

# Revealing Trends in Snow Cover (NDSI) Changes in the Karun Basin and the Influence of Regional and Global Teleconnection

Nezam Tani, Kamal Omidvar\*, GHolamali Mozafari, Ahamad Mazidi

Department of Meteorology, Natural Hazards, Yazd University, Yazd, Iran

\*Corresponding Author: komidvar@yazd.ac.ir

## Abstract

**Introduction:** Snow cover is among the most critical natural resources influencing water availability, surface runoff, agriculture, and tourism, with significant implications for both natural and human systems. Climatic signals often exert considerable influence on various meteorological elements, particularly snow cover during and after precipitation events. The impact of climate variability on snow accumulation and melt dynamics plays a pivotal role in the management of water resources in river basins that rely on snowmelt for their hydrological regimes. Accordingly, the present study aims to analyze the behavior of snow cover in the Karun River Basin and its relationship with climatic signals over a 22-year statistical period (2001–2022).

**Materials and Methods:** Initially, validated snow cover products derived from the MODIS sensor—specifically the Normalized Difference Snow Index (NDSI)—were retrieved within the Google Earth Engine (GEE) platform, spatially aligned with the Karun River Basin. Subsequently, time series data for 29 teleconnection patterns known to influence the climate of Iran and the target basin were compiled for the study period. To assess the trend and magnitude of snow cover changes, the non-parametric Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator were employed. Furthermore, Pearson correlation analysis was conducted using SPSS software to evaluate the statistical relationships between snow cover data and the teleconnection indices.

**Results and Discussion:** The findings of this study indicate a declining trend in snow cover across the Karun River Basin during the cold months of the year, accompanied by statistically significant negative shifts. Specifically, during January, February, March, April, November, and December, the snow cover exhibited a consistent downward trend with abrupt reductions throughout the study period. The output of the Sen’s slope estimator further revealed a total decrease of approximately 2,794 square kilometers in snow-covered area. Correlation analysis between snow cover extent and teleconnection indices demonstrated that snow cover is significantly influenced by several atmospheric–oceanic patterns. At the 0.05 significance level, simultaneous negative correlations were observed with indices such as GMSST (February), EAWR (March), SOI and RMM2 (December). During the cold season (November to May), snow cover also showed significant delayed correlations (one-month lag) with Solar Flux, EA, AAO, EAWR, RMM2, and SOI. Additionally, at the 0.01 significance level, a strong negative correlation was found with the AMO index in November.

Conversely, significant positive correlations at the 0.05 level were identified between snow cover and indices including EAWR, EPNP, SCA, PBO, OSI, NINO3.4, NINO4, ONI, and PNA. During the cold season (November to May), positive associations were also evident with SOI, MEIv2, ESPI, and EPO. At the 0.01 level, snow cover exhibited strong positive correlations with the SCA index (May) and ENSO-related indices (ONI, NINO3.4, NINO4, MEIv2, ESPI, and NINO3.1), particularly in December. Overall, the highest observed correlations were associated with various ENSO indices and teleconnection patterns such as EAWR, MEIv2, and the Southern Oscillation Index (SOI). These results suggest that both synchronous and lagged fluctuations in selected teleconnection patterns have statistically significant relationships with snow cover variability in the Karun Basin. Given the predictability of these large-scale climate signals and their strong correlations with snow cover dynamics, they offer valuable potential for improving future snow cover forecasts in the region.

**Conclusion:** Based on the results of this study during the 2001–2022 period, it was determined that snow cover in the Karun River Basin, located in the southern Zagros region, has been undergoing a declining trend. Moreover, fluctuations in several of the examined teleconnection patterns—across both their positive

and negative phases—were found to exert synchronous and lagged influences on the extent of snow cover in the basin. These influences manifested as either reductions or increases in snow-covered area, depending on the phase and timing of the respective climate signals. Given the relative predictability of the examined teleconnection patterns, it is recommended that future studies incorporate advanced modeling approaches such as machine learning and deep neural networks. The application of these techniques can enhance the accuracy of estimating fluctuations in teleconnection indices and, consequently, improve the forecasting of snow cover variability in the Karun River Basin.

**Keywords:** snow cover, Teleconnection, Karun watershed, trend, Correlation

## آشکارسازی روند تغییرات پوشش برف (NDSI) حوضه آبریز کارون و اثرگذاری الگوهای دور پیوند منطقه‌ای و

### جهانی بر روی آن

نظام تنی، کمال امیدوار\*، غلامعلی مظفری، احمد مزیدی

گروه آب و هواشناسی، مخاطرات طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

\* نویسنده و عهده دار مکاتبات: komidvar@yazd.ac.ir

### چکیده

**سابقه و هدف:** پوشش برفی از مهم‌ترین منابع طبیعی تأثیرگذار بر منابع آبی، روان آب‌ها، کشاورزی و گردشگری بااهمیت فراوان بر عوامل طبیعی و انسانی است. سیگنال‌های اقلیمی نیز در بسیاری از موارد بر عناصر اقلیمی به‌ویژه پوشش برف در هنگام بارش و بعد از آن تأثیرگذار خواهد بود. اثر نوسانات اقلیمی بر تغییر پوشش و ذوب برف در مدیریت منابع آب رودخانه‌هایی که با ذوب برف تغذیه می‌شوند، بسیار اهمیت دارد. بنابراین در تحقیق حاضر به تحلیل رفتار پوشش برفی حوضه آبریز کارون و ارتباط آن با سیگنال‌های اقلیمی طی دوره آماری ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) پرداخته شد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا محصولات آماده و اعتبارسنجی شده سنجنده MODIS نمایه پوشش برف (NDSI) در محیط گوگل ارث انجین (GEE) منطبق بر حوضه آبریز کارون دریافت و در ادامه داده‌های ۲۹ الگوی دور پیوند تأثیرگذار بر اقلیم ایران و حوضه موردنظر، طی سری زمانی ذکرشده تنظیم شد. سپس برای محاسبه روند و شدت تغییرات پوشش برف، از روش نا پارامتری منکندال و شیب سنس استفاده شده است. در ادامه با استفاده از روش آماری پیرسن ارتباط بین داده‌های پوشش برف و الگوهای دور پیوند در محیط نرم‌افزار SPSS محاسبه و تجزیه و تحلیل شد.

**نتایج و بحث:** یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده روند کاهشی پوشش برف طی ماه‌های سرد سال در حوضه منتخب همراه با جهش منفی معنی‌دار بوده است. به عبارت دیگر در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر طی دوره مورد مطالعه به ترتیب روند پوشش برف به صورت منفی با جهش کاهشی مشاهده گردید. نتایج خروجی تخمین گر شیب سنس نیز نشان‌دهنده کاهش ۲۷۹۴ کیلومتر مربعی وسعت پوشش برف در هر سال بوده است. تحلیل همبستگی بین وسعت پوشش برف حوضه آبریز کارون با شاخص‌های دور پیوندی نیز نشان داد که این پوشش به طور معناداری تحت تأثیر برخی از الگوهای جوی-اقیانوسی قرار دارد. طبق نتایج در سطح اطمینان ۰/۰۵ به صورت هم‌زمان بین شاخص‌هایی نظیر GMSST (ماه فوریه) EAWR (ماه مارس) و SOI و RMM2 (دسامبر) و طی دوره سرد سال از ماه نوامبر تا می با شاخص Solar Flux و با تأخیر یک‌ماهه با شاخص‌های EA، AAO، EAWR، RMM2 و SOI همبستگی منفی معنی‌دار مشاهده شد. علاوه بر این، در سطح اطمینان ۰/۰۱ نیز ارتباط منفی معناداری با شاخص AMO در ماه نوامبر ایجاد شد. از سوی دیگر، همبستگی‌های مثبت معناداری در سطح اطمینان ۰/۰۵ بین پوشش برف با شاخص‌هایی همچون EPNP، SCA، PBO، OSI، NINO3.4، NINO4، ONI، PNA و طی دوره سرد سال (نوامبر تا می) با شاخص‌های SOI، EAWR، ESPI، MEIv2 و آشکار شد. در سطح اطمینان ۰/۰۱ نیز ارتباط مثبت معناداری با شاخص SCA (در ماه می) و با شاخص‌های

ENSO محور (ONI, NINO3.4, NINO4, MEI v2, ESPI, NINO3.1) به‌ویژه در دسامبر مشاهده شده است. به‌طور کلی بالاترین همبستگی مشاهده شده مربوط الگوهای نینو در شاخص مختلف و الگوهای دور پیوند نظیر EAWR، MEIv2 و نوسان جنوبی (SOI) بوده است. از یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به‌صورت هم‌زمان و یا با تأخیر نوسانات برخی از الگوهای دور پیوند ذکر شده بر پوشش برفی حوضه آبریز کارون ارتباط آماری معناداری داشته است. بنابراین با توجه به قابل پیش‌بینی بودن این الگوهای دور پیوندی و وجود همبستگی‌های قوی می‌توان بهبود پیش‌بینی‌ها وسعت پوشش برف آینده این حوضه را با دقت بهتر مشخص کرد. **نتیجه‌گیری:** مطابق با نتایج این پژوهش در بازه زمانی (۲۰۲۲-۲۰۲۱) مورد مطالعه، مشخص شد که پوشش برف در حوضه آبریز کارون در حال کاهش است. در ضمن، مشاهده شد که نوسان در برخی از الگوهای دور پیوند مورد نظر در این پژوهش در فازهای مثبت و منفی خود می‌تواند به‌صورت هم‌زمان و با تأخیر به‌صورت کاهشی یا افزایشی باعث نوسان در وسعت پوشش برفی حوضه آبریز کارون گردد. از سوی دیگر، با توجه به قابلیت پیش‌بینی‌پذیری نسبی الگوهای دور پیوندی مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از رویکردهای مدل‌سازی پیشرفته نظیر یادگیری ماشینی یا شبکه‌های عصبی عمیق بهره گرفته شود. به‌کارگیری این روش‌ها می‌تواند امکان برآورد دقیق‌تر نوسانات شاخص‌های دور پیوندی و در نتیجه بهبود پیش‌بینی تغییرات وسعت پوشش برفی در حوضه آبریز کارون را فراهم آورد.

**کلیدواژه:** پوشش برف، پیوند از دور، حوضه آبریز کارون، روند، همبستگی

## مقدمه

برف و پوشش برفی یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده آب در بسیاری از مناطق جهان و به‌ویژه در مناطق کوهستانی است. پوشش برفی و آب معادل آن می‌تواند نیازهای اساسی مربوط به محیط‌زیست، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و آب شرب را تأمین کند. همچنین اثر تغییر اقلیم بر تغییر پوشش و ذوب برف در مدیریت منابع آب رودخانه‌هایی که با ذوب برف تغذیه می‌شوند، بسیار اهمیت دارد (Fattahi et al, 2018). در مطالعات فراوانی نیز اهمیت پوشش برف در چرخه هیدرولوژی، ثابت شده است (Barnett et al, 2005). همچنین اهمیت مطالعه برف از جنبه‌های مختلف مانند تأمین نیاز آبی (et al, 2000) (Rango) برآورد رواناب حاصل از ذوب برف (Marsh & Woo, 1985) تأمین رطوبت خاک، آب دریاچه و رودخانه‌ها (Zhang et al, 2017) جاذبه‌های توریستی و اطلاع از خطرات بهمن (Schneebeli, 20002) و تأثیر بر جمعیت ماکرو و میکروارگانیسم‌ها (Gerland, 1999) ثابت شده است.

