

Assessment of Snow Cover (NDSI) Variations in the Maroon River Basin during 2001–2022 and Their Influence on the River’s Hydrological Regime

Nezam Tani¹ , Kmal Omidvar^{1*} 

¹Department of Meteorology, Faculty of Geographical Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 26 January 2026

Revised 05 February 2026

Accepted 15 February 2026

Published online 22 June 2026

Keywords:

Snow Cover
Discharge
Trend
Correlation
Maroon River

ABSTRACT

Objective: In mountainous regions of the Zagros, including the Maroon Basin in southwestern Iran, snow is the primary source of annual runoff. However, recent climatic changes, particularly rising temperatures and shifts in precipitation patterns, have altered the temporal and spatial distribution of snow accumulation and snowmelt. These changes have important implications for river hydrological regimes. Accordingly, this study investigates the temporal and spatial trends of snow cover and analyzes its relationship with Maroon River discharge over the period 2001–2022 to clarify the role of snow-cover changes in surface-flow dynamics.

Methods: River discharge data from the Idenak hydrometric station (upstream of Maroon Dam) were also used, and missing data were reconstructed using regression methods. To investigate the relationship between snow cover and river discharge, Pearson correlation analysis was performed for both simultaneous and lagged relationships. Since snowmelt in the Maroon Basin typically occurs from late winter to mid-spring, lag effects of up to two months were considered to capture delayed runoff responses associated with snowmelt. All analyses were conducted using ArcGIS, Excel, and SPSS software.

Results: The results showed a significant declining trend in snow cover during most months, particularly from January to March. Seasonal analysis also indicated a decreasing trend in snow-covered area during the snow season (October–May), with $Z = -1.58$ ($p < 0.05$). Sen’s slope estimates showed an average reduction of approximately 7.28 km² in snow-covered area per year during winter. Correlation analysis revealed the strongest positive relationship between NDSI and Maroon River discharge during the snowmelt period (March–May), both simultaneously and with time lags of one to two months, with correlation coefficients reaching 0.75.

Conclusions: The significant decline in snow cover and its strong correlation with river discharge, both simultaneously and with 1–2-month delays, indicate a reduction in snow persistence and earlier snowmelt in the Maroon Basin during the past two decades. These changes have altered the hydrological regime of the Maroon River.

This study, by combining long-term MODIS-based snow-cover trend analysis with simultaneous and lagged evaluation of the relationship between NDSI and river discharge at multiple temporal scales, provides a robust understanding of the dynamic relationship between snow-cover changes and surface-flow behavior in this critical basin.

*Corresponding author, Email: komidvar@yazd.ac.ir

Cite this article: Tani, N., Omidvari, K. (2026). Assessment of Snow Cover (NDSI) Variations in the Maroon River Basin during 2001–2022 and Their Influence on the River’s Hydrological Regime. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 5(2), 84-100. <https://doi.org/10.22034/nawee.2025.556012.1175>.



© The Author(s).

Publisher: Gonbad Kavous University.

DOI: <https://doi.org/10.22034/nawee.2025.556012.1175>

Introduction

Snow cover is one of the most important components of the hydrological cycle in mountainous environments and plays a fundamental role in regulating runoff generation, groundwater recharge, and seasonal water availability. In many semi-arid and mountainous regions, snow acts as a natural reservoir that stores winter precipitation and gradually releases water during the melting season. The Zagros Mountains of southwestern Iran are among the most important snow-dominated regions of the country, and the Maroon Basin is one of the major watersheds whose hydrological regime is strongly influenced by snow accumulation and snowmelt processes. In recent decades, climate change has altered the timing, duration, and extent of snow cover in many mountain regions worldwide. Rising temperatures, changes in precipitation type, and increasing climate variability have affected both snow accumulation and melt dynamics, resulting in significant consequences for water resources and river discharge regimes. Understanding the temporal and spatial variability of snow cover and its relationship with river flow is therefore essential for sustainable water-resources management, particularly in basins that depend heavily on snowmelt runoff. The present study aims to investigate long-term trends in snow-cover extent across the Maroon Basin during the period 2001–2022 and to evaluate the relationship between snow-cover variability and river discharge at different temporal scales. The study also seeks to determine the extent to which changes in snow cover influence runoff generation and seasonal flow fluctuations in the basin.

Methods

To achieve these objectives, daily snow-cover data derived from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor, specifically the MOD10A1 product, were utilized for the period 2001–2022. Satellite-derived snow information was validated using ground-based snow observations from the Yasuj and Sisakht meteorological stations for the period 2008–2022. Snow-cover conditions were quantified using the Normalized Difference Snow Index (NDSI), which was aggregated into monthly, seasonal, and annual datasets to capture variations at multiple temporal scales. Spatial and temporal trends in snow-cover extent were analyzed using the non-parametric Mann–Kendall trend test, while Sen’s slope estimator was applied to quantify the magnitude and direction of observed changes. Hydrological analysis was conducted using discharge records from the Idenak hydrometric station, located upstream of the Maroon Dam. Missing discharge values were reconstructed using regression-based techniques to ensure data continuity. To examine the relationship between snow-cover dynamics and river discharge, Pearson correlation coefficients were calculated between NDSI values and streamflow records. Both simultaneous and lagged correlation analyses were performed. Considering that snowmelt in the basin typically begins in late winter and extends into spring, lag times of one and two months were evaluated to identify delayed runoff responses associated with snowmelt processes. Data processing, spatial analysis, statistical calculations, and graphical outputs were conducted using ArcGIS, Microsoft Excel, and SPSS software.

Results

The results revealed a clear and widespread decline in snow-cover extent across the Maroon Basin over the study period. Monthly analyses indicated that the most pronounced reductions occurred during the core snow season, particularly from January through March, when snow accumulation traditionally reaches its maximum extent. Seasonal analysis further confirmed a decreasing trend in snow-covered area throughout the snow season (October–May). The Mann–Kendall test detected statistically significant negative trends, indicating a progressive reduction in snow persistence and coverage across the basin. Sen’s slope estimates showed that winter

snow-cover extent decreased by approximately 7.28 km² per year during the study period. The correlation analysis demonstrated a strong hydrological linkage between snow-cover variability and river discharge. The highest positive correlations between NDSI and streamflow were observed during the snowmelt season from March to May, when melting snow contributes significantly to runoff generation. Significant relationships were detected not only under simultaneous conditions but also when discharge was lagged by one and two months. Correlation coefficients reached values as high as 0.75, indicating that snow-cover extent explains a substantial proportion of streamflow variability during the melt season. The lagged relationships highlight the delayed hydrological response of the watershed, reflecting the time required for snowmelt water to reach the river network and contribute to basin discharge. Overall, the results confirm that snowmelt remains the dominant driver of spring runoff in the Maroon Basin despite the observed reduction in snow-cover extent.

Conclusions

The findings of this study provide strong evidence of a significant decline in snow cover and a shortening of snow-retention periods in the Maroon Basin during the last two decades. The observed reduction in snow-covered area, together with the strong concurrent and lagged relationships between snow cover and river discharge, indicates that ongoing climatic changes are altering the hydrological behavior of the basin. Earlier snowmelt and reduced snow storage are likely contributing to shifts in runoff timing and seasonal flow distribution. Such changes may have important implications for water availability, reservoir operation, agricultural water supply, and long-term water-resources sustainability in the region. A major contribution of this research is the integration of long-term MODIS-derived daily snow-cover observations with detailed hydrological analyses of river discharge across multiple temporal scales. The combined use of trend detection techniques and lagged correlation analysis provides a comprehensive understanding of the dynamic interactions between snow-cover variability and runoff generation in a snow-dominated watershed. Given the continued influence of climate change on mountain hydrology, future studies should employ physically based hydrological and climate models, such as DHSVM, VIC, WRF-Hydro, and HBV, to simulate future snow-cover conditions and runoff responses under different climate scenarios. Such efforts will support more effective water-resources planning and adaptive management strategies for the Maroon Basin and other snow-fed watersheds in the Zagros Mountains.

Ethical Considerations

The authors adhered to all ethical principles in conducting and publishing this research, and all authors have approved the final version of the manuscript.

Authors' Contributions

Nezam Tani: Sample preparation, experimental procedures, data collection, calculations, statistical analysis of data, interpretation of results, and preparation of the initial manuscript draft.

Kamal Omidvar: Thesis supervisor; research design, supervision of all stages of the study, review and validation of results, manuscript revision, editing, and final approval of the manuscript.

Data collection: Nezam Tani

Research report preparation: Kamal Omidvar

Data analysis: Nezam Tani and Kamal Omidvar

Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest (financial, professional, or personal) that could have influenced the results or interpretation of this study.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to all individuals who contributed to the completion of this research, especially the respected reviewers whose valuable comments and suggestions helped improve the quality and completeness of the study.



واکاوی تغییرات پوشش برف (NDSI) حوزه آبریز رودخانه مارون طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۲ و

تأثیر آن بر رژیم هیدرولوژیکی این رودخانه

نظام تنی^۱، کمال امیدوار^{۱*}

^۱گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	هدف: پوشش برف به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه‌ی هیدرولوژیکی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تعادل آبی، تنظیم رواناب سطحی و تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی دارد. در نواحی کوهستانی زاگرس از جمله حوزه‌ی مارون، برف منبع اصلی رواناب سالانه محسوب می‌شود. با این حال، تغییرات اقلیمی اخیر از جمله افزایش دما و تغییر الگوی بارش، سبب دگرگونی در توزیع زمانی و مکانی انباشت و ذوب برف شده است. این تغییرات پیامدهای قابل توجهی بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها دارند. بر همین اساس، هدف پژوهش حاضر بررسی روند زمانی و مکانی پوشش برف و تحلیل همبستگی آن با دبی رودخانه مارون در دوره‌ی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ به منظور تبیین نقش تغییرات برف در رفتار جریان سطحی است.
تاریخ دریافت:	۱۴۰۴/۱۱/۰۶
تاریخ بازنگری:	۱۴۰۴/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۴/۱۱/۲۶
تاریخ انتشار:	۱۴۰۵/۰۴/۰۱
کلیدواژه‌ها:	مواد و روش‌ها: در این پژوهش از داده‌های روزانه‌ی پوشش برف سنجنده‌ی (MODIS) محصول (MOD10A1) برای دوره‌ی ۲۲ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲) و داده‌های برف ایستگاه‌های یاسوج و سی سخت طی سری زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۸-۲۰۲۲) برای اعتبار سنجی داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد. برای تحلیل روند از آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن جهت برآورد میزان تغییرات بهره گرفته شد. برای بررسی رابطه‌ی میان پوشش برف و دبی رودخانه، از ضریب همبستگی پیرسون به صورت هم‌زمان و با تأخیر نیز استفاده شد بنابراین با توجه به اینکه در حوزه مارون، فرآیند ذوب برف معمولاً از اواخر زمستان تا اواسط بهار ادامه دارد اثر تأخیری ذوب برف بر جریان سطحی رودخانه نیز تا ۲ ماه تأخیر بررسی شد. کلیه‌ی تحلیل‌ها در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS، Excel و SPSS انجام شد.
پوشش برف	نتایج: نتایج نشان داد روند پوشش برف در اغلب ماه‌ها، به‌ویژه از ژانویه تا مارس به صورت معنی دار و در مقیاس دوره برفی (اکتبر تا می) این روند کاهشی ($Z = -1/58$) نیز همچنان مشهود ($p < 0.05$) است؛ نتایج شیب سن (Q) طی فصل زمستان نیز نشان از کاهش $7/28$ کیلومترمربعی وسعت پوشش برف در هر سال را داشته است. از طرفی نتایج همبستگی نیز نشان داد بیشترین رابطه مثبت میان شاخص NDSI و دبی رودخانه مارون در ماه‌های ذوب برف (مارس تا مه) به صورت هم‌زمان و با تأخیر زمانی یک تا دو ماهه (r تا $0/75$) است که نشان‌دهنده‌ی نقش ذوب برف به عنوان یکی از عوامل تغذیه‌ی جریان‌های سطحی رودخانه مورد مطالعه بوده است.
دبی	نتیجه‌گیری: این پژوهش در ترکیب تحلیل روند بلندمدت پوشش برف مبتنی بر داده‌های روزانه MODIS با ارزیابی هم‌زمان و تأخیری رابطه‌ی NDSI و دبی رودخانه مارون در مقیاس‌های مختلف زمانی است؛ این رویکرد وابستگی دینامیک بین تغییرات وسعت پوشش برف و رفتار جریان سطحی را در این حوزه‌ی حیاتی با دقت زمانی بالا تبیین کرده است. از این رو استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی اقلیمی و هیدرولوژیکی مانند DHSVM، VIC، WRF-Hydro و HBV برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش برف و رواناب در این حوزه توصیه می‌شود.
روند	
همبستگی	
رودخانه مارون	

*نویسنده و مسئول: Email: komidvar@yazd.ac.ir

استناد: تنی، ن؛ امیدوار، کمال (۱۴۰۵). واکاوی تغییرات پوشش برف (NDSI) حوزه آبریز رودخانه مارون طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۲ و تأثیر آن بر رژیم

هیدرولوژیکی این رودخانه. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۵ (۲)، ۸۴-۱۰۰.

<https://doi.org/10.22034/nawee.2025.556012.1175>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.



مقدمه

بررسی سیلاب و پیش-بینی حجم احتمالی آن یکی از مشکلات اساسی مدیران حوضه آبریز است که برای جلوگیری از خسارات مالی و جانی نیاز به همکاری بیش-تر توسعه-دهندگان مدل پیش بین سیلاب و بهره برداران آب در منطقه دارد (Eslami et al., 2022). از طرفی خشکسالی نیز تأثیر قابل توجهی بر حیات بشر دارد که بررسی تغییرات زمانی و مکانی آن می-تواند در مواجهه با اثرات این پدیده مؤثر باشد (Sabzevary et al, 2022). برف نیز به عنوان یکی از اجزای مهم یخ-کره، تأثیر قابل توجهی بر آب و هوای جهانی و تعادل اکولوژیکی در مناطق تحت پوشش دارد (Tang et al, 2020; GAO, 2024). این پوشش در حوزه های آبریز کوهستانی، طی زمان های مختلف با ذوب شدن، منابع آب ضروری مناطق پایین دست خود را فراهم می کنند (Bales et al, 2006; Mankin et al, 2015). که اهمیت هیدرولوژیکی و نقش آن در تنظیم دبی رودخانه ها حتی در ماه های خشک و بدون بارش، بر رواناب ها برای تامین منابع آب مشهود است (Chanda et al, 2024). این شرایط در مناطق نیمه خشک مدیترانه ای، که بخش قابل توجهی از جمعیت، در پایین دست رودخانه ها زندگی می کنند و به منابع آب حاصل از برف و بارندگی به عنوان منبع اصلی آب وابسته هستند اهمیت بیشتری دارد (Bousbaa et al, 2024). بنابراین پوشش برف به عنوان یک منبع پایدار آب، جریان پایه رودخانه ها و روان آب های جنوب غربی ایران را تأمین و از خشک شدن آن ها جلوگیری می کند (Tani et al, 2025).

Hiyama همکاران، (۲۰۲۳) با مطالعه بر روی دبی رودخانه لنا مشخص کردند که ذوب برف تابستان از عوامل افزایش رواناب بوده و همچنین افزایش دما باعث افزایش دبی فصل بهار و اوایل تابستان شده است. از طرفی، کاهش وسعت پوشش برف و افزایش دمای هوا کاهش دبی پیک و سالانه رودخانه را سبب شده است. Moazzam و همکاران، (۲۰۲۴) نیز در یک مطالعه بر روی تغییرپذیری روند پوشش برف منطقه هندوکش هیمالیا طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۰۳ مشخص کردند روند کاهشی معنی داری در مقیاس های ماهانه، فصلی و سالانه به ویژه در فصل زمستان به مقدار ۰/۲۵۶ درصد در هر سال وسعت پوشش برف کاهش مشاهده شده است. همچنین نتایج مطالعه khan و همکاران، (۲۰۲۵) بر روی روند پوشش برف جهانی با استفاده از مجموعه داده های MODIS از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ نشان داد به جز ماه نوامبر که روند شیب مثبتی در مقیاس جهانی داشته از ماه ژانویه تا مارس و دسامبر مقدار روند به صورت منفی است. Faal و همکاران، (۲۰۲۵) نیز با مطالعه ی تحلیل فضایی-زمانی الگوی پوشش برف فنلاند نشان دادند روند پوشش برفی فصل بهار به طور قابل توجهی افزایش یافته، در حالی که در مناطق جنوبی و ساحلی، پوشش برفی زمستانی روند کاهشی داشته است. همچنین نتایج مطالعه park و همکاران، (۲۰۲۴) بر روی تأثیر ذوب برف بر جریان رودخانه های مناطق قطب شمال نشان داد افزایش دمای هوا سبب کاهش پوشش برف و در پی آن، کاهش پیک دبی سالانه رودخانه ها شده است. Motiee و همکاران، (۲۰۲۴) با مطالعه بر روی پوشش برف مناطق خشک و نیمه خشک شمال ایران نشان دادند میزان پوشش برف سالانه و حجم آن طی ۲۰ سال گذشته نسبتاً پایدار اما روند کاهشی در ماه های گرم تر (تابستان) مشهود بوده است. Ghasemi و همکاران، (۲۰۲۰) در یک مطالعه با بررسی روند تغییرات پوشش برف حوزه کوه رنگ مشخص کردند کاهش چشمگیر و معنی داری در ارتفاع برف به میزان ۷۸ میلی-متر در سال در ماه-ژانویه رخ داده است. این مقدار در ماه فوریه به ۱۵۱ میلی-متر در سال رسیده است.

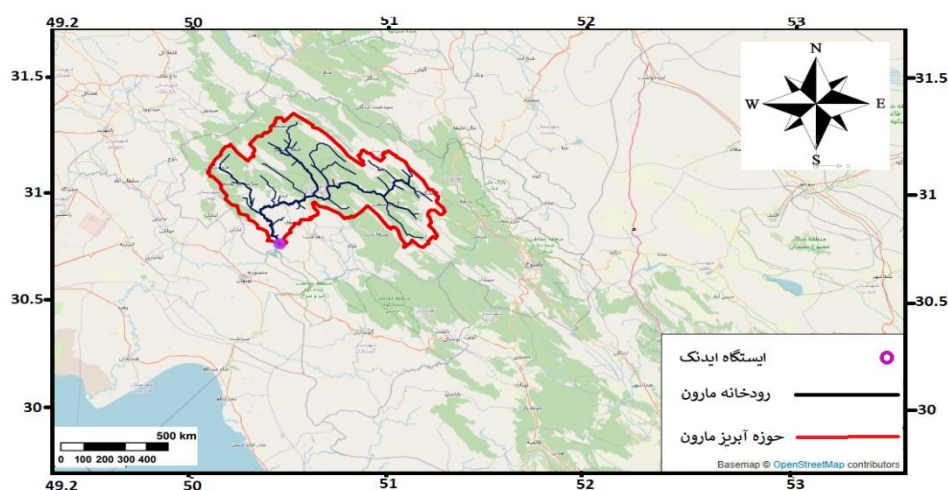
Aghelpour و Bahrami, (۲۰۲۳) با بررسی و مطالعه روند پوشش برف استان مازندران به صورت فصلی و سالانه مشخص کردند که پوشش برف در فصل زمستان حدود ۵۰/۴۱ کیلومتر مربع در هر سال کاهش یافته است. از نظر طبقات ارتفاعی، نیز پوشش برف در همه طبقات حدود ۵۷/۰۳ کیلومتر مربع در هر سال رو به کاهش است. Heidari و Mirmousavi, (۲۰۲۴) نیز با مطالعه تغییرات مکانی-زمانی پوشش برف شمال غرب ایران طی فصول سرد سال نشان دادند میزان پوشش برف در تمامی ماه های فصل سرد سال کاهشی و در برخی از ماه ها مانند ماه فوریه این روند محسوس تر بوده است. Dargahian و همکاران، (۲۰۲۴) با مطالعه پایش برف در بالادست حوزه هامون و ارتباط آن با تغییرات مساحت آب هامون ها نشان دادند توزیع زمانی ماهانه بارش برف حوزه در ماه فوریه و مارس که پیک مساحت پوش برف بوده اند و توزیع آب با دو ماه تأخیر در ماه های آوریل و می است بنابراین به طور طبیعی دبی رودخانه مارون نیز تحت تأثیر نوسانات وسعت پوشش برفی حوزه آبریز آن در ارتفاعات بالادست رودخانه قرار دارد و این نوسانات به صورت متناوب موجب وقوع خشکسالی ها یا سیلاب هایی شده که در سال های اخیر خسارات این شرایط در حوزه مورد نظر وخیم تر شده است. بر همین اساس و با توجه به مطالعات پیشین، پژوهشی که نقش

وسعت پوشش برف نرمال شده (NDSI) حوزه آبریز مارون را در تأمین دبی این رودخانه به صورت جامع، نظاممند و طی دوره طولانی مدت مطالعه کرده باشد، کمتر مشاهده شده است. از طرفی با توجه به نقش راهبردی رودخانه مارون در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و تولید انرژی در جنوب غرب کشور و وابستگی بالای آن پوشش برفی حوزه آبریز، بررسی روند پوشش برف و ارتباط آن با دبی این رودخانه از منظر آماری، ضرورتی علمی و کاربردی محسوب می شود. پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأ، با استفاده از داده های ماهواره ای و آماری به تحلیل رابطه بین پوشش برف و دبی رودخانه مارون پرداخته است تا زمینه ای علمی برای مدیریت بهینه منابع آب در مواجهه با تغییرات اقلیمی حاصل از نوسانات پوشش برفی را فراهم آورد.

