Archive of SID

Geography and Sustainability of Environment
journal homepage: http://ges.razi.ac.ir/

Print ISSN: 2322-3197
Online ISSN: 2676-5683

Investigating the Changes in Snow Cover in Sefidrood Drainage Basin using Remote Sensing

Hersh Entezami[1], Firouz Mojarrad[1]*, Mohammad Darand[2], Himan Shahabi[3]

[1] *Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran*
[2] *Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
[3] *Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:
Received 11 March 2021
Accepted 07 August 2021
Available online 07 August 2021

Keywords:
Snow Cover, MODIS, Modified Mann-Kendall Test, Sefidrood Basin.

Citation: Entezami, H., Mojarrad, F., Darand, M., Shahabi, H. (2021). Investigating the Changes in Snow Cover in Sefidrood Drainage Basin using Remote Sensing. *Geography and Sustainability of Environment, 11* (2), 1-18.
doi: 10.22126/GES.2021.6068.2363

ABSTRACT

Snow reservoirs are one of the most important sources of water supply in Iran. This study aims to investigate the changes in snow cover in Sefidrood basin and its sub-basins. To achieve this goal, snow cover images of MODIS's MOD10cm product were used over a period of 19 years (2000 to 2019). After analyzing the images in ENVI software, the snow area of each image was calculated and, consequently, monthly values for all years of the study period were extracted and transferred to ArcGIS software. The modified Mann-Kendall test was applied to examine the annual and seasonal trends of snow cover. Afterwards, Sen's slope estimator test was used to determine the rate of change. Based on the findings, it can be seen that the time of beginning and end of snow in Sefidrood basin and its sub-basins has undergone very little change. The snow cover of the basin starts in October and reaches its minimum in April after increasing towards the cold period of the year. January is the month with maximum snow cover in all sub-basins. During the period under review, the range of snow cover was maximum in the water year 2006-2007 and minimum in 2009-2010. Findings from the fit of the modified non-parametric Mann-Kendall test on the annual time series of the snow cover of the basin indicate a decrease and of course insignificant trend in most of the basin area, although sometimes slight increasing trends are also seen. In terms of spatial distribution, in the central and eastern regions of the basin, there is a significant decreasing trend of snow cover; its annual decreasing rate in some areas is 17.77% per decade. Seasonal trends are also decreasing. The highest rate of decrease is related to winter, which in some areas reaches about 33% per decade.

*. Corresponding author E-mail address: f_mojarrad@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

شاپای چاپی: ۳۱۹۷-۲۳۲۲
شاپای الکترونیکی: ۵۶۸۳-۲۶۷۶

جغرافیا و پایداری محیط

وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/

بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در حوضهٔ سفیدرود با استفاده از سنجش‌ازدور

هیرش انتظامی[۱]، فیروز مجرد[۱*]، محمد دارند[۲]، هیمن شهابی[۳]

[۱] گروه جغرافیا، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
[۲] گروه آب‌وهواشناسی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
[۳] گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

مشخّصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
دریافت ۲۱ اسفند ۱۳۹۹
پذیرش ۱۶ مرداد ۱۴۰۰
دسترسی آنلاین ۱۶ مرداد ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:
گسترهٔ برفی، سنجندهٔ مادیس، آزمون من-کندال اصلاح‌شده، حوضهٔ سفیدرود.

استناد: انتظامی، هیرش؛ مجرد، فیروز؛ دارند، محمد؛ شهابی، هیمن (۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در حوضهٔ سفیدرود با استفاده از سنجش‌ازدور. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱ (۲)، ۱-۱۸.
doi: 10.22126/GES.2021.6068.2363

چکیده

برف‌خوان‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در ایران به‌شمار می‌روند. نوشتار پیش رو بر آن است که تغییرات گسترهٔ پوشش برف را در حوضهٔ سفیدرود و زیرحوضه‌های آن واکاوی کند. برای دستیابی به این هدف از تصاویر سنجندهٔ مادیس محصول MOD10cm در یک بازهٔ زمانی نوزده‌ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) بهره گرفته شد. پس از تجزیه و تحلیل تصاویر در محیط نرم‌افزار انوی، سطح برف در هر تصویر محاسبه و بر پایهٔ آن، مقادیر ماهانه برای تمام دورهٔ آماری استخراج و به محیط نرم‌افزار آرک جی.آی.اِس. منتقل شد. برای بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی از آزمون من-کندال اصلاح‌شده و برای برآورد نرخ تغییرات از تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. بر پایهٔ یافته‌ها می‌توان دریافت که زمان شروع و پایان برف در حوضهٔ سفیدرود و زیرحوضه‌های آن دست‌خوش تغییرات بسیار جزئی بوده است. گسترهٔ برف‌پوش حوضه از ماه اکتبر آغاز و پس از افزایش به‌طرف دورهٔ سرد سال، در ماه آوریل به کمترین حدّ خود می‌رسد. ماه بیشینهٔ پوشش برف در تمام زیرحوضه‌ها ژانویه است. طی بازهٔ زمانی مورد واکاوی، گسترهٔ برف در سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۶ بیشینه و در سال ۲۰۱۰-۲۰۰۹ کمینه بوده است. یافته‌های حاصل از برازش آزمون ناپارامتریک من-کندال اصلاح‌شده روی سری‌های زمانی سالانهٔ گسترهٔ برفی حوضه بیانگر روند کاهشی و البتّه غیر معنی‌دار در بخش اعظم سطح حوضه است، ولی گاه روندهای افزایشی ملایم نیز دیده می‌شود. به‌لحاظ پراکنش مکانی، در مناطق مرکزی و شرقی حوضه روند کاهشی معنی‌دار گسترهٔ برفی دیده می‌شود و نرخ کاهش سالانهٔ آن در برخی مناطق یادشده ۱۷/۷۷٪ به‌ازای هر دهه است. روندهای فصلی نیز کاهشی است. بیشترین نرخ کاهش مربوط به فصل زمستان است که در برخی مناطق به حدود ۳۳٪ به‌ازای هر دهه نیز می‌رسد.

*. رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: f_mojarrad@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدّمه

افزایش جمعیّت و افزایش نیاز به منابع آب مورد نیاز جوامع انسانی، موجب افزایش روزافزون اهمّیت و نقش برف در جهان شده است. وابستگی حدود ۱۷٪ از جمعیّت جهان به ذوب برف فصلی و ذوب یخ یخچال‌ها برای تهیهٔ آب مورد نیاز خود، نشان‌دهندهٔ اهمّیت برف در زندگی انسان‌ها است (بارنت[1] و همکاران، ۲۰۰۵؛ ناولس[2] و همکاران، ۲۰۰۶). پوشش برف بر هزینه‌های برف‌روبی راه‌های ارتباطی، محصولات کشاورزی زمستانه و تولیدات جنگلی، میزان و زمان رواناب بهاره و سیل (بوخورست[3] و همکاران، ۲۰۱۶) و کاهش بارش برف برای تأمین آب اکوسیستم‌های آبی، جنگل‌داری و کشاورزی تأثیرگذار است (جیلانی[4] و همکاران، ۲۰۱۲؛ کلارک[5] و همکاران، ۲۰۱۵). افزون بر آن، ضرورت درک فرایندهای برف و تأثیر آن‌ها بر جمعیّت‌های حیات‌وحش در محیط زیست در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف احساس می‌شود (مانینگ و گارتون[6]، ۲۰۱۲؛ بنیستون و استوفل[7]، ۲۰۱۶). زمان‌بندی و توزیع مکانی پوشش برف از طریق انباشت و چرخهٔ ذوب، بسیاری از فرایندهای حیاتی و غیر حیاتی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عاملی حیاتی در سیستم‌های هیدرولوژیکی، تعادل انرژی، عملکرد زیست‌محیطی و تغییرات اقلیمی جهانی است (سالومونسن و اپل[8]، ۲۰۰۴؛ کوهن[9] و همکاران، ۲۰۱۵؛ مور[10]، ۲۰۱۱). در حال حاضر تغییرات محیط زیست و گرمایش جهانی در مناطق مختلف کریوسفر موجب نگرانی درمورد کاهش برف و یخچال‌ها شده است.

پوشش برف از نظر مکانی و به همان اندازه از نظر زمانی طی فصل‌های مختلف سال تغییر می‌کند. کاهش یا گسترش سطح پوشش برف طی یک دورهٔ زمانی در یک محیط، وجود تغییرات را در آن محیط نشان می‌دهد و به‌عنوان شاخصی برای تغییرات اقلیمی عمل می‌کند (سینگ[11] و همکاران، ۲۰۱۸)، به‌گونه‌ای که میزان پوشش برف و تداوم آن شاخص قابل اعتمادی برای روندهای تغییر اقلیم به‌شمار می‌آید (شوایی[12] و همکاران ۲۰۱۱؛ IPCC[13]، ۲۰۱۳). در این میان، کوه‌ها نقش مهمّی در تأمین آب مناطق پایین‌دست خود دارند و به‌دلیل تغییرات ارتفاعی شدید در فواصل افقی کوچک، تغییرات فضایی زیادی را در مناطق اقلیمی به‌وجود آورده‌اند (ایمرزیل[14] و همکاران، ۲۰۰۹؛ ایمرزیل و همکاران، ۲۰۱۰). در ارتفاعات بالا به‌دلیل ناهمواری زمین و وجود اقلیم خشن، محدودیت استقرار ایستگاه‌های هواشناسی وجود دارد. در این شرایط، داده‌های سنجش‌ازدور پتانسیل بالایی برای تهیهٔ داده‌های فضایی مناسب به‌منظور توصیف الگوهای فضایی و زمانی برف دارند. سنجش‌ازدور تکنیک تأثیرگذاری برای مطالعهٔ ویژگی‌های برف در سطوح محلّی و جهانی است، به‌ویژه به‌دلیل وسیع‌بودن مناطق برفی و مشکلاتی که در به‌دست‌آوردن برآوردهای زمینی در مناطق سرد وجود دارد (کولکارنی[15] و همکاران، ۲۰۱۱؛ پانت[16] و همکاران، ۲۰۱۴؛

1- Barnett
2- Knowles
3- Bokhorst
4- Jeelani
5- Clarke
6- Manning & Garton
7- Beniston & Stoffel
8- Salomonson & Appel
9- Cohen
10- Moore
11- Singh
12- Shuai
13- Intergovernmental Panel on Climate Change
14- Immerzeel
15- Kulkarni
16- Pant

www.SID.ir

Archive of SID

تاهیر[1] و همکاران، ۲۰۱۵).

تصاویر سنجندهٔ مادیس به‌دلیل اینکه اطّلاعات وضعیّت سطح زمین را به‌صورت روزانه ارائه می‌کنند، کارایی بالایی در بررسی پدیده‌های مختلف دارند (نولین[2]، ۲۰۱۱؛ کراوفورد[3]، ۲۰۱۵؛ سلکوویتز و فورستر[4]، ۲۰۱۵). این تصاویر قابلیت بررسی و نمایش تغییرات سطح برف را در مناطق مختلف جهان به‌صورت روزانه دارند؛ از این رو برای بررسی تغییرات احتمالی سطح پوشش برف در مناطق مختلف استفاده شده‌اند که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات مختلف کارایی این تصاویر تأیید شده است (میتیوک[5] و همکاران، ۲۰۱۸؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۷). در مناطقی که مساحت کمتری دارند، می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بیشتر مانند TM و IRS نیز استفاده کرد که کارایی این تصاویر نیز تأیید شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مالمروس[6] و همکاران، ۲۰۱۸)؛ البتّه به‌دلیل زیادبودن فاصلهٔ زمانی بین دو تصویر در آن‌ها، نمی‌توان تغییرات روزانه را به‌خوبی سنجندهٔ مادیس پایش کرد.

با توجّه به وجود شواهد فراوان مبنی بر افزایش درجهٔ حرارت کرهٔ زمین و درنتیجهٔ آن ذوب بسیاری از یخ‌ها و یخچال‌های کرهٔ زمین، بسیاری بر این باورند که سطح پوشش برف در مناطق مختلف زمین در سالیان اخیر کاهش یافته است؛ بنابراین پژوهش‌های فراوانی در راستای بررسی و تشخیص تغییرات سطح برف و وجود روند کاهشی یا افزایشی در مقدار آن در نقاط مختلف جهان انجام شده است. بر این پایه، بیشتر بررسی‌ها بر کاهش حجم یخچال‌ها در یخچال‌های طبیعی و کاهش سطح برف تأکید دارند (کریمی، ۱۳۹۳؛ فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸)؛ ولی با این وجود، برخی از مطالعات در مناطق مختلف افزایش سطح پوشش برف را گزارش کرده‌اند (راتور[7] و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو همواره دغدغهٔ کاهش سطوح برفی به‌ویژه در مناطق مرتفع حوضه‌های آبریز و پیامدهای گستردهٔ منفی آن در مناطق پایین‌دست ازجمله کاهش دسترسی به منابع آب برای مقاصد آبیاری کشاورزی و سایر نیازها، در بین پژوهشگران مطرح بوده است.

بر پایهٔ مطالب پیش‌گفته، هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی و شناخت روند تغییرات گسترهٔ برفی در یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز کشور یعنی حوضهٔ سفیدرود و تعیین کاهشی یا افزایشی‌بودن آن است. در قسمت‌های وسیعی از این حوضه، به‌دلیل ماهیت کوهستانی، سخت‌گذربودن ارتفاعات و نبود ایستگاه‌های زمینی، اندازه‌گیری و پایش مداوم سطح برف با روش‌های معمولی میسّر نیست. با بررسی گستره و روند تغییرات برف می‌توان بهترین تصمیمات را برای مدیریت بهینهٔ این منابع در راستای توسعهٔ پایدار گرفت؛ بنابراین پژوهشگران و مدیران می‌توانند برای بهبود وضعیّت اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و گردشگری و کاهش مخاطرات در حال و آینده از نتایج نوشتار پیش رو بهرهٔ لازم را ببرند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حوضهٔ آبریز سفیدرود است که یکی از حوضه‌های بزرگ زیرمجموعهٔ

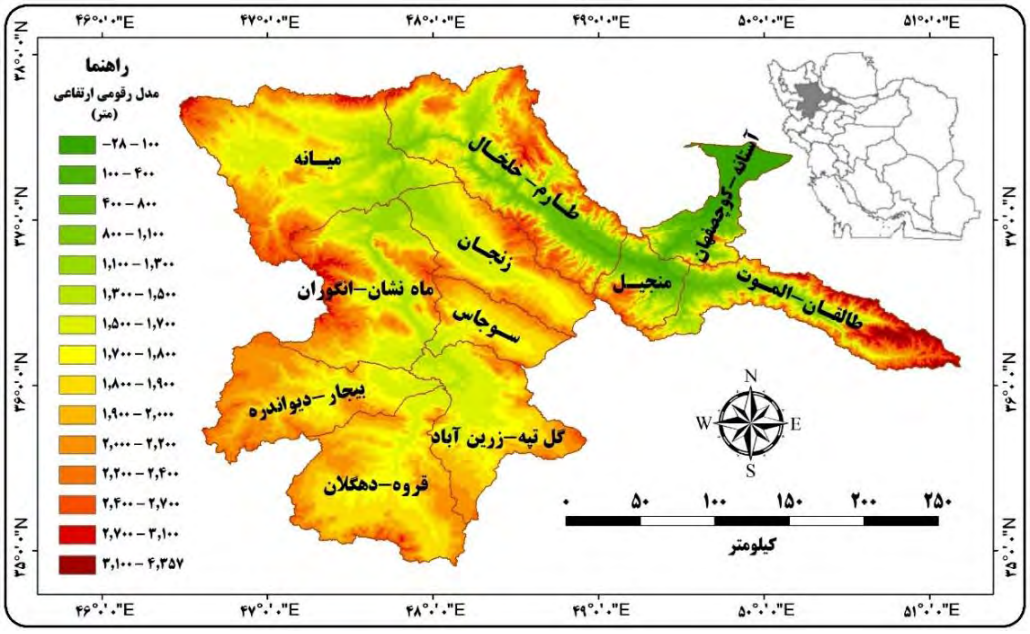
1- Tahir
2- Nolin
3- Crawford
4- Selkowitz & Forster
5- Mityok
6- Malmros
7- Rathore

www.SID.ir

Archive of SID

حوضهٔ منطقه‌ای دریای خزر است. این حوضه با مساحتی بیش از ۵۹ هزار کیلومتر مربع در محدودهٔ طول‌های جغرافیایی ′۳۱ °۴۶ تا ′۰۴ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۵۴ °۳۴ تا ′۴۹ °۳۷ شمالی قرار دارد که بخش‌هایی از ده استان کشور شامل استان‌های کردستان، زنجان، آذربایجان شرقی، اردبیل، گیلان، قزوین، همدان، البرز، آذربایجان غربی و مازندران را دربر می‌گیرد و از یازده زیرحوضه تشکیل شده است (شکل ۱).

آبراههٔ اصلی آن رود سفیدرود است که دومین رود بلند ایران (با طول ۷۵۰ کیلومتر) و بزرگ‌ترین رود شمال ایران است و از ترکیب دو رود شاهرود و قزل‌اوزن که در شهر منجیل به‌هم می‌پیوندند، شکل می‌گیرد و تا ریختن به دریای خزر عرض استان گیلان را می‌پیماید. سرچشمهٔ اصلی این رود از کوه‌های چهل‌چشمه در شمال غرب سنندج است. با توجّه به اینکه حوضهٔ سفیدرود مساحت زیادی را دربر می‌گیرد، زیرحوضه‌های آن از نظر ارتفاع، توپوگرافی و سایر مشخّصات جغرافیایی اختلاف قابل توجّهی با یکدیگر دارند. زیرحوضهٔ میانه وسیع‌ترین و زیرحوضهٔ منجیل کوچک‌ترین زیرحوضه‌ها هستند (جدول ۱).



شکل ۱. نقشهٔ حوضهٔ آبریز سفیدرود و زیرحوضه‌های آن

جدول ۱. مشخّصات زیرحوضه‌های حوضهٔ سفیدرود

نام زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	حداقل ارتفاع (متر)	حداکثر ارتفاع (متر)
آستانه - کوچصفهان	۲۵۹۲	-۲۸	۲۷۰۶
بیجار – دیواندرّه	۵۳۶۴	۱۴۶۸	۳۰۴۹
زنجان	۴۶۷۴	۱۱۰۳	۲۸۸۹
سوجاس	۲۴۶۵	۱۴۰۳	۲۷۷۳
طارم - خلخال	۸۸۵۰	۲۸۳	۳۳۱۳
طالقان - الموت	۴۸۷۳	۳۲۴	۴۳۵۷
قروه - دهگلان	۷۲۴۲	۱۴۶۸	۳۱۸۸
گل‌تپّه – زرین‌آباد	۵۱۷۲	۱۶۷۱	۲۷۷۶
ماه‌نشان - انگوران	۶۷۷۳	۱۱۰۳	۳۳۱۷
منجیل	۲۰۳۵	۲۰۹	۲۹۳۳
میانه	۹۲۳۴	۱۰۲۹	۳۶۱۲

www.SID.ir

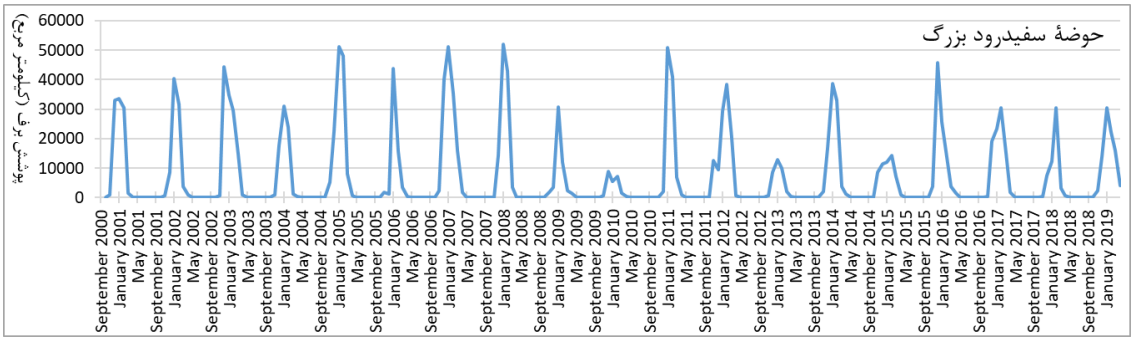
Archive of SID

برای انجام پژوهش حاضر از تصاویر سنجندهٔ مادیس[1] محصول MOD10cm در یک دورهٔ زمانی نوزده‌ساله (سال‌های آبی ۲۰۰۱-۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹-۲۰۱۸) استفاده شده است. این محصول یا مجموعهٔ داده، گسترهٔ پوشش برفی متوسّط ماهانهٔ مربوط به سلول‌های شبکهٔ مدل‌بندی اقلیمی مادیس را با قدرت تفکیک ۰/۰۵ درجه ارائه می‌کند. خود متوسّط‌های ماهانه، از روی مشاهدات روزانهٔ پوشش برفی مربوط به مجموعهٔ دادهٔ شبکهٔ مدل‌بندی اقلیمی جهانی مادیس/ ترا با قدرت تفکیک ۰/۰۵ درجه (MOD10C1) استخراج شده است[2]. ابتدا تصاویر دانلودشده در محیط نرم‌افزار انوی[3] تجزیه و تحلیل و بررسی شد؛ سپس سطح برف در هر تصویر، محاسبه و بر اساس آن مقادیر ماهانه برای تمام ماه‌های دورهٔ آماری به‌دست آمد و به محیط نرم‌افزار آرک جی.آی.اِس.[4] منتقل شد. برای بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی گسترهٔ برفی در سطح اطمینان ۹۰٪ از آزمون من-کندال اصلاح شده و برای شناخت نرخ تغییرات از تخمین‌گر شیب سن بهره گرفته شد. این دو آزمون با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب[5] انجام شد. لازم به ذکر است محاسبات پوشش برفی و روند تغییر برای هر یک از پیکسل‌ها به‌طور جداگانه و برای تمام زیرحوضه‌ها انجام شد.

نتایج

در حوضهٔ سفیدرود در دورهٔ آماری مورد بررسی، سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۶ دارای بیشترین سطح برف و سال آبی ۲۰۱۰-۲۰۰۹ دارای کمترین سطح برف بوده است. این بیشینه و کمینه به‌ترتیب برای دو سال آبی یادشده در بسیاری از زیرحوضه‌ها همچون زیرحوضه‌های زنجان، بیجار-دیواندره، سوجاس، ماه‌نشان - انگوران و منجیل مشاهده شده است. از لحاظ کمترین سطح برف، سه زیرحوضهٔ میانه، آستانه و طارم - خلخال از کلّ حوضهٔ سفیدرود پیروی کرده، امّا از لحاظ بیشترین سطح برف با آن هماهنگ نبوده و به‌ترتیب در سال‌های آبی ۲۰۱۲-۲۰۱۱، ۲۰۰۸-۲۰۰۷ و ۲۰۰۳ -۲۰۰۲ بیشترین سطح برف را داشته‌اند؛ همچنین سه زیرحوضهٔ قروه - دهگلان، گل‌تپّه - زرین‌آباد و طالقان - الموت از لحاظ بیشترین سطح برف با حوضهٔ سفیدرود هماهنگ بوده، ولی از لحاظ کمترین سطح برف با هم اختلاف دارند و به‌ترتیب در سال‌های آبی ۲۰۱۵ - ۲۰۱۴، ۲۰۱۳-۲۰۱۲ و ۲۰۱۸-۲۰۱۷ دارای کمترین پوشش برف بوده‌اند.

نمودارهای تغییرات ماهانهٔ سطح پوشش برف برای کلّ حوضهٔ سفیدرود و به‌طور جداگانه برای همهٔ زیرحوضه‌های آن در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها روند تغییرات در زیرحوضه‌های مختلف در طول دورهٔ آماری مشابه هم بوده و همگی شیب کاهشی ملایمی دارند؛ همچنین در طول دورهٔ آماری تغییر محسوسی در فصل برفی منطقه مشاهده نمی‌شود.

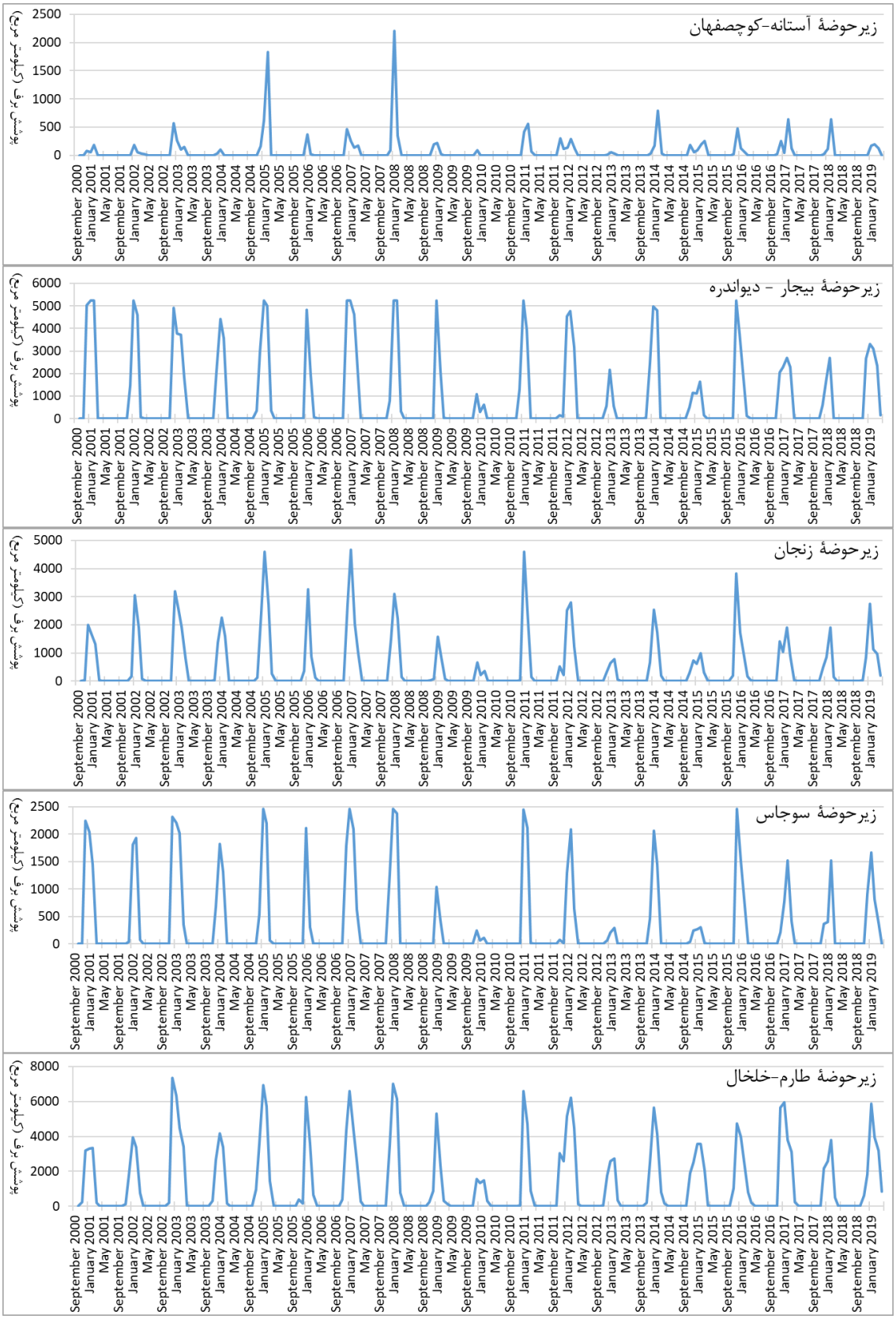


شکل ۲. نمودار تغییرات ماهانهٔ سطح پوشش برف در حوضهٔ سفیدرود و زیرحوضه‌های آن

1- MODIS
2- https://nsidc.org/data/MOD10CM/versions/6
3- ENVI
4- ArcGIS
5- Matlab

www.SID.ir

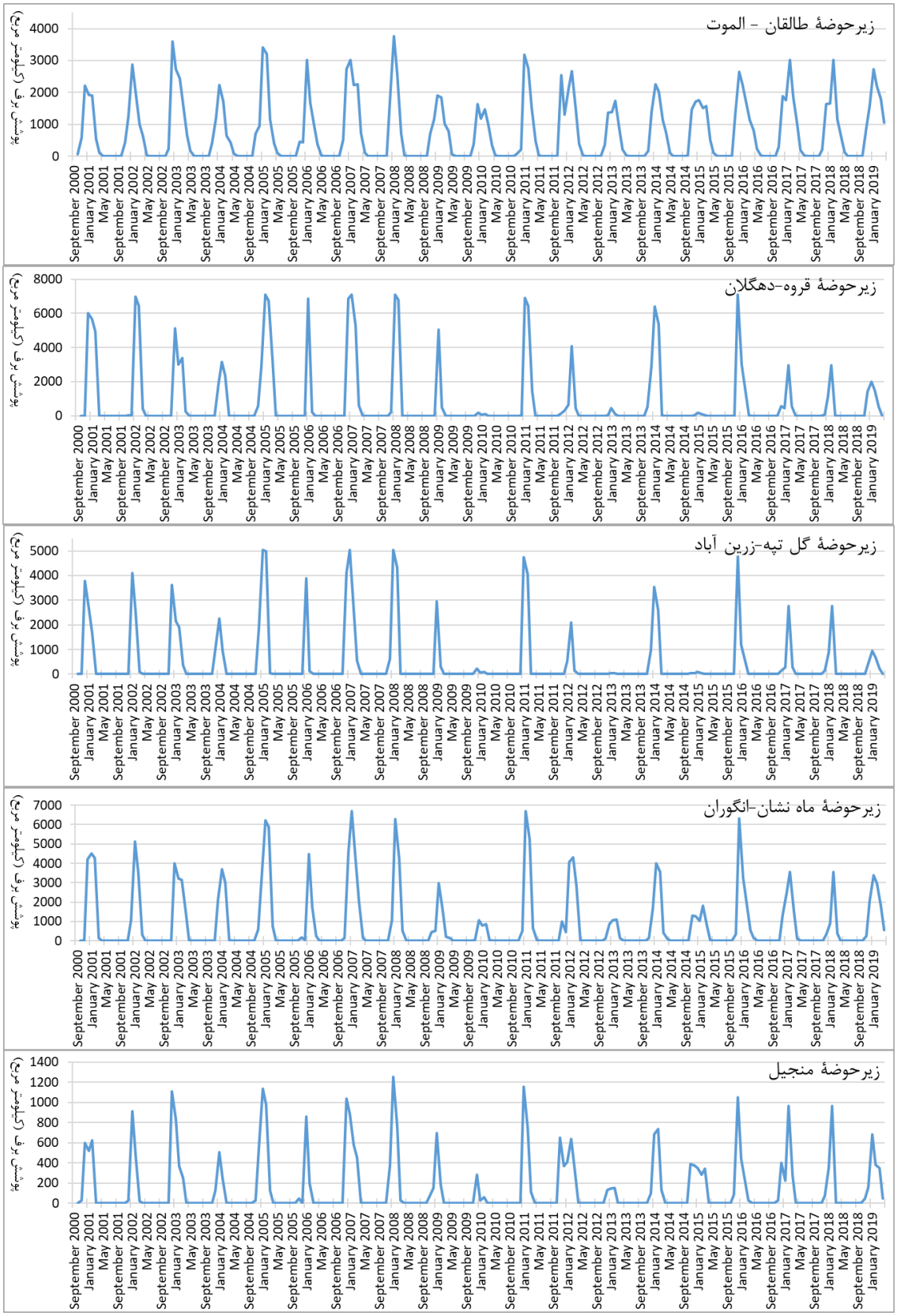
Archive of SID



ادامهٔ شکل ۲. نمودار تغییرات ماهانهٔ سطح پوشش برف در حوضهٔ سفیدرود و زیرحوضه‌های آن

www.SID.ir

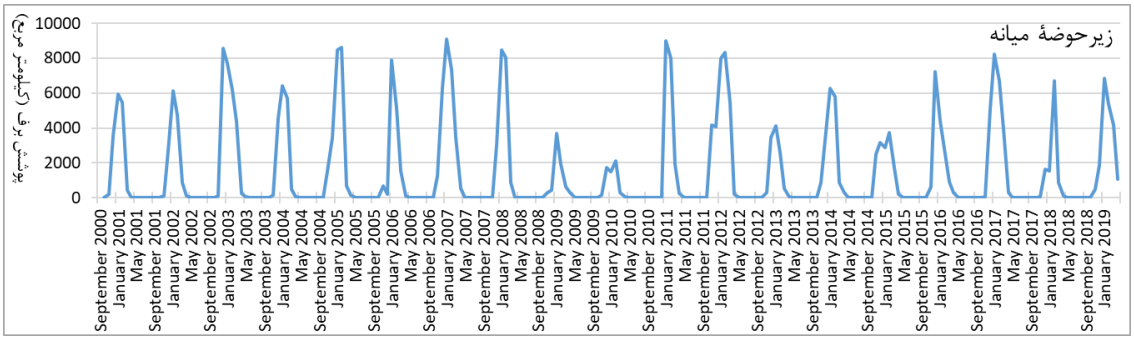
Archive of SID



ادامهٔ شکل ۲. نمودار تغییرات ماهانهٔ سطح پوشش برف در حوضهٔ سفیدرود و زیرحوضه‌های آن

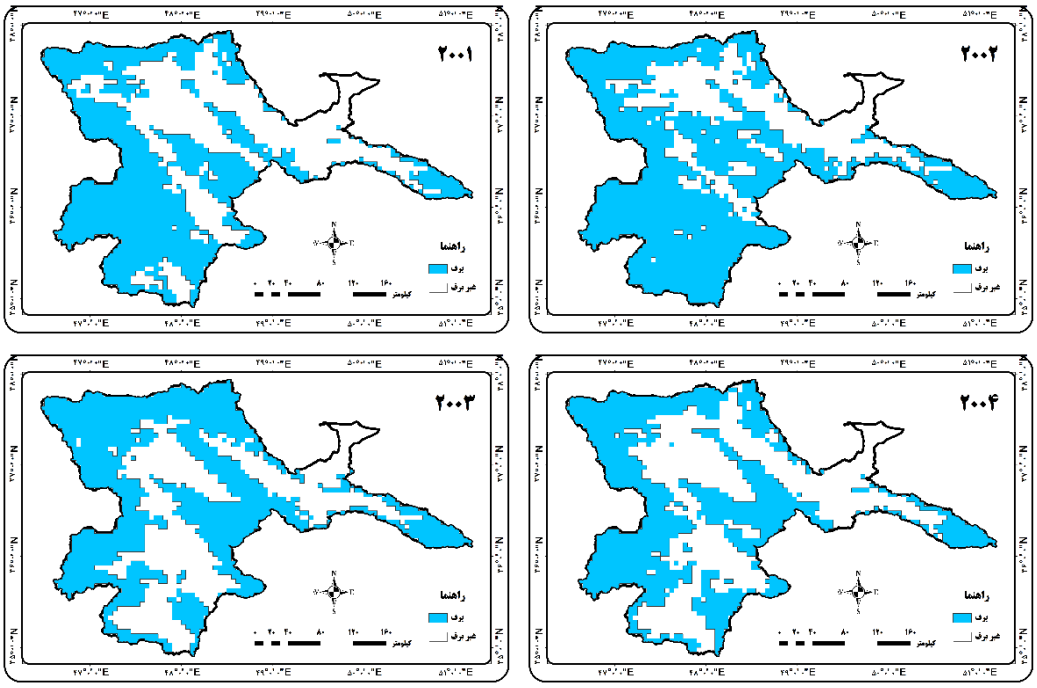
www.SID.ir

Archive of SID



ادامهٔ شکل ۲. نمودار تغییرات ماهانهٔ سطح پوشش برف در حوضهٔ سفیدرود و زیرحوضه‌های آن

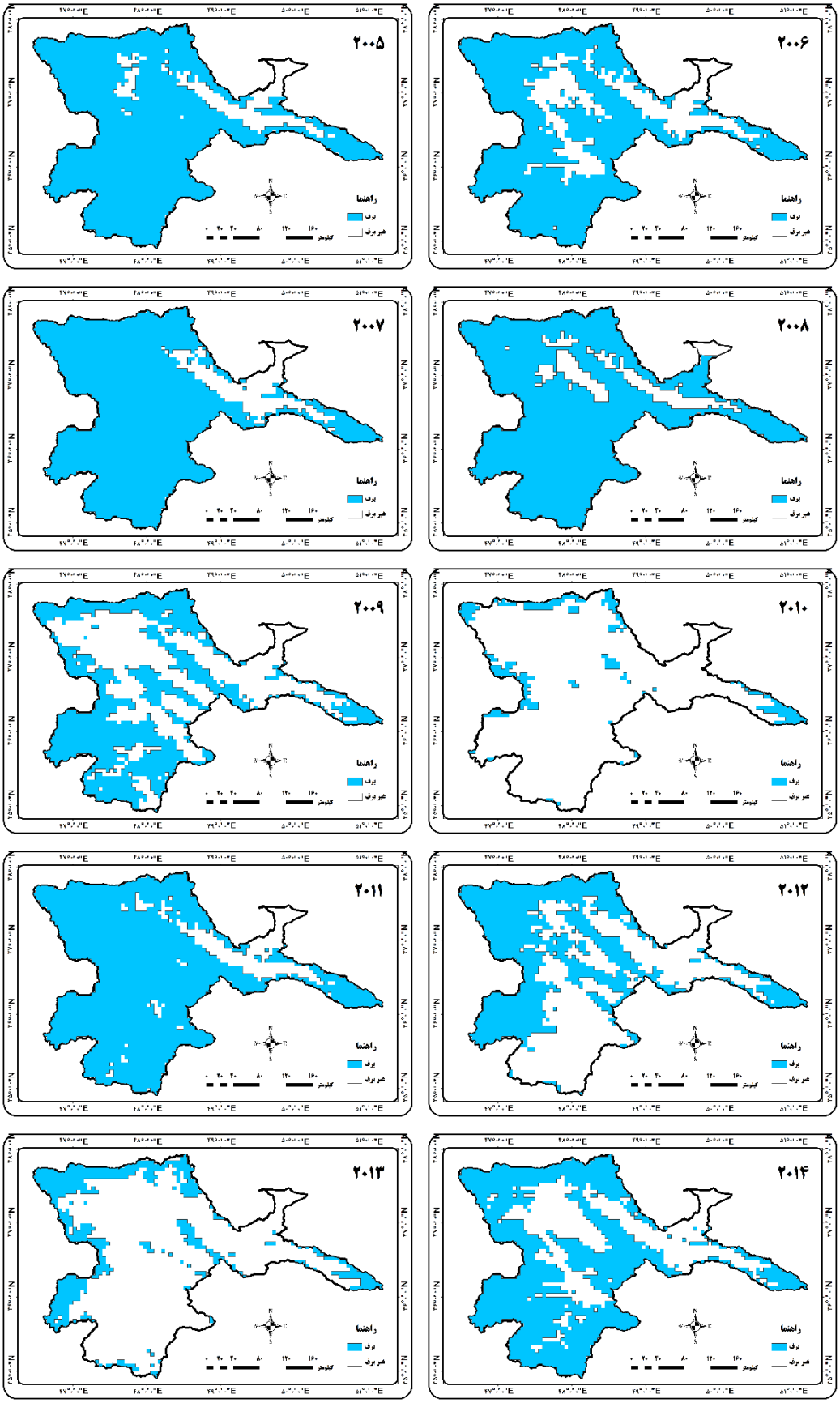
سطح پوشش برف ماه ژانویه در همهٔ سال‌های دورهٔ آماری در شکل ۳ نشان داده شده است. ماه ژانویه در همهٔ سال‌ها نسبت به ماه‌های دیگر بیشترین سطح پوشش برف را داشته و می‌توان آن را به‌عنوان نمونهٔ مناسبی برای بررسی رفتار نوسانی سطح پوشش برف در طول سال در نظر گرفت. با وجود اینکه سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۶ دارای بیشترین سطح برف در میان کلّ سال‌های دورهٔ آماری بوده، ولی بیشترین مساحت پوشش برف، نه در ماه ژانویهٔ سال ۲۰۰۷ بلکه در ماه ژانویهٔ سال ۲۰۰۸ رخ داده است. در همهٔ زیرحوضه‌ها ژانویهٔ سال ۲۰۱۰ کمترین سطح برف را در بین ماه‌های ژانویهٔ همهٔ سال‌ها داشته است؛ همچنین به‌جز زیرحوضه‌های زنجان، سوجاس، میانه و ماه‌نشان - انگوران که در ژانویهٔ سال ۲۰۰۷ بیشترین سطح برف را داشته‌اند، سایر زیرحوضه‌ها در ژانویهٔ سال ۲۰۰۸ بیشترین سطح برف را دارا بوده‌اند (مشابه با کلّ حوضه). به‌طور مشخّص در این ماه مناطق پست حوضهٔ سفیدرود به‌خصوص آن قسمت از جلگهٔ گیلان که در محدودهٔ این حوضه قرار گرفته است، حتّی در سردترین سال‌ها فاقد پوشش برفی بوده است.



شکل ۳. نقشهٔ سطح پوشش برف ماه ژانویه به‌عنوان ماه بیشینهٔ پوشش برفی حوضه در سال‌های دورهٔ آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹)

www.SID.ir

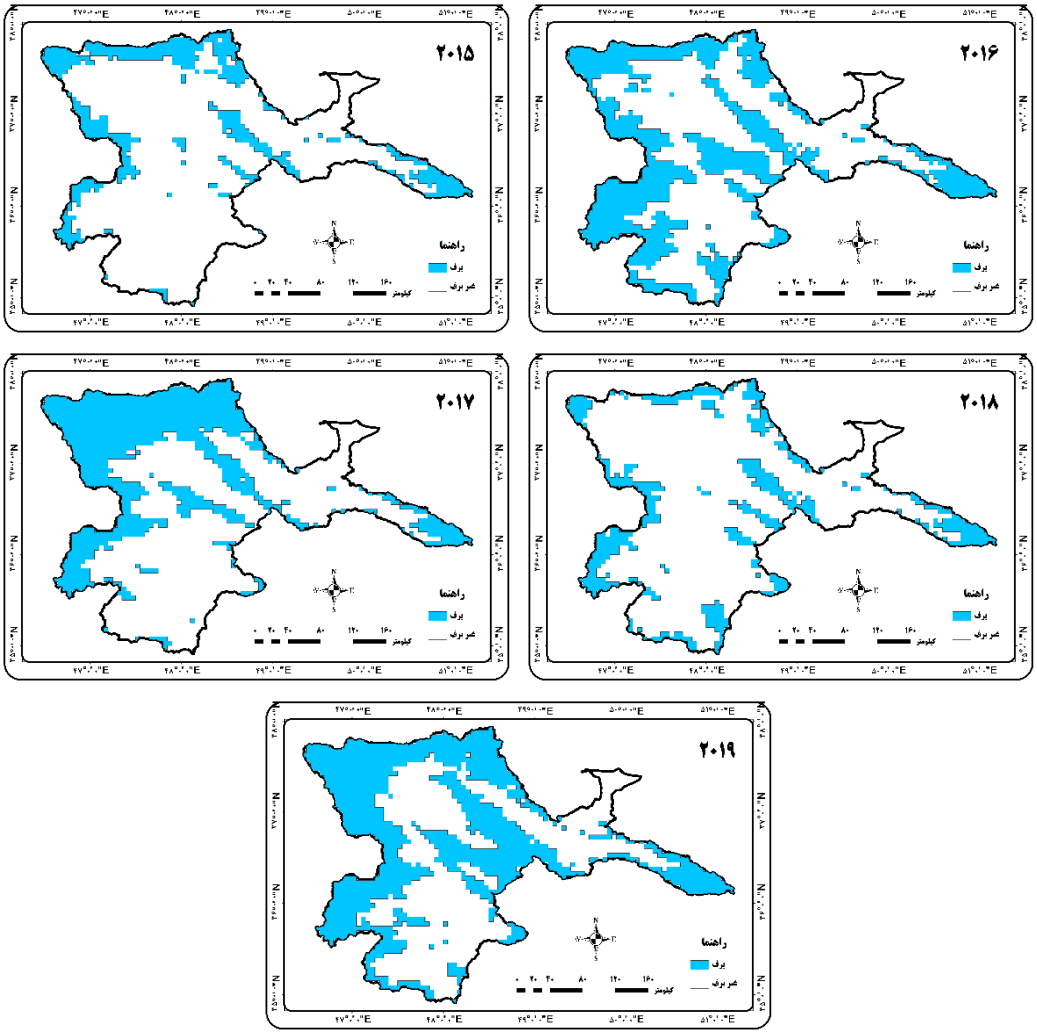
Archive of SID



ادامهٔ شکل ۳. نقشهٔ سطح پوشش برف ماه ژانویه به‌عنوان ماه بیشینهٔ پوشش برفی حوضه در سال‌های دورهٔ آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹)

www.SID.ir

Archive of SID



ادامهٔ شکل ۳. نقشهٔ سطح پوشش برف ماه ژانویه به‌عنوان ماه بیشینهٔ پوشش برفی حوضه در سال‌های دورهٔ آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹)

برای بررسی وجود روند در تغییرات سطح برف و تصادفی‌بودن آن‌ها از آزمون من-کندال اصلاح‌شده استفاده شد. بر پایهٔ این آزمون، تغییرات برف در حدّ پیکسل برای همهٔ زیرحوضه‌های سفیدرود بررسی شد. نتایج نشان داد که روند کلّی تغییرات پوشش برفی در زیرحوضه‌ها در طول دورهٔ آماری کاهشی است. تنها زیرحوضه‌ای که میانگین شیب تغییرات سالانهٔ آن منفی و کاهشی نبوده، زیرحوضهٔ میانه است که رقم میانگین آن بالای صفر بوده است. منفی‌ترین مقدار شیب برای یک پیکسل ۱۷/۷۷- در زیرحوضهٔ گل‌تپّه - زرین‌آباد، و مثبت‌ترین آن برای یک پیکسل ۱۳/۹۳ در زیرحوضهٔ میانه بوده است (جدول ۲).

بررسی وضعیّت معنی‌داربودن شیب تغییرات در سطح اطمینان ۹۰٪ مشخّص کرد که روند تغییرات (کاهشی یا افزایشی) در بیشتر مناطق معنی‌دار نیست و تصادفی‌بودن آن تأیید می‌شود. شکل ۴، درصد شیب تغییرات سالانهٔ سطح برف و شکل ۵ روند تغییرات سالانهٔ سطح برف و وضعیّت معنی‌داری آن را در زیرحوضه‌های حوضهٔ سفیدرود نشان می‌دهد. بررسی روند تغییرات فصلی پوشش برف با آزمون من-کندال نیز نشان می‌دهد که در فصل‌های مختلف، سطح پوشش برف در کلّ حوضه روند کاهشی دارد. با توجّه به اینکه قسمت اعظم بارش برف در این حوضه در فصل زمستان (ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه) رخ می‌دهد، روند تغییرات فصل زمستان بیشتر شبیه روند سالانه و در بیشتر مناطق و زیرحوضه‌ها کاهشی است که البتّه شیب کاهش در این فصل بسیار شدیدتر از سایر فصل‌ها است و گاه به حدود ۳۳٪ نیز می‌رسد (شکل‌های ۶ و ۷).

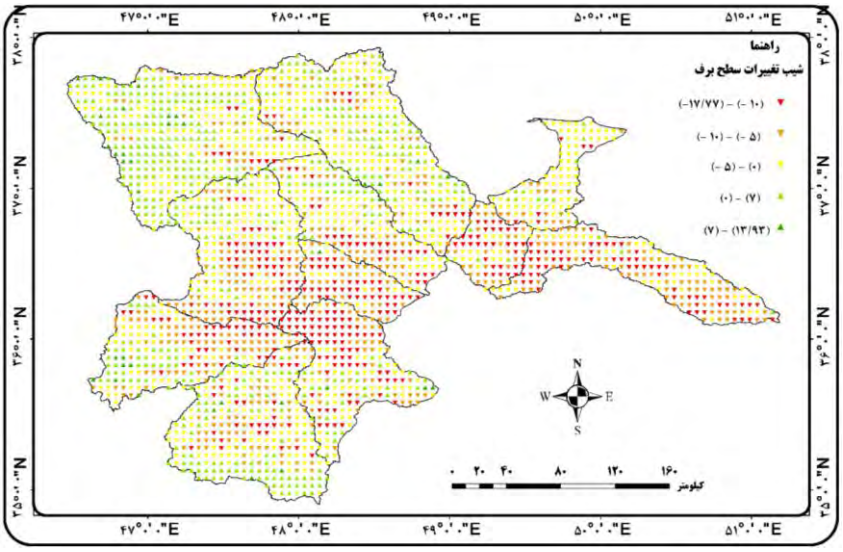
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. شیب تغییرات سطح برف و معنی‌داربودن آن در زیرحوضه‌های سفیدرود با آزمون من-کندال اصلاح‌شده

نام زیر حوضهٔ	حداقل شیب تغییرات سالانهٔ برف (درصد)	حداکثر شیب تغییرات سالانهٔ برف (درصد)	میانگین شیب تغییرات سالانهٔ برف (درصد)	میانگین معنی‌داری شیب تغییرات
آستانه - کوچصفهان	-۱۳/۳۳	۳/۷	-۲/۷	۰/۵۲
بیجار - دیواندره	-۱۶/۲۵	۱۳/۹۳	-۴/۵۳	۰/۳۸
زنجان	-۱۵/۲۲	۷/۴	-۴/۳۱	۰/۳۸
سوجاس	-۱۷/۰۰	۷/۳۳	-۸/۵۸	۰/۲۱
طارم - خلخال	-۱۴/۲۹	۸/۷	-۱/۶۲	۰/۵۶
طالقان - الموت	-۱۶/۰۸	۵/۵	-۷/۶۱	۰/۲۸
قروه - دهگلان	-۱۷/۱۲	۸/۸	-۲/۴۶	۰/۴۷
گل‌تپّه – زرین‌آباد	-۱۷/۷۷	۸/۹	-۶/۸۳	۰/۳۱
ماه‌نشان - انگوران	-۱۶/۶۷	۵/۹۷	-۵/۳۱	۰/۴
منجیل	-۱۶/۵۰	۷/۰۰	-۷/۵۳	۰/۲۸
میانه	-۱۳/۸۴	۱۲/۵	۰/۰۰۱	۰/۵۵

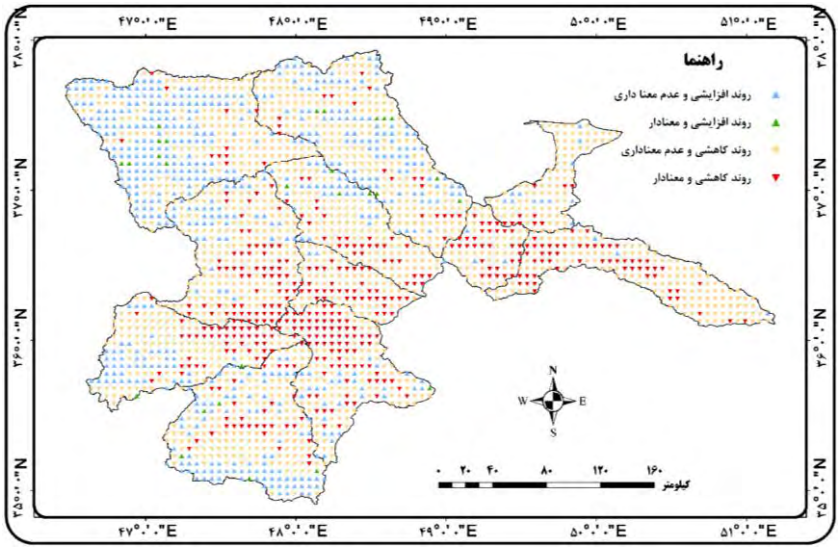
در فصل پاییز (ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر) به‌جز بخش‌های کوچکی از ارتفاعات و تا حدودی بخش‌های غربی و شمال غربی حوضه در سایر مناطق بارش برف دیده نمی‌شود. در این فصل در مناطق دارای بارش برف، روندهای کاهشی غلبه دارد که البتّه مقدار شیب تغییرات شدید نیست و بین صفر تا ۳٪ در نوسان است (شکل‌های ۸ و ۹). در فصل بهار (ماه‌های مارس، آوریل و می) نیز به‌دلیل ذوب سریع برف در ماه مارس، در بیشتر مناطق حوضه برف دیده نمی‌شود و فقط در برخی ارتفاعات زیرحوضه‌های طالقان - الموت، میانه، سوجاس، خلخال-طارم و بیجار - دیواندره پوشش برف به‌چشم می‌خورد که البتّه روند آن تا حدّی افزایشی است و گاهی به حدود ۲۱٪ نیز می‌رسد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). در فصل تابستان (ماه‌های جون، جولای و آگوست) با توجّه به اینکه پوشش برف وجود ندارد، بنابراین تغییراتی نیز دیده نمی‌شود.



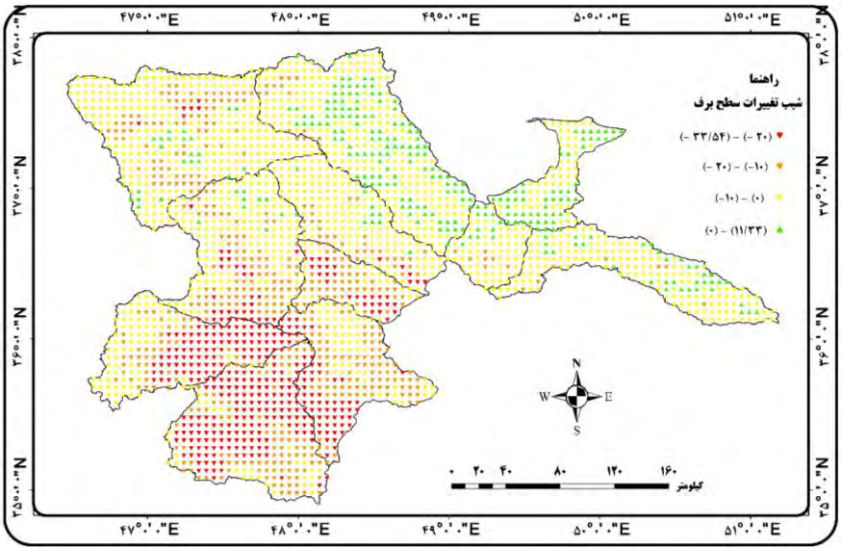
شکل ۴. درصد شیب تغییرات سالانهٔ سطح برف در حوضهٔ سفیدرود

www.SID.ir

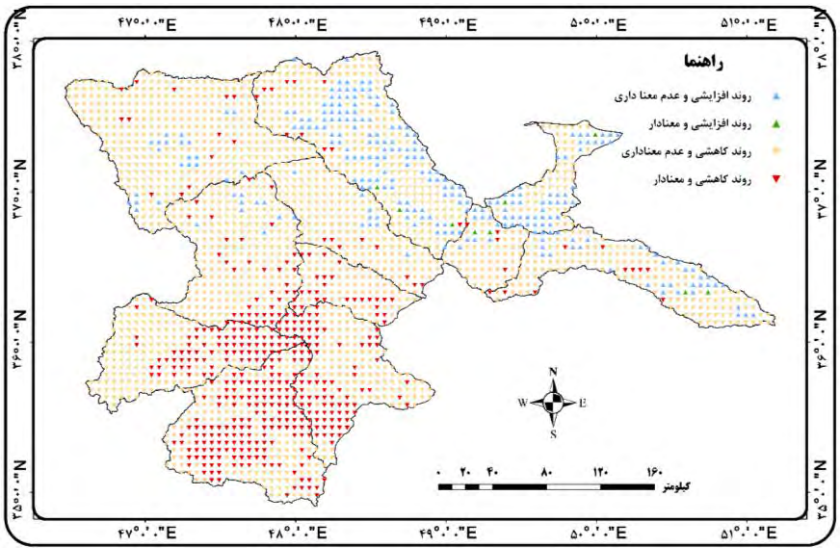
Archive of SID



شکل ۵. روند تغییرات سالانهٔ سطح برف و معنی‌داری آن در حوضهٔ سفیدرود



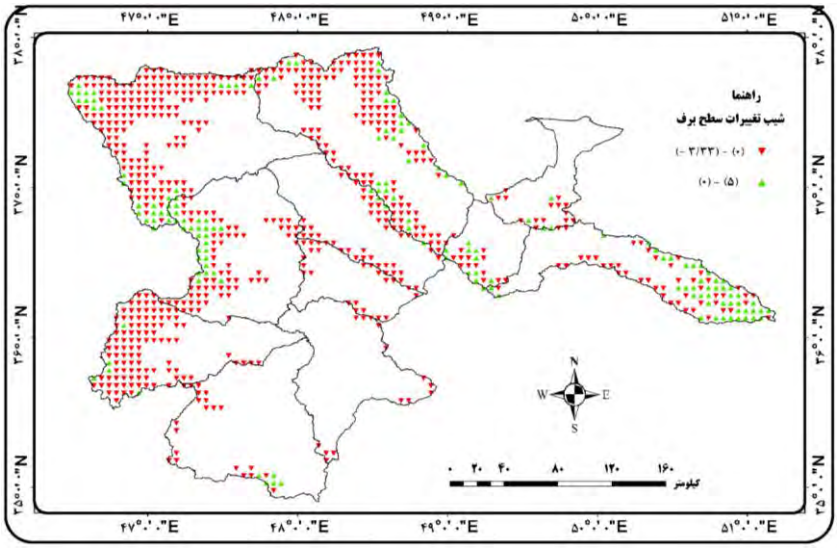
شکل ۶. درصد شیب تغییرات سطح برف در فصل زمستان در حوضهٔ سفیدرود



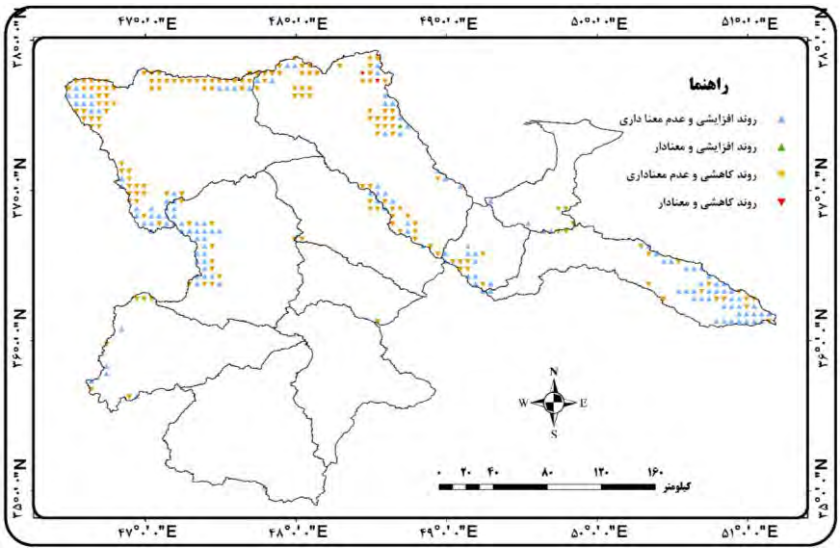
شکل ۷. روند تغییرات سطح برف و معنی‌داری آن در فصل زمستان در حوضهٔ سفیدرود

www.SID.ir

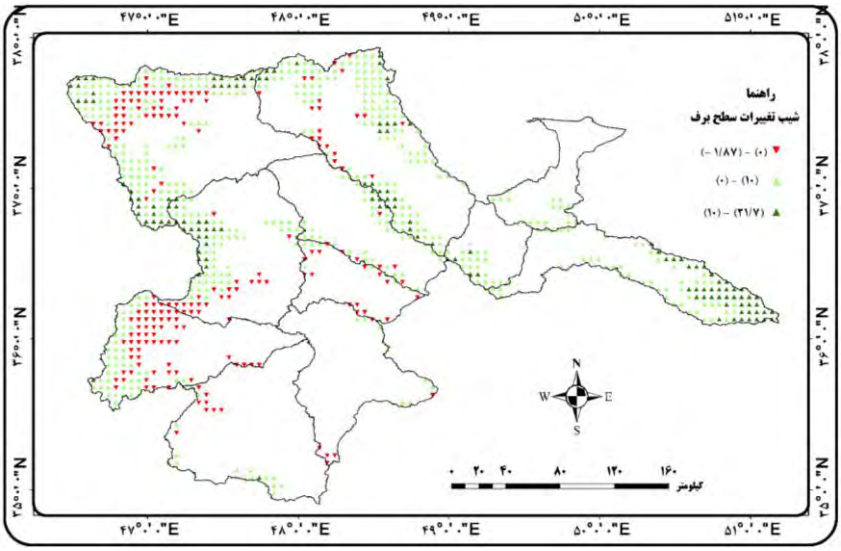
Archive of SID



شکل ۸. درصد شیب تغییرات سطح برف در فصل پاییز در حوضهٔ سفیدرود (مناطق سفید: بدون برف)



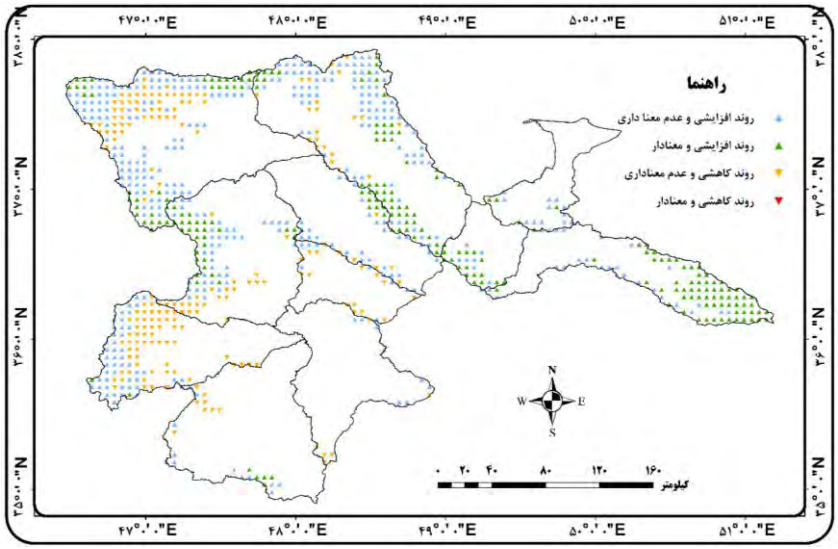
شکل ۹. روند تغییرات سطح برف و معنی‌داری آن در فصل پاییز در حوضهٔ سفیدرود (مناطق سفید: بدون برف)



شکل ۱۰. درصد شیب تغییرات سطح برف در فصل بهار در حوضهٔ سفیدرود (مناطق سفید: بدون برف)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱. روند تغییرات سطح برف و معنی‌داری آن در فصل بهار در حوضهٔ سفیدرود (مناطق سفید: بدون برف)

بحث

کمبود بارش و منابع آب در ایران، اهمّیت مطالعات برف را به‌عنوان منبع آبی بسیار تاثیرگذار در وضعیّت اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی کشور روزبه‌روز پررنگ‌تر کرده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی گسترهٔ پوشش برف و روند تغییرات آن در حوضهٔ سفیدرود در بازهٔ زمانی نوزده‌ساله با استفاده تصاویر سنجندهٔ مادیس به‌انجام رسیده است. زیرحوضه‌های حوضهٔ وسیع سفیدرود از لحاظ ارتفاع، توپوگرافی، آب‌وهوا، شرایط جغرافیایی، پوشش گیاهی، دوری و نزدیکی به دریا با یکدیگر بسیار متفاوت هستند و به‌طور طبیعی، سطح پوشش برف و روند تغییرات در آن‌ها مشابه نیست؛ بنابراین بررسی تغییرات پدیده و دلایل احتمالی آن به تفکیک زیرحوضه ضروری است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در بیشتر زیرحوضه‌های سفیدرود، به‌ویژه زیرحوضه‌های شرقی (طالقان - الموت و منجیل)، مرکزی و جنوبی (زنجان، سوجاس، گل‌تپّه - زرین‌آباد، بخش اعظم زیرحوضه‌های بیجار - دیواندره، قروه - دهگلان و ماه‌نشان - انگوران) روند کاهشی در سطح پوشش برف غلبه دارد که گاه به حدود ۱۷٪ در دهه نیز می‌رسد (جدول ۲، شکل‌های ۴ و ۵) که کمابیش همهٔ مطالعات انجام‌یافتهٔ داخلی و خارجی به آن اذعان کرده‌اند. علّت اصلی این مسئله می‌تواند به‌احتمال بسیار زیاد، پدیدهٔ گرمایش جهانی و در پی آن تغییر شکل بارش‌ها از جامد به مایع به‌مرور زمان باشد؛ همچنین می‌تواند به‌دلیل بی‌نظمی‌های ناشی از ورود رطوبت بادهای غربی در دورهٔ سرد سال در زیرحوضه‌های شرقی باشد؛ البتّه به‌نظر می‌رسد در بخش‌هایی از زیرحوضه‌های شمالی و غربی حوضه (زیرحوضهٔ میانه و بخش‌هایی از زیرحوضه‌های طارم - خلخال، بیجار - دیواندره و قروه - دهگلان) به‌جای کاهش، تا حدودی افزایش سطح برف دیده می‌شود، به‌ویژه در زیرحوضه‌های بیجار - دیواندره و میانه که بیشترین مقدار افزایش در مقایسه با زیرحوضه‌های دیگر به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۹۳٪ و ۱۲/۵٪ محاسبه شده است. چه‌بسا علّت این افزایش تغییر در میزان شار رطوبت ورودی به منطقه بوده که در مناطق مرتفعِ مستعدّ ریزش برف، به‌مرور زمان باعث افزایش ریزش برف و در نهایت گسترش پهنهٔ برفی شده است که البتّه نیازمند مطالعات بیشتری است. مشابه با این وضعیّت، مطالعهٔ فتاحی و مقیمی (۱۳۹۸) در شمال غرب ایران نیز به وجود روند افزایشی در بعضی از قسمت‌های منطقه اذعان می‌کند،

www.SID.ir

Archive of SID

امّا بر روند کاهشی سطح برف در بخش اعظم منطقه تأکید می‌نماید.

با بررسی و مقایسهٔ سطح پوشش برف و روند تغییرات آن به‌صورت فصلی مشخّص شد که در فصل زمستان روند کاهشی پوشش برف غلبه دارد که در بعضی مناطق، این روند بسیار شدید بوده و شیب کاهشی آن بالاست. با توجّه به اینکه قسمت اعظم بارش سالیانهٔ برف در حوضهٔ سفیدرود در فصل زمستان رخ می‌دهد، روند کاهش برف در این فصل بر روند کاهش برف سالیانه تأثیرگذار بوده است که نگرانی‌های جدّی را از نظر کاهش دبی رودخانه‌ای و بی‌نظمی رژیم جریان رودخانه در قسمت‌های پایین‌دست پدید می‌آورد. در فصل پاییز نیز روند پوشش برف کاهشی بوده است؛ ولی در فصل بهار روند کاهشی دیده نمی‌شود و حتّی تا حدّی روند افزایشی نیز مشاهده می‌شود که شاید حکایت از به‌تأخیرافتادن بارش‌ها از زمستان به‌سمت بهار و در واقع عقب‌نشینی آرام‌تر بادهای غربی در این فصل در سالیان اخیر داشته باشد. بر خلاف این نتایج، نجفی دستنایی (۱۳۹۴) در حوضهٔ زاینده‌رود، افزایش بارش پاییزه و کاهش بارش بهاره و عزیزی و همکاران (۱۳۹۵) در دامنه‌های جنوبی البرز افزایش زمستانی پوشش برف و کاهش بهاری آن را گزارش کرده‌اند.

هرچند در بیشتر زیرحوضه‌های سفیدرود روندهای کاهشی و افزایشی در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است، امّا تفاوت‌هایی بین زیرحوضه‌ها دیده می‌شود؛ به‌طوری که این روندها در بعضی مناطق شدیدتر و در بعضی دیگر ملایم‌تر بوده است. در پژوهش‌های میتیوک و همکاران (۲۰۱۸)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۵)، سینگ و همکاران (۲۰۱۸)، خسروی و همکاران (۱۳۹۶)، مالمروس و همکاران (۲۰۱۸)، جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۹) و فتاحی و مقیمی (۱۳۹۸) روند کاهشی سطح برف در مناطق مورد مطالعه تأیید شده است. در حالی که پژوهش حاضر بر این نکته تأکید دارد که روند کاهشی پوشش برف در بیشتر زیرحوضه‌ها وجود دارد، امّا شدید و معنی‌دار نیست و چه‌بسا در مناطقی، روند افزایشی به‌میزان کم نیز مشاهده می‌شود.

در تمام سال‌های مورد مطالعه، ماه ژانویه ماه بیشینهٔ بارش برفی بوده است؛ همچنین سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷-۲۰۰۶) پربرف‌ترین و سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰-۲۰۰۹) کم‌برف‌ترین سال دورهٔ آماری بوده است که با یافته‌های پژوهش سلیمانی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد؛ همچنین بر پایهٔ نمودارهای روند ماهانهٔ برف (شکل ۲)، در همهٔ زیرحوضه‌ها دورهٔ زمانی ریزش برف تقریباً مشابه بوده و از ماه اکتبر شروع شده و در ماه آوریل به اتمام رسیده است. اگر اختلاف زمانی نیز وجود داشته باشد، در حدّ چند روز بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت که دورهٔ زمانی ریزش برف در طول دورهٔ آماری در زیرحوضه‌های مختلف کمابیش ثابت بوده و تغییرات قابل توجّهی در زمان‌های شروع و پایان برف در آن‌ها دیده نمی‌شود. این امر مؤیّد این نکته است که به‌طور کلّی در زیرحوضه‌ها، فصل بارش و ذوب برف، چه در مواقع ترسالی و چه خشکسالی، تقریباً ثابت بوده است؛ البتّه بیان این نکته نیز ضروری است که محصولات مادیس استفاده‌شده در نوشتار پیش رو، ماهانه بوده و بنابراین تغییرات پوشش برف را در همین مقیاس زمانی نشان می‌دهد. اگر این بررسی در مقیاس روزانه انجام می‌گرفت، ممکن بود تغییراتی در حدّ روزها یا هفته‌ها در زمان‌های آغاز و پایان بارش برف مشاهده شود.

نتیجه‌گیری

هرچند مناطق کوچکی از حوضهٔ سفیدرود وضعیّت ثبات یا حتّی روند زمانی افزایشی پوشش برفی خود را حفظ کرده است؛ امّا در بیشتر زیرحوضه‌ها روند کاهشی دیده می‌شود و در برخی مناطق مقدار این روند کاهشی به حدود ۱۷٪ به‌ازای یک دهه نیز می‌رسد؛ البتّه وضعیّت ثابتی در روند دیده نمی‌شود، یعنی گاهی چند سال وضعیّت کاهشی و چند سال وضعیّت افزایشی دیده می‌شود، امّا روند کلّی کاهشی است. درست

www.SID.ir

Archive of SID

است که روند کاهش منابع برفی در منطقه خیلی شدید نیست و ممکن است در مواردی معنی‌دار هم نباشد، ولی با توجّه به افزایش روزافزون جمعیّت کشور و به‌تبع آن بالارفتن نیاز به آب شرب در شهرها و روستاها، آب آبیاری در بخش کشاورزی و آب مورد نیاز صنعت، همین کاهش اندک و حتّی ثبات در مقدار بارش برف نیز می‌تواند منجر به کمبود منابع آب و ایجاد بحران آبی در منطقه شود. از این رو پایش مداوم سطح پوشش برف و روند تغییرات آن، ریشه‌یابی سینوپتیکی-دینامیکی رخداد آن به‌خصوص در سال‌هایی که شرایط حدی پوشش برف حاکم بوده است (سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹) و تخمین وضعیّت آینده در بخش‌های مختلف منطقه در مطالعات آتی بسیار ضروری است.

منابع

جهانبخش اصل، سعید؛ ساری صراف، بهروز؛ رضیئی، طیب؛ پرنده خوزانی، اکرم (۱۳۹۹). بررسی تغییرات مکانی و زمانی فصل برفی و تاریخ‌های آغاز و پایان آن در منطقهٔ کوهستانی زاگرس. *نشریهٔ علمی – پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۲ (۱)، ۸۶-۱۰۶.

خسروی، محمود؛ طاوسی، تقی؛ رئیس‌پور، کوهزاد و امیدی قلعه‌محمدی، محبوبه (۱۳۹۶). بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش‌ازدور. *هیدروژئومورفولوژی*، ۳ (۱۲)، ۲۵-۴۴.

سلیمانی، کریم؛ درویشی، شادمان؛ شکریان، فاطمه و رشیدپور، مصطفی (۱۳۹۷). پایش تغییرات زمانی – مکانی پوشش برف با استفاده از تصاویر MODIS (مطالعهٔ موردی: استان کردستان). *سنجش‌ازدور و GIS ایران*، ۱۰ (۳)، ۷۷-۱۰۴.

عزیزی، قاسم؛ رحیمی، مجتبی؛ محمدی، حسین؛ خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۹۵). تغییرات مکانی - زمانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۹ (۳)، ۳۸۱-۳۹۴.

فتاحی، ابراهیم؛ مقیمی، شوکت (۱۳۹۸). اثر تغییرات اقلیمی بر روند برف شمال‌غرب ایران. *نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۴)، ۴۷-۶۳.

کریمی، نعمت‌اله (۱۳۹۳)، *تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر روی یخچال‌ها با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور*. رسالهٔ دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

نجفی دستنایی، زهرا (۱۳۹۴). *پایش سطح پوشش برف در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مورد پژوهش: سراب حوضهٔ زاینده‌رود)*. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

References

Azizi, Gh, 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*(3), 381-393. (In Persian)

Barnett, T. P., Adam, J. C. & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential Impacts of a Warming Climate on Water Availability in Snow-Dominated Regions. *Nature, 438*, 303-309.

Beniston, M. & Stoffel, M. (2016). Rain-on-Snow Events, Floods and Climate Change in the Alps: Events May Increase with Warming up to 4_C and Decrease Thereafter, *Science of the Total Environment, 571*, 228-236.

Bokhorst, S., Pedersen, S. H., Brucker, L., Anisimov, O., Bjerke, J. W., Brown, R. D. & Callaghan, T. V. (2016). Changing Arctic Snow Cover: A Review of Recent Developments and Assessment of Future Needs for Observations, Modelling, and Impacts. *Ambio., 45*, 516-537.

Clarke, G. K. C., Jarosch, A. H. Anslow, F. S., Radic, V. & Menounos, B. (2015). Projected Deglaciation of Western Canada in the Twenty-First Century. *Nature Geoscience 8*, 372-377.

www.SID.ir

Archive of SID

Cohen, S., Koshida, G. & Mortsch, L. (2015). Climate and Water Availability Indicators in Canada: Challenges and a Way Forward. Part III–Future Scenarios, *Canadian Water Resources Journal, 40* (2), 160-172.

Crawford, C. J. (2015). MODIS Terra Collection 6 Fractional Snow Cover Validation in Mountainous Terrain during Spring Snowmelt Using Landsat TM and ETM^{+}, *Hydrological Processes, 29* (1), 128-138.

Fattahi, E. & Moghimi, Sh. (2019). Investigation of Snow Cover Changes Affected by Climate Change in North West of Iran, *Scientific Journals Management System*, *19*(54), 47-63. (In Persian)

Immerzeel, W. W., Droogers, P., De Jong, S. M. & Bierkens, M. P. (2009*).* Large-Scale Monitoring of Snow Cover and Runoff Simulation in Himalayan River Basins Using Remote Sensing, *Remote Sensing of Environment, 113*, 40-49.

Immerzeel, W. W., Van Beek, L. H. & Bierkens, F. P. (2010). Climate Change will affect the Asian Water Towers. *Sciences, 328*, 1382-1385.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge: Cambridge University Press.

Jahanbakhsh Asl, S., Sari Sarraf, B., Raziei, T. & Parandeh khouzani, A. (2020). An Investigation on the Spatio-Temporal Variability of Snow Season and its Start and End Dates in the Mountainous Region of Zagros. *Watershed Engineering and Management, 12* (1), 86-106. (In Persian)

Jeelani, G., Feddema, J. J. van der Veen, C. J. & Stearns, L. (2012). Role of Snow and Glacier Melt in Controlling River Hydrology in Liddar Watershed (Western Himalaya) Under Current and Future Climate, *Water Resources Research, 48*: W12508.

Karimi, N. (2014). *Analysis of Climate Change Impact on Glacier by Using Remote Sensing Data (Case Study: Alamkouh Glacier),* Ph.D. Thesis, Department of Physical Geography, Faculty of Humanities, Tarbiat Modarres University. (In Persian)

Khosravi, M., Tavousi, T., Raeespour, K. & Omidi Ghaleh mohammadi, M. (2017). A Survey on Snow Cover Variation in Mount Zardkooh-Bakhtyare Using Remote Sensing (R.S), *Hydrogeomorphology, 3*(12), 25-44. (In Persian)

Knowles, N., Dettinger, M. & Cayan, D. R. (2006). Trends in Snowfall versus Rainfall in the Western United States. *Journal of Climate, 19* (18), 4545-4559.

Kulkarni, A. V., Rathore, B. P., Singh, S. K. & Bahuguna, I. M. (2011). Understanding Changes in the Himalayan Cryosphere Using Remote Sensing Techniques. *Int. Journal Remote Sensing, 32* (3), 601-615.

Malmros, J., K., Mernild, S. H., Wilson, R., Tagesson, T., Brahmbhatt, R. & Fensholt, R. (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*, 240-252.

Manning, J. A. & Garton, E. O. (2012). Reconstructing Historical Snow Depth Surfaces to Evaluate Changes in Critical Demographic Rates and Habitat Components of Snow-Dependent and Snow-Restricted Species. *Methods in Ecology and Evolution, 3* (1), 71-80.

Mityok, Z., K., Bolton, D. K., Coops, N. C., Berman, E. E. & Senger, S. (2018). Snow Cover Mapped Daily at 30 Meters Resolution Using a Fusion of Multi-Temporal MODIS NDSI Data and Landsat Surface Reflectance, *Canadian Journal of Remote Sensing, 44*, 1-22.

Moore, T. T. (2011). Climate Change and Animal Migration. *Environmental Law, 41*, 393-405.

Najafi Dastenai, Z. (2015). *Snow Cover Monitoring In a changing Climate Using Remote Sensing (Case Study: Zayandeh Rud Basin)*, M.Sc. thesis, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. (In Persian)

Nolin, A. W. (2011). Recent Advances in Remote Sensing of Seasonal Snow. *Journal of*

www.SID.ir

Archive of SID

Glaciology, 56, 1141-1150.

Pant, N. K., Rawat, J. & Rani, N. (2014). Study of Snow Cover Dynamics of Pinder Watershed in Central Himalaya Using Remote Sensing and GIS Techniques, *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering, 3* (1), 122-128.

Rathore, B. P., Singh, S. K., Jani, P., Bahuguna, I. M., Brahmbhatt, R., Rajawat, A. S., Randhawa, S. S. & Vyas, A. (2018). Monitoring of Snow Cover Variability in Chenab Basin Using IRS Awifs Sensor, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46* (9), 1497-1506.

Salomonson, V., V. & Appel, I. (2004). Estimating Fractional Snow Cover from MODIS Using the Normalized Difference Snow Index, *Remote Sensing of Environment, 89* (3), 351-360.

Selkowitz, D. & Forster, R. (2015). An Automated Approach for Mapping Persistent Ice and Snow Cover over High Latitude Regions, *Remote Sensing, 8* (1), 16-31.

Shuai, Y., Masek, J. G., Gao, F. & Schaaf, C. B. (2011). An Algorithm for the Retrieval of 30m Snow-Free Albedo from Landsat Surface Reflectance and MODIS BRDF. *Remote Sensing of Environment, 115* (9), 2204-2216.

Singh, D. K., Gusain, H. S., Mishra, V. & Gupta, N. (2018). Snow Cover Variability in North-West Himalaya during Last Decade. *Arabian Journal of Geosciences, 11*, 579, 1-12.

Solaymani, K., Darvishi, Sh., Shakaryan, F. & Rashidpour, M. (2019). Monitoring Temporal-Spatial Changes of Snow Cover using MODIS Images (Case Study: Kurdistan Province), *Remote Sensing and GIS of Iran*, *10*(3), 77-104. (In Persian)

Tahir, A. A., Chevallier, P., Arnaud, Y., Ashraf, M. & 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.

www.SID.ir