نتایج مطالعات فراوانی در مناطق پر ارتفاع جنوب غربی ایران ثابت کرده‌اند که بخش عظیمی از بارش‌ها به شکل برف است و آب حاصل از ذوب برف، نقش مهمی در ایجاد رواناب سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و ایجاد سیلاب‌ها را ایفا می‌کند. همچنین تأمین آبی بیش از ۱۰ میلیون نفر از جمعیت کشور ایران به منابع آبی حاصل از برف رشته‌کوه زاگرس وابسته است (Rahimi & Danapour., 2012). همچنین مشخص گردید در مناطق غرب و شمال غرب کشور، برف حاصل از بارش‌های زمستانی، نقش عمده‌ای در ایجاد جریان‌های فصلی و دائمی در این منطقه ایفا می‌کند (Zinali et al, 2021). مطالعه روند پوشش برف در یخچال‌های کوهستانی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نشان داد باوجود اینکه میزان بارش برف سالانه طی ۲۰ سال گذشته نسبتاً ثابت باقی مانده، اما کاهش روند در ماه‌های گرم‌تر به دلیل افزایش دمای هوا رخ داده است (Motiee et al., 2024). مطالعه روند تغییرات سطح پوشش برف در حوضه سفیدرود نیز نشان داد بیشینه پوشش برف در تمام زیر حوضه‌ها ماه ژانویه است و سری‌های زمانی سالانه گستره برفی حوضه بیانگر روند کاهشی در بخش اعظم سطح حوضه است. بیشترین نرخ کاهش مربوط به فصل زمستان در حدود ۳۳٪ درصد به ازای هر دهه است (Entezami et al, 2021).

همچنین یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر نوسانات آب و هوایی هر منطقه، نقش الگوها و شاخص‌های دور پیوندی است. شاخص‌ها و الگوهای آب و هوایی معیارهایی هستند که به‌وسیله آن‌ها تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جو اندازه‌گیری می‌شود (Alijani, 2008). این الگوها به علت داشتن خصیصه پویایی و حرکت در جو، دامنه اثراتشان به مناطقی در حد و اندازه‌های نیمکره و گاه کل کره زمین نیز تسری می‌یابد و اغتشاشات زیادی را به وجود می‌آورد (Kakapur, 2024).

2011). جین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) در یک مطالعه همبستگی بین الگوهای دور پیوند و پوشش برف غرب ایالات متحده را بررسی کردند طبق نتایج فاز مثبت الگوی نوسان جنوبی (ENSO) پوشش برف جنوب غربی افزایشی و فاز سرد آن به افزایش پوشش برف در شمال غربی منجر می‌شود. همچنین، فاز مثبت الگوی اقیانوس آرام شمالی (PNA) بارش‌های بیشتری، در حالی که فاز منفی آن باعث بارش‌های کمتر می‌شود.

چوبین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) نیز در یک مطالعه اثرات سیگنال‌های آب و هوایی در مقیاس بزرگ را بر روی پوشش برف حوضه آبریز خراسان بررسی کردند طبق نتایج همبستگی بین پوشش برف و سیگنال‌ها اقلیمی با رویکرد زمان تأخیری بیشتر از رویکرد هم‌زمان است. مهم‌ترین سیگنال‌های مرتبط الگوی دور پیوند Nino 1+2 است. النوسو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی تأثیر نوسانات آتلانتیک شمالی (NAO) را بر پوشش برف ارتفاعات شبه‌جزیره ایبری بررسی کردند طبق نتایج مقادیر منفی شاخص NAO با پوشش برف ماه‌های زمستان در شرایط مرطوب و ملایم شبه‌جزیره رابطه دارد و تأثیر تغییرپذیری شاخص NAO بر دامنه‌های رو به شمال محدود و برای دامنه‌های رو به جنوب همبستگی‌ها برای ارتفاعات بالاتر قوی‌تر بوده است.

تارکا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۲) به مطالعه ضخامت برف و توزیع منطقه‌ای در جزیره سینی اکرین پرداختند نتایج نشان داد همبستگی منفی معنی‌داری بین شاخص نوسان جنوبی زمستانی (SOI) و نوسان ال نینو-نوسان جنوبی (ENSO) با میانگین پوشش برف این بخش از قطب جنوب وجود دارد. زانگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۳) با مطالعه بر روی ناهنجاری‌های چرخه‌ای مرتبط با الگوهای دور پیوند اقیانوس اطلس شرقی، الگوی اقیانوس اطلس شرقی-غربی روسیه و الگوی اسکندیناوی نشان دادند این الگوها می‌توانند منجر به ناهنجاری‌های در دما و بارش برف اوراسیا شود. همچنین، ساختار ناهنجاری‌های دمای سطح دریا (SST) در اقیانوس اطلس شمالی تأثیر مهمی بر نوسانات پوشش برفی این منطقه دارد. ایران‌نژاد و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۴) نیز در یک تحقیق بر اثرگذاری الگوهای دور پیوندی بر پوشش برف فنلاند پرداختند نتایج نشان داد در هر دو منطقه شمالی و جنوبی فنلاند، تعداد روزهای برفی بیشترین تأثیر را از نوسان قطبی (AO) داشته با این حال، در مناطق مرکزی، نوسان آتلانتیک شرقی/روسیه غربی (EA/WR) تأثیرگذارترین عامل بوده است سبزی پرور و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۲۰) با مطالعه بر روی تأثیر الگوهای دور پیوند در جابجایی تاریخ رخداد اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره ۱۲ ایستگاه سینوپتیک ایران نشان دادند جابه‌جایی تاریخ‌های رخداد اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره با تعدادی از شاخص‌های دور پیوند مانند AO, NAO, SOI, AMO و MEI مرتبط است.

بنابراین مشخص گردید از نظر فضایی بیشترین وسعت مناطق برفی زاگرس مربوط به ارتفاعات استان‌های چهارمحال و بختیاری، شرق لرستان و ارتفاعات مرزی استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد است (Sherafat & Fathnia, 2019) همچنین میزان رواناب اکثر رودخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری، خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد حاصل از رواناب‌های زاگرس هستند. به صورتی که حتی در فصول گرم و کم بارش سال نیز آب مورد نیاز این مناطق به راحتی از ذخایر زاگرس فراهم شده است (Sadrianzadeh et al, 2023). از طرفی در بسیاری از مطالعات اثرگذاری الگوهای دور پیوندی بر عناصر اقلیمی به ویژه پوشش برفی تأیید شده است (Gholami et al, 2018). بنابراین تغییر در این نوسانات و به دنبال آن تغییرات مربوط به پوشش برفی در حوضه زاگرس به شدت بر دبی آبریز کارون تأثیرگذار است. از این رو بر اساس بررسی پیشینه تحقیق، تاکنون هیچ مطالعه‌ای به طور مستقل تغییرات پوشش برف این حوضه را به صورت تحلیل جامع در رابطه با طیف وسیعی از شاخص‌های دور پیوندی منطقه‌ای و جهانی (در مجموع ۲۹ شاخص) به صورت هم‌زمان و با تأخیر ارزیابی نکرده است. بنابراین، در تحقیق حاضر این فرآیند مورد بررسی قرار گرفته شده است. یافته‌های حاصل از این پژوهش می‌تواند به عنوان پشتوانه‌ای

<sup>1</sup> Jin et al

<sup>2</sup> Choubin et al

<sup>3</sup> Alonso et al

<sup>4</sup> Tarca et al

<sup>5</sup> Zang et al

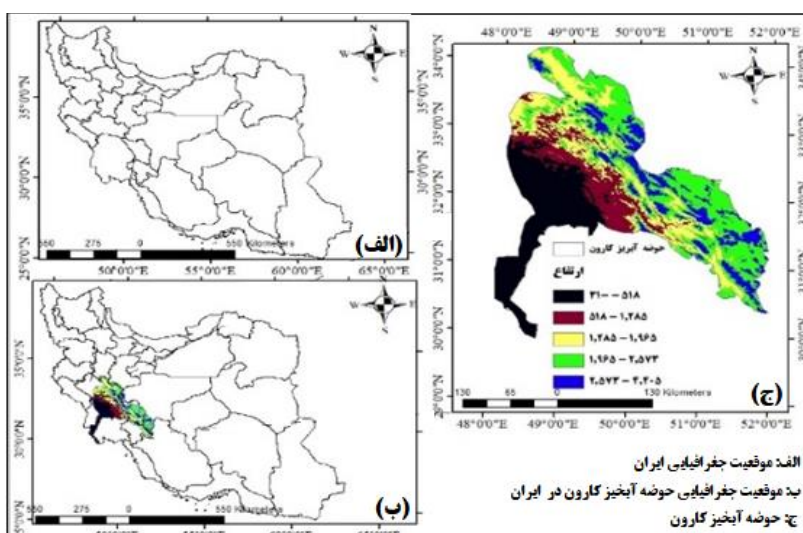
<sup>6</sup> Irannezhad et al

<sup>7</sup> Sabzipvar et al

علمی و معتبر در مطالعات مرتبط با تغییرات اقلیمی، مدیریت پایدار منابع طبیعی و تحلیل روند و پیش‌بینی وسعت پوشش برفی در حوضه آبریز کارون مورد استفاده و استناد قرار گیرند.

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ در حدفاصل  $47^{\circ}$  الی  $58^{\circ}$  طول شرقی و  $29^{\circ}$  الی  $34^{\circ}$  عرض شمالی قرار دارد. این حوضه در جنوب باختری ایران واقع شده و بخش‌های گسترده‌ای از استان‌های چهارمحال و بختیاری، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، اصفهان، لرستان و همدان را پوشش می‌دهد. کارون بزرگ رودخانه‌ای دائمی با طول ۸۹۰ کیلومتر و ۶۷۲۵۵ کیلومتر مربع وسعت حوضه آبریز با میانگین آبدهی سالانه ۱۸۷۰۰ میلیون مترمکعبی ثبت شده است (Khodabakhshnezhad et al, 2015) نگاره (۱).



نگاره (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه کارون

### داده‌ها و روش

در این مطالعه، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برفی حوضه آبریز کارون و ارزیابی اثرگذاری الگوهای دور پیوندی بر تغییرات پوشش برفی این حوضه پرداخته شده است. نوسانات دور پیوندی به عنوان عوامل مهم اقلیمی می‌توانند تغییرات قابل توجهی در الگوهای بارش و دما ایجاد کرده و به تبع آن، بر توزیع و میزان پوشش برفی تأثیرگذار باشند (López-Moreno et al., 2011; Masiokas et al., 2006).

با توجه به اینکه بخش عمده بارش‌های حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های سرد سال (نوامبر تا آوریل) رخ می‌دهد و پوشش برف نیز معمولاً تا ماه می تداوم دارد، تمرکز و تحلیل داده‌ها در این پژوهش بر بازه زمانی یادشده طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲) قرار گرفته است. شاخص NDSI یا شاخص تفاوت نرمال شده برف، یک شاخص طیفی است که برای تشخیص برف از سایر پوشش‌های سطح زمین استفاده می‌شود. این شاخص بر اساس بازتابندگی در باندهای مرئی و مادون قرمز طراحی شده است. برای اندازه‌گیری مقدار نسبی اختلاف بازتاب نور مرئی سبز و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) استفاده می‌شود. شاخص NDSI یک مقدار بین ۱ تا -۱ را به دست می‌دهد. مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده پوشش برف و مقادیر نزدیک به -۱ نشان‌دهنده عدم وجود پوشش برف است. (Hall et al, 2002).

$$NDSI = \frac{GREEN + SWIR}{GREEN - SWIR} \quad \text{رابطه (۱)}$$

بنابراین ابتدا از محصولات آماده‌ی تصحیح و اعتبارسنجی شده پوشش برفی<sup>۸</sup> (NDSI) سنجنده مودیس ماهواره ترا منطبق بر حوضه آبریز کارون در مقیاس زمانی ۱ روزه با قدرت تفکیک ۵۰۰ متری مناسب برای ارزیابی پوشش برفی حوضه‌هایی با مساحت بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع (Arif et al., 2021) استفاده شد. پس از بررسی اولیه و تأیید صحت و انسجام داده‌ها و حذف تصاویر با کیفیت پایین عملیات پیش‌پردازش در محیط نرم افزار GIS انجام گرفت. داده‌های روزانه (MOD10A1) که نمایانگر حداکثر پوشش برف و حداقل پوشش ابر در مقیاس زمانی روزانه است (Riggs et al., 2006) در همراه تجمیع و سپس با استفاده از شاخص‌های آماری (میانگین و بیشینه پوشش برف در همراه) داده‌ها خلاصه‌سازی شدند. این رویکرد علاوه بر کاهش نویز ناشی از تغییرات روزانه و پوشش ابری، امکان تحلیل روندهای اقلیمی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر را فراهم می‌آورد. نهایتاً داده‌های پالایش‌شده طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) به‌صورت میانگین ۱۲ ماه سال‌های مورد مطالعه (ماه‌های تجمعی ۲۶۴) تنظیم شد. در فرآیند تولید نقشه‌های پوشش برف، آستانه شاخص تفاضلی نرمال‌شده (NDSI) برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که پیکسل‌های با مقدار  $NDSI \geq 0.4$  به‌عنوان پیکسل‌های برفی و مقادیر کمتر از این آستانه به‌عنوان مناطق بدون برف طبقه‌بندی شده است. با ضرب تعداد این پیکسل‌ها در مساحت هر پیکسل، متناسب با قدرت تفکیک مکانی تصویر، مساحت نهایی پوشش برف برحسب کیلومترمربع برآورد گردید. در ادامه بررسی ارتباط الگوهای دور پیوندی بر تغییرات مساحت پوشش برف حوضه مورد نظر تجزیه و تحلیل شد.

