دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تحلیل آماری سری زمانی مساحت پوشیده از برف حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در استان مازندران

حدیقه بهرامی پیچاقچی[۱]، رضا نوروز ولاشدی[۲] و محمود رائینی سرجاز[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: r.norooz@sanru.ac.ir)
۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸۱۶
صفحه: ۵۰ تا ۶۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: متغیر برف نقش مهمی در چرخه‌های هیدرولوژی بر عهده دارد. لذا برف یکی از اجزای ضروری سامانه اقلیم به شمار می‌رود. به‌طوری که یکی از کاربست‌های بنیادی درزمینه‌ی مدیریت منابع آب برف است، به‌ویژه در پهنه‌هایی که بارشِ آن سهم زیادی در ریزش‌های جوی دارد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی روند این تغییرات در حوضه آبخیز دامنه شمالی رشته‌کوه البرز در استان مازندران در شرایط نابه‌هنجار اقلیمی در دهه اخیر است.

مواد و روش‌ها: نخست داده‌های سنجنده MODIS به‌صورت روزانه با توان جاسازی مکانی ۵۰۰ ×۵۰۰ متر از پایگاه ملی داده‌های برف و یخ ناسا (NSIDC) دریافت شد. تصاویر دریافتی مربوط به بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰–۲۰۱۸ است. برای پردازش تصاویر، نخست عملیات پیش‌پردازش بر روی آن‌ها در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 اعمال شد. از نمایه NDSI، جهت برآورد پهنه پوشش برف استفاده شد. برای بررسی روند تغییرات پوشش برف از آزمون من-کندال و روش تخمین گر شیب‌خط سن استفاده شد. همچنین برای بررسی همبستگی بین سطح پوشش برف با پارامترهای اقلیمی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

یافته‌ها: بررسی روند سطح پوشش برف به‌صورت فصلی و سالانه نشان داد که پوشش برف در فصل زمستان، حدود ۵۰/۴۱- کیلومترمربع در هر سال کاهش یافته است. ازنظر طبقات ارتفاعی، پوشش برف در حال پس‌روی است، زیرا روند آن در همه طبقات ارتفاعی به‌ویژه ارتفاعات ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ متر حدود ۵۷/۰۳- کیلومترمربع در هر سال رو به کاهش است. نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد، همبستگی منفی بین پوشش برف و تابش خالص و همبستگی مثبت با رطوبت نسبی در سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود دارد. مقایسه همبستگی وضعیت پوشش برف هم ازنظر زمانی و طبقات ارتفاعی مختلف با شرایط دما و بارش نشان می‌دهد در بیشتر مواقع ناهنجاری‌های منفی پوشش برف با ناهنجاری مثبت دما و منفی بارش همخوانی دارد، به‌طوری‌که در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. نتایج این پژوهش ضمن تأیید کاهش ذخایر برفی در دامنه شمالی و افزایش روزافزون دماهای فرین، نشان داد تجدیدنظر در مدیریت منابع آب حوضه پایین‌دست امری ضروری است.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج نشان می‌دهد که روند پوشش برف به‌صورت فصلی و سالانه، دارای روند کاهشی است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت روند پوشش برفی طبقات ارتفاعی مختلف در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی کاهشی و پس‌روی کرده است. بیشترین تأثیر افزایش دما در فصل بهار مشاهده شده است. چراکه در اوایل بهار انرژی موردنیاز برای ذوب برف معمولاً از تابش موج‌کوتاه تأمین می‌شود و همین‌طور که شدت‌جریان تابشی خالص به دلیل افزایش تابش ورودی موج‌کوتاه افزایش و سپیدی ناشی از کاهش ارتفاع و گستره‌ی پوشیده از برف رخ می‌دهد، سرعت ذوب برف افزایش می‌یابد. ازاین‌رو با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی، بارش‌های زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهند شد، کاهش‌یافته است و می‌تواند بر رواناب ناشی از این بارش‌ها در فصل بهار تأثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: تابش خالص، گرمایش فراگیر، نمایه NDSI، نوسانات اقلیمی

مقدمه

در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم اثرات گسترده‌ای بر جنبه‌های گوناگون مناطق کوهستانی و سامانه‌های اکولوژیکی و اجتماعی آن داشته است. ازجمله منابع آب کوهستان، سطح برف و یخچال‌های طبیعی، مخاطرات طبیعی، تنوع زیستی کوهستان، امنیت غذایی، مهاجر فرستی و فقر معیشتی تحت تأثیر پیامدهای تغییر اقلیم قرارگرفته‌اند (۱). به‌طوری‌که یخ و برف موجود بر روی کره زمین بخش مهمی از سیستم آب و هوایی جهان را تشکیل می‌دهند. با توجه به این‌که یخ و برف نور خورشید تابیده شده به سطح خود را بیشتر بازتابش می‌کنند. لذا به‌منظور جلوگیری از گرم شدن کره زمین، نقش مهمی را ایفا می‌کند. به‌این‌علت است که وجود یا عدم وجود برف و یخ بر گرم شدن یا سرد شدن کره زمین تأثیرگذار است. از سوی دیگر تغییرات آب و هوایی به‌طور چشمگیری مناطق تحت پوشش برف و یخ را دستخوش تغییر کرده است. علاوه بر این با توجه به وابستگی وجود یا عدم وجود برف و یخ با نقطه ذوب آن‌ها می‌تواند اشکال جامد یا مایع را رقم زند. تغییرات در مقدار پوشش برف و یخ کره زمین می‌تواند بر روی درجه حرارت هوا، ارتفاع آب دریاها و اقیانوس‌ها، جریان‌های اقیانوسی و ایجاد طوفان‌های شدید تأثیرگذار باشد. به‌طور مثال آب شدن یخ‌های قطب شمال و جنوب می‌تواند میزان و حجم آب اقیانوس‌ها را افزایش داده و سبب بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر جریانات اقیانوسی گردد. تأثیر تغییرات در میزان برف و یخ‌های قطب شمال و جنوب، تنها بر روی جوامع انسانی و محیطی این مناطق محدود نبوده و تبعات و آثار جهانی را به همراه خواهد داشت. پس یکی از اجزای سامانه‌های هیدرولوژی در کوهستان که تحت تأثیر گرمایش جهانی قرار می‌گیرد، سطح پوشش برف است. این پارامتر نقش مهمی را در چرخه‌های هیدرولوژی بر عهده دارد و یکی از اجزای ضروری سیستم اقلیم به شمار می‌رود که در حدود ۷۵ درصد از آب شیرین جهان را تأمین می‌کند (۱). به‌طوری که یکی از کاربست‌های بنیادی درزمینه‌ی مدیریت منابع آب،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