مواد و روش ها

منطقه مطالعه شده

حوزه آبریز مارون در جنوب غرب در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 11.09'$ و $49^{\circ} 36' 08''$ و $51^{\circ} 03' 54''$ طول شرقی و $30^{\circ} 66' 22''$ تا $31^{\circ} 44' 28''$ عرض شمالی ایران واقع شده و با مساحتی حدود 3808 کیلومتر مربع بخش هایی از استان های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد را در بر می گیرد. این حوزه در دامنه های رشته کوه زاگرس و در موقعیت جغرافیایی شمالی قرار دارد. رودخانه مارون از به هم پیوستن شاخه های شبلیز، لوداب، سقاوه و دشمن زیاری شکل می گیرد و پس از طی مسافتی در حدود 120 کیلومتر به سد مارون می رسد. سپس با عبور از منطقه تنگ تکاب وارد دشت بهبهان شده و از طریق سد انحرافی شهدا، شبکه آبیاری بهبهان و سد انحرافی جایزان، دشت های جایزان و فجر را آبیاری می کند (Naghshine et al, 2013) شکل (۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز مارون و ایستگاه هیدرومتری ایدنک

روش پژوهش

در تحقیق حاضر برای محاسبه رابطه بین وسعت پوشش برف حوزه آبریز رودخانه مارون و دبی این رودخانه از تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS ماهواره Terra و داده های دبی ایستگاه هیدرومتری ایدنک استفاده شده است جدول (۱). داده های ذکر شده در محیط نرم افزار های Excel، SPSS و GIS تنظیم و تجزیه تحلیل شدند.

جدول ۱- نوع تصاویر ماهواره ای شاخص NDSI داده های برف ایستگاه های یاسوج و سی سخت و داده های هیدرومتری ایستگاه ایدنک طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

منبع داده	دوره زمانی	تفکیک زمانی	مقیاس
تصاویر ماهواره ای (NDSI)	ماهواره (MODIS (Terra	۲۰۰۱-۲۰۲۲	روزانه
داده های دبی رودخانه	ایستگاه هیدرومتری (ایدنک)	۲۰۰۱-۲۰۲۲	روزانه
برف	ایستگاه یاسوج و سی سخت	۲۰۰۸-۲۰۲۲	روزانه

داده های ماهواره Terra

داده های پوشش برف حاصل از محصول V006-MOD10A1 ماهواره ترا^۱ با تفکیک فضایی ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی روزانه طی سری زمانی ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) طی فرایندهای کالیبراسیون رادیومتریک و هندسی تصحیح شدند تا مقادیر بازتابندگی و موقعیت مکانی پیکسلها استاندارد در محیط سامانه گوگل ارث انجین تنظیم و دریافت شد. سیستم تصویر این فرآورده به صورت سینوسی و داده ها به صورت رقومی بر اساس شاخص NDSI با فرمت HDF قابل دریافت است. ماهواره های مذکور با توجه به قابلیت های فنی و طیفی خود، امکان تصویربرداری در باندهای متعددی از طیف الکترومغناطیس را فراهم می کنند. در این میان، داده های سنجنده MODIS به دلیل توان تفکیک مکانی مناسب و تناوب زمانی روزانه، گزینه ای ایده آل برای پایش و تهیه نقشه های پوشش برف محسوب می شوند (Saifi et al, 2019).

نمایه تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) نسبت اختلاف بین دو طیف مادون قرمز و مرئی است (Hall et al, 1998).

$$NDSI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)} \quad (1)$$

این شاخص از تفاوت بازتاب در باند سبز (GREEN) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) استفاده می کند تا نواحی پوشیده از برف را شناسایی کند. بازتاب در باند سبز (Green) با طول موج تقریبی ۰/۵۴۵ تا ۰/۵۶۵ (μm) میکرومتر و باند مادون قرمز کوتاه (SWIR) با طول موج تقریبی ۱/۶۲۸ تا ۱/۶۵۲ میکرومتر (μm) مناسب بازتاب برف در باند سبز بالا و بازتاب پایین در باند SWIR است. این تفاوت بازتاب باعث می شود که مقدار NDSI برای نواحی پوشیده از برف نزدیک به ۱ باشد. مقادیر پایین تر ۰/۴ نیز نشان دهنده عدم وجود برف یا وجود سایر پوشش ها مانند گیاهان یا خاک هستند (Hall et al, 2002). نتایج مطالعه ای بر روی پوشش برف مناطق مختلف ایران نشان داد که مقادیر کوچکتر از ۰/۴ شاخص NDSI به عنوان مناطق غیربرفی و بیشتر از ۰/۷ نیز مناطق کاملاً پوشیده از برف است (Shams et al, 2014).

در ادامه، با تنظیم داده ها به صورت ماهانه (ماه های تجمعی ۲۶۴) طی سری زمانی (۲۰۰۱-۲۰۲۲) در محیط GIS پردازش شده و مناطق پوشیده از برف از سایر نواحی تفکیک گردید. در این مرحله، پوشش برف به صورت مقادیر پیکسلی دودویی (۰ و ۱) بازنمایی شد؛ به طوری که پیکسل با مقدار ۱ نشانگر بیشترین تراکم برف، و مقادیر نزدیک به صفر و کمتر از ۰/۴ بیانگر نواحی بدون برف مشخص شدند (Bahrami & Aghelpour, 2023). بنابراین، برای شناسایی الگوهای فضایی-زمانی تغییرات مساحت پوشش برفی با معیار $NDSI \geq 0.4$ تعداد پیکسل های دارای برف شناسایی و با ضرب تعداد آن ها در مساحت هر پیکسل (متناسب با قدرت تفکیک مکانی تصویر) مساحت نهایی پوشش برف بر حسب کیلومتر مربع تنظیم و تحلیل شد. همچنین جهت اعتبار سنجی داد های ماهواره ای با توجه به داد های ایستگاهی موجود و در دسترس داده های برف روزانه ایستگاه یاسوج و سی سخت طی سری زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲ از سازمان هواشناسی کاربردی استان کهگیلویه و بویراحمد دریافت شد.

از طرفی به منظور تحلیل رفتار هیدرولوژیکی رودخانه مارون و بررسی ارتباط آن با تغییرات پوشش برف این حوزه، از داده های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری ایستگاه ایدنک واقع بر رودخانه مارون در بالادست این سد به عنوان نماینده دبی رودخانه در نظر گرفته شده است. داده های مذکور از وزارت نیرو و شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت گردید. در گام نخست، داده های روزانه مورد بازبینی و کنترل کیفی قرار گرفتند تا خطاهای احتمالی ناشی از ثبت، انتقال یا وقفه های زمانی شناسایی شود. به منظور بازسازی داده های ناقص یا مفقود، از روش رگرسیون خطی چندگانه و روندهای تاریخی دبی بهره گرفته شد. این روش ضمن حفظ سازگاری آماری داده ها، دقت مناسبی در بازسازی مقادیر مفقوده فراهم می کند. پس از تکمیل و اصلاح داده ها مقادیر دبی به مقیاس ماهانه تبدیل گردید تا امکان مقایسه و هم ترا سازی آن با داده های پوشش برف فراهم شود.

در ادامه، به منظور شناسایی روندهای زمانی تغییر در سری های زمانی پوشش برف، از آزمون ناپارامتری من-کندال^۲ استفاده شد. این آزمون به دلیل عدم وابستگی به توزیع داده ها و مقاومت بالا در برابر داده های پرت، یکی از پرکاربردترین روش ها برای

^۱ Terra

^۲ Mann-Kendall

تحلیل روند در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی محسوب می‌شود (Maleki-Nejad et al, 2012). همچنین، برای برآورد نرخ تغییرات در هر سری زمانی، از تخمین‌گر شیب سن^۱ استفاده شد که میزان و جهت تغییرات را به صورت کمی بیان می‌کند. محاسبه روند و شیب روند پوشش برف: روند منکندال را نخستین بار maan (۱۹۴۵) ارائه داده و سپس kendall (۱۹۷۵) آن را بهبود داده است. این روش بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

آزمون آماره‌های S که جهت و شدت روند را نشان می‌دهد میانگین صفر دارد و واریانس آن نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S \text{ var} = \frac{n(n-1)(n+1) - \sum t(t-1)(t+1)}{n} \quad (4)$$

Sgn تابعی که نشان می‌دهد تفاوت بین دو مشاهده مثبت، صفر یا منفی است. بنابراین، در آزمون دوطرفه اگر رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}(n)$ 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 (Zang et al, 2013). بنابراین مقادیر Z مثبت روند صعودی و مقادیر Z منفی نشان‌دهنده روند نزولی پوشش برف است. اگر روند در سری داده‌ها مشاهده شد، شیب واقعی میزان تغییر در واحد زمان را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتری ساده‌ای که توسط سن توسعه داده شده برآورد نمود. ابتدا باید شیب هر جفت داده‌ی متوالی سری را از رابطه زیر به دست آورد (Vivekanandan, 2007).

سن با توسعه یک سری مطالعات آماری که تیل، (1950) انجام داد یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یکسری زمانی بهره می‌گیرد. نقاط قوتی که در روش من-کندال ذکر گردید، در این روش نیز وجود دارد. همچنین این آزمون در هنگام وجود داده‌های گمشده، به راحتی قابل استفاده می‌باشد (Serrano et al, 1999). n تعداد داده‌های مشاهداتی است که برای محاسبه شیب سن در این رابطه x_k و x_i به ترتیب مقادیر داده‌ها در زمان‌های j و k است که باهم یک واحد زمانی اختلاف دارند. Q مقادیر میانه n برآورد شده شیب نمودار نمودار سن است. همچنین مقدار B بیانگر شیب تغییرات میانگین در دبی رودخانه و مقادیر Q نیز بیانگر تخمین شیب یک‌روند خطی طی یک دوره زمانی مد نظر است. برای محاسبه شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن در آزمون من-کندال و شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین‌گر Sen بر اساس رابطه ناپارامتری زیر محاسبه شد.

$$Q = \frac{(x_i - x_k)}{j - k} \text{ for } i = 1 * 2 * \dots n \quad (5)$$

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall > i) \quad (6)$$

β برآوردگر شیب خط روند و X_i ، X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی زام و i ام هستند. مقدار شیب بین مشاهده k و مشاهده j ام که مقادیر مثبت نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی در سری زمانی داده‌ها و $\forall$ برای تمامی جفت‌های ممکن که در آن j بزرگ‌تر از i باشد است (Mirabbasi & Dinpejouh, 2010). به منظور بررسی رابطه آماری بین تغییرات پوشش برف و دبی رودخانه نیز، از روش ضریب همبستگی پیرسون بهره گرفته شد. تحلیل‌ها به دو صورت هم‌زمان و با تأخیر زمانی (lag) یک تا دو ماهه انجام شد تا اثر احتمالی تأخیر در ذوب برف و تأثیر آن بر رواناب سطحی مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین همبستگی‌ها در مقیاس ماهانه و فصلی مورد محاسبه قرار گرفت تا رفتار پیوسته و فصلی بین این دو متغیر به‌طور دقیق‌تر آشکار شود.

¹ Sen's Slope

نتایج و بحث

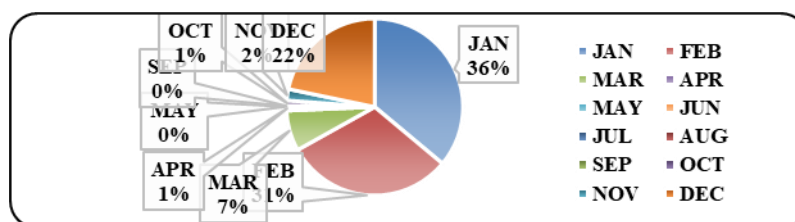
بررسی اعتبارسنجی داده های مشاهدات برف ایستگاهی (یاسوج و سی سخت) حوزه آبریز مارون با مقادیر شاخص پوشش برف نرمال شده (NDSI) این حوزه نشان می دهد که نتایج این اعتبار سنجی به صورت قابل قبول و مناسب برای پایش برف در حوضه مارون برخوردار است. بنابراین نتایج همبستگی بین داده های ماهواره ای و ایستگاهی در هر دو ایستگاه به ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۷۹ به دست آمد که بیانگر توانایی مناسب NDSI در ردیابی نوسانات زمانی رخداد برف است. همچنین مقادیر کم اریب (بین ۰/۱۴ تا ۰/۱۶) نشان می دهد که برآوردهای ماهواره ای تنها تمایل بسیار اندکی به بیش برآورد پوشش برف دارند. از طرفی شاخص های خطایی MAE و RMSE نیز مقادیرهای پایین تری را در ایستگاه سی سخت نسبت به یاسوج نشان می دهند که بیانگر خطاهای کمتر و برازش بهتر NDSI برای ایستگاه با ارتفاعات بالاتر در این حوزه است. علاوه بر این، میانگین خطا در هر دو ایستگاه کمتر از ۰/۱ بوده که تأییدکننده خطای بسیار اندک و صحت مناسب داده های MODIS است. در مجموع، نتایج بیانگر آن است که شاخص NDSI عملکرد مناسبی در بازنمایی شرایط واقعی برف این حوزه داشته و می تواند در تحلیل های مکانی-زمانی مورد استفاده قرار گیرد. جدول (۲).

جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی تصاویر پوشش برفی حاصل از ماوارة ترا و ایستگاههای منتخب حوضه مارون طی سری زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲

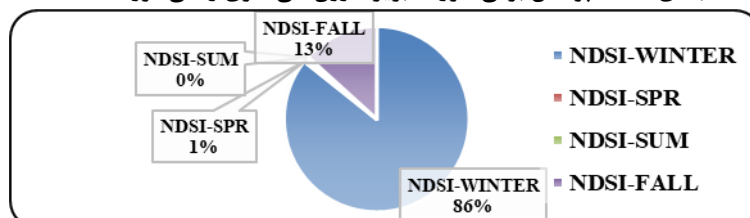
ماه های اکتبر تا مارس						
ایستگاه	ارتفاع	ضریب همبستگی (R)	اریب (Bias)	خطای مطلق میانگین (MAE)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	میانگین خطا (Mean Error)
یاسوج	۱۸۸۶	۰/۷۲	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۰۹
سی سخت	۲۱۶۳	۰/۷۹	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۰۸

بررسی وضعیت پوشش برف حوزه آبریز مارون

مطالعه تغییرات پوشش برف در حوزه آبریز رودخانه مارون نشان می دهد که ماه ژانویه به طور میانگین وسعتی برابر با ۱۵۷۶ کیلومترمربع، بیشترین سهم را از پوشش برف سالانه را به خود اختصاص داده که حدود ۳۶ درصد از میانگین وسعت پوشش برف را شامل می شود. پس از آن، ماه فوریه با ۱۳۴۸ کیلومترمربع (۳۱ درصد) و ماه دسامبر با ۹۵۰ کیلومترمربع (۲۲ درصد) به ترتیب در رتبه های بعدی وسعت پوشش برفی قرار دارند. در ادامه، ماه مارس نیز با وسعت میانگین ۳۲۵ کیلومترمربع و سهمی معادل ۷ درصد از کل پوشش برفی سالانه، جایگاه بعدی را به خود اختصاص داده است. همچنین ماه نوامبر نیز با میانگین ۲ درصد از وسعت پوشش برف در رده بعدی قرار دارد. در مقابل، در دوره گرم سال (ماه های می تا سپتامبر) به دلیل کاهش بارش ها و افزایش دما، میزان پوشش برف در این حوزه به حداقل مقدار خود رسیده است؛ به گونه ای که مجموع پوشش برف این ماه ها کمتر از یک درصد از کل پوشش برف سالانه حوزه را تشکیل داده است (شکل ۲). بنابراین فصل زمستان با تمرکز حدود ۸۶ درصدی از وسعت پوشش کلی برف معادل ۱۳۵۴ کیلومترمربع، نقش اساسی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی منطقه در این فصل و به صورت تاخیر در فصل بعد ایفا می کند. از طرفی گستردگی پوشش برف در این فصل به عنوان منبعی حیاتی از ذخایر آبی، تأثیر چشمگیری بر تغذیه آب های زیرزمینی، تأمین جریان های سطحی رودخانه ها و تنظیم رژیم هیدرولوژیکی حوزه دارد. در مقابل، اگرچه در فصل پاییز نیز مقادیر محدودی از پوشش برف مشاهده می شود، اما این مقدار به مراتب کمتر و پراکنده تر از فصل زمستان است. بر این اساس، فصل پاییز با حدود ۱۳ درصد و فصل بهار تنها ۱ درصد از سهم سالانه، در رتبه های بعدی از نظر وسعت پوشش برفی قرار دارند. به طور کلی، این الگوی فصلی تغییرات پوشش برف به شدت تحت تأثیر نوسانات دما و الگوی بارش سالانه قرار داشته و بیانگر نقش غالب زمستان در انباشت و نگهداشت منابع برفی در حوزه آبریز مارون است (شکل ۳).



شکل ۲- دسته‌بندی ماهانه پوشش برفی حوزه آبریز مارون طی سری زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)



شکل ۳- میانگین فصلی وسعت پوشش برفی حوزه مارون طی سری زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

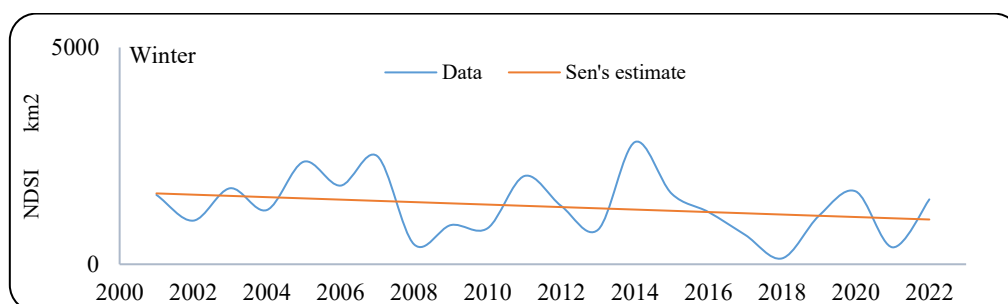
بررسی روند پوشش برفی مارون در ماه‌های ژانویه، فوری، مارس و فصل زمستان

بررسی روند تغییرات پوشش برف حوزه آبریز رودخانه مارون طی دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت انجام شد. بنابراین مشخص گردید طی ماه ژانویه پوشش کلی برف، دارای روند کاهشی ($Z = -1/3$) است. در مجموع، طی این ماه پوشش برف در هر سال به‌طور متوسط ۶۱- کیلومترمربع کاهش یافته است. بررسی روند پوشش برفی در ماه فوریه نیز نشان داد روند این ماه همانند ماه ژانویه به‌صورت منفی است. خروجی شیب سن نیز تأیید کننده کاهش ۳/۲۶- کیلومتر مربعی وسعت پوشش برفی این حوزه در هر سال طی ماه فوریه بوده است همچنین بررسی روند پوشش برفی ماه مارس نشان داد همانند دیگر ماه‌های فصل‌ها زمستان در این ماه نیز روند پوشش برفی به صورت منفی و کاهشی ($Z = -0/4$) است که با کاهش ۱/۵- کیلومترمربعی وسعت پوشش برف در هر سال همراه بوده است جدول (۳).

نتایج مطالعه روند پوشش برف در حوزه آبریز رودخانه مارون طی فصل زمستان نشان داد روند تغییرات در این فصل به‌صورت منفی معنی دار ($Z = -4/1$) بوده است. از طرفی یافته‌های حاصل از آنالیز شیب سن (Q) نیز تأیید کننده روند کاهشی پوشش برف بوده که به‌طور متوسط در هر فصل وسعت پوشش برفی کاهش ۷/۲۸ کیلومترمربع داشته است جدول (۳) و شکل (۴).

جدول ۳- نتایج روند ماهانه پوشش برف حوزه آبریز مارون در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و فصل زمستان طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

زمان	آزمون Z مقدار	شیب سن (Q)	مقدار پایه (B)
ژانویه	-۳/۱	-۶۱/۱	۲۰۵۸/۶
فوریه	۰/۸۵	-۲۶/۳	۱۴۷۶
مارس	-۰/۴	-۵/۱	۳۳۶/۵
زمستان	-۴/۲۱	-۳/۳۵	۱۰۵/۳



شکل ۴- برازش نمودار خط سن پوشش برفی حوزه آبریز مارون در فصل زمستان (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

بررسی روند پوشش برفی مارون در ماه آوریل و می

در ماه آوریل وسعت پوشش برفی حوزه مورد مطالعه به شدت نسبت به ماه های فصل زمستان کاهش یافته و همچنان روند منفی پوشش کلی برف با توجه به خروجی آماره منکدال ($Z = -1/4$) مشهود است. خروجی شیب سن نیز نشان از کاهش ($-0/3$) = Q) وسعت پوشش برفی این ماه دارد. در ماه می وسعت پوشش برفی بسیار کاهش یافته و به طور میانگین وسعت پوشش برفی حوزه مورد مطالعه کمتر از ۲۵ کیلومترمربع بوده است. همچنین حداکثر وسعت آن در سال ۲۰۱۸ تا ۵۶ کیلومترمربع رسیده است. در این ماه روند پوشش برفی به صورت مثبت اما بسیار ناچیز ($Z = -0/6$) است. خروجی شیب سن نیز هیچ گونه روند افزایشی یا کاهشی را تأیید نکرده است. جدول (۴). مطالعه روند پوشش برف در فصل بهار (ماه های آوریل و می) در حوزه آبریز رودخانه مارون نیز نشان داد که به طور متوسط، وسعت پوشش برف در این دوره به شدت کاهش یافته است. بیشترین وسعت آن مربوط به سال ۲۰۰۷ با میانگین ۲۳ کیلومترمربع و کمترین آن مربوط به بهار ۲۰۰۸ با ۳ کیلومترمربع تعلق دارد. از طرفی روند پوشش برفی نیز همچنان به صورت منفی معنی دار ($Z = -1/65$) مشهود است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل شیب سن نیز این کاهش را تأیید می کند، به طوری که به طور متوسط، در هر سال ۳ کیلومترمربع از وسعت پوشش برف طی این دوره کاسته شده است جدول (۴) و شکل (۵).

جدول ۴ - نتایج روند ماهانه پوشش برف حوزه آبریز مارون در ماه آوریل، می و فصل بهار (آوریل تا می) طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

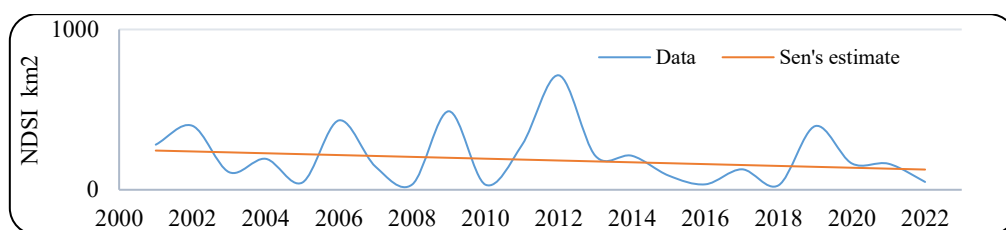
ماه	Z آماره	Q مقدار	B مقدار
آوریل	-۱/۳	-۰/۳	۲۴
می	۰/۶	۰	۳/۳
بهار (آوریل-می)	-۱/۶۵	-۰/۰۳	۱۰

بررسی روند پوشش برفی در ماه نوامبر، دسامبر (پاییز) و سالانه (از ماه نوامبر تا می)

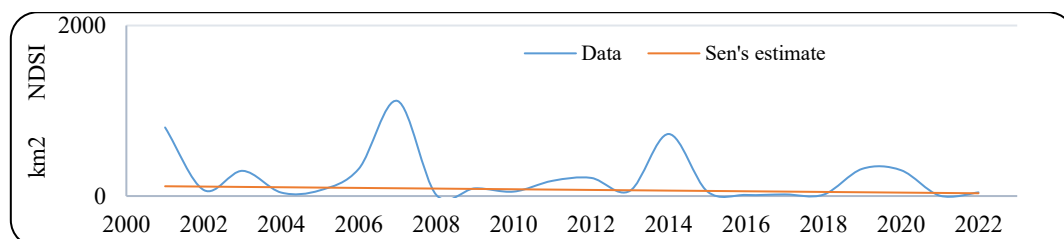
در ماه نوامبر، پوشش برفی حوزه آبریز نسبت به دوره گرم سال و ماه نوامبر افزایش محسوسی داشته است. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که روند کلی پوشش برف در کل دوره آماری (۲۰۰۱-۲۰۲۲) مثبت اما بسیار ضعیف ($Z = 0/03$) بوده که می توان آن را با توجه به ناچیز بودن مقدار برآورده شده بدون تغییر نیز تفسیر کرد. نتایج برآورد شیب سن نیز نشان داد هیچ گونه افزایش یا کاهش معنی داری در وسعت پوشش برفی طی این بازه زمانی مشاهده نشده است بر اساس داده های ماه دسامبر، پوشش برف در حوزه آبریز رودخانه مارون در فصل پاییز به اوج خود رسیده است. تحلیل روند زمانی وسعت پوشش برف طی سال های مورد بررسی در این ماه نشان داد به طور پیوسته روند منفی ($Z = -2/3$) وسعت پوشش برفی با جهشی کاهشی ۲۰/۱ کیلومتر مربعی در هر سال مشهود است. جدول (۵) و شکل (۵). بررسی روند میانگین وسعت پوشش برفی سالانه (از ماه نوامبر تا می) نشان از روند منفی ($Z = -1/58$) وسعت پوشش مشهود است به صورتی که خروجی شیب سن (Q) نشان از کاهش وسعت ۳/۹ کیلومترمربعی وسعت پوشش برف در هر سال طی سری زمانی مورد مطالعه دارد. جدول (۵) و شکل (۶).

جدول ۵ - نتایج روند پوشش برف حوزه آبریز مارون در ماه نوامبر، دسامبر و فصل پاییز (نوامبر تا دسامبر) طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

دوره زمانی	Z آماره آزمون	(Q) شیب	(B) عرض از مبدأ
نوامبر	۰/۰۳	۰	۳۵/۱
دسامبر	-۲	-۲۰/۱	۴۷۰/۸
پاییز (نوامبر-دسامبر)	-۱/۷	-۳/۲	۰/۵
دوره سالانه (نوامبر تا مه)	-۱/۵۸	-۳/۹	۱۴۴/۹

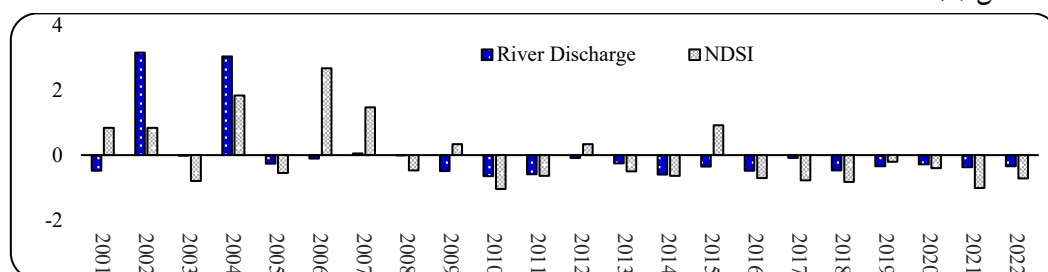


شکل ۵- برازش خط سن پوشش برفی حوزه آبریز مارون طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ در فصل پاییز (نوامبر و دسامبر)



شکل ۶- برازش نمودار خط سن پوشش برفی حوزه آبریز مارون طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ به صورت سالانه (اکتبر تا می)

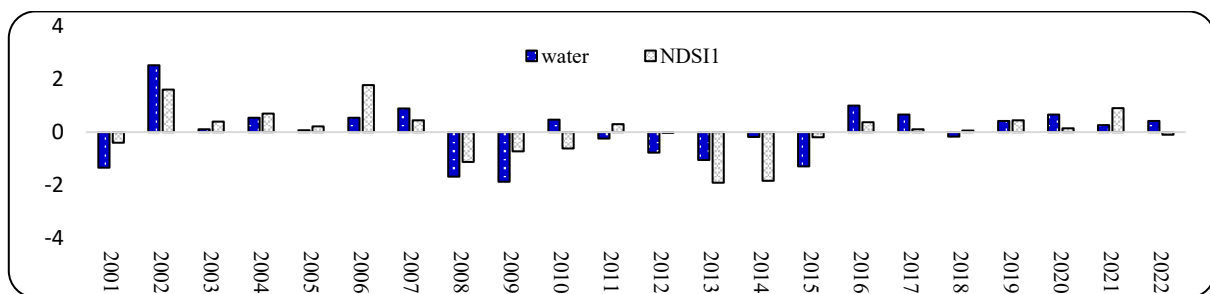
همبستگی بین شاخص NDSI و دبی رودخانه مارون در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس به صورت هم‌زمان و با ۱ و ۲ ماه تأخیر بررسی ارتباط میان دبی رودخانه مارون با پوشش برفی نیز انجام شد نتایج نشان داد ماهیت و شدت همبستگی‌ها بسته به زمان و پوشش برف متغیر است. نتایج ماه ژانویه حاکی از آن است که در بازه زمانی هم‌زمان هیچ‌گونه رابطه معنی داری میان وسعت پوشش برفی و جریان رودخانه وجود ندارد. این امر می‌تواند بیانگر آن باشد که برف تازه انباشته‌شده به طور موثر در ماه ژانویه، هنوز وارد چرخه ذوب و رواناب سطحی نشده و بنابراین تأثیر مستقیم بر جریان رودخانه ندارد. اما با در نظر گرفتن تأخیر یک‌ماهه، نتایج تغییر محسوسی نشان داد. به صورتی که بین پوشش برف و دبی همبستگی مثبت و قوی‌تری در سطح اطمینان ۰/۰۵ با دبی رودخانه ایجاد شده است. به‌طور کلی، نتایج تحلیل بیانگر آن است که ماهیت همبستگی‌ها در این ماه به صورت مثبت و تأخیری است؛ بدین معنا که افزایش سطح پوشش برف نه بلافاصله، بلکه با فاصله زمانی یک ماه به صورت افزایش جریان در شبکه هیدرولوژیک حوزه آشکار می‌شود جدول (۶). نمودار مقایسه‌ای تغییرات شاخص پوشش برفی (NDSI) و دبی رودخانه مارون نشان می‌دهد که در ماه ژانویه با تأخیر یک‌ماهه، هم‌پوشانی قابل توجهی میان روند پوشش برفی و تغییرات دبی مشاهده شد. این انطباق بیانگر آن است که افزایش پوشش برف در ماه دسامبر، پس از گذشت یک ماه، منجر به افزایش دبی رودخانه در ژانویه می‌شود. هم‌زمانی قله‌های نمودار در این دوره نشان‌دهنده تأثیر مستقیم ذوب برف دسامبر بر تغذیه جریان‌های سطحی ژانویه است شکل (۷).



شکل ۷- مقایسه نوسانات وسعت پوشش برفی حوزه آبریز و دبی رودخانه مارون طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ در ماه ژانویه با تأخیر ۱ ماهه

نتایج مربوط به ماه فوریه نشان داد که در این ماه نیز، به صورت هم‌زمان میان وسعت پوشش کلی برف با دبی رودخانه مارون رابطه معنی داری مشاهده نشده است. این الگو مشابه یافته‌های ماه ژانویه بوده و بیانگر آن است که برف تازه انباشته‌شده در فوریه نیز هنوز وارد چرخه ذوب و رواناب سطحی نشده و در نتیجه، تأثیر مستقیمی بر جریان رودخانه اعمال نمی‌کند. با

در نظر گرفتن تأخیر یک‌ماهه، تغییر محسوسی در نتایج مشاهده شد. اما با تأخیر دوماهه، شدت روابط به‌طور چشمگیری افزایش یافت. در این شرایط، پوشش کلی برف با دبی رودخانه همبستگی مثبت بسیار قوی و معنی داری ($r=0/750$) در سطح اطمینان ۰/۰۱ داشته است. این امر حاکی از آن است که ذخایر برفی در مقیاس وسیع، با دو ماه فاصله زمانی، به‌عنوان منبع اصلی تغذیه جریان‌های رودخانه‌ای این ماه عمل کرده و نقش کلیدی در پایداری و تداوم جریان آب حوزه مارون ایفا می‌کنند. به‌طور کلی، الگوی مشاهده‌شده در فوریه تأیید می‌کند که پوشش برفی در این حوزه‌های رودخانه‌ای فوری بر جریان رودخانه ندارد، اما با گذشت زمان همبستگی‌های مثبت و معنی دار آشکار می‌شود که نشان‌دهنده نقش برف به‌عنوان یک ذخیره آبی با تأثیر تأخیری در ماه‌های قبل است (جدول ۶). همچنین نمودار مقایسه‌ای تغییرات شاخص پوشش برفی (NDSI) و دبی رودخانه مارون نشان می‌دهد که در ماه فوریه با تأخیر دوماهه، انطباق میان منحنی‌های NDSI و دبی به‌بسیار هماهنگ است؛ به‌گونه‌ای که تغییرات برف در دسامبر به‌صورت مستقیم در افزایش دبی فوریه بازتاب یافته است. این الگو نشان می‌دهد که برف انباشته‌شده در اوایل زمستان (دسامبر) با گذر زمان در اواسط زمستان، به‌عنوان منبع اصلی رواناب عمل کرده و موجب پاسخ تأخیری اما منظم سامانه‌ی هیدرولوژیکی حوزه مارون می‌شود (شکل ۸).



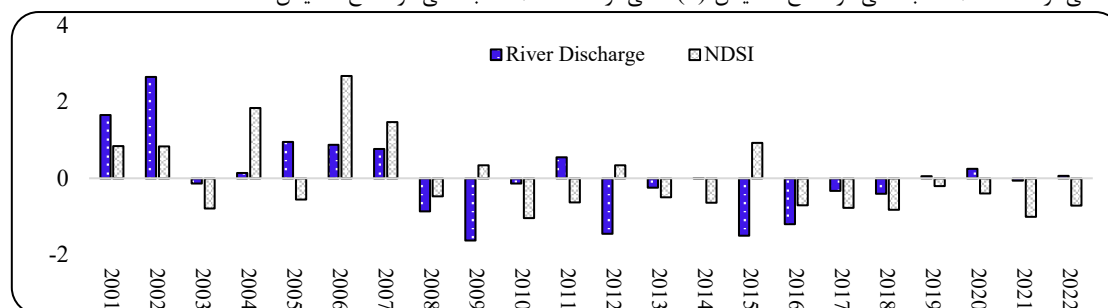
شکل ۸- مقایسه نوسانات وسعت پوشش برفی حوزه آبریز و دبی رودخانه مارون طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ در ماه فوریه با تأخیر ۲ ماهه

با شروع ماه مارس به‌طور طبیعی فرایندهای افزایشی دما، ذوب برف شدت بیشتری خواهد داشت و این فرایند به‌تدریج بر چرخه رواناب تأثیر داشته و در افزایش جریان رودخانه مارون در این ماه نقش‌آفرینی کرده است. نتایج تحلیل آماری نشان داد در این ماه بین وسعت پوشش برف حوزه آبریز مارون و دبی رودخانه هم به‌صورت هم‌زمان و هم با تأخیر زمانی یک‌ماهه همبستگی مثبت و معنی داری به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۴۶۲ و ۰/۴۱۲ در سطح اطمینان ۰/۰۵ داشته است این یافته بیانگر آن است که افزایش پوشش برفی در ماه‌های سرد سال، با افزایش حجم جریان‌های سطحی رودخانه هم‌زمان بوده و در ماه‌های بعد نیز اثرات آن تداوم می‌یابد. به‌عبارت دیگر، انباشت برف در ارتفاعات حوزه در دوره‌های سرد، با آغاز ذوب تدریجی در ماه‌های پس از. این رابطه مثبت با تأخیر زمانی یک‌ماهه نشان می‌دهد که پوشش برف نه‌تنها بر جریان‌های آبی اثرگذار است، بلکه در پایداری و تداوم جریان‌های آبی در دوره‌های بعدی نیز نقش تنظیم‌کننده دارد. بنابراین، پوشش برف به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی چرخه هیدرولوژیکی حوزه مارون، در کنترل رژیم جریان و تأمین منابع آب سطحی منطقه اهمیت قابل‌توجهی دارد (جدول ۶). مقایسه نوسانات در ماه مارس، نشان داد نوسانات دبی رودخانه به‌صورت هم‌زمان با تغییرات پوشش برف همین ماه هماهنگی قابل‌توجهی دارد که بیانگر تأثیر مستقیم ذوب برف‌های جاری بر افزایش رواناب است. همچنین، انطباق مشاهده‌شده با تأخیر یک‌ماهه نشان می‌دهد که پوشش برف ماه فوریه نیز نقش مهمی در تغذیه جریان رودخانه در مارس داشته و اثرات ذخیره‌ای خود را با فاصله زمانی کوتاه بر رژیم هیدرولوژیکی حوزه اعمال کرده است (شکل ۹).

جدول ۶- بررسی رابطه بین پوشش برف و دبی رودخانه مارون در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس به‌صورت هم‌زمان و با تأخیر ۱ و ۲ ماهه

ماه	همبستگی هم‌زمان	همبستگی با تأخیر یک‌ماهه	همبستگی با تأخیر دوماهه
ژانویه	-۰/۰۴	۰/۴۷۴*	۰/۳۸
فوریه	-۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۷۵۰**
مارس	۰/۴۶۲*	۰/۴۱۲*	۰/۳۴

(**) معنی دار است ۰/۰۱ همبستگی در سطح اطمینان. (*) معنی دار است ۰/۰۵ همبستگی در سطح اطمینان



شکل ۹- مقایسه نوسانات وسعت پوشش برفی حوزه آبریز و دبی رودخانه مارون طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ در ماه مارس

بررسی رابطه بین پوشش برف ماه آوریل، می، نوامبر و دسامبر با دبی رودخانه مارون به صورت همزمان، با تأخیر ۱ و ۲ ماهه

نتایج نشان داد که در ماه آوریل بین وسعت پوشش کلی برف و دبی رودخانه مارون به صورت همزمان، همبستگی مثبت و معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۵ برقرار است. این رابطه مستقیم بیانگر نقش مؤثر ذوب برف‌های این ماه در تأمین رواناب مارون و افزایش جریان رودخانه به صورت همزمان است. نکته مهم‌تر در این ماه، تأثیر تأخیر یک‌ماهه وسعت پوشش برف بر دبی این رودخانه است. بنابراین با یک ماه تأخیر نیز همبستگی مثبت و معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده شد. این یافته نشان می‌دهد که برف به‌عنوان یک ذخیره رطوبتی میان‌مدت عمل کرده و فرآیند ذوب آن به‌صورت تدریجی جریان رودخانه را در ماه‌های بعدی نیز پایدار نگه می‌دارد و باعث می‌شود که رواناب در ماه آوریل تغذیه شوند.

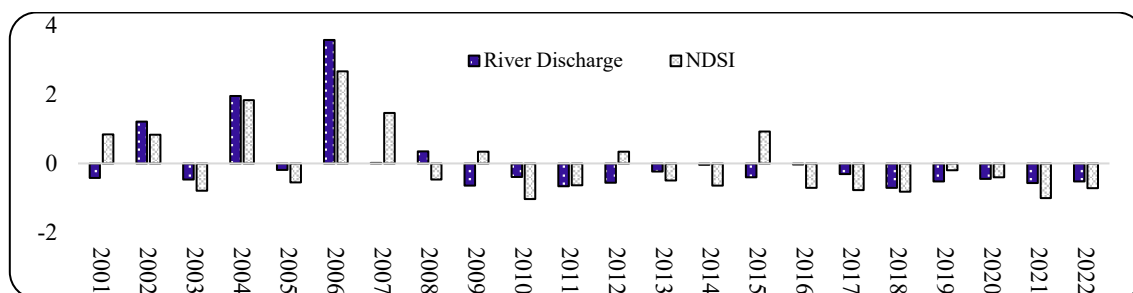
بنابراین، رابطه مثبت و معنی دار بین پوشش برف و دبی با یک ماه تأخیر نشان‌دهنده آن است که برف ماه مارس به‌عنوان منبع پایدار آب عمل می‌کند و افت احتمالی بارش بهار را جبران می‌نماید. این امر اهمیت نقش برف را در مدیریت منابع آب و پیش‌بینی رواناب‌های فصلی در حوزه مارون به‌طور ویژه برجسته می‌سازد (جدول ۷). بررسی نتایج نشان داد که در ماه می، اگرچه وسعت پوشش برف در حوزه مارون به‌شدت کاهش یافته است، اما اثرات ذخیره برف همچنان در رژیم دبی این رودخانه محسوس است. در این ماه، بین دبی رودخانه مارون و پوشش کلی برف با تأخیر یک‌ماهه، همبستگی مثبت و معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده شد.

این یافته نشان می‌دهد که بخشی از رواناب ماه می همچنان ناشی از ذوب برف انباشته در ماه آوریل است که با فاصله زمانی کوتاه وارد شبکه هیدرولوژیک حوزه شده است. علاوه بر این، با تأخیر دوماهه بین پوشش کلی برف همبستگی مثبت و معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۱ مشاهده شد. این نتایج به‌خوبی بیانگر آن است که حتی پس از گذشت دو ماه، فرآیند ذوب تدریجی ذخایر برفی کوهستانی و رهاسازی تدریجی رطوبت در خاک و سفره‌های زیرسطحی، جریان رودخانه را تغذیه کرده و نقش مهمی در حفظ رواناب ایفا می‌کند. به‌طور کلی، نتایج ماه می نشان می‌دهد که برف، حتی در شرایط کاهش شدید پوشش، همچنان به‌عنوان یک منبع تأخیری و پایدار آب عمل می‌کند و علاوه بر تنظیم رواناب ماه جاری، در ماه‌های بعدی نیز نقشی تعیین‌کننده در رژیم جریان رودخانه مارون دارد. این موضوع اهمیت برف را در مدیریت منابع آب حوزه مارون و کاهش نوسانات ناشی از تغییرات بارشی به‌خوبی برجسته می‌کند. از طرفی با توجه به این که از ماه جون تا اکتبر وسعت پوشش برفی حوزه مورد مطالعه به شدت کاهش می‌یابد از بررسی همبستگی طی این مدت صرف نظر شد. همچنین مشخص شد در ماه نوامبر و دسامبر نیز بین وسعت پوشش برف و دبی رودخانه مارون هیچ گونه همبستگی معنی داری مشاهده نشده است (جدول ۷). مقایسه نوسانات در ماه می نشان داد دبی رودخانه با تأخیر یک‌ماهه و دوماهه نسبت به تغییرات پوشش برف هماهنگی دارد. این وضعیت تأیید کننده آن است که ذوب برف‌های باقی‌مانده از ماه‌های مارس و آوریل همچنان منبع اصلی تغذیه جریان رودخانه است. در نتیجه، حتی با کاهش قابل‌توجه پوشش برفی در ماه می، اثر ذخیره‌ای و تأخیری برف‌های پیشین باعث تداوم جریان و پایداری رواناب در حوزه مارون می‌شود. (شکل ۱۰).

جدول ۷: بررسی رابطه بین پوشش برف و دبی رودخانه مارون در ماه های آوریل، می و نوامبر و دسامبر به صورت همزمان و با تاخیر ۱ و ۲ ماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

ماه	همبستگی همزمان	همبستگی با تاخیر یک ماهه	همبستگی با تاخیر دو ماهه
آوریل	۰/۴۲۳*	۰/۴۴۱*	۰/۲۵
می	-۰/۱۲	۰/۴۹۴*	۰/۶۱۶**
نوامبر	-۰/۰۹	—	—
دسامبر	۰/۲۸	-۰/۱۲	—

همبستگی در سطح اطمینان ۰/۰۵ معنی دار است. (*) همبستگی در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنی دار است. (**)



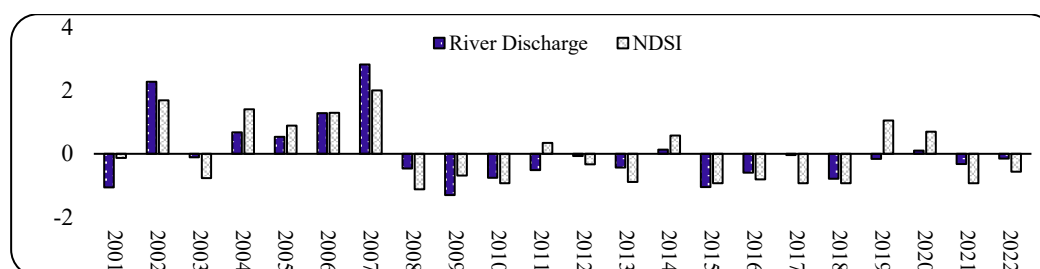
شکل ۱۰- مقایسه نوسانات وسعت پوشش برفی حوزه آبریز و دبی رودخانه مارون طی سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ در ماه می با تاخیر ۲ ماهه

بررسی رابطه بین دبی رودخانه مارون و پوشش برف به صورت فصلی و طول دوره برفی (نوامبر تا می)

بررسی همبستگی فصلی بین وسعت پوشش برف حوزه آبریز مارون و دبی رودخانه نشان داد که در فصول زمستان و بهار هیچ رابطه معنی داری بین این دو متغیر مشاهده نشد. این امر را می توان ناشی از عواملی مانند همزمانی انباشت برف در زمستان و اوایل بهار با کاهش ذوب و جریان سطحی، باعث می شود سهم برف در دبی همان فصل آشکار نشود و همچنی نقش بارش باران و تبخیر-تعرق فصلی که سیگنال اثر پوشش برف را در مقیاس فصلی تضعیف می سازد. در واقع، برف بیشتر به عنوان ذخیره آبی بالقوه عمل کرده و اثر مستقیم خود را بر دبی همان فصل نشان نمی دهد. در مقابل مشخص گردید در فصل پاییز وجود یک همبستگی مثبت بسیار قوی و معنی دار در سطح اطمینان ۰/۰۱ بین وسعت پوشش برف و دبی همان فصل وجود دارد. این رابطه بیانگر آن است که برف انباشته در ارتفاعات حوزه در اوایل پاییز زودتر وارد چرخه ذوب و رواناب می شود. بنابراین، نتایج فصلی نشان می دهد که نقش پوشش برف در رژیم رواناب مارون وابسته به زمان و شرایط ترمودینامیکی حاکم است به طوری که در زمستان و بهار، برف بیشتر در نقش یک ذخیره تأخیری عمل کرده و اثر خود را به فصل های بعد منتقل می کند. در فصل پاییز، برف همزمان با شرایط مساعد برای ذوب و کاهش فشار تبخیری، به طور مستقیم و قابل ملاحظه ای در افزایش جریان رودخانه اثرگذار است. جدول (۸). همچنین بررسی رابطه بین میانگین دبی رودخانه مارون و وسعت پوشش برف در حوزه آبریز مربوطه طی بازه زمانی نوامبر تا می نشان داد که بین این دو متغیر همبستگی مثبت و معنی داری در سطح اطمینان ۰/۰۵ با ضریب همبستگی ۰/۴۲۳ به دست آمد که بیانگر ارتباط مستقیم متوسط و معنی دار میان افزایش پوشش برف و افزایش دبی رودخانه است. بنابراین همبستگی مثبت بیانگر نقش مؤثر ذوب برف در تأمین رواناب سطحی و تغذیه جریان رودخانه است. جدول (۸). در مقیاس بلندمدت، نیز مقایسه نمودارها نشان داد که هماهنگی قابل توجهی بین نوسانات پوشش برف و دبی رودخانه وجود دارد؛ به ویژه در فصل پاییز (نوامبر و دسامبر) و دوره سالانه (نوامبر تا می) این هم نوسانی به صورت منظم و پایدار مشاهده شد. این نتیجه بیانگر آن است که تغییرات پوشش برف در آغاز و طول دوره ی برفی، اثر مستقیمی بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه دارد و نقش مهمی در تنظیم جریان سالانه و پایداری منابع آب رودخانه مارون ایفا می کند شکل (۱۱).

جدول ۸- بررسی رابطه بین وسعت پوشش برف حوزه آبریز و دبی رودخانه مارون به صورت فصلی و سالانه (از ماه نوامبر تا ماه می)

دوره زمانی	ضریب همبستگی (r)
پاییز (نوامبر-دسامبر)	۰/۶۱۶**
زمستان	۰/۲۵
بهار (آوریل-می)	۰/۳۶
سالانه (نوامبر تا می)	۰/۴۲۳*



شکل ۱۱- مقایسه نوسانات وسعت پوشش برفی حوزه آبریز و دبی رودخانه مارون طی سری زمانی (۲۰۰۱-۲۰۲۲) در فصل بهار (آوریل و می)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج به‌دست آمده و تفسیر و جمع‌بندی یافته‌ها حاصل از تحلیل روند زمانی پوشش برف (۲۰۲۱-۲۰۲۲) در حوزه آبریز مارون مشخص گردید کاهش معنی داری در اغلب ماه‌ها به‌ویژه در فصل زمستان مشاهده شده است. به‌صورتی که روند معنی‌دار در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس نشان‌دهنده کاهش تدریجی ذخایر برفی در بلندمدت بوده است. Tani و همکاران، (۲۰۲۵) نیز با مطالعه بر روی پوشش برف حوزه آبریز کارون نشان دادند روند پوشش برف طی ماه‌های سرد سال در حوزه منتخب به‌ویژه در ماه‌های ژانویه تا دسامبر به‌صورت منفی با جهش کاهشی همراه بوده است. نتایج تحلیل شیب سن نیز در پژوهش حاضر نشان از کاهش ۲۸/۷ کیلومترمربعی میانگین وسعت پوشش برف فصل زمستان در هر سال را داشته است. از طرفی بررسی همبستگی بین شاخص پوشش برف (NDSI) و دبی رودخانه نشان داد که رابطه میان این دو متغیر بیشتر به‌صورت مثبت و تأخیری بروز می‌کند. به‌ویژه در ماه‌های فوریه و مارس، پوشش برف با یک تا دو ماه تأخیر اثر خود را بر افزایش جریان رودخانه نشان می‌دهد؛ بدین معنا که برف انباشته‌شده در ماه‌های سرد، در نتیجه‌ی ذوب تدریجی در ماه‌های بعد، می‌تواند به‌صورت رواناب سطحی در رژیم هیدرولوژیکی ظاهر می‌شود. این یافته تأیید می‌کند که برف به‌عنوان یک ذخیره آبی میان‌مدت، نقش تنظیم‌کننده و پایداری در جریان‌های سطحی این حوزه دارد. Vydra و همکاران، (۲۰۲۴) نیز با مطالعه تأثیر تغییرات پوشش برف حوزه ی آبریز رودخانه سیردریا بر رواناب نشان دادند رواناب، تحت تأثیر مدت زمان و وسعت پوشش برف اواخر زمستان و بهار قرار دارد و ذوب زودتر برف در بیشتر مناطق بر رواناب برخی از شاخه‌های رودخانه تأثیر می‌گذارد.

نتایج فصلی تحقیق حاضر نیز بیانگر آن است که در فصل زمستان و بهار، نقش برف بر دبی بیشتر در قالب ذخیره به‌صورت تأخیری آشکار می‌شود، در حالی که در فصل پاییز، وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار میان پوشش برف و دبی، تأثیر مستقیم آن بر رواناب مشهود است. Li و همکاران، (۲۰۲۰) نیز در یک مطالعه بر روی حوزه رودخانه بابائو مشخص کردند که افزایش جریان آب این رودخانه پوشش برفی حوزه بالا دست رابطه مستقی دارد. در مجموع، کاهش تدریجی پوشش برف در حوزه مارون نه‌تنها بر توازن آبی و تغذیه منابع زیرزمینی تأثیر می‌گذارد، بلکه می‌تواند پایداری جریان‌های رودخانه‌ای را در فصول خشک به‌طور جدی تهدید کند. از منظر مدیریتی، نتایج این

مطالعه بر اهمیت پایش مستمر پوشش برف و لحاظ کردن اثرات تغییرات دما و بارش در مدل‌های پیش‌بینی رواناب و برنامه‌ریزی منابع آب حوزه مارون تأکید دارد. درک دقیق الگوهای زمانی و مکانی تغییرات برف می‌تواند در بهینه‌سازی مدیریت سد مارون، پیش‌بینی سیلاب‌های بهاری، و سازگاری با تغییرات اقلیمی نقش کلیدی ایفا کند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، ارتباط بین نوسانات دورپیوندی مانند ENSO و NAO با روندهای برفی و دبی رودخانه مورد بررسی قرار گیرد تا درک جامع‌تری از کنترل‌کننده‌های اقلیمی بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه حاصل شود.

ملاحظات اخلاقی

پژوهشگران اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: نظام تنی؛ تهیه گزارش پژوهش: کمال امیدوار؛ تحلیل داده‌ها: نظام تنی، کمال امیدوار مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان نامه تقریباً به شکل زیر بوده است: نظام تنی: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، آزمایش و گردآوری داده‌ها، محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها انجام آزمایش‌ها و گردآوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله کمال امیدوار: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافع (مالی، حرفه‌ای یا شخصی) که بتواند بر نتایج یا تفسیر این پژوهش تأثیر بگذارد، وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی خاصی از سازمان‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از کلیه افراد موثر از جمله داوران محترم که در کامل تر شدن این پژوهش نقش داشتند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

منابع

اسلامی، ح؛ جمالی، س؛ ایوبی کیا، رضا، اسلامی، ک (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بارش در برآورد دبی و حجم سیلاب با مدل NAM توسعه یافته (محدوده مطالعات: حوضه‌های غرب). رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست، (۱۱)، ۱۱۲-۱۰۱. Doi: 10.22034/nawee.2023.346025.1001

بهرامی پیچاقچی، ح، نوروز ولاشیدی، ر؛ رائینی سرجاز، م (۱۴۰۱). تحلیل آماری سری زمانی مساحت پوشیده از برف حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در استان مازندران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳ (۲۵)، ۵۰-۶۱. doi:10.52547/jwmr.13.25.50

تنی، ن؛ امیدوار، ک؛ مظفری، غ؛ مزیدی، ا (۱۴۰۴). اثرگذاری شار تابشی خورشیدی و ارتفاع ژئوپتانسیل بر پوشش برف حوزه آبریز رودخانه‌های کارون و مارون با رویکرد آماری هم‌مدیدی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. (انتشار آنلاین). Doi: 10.22108/gep.2025.142875.1668

- تنی، ن؛ امیدوار، ک؛ مزیدی، ا.، مظفری، غ (۱۴۰۴). آشکار سازی روند تغییرات پوشش برف (NDSI) حوزه آبریز کارون و اثرگذاری الگوهای دور پیوند منطقه‌ای و جهانی بر روی آن. *نشریه سنجش از دور و GIS ایران* ، doi: 10.48308/gisj.2025.236231.1223
- سبزواری، ی؛ دادوند، ف.، نصرالهی، ع (۱۴۰۱). پایش تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی در مناطقی از غرب ایران. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۱(۲)، ۶۲-۷۹. Doi: 10.22034/nawee.2022.361453.1025
- شمس، م؛ مباشری، م.، فاطمی، س (۱۳۹۳). ارزیابی دقت شاخص NDSI استخراج شده از تصاویر MODIS در مناطق دارای شیب متوسط. *نشریه سنجش از دور و GIS ایران* (۱)، ۶۱، https://gisj.sbu.ac.ir/article_95340.html
- درگاهیان، ف؛ موسیوند، ی؛ رضوی زاده، س (۱۴۰۳). پایش برف در بالادست حوزه و ارتباط آن با تغییرات مساحت آب هامون‌ها با استفاده از سنجش از دور. *مجله علوم و مهندسی آبریزداری ایران*. ۱۸ (۶۴)، ۹۰-۱۰۲-۱. <http://jwmsei.ir/article-1-۱۰۲-۹۰-۱۸-۱105-fa.html>
- سیفی، ه.، قربانی، ا (۱۳۹۸). برآورد سطح پوشش برف از طریق تکنیک های شیء‌گرا با استفاده از تصاویر سنجنده های OLI و TIRS مطالعه موردی: کوهستان سهند. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»*، ۲۸ (۱۰۹)، ۷۷-۹۱. Doi: 10.22131/sepehr.2019.35639
- قاسمی، ا (۱۴۰۱). بررسی تغییرات پوشش برف منطقه کوه‌رنگ استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره لندست. *پژوهش های نوین در مهندسی آب پایدار*، ۱(۲)، ۱۳-۲۵. Doi: 10.22103/nrswe.2023.20344.1015
- ملکی نژاد، ح؛ سلیمانی مطلق، م؛ جایدری، ا.، شاطرآشوری، س (۱۳۹۱). تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشکسالی با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن در استان تهران. *نیوار*، ۳۷ (۸۱-۸۰)، ۴۳-۵۴. https://nivar.irimo.ir/article_13186.html
- میرعباسی نجف آبادی، ر.، دین پژوه، ی (۱۳۸۹). تحلیل روند تغییرات آبدی رودخانه های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. *آب و خاک*، ۲۴ (۴)، ۳۹۰۱-۳۹۰۴. Doi: 10.22067/jsw.v0i0.3901
- میرموسوی، ح.، حیدری منفرد، ز (۱۴۰۳). تحلیل تغییرات مکانی- زمانی میانگین پوشش برف طی فصول سرد سال در منطقه شمال غرب ایران. *نیوار*، ۴۸ (۱۲۴-۱۲۵)، ۸۴-۱۰۴. Doi: 10.30467/nivar.2024.437745.1279
- 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. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-022-06341-x> (In Persian).
- Bahrami Pichaghchi H, Norooz Valashedi R, Raeini-sarjaz M., 2022. Statistical Analysis of Time Series of Snow-Covered Area Obtained from Satellite Images in Mazandaran Province. *J Watershed Manage Res.* 13(25), 50-61. (In Persian). 10.52547/jwmr.13.25.50.
- Bales Roger, C., Noah, P., Molotch Thomas, H., Painter Michael, D., Dettinger Robert Rice, Jeff Dozier., 2006. Mountain hydrology of the western United States. *Water Resources Research* 42, no. 8. <https://doi.org/10.6071/M39Q2V>.
- Bousbaa, M., Boudhar, A., Kinnard, C., Elyoussfi, H., Karaoui, I., Eljabiri, Y., Chehbouni, A., 2024. An accurate snow cover product for the Moroccan Atlas Mountains: Optimization of the MODIS NDSI index threshold and development of snow fraction estimation models. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 129, 103851. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103851>.
- Eslami, H., Jamali, S., Ayoubi Kia, R., Eslami, K., 2022. *Evaluating the performance of rainfall forecasting models in estimating discharge and flood volume using the developed NAM model (Case study: Western basins)*. *New Approaches in Water and Environmental Engineering*, 1(1), 101-112. <https://doi.org/10.22034/nawee.2023.346025.1001> (In Persian).

- Chanda, N., Chintalacheruvu, M. R., Choudhary, A. K., 2024. Exploring climate-change impacts on streamflow and hydropower potential: insights from CMIP6 multi-GCM analysis. *Journal of Water and Climate Change*, 15(9), 4476-4498. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.150>.
- Dargahian, F., Mousivand, Y., Razavizadeh, S., 2024. Snow monitoring in the upper reaches of the basin and its relationship with the changes in the water area of Hamoun using remote sensing. *Jwmseir*; 18 (64), 8. URL: <http://jwmsei.ir/article-1-1105-fa.html> (In Persian).
- Faal, R., Saboori, M., Patro, E. R., Ala-Aho, P., Haghighi, A. T., 2025. A novel spatiotemporal analysis of snow cover pattern over Finland based on ERA5-land reanalysis. *Journal of Hydrology*, 134264. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134264>.
- Ghasemi, A. R., 2022. Investigation of snow cover changes in the Kouhrang region of Chaharmahal and Bakhtiari Province using Landsat satellite image processing, *Innovative Research in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 13-25. <https://doi.org/10.22103/nrswe.2023.20344.1015> (In Persian).
- Gao, Z., Liu, Z., Han, P., Zhang, C., 2024. Investigating spatial-temporal trend of snow cover over the three provinces of Northeast China based on a cloud-free MODIS snow cover product. *Journal of Hydrology*, 645, 132044. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132044>.
- Ghasemi, A. R., 2022. Investigation of snow cover changes in the Kouhrang region of Chaharmahal and Bakhtiari Province using Landsat satellite image processing. *New Researches in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 13-25. <https://doi.org/10.22103/nrswe.2023.20344.1015>. (In Persian).
- Hall, D. K., Foster, J. L., Verbyla, D. L., Klein, A. G., Benson, C. S., 1998. Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation-cover densities in central Alaska. *Remote sensing of Environment*, 66(2), 129-137. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00051-0).
- 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://modis-snowice.gsfc.nasa.gov/uploads/pap_snowcover02.pdf
- . Hiyama, T., Park, H., Kobayashi, K., Lebedeva, L., Gustafsson, D., 2023. Contribution of summer net precipitation to winter river discharge in permafrost zone of the Lena River basin. *Journal of Hydrology*, 616, 128797. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128797>.
- Kendall, M. G., 1975, Rank Correlation Methods. Griffin.
- Khan, A. A., Li, X., 2025. Recent global snow cover trends using the MODIS dataset from 2000 to 2021. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 101662. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101662>.
- Li, H., Li, H., Wang, J., Hao, X., 2020, Monitoring high-altitude river ice distribution at the basin scale in the northeastern Tibetan Plateau from a Landsat time-series spanning 1999-2018. *Remote Sensing of Environment*, 247, 111915. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111915>.
- Maleki-Nejad, H., Soleimani Motlagh, M., Jaedari, A., Shater-Abshouri, S., 2012. Analysis of rainfall and drought trends using the Mann-Kendall test and Sen's slope estimator in Tehran Province. *Nivar*, 37(80-81), 43-54. https://nivar.irimo.ir/article_13186.html (In Persian).
- Mankin, Justin S., Daniel Viviroli, Deepti Singh, Arjen Y., Hoekstra, Noah S. Diffenbaugh., 2015. The potential for snow to supply human water demand in the present and future. *Environmental Research Letters* 10, no. 11, 114016. <https://doi.org/2020031315141105>.
- Mann, H. B., 1945, Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
- Mirabbasi Najafabadi, R., Dinpejough, Y., 2010. Analysis of the trend of changes in the discharge of northwestern Iran Rivers in the last three decades. *Water and Soil*, 24(4), doi: 10.22067/jsw.v0i0.3901.
- Mirmousavi, S. H., Heidari Monfared, Z., 2024. Spatio-temporal analysis of mean snow cover changes during the cold seasons in the northwest region of Iran. *Nivar*, 48(124-125), 84-104. <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.437745.1279>. (In Persian).
- Moazzam, M. F. U., Banerjee, A., Rahman, G., Lee, B. G., 2024. Elevation dependent climate assessment and its influence on snow cover variability in Hindu Kush Himalayan region using Google Earth Engine for the

- period of 2003–2021. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101217. 10.1016/j.rsase.2024.101217.
- Moradi, Ehsan., Zlatica Muchová, Hamid Darabi., Seyede Masoumeh., Hafezi, Zahra Karimidastenaiei, Jana., Moravcová, Ali., Torabi, Haghighi., 2025. Assessment of snow cover dynamics and the effects of environmental drivers in High Mountain ecosystems. *Environmental Impact Assessment Review* 114, 107969. 10.1016/j.eiar.2025.107969.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105153>.
- Naghshine, M. H., Raof, F., Khoshrftar, A., 2013. The study of flood hydraulics before the building of Maroon Dam by HEC-RAS, Maskingam and Muskingum-Cunge method. <https://ro.uow.edu.au/eispapers/1217>.
- Park, H., Kim, Y., Suzuki, K., Hiyama, T., 2024. Influence of snowmelt on increasing Arctic river discharge: numerical evaluation. *Progress in Earth and Planetary Science*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40645-024-00617-y>.
- Sabzevari, Y., Dadavand, F., Nasrollahi, A., 2022. *Monitoring temporal variations of meteorological drought in parts of western Iran*. New Approaches in Water and Environmental Engineering, 1(2), 62–79. <https://doi.org/10.22034/nawee.2022.361453.1025> (In Persian).
- Serrano, A., Mateos, V.L., Garcia, A.J., 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the librian for the period 1921-1995. *Physics and chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(2), 85-90.
- Shams, M., Mobasheri, M. R., Fatemi, S. B., 2014. Accuracy assessment of the NDSI index extracted from MODIS images in areas with moderate slope. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 6(1), [pages not specified]. <https://chatgpt.com/c/6936b52b-fa3c-8333-bdcc-bb885ff3b942>. (In Persian).
- Saifi, H., Ghorbani, E., 2019, Estimation of snow cover area using object-based techniques with OLI and TIRS sensor imagery: A case study of Sahand Mountain. *Geographical Information (Sepehr)*, 28(109), 77–91. 10.22131/sepehr.2019.35639. (In Persian).
- Tang, Z., Wang, X., Deng, G., Wang, X., Jiang, Z., Sang, G., 2020. Spatiotemporal variation of snowline altitude at the end of melting season across High Mountain Asia, using MODIS snow cover product. *Advances in Space Research*, 66(11), 2629-2645. 10.1016/j.asr.2020.09.035.
- Tani, N., Omidvar, K., Mozaffari, G., Mazidi, A., 2025, Evaluation of the correlation between Karun River discharge and the snow cover index (NDSI) of the Karun basin using a statistical approach. *Journal of Climatology Research*, e226322. 10.22108/gep.2025.142875.1668.
- Tani, N., Omidvar, K., Mazidi, A., Mozaffari, G., 2025. Detecting trends in snow cover (NDSI) changes in the Karun River Basin and the influence of regional and global teleconnection patterns on it. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*. <https://doi.org/10.48308/gisj.2025.236231.1223>.
- Thiel, H., 1950. A Rank-invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, Part 3. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen A*, 53, 1397-1412.
- Vivekanandan, N., 2007. Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods. *International Symposium on Rainfall Rate and Radio Wave Propagation, American Institute of Physics*, pp. 101-113. 10.1063/1.2767019
- Vydra, C., Dietz, A. J., Roessler, S., Conrad, C., 2024. The Influence of Snow Cover Variability on The Runoff in Syr Darya Headwater Catchments between 2000 and 2022 Based on the Analysis of Remote Sensing Time Series. *Water*, 16(13), 1902. <https://doi.org/10.3390/w16131902>
- Zhang, Q., Xiao, M., Singh, V. P., Chen, X., 2013. Copula-based risk evaluation of droughts across the Pearl River basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1), 119–131. DOI: 10.1007/s00704-012-0656-4.