بنابراین داده‌های ماهانه ۲۹ الگوهای بارز پیوند از دور مؤثر بر اقلیم ایران از مرکز اقیانوس‌شناسی و جوشناسی ملی نوا (NOAA) طی دوره آماری ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) دریافت و تنظیم گردید. از بین الگوی مورد مطالعه در این تحقیق تنها نتایج الگوهایی که با پوشش برفی رابطه معنی‌دار داشته تحلیل شده است جدول (۱).

برای بررسی روند تغییرات پوشش برف نیز از روش ناپارامتری منکندال استفاده شد. این روش را نخستین با (Mann, 1945) و سپس (Kendall, 1975) بهبود و تحول دادند. این روش بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد رابطه (۲) و رابطه (۳).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

آزمون آماره‌های S میانگین صفر دارد و واریانس آن نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۵)}$$

بنابراین، در آزمون دوطرفه روند، اگر رابطه  $Z_{\alpha/2} \leq |Z| \leq Z_{\alpha/2}$  در سطح اطمینان ۰/۹۵ برقرار باشد، باید فرضیه  $H_0$  (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه  $H_1$  (وجود روند) را قبول کرد (Zhang et al, 2003). بنابراین مقادیر Z مثبت روند صعودی پوشش برف و مقادیر Z منفی نشان‌دهنده روند نزولی است. همچنین مقدار B بیانگر شیب تغییرات میانگین بالاترین تغییر در پوشش برف و مقادیر Q نیز تخمین شیب یک‌روند خطی طی یک دوره زمانی مدنظر است. در ادامه مقادیر همبستگی بین الگوهای دور پیوندی مورد نظر با پوشش برفی با استفاده از همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شده است.

جدول (۱): شاخص‌های دور پیوند مورد مطالعه در این تحقیق طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) (Omidvar, 2020).

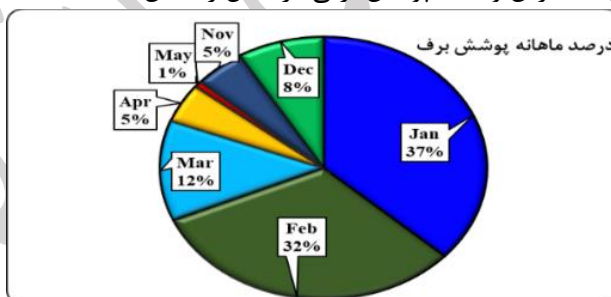
| مخفف الگوها | شاخص‌های دور پیوند | مخفف الگوها | شاخص‌های دور پیوند |
|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
|-------------|--------------------|-------------|--------------------|

<sup>8</sup> Normalized Difference Snow Index

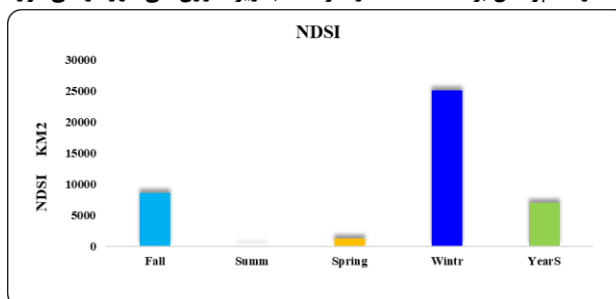
|                                                                       |         |                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------|------------|
| نوسان اطلس شمالی گرمسیری                                              | TNA     | نوسان آتلانتیک شمالی              | NOA        |
| شاخص نوسان جنوبی                                                      | SOI     | الگوی اروپایی اقیانوس اطلس شمالی  | EA         |
| نوسان اقیانوس آرام-بنین                                               | PBO     | الگوی اقیانوس آرام غربی           | WP         |
| شاخص نینوی اقیانوسی                                                   | ONI     | نوسان دکا دالی اقیانوس آرام       | PDO        |
| شاخص نینوی ناحیه ۳.۴                                                  | NINO3.4 | الگوی موج غربی اقیانوس آرام شرقی  | EAWR       |
| شاخص نینوی ناحیه ۴                                                    | NINO4   | الگوی دریای خزر - اسکندیناوی      | SCA        |
| شاخص نینوی ناحیه ۳.۱                                                  | NINO3.1 | نوسان نیمه گرمسیری شمالی          | TNH        |
| شاخص نینوی ناحیه ۱                                                    | NINO1   | الگوی دورپیوند اقیانوس اطلس جنوبی | AAO        |
| شاخص چند متغیره انسو نسخه ۲                                           | MEIVE2  | الگوی گرمایش استوایی              | WARMPOOL   |
| شاخص دمای سطح دریا شرق اقیانوس آرام                                   | ESPI    | شارش تابشی خورشیدی                | SOLAR FLUX |
| نوسان شرق اقیانوس آرام                                                | EPO     | دمای جهانی                        | GMSST      |
| ناهنجاری های همرفتی منطقه اقیانوس هند-آرام                            | RMM1    | شاخص نوسان دریای ماره             | AMM        |
|                                                                       |         | استخر گرم نیمکره غربی             | WHWP       |
| ناهنجاری های همرفتی در منطقه اقیانوس هند- اقیانوس آرامیا چرخش ۹۰ درجه | RMM2    | شاخص نوسان گرمسیری جنوب آتلانتیک  | TSA        |
| الگوی نوسان آمریکای شمالی اقیانوس آرام                                | PNA     | نوسان اقیانوس اطلس                | AMO        |

## نتایج و بحث

میانگین برآوردشده پوشش برفی در حوضه مورد مطالعه طی دوره ماندگاری آن بر سطح زمین (از ماه نوامبر تا ماه می) با استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) برابر با ۷۰۴۶ کیلومترمربع است. بیشترین میزان پوشش برفی در ماه های فصل سرد سال، یعنی ژانویه، فوریه و مارس، به ترتیب برابر با مقادیر ۲۹۴۶۵، ۲۵۴۹۲ و ۹۹۱۶ کیلومترمربع مشاهده شده است که به ترتیب ۳۷، ۳۲ و ۱۲ درصد از کل پوشش برفی سالانه را تشکیل می دهند. میانگین پوشش برفی در فصل زمستان به ۲۵۰۲۳ کیلومترمربع می رسد. در فصل پاییز، ماه های نوامبر و دسامبر به ترتیب با ۴۰۲۲ و ۶۸۹۰ کیلومترمربع، سهمی معادل ۵ و ۸ درصد از مساحت کل پوشش برفی سالانه دارند. همچنین، در فصل بهار، ماه های آوریل و می به ترتیب با ۳۸۷۰ و ۵۸۶ کیلومترمربع، معادل ۵ و ۱ درصد از پوشش برفی را به خود اختصاص داده اند. بر این اساس، بیشترین وسعت پوشش برفی در فصل زمستان ثبت شده است (نگاره (۲) و (۳))



نگاره (۲): میانگین ماهانه درصد پوشش برف (NDSI) در حوضه آب ریز کارون طی دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)



نگاره (۳): میانگین وسعت پوشش برف در فصول مختلف سال طی سری زمانی (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

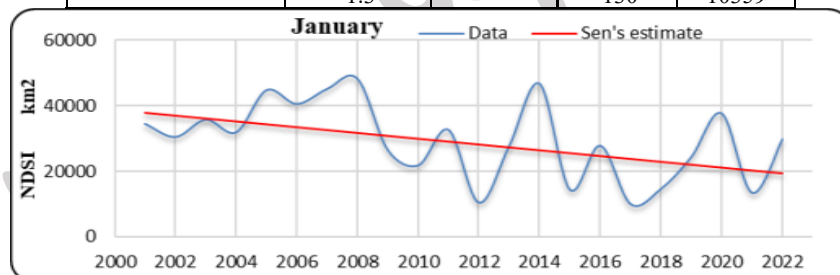
فصل زمستان پر بارش ترین فصل ایران است. هرگونه تغییر در میزان بارش این فصل می‌تواند بر روی روند سالانه نیز تأثیرگذار باشد (Alijani et al, 2012). طبق نتایج مورد بررسی طی دوره مورد مطالعه (۲۰۲۲-۲۰۰۱) در حوضه آبریز رودخانه کارون ماه ژانویه بیشترین وسعت پوشش برفی را در طول سال دارد. یافته‌های حاصل از برازش روند منکندال نشان می‌دهد که در ماه ژانویه روند پوشش برفی به صورت منفی ( $Z = -1/8$ ) با وسعت کاهش ۸۸۱ کیلومترمربعی در هر سال با توجه به خروجی شیب سنس (Q) رسیده است. شیب تغییر در این ماه نیز برابر مقدار ۳۷۹۰ ر ۶ کیلومترمربع که نشان از نوسان شدید مساحت پوشش برفی این حوضه طی سری زمانی مورد مطالعه دارد جدول (۲) و نمودار (۴).

در ماه فوریه نیز تغییرات وسعت پوشش برفی در این حوضه زیاد است. طی این ماه حداکثر وسعت پوشش برفی مربوط به فوریه سال ۲۰۰۵ به میزان ۳۹۴۵۷ کیلومترمربع و حداقل آن در فوریه ۲۰۱۸ به میزان وسعت ۱۱۷۶۸ کیلومترمربع و روند پوشش برفی به صورت جهش منفی ( $Z = -2/3$ ) نمایان است؛ و در هر سال ۶۴۱ کیلومترمربع (Q) از وسعت پوشش برفی در ماه فوریه کاسته شده است. جدول (۲) و نگاره (۵). در ماه مارس میانگین وسعت پوشش برف نسبت به ماه‌های فصل زمستان به شدت کاهش یافته و به ۲۵۵۰ کیلومترمربع رسیده است. در این ماه حداکثر وسعت پوشش برفی مربوط به سال ۲۰۱۹ با میزان ۷۲۰۶ کیلومترمربع و حداقل آن مربوط به مارس ۲۰۱۶ به میزان ۱۹۳۷ کیلومترمربع است. طبق نتایج به دست آمده در ماه مارس همانند ماه ژانویه و فوریه روند پوشش برف به صورت منفی ( $Z = -0/8$ ) و در هر سال کاهش ۱۳۰ کیلومترمربعی (Q) داشته است جدول (۲) و نگاره (۵). نتایج مطالعه روند تغییرات پوشش برف دوره سرد سال در ایران بر اساس داده‌های

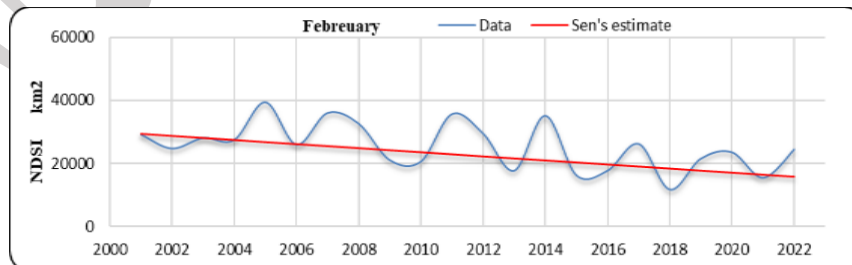
سنجندۀ مادیس نیز نشان داد روند تغییرات پوشش برف، در تمامی ماه‌های سرد سال، منفی و بیشینه شدت کاهش پوشش برف نیز متعلق به ماه ژانویه بوده است (Ahmadi & Seyedmirzaei, 2022).