به‌ویژه در پهنه‌هایی که بارشِ برف سهم زیادی در ریزش‌های جوی دارد، برآورد دقیق پهنه پوشش برف و حجم آب معادل مربوطه محسوب می‌شود (۲). ازاین‌رو، مدل‌سازی ویژگی‌های سطحی بارش برف از دیدگاه آب و هواشناسی اقلیمی نقش بسزایی در زمینه‌های مختلف مانند مهار سیلاب، مدیریت حوضه‌های آبخیز، تأمین آب مصرفی، فرسایش خاک و پیش‌بینی خشک‌سالی دارد (۲). پوشش برف می‌تواند با استفاده از مدل‌سازی، ایستگاه‌های اندازه‌گیری، فناوری سنجش‌ازدور، و برنامه‌های کاربردی برآورد شود (۳). اندازه‌گیری‌های میدانی توانسته است نشانه‌هایی برای تغییرات مشاهده‌شده در بسیاری از دانسته‌های ما از یخ کره را فراهم کنند، ولی کاهش این اندازه‌گیری‌ها در بیش از ۲۰ سال اخیر، به دلیل نبود دسترسی مناسب، تأثیر گوناگونی ویژگی‌های توپوگرافی و فیزیوگرافی در برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی یخ کره و ناکافی بودن ایستگاه‌های هواشناسی در بلندی‌ها، لزوم کاربرد روش‌های غیرمستقیم ازجمله تحلیل داده‌های دورسنجی را در سطوح منطقه‌ای و جهانی نشان می‌دهد (۴). ازاین‌رو، سنجش‌ازدور به همراه مدل‌های محیطی ابزاری بنیادی برای نمایش تغییرات اقلیم جهانی در یخ کره هستند. این دو باهم می‌توانند شکاف‌های زمانی –مکانی زمین‌شناختی را در داده‌های اندازه‌گیری میدانی ثبت‌شده، پر کنند و در هر دو زمینه برف و یخ، برای تهیه شواهد مستقیم تغییر اقلیم نقش اساسی داشته باشند؛ همچنین برای فراهم کردن داده‌هایی که می‌تواند در مدل‌های برآورد و پیش‌بینی تغییرات استفاده شود، نیز اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش استفاده از سامانه‌های سنجش‌ازدور، برای مشاهده بخشی از یخ کره به نام برف و گستره‌ی پوشش آن به‌عنوان نمایه بسیار مهم تغییر اقلیم بیان می‌شود. سنجنده‌های ماهواره‌ای نوری که طیف‌های نور آشکار (مرئی) و فروسرخ را ثبت می‌کند، به‌سادگی برف را که اختلاف آشکاری در بازتابش بازه طیفی نور آشکار و فروسرخ دارد، از دیگر سطوح طبیعی قابل‌شناسایی می‌کنند (۵). به‌طوری‌که مطالعات نشان داده است پدیده تغییر اقلیم پوشش برف و آلبدوی ناشی از آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فاسناج و همکاران (۶)، پدیده تغییر اقلیم در سراسر نواحی شمالی ایالات‌متحده را موردبررسی قراردادند در این منطقه با ذخیره برفی فصلی، اقلیم گرم‌تر می‌تواند سبب کاهش ریزش برف و تغییر در زمان ذوب برف گردد و همه این موارد می‌تواند کاهش آلبدوی زمستانه و گسیل انرژی تابشی با طول‌موج کوتاه را به همراه داشته باشد، بررسی روند دما، بارش (باران – برف) تعداد روزهای با باران با برف و آلبدوی زمستانه در ۲۰ ایستگاه در سراسر منطقه موردمطالعه در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ موردبررسی نشان داده است با توجه به اینکه این منطقه دارای ذخیره برفی کم‌عمق اما بادوام برای طول مدت زمستان (نوامبر تا مارس) است درجه حرارت حداقل و تعداد روزهای با بارش در اکثریت ایستگاه‌ها دارای روند بوده و اغلب ایستگاه‌ها با افزایش را نشان می‌دهد و کاهش آلبدوی زمستانه مدل شده در بین ایستگاه‌ها نسبت افزایش آن مشهودتر بوده است. کریمی و همکاران (۷) به مطالعه شبیه‌سازی سطح پوشش برف و رواناب ناشی از ذوب آن در حوضه آبخیز هرو–دهنو در استان لرستان پرداختند. که با مقایسه پوشش برف مستخرج از مدل با پوشش برف تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های زمانی یکسان مشخص شد که پوشش برف شبیه‌سازی‌شده با پوشش برف مشاهده‌ای تطابق خوبی دارد. همچنین صدیقی و همکاران (۸) برای برآورد سطح پوشش برف و میزان ارتفاع آب معادل برف از سنجنده MODIS استفاده کردند. وو و همکاران (۹) در این مطالعه نقش ارتفاعات در تعیین اهمیت نسبی دما و بارش در تغییرپذیری پوشش برف در کوهستان مرکزی تیانشان ارزیابی‌شده است. نتایج نشان می‌دهد در منطقه موردمطالعه، دما در بیشتر دوره زمانی موردمطالعه و در بیشتر ارتفاعات، تأثیر بیشتری در پوشش برف نسبت به بارش دارد. هوانگ و همکاران (۱۰) پوشش برف فلات تبت را با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS طی دوره زمانی ۲۰۰۱–۲۰۰۱۴ با استفاده از آزمون نا پارامتریک من– کندال مورد روند یابی قراردادند که نتایج از کاهش معنی‌دار سطح پوشش برف در سطح فلات بالأخص نواحی مرتع آن بود. ماسکی و همکاران (۱۱) تغییرات پوشش برف را نسبت به دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ارتفاع بالا، تابش خالص و سرعت باد در بلندی‌های هیمالیا را با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در بازه سال‌های ۲۰۰۸–۲۰۰۰ بررسی کردند. نتیجه این پژوهش، همبستگی منفی بین پوشش برف و دما، تابش خالص و سرعت باد نشان داد و برای تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه پوشش برف روندی کاهشی در فصل زمستان و روندی افزایشی در فصل پاییز دیده شد. فرآیند ذوب برف نیاز بالایی به انرژی دارد که سبب پسماند گرم شدن نیوار می‌شود. ازاین‌رو، هرگونه تغییر در پوشش برف فصلی اثر مستقیمی بر روی تغییرپذیری چرخه آب و انرژی دارد و کاهش مناطق زیرپوشش برف فصلی یکی از پیامدهای اصلی و جدی تغییر اقلیم است که شاید اثر منفی روی توسعه اقتصادی کشورهای در حال پیشرفت داشته باشد. از این رو طبق تحقیقات انجام‌گرفته در مقالات داخلی همبستگی بین پوشش برف با عواملی چون تابش خالص، رطوبت نسبی صورت نگرفته و همچنین روند تغییرات برف و پایش برف در این منطقه بررسی نشده است. به‌ویژه بررسی این عوامل و متغیرها در نیمه شمالی برف‌گیر این رشته‌کوه از این دیدگاه صورت نگرفته بود. لذا بررسی تغییرات سطح پوشش برف با توجه به نوسانات اقلیمی، به‌عنوان مهم‌ترین بخش برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب پایین‌دست در حوضه‌های دامنه شمالی البرز مرکزی مطرح می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

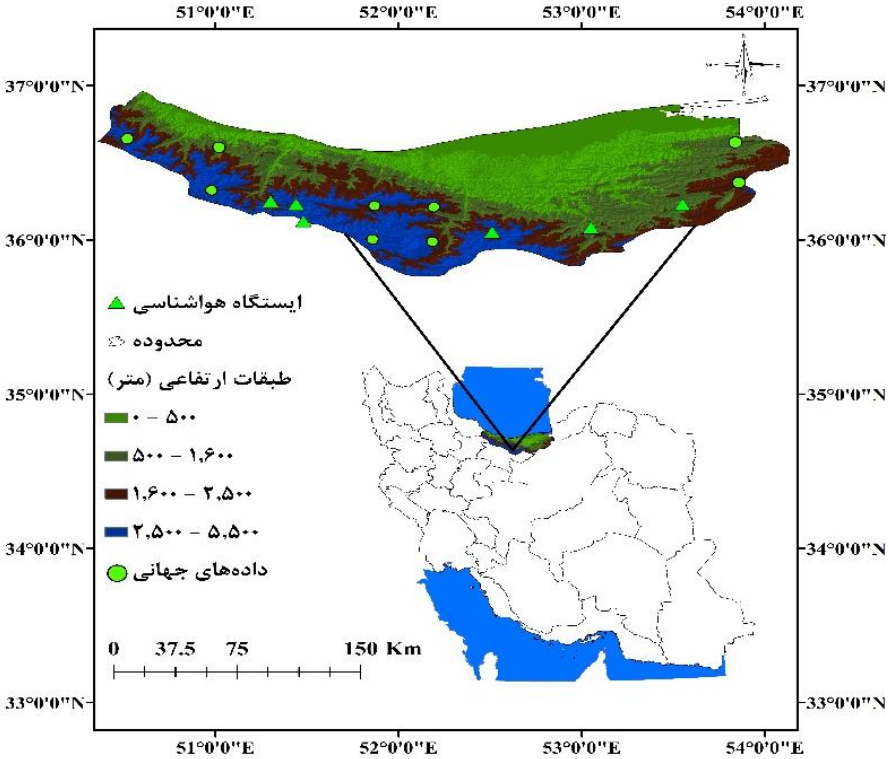
گستره‌ی شمالی رشته‌کوه البرز در استان مازندران قرار دارد. ازنظر موقعیت جغرافیایی در حدفاصل بین خط الراس اصلی البرز و دریای خزر، و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است شکل (۱). این منطقه پهنه‌ای نزدیک به ۸۴۵/۲۶

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

کیلومترمربع، با بلندایی از ۰ تا ۵۶۷۱ متر فرازتر از سطح دریا است. ازنظر توپوگرافی شامل کوه و جلگه است. حصار کوهستانی گستره‌ی شمالی البرز مرکزی یکی از مهم‌ترین نقاط تمرکز ریزش‌های جوی به‌صورت جامد (برف) بوده که به سبب داشتن این ویژگی، بخش اعظمی از آب موردنیاز پایین‌دست این منطقه را به‌صورت سطحی و زیرسطحی تأمین می‌کند، به‌گونه‌ای که حوضه‌های مهمی چون هراز، چالوس، بابل رود، تالار و تجن در این محدوده قرار دارد. موقعیت جغرافیای گستره‌ی شمالی البرز مرکزی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعاتی در شکل (۱)، و مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه در جدول (۱) نشان داده‌شده است.

