

EXTENDED ABSTRACT

The MODIS daily produces snow cover modification based on cloudy effects analysis (case study: northwest of Iran)

R. Ebrahimi¹, S. Marofi^{2*} and H. Torabzadeh Khorasani³

1- PhD candidate in Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2* - Corresponding Author, Professor, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. (marofi@basu.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 4 March 2022

Revised: 15 August 2022

Accepted: 20 August 2022

Keywords:

Snow Metering, Local Stations, linear Regression, Satellite Image Correction, Spatio-Temporal Discontinuity.

TO CITE THIS ARTICLE:

Ebrahimi, R., Marofi, S., Torabzadeh Khorasani, H. (2024). 'The MODIS daily produces snow cover modification based on cloudy effects analysis (case study: northwest of Iran)', Irrigation Sciences and Engineering, 47(1), pp. 67-81. doi: 10.22055/jise.2022.40100.2015.

Abstract

Remote sensing is a fast and cost-effective solution in preparing and presenting this data to climate models due to the difficulty of preparing snow meteorological data in the field. The presence of clouds is one of the problems of satellite images that cause temporal-spatial fragmentation of snow data and increase its resolution efficiency. This study aims to provide a suitable framework for removing the effect of clouds on satellite images and generating the satellite snow metering data without disturbing cloud effects. For this purpose, first, daily MOD10A1 images of the MODIS sensor products were refined (temporally and spatially) using local snow depth data, average temperature, and daily rainfall of the Lake Urmia catchment and western part of the Caspian Sea basin. A multivariate linear regression model application showed that the normalized snow differential index (NDSI) values correlate with existing snow metering station data ($r= 0.85$ and $RMSE= 0.047$). Accordingly, the cloud-covered areas in the MODIS images were replaced with the values obtained from the model. Then, new NDSI values were calculated using geostatistical methods and the location of each pixel's location. By examining the relationship between the NDSI and the cumulative snowfall from January to March 2016, it was found that replacing the primary satellite images with corrected images can increase the R^2 from 0.63 to 0.81. Therefore the proposed methodology could improve the accuracy of satellite snow metering.

Introduction

In many arid and semi-arid regions of the world including Iran, snow accumulated in snow pits creates a significant supply of water resources as snow-equivalent water in the mountainous areas of the basin (Tabari et al., 2010). The reservoir also plays an essential role in providing the base discharge of permanent rivers and under special conditions in controlling the flood regime of the

rivers downstream because the snow remains in the basin for a long time before it becomes runoff in the form of solid and cold masses. Knowing the level of snow cover and its storage volume is one of the most basic needs of water resources managers (Marofi et al., 2009). An integrated evaluation of cloud pixel reduction and correction methods shows that although these methods are instrumental in reducing cloud opacity, they are associated with uncertainty and lead to a reduced spatial or temporal resolution to varying degrees (Gao et al., 2010). The primary purpose of this study was to provide a suitable method for estimating cloud pixels of daily snow cover images of Modi's sensor according to digital elevation map, average daily temperature data, daily precipitation, ground-recorded snow depth data, and also determining the Spatio-temporal distribution of snow to Especially in the problematic areas. It has been without statistics and with many clouds. In this study, first, the relationship between NDSI values with snow depth, average temperature, precipitation, and altitude of ground stations has been investigated. This connection is then used to remove the opacity of the cloud cover of pixels without NDSI data, and a new image is created that lacks cloud data. More confidence and accuracy in estimating the snow-covered surface are provided using reconstructed images.

Methodology

In this study, the Iranian Meteorological Organization prepared data on average daily temperature and daily precipitation in the study period. In addition, two types of local and satellite data have been used to evaluate the relationship between snow metering at local stations and NDSI data to enable model validation. In this area, the received images of the quarter have been processed from the first of December to the end of March 2019. In the local data preparation stage, using digital maps of the area, the height of basin stations and their location were reset, and the database of these stations was prepared in GIS format. Then all data and parameters measured at local stations, including average daily temperature, precipitation, and altitude, were normalized to minimize the effect of scale change in subsequent comparisons. In the first stage of processing, the dates at which the ground snow depth data were collected at each station and the image of that area was also cloudless were identified. The MATLAB software used the linear multivariate regression method for statistical relationship investigation between the data of the selected stations (Al-Hosseini et al., 2016). In regression calculation, the NDSI value was considered a dependent variable, and other parameters including snow depth, average daily temperature, precipitation, and station height were considered independent variables. The regression relationship of healthy and cloudless pixels in images was used to model NDSI cloud pixels. Thus, NDSI modeled images are produced daily, even on days when ground snow metering is incomplete. In the second data processing stage, spatial coherence in the images can be achieved according to each point and neighborhood.

Results and discussion

Satellite and terrestrial snow meteorological observations are highly correlated concerning climatic parameters (temperature and precipitation) and topography, and the possibility of reconstructing satellite observations in cloudy weather based on terrestrial observations is confirmed. In other words, having the snow depth at the stations makes it possible to calculate the NDSI accurately. Snow depth has the most significant impact on the amount of NDSI. At the same time, climatic parameters have the most negligible effect. By observing the NDSI values during the study time in snow metering stations, the performance of the proposed method can be evaluated. After performing two-stage cloud effect corrections, the statistical relationship between the cumulative amount of NDSI corrected and the cumulative amount of total snowfall was assessed. In this case, while increasing the coefficient of explanation from $R^2 = 0.63$ to $R^2 = 0.81$, the value of RMSE also decreased by 0.17. These values confirm the efficiency of the proposed method and the effect of temporal-spatial corrections on more accurate snowfall estimation in the study area.

Conclusions

By examining the relationship between NDSI and the cumulative snowfall from January to March 2019, it was found that replacing primary satellite images with corrected images has increased the coefficient of determination (R^2) from 0.63 to 0.81. This indicates an improvement in the accuracy of satellite snow metering using the present method. According to the acceptable results of the present study, the above method can be used as a quick and reliable supplement for field snow measurement in areas where depth measurement may not be performed completely and accurately. Because in some parts of Iran, due to equipment or operator error technical defects, ground depth measurement is not recorded correctly, satellite images with two-phase cloud correction will reduce mistakes in upstream models, such as climate forecasting models.

Acknowledgment

The authors thank the support and assistance of Bu-Ali Sina University and the National Meteorological Organization.

References

- 1- Al-Hosseini Al-Madrasi, A., Hatami, J., Sarkargar, A., 2016. Calculation of physical characteristics of snow using differential radar interferometric technique and TerraSAR-X and MODIS sensor images. *Remote sensing and geographic information system in natural resources*. Volume 7, Number 2, Summer 2016, pp. 59-76. (In Persian).
- 2- Gao, Y., Xie, H., Yao, T. and Xue, C. 2010. Integrated assessment on multi-temporal and multi-sensor combinations for reducing cloud obscuration of MODIS snow cover products of the Pacific Northwest USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(8), 1662-1675. Doi: 10.1016/j.rse.2010.02.017.
- 3- Tabari, H., Marofi, S., Zare Abiane, H., Amiri Chayjan, R., Sharifi, M., & Akhondali, A. M. 2010. Comparison of Non-Linear Regression and Computational Intelligence Methods in Estimating Spatial Distribution of Snow Water Equivalent in Karoon Upstream. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 13(50), 29-40. Dor: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.3.7. (In Persian).
- 4- Marofi. S., Tabari. H., Zare Abyaneh. H., Sharifi. M. R. and Akhondali. A.. 2009. Zoning of snow water equivalent in an mountain subbasin of Karun using GIS, Case study, Samsami basin. *Agricultural Sciences & Natural Resources*, 16(3), 1-11. (In Persian).



