

Urban Ecological Research

Vol. 15(3), (Series 37): 1-22

 DOI:10.30473/grup.2023.66285.2749

ORIGINAL ARTICLE

Monitoring and Evaluation of Snow Cover Changes Trend in the Cities of Golestan, Mazandaran and Gilan Provinces

Ata Ghafari Gilandeh^{1*}, Vahid Safarian Zengir²

1. Professor, Department of Geography and Urban Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Ph.D. Department of physical Geography, Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Correspondence

Ata Ghafari Gilandeh1

Email:

A_ghafarigilandeh@uma.ac.ir

Received: 06/Dec/2022

Revise Date:08/Feb/2023

Accepted: 05/April/2023

How to cite

Ghafari Gilandeh, A., & Safarian Zengir, Z. (2025). Monitoring and Evaluation of Snow Cover Changes Trend in the Cities of Golestan, Mazandaran and Gilan Provinces. *Urban Ecological Research*, 15(4), 1-22.

ABSTRACT

In the current research, based on the data of the satellite images of the MODIS sensor, located on the Terra and Aqua satellites and the GRACE gravimetric satellite, with the innovative approach of algorithm and coding in the web system of Google Earth Engine in the cities of the provinces (Golestan, Mazandaran and Gilan) and within the interval of years 2001 to 2022; Estimation and analysis of changes trend in snow surface area, snow depth, snow equivalent water and groundwater aquifer changes in the studied area were done. According to the obtained results, the highest surface area of snowfall with a value of 9496.01 Km² occurred in 2005 and the lowest with a value of 2906.21 Km² in 2010, while the maximum amount of snow depth with a value of 0.07 meters in 2008 and the highest water equivalent of snow was obtained with a value of 10 kg/m² in 2008, and this shows the high correlation between snow depth and water equivalent of snow. The results of the investigation of the groundwater aquifer based on the three CSR, GFZ and JPL models in the studied years showed that the maximum volume of the groundwater aquifer with a value of 12.5 cm was in 2005 and the lowest with a value of -27.5 cm is in 2017. The findings of the research show the decreasing trend of the groundwater aquifer in 2017 with the value of -12.5 cm in connection with the decreasing trend of snow cover in 2017 with the amount of snow cover of 5432.56 Km² in the study area. Based on the results obtained from the present research, it can be concluded that the process of snow cover changes had an effect on the volume of the groundwater aquifer in the studied area.

KEYWORDS

Snow Estimation, NDSI Index, GRACE Index, Modis Sensor, Caspian Coast Provinces.



© 2024, by the author (s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.

This is an open access article under the CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://grup.journals.pnu.ac.ir/>

«مقاله پژوهشی»

پایش و ارزیابی روند تغییرات پوشش برف در شهرستان‌های استان گلستان، مازندران و گیلان

عطا غفاری گیلانده^{۱*}، وحید صفریان زنگیر^۲

چکیده

در پژوهش حاضر بر پایه داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، مستقر روی ماهواره‌های Terra و Aqua و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE با رویکرد نوآورانه الگوریتم و کدنویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین در شهرستان‌های استان‌های (گلستان، مازندران و گیلان) و در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲، به برآورد و تحلیل روند تغییرات مساحت سطحی برف، عمق برف، آب معادل برف و تغییرات سفره آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه پرداخته شد. براساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین مساحت سطحی بارش برف با مقدار ۹۴۹۶/۰۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۵ و کم‌ترین آن با مقدار ۲۹۰۶/۲۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است، این درحالی است که بیش‌ترین مقدار عمق برف با مقدار ۰/۰۷ متر در سال ۲۰۰۸ و بیش‌ترین آب معادل برف با مقدار ۱۰ کیلوگرم بر متر مربع در سال ۲۰۰۸ به‌دست آمد که مبین همبستگی بالای عمق برف با آب معادل از برف است. نتایج بررسی سفره آب‌های زیرزمینی براساس سه مدل JPL و GFZ، CSR، نشان داد که بیش‌ترین حجم سطح سفره آب‌های زیرزمینی با مقدار ۱۲/۵ سانتی‌متر، در سال ۲۰۰۵ و کم‌ترین آن با مقدار ۲۷/۵- سانتی‌متر، در سال ۲۰۱۷ قرار دارد. یافته‌های تحقیق، نشان‌دهنده مقدار کاهشی روند سفره آب‌های زیرزمینی در سال ۲۰۱۷ با مقدار ۱۲/۵- سانتی‌گراد در ارتباط با مقدار روند کاهشی پوشش برف در سال ۲۰۱۷ با میزان پوشش برفی ۵۴۳۲/۵۶ کیلومتر مربع در منطقه مورد مطالعه است. براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات پوشش برف بر مقدار حجم سفره آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تأثیر داشته است.

واژه‌های کلیدی

برآورد برف، شاخص NDSI، شاخص کریس، سنجنده مودیس، استان‌های ساحل خیزی.

۱. استاد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
 ۲. دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

نویسنده مسئول: غفاری گیلانده
 رایانامه:

A_ghafarigilandeh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

استناد به این مقاله:

غفاری گیلانده، عطا و صفریان زنگیر، وحید. (۱۴۰۳). پایش و ارزیابی روند تغییرات پوشش برف در شهرستان‌های استان گلستان، مازندران و گیلان. فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۱۵(۴)، ۱۲-۲۲.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. © ۱۴۰۳. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

This is an open access article under the CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://grup.journals.pnu.ac.ir/>



مقدمه

عوامل و عناصر اقلیمی می‌تواند در بخش‌های مختلف زندگی بشری اثرات مثبت و منفی فراوانی را در پی داشته باشد. یکی از این عناصر اقلیمی بارش برف می‌باشد. برف یکی از منابع اساسی فراهم کننده آب شیرین و یکی از اجزاء مهم چرخه آب‌شناختی به شمار می‌رود (Takeli, 2012).

در بسیاری از حوضه‌های کوهستانی دنیا، برف یکی از مؤلفه‌های چرخه آب محسوب می‌شود (عباسی‌جنداتی و فتح‌زاده، ۱۳۹۳). یکی از مهم‌ترین منابع آبی در مناطق کوهستانی ذخیره برف می‌باشد که می‌تواند در بیش‌تر مواقع سال آب موردنیاز برای مصارف کشاورزی، شرب، زیست‌محیطی را فراهم کند (حقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). آب نتیجه از ذوب برف نقش عمده‌ای در تأمین آب موردنیاز برای فعالیت‌های کشاورزی، منابع طبیعی، صنعتی و نیازهای انسانی، به ویژه در مناطق کوهستانی دارد (انتظامی و همکاران، ۱۳۹۶).

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تغییر پوشش و ذوب برف در مدیریت منابع آب رودخانه‌هایی که با ذوب برف تغذیه می‌شوند، بسیار با اهمیت است. چنین تغییراتی تأثیر مستقیم بر رژیم هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب دارد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۷). برف یکی از منابع بزرگ آب در بیش‌تر نقاط دنیا می‌باشد و تخمین رواناب ناشی از ذوب آن یکی از مهم‌ترین فعالیت هیدرولوژیست‌ها به حساب می‌آید (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۵). ایران به‌عنوان کشوری با اقلیم نیمه‌خشک و خشک شناخته می‌شود که مشکل کم آبی همواره یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی و انسانی آن بوده است. لذا بارش برف و پوشش آن، بهترین عامل در میزان تأمین آب در فصول گرم سال محسوب می‌شود (روستایی و همکاران، ۱۳۹۵). اطلاعات از پوشش برف به‌عنوان یکی از منابع تأمین آب‌های زیرزمینی، شرب و کشاورزی برای مدیریت بهینه منابع آبی اهمیت به‌سزایی دارد. ازجمله منابع اطلاعاتی مهم برای شناسایی سطح برف، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS است که محصول سطح برف به‌صورت منظم از آن‌ها تولید می‌گردد (تصدیقیان و رحیم‌زادگان، ۱۳۹۶).

بارش برف به‌خصوص در شهرستان‌های شمالی کشور (استان‌های گلستان، مازندران و گیلان) همواره با مشکلاتی فراوانی برای ساکنان این مناطق همراه بوده است. این پدیده متأثر از شرایط جوی خاصی است که بعضی سال‌ها در صورت بارش سنگین و همراه بودن با کولاک و دمای حدی منفی و

ایجاد سیلاب سنگین بعد از ذوب شدن خسارات جبران‌ناپذیری را وارد نموده و باعث بروز مشکلاتی می‌شود. بنابراین توجه به این موضوع مساحت، عمق بارش برف و آب نتیجه از آن (سطحی و سفره آب زیرزمینی) باید توجه اساسی داشته باشیم. برای این کار از روش جدید و نوآورانه نسبت به پژوهش‌های قبلی از روش الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل‌ارث انجین^۱ استفاده شد. با توجه به موارد مطرح شده، در مناطقی که تنش آبی و نیاز آبی به محصولات کشاورزی زیاد است، توجه به مساحت و عمق برف و اینکه روند تغییرات بارشی و اثرات آن بر حجم سفره آب‌های زیرزمینی مهم و ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی و تحلیل روند تغییرات بارش برف در شهرستان‌های استان‌های گلستان، مازندران و گیلان می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده پژوهش حاضر می‌کوشد تا به بررسی و تحلیل اثرات مساحت و عمق برف بر تغییرات حجم سفره آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بپردازد که روند تغییرات پوشش برف در سال‌های مورد پژوهش در منطقه مورد مطالعه چگونه بوده و اینکه آیا این روند تغییرات بر حجم سفره آب‌های زیرزمینی تأثیری داشته است؟

مبانی نظری**چارچوب نظری**

بارش‌های رعد و برقی نوعی از رگبارهای غیر پایدار هستند که با یک حالت غیرعادی فوق‌العاده قوی، از جابجایی اتمسفر ایجاد می‌شوند و از پدیده‌های مهم آب‌وهوایی در شمال غرب کشور محسوب می‌شوند (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸). تاکنون مدل‌های مختلفی برای تعیین و برآورد ذوب برف ارائه شده است. به‌طور کلی مدل‌ها، روابط ساده شده‌ای از کل سیستم می‌باشند که بیان‌گر واقعیت‌های موجود در آن سیستم هستند، استفاده از مدل‌های مختلف، زمینه را برای تعمیم اطلاعات و پیش‌بینی آینده فراهم می‌کند و به‌طور کلی هدف نهایی استفاده از مدل‌ها، تصمیم‌گیری صحیح و دقیق راجع به مسائل هیدرولوژی است (Beven, 2012). شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف در عرصه‌های مختلفی کاربرد داشته که ازجمله آن‌ها تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، کنترل و هشدار سیل، تفرجگاه، مدیریت مخازن تولید برق و غیره را می‌توان نام برد (Birodian & Jandaghi, 2006). ریزش‌های جوی به‌صورت برف در تأمین آب‌های

به‌خصوص چشمه‌ها شده که این امر می‌تواند موجب رونق اقتصادی گردد (فتح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

پیشینه تحقیق

میرموسوی و صبوری (۱۳۹۳)، به مطالعه روند تغییرات بارش برف در شمال غرب پرداختند. نتایج به‌دست آمده در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، اهر، خلخال، پیرانشهر و ماکو نشان می‌دهد که ضمن افزایش میانگین دمای سالانه، میزان بارش برف از روند نزولی معنادار برخوردار می‌باشد. این موضوع می‌تواند نشان دهنده اثرات منفی گرمایش تدریجی در منطقه شمال غرب ایران بر روی تغییر رژیم بارش از برف به باران و کاهش شدید منابع آب وابسته به ذوب تدریجی برف باشد.

عباس‌جندانی و فتح‌زاده (۱۳۹۳)، به بررسی و ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد آب معادل برف با استفاده از داده‌های چهارده ایستگاه برف‌سنجی غرب استان اصفهان پرداختند، نتایج به‌دست آمده نشان دهنده میزان آب معادل برف از سمت جنوب و غرب حوضه به سمت شمال و شرق است.

جهانبخش‌اصل و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در حوضه شهرچای با استفاده از مدل SRM پرداختند طبق نتایج به‌دست آمده سهم جریان رودخانه از ذوب برف در ماه‌های فروردین و اردیبهشت چشمگیر است.

خوشخو (۱۳۹۵)، به بررسی و شبیه‌سازی عمق برف با استفاده از مدل برف تک لایه در ایستگاه سقز پرداخت. طبق نتایج به‌دست آمده در بیش‌تر موارد، مدل سنجی شده SLSM کارایی قابل‌قبولی در دنبال کردن روند تغییرات داده‌های مشاهداتی عمق برف دارد. اما مقادیر بالای عمق برف را تا حدود کم‌تر از میزان واقعی برآورد می‌کند.

خسروی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور پرداختند، نتایج به‌دست آمده نشان داد که سطوح پوشش برف، در ارتفاعات زردکوه بختیاری طی دوره آماري ۲۰۱۱ نسبت به ۱۹۹۱، روند کاهشی داشته است.

درگاهیان و علیجانی (۱۳۹۵)، به بررسی اثر بلاکینگ بر رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران پرداختند. طبق بررسی مذکور، تشکیل بلاکینگ‌های با استمرار بیش از ۴ روز در رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران نقش دارند.

زیرزمینی نسبت به سایر ریزش‌های اقلیمی دارای اهمیت زیادی می‌باشد (صفریان‌زنگیر و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین برف شکلی از بارش است که به دلیل تأخیر زمانی بین زمان وقوع آن و زمان تولید رواناب و تغذیه سفره آب زیرزمینی، رفتار متفاوتی با دیگر شکل‌های بارش دارد (Jain & et al, 2008). علاوه براین با عنایت به درصد بالای میزان آلودگی برف نقش مهمی در بیلان تابشی زمین بر عهده دارد (Liu & Smedt, 2004). پوشش برف یک پدیده مهم در هیدرولوژی است، از این‌رو مدل‌سازی انباشت و ذوب برف در مکان‌هایی که در آن ذوب برف نقش قابل توجهی در جریان رواناب و تعادل آب دارد، اهمیت دارد (شنسوی و اویسال، ۲۰۱۲).

بارش برف می‌تواند تفاوت‌هایی را در ساختار و شرایط کلیما‌تولوژی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی حوزه‌های آبخیز ایجاد کند که ازجمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بیش‌تر حوضه‌های آبخیز ایران مقدار بارش خود را در فصل سرد و یا غیر فصل رشد دریافت می‌کنند که نتیجه آن عدم تطابق فصل بارش و رویش است. لذا لزوم ذخیره بارش برای فصل رشد در ایران همیشه وجود دارد؛ بنابراین اطلاع از مقدار برف در حوضه‌ها می‌تواند برنامه‌ریزان امور آب کشاورزی را در جهت میزان تأمین جریان آب‌پایه در رودخانه‌ها کمک نماید. همین امر در مورد حوضه‌هایی که عمدتاً آب شرب ساکنین خود را تأمین می‌کنند نیز صادق است (فتح‌زاده و زارع‌بیدکی، ۱۳۹۱).

ذوب برف بستگی زیادی به خصوصیات برف هنگام ریزش، شرایط آب و هوایی به خصوص دمای هوا و بارش‌های گرم و همچنین شرایط جغرافیایی حوزه دارد (Wang & et al, 1996). شبیه‌سازی ذوب برف برای دوره‌های زمانی مشخص در مناطق با درجه حرارت کم‌تر از دمای آستانه ذوب، به این دلیل که بخش زیادی از بارش شکل برف بوده و نقش مؤثر جریان آب ناشی از ذوب برف در ایجاد رواناب اهمیت دارد (Zeinivand & Smedt, 2010). بارش برف با توجه به تداوم ماندگاری آن در سطح حوضه‌ها می‌تواند میزان ذخیره جریان پایه رودخانه‌ها را در طول سال تضمین نماید. بارش برف نسبت به باران، به پدیده نفوذ در حوضه‌ها کمک بیشتری نموده و باعث تقویت و تغذیه آب‌های زیرزمینی

مرینو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی کاهش در بارش برف در شبه جزیره ایبری پرداختند. نتایج به‌دست آمده روند منفی در تعداد روزهای برفی در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان داد.

ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی عوامل کنترل‌کننده اقلیم زمستان و کاهش بارش برف در فنلاند در سه ایستگاه جنوب، مرکز و شمال فنلاند پرداختند و طبق نتایج به‌دست آمده ریزش بارش زمستان فنلاند در ارتباط با شاخص‌های اطللس شرقی-روسیه غربی، نوسان قطبی و آرام غربی می‌باشد و همچنین کاهش ریزش‌های جوی فنلاند مرتبط با افزایش ۴ درجه دما در طی این قرن بوده است.

آتیف^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی روند تغییرات گستره پوشش برف در بالادست حوضه ایندوس برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روند معنادار در تغییرات گستره پوشش برف دیده نمی‌شود.

داریان^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی منطقه کوهستانی البرز مرکزی در شمال ایران پرداختند. طبق بررسی‌های مذکور، میزان سطح برف منطقه کوهستانی البرز مرکزی در یک دوره کوتاه مدت ۱۳ سال، کاهش شدیدی داشته است.

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ماهواره TERRA و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE نوسان و تغییرات مساحت پوشش سطحی برف، عمق برف، آب معادل برف و تغییرات سفره آب‌های زیرزمینی مرتبط با آن در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در استان‌های ساحلی خزری (گلستان، مازندران و گیلان) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه مرور مطالعات انجام شده تا زمان انجام پژوهش حاضر، پژوهش‌های گذشته بیش‌تر از یک روش و مدل به بررسی برف در حوضه آبریز یا یک پهنه منطقه‌ای با روش سنتی و دستی اقدام به استخراج و محاسبه شاخص‌ها و دریافت تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی محدود چند ساله کرده‌اند. پژوهش حاضر در مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام شده از روش جدید الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین در بازه زمانی ۲۲ ساله انجام شد.

فنگ و هو^۳ (۲۰۰۷)، به بررسی تغییرات بارش برف در فصل زمستان در ایالات متحده آمریکا پرداختند. طبق بررسی‌های مذکور، بارش برف در شمال غرب آمریکا نسبتاً کم‌تر شده و در مقابل، بارش باران جایگزین آن شده است.

چانگون^۴ و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی کولاک برف در دره رودخانه اوهایو پرداختند. طبق یافته‌های آنها علت ایجاد این پدیده، شیو فشاری شدید بین جبهه سرد کانادا و توده گرم و مرطوب واقع در جنوب منطقه است.

هوسوس^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی شرایط هم‌دید تشکیل بارش‌های شدید در یونان پرداختند. نتایج به‌دست آمده، ۹ الگوی گردشی مختلف را نشان داد که موقعیت و شدت سامانه‌های هم‌دید جو بالا بیش‌ترین تأثیر را در وقوع آن داشتند.

آکیورک^۶ و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی پهنه زیر برف در حوضه کاراسو در شرق کشور ترکیه در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ پرداختند. طبق نتایج به‌دست آمده در دوره زمانی یاد شده روند کاهشی در گستره برفی این پهنه دیده نمی‌شود.

برون و رایینسون^۷ (۲۰۱۱)، به بررسی روند پوشش‌های برفی در نیمکره شمالی را طی ماه‌های مارس و آوریل برای بازه زمانی ۱۹۲۲ تا ۲۰۱۰ پرداختند. طبق بررسی مذکور، طی این بازه زمانی، پهنه‌های برفی روند کاهشی چشمگیری داشته است و طی ۴۰ سال گذشته این شیب کاهشی، روند شتابان به خود گرفته است.

برون و درکسن^۸ (۲۰۱۳)، به بررسی و واکاوی روند پوشش برف در منطقه اوراسیا در ماه اکتبر برای سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ پرداختند نتایج به‌دست آمده نشان داد که گستره برف با آهنگ ۵۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع در هر دهه رو به افزایش است.

تانگ^۹ و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی روند شمار روزهای برفپوشان در فلات تبت پرداختند. طبق نتایج به‌دست آمده نزدیک به ۳۴ درصد از منطقه مورد مطالعه، طی این مدت دارای روند کاهشی بوده است اما تنها ۵/۵ درصد از یافته‌ها دارای روند کاهشی معنادار بودند.

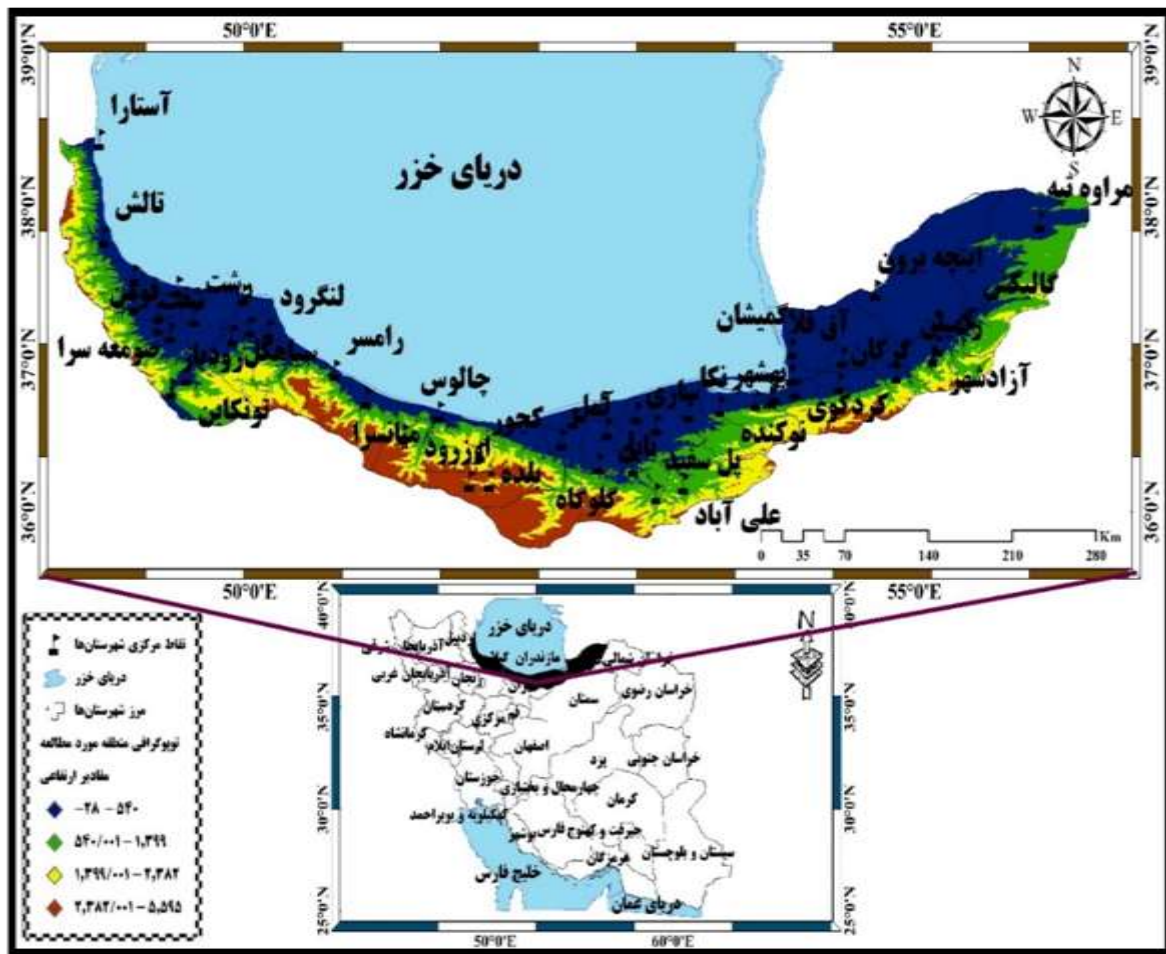
3. Feng & Hu
4. Changvon
5. Hossos
6. Akyurek
7. Brown & Robinson
8. Brown & Derksen
9. Tang

10. Merino
11. Atif
12. Dariane

روش انجام پژوهش

مطالعه حاضر با بهره‌گیری از روش جدید الگوریتم و کد نویسی با هدف بررسی و برآورد روند تغییرات پوشش برفی و اثرات آن در سفره آب‌های زیرزمینی انجام شد. داده‌های مورد استفاده پژوهش، شامل داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ماهواره TERRA و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE در برش شهرستان‌های ساحلی دریای خزر (گلستان، مازندران و گیلان) می‌باشد (شکل ۱). محدوده

زمانی تصاویر انتخابی، در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ قرار دارد. در انتخاب تصاویر نکاتی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که هر سال یک تصویر میانگین سه ماه (ژانویه، فوریه و مارس) فصل زمستان انتخاب گردید. این بازه زمانی برای این در نظر گرفته شد که در آن امکان ریزش برف وجود دارد و پس از این تاریخ نیز تقریباً تمامی سطوح با پوشش برفی به دلیل افزایش دما ذوب می‌شود و کار پایش بی‌ثمر خواهد بود.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و موقعیت آن در ظرف فضایی کشور

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش برفی (NDSI)

الگوریتم نقشه برفی MODIS از باندهای ۴ و ۶ این سنجنده به‌طور اتوماتیک برای استخراج شاخص برفی تفاضلی نرمال شده (NDSI) اجرا و بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در مرحله اول نسبت به تصحیح رادیومتریکی و تصحیح هندسی تصاویر اقدام شد. در این مطالعه سه شاخص زیر برای پایش تصاویر انتخاب و با بررسی هر کدام از آن‌ها، بهترین روش برای پایش تصاویر انتخاب شده است. این سه شاخص عبارتند از:

یک تصویر رنگی کاذب^۵ از تصویر مورد نظر تهیه می‌شود، از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص هر رنگ از ۳ رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته می‌شود. در تصویر رنگی کاذب (FCC)، رنگ قرمز به باند مادون قرمز، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده می‌شود، در نتیجه پوشش گیاهی که حدبیش‌تر بازتاب را در باند مادون قرمز دارد، به رنگ قرمز، آب به رنگ آبی و خاک لخت به رنگ‌های قهوه‌ای - خاکستری دیده می‌شود. اگر تصاویر رنگی کاذب به‌طور مناسب و صحیح تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر نتیجه ه، خوش ترکیب و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت (موسوی و صبوری، ۲۰۱۴). هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رسانیدن داده‌های کم ارزش و استفاده بیش‌تر از حد اطلاعات مفید می‌باشد.

مدل سفره آب‌های زیرزمینی^۶ GRACE

در این مطالعه، از داده ماهواره‌ای GRACE برای برآورد تغییرات ذخایر آب‌های^۷ زیرزمینی با بهره‌گیری از سه مدل مرکز CSR، GFZ، آلمان و JPL آمریکا در استان‌های ساحلی خزری (گلستان، مازندران و گیلان) در شمال ایران پرداخته شد. برای به‌دست آوردن تغییرات سطح سفره آب‌های زیرزمینی، با استفاده از مدل GRACE، سهم رطوبت خاک، آب موجود در برف و رودخانه‌ها (آب‌های سطحی) برآورد شده و از ذخایر آب مشاهدات GRACE کسر می‌گردد. تغییرات انسانی آب‌های زیرزمینی نیز با کسر تغییرات طبیعی آب‌های زیرزمینی پیش‌بینی شده توسط مدل CLM4 از سطح آب‌های زیرزمینی محاسبه می‌شود، در (شکل ۲)، مراحل تحقیق ارائه شد.

رابطه ۱.

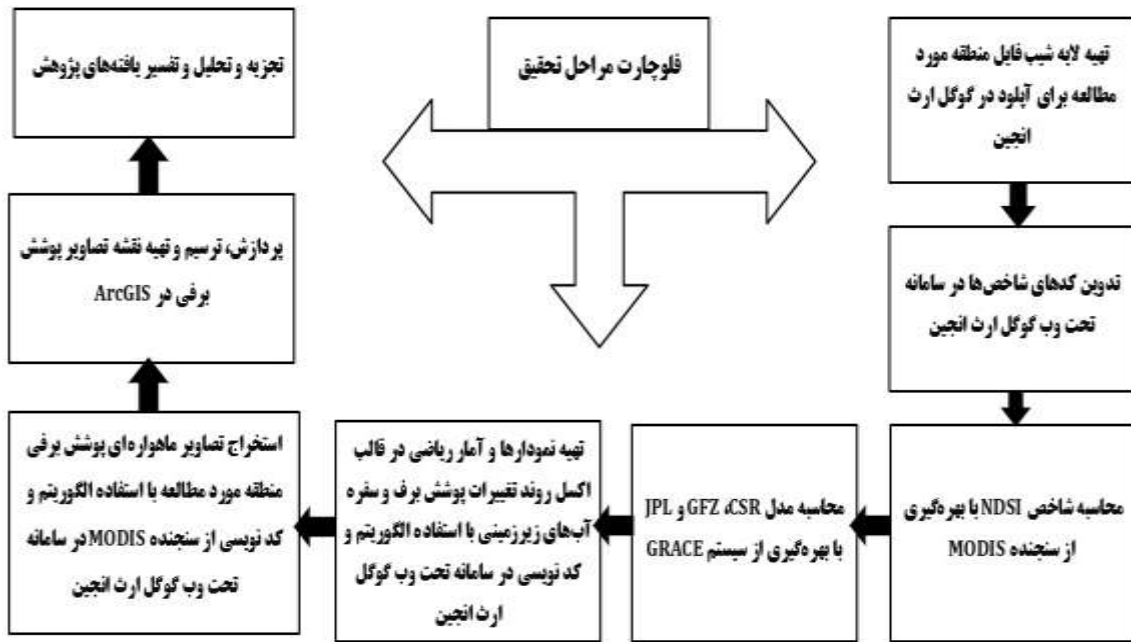
$$NDSI = \frac{MODIS_{Band4} - MODIS_{Band6}}{MODIS_{Band4} + MODIS_{Band6}} = \frac{green - SWIR}{green + SWIR}$$

در رابطه بالا: باند چهار (۰/۶۶۵ - ۰/۵۴۵ μm) دارای بازتابش برابر یا بیش‌تر از ۱۰ درصد باشد. باند شش (۰/۸۷۶ - ۰/۸۴۱ μm) دارای بازتابش بیش از ۱۱ درصد باشد. طبقه‌بندی نظارت نشده: یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در جداسازی پوشش برف از دیگر پوشش‌ها، روش طبقه‌بندی نظارت نشده است. در روش دسته‌بندی نظارت نشده هیچ نوع اطلاعات مخزنی در سیستم دسته‌بندی وارد نمی‌شود. این روش براساس تکنیک‌های آنالیز^۱ دسته‌بندی قرار دارد. اساس کار دسته‌بندی در طبقه‌بندی نظارت نشده، روش خوشه‌ای^۲ می‌باشد. در روش خوشه‌ای که با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت نشده صورت می‌گیرد، پیکسل‌ها بر اساس درجه روشنایی در خوشه‌های مشخص قرار می‌گیرند. پوشش برف نیز بر اساس روشنایی پیکسل‌ها در یک یا چند خوشه قرار می‌گیرند که درجه‌ی روشنایی پیکسل‌ها بستگی به عمق پوشش برف دارد. در فرایند طبقه‌بندی نظارت نشده، اساس کار بر مبنای طبقه‌بندی گروهی قرار دارد. در یک طبقه قرار دادن پیکسل‌ها در سنجش از دور بر اساس ویژگی‌های طیفی مشابه آن‌ها، فرایندی است که به آن خوشه‌بندی گویند. علت انتخاب این روش طبقه بندی متعدد است از آن جمله می‌توان از عدم امکان انتخاب نواحی آموزشی نام برد، بویژه مواقعی که امکان دریافت داده‌های آموزشی سخت می‌باشد. با استفاده از Maxset^۳ که یک روش خودکار است می‌توان باندهای ورودی مختلف را طبقه‌بندی کرد (موسوی و صبوری، ۱۳۹۳). هدف در این روش فقط تعداد خوشه‌ها^۴ و بیش‌ترین تعداد تکرار مورد نیاز است. این روش یک روش سریع است که برای شناسایی و طبقه بندی برف و یخ، دقت قابل ملاحظه‌ای را داراست.

طبقه‌بندی نظارت شده: در این روش ابتدا نقاط آموزشی از پوشش برف برداشته و به سیستم معرفی می‌شود. در این روش نمونه‌هایی از هر نوع پوشش موجود در تصویر برداشته می‌شود که این نمونه برداری‌ها در این پژوهش محدود به ۴ مورد: پوشش برف، آب، پوشش گیاهی و سطوح سنگی و خاکی می‌شود. برای نمونه‌برداری دقیق‌تر از این عوارض ابتدا

5. False color composite image
6. Gravity Recovery And Climate Experiment
7. TWS (Total Water Storage)

1. Elustering Analysis
2. Clustering
3. Maximum set basic probability classifier
4. Cluster

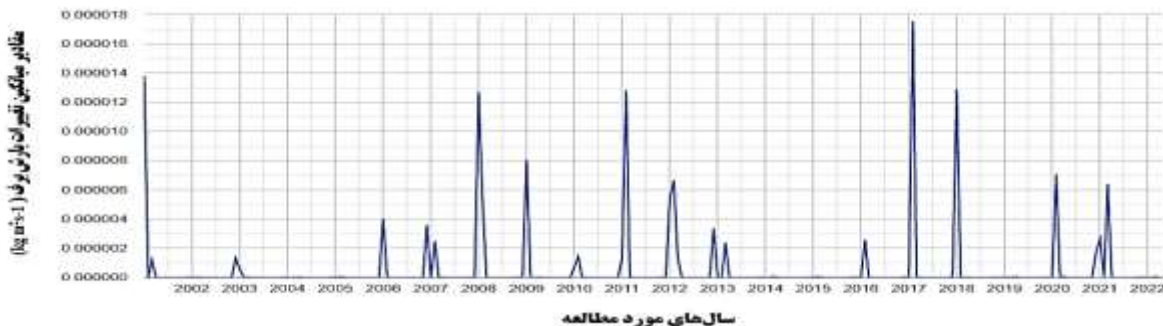


شکل ۲. مراحل تحقیق

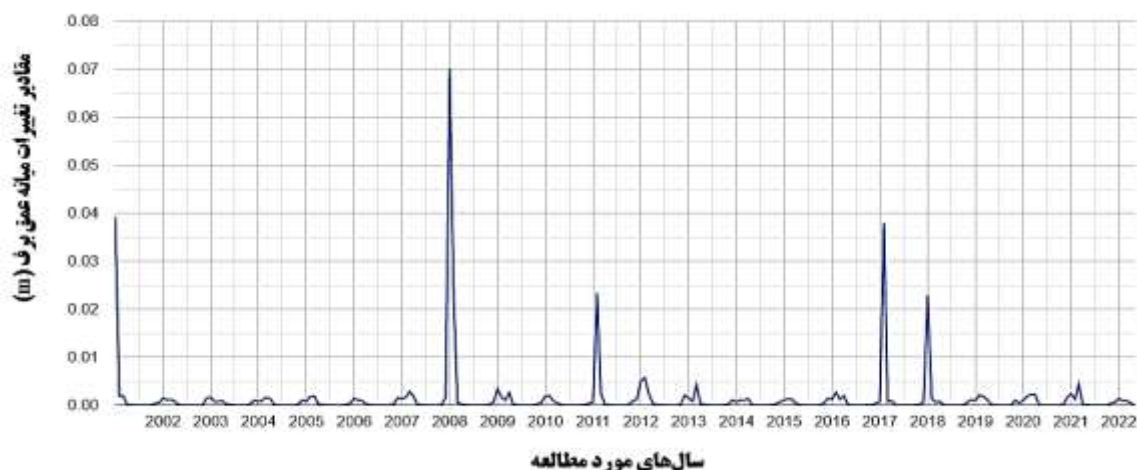
یافته‌ها

و بیش‌ترین مقدار تغییرات بارش برف مربوط به سال ۲۰۱۷ به مقدار $0.17 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$ می‌باشد (شکل ۳). میانگین تغییرات عمق برفی سه ماهه (ژانویه، فوریه و مارس) در منطقه مورد مطالعه در سری زمانی بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ دارای نوسان بوده که شدیدترین بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ بوده که در این بین، بارش برف سال ۲۰۰۸ با مقدار 0.07 متر می‌باشد (شکل ۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده از آب معادل برف که در ارتباط با عمق برف باریده شده در منطقه مورد مطالعه قرار دارد، می‌توان گفت که در سال ۲۰۰۸، مقدار مذکور معادل با ۱۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد. تغییرات آب معادل برف با تغییرات عمق برف همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. هر قدر عمق برف بیش‌تر باشد، آب معادل بارش برف نیز بیش‌تر می‌باشد (شکل ۵).

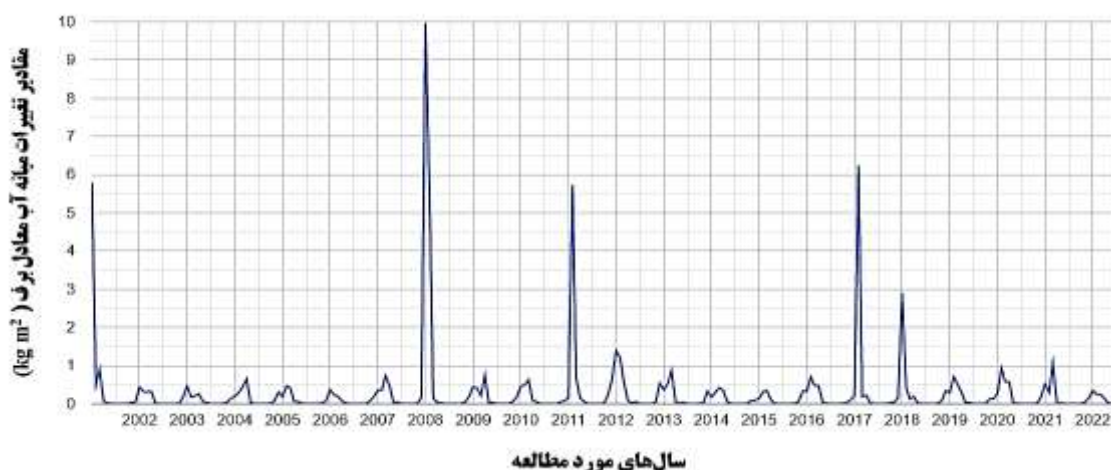
در پژوهش حاضر، استفاده کاربردی از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ماهواره TERRA و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE در ارزیابی و برآورد تغییرات مساحت سطحی برف، عمق برف، آب معادل برف و تغییرات سفره آب-های زیرزمینی مرتبط با آن که در مقیاس فضایی استان‌های ساحلی دریای خزر (گلستان، مازندران و گیلان) صورت عملیاتی به خود گرفت، با بازنمایی نموداری و گرافیک از نتایج بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مذکور همراه بود. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که نوسان شدید نسبت تغییرات بارش برفی سه ماهه (ژانویه، فوریه و مارس) در سال‌های (۲۰۰۱-۲۰۰۸-۲۰۱۱-۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) می‌باشد. در بقیه سال‌های مورد مطالعه، نوسان بارشی برف به‌صورت نوسان هم‌سطح و به یک شکل بوده است



شکل ۳. نمودار میانگین تغییرات بارش برف در استان‌های ساحلی خزری در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲



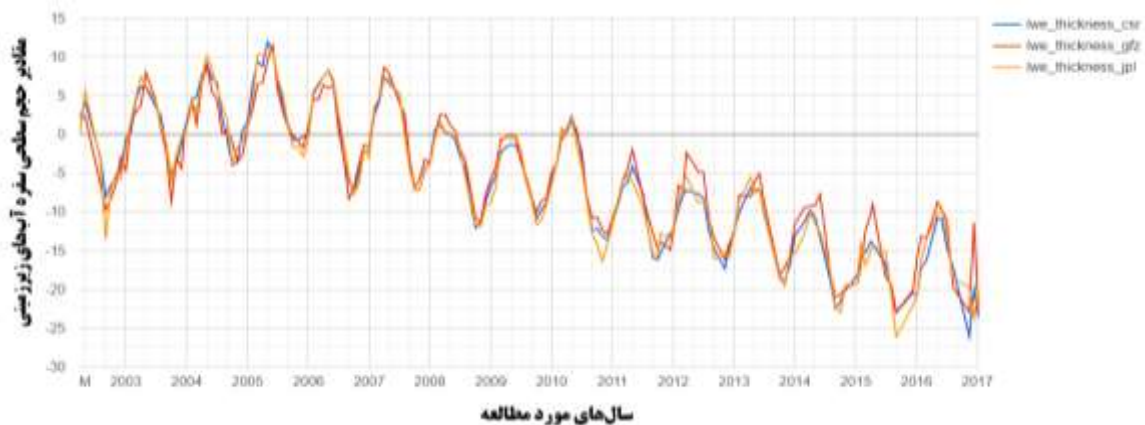
شکل ۴. نمودار تغییرات میانه عمق برف در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲



شکل ۵. نمودار تغییرات میانه آب معادل برف در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲

در برآورد سطح آب‌های زیرزمینی، در منطقه مورد مطالعه حاکی از آن می‌باشد که از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۰۸ مقادیر سفره آب‌های زیرزمینی بالای مثبت بوده و در بیش‌ترین حجم خود براساس هر سه مدل استفاده شده در سال ۲۰۰۵ به مقدار ۱۲/۵ سانتی‌متر رسیده است. در حالی که از سال ۲۰۰۹ حجم سفره آب‌های زیرزمینی با مقدار ۱۳/۵- سانتی‌متر به سمت منفی کاهش پیدا کرده است و در سال ۲۰۱۷ سفره آب‌های زیرزمینی به کم‌ترین مقدار حجم خود یعنی ۲۷/۵- سانتی‌متر رسیده است و با کاهش بارش در دهه اخیر و افزایش خشکسالی مطابقت دارد. با توجه به مدل GRACE یک روند کاهشی شدید ذخایر آب‌های زیرزمینی در استان‌های ساحل خزری به‌دست آمد. در شمال ایران برای افزایش بهره‌برداری کشاورزی در زمان خشکسالی به‌طور چشمگیری از آبیاری استفاده می‌شود، زمانی که بارش‌های جوی هم کافی نباشد باعث کاهش سفره آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودار سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل GRACE (مدل GRACE دارای سه نوع الگوریتم می‌باشد. مرکز GFZ، CSR، GFZ آلمان و JPL آمریکا؛ داده‌های این روش را به‌صورت تغییرات گرانش زمین یا سفره آب‌های زیرزمینی، مدل‌سازی می‌کند)، می‌توان گفت که در طول سال‌های مورد مطالعه مقدار سفره آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه روند کاهشی را به خود گرفته است. شایان ذکر است که مقدار کاهشی روند سفره آب‌های زیرزمینی با مقدار کاهش بارش برف در منطقه مورد مطالعه، همبستگی بالایی را در سطح ۰/۹۲ درصد نشان می‌دهد و این مقدار کاهشی از سال ۲۰۰۹ به بعد با هم تطابق و همبستگی بالایی دارد (شکل ۶). این نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات دمای در سال‌های مورد مطالعه (دوره ۲۲ ساله) در منطقه مورد مطالعه افزایشی بوده و تغییرات بارش در نوسان بوده و به غیر از ماه‌های (ژانویه، فوریه، مارس) در بیش‌تر ماه‌های سال روند کاهشی در میزان بارش برف مشاهده می‌گردد. نتایج سه مدل بررسی CSR، GFZ، JPL و



شکل ۶. نمودار سفره آب‌های زیرزمینی GRACE در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۰۲-۲۰۱۷

باشد، شرایط برای تشکیل بلورهای برف و در نهایت بارندگی به شکل برف فراهم خواهد بود. در این بخش سعی شده است تا برای قضاوت بهتر در مورد مقدار پوشش برف و میزان پایداری این پوشش مقایسه‌ای بین مساحت پوشش برف و دمای رخ داده در منطقه مورد مطالعه به‌عمل آید. به‌طور کلی مقایسه تغییرات سطوح پوشیده از برف در منطقه مورد تحقیق در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۵، دارای بیش‌ترین میزان می‌باشد (۹۴۹۶/۰۱ کیلومتر مربع) و سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ نیز دارای پوشش برف بیش‌تری نسبت به سال‌های دیگر می‌باشند. همچنین سال ۲۰۱۰ با مقدار ۲۹۰۶/۲۱ کیلومتر مربع کم‌ترین مقدار مساحتی بارشی برف را به خود اختصاص داد. این امر نشان دهنده دامنه تغییرات بالا در میزان پوشش برف منطقه مورد پژوهش و وجود سال‌های استثنایی از نظر شرایط بارش برف می‌باشد. همچنین مقایسه تغییرات پوشش برف در سال‌های مورد مطالعه حاکی از وجود توالی بارش برف به‌صورت کاهشی در چند سال و بارش برف افزایشی نسبتاً زیاد در سال بعد می‌باشد.

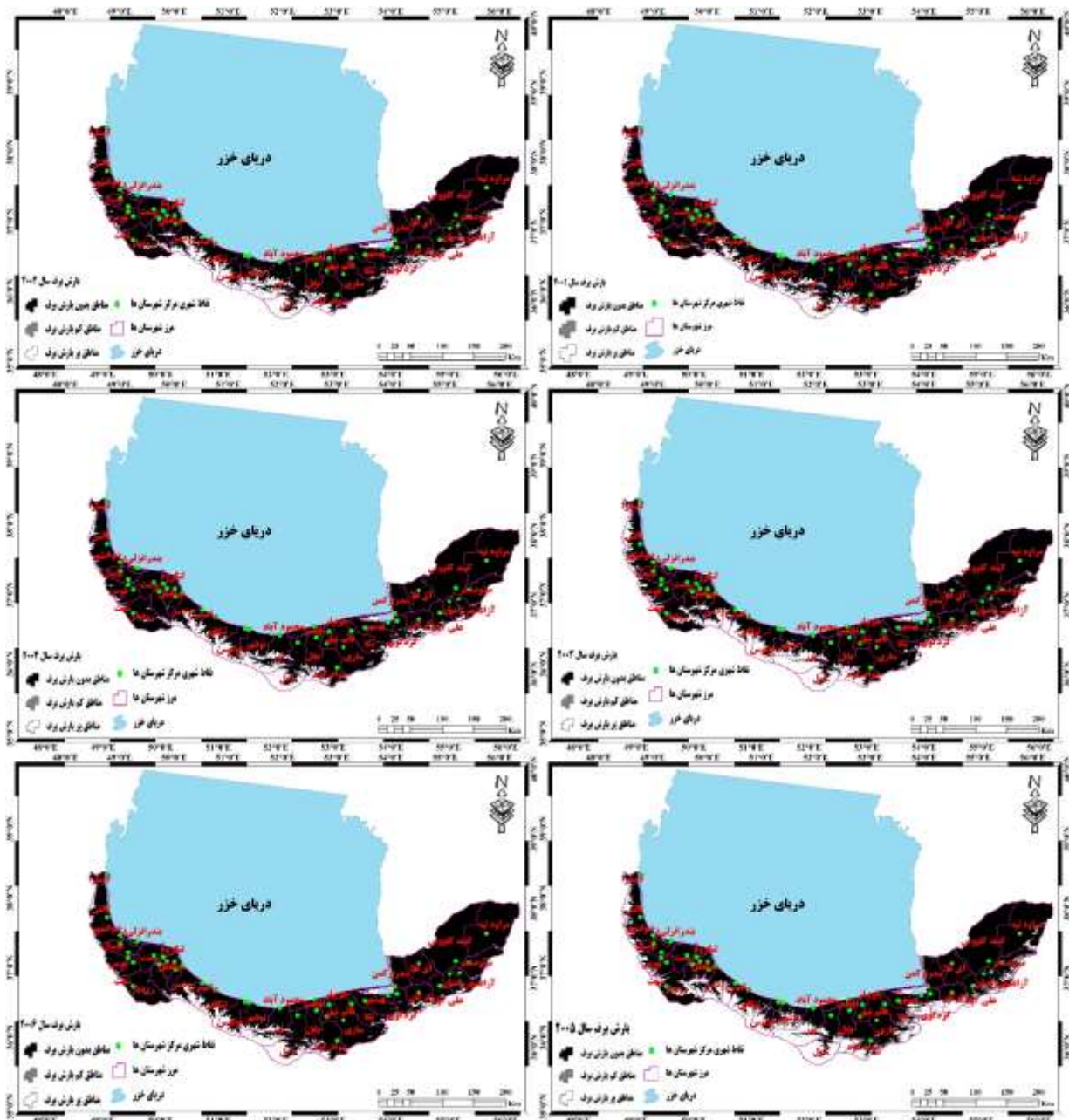
مقدار مساحت بارش برفی در طی سال‌های مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲) در منطقه مورد مطالعه، نوسان‌های بارشی را در بر گرفته است که بیش‌ترین مقدار مساحت آن در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به ترتیب با مقدار ۹۴۹۶/۰۱، ۸۴۵۵/۱۱ و ۸۰۱۰/۲۹ کیلومتر مربع و کم‌ترین مقادیر مساحت بارشی برف در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ به ترتیب با مقادیر ۳۵۰۱/۸۴، ۲۹۰۶/۲۱ و ۳۳۹۰/۵۱ کیلومتر مربع را شامل شد (جدول ۱). با توجه به اهمیت سطح پوشش برف به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در شبیه‌سازی رواناب و تعامل عناصر اقلیمی در شرایط سطح زمین می‌توان گفت که در شرایط تغییر اقلیم و در صورت تغییر در درجه حرارت و افزایش آن؛ سطح پوشش برف از آن متاثر شده و کاهش می‌یابد. با توجه به یافته‌ها این روند پوشش برفی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت گرافیکی در (شکل ۷) و مساحت در دید بصری در نمودارهای موجود در (شکل ۸) ارائه شد. از آنجا که دمای هوا موثرترین عامل در پایداری پوشش برف در مناطق کوهستانی می‌باشد و هر چه دمای هوای کم‌تر

جدول ۱. مقدار مساحت بارش برف طی سال‌های مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲) در استان‌های ساحل خزری

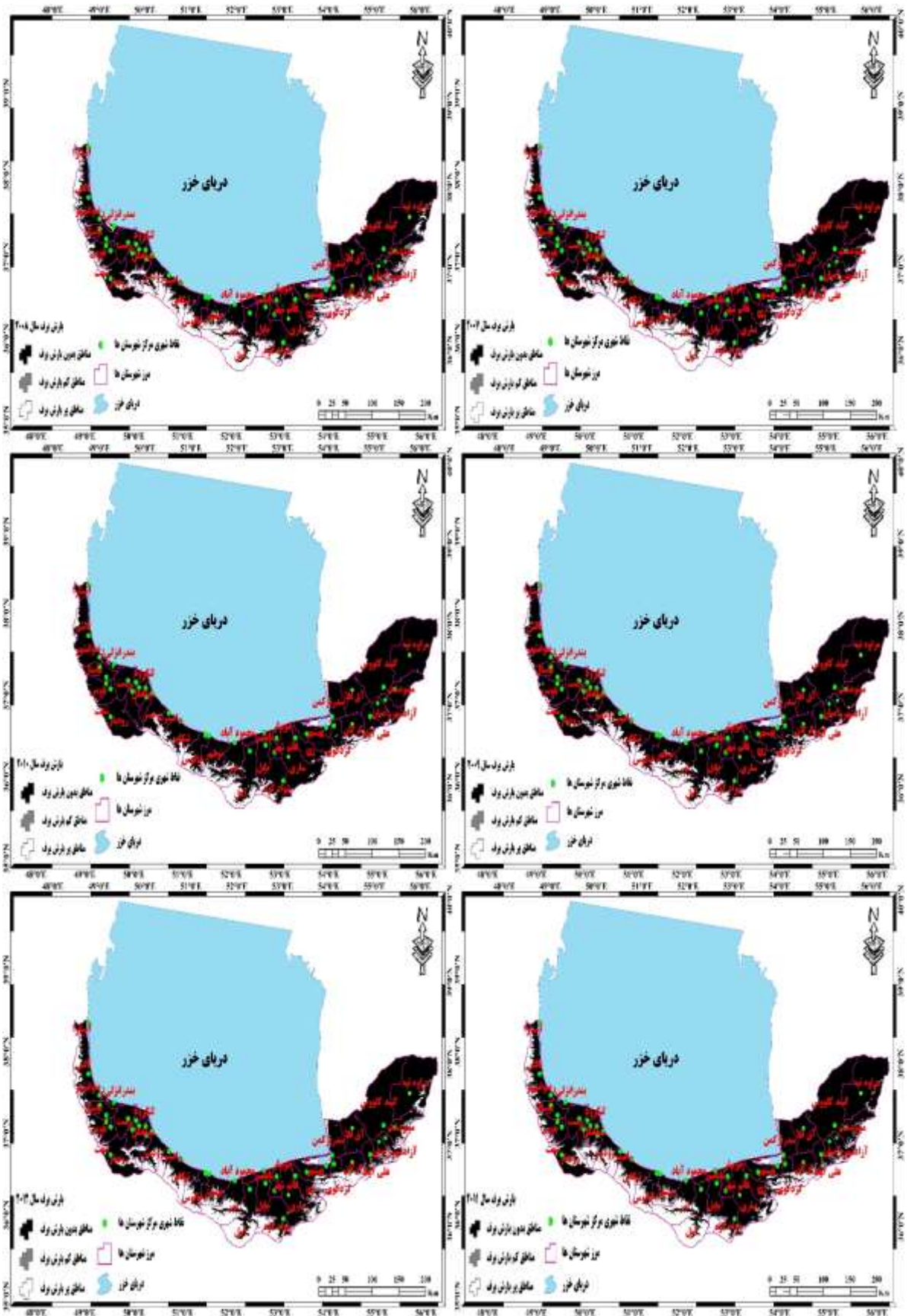
سال	میانگین بارش برف سه ماهه ژانویه، فوریه و مارس، (km ²)	سال	میانگین بارش برف سه ماهه ژانویه، فوریه و مارس، (km ²)
۲۰۰۱	۳۵۰۱/۸۴	۲۰۱۲	۸۰۱۰/۲۹
۲۰۰۲	۴۶۰۴/۶۵	۲۰۱۳	۸۹۸۴/۲۹
۲۰۰۳	۶۶۵۱/۶۴	۲۰۱۴	۴۳۱۲/۷۳
۲۰۰۴	۳۹۰۵/۰۹	۲۰۱۵	۴۸۱۱/۸۰
۲۰۰۵	۹۴۹۶/۰۱	۲۰۱۶	۴۸۵۵/۵۵
۲۰۰۶	۴۰۸۵/۷۷	۲۰۱۷	۵۴۳۲/۵۶
۲۰۰۷	۷۹۱۲/۶۱	۲۰۱۸	۳۳۹۰/۵۱
۲۰۰۸	۷۶۷۱/۰۷	۲۰۱۹	۷۳۳۶/۶۶
۲۰۰۹	۴۷۷۵/۵۳	۲۰۲۰	۶۴۷۸/۹۳
۲۰۱۰	۲۹۰۶/۲۱	۲۰۲۱	۴۲۴۴/۳۰
۲۰۱۱	۸۴۵۵/۱۱	۲۰۲۲	۴۷۷۷/۶۴



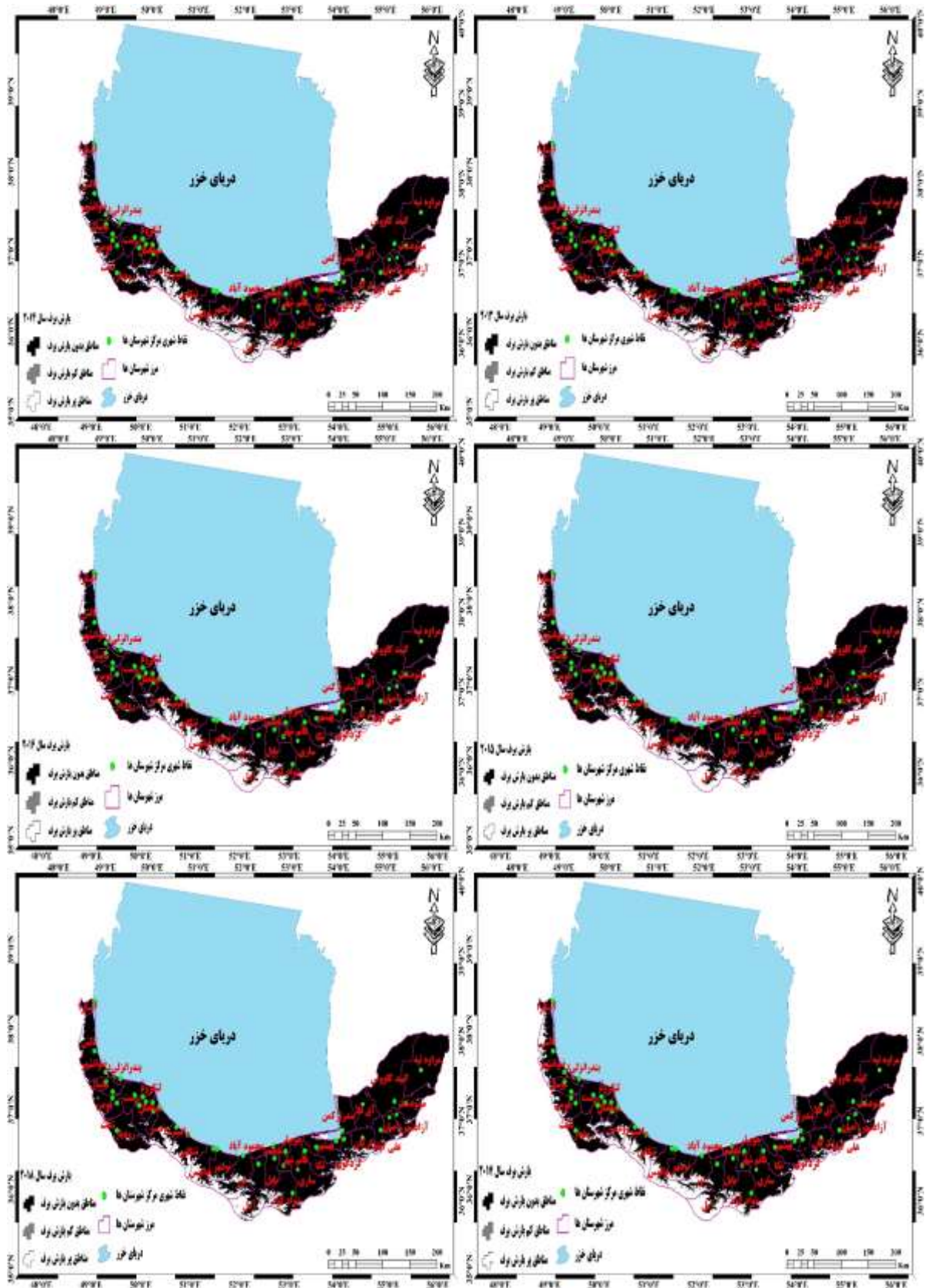
شکل ۷. نمودار تغییرات مساحت سطح پوشش برف در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲



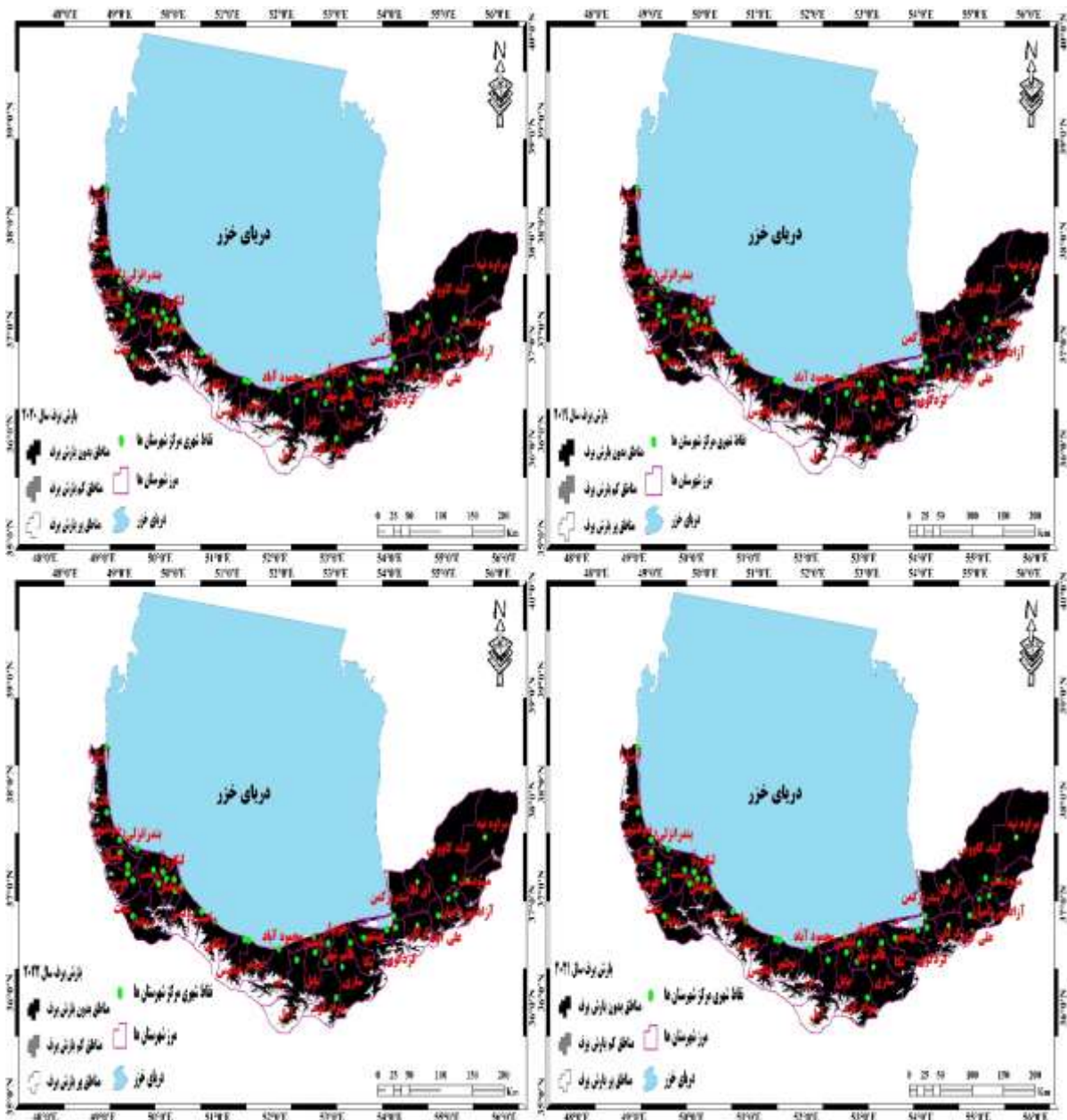
شکل ۸. نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۶



ادامه شکل ۸. نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۱۲



ادامه شکل ۸. نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۱۸



ادامه شکل ۸. نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۹-۲۰۲۲

- یافته‌های به دست آمده از تحلیل سه روش مبتنی بر طبقه‌بندی نشده، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش برفی و طبقه‌بندی نظارت شده جهت برآورد تغییرات پوشش برف نشان داد که روش رده‌بندی نظارت شده به دلیل ارائه نقشه‌های واقعی به صورت دقیق و قابل تفکیک برای باندهای مختلف و نداشتن معایب موجود در روش‌های NDSI و نظارت نشده، روشی مفید و قابل استناد جهت برآورد تغییرات سری زمانی پوشش برف در منطقه مورد پژوهش محسوب می‌شود.
- تجزیه و تحلیل نقشه‌های مربوط به تغییرات پوشش برفی طی ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نتیجه از بررسی‌های به عمل آمده و ارزیابی و برآورد تغییرات مساحت سطحی برف، عمق برف، آب معادل برف و تغییرات سفره آب‌های زیرزمینی مرتبط با آن که در برش فضایی از استان‌های ساحلی دریای خزر (گلستان، مازندران و گیلان) و با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ماهواره TERRA و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE انجام پذیرفت با یافته‌های متعددی همراه بود که در مباحث قبلی مورد اشاره قرار گرفت. فشرده‌ای از نتایج اصلی تحقیق در چند محور قابل ارایه است که عبارتند از:

رواناب ناشی از ذوب آن در حوضه آبخیز هرو - دهنو در استان لرستان؛ و مطالعات صورت گرفته در خارج از کشور: آتیف و همکاران (۲۰۱۵) بررسی روند تغییرات گستره پوشش برف در بالادست حوضه ایندوس برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳؛ ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی عوامل کنترل‌کننده اقلیم زمستان و کاهش بارش برف در فنلاند در سه ایستگاه جنوب، مرکز و شمال فنلاند؛ داریان و همکاران (۲۰۱۷) بررسی منطقه کوهستانی البرز مرکزی در شمال ایران؛ دقت قابل قبول مدل را تأیید نمودند. با این حال با همه مقایسه‌هایی که انجام گرفت، مدل‌ها و شاخص‌های مختلف در تحقیق‌های مذکور، با شاخص NDSI استفاده شده در سنجنده MODIS و مدل‌های (Csr)، Gfz و Jpl بهره گرفته شده از سیستم GRACE در پژوهش حاضر یعنی پایش و ارزیابی روند تغییرات پوشش برف در شهرستان‌های (استان گلستان، مازندران و گیلان) کارایی قابل قبولی دارد و توصیه می‌شود این شاخص و مدل‌ها در مناطق دیگر در برآورد روند تغییرات پوشش برف استفاده شود.

راهکارها

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ با ایجاد یا احداث سدهای مخازنی برای ذخیره آب در ماه‌های پر بارش، می‌توان در ماه‌ها و سال‌های که بارش کم هست آب مصرفی شهرهای مورد مطالعه را تأمین کرد؛
- ✓ با توجه به همبستگی بالای مقدار ذخیره سفره آب‌های زیرزمینی با مقدار کاهشی بارش برف در سال‌های اخیر باید از احداث زیاد چاه‌های عمیق آب در منطقه مورد مطالعه جلوگیری شود؛
- ✓ برنامه‌ریزی در ارائه فرهنگ الگوی درست مصرف کردن آب در منطقه مورد مطالعه؛
- ✓ ضرورت طراحی و اجرای شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در فصولی که بارش‌های جوی زیاد است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «برآورد مساحت و عمق برف در استان‌های ساحلی خزری با رویکرد منطقه‌ای» از دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی می‌باشد که به‌این‌وسیله از تمام کسانی در اجرا و تدوین آن همکاری و همراهی کرده‌اند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

۲۰۲۲ نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، کم‌ترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۱۰ با مقدار ۲۹۰۶/۲۱ کیلومتر مربع و بیش‌ترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۵ با مقدار ۹۴۹۶/۰۱ کیلومتر مربع می‌باشد. این موضوع بیان‌کننده تغییرات ۹۸ درصدی در طول تقریباً دو دهه مورد مطالعه در میزان پوشش برفی در منطقه استان‌های سواحل خزری (گلستان، مازندران و گیلان) بوده و خلل‌پذیری برخی از منابع آب وابسته به ذوب برف مانند آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش در بعضی از سال‌ها مورد مطالعه را نشان می‌دهد و احتمالاً در سال‌های آینده اثر بگذارد.

• نتیجه قابل تأمل در این مطالعه، توالی یک‌سال در میان مربوط به پوشش کم و زیاد برف در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به‌طوری‌که با تناوب یک‌ساله، چند سال پوشش کم و سال بعد پوشش زیاد اتفاق افتاده است. این موضوع نیز می‌تواند در پیش‌بینی سال‌های با پوشش کم یا زیاد برف در نظر گرفته شود.

• یافته‌های پژوهش حاضر در بخش ارزیابی و برآورد سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل (Csr) GRACE و Jpl نشان داد که مقدار کاهش آب‌های زیرزمینی از اواخر سال ۲۰۰۹ با مقدار ۱۳/۵- سانتی‌متر شروع شده و در سال ۲۰۱۷ به بیش‌ترین مقدار کاهش خود یعنی به مقدار ۲۷/۵- رسیده است. این نتیجه بیانگر تأثیرات شدید خشکسالی در دهه اخیر در منطقه مورد پژوهش می‌باشد. با توجه به نتایج ارزشمند به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند از یافته‌های آن در تصمیم‌گیری‌های آتی در بخش‌های مختلف مرتبط با عنوان تحقیق حاضر مانند حوزه‌های جهاد کشاورزی، آبخیزداری وزارت نیرو، سازمان‌های تأمین منابع آب و غیره استفاده کرد.

پایش و ارزیابی صورت گرفته روند تغییرات پوشش برف در این پژوهش نوین بوده و دارای اهمیت زیادی می‌باشد، روش و شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در بیش‌تر پژوهش‌هایی که صورت گرفته، روش مناسبی در امر پایش، تجزیه و تحلیل و مقایسه عنوان شده است. از جمله پژوهش‌های: موسوی و صبور (۱۳۹۳) پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران؛ عیسی‌زاده و ارگانی (۱۴۰۰) تغییرات سطح سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده از ماهواره GRACE در موتور گوگل‌ارث (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷)؛ انصاری و معروفی (۱۳۹۵)، تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارتفاع منطقه (مطالعه موردی: حوضه ساروق چای)؛ کریمی و همکاران (۱۳۹۶) شبیه‌سازی سطح پوشش برف و

References

- Abbasijondani, S., & Fathzadeh, A. (2015). Assessing of interpolation methods in order to snow water equivalent estimation. *Journal of Range and Watershed Management*, 68(4), 45- 56. (In persian)
- Akyurek, Z., Surer, S., & Beser, O. (2011). Investigation of the snow-cover dynamics in the Upper Euphrates Basin of Turkey using remotely sensed snow-cover products and hydro meteorological data. *Hydrological Process*, 6(25), 3637-3648.
- Ansari, H., & Maroufi, S. (2016). Snow Water Equivalent Estimation Using Meteorological Data and Land Elevation (A Case Study: Sarug-chai Basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(1), 101-118. (In persian)
- Atif, I., Mahboob, M., & Iqbal, J. (2015). Snow cover area Change assessment in 2003 and 2013 using MODIS data of the Upper Indus Basin, Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 7(48), 117-128.
- Bashir, F., & Ghulam, R. (2008). Estimation of Average Snow Cover over Northern Pakistan, Pakistan. *Journal of Meteorology*, 7(13), 11-36.
- Beven, K.J. (2012). *Rainfall-Runoff Modeling: The Primer*, Second Edition. Wiley. Chichester. UK.
- Birodian, N., & Jandaghi, N. (2006). Estimation of snowmelt runoff by using SRM model and comparison with hydrographic data in Ziarat River Basin. *Journal of Agriculture Science Natural Resource*, 12(6), 181-188.
- Brown, D., & Robinson, D. (2011). Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922-2010 including an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*, 3(5), 219-229.
- Brown, R., & Derksen, C. (2013). Is Eurasian October snow cover extent increasing. *Environmental research Letters*, 2(8), 1-7.
- Changvon, D., Merinsky, C., & Large, M. (2008). Climatology of Surface Cyclone Tracks Associated With Large Central and Eastern U.S. Snow storms, 0550-8000. Notes and Correspondence. *Monthly Weathers Review*, 8(631), 3053-3808.
- Dargahian, F., & Alijani, B. (2017). Study of Synoptic and dynamic the occurrence of blocking on the snow in February 2014 in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(12), 19-36. (In persian)
- Darlane, K., Santi, A., & Amin, E. (2017). Investigating Spatiotemporal snow cover variability via cloud free MODIS snow cover product in central Alborz region. *Remote sensing of Environment*, 9(202), 152-165.
- Ebrahimi, R., Hamzeh, S., & Marofi, S. (2016). Modeling the snow cover and snowmelt runoff using a combination of SRM hydrological model and satellite imagery. *Irrigation and Water Engineering*, 6(3), 66-77. (In persian)
- Entezami, H., Alavipannah, S., Darvishi Bolorani, A., Matinfar, H., & Chapi, K. (2017). Comparison of NDSI and LSU Methods in Estimation of Snow Cover by MODIS (Case Study: Saghez Watershed Basin). *Physical Geography Research Quarterly*, 49(2), 207-219. (In persian)
- Falahati, F., Alijani, B., & Saligheh, M. (2017). Investigating the effect of climate change on snow cover with the approach of water resources management in the coming decades. *Scientific-Research Quarterly Of Relief And Rescue*, 9(3), 68-79. (In persian)
- Fathzadeh, A., & Zare Bidaki, R. (2012). Estimating the Distribution of Snow Melt Equivalent at the Peak of Snow Accumulation, through Degree – Day Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43(2), 171-177. (In persian)
- Feng, S., & Hu, Q. (2007). Changes in winter snowfall/precipitation ratio in the contiguous United States. *Journal of Geophysical research*, 6(112), 24-35.
- Gascon, E. (2014). Snowfall in the Northwest Iberian Peninsula: Synoptic circulation patterns and their influence on snow day trends. *Article ID*, (275), 1-14.
- Haghizadeh, A., Kiani, A., & Kiani, M. (2017). Performance Evaluation of Geo-Statistical Methods to Estimate the Spatial Distribution of Snow Depth and Density in Mountainous Areas (Case Study: Gush Bala Watershed, Mashhad). *Hydrogeomorphology*, 4(12), 45-66. (In persian)
- Hossos, E.E., Iolis, C.J., & Bartzokas, A. (2008). Atmospheric circulation patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece. *Advances in Geosciences, Precipitation in the U.S Nat Hazards*, 9(641), 1-30.
- Irannezhad, M., Ronkanen, A., & Klove, B. (2015). Wintertime Climate factors controlling snow resource decline in Finland, *Int. J. Climatology*, 5(36), 110-131.

- Issazadeh, V., & Argany, M. (2021). Changes in Water Surface of Aquifers Using GRACE Satellite Data in the Google Earth Engine: A Study of the Urmia Lake Watershed From 2002 to 2017. *Town and Country Planning*, 13(1), 193-214. (In persian)
- Jahanbakgshasl, S., Dinpajoh, Y., Aalineghad, M., Valizadeh Kamran, K., & Parhizkar, M. (2016). Simulation of Snow-melt Runoff in Shahrchay Basin Using the SRM Model. *Geography and Environmental Planning*, 27(3), 1-14. (In persian)
- Jain, S.K., Goswami, A., & Saraf, A.K. (2008). Role of Elevation and Aspect in Snow Distribution in Western Himalaya. *Water Resour Manage*, 23(1). 71-83.
- Karimi, H., Zainiwand, H., Haqizadeh, A., & Yaqubzadeh, H. (2018). Simulation of snow cover area and its runoff in Horo-Dehno watershed in Lorestan Province. *jwmr*; 8 (16), 77-89. (In persian)
- Khoshkhoo, Y. (2016). Simulation of the snow depth using Single Layer Snow Model (SLSM) at Saghez station. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(3), 517-527. (In persian)
- Khosravi, M., Tavousi, T., Raeespour, K., Omid, G.M. (2017). A Survey on Snow Cover Variation in Mount Zardkooh-Bakhtyare Using Remote Sensing (R.S). *Hydrogeomorphology*, 4(12), 25-44. (In persian)
- Liu, Y.B., & De Smedt, F. (2004). WetSpa Extension, Documentation and User Manual. Ph.D. dissertation, *Vrije Universiteit Brussel*, Belgium. 315.
- Merino, A., Fernandez, S., Hermide, L., Lopez, L., Sanchez, J., Ortega, E., & Gascon, E. (2014). Snowfall in the Northwest Iberian Peninsula: Synoptic circulation patterns and their influence on snow day trends. article ID, 2(275), 1-14.
- 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), 181-200. (In persian)
- Mirmousavi, S.H., & Saboor, L. (2014). Study of snow precipitation changes trend in North West of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 25(3), 119-136. (In persian)
- Roostaei, S., Rahimpour, T., & Nokhstinrohi, M. (2016). Detecting the snow cover level of Tabriz watershed using AVHRR-NOAA satellite images. *Second International Congress of Geosciences and Urban Development*, Tabriz, Kian Teh Danesh Company, Jihad University Research Institute, East Azarbaijan Province Branch. (In persian)
- Safarian zengir, V., Zenali, B., & Jafarzadehaliabad, L. (2019). Assessment of synoptic conditions of occurrence of flood-induced rainfall in Khalkhal city with a perimeter environmental approach during the time period 2016- 1987. *Journal of Urban Ecology Researches*, 10(19), 89-104. (In persian)
- Şensoy, A., & Uysal, G. (2012). The Value of Snow Depletion Forecasting Methods towards Operational Snowmelt Runoff Estimation Using MODIS and Numerical Weather Prediction Data. *Water Resources Management*, 26(12), 3415-3440.
- Sobhani, B., safarian zengir, V., & dyhm, R. (2019). Spatial Distribution Modeling of Lightning Precipitation Using Satellite Images and Estimation of Perceptible Water, Case Study: Cities of Ardebil Province. *Journal of Urban Ecology Researches*, 10(19), 151-164. (In persian)
- Takeli, A. (2012). A technique for improving MODIS standard snow products for snow cover monitoring over Eastern Turkey, *Arabian Journal of Geoscience*, 6(5), 353-363.
- Tang, Z., Wang, J., Li, H., & Yan, L. (2013). Spatiotemporal Changes of snow cover the Tibetan plateau based on cloud removed moderate resolution imaging spectroradiometer fractional snow cover product from 2001 to 2011. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2(7), 1-15.
- Tasdighian, M., & Rahimzadegan, M. (2017). Evaluation and improvement of snow cover detection from MODIS images. *Iran-Water Resources Research*, 13(1), 163-177. (In persian)
- Wahr, J., Swenson, S., & Velicogna, I. (2006). Accuracy of GRACE mass estimates, *Geophysical Research Letters* 33: L06401.
- Wang, Z.M., Batelaan, O., & De Smedt, F. (1996). A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Physics and Chemistry of the Earth*, 21(3), 189-193
- Zeinivand, H., & De Smedt, F. (2010). Prediction of snowmelt floods with a distributed hydrological model using a physical snow mass and energy balance approach. *Natural Hazards Journal*, 54(2), 451-468.