داده‌های مورد استفاده و روش پژوهش

در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدید واقع در منطقه موردمطالعه و تصاویر سنجنده MODIS و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده شد. بدین منظور، نخست داده‌های MOD10A1 و MOD10A2 سنجنده MODIS به‌صورت روزانه با توان جاسازی مکانی ۵۰۰ ×۵۰۰ متر با فرمت HDF از پایگاه ملی داده‌های برف و یخ ناسا (NSIDC) دریافت شد. با توجه به اینکه بخش کلان بارش برف گستره‌ی البرز شمالی مرکزی در اوایل نوامبر (آبان) تا می (اسفندماه) می‌بارد و همچنین به دلیل ماندگاری پوشش برف این ناحیه تا ژوئن (خردادماه)، تصاویر دریافتی مربوط به این بازه‌ی زمانی در طی دوره ۱۹ ساله (۲۰۰۰–۲۰۱۸) است. برای پردازش تصاویر، نخست عملیات پیش‌پردازش شامل تصحیحات هندسی، رادیو متریک و نیواری بر روی آن‌ها در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 اعمال شد. این عملیات شامل کالیبره کردن تصاویر، تبدیل مختصات تصاویر به مختصات واقعی زمین (WGS84 UTM 39N) و حذف ابر از تصاویر بوده است. همچنین در بررسی روند تغییرات پوشش برف در سال‌های مختلف از میانگین گستره پوشش برف فصلی و سالانه و روند پارامترهای اقلیمی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ از دو روش تخمین گر شیب‌خط سن و آزمون من–کندال استفاده خواهد شد. همچنین برای بررسی همبستگی بین سطح پوشش برف با پارامترهای اقلیمی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده خواهد شد. از ترکیب داده‌های هواشناسی که این داده‌ها از سازمان هواشناسی دریافت شد و داده‌های پایگاه‌های اقلیمی NCEP CFSR برای بررسی روند و همبستگی استفاده شده است جدول (۱). به‌طوری‌که داده‌های اقلیمی دارای تفکیک مکانی 1.0*0.3 درجه و از سایت https://globalweather.tamu.edu/ دانلود شده است (۱۲, ۱۳). در این پژوهش جهت تحلیل مکانی، زمانی و آماری داده‌ها از نرم‌افزارهای ENVI, GIS, EXCEL و XLSTAT استفاده شد.



شکل ۱– موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه
Figure 1. Location of the Synoptic Stations

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد مطالعه

Table 1. Characteristic of the stations studied

متغیرها	میانگین	انحراف استاندارد	واریانس	کمینه	بیشینه	طول دوره
بیشینه دما (°C)	۱۳/۷۳	۳/۳۸۴	۱۱/۴۴۸	۱/۳	۱۷/۳	۲۰۰۰-۲۰۱۸
کمینه دما(°C)	۲/۴۴	۱/۳۹۴	۱/۹۴۳	-۰/۰۵۴	۴/۶	
سرعت باد(m/s)	۲/۵۷	۰/۲۲۰۸	۰/۰۴۸۸	۲/۲	۲/۸۳۹۹	
تابش خالص (MJ/m2)	۵۹۷/۹۵	۲۰/۹۸	۴۴۰/۰۷	۵۵۶/۳۱	۶۳۴/۲	
رطوبت نسبی(fraction)	۰/۵۴	۰/۰۹۲۱	۰/۰۰۸۵	۰/۳	۰/۶۵۸۳	
میانگین دما(°C)	۱۲/۳۱	۰/۶۴۵	۰/۴۱۶	۱۱/۳۴۲	۱۳/۹۴۷	
بارش(mm)	۲۶۹۸	۵۳۱	۲۸۱۴۴۹	۱۸۰۰	۳۸۵۲	
پوشش برف (Km^2)	۹۶۸۲	۲۵۶۴	۶۵۷۲۷۵۶	۵۲۸۷	۱۴۲۱۴	

سنجنده MODIS و نمایه NDSI

یکی از پنج سنجنده مستقر بر روی ماهواره ترا سنجنده MODIS است ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این پوشش با پرتاب ماهواره Aqua در ۴ مِه 2002 افزایش چشمگیری یافته است. مشخصات سنجندهِ MODIS که در این پژوهش استفاده شده است در جدول (۲) آورده شده است. سنجنده MODIS نقشه‌های باقابلیت تشخیص پوشش برفی با استفاده از «نمایه تفاضلی نرمال شده برف» NDSI (Normalized Difference Vegetation Index)، به کار می‌رود (۱۵،۱۶). نمایه NDSI از برتری‌های بازتاب طیفی برف که در باند آشکار دارای بازتاب بالا و بازه طیفی فروسرخ دارای بازتاب پایین است (۱۷)، و به‌عنوان یک الگوریتم برای آشکارسازی برف از ابر و مناطق بی پوشش برفی به همراه مجموعه‌ای از آستانه‌ها کاربرد دارد و به‌صورت پیکسل به پیکسل محاسبه می‌شود (۱۶). در این روش نخست معیارهای بازتابش دوگانه (یعنی مقدار بازتابش پیکسل‌ها در باند شش بیشتر از ۱۱ درصد و مقادیر بازتابش پیکسل‌ها در باند چهار مساوی یا بیشتر از ۱۰ درصد) و به‌شرط NDSI>0.4 بر اساس معادله ۱ اعمال می‌شود. در مرحله‌ی بعد، بر اساس رابطه ۱ آزمون‌های سه‌گانه مشروط برای استخراج مقادیر NDSI اجرا می‌شود. این نمایه همانند بسیاری از روش‌های نسبت‌گیری طیفی از اثرات نیواری می‌کاهد (۱۶). حاصل (Normalized Difference Snow Index) را در مقیاس‌های گسترده و استفاده سریع در مطالعات منطقه‌ای را فراهم می‌کند (۱۴). نمایه تفاضلی نرمال شده پوشش برفی (NDSI) یک نسبت‌گیری طیفی هست که از اختلافات طیفی باندهای فروسرخ و باند آشکار در سنجنده MODIS برای تشخیص تغییرات پهنه‌ی زیرپوشش برف، همانند الگوریتم «نمایه تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی» NDVI

به‌کارگیری نمایه NDSI این خواهد شد که پیکسل‌هایی باارزش ۱- تا ۱+ ایجاد خواهد شد که ارزش‌هایی که از ۱- تا صفر می‌باشند نشان‌دهنده‌ی پهنه‌هایی است که برف در آن‌ها وجود ندارد و از صفر تا ۱+ مناطقی را شامل می‌شود که برف با توجه به سنگینی و سبکی (بسته به ژرفای آن) ضرایب مثبت را به خود اختصاص می‌دهد. هراندازه ژرفای برف بیشتر باشد، عدد موردنظر به ۱ نزدیک‌تر و هر چه کم‌ژرفاتر باشد به صفر نزدیک می‌شود. الگوریتم نقشه برفی MODIS از باندهای ۴ و ۶ این سنجنده به‌طور خودکار برای استخراج نمایه تفاوت هنجاریده پوشش برفی (NDSI) اجرا و برپایه رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۱۸).

$$NDSI = \frac{MODIS_{Band4} - MODIS_{Band6}}{MODIS_{Band4} + MODIS_{Band6}} = \frac{green - SWIR}{green + SWIR} \quad (۱)$$