جدول (۲): نتایج روند منکندال و برازش خط سنس پوشش برفی ژانویه، فوریه و مارس حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۲۲-۲۰۰۱)

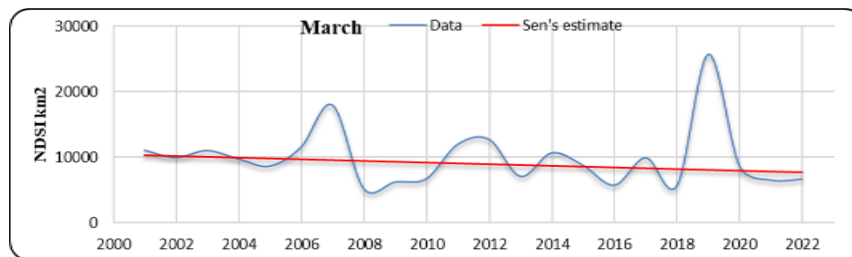
| Time series     | Test Z | Signific | Q    | B     |
|-----------------|--------|----------|------|-------|
| NDSI ماه ژانویه | -1.8   | +        | -881 | 37906 |
| NDSI ماه فوریه  | -2.3   | *        | -641 | 29406 |
| NDSI ماه مارس   | -1.3   |          | -130 | 10359 |



نگاره (۴): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه ژانویه حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۲۲-۲۰۰۱)



نگاره (۵): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه فوریه حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۲۲-۲۰۰۱)

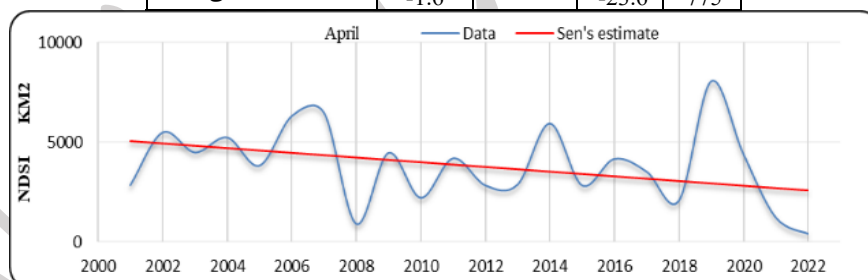


نگاره (۶): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه مارس حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

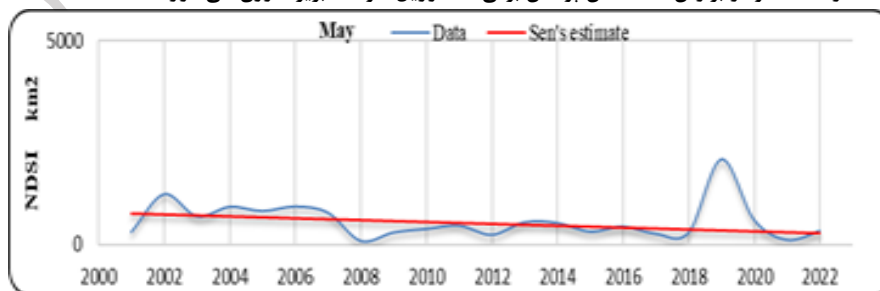
به طور کلی میانگین پوشش برف در حوضه آبریز کارون در ماه آوریل به طور قابل توجهی نسبت به ماه‌های قبل کاهش یافته و میانگین آن به ۳۸۶۹ کیلومترمربع رسیده است. در این دوره از سال دما در زاگرس افزایش و شرایط ذوب و کاهش وسعت پوشش برفی بر این کاهش وسعت پوشش برفی تأثیرگذار بوده است. طبق نتایج حداکثر پوشش برفی در این ماه طی دوره مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۱۹ به میزان ۸۶۰۵ و حداقل آن در سال ۲۰۰۸ در حدود ۹۲۷ کیلومترمربع بوده است. بررسی نتایج آماره منکندال و شیب سنس نشان از روند منفی ( $Z = -1/6$ ) و کاهش ۱۱۷ کیلومترمربعی (Q) وسعت پوشش برف در هر سال برای این ماه دارد. همچنین قدرت شیب تغییر (B) ۵۰۵۸ کیلومترمربعی نیز همانند دیگر ماه‌های مورد مطالعه در این حوضه نشان از نوسان شدید وسعت پوشش برفی طی سال‌های مختلف دارد جدول (۳) و نگاره (۷). نتایج مطالعه پوشش برفی شمال غرب ایران در ماه آوریل نیز نشان از تغییرات ۱۰۰ درصدی میزان پوشش برف در طول یک دهه دارد (Mirmousavi & Saboor, 2014). در ماه می نیز در این حوضه وسعت پوشش برف به شدت کاهش یافته است به صورتی که در اکثر سال‌ها به زیر ۷۰۰ کیلومترمربع رسیده و میانگین آن برابر ۵۸۶ کیلومترمربع است. همچنین حداکثر وسعت پوشش برفی در ماه می طی دوره مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۱۹ به وسعت ۲۱۰۳ کیلومترمربع و حداقل آن نیز در سال ۲۰۰۸ به ۹۴ کیلومترمربع و روند پوشش برفی نیز به صورت منفی ( $Z = -1/6$ ) با کاهش ۲۳/۶ کیلومترمربعی (Q) ثبت شده است جدول (۳) و نگاره (۸).

جدول (۳): نتایج روند پوشش برفی ماه آوریل و می در حوضه آبریز کارون با روش منکندال و شیب سنس طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

| Time series    | Test Z | Signific | Q     | B    |
|----------------|--------|----------|-------|------|
| NDSI ماه آوریل | -1.6   |          | -117  | 5058 |
| NDSI ماه می    | -1.6   |          | -23.6 | 775  |



نگاره (۷): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه آوریل حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)



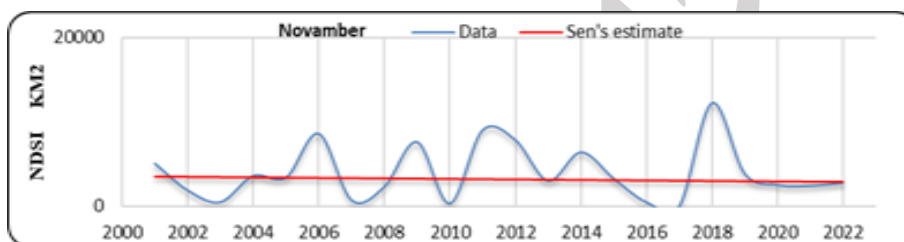
نگاره (۸): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه می حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

ماه اکتبر در فصل پاییز وسعت پوشش برف حوضه آبریز رودخانه کارون بسیار ناچیز (کمتر از ۱ درصد) و قابل چشم‌پوشی است. اما در ماه نوامبر به دلیل کاهش دما و قرارگیری این حوضه در دوره بارشی وسعت پوشش برفی در نقاط پر ارتفاع

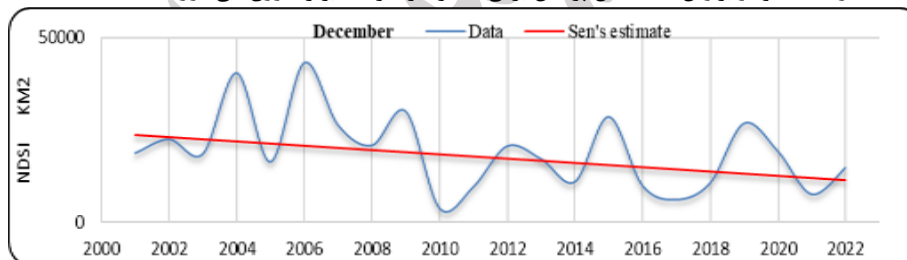
کوهستانی زاگرس نسبت به ماه‌های قبل افزایش یافته است. به‌طور کلی میانگین وسعت پوشش برفی در این ماه برابر با ۴۰۲۲ کیلومتر مربع و حداکثر وسعت پوشش برفی ثبت‌شده مربوط به نوامبر سال ۲۰۱۸ برابر با ۱۲۲۳۷ کیلومتر مربع و حداقل آن در این ماه نیز مربوط به نوامبر سال ۲۰۱۶ بدون پوش برفی است. همچنین پوشش برفی روند منفی ( $Z = -0.2$ ) با عدم معنی‌داری مشخص است. خروجی شیب سنس (Q) نیز نشان از کاهش ۲۷/۱ کیلومترمربعی وسعت پوشش برفی این ماه در هر سال دارد جدول (۴) و نگاره (۹). در ماه دسامبر حجم وسعت پوشش برفی حوضه موردنظر به‌شدت گسترش یافته و میانگین آن به ۶۸۹۰ کیلومترمربع رسیده که حداکثر پوشش برفی در این ماه مربوط به دسامبر سال ۲۰۰۷ با میانگین ۱۵۸۸۸ و حداقل آن در دسامبر ۲۰۱۱ با مقدار ۲۶۸۰ کیلومترمربع است؛ طبق نتایج روند پوشش برفی این ماه به‌طور کلی به‌صورت منفی ( $Z = -1.7$ ) است. خروجی شیب سنس (Q) نیز کاهش ۵۸۴ کیلومترمربعی وسعت پوشش برف در هر سال را نشان داده است. همچنین مقدار بالای تغییر شیب روند ( $B = 23591$ ) نشان از نوسان شدید وسعت پوشش برف در ماه دارد. جدول (۴) و نگاره (۱۰).

جدول (۴): نتایج روند پوشش برفی ماه نوامبر و دسامبر حوضه آبریز کارون با روش منکندال و شیب سنس طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

| Time series     | Test Z | Signific | Q     | B     |
|-----------------|--------|----------|-------|-------|
| NDSI ماه نوامبر | -0.2   |          | -27.1 | 3455  |
| NDSI ماه دسامبر | -1.7   | +        | -584  | 23591 |



نگاره (۹): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه نوامبر حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

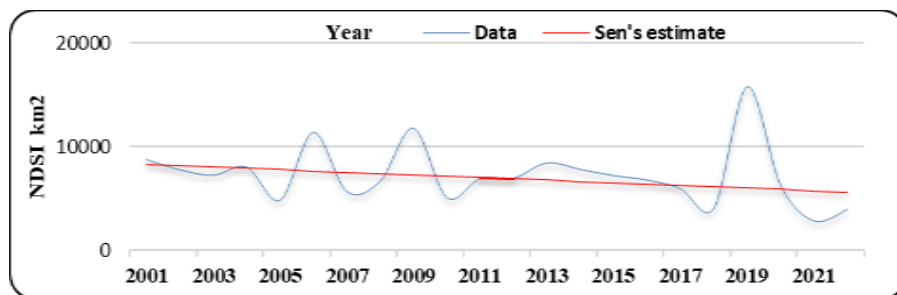


نگاره (۱۰): نمودار برازش خط سنس پوشش برفی ماه دسامبر حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