اصلاح اثرات ابرناکی بر محصول پوشش برف روزانه سنجنده مودیس (مطالعه موردی: شمال غرب ایران)

راضیه ابراهیمی^۱، صفر معروفی^{۲*} و حسین ترابزاده خراسانی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب گروه علوم مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۲* -نویسنده مسئول، استاد گروه علوم مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان. marofi@basu.ac.ir

۳-استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳

چکیده

با توجه به دشواری تهیه داده‌های برف‌سنجی به صورت میدانی، سنسور از دور به عنوان یک راه‌حل سریع و مقرون به صرفه در تهیه این داده‌ها و ارائه آن‌ها به مدل‌های اقلیمی شناخته شده است. یکی از مشکلات استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در برف‌سنجی، وجود ابر در این تصاویر است که موجب گسستگی زمانی-مکانی داده‌ها، و در نتیجه کاهش کارایی آن‌ها می‌شود. هدف از این تحقیق، ارائه چارچوب مناسبی برای حذف اثر ابر در تصاویر ماهواره‌ای و تولید داده‌های برف‌سنجی ماهواره‌ای بدون مزاحمت ابر است. بدین منظور با کمک داده‌های زمینی عمق برف، متوسط دما و بارش روزانه در ایستگاه‌های زمینی برف‌سنجی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و بخش غربی حوضه دریای مازندران، تصاویر روزانه MOD10A1 سنجنده مودیس در دو مرحله به صورت زمانی-مکانی مورد پردازش قرار گرفتند. نتایج مدل رگرسیون خطی چند متغیره نشان داد که مقادیر شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) با داده‌های زمینی ایستگاه‌های برف‌سنجی موجود همبستگی بالا ($r=0.85$ و $RMSE=0.47$) دارد. بر همین اساس مناطق پوشیده شده با ابر در تصاویر مودیس با مقادیر حاصل از مدل جایگزین شدند. در مرحله دوم، با کمک روش‌های زمین آماری و با لحاظ کردن موقعیت مکانی هر پیکسل، مقادیر جدید NDSI محاسبه شد. با بررسی رابطه بین NDSI و میزان بارش تجمعی برف در بازه زمانی دی تا اسفند ماه سال ۱۳۹۷، مشخص شد که جایگزینی تصاویر ماهواره‌ای اولیه با تصاویر تصحیح شده موجب افزایش ضریب تبیین (R^2) از ۰/۶۳ به ۰/۸۱ شده است. این امر نشان‌دهنده بهبود دقت در برف‌سنجی ماهواره‌ای با استفاده از روش حاضر است.

کلید واژه‌ها: برف‌سنجی، ایستگاه‌های زمینی، رگرسیون خطی، تصحیح تصاویر ماهواره‌ای، گسستگی مکانی-زمانی.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی کشور از ذوب برف تأمین می‌شود (Al-Hosseini et al., 2016). سالانه مقادیر زیادی از نواحی شمالی، شمال غرب و غرب ایران زیر پوشش برف قرار می‌گیرد که منطقه مورد مطالعه یکی از این نواحی است (Gerland et al., 1999; Adeli, 2005). بیشتر مناطق برف‌گیر ایران در ارتفاعات کوهستانی قرار دارند که در این مناطق شبکه ایستگاه‌های دیده‌بانی و اندازه‌گیری برف توسعه نیافته است، در نتیجه انباشت و ذوب برف در این مناطق به طور دقیق و گسترده اندازه‌گیری نمی‌شود. نبود اطلاعات کافی و صحیح از ذخایر برفی موجب می‌شود که نه تنها از آب حاصل از ذوب برف استفاده بهینه نشود، بلکه خسارت‌های جبران‌ناپذیری به دلیل ایجاد سیل در پی داشته باشد. بنابراین پایش مکانی و زمانی سطوح پوشیده شده از برف از اهمیت زیادی برخوردار است.

محصولات پوشش برف سنجنده نوری مودیس، با تکنولوژی تصویری با وضوح متوسط، به‌طور گسترده‌ای در پایش منطقه‌ای

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان، از جمله ایران، برف انباشته شده در برف‌چال‌ها، ذخیره قابل توجهی از منابع آب را تحت عنوان آب معادل برف در سطوح کوهستانی حوضه ایجاد می‌کند (Tabari et al., 2010). ذخیره یادشده در تأمین دبی پایه رودخانه‌های دائمی و تحت شرایط خاص نیز در کنترل رژیم سیلابی رودخانه‌ها در پایین دست نقش مهمی ایفا می‌نماید، زیرا برف قبل از تبدیل شدن به رواناب به شکل توده‌های جامد و سرد تا مدت‌ها در حوضه باقی می‌ماند. همچنین به دلیل اینکه در بسیاری از موارد، آب قابل دسترس برای مصارف کشاورزی و صنعتی از مناطق کوهستانی، که دارای بارش بیشتری هستند، تأمین می‌گردد، آگاهی از میزان سطح پوشش برف و حجم ذخیره آن از اساسی‌ترین نیازهای مدیران منابع آب به شمار می‌آید (Marofi et al., 2009). طبق بررسی‌های انجام شده، حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد

بودن منطقه در طول دوره برفی بوده است. Hall et al. (2010) یک روش جدید به منظور اصلاح (پر کردن) فضاها و اختلال‌های ابری CGF (Cloud-gap-filled) ارائه کرده است که ماندگاری ابر را از روز جاری تا روزهای گذشته ردیابی می‌کند و از نزدیکترین اطلاعات در یک دوره برای اصلاح شکاف‌های ابری در تصویر استفاده می‌کند. این روش روی محصول مدل شبکه‌ای پوشش برف روزانه MOD10C1 سنجنده مودیس در آمریکای شمالی آزمایش شد. نتایج نشان داد، زمانی که روزهای قبلی در نظر گرفته می‌شود، درصد سلول‌های شبکه قابل مشاهده و بدون تیرگی ابر، به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

Gao et al. (2011) به یک روش جدید برای کاهش موثر تاریکی ناشی از ابر با استفاده از نزدیکترین مشاهده پیکسل بدون ابر در فاصله زمانی سه تا پنج روز گذشته هر پیکسل استفاده کردند و دریافتند اگر این فاصله زمانی را بیشتر کنند، این روش می‌تواند ۳۰ تا ۳۷ درصد دقت پر کردن پیکسل‌های ابری را بالا ببرد. Li et al. (2017) از محصول پوشش برف روزانه مودیس برای تجزیه و تحلیل وضعیت کوهستان هندوان استفاده کردند. آن‌ها از یک روش وزن‌دهی هم‌زمان مکانی-زمانی برای حل ناپیوستگی ناشی از ابرها استفاده و با دقت ۹۳ درصد پوشش ابری را حذف کردند. Jing et al. (2019) یک چهارچوب دو مرحله‌ای زمانی-مکانی برای حذف محصولات برفی MODIS6 در دو ماهواره ترا و آکوا ارائه دادند و دریافتند که تغییرات عمدتاً توسط دما کنترل می‌شوند. نتایج حاصل از حذف ابر دارای دقت کلی ۹۱/۴۸ درصد و میزان خطای ۳/۸۸ بود.