جدول ۲- خصوصیات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

Table 2. Characteristics of satellite data used

نوع ماهواره	نوع داده‌های علوم زمین (ESDT)	سطح محصول	پهنای جاروب اسمی داده‌ها (ماتریسی km)	توان تفکیک مکانی (m)	توان تفکیک زمانی(d)	سیستم تصویر نقشه
ترا	MOD10A1	L3	1200 * 1200	۵۰۰	۱	هم‌فاصله
و آکوا	MOD10A2	L3	1200 * 1200	۵۰۰	۸	هم‌فاصله

در این پژوهش ابتدا موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد نظر شناسایی گردید، پس از آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که از منطقه‌ی مورد مطالعه در طول ماه‌های مختلف تهیه شده است، با استفاده از نرم‌افزار ENVI و به دست آوردن پیکسل‌های برفی با استفاده از نمایه NDSI که قابلیت بسیار خوبی برای جداسازی برف و یخ از ابر و سایر پدیده‌ها دارد، به تهیه‌ی نقشه‌های پوشش برفی طی دوره‌های زمانی (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) مختلف پرداخته شد. پس از تعیین مساحت پوشیده از برف توسط نرم‌افزار GIS10.3، تغییرات سطح پوشش برف بررسی گردید. سپس برای بررسی و تحلیل آماری سری زمانی مساحت پوشیده از برف و داده‌های اقلیمی از آزمون من-کندال و روش تخمین‌گر شیب سن استفاده شد محمدی احمد محمودی و خورانی (۱۹) این روش را کاملاً تشریح کرده‌اند. برای تعیین رابطه بین سطح پوشش برف با داده‌های اقلیمی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

پردازش داده‌های سنجش‌ازدور سطح برف

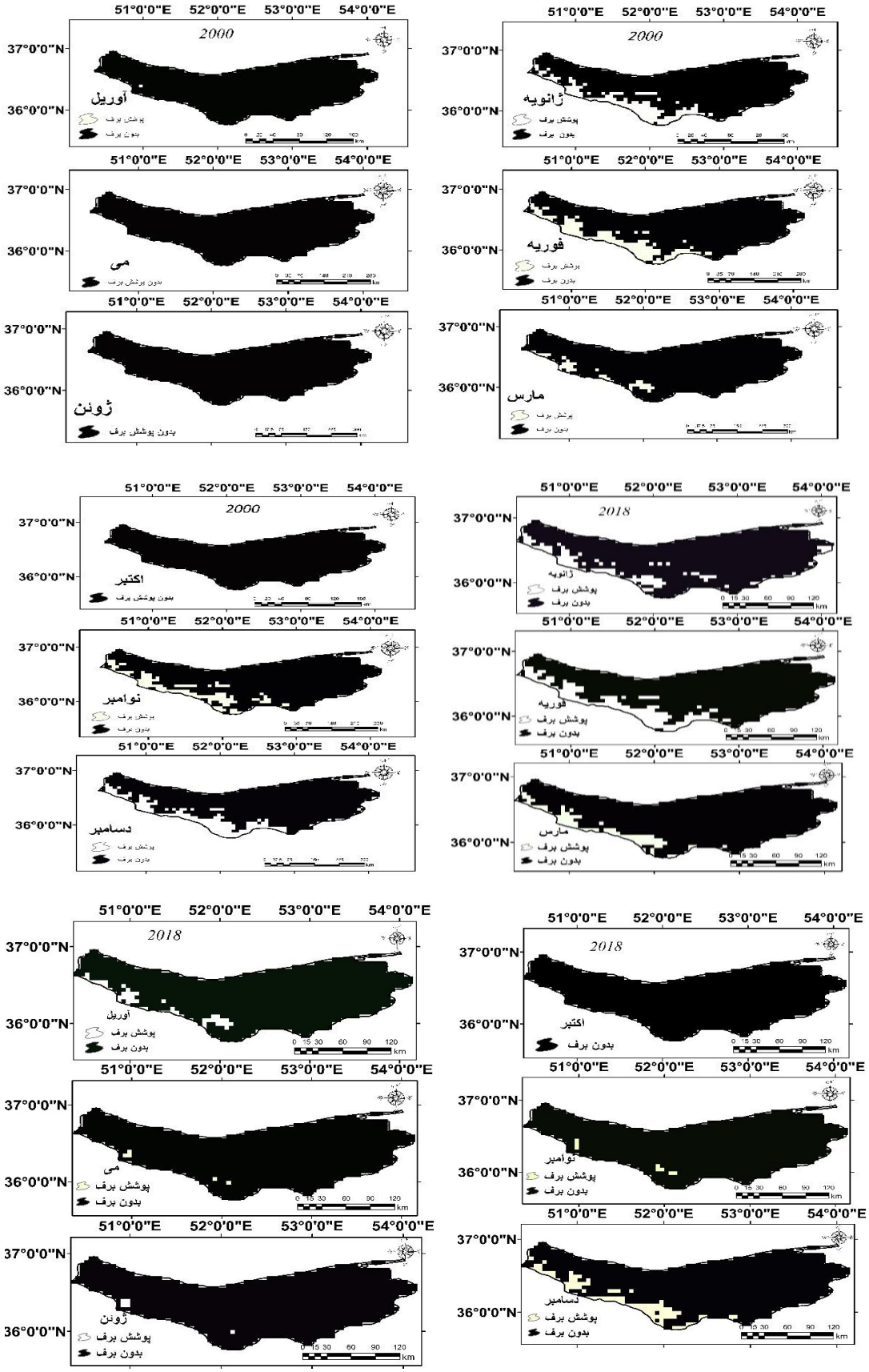
داده‌های سنجش‌ازدور می‌تواند ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف نسبت به روش‌های محاسبه‌ی سنتی ارائه دهد، بنابراین امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به‌صورت عملیاتی انجام می‌گردد. با ترکیب سنجش‌ازدور با مدل‌های ذوب برف

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

می‌توان آب معادل ذوب برف را تعیین کرد. مطالعات متعددی اهمیت اندازه‌گیری دقیق خصوصیات برف و یخ را به دلیل اینکه با اقلیم زمین و تغییرات اقلیمی مرتبط می‌باشند نشان داده‌اند. امروزه فنّاوری سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای انقلابی را در عرصه‌ی مطالعه سطح پوشش برف به وجود آورده است، به‌طوری‌که اندازه‌گیری‌های سطح گستره‌های برفی در طول زمان به‌صورت چشمگیری دقیق‌تر شده و هر چه بر طول ثبت داده‌های ماهواره‌ای افزوده می‌گردد، تعیین روندهای آماری که به لحاظ اقلیمی اهمیت دارند آسان‌تر می‌گردد. در مباحث زیر با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و از نمایه NDSI تغییرات سطح پوشش برف در گستره شمالی البرز مرکزی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ به‌منظور بررسی تغییرات سطوح پوشش برف پرداخته شده است. مراحل پیش‌پردازش (بررسی تغییرات سطوح پوشش برف با استفاده از نمایه تفاضلی نرمال شده برف NDSI) و تصحیحات (رادیومتری، هندسی و...)، پردازش، طبقه‌بندی و پس از طبقه‌بندی بر روی تصاویر انتخابی مذکور با استفاده از نرم‌افزار ENVI و GIS اعمال گردید. بدین ترتیب که این نمایه به‌صورت معادله‌ای بر تصویر اعمال‌شده و اعداد بالاتر و مساوی ۰/۴ به‌عنوان پیکسل شرطی برف جدا شدند شکل (۲). سپس مساحت نواحی برفی در طی دوره‌های موردمطالعه استخراج و میزان تغییرات هر دوره در منطقه موردمطالعه نسبت به تغییرات فصلی (پاییز، زمستان، بهار) در سال‌های مختلف در طول دوره‌ای آماری مطابق شکل (۳) مشخص شد، تغییرات سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعی مختلف با استفاده از نقشه پوشش برف و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) برآورد شد. سپس روند تغییرات سطح پوشش برف، پوشش برف طبقات ارتفاعی مختلف و پارامترهای اقلیمی با آزمون نا پارامتریک من-کندال و شیب سن بررسی شد. همچنین همبستگی بین سطح پوشش برف با پارمترهای اقلیمی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام شد.

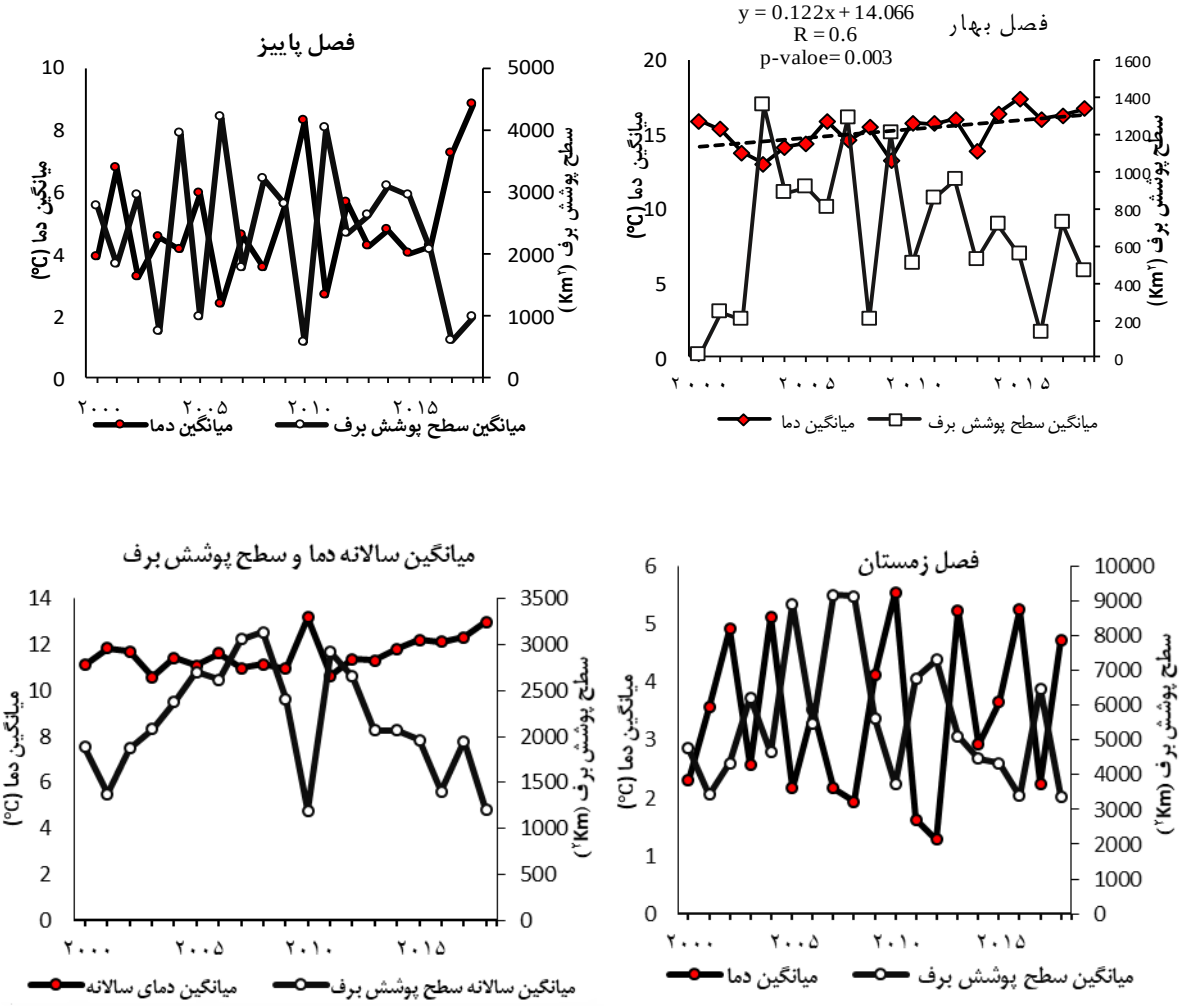
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]



شکل ۲- تغییرات فصلی پوشش برف (km2) در بازه سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸
Figure 2. Seasonal snow cover variations (km2) during 2000 and 2018

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]



شکل ۳- مقایسه میانگین تغییرات پوشش برف فصلی (آبان تا خرداد) با میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) برای فصل بهار، پاییز، زمستان و سالانه

Figure 3. Special interpretation of seasonal snow (November to June) with temperature mean (designated) and in spring, autumn, winter and Annual

روند گستره‌ی پوشش برف

روند تغییرات سطح پوشش برف به‌صورت سالانه و فصلی برای دوره ۱۹ سال در گستره‌ی شمالی البرز مرکزی مشخص شد که مقادیر به‌دست آمده برای Z من کندال نشان می‌دهد، گستره پوشش برف سری زمانی سالانه، فصل زمستان، بهار و پاییز دارای روند کاهشی ولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد معنی‌داری است جدول (۳). با توجه به نتایج حاصل از جدول (۳)، ملاحظه می‌شود که در فصل زمستان میزان پوشش برفی در منطقه مورد مطالعه به شدت کاهش یافته و دارای روند منفی است. بطوری که حدود ۵۰/۴- کیلومترمربع در هر سال از سطح پوشش برفی این منطقه در فصل زمستان کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات پوشش برف دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش تغییرات سطح برف در فصل زمستان دارد. این روند بیانگر اثر گرمایش جهانی و اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه است. بدون شک با افزایش دما الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده است و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده و کاهش ذخیره برفی در حوضه‌های این منطقه را ایجاد می‌نماید. همچنین با بررسی روند میانگین دما به‌صورت فصلی و سالانه مشخص شد، که روند دما هم به‌صورت فصلی هم سالانه دارای روند افزایشی و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیستند به‌جز فصل بهار در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است جدول (۴). شکل (۳) همخوانی خوبی بین سطح پوشش برف و میانگین دما را نشان می‌دهد به‌طوری‌که هرسال سطح پوشش برف کاهشی بوده میانگین دما افزایشی بوده است، و برعکس هرسال که سطح پوشش برف زیاد بوده میانگین دما کم بوده است. که با بررسی همبستگی بین سطح پوشش برف با پارامترهای اقلیمی مشخص شد سطح پوشش برف بیشتر تحت تأثیر افزایش دما است تا بارندگی جدول (۵). به‌طوری که همبستگی منفی بین سطح پوشش برف سالانه با میانگین دما حدود ۰/۷۰-، فصل زمستان ۰/۷۳-، بهار ۰/۶- و پاییز ۰/۸- و معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد است که با

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

نتایج وو و همکاران (۹) همخوانی داشت. که نتایج ایشان نشان می‌دهد دما در بیشتر دوره زمانی موردمطالعه، تأثیر بیشتری در پوشش برف نسبت به بارش دارد. همچنین بین پوشش برف به‌صورت سالانه و فصلی به‌جز زمستان با تابش خالص دارای همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد است که همبستگی بین سطح پوشش برف سالانه با تابش خالص حدود ۰/۷۱-، فصل پاییز ۰/۶۰- و بهار ۰/۶۱- است (جدول ۵). چون سطح پوشش برف در زمستان بیشتر تابش خالص را بازتاب می‌کند، به خاطر چگونگی پوشش سطح زمین در میزان تابش کل اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی‌های متعدد در شرایط پوشش بخش‌های وسیعی از سطح زمین با برف با توجه به توان انعکاس (آلبدو) شدیدی که برف دارد، ایجاد انعکاس مکرر سطح زمین و سطح زیرین ابر موجب افزایش تابش کلی می‌شود. در چنین شرایطی که مقدار تابش کلی در مناطق برف‌ریز یا قطبی، در قیاس با مناطق مشابه که در آن‌ها پوشش برف حاکم نباشد تا سه برابر افزایش می‌یابد (۲). فقط پوشش برف در فصل پاییز با رطوبت نسبی دارای همبستگی مثبت حدود ۵/ ۰ و معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است جدول (۳). همچنین روند تغییرات پارامترهای اقلیمی، به مقادیر به دست آمده برای Z من-کندال و شیب سن نشان می‌دهد، که از بین پارامترهای اقلیمی فقط میانگین دما در فصل بهار دارای روند افزایشی حدود ۰/۴۸ و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است جدول (۳)، که این افزایش دما باعث ذوب زود هنگام برف در فصل بهار و در نتیجه کاهش ذخایر آبی این منطقه شده است.

جدول ۳- نتایج آماره من-کندال (Z) و تخمین گرشیب سن (β) برای گستره پوشش برف در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۸

Table 3. Results of Man-Kendall Statistics (Z) and Age Slope Estimator (β) for Snow Cover Area in the Years 2017-2018

پارامتر	سری زمانی	آزمون من- کندال Z	تخمین گر شیب‌خط سن $\beta(km^2\ yr^{-1})$
میانگین پوشش برف	پاییز	-۰/۱۰	-۳۶/۰۱
	زمستان	-۰/۱۳*	-۵۰/۴۱
	بهار	-۰/۰۵	-۷/۳۲
	سالانه	-۰/۱۱	-۲۸/۳۴

*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪

جدول ۴- نتایج آماره Z من-کندال و تخمین گر شیب‌خط سن، برای پارامترهای مختلف اقلیمی

Table 4. Mann-Kendall Z statistics and age gradient estimator for different climatic parameters

سری زمانی	میانگین دما		بیشینه دما		کمینه دما		مجموع بارش		رطوبت نسبی		تابش خالص	
	Z	β	Z	β	Z	β	Z	β	Z	β	Z	β
زمستان	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۸	-۰/۴۱	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲۹
بهار	*۰/۴۸	۰/۱۵	-۰/۲۵	-۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۱۲	-۰/۱۲	-۶/۴۸	۰/۴۶	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۵
پاییز	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۴	-۰/۴۱	-۱۹/۳۳	-۰/۲۲	-۰/۰۰	۰/۴۳	۳/۳۴
کل منطقه	۰/۳۲	۰/۰۶	-۰/۲۶	-۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۴	-۰/۱۷	-۱۷/۴۹	-۰/۲۸	-۰/۰۰	۰/۲۶	۱/۴۸

*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪

جدول ۵- بررسی ضریب همبستگی (پیرسون) بین سطح پوشش برف به‌صورت فصلی و سالانه با پارامترهای اقلیمی

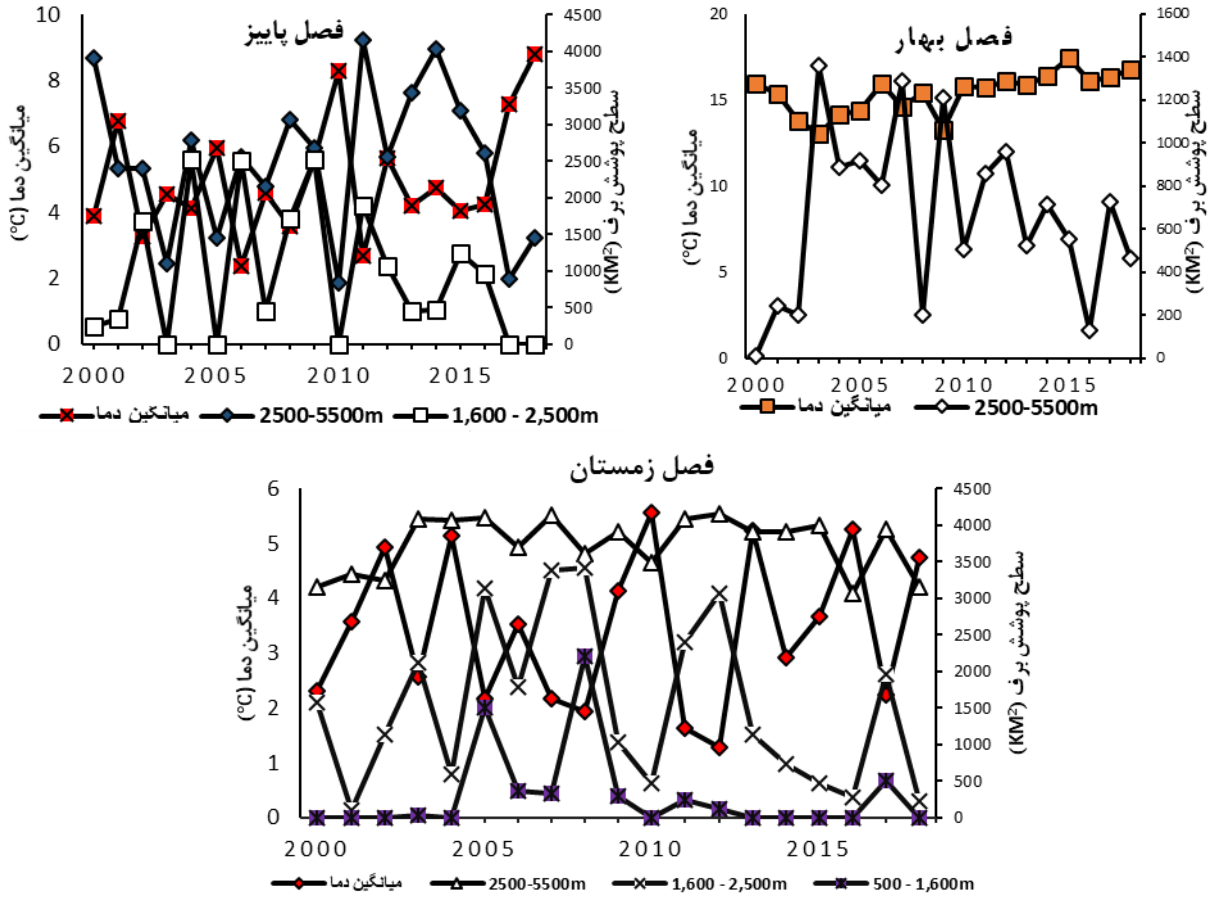
Table 5. Correlation coefficient (Pearson) between seasonal and annual snow cover with climatic parameters

سری زمانی		میانگین دما	بیشینه دما	کمینه دما	مجموع بارش	سرعت باد	رطوبت نسبی	تابش خالص
میانگین پوشش برف	زمستان	-۰/۷۳*	-۰/۶*	-۰/۵۹*	۰/۳۶	-۰/۰۱	۰/۴۳	-۰/۲۴
	بهار	-۰/۶*	-۰/۳۶	-۰/۲۱	۰/۷۱*	-۰/۰۹	۰/۱۸	-۰/۶۱*
	پاییز	-۰/۸*	-۰/۷۳*	-۰/۶۹*	۰/۷۴*	-۰/۰۵	۰/۵*	-۰/۶۰*
	سالانه	-۰/۷۰*	-۰/۱۰	-۰/۵۵*	۰/۵۲*	-۰/۱۵	۰/۴۲	-۰/۷۱*

*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]



شکل ۴- مقایسه میانگین تغییرات پوشش برف فصلی از (آبان تا خرداد) با میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) در مناطق ارتفاعی مختلف برای فصل‌های بهار، پاییز و زمستان

Figure 4. Comparison of mean changes of seasonal snow cover (November to June) with average temperature (° C) in different elevation zones for spring, autumn and winter seasons

نتایج نرخ کاهش پوشش برف در زمستان و بهار و افزایش آن در پاییز با نتایج سینگ و همکاران (۲۰)، آگور و همکاران (۲۱) که نشان دادند، سرعت پس‌روی (کاهش مساحت) برف در فصل بهار سریع‌تر از سرعت پیشروی (افزایش گستره) برف در فصل پاییز است همخوانی داشت. با توجه به این‌که زمستان شاهد بیشترین کاهش پوشش برف (۰/۹ درصد در هرسال) بوده است، نشان می‌دهد پوشش برف در زمستان نسبت به تغییر اقلیم حساس‌تر بوده است و افزایش دما در سراسر سال، درصد بارش را کاهش داده است که به دنبال آن بارش برف را نیز کاهش خواهد داد و منجر به کاهش قابل‌توجه سطح پوشش برف در بهار خواهد شد جدول (۴ و ۳). روند تغییرات گستره پوشش برف در مناطق ارتفاعی مختلف برای فصل ریزش برف و ذخیره برف، از آبان تا خرداد نشان می‌دهد شکل (۴) در طبقه ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ روند کاهشی بیش از سایر طبقات است به‌طوری‌که در فصل زمستان به ۵۷/۰۳- رسیده است، و در ارتفاع بالای ۲۵۰۰ متر کمترین کاهش وجود داشته است جدول (۶). چراکه بر اساس نتایج سیرگی و همکاران (۲۲)، فرارفت گرمای محسوس، از زمین بدون پوشش برف نقش بارزی در ذوب پوشش‌های برفی پراکنده و تکه‌تکه ایفا می‌کند، درنتیجه سرعت ذوب پهنه‌ای برف هنگامی‌که تراکم گستره‌ی پوشیده با برف بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است، بیشترین مقدار خود را دارد که با نتایج عزیزی و همکاران (۲۳)، مالمرس و همکاران (۲۴)، هرنندز و همکاران (۲۵) همخوانی داشت. پس می‌توان استنباط نمود که مناطق برفی در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ متر به تغییرات اقلیم واکنش بیشتری نشان می‌دهند و این واکنش در فصل زمستان و بهار تغییرپذیری و نوسان بالاتری داراست. می‌توان گفت پوشش برفی در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی در کاهش و پس‌روی است. همچنین با بررسی همبستگی پوشش برف در ارتفاعات مختلف با پارامترهای اقلیمی مشخص شد که طبقات ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ در فصل زمستان دارای همبستگی منفی با میانگین دما حدود ۰/۸۱-، بیشینه دما حدود ۰/۷۵- و کمینه دما حدود ۰/۷- و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. همچنین این طبقه ارتفاعی (۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ در فصل زمستان) همبستگی مثبت حدود ۰/۶ با رطوبت نسبی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد را نشان داد. در طبقات ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۵۵۰۰ فصل بهار، پاییز و کل گستره همبستگی منفی به ترتیب حدود ۰/۶۲-، ۰/۶۱- و ۰/۶۱- و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد با تابش خالص دارد. پوشش برف در طبقات ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۵۵۰۰ فصل پاییز و کل گستره همبستگی منفی با دما به ترتیب حدود ۰/۷۰- و ۰/۶۵- و مثبت با بارش به ترتیب حدود ۰/۶۲ و ۰/۶۰ در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد نشان داد و کل گستره دارای همبستگی مثبت ۰/۶۵ با رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد است جدول (۷). که پوشش برف به‌عنوان عایق حرارتی یک پارامتر فوق‌العاده مؤثر و حساس محسوب می‌شود به‌صورت مؤثرتری خاک را عایق‌بندی کرده و نوسانات درجه حرارت را کاهش می‌دهد به دلیل اینکه پوشش برف یک‌لایه مرزی صفر درجه ایجاد می‌کند (۲۶).

جدول ۶- نتایج آماره Z من-کندال و تخمین گر شیب‌خط سن، گستره‌ی پوشش برف طبقات ارتفاعی منطقه موردمطالعه

Table 6. Results of Man-Kendall Z statistic and age gradient estimator, snow cover range of elevation of study area

طبقه ارتفاعی	کمتر از ۵۰۰ متر		۵۰۰-۱۶۰۰ متر		۱۶۰۰-۲۵۰۰ متر		۲۵۰۰-۵۵۰۰ متر	
سری زمانی	Z من-کندال	β $(km^2 yr^{-1})$	Z من-کندال	β $(km^2 yr^{-1})$	Z من-کندال	β $(km^2 yr^{-1})$	Z من-کندال	β $(km^2 yr^{-1})$
پاییز	-	-	-	-	-۰/۰۷	-۴/۷۵	۰/۰۳	۶/۴۸
زمستان	-	-	-۰/۰۶	-	-۰/۱۷	-۵۷/۰۳	۰/۰۲	۲/۲۶
بهار	-	-	-	-	-	-	-۰/۰۵	-۷/۳۲
کل منطقه	من- کندال				شیب سن			
	-۰/۰۵				-۵۰/۴۹			

*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪

جدول ۷- بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعاتی مختلف با پارامترهای اقلیمی

Table 7. Pearson correlation coefficient between snow cover levels at different altitudes with climatic parameters

سری زمانی	طبقات ارتفاعی	میانگین دما	بیشینه دما	کمینه دما	مجموع بارش	سرعت باد	رطوبت نسبی	تابش خالص
	۵۰۰-۱۶۰۰	-۰/۴۴	-۰/۱۷	-۰/۲۸	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۹	-۰/۰۸
زمستان	۱۶۰۰-۲۵۰۰	-۰/۸۱*	-۰/۷۵*	-۰/۷۰*	۰/۴۵	-۰/۰۱	۰/۶*	-۰/۱۹
	۲۵۰۰-۵۵۰۰	-۰/۵۱*	-۰/۴۰	-۰/۳۸	۰/۲۴	-۰/۳۰	۰/۱۵	-۰/۳۴
بهار	۲۵۰۰-۵۵۰۰	-۰/۴۱	-۰/۳۶	-۰/۲۱	۰/۶۲*	-۰/۰۹	۰/۱۸	-۰/۶۲*
پاییز	۱۶۰۰-۲۵۰۰	-۰/۶۱*	-۰/۴۲	-۰/۳۵	۰/۶۵*	-۰/۱۳	۰/۳۷	-۰/۴۵
	۲۵۰۰-۵۵۰۰	-۰/۷*	-۰/۹*	-۰/۷۳*	۰/۶۲*	-۰/۲۰	۰/۴۲	-۰/۶۱*
کل منطقه		-۰/۶۵*	-۰/۷۲*	-۰/۵۸*	۰/۶۰*	-۰/۱۵	۰/۶۵*	-۰/۶۱*

*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪

در این پژوهش سری زمانی تغییرات سطح پوشش برف با توجه به نوسانات اقلیمی در گستره‌ی شمالی البرز مرکزی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۸ موردبررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که عمده منابع آبی رودخانه‌ها و حوضه‌های پایین‌دست از مناطق بالادست تأمین می‌شود، بنابراین بررسی دقیق آماری روند تغییرات پوشش برف این منطقه که بیشتر بارش‌ها به‌صورت برف است، به‌عنوان منبع تأمین آب پایین‌دست گامی مهم در جهت مدیریت منابع آب، خشک‌سالی و سیلاب خواهد بود. نتایج روند پوشش برف به‌صورت فصلی و سالانه نشان می‌دهد که پوشش برف دارای روند کاهشی و در سطح ۹۵ درصد فاقد معنی‌داری است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت روند پوشش برفی طبقات ارتفاعی مختلف در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی کاهشی و پس‌روی کرده است. 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. که بیشترین تأثیر افزایش دما در فصل بهار مشاهده شده است به‌طوری‌که افزایش دما در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار شده است. چراکه در اوایل بهار انرژی موردنیاز برای ذوب برف معمولاً از تابش موج‌کوتاه تأمین می‌شود و همین‌طور که شدت‌جریان تابشی خالص به دلیل افزایش تابش ورودی موج‌کوتاه افزایش و سپیدی ناشی از کاهش ارتفاع و گستره‌ی پوشیده از برف رخ می‌دهد، سرعت ذوب برف افزایش می‌یابد. ازاین‌رو با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی، بارش‌های زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهند شد، کاهش‌یافته است و می‌تواند روی رواناب ناشی از این بارش‌ها در فصل بهار تأثیرگذار باشد. ازآنجاکه این منطقه قابلیت ریزش برف از اواسط پاییز تا اوایل بهار و ذخیره برف تا خردادماه را دارا است. بنابراین اطلاعات درباره سطح پوشش برف در این منطقه برای بسیاری از کاربردهای هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی و همچنین تولید برق آبی، پیش‌بینی سیلاب و خشک‌سالی ضروری است.

پیشنهادها

جهت بالا بردن دقت درزمینه برآورد و استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای موارد زیر را می‌توان پیشنهاد کرد تا به‌عنوان جایگزینی برای برداشت‌های زمینی باشد:

۱- سنجش زمینی داده‌های برف شکاف بزرگی در پژوهش‌های هیدرولوژی برف و گرمایش جهانی است، و با توجه به این‌که اندازه‌گیری و گردآوری داده‌های برف کاری دشوار است و ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه در ارتفاع‌های پایین قرارگرفته‌اند، لازم است در مناطق برف‌گیر و کوهستانی منطقه از ایستگاه‌های مجهز به دستگاه‌های اندازه‌گیری خودکار یا ماهواره‌های راداری استفاده شود.

۲- تصاویر ماهواره‌ای باتوان جداسازی بالا همچون تصاویر ماهواره‌ای Aster و Sentinel 2 استفاده شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

منابع

1. Khadka, D., M.S. Babel, S. Shrestha and N.K.Tripathi. 2014. Climate change impact on glacier and snow melt and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region. Journal of Hydrology, 511: 49-60.
2. DeWalle, D.R. and A. Rango. 2008. Principles of snow hydrology: Cambridge University Press.
3. Lindsay, C., J. Zhu, A. Miller, P. Kirchner and T. Wilson. 2015. Deriving snow cover metrics for Alaska from MODIS. Remote Sensing, 7(10): 12961-85.
4. Dietz, A. 2014. Central Asian snow cover characteristics between 1986 and 2012 derived from time series of medium resolution remote sensing data.
5. Warren, S.G. 1982. Optical properties of snow. Reviews of Geophysics, 20(1): 67-89.
6. Fassnacht, S., M. Cherry, N. Venable and F. Saavedra. 2016. Snow and albedo climate change impacts across the United States Northern Great Plains. The Cryosphere, 10(1): 329-39.
7. Karimi, H., H. Zeinivand and N.A.H.Tahmasebipour. 2018. Simulation of snow cover area and its runoff in Horo-Dehno watershed in Lorestan Province. journal of watershed management research, 8(16): 77-89.
8. Sedighi, F., M. Vafakhah, M.R. Javadi. 2016. Application of Artificial Neural Network for Snowmelt-Runoff (Case Study: Latyan Dam Watershed). Journal of Watershed Management Research, 6(12): 43-54.
9. Wu, S., X. Zhang, J. Du, X. Zhou, Y. Tuo, R. Li and et al. 2019. The vertical influence of temperature and precipitation on snow cover variability in the Central Tianshan Mountains, Northwest China. Hydrological Processes, 33(12): 1686-97.
10. Huang, X., J. Deng, W. Wang, Q. Feng and T. Liang. 2017. Impact of climate and elevation on snow cover using integrated remote sensing snow products in Tibetan Plateau. Remote sensing of environment, 190: 274-88.
11. Maskey, S., S. Uhlenbrook and S. Ojha. 2011. An analysis of snow cover changes in the Himalayan region using MODIS snow products and in-situ temperature data. Climatic Change, 108(1-2): 391.
12. Hajihoseini, H., M. Hajihosseini, A. Najafi, S. Morid and M. Delavar. 2015. Assessment of changes in hydro-meteorological variables upstream of Helmand Basin during the last century using CRU data and SWAT model.
13. Higgins, R., V. Kousky, V. Silva, E. Becker and P. Xie. 2010. Intercomparison of daily precipitation statistics over the United States in observations and in NCEP reanalysis products. Journal of climate, 23(17): 4637-50.
14. Salomonson, V.V. and I. Appel. 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. Remote sensing of environment, 89(3): 351-60.
15. Dozier, J. 1991. editor Remote sensing of alpine snow cover invisible and near-infrared wavelengths. Proceedings from the Centre for Snow Science at Alta 1991 Symposium: Online at: http://www avalanche org/~ moonstone/cssa91' htm.
16. Hall, D.K., G.A. Riggs, V.V. Salomonson, N.E. DiGirolamo and K.J. Bayr. 2002. MODIS snow-cover products. Remote sensing of Environment, 83(1-2): 181-94.
17. Klein, A.G., D.K. Hall and A.W. Nolin. 2000. Development of a prototype snow albedo algorithm for the NASA MODIS instrument. Proceedings of the 57th Eastern Snow Conference, 15-7.
18. Bashir, F. and G. Rasul. 2010. Estimation of average snow cover over northern Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology, 7(13): 63-9.
19. Mohammadi Ahmadmahmoudi, P. and A. Khoorani. 2019. Snow Cover Changes of Zagros Range in 2001-2016 Using Daily Data of MODIS. Journal of the Earth and Space Physics, 45(2): 355-71.
20. Singh, D.K., H.S. Gusain, V. Mishra and N. Gupta. 2018. Snow cover variability in North-West Himalaya during last decade. Arabian Journal of Geosciences, 11(19): 579.
21. Aguirre, F., J. Carrasco, T. Sauter, C. Schneider, K. Gaete, E. Garin and et al. 2018. Snow cover change as a climate indicator in Brunswick Peninsula, Patagonia. Frontiers in Earth Science, 6: 130.
22. Sirguey, P., R. Mathieu and Y. Arnaud. 2009. Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250 m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand: Methodology and accuracy assessment. Remote Sensing of Environment, 113(1): 160-81.
23. Azizi, G., M. Rahimi, H. Mohammadi and F. Khoshakhlagh. 2017. Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. Physical Geography Research Quarterly, 49(3): 381-93.
24. Malmros, J.K., S.H. Mernild, R. Wilson, T. Tagesson and R. Fensholt. 2018. Snow cover and snow albedo changes in the central Andes of Chile and Argentina from daily MODIS observations (2000-2016). Remote sensing of environment, 209: 240-52.
25. Hernández-Henríquez, M.A., S.J. Déry and C. Derksen. 2015. Polar amplification and elevation-dependence in trends of Northern Hemisphere snow cover extent, 1971-2014. Environmental Research Letters, 10(4): 044010.
26. Flerchinger, G. and C. Hanson. 1989. Modeling soil freezing and thawing on a rangeland watershed. Transactions of the ASAE, 32(5): 1551-4.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]

Statistical Analysis of Time Series of Snow-Covered Area Obtained from Satellite Images in Mazandaran Province

Hadigheh Bahrami Pichghchi[1], Reza Norooz Valashedi[2] and Mahmoud Raeini-Sarjaz[3]

1- M.Sc. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Assistant Professor in Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: r.norooz@sanru.ac.ir)
3- Professor in Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
Received: 16 January, 2020 Accepted: 6 March, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: The snow variable plays an important role in hydrological cycles and is an essential component of the climate system. Is one of the basic applications in the field of water resources management, especially in areas where snowfall has a large share of precipitation? Therefore, the main purpose of this study is to investigate the trend of these changes in the watershed of the northern slope of the Alborz Mountain range in Mazandaran province in abnormal climatic conditions in the last decade.

Material and Methods: First, MODIS sensor data was received daily from NASA's National Snow and Ice Database (NSIDC) with a 500*500 m embedding capacity. The received images are related to the period 2000-2018. To process the images, pre-processing operations were first performed on them in the ENVI 5.3 software environment. The NDSI index was used to estimate the snow cover. Mann-Kendall test and age line slope estimator method were used to study the trend of snow cover changes. Pearson correlation coefficient was also used to investigate the correlation between snow cover level and climatic parameters.

Results: Examination of the trend of snow cover level seasonally and annually showed that snow cover in winter has decreased by about -50.41 square kilometers per year. From the elevation standpoint, snow cover is regressing, as its trend is decreasing across all elevation levels, especially at altitudes of 1600 to 2500 meters. The result of this study shows that there is a negative correlation between snow cover and net radiation and a positive correlation with soil moisture at a 95% confidence level. A comparison of the correlation between snow cover status and time and different elevation classes with temperature and precipitation shows that in most cases negative snow cover anomalies are associated with positive temperature and negative rainfall anomaly, which is significant at 95% level. While acknowledging the decline of snow stocks on the northern slope and the increasing increase in freezing temperatures, the management of downstream basin water resources should be reconsidered.

Conclusion: In general, the results show that the trend of snow cover seasonally and annually has a decreasing trend. It can also be concluded that the trend of snow cover of different altitudes in the northern slopes of Central Alborz has decreased and receded. The greatest effect of temperature increase is observed in spring. This is because the energy required to melt snow is usually provided by short-wave radiation in early spring, and as the intensity of the net radiation current increases due to the increase in short-wave input radiation and the whiteness occurs due to the decrease in height and snow-covered range, the snow melting rate increases. Therefore, with increasing temperature and changing climatic conditions, winter precipitation, which will turn into snow accumulation, has decreased and can affect the runoff caused by these precipitations in spring.

Keywords: Climate Fluctuations, Global Warming, NDSI Index, Net Radiation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.50]