Journal of Urban Ecology Research
Vol..., NO. ..., Series ..., Winter ...2, (-)
DOI:

**فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی‌شهری**
سال ... ، شماره...، پیاپی ... ، زمستان .... (–)

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

**عطا غفاری گیلانده[۱*]، وحید صفریان زنگیر[۲]**
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

**تاریخ دریافت:** -/-/۱۴۰۰ **تاریخ پذیرش:** -/-/ ۱۴۰۰

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

**Ata. Ghafari Gilandeh[1*], Vahid. Safarian Zengir[2]**

1. Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Ph.D. Department of physical Geography, Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

**Received:** 2021/-/- **Accepted:** 2022/-/-

## چکیده

در پژوهش حاضر بر پایه داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، مستقر روی ماهواره‌های Terra و Aqua و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE با رویکرد نو آورانه الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین درشهرستان‌های استان‌های (گلستان، مازندران و گیلان) و در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲؛ به برآورد و تجزیه 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 به دست 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 به دست آمد که مبین همبستگی بالای عمق برف با آب معادل از برف است. نتایج بررسی سفره آب‌های زیرزمینی براساس سه مدل CSR، GFZ و JPL 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 به دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات پوشش برف بر مقدار حجم سفره آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تاثیر داشته است.

**واژگان کلیدی**
برآورد برف، شاخص NDSI، شاخص کریس، سنجنده مودیس، استان‌های ساحل خزری

## 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 $Km^2$ occurred in 2005 and the lowest with a value of 2906.21 $Km^2$ 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 $kg/m^2$ 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

**E-mail:** A_ghafarigilandeh@uma.ac.ir
***Corresponding Author**:

***نویسنده مسئول:**
**عطا غفاری گیلانده**

## 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 کننده‌ی آب شیرین و یکی از اجزاء مهم چرخه‌ی آب شناختی به شمار می‌رود (تکلی، ۲۰۱۲: ۳۵۳). در بسیاری از حوضه‌های کوهستانی دنیا، برف یکی از مولفه‌های چرخه آب محسوب می‌شود (عباسی‌جنداتی و فتحزاده، ۲۰۱۵: ۷۷۹). یکی از مهم‌ترین منابع آبی در مناطق کوهستانی ذخیره‌ی برف می‌باشد که می‌تواند در بیش‌تر مواقع سال آب مورد نیاز برای مصارف کشاورزی، شرب، زیست‌محیطی را فراهم کند (حقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۵). آب حاصل از ذوب برف نقش عمده‌ای در تامین آب مورد نیاز برای فعالیت‌های کشاورزی، منابع طبیعی، صنعتی، و نیازهای انسانی، به ویژه در مناطق کوهستانی دارد (انتظامی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۰۷). 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 تاثیر مستقیم بر رژیم هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب دارد (فلاحتی و همکاران، ۲۰۱۷: ۶۸). 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، ۲۰۱۶: ۶۶). ایران به عنوان کشوری با اقلیم نیمه خشک 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 تامین آب در فصول گرم سال محسوب می‌شود(روستایی و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۵). اطلاعات از پوشش برف به عنوان یکی از منابع تامین آب‌های زیرزمینی، شرب و کشاورزی برای مدیریت بهینه منابع آبی اهمیت بسزایی دارد. از جمله منابع اطلاعاتی مهم برای شناسایی سطح برف، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS است که محصول سطح برف به صورت منظم از آن‌ها تولید می‌گردد (تصدیقیان و رحیم‌زادگان، ۲۰۱۷: ۱۶۳).

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 حاصل از آن (سطحی و سفره آب زیرزمینی) باید توجه اساسی داشته باشیم برای این کار از روش جدید و نو آورانه نسبت به پژوهش‌های قبلی از روش الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین[1] استفاده شد. با توجه به موارد بالا در مناطقی که تنش آبی و نیاز آبی به محصولات کشاورزی زیاد است، توجه به مساحت و عمق برف و این که 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 تحقیق 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 این که آیا این روند تغییرات بر حجم سفره آب‌های زیرزمینی تاثیری داشته است؟ و استراتژی لازم را در این راستا نمایان کند.

## مبانی نظری

بارش‌های رعد و برقی نوعی از رگبارهای غیر پایدار هستند که با یک حالت غیرعادی فوق‌العاده قوی، از جابه‌جایی اتمسفر ایجاد می‌شوند و از پدیده‌های مهم آب و هوایی در شمال غرب کشور محسوب می‌شوند (سبحانی و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۵۱). تاکنون مدل‌های مختلفی جهت تعیین و برآورد ذوب برف ارائه شده است، به طورکلی 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 به طورکلی هدف نهایی استفاده از مدل‌ها، تصمیم‌گیری صحیح و دقیق راجع به مسائل هیدرولوژی است (بیون[2]، ۲۰۱۲: ۴۶۱). 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 (بیرودیان و جندقی [3]، ۲۰۰۶: ۱۸۶). ریزش‌های جوی به صورت برف در تامین آب‌های

---

1. Google Earth Engine
2. Beven
3. Birodian & Jandaghi

زیرزمینی نسبت به سایر ریزش‌های اقلیمی دارای اهمیت زیادی می‌باشد (صفریان‌زنگیر و همکاران، ۲۰۱۹: ۹۴). 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 (جاین[4] و همکاران، ۲۰۰۸: ۷۸). علاوه بر این، با عنایت به درصد بالای میزان آلبدو، برف نقش مهمی در بیلان تابشی زمین بر عهده دارد (لیو و اسمدت[5]، ۲۰۰۴: ۳۶). پوشش برف یک پدیده مهم در هیدرولوژی است، ازاین رو 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[6]، ۲۰۱۲: ۳۴۲۱). بارش برف می‌تواند تفاوت‌هایی را در ساختار و شرایط کلیماتولوژی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی حوزه‌های آبخیز ایجاد کند که از جمله آن می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: اکثر حوضه‌های آبخیز ایران مقدار بارش خود را در فصل سرد و یا غیر فصل رشد دریافت می‌کنند که حاصل 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 (فتحی‌زاده و زارع‌بیدکی، ۲۰۱۲: ۱۷۱). 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 (وانگ[7] و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۹۰). 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 (زینی‌وند و اسمدت[8]، ۲۰۱۰: ۴۵۶). 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 مخصوصاً چشمه‌ها شده که این امر می‌تواند موجب رونق اقتصادی گردد (فتح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲: ۹۰).

## پیشینه تحقیق

ورود در ادبیات موضوع پژوهش وکنکاش در پیشینه تحقیق، کاشف از دامنه‌ای از تحقیقات متنوعی است که زمینه بارش برف وبرآوردهای مرتبط با آن، به انجام رسیده است. تنوع این مباحث گویای اقبال قابل توجه به این موضوع در محافل آکادمیک و اجرایی است. تحقیقات متعددی در پیش زمینه پژوهشی این تحقیق مورد مراجعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: میرموسوی و صبوری (۲۰۱۴) به بررسی و مطالعه روند تغییرات بارش برف در شمال غرب پرداخته‌اند نتایج بدست آمده در ایستگاه های ارومیه، تبریز، اهر، خلخال، پیرانشهر و ماکو حاکی از آن است که ضمن افزایش میانگین دمای سالانه، میزان بارش برف از روند نزولی معنی‌دار برخوردار می‌باشد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده 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 (۲۰۱۵) به بررسی و ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد آب معادل برف پرداخته‌اند نتایج بدست آمده نشان دهنده میزان آب معادل برف از سمت جنوب و غرب حوزه به سمت شمال و شرق است. جهانبخش‌اصل و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در حوضه شهرچای با استفاده از مدل SRM پرداخته‌اند مطابق با نتایج بدست آمده سهم جریان رودخانه از ذوب برف در ماه‌های فروردین و اردیبهشت چشم‌گیر است. خوشخو (۲۰۱۶) به بررسی و شبیه‌سازی عمق برف با استفاده از مدل برف تک لایه در ایستگاه سقز پرداخت. مطابق با نتایج بدست آمده در بیش‌تر موارد، مدل سنجی شده SLSM کارآیی قابل قبولی 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 (۲۰۱۷) به بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور پرداخته‌اند، نتایج بدست آمده نشان داد که سطوح پوشش برف، در ارتفاعات زردکوه بختیاری طی دوره آماری ۲۰۱۱ نسبت به ۱۹۹۱، روند کاهشی داشته است. فنگ و هو[9] (۲۰۰۷) به بررسی تغییرات بارش برف در فصل زمستان در ایالات متحده آمریکا پرداختند. مطابق با بررسی‌های مذکور، بارش برف در شمال غرب آمریکا نسبتا کم‌تر شده و در مقابل، بارش باران جایگزین

