



بررسی اثرگذاری گرمایش فراگیر بر تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف و ماندگاری آن در گستره دامنه شمالی البرز مرکزی

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸

چکیده

گرمایش جهانی می‌تواند بر حوضه‌های آبریز برفگیر و پراکنش زمانی و مکانی برف، و در نتیجه نیازهای آبی پایین‌دست حوضه اثرگذار باشد. از این رو، هدف این پژوهش بررسی تغییرات مکانی-زمانی پوشش و ماندگاری برف در دامنه شمالی البرز مرکزی می‌باشد. از داده‌های سنجنده MODIS و نمایه NDSI، برای برآورد پهنه پوشش برف در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که روندی معنی‌دار و افزایشی در دمای ماه‌های می و ژوئن وجود دارد. از سویی دیگر گرچه روندی در پهنه پوشش برف دیده نشد، ولی تخمین‌گر شیب سن نشان داد که پهنه پوشش برف در ماه ژانویه نزدیک به ۲۲۰ کیلومتر در سال افت کرده است، که این افت با افزایش میانگین دمای این ماه همبستگی منفی معنی‌داری داشت ($r = -0.77$). در حالی که در ماه مارس سالانه نزدیک به ۶۰ کیلومتر بر پهنه پوشش برف افزوده شده است. همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.81$) بین پهنه پوشش برف و ارتفاع برف، و همبستگی‌های منفی معنی‌داری ($r = -0.60$ تا -0.80) میان پهنه سالانه پوشش برف و میانگین دمای سالانه هوا دیده شد. این یافته‌ها نشانگر اثر تغییرات زمانی و مکانی دما بر گستره و ماندگاری برف می‌باشند. با کاهش بلندی حوضه از غرب در هراز، با میانگین ارتفاعی ۲۰۵۹ متر، به سوی شرق در حوضه تجن، با میانگین ارتفاعی ۹۸۰۷ متر، از پهنه پوشش برف و ماندگاری آن کاسته می‌شود. از یافته‌های این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود که تغییرات دما در این گستره هم‌روند گرمایش فراگیر است، در حالی که این گرمایش بر پراش (واریانس) پهنه پوشش برف اثر گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: NDSI، MODIS، دامنه شمالی البرز، دما، پوشش برف

مقدمه

تغییرات بلندمدت اقلیمی، یک چالش مهم در علم آب و هواشناسی است (Bashir and Rasul, 2010). یکی از ریخت‌های مهم بارش در چرخه آبشناسی در مناطق کوهستانی برف است، که نقش مهمی در تأمین منابع آب کشاورزی و آشامیدنی به صورت جریان‌های کمینه در فصل کم‌آبی و جریان‌های تأخیری در فصل پربابی و تولید انرژی دارد (Ghanbarpour et al., 2005). پارامتر بسیار مهم برای چرخه هیدرولوژیک و اقلیم‌شناسی، مساحت پوشش برف است. بازتابش ناشی از سپیدایی بالای برف سبب شده است که سطوح برف، انرژی تابشی خورشید را بیشتر برگردانند.

از دیدگاه هواشناسان و اقلیم‌شناسان، پایش برف به دلیل اثرگذاری ویژگی‌های فیزیکی برف بر تغییرات روزانه و نیز

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۲ استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری، ساری، ایران

(#نویسنده مسئول: raeini@yahoo.com)

^۳ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری، ساری، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

بهرامی پیچاقچی، ح.، رائینی سرجاز، م.، نوروز ولاشدی، ر. ۱۳۹۹. بررسی اثرگذاری گرمایش فراگیر بر تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف و ماندگاری آن در گستره

دامنه شمالی البرز مرکزی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۸(۱)، ۱۵-۲۵. DOI: 10.22125/agmj.2020.200876.1071

Bahrami Pichaghchi, H., Raeini-Sarjaz, M., Norooz Valashedi, R. 2020. Investigation of the effect of global warming on temporal and spatial changes of snow cover and its durability in the northern slope of Central Alborz. Journal of Agricultural Meteorology, 8(1), 15-25. DOI: 10.22125/agmj.2020.200876.1071.

آشکاری در بازتاب بازه طیفی نور آشکار و فروسرخ دارد، از دیگر سطوح طبیعی قابل شناسایی می‌کنند (Warren, 1982). تاکنون از داده‌های ماهواره‌ای مختلف برای شناسایی گستره‌ی پوشش برف استفاده شده است (Kutar et al., 2018; Zhou et al., 2013; Khadka et al., 2013). تغییرات پوش برف اروپا را طی سری زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر MODIS مطالعه کردند که نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از کاهش پوشش برف در اروپا بوده است. (Sönmez et al., 2014). پوشش برف ترکیه را با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS در فصول چهار گانه طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۴ با استفاده از آزمون من-کندال مورد روندیابی قرار دادند و فصول بهار و تابستان را دارای روند منفی، پاییز روند مثبت و زمستان را ترکیبی از روند مثبت و منفی دانستند. (Tahiri et al., 2015). بارش و پوشش برف و خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آستور (همالیای غربی) را طی دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۰ با تصاویر ۸ روزه پوشش برف سنجنده MODIS مورد مطالعه قرار دادند و روند پوشش برف آن را ثابت و بدون تغییر دانستند. (Huang et al., 2017). پوشش برف فلات تبت را با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۴ بررسی نمودند. ایشان پوشش برف را با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال مورد روندیابی قرار دادند که نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار پهنه پوشش برف در سطح فلات، به ویژه در نواحی مرتفع آن بود. در گستره ایران تاکنون چندین پژوهش برای شناسایی تغییرات پهنه پوشش برف با بهره‌گیری از داده‌های سنجنش از دور انجام شده است (Mirmousavi and Saboor, 2014; Mohammadi Ahmadmahmoudi and Khorani, 2019; Sedighi et al., 2016). Solaimani et al., (2018). مکانی پوشش برف استان کردستان را با استفاده از نمایه‌های سنجنده‌ی MODIS در یک دوره ۱۷ ساله بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین ریزش برف از آبان تا اسفند و در شهرهای دیواندره، بیجار و قروه رخ داده است و روند افزایشی دما موجب آب شدن پهنه‌های برفی این استان شده است. (Falahati et al., 2017). با تصاویر ۸ روزه‌ی ماهواره‌ی MODIS در بازه

