



## Detection of the effect of climate change on the snow areas of the Northern Alborz Watershed by CPA method

Reza Norooz-Valashedi<sup>1\*</sup> and Hadigheh Bahrami-Pichaghchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

<sup>2</sup> PhD Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: 09 August 2022

Accepted: 29 November 2022

### Extended abstract

#### Introduction

In the mountainous regions of Iran, a significant part of the precipitation is in the form of snow, which is considered an important source of river flow. Accurate knowledge of the quantity of these resource is necessary in terms of the ever-increasing value of fresh water and also in terms of the optimal use of water resources. From a global point of view, snow monitoring and accurate information on the spatial distribution of snow cover, are necessary for weather forecasting and hydrological and meteorological modeling. An important feature of mountainous regions is the snow cover, which has a high reflectivity, has a great influence on the local weather, reduces the net radiation at the surface and as a result, transfers energy. In addition to being an important factor for ecosystem development, snow cover is very important for human activities. Accurate estimation of the coverage level is considered as one of the central and fundamental operations in the field of water resources management, especially in areas where snowfall is a major part of precipitation. Revealing and determining different characteristics of snow and ice using remote sensing data, which is widely used in hydrology, has created a new method to obtain the required parameters of hydrology.

#### Materials and methods

The Alborz Mountain range which is under study of the current research, separates the coastal plains of Mazandaran Province from the interior of Iran. The eastern half of Western Alborz and all of Central Alborz and a part of Eastern Alborz are within Mazandaran Province. In this way, along with other natural factors, certain geographical conditions have emerged. In this region, snow plays a key role in the hydrological cycle and hydroclimate, and a significant part of the total annual runoff in this region is the result of snowmelt. So that global warming affects the management of watersheds and the downstream water requirements of its sub-basins. First, MODIS sensor data was obtained daily with a spatial resolution of 500×500 meters from NASA's National Snow and Ice Database (NSIDC). The received images are related to the period of 2000-2018. To process the images, first pre-processing was applied in the ENVI 5.3 software environment. The NDSI index was used to monitor the snowed area. Mann-Kendall test, Sen's slope estimator, and Pettitt's homogeneity test were used to investigate the snow cover variation trend. Also, the seasonal and annual anomalies of snow cover, temperature and precipitation in the study area were investigated based on standard Z score.

#### Results and discussion

The results of the Mann-Kendall test and the Sen's slope estimator method in the northern slope of Central Alborz, show that the largest reduction of the snow covered area occurred in January and winter season, respectively, equal to 220.39 and 50.41 km<sup>2</sup> each year. The results of Pettit's homogeneity test, using the

\* Corresponding author: r.norooz@sanru.ac.ir

Change Point Analysis (CPA) method, in January 2010 for the snow-covered area and May 2014 and June 2010 for the monthly mean temperature, showed a climatic jump at 0.05 significant level. Also, the change point in the snow-covered area time series of January has been descending, but the change point in the mean temperature time series of May and June has been ascending. Comparing the snow cover conditions with the mean temperature and total precipitation conditions, shows that in most cases the negative anomalies of snow cover are consistent with the positive anomaly of temperature and the negative of precipitation. The obtained results are a warning about the climate change in this region, which is known as the phenomenon of global warming and meteorological drought. Surely, these changes have a direct effect on the reduction of water resources for the agricultural and drinking sectors.

### Conclusion

In general, the analysis of the snow-covered area variations in January during the studied 19 years, shows that for an increase in the average temperature of  $0.13^{\circ}\text{C}$ , the snow-covered area in this month decreased by  $220.39 \text{ km}^2$  every year. Also, according to the results of Pettitt's homogeneity test in 2010 and 2014, it can be concluded that global warming and meteorological drought caused a sudden change in the snow-covered area and temperature in these years and months. The comparison of precipitation and temperature conditions with the snow cover condition showed that in most years, the negative anomaly of snow cover was simultaneous with the positive anomaly of temperature and the negative anomaly of precipitation. The greatest effect of temperature increase has been observed in spring. Therefore, with the increase in temperature and the change in climatic conditions, the winter precipitation that will turn into snow accumulation has decreased and can affect the runoff caused by these precipitations in the spring season. Since this region has the ability to receive snow from mid-autumn to early spring, information about the snow covered area in this region is essential for many hydrological, meteorological, and climatological applications, as well as hydroelectric power generation and flood forecasting.

**Keywords:** Climate fluctuations, Mazandaran, NDSI, Remote sensing, Water resources

Cite this article: Norooz-Valashedi, R., Bahrami-Pichaghchi, H., 2023. Detection of the effect of climate change on the snow areas of the Northern Alborz Watershed by CPA method. *Watershed Engineering and Management* 15 (3), 386-403.

© 2023, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## آشکارسازی اثر تغییر اقلیم بر پهنه‌های برفی آبخیز البرز شمالی به روش CPA

رضا نوروز ولاشدی<sup>۱\*</sup> و حدیقه بهرامی پیچاقچی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۸

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

در مناطق کوهستانی ایران، بخش قابل توجهی از بارش به صورت برف است که منبع مهم جریان رودخانه‌ای محسوب می‌شود. شناخت دقیق کمیت این منابع، به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و هم به واسطه بهره‌برداری بهینه از منابع آب ضروری است. از نظر جهانی، پایش برف و داشتن اطلاعات دقیق از توزیع فضایی پهنه برفی برای پیش‌بینی وضع هوا و مدلسازی هیدرولوژیکی و آب و هواشناسی لازم است. یک ویژگی مهم مناطق کوهستانی پوشش برف است که با داشتن بازتاب بالا، تاثیر زیادی بر آب و هوای محلی، کاهش تابش خالص در سطح و در نتیجه، انتقال انرژی دارد. پوشش برف، علاوه بر این که یک عامل مهم برای توسعه اکوسیستم است، برای فعالیت‌های انسانی اهمیت زیادی دارد. برآورد دقیق سطح پوشش، به عنوان یکی از عملیات‌های محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، به ویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد، محسوب می‌شود. آشکارسازی و تعیین ویژگی‌های مختلف برف و یخ، با استفاده از داده‌های سنجنش از دور که در هیدرولوژی کاربرد وسیعی دارد، روش نوینی را در به دست آوردن پارامترهای مورد نیاز هیدرولوژی پدید آورده است.

### مواد و روش‌ها

رشته کوه‌های البرز که منطقه مورد مطالعاتی این پژوهش است، جلگه‌های ساحلی استان مازندران را از قسمت داخلی ایران جدا کرده است. نیمه شرقی البرز غربی و تمام البرز مرکزی و قسمتی از البرز شرقی، در محدوده استان مازندران قرار دارند، بدین ترتیب، همراه با سایر عوامل طبیعی، شرایط جغرافیایی خاصی پدید آمده است. در این منطقه، برف نقش کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی و هیدرو اقلیم دارد و بخش قابل توجهی از کل رواناب سالانه در این منطقه حاصل ذوب برف است. به طوری که گرمایش جهانی بر مدیریت حوزه‌های آبخیز و نیاز آبی پایین دست زیرحوضه‌های آن تاثیرگذار است. برای انجام پژوهش، نخست داده‌های سنجنده MODIS به صورت روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰×۵۰۰ متر از پایگاه ملی داده‌های برف و یخ ناسا (NSIDC) دریافت شد. تصاویر دریافتی مربوط به بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۲۰ است. برای پردازش تصاویر، نخست عملیات پیش پردازش بر روی آن‌ها در محیط نرم افزار ENVI 5.3 اعمال شد. از نمایه NDSI، برای برآورد پهنه پوشش برف استفاده شد. برای بررسی روند تغییرات پوشش برف از آزمون من-کندال، روش تخمین گر شیب سن و آزمون

همگنی پتیت استفاده شد. همچنین، ناهنجاری فصلی و سالانه پوشش برف، دما و بارش در منطقه مطالعاتی بر اساس نمره استاندارد Z بررسی شد.

### نتایج و بحث

نتایج آزمون من-کندال و روش تخمین گر شیب سن در منطقه شمالی البرز مرکزی نشان می‌دهد، بیشترین کاهش پهنه پوشیده از برف در ماه ژانویه و فصل زمستان به ترتیب برابر  $۲۲۰/۳۹$  و  $۵۰/۴۱$  کیلومتر مربع در هر سال رخ داده است. نتایج آزمون همگنی پتیت، به روش تحلیل نقطه تغییر (CPA) در سال ۲۰۱۰، ماه ژانویه برای پهنه پوشیده از برف و ماه می ۲۰۱۴ و ژوئن ۲۰۱۰، برای میانگین دمای ماهانه، جهش اقلیمی را در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نشان داد. همچنین، نقطه تغییر در سری زمانی پهنه پوشیده از برف، در ماه ژانویه به صورت نزولی اتفاق افتاده است، ولی نقطه تغییر در سری زمانی میانگین دما در ماه می و ژوئن به صورت صعودی بوده است. مقایسه وضعیت پوشش برف با شرایط دما و بارش، نشان می‌دهد در بیشتر مواقع ناهنجاری‌های منفی پوشش برف، با ناهنجاری مثبت دما و منفی بارش، همخوانی دارد. نتایج حاصل، هشدار می‌دهد در رابطه با تحول آب و هوا در این منطقه که تحت عنوان پدیده گرمایش جهانی و خشکسالی هواشناسی شناخته شده است. به یقین این تغییرات، تأثیری مستقیم بر کاهش منابع آب برای بخش کشاورزی و شرب دارد.

### نتیجه‌گیری

در مجموع بررسی روند تغییرات پهنه پوشیده از برف در ماه ژانویه طی ۱۹ سال آماری نشان می‌دهد که به ازای افزایش میانگین دما به میزان ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد، پهنه پوشیده از برف در این ماه به میزان  $۲۲۰/۳۹$  کیلومتر مربع در هر سال کاهش یافته است. همچنین، با توجه به نتایج آزمون همگنی پتیت، تغییرات ناگهانی در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که گرمایش جهانی و خشکسالی هواشناسی موجب تغییر ناگهانی در پهنه پوشیده از برف و دما در این سال‌ها و ماه‌ها شده 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. از این رو، با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی، بارش‌های زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهند شد، کاهش یافته است و می‌توانند روی رواناب ناشی از این بارش‌ها در فصل بهار تأثیرگذار باشند. از آنجایی که این منطقه قابلیت ریزش برف از اواسط پاییز تا اوایل بهار را دارا است، بنابراین، اطلاعات درباره پهنه پوشیده از برف در این منطقه برای کاربرد آن‌ها در زمینه هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی، تولید برق آبی و همچنین، پیش‌بینی سیلاب ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش از دور، مازندران، منابع آبی، نوسانات اقلیمی، NDSI

### مقدمه

برفی برای پیش‌بینی وضع هوا و مدلسازی هیدرولوژیکی و آب و هواشناسی لازم است (Hüsler et al., 2012). یک ویژگی مهم مناطق کوهستانی، پوشش برف است که با داشتن بازتاب بالا، تأثیر زیادی بر آب و هوای محلی، کاهش تابش خالص در سطح و در نتیجه، انتقال انرژی دارد. پوشش برف، علاوه بر این که یک عامل مهم برای

در مناطق کوهستانی کشور، بخش قابل توجهی از بارش به صورت برف است که منبع مهم جریان رودخانه ای محسوب می‌شود. شناخت دقیق کمیت این منابع به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و هم به واسطه بهره برداری بهینه از منابع آب ضروری است. از نظر جهانی، پیش برف و داشتن اطلاعات دقیق از توزیع فضایی پهنه

2005, al.) که تا کنون از داده‌های ماهواره‌ای مختلف در ایران و جهان برای شناسایی تغییرات پهنه پوشیده از برف استفاده شده است (Mirmousavi and Saboor, 2014; Mohammadi Ahmadmahmoudi and Wang et al., 2019; Singh et al., 2018; Khorani, 2019; Huang et al., 2021; Smith et al., 2021; Raighani et al., 2011; Singh et al., 2021). (Maskey et al., 2011) تغییرات پوشش برف 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 مشاهده شد. در مطالعه (Huang et al., 2017)، پوشش برف فلات تبت، با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۱ با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال مورد رندیابی قرار گرفت که نتایج از کاهش معنی‌دار پهنه پوشیده از برف در سطح فلات خصوصا نواحی مرتعی آن بود.

در پژوهشی دیگر، (Falahati et al., 2017) تصاویر هشت روزه سنجنده MODIS مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ را برای بررسی تغییرات پوشش برف در آینده در حوزه آبخیز بالادست سد امیرکبیر به کار بردند. نتایج آن‌ها نشان داد، تراکم پوشش برف در منطقه مورد مطالعه (مطابق با داده‌های مشاهداتی و تصاویر ماهواره‌ای)، از ماه نوامبر شروع شده است و در ژانویه به بیشترین مساحت خود می‌رسد. (Azizi et al., 2017) تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های منطقه و داده‌های برف سنجنده 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

توسعه اکوسیستم است، برای فعالیت‌های انسانی اهمیت زیادی دارد (Kleindienst et al., 2000).

برآورد دقیق سطح پوشش، به‌عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد، محسوب می‌شود. آشکارسازی و تعیین ویژگی‌های مختلف برف و یخ با استفاده از داده‌های سنجنش از دور که در هیدرولوژی کاربرد وسیعی دارد، روش نوینی را در به‌دست آوردن پارامترهای مورد نیاز هیدرولوژی پدید آورده است. به‌طور کلی، برای سنجنش برف از داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی و داده‌های تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود (Banihabib et al., 2013). با این حال، برخی از محققان معتقدند که داده‌های سنجنش از دور در مقایسه با روش‌های سنتی، ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف ارائه می‌دهد (Metcalf 1999) (and Buttle,

از این‌رو، امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به‌کارگیری داده‌های سنجنش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف، به‌صورت عملیاتی اجرا می‌شود (Johansson et al., 2001). هرچند، این سنجنش از سوی عوامل بازدارنده زیادی از جمله اشیاء سنجنده، پوشش ابر، وجود سایه، پوشش جنگلی و صخره‌ها محدود می‌شود، اما با این وجود، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد الگوریتم‌های موجود، امکان استخراج سطح تحت پوشش برف با دقت مناسب وجود دارد (Zhou et al., 2005).

با عنایت به پیشرفت‌های موجود در چند دهه گذشته، به‌وسیله کشورهای مختلف، سنجنده‌های ماهواره‌ای متعدد و متنوعی طراحی و به فضا ارسال شده که یکی از مهمترین آن‌ها ماهواره ترا و اکوا<sup>۱</sup> است. سنجنده مودیس<sup>۲</sup> ماهواره مذکور، با توجه به قابلیت‌های فنی و اپتیکی خود، تصاویر متنوعی را در نوارهای مختلف الکترومغناطیس عرضه می‌دارد (Najafzadeh et

<sup>1</sup> Terra and Aqua satellite

<sup>2</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

Entezami et al., (2021) در بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در حوضه سفیدرود با استفاده از سنجش از دور اذعان داشتند که روند سالانه گستره برفی حوضه، کاهش است. همچنین، به لحاظ پراکنش مکانی، در مناطق مرکزی و شرقی حوضه، روند کاهش معنی‌داری وجود دارد و روندهای فصلی نیز کاهش است. بیشترین نرخ کاهش مربوط به فصل زمستان است که در برخی مناطق به حدود ۳۳ درصد به ازای هر دهه نیز می‌رسد. در مطالعه (Yaghamei et al., (2022) اثر تغییرات سطح و ماندگاری پوشش برف بر پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد، متوسط کاهش سطح پوشش برف در استان طی دوره مورد بررسی (۲۰۱۶-۲۰۰۳) تا حدود ۳۲ درصد قابل مشاهده بوده است. در پژوهشی دیگر، et al., (2022) Li ماندگاری پوشش برف را در سراسر چین طبقه‌بندی کردند. در این پژوهش، نتایج حاکی از این بود که در شمال Xinjiang پوشش برف ماندگار است و بیشتر مناطق شمال شرقی چین با پوشش برف دوره‌ای پوشیده شده است و وسعت پوشش برف متغیر و دوره‌ای، به دلیل افزایش دما و کاهش بارش برف طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۹ به تدریج کاهش یافته است.

با توجه به بررسی پژوهش‌های متعدد در رابطه با آشکارسازی تغییرات و جهش اقلیمی و تعیین نقطه تغییر، نتایج حاکی از عدم بررسی تغییرات پوشش برفی است. لذا، در پژوهش حاضر برای اولین بار از روش تحلیل نقطه تغییر<sup>۲</sup> در تحلیل تغییرات پوشش برف در منطقه البرز شمالی استفاده می‌شود که جنبه اصلی نوآوری در پژوهش حاضر محسوب می‌شود.

### مواد و روش‌ها

**ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه:** رشته کوه‌های البرز، جلگه ساحلی استان مازندران را از قسمت‌های داخلی ایران جدا کرده است. نیمه شرقی البرز غربی، تمام البرز مرکزی و قسمتی از البرز شرقی در محدوده استان

به‌ویژه فصل بهار به میزان فزاینده‌ای در حال کاهش است.

Khazaei et al., (2018) اثر تغییر اقلیم را بر مقادیر بیشینه‌ای بارش روزانه برف در تهران بررسی کردند. نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم نشان می‌دهد که تحت سناریوهای انتشار مختلف، با وجود افزایش بارش‌های حدی آینده، بارش برف‌های روزانه و بیشینه سالانه به میزان زیادی کاهش می‌یابد. (Sherafat and Fathnia, 2019) برای بررسی تغییرات مکانی-زمانی پهنه برفی زاگرس، تصاویر<sup>۱</sup> NOAA-AVHRR را در دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۶ بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دوره مورد مطالعه، بیشترین مساحت برف در آوریل سال ۱۹۹۷، با مقدار ۲۷۶۳۷/۶ کیلومتر مربع و کمترین مساحت برف، در جولای ۲۰۰۱ با مقدار ۶/۳ کیلومتر مربع مشاهده شد. از نظر مکانی نیز بیشترین وسعت مناطق برفی در بیشتر سال‌ها در ارتفاعات استان‌های چهارمحال و بختیاری، شرق لرستان و ارتفاعات مرزی استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد مشاهده شده است. در مجموع، میانگین تغییرات پهنه برف در دوره مورد مطالعه ۰/۲۲ و کاهشی بوده است.

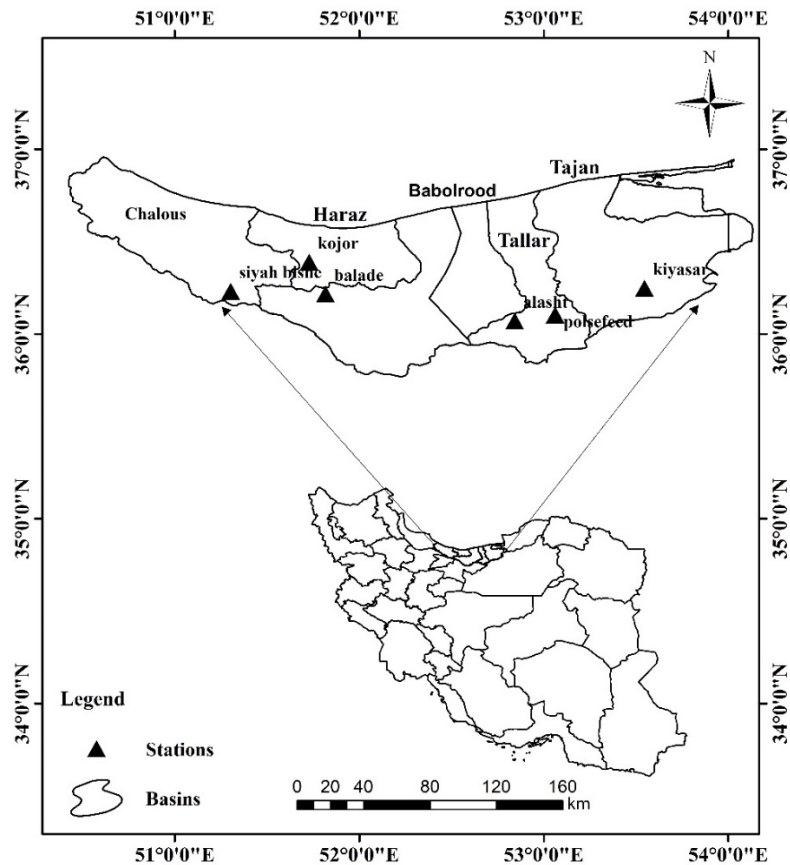
در پژوهشی که به‌وسیله Wu et al., (2019) در چین انجام شد، نقش ارتفاعات در تعیین اهمیت نسبی دما و بارش در تغییرپذیری پوشش برف در کوهستان مرکزی Tianshan ارزیابی شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد، در منطقه مورد مطالعه، دما در اغلب دوره‌های زمانی و ارتفاعات، تاثیر زیادی در پوشش برف نسبت به بارش دارد. همچنین، (Ahmadi al., 2021) با انجام پژوهشی، تغییرات زمانی-مکانی پوشش برف کشور را برای دوره سرد سال با استفاده از داده‌های پوشش برف سنجنده MODIS ماهواره Terra، طی دوره آماری ۲۰۱۸-۲۰۰۳، مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد، روند تغییرات پوشش برف در تمامی ماه‌های مورد مطالعه، منفی و بیشینه شدت کاهش پوشش برف نیز در ماه ژانویه رخ داده است.

<sup>2</sup> Change Point Analyze (CPA)

<sup>1</sup> Advanced Very High-Resolution Radiometer

نواحی دارای زمستان‌های سرد همراه با یخبندان طولانی و تابستان‌ها، کوتاه و خشک است. رشته کوه‌های البرز در مازندران، به‌وسیله رودهای بزرگی از قبیل چالوس، هراز، بابل، تالار، تاجن و نکا که بر دامنه شمالی آن جاری هستند، به واحدهای کوهستانی مشخص تقسیم می‌شوند. این رودها که حوضه‌های آبی و کوهستانی دارند در فصل بهار پر آب هستند. در این منطقه، برف نقش کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی و هیدرو اقلیم دارد و بخش قابل توجهی از کل رواناب سالانه در این منطقه حاصل ذوب برف است. موقعیت جغرافیای گستره شمالی البرز مرکزی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعاتی در شکل ۱، نشان داده شده است.

مازندران قرار دارند، بدین ترتیب، همراه با سایر عوامل طبیعی، شرایط جغرافیایی خاصی پدید آمده است. این منطقه پهنه‌ای نزدیک به ۸۴۵/۲۶ کیلومتر مربع، با ارتفاعی از صفر تا ۵۶۷۱ متر، بالاتر از سطح دریا است که از نظر توپوگرافی، شامل کوه و جلگه است. دوری از دریا و افزایش تدریجی ارتفاع در اراضی جلگه‌ای، تغییرات خاصی را در آب و هوای این منطقه پدید آورده است، به‌طوری که در ارتفاعات ۱۸۰۰ تا ۳۰۰۰ متری، آب و هوای معتدل کوهستانی با زمستان‌های سرد و یخبندان طولانی و تابستان‌های کوتاه و معتدل وجود دارد. در ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر، دمای هوا به شدت کاهش می‌یابد و اقلیم سرد کوهستانی حاکم است. این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و توزیع مکانی ایستگاه‌های همدیدی  
 Fig. 1. Geographical location of the study region and spatial distribution of the synoptic stations

منطقه مورد مطالعه و تصاویر سنجنده MODIS و مدل رقومی ارتفاع استفاده شد. بدین منظور، نخست داده‌های

داده‌های مورد استفاده و روش پژوهش: در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی واقع در

سنجنده MODIS، نقشه‌های با قابلیت تشخیص پوشش برفی با استفاده از نمایه تفاضلی نرمال شده پوشش برفی<sup>۲</sup> را در مقیاس‌های گسترده و استفاده سریع، در مطالعات منطقه‌ای فراهم می‌کند (Salomonson and Appel, 2004). نمایه NDSI، یک نسبت‌گیری طیفی است که از اختلافات طیفی نوارهای فرسرخ و نوار آشکار در سنجنده MODIS، برای تشخیص تغییرات پهنه پوشش برف استفاده می‌کند (Klein et al., 1997; Dozier, 1989). نمایه NDSI، از برتری‌های بازتاب طیفی برف که در نوار آشکار دارای بازتاب بالا و در بازه طیفی فرسرخ، دارای بازتاب پایین است، استفاده می‌کند و به‌عنوان یک الگوریتم، برای آشکارسازی برف از ابر و مناطق بی‌پوشش برفی به همراه مجموعه‌ای از آستانه‌ها کاربرد دارد و به‌صورت پیکسل به پیکسل محاسبه می‌شود (Klein et al., 1997).

در نمایه NDSI، نخست معیارهای بازتابش دوگانه (یعنی مقدار بازتابش پیکسل‌ها در نوار ۶، بیشتر از ۱۱ درصد و مقادیر بازتابش پیکسل‌ها در نوار ۴، مساوی یا بیشتر از ۱۰ درصد) و به شرط  $NDSI > 0.4$  بر اساس رابطه (۱)، اعمال می‌شود. در مرحله 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 (Hall et al., 2002). حاصل به‌کارگیری نمایه NDSI آن است که پیکسل‌هایی با ارزش ۱- تا ۱+ ایجاد خواهد شد. الگوریتم نقشه برفی MODIS از نوارهای ۴ و ۶ این سنجنده به‌طور خودکار برای استخراج نمایه تفاوت هنجاریده پوشش برفی (NDSI) اجرا و بر پایه رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Bashir and Rasul, 2010).

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

آزمون تحلیل نقطه تغییر<sup>۳</sup> به روش ناپارامتری پتیت<sup>۴</sup>: این آزمون به‌وسیله Pettitt (1979) ارائه شده

MOD10A1 و MOD10A2 سنجنده MODIS، با قدرت تفکیک مکانی  $500 \times 500$  متر با قالب HDF، از پایگاه ملی داده‌های برف و یخ ناسا<sup>۱</sup> دریافت شد. بخش کلان بارش برف گستره البرز شمالی مرکزی، در اوایل نوامبر (آبان) تا مارس (اسفند ماه) می‌بارد و همچنین، پوشش برف این ناحیه تا ژوئن (خردادماه) ماندگاری دارد که تصاویر دریافتی مربوط به این بازه زمانی، در طی دوره ۱۹ ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۰) دریافت شده است. برای پردازش تصاویر، نخست عملیات پیش پردازش شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و نیواری بر روی آن‌ها در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 اعمال شد. همچنین، برای بررسی تغییرات پوشش برف از داده‌های بارش برف و دمای ایستگاه‌های همدیدی منطقه مورد مطالعه مطابق جدول ۱، استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the stations study area

Station	Elevation (m)	Latitude	Longitude
Alasht	1900	36.07062	52.84268
Balade	2120	36.21667	51.81667
Kiyasar	1294	36.24778	53.54604
Kojor	1550	36.38894	51.72822
Polsefeed	610	36.10365	53.06173
Siyah bishe	1855.4	36.23114	51.30319

سنجنده MODIS و الگوریتم Snow Map: یکی از پنج سنجنده مستقر بر روی ماهواره Terra، سنجنده MODIS است که در ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد که پوشش این ماهواره با پرتاب ماهواره Aqua در چهارم می ۲۰۰۲، افزایش چشمگیری یافته است. سنجنده MODIS، دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر، قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیت، قدرت تفکیک زمانی بالا (یک تا دو روز) و جداسازی طیفی ۳۶ باند بوده است. باندهای ۲۰ تا ۲۳ جز نوارهای تابشی و نوارهای ۱ تا ۷ جز نوارهای انعکاسی هستند (طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرون).

<sup>2</sup> Normalized Difference Snow Index (NDSI)

<sup>3</sup> Change Point Analyze (CPA)

<sup>4</sup> Pettitt

<sup>1</sup> National Snow and Ice Data Center (NSIDC)



است و در مکانی که در سری زمانی نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری مورد نظر در آن مکان به دو جز، تقسیم می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن نقطه شکست در سری مورد نظر، نسبت مقادیر میانگین اجزای سری قبل و بعد از نقطه تغییر، برای تحلیل بزرگی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌دار را نشان نمی‌دهد، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود. توصیف این آزمون و نحوه محاسبات آن در مطالعات (Mousavi and Marofi, 2017), (Kolahdoozan et al., 2015), (Partal and Kahya, 2006) مورد بررسی واقع شده است. برای بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف و داده‌های اقلیمی از آزمون من-کندال و روش تخمین گر شیب سن<sup>۱</sup> استفاده شد که (Mohammadi and Khorani, 2019), (Ahmadmamdouhi, 2019) این روش را کاملا تشریح کرده‌اند. همچنین، برای تعیین رابطه بین پهنه پوشیده از برف با داده‌های اقلیمی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

## نتایج و بحث

**بررسی روند تغییرات زمانی پهنه‌های برفی گستره شمالی البرز مرکزی:** جدول ۲، مساحت پهنه پوشیده از برف گستره شمالی البرز مرکزی را برای ماه‌های نوامبر تا ژوئن از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مساحت برف ژانویه، در سال ۲۰۰۸ با مقدار ۱۴۰۶۶ کیلومتر مربع و کمترین آن در سال ۲۰۱۰ با مقدار ۲۷۲۲/۵ کیلومتر مربع است. بیشترین مساحت برف فوریه، در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ با مقدار ۱۰۶۱۷/۷۵ و ۱۰۷۰۸/۵ کیلومتر مربع و کمترین آن در سال ۲۰۱۶ با مقدار ۳۰۸۵/۵ کیلومتر مربع بوده است. بیشترین مساحت برف مارس، در سال ۲۰۰۷ با مقدار ۸۲۵۸/۲۵ کیلومتر مربع و کمترین آن در سال ۲۰۰۰ با مقدار ۱۱۴۹/۵ کیلومتر مربع و بیشترین مساحت برف آوریل، در سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ با مقدار

(جدول ۲).  
با توجه به نتایج روند تغییرات دما و گستره پوشش برف در طول دوره ۱۹ سال مشاهده شد (جدول ۳) که در ماه ژانویه به ازای افزایش دما به میزان ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد، پهنه پوشیده از برف حدود ۲۲۰/۳۹ کیلومتر مربع در هر سال کاهش یافته است اما در ماه‌های فوریه و مارس، پهنه پوشیده از برف به ترتیب حدود ۶/۰۵ و ۶۰/۵ کیلومتر مربع، افزایش و دما در این ماه‌ها به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد در هر سال، کاهش یافته است. همچنین، روند دما فقط در ماه‌های می و ژوئن دارای روند افزایشی به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۱۷ درجه سانتی‌گراد در هر سال، به‌طور معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد بوده است که انباشت پوشش برف در این ماه‌ها به شدت کاهش یافته است (جدول ۳). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات پهنه پوشیده از برف دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش تغییرات پهنه پوشیده از برف در ماه ژانویه دارد. این روند می‌تواند بیانگر اثر گرمایش جهانی بر پهنه پوشیده از برف منطقه مورد مطالعه باشد که با نتایج (Mohammadi and Khorani, 2019), (Ahmadmamdouhi, 2019) همخوانی داشت.

<sup>1</sup> Sen's Slope

**جدول ۲-** مساحت پهنه‌های برفی برای سال‌ها و ماه‌های مختلف برحسب کیلومتر مربع از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در گستره شمالی البرز مرکزی

**Table 2.** Snow prone zones' area of different years and months in km<sup>2</sup>, during 2000-2018 in northern slope of Central Alborz

Year/Month	January	February	March	April	May	June	November	December
2000	7532.25	5596.25	1149.50	30.25	0	0	3569.50	4749.25
2001	4356.00	4174.50	1754.50	453.75	272.25	0	695.75	4779.50
2002	5566.00	5838.25	1633.50	514.25	90.75	0	665.50	8167.50
2003	7532.25	5895.45	5233.25	2994.75	847.00	242.00	211.75	1996.50
2004	4809.75	5082.00	4083.75	2057.00	514.25	90.75	1542.75	10315.25
2005	12705.00	8712.00	5354.25	1905.75	695.75	151.25	1905.75	998.25
2006	9226.25	4204.75	2964.50	1815.00	514.25	90.75	998.25	11646.25
2007	10890.00	8379.25	8258.25	2964.50	695.75	211.75	272.25	5051.75
2008	14066.25	10617.75	2752.75	514.25	90.75	0	2057.00	7562.50
2009	7018.00	6322.25	3569.50	2752.75	665.50	211.75	1331.00	7048.25
2010	2722.50	4809.75	3630.00	1240.25	242.00	30.25	786.50	907.50
2011	4598.00	9135.50	6624.75	2208.25	332.75	30.25	6806.25	5293.75
2012	7592.75	8923.75	5445.00	2420.00	332.75	121.00	877.25	6140.75
2013	5929.00	5717.25	3690.50	1119.25	332.75	121.00	2631.75	5233.25
2014	5324.00	4628.25	3448.50	1573.00	423.50	151.25	4930.75	4325.75
2015	3720.75	5082.00	4204.75	1331.00	302.50	30.25	2359.50	6503.75
2016	5112.25	3085.50	1996.50	302.50	90.75	0	1089.00	5142.50
2017	3569.50	10708.50	5172.75	1815.00	302.50	60.75	484.00	1300.75
2018	3055.25	4688.75	2389.75	1210.00	151.25	30.25	242.00	2662.00

**جدول ۳-** نتایج آماره من-کندال (Z) و تخمین گر شیب سن ( $\beta$ ) برای میانگین دما، پهنه پوشیده از برف و مجموع بارش برای ماه‌های مورد مطالعه برای بازه ۲۰۰۰-۲۰۱۸**Table 3.** Results of Mann-Kendall statistic (Z) and Sen slop estimator ( $\beta$ ) for mean temperature, snow covered area and total monthly precipitation for the studied months during 2000-2018

Parameters	Snow cover mean (km <sup>2</sup> )		Mean Temperature (°C)	
	Z	$\beta$	Z	$\beta$
Time series				
January	-0/31 <sup>ns</sup>	-220/39	0/28 <sup>ns</sup>	0/13
February	0/01 <sup>ns</sup>	6/05	-0/04 <sup>ns</sup>	-0/02
March	0/14 <sup>ns</sup>	60/5	-0/04 <sup>ns</sup>	-0/01
April	-0/01 <sup>ns</sup>	-3/78	0/02 <sup>ns</sup>	0/006
May	-0/14 <sup>ns</sup>	-9/07	0/62*	0/25
June	0/01 <sup>ns</sup>	0	0/43*	0/17
November	0/02 <sup>ns</sup>	10/08	0/09 <sup>ns</sup>	0/05
December	-0/15 <sup>ns</sup>	-151/51	0/25 <sup>ns</sup>	0/17

\*: 0.05% significant level, <sup>ns</sup>: non-significant

در استان مازندران، در ماه ژانویه و ژوئن سال ۲۰۱۰، رخ داده است. با توجه به این نتایج، مشخص شده است که سال ۲۰۱۰، خشکسالی باعث کاهش پهنه پوشیده از برف شده است. همچنین، نقطه تغییر در سری زمانی پهنه پوشیده از برف ماه ژانویه، به صورت نزولی اتفاق افتاده است، ولی نقطه تغییر در سری زمانی میانگین دما در ماه می و ژوئن، به صورت صعودی بوده است (شکل

**آزمون همگنی پتیت:** نتایج آزمون همگنی پتیت، نقطه شکست یا نقطه تغییر را در ماه ژانویه سال ۲۰۱۰ برای پهنه پوشیده از برف و سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۰ برای میانگین دمای ماه می و ژوئن، در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد ارائه داد (جدول ۴).

Ghayenati et al., (2019). بر اساس شاخص SPImod نشان دادند، شدیدترین خشکسالی هواشناسی

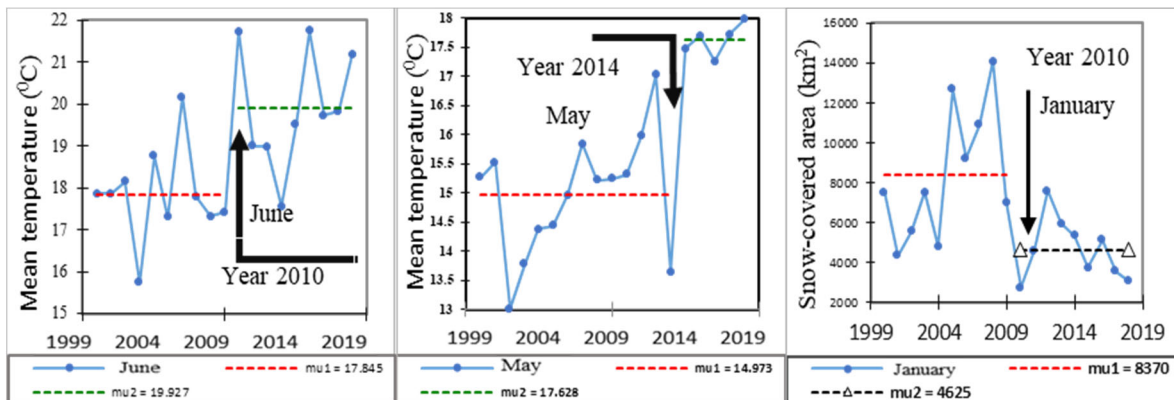
را در اختیار پژوهشگر می‌گذارد. برای مثال، با بررسی این تغییرات ناگهانی می‌توان پی برد که عوامل طبیعی همچون گرمایش جهانی سبب تغییر ناگهانی در پهنه پوشیده از برف و دما شده است. در نتیجه، نتایج حاصل، هشدار می‌دهد که در مورد تحول آب و هوا در این منطقه که تحت عنوان پدیده گرمایش جهانی شناخته شده است. به یقین، این تغییرات تأثیرات مستقیم بر کاهش منابع آب دارد.

۲. نتایج آزمون فوق‌الذکر در آستانه‌های پهنه پوشیده از برف و دما که دارای تغییر ناگهانی و ناهمگنی بودند، در شکل ۲ نمایش داده شده است. به نظر می‌رسد بیشتر تغییرات سال‌های اخیر، در داده‌های سری‌های زمانی اتفاق افتاده است. وجود نقطه تغییر در سری‌های زمانی، داده‌ها را به دو سری متفاوت تقسیم می‌کند. به عبارتی، تغییر در ساختار سری‌های زمانی اتفاق افتاده است که این تغییرات، اطلاعات مهمی

جدول ۴- نتایج آماره پتیت برای میانگین دما و میانگین پهنه پوشیده از برف در ماه‌های مورد مطالعه در دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۸)  
**Table 4.** Results of Pettitt tests for mean temperature and average snow covered area of the studied months during the statistical period (2000-2018)

Time series	Mean temperature (°C)		Mean snow-covered area (km <sup>2</sup> )	
	K	p-value	K	p-value
January	54 <sup>ns</sup>	0.08	62*	0.02
Febuary	20 <sup>ns</sup>	0.94	27 <sup>ns</sup>	0.77
March	24 <sup>ns</sup>	0.85	48 <sup>ns</sup>	0.15
April	30 <sup>ns</sup>	0.65	43 <sup>ns</sup>	0.25
May	70*	0.00	38 <sup>ns</sup>	0.38
June	68*	0.01	42 <sup>ns</sup>	0.26
November	30 <sup>ns</sup>	0.63	28 <sup>ns</sup>	0.70
December	44 <sup>ns</sup>	0.22	30 <sup>ns</sup>	0.63

\* 0.05% significant level ns: non-significant



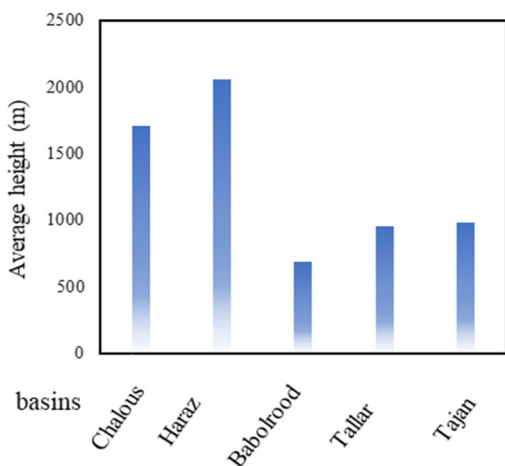
شکل ۲- نتایج آزمون پتیت برای بررسی زمان تغییر ناگهانی میانگین دما و پهنه پوشیده از برف در ماه‌های مختلف ۲۰۰۰-۲۰۱۸ منطقه مورد مطالعه (اعداد روی پیکان‌ها بیانگر سال تغییر که نتیجه تحلیل نقطه تغییر است.)

**Fig. 2.** Results of Pettitt tests for investigating the sudden change times of mean temperature and snow covered area of the study area, during different months of 2000-2018 (The numbers on the arrows indicate the year of change, which is the result of the analysis of the change point)

متوسط ارتفاع ۱۷۰۳/۳۳ و ۲۰۵۹ متر هستند. مساحت پوشش برفی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ در حوضه

تغییرات مکانی پوشش برف گستره شمالی البرز مرکزی: بیشترین مساحت پوشش برف، مربوط به حوضه‌های چالوس و هراز است که به ترتیب دارای

و میانگین ارتفاع بیشتر (۲۰۵۹ متر)، پوشش برف دیرتر از دیگر نواحی ذوب شده و تا اواخر ماه می و حتی در برخی از سالها تا اواخر ماه ژوئن ماندگار است (شکل‌های ۳ و ۵ و جدول ۵).



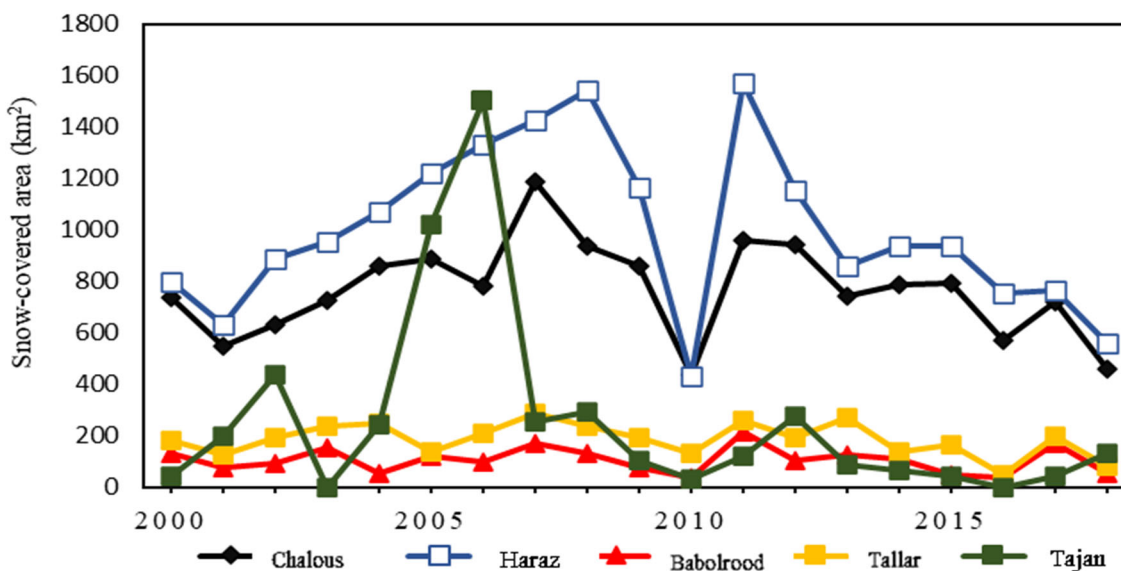
شکل ۳- میانگین ارتفاع از سطح دریا برای حوضه‌های چالوس، هراز، بابل‌رود، تالار و تاجن

Fig. 3. Average height above sea level for Chalous, Haraz, Babolrood, Tallar and Tajan Watersheds

هراز، ۱۵۴۲ و ۱۵۷۱ کیلومتر مربع و در حوضه چالوس در سال ۲۰۰۷، ۱۱۸۵ کیلومتر مربع بوده است.

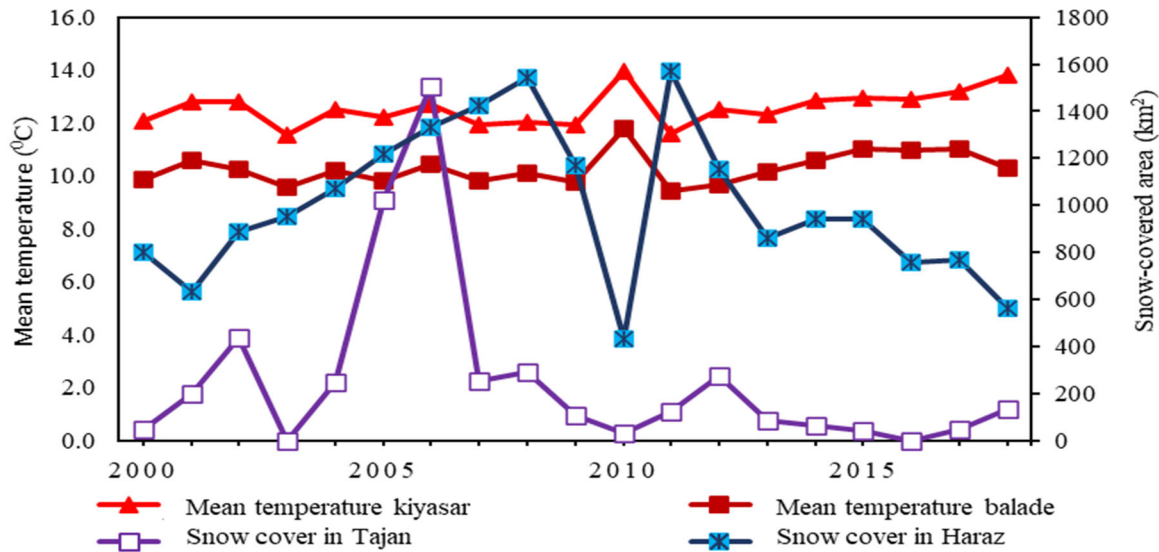
کمترین مساحت پوشیده از برف مربوط به حوضه‌های تاجن، تالار و بابل‌رود به ترتیب با متوسط ارتفاع ۹۸۰/۷۶، ۹۵۷/۲۹ و ۶۸۸/۴۲ متر بوده است (شکل‌های ۳ و ۴).

به طور کلی، از لحاظ مکانی، روند پوشش برف در کل حوضه‌ها از غرب به شرق کاهش یافته است (شکل ۵ و جدول ۵). در این رابطه، با بررسی تغییرات میانگین دما، مجموع بارش و میانگین ارتفاع در حوضه‌ها مشخص شد (شکل‌های ۳ و ۵ و جدول ۵)، حوضه تاجن که در شرق این منطقه واقع شده است، از کمترین ریزش برف و پهنه پوشیده از برف در مقایسه با دیگر حوضه‌ها برخوردار بوده است که به دلیل برخورداری از میانگین دمای بیشتر (۱۲/۶ درجه سانتی‌گراد) و میانگین ارتفاع کمتر (۹۸۰/۳۳ متر) است (شکل‌های ۳ و ۵ و جدول ۵). همچنین، حوضه‌های چالوس و هراز که در غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند، به دلیل برخورداری از دمای کمتر (۱۰/۳ درجه سانتی‌گراد)، بارش برف بیشتر



شکل ۴- تغییرات پوشش برف (km²) برای حوضه‌های موجود در گستره شمالی البرز مرکزی

Fig. 4. Snow cover variations (km²) for the existing basins in the northern slope of central Alborz



شکل ۵- بررسی تغییرات پهنه پوشیده از برف (km<sup>2</sup>) در حوضه‌های هرز و چالوس در رابطه با میانگین دمای (°C) ایستگاه‌های کیاسر و بلده  
 Fig. 5. Investigating the snow-covered area variations (km<sup>2</sup>) in Haraz and Chalous basins in related to the mean temperature (°C) of the Kiasar and Beldeh stations

جدول ۵- نتایج آماره Z من-کندال و تخمین‌گر شیب‌سن، برای بررسی روند تغییرات مکانی گستره پوشش برف، مجموع بارش و میانگین دمای حوزه‌های آبخیز در گستره شمالی البرز مرکزی

Table 5. Results of the Mann-Kendall Z statistic and the Sen's slope estimator, to investigate the trend of spatial variations in the snow covered area, total precipitation and the mean temperature of northern slope basins of Central Alborz

Basin	Mean snow-covered area (km <sup>2</sup> )		Total precipitation (mm)		Mean temperature (°C)	
	Z	$\beta$	Z	$\beta$	Z	$\beta$
Haraz	0.10ns	-9.37	-0.12ns	-1.66	0.02ns	0.03
Chalous	-0.02ns	-4.41	-0.11ns	-3.1	0.40*	0.08
Babolrood	-0.11ns	-1.89	-0.22ns	-5.5	0.26ns	0.04
Tallar	-0.11ns	-2.68	-0.01ns	-0.88	0.37*	0.04
Tajan	-0.24ns	-12.70	-0.14ns	-3.56	0.33*	0.05

\*: 0.05% significant level, ns: non-significant

گستره پوشیده با برف بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است، بیشترین مقدار خود را دارد که با نتایج (et al., (2017) Azizi, (2018), Malmros et al., (2015) et al., (2015), Hernández, همخوانی دارد.

از نتایج می‌توان استنباط کرد که مناطق برفی در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، به گرمایش جهانی واکنش بیشتری نشان می‌دهند و این واکنش در فصل زمستان و بهار تغییرپذیری و نوسان بالاتری دارا است. همچنین، پوشش برفی در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ متری در فصل زمستان در مدت ۱۹ سال، به ازای افزایش سالانه روند میانگین دما به اندازه ۰/۶، موجب پس‌روی پهنه پوشیده از برف در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی، به میزان ۶۲۷/۷۳ کیلومتر مربع شده است.

### بررسی روند تغییرات طبقات ارتفاعی مختلف:

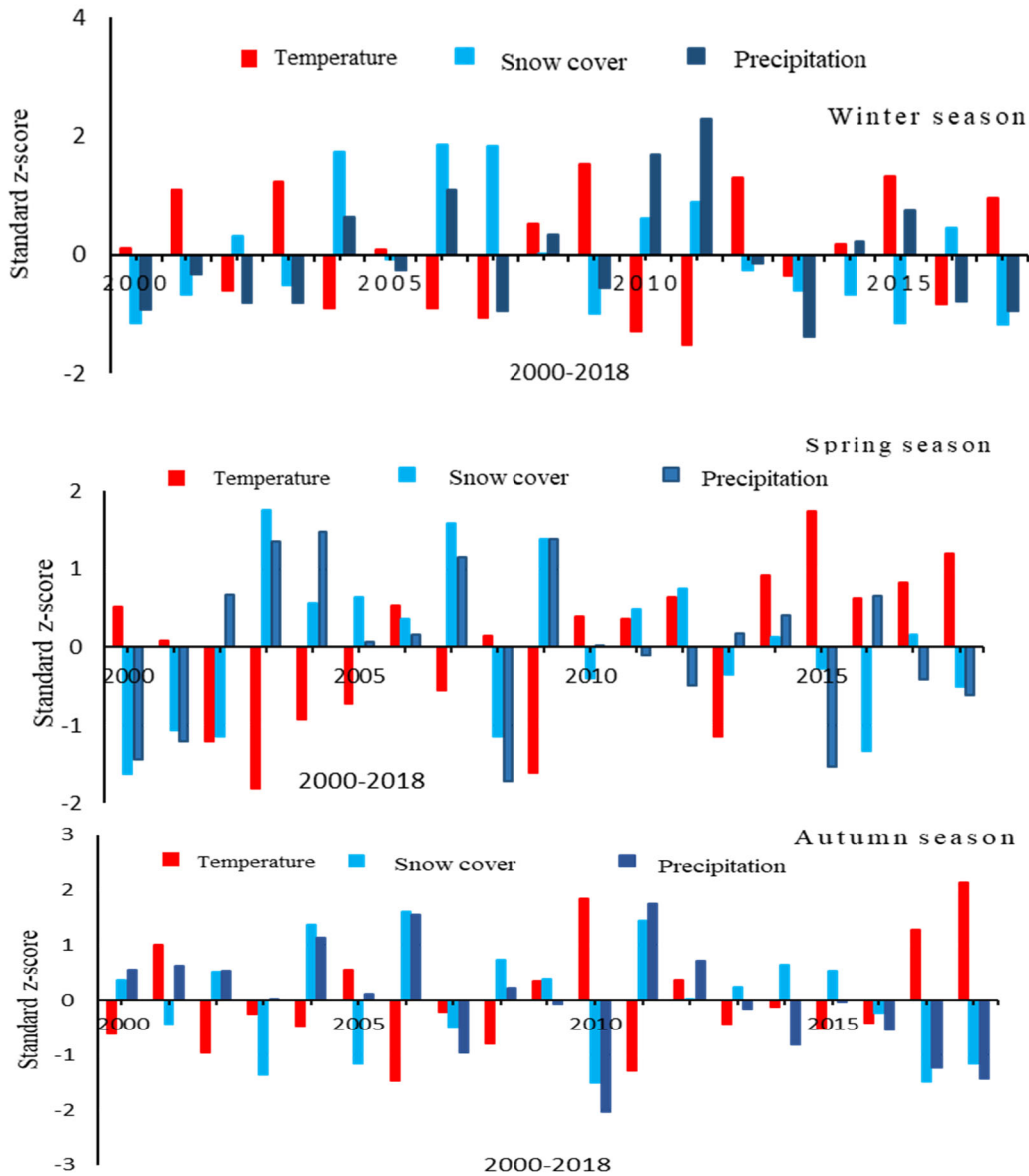
جدول ۶، روند تغییرات گستره پوشش برف در مناطق ارتفاعی مختلف برای فصل ریزش برف، از آبان تا اردیبهشت نشان می‌دهد، در طبقه ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۵۰۰ روند کاهشی بیش از سایر طبقات است، به نحوی که شیب این روند در فصل زمستان به ۵۷/۰۳- رسیده است و در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر، کمترین کاهش وجود داشته است و فقط در فصل بهار به ۷/۳۲- کاهش یافته است. علت این نتیجه را بر اساس نتایج Zhang et al., (2010) این‌طور می‌توان بیان کرد که فرارفت گرمای محسوس، از زمین بدون پوشش برف نقش بارزی در ذوب پوشش‌های برفی پراکنده و تکه تکه ایفا می‌کند. در نتیجه، سرعت ذوب پهنه‌ای برف هنگامی که تراکم

جدول ۶- نتایج آماره Z من-کندال و تخمین گر شیب سن، گستره پوشش برف طبقات ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه

**Table 6.** Results of the Mann-Kendall Z statistic and the Sen's slope estimator for snow covered variations, in the altitude classes of the study area

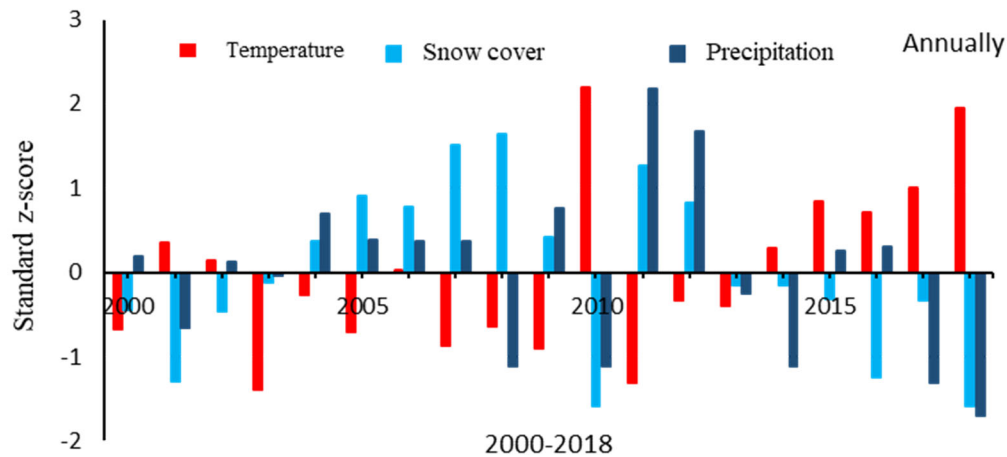
Altitude classes	1600-500 m		2500-1600 m		5500-2500 m	
	Z	$\beta$ ( $\text{km}^2 \text{yr}^{-1}$ )	Z	$\beta$ ( $\text{km}^2 \text{yr}^{-1}$ )	Z	$\beta$ ( $\text{km}^2 \text{yr}^{-1}$ )
Autumn	-	-	0.07 <sup>ns</sup>	-4.75	0.03 <sup>ns</sup>	6.48
Winter	-0.06 <sup>ns</sup>	0	-0.17 <sup>ns</sup>	-57.03	0.02 <sup>ns</sup>	2.26
Spring	-	-	-	-	-0.05 <sup>ns</sup>	-7.32

\*: 0.05% significant level, <sup>ns</sup>: non-significant



شکل ۶- ناهنجاری فصلی و سالانه پوشش برف، دما و بارش در منطقه مطالعاتی بر اساس نمره استاندارد Z

**Fig. 6.** Seasonal and annual anomaly of snow cover, temperature and precipitation in the study area, based on standard Z score



ادامه شکل ۶

Fig. 6 Continued

مطالعاتی بوده است، گرمایش جهانی باعث کاهش پهنه پوشیده از برف در گستره شمالی البرز مرکزی شده است که در شکل ۶، مشاهده می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور پایش تغییرات پهنه پوشیده از برف از تصاویر سنجنده MODIS برای دوره سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شد و برای استخراج پهنه‌های پوشیده از برف، نمایه NDSI به کار گرفته شد. بررسی روند تغییرات پهنه پوشیده از برف در ماه ژانویه طی ۱۹ سال آماری نشان می‌دهد که به ازای افزایش میانگین دما به میزان ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد، پهنه پوشیده از برف در این ماه به میزان ۲۲۰/۳۹ کیلومتر مربع در هر سال، کاهش یافته است. همچنین، با توجه به نتایج آزمون همگنی پتیت، تغییرات ناگهانی در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴، نشان می‌دهد که گرمایش جهانی و خشکسالی هواشناسی سبب تغییر ناگهانی در دما و پهنه پوشیده از برف، در این سال‌ها شده است. از نظر مکانی، تداوم و وسعت پوشش برف از غرب (حوضه چالوس و هراز) به شرق (تالار، بابل‌رود و تجن) منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. همان‌طور که تعداد روزهای برفی در ایستگاه‌های غربی بیش از شرقی است، حوضه‌های چالوس و هراز از درصد پوشش برف بیشتری نسبت به حوضه‌های تالار،

بررسی رابطه ناهنجاری‌های میانگین دما و مجموع بارش با پهنه پوشیده از برف: بررسی رابطه ناهنجاری‌های میانگین دما و مجموع بارش با پهنه پوشیده از برف نشان می‌دهد، در بیشتر مواقع ناهنجاری‌های مثبت پوشش برف با ناهنجاری مثبت بارش و ناهنجاری منفی دما تطابق دارد که با نتایج et al., (2017) Azizi, هم‌سو است. به عبارت دیگر، با کاهش دما و افزایش بارش، احتمال افزایش پوشش برف بیشتر است (Lashkari et al., 2014). البته در بعضی مواقع (بهار ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷) ممکن است، به واسطه ناهنجاری شدید منفی دما، پوشش برف ماندگاری بیشتری داشته باشد و مقدار آن افزایش یابد.

حالتی دیگر که در ماه‌های سرد، نظیر دسامبر و ژانویه، مشاهده می‌شود، به این صورت است که ناهنجاری منفی دما، چنانچه با ناهنجاری منفی بارش همراه باشد، می‌تواند موجب کاهش پوشش برف شود (زمستان ۲۰۱۶). بدین صورت که در ماه‌های سرد سال (دسامبر و ژانویه)، با این‌که دمای هوا در ارتفاعات غالباً کمتر از صفر درجه است، اما گرمایش جهانی باعث تغییر زمان وقوع بارش برف و تغییر رژیم بارش یعنی تغییر نوع بارش از برف به باران و همچنین جابه‌جایی فصلی شده است (Ezzati et al., 2018). به طوری که در سال‌های اخیر از سال ۲۰۱۰ به بعد که نقطه عطفی در دوره

کاربرد آن‌ها در زمینه هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی، تولید برق‌آبی و همچنین، پیش‌بینی سیلاب ضروری است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از سازمان هواشناسی کشور، مراتب تشکر و قدردانی خود را برای کمک به انجام این پژوهش بیان می‌کند.

### تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

بابل‌رود و تجن نیز برخوردارند. 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 تاثیر افزایش دما در فصل بهار مشاهده شده، به طوری که در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار شده است. از این رو، با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی، بارش‌های زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهند شد، کاهش یافته است و می‌تواند روی رواناب ناشی از این بارش‌ها در فصل بهار تاثیرگذار باشد. از آنجایی که این منطقه قابلیت ریزش برف از اواسط پاییز تا اوایل بهار را دارا است، بنابراین، اطلاعات درباره پهنه پوشیده از برف در این منطقه برای

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi, M., Seyedmirzaei, Z., 2021. Snow cover variability in the cold period of the year in Iran based on MODIS measuring data. *Iran. J. Remote Sens. GIS* 1(53), 59-72 (in Persian).
- Azizi, Gh., Rahimi, M., Mohammadi, H., Khoshakhlagh, F., 2017. Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Phys. Geog. Res. Quarterly* 49(3), 381-93 (in Persian).
- Banihabib, M.E., Jamali, F.S., Saghafian, B., 2013. Detection of the snow cover area using Noaa-Avrrr in Shahcheraghi Dam Basin. *Phys. Geog. Res. Quarterly* 45(3), 13-29 (in Persian).
- Bashir, F., Ghulam R., 2010. Estimation of average snow cover over Northern Pakistan. *Pak. j. meteorol.* 7(13), 63-69.
- Dozier, J., 1989. Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper. *Remote Sens. Environ.* 28, 9-22.
- Entezami, H., Mojarrad, F., Darand, M., Shahabi, H., 2021. Investigating the changes in snow cover in Sefidrood Drainage Basin using remote sensing. *Geogr. Environ. Sustain.* 11(2), 1-19 (in Persian).
- Ezzati, M., Shokoohi Langeroodi, A., Singh, V.P., Noori, M., 2018. Investigating the trend of temperature and rainfall and its effects on the Taleghan Dam water resources. *Iran. J. Soil Water Res.* 49(4), 705-716.
- 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. *J. Rescue. Relie.* 9(3), 68-79.
- Ghayenati, S., Fazloul, R., Masoudian, M., Nadi, M., 2019. Using two indicators of spimod and sdimod for comparative assessment of meteorological and hydrological droughts in Tajan Basin. *Iran. J. Irrig. Drain.* 13(3), 614-626.
- Hall, D., George, K., Riggs, A., Salomonson, V., DiGirolamo, N.E., Bayr, K.J., 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sens. Environ.* 83(1-2), 181-94.
- Hernández-Henríquez, M., Stephen, A., Déry, J., Derksen, C., 2015. Polar amplification and elevation-dependence in trends of northern hemisphere snow cover extent, 1971–2014. *Environ. Res. Lett.* 10(4), 044010.
- Huang, K., Zhang, Y., Tagesson, T., Brandt, M., Wang, L., Chen, N., Zu, J., Jin, H., Cai, Z., Tong, X., Cong, N., Fensholt, R., 2021. The confounding effect of snow cover on assessing spring phenology from space: a new look at trends on the Tibetan Plateau. *Sci. Total Environ.* 756, 144011.
- Huang, X., Deng, Jie., Wang, W., Feng, Q., Liang, T., 2017. Impact of climate and elevation on snow cover using integrated remote sensing snow products in Tibetan Plateau. *Remote Sens. Environ.* 190, 274-88.
- Hüsler, F., Jonas, T., Wunderle, S., Albrecht, S., 2012. Validation of a modified snow cover retrieval algorithm from historical 1-km Avhrr data over the European Alps. *Remote Sens. Environ.* 121, 497-515.



- Johansson, B., Caves, R., Ferguson, R., Turpin, O., 2001. Using remote sensing data to update the simulated snow pack of the hbv runoff model. IAHS Publication.
- Khazaei, M., Sharafati, A., Khazaei, H., 2018. Climate change impact assessment on maxima daily snowfalls, case study: Tehran. *Watershed Engin. Manage.* 204-213 (in Persian).
- Klein, A., Dorothy, G., Hall, K., Riggs, G.A., 1997. Improving the MODIS global snow-mapping algorithm. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Remote Sensing-a Scientific Vision for Sustainable Development, Centre for Remote Imaging, the National University of Singapore, Singapore.*
- Kleindienst, H., Wunderle, S., Voigt, S., 2000. Snow line analysis in the Swiss Alps based on Noaa-Avrrr satellite data. *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow, Dresden/FRG, Germany.*
- Kolahdoozan, A., Dinpajoo, Y., Mirabbasi Najafabadi, R., Asadi, E., Darbandi, S., 2015. Effect of Zayandehrood River dry becoming on Najafabad aquifer oscillations during past two decades. *Iran. J. Soil Water Res.* 46(1), 81-93 (in Persian).
- Lashkari, H., Naghizadeh, H., Moradi, M., Najafi, M.S., 2014. The synoptic - dynamic analysis of the base temperature for snowfall in down level of atmosphere in Northwest of Iran (1995-2008). *J. Clim. Res.* (19), 11-22 (in Persian).
- Li, H., Zhong, X., Zheng, L., Hao, X., Wang, J., Zhang, J., 2022. Classification of snow cover persistence across China. *Water* 14(6), 933.
- Malmros, J., Sebastian, K., Mernild, H., Wilson, R., Tagesson, T., Fensholt, R., 2018. Snow cover and snow albedo changes in the central andes of chile and argentina from daily MODIS observations (2000–2016). *Remote Sens. Environ.* 209, 240-52.
- Maskey, S., Uhlenbrook, S., Ojha, S., 2011. An analysis of snow cover changes in the Himalayan region using MODIS snow products and in-situ temperature data. *Clim. Change* 108(1-2), 391.
- Metcalfe, R.A., Buttle, J.M., 1999. Semi-Distributed water balance dynamics in a small boreal forest basin. *J. Hydrol.* 226(1-2), 66-87.
- Mirmousavi, S.H., Saboor, L., 2014. Monitoring the changes of snow cover by using MODIS sensing images at North West of Iran. *Geogr. Dev.* 12(35), 181-200 (in Persian).
- Mohammadi Ahmadmahmoudi, P., Khoorani, A., 2019. Snow cover changes of Zagros range in 2001-2016 using daily data of MODIS. *J. Earth Space Phys.* 45(2), 355-71 (in Persian).
- Mousavi, R.S., Marofi, S., 2017. Investigation of the hydrologic response of river flow to climate change, case study: Dez Dam Basin. *J. Soil Water Conserv.* 23(6), 333-348 (in Persian).
- Najafzadeh, R., Abrishamchi, A., Tajrishi, M., Taheri Shahraeeni, H., 2005. Stream flow with snowmelt runoff modeling using RS and GIS, case study: Pelasjan subbasin. *J. Water Wastewater* 15(4), 2-11 (in Persian).
- Partal, T., Kahya, E., 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrol. Process.* 20(9), 2011-26.
- Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to change point problem. *J. R. Stat. Soc., C: Appl. Stat.* 28(2), 126-135.
- Raighani, B., Said, S., Seyed, J., Barati, S., 2011. Estimate of snowmelt runoff using MODIS data. *Watershed Engin. Manage.* 2(4), 221-236 (in Persian).
- Salomonson, V., Appel, I., 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS Using the normalized difference snow index. *Remote Sens. Environ.* 89(3), 351-60.
- Sherafat, M., Fathnia, A., 2019. Monitoring the spatial-temporal changes of snow surfaces in Zagross Mountains using Noaa-Avrrr images. *J. Spat. Plan.* 23(2), 173-94 (in Persian).
- Singh, D., Hemendra, K., Singh, G., Mishra, V., Gupta, N., 2018. Snow cover variability in north-west Himalaya during last decade. *Arab. J. Geosci.* 11(19), 579.
- Singh, S., Tiwari, R.K., Sood, V., Gusain, H.S., 2021. Detection and validation of spatiotemporal snow cover variability in the Himalayas using Ku-band (13.5 GHz) SCATSAT-1 data. *Int. J. Remote Sens.* 42(3), 805-815.
- Smith, T., Rheinwalt, A., Bookhagen, B., 2021. Topography and climate in the upper indus basin: mapping elevation-snow cover relationships. *Sci. Total Environ.* 147363.
- Wang, X., Xie, H., Liang, T., 2008. Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China. *Remote Sens. Environ.* 112(4), 513-97.
- Wu, S., Zhang, X., Du, J., Zhou, X., Tuo, Y., Li, R., Zheng, D., 2019. The vertical influence of temperature and precipitation on snow cover variability in the central Tianshan mountains, Northwest China. *Hydrol. Process.* 33(12), 1686-97.

- Yaghamei, L., Jafari, R., Soltani, S., Jahanbazi, H., 2022. The effect of snow cover area and duration changes on vegetation cover in Chaharmal and Bakhtiari Province. *J. Range Watershed Manage.* 74(4), 917-38 (in Persian).
- Zhang, Y., Yan, S., Lu, Y., 2010. Snow cover monitoring using MODIS data in Liaoning Province, Northeastern China. *Remote Sens.* 2(3), 777-93.
- Zhou, X., Xie, H., Hendrickx, M.H.J., 2005. Statistical evaluation of remotely sensed snow-cover products with constraints from streamflow and snotel measurements. *Remote Sens. Environ.* 94(2), 214-31.