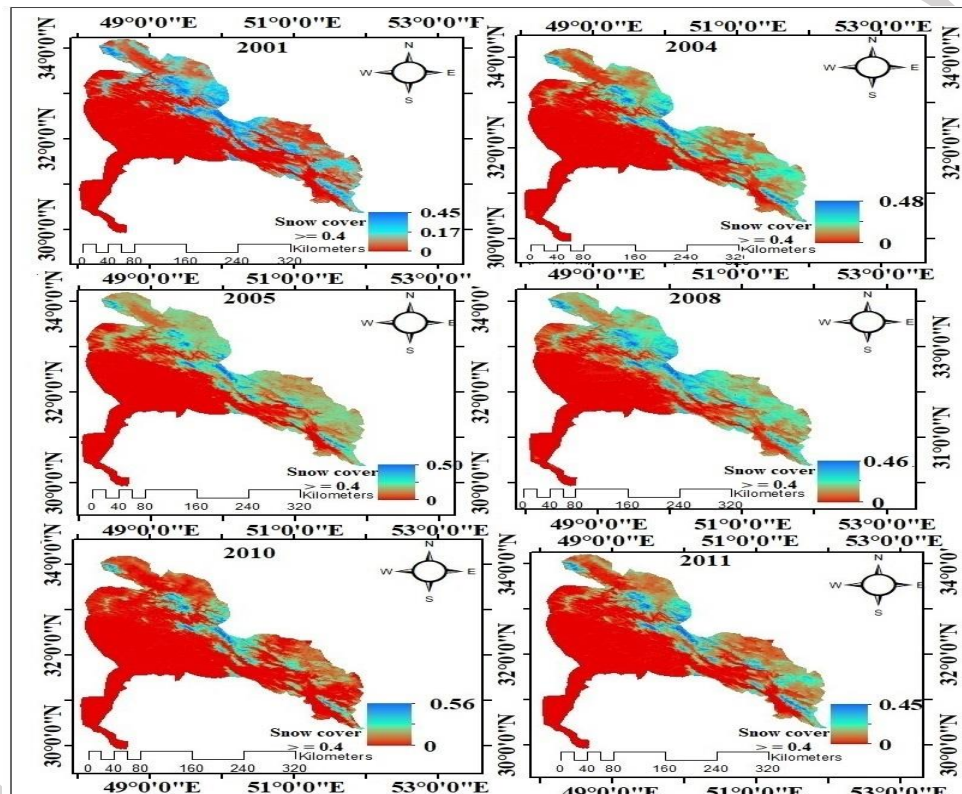
به‌طور میانگین، در حوضه آبریز رودخانه کارون واقع در زاگرس جنوبی، بخش قابل‌توجهی از ارتفاعات طی حدود هفت ماه از سال (از اکتبر تا مه) دارای مقادیر مثبت شاخص NDSI (با آستانه‌ی ۰/۴ =>) بوده‌اند که بیانگر حضور و بازتاب سطح برف است. نوسانات اقلیمی در مقیاس سالانه سبب تغییر در مقدار و گستره شاخص برف در این حوضه می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل شاخص NDSI (به‌عنوان حد آستانه‌ی وجود برف)، میانگین مساحت نواحی دارای مقدار NDSI بالاتر از آستانه در طول دوره‌ی مورد مطالعه حدود ۷۰۴۶ کیلومترمربع برآورد شده است. بیشترین گستره‌ی نواحی با مقادیر بالای شاخص NDSI در سال ۲۰۱۹ با میانگین ۱۵۷۹۱ کیلومترمربع و کمترین مقدار در سال ۲۰۲۱ با ۲۸۴۵ کیلومترمربع مشاهده شده است. نتایج آزمون من-کندال نشان‌دهنده‌ی روند کاهشی معنی‌دار در مقادیر شاخص برف سالانه با مقدار آماره‌ی  $Z = -1.86$  است. همچنین بر اساس نتایج روش شیب سنس، نرخ تغییرات منفی معادل با کاهش تقریبی ۱۲۷ کیلومترمربع در سال در وسعت نواحی دارای برف محاسبه شد (جدول ۵ و نگاره ۱۱).

جدول (۵): نتایج روند میانگین وسعت پوشش برف ماه اکتبر تا می حوضه آبریز کارون با روش منکندال و شیب سنس طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

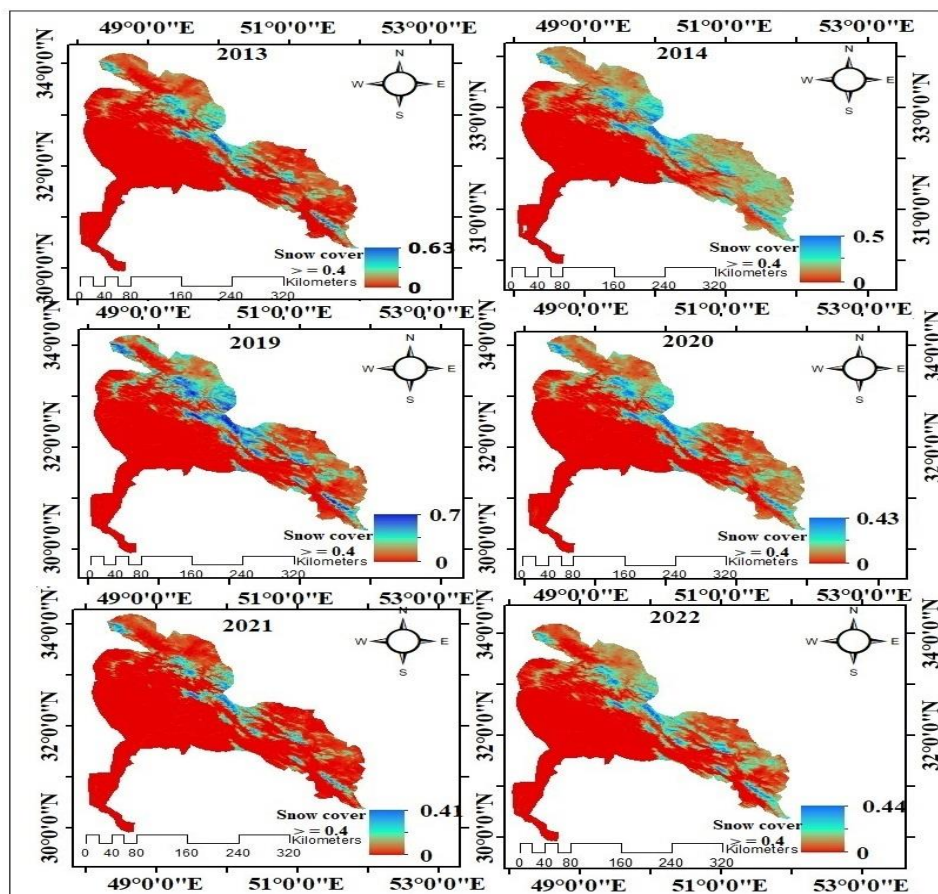
| Time series | Test Z | Signific. | Q    | B      |
|-------------|--------|-----------|------|--------|
| NDSI        | -1.86  | +         | -127 | 8304.1 |



نگاره (۱۱): نمودار سالانه (ماه نوامبر تا ماه می) برازش خط سنس پوشش برفی حوضه آبریز کارون طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۲)



شکل (۱۲) توزیع مکانی سالانه (طی ماه اکتبر تا ماه می) شاخص NDSI حوضه آبریز کارون طی چند سال منتخب



شکل (۱۲) توزیع مکانی سالانه (طی ماه اکتبر تا ماه می) شاخص NDSI حوزه آبریز کارون طی چند سال منتخب

تحلیل همبستگی بین الگوهای دور پیوندی منتخب و پوشش برفی حوزه آبریز کارون به صورت همزمان و با تأخیر ۱ ماهه انجام شد. بررسی نشان داد در ماه ژانویه، همبستگی بین تمامی الگوهای دور پیوندی مورد مطالعه و پوشش برفی عمدتاً ضعیف بوده و از نظر آماری همبستگی معنی‌دار مشاهده نشده است. این یافته‌ها حاکی از آن است که تأثیرات فوری این الگوها بر پوشش برفی در بازه زمانی این ماه چندان چشمگیر نیست. با این حال، بررسی همبستگی با تأخیر یک‌ماهه نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در نتایج بود. به طوری که مشخص شد بین الگوی دور پیوند شرق اطلس (EA) و شاخص میانگین دمای سطحی دریاهای جهانی (GMSST) با پوشش برفی حوزه آبریز کارون در ماه فوریه، رابطه‌ای منفی معنی‌دار به ترتیب با ضریب همبستگی  $-0.52$  و  $-0.50$  در سطح اطمینان  $0.05$  وجود دارد. بنابراین با گرایش به فاز مثبت و افزایش شاخص EA کاهش وسعت پوشش برفی در حوزه آبریز کارون رخ می‌دهد. به گونه‌ای که فاز مثبت EA با افزایش دما و کاهش بارش‌های برف‌زا در مناطق جنوب غربی ایران می‌شود.

از طرفی همبستگی منفی بین شاخص GMSST و پوشش برفی نشان می‌دهد که افزایش دمای متوسط دریاهای سطحی دریاها موجب کاهش پوشش برفی حوزه آبریز کارون می‌شود. این رابطه می‌تواند ناشی از تأثیر گرمایش جهانی و تغییرات در الگوهای بارش و دمای منطقه‌ای باشد. همچنین با تأخیر ۱ ماهه رابطه‌ای مثبت و قابل توجهی (همبستگی با ضریب  $0.30$  و بالاتر) اما با عدم معنی‌داری بین الگوهای دور پیوند نوسان اطلس شمالی (NAO)، شاخص نوسان جنوبی (SOI) و نوسان ده‌های اقیانوس آرام (PDO) با پوشش برفی حوزه آبریز مورد مطالعه در این ماه وجود دارد.

در ماه فوریه، نیز همبستگی منفی و معنی‌دار بین الگوی دور پیوند GMSST و پوشش کلی برف (NDSI) در حوزه آبریز کارون با ضریب همبستگی  $-0.50$  مشاهده شده است به بیان دیگر، افزایش دمای متوسط سطح دریاهای جهانی (GMSST) با کاهش پوشش برف (NDSI) در این ماه همراه است. این یافته نشان می‌دهد که تغییرات در دمای سطح دریاهای می‌تواند به عنوان یک شاخص مهم در تبیین تغییرات پوشش برف در این منطقه مطرح شود جدول (۶). سایر الگوهای مورد بررسی همبستگی معنی‌داری با پوشش برف نداشته است. علاوه بر این، با تأخیر یک‌ماهه نیز در اکثر موارد ارتباط معنی‌داری بین

الگوها و پوشش برفی مشاهده نشد، اما در برخی موارد، بین الگوهای دور پیوند AAO، WARMPOOL، GMSST و TSA و پوشش کلی برف (NDSI) همبستگی منفی قابل توجه با عدم معنی داری مشاهده گردید بنابراین وجود همبستگی منفی با تأخیر یک ماهه برای این الگوها می تواند حاکی از آن باشد که فرآیندهای اقلیمی مرتبط با این الگوها نیاز به مدتی زمان برای تأثیرگذاری بر پوشش برفی حوضه مورد مطالعه دارد جدول (۶).

جدول (۶): بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه ژانویه، فوریه و با تأخیر ۱ ماهه

| شاخص های دور پیوند                                                           | NDSI<br>ژانویه با ۱ ماه تأخیر | NDSI<br>فوریه | NDSI<br>فوریه با ۱ ماه تأخیر |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------------|
| NOA                                                                          | 0.30                          |               |                              |
| EA                                                                           | -.52*                         |               |                              |
| AAO                                                                          | 0.04                          |               | -0.38                        |
| WARMPOOL                                                                     | 0.09                          |               | -0.40                        |
| GMSST                                                                        | -.50*                         | -.502*        | -0.36                        |
| SOI                                                                          | 0.30                          |               |                              |
| PDO                                                                          | 0.30                          |               |                              |
| TSA                                                                          |                               |               | -0.30                        |
| *معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و **معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹ |                               |               |                              |

بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند مورد مطالعه در ماه مارس به صورت همزمان و با تأخیر یک ماهه با پوشش برفی نیز انجام شد. طبق نتایج به دست آمده بین الگوی دور پیوند EAWR با پوشش کلی برف (NDSI) ماه مارس رابطه منفی معنی داری در سطح ۰/۰۵ با ضریب ۰/۵۰- مشاهده شد؛ بنابراین با گرایش الگوی EAWR، به فاز مثبت خود وسعت پوشش برف در این حوضه کاهش می یابد. همچنین در این ماه مشخص گردید که الگوهای دور پیوندی WARMPOOL که به ناحیه ای از آب های گرم در اقیانوس های آرام غربی و هند شرقی مرتبط است با پوشش برف حوضه آبریز کارون، همبستگی منفی قابل توجه (ضریب ۰/۳۱-) با عدم معنی داری داشته است. بنابراین افزایش این شاخص و گرایش به فاز بالاتر بر فرآیندهای ذوب و کاهش بارش برف در حوضه مورد مطالعه نیز اثر دارد. از سوی دیگر، همبستگی مثبت قابل توجه با عدم معنی داری در الگوهای RMM1 و NOA نشانگر آن است که شرایط جوی مرتبط با این الگوها ممکن است در برخی موارد زمینه ساز افزایش پوشش برف ماه مارس در حوضه آبریز کارون شود. با این وجود، عدم معنی داری آماری این روابط نشان می دهد که تأثیر این الگوها به تنهایی پایدار نیست جدول (۷).

ارتباط الگوهای دور پیوند با پوشش برف در ماه مارس با تأخیر ۱ ماهه نیز انجام شد. طبق نتایج بین الگوهای دور پیوند EPNP رابطه مثبت معنی داری با ضریب همبستگی ۰/۵۰ در سطح اطمینان ۰/۰۵ با پوشش برفی مشاهده شده است. بنابراین افزایش و تغییرپذیری فشار هوا و گردش جوی در اقیانوس آرام شمالی و گرایش به فاز مثبت می تواند منجر به افزایش ورود سامانه های بارشی از سمت مدیترانه به مناطق جنوب غربی ایران و احتمال افزایش پوشش برف حوضه آبریز کارون را باعث شود. همچنین بین الگوی دور پیوند EAWR که به تغییرات فشار هوا و گردش جوی در منطقه اقیانوس اطلس شرقی و غرب روسیه مربوط بوده است با پوشش برف (NDSI) حوضه مورد مطالعه در سطح اطمینان ۰/۰۵ رابطه معنی داری با تأخیر ۱ ماهه با ضریب همبستگی ۰/۴۳۶ داشته است. با توجه به این نتایج با افزایش و گرایش به فاز مثبت مقادیر الگوی EAWR در ماه فوریه افزایش در وسعت پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه مارس رخ می دهد. همچنین طبق نتایج بین الگوی دور پیوند قطب جنوب (AAO) نیز رابطه منفی معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۵ و پوشش برف (NDSI) با ضریب همبستگی ۰/۴۳۸- با تأخیر ۱ ماهه مشاهده شده است. بنابراین وقتی شاخص AAO در فاز مثبت قرار گیرد و فشار هوا در قطب جنوب افزایش یابد این افزایش فشار، باعث تقویت جریان های غربی در عرض های جغرافیایی میانی می شود این تغییر

مسیر می‌تواند باعث کاهش ورود سامانه‌های بارشی در مناطق جنوب غربی ایران و افزایش وسعت پوشش برفی حوضه آبریز کارون گردد جدول (۷).

جدول (۷): بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه مارس و با تأخیر ۱ ماهه

| شاخص‌های دور پیوند                                                           | NDSI مارس | NDSI مارس با تأخیر ۱ ماهه |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|
| EAWR                                                                         | -.45*     | .436*                     |
| WARMPOOL                                                                     | -0.31     |                           |
| RMM1                                                                         | 0.39      |                           |
| NOA                                                                          | 0.33      |                           |
| EPNP                                                                         |           | .505*                     |
| AAO                                                                          |           | -.438*                    |
| *معنی‌داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و **معنی‌داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹ |           |                           |

در ماه آوریل، تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌دار بین الگوهای دور پیوندی نوسان اسکاندیناوی (SCA) نوسان پاسیفیک شمالی (PBO)، شاخص نوسان جنوبی (OSI) و همچنین شاخص‌های NINO3.4 و NINO4 با پوشش کلی برف (NDSI) دارای رابطه مثبت و معنی‌داری به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۱، ۰/۵۱، ۰/۴۸، ۰/۴۶ و ۰/۴۶ در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده شده است. این شاخص‌ها که عمدتاً با تغییرات دمای سطح دریا در مناطق مختلف اقیانوس آرام با ال نینو/لا نینا مرتبط هستند با افزایش شدت و گرایش به فاز مثبت می‌تواند منجر به افزایش وسعت پوشش برف حوضه مورد مطالعه شوند. علاوه بر این همبستگی مثبت قابل توجهی بین الگوهای دور پیوند EAWR، NOA، PDO و RMM1 و همبستگی منفی قابل توجه با عدم معنی‌داری با الگوی دور پیوند RMM2 مشاهده شد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که الگوهای دور پیوندی ذکر شده به‌طور بالقوه می‌توانند به عنوان شاخص‌هایی برای تغییرات پوشش برف عمل کنند جدول (۸). از طرفی بررسی تأثیر الگوهای دور پیوندی بر پوشش برف حوضه مورد نظر با ۱ ماه تأخیر نشان داد که الگوهای نوسان پاسیفیک شمالی (PBO)، نوسانات دمای سطح دریا در ناحیه استوایی مرکزی و شرقی اقیانوس آرام (NINO4) و الگوی نوسان شمالی شرق اقیانوس آرام (EPNP) با پوشش برف ماه آوریل رابطه مثبتی معنی‌داری به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۳، ۰/۴۳ و ۰/۴۳ در سطح اطمینان ۰/۰۵ داشته است. بنابراین تقویت این الگوهای دور پیوندی با ۱ ماه تأخیر (مارس) می‌تواند به افزایش پوشش برف در حوضه مورد مطالعه در ماه آوریل منجر شود. از سوی دیگر، الگوی نوسان اطلس شرقی-اروپای غربی (EAWR)، که با کاهش فشار هوا در اطلس شرقی و افزایش فشار در اروپای غربی مشخص می‌شود، دارای رابطه منفی و معنی‌داری با ضریب همبستگی ۰/۴۳۵- در سطح اطمینان ۰/۰۵ با پوشش کلی برف داشته است. این یافته حاکی از آن است که فازهای مثبت این الگو، می‌تواند با تغییر الگوهای گردش جوی و تأثیر بر بارش و دما، موجب کاهش پوشش برف در این حوضه شود جدول (۸).

جدول (۸): بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه آوریل و با تأخیر ۱ ماهه

| شاخص‌های دور پیوند                                                           | NDSI آوریل | NDSI آوریل با تأخیر ۱ ماهه |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|
| NOA                                                                          | 0.37       |                            |
| EAWR                                                                         | 0.40       | -.435*                     |
| SCA                                                                          | .508*      |                            |
| PBO                                                                          | .515*      | .530*                      |
| PDO                                                                          | 0.41       |                            |
| OSI                                                                          | .485*      |                            |
| NINO3.4                                                                      | .482*      |                            |
| NINO4                                                                        | .460*      | .433*                      |
| RMM1                                                                         | 0.33       | 0.31                       |
| RMM2                                                                         | -0.37      |                            |
| EPNP                                                                         |            | .431*                      |
| *معنی‌داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و **معنی‌داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹ |            |                            |

در ماه می بین الگوهای دور پیوند PBO، ONI و NINO4 با پوشش برف این حوضه رابطه مثبت و معنی داری به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۴۴، ۰/۴۳ و ۰/۴۴ در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده شد. این ارتباط مثبت نشان دهنده تأثیر الگوهای گرمایی اقیانوسی بر تغییرات پوشش برف حوضه آبریز کارون است. به صورتی که در دوره‌هایی که شاخص‌های ذکر شده گرایش به فاز مثبت و افزایشی داشته باشند (ال نینو)، وسعت پوشش برف این حوضه نیز به صورت هم‌زمان افزایش می‌یابد. همچنین در رابطه با الگوی دور پیوند NINO3.4 همبستگی مثبت قابل توجهی ( $R = 0.39$ ) با الگوی NOA همبستگی منفی قابل توجه با عدم معنی داری مشاهده شد جدول (۹). در ماه می با ۱ ماه تأخیر نیز ارتباط الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج بین الگوهای دور پیوند SCA با وسعت پوشش برف رابطه معنی دار و مثبتی در سطح ۰/۰۱ با ضریب همبستگی ۰/۷۸۶ مشاهده شد. بنابراین با افزایش مقدار شاخص SCA به فاز مثبت خود (یعنی افزایش فشار سطح دریا در اقیانوس اطلس شمالی) در ماه آوریل افزایش وسعت پوشش برف در حوضه آبریز کارون در ماه می را می‌توان انتظار داشت.

بررسی بیشتر نشان می‌دهد که با یک ماه تأخیر در ماه می، الگوهای NINO به ویژه NINO3.4 و NINO4 در سطح اطمینان ۰/۰۵ ارتباط مثبت و معنی داری با ضریب همبستگی ۰/۴۵، ۰/۴۴ و ۰/۴۳ با پوشش برف حوضه مورد مطالعه داشته است. این رابطه می‌تواند ناشی از تأثیر فاز مثبت انسو بر الگوهای بارش و ذوب پوشش برفی در منطقه زاگرس باشد. در مقابل، بین الگوی دور پیوند RMM2 (که به فازهای مادن-جولیان یا MJO مرتبط است) با وسعت پوشش برف، رابطه منفی و معنی داری با ضریب همبستگی ۰/۵۰- در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده شد. این بدان معناست که افزایش مقادیر شاخص RMM2 با کاهش پوشش برف همراه است. این پدیده ممکن است به تغییر در الگوهای همرفت و انتقال رطوبت ناشی از MJO باشد که شرایط را برای بارش برف و افزایش وسعت پوشش برف در این منطقه مساعدتر می‌کند جدول (۹).

جدول (۹): بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه می و با تأخیر ۱ ماهه

| شاخص‌های دور پیوند | NDSI ماه می | NDSI ماه می با تأخیر ۱ ماهه |
|--------------------|-------------|-----------------------------|
| SCA                |             | .786**                      |
| PBO                |             | 0.39                        |
| NOA                | -0.31       |                             |
| PBO                | .44*        |                             |
| ONI                | .43*        | .45*                        |
| NINO3.4            | 0.39        | .44*                        |
| NINO4              | .44*        | .43*                        |
| RMM2               |             | -.50*                       |

\*معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و \*\*معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ماه نوامبر، بین الگوهای دور پیوند EAWR (الگوی نوسان اروپای شرقی-غربی)، SCA (الگوی اسکاندیناوی) و NINO4 (که به نوسانات دمایی در بخش مرکزی-غربی اقیانوس آرام استوایی مربوط می‌شود) با وسعت پوشش برف حوضه آبریز کارون، رابطه مثبت و معنی داری به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۲ و ۰/۴۶ در سطح اطمینان ۰/۰۵ داشته است. بنابراین گرایش به فاز مثبت الگوی NINO4 که با افزایش دمای سطحی آب در این ناحیه همراه است، به افزایش وسعت پوشش برف در حوضه آبریز کارون کمک می‌کند. از سوی دیگر، الگوی دور پیوند AMO (نوسان اطلس شمالی) با وسعت پوشش برف رابطه منفی معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۱ با ضریب همبستگی ۰/۵۶- داشته است. این بدان معناست که افزایش مقادیر شاخص AMO (تغییرات دمای سطحی آب‌های اقیانوس اطلس شمالی) که معمولاً فاز گرم آن با افزایش دما و کاهش بارش برف در مناطق تحت تأثیر همراه است می‌تواند به کاهش پوشش برف در حوضه کارون نیز منجر شود جدول (۱۰). طبق نتایج به دست آمده بین الگوی دور پیوند NINO3.4 با تأخیر یک‌ماهه نیز رابطه مثبت معنی داری با ضریب همبستگی ۰/۴۵ در سطح اطمینان ۰/۰۵ با پوشش برفی مشاهده شده است. بنابراین با افزایش

مقادیر شاخص NINO3.4، افزایش پوشش برفی با تأخیر ۱ ماهه در حوضه آبریز رودخانه کارون ایجاد می‌شود. همچنین شاخص WARMPOOL و WP همبستگی منفی قابل توجه اما بدون معنی‌داری با تأخیر ۱ ماهه در ماه نوامبر با پوشش برفی حوضه آبریز کارون دارد. جدول (۱۰).

جدول (۱۰): بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه نوامبر و با تأخیر ۱ ماهه

| شاخص‌های دور پیوند                                                           | NDSI<br>ماه نوامبر | NDSI<br>ماه نوامبر با تأخیر ۱ ماهه |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| EAWR                                                                         | .525*              |                                    |
| SCA                                                                          | .465*              |                                    |
| AMO                                                                          | -.561*             |                                    |
| NINO4                                                                        | .461*              |                                    |
| ESPI                                                                         | 0.39               |                                    |
| WP                                                                           |                    | -0.31                              |
| WARMPOOL                                                                     |                    | -0.39                              |
| NINO3.4                                                                      |                    | .455*                              |
| *معنی‌داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و **معنی‌داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹ |                    |                                    |

در ماه دسامبر مشخص گردید به صورت هم‌زمان در سطح اطمینان ۰/۰۱ رابطه مثبت بسیار قوی و معنی‌داری بین الگوهای دور پیوند NINO3.4، NINO4، NINO3.1، ONI، ESPI و الگوی MEIVE2 به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۵، ۰/۵۶، ۰/۵۶، ۰/۵۴، ۰/۵۹ و ۰/۵۷ با وسعت پوشش برفی حوضه آبریز کارون وجود دارد. همچنین در سطح اطمینان ۰/۰۵ رابطه مثبت و معنی‌داری با الگوی دور پیوند PNA با ضریب همبستگی ۰/۴۶ مشاهده شد. همبستگی مثبت در رابطه با این الگوها بدین معناست که افزایش و گرایش به فاز مثبت در الگوهای ذکر شده، به‌طور متوسط باعث افزایش وسعت پوشش برفی حوضه مورد مطالعه در این ماه می‌شود. قوی بودن رابطه نشان‌دهنده تأثیرگذاری قابل توجه این الگوها بر پوشش برفی در ابتدای فصل سرما در حوضه مورد مطالعه است. از طرفی در سطح اطمینان ۰/۰۵ همبستگی منفی معنی‌داری در رابطه با الگوهای دور پیوند SOI و RMM2 به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۰- و ۰/۴۷- اثبات شده است. همبستگی منفی بدین معنا که با افزایش شاخص این الگوها (مثلاً فاز منفی SOI که نشان‌دهنده شرایط لانینا است)، به‌طور متوسط وسعت پوشش برفی در حوضه کارون کاهش می‌یابد. بنابراین پدیده‌هایی مانند لانینا (فاز منفی SOI) می‌توانند منجر به کاهش پوشش برفی در این حوضه شوند جدول (۱۱). همچنین بررسی ارتباط الگوهای دور پیوند با وسعت پوشش برف در ماه دسامبر با ۱ ماه تأخیر نشان داد بین شاخص WARMPOOL (تغییرات دما در ناحیه اقیانوس هند و غرب اقیانوس آرام) با پوشش برفی حوضه آبریز کارون همبستگی منفی معنی‌داری در سطح اطمینان ۰/۰۱ مشاهده گردید. به عبارت دیگر، با پایش وضعیت شاخص WARMPOOL در ماه نوامبر، می‌توان برآوردی از میزان پوشش برفی احتمالی در حوضه کارون در ماه دسامبر به دست آورد. بنابراین گرایش به مقادیر بالاتر شاخص WARMPOOL در نوامبر، هشدار برای احتمال پوشش برفی کمتر در دسامبر خواهد بود. همچنین بین الگوی دور پیوند SOI با پوشش کلی برف در سطح اطمینان ۰/۰۵ همبستگی منفی معنی‌داری مشاهده می‌گردد. در رابطه با الگوهای دور پیوند NINO3.4، NINO4، MEIVE2، ESPI، NINO3.1 و NINO1 با ۱ ماه تأخیر نیز رابطه مثبت بسیار قوی تا قوی با پوشش برف در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۵۵، ۰/۵۵، ۰/۵۶، ۰/۶۳، ۰/۶۴، ۰/۵۳ و ۰/۴۶ مشاهده شد. همبستگی مثبت و قوی بودن آن در سطوح اطمینان بالا، مجدداً تأکید بر نقش مهم پدیده‌های ENSO و شاخص‌های مرتبط با آن بر پوشش برفی حوضه کارون دارد. ضرایب بالای همبستگی نشان‌دهنده تأثیرگذاری قابل توجه این الگوها با در نظر گرفتن تأخیر یک‌ماهه است. جدول (۱۱).

جدول (۱۱): بررسی همبستگی بین الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون در ماه دسامبر و با تأخیر ۱ ماهه

| شاخص‌های دور پیوند | NDSI<br>دسامبر | NDSI<br>دسامبر با تأخیر ۱ ماهه |
|--------------------|----------------|--------------------------------|
| WARMPOOL           |                | -.62**                         |
| PNA                | .46*           |                                |
| SOI                | -.50*          | -.45*                          |
| ONI                | .55**          | .55**                          |
| NINO3.4            | .56**          | .55**                          |
| NINO4              | .56**          | .56**                          |
| NINO3.1            | .54**          | .53*                           |
| NINO1              | 0.42           | .46*                           |

|                                                                              |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| MEIVE2                                                                       | .59** | .63** |
| ESPI                                                                         | .57** | .64** |
| RMM2                                                                         | -.47* |       |
| *معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و **معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹ |       |       |

بررسی ارتباط الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز کارون طی دوره سرد و بارشی (ماه اکتبر تا می) نیز انجام شد. طبق نتایج به دست آمده ارتباط مثبت و معنی داری در سطح ۰/۰۵ بین الگوهای دور پیوند SOI، NINO3.4، NINO4، MEIVE2، ESPI و EPO به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۴۳، ۰/۴۶، ۰/۴۶، ۰/۴۸، ۰/۴۵، ۰/۴۲ و ۰/۴۳ با وسعت پوشش برف حوضه آبریز کارون مشاهده شد. بنابراین الگوهای نوسانات نینو به ویژه NINO3.4، NINO4 و NINO3.1 و همچنین شاخص های نوسان چند متغیره اقیانوس اطلس شرقی (MEIVE2)، نوسان اقیانوس آرام شرقی (EPO) و نوسان فشار سطحی اقیانوس اطلس شرقی (ESPI) با گرایش به فاز مثبت خود با افزایش وسعت پوشش برف مرتبط هستند. همچنین بین الگوی دور پیوند Solar Flux با پوشش برف رابطه عکس و معنی داری (با ضریب همبستگی ۰/۴۳-) در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده می شود. این یافته نشان می دهد که افزایش فعالیت خورشیدی می تواند نقشی منفی در پوشش برف دوره سرد سال این حوضه ایفا کند. جدول (۱۲).

جدول (۱۲): بررسی ارتباط الگوهای دور پیوند با پوشش برف حوضه آبریز رودخانه کارون (نوامبر تا می)

|                                           |       |
|-------------------------------------------|-------|
| شاخص های دور پیوند                        | NDSI  |
| Solar Flux                                | -.43* |
| SOI                                       | .43*  |
| ONI                                       | .46*  |
| NINO3.4                                   | .46*  |
| NINO4                                     | .44*  |
| NINO3.1                                   | .48*  |
| MEIVE2                                    | .45*  |
| ESPI                                      | .42*  |
| EPO                                       | .43*  |
| *معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۵ و ** |       |
| *معنی داری آماری با سطح اطمینان ۰/۹۹      |       |

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق با رویکرد ویژه آن، برای نخستین بار روند پوشش برفی حوضه آبریز کارون و ارتباط سیگنال های اقلیمی مورد نظر را با وسعت پوشش برفی مورد واکاوی قرار داده است. طبق نتایج به دست آمده طی سری زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲) به طور میانگین این حوضه بیش از ۷ ماه سال پوشیده از برف است که میانگین آن به ۷۰۴۶ کیلومتر مربع رسیده است. تحلیل داده ها نشان می دهد که روند تغییرات پوشش برفی در این حوضه به طور کلی به شکل کاهشی است، با این حال در برخی موارد این کاهش با جهش منفی قابل توجه همراه بوده است. به طور خاص، بیشترین کاهش وسعت پوشش برفی در ماه های ژانویه و فوریه مشاهده شده است. نتایج یک پژوهش بر روی تغییرات پوشش برف شمال غرب ایران نیز نشان داد همانند نتایج این پژوهش روند پوشش برف در ماه های سرد سال به شدت کاهش یافته است (Fattahi & Moghimi, 2019). به طور کلی میانگین وسعت پوشش برفی طی دوره سرد سال (از ماه نوامبر تا می) در حوضه آبریز کارون روند منفی معنی دار با جهش کاهشی دارد.

از طرفی بررسی ارتباط الگوهای دور پیوند با وسعت پوشش برفی حوضه آبریز کارون به صورت هم زمان و با تأخیر انجام شد. طبق نتایج به دست آمده در ماه های زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) به صورت هم زمان و با تأخیر بین الگوهای دور پیوند EA، EAWR، GMSST و AAO همبستگی منفی معنی دار با پوشش برف حوضه مشاهده شد. اما در مارس بین الگوی EPNP به صورت هم زمان همبستگی مثبت و با تأخیر ۱ ماهه همبستگی منفی مشخص است. نتایج یک مطالعه نیز نشان از ارتباط معنی دار بین پوشش برف سیبری با امواج بزرگ سیاره ای و برخی الگوهای فشار هوا در اقیانوس آرام و بادهای غربی اطراف قطب (گردباد قطبی) دارد (Wang et al 2024). همچنین مشخص شد در فصل بهار، به ویژه در ماه های آوریل و می، رابطه های معنی دار بین برخی از الگوهای دور پیوند و وسعت پوشش برفی حوضه آبریز کارون وجود دارد. به طوری که در ماه آوریل بین

الگوهای NINO4، NINO3.4، OSI، ONI، OSI.PBO، NINO4 الگوهای مثبت و معنی داری با الگوی EAWR همبستگی منفی معنی دار مشاهده شد. همچنین در ماه می با الگوهای PBO و NINO3.4 و پوشش برف به صورت همزمان از طرفی با الگوهای SCA و NINO (به ویژه NINO3.4 و NINO4) با تأخیر ۱ ماهه همبستگی مثبت و معنی داری نشان می دهند. به طور متمایز با الگوی RMM2 در این ماه با پوشش برف همبستگی منفی و معنی داری مشاهده شده است. همچنین در فصل پاییز بیشترین فراوانی همبستگی بین الگوهای دور پیوند مورد مطالعه با پوشش برف در ماه نوامبر، بین الگوهای EAWR، SCA، NINO4 و NINO3.4 با همبستگی مثبت و با شاخص AMO با همبستگی منفی مشاهده شده است. در ماه دسامبر نیز بین الگوهای ENSO (به ویژه NINO3.4، NINO4، NINO3.1، ONI، MEIv2، ESPI) و الگوی PNA همبستگی مثبت و با شاخص های SOI و RMM2 همبستگی منفی معنی دار ایجاد شد. نتایج یک مطالعه نشان از همبستگی مثبت معنی داری بین تغییرات پوشش برف کوه های مرکزی توروس ترکیه با شاخص های نوسان قطب شمال (AO)، نوسان اطلس شمالی (NAO) و نوسان مدیترانه ای (MO) دارد (Erlat et al, 2024). بررسی طی دوره سرد سال (از ماه نوامبر تا می) نیز نشان از همبستگی های مثبت معنی داری بین الگوهای دور پیوند NINO3.1، NINO4، NINO3.4، EPO، ESPI، MEIv2 با وسعت پوشش برف است. همچنین همبستگی منفی معنی دار در رابطه با الگوی دور پیوند Solar Flux مشاهده شد. این یافته ها نشان دهنده تأثیرگذاری فاز مثبت الگوهای NINO که با افزایش دمای آب سطح دریا در شرق اقیانوس آرام همراه است با افزایش وسعت پوشش برف حوضه مورد مطالعه دارد. از طرفی همبستگی های منفی مانند شاخص تابش خورشیدی (Solar Flux) با پوشش برف، می توان نتیجه گرفت که افزایش تابش خورشید، منجر به افزایش دمای هوا و تسریع ذوب برف در حوضه مورد مطالعه می شود. نتایج این مطالعه نشان می دهد که وسعت پوشش برفی حوضه ی آبریز کارون در زاگرس، که از مهم ترین منابع تأمین آب برای کشاورزی، شرب و صنعت در مناطق پایین دست این حوضه محسوب می شود، تحت تأثیر سیگنال های اقلیمی قرار دارد. این سیگنال ها، که دارای قابلیت پیش بینی هستند، می توانند تغییرات دوره ای میزان ذخایر برفی را تعیین کنند. از این رو، پایش و تحلیل این نوسانات می تواند ابزاری کارآمد در ارائه هشدارهای زودهنگام و برنامه ریزی بهینه منابع آب، مدیریت بحران خشک سالی و کاهش ریسک های مرتبط با کمبود آب در سال های آتی کمک کند.

#### منابع

- Ahmadi, M., SeyedmirZaei, Z., 2022. **Monitoring Snow Cover Changes During the Cold Period in Iran Based on MODIS Sensor Data.** *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/10.52547/gisj.14.1.59>.
- Alijani, B., 2012. **Synoptic Climatology.** Post Publishing, University of Tehran.
- Alijani, B., Hooshyar, M., 2008. **Identifying Synoptic Patterns of Intense Capital Northwest Iran.** *Natural Geography Research*, No. 65, pp. 16-1. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_27756.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_27756.html)
- Alonso-González, E., López-Moreno, J. I., Navarro-Serrano, F. M., Revuelto, J., 2019. **Impact of North Atlantic oscillation on the snowpack in Iberian Peninsula Mountains.** *Water*, 12(1), 105. <https://doi.org/10.3390/w12010105>
- Arif, H., Mehmood, S. A., & Ahmad, H. H. 2021. **Spatiotemporal variations in snow cover using Google Earth engine in Gilgit-Baltistan, Pakistan.** *Hydroy Water Res.* [https://www.researchgate.net/publication/395188999\\_Spatiotemporal\\_Variations\\_in\\_Snow\\_Cover\\_using\\_Google\\_Earth\\_Engine\\_in](https://www.researchgate.net/publication/395188999_Spatiotemporal_Variations_in_Snow_Cover_using_Google_Earth_Engine_in)
- Bahrami-Pichaghchi, H., Aghelpour, P., 2023. **An estimation and multi-step ahead prediction study of monthly snow cover area, based on efficient atmospheric-oceanic dynamics.** *Climate Dynamics*, 60(3), 743-765. DOI:[10.1007/s00382-022-06341-x](https://doi.org/10.1007/s00382-022-06341-x)
- Barnett, T. P., Adam, J. C., Lettenmaier, D. P., 2005. **Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions.** *Nature*, 438(7066), 303-309. <https://www.nature.com/articles/nature04141>
- Choubin, B., Roshan, H., Sajedi-Hosseini, F., Rahmati, O., Melesse, A. M., Singh, V. P., 2019. **Effects of large-scale climate signals on snow cover in Khersan watershed, Iran.** In *Extreme hydrology and climate variability* (pp. 1-10). Elsevier. DOI:[10.1016/B978-0-12-815998-9.00001-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00001-4)

- E.G Başkan., 2016. **A Proposed model for understanding the impacts of climate change on tangible cultural heritage.** <https://hdl.handle.net/11511/25480>
- EnteZami, H., Moghaddam, F., Darand, M., Shahabi, H., 2021. **Investigation of the trend of snow cover changes in the Sefidrud Basin using remote sensing.** *Geography and Environmental Sustainability*, 11(2), 1-18. <https://doi.org/10.22126/ges.2021.6068.2363>
- Erlat, E., Aydin-Kandemir, F., 2024. **Changes in snow cover extent in the Central Taurus Mountains from 1981 to 2021 in relation to temperature, precipitation, and atmospheric teleconnections.** *Journal of Mountain Science*, 21(1), 49-67. DOI:[10.1007/s11629-023-8109-3](https://doi.org/10.1007/s11629-023-8109-3)
- Fattahi E, moghimi S., 2019. **Investigation of snow cover changes affected by climate change In North West of Iran.** *Jgs*, 19(54), 47-63. [Doi 10.29252/jgs.19.54.47](https://doi.org/10.29252/jgs.19.54.47).
- Gerland, S., Winther, J. G., Ørbæk, J. B., Liston, G. E., Øritsland, N. A., Blanco, A., Ivanov, B., 1999. **Physical and optical properties of snow covering Arctic tundra on Svalbard.** *Hydrological Processes*, 13(14-15), 2331-2343. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199910\)13:14/15<2331::AID-HYP855>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199910)13:14/15<2331::AID-HYP855>3.0.CO;2-W).
- Gholami, R., Saadatinejad, J., & Melkian, A., 2018. **A review of studies on the impact of teleconnection patterns on Iran's climate (1999–2014).** *Nivar*, 42(102–103), 73–88. [10.30467/nivar.2018.81045](https://doi.org/10.30467/nivar.2018.81045)
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., Bayr, K. J., 2002. **MODIS snow-cover products.** *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 181-194. <https://doi.org/10.3390/w12010105>.
- IranneZhad, M., Abdulghafour, Z., Sadeqi, A., 2024. **Climate teleconnections influencing historical variations, trends, and shifts in snow cover days in Finland.** *Earth Systems and Environment*, 8(4), 1601-1613. DOI:[10.1007/s41748-024-00466-1](https://doi.org/10.1007/s41748-024-00466-1)
- Jin, J., Miller, N. L., Sorooshian, S., GAO, X., 2006. **Relationship between atmospheric circulation and snowpack in the western USA.** *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(4), 753-767. DOI:[10.1002/hyp.6126](https://doi.org/10.1002/hyp.6126)
- Kakapour, S., 2011. **Analysis of the impacts of teleconnection patterns of the North Sea – Caspian on precipitation fluctuations in northwestern and western Iran.** Master's thesis, Tarbiat Modares University.
- Kendall, K., 1975. **Thin-film peeling-the elastic term.** *Journal of Physics D: Applied Physics*, 8(13), 1449. DOI [10.1088/0022-3727/8/13/005](https://doi.org/10.1088/0022-3727/8/13/005).
- KhodabakhshneZhad, A., Pourkeramani, M., Ariyan, M., Motekan, A. A., Cheraghi, A., 2015. **Active tectonics of the Greater Karun River Basin.** *Journal of Earth Sciences*, 24(95 - Tectonics), 13-28. <https://doi.org/10.2207/gsj.2015.41779>.
- Mann, H. B., 1945. **Nonparametric tests against trend.** *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- Marsh, P., Woo, M. K., 1985. **Meltwater movement in natural heterogeneous snow covers.** *Water Resources Research*, 21(11), 1710-1716. doi: [10.1029/wr021i011p01710](https://doi.org/10.1029/wr021i011p01710).
- Masiokas, M. H., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C., Aravena, J. C., 2006. **Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region.** *Journal of climate*, 19(24), 6334-6352. <https://doi.org/10.1175/JCLI3969.1>
- Motiee, S., Motiee, H., Ahmadi, A. 2024. **Analysis of rapid snow and ice cover loss in mountain glaciers of arid and semi-arid regions using remote sensing data.** *Journal of Arid Environments*, 222, 105153. DOI:[10.1016/j.jaridenv.2024.105153](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105153).
- Mirmousavi, S. H., & Sabour, L. 2014. **Monitoring snow cover changes using MODIS sensor images in the northwest region of Iran.** *Geography and Development Journal*, 12(35), 181–200. <https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1562>
- Omidvar, K. 2019. **Relationship between Atmosphere and Ocean Climatology.** Yazd University Press, Second Edition.
- Parajka, J., Blöschl, G. 2012. **MODIS-based snow cover products, validation, and Hydrologic applications.** Multiscale Hydrologic Remote Sensing: Perspectives and Applications, edited by: Chang, N.-B. And Hong. DOI:[10.1201/b11279-13](https://doi.org/10.1201/b11279-13).

- Rahimi, D., Danapour, M. 2012. **Analysis of climate oscillations affecting snow elevation (Kohrang region).** *Scientific-Research Quarterly of Geographical Space*, Year 12, Issue 38, pp. 61-75. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-870-fa.html>.
- Rango, A., Walker, A.E., Goodison, B.E. 2000. **Snow and Ice.** Pp. 239-270, In: G.A. SchultZ & E.T. Engman (Eds.), *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*, Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-59583-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-59583-7_11)
- Riggs, G. A., Hall, D. K., Salomonson, V. V., 2006. **MODIS snow products user guide to collection 5.** *Digital Media*, 80(6), 1-80. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-59583-7\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-59583-7_11)
- Sabzipvar, A. A., FiroZmand, Z., Varshavian, V., 2020. **Investigating the impact of teleconnection phenomena on the shift in the occurrence date of the first and last autumn and spring frosts.** *Journal of Physical Geography Research*, 52(2), 295, 295 311. [10.22059/jphgr.2020.276741.1007345](https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.276741.1007345)
- Sadrianzadeh, M., Kharazi, H. G., Eslami, H., Fathian, H., & Telvari, A. (2023). Impact of climate change on the precipitation trend and phase in snow-dominated mountain basins (Central Zagros Mountains, Iran). *Water Resources*, 50(1), 48-57. <https://doi.org/10.1134/S0097807823010141>
- Schneebeli, M., 2002. **The importance of the microstructure of snow in nature and engineering.** *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 57. DOI:[10.3189/172756404781815284](https://doi.org/10.3189/172756404781815284).
- Sen, A. K. 1968. **On a gpt estimator of slope.** *Biometrika*, 55(1), 13-29.
- Sherafat M, fathnia A., 2019. **Monitoring the Spatial-Temporal Changes of Snow Surfaces in Zagross Mountains using NOAA-AVHRR Images.** *MJSP*, 23(2), 173-194. [20.1001.1.16059689.1398.23.2.6.9](https://doi.org/10.16059689.1398.23.2.6.9)
- Tarca, G., Guglielmin, M., Convey, P., Worland, M. R., Cannone, N., 2022. **Small-scale spatial-temporal variability in snow cover and relationships with vegetation and climate in maritime Antarctica.** *Catena*, 208, 105739. DOI:[10.1016/j.catena.2021.105739](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105739)
- Lopez-Moreno, J. I., & Vicente-Serrano, S. M. (2007). Atmospheric circulation influence on the interannual variability of snow pack in the Spanish Pyrenees during the second half of the 20th century. *Hydrology Research*, 38(1), 33-44. DOI:[10.2166/nh.2007.030](https://doi.org/10.2166/nh.2007.030)
- Wang, Q., Duan, A., Zhang, C., Peng, Y., Xiao, C., 2024. **A connection from Siberian snow cover to Arctic stratospheric oZone.** *Atmospheric Research*, 107507. DOI:[10.1016/j.atmosres.2024.107507](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107507)
- Zandi Far, S., Fijani, E., Naeimi, M., Ebrahimi Khosfi, M., 2021. **Analysis of temporal and spatial variations of groundwater drought: A case study of the Greater Karun Basin.** *Journal of Water and Soil Science*, 31(3), 101-118. [dio: 10.22034/ws.2021.12243](https://doi.org/10.22034/ws.2021.12243)
- Zhang, G., Vivekanandan, J., Brandes, E. A., Meneghini, R., KoZu, T., 2003. **The shape-slope relation in observed gamma raindrop siZe distributions: Statistical error or useful information.** *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(8), 1106-1119. DOI:[10.1175/15200426\(2003\)020<1106:TSRIOG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200426(2003)020<1106:TSRIOG>2.0.CO;2)
- Zhang, T., Feng, Y., Chen, H., 2023. **Revealing the formation of the dipole mode of Eurasian snow cover variability during late autumn.** *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(6), e2022JD038233. <https://doi.org/10.1029/2022JD038233>
- Zhang, Y., Cao, T., Kan, X., Wang, J., Tian, W., 2017. **Spatial and temporal variation analysis of snow cover using MODIS over QinghaiTibetan Plateau during 2003–2014.** *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(5), 887-897. [10.1007/s12524-016-0617-y](https://doi.org/10.1007/s12524-016-0617-y)
- Zinali, B., Qaleh, E., Saferi, S., 2021. **Extraction of snow-covered area of Sabalan Mountain using object-based classification of Landsat satellite images.** *Hydrogeomorphology*, 8(26), 79-97. <https://doi.org/10.22034/hy.2021.43548.1566>