محصولات برف در حالت معمول، با مشخص کردن کد مخصوص برف میزان خطاهای استخراج پوشش برف را به حداقل رسانده و امکان استخراج دقیق مساحت نواحی پوشیده از برف در طی دوره‌های مورد مطالعه را فراهم می‌نمایند. اما وجود ابر در برخی از روزها موجب دشواری در تشخیص وجود و یا عدم وجود برف در سطح زمین می‌شود و این موضوع مورد توجه این پژوهش می‌باشد.

هدف اصلی از این پژوهش، ارائه روش مناسب در برآورد پیکسل‌های ابری تصاویر روزانه پوشش برف سنجنده مودیس، با توجه به نقشه راقومی ارتفاعی، داده‌های متوسط دمای روزانه، بارش روزانه، داده‌های ثبت شده زمینی عمق برف و همچنین تعیین توزیع مکانی-زمانی برف به ویژه در مناطق صعب‌العبور بدون آمار و توام با ابرناکی می‌باشد. با استفاده از تصاویر بازسازی شده، اطمینان و دقت بیشتری در برآورد سطح پوشیده شده از برف تأمین می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، ناحیه وسیع حوضه آبریز دریاچه ارومیه و بخش غربی حوضه دریای مازندران به عنوان منطقه مورد مطالعه در شکل

پوشش برف، مدل‌سازی چرخه هیدرولوژیکی عمومی، کالیبراسیون، اعتبارسنجی و ارزیابی داده‌ها استفاده شده است (Lopez et al., 2008; Pu et al., 2007; Brown et al., 2007; Rodell and Houser, 2004). یکی از موانع اصلی در تشخیص برف توسط سنجنش از دور نوری، ابرناکی تصاویر است. وجود ابر در زمان تصویربرداری مانع رسیدن نور خورشید به سطح زمین شده و هیچ اطلاعاتی از سطح زمین در طول موج‌های کوتاه به سنجنده نخواهد رسید. مجموعه‌ای از روش‌ها برای کاهش تیرگی ابر در محصولات پوشش برف مودیس، مانند تغییر ماسک ابر Hall et al. (2002)، جدا کردن پیکسل‌های پوشیده از ابر Gao et al. (2010)، استفاده از فیلتر مکانی یا زمانی Parajka و Blöschl (2006)، ترکیب محصولات چند روزه ثابت یا انعطاف‌پذیر Houborg et al. (2007)، استفاده از اطلاعات چند حس‌گر ارائه شده است (Liang et al., 2008). ارزیابی یکپارچه‌ای که در زمینه روش‌های کاهش و تصحیح پیکسل‌های ابری انجام شده، نشان می‌دهد که اگرچه همه این روش‌ها به‌ویژه در کاهش تیرگی ابر بسیار مفید هستند، ولی با عدم اطمینان همراه بوده و منجر به کاهش وضوح مکانی یا زمانی به درجات مختلف می‌شوند (Gao et al., 2010).

Ghanbarpour et al. (2005) تغییرات زمانی و مکانی سطح پوشش برف در حوضه کارون را با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و روش هواشناسی مورد بررسی قرار دادند و با رتبه‌بندی سطوح حوضه بر اساس اطلاعات مکانی حاصل از مقدار سهم ذوب برف در رواناب و سطوح، فراوانی و پتانسیل انباشت و ماندگاری سطح برف را انجام دادند.

Azizi et al. (2017) تغییرات زمانی-مکانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که از نظر ارتفاعی پوشش برف در حال پسروی می‌باشد. همچنین مقایسه وضعیت پوشش برف با شرایط دما و بارش نشان داد در بیشتر مواقع، ناهنجاری‌های منفی پوشش برف با ناهنجاری‌های مثبت دما و منفی بارش تطابق دارد.

Lee et al. (2005) نقشه‌های برف حاصل از سنجنده مودیس را با نقشه‌های تهیه شده توسط مرکز سنجنش از دور هیدرولوژیکی ملی آمریکا (National Operational Hydrologic Remote Sensing Center) در بالادست آبریز ریوگراند (Rio Grand) مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که هر دو این نقشه‌ها از شرایط ابری متأثر شده و خطای اصلی در هر دو مورد، وجود ابر بوده است و اشاره داشتند که نقشه‌های تهیه شده از مودیس دقت بهتری دارند. Tekeli et al. (2005) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در حوضه آبریز کراسو (Karasu) ترکیه، نقشه سطح پوشیده شده از برف را با نقشه‌های حاصل از برداشت زمینی مقایسه نموده و عنوان کردند که علت اصلی اختلافات، ابری

تبریز متفاوت است (Adelzadeh, 2015). افزایش تقاضا برای آب به دلیل افزایش جمعیت و بروز خشکسالی‌های متوالی ایجاب می‌کند که به مدیریت صحیح منابع آبی این منطقه بیش از پیش توجه شود (Mirabassi and Din Pajoh, 2013).

در این تحقیق، ابتدا به بیان ارتباط بین مقادیر NDSI با عمق برف، دمای متوسط، میزان بارش و ارتفاع ایستگاه‌های زمینی پرداخته شده است. سپس از این ارتباط، برای از بین بردن تیرگی حاصل از پوشش ابری پیکسل‌های فاقد داده‌ی NDSI بهره گرفته شده و تصویر جدیدی ایجاد می‌گردد که فاقد داده‌ی ابری است.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، داده‌های دمای متوسط روزانه و بارش روزانه در بازه زمانی مورد مطالعه (دی تا اسفند ماه سال ۱۳۹۷) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است. به‌علاوه، از دو نوع داده میدانی و ماهواره‌ای استفاده شده است تا ضمن ارزیابی ارتباط بین برف‌سنجی در ایستگاه‌های زمینی با داده‌های NDSI، امکان اعتبارسنجی مدل نیز فراهم شود.

(۱) در نظر گرفته شد. این محدوده شامل استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و قسمت شمالی استان کردستان می‌باشد. از جمله ویژگی‌های این محدوده می‌توان به کوهستانی بودن، بارش زیاد برف و همچنین وجود تعداد ایستگاه‌های برف‌سنجی متراکم‌تر (۲۲ ایستگاه) نسبت به دیگر نقاط کشور اشاره کرد. این منطقه در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}59'43''$ تا $39^{\circ}14'28''$ طول شرقی و $48^{\circ}48'43''$ تا $49^{\circ}44'10''$ عرض شمالی قرار دارد، که از شمال با کشورهای آذربایجان و ارمنستان و از غرب با کشورهای ترکیه و عراق دارای مرز مشترک است. ارتفاعات و ناهمواری‌های این منطقه به دو دسته کوه‌های نسبتاً کم ارتفاع و کوه‌های مرتفع تقسیم می‌شود (Asakereh and Seifipour, 2012).

منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک مدیترانه‌ای است و از نظر کشاورزی و تولیدات گیاهی نقش مهمی در اقتصاد و امنیت غذایی کشور دارد. بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه از ۲۱۴ میلی‌متر (جلفا) تا ۴۲۸ میلی‌متر (مهاباد) متغیر است (Mirabassi and Din Pajoh, 2013). متوسط دمای سالانه در این منطقه از ۱۱ درجه سانتی‌گراد در شهرستان سقز تا ۱۲/۸ درجه سانتیگراد در

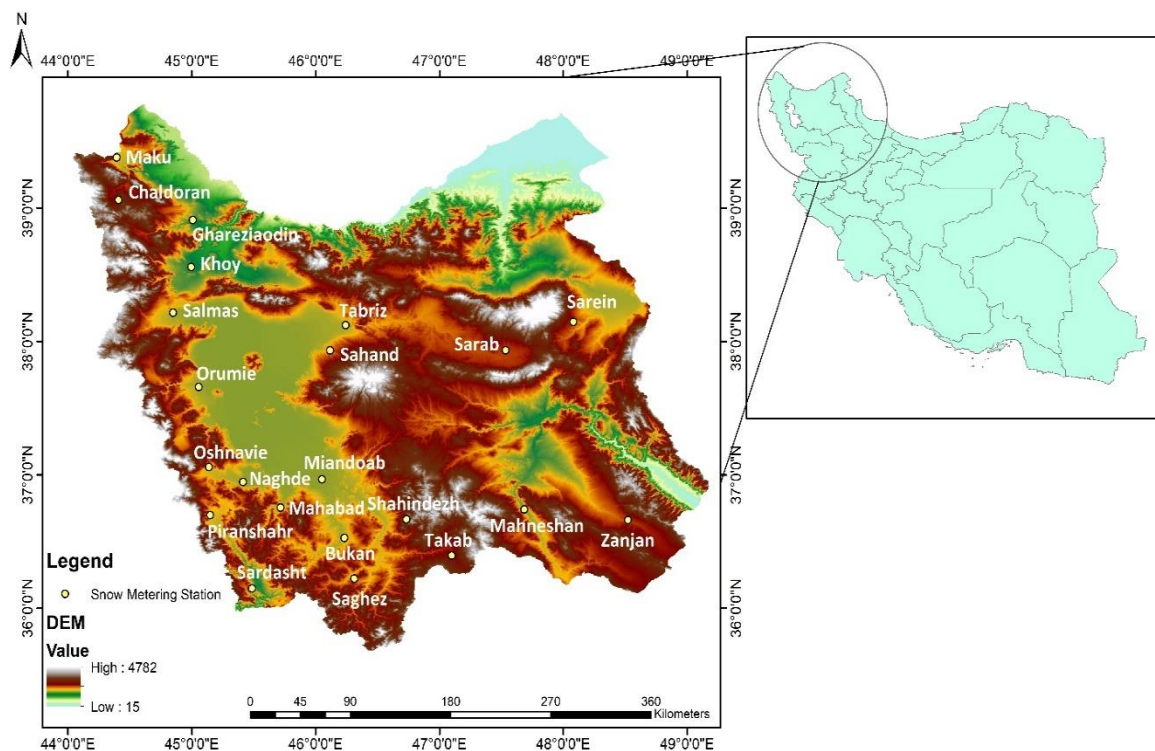


Fig. 1- The study area
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

داده‌های زمینی برف‌سنجی

داده‌های مشاهداتی از ۲۲ ایستگاه برف‌سنجی در منطقه که عمق برف (میلی‌متر)، دمای متوسط (درجه سلسیوس) و بارش (میلی‌متر) را به صورت روزانه در بازه زمانی اول دی تا انتهای اسفند ماه سال ۱۳۹۷ از سازمان هواشناسی کشور برداشت کرده‌اند، در جدول (۱) تهیه شده است. توزیع مکانی این ایستگاه‌ها ارزیابی شده است و انتظار می‌رود تغییرات میزان بارش برف را در نقاط مختلف منطقه نشان دهد (Ansari and Marofi, 2017).

داده‌های اقلیمی

در این مطالعه به منظور ارزیابی تصاویر و از بین بردن پوشش ابری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی که خلاصه‌ای از آن‌ها در جدول (۲) آورده شده است، استفاده گردید. همچنین با توجه به روند موجود در داده‌های بلند مدت متوسط دما روزانه، بارش روزانه و عمق برف روزانه، عمق برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی با ارتفاع رابطه مستقیم و با دما ارتباط عکس دارد (Ebrahimi et al., 2016).

تصاویر سطح پوشش برف سنجنده مودیس

سنجنده مودیس یکی از پنج سنجنده مستقر روی ماهواره ترا می‌باشد که در ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب گردید. این سنجنده دارای قدرت تفکیک زمانی بالا (یک تا دو روز) و قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر است. این سنجنده به صورت نواری، منطقه‌ای به عرض ۲۳۳۰ کیلومتر را از شمال به جنوب تصویربرداری می‌کند. تصاویر این سنجنده در ۳۶ باند طیفی از طول موج ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرون ثبت می‌شوند. بنابراین مودیس دارای خصوصیات مناسب برای مطالعه‌های برف‌سنجی می‌باشد (Wang et al., 2008). منحنی بازتاب طیفی برف نشان‌گر انعکاس بالای برف در محدوده مرئی و انعکاس پایین در محدوده مادون قرمز نزدیک می‌باشد. بنابراین با توجه به جدایی طیفی ابر و برف شکل (۲)، اولین بار Hall et al. (1995) شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) را به منظور تعیین سطح برف در تصاویر ماهواره‌ای ارائه نمودند. بر همین اساس، سازمان فضایی ایالات متحده (NASA) مبادرت به تولید نقشه‌های این شاخص در بازه‌های زمانی مختلف و در قالب محصولات مختلف می‌نماید.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های زمینی برف‌سنجی**Table 1- Specifications of snow gauge stations**

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Ghareziaodin	45.00	38.91	1170.9	Bukan	46.23	36.52	1386.1
Sahand	46.11	37.93	1641	Chaldoran	44.40	39.06	1888.5
Salmas	44.84	38.21	1339.3	Khoy	44.99	38.55	1103.4
Saghez	46.31	36.22	1522.8	Mahabad	45.71	36.75	1351.8
Sarab	47.53	37.93	1682	Mahnesan	47.68	36.74	1284.5
Sardasht	45.48	36.14	1556.8	Maku	44.39	39.37	1411.2
Sarein	48.08	38.14	1658.3	Miandoab	46.05	36.96	1300
Shahindezh	46.73	36.66	1395	Naghde	45.41	36.96	1307
Tabriz	46.24	38.12	1361	Orumie	45.05	37.65	1328
Takab	47.09	36.39	1817.2	Oshnavie	45.13	37.05	1415.9
Zanjan	48.52	36.66	1659.4	Piranshahr	45.14	36.69	1443.5

جدول ۲- مقادیر بارش، عمق برف و دمای متوسط ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه سال ۱۳۹۷**Table 2- Mean precipitation, snow depth and average temperature of the meteorological stations in 2019**

Average temperature (°C)			Snow depth (mm)			Precipitation (mm)		
January	February	March	January	February	March	January	February	March
2.69	2.72	2.79	2202.86	2161.94	2155.12	2519.35	2482.31	2466.87

داده‌های برف و یخ ناسا (National Snow and Ice Data Center) NSIDC استخراج شده‌اند. با توجه به اینکه قسمت اعظم بارش برف در استان‌های مورد مطالعه، در اوایل دی تا اواخر اسفند اتفاق می‌افتد و همچنین به دلیل ماندگاری پوشش برف این ناحیه، تصاویر دریافتی مربوط به بازه زمانی سه‌ماهه (از اول دی‌ماه تا آخر اسفندماه سال ۱۳۹۷) مورد پردازش قرار گرفته است. برای انجام آنالیزهای مربوطه در محیط GIS، اولین گام یکسان‌سازی مرجع جغرافیایی داده‌ها می‌باشد، تا بتوان آن‌ها را با هم مقایسه نمود. بنابراین سیستم تصویر سنجنده مودیس مورد استفاده قرار گرفت (Rayegani et al., 2008).

از آنجا که موقعیت ابرها به سرعت تغییر می‌کنند و معمولاً هر روز جابه‌جا می‌شوند، از تصاویر و داده‌های روزانه برای برآورد سطح پوشش برف استفاده می‌شود. در این پژوهش از محصول (Terra MODIS Level-3 daily snow cover product MOD10A1) نسخه پنجم، از سری محصولات سطح سوم سنجنده مودیس، استفاده شده است. این محصول حاوی اطلاعات استاندارد پوشش برف سنجنده مودیس است که بیشترین تقاضا و درخواست‌ها را دارد (Hall et al., 2010). پیکسل‌های موجود در تصاویر MOD10A1 با اعداد بین صفر تا ۲۵۵ و بر اساس جدول (۳) برچسب‌گذاری شده‌اند. محصولات سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و با فرمت HDF (Hierarchical Data Format) از پایگاه ملی

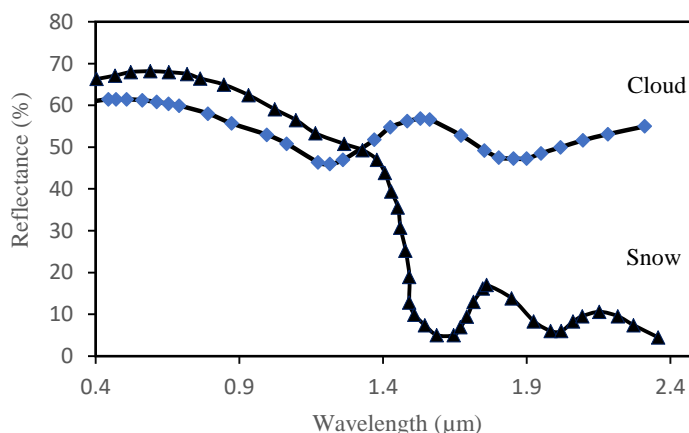


Fig. 2- Snow and cloud spectral reflection curves (Johnson, 2000)
شکل ۲- منحنی انعکاس طیفی برف و ابر (Jensen et al., 2004)

جدول ۳- راهنمای کدهای موجود در تصاویر NDSI مودیس (محصول MOD10A1)
Table 3- Code guide in the MODIS NDSI images (MOD10A1 product)

Definition	Code
Percentage of snow cover	0-100
Defective data	200
Uncategorized	201
Night	211
Landlocked waters	237
Ocean	239
Cloud	250
Other complications	255

روش تحقیق

درجه تطابق بین داده‌های ماهواره‌ای (NDSI) و ایستگاه‌ها، می‌تواند برای اصلاح و پر کردن پیکسل‌های ابری مورد استفاده قرار گیرد (Azizi et al., 2017 و Parajka and Blöschl, 2006). برای استخراج پوشش برف منطقه مورد مطالعه، کد عددی سطوح برفی، ابری و نواحی بدون برف مشخص شده و از یکدیگر تفکیک شد.

روش تحقیق شامل دو مرحله آماده‌سازی داده‌ها و پردازش اصلی در شکل (۳) آورده شده است. در مرحله آماده‌سازی داده‌های زمینی، تمامی داده‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی، شامل دمای متوسط روزانه، میزان بارش روزانه و ارتفاع از سطح دریا، نرمال‌سازی شدند تا اثر تغییر مقیاس در مقایسات بعدی به حداقل برسد. این نرمال‌سازی برای پارامترهای فوق با استفاده از حداقل و حداکثر داده‌های روزانه بارش و متوسط دما در دوره زمانی مورد مطالعه و برای داده‌های ارتفاع، حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در منطقه انجام پذیرفت. نمونه‌ای از تصویر خام سنجنده مودیس در شکل (۴) آمده است. برای آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا با ایجاد یک ماسک از منطقه، پیکسل‌های اضافی حذف شد. پس از طبقه‌بندی تصاویر، با کمک جدول (۳)، هرگونه داده غیر برف نیز کنار گذاشته شد. بدین ترتیب NDSI روزانه در مناطق فاقد ابر به صورت تصاویر جداگانه آماده شد. همچنین ماسکی از مناطق ابری در هر روز ایجاد شد که در مراحل بعدی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. به دلیل اینکه داده‌های عمق برف، دما و بارش به صورت نقطه‌ای و تنها روی ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری و ثبت شده است، از روش درونیایی Kriging برای داده‌های بارش و عمق برف و روش IDW برای داده دمایی در محیط GIS استفاده شد. Ghosjvand et al. (2012) تا اطلاعات لازم برای تمامی پیکسل‌های منطقه (۹۸۴×۱۲۳۴) فراهم گردد. بدین ترتیب ۲۶۷ نقشه (۸۹ نقشه دمای متوسط روزانه، ۸۹ نقشه میزان بارش روزانه، ۸۹ نقشه عمق برف روزانه) در فاصله زمانی ۹۷/۱۰/۰۱ تا ۹۷/۱۲/۲۹ تهیه گردید.

در مرحله اول پردازش، تاریخ‌هایی که داده‌های زمینی عمق برف در هر ایستگاه برداشت شده و تصویر آن منطقه نیز فاقد ابر بوده است مشخص شد که این مجموعه شامل ۱۹۴۰۴ رکورد اطلاعات از ۲۲ ایستگاه در تاریخ‌های مختلف است. به منظور بررسی ارتباط آماری

داده‌ها در ایستگاه‌های منتخب، از روش رگرسیون چند متغیره خطی Kuter et al. (2018) در محیط نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. در محاسبه رگرسیون، مقدار NDSI به‌عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترها شامل عمق برف، دمای متوسط روزانه، میزان بارش و ارتفاع ایستگاه، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. همچنین ۳۰ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شد. دو معیار ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) برای کنترل میزان صحت رابطه رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفتند. در صورت عدم تأیید اعتبارسنجی، ایستگاه‌های منتخب دوباره پالایش شده و رگرسیون جدید محاسبه می‌شود. بدین منظور در هر مرحله شرایط پذیرش ایستگاه‌های منتخب سخت‌گیرانه‌تر می‌شود و به دلیل نقایص موجود در داده‌های برف‌سنجی تنها از ایستگاه‌هایی با قابلیت اطمینان بالا و زمان‌هایی که اندازه‌گیری زمینی انجام شده است، در این مرحله استفاده می‌شود. پس از تأیید اعتبارسنجی، رابطه رگرسیونی حاصل از پیکسل‌های سالم و بدون ابر در تصاویر، برای مدل‌سازی NDSI پیکسل‌های ابری به‌کار گرفته شد. بدین ترتیب تصاویر مدل‌سازی شده NDSI به صورت روزانه، حتی در روزهایی که برف‌سنجی زمینی ناقص بوده، تولید شده‌اند.

اگر چه فرایند مرحله قبل موجب تکمیل داده‌های برف‌سنجی و پیوستگی در بعد زمان می‌شود، اما اختلاف NDSI مدل شده و ثبت‌شده منجر به عدم یکنواختی در داده‌های جدید می‌شود. برای رفع این مشکل، مرحله دوم پردازش داده‌ها انجام می‌شود تا با توجه به موقعیت مکانی هر نقطه و همسایگی‌های آن، به پیوستگی مکانی در تصاویر نیز دست یافت. در این مرحله که با کدنویسی در محیط MATLAB صورت گرفت، از روش میانگین متحرک وزن‌دار (Weighted Moving Average - WMA) در قالب یک فرایند تکراری با ۲۴ پیکسل مجاور در همسایگی استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا با کمک ماسک ابر، پیکسل‌های روی مرز ابر شناسایی شده و مقدار NDSI مدل‌شده آن‌ها بر اساس فاصله از همسایگان اطرافشان که فاقد ابر هستند تعدیل شد. سپس مرز ابر به سمت داخل حرکت کرده و پیکسل‌های جدید نیز به روال مشروح تعدیل می‌شوند. بدین ترتیب و پس از چند تکرار، تعدیل مکانی مناسب روی تمامی پیکسل‌هایی که قبلاً ابر بوده‌اند، اعمال می‌شود.

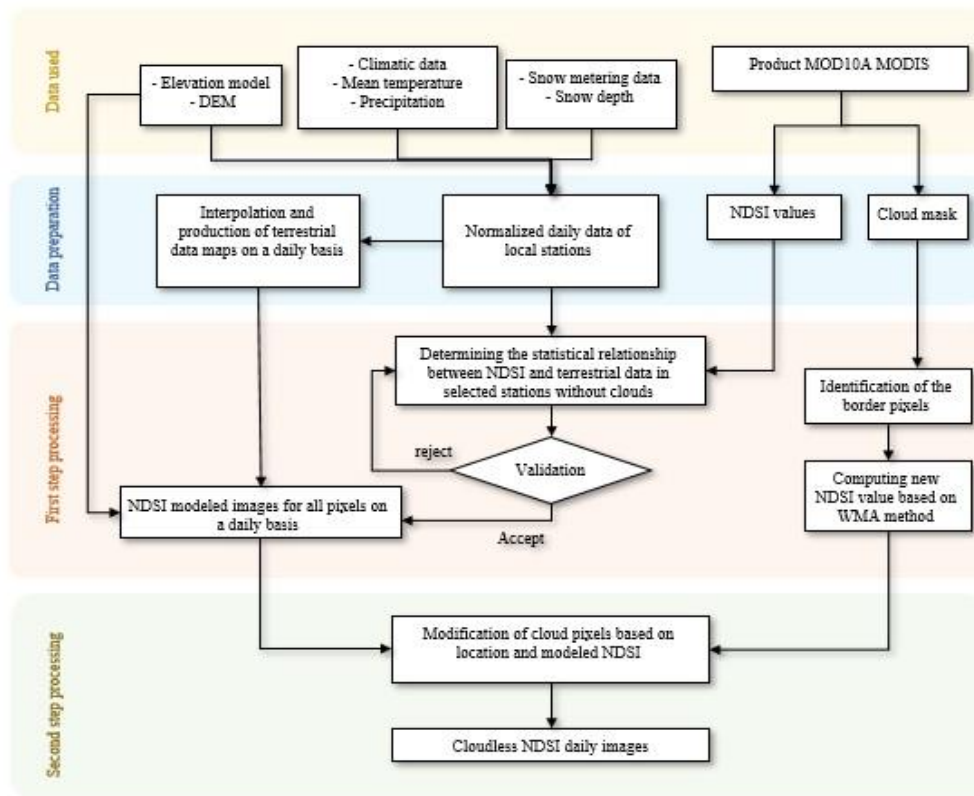


Fig. 3- General flowchart of the research method

شکل ۳- فلوچارت کلی از روش انجام تحقیق

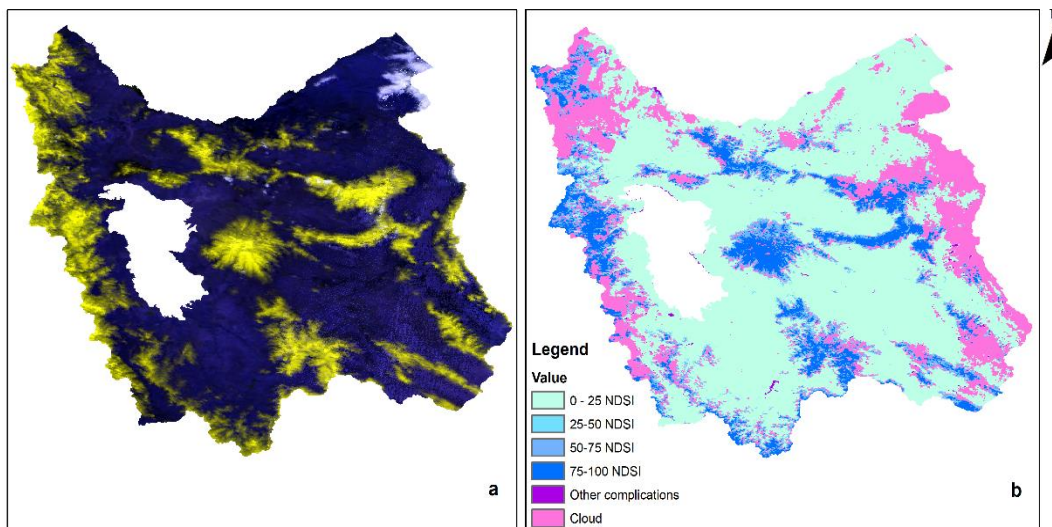


Fig. 4- (a) False color combination of 4-1-6 bands of the MODIS sensor on 2019/02/08, (b) MODIS snow product using the NDSI index

شکل ۴- (الف)- ترکیب رنگی کاذب باندهای ۱ و ۶ سنجنده مودیس در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۱۹، (ب)- محصول برف مودیس با استفاده از شاخص NDSI.

عمق برف در ایستگاه‌ها امکان محاسبه دقیق NDSI فراهم می‌شود. همانطور که انتظار می‌رفت، رابطه (۱) نشان می‌دهد که عمق برف بیشترین تأثیر را بر مقدار NDSI دارد. ضمن اینکه پارامترهای اقلیمی کمترین اثر را دارد.

نمونه‌ای از تصویر تصحیح شده بر مبنای رابطه (۱) در تاریخ ۹۷/۱۱/۱۹، در شکل شماره (۵-الف) ملاحظه می‌شود.

در مرحله دوم پردازش موقعیت هر پیکسل نیز در نظر گرفته شده است. این مسئله از آنجا نشأت می‌گیرد که پدیده بارش برف در بعد مکان به صورت پیوسته حادث می‌شود و احتمال حضور برف در پیکسل‌های مجاور تقریباً مشابه است. بنابراین، به منظور جلوگیری از گسستگی در تصاویر شبیه‌سازی شده برف، مقادیر حاصل شده از قبل با مقادیر پیکسل‌های اطراف خود تعدیل می‌شوند. نمونه‌ای از نتایج این مرحله در شکل (۵-ب) آمده است. طبیعی است که بیشترین تأثیر تصحیح مکانی مقدار NDSI در لبه‌های ابر مشاهده شود. به صورت کلی این تصحیحات بسیار کم است، اما موجب هماهنگی بیشتر مقادیر و پیوستگی منطقی‌تر داده‌ها می‌شود.

با مشاهده مقادیر NDSI طی زمان مورد مطالعه در ایستگاه‌های برف‌سنجی، می‌توان عملکرد روش پیشنهادی را ارزیابی نمود. به‌عنوان مثال در شکل (۶) وضعیت برف در ایستگاه سراب نشان داده شده است.

نتایج و بحث

بررسی ارتباط آماری بین NDSI با مشاهدات ایستگاه‌های زمینی که به روش رگرسیون چندمتغیره خطی انجام شد، یک فرآیند تکراری است. متأسفانه برخی از داده‌های برف‌سنجی زمینی از دقت کافی برخوردار نیستند که دلیل آن را باید در شرایط سخت اندازه‌گیری، کمبود پرسنل و تجهیزات فنی، عدم آموزش کافی پرسنل و نبود مکانیسم نظارتی مطلوب جستجو کرد. از این رو دقت حاصل از اعتبار سنجی رابطه فوق در ابتدا قابل پذیرش نبود. پس از حذف ۵۶ داده مشکوک و تکرار مدل‌سازی، در مطلوب‌ترین حالت، رابطه (۱) به‌دست آمد:

$$NDSI = 1.11d_s - 0.02t + 0.02p + 0.04h \quad (1)$$

که در آن d_s عمق برف، t دمای متوسط روزانه، p میزان بارش و h ارتفاع ایستگاه می‌باشد. برای این مدل، ضریب همبستگی $r=0.85$ و میزان خطا $RMSE=0.047$ حاصل شد. این مقادیر نشان می‌دهند که مشاهدات برف‌سنجی ماهواره‌ای و زمینی با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی (دما و بارش) و توپوگرافی، همبستگی بالایی دارند و امکان بازسازی مشاهدات ماهواره‌ای در زمان ابرناکی بر مبنای مشاهدات زمینی تأیید می‌گردد. به عبارت دیگر، با داشتن

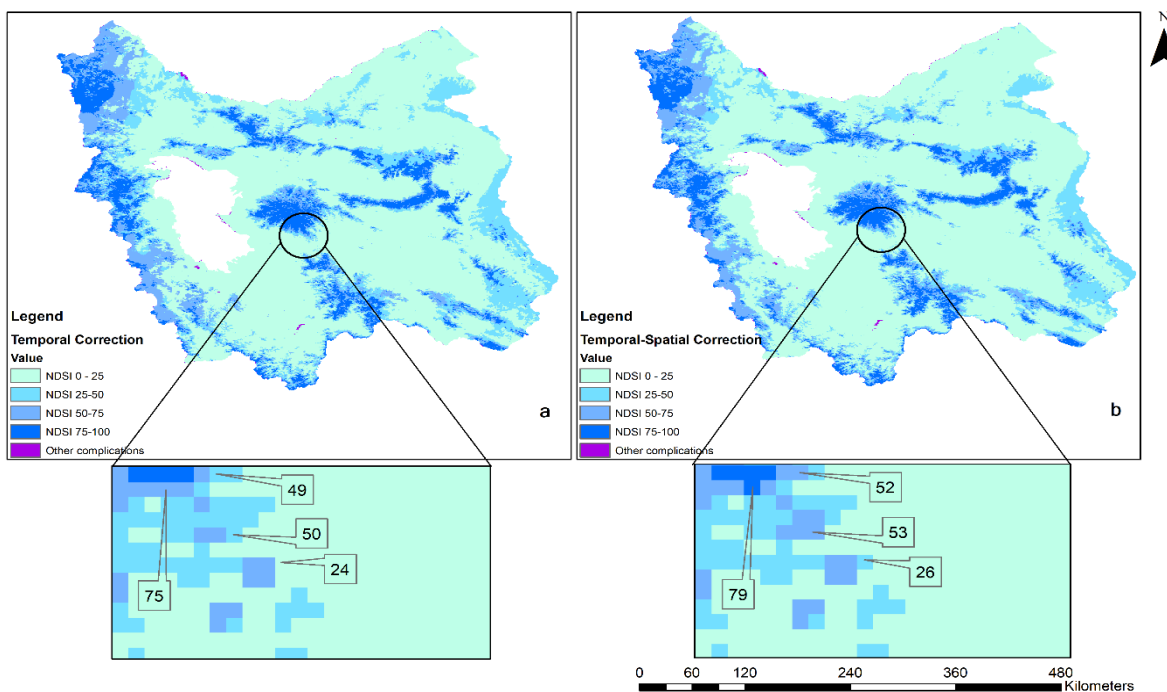


Fig. 5- (a) Comparison of correction results on 2019/02/08 in the first stage, (b) the second stage

شکل ۵- (الف) - مقایسه نتایج تصحیح در تاریخ ۹۷/۱۱/۱۹ در مرحله اول، (ب) - مرحله دوم

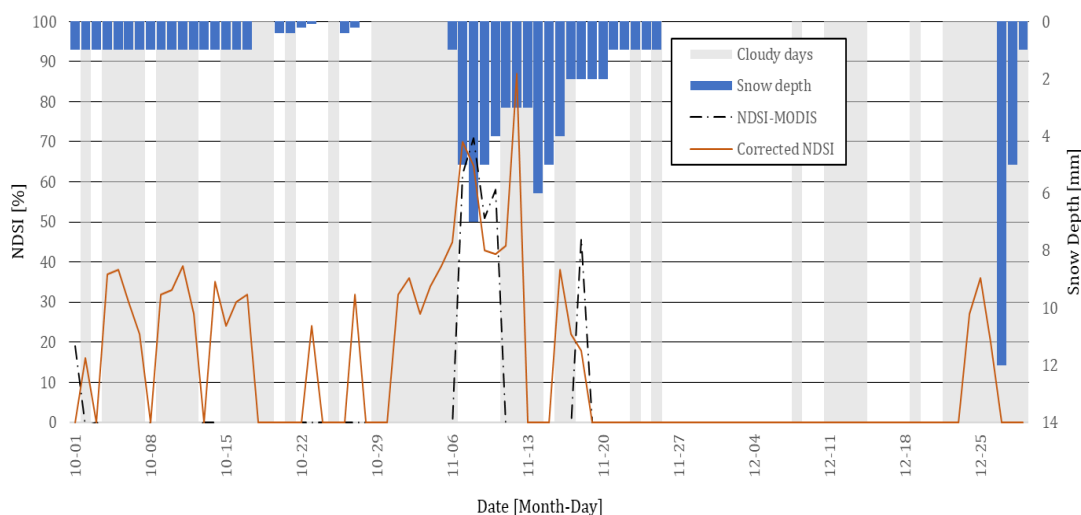


Fig. 6- Comparison of changes in the MODIS NDSI in Sarab station before and after two-stage correction in the study period

شکل ۶- مقایسه تغییرات میزان NDSI مودیس در ایستگاه سراب قبل و بعد از تصحیح دو مرحله‌ای در بازه زمانی مورد مطالعه

محاسبه و پس از نرمال‌سازی (بین صفر و یک) با مقدار تجمعی NDSI مقایسه شد. همان‌طور که در شکل (۷-الف) مشاهده می‌شود، در صورت استفاده مستقیم از محصول MOD10A1 مودیس، ارتباط سطح برف و بارش کلی به صورت تجمعی با ضریب تبیین $R^2=0/63$ و میزان خطای $RMSE=0/67$ بیان می‌شود. این مقادیر اگرچه ممکن است که برای برآورد کلی برف در برخی حوضه‌ها و طرح‌های مطالعاتی کفایت کند، اما برای استفاده در مدل‌های دقیق هیدرولوژیکی و انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی مطلوب نیستند.

پس از انجام تصحیحات دومرحله‌ای اثر ابر، ارتباط آماری بین مقدار تجمعی NDSI تصحیح شده و مقدار تجمعی بارش کلی برف ارزیابی شد که نتیجه آن در شکل (۷-ب) قابل ملاحظه است. در این حالت ضمن افزایش ضریب تبیین از $R^2=0/63$ به $R^2=0/81$ ، مقدار $RMSE$ نیز به اندازه $0/17$ کاهش یافت. این مقادیر موید کارایی روش ارائه شده و تاثیر تصحیحات زمانی - مکانی بر تخمین درست‌تر میزان بارش برف در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای نمونه در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۱۳ که برف‌سنجی در منطقه انجام پذیرفته است و وجود برف روی زمین ثبت شده است، علی‌رغم ابری بودن تصویر ماهواره‌ای، NDSI در حدود ۸۰ درصد برای ایستگاه سراب ارائه گردیده است. بنابراین در روزهایی که ابر مانع از ثبت NDSI در تصاویر مودیس شده است (که با رنگ خاکستری در نمودار مشخص هستند)، مقادیر تصحیح شده به خوبی جایگزین شده‌اند. اگرچه هماهنگی بین میزان عمق برف و NDSI تصحیح شده دیده می‌شود، اما باید به این نکته توجه داشت که مقدار NDSI به درصد پوشش برف در هر پیکسل اشاره می‌کند و مستقیماً عمق برف را ارائه نمی‌دهد.

میزان بارش کلی برف در منطقه باید رابطه منطقی با پوشش برف در طول فصل مورد مطالعه داشته باشد. از این‌رو، به‌منظور بررسی اثر تصحیحات انجام شده در این تحقیق، میزان بارش کلی برف در ایستگاه‌های هواشناسی فعال در منطقه به صورت تجمعی

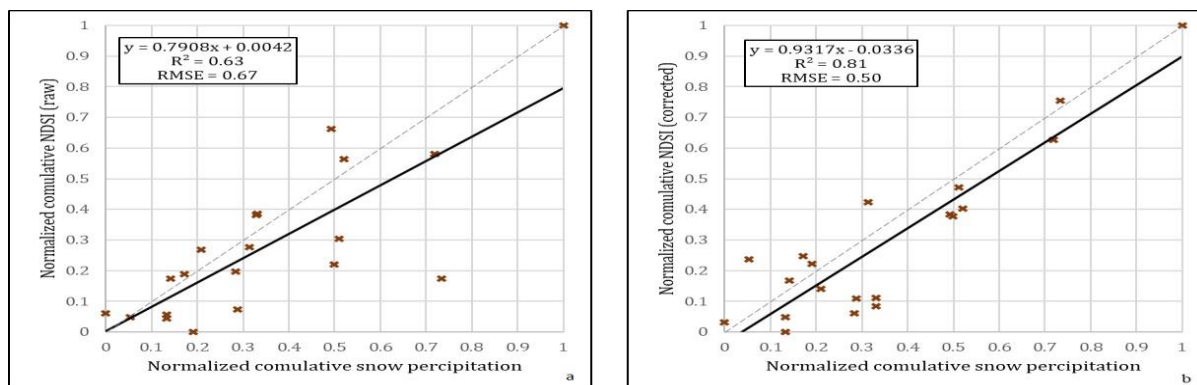


Fig. 7- (a) Statistical comparison of total snowfall in the stations during study period with cumulative NDSI, without corrections, (b) after two-stage cloud corrections

شکل ۷- (الف) - مقایسه آماری میزان بارش کلی برف در ایستگاه‌های موجود در منطقه در بازه مورد مطالعه با NDSI تجمعی، بدون انجام تصحیحات، (ب) - پس از تصحیحات دو مرحله‌ای ابر

کشور ایران به دلیل نقص فنی تجهیزات یا خطای اپراتور، عمق‌سنجی زمینی به‌درستی ثبت نمی‌شود، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تصحیح دومرحله‌ای ابر موجب کاهش خطاها در مدل‌های بالادستی، نظیر مدل‌های پیش‌بینی اقلیم، خواهد شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت و کمک دانشگاه بوعلی سینا و سازمان هواشناسی کشور تشکر می‌کنند.

با بررسی رابطه بین NDSI و میزان بارش تجمعی برف در بازه زمانی دی تا اسفند ماه سال ۱۳۹۷، مشخص شد که جایگزینی تصاویر ماهواره‌ای اولیه با تصاویر تصحیح شده موجب افزایش ضریب تبیین (R^2) از ۰/۶۳ به ۰/۸۱ شده است. این امر نشان‌دهنده بهبود دقت در برف‌سنجی ماهواره‌ای با استفاده از روش حاضر است. با توجه به نتایج قابل قبول پژوهش حاضر، روش فوق می‌تواند به عنوان مکملی سریع و قابل اطمینان برای برف‌سنجی میدانی در مناطقی که عمق‌سنجی ممکن است بصورت کامل و دقیق انجام نشده باشد، مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که در برخی از مناطق

References

- 1- Adeli. A.. 2005. Climatology of Snowfall in Northwest of Iran (*Doctoral dissertation, MSc Thesis, GIS Center and Remote Sensing, Tabriz University*). (In Persian).
- 2- Adelzadeh. A.. 2015. Diagnostic of the temperature in Northwest Iran and its relationship with geopotential height. *Journal of Applied Climatology*, 2(2), 17-32. (In Persian).
- 3- Al-Hosseini Al-Madrasi. A.. Hatami. J.. Sarkargar. A.. 2016. Calculation of physical characteristics of snow using differential radar interferometric technique and TerraSAR-X and MODIS sensor images. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*. Volume 7, Number 2, Summer 2016, pp. 59-76. (In Persian).
- 4- Ansari, H. and Marofi, S., 2017. Streamflow Estimation in the Snowmelt Season Using Meteorological Factors (A Case Study: Lighvan Basin). *Water and Soil Science*, 27(3), pp.173-186. (In Persian).
- 5- Asakereh. H. and Seifipour. Z.. 2012. Spatial modeling of annual rainfall in Iran. *Geography and Development*, 10 (29 consecutive), pp.15-30. (In Persian).
- 6- Azizi. G.. Rahimi. M.. Mohammadi. H. and Khoshakhlagh. F.. 2017. Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(3), 381-393 . Doi: 10.22059/JPHGR.2017.217393.1006943. (In Persian).

- 7- Brown. R., Derksen. C. and Wang. L.. 2007. Assessment of spring snow cover duration variability over northern Canada from satellite datasets. *Remote Sensing of Environment*. 111, 367–381. Doi: 10.1016/j.rse.2006.09.035.
- 8- Ebrahimi. R., Hamzeh. S. and Marofi. S.. 2016. Modeling the snow cover and snowmelt runoff using a combination of SRM hydrological model and satellite imagery. *Irrigation and Water Engineering*, 6(3), 66-77. (In Persian).
- 9- Gao. Y., Xie. H., Yao. T. and Xue. C.. 2010. Integrated assessment on multi-temporal and multi-sensor combinations for reducing cloud obscuration of MODIS snow cover products of the Pacific Northwest USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(8), 1662-1675. Doi: 10.1016/j.rse.2010.02.017.
- 10- Gao. Y., Lu. N. and Yao. T.. 2011. Evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow cover product over the Pacific Northwest USA. *Journal of Hydrology*, 404(3-4), 157-165. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.04.026.
- 11- Gerland. S., Winther. J.G., Orbak. J.B., Liston. G.E., Oritsland. N.E., Blanco. A. and Ivanov. B.. 1999. Physical and Optical Properties of Snow Covering Arctic Tundra on Svalbard and Its Impact on Biota. International Conference on Snow Hydrology, US Army Corps of Engineers, *Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, 13(1999): pp.2331-2343. Doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(199910)13:14/15<2331::AID-HYP855>3.0.CO;2-W.
- 12- Ghanbarpour. M. R., Mohseni. S. M., Abbaspour. K., Saghafian. B. and Ahmadi. H.. 2005. An evaluation of regions effective in accumulation and persistence of snow cover and snowmelt contribution in runoff. *Natural Resources of Iran*, 58 (3): pp. 503-515. (In Persian).
- 13- Ghojavand. K., Taheri. S. H., NasiriSaleh. F. and Habibi. N. M.. 2012. A new method for the forecasting of Spatial Distