



"مقاله پژوهشی"

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

حدیقه بهرامی پیچاقچی^۱، رضا نوروز ولاشیدی^۲ و محمود رائینی سرجاز^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد 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 مسؤول: 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 کاربردهای بنیادی در زمینه‌ی مدیریت منابع آب برف است، به‌ویژه در پهنه‌هایی که بارش آن سهم زیادی در ریزش‌های جوی دارد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی روند این تغییرات در حوزه آبخیز دامنه شمالی رشته‌کوه البرز در استان مازندران در شرایط ناهنجار 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- کیلومتر مربع در هر سال کاهش یافته است. از نظر طبقات ارتفاعی، پوشش برف در حال پس‌روی است، زیرا روند آن در همه طبقات ارتفاعی به‌ویژه ارتفاعات ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ متر حدود ۵۷/۰۳- کیلومتر مربع 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 از نظر 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، به‌طوری که 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 حوزه 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 موج کوتاه تأمین می‌شود و همین‌طور که شدت جریان تابشی خالص به دلیل افزایش تابش ورودی موج کوتاه افزایش و سبیدی ناشی از کاهش ارتفاع و گسترده‌ی پوشیده از برف رخ می‌دهد، سرعت ذوب برف افزایش می‌یابد. از این‌رو با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی، بارش‌های زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهند شد، کاهش یافته 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

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 کاربردهای بنیادی در زمینه‌ی مدیریت منابع آب،

در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم اثرات گسترده‌ای بر جنبه‌های گوناگون مناطق کوهستانی و سامانه‌های اکولوژیکی و اجتماعی آن داشته است. از جمله 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 قرار گرفته‌اند (۱). به‌طوری که یخ و برف موجود بر روی کره زمین بخش مهمی از سیستم آب و هوایی جهان را تشکیل می‌دهند. با توجه به این که 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

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 شبیه‌سازی شده 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 ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه، دما در بیشتر دوره زمانی مورد مطالعه 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 ۲۰۰۱-۲۰۱۴ با استفاده از آزمون نا پارامتریک من-کندال مورد روند یابی قراردادند که نتایج از کاهش معنی‌دار سطح پوشش برف در سطح فلات بال‌اخص 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. از این رو، 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 انجام گرفته 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 مورد مطالعه

گستره شمالی رشته‌کوه البرز در استان مازندران قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی در حدفاصل بین خط‌الراس 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

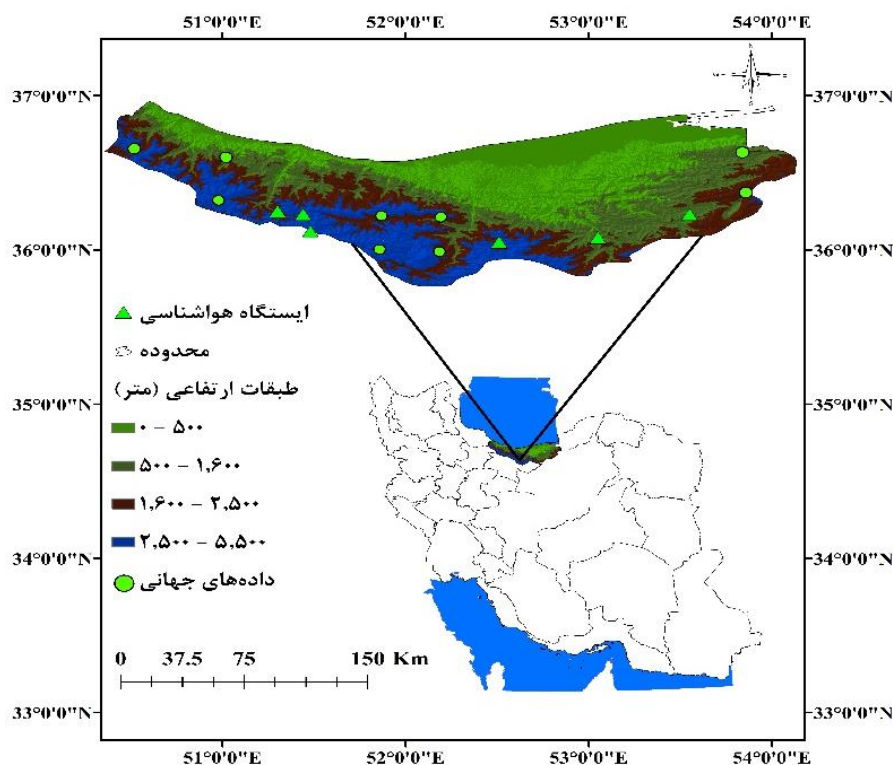
به‌ویژه در پهنه‌هایی که بارش برف سهم زیادی در ریزش‌های جوی دارد، برآورد دقیق پهنه پوشش برف و حجم آب معادل مربوطه محسوب می‌شود (۲). از این رو، مدل‌سازی ویژگی‌های سطحی بارش برف از دیدگاه آب و هواشناسی اقلیمی نقش بسزایی در زمینه‌های مختلف مانند مهار سیلاب، مدیریت حوضه‌های آبخیز، تأمین آب مصرفی، فرسایش خاک 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 از جمله تحلیل داده‌های دورسنجی را در سطوح منطقه‌ای و جهانی نشان می‌دهد (۴). از این رو، سنجش‌ازدور به همراه مدل‌های محیطی ایزاری 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 آلودگی ناشی از آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فاسناج و همکاران (۶)، پدیده تغییر اقلیم در سراسر نواحی شمالی ایالات متحده را مورد بررسی قرار دادند 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 آلودگی زمستانه و گسیل انرژی تابشی با طول‌موج کوتاه را به همراه داشته باشد، بررسی روند دما، بارش (باران - برف) تعداد روزهای باران با برف و آلودگی زمستانه در ۲۰ ایستگاه در سراسر منطقه مورد مطالعه در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی 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 بارش در اکثریت ایستگاه‌ها دارای روند بوده و اغلب ایستگاه‌ها با افزایش را نشان می‌دهد و کاهش آلودگی 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

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 شیب خط 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 $1.0^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ درجه و از سایت <https://globalweather.tamu.edu/> دانلود شده است (۱۲). در این پژوهش جهت تحلیل مکانی، زمانی و آماری داده‌ها از نرم‌افزارهای ENVI، GIS، EXCEL و XLSTAT استفاده شد.

کیلومترمربع، با بلندی از ۰ تا ۵۶۷۱ متر فرازتر از سطح دریا است. از نظر 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 مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است.

داده‌های مورد استفاده و روش پژوهش

در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدید واقع در منطقه مورد مطالعه و تصاویر سنجنده MODIS مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده شد. بدین منظور، نخست داده‌های MOD10A1 و MOD10A2 سنجنده MODIS به‌صورت روزانه با توان جاسازی مکانی 500×500 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



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

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد مطالعه

| 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 مه ۲۰۰۲ افزایش چشمگیری یافته است. مشخصات سنجنده 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 Snow 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 به شرط $NDSI > 0.4$ 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

جدول ۲- خصوصیات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

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

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

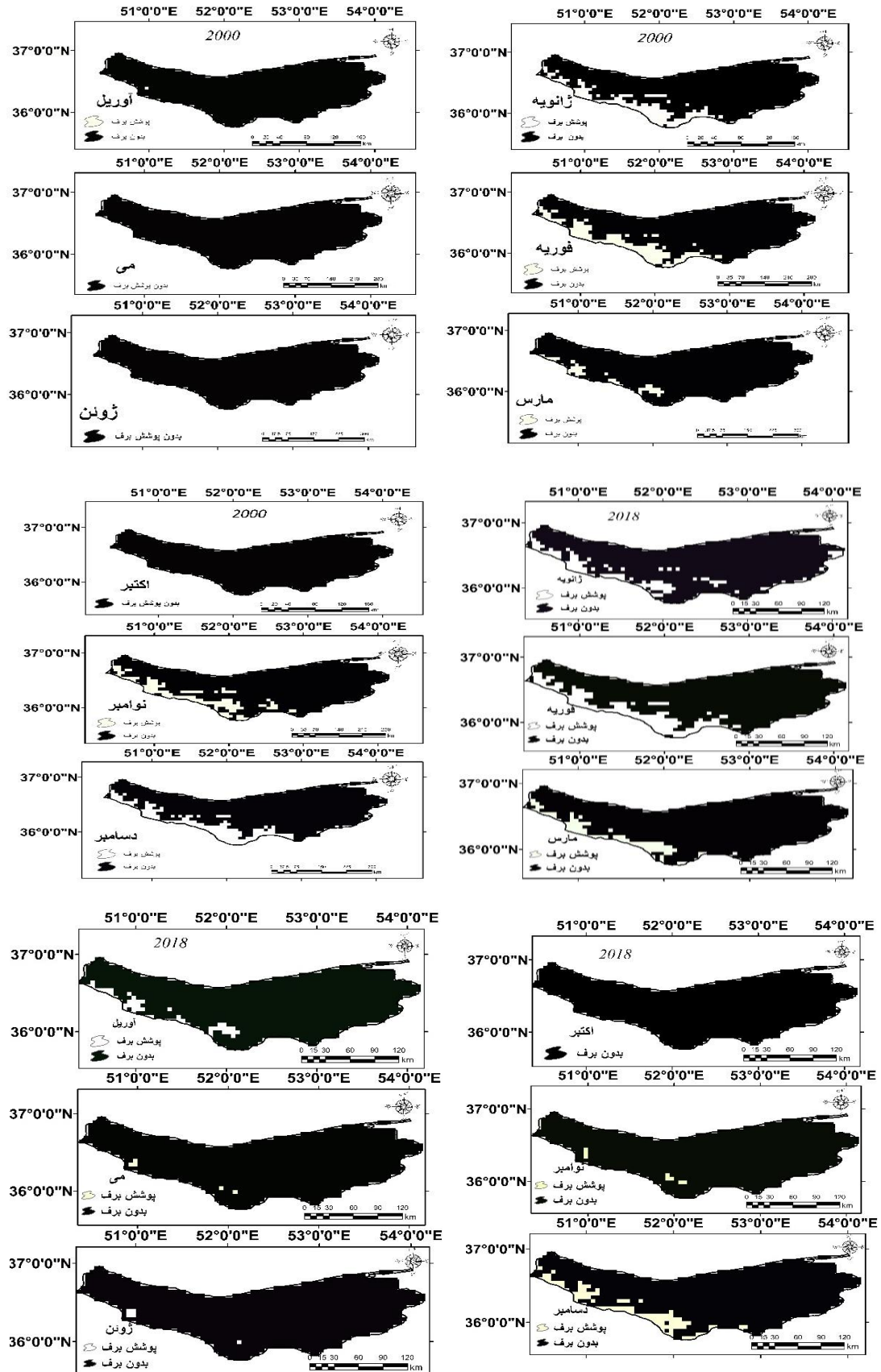
پردازش داده‌های سنجنش‌ازدور سطح برف

داده‌های سنجنش‌ازدور 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 سنجنش‌ازدور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به‌صورت عملیاتی انجام می‌گردد. با ترکیب سنجنش‌ازدور با مدل‌های ذوب برف

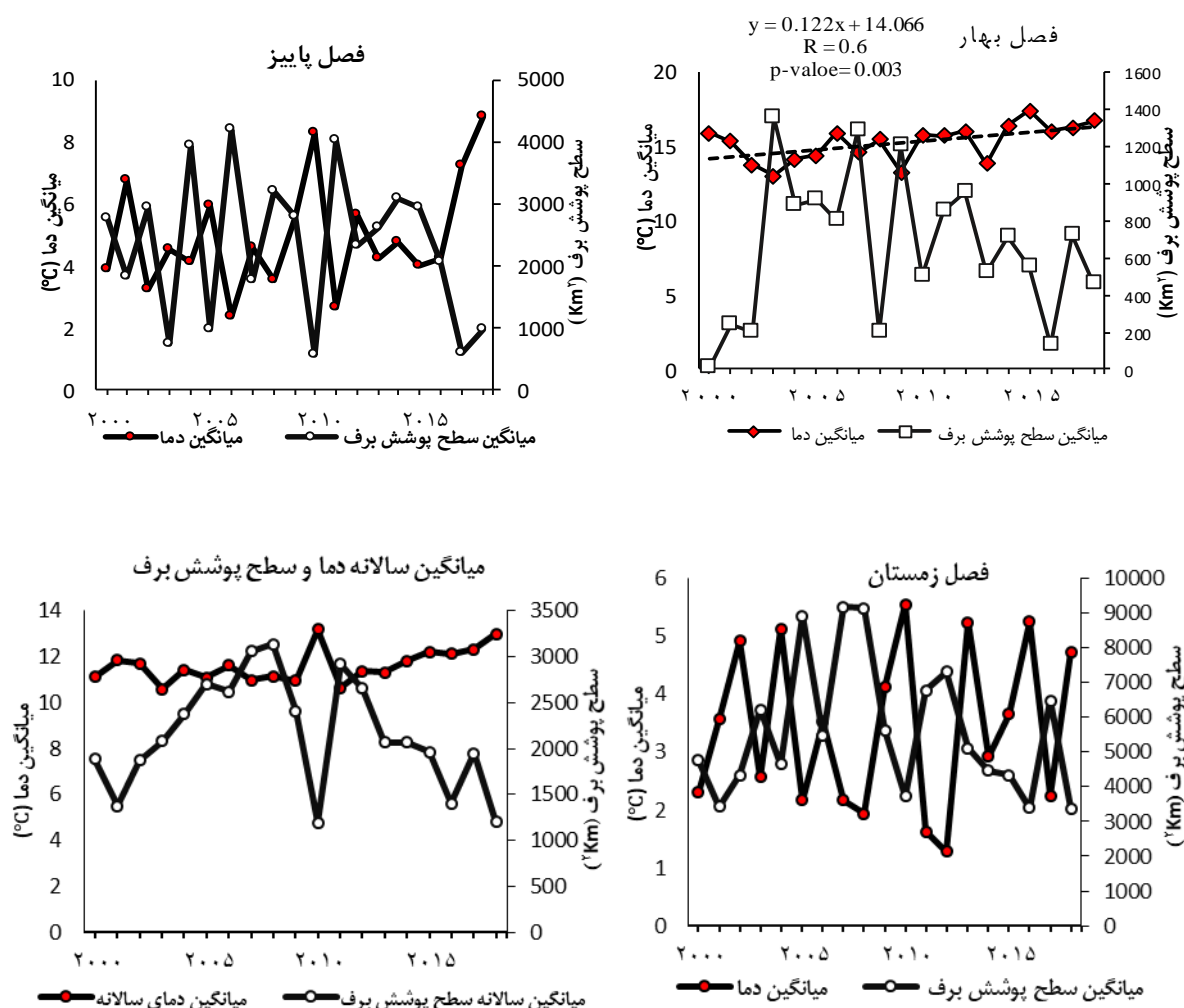
در این پژوهش ابتدا موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد نظر شناسایی گردید، پس از آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که از منطقه‌ی مورد مطالعه در طول ماه‌های مختلف تهیه شده است، با استفاده از نرم‌افزار ENVI و به دست آوردن پیکسل‌های برفی با استفاده از نمایه NDSI که قابلیت بسیار خوبی برای جداسازی برف و یخ از ابر 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 تخمین گر شیب سن استفاده شد محمدی

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 فناوری 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 اعمال شده و اعداد بالاتر و مساوی ۰/۴ به‌عنوان پیکسل شرطی برف جدا شدند شکل (۲). سپس مساحت نواحی برفی در طی دوره‌های مورد مطالعه استخراج و میزان تغییرات هر دوره در منطقه مورد مطالعه 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 پارامترهای اقلیمی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام شد.



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



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

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 به صورت فصلی و سالانه مشخص شد، که روند دما هم به صورت فصلی هم سالانه دارای روند افزایشی و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیستند به جز فصل بهار در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است جدول (۴). شکل (۳) همخوانی خوبی بین سطح پوشش برف و میانگین دما را نشان می‌دهد به طوری که هر سال سطح پوشش برف کاهشی بوده میانگین دما افزایشی بوده است، و برعکس هر سال 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). به طوری که همبستگی منفی بین سطح پوشش برف سالانه با میانگین دما حدود -0.70 ، فصل زمستان -0.73 ، بهار -0.6 و پاییز -0.8 و معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد است که با

روند گستره‌ی پوشش برف

روند تغییرات سطح پوشش برف به صورت سالانه و فصلی برای دوره ۱۹ سال در گستره‌ی شمالی البرز مرکزی مشخص شد که مقادیر به دست آمده برای Z من کندانال 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. به طوری که حدود $-50/4$ کیلومتر مربع 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

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 ۴۸/۰ 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.

نتایج وو و همکاران (۹) همخوانی داشت. که نتایج ایشان نشان می‌دهد دما در بیشتر دوره زمانی مورد مطالعه، تأثیر بیشتری در پوشش برف نسبت به بارش دارد. همچنین بین پوشش برف به صورت سالانه و فصلی به جز 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 ۷۱/۰-، فصل پاییز ۶۰/۰- و بهار ۶۱/۰- 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

جدول ۳- نتایج آماره من-کندال (Z) و تخمین گر شیب سن (β) برای گستره پوشش برف در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰
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 شیب خط سن $\beta(km^2 \cdot yr^{-1})$ |
|------------------|-----------|---------------------|---|
| 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 شیب خط سن، برای پارامترهای مختلف اقلیمی
Table 4. Mann-Kendall Z statistics and age gradient estimator for different climatic parameters

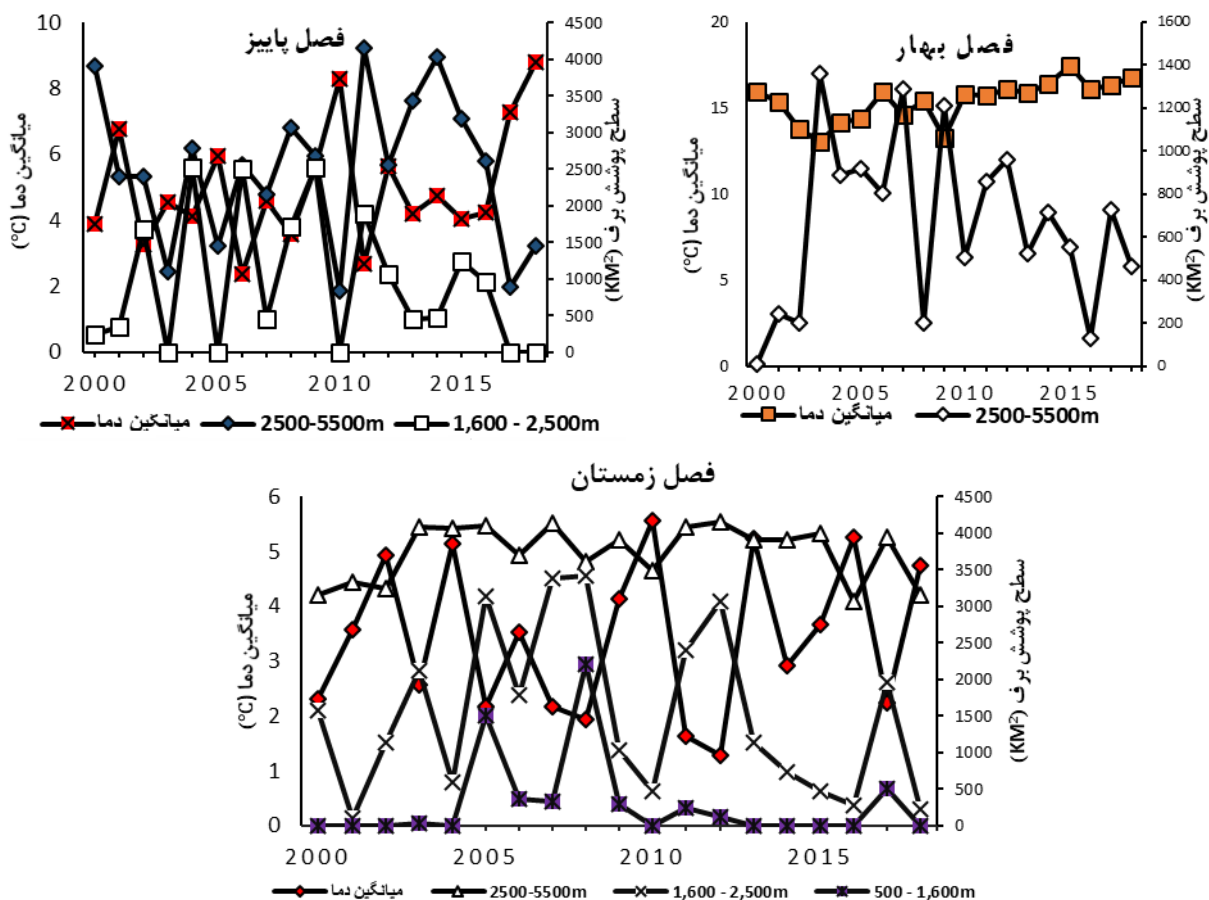
| سری زمانی | میانگین دما | بیشینه دما | کمینه دما | مجموع بارش | رطوبت نسبی | تابش خالص |
|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| | β | Z | β | Z | β | Z |
| زمستان | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۵ | ۰/۲۰ | ۰/۱۹ | ۰/۲۳ |
| بهار | ۰/۴۸* | ۰/۱۵ | ۰/۲۵ | -۰/۱۳ | ۰/۲۹ | ۰/۱۲ |
| پاییز | ۰/۲۲ | ۰/۰۷ | ۰/۱۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۷ | ۰/۰۴ |
| کل منطقه | ۰/۳۲ | ۰/۰۶ | ۰/۲۶ | -۰/۱۴ | ۰/۱۱ | ۰/۰۴ |

*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪

جدول ۵- بررسی ضریب همبستگی (پیرسون) بین سطح پوشش برف به صورت 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 |
|-----------|-------------|------------|-----------|------------|----------|------------|-----------|
| | β | Z | β | Z | β | Z | β |
| 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٪



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 ($^{\circ}\text{C}$) in different elevation zones for spring, autumn and winter seasons

برفی پراکنده و تکه‌تکه ایفا می‌کند، در نتیجه سرعت ذوب پهنه‌ای برف هنگامی که تراکم گستره‌ی پوشیده با برف بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است، بیشترین مقدار خود را دارد که با نتایج عزیزی و همکاران (۲۳)، المرس 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 $-۰/۷۰$ 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

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 این که زمستان شاهد بیشترین کاهش پوشش برف ($۰/۹$ درصد در هر سال) 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 به‌طوری که 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

است جدول (۷). که پوشش برف به عنوان عایق حرارتی یک پارامتر فوق العاده مؤثر و حساس محسوب می شود به صورت مؤثرتری خاک را عایق بندی کرده و نوسانات درجه حرارت را کاهش می دهد به دلیل اینکه پوشش برف یک لایه مرزی صفر درجه ایجاد می کند (۲۶).

معنی داری 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 معنی داری ۹۵ درصد نشان داد و کل گستره دارای همبستگی مثبت ۰/۶۵ با رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد

جدول ۶- نتایج آماره Z من-کندال و تخمین گر شیب خط سن، گستره ی پوشش برف طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه
Table 6. Results of Man-Kendall Z statistic and age gradient estimator, snow cover range of elevation of study area

| سری زمانی | من-کندال | من-کندال | من-کندال | من-کندال | من-کندال | من-کندال | من-کندال |
|--------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| طبقه ارتفاعی | کمتر از ۵۰۰ متر | ۵۰۰-۱۶۰۰ متر | ۱۶۰۰-۲۵۰۰ متر | ۲۵۰۰-۵۵۰۰ متر | ۵۵۰۰-۷۵۰۰ متر | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ متر | ۸۵۰۰-۹۵۰۰ متر |
| پاییز | - | - | - | - | - | - | - |
| زمستان | - | - | - | - | - | - | - |
| بهار | - | - | - | - | - | - | - |
| کل منطقه | - | - | - | - | - | - | - |

*: معنی داری در سطح ۹۵٪

جدول ۷- بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعی 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 | ۱۶۰۰-۲۵۰۰ | ۲۵۰۰-۳۵۰۰ | ۳۵۰۰-۴۵۰۰ | ۴۵۰۰-۵۵۰۰ | ۵۵۰۰-۶۵۰۰ | ۶۵۰۰-۷۵۰۰ | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ | ۸۵۰۰-۹۵۰۰ |
| زمستان | ۲۵۰۰-۳۵۰۰ | ۳۵۰۰-۴۵۰۰ | ۴۵۰۰-۵۵۰۰ | ۵۵۰۰-۶۵۰۰ | ۶۵۰۰-۷۵۰۰ | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ | ۸۵۰۰-۹۵۰۰ | ۹۵۰۰-۱۰۵۰۰ |
| بهار | ۳۵۰۰-۴۵۰۰ | ۴۵۰۰-۵۵۰۰ | ۵۵۰۰-۶۵۰۰ | ۶۵۰۰-۷۵۰۰ | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ | ۸۵۰۰-۹۵۰۰ | ۹۵۰۰-۱۰۵۰۰ | ۱۰۵۰۰-۱۱۵۰۰ |
| پاییز | ۴۵۰۰-۵۵۰۰ | ۵۵۰۰-۶۵۰۰ | ۶۵۰۰-۷۵۰۰ | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ | ۸۵۰۰-۹۵۰۰ | ۹۵۰۰-۱۰۵۰۰ | ۱۰۵۰۰-۱۱۵۰۰ | ۱۱۵۰۰-۱۲۵۰۰ |
| کل منطقه | ۵۵۰۰-۶۵۰۰ | ۶۵۰۰-۷۵۰۰ | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ | ۸۵۰۰-۹۵۰۰ | ۹۵۰۰-۱۰۵۰۰ | ۱۰۵۰۰-۱۱۵۰۰ | ۱۱۵۰۰-۱۲۵۰۰ | ۱۲۵۰۰-۱۳۵۰۰ |

*: معنی داری در سطح ۹۵٪

افزایش می یابد. از این رو با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی، بارش های زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهند شد، کاهش یافته است و می تواند روی رواناب ناشی از این بارش ها در فصل بهار تأثیرگذار باشد. از آنجاکه 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، اقلیم شناسی و همچنین تولید برق آبی، پیش بینی سیلاب و خشک سالی ضروری است.

پیشنهادهای

جهت بالا بردن دقت در زمینه برآورد و استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره ای موارد زیر را می توان پیشنهاد کرد تا به عنوان جایگزینی برای برداشت های زمینی باشد:

۱- سنجنش زمینی داده های برف شکاف بزرگی در پژوهش های هیدرولوژی برف و گرمایش جهانی است، و با توجه به این که اندازه گیری و گردآوری داده های برف کاری دشوار است و ایستگاه های هواشناسی موجود در منطقه در ارتفاع های پایین قرار گرفته اند، لازم است در مناطق برف گیر و کوهستانی منطقه از ایستگاه های مجهز به دستگاه های اندازه گیری خودکار یا ماهواره های راداری استفاده شود.

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

در این پژوهش سری زمانی تغییرات سطح پوشش برف با توجه به نوسانات اقلیمی در گستره ی شمالی البرز مرکزی با استفاده از داده های سنجنش از دور برای دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که عمده منابع آبی رودخانه ها و حوضه های پایین دست از مناطق بالادست تأمین می شود، بنابراین بررسی دقیق آماری روند تغییرات پوشش برف این منطقه که بیشتر بارش ها به صورت برف است، به عنوان منبع تأمین آب پایین دست گامی مهم در جهت مدیریت منابع آب، خشک سالی و سیلاب خواهد بود. نتایج روند پوشش برف به صورت فصلی و سالانه نشان می دهد که پوشش برف دارای روند کاهشی و در سطح ۹۵ درصد فاقد معنی داری است. همچنین می توان نتیجه گرفت روند پوشش برفی طبقات ارتفاعی مختلف در دامنه های شمالی البرز مرکزی کاهشی و پس روی کرده است. مقایسه شرایط بارش و دما با وضعیت پوشش برف نشان داد در بیشتر سال ها 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 به طوری که افزایش دما در سطح ۹۵ درصد معنی دار شده است. چراکه در اوایل بهار انرژی مورد نیاز برای ذوب برف معمولاً از تابش موج کوتاه تأمین می شود و همین طور که شدت جریان تابشی خالص به دلیل افزایش تابش ورودی موج کوتاه افزایش و سپیدی ناشی از کاهش ارتفاع و گستره ی پوشیده از برف رخ می دهد، سرعت ذوب برف

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. Khorani. 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.

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

Hadigheh Bahrami Pichghchi¹, Reza Norooz Valashedi² and Mahmoud Raeini-Sarjaz³

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