سطوح برفی به علت ظرفیت گرمایی بالای برف، سبب محافظت سطح خاک در برابر نیوار و کاهش فرآیند گرمایش در فصل بهار می‌شود؛ از این رو، برف با تحت تأثیر قرار دادن جذب انرژی و گرم شدن حوضه، نقش مستقیمی در مدل‌های گردش جوی در مقیاس بزرگ اقلیم و خُرد اقلیم دارد. مهم‌ترین متغیرها در فرآیند تبادل گرما و رطوبت بین زمین و نیوار، رطوبت خاک و پوشش برف هستند (Maurer et al., 2003). یکی از کاربردهای بنیادی در زمینه مدیریت منابع آب، به ویژه در پهنه‌هایی که بارش برف سهم زیادی در ریزش‌های جوی دارد، برآورد دقیق پهنه پوشش برف و حجم آب معادل مربوطه محسوب می‌شود (Maidment, 1993). از این رو، مدل‌سازی ویژگی‌های سطحی بارش برف از دیدگاه هیدروکلیمایی نقش بسزایی در زمینه‌های مختلف مانند مهار سیلاب، مدیریت حوضه‌های آبخیز، تأمین آب مصرفی، فرسایش خاک و پیش‌بینی خشک‌سالی دارد (DeWalle and Rango, 2008). پوشش برف می‌تواند با استفاده از مدل‌سازی، ایستگاه‌های اندازه‌گیری، فناوری سنجنش از دور، و برنامه‌های کاربردی برآورد شود (Lindsay et al., 2015). با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی، امکان اندازه‌گیری پیوسته میدانی، برآورد منابع برفایی و تشکیل پایگاه داده‌ها وجود ندارد. از این رو به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و سنجنش از دور، با توجه به هزینه کم، روزآمدی و پوشش پهنه، می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد و به شناسایی پهنه‌های برف‌گیر و ارزیابی تغییرات آن روشی درخور باشد (Rahimi and Hasheminasab, 2018). از این رو، سنجنش از دور به همراه مدل‌های محیطی ابزاری بنیادی برای نمایش تغییرات اقلیم جهانی در یخ‌کره هستند. این دو با هم می‌توانند شکاف‌های زمانی - مکانی زمین‌شناختی را در داده‌های اندازه‌گیری میدانی ثبت‌شده، پُر کنند و در هر دو زمینه برف و یخ، برای تهیه شواهد مستقیم تغییر اقلیم نقش اساسی داشته باشند. در این پژوهش استفاده از سامانه‌های سنجنش از دور، برای مشاهده بخشی از یخ‌کره به نام برف و گستره‌ی پوشش آن به عنوان نمایه بسیار مهم تغییر اقلیم بیان می‌شود. سنجنده‌های ماهواره‌ای نوری که طیف‌های نور آشکار (مرئی) و فروسرخ را ثبت می‌کند، به سادگی برف را که اختلاف

با بلندی از ۰ تا ۵۶۷۱ متر فرازتر از سطح دریا است. از نظر توپوگرافی شامل کوه و جلگه است. در این گستره رودهایی که از حوضه‌های آبخیز کوهستانی سرچشمه می‌گیرند، از غرب به شرق عبارت از چالوس، هراز، بابل‌رود، تلار و تجن می‌باشند، که در فصل بهار پُرآب هستند. در این گستره برف نقش کلیدی در چرخه آب‌شناختی و آب‌اقلیمی (هیدرواقلیم) دارد، و بخش چشمگیری از کل رواناب سالانه آن برآمده از ذوب برف می‌باشد. موقعیت جغرافیایی گستره شمالی البرز مرکزی و پراکنش ایستگاه‌های برسیده در شکل ۱، و ویژگی‌های جغرافیایی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 1- Locations and synoptic stations' heights
جدول ۱- جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های همدیدی

Station	Longitude	Latitude	Elevation (m)
Siah bishe	51.3 °E	36.25 °N	1855.4
Kiassar	53.55 °E	36.23 °N	1294
Balade	51.48 °E	36.12 °N	2120
Alasht	52.51 °E	36.05 °N	1900
Pol sefid	53.05 °E	36.08 °N	610

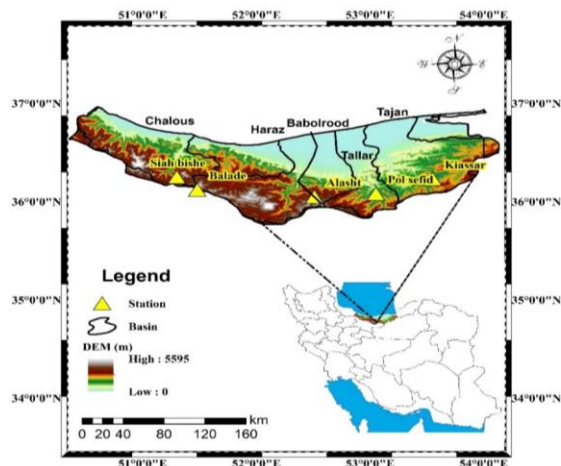


Figure 1- The geographic location of the study area and the spatial distribution of the synoptic weather stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و پراکنش مکانی ایستگاه‌های همدیدی

داده‌های مورد استفاده و روش پژوهش

در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های همدید واقع در منطقه مورد مطالعه و تصاویر سنجنده MODIS و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده شد. بدین منظور، نخست داده‌های MOD10A1 و MOD10A2 سنجنده MODIS با

سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ به بررسی تغییرات پوشش برف در آینده پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که میانگین دمای حوضه‌ی بالادست سد امیرکبیر در آینده نسبت دوره‌ی پایه (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵) افزایش و بارش سالانه روندی کاهشی خواهد داشت. (Sherafat and Fathnia, 2019) برای بررسی تغییرات مکانی-زمانی پوشش برفی زاگرس، تصاویر NOAA-AVHRR را در دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۶ بررسی کردند. با توجه به نتایج می‌توان گفت که در دوره‌ی مورد مطالعه بیشترین مساحت برف در آوریل ۱۹۹۷ با مقدار ۲۷۶۳۷/۶ کیلومترمربع و کمترین مساحت برف در جولای ۲۰۰۱ با مقدار ۶/۳ کیلومترمربع مشاهده شد. از نظر مکانی نیز بیشترین وسعت مناطق برفی در اکثر سال‌ها در ارتفاعات استان‌های چهارمحال و بختیاری، شرق لرستان و ارتفاعات مرزی استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد دیده شد. در مجموع میانگین تغییرات سطح برف در دوره مورد مطالعه ۲۲/۰- و کاهشی بوده است، بیشترین کاهش مربوط به ماه جولای (۳۵/۰-) و کمترین کاهش مربوط به ماه آوریل (۱۷/۰-) است. (Azizi et al., 2017) تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های منطقه و داده‌های برف سنجنده‌ی MODIS در دامنه‌های جنوبی البرز بررسی کردند. که بررسی روند ماهانه پوشش برف نشان داد پوشش برف در اوایل پاییز و اواخر زمستان رو به افزایش و در ژانویه و به ویژه فصل بهار به میزان فزاینده‌ای در حال کاهش است. از این رو، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات زمانی- مکانی و ماندگاری پهنه پوشش برف در حوضه‌های برفگیر در گستره‌ی شمالی البرز مرکزی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS در بازه‌ی زمانی ۱۹ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) است. همچنین برای تعیین رابطه بین ماندگاری پوشش برف و دمای هوا و همبستگی میان پوشش برف و ارتفاع آن از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

گستره‌ی شمالی البرز مرکزی در استان مازندران قرار دارد. این منطقه پهنه‌ای نزدیک به ۸۴۵/۲۶ کیلومترمربع،

دارای بازتاب اندک است و به عنوان الگوریتمی برای آشکارسازی برف از ابر و مناطق بدون پوشش برفی به همراه مجموعه‌ای از آستانه‌ها کاربرد دارد، و به صورت پیکسل به پیکسل محاسبه می‌شود (Klein et al., 1997). در این روش نخست معیارهای بازتاب دوگانه (یعنی مقدار بازتاب پیکسل‌ها در باند ۶ بیشتر از ۱۱ درصد، و بازتاب پیکسل‌ها در باند ۴ برابر یا بیشتر از ۱۰ درصد) به شرط این که $NDSI < 0.4$ باشد، و آنگاه، در گام دوم، برپایه معادله‌ی ۱ آزمون‌های برای استخراج مقادیر NDSI اجرا می‌شود. این نمایه همانند بسیاری از روش‌های نسبت‌گیری طیفی از اثرات نیواری می‌کاهد (Hall et al., 2002). حاصل به کارگیری نمایه NDSI این خواهد شد که پیکسل‌هایی با ارزش ۱- تا ۱+ ایجاد خواهد شد، که ارزش‌هایی که از ۱- تا صفر می‌باشند نشان دهنده‌ی پهنه‌هایی بی برف، و از صفر تا ۱+ پهنه‌های پوشیده از برف را به خود اختصاص می‌دهد. هر چه ژرفای برف بیشتر باشد اندازه نمایه به ۱ نزدیک‌تر می‌شود. الگوریتم نقشه برفی MODIS از باندهای ۴ و ۶ این سنجنده بطور خودکار برای استخراج نمایه NDSI اجرا و بر پایه معادله ۱ محاسبه می‌شود (Bashir and Rasul, 2010).

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

در این معادله باند چهار (۰/۵۴۵-۰/۶۶۵ میکرومتر) دارای بازتابی برابر یا بیشتر از ۱۰ درصد باشد. باند شش (۰/۸۷۶-۰/۸۴۱ میکرومتر) دارای بازتابی بیش از ۱۱ درصد است. در این پژوهش نخست موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی شناسایی شد. آنگاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸)، و با استفاده از نرم‌افزار ENVI نمایه NDSI پیکسل‌های برفی مشخص شدند. سپس مساحت پوشیده از برف توسط نرم‌افزار GIS10.3 تعیین و نقشه‌های پوشش برفی تهیه شد. از آزمون من-کندال و روش تخمین‌گر شیب سن برای بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف و داده‌های دما از استفاده شد (Mohammadi Ahmadm Mahmoudi and Khorani, 2019). همچنین برای تعیین رابطه میان پهنه پوشش برف با داده‌های اقلیمی از ضریب همبستگی پیرسون به کمک نرم‌افزار SAS استفاده شد.

توان جاسازی مکانی ۵۰۰×۵۰۰ متر با فرمت HDF از پایگاه ملی داده‌های برف و یخ ناسا (NSIDC)^۱ 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، رادیومتریک و نیواری بر روی آن‌ها در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 اعمال شد. این عملیات برای تبدیل مختصات تصاویر به مختصات واقعی زمین (WGS94 UTM 39N) و حذف ابر از تصاویر بوده است. همچنین برای بررسی ماندگاری پوشش برف از داده‌های بارش برف و دمای ایستگاه‌های همدید منطقه مورد مطالعه مطابق جدول ۱ استفاده شد.

سنجنده MODIS و الگوریتم Snow Map

یکی از پنج سنجنده جای‌داده بر روی ماهواره ترا سنجنده MODIS است که در ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این پوشش با پرتاب ماهواره Aqua در ۴ می ۲۰۰۲ افزایش چشمگیری یافت. سنجنده MODIS دارای توان جداسازی مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۲۵۰،۱۰۰۰ متری، جداسازی رادیومتریک ۱۲ بیت، جداسازی زمانی بالا (۱ تا ۲ روز) و جداسازی طیفی ۳۶ باندهای است. باندهای ۲۰ تا ۲۳ تابشی و باندهای ۱ تا ۷ بازتابی، که در بازه طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرون قرار دارند. این سنجنده نقشه‌های پوشش برفی را با استفاده از نمایه تفاوت هنجاریده پوشش برفی (NDSI)^۲ (معادله ۱) فراهم می‌کند (Salomonson and Appel, 2004). نمایه NDSI همانند نمایه NDVI یک نسبت‌گیری طیفی هست که از تفاوت طیفی باندهای فروسرخ و باند آشکار سنجنده MODIS تغییرات پهنه‌ی پوشش برفی را تشخیص می‌دهد (Dozier, 1989; Klein et al., 1997). نمایه NDSI از برتری‌های بازتاب طیفی برف که در باند آشکار دارای بازتاب بالا و در بازه طیفی فروسرخ

¹ <https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>

² Normalized Difference Snow Index

یافته‌ها و بحث

روند تغییرات زمانی و ماندگاری پهنه پوشش برف

در این پژوهش نقشه برفگیر گستره شمالی البرز مرکزی و ارتفاع رقومی (DEM) آن تهیه شد. میانگین حوضه‌های آبریز چالوس، هراز، بابل‌رود، تالار و تجن به ترتیب ۱۵۸۰، ۲۱۰۰، ۵۸۰ و ۹۸۷ متر بود. تغییرات ماهانه پهنه پوشش برف با استفاده از نمایه NDSI سنجنده مودیس، از ژانویه سال ۲۰۰۰ تا دسامبر سال ۲۰۱۸ تهیه شد (جدول ۲). شکل ۲ تغییرات فصلی پهنه پوشش برف (رنگ سفید) را در سالی پُر برف (۲۰۰۷) و سالی کم برف (۲۰۱۰) در گستره دامنه شمالی البرز مرکزی نشان می‌دهد. در سال

۲۰۰۷ همه بلندی‌های برفگیر از غرب تا شرق البرز در فصل زمستان پوشیده از برف شدند و بیشترین پهنه برف در ماه ژانویه (۱۰۸۹۰ کیلومتر مربع) رخ داد، در حالی که در سال ۲۰۱۰ گستره برفگیر بسیار کاهش یافت و در دامنه‌های شرقی برف اندکی بارید و پهنه برف در ماه ژانویه ۲۷۲۲ کیلومتر مربع بود که در مقایسه با سال ۲۰۰۷ نزدیک به ۴ بار از پهنه پوشش برف کاسته شد. تغییرات پهنه پوشش برف (SCS) در این دوره ۱۹ ساله از الگوی ویژه‌ای پیروی نمی‌کند، گرچه در دهه نخست این دوره، سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ پهنه پوشش برف بسیار گسترده بود، در حالی که در دهه دوم در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ پهنه برفگیر بسیار کاهش یافت (جدول ۲).

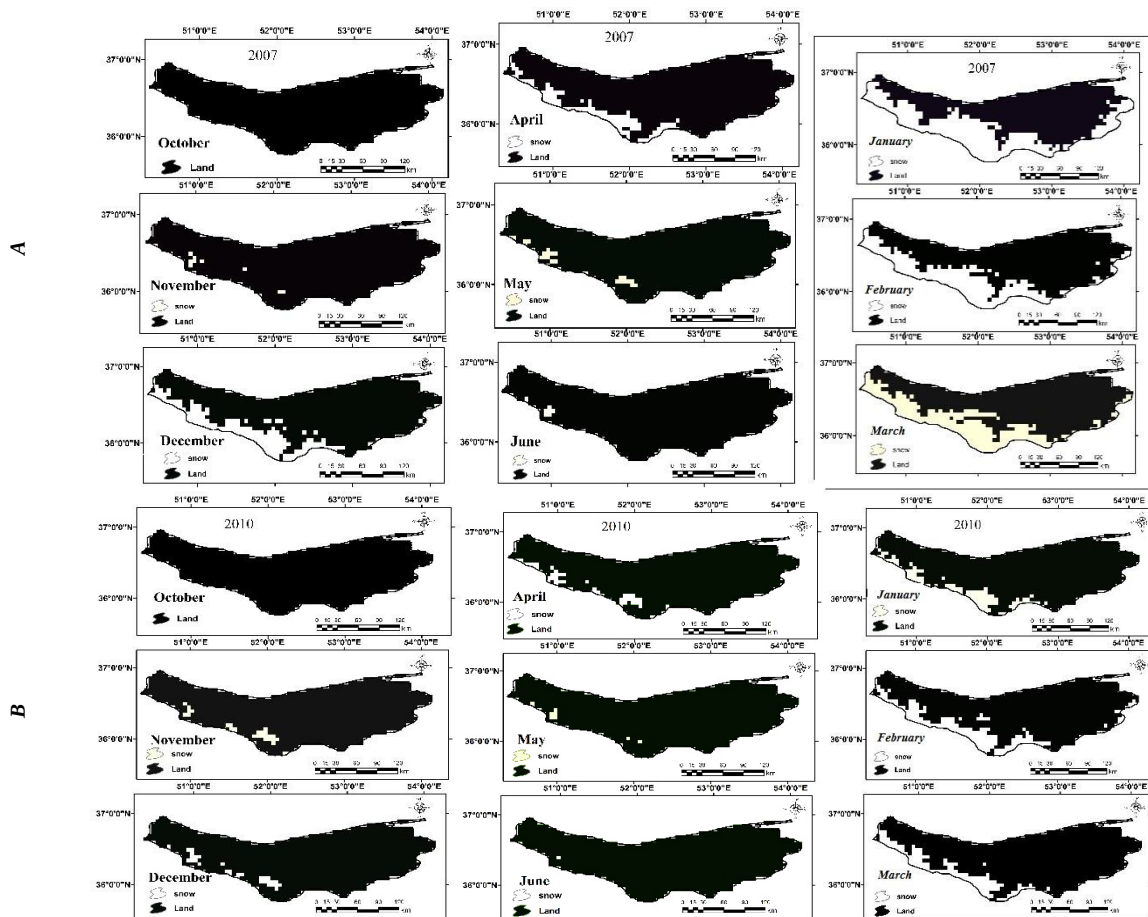


Figure 2- Seasonal snow cover variations (km^2) during 2007 - 2010

شکل ۲- تغییرات فصلی پوشش برف (km^2) در بازه سال‌های ۲۰۰۷ - ۲۰۱۰

برف در ماه ژانویه (۱۰۸۹۰ کیلومتر مربع) رخ داد، در حالی که در سال ۲۰۱۰ گستره برفگیر بسیار کاهش یافت و در

در سال ۲۰۰۷ همه بلندی‌های برفگیر از غرب تا شرق البرز در فصل زمستان پوشیده از برف شدند و بیشترین پهنه

ویژه‌های پیروی نمی‌کند، گرچه در دهه نخست این دوره، سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ پهنه پوشش برف بسیار گسترده بود، در حالی در دهه دوم در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ پهنه برفگیر بسیار کاهش یافت (جدول ۲).

دامنه‌های شرقی برف اندکی بارید و پهنه برف در ماه ژانویه ۲۷۲۲ کیلومتر مربع بود که در مقایسه با سال ۲۰۰۷ نزدیک به ۴ بار از پهنه پوشش برف کاسته شد. تغییرات پهنه پوشش برف (SCS) در این دوره ۱۹ ساله از الگوی

Table 2- Monthly snowfall area (km²) during 2000 to 2018 in the northern range of Central Alborz

جدول ۲- پهنه برفی (کیلومترمربع) ماهانه در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در گستره‌ی شمالی البرز مرکزی

Year/Month	January	February	March	April	May	June	November	December	Annual mean
2000	7532.3	5596.3	1149.5	30.3	0.0	0.0	3569.5	4749.3	1885.6
2001	4356.0	4174.5	1754.5	453.8	272.3	0.0	695.8	4779.5	1373.9
2002	5566.0	5838.3	1633.5	514.3	90.8	0.0	665.5	8167.5	1873.0
2003	7532.3	5895.5	5233.3	2994.8	847.0	242.0	211.8	1996.5	2079.4
2004	4809.8	5082.0	4083.8	2057.0	514.3	90.8	1542.8	10315.3	2374.6
2005	12705.0	8712.0	5354.3	1905.8	695.8	151.3	1905.8	998.3	2702.3
2006	9226.3	4204.8	2964.5	1815.0	514.3	90.8	998.3	11646.3	2621.7
2007	10890.0	8379.3	8258.3	2964.5	695.8	211.8	272.3	5051.8	3060.3
2008	14066.3	10617.8	2752.8	514.3	90.8	0.0	2057.0	7562.5	3138.4
2009	7018.0	6322.3	3569.5	2752.8	665.5	211.8	1331.0	7048.3	2409.9
2010	2722.5	4809.8	3630.0	1240.3	242.0	30.3	786.5	907.5	1197.4
2011	4598.0	9135.5	6624.8	2208.3	332.8	30.3	6806.3	5293.8	2919.1
2012	7592.8	8923.8	5445.0	2420.0	332.8	121.0	877.3	6140.8	2654.4
2013	5929.0	5717.3	3690.5	1119.3	332.8	121.0	2631.8	5233.3	2064.6
2014	5324.0	4628.3	3448.5	1573.0	423.5	151.3	4930.8	4325.8	2067.1
2015	3720.8	5082.0	4204.8	1331.0	302.5	30.3	2359.5	6503.8	1961.2
2016	5112.3	3085.5	1996.5	302.5	90.8	0.0	1089.0	5142.5	1401.6
2017	3569.5	10708.5	5172.8	1815.0	302.5	60.8	484.0	1300.8	1951.1
2018	3055.3	4688.8	2389.8	1210.0	151.3	30.3	242.0	2662.0	1202.4

هوا است، اثر گذاشته است تا روند آن (Aguirre et al., 2018). در میان ماه‌های سال تنها روند میانگین دمای ماه‌های می و ژوئن افزایشی و معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود، و شیب سن نیز بیشتر از ماه‌های دیگر، به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۱۷ درجه سانتی‌گراد در سال، گزارش شد (جدول ۳). شکل ۴ رخنمود میانگین (۲۰۰۰-۲۰۱۸) پهنه پوشش برف برآوردی ماهانه با سنجنده مودیس و ژرفای برف سنجیده در ایستگاه‌های برف‌سنجی را نشان می‌دهد. داده‌های این شکل نشان می‌دهد که به دلیل تغییر شرایط جوی در طول فصل بارندگی، و به ویژه تغییرات دما و یا کاهش بارندگی و یا نوع ریزش روند این دو متغیر، پهنه برف و ژرفای آن، در ماه‌های سرد سال (از ماه نوامبر تا پایان فوریه)، افزایشی بوده است. آنگاه با کاهش ریزش برف و ذوب برف در پی افزایش دما روندی کاهشی به خود گرفته است. این یافته‌ها با نتایج Henderson et al., (2010) و Brown et al., (2009) همخوانی دارد.

جدول ۳ روند تغییرات دما و گستره پوشش برف را در دوره ۱۹ ساله‌ی در بازه سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۰ نشان می‌دهد. این یافته‌ها گویای آن است که روند معنی‌داری در پهنه پوشش برف دیده نمی‌شود، ولی یافته‌های تخمین‌گر شیب سن نشان می‌دهد که پهنه پوشش برف در ماه ژانویه نزدیک به ۲۲۰ کیلومترمربع در سال افت کرده است، که این افت با افزایش دمای ماه ژانویه (0.13°C در سال) همبستگی منفی بالا و معنی‌داری ($r = -0.77$; $p \leq 0.05$) دارد (شکل ۳). این یافته‌ها با نتایج رشته‌کوه‌های زاگرس (Mohammadi Ahmadm Mahmoudi and Khoorani, 2019) همخوانی دارد. همین نشانگر سن برای ماه مارس، که میانگین دمای آن روندی نداشته است، افزایشی نزدیک به ۶۰ کیلومتر مربع در سال را برای پهنه پوشش برف برآورد کرده است (جدول ۳). این یافته‌ها گویای آن هستند که پدیده تغییر اقلیم بیشتر بر واریانس (پراش) پهنه پوشش برف، که خود کارکردی از دمای

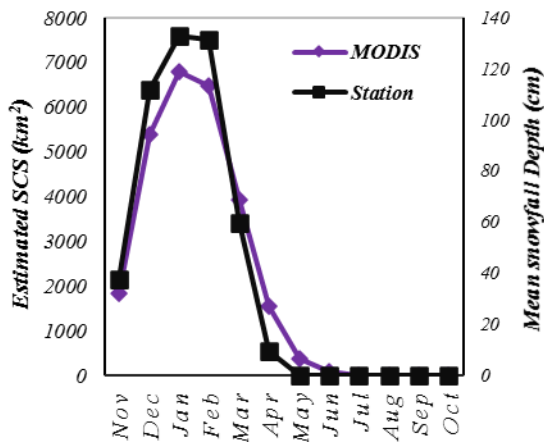


Figure 4 - Overall pattern of MODIS monthly calculated snow cover (km^2) and monthly measured snow depth (cm) during 2000-2018 interval

نمودار ۴- الگوی کلی پوشش برف ماهانه محاسبه شده (سنجده

مودیس) (km^2) و ژرفای برف ماهانه (cm) از ایستگاه‌های

برف‌سنجی (سانتی‌متر) در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۸

از آنجایی که دمای هوا در ریخت ریزش بارش و ماندگاری پوشش برف در سطح زمین نقش بارزی دارد، از این‌رو میانگین دمای هوای هر سال، از نوامبر سال پیش، یعنی آغاز فصل سرد، تا پایان ماه آوریل بررسی شد. ارزیابی میانگین دمای هوای فصل سرد با پوشش برفی در سال‌های مورد مطالعه نشان داد که کمترین دمای رخ داده طی ۱۹ سال آماری در سال ۲۰۰۷ با میانگین دمای فصل سرد ۴/۴ درجه سانتی‌گراد رخ داد. از این‌رو می‌توان گفت که ماندگاری پوشش برف در گستره‌ی شمالی البرز مرکزی در سال‌هایی که فصل سرمای سردتری دارند بیشتر است (شکل ۵)، و می‌تواند روی منبع آب برآمده (تولید شده) از ذوب برف در فصل بهار و تابستان حساب باز کرد همین الگو را می‌توان در سال‌های سرد ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ نیز دید. این یافته‌ها همسو با داده‌های گزارش شده از سوی Mirmousavi and Saboor (2014) می‌باشد، آنان گزارش کردند که در سال‌هایی که میانگین دمای فصل سرد پایین‌تر است، پهنه پوشش برف در بهار همان سال بیشتر از سال‌های دیگر می‌باشد.

روند تغییرات مکانی و ماندگاری پوشش برف

از لحاظ مکانی بیشترین پوشش برف در حوضه هراز، با میانگین ارتفاعی ۲۱۰۰ متر، و کمترین در حوضه تجن با

Table 3- Man-Kendall (Z) and Sen's Slope Estimator (β) statistics for monthly mean temperature ($^{\circ}\text{C}$), and monthly snow cover surface (km^2) along the 2000-2018 period

جدول ۳- آماره‌های من-کندال (Z) و تخمین گر شیب سن (β) برای میانگین ماهانه دما ($^{\circ}\text{C}$) و پهنه پوشش ماهانه برف (km^2)

برای بازه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰

parameters	Snow cover mean (km^2)		Mean temperature ($^{\circ}\text{C}$)	
Time series	Z	β ($\text{km}^2 \text{ yr}^{-1}$)	Z	β ($\text{km}^2 \text{ yr}^{-1}$)
January	-0.31	-220.39	0.28	0.13
February	0.01	6.05	-0.04	-0.02
March	0.14	60.5	-0.04	-0.01
April	-0.01	-3.78	0.02	0.006
May	-0.14	-9.07	0.62*	0.25
June	0.01	0	0.43*	0.17
November	0.02	10.08	0.09	0.05
December	-0.15	-151.51	0.25	0.17

* 0.05% significant level

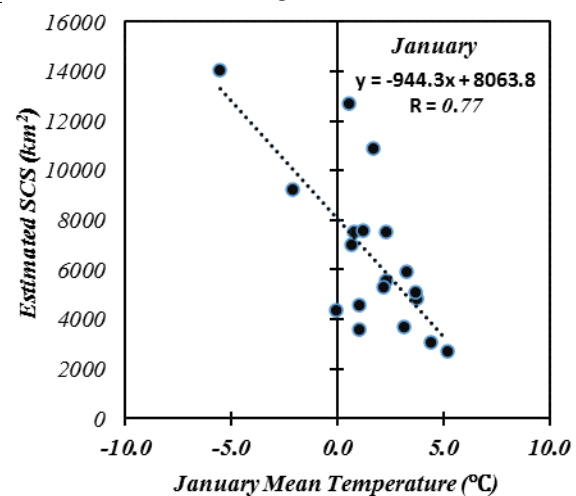


Figure 3- snow cover surface variation (km^2) as a function of January mean temperature ($^{\circ}\text{C}$), along the 2000-2018 period

شکل ۳- تغییرات پهنه پوشش برف (km^2) همچون کارکردی از میانگین دمای ($^{\circ}\text{C}$) ژانویه در بازه سال‌های (۲۰۱۸-۲۰۰۰)

برپایه داده‌های جدول ۲ و شکل ۴ بیشترین ماندگاری پهنه پوشش برف در ماه ژوئن در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ نسبت به میانگین بلندمدت همین ماه (۸۲/۸ کیلومتر مربع) به ترتیب ۲۴۲، ۲۱۱/۷ و ۲۱۱/۷ کیلومتر مربع بود، که با افت میانگین دمای ماه ژوئن همین سال‌ها (به ترتیب ۱۴/۴، ۱۶/۳ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با دمای بالاتر ماه ژوئن ($18/3^{\circ}\text{C}$) در دیگر سال‌ها همخوانی دارد.

حوضه در همسنگی با تجن باشد. این تفاوت الگوهای پوشش برف در هراز و تجن را می‌توان به ترتیب با الگوی دمایی دو ایستگاه بلده (میانگین دمای $10/3^{\circ}\text{C}$ و ارتفاع ۲۰۵۹ متر) و کیاسر (میانگین دمای $12/6^{\circ}\text{C}$ و ارتفاع ۹۸۰ متر) که در این دو حوضه جای گرفته‌اند دید (شکل ۶).

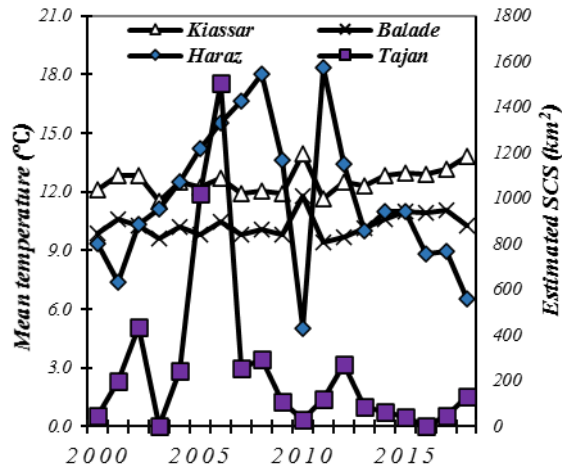


Figure 6- Annual mean temperature variations ($^{\circ}\text{C}$) of selected stations and Annual snow cover surface (SCS) (km^2) of basins (Haraz and Tajan) along the 2000-2018 period

شکل ۶- تغییرات میانگین دمای سالانه ($^{\circ}\text{C}$) دو ایستگاه برگزیده و میانگین سالانه پهنه پوشش برف (km^2) حوضه‌های تجن و هراز برای بازه ۲۰۱۸-۲۰۰۰

همبستگی میان پهنه پوشش برف، ارتفاع برف و دمای هوا فناوری‌های سنجش از دور اندازه‌گیری بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌شناختی سطح زمین را شدنی کرده است. در زمینه سنجش ژرفای برف از راه ماهواره‌ها، گرچه هنوز تنگنانهایی وجود دارد، ولی از درآمیزش داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی می‌توان برآورد خوبی از ارتفاع برف به دست آورد (Kongoli et al., 2019). در گستره شرقی البرز مرکزی همبستگی بالا و بسیار معنی‌داری ($r=0/81$ ؛ $P \leq 0/01$) میان پهنه پوشش برف (کیلومترمربع) برآورد شده با سنجنده MODIS و ژرفای برف (سانتی‌متر) اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی به دست آمد (شکل ۷). این یافته نشان می‌دهد که همخوانی خوبی میان روند تغییرات پهنه پوشش برف و ارتفاع برف، یا به‌زبانی دیگر، میان داده‌های ماهواره‌ای و زمینی دیده می‌شود. در پژوهشی

میانگین ارتفاعی ۹۸۰ متر رخ داد. به طور کلی میزان بارش و ماندگاری برف از غرب به سوی شرق کاسته می‌شود، این رخداد می‌تواند هم به دلیل تفاوت الگوهای بارندگی و هم کاهش ارتفاع محل بوده باشد. در همه ۵ حوضه برسیده (جدول ۴) در این بازه ۱۹ ساله روندی در تغییر پوشش برف دیده نشد.

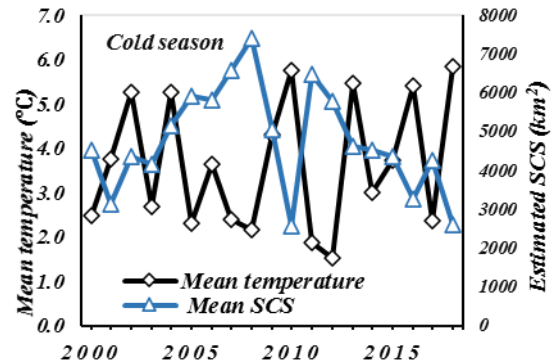


Figure 5- The annual cold season mean measured temperature ($^{\circ}\text{C}$) and MODIS calculated annual mean snow cover (km^2) during 2000-2018 interval

شکل ۵- میانگین سالانه دمای فصل سرد ایستگاه‌های همدیدی ($^{\circ}\text{C}$) و میانگین پهنه برف (km^2) محاسبه شده با سنجنده مودیس (بازه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰).

Table 4- Man-Kendall (Z) and Sen's Slope Estimator (β) statistics for Stations annual Mean temperature, and annual snow cover surface during 2000-2018 period

جدول ۴- آماره‌های من-کندال (Z) و تخمین گر شیب سن (β) برای تغییرات مکانی میانگین سالانه دما و پهنه پوشش برف برای بازه ۲۰۱۸-۲۰۰۰

parameters	snow cover mean (km^2)		Mean Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	
	Z	β ($\text{km}^2 \text{ yr}^{-1}$)	Z	β ($^{\circ}\text{C yr}^{-1}$)
Haraz	-0.10 ^{ns}	-9.37	0.02 ^{ns}	0.03
Chalous	-0.02 ^{ns}	-4.41	0.40*	0.08
Babolrood	-0.11 ^{ns}	-1.89	0.26	0.04
Tellar	-0.11 ^{ns}	-2.68	0.37*	0.04
Tajan	-0.24 ^{ns}	-12.70	0.33*	0.05

* 0.05 % significant level ns: non-significant

گرچه افت $12/70$ کیلومترمربع در سال در پهنه پوشش برف در حوضه تجن شاید به دلیل روند معنی‌دار افزایشی دمای این حوضه بوده باشد (جدول ۴). همین روند معنی‌دار افزایشی دما در حوضه‌های چالوس و تَلار نیز دیده شد (جدول ۴)، ولی اثر چشمگیری بر افت پهنه پوشش برف نگذاشته است، شاید به دلیل تفاوت چشم‌گیر ارتفاع این دو

Table 5- Pearson correlation coefficients between annual Snow cover surface and annual mean temperatures within different watersheds

جدول ۵- همبستگی میان پهنه پوشش برف سالانه و میانگین دمای سالانه در ایستگاه‌های حوضه‌های آبریز

parameters	Spatial series	Correlation (Pearson)
		Mean Temperature (°C)
Snow cover (km ²)	Chalous	-0.73*
	Haraz	-0.64*
	Babolrood	-0.6*
	Tellar	-0.22*
	Tajan	-0.8*
* 0.05% significant level		

نتیجه‌گیری

پی‌آیند گرمایش فراگیر کنونی، به‌ویژه در یک دهه اخیر، و اثرات آن بر منابع آبی به‌ویژه در حوضه‌های برف‌گیر می‌تواند به کاهش بارش، جابجایی زمان بارش و تغییر شکل ریزش‌های نیواری بیانجامد. بخش کلانی از ریزش‌ها جوئی در بلندی‌های دامنه شمالی البرز مرکزی به شکل برف بوده است و آب حاصل از ذوب برف، نقش چشمگیری در ایجاد رواناب سطحی، آبرگیری آب‌های زیرزمینی و تامین آب بخش کشاورزی در تابستان داشته است. روند کنونی گرمایش جهانی و یافته‌های این پژوهش گویای تغییر بارزی در پوشش برف و در پی آن الگوی بارش و آبدی رودخانه‌ها می‌باشد. به‌دلیل نبود ایستگاه‌های زمینی در بلندی‌ها به ناچار برای برآورد تغییرات پهنه پوشش برف از داده‌های سنجنده MODIS و نمایه NDSI در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به روند افزایش دما و کاهش بارش، پهنه پوشش برف در منطقه نیز کاهش (۶۲۹/۴۸ km²) یافته و در نتیجه در فصول گرم آبدی رودخانه‌ها به دلیل کاهش پوشش و ژرفای برف رو به کاستی نهاده است. ازاین‌رو، بررسی تغییرات گستره پوشش برف و ماندگاری آن می‌تواند گام ارزنده‌ای در راستای مدیریت منابع آب به‌شمار آید.

در پشته (فلات) تبت نیز همبستگی معنی‌داری ($r = -0.78$) میان داده‌های پهنه پوشش برف از «سامانه برف و یخ نگاشت» (IMS) ماهواره‌ای و داده‌های زمینی ژرفای برف گزارش شده است (Orsolini et al., 2019). یافته‌های گسترش شمالی البرز مرکزی همخوانی بسیار خوبی با یافته‌های پشته تبت دارد.

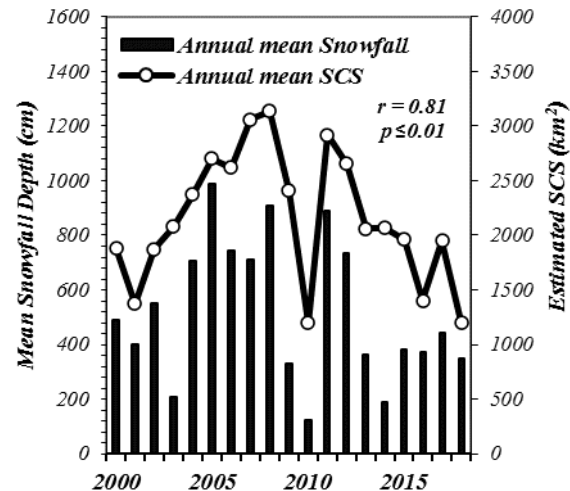


Figure 7- Annual snowfall (cm), snow cover surface (SCS) (km²), along the 2000-2018 period

شکل ۷- میانگین سالانه بارش برف (cm)، پهنه پوشش برف (km²) برای بازه ۲۰۱۸-۲۰۰۰

دمای هوا هم‌چون نشانگری از گرمایش فراگیر می‌تواند بر ماندگاری پوشش برفی اثرگذار باشد. جدول ۵ ضرایب همبستگی میان پهنه پوشش برف برآوردی از سنجنده MODIS و داده‌های زمینی میانگین دمای هوا را نشان می‌دهد. به‌طور کلی همبستگی میان پهنه پوشش برفی با دما منفی و معنی‌دار هست ($r = -0.78$ تا -0.22) و از غرب استان در حوضه چالوس به‌سوی شرق در حوضه تلار، البته با یک استثنا برای حوضه تاجن، این همبستگی کاهش می‌یابد. در پژوهشی در کشورهای بالتیک در بازه سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۶۱ روی پوشش بلندمدت برف دیده شد که عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا نقش کلانی در پراکنش مکانی برف داشته‌اند، در حالی که دما بیشترین اثر را بر ماندگاری و ارتفاع برف داشته است (Rimkus et al., 2018). در این زمینه یافته‌های پژوهش گستره شرقی البرز با یافته‌های بالا و Wu et al., (2019) همخوانی دارد.

منابع

- Aguirre, F., Carrasco, J., Sauter T., Schneider Ch., Gaete, K., Garín, E., Adaros, R., Butorovic, N. Jaña, R., Casassa, G. 2018. Snow Cover Change as a Climate Indicator in Brunswick Peninsula, Patagonia. *Front. Earth Sci.* 6:130. doi: 10.3389/feart.2018.00130
- Azizi, G., Rahimi, M., Mohammadi, H., Khoshakhlagh, F. 2017. Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Physical Geography Research Quarterly*, 49, 381-393. (In Farsi)
- Bashir, F., Rasul, G. 2010. Estimation of average snow cover over northern Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 7: 63-69.
- Brown, R. D., Mote, P. W. 2009. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate*, 22: 2124-2145.
- DeWalle, D. R., Rango, A. 2008. *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press.
- Dozier, J. 1989. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote sensing of environment*, 28: 9-22.
- Dietz, A. J., Wohner, C., Kuenzer, C. 2012. European snow cover characteristics between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow cover products. *Remote Sensing*, 4(8): 2432-2454.
- Falahati, F., Alijani, B., Saliqeh. M. 2017. Investigating the effect of climate change on snow cover with the approach of water resources management in the coming decades (Case study: Basin of watershed leading to Amir Kabir dam). *Scientific Journal of Rescue And Relief*, 9(3): 68-79. (In Farsi)
- Ghanbarpour, M. R., Mohseni, S. M., Abbaspour, K., Saghafian, B., Ahmadi, H. 2005. An evaluation of regions effective in accumulation and persistence of snow cover and snowmelt contribution in runoff. *Natural Resources*, 53: 503-515. (In Farsi)
- Hall, D. K., Riggs, G. A. Salomonson, V. V., DiGirolamo N. E., Bayr. K. J. 2002. MODIS snow-cover products. *Remote sensing of Environment*, 83: 181-194.
- Henderson, G. R., Leathers, D. J. 2010. European snow cover extent variability and associations with atmospheric forcings. *International Journal of Climatology*, 30: 1440-1451.
- Klein, A. G., Hall, D. K., Riggs, G. A. 1997. Improving the MODIS global snow-mapping algorithm. in *Proceedings of the IGARSS'97. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings. Remote Sensing-A Scientific Vision for Sustainable Development*, pP. 619-621.
- Kongoli, C., Key, J., Smith, T.M. 2019. Mapping of Snow Depth by Blending Satellite and In-Situ Data Using Two-Dimensional Optimal Interpolation- Application to AMSR2. *Remote Sensing*, 11, 349, <https://doi.org/10.3390/rs11243049>.
- Kuter, S., Akyurek, Z., Weber, G.W. 2018. Retrieval of fractional snow-covered area from MODIS data by multivariate adaptive regression splines, *Remote Sensing of Environment* 205: 236-252.
- Khadka, D., Babel, M. S., Shrestha, S., Tripathi, N. K. 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.
- Lindsay, C., Zhu, J., Miller, A., Kirchner P., Wilson, T. 2015. Deriving snow cover metrics for Alaska from MODIS. *Remote Sensing*, 7: 12961-12985.
- Maidment, D. R. 1993. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill New York.
- Maurer, E. P., Rhoads, J. D., Dubayah R. O., Lettenmaier D. P. 2003. Evaluation of the snow- covered area data product from MODIS. *Hydrological Processes*, 17: 59-71.
- Mirmousavi, S. H., Saboor, L. 2014. Monitoring the Changes of Snow Cover by Using MODIS Sensing Images at North West of Iran. *Geography and Development*, 12(35): 181-199. (In Farsi)
- 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, 355-371. (In Farsi)
- Orsolini Y., M. Wegmann, E. Dutra, B. Liu, G. Balsamo, K. Yang, P. de Rosnay, C. Zhu, W. Wang, R. Senan, and G. Arduini. Evaluation of snow depth and snow cover over the Tibetan Plateau in global reanalyses using in situ and satellite remote sensing observations. *The Cryosphere*, 13, 2221-2239.
- Rahimi, D., Hasheminasab, S. 2018. Hydrologic Response of North Karun Basin to Increase in Minimum Air Temperature. *Physical Geography Research Quarterly*, 50: 1-17. (In Farsi).
- Rimkus, E., Briede, A., Jaagus, J., Stonevicius, E.

- Kilpys, J., Viru, B. 2018. Snow-cover regime in Lithuania, Latvia and Estonia and its relationship to climatic and geographical factors in 1961–2015. *Boreal Environment Research* 23: 193–208.
- Salomonson, V. V., Appel, I. 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote sensing of environment*, 89: 351-360.
- Sedighi, F., Vafakhah, M., Javadi, M. R. 2016. Application of Artificial Neural Network for Snowmelt-Runoff (Case Study: Latyan Dam Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 6: 43-54. (In Farsi)
- Sherafat, M. fathnia, A. 2019. Monitoring the Spatial-Temporal Changes of Snow Surfaces in Zagross Mountains using NOAA-AVHRR Images. *The Journal of Spatial Planning*, 23: 173-194. (In Farsi)
- Solaimani, K. D., Shokrian, Sh., rashidpour, F. 2018. Monitoring of temporal-spatial variations of snow cover using the MODIS image (Case Study: Kurdistan Province). *Iranian Remote Sensing and GIS*, 3: 77-104. (In Farsi).
- Sönmez, I., Tekeli, A. E., Erdi, E. 2014. Snow cover trend analysis using interactive multi-sensor snow and ice mapping system data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 34: 2349-2361.
- Warren, S. G. 1982. Optical properties of snow. *Reviews of Geophysics*, 20: 67-89.
- Wu, S., Zhang, X., Du, J., Zhou, X., Tuo, Y., Li R., Duan, Z. 2019. The vertical influence of temperature and precipitation on snow cover variability in the Central Tianshan Mountains, Northwest China. *Hydrological Processes*, 33: 1686-1697.
- Tahiri, A., Chevallier, A., Arnaud, P., Ashraf, Y., Bhatti, M. T. 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.
- Zhou, H., Aizen, E., 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.



Investigation of the effect of global warming on temporal and spatial changes of snow cover and its durability in the northern slope of Central Alborz

H. Bahrami Pichaghchi¹, M. Raeini-Sarjaz^{2*}, R. Norooz Valashedi³

Received: 25/09/2019

Accepted: 29/07/2020

Abstract

Global warming could affect snow-covered watersheds and the temporal and spatial distribution of snow, and thus the water needs below the basin. Therefore, the aim of this study is to investigate the spatio-temporal changes of snow cover and snow retention in the northern aspects of Central Alborz. The Normalized Difference Snow Index (NDSI) extracted from MODIS satellite images was employed to estimate snow cover during 2000 - 2018 intervals. The findings of this study showed that there is a significant and increasing trend in the temperatures of May and June. On the other hand, although there was no trend in the snow cover, the Sen's slope estimator showed that the snow cover in January decreased by about 220 km per year, which had a high negative correlation with the increase in the average temperature of this month. ($r = -0.77$), while in March, the snow cover increased by nearly 60 kilometers a year. There was a significant positive correlation ($r = 0.81$) between snow cover and snow depth, and significant negative correlations ($r = -0.80$ to $r = -0.60$) were found between the annual snow cover and the average annual air temperature. These findings indicate that the effect of temporal and spatial changes in temperature on the extent and persistence of snow cover is meaningful. By reduction of the basin's height from the west in Haraz, with an average height of 2059 m, to the east in the Tajan basin, with an average height of 980.7 m, the snow cover area and its durability reduced. From the findings it is concluded that temperature changes in this region follow the global warming trend, while this warming has affected on the variance of the snow cover extend.

Keywords: NDSI, MODIS, Alborz norther aspect, Temperature, Snow cover, Elevation



¹ M. Sc. Student of Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

² Professor in Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*Corresponding Author Email Address: raeini@yahoo.com)

³ Assistant Professor in Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran