایران زمین، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۱۴۸(۱): ۱-۱۴.
- میرموسوی، ح. و صبوری، ل. (۱۳۹۳). پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران، *جغرافیا و توسعه*، ۳۵: ۱۸۱-۲۰۰.
- میریعقوب‌زاده، م.ح. و قنبرپور، م.ر. (۱۳۸۹). بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در مدل‌سازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد کرج)، *علوم زمین*، ۷۶: ۱۴۸-۱۴۰.
- نجفی، ا.؛ قدوسی، ح.؛ تقفیان، ب. و پرهمت، ج. (۱۳۸۶). برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچای ارومیه، فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۲۰: ۱۷۷-۱۸۵.
- Bednorz, E. (2004). Snow cover in Eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation, *Int. J. Clim*, 24: 591-601.
- Bormann, K.; McCabe, M. and Evans, J. (2012). Satellite based observations for seasonal snow cover detection and characterization in Australia, *Remote Sensing of Environment*, 123: 57-71.
- CunJian, Y.; ZiJian, Z. and Jing, N. (2012). Temporal and spatial analysis of changes in snow cover in western Sichuan based on MODIS images, *Sci China Earth Sci*, 8: 1329-1335.
- Dadashi, M.; Mokhtari, M. and Tayeba, A. (2014). Calculate the area of snow cover using MODIS data (case study: Tehran Province), *The first Conference on Application of advanced spatial analysis models*, Islamic Azad University of Yazd.
- Dai, L. and Che, T. (2014). Spatiotemporal changes in snow cover from 1987 to 2011 in Northern China, *7th EARSeL LISSIG Workshop*, Bern.
- Dedieu, J.P.; Fontaine, A. and Ravazzani, G. (2014). Shifting mountain snow patterns in a changing climate from remote sensing retrieval, *Science of the Total Environment*, 493: 1267-1279.
- Dietz, A.; Conrad, Ch. and Kuenzer, C. (2014). Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data, *Remote Sens*, 6: 12752-12775.
- Dong, Ch. and Menzel, L. (2016). Improving the accuracy of MODIS 8-day snow products with in situ temperature and precipitation data, *Journal of Hydrology*, 534: 466-477.
- Ebrahimi, H.; GHeibi, A. and Malekutei, H. (2012). The trend of snow cover in snow-prone regions of Iran using MODIS data, *Nivar*, 78-79: 3-10.
- Fatahi, E. and VazifehDoost, M. (2011). Estimate the snow cover and snow surface temperature using MODIS images (case study: Basin in Golestan province), *Geography Research Quarterly*, 102: 149-168.
- Gafurov, A. and Bardossy, A. (2009). Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 13:1361-1373.
- Garen, D. and Marks, D. (2005). Spatially distributed energy balance snowmelt modeling in a mountainous river basin: estimation of meteorological inputs and verification of model results, *Journal of Hydrology*, 315:126-153.
- Hall, D.K.; Riggs, G.A.; Salomonson, V.V.; DiGirolamo, N.E. and Bayr, K.J. (2002). MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83: 181-194.
- Ilderami, A.; Habibnejad, M.; Safarishad, M. and Dalal oghli, A. (2015). Using satellite MODIS images AND NDSI index for snow cover mapping (case study: Bahar basin), *Journal of Geographic Space*, 50: 125-140.
- Joshi, R.; Kumr, K.; Pandit, J. and Plani, S.M. (2015). Dynamics of Climate Change and Water Resources of Northwestern Himalaya, Springer International Publishing, 203P.
- Keikhosrvaï Kiany, M.S. and Masoudian, A. (2016). Exploring the Relation of Snow-Covered Days with Elevation, Slope and Aspect in Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 1: 1-14
- Kostadinov, T.S. and Lookingbill, T.R. (2015). Snow cover variability in a forest ecotone of the Oregon Cascades via MODIS Terra products, *Remote Sensing of Environment*, 164: 155-169.
- Lindsay, CH.; Zhu, J.; Miller, A.E. and Wilson, T.L. (2015). Deriving Snow Cover Metrics for Alaska from MODIS, *Remote sensing*, 7: 12961-12985.

- Ma, L.; Qin, D.; Bian, L.; Xiao, C. and Luo, Y. (2011). Assessment of Snow Cover Vulnerability over the Qinghai-Tibetan Plateau, *Advances in climate change research*, 2: 93-100.
- Malcher, P.; Floricioiu, D. and Rott, H. (2003). Snow mapping in Alpine areas using medium resolution spectrometric sensors, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2835-2837.
- Mir Mousavi, H. and Sabour, L. (2014). Snow cover monitoring using MODIS data in northwestern Iran, *Geography and Development Iranian journal*, 35: 181-200.
- Mir Yaghoobzadeh, M.H. and GHanbarpour, M.R. (2010). Investigation to MODIS Snow Cover Maps Usage in Snowmelt Runoff Modeling (Case Study: Karaj river basin), *Journal of Geoscience*, 76:140-148.
- Najafi, A.; Ghodoosi, H.; Saghafian, B. and Porhemmat, j. (2007). Snowmelt runoff estimation by using RS & GIS (A case study in Shahar-chi watershed- Orumiyeh), *Pajouhesh & Sazandegi*, 76: 177-185
- Parajka, J. and Blöschl, G. (2006). Validation of MODIS snow cover images over Austria, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 10: 679-689.
- Paudel, K. and Andersen, P. (2001). Monitoring snow cover variability in an agro pastoral area in the Trans Himalayan region of Nepal using MODIS data with improved cloud removal methodology, *Remote Sensing of Environment*, 115: 1234-1246.
- Ramsay, B.H. (1998). The interactive multisensor snow and ice mapping system, *Hydrological Processes*, 12: 1537-1546.
- Rasouli, A.A. and Adhami, S. (2007). Calculate Snow water equivalent by processing MODIS data, *Geography and Development Iranian journal*, 10: 23-36
- Riggs, G.; Hall, D.K. and Salomonson, V. (2006). *MODIS Snow Products User Guide to Collection 5*, <http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/atbd.html>.
- Romanov, P. (2003). Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America, *Journal of Geophysical Research*, 108: 1-15.
- RUGSL (2011). *Fall, Winter, and Spring Northern Hemisphere Snow Cover Extent from the Rutgers University Global Snow Lab*. Climate Science: Roger Pielke Sr.
- Saberi, N.; Homayouni, S. and Motagh, M. (2013). Snow Runoff Modeling Using Meteorological, Geological and Remotely Sensed Data, *Intl. J. Humanities*, 2: 79-100.
- Shahroudi, N. and Rossow, W. (2014). Using land surface microwave emissivities to isolate the signature of snow on different surface types, *Remote Sensing of Environment*, 152: 638-653.
- Sorman, A.; Akyurek, Z. and Tekeli, A. (2007). Commentary on comparison of MODIS snow cover and albedo products with ground observations over the mountainous terrain of Turkey, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 11: 1353-1360.
- Taheri, H. and Arkian, F. (2013). Variability of number of days with snowfall and snow depth in Iran, *Nivar*, 82-83: 47-58.
- Tamab (1996). Bulletin of country's water situation, 8, Tehran.
- Tahir, A.; Adamowski, J. and Chevallier, P. (2016). *Comparative assessment of spatiotemporal snow cover changes and hydrological behavior of the Gilgit, Astore and Hunza River basins (Hindukush° Karakoram° Himalaya region, Pakistan)*, Meteorol Atmos Phys, Online First.
- Tahir, A.; Chevallier, P.; Arnaud, Y. and Ashraf, M. (2015). Snow cover trend and hydrological characteristics of the Astore River basin (Western Himalayas) and its comparison to the Hunza basin (Karakoram region), *Science of the Total Environment*, 505: 748-761.
- UNEP (2007). *Global outlook for ice and snow*, United Nations Environment Programme, ISBN: 978-92-807-2799-9, 235P.
- Zhang, B.; Wu, Y.; Lei, L.; Li, J. and Liu, L. (2013). Monitoring changes of snow cover, lake and vegetation phenology in Nam Co Lake Basin (Tibetan Plateau) using remote SENSING (2000° 2009), *Journal of Great Lakes Research*, 39: 224-233.
- Zhou, H.; Aizen, E. and Aizen, V. (2013). Deriving long term snow cover extent dataset from AVHRR and MODIS data: Central Asia case study, *Remote Sensing of Environment*, 136: 146-162.