

Removal of Commission Error from MCD10A1 in Iran

S. A. Masoodian

Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Isfahan University, Isfahan, Iran

Email: s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir



How to Cite: Masoodian, S. A. (2026). Removal of Commission Error from MCD10A1 in Iran. *Geography and Development*, 24 (82), 177-192.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2025.50236.3693>

Received:

12 November 2024

Received in revised form:

5 April 2025

Accepted:

14 April 2025

Published online:

8 March 2026

ABSTRACT

Life in Iran and Iranian civilization depend on mountain snow reservoirs. Knowing about the status and changes of these snow reservoirs is a need that does not require a conversation. With the global warming and the destruction of these snow reservoirs, the Iranian civilization is going to shut down. Remote sensing is a cheap and fast way to achieve this knowledge. However, snow detection algorithms erroneously report snow-like features that have similar spectral characteristics to snow (such as salt pans) as snow (commission error). In Iran, due to the abundance of bright surfaces (salt flats, reservoirs, the bed of ancient lakes, etc.), frequency of commission error is very high. In this research, about 21 years of data of the Normalized Difference Snow Index (NDSI) of MODIS Aqua and Terra were used in order to remove the commission error. A principal component analysis was performed on the array of daily long-term mean NDSI of 23,960 pixels from snow reservoirs and snow-like surfaces with dimensions of 23,960 x 365. This study showed that the seasonality of snow cover in Iran, in contrast to the continuous brightness of snow-like surfaces throughout the year, can make a basis for removing commission error. On the snow reservoirs, the NDSI is great only during the snow season, i.e. the cold period of the year, but on the snow-like areas, NDSI is great throughout the year. This feature is so prominent that the first principal component distinguished these two areas from each other.

Keywords:

Commission error,
Omission error,
Snow cover,
MODIS,
Iran.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

In countries like Iran with limited and scattered water resources, snow cover plays a vital role as one of the primary sources feeding rivers and Qanat. Given the confirmed consequences of global warming in various studies (e.g., Harvey, 2018; Masoodian, 2005), reduced snow cover could have severe impacts on natural ecosystems like Zagros oak forests (Yaghmaei et al, , 2021) and increase flood risks in urban areas (Masoodian, 2023). Under these circumstances, accurate and continuous monitoring of snow cover becomes particularly crucial. However, the scarcity of ground stations, especially in remote mountainous areas, makes remote sensing data a practical solution for monitoring snow-covered areas.

In remote sensing, the Normalized Difference Snow Index (NDSI), calculated based on reflectance differences in the visible (555 nm) and shortwave infrared (1640 nm) bands, serves as the foundation for snow cover identification. Yet this index suffers from significant limitations, most notably the misidentification of snow-like phenomena (such as salt flats, shallow lakes, and sand dunes) as actual snow (commission error). This issue is particularly important in Iran, which contains numerous salt flats and shallow water bodies. Previous studies like Ebadi et al, (2021) and Fayyaz et al, (2015) have attempted to reduce this error through improved algorithms, but the need for an automated solution remains.

2. Materials and Methods

This study utilized MODIS NDSI data (Product MxD10A1 Version 6.1) with 500m spatial and daily temporal resolution over a 21-year period (2002-2023). To mitigate cloud-effect - a major obstacle in snow monitoring - three filters were applied: 1) A spatial filter replacing cloudy pixels with the average of snow-covered neighbors; 2) A Terra-Aqua fusion filter combining data from both sensors; and 3) A temporal filter to fill gaps in time series caused by cloud cover.

For snow commission error analysis, two distinct pixel groups were selected: Group 1 (high-error probability) included pixels below 1700m elevation with >40 snow-covered days/year, while Group 2 (low-error) comprised pixels above 2500m with >90 snow-covered days/year. In total, 23,960 pixels were analyzed. Principal Component Analysis (PCA) was then employed to examine temporal NDSI patterns across these pixels.

3. Results and Discussion

The results revealed numerous areas in Iran being misclassified as snow-covered. Key misidentified areas included Gavkhouni Wetland, Kheyraabad Salt Plain, Bakhtegan and Tashk Lakes, Maharloo Lake, Harabarjan Salt Lake, Kaji Salt Lake, Mighan Wetland, Qom Salt Lake, and various dam reservoirs like Zayandehroud, Kazemi, and Mahabad. For instance, MODIS sensors reported over 250 snow-covered days/year at Gavkhouni Wetland, clearly indicating identification errors.

PCA demonstrated markedly different seasonal NDSI patterns between true snowpacks and snow-like surfaces. Mountainous snowpacks like Zardkuh showed distinct seasonal variation, peaking in winter (up to 60%) and reaching near-zero in summer. In contrast, snow-like areas like Gavkhouni maintained consistently high NDSI values (20-60%) year-round, never dropping to zero. Interestingly, NDSI values in these areas decreased during wet seasons (autumn/winter), likely due to surface wetness reducing reflectance.

The first PCA component, explaining about 50% of variance, effectively distinguished these patterns. Snowpacks showed negative component scores while snow-like areas scored positively. The eigenvector revealed that during cold seasons, snowpacks exhibited above-average NDSI values while snow-like areas showed below-average values - a pattern that reversed in warm seasons. These findings confirm that seasonal pattern differences can effectively separate true snow from snow-like phenomena.

Compared to previous methods, this approach offers several advantages: 1) Requires only two spectral bands (green and SWIR); 2) Needs no supplementary data like land surface temperature; and 3) Can operate automatically. However, a key limitation remains: when real snow accumulates on snow-like surfaces (e.g., salt flats), it may be erroneously filtered out. Future studies should therefore integrate this method with other algorithms like that proposed by Ebadi et al, (2021).

4. Conclusion

This study demonstrated that long-term temporal analysis of NDSI can effectively identify and correct snow misclassification errors in MODIS data. The proposed PCA-based method provides a cost-effective, automated solution. Given snow cover's importance for water resource management and climate change studies, this method could significantly improve remote sensing-based estimates. Future research should develop hybrid algorithms that simultaneously reduce both commission and omission errors.

Keywords: Commission error, Omission error, Snow cover, MODIS, Iran.

References

- Ahmadi, Mahmood, Zahrasadat Seyedmirzaei. (2022). Monitoring changes in snow cover during the cold period of the year in Iran based on MODIS snow product. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 14(1), 59-72.
https://gisj.sbu.ac.ir/article_101570_a8095a1dd8c638e0cc7226f5f49ea525.pdf
- Afifi, M. E. (2021). Investigation of changes in snow cover and determination of snowmelt line in mountainous areas using MODIS images and NDSI index (Case study of Zagros Glaciers). *Geography and Environmental Studies*, 10(38), 25-36.
https://journals.iau.ir/article_681876_b4711fc8c5b2d508c52854093acb39d8.pdf
- Brubaker, K. L., Pinker, R. T., & Deviatova, E. (2005). Evaluation and comparison of MODIS and IMS snow-cover estimates for the continental United States using station data. *Journal of Hydrometeorology*, 6(6), 1002-1017.
- Deng, G., Tang, Z., Dong, C., Shao, D., & Wang, X. (2024). Development and Evaluation of a Cloud-Gap-Filled MODIS Normalized Difference Snow Index Product over High Mountain Asia. *Remote Sensing*, 16(1), 192.
- Ebadi, Yousef, Akram Eftekhari, Hekmatollah Mohammadxanlou, Majid Fakhri. (2021). Presenting a new spectral index in order to extract snow covered surfaces using remote sensing optical images. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information "Sephehr"*, 30(117), 79-94.
https://www.sepehr.org/article_244452_5811d49387df5aa684b2de42bf016be3.pdf
- Fayyaz, Nima, Majid Vazifedoost, Shahab Iraquejad. (2015). Investigating the possibility of using MODIS snow products in cloudy conditions by combining it with microwave images, *Applied Researches in Geography*, No. 37, 71-89.
<https://c4i2016.khu.ac.ir/jgs/article-1-2420-fa.pdf>
- Hall, D. K. & Riggs, G. A. (2021). MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m SIN Grid. (MOD10A1, Version 61). [Data Set]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.061>. Date Accessed 11-04-2024.
- Harvey, L. D. (2018). *Global warming*. Routledge.
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2016a). Seasonal classification of snow-covered days in Iran using remote sensing data. *Geography and Environmental Planning*, 27(3), 33-48.
https://gep.ui.ac.ir/article_22073_110abda97ab4dc814f09d54aa3c7b85f.pdf
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2016b). Analyzing the relationship between snow-covered days and altitude, slope and slope in Iran-Zamin. *Natural Geography Research (Geographic Research)*, 48(1), 1-14.
https://gep.ui.ac.ir/article_24911_611f1ad7b73e7132818aa707eb0985e1.pdf
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2016c). Identifying spatial trends of snow-covered days in Iran using remote sensing data. *Geography and Environmental Hazards*, 5(17), 69-85.
SID. <https://sid.ir/paper/356994/fa>
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A., Balling Jr, R. C., & Svoma, B. M. (2017). Spatial and temporal variations of snow cover in the Karoon River Basin, Iran, 2003–2015. *Water*, 9(12), 965.
<https://doi.org/10.3390/w9120965>
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2017a). Identification of Iran's snowblowers. *Natural Geography Research*, 49(3), 395-408.
SID. <https://sid.ir/paper/360032/fa>

- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2017b). Analyzing the role of surface temperature in the distribution of snow cover in Iran using satellite data. *Journal of Geography and Development*, 15(49), 189-204.
<https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3459>
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2017c). Analyzing the trend of snow covered days in Iran based on remote sensing data. *Geography and Environmental Planning*, 28(1 (serial 65)), 49-59.
SID. <https://sid.ir/paper/509080/fa>
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2020). Analysis of changes in the beginning of the snow cover accumulation season in Iran using remote sensing data. *Geography and Environmental Planning*, 31(1), 1-14.
- Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A. (2021). Hydrometeorology of accumulation and melting of snow cover in Iran using MODIS sensor data. *Physical Geography Research*, 53(1), 109-121.
SID. <https://sid.ir/paper/1061350/fa>
- Kiany, M. S. K., Masoodian, S. A., & Balling Jr, R. C. (2021). Climatology and variability of the start, end, and length of the frost-free season across Iran. *Climate Research*, 84, 59-73.
<https://doi.org/10.3354/cr01659>
- Masoodian, Seyed Abolfazl. (2005). Examining Iran's temperature trend in the last half century. *Geographical Research*, 37(54), 29-45.
<https://www.sid.ir/filesserver/jf/51913845403.pdf>
- Masoodian, S.A. (2023). A climatological survey of spring flood-induced rainfalls of 2018 in western Iran. *Natural Environment Hazards*, 37(12), 101-116.
https://jneh.usb.ac.ir/article_7233_106c2189c92a2ff90bd824792fc1f091.pdf
- Miryaqubzadeh, Mirhassan, Mohammadreza Qanbarpour. (2010). Investigating the accuracy of digital separation of cloud, snow and ground parameters in MODIS images. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 3(9), 51-54.
<https://jwmsei.ir/article-1-130-fa.pdf>
- Riggs, G. A., Hall, D. K., & Román, M. O. (2019). MODIS snow products collection 6 user guide. National Snow and Ice Data Center: Boulder, CO, USA, 66, 545.
- Rittger, K., Raleigh, M. S., Dozier, J., Hill, A. F., Lutz, J. A., & Painter, T. H. (2020). Canopy adjustment and improved cloud detection for remotely sensed snow cover mapping. *Water Resources Research*, 56(6), e2019WR024914.
- Yaghmai, Leyla, Reza Jafari, Saeed Soltani, Hasan Jahanbazi. (2022). The effect of surface changes and the durability of snow cover on vegetation in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Pasture and watershed scientific-research journal*, 74(4), 917-938.
https://jrwm.ut.ac.ir/article_86671_f9652125a159cdde3cca1e0bfe2f80ad.pdf



پاکسازی خطای برف‌پنداری داده‌های مودیس در ایران

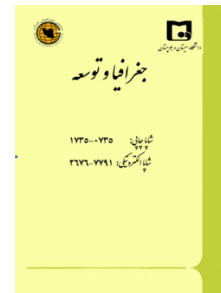
دکتر سیدابوالفضل مسعودیان

مقاله پژوهشی

چکیده

زندگی در ایران و تمدن ایرانی وابسته به برف‌خوان‌های کوهستانی است. آگاهی از وضعیت و تغییرات این برف‌خوان‌ها نیازی است که نیازمند گفتگو نیست. با گرمایش جهانی و تپاه شدن این برف‌خوان‌ها، تمدن ایرانی هم رو به خاموشی می‌گذارد. دورسنجی راهی کم‌هزینه و سریع برای دستیابی به این آگاهی است. با این حال سنجنده‌ها، پدیده‌هایی که ویژگی‌های طیفی نزدیکی با برف دارند (مانند کفه‌های نمکی) را به خطای برف گزارش می‌کنند (خطای گمارش یا خطای برف‌پنداری). در ایران به دلیل فراوانی رویه‌های درخشان (کفه‌های نمکی، آبیگرها، بستر دریاچه‌های باستانی و مانند آن) خطای برف‌پنداری فراوان است. در این پژوهش حدود ۲۱ سال داده‌های نمایه تفاضل هنجاری برف (نتهب) مودیس آکوا و ترا برای پاکسازی خطای برف‌پنداری به کار گرفته شد. یک واکاوی مؤلفه اصلی بر روی آرایه میانگین بلندمدت روزانه مقادیر نتهب ۲۳۹۶۰ ساخته از برف‌خوان‌ها و رویه‌های برف‌نما به ابعاد ۳۶۵×۲۳۹۶۰ انجام شد. این بررسی نشان داد که فصل‌بندی برف‌پوش در ایران در مقابل درخشش رویه‌های برف‌نما در سراسر سال می‌تواند اساس تمیز برف‌خوان‌ها از رویه‌های برف‌نما قرار گیرد. بر روی برف‌خوان‌ها مقدار نتهب تنها در دوره برف‌گیری؛ یعنی دوره سرد سال بزرگ است اما بر روی پهنه‌های برف‌نما نتهب در سراسر سال بزرگ است. این ویژگی چنان برجسته است که اولین مؤلفه اصلی این دو پهنه را از یکدیگر متمایز ساخت.

جغرافیا و توسعه، شماره ۸۲، بهار ۱۴۰۵
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵
صفحات: ۱۹۲-۱۷۷



واژه‌های کلیدی:
خطای گمارش، خطای فروگذاری، برف‌پوش، مودیس، ایران.

مقدمه

در کشوری مانند ایران که منابع آب، ناچیز و پراکنده است و آبادی‌ها و شهرها و شهریاری آن از دیرباز وابسته به رودها و قنات‌هایی بوده که آبشخور آن‌ها برف‌پوش کوهستان‌های همسایه خود بوده است، موضوع برف داستان مرگ و زندگی است. رخداد گرمایش جهانی که در پژوهش‌های بی‌شماری هم در مقیاس جهانی (Harvey 2018:10) و هم در مقیاس محلی (مسعودیان، ۲۰۱۴:۲۹) تأیید شده است، موضوع برف را جدی‌تر می‌سازد. تنها در ذهن تصور کنید که با کاهش پوشش برفی چه بر سر بلوطزارهای زاگرس (یعمایی و همکاران، ۲۰۱۷:۹۱) خواهد آمد؟ یا چه شهرهایی در خطر سیلاب قرار می‌گیرند؟ (مسعودیان، ۲۰۱۴:۱۰۱) یا هزاران مخاطره دیگر که با آب سروکار دارد.

کمبود ایستگاه‌های سنجش زمینی به‌ویژه در مناطق دورافتاده کوهستانی، پایش برف را دشوار می‌سازد؛ از این رو داده‌های دورسنجی، منابع ارزشمندی برای آگاهی از وضعیت پوشش برف به‌شمار می‌آیند. در دورسنجی، تابش‌های کاهنریایی در باندهای گوناگون اندازه‌گیری می‌شوند و به یاری الگوریتم‌های مناسب این داده‌های تابش‌سنجی به داده‌های محیطی مانند: دما، بارش، رطوبت، برف، پوشش گیاهی و مانند آن تبدیل می‌شوند. در فرآیند تبدیل یادشده، همواره بخت آن هست که پدیده‌های متفاوتی که ویژگی‌های تابش‌سنجی آن‌ها به یکدیگر نزدیک است، با

هم اشتباه گرفته شوند. به دلیل همانندی ویژگی‌های تابشی کفه‌های نمکی با پوشش برفی بخت آن زیاد است که سنجنده‌ها این دو پدیده را با هم اشتباه گرفته و پهنه‌های درخشان نمکی را برف بپندارند. در ایران که شمار این‌گونه کفه‌های نمکی زیاد است، یافتن راهی که این خطا را کاهش دهد، ارزشمند است. پس نخست بحث را با نمایه‌ای آغاز می‌کنیم که در داده‌های دورسنجی برف مودیس پایه‌شناسایی برف است.

نسبتی از یک گستره که برف با هر ژرفایی آن را پوشانده باشد، گستره برف پوش نامیده می‌شود. دورسنجی گستره برف پوش در زمینه‌ی پایش منابع، مدل‌سازی آب‌شناختی و ارزیابی تغییر اقلیم ارزشمند است. به کمک گستره برف پوش می‌توان برآوردی از متغیرهای ارزشمندتری مانند ژرفای برف و آب معادل برف به دست آورد (Brubaker et al, 2005: 1002). دورسنجی پوشش برفی زمین بر ویژگی‌های طیفی برف استوار است. برف در باند مرئی بازتاب زیاد و در باند فرورسرخ موج کوتاه بازتاب اندکی دارد. بر همین اساس نمایه تفاضل هنجاری برف (نتهب) مثلاً برای داده‌های سنجنده مودیس به صورت زیر تعریف می‌شود (Riggs et al, 2019:545):

$$NDSI = \frac{B4-B6}{B4+B6} \quad (1)$$

در این جا $NDSI$ نتهب، $B4$ باند چهار (طول موج ۵۵۵ نانومتر؛ رنگ سبز) و $B6$ باند شش (۱۶۴۰ نانومتر؛ فرورسرخ موج کوتاه) سنجنده مودیس است. مقادیر بین صفر تا یک نتهب نماینده برف (نسبتی از یاخته که پوشیده از برف است) در نظر گرفته می‌شود.

گرچه تفاضل هنجاری برف مودیس در شناسایی پوشش برف بر روی زمین کارآمد است اما این نمایه از محدودیت‌هایی نیز رنج می‌برد. نخست این‌که؛ در مناطق کوهستانی که ناهمواری پیچیده و پوشش زمین متنوع است، کار نتهب در شناسایی برف دشوار می‌شود و از این گذشته، دشواری بازشناسی ابر از برف هم وجود دارد. دوم این‌که؛ شیب و وجه شیب زمین و مزاحمت تاج پوش گیاهان می‌تواند محاسبه نتهب یا دقت آن را دستخوش تغییر سازد. سوم آن‌که؛ نتهب همیشه در بازشناسی ابر از برف کارآمد نیست و در نتیجه خطای طبقه‌بندی افزایش می‌یابد. چهارم آن‌که؛ داده‌های میدانی ژرفای برف به‌ویژه در پهنه‌های کوهستانی بسیار اندک است و در نتیجه فرآیند صحت‌سنجی طبقه‌بندی برف، با دشواری روبه‌رو می‌شود (Deng et al, 2024:192). در درخت‌زارها و جنگل‌ها نیز تاج پوش آشکارسازی برف بر روی زمین را با دشواری روبه‌رو می‌سازد (Rittger et al, 2020:1). افزون بر این، نتهب در بازشناسی برف از پدیده‌های برف‌نما؛ یعنی پدیده‌هایی مانند: ابر، کفه‌های نمکی، شنزارها یا آبگیرها که تحت شرایطی و یا همیشه ویژگی‌های بازتابی نزدیکی به برف دارند، کارایی خود را از دست می‌دهد. در این موارد الگوریتم متکی بر نتهب، ابر یا کفه‌های نمکی، شنزارها یا آبگیرها را به خطای شناسایی می‌کند. عبادی و همکاران (۱۴۰۰:۷۹) این دشواری را پژوهیده و نمایه تازه‌ای پیشنهاد کرده‌اند تا خطای برف‌پنداری را کاهش دهند و از شناسایی پهنه‌های آبی کم‌ژرفا یا کفه‌های نمکی به‌عنوان برف پیشگیری کنند. از آن‌جا که نتهب برای شناسایی پوشش برفی زمین به باند سبز وابسته است، ابر مانع بزرگی ایجاد می‌کند. برای کاهش اثر ابرناکی فیاض و همکاران (۱۳۹۴:۷۱) کوشیده‌اند تا به کمک داده‌های کهموج محدودیت باند مرئی برای شناسایی پوشش برفی زمین را کاهش دهند. میریعقوب‌زاده و قنبرپور (۱۳۸۸:۵۱) آستانه‌گذاری باندهای ۰/۵۵ و ۱/۶۸ میکرومتر را برای کاهش اثر

ابرناکی بر شناسایی پوشش برفی سودمند دانسته‌اند. عفیفی (۲۵:۱۴۰۰) تباین وردش‌پذیری ابر و برف را ویژگی سودمندی برای کاهش اثر ابرناکی برشمرده است.

اندازه‌گیری هرگز مصون از خطا نیست. در مورد کمیتهای عددی، خطا، همان سرگشتگی اندازه‌ها به علت نایکنواختی شرایط اندازه‌گیری است. همین نایکنواختی سبب می‌شود که در هر بار اندازه‌گیری، اندازه‌های نایکسان به دست‌آید. در مورد کمیتهای اسمی مثلاً در فرآیند طبقه‌بندی که یک مکان در طبقاتی مانند: آبگیر، ابری، برفی و مانند آن دسته‌بندی می‌شود دوگونه خطا می‌تواند رخ‌دهد: خطای گمارش و خطای فروگذاری. خطای گمارش آن است که الگوریتم طبقه‌بندی فردی را در دسته‌ای قرار می‌دهد که متعلق به آن دسته نیست و خطای فروگذاری، آن است که الگوریتم طبقه‌بندی فردی را در دسته‌ای که به آن تعلق دارد قرار نمی‌دهد. در مورد داده‌های برف خطای گمارش چنین تعبیر می‌شود که الگوریتم، وضعیت یک یاخته را برف‌پوش گزارش می‌کند در حالی که یاخته واقعاً دارای پوشش برفی نیست؛ از این‌رو می‌توان خطای گمارش را در این مورد خطای برف‌پنداری نامید. در خطای فروگذاری وضعیت یاخته، برف‌پوش گزارش نشده است اما یاخته واقعاً برف‌پوش است؛ یعنی الگوریتم در شناسایی وضعیت واقعی یاخته فروگذاری (کوتاهی) کرده است؛ از این‌رو خطای فروگذاری را در این مورد می‌توان خطای نابرف‌پنداری نامید.

با این‌که برای پاکسازی داده‌ها از خطای برف‌پنداری، غربال‌هایی در الگوریتم فرآورده برف مودیس پیش‌بینی شده است اما این غربال‌ها نتوانسته‌اند این خطاها را به‌کلی سرنند کنند و از داده‌ها بیرون بکشند. مثلاً غربال دما-ارتفاع در مواردی که ارتفاع یاخته کمتر از ۱۳۰۰ متر و دمای یاخته بیش از ۸ درجه سلسیوس باشد حتی اگر نتهب بین صفر تا یک باشد به‌دلیل گرمای یاخته مانع گزارش پوشش برفی می‌شود (Riggs et al, 2019: 545).

وجود این خطاها اعتبارسنجی را بخشی گریزناپذیر از فرآیند دورسنجی می‌سازد. اعتبارسنجی یعنی مقایسه واقعیت میدانی با داده‌های دورسنجی. اعتبارسنجی از ارکان همیشگی همه فرآورده‌های دورسنجی است اما این‌کار با چندین چالش روبه‌رو است: نخست این‌که؛ اندازه‌گیری میدانی پوشش برف عمدتاً سرشت نقطه‌ای دارد اما داده‌های دورسنجی پهنه‌ای هستند. دوم آن‌که؛ دیدبانی‌های میدانی از گسستگی زمانی و مکانی رنج‌می‌برند، هرچند که فرآورده‌های دورسنجی نیز با چالش گسستگی زمانی و مکانی روبه‌رو هستند؛ مثلاً ابرها از عوامل گسستگی دیدبانی در دستگاه‌های باند مرئی به‌شمار می‌آیند. سوم؛ نبود داده‌های میدانی برف در پهنه‌های دورافتاده کوهستانی است که اتفاقاً نیاز به آگاهی از وضعیت برف آن‌ها بسیار بیش‌تر است (Brubaker et al, 2005: 1002).

با این‌که به‌دلیل گرمایش جهانی طول و زمان آغاز و پایان دوره یخبندان در ایران دستخوش تغییر شده است (کیانی و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۹) اما همچنان در سراسر ایران پوشش برفی ویژگی فصلی بارزی نشان‌می‌دهد (کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۵ا: ۳۳؛ کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۹: ۱؛ کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۵: ۳۹۵؛ احمدی و سیدمیرزایی، ۱۴۰۱: ۵۹) هر چند زمان‌بندی انباشت و گدازش برف به‌شدت تابعی از ارتفاع است (کیخسروی و مسعودیان، ۱۴۰۰: ۱۰۹؛ کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۵ب: ۱؛ کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۶ب: ۱۸۹؛ کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۵ع: ۶۹)؛ از این‌رو به‌نظر می‌رسد بتوان به‌کمک تفاوت فصل‌بندی پوشش برف بر روی پدیده‌های برف‌نما و بر روی برف‌خوان‌ها، خطای برف‌پنداری را کاهش داد. بر روی برف‌خوان‌ها انتظار داریم در دوره سرد بر پوشش برف افزوده و در نتیجه نتهب بزرگ شود و در دوره گرم سال از پوشش برف کاسته و در نتیجه نتهب کوچک شود اما در مورد پدیده‌های

برف‌نما چون در تمام سال حضور دارند، انتظار دیدن این فصل‌بندی را نداریم و در عوض انتظار داریم در سراسر سال نتهب بزرگ باشد. در این پژوهش کوشش شده تا بر پایه این فرضیه، خطای برف‌پنداری در قلمرو ایران‌زمین از داده‌های پوشش برفی مودیس پاکسازی شود.

داده‌ها و روش‌ها

از آن‌جا که بررسی‌های پیشین نشان‌دهنده آنکه مودیس در شناسایی برف‌پوش در ایران کارآمد است (NDSI_Snow_Cover) (Keikhosravi et al, 2017: 965)، در این پژوهش از داده‌های نمایه تفاضل هنجاری برف (NDSI_Snow_Cover) موجود در فرآورده MxD10A1 مودیس ترا و آکوا نسخه ۶/۱ بهره برده‌ایم (Hall and Riggs, 2021:1). این داده‌ها از ۱۳۸۱/۰۴/۱۸ تا ۱۴۰۲/۱۰/۰۶ به مدت ۷۸۴۲ روز (کمی بیش از ۲۱ سال) تنها برای یاخته‌های درون خاک اصلی ایران‌زمین بررسی شده است. تفکیک مکانی این داده‌ها ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی آن‌ها روزانه است. از آن‌جا که داده‌های خام روزانه نتهب متأثر از ابرناکی است، نیاز است تا برای کاستن از اثر ابرناکی، پالایه‌هایی بر روی داده‌ها اعمال شود. برای پاکسازی اثر ابر (خطای فروگذاری) سه پالایه بر روی داده‌ها پیاده شد: پالایه مکانی، پالایه درآمیزی ترا-آکوا و پالایه زمانی. در پالایه مکانی هرگاه یک یاخته ابری باشد و هشت همسایه همان یاخته همگی کد پوشش برف داشته باشند، مقدار یاخته با میانگین کد برف همسایگان جایگزین می‌شود. در پالایه درآمیزی هرگاه یک یاخته معین بر روی ترا (آکوا) برف و بر روی آکوا (ترا) ابر گزارش شده باشد، یاخته ابری آکوا (ترا) با گزارش برف ترا (آکوا) جایگزین می‌شود. در پالایه زمانی هرگاه روز آغاز و پایان هر توالی n روزه برف و همه روزه‌های بین آن‌ها ابر گزارش شده باشد، مقدار همه یاخته‌های میانی با میانگین مقدار برف روز آغاز و پایان توالی جایگزین می‌شود. این داده‌ها که خطای فروگذاری ناشی از پوشش ابر از آن‌ها پاکسازی شده است، مبنای پاکسازی خطای گمارش قرار گرفتند.

از آن‌جا که هدف این پژوهش یافتن راهی برای پاکسازی خودکار خطای برف‌پنداری است، دو دسته یاخته برای بررسی برگزیده شدند: نخست؛ یاخته‌هایی در درون ایران که ارتفاعی کمتر از ۱۷۰۰ متر و تعداد روزه‌های برف‌پوشان بیش از ۴۰ روز در سال داشتند؛ درست‌نمایی آن‌که خطای برف‌پنداری در این یاخته‌ها رخ داده باشد، بسیار زیاد است (کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۵b؛ کیخسروی و مسعودیان، ۱۳۹۶c)؛ دوم؛ یاخته‌هایی که ارتفاعی بیش از ۲۵۰۰ متر و تعداد روز برف‌پوشان بیش از ۹۰ روز در سال داشتند. درست‌نمایی آن‌که خطای برف‌پنداری در این یاخته‌ها رخ داده باشد، بسیار اندک است. به این ترتیب ۱۱۳۵۱ یاخته از گروه نخست و ۱۲۶۰۹ یاخته از گروه دوم در ایران شناسایی شد. با داده‌های سری زمانی این یاخته‌ها یک آرایه مکان-زمان به ابعاد ۲۳۹۶۰×۷۸۴۲ ایجاد شد که تنها شامل کد پوشش برف بین صفر تا صد بود. چون انتظار می‌رود که آهنگ سالانه پوشش برف بر روی دو دسته مکان یادشده متفاوت باشد، میانگین بلندمدت روزانه آرایه محاسبه و آرایه‌ای به ابعاد ۲۳۹۶۰×۳۶۵ ایجاد شد. این آرایه نشان می‌دهد که میانگین درصد پوشش برف در طی یک سال روی یاخته‌هایی که برف‌نما (مثلاً کفه نمکی یا آبگیر) هستند و یاخته‌هایی که برف‌خوان کوهستانی هستند، چگونه است.

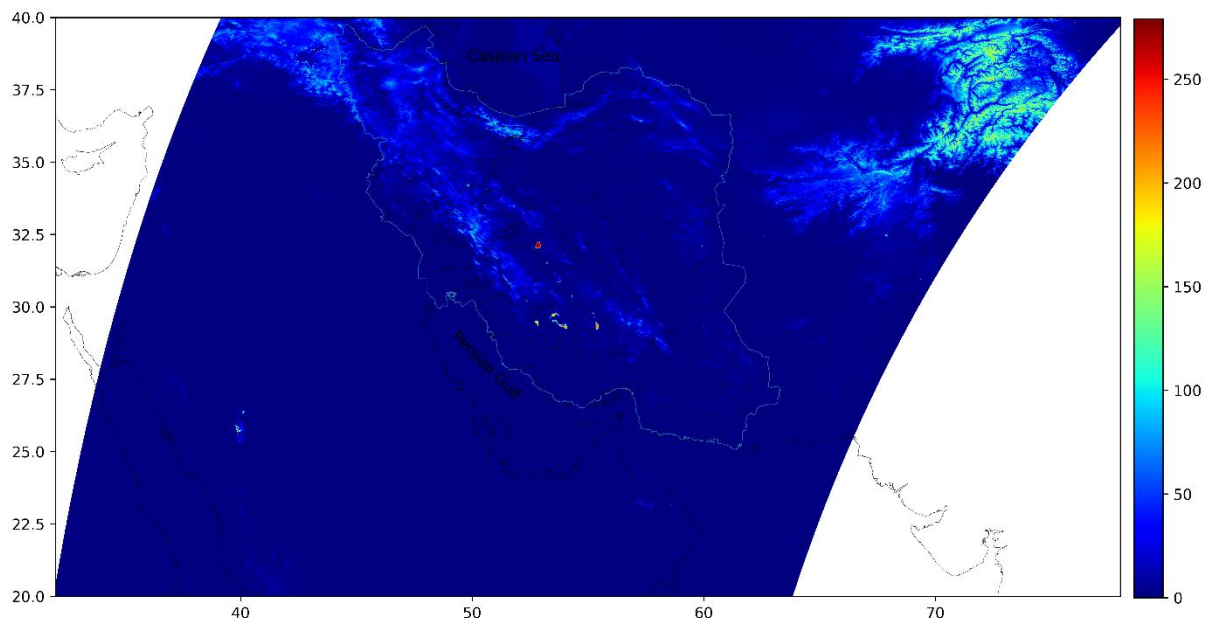
برای شناسایی الگوهای متمایز برف‌پوشی این پهنه‌ها، یک واکاوی مؤلفه اصلی روی آرایه آهنگ زمانی نتهب یاخته‌ها انجام شد.

$$S = (A - \bar{A}) \times E \quad (2)$$

در این جا A آرایه آهنگ زمانی نتهب یاخته‌ها به ابعاد 23960×365 و \bar{A} میانگین همین آرایه و به ابعاد 1×365 و E آرایه بردارهای ویژه به ابعاد 365×365 و S آرایه نمرات مؤلفه‌ها به ابعاد 23960×365 است.

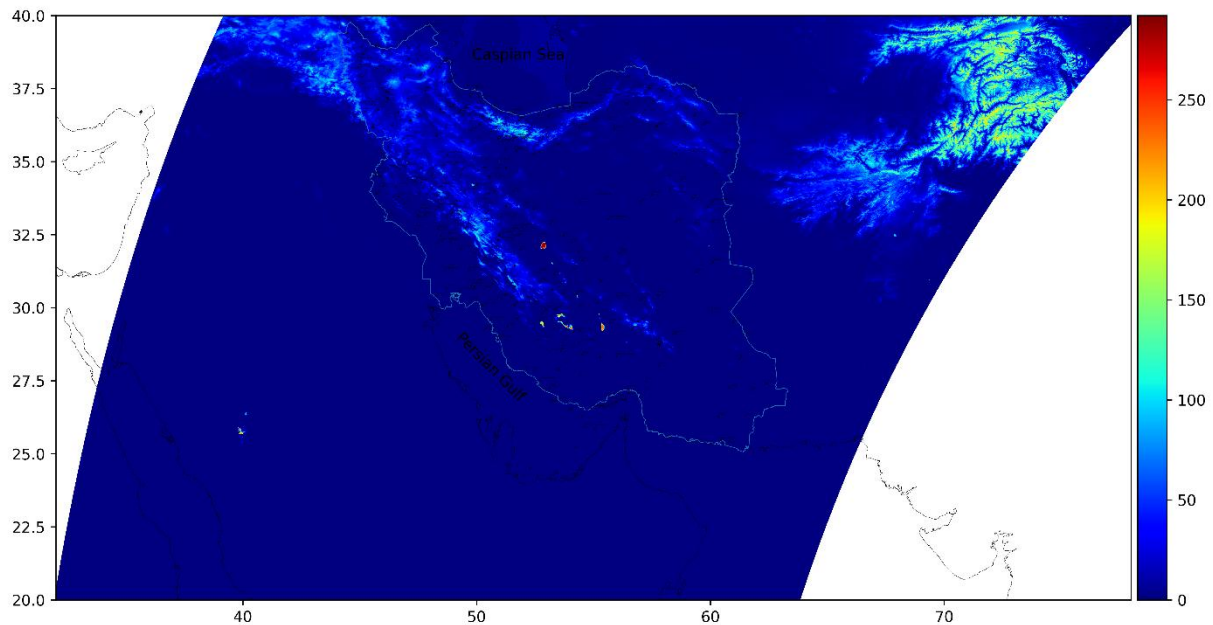
نتایج و بحث

در ایران عمدتاً دو عارضه جغرافیایی، خطای برف‌پنداری ایجاد می‌کنند. در درجه نخست کفه‌های نمکی و پس از آن دریاچه‌ها و آبگیرها. میانگین بلندمدت داده‌های مودیس آکوا (شکل ۱) و مودیس تررا (شکل ۲) نشان می‌دهد که در پهنه‌های زیر، خطای برف‌پنداری بارز است: تالاب گاوخونی، کفه نمکی خیرآباد (غرب سیرجان)، دریاچه بختگان، دریاچه طشک، دریاچه مهارلو، دریاچه نمک هرابرجان (جنوب شرق مروست)، دریاچه نمک کجی (جنوب شرق بیرجند)، تالاب میغان (شمال شرق اراک)، دریاچه نمک (شرق قم)، دریاچه نمک حاج علیقلی (جنوب شرق دامغان)، دریاچه سد زاینده‌رود، دریاچه سد کاظمی (شمال شرق سقز)، دریاچه سد مهاباد، دریاچه سد سهند (غرب هشتگرد)، دریاچه سد آیدوغموش (جنوب غرب میانه). در تالاب گاوخونی مودیس آکوا و مودیس تررا هر دو بیش از ۲۵۰ روز در سال پوشش برفی گزارش کرده‌اند که آشکارا نادرست است.



شکل ۱: میانگین بلندمدت تعداد روزهای برف‌پوشان براساس داده‌های مودیس آکوا (روز در سال)

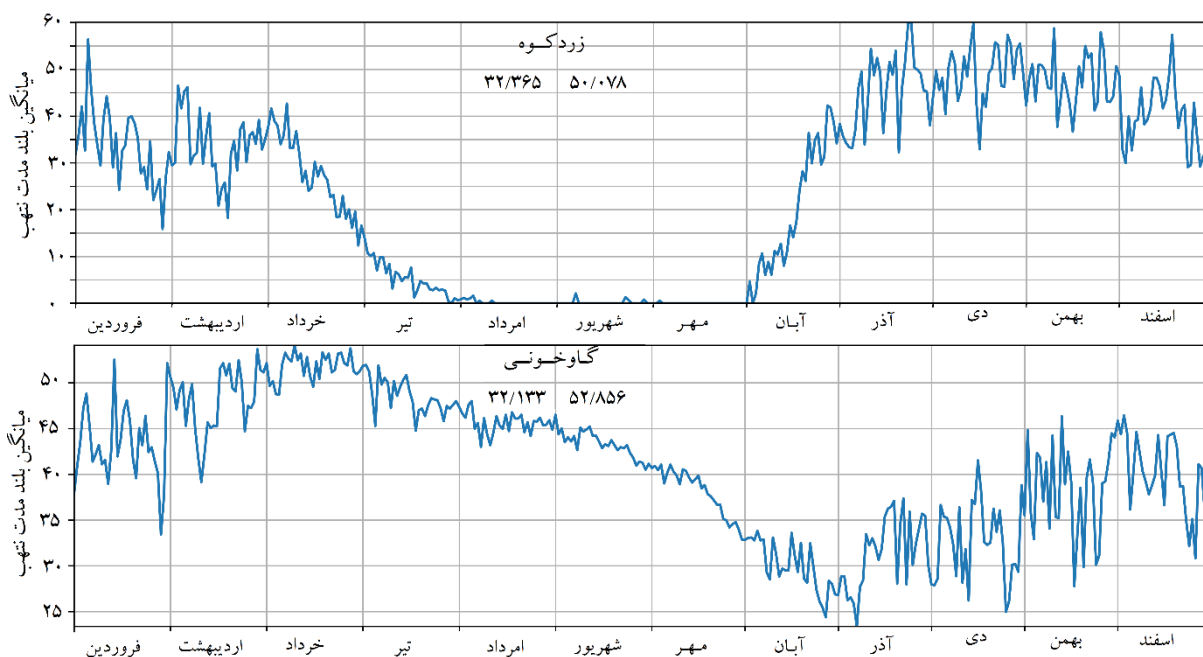
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴



شکل ۲: میانگین بلندمدت تعداد روزهای برف پوشان براساس داده‌های مودیس ترا (روز در سال)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

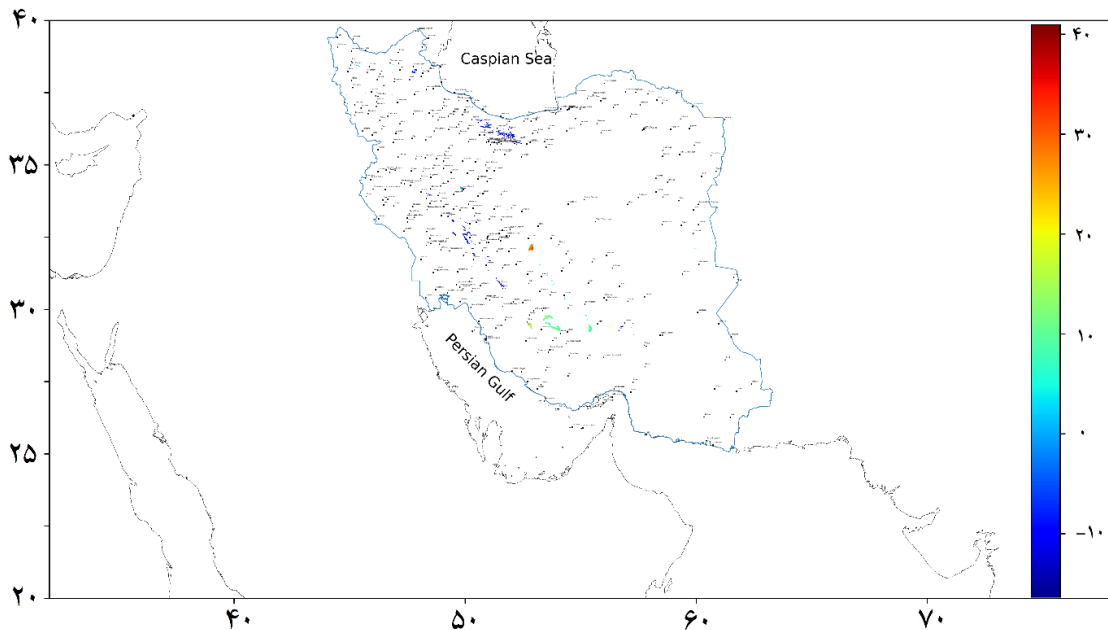
اگر فرضیه این پژوهش درست باشد، باید بر روی کوهستان‌ها نتهب فصلی باشد و بر روی رویه‌های برف‌نما (مانند کفه‌های نمکی) در سراسر سال پوشش برفی شناسایی شده باشد. گرچه این فرض از دیدگاه نظری معقول به نظر می‌رسد و نمونه‌های زیادی وجود دارد که درستی آن را نشان می‌دهد اما در شکل ۳ تنها زردکوه و تالاب گاوخونی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. چنان‌که شکل ۳ نشان می‌دهد، میانگین بلندمدت روزانه درصدی از هر یاخته که پوشیده از برف است (نتهب) در زردکوه بین صفر تا شصت درصد در نوسان است و در دوره سرد سال که فصل ریزش‌های جوی نیز هست بیشینه و در دوره گرم سال که دوره ذوب برف و یخ است کمینه می‌شود. در مقابل بر روی گاوخونی نتهب بین ۲۰ تا ۶۰ درصد متغیر است و برخلاف زردکوه هرگز صفر نمی‌شود. گرچه بر روی گاوخونی نتهب در سراسر سال مقدار مثبت بزرگی را نشان می‌دهد اما در پاییز و زمستان که فصل ریزش است از مقدار آن کاسته می‌شود. شاید بتوان این ویژگی را با مرطوب شدن و در نتیجه کدر شدن نمک‌ها در فصل ریزش‌های جوی که سبب کاهش بازتاب در باند مرئی می‌شود، توجیه کرد. افزون بر این در تابستان که هوا خشک و نمک‌ها درخشان‌ترند، احتمال این که سنجنده این پهناهای درخشان را به‌عنوان برف شناسایی کند، افزایش می‌یابد.



شکل ۳: میانگین بلند مدت نتهب بر حسب درصد در طی سال در یک نقطه از زردکوه و یک نقطه از گاوخونی

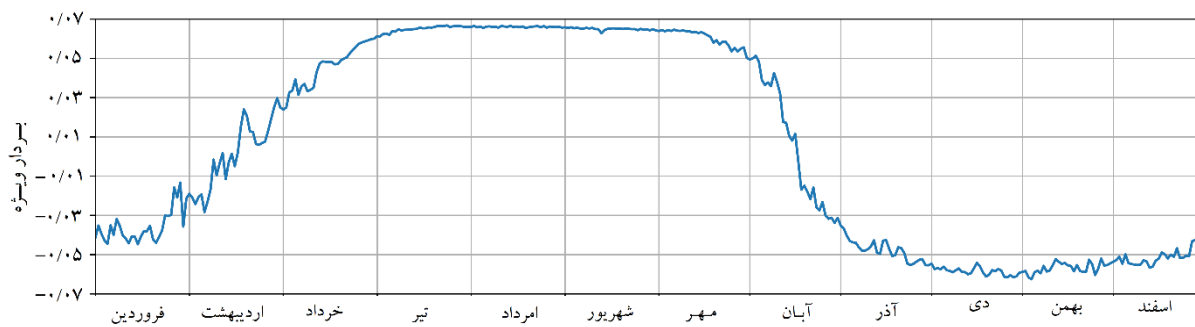
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

انتظار می‌رود این تفاوت رفتار زمانی نتهب را بتوان به کمک واکاوای مؤلفه اصلی بازپایی کرد. شکل ۴ نمرات مؤلفه (S) اول و شکل ۵ بردار ویژه (E) مؤلفه اول را نشان می‌دهد. می‌بینیم که نمرات مؤلفه اول بر روی کفه‌های نمکی مثبت و بر روی برف‌خوان‌ها منفی است. افزون بر این، بردار ویژه مؤلفه اول در دوره سرد سال منفی و در دوره گرم سال مثبت است. روشن است که در فرمول شماره یک $A - \bar{A}$ نماینده انحراف از میانگین نتهب است. به بیان دیگر، اگر مقدار $A - \bar{A}$ بر روی یک یاخته مثبت (منفی) باشد به این معنا است که مقدار پوشش برف بر روی آن یاخته بیشتر (کمتر) از میانگین است. به این ترتیب طبق رابطه شماره یک منفی بودن S بر روی برف‌خوان‌ها (شکل ۴) و منفی بودن E بر روی دوره سرد سال (شکل ۵) ایجاب می‌کند که $A - \bar{A}$ مقدار مثبتی باشد. پس بخشی از تفسیر مؤلفه اول این است که در دوره سرد سال بر روی برف‌خوان‌ها پوشش برف بالاتر از میانگین است. از سوی دیگر بر روی پدیده‌های برف‌نما (مانند کفه‌های نمکی) که S مثبت است منفی بودن E ایجاب می‌کند که $A - \bar{A}$ هم منفی باشد؛ یعنی در دوره سرد سال بر روی پدیده‌های برف‌نما نتهب کوچک است. در دوره گرم سال که مقدار E مثبت است، بایسته است نتهب بر روی پدیده‌های برف‌نما بالاتر از میانگین و بر روی برف‌خوان‌ها کوچکتر از میانگین باشد. خلاصه آن که مؤلفه اول نشان می‌دهد که برف‌خوان‌ها در دوره سرد سال پربرف و در دوره گرم سال کم‌برف می‌شوند اما پدیده‌های برف‌نما به‌زعم داده‌های دورسنجی در تابستان پربرف و در زمستان کم‌برف‌تر هستند.



شکل ۴: نمرات مؤلفه اول

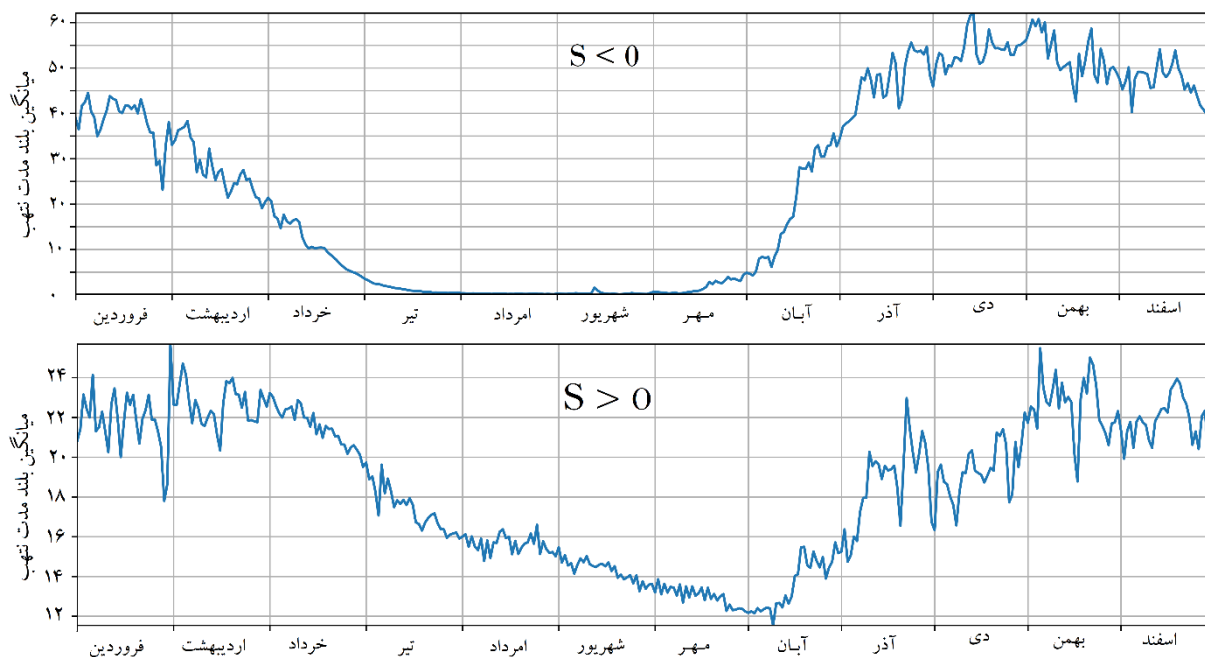
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴



شکل ۵: بردار ویژه مؤلفه اول

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

در این صورت به نظر می‌رسد تنها با همین یک مؤلفه بتوان برف و برف‌نما را از هم تفکیک و خطای برف‌پنداری را از داده‌ها پاکسازی کرد. با این فرض انتظار داریم میانگین نتهب روی پهنه‌هایی که مقادیر مؤلفه آن‌ها منفی بوده است (نمودار بالایی شکل ۶) با میانگین نتهب بر روی زردکوه (نمودار بالایی شکل ۳) هم‌خوانی داشته باشد و میانگین نتهب روی پهنه‌هایی که مقادیر مؤلفه آن‌ها مثبت بوده است (نمودار پایینی شکل ۶) با میانگین نتهب بر روی گاوخونی (نمودار پایینی شکل ۳) هم‌خوانی داشته باشد. مقایسه شکل ۳ و ۶ نشان می‌دهد که مؤلفه اول در بازشناسی برف از برف‌نما کامیاب بوده است.



شکل ۶: میانگین نتهب روی پهنه‌هایی که نمرات مؤلفه اول آن‌ها منفی (بالا) و مثبت (پایین) بوده است

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

از آن‌جا که مؤلفه اول به‌تنهایی نزدیک به نیمی از پراش داده‌ها را تبیین می‌کند، روشن می‌شود که پوشیده-شدن زمین برف‌خوان‌ها از برف، در بخشی از سال و در کنار آن، برف‌نمایی پهنه‌های درخشان برف‌نما که در سراسر سال رویه زمین را پوشیده از برف می‌نمایند، ویژگی برجسته‌ای است که به شناسایی و پاکسازی خطای برف‌پنداری کمک می‌کند.

نتهب همیشه نمی‌تواند برف و نابرف را از یکدیگر بازشناسد. الگوریتم شناسایی برف مودیس در بسیاری از موارد کفه‌های نمکی یا دریاچه‌ها را به نادرستی برف شناسایی می‌کند (خطای گمارش). گرچه برای کاستن از خطای گمارش، غربال‌هایی در الگوریتم پیاده‌سازی شده است اما این غربال‌ها در پاکسازی خطای گمارش همیشه کامیاب نبوده‌اند. از دیدگاه آب‌وهواشناسی می‌توان چنین استدلال کرد که چون مثلاً یک کفه نمکی در سراسر سال در محل حضور دارد پس مقدار نتهب در سراسر سال بر روی چنین پهنه‌ای بزرگ خواهد بود؛ گرچه ممکن است در فصل بارش به‌دلیل مرطوب‌شدن نمک از مقدار بازتاب کاسته و در نتیجه نتهب کاهش یابد. از سوی دیگر، بر روی یک پهنه برف‌گیر کوهستانی که در بخشی از سال پوشیده از برف و در بخشی از سال پوشش برفی ناپدید می‌شود، مقدار نتهب چرخه فصلی مشخصی را نشان می‌دهد. اگر با ابزار مناسبی بتوان تمایز آهنگ سالانه نتهب بر روی برف‌خوان‌ها و پهنه‌های برف‌نما را از یکدیگر جدا کرد، می‌توان امیدوار بود که خطای گمارش را کاهش داد. واکاوی مؤلفه اصلی نشان‌داد ابزار مناسبی برای تجزیه آرایه مکان-زمان نتهب است. افزون بر این تفاوت آهنگ سالانه نتهب بر روی این دو پهنه چنان چشمگیر است که در همان مؤلفه اول که بالاترین پراش را دارد، نمود یافته است.

عبادی و همکاران (۷۹:۱۴۰۰) نمایه تازه‌ای برای بازشناسی برف از آب‌های کم‌ژرفا به‌ویژه دریاچه‌های شوری مانند دریاچه ارومیه که ویژگی‌های تابشی بسیار نزدیکی به برف دارند، پیشنهاد کرده‌اند. این نمایه بر پایه باند سبز، سرخ، فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ کوتاه استوار است. در این نمایه، افزون بر باندهای یادشده، مؤلفه اول حاصل از

واکاوی مؤلفه اصلی این چهار باند نیز به کار گرفته شده است. مزیت این نمایه در آن است که توانسته برف را از آب و نمک بازشناسد. در مقابل عیب این روش آن است که بر داده‌های چهار باند به جای دو باند نتهب استوار است. در روشی که ما در این جا پیشنهاد کرده‌ایم تنها با همان دو باند سبز و فرورسرخ کوتاه و مؤلفه اول حاصل از واکاوی مؤلفه اصلی، داده‌های نتهب کفه‌های نمکی بازشناسی می‌شوند.

ریگز و همکاران پیشنهاد کرده بودند که برای پاکسازی خطای گمارش بر پایه این واقعیت که پهنه‌های برف‌نا موقعیت جغرافیایی ثابتی دارند، راه‌حل محلی اندیشیده شود (Riggs et al, 2019: 545). در این پژوهش، کوشش کردیم برای مسئله‌ای که راه‌حل فنی نیافته بود، راه‌حل آب‌وهواشناختی پیشنهاد کنیم. راه‌حل آب‌وهواشناختی بر پایه رفتاری که هر یاخته در بلندمدت از خود نشان می‌دهد، تصمیم می‌گیرد که آیا یاخته مورد نظر برفی است؟ یا بر روی پهنه برف‌نا قرار گرفته است؟ مزیت این روش آن است که به صورت خودکار و کم‌هزینه و سریع، خطاهای گمارش را شناسایی می‌کند. در عین حال عیب این روش آن است که اگر بر روی پهنه برف‌نا واقعاً برف نشسته باشد، همچنان پهنه را نابرف شناسایی می‌کند و در نتیجه خطای واگذاری را افزایش می‌دهد. این پژوهشگر است که باید بین کاهش خطای گمارش و افزایش خطای فروگذاری تعادل برقرار سازد.

نتیجه‌گیری

دورسنجی، همواره نیازمند آزمون زمینی است. دورسنجی برف همواره با این چالش روبه‌رو است که پدیده‌های برف‌نمایی مانند کفه‌های نمکی خود را برف جا می‌زنند. به دلیل همسانی برف و پدیده‌های برف‌نا در ویژگی‌های بازتابی در طول موج مرئی و فرورسرخ کوتاه موج، نتهب همیشه نمی‌تواند برف را از نابرف بازشناسد. مقدار نتهب بر روی روبه‌های درخشان مانند: کفه‌های نمکی، کفه‌های رسی، دریاچه‌ها و پدیده‌هایی مانند آن‌ها در بازه صفر تا یک قرار می‌گیرد و از این رو به عنوان برف شناسایی می‌شوند (خطای گمارش). بستر دریاچه‌های باستانی که امروزه به دلایل طبیعی یا به علت مداخلات انسان خشکیده‌اند یا دریاچه‌های پشت سدها که به دلیل انقلاب سدسازی پدید آمده‌اند، از پهنه‌هایی هستند که فراوانی آن‌ها در ایران قابل توجه است و به همین دلیل خطای گمارش در ایران چشمگیر است. در عین حال چون ویژگی‌های فصلی نتهب روی پهنه‌های برفی و پهنه‌های برف‌نا متفاوت است، می‌توان به کمک این تفاوت، این دو نوع پهنه را از یکدیگر متمایز و خطای گمارش را از داده‌ها پاکسازی کرد.

برابرنهاد برخی واژه‌های به کار رفته در این متن:

۱	خطای گمارش	Commission error	۵	کهموج	Microwave	۹	برف پوش	Snow Cover
۲	خطای فروگذاری	Omission error	۶	فرورسرخ	Infrared	۱۰	روز برف پوشان	Snow Cover Day
۳	اثر ابرناکی	Cloud effect	۷	کاهربایی	Electromagnetic	۱۱	گستره برف پوش	Snow Cover Area
۴	کفه نمکی	Salt flat	۸	پالایه	Filter	۱۲	تالاب	Wetland

منابع

- احمدی، محمود؛ زهراسادات سیدمیرزایی (۱۴۰۱). پایش تغییرات پوشش برف طی دوره سرد سال در ایران بر اساس داده‌های سنجنده مادیس، نشریه سنجش از دور و جی آی اس ایران. دوره ۱۴، شماره ۱. صفحات ۷۲-۵۹.
https://gisj.sbu.ac.ir/article_101570_a8095a1dd8c638e0cc7226f5f49ea525.pdf
- عبادی، یوسف؛ اکرم افتخاری؛ حکمت‌الله محمدخانلو؛ مجید فخری (۱۴۰۰). ارائه شاخص طیفی جدید به منظور استخراج سطوح برفی با استفاده از تصاویر اپتیکی سنجش از دور، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». دوره ۳۰، شماره ۱۱۷. صفحات ۹۴-۷۹.
https://www.sepehr.org/article_244452_5811d49387df5aa684b2de42bf016be3.pdf
- عقیقی، محمدابراهیم (۱۴۰۰). بررسی تغییرات سطح پوشش برف و تعیین خط ذوب برف در مناطق کوهستانی با استفاده از تصاویر مودیس و شاخص ان دی اس آی (مطالعه موردی یخچال‌های زاگرس)، جغرافیا و مطالعات محیطی. دوره ۱۰، شماره ۳۸. صفحات ۳۶-۲۵.
https://journals.iau.ir/article_681876_b4711fc8c5b2d508c52854093acb39d8.pdf
- فیاض، نیما؛ مجید وظیفه‌دوست؛ شهاب عراقی‌نژاد (۱۳۹۴). بررسی امکان کاربرد تولیدات سطح برف مودیس در شرایط ابری با استفاده از ترکیب آن با تصاویر مایکروویو، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۳۷. صفحات ۸۹-۷۱.
<https://c4i2016.khu.ac.ir/jgs/article-1-2420-fa.pdf>
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۵a). فصل‌بندی روزهای برفپوشان ایران زمین به کمک داده‌های دورسنجی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۲۷، شماره ۳. صفحات ۴۸-۳۳.
https://gep.ui.ac.ir/article_22073_110abda97ab4dc814f09d54aa3c7b85f.pdf
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۵b). واکاوی پیوند روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه شیب در ایران زمین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی). دوره ۴۸، شماره ۱. صفحات ۱۴-۱.
 کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۵c). شناسایی وردش‌های مکانی روزهای برفپوشان در ایران زمین به کمک داده‌های دورسنجی، جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۵، شماره ۱۷. صفحات ۸۵-۶۹.
[SID. https://sid.ir/paper/356994/fa](https://sid.ir/paper/356994/fa)
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۶a). شناسایی برفخوان‌های ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۹، شماره ۳. صفحات ۴۰۸-۳۹۵.
[SID. https://sid.ir/paper/360032/fa](https://sid.ir/paper/360032/fa)
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۶b). واکاوی نقش دمای رویه زمین در پراکنش پوشش برف در ایران به کمک داده‌های ماهواره‌ای، نشریه جغرافیا و توسعه. دوره ۱۵، شماره ۴۹. صفحات ۲۰۴-۱۸۹.
<https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3459>
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۶c). واکاوی روند تغییرات روزهای برفپوشان در ایران بر پایه داده‌های دورسنجی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۲۸، شماره ۶۵. صفحات ۵۹-۴۹.
[SID. https://sid.ir/paper/509080/fa](https://sid.ir/paper/509080/fa)
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۹). واکاوی روند تغییرات آغاز فصل انباشت پوشش برف در ایران با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۳۱، شماره ۱. صفحات ۱۴-۱.
https://gep.ui.ac.ir/article_24911_611f1ad7b73e7132818aa707eb0985e1.pdf
- کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۴۰۰). آب و هواشناسی انباشت و گدازش پوشش برف در ایران با بهره‌گیری از داده‌های سنجنده مودیس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۵۳، شماره ۱. صفحات ۱۲۱-۱۰۹.
[SID. https://sid.ir/paper/1061350/fa](https://sid.ir/paper/1061350/fa)

مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۴). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، پژوهش‌های جغرافیایی. دوره ۳۷. شماره ۵۴. صفحات ۲۹-۴۵.

<https://www.sid.ir/fileserver/jf/51913845403.pdf>

مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۴۰۲). بررسی آب و هواشناختی بارش‌های سیل‌زای بهار ۱۳۹۸ در غرب ایران، مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۳۷. شماره ۱۲. صفحات ۱۰۱-۱۱۶.

https://jneh.usb.ac.ir/article_7233_106c2189c92a2ff90bd824792fc1f091.pdf

میریعیقوب‌زاده، میرحسن؛ محمدرضا قنبرپور (۱۳۸۸). بررسی دقت تفکیک رقومی پارامترهای ابر، برف و زمین در تصاویر ماهواره ای مودیس. مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران. دوره ۳. شماره ۹. صفحات ۵۴-۵۱.

<https://jwmsei.ir/article-1-130-fa.pdf>

یغمایی، لیلا، رضا جعفری؛ سعید سلطانی؛ حسن جهانبازی (۱۴۰۰). اثر تغییرات سطح و ماندگاری پوشش برف بر پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری، منابع طبیعی ایران. دوره ۷۴. شماره ۴. صفحات ۹۳۸-۹۱۷.

https://jrwm.ut.ac.ir/article_86671_f9652125a159cdde3cca1e0bfe2f80ad.pdf

References

Brubaker, K. L., Pinker, R. T., & Deviatova, E. (2005). Evaluation and comparison of MODIS and IMS snow-cover estimates for the continental United States using station data. *Journal of Hydrometeorology*, 6(6), 1002-1017.

https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/view/journals/hydr/6/6/jhm447_1.pdf

Deng, G., Tang, Z., Dong, C., Shao, D., & Wang, X. (2024). Development and Evaluation of a Cloud-Gap-Filled MODIS Normalized Difference Snow Index Product over High Mountain Asia. *Remote Sensing*, 16(1), 192.

Hall, D. K. & Riggs, G. A. (2021). MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m SIN Grid. (MOD10A1, Version 61). [Data Set]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.

<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.061>. Date Accessed 11-04-2024.

Harvey, L. D. (2018). *Global warming*. Routledge.

Keikhosravi Kiany, M. S., Masoodian, S. A., Balling Jr, R. C., & Svoma, B. M. (2017). Spatial and temporal variations of snow cover in the Karoon River Basin, Iran, 2003-2015. *Water*, 9(12), 965.

<https://doi.org/10.3390/w9120965>

Kiany, M. S. K., Masoodian, S. A., & Balling Jr, R. C. (2021). Climatology and variability of the start, end, and length of the frost-free season across Iran. *Climate Research*, 84, 59-73.

<https://doi.org/10.3354/cr01659>

Riggs, G. A., Hall, D. K., & Román, M. O. (2019). MODIS snow products collection 6 user guide. National Snow and Ice Data Center: Boulder, CO, USA, 66, 545.

Rittger, K., Raleigh, M. S., Dozier, J., Hill, A. F., Lutz, J. A., & Painter, T. H. (2020). Canopy adjustment and improved cloud detection for remotely sensed snow cover mapping. *Water Resources Research*, 56(6), e2019WR024914.

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2019WR024914>