---

4. Jain
5. Liu & Smedt
6. Şensoy & Uysal
7. Wang
8. Zeinivand & Smedt
9. Feng & Hu

آن شده است. چانگون[10] و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی کولاک برف در دره رودخانه اوهایو پرداخته‌اند. مطابق با بررسی مذکور علت ایجاد این پدیده، شیو فشاری شدید بین جبهه سرد کانادا و توده گرم و مرطوب واقع در جنوب منطقه است. هوسوس[11] و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی شرایط همدید تشکیل بارش‌های شدید در یونان پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده، ۹ الگوی گردشی مختلف را نشان می‌دهد، که موقعیت و شدت سامانه‌های همدید جو بالا بیش‌ترین تاثیر را در وقوع آن داشتند. آکیورک[12] و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی پهنه‌ی زیر برف در حوضه‌ی کاراسو در شرق کشور ترکیه در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ پرداخته‌اند. طبق نتایج بدست آمده در دوره‌ی زمانی یاد شده روند کاهشی در گستره‌ی برفی این پهنه دیده نمی‌شود. برون و رابینسون[13] (۲۰۱۱) به بررسی روند پوشش های برفی در نیم‌کره شمالی را طی ماه‌های مارس و آوریل برای بازده زمانی ۱۹۲۲ تا ۲۰۱۰ پرداخته‌اند. مطابق با بررسی مذکور، طی این بازده 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[14] (۲۰۱۳) به بررسی و واکاوی روند پوشش برف در منطقه اوراسیا در ماه اکتبر برای سال های ۱۹۸۲تا ۲۰۱۱ پرداخته‌اند نتایج بدست آمده نشان می‌دهد گستره‌ی برف با آهنگ ۵۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع در هر دهه روبه افزایش است. درگاهیان و علیجانی (۱۳۹۵) به بررسی اثر بلاکینگ بر رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران پرداخته‌اند. مطابق با بررسی مذکور، تشکیل بلاکینگ‌های با استمرار بیش از ۴ روز در رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران نقش دارند. تانگ[15] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روند شمار روزهای برفپوشان در فلات تبت پرداخته‌اند. طبق نتایج بدست 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 بوده‌اند. مرینو[16] و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی کاهش در بارش برف در شبه جزیره ایبری پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده روند منفی در تعداد روزهای برفی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی عوامل کنترل کننده اقلیم زمستان و کاهش بارش برف در فنلائد در سه ایستگاه جنوب، مرکز و شمال فنلائد پرداخته‌اند و مطابق با نتایج بدست آمده ریزش بارش زمستان فنلائد در ارتباط با شاخص‌های اطلس شرقی-روسیه غربی، نوسان قطبی و آرام غربی می‌باشد و هم‌چنین کاهش ریزش‌های جوی فنلائد مرتبط با افزایش ۴ درجه دما در طی این قرن بوده است. آتیف[17] و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی روند تغییرات گستره‌ی پوشش برف در بالادست حوضه‌ی ایندوس برای بازده زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ پرداخته‌اند نتایج بدست آمده نشان داده است که روند معنی‌دار در تغییرات گستره‌ی پوشش برف دیده نمی‌شود. داریان[18] و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی منطقه کوهستانی البرز مرکزی در شمال ایران پرداخته‌اند. مطابق با بررسی‌های مذکور، میزان سطح برف منطقه کوهستانی البرز مرکزی در یک دوره کوتاه مدت ۱۳ سال، کاهش شدیدی را 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 منطقه مورد مطالعه؛ استان‌های ساحلی خزری (گلستان، مازندران و گیلان) مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار گرفت. با توجه مرور مطالعات انجام شده تا زمان انجام پژوهش حاضر، تحقیقات گذشته اکثراً 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 در صورتی که در پژوهش حاضر در مقایسه با سایر تحقیقات انجام شده از روش جدید الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین در بازه زمانی ۲۲ ساله انجام شد.

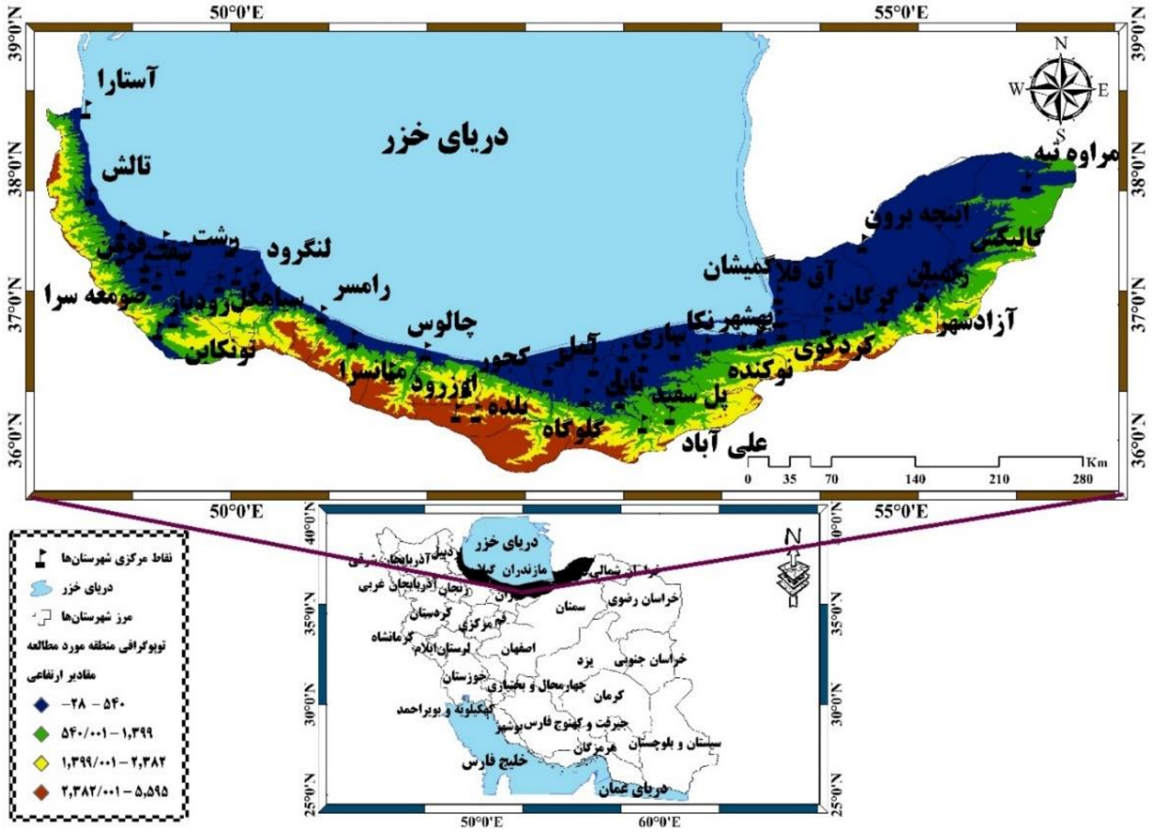
## روش انجام پژوهش

تحقیق 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 در این پژوهش شامل داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ماهواره

---

10. Changvon
11. Hossos
12. Akyurek
13. Brown & Robinson
14. Brown & Derksen
15. Tang
16. Merino
17. Atif
18. Dariane

TERRA و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE در برش شهرستان‌های ساحلی دریای خزر (گلستان، مازندران و گیلان) می باشد (شکل ۱). محدوده‌ی زمانی تصاویر انتخابی، در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ قرار دارد. در انتخاب تصاویر نکاتی در نظر گرفته شده است، بدین ترتیب که هر سال یک تصویر میانگین سه ماه (ژانویه، فوریه و مارس) فصل زمستان انتخاب شده است. این بازه زمانی برای این در نظر گرفته شده است 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.


50°0'E
55°0'E
39°0'N
38°0'N
37°0'N
36°0'N
40°0'N
35°0'N
30°0'N
25°0'N
60°0'E
N
E
W
S
دریای خزر
آستارا
تالش
مراوه تپه
لنگرود
رامسر
چالوس
کجور
آمل
بابل
ساری
نکا
بهشهر
گمیشان
آق قلا
گرگان
آزادشهر
کردکوی
نوکنده
پل سفید
علی آباد
کلوکاه
بلده
نوشهر
مینودشت
گالیکش
اینچه برون
رودسر
رشت
صومعه سرا
تونکابن
0 35 70 140 210 280 Km
نقاط مرکزی شهرستان‌ها
دریای خزر
مرز شهرستان‌ها
توپوگرافی منطقه مورد مطالعه
مقادیر ارتفاعی
-۲۸ - ۵۴۰
۵۴۰/۰۰۱ - ۱,۳۹۹
۱,۳۹۹/۰۰۱ - ۲,۳۸۲
۲,۳۸۲/۰۰۱ - ۵,۵۹۵
اردبیل
آذربایجان شرقی
آذربایجان غربی
زنجان
گیلان
مازندران
گلستان
خراسان شمالی
خراسان رضوی
خراسان جنوبی
تهران
سمنان
قم
مرکزی
کردستان
کرمانشاه
همدان
لرستان
ایلام
اصفهان
یزد
خوزستان
چهارمحال و بختیاری
کهگیلویه و بویراحمد
فارس
بوشهر
کرمان
جیرفت و کهنوج
هرمزگان
سیستان و بلوچستان
خلیج فارس
دریای عمان

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

## پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در مرحله‌ی 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:

### شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش برفی (NDSI)

در این روش، ابتدا، معیارهای باز تابشی دوگانه (یعنی مقدار بازتابش پیسکل‌ها در باند شش بیشتر از ۱۱ درصد و مقدار باز تابش پیسکل‌ها در باند چهار مساوی یا بیش‌تر از ۱۰ درصد) و به شرط NDSI> ۰/۴ بر اساس معادله (۱) اعمال می‌گردد. در مرحله‌ی بعد، بر اساس معادله‌ی (۱) آزمون‌های سه گانه مشروط به منظور استخراج مقادیر NDSI[19] اجرا می شود. حاصل به کارگیری شاخص NDSL این خواهد شد که پیکسل‌هایی با ارزش ۱- تا ۱+ ایجاد خواهد شد. ارزش هایی که از ۱- تا صفر می‌باشند نشان دهنده‌ی مناطقی است که برف در آن‌ها وجود ندارد و از صفر تا ۱+ مناطقی را شامل می شود که برف با توجه به سنگینی و سبکی (بسته به عمق آن) ضرایب مثبت را به خود اختصاص می‌دهد. هر قدر عمق برف بیش‌تر باشد. عدد مورد نظر به ۱ نزدیک‌تر و هر چه کم عمق تر باشد به صفر متمایل

---

[19] Normalized Difference Snow Index

می‌شود (بشیر، ۲۰۰۸: ۶۶؛ به نقل از موسوی و صبوری، ۲۰۱۴: ۱۸۴). الگوریتم تقشه برفی MODIS از باندهای ۴ و ۶ این سنجنده به‌طور اتوماتیک جهت استخراج شاخص برفی تفاضلی نرمال شده (NDSI) اجرا و بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$\text{NDSI} = \frac{MODIS_{Band4} - MODIS_{Band6}}{MODIS_{Band4} + MODIS_{Band6}} = \frac{\text{green} - \text{SWIR}}{\text{green} + \text{SWIR}}$$ رابطه ۱.

در رابطه بالا: باند چهار (۰/۶۶۵ µm – ۰/۵۴۵) دارای بازتابش برابر یا بیش‌تر از ۱۰ درصد باشد. باند شش (۰/۸۷۶µm – ۰/۸۴۱) 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 بر اساس تکنیک‌های آنالیز[۲۰] دسته‌بندی قرار دارد. اساس کار دسته‌بندی در طبقه‌بندی نظارت نشده، روش خوشه‌ای[۲۱] می‌باشد. در روش خوشه‌ای که با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت نشده صورت می‌گیرد، پیکسل‌ها بر اساس درجه‌ی 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[۲۲] که یک روش خودکار است می‌توان باندهای ورودی مختلف را طبقه‌بندی کرد (ریچاردز و ژوپینگ،[۲۳] ۲۰۰۶: ۲۴۹؛ به نقل از موسوی و صبوری، ۲۰۱۴: ۱۸۵). هدف در این روش فقط تعداد خوشه‌ها[۲۴] 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 یک تصویر رنگی کاذب[۲۵] 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 حداکثر 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 به طور مناسب و صحیح تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر حاصله، خوش ترکیب و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت (ریچاردز و ژوپینگ،[۲۶] ۲۰۰۶: ۱۹۳؛ به نقل از موسوی و صبوری، ۲۰۱۴: ۱۸۵). هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رساندن داده‌های کم ارزش و استفاده‌ی حداکثر از اطلاعات مفید می‌باشد.

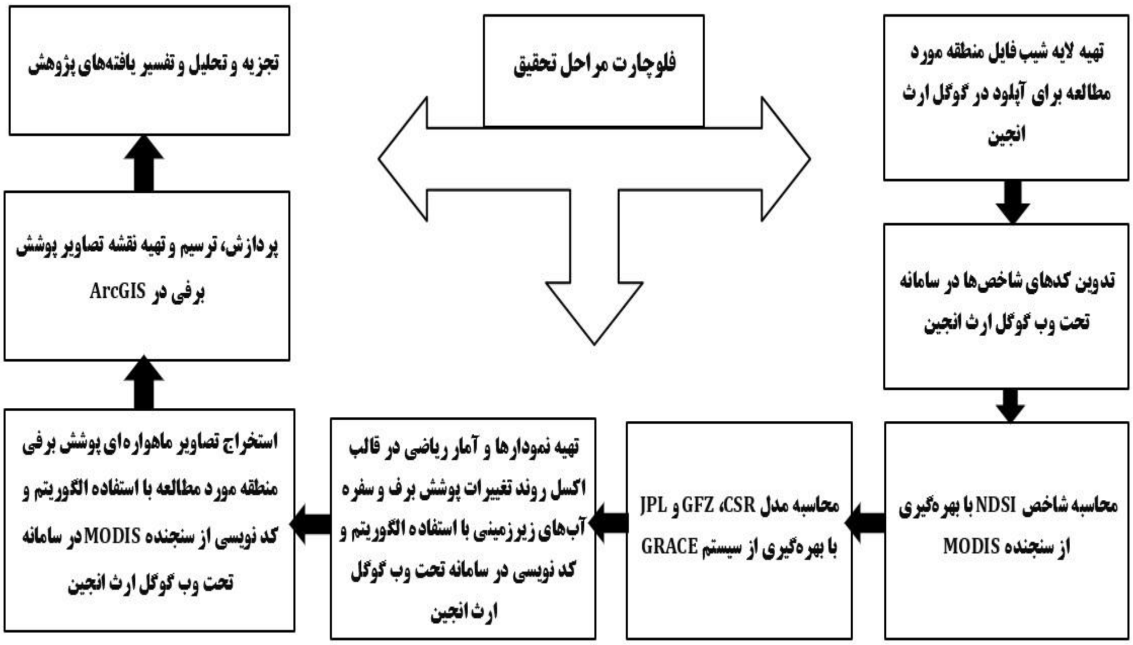
## مدل سفره آب‌های زیرزمینی GRACE[۲۷]

ماهواره دو قلوی GRACE توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده امریکا (NASA) و مرکز هوا فضای آلمان (DLR) در سال ۲۰۰۲ به فضا ارسال شد، در واقع سیستم GRACE شامل دو ماهواره می‌باشد که در امتداد یکدیگر حرکت می‌کنند. ماهواره GRACE تغییرات مقدار آب در سطح زمین را به صورت غیر مستقیم و از طریق برآورد تغییرات زمانی میدان ثقل زمین اندازه می‌گیرند و

---

[20] Elustering Analysis
[21] Clastering
[22] Maximum set basic probability classifier
[23] Richards & Xuping
[24] Cluster
[25] False color composite image
[26] Richards & Xuping
[27] Gravity Recovery And Climate Experiment

برخلاف بسیاری از ماهواره‌ها به صورت یک ابزار اندازه‌گیری عمل می‌کنند (وهر[۲۸] و همکاران، ۲۰۰۶؛ به نقل از عیسی‌زاده، و ارگانی، ۲۰۲۱: ۱۹۸). در این مطالعه، از داده ماهواره‌ای GRACE برای برآورد تغییرات ذخایر آب‌های[۲۹] 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 به دست 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 (دیاگرام ۱)، مراحل تحقیق ارائه شد.


فلوچارت مراحل تحقیق
تهیه لایه شیپ‌فایل منطقه مورد مطالعه برای آپلود در گوگل ارث انجین
تدوین کدهای شاخص‌ها در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین
محاسبه شاخص NDSI با بهره‌گیری از سنجنده MODIS
محاسبه مدل CSR، GFZ و JPL با بهره‌گیری از سیستم GRACE
تهیه نمودارها و آمار ریاضی در قالب اکسل روند تغییرات پوشش برف و سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده الگوریتم و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین
استخراج تصاویر ماهواره‌ای پوشش برفی منطقه مورد مطالعه با استفاده الگوریتم و کد نویسی از سنجنده MODIS در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین
پردازش، ترسیم و تهیه نقشه تصاویر پوشش برفی در ArcGIS
تجزیه و تحلیل و تفسیر یافته‌های پژوهش

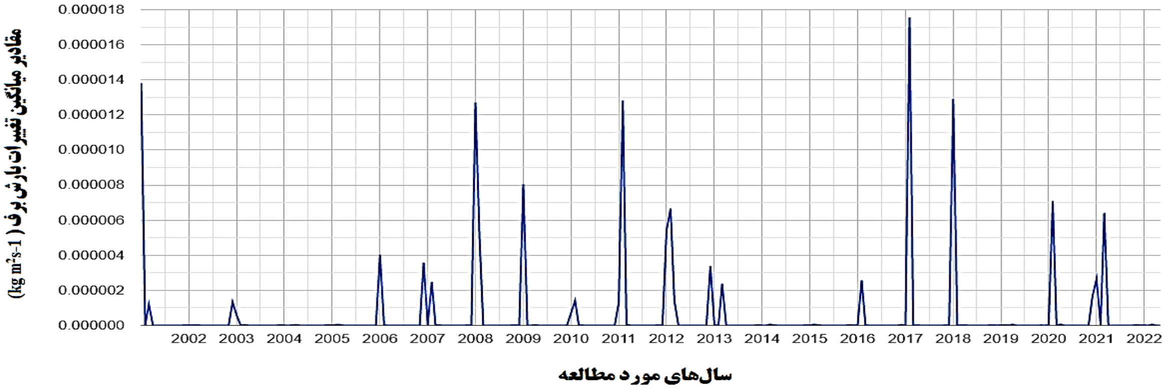
**دیاگرام ۱.** مراحل تحقیق

## یافته‌ها

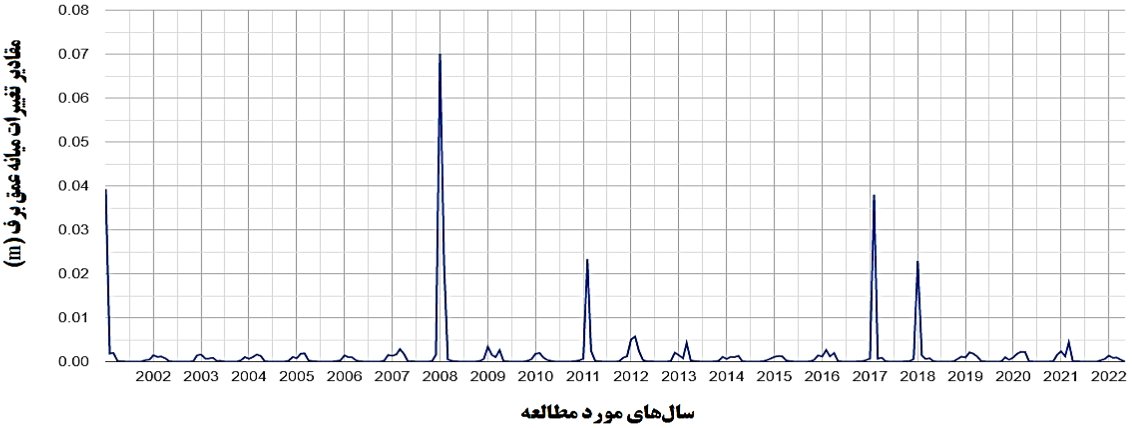
در پژوهش حاضر، استفاده کاربردی از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ماهواره TERRA و ماهواره ثقل‌سنجی GRACE در ارزیابی و برآورد تغییرات مساحت سطحی برف، عمق برف، آب معادل برف و تغییرات سفره آب‌های زیرزمینی مرتبط با آن که در مقیاس فضایی استان‌های ساحلی دریای خزر (گلستان، مازندران و گیلان) صورت عملیاتی به خود گرفت؛ با بازنمایی نموداری و گرافیک از نتایج بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مذکور، همراه بود. در ادامه به بیان فشرده‌ای از یافته های پژوهش و ارایه خروجی‌های بدست آمده از بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های به عمل آمده پرداخته می‌شود. 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 به صورت نوسان هم سطح و به یک شکل بوده است و بیش‌ترین مقدار تغییرات بارش برف مربوط به سال ۲۰۱۷ به مقدار ۰/۱۷ $kg\ m^2s-1$ می‌باشد (شکل ۲). 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 ۰/۰۷ متر می‌باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج به دست 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 چقدر عمق برف بیش‌تر باشد، آب معادل بارش برف نیز بیش‌تر می‌باشد (شکل ۴).

---

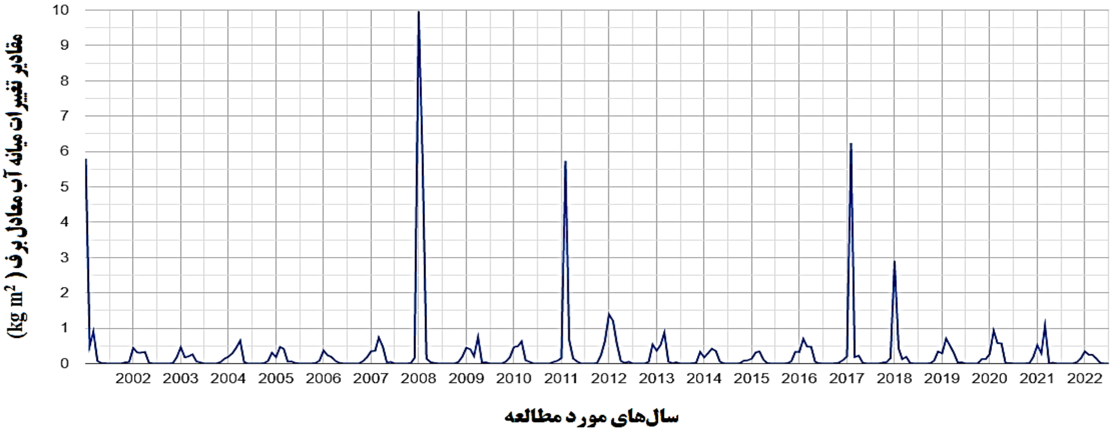
28. Wahr
29. TWS (Total Water Storage)



**شکل ۲.** نمودار میانگین تغییرات بارش برف در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۲۲-۲۰۰۱



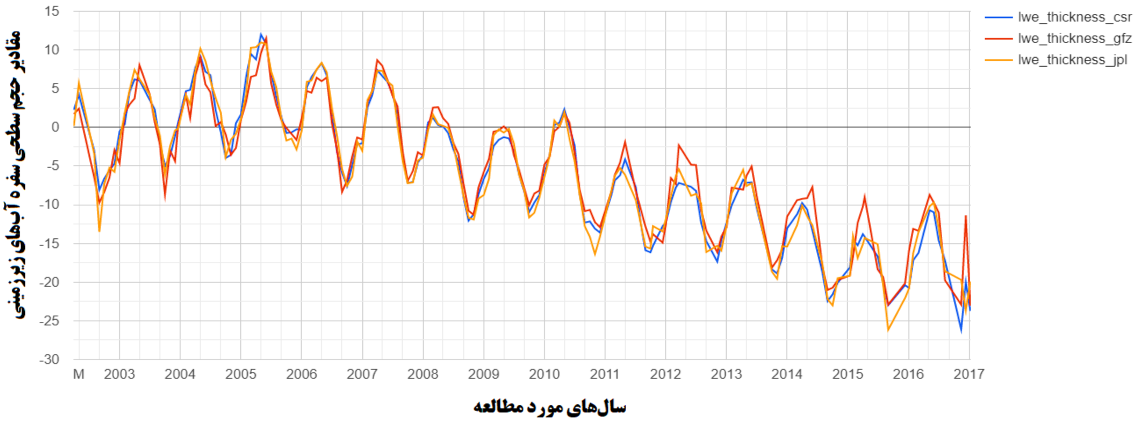
**شکل ۳.** نمودار تغییرات میانه عمق برف در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۲۲-۲۰۰۱



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

با توجه به نتایج به دست آمده از نمودار سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل GRACE (مدل GRACE دارای سه نوع الگوریتم می‌باشد مرکز CSR، GFZ آلمان و JPL آمریکا؛ داده‌های این روش را به صورت تغییرات گرانش زمین یا سفره آب‌های زیر زمینی، مدل‌سازی می‌کند) می توان گفت که در طی 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 ۵). این نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات دمای در سال‌های مورد مطالعه (دوره ۲۱ ساله) در منطقه مورد مطالعه افزایشی بوده و تغییرات بارش در نوسان بوده و به غیر از ماه‌های (ژانویه، فوریه، مارس) در اکثر ماه‌های سال روند کاهشی در میزان بارش برف مشاهده می‌گردد. نتایج سه مدل بررسی CSR، GFZ و JPL در بر آورد 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 بدست آمد. در شمال ایران برای افزایش بهره‌برداری کشاورزی در زمان خشکسالی به طور چشم‌گیری از آبیاری استفاده می‌شود، زمانی که نزولات جوی هم کافی نباشد باعث کاهش سفره آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

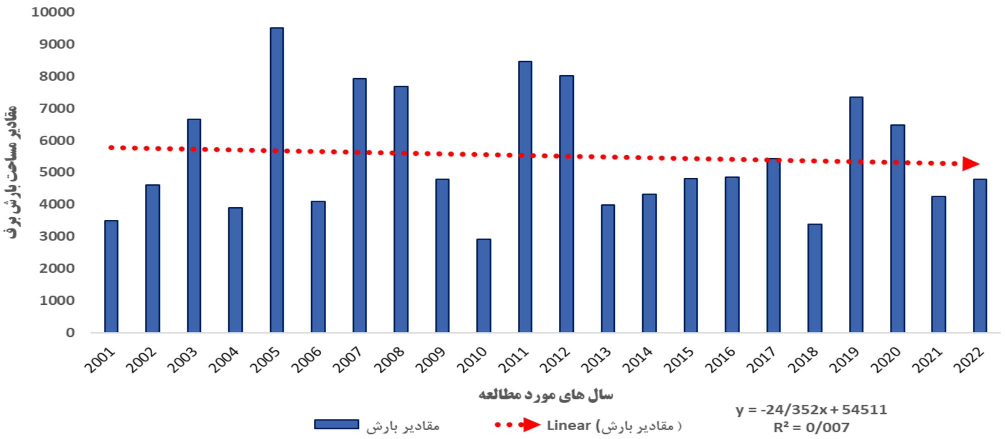


**شکل ۵.** نمودار سفره آب‌های زیرزمینی GRACE در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۲

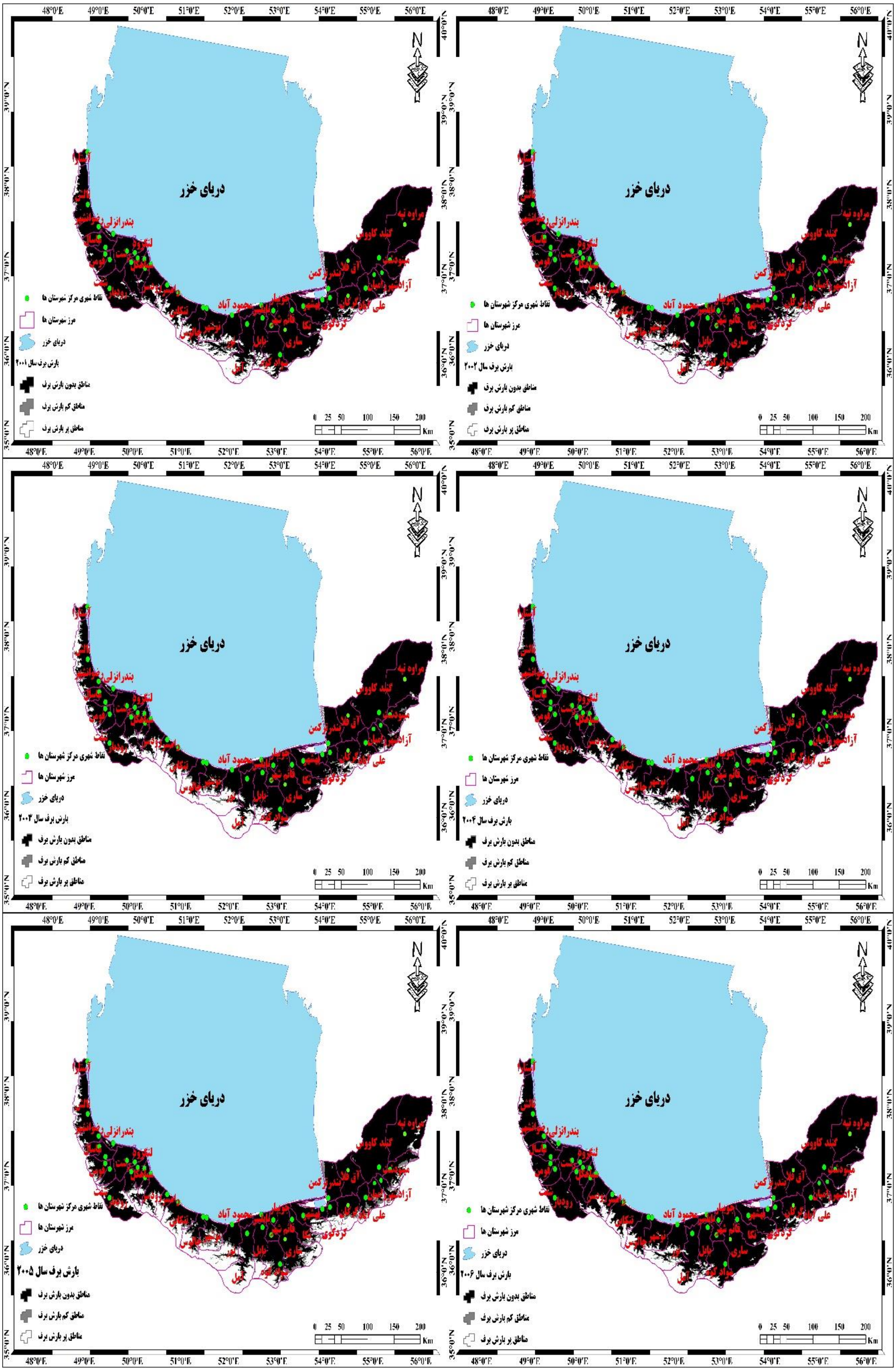
مقدار مساحت بارش برفی در طی سال‌های مورد مطالعه (۲۰۲۲-۲۰۰۱) در منطقه مورد تحقیق، نوسان‌های بارشی را در برگرفته است که بیش‌ترین مقدار مساحت آن در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به ترتیب با مقدار ۹۴۹۶/۰۱، ۸۴۵۵/۱۱ و ۸۰۱۰/۲۹ کیلومتر مربع و کم‌ترین مقادیر مساحت بارشی برف در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ به ترتیب با مقادیر ۳۵۰۱/۸۴، ۲۹۰۶/۲۱ و ۳۳۹۰/۵۱ کیلومتر مربع را شامل شد (جدول ۱). با توجه به اهمیت سطح پوشش برف به عنوان 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 یافته‌های حاصل، این روند در منطقه مورد پژوهش به صورت گرافیکی در (شکل ۶)، و مساحت در دید بصری در اشکال موجود در (شکل ۷) ارائه شد. از آن جای که دمای هوا موثرترین عامل در پایداری پوشش برف در مناطق کوهستانی می‌باشد و هرچه دمای هوای کم‌تر باشد، شرایط برای تشکیل بلورهای برف و نهایتاً 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 به عمل آید. به طور کلی مقایسه‌ی 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 نشان‌دهنده‌ی دامنه تغییرات بالا در میزان پوشش برف منطقه مورد پژوهش و وجود سال‌های استثنایی از نظر شرایط بارش برف می‌باشد. همچنین مقایسه‌ی تغییرات پوشش برف در سال‌های مورد مطالعه حاکی از وجود توالی بارش برف به صورت کاهشی در چند سال وبارش برف افزایشی نسبتاً زیاد در سال بعد می‌باشد.

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

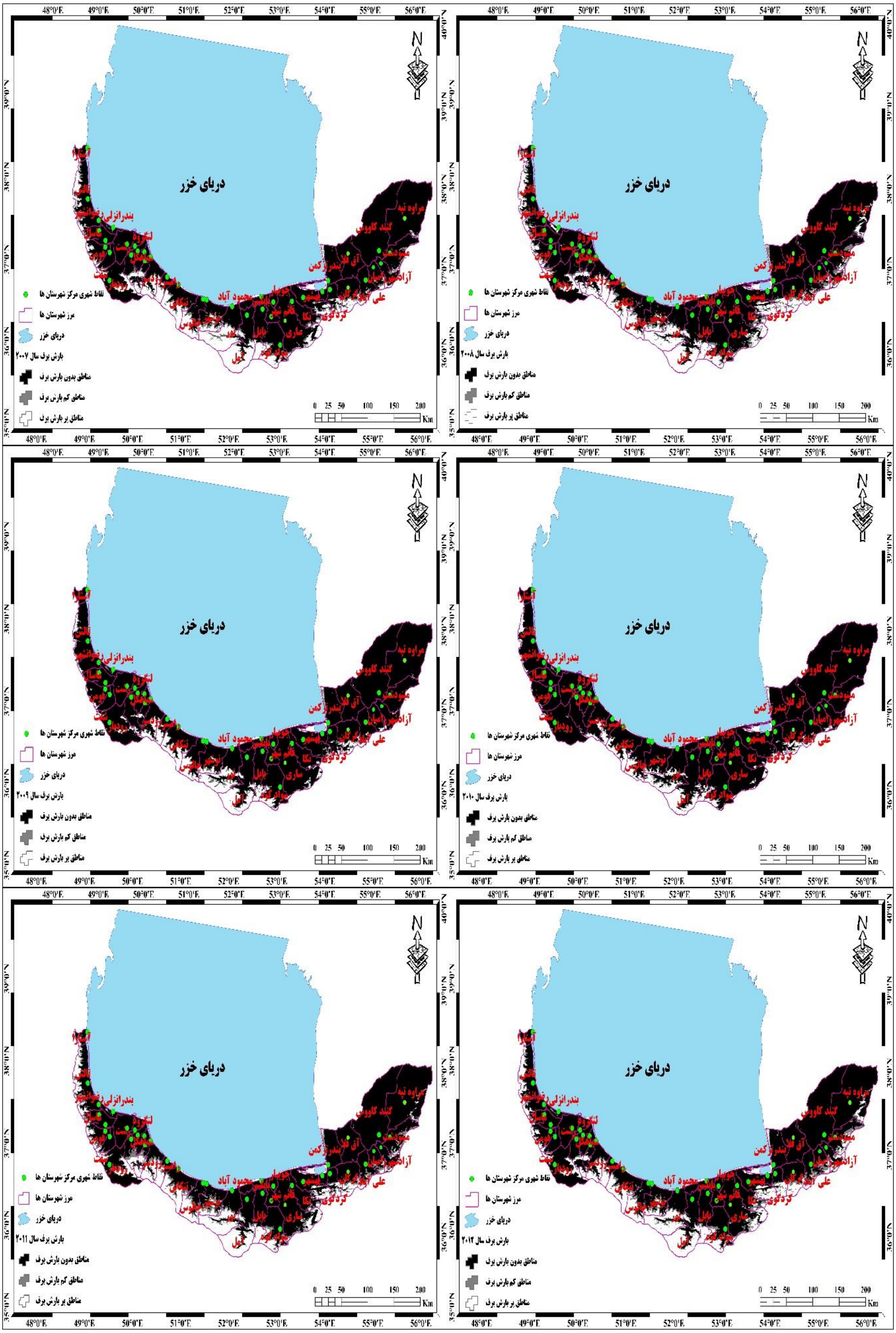
| سال | میانگین بارش برف سه ماهه ژانویه، فوریه و مارس، ($km^2$) | سال | میانگین بارش برف سه ماهه ژانویه، فوریه و مارس، ($km^2$) |
|---|---|---|---|
| ۲۰۰۱ | ۳۵۰۱/۸۴ | ۲۰۱۲ | ۸۰۱۰/۲۹ |
| ۲۰۰۲ | ۴۶۰۴/۶۵ | ۲۰۱۳ | ۸۹۸۴/۲۹ |
| ۲۰۰۳ | ۶۶۵۱/۶۴ | ۲۰۱۴ | ۴۳۱۲/۷۳ |
| ۲۰۰۴ | ۳۹۰۵/۰۹ | ۲۰۱۵ | ۴۸۱۱/۸۰ |
| ۲۰۰۵ | 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 |



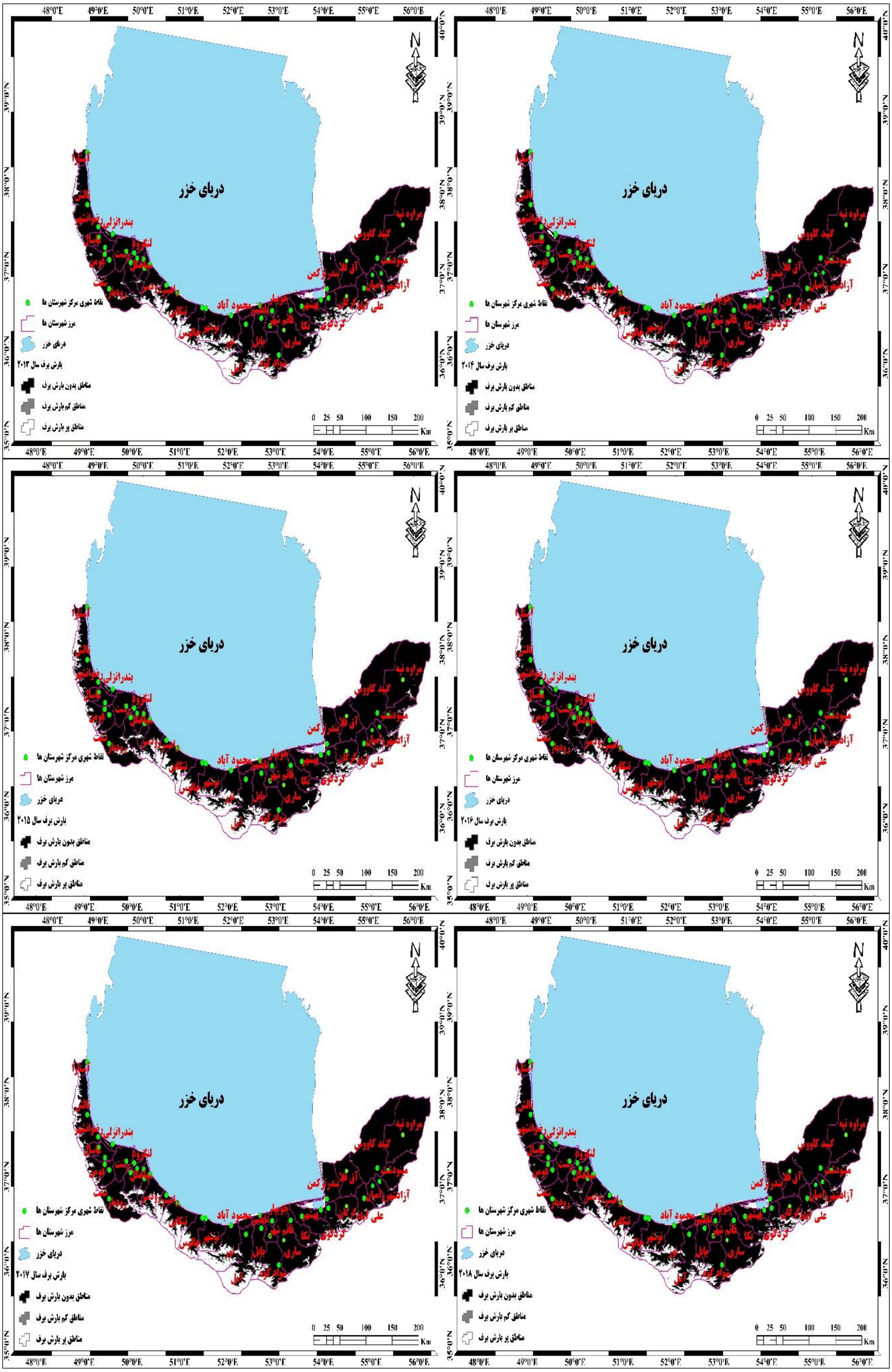
**شکل ۶.** نمودار تغییرات مساحت سطح پوشش برف در استان‌های ساحل خزری در دوره آماری ۲۰۲۲–۲۰۰۱


دریای خزر
نقاط شهری مرکز شهرستان ها
مرز شهرستان ها
دریای خزر
بارش برف سال ۲۰۰۱
بارش برف سال ۲۰۰۲
بارش برف سال ۲۰۰۳
بارش برف سال ۲۰۰۴
بارش برف سال ۲۰۰۵
بارش برف سال ۲۰۰۶
مناطق بدون بارش برف
مناطق کم بارش برف
مناطق پر بارش برف
N
0 25 50 100 150 200
Km
48°0'E
49°0'E
50°0'E
51°0'E
52°0'E
53°0'E
54°0'E
55°0'E
56°0'E
35°0'N
36°0'N
37°0'N
38°0'N
39°0'N
40°0'N
آستارا
بندرانزلی
لنگرود
محمود آباد
بندرترکمن
گنبد کاووس
مراوه تپه
آزادشهر
علی آباد
کردکوی
نکا
ساری
بابل
قائم شهر
آمل
نوشهر
آق قلا
مینودشت
رامیان

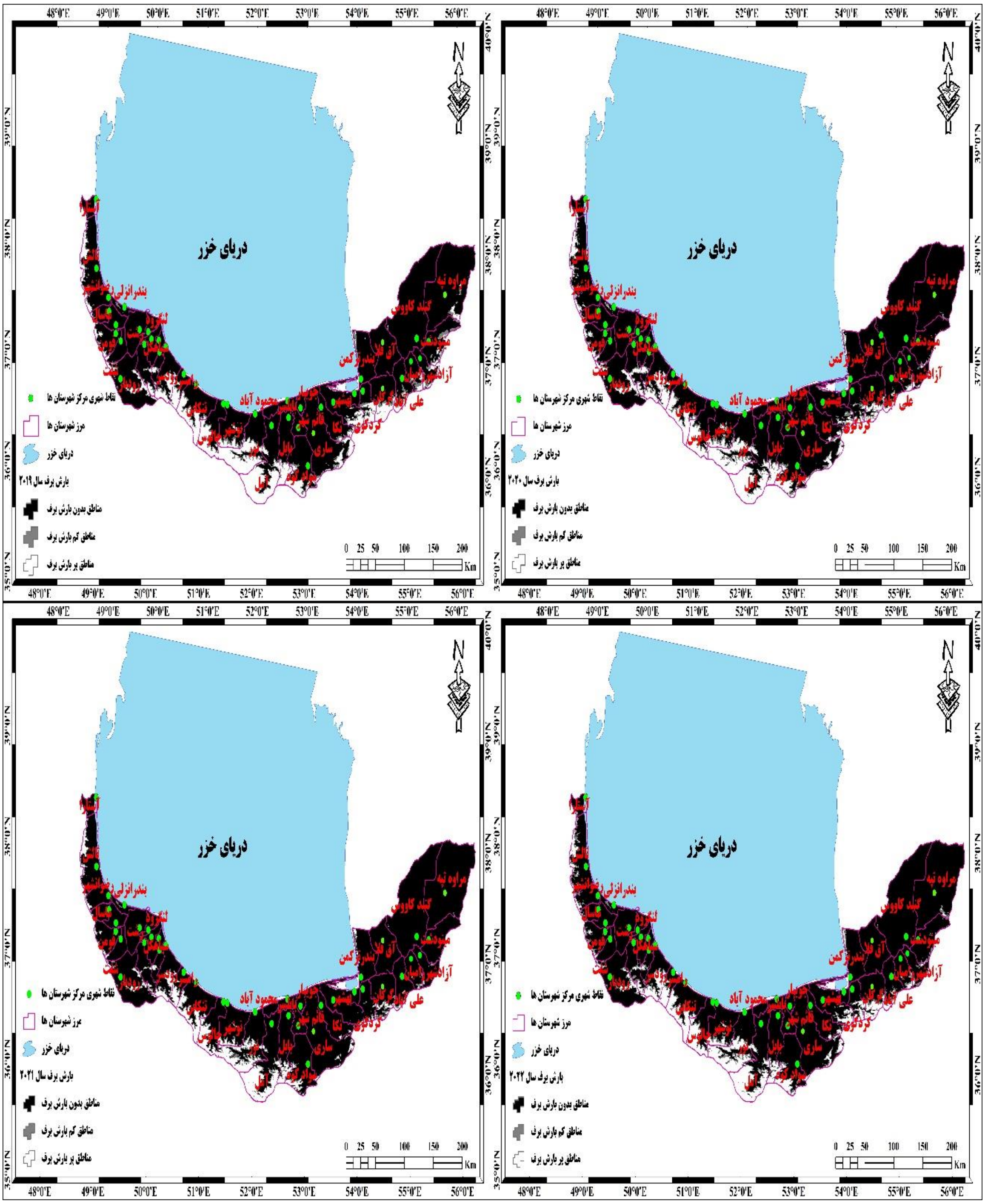
شکل ۷. نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۰۶-۲۰۰۱


دریای خزر
نقاط شهری مرکز شهرستان ها
مرز شهرستان ها
دریای خزر
بارش برف سال ۲۰۰۷
بارش برف سال ۲۰۰۸
بارش برف سال ۲۰۰۹
بارش برف سال ۲۰۱۰
بارش برف سال ۲۰۱۱
بارش برف سال ۲۰۱۲
مناطق بدون بارش برف
مناطق کم بارش برف
مناطق پر بارش برف
0 25 50 100 150 200
Km
48°0'E 49°0'E 50°0'E 51°0'E 52°0'E 53°0'E 54°0'E 55°0'E 56°0'E
36°0'N 37°0'N 38°0'N 39°0'N 40°0'N
N
بندرانزلی
لنگرود
محمود آباد
بهشهر
ساری
بابل
نکا
کردکوی
گنبد کاووس
مراوه تپه
آزادشهر
علی آباد
بندرترکمن

**ادامه شکل ۷.** نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۷


دریای خزر
نقاط شهری مرکز شهرستان ها
مرز شهرستان ها
دریای خزر
بارش برف سال ۲۰۱۳
بارش برف سال ۲۰۱۴
بارش برف سال ۲۰۱۵
بارش برف سال ۲۰۱۶
بارش برف سال ۲۰۱۷
بارش برف سال ۲۰۱۸
مناطق بدون بارش برف
مناطق کم بارش برف
مناطق پر بارش برف
0 25 50 100 150 200
Km
48°0'E 49°0'E 50°0'E 51°0'E 52°0'E 53°0'E 54°0'E 55°0'E 56°0'E
35°0'N 36°0'N 37°0'N 38°0'N 39°0'N 40°0'N
N
آستارا
بندرانزلی
لنگرود
محمود آباد
بندر ترکمن
گنبد کاووس
مراوه تپه
آزادشهر
علی آباد
کردکوی
ساری
بابل
نکا
قائم شهر
آق قلا

**ادامه شکل ۷.** نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۸-۲۰۱۳


دریای خزر
نقاط شهری مرکز شهرستان ها
مرز شهرستان ها
دریای خزر
بارش برف سال ۲۰۱۹
بارش برف سال ۲۰۲۰
بارش برف سال ۲۰۲۱
بارش برف سال ۲۰۲۲
مناطق بدون بارش برف
مناطق کم بارش برف
مناطق پر بارش برف
0 25 50 100 150 200
Km
N
48°0'E
49°0'E
50°0'E
51°0'E
52°0'E
53°0'E
54°0'E
55°0'E
56°0'E
40°0'N
39°0'N
38°0'N
37°0'N
36°0'N
35°0'N
آستارا
بندرانزلی
لنگرود
رشت
ماسال
فومن
رودبار
رامسر
تنکابن
نوشهر
چالوس
محمود آباد
آمل
ساری
نکا
بهشهر
گرگان
کردکوی
آق قلا
بندرترکمن
گنبد کاووس
مراوه تپه
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد

**ادامه شکل ۷.** نقشه تغییرات مساحت پوشش برف منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۲۲-۲۰۱۹

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل 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:

- یافته‌های به‌دست آمده از تحلیل سه روش بررسی 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 ۲۰۲۲ نشان داد که در طول دوره‌ی مورد مطالعه، کم‌ترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۱۰ با مقدار ۲۹۰۶/۲۱ کیلومترمربع و بیش‌ترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۵ با مقدار ۹۴۹۶/۰۱ کیلومتر مربع می‌باشد. این موضوع بیان‌کننده تغییرات ۹۸ درصدی در طول تقریبا، 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 یک سال در میان مربوط به پوشش کم و زیاد برف در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به طوری که با تناوب یک ساله، 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 GRACE (Csr، Gfz 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 تاثیرات شدید خشکسالی در دهه اخیر در منطقه مورد پژوهش می‌باشد. با توجه به نتایج ارزشمند به دست 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 تامین 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 اکثر مطالعات که صورت گرفته، روش مناسبی در امر پایش، تجزیه و تحلیل و مقایسه عنوان شده است. از جمله؛ مطالعاتی که داخل کشور ایران صورت گرفته: موسوی و صبور (۲۰۱۴) پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه‌ی شمال غرب ایران؛ عیسی‌زاده و ارگانی (۲۰۲۱) تغییرات سطح سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده از ماهواره GRACE در موتور گوگل ارث (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷)؛ انصاری و معروفی (۲۰۱۶)، تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارتفاع منطقه (مطالعه موردی: حوضه ساروق چای)؛ کریمی و همکاران (۲۰۱۸) شبیه‌سازی سطح پوشش برف و 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 گستره‌ی پوشش برف در بالادست حوضه‌ی ایندوس برای بازده زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳؛ ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی عوامل کنترل کننده اقلیم زمستان و کاهش بارش برف در فنلائد در سه ایستگاه جنوب، مرکز و شمال فنلائد؛ داریان و همکاران (۲۰۱۷) بررسی منطقه کوهستانی البرز مرکزی در شمال ایران؛ دقت قابل قبول مدل را تایید نمودند. با این حال با همه مقایسه صورت گرفته 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 به دست آمده از پژوهش حاضر موارد ذیل ارائه 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 تامین 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 نزولات جوی زیاد است.

## سپاسگزاری

پژوهش حاضر مستخرج شده از طرح پژوهشی تحت 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 بدین وسیله از تمام کسانی در اجرا و تدوین آن همکاری و همراهی کرده‌اند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

## References

Abbasijondani, S., & Fathzadeh, A. (2015). Assessing of interpolation methods in order to snow water equivalent estimation. *Journal of Range and Watershed Managment*, 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*, 457.

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)

Dariane, K., Santi, A., & Amin, E. (2017). Investigating Spatiotemporal snow cover variability via cloud free MODIS snow cover product in central AIborz 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., Alavipanah, S., Darvishi Boloorani, 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., lolis, 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., Omidi, 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)

Richards, J.A., & Xiuping, J. (2006). Remote sensing Digitl Image Analysis, An Itroduction, *chapter 9, 4th Edition*, Springer.

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.

ابراهیمی، راضیه؛ حمزه، سعید و معروفی، صفر (۱۳۹۵). مدل‌سازی سطح پوشش و رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده تلفیقی از مدل هیدرولوژیکی SRM و تصاویر ماهواره‌ای. *فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۶(۲۳)، ۷۷-۶۶.

انتظامی، هیرش؛ علوی‌پناه، کاظم؛ درویشی‌بلورانی، علی؛ متین‌فر، حمیدرضا و چپی، کامران (۱۳۹۶). مقایسه دو روش NDSI و LSU در برآورد سطح برف به وسیله سنجنده MODIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سقز). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۹(۲)، ۲۱۹-۲۰۷.

انصاری، هادی و معروفی، صفر (۱۳۹۵). تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارتفاع منطقه (مطالعه موردی: حوضه ساروق چای). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۱)، ۱۱۸-۱۰۱.

تصدیقیان، مسعود و رحیم‌زادگان، مجید (۱۳۹۶). ارزیابی و بهبود الگوریتم تشخیص پوشش سطح برف از تصاویر سنجنده MODIS. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۳(۱)، ۱۷۷-۱۶۳.

جهانبخش‌اصل، سعید؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ عالی‌نژاد، محمدحسین؛ ولی‌زاده‌کامرانی، خلیل و پرهیزکار، مرتضی (۱۳۹۴). شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در حوضه شهرچای با استفاده از مدل SRM. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۶۳(۳)، ۱۴-۱.

حقی‌زاده، علی؛ کیانی، آرمان و کیانی، میلاد (۱۳۹۶). ارزیابی کارایی روش های زمین آماری به منظور برآورد توزیع مکانی عمق و چگالی برف در مناطق کوهستانی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز گوش بالا مشهد). *هیدروژئومورفولوژی*، (۱۲)، ۶۶-۴۵.

خسروی، محمد؛ طاووسی، تقی؛ رئیس‌پور، کوهزاد و امیدی، محبوبه (۱۳۹۶). بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از شنجش از دور. *هیدروژئومورفولوژی*، (۱۲)، ۴۴-۲۵.

خوشخو، یونس (۱۳۹۵). شبیه‌سازی عمق برف با استفاده از مدل برف تک لایه در ایستگاه سقز. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۷(۳)، ۵۲۷-۵۱۷.

درگاهیان، فاطمه و علیجانی، بهلول (۱۳۹۵). بررسی سینوپتیکی و دینامیکی بارش برف بهمن ۹۲ در ایران با تاکید بر نقش پدیده بلاکینگ. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۶(۱۲)، ۳۶-۱۹.

روستایی، شهرام؛ رحیم‌پور، توحید و نخستین‌روحی، مهسا (۱۳۹۵). آشکارسازی سطح پوشش برف حوضه آبریز تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA-AVHRR. *دومین کنگره بین المللی علوم زمین و توسعه شهری*، *تبریز*، *شرکت کیان طرح دانش*، پژوهشکده جهاد دانشگاهی واحد استان آذربایجان شرقی.

سبحانی، بهروز؛ صفریان‌زنگیر، وحید و دیهم‌ساریخان و رباب (۱۳۹۸). مدل‌سازی توزیع مکانی بارش‌های رعد و برقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برآورد آب قابل بارش، مورد مطالعه: شهرهای استان اردبیل. پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۱۰(۱۹)، ۱۵۱-۱۶۴.

صفریان‌زنگیر، وحید؛ زینالی، بتول و جعفرزاده‌علی‌آباد، لیلا (۱۳۹۸). ارزیابی شرایط همدیدی وقوع بارش‌های منجر به سیلاب در شهرستان خلخال، با رویکرد محیطی به گردشی در دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵. *پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۰(۱۹)، ۱۰۴-۸۹.

عباسی‌جندانی، شهربانو و فتح‌زاده، علی (۱۳۹۳). ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد آب معادل برف. مرتع و آبخیزداری. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۸(۴)، ۷۷۳-۷۹۳.

عیسی‌زاده، وحید و ارگانی، میثم (۱۴۰۰) تغییرات سطح سفره آب‌های زیر زمینی با استفاده از ماهواره GRACE در موتور گوگل ارث (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷). *آمایش سرزمین*، ۱۳(۱)، ۲۱۴-۱۹۳.

فتح‌زاده، علی و زارع‌بیدکی، رفعت (۱۳۹۱). برآورد توزیع آب معادل برف در زمان اوج انباشت برف با استفاده از مدل درجه – روز. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۳(۲)، ۱۷۱–۱۷۷.

فتح‌زاده، علی؛ جایدری، اعظم و شاطر آبشوری، سمیه (۱۳۹۱). بررسی ماندگاری برف با ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز فشم، سد لتیان). *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۵(۱)، ۱۰۰–۸۹.

فلاحتی، فاطمه؛ علیجانی، بهلول و سلیقه، محمد (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف در دهه‌های آینده با رویکرد مدیریت منابع آب. *فصل‌نامه علمی – پژوهشی امداد و نجات*، ۹(۳)، ۷۹–۶۸.

کریمی، حمید؛ زینی‌وند، حسین؛ حقی‌زاده، علی و یعقوب‌زاده، حسن (۱۳۹۶). شبیه‌سازی سطح پوشش برف و رواناب ناشی از ذوب آن در حوزه آبخیز هرو – دهنو در استان لرستان. *پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۸(۱۶)، ۸۹–۷۷.

موسوی، حسین و صبور، لیلا (۱۳۹۳). پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه‌ی شمال غرب ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۲(۳۵)، ۲۰۰–۱۸۱.

میرموسوی، حسین و صبوری، لیلا (۱۳۹۳). مطالعه روند تغییرات بارش برف در شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۵۵(۳)، ۱۲۶–۱۱۹.

**Copyrights**
© 2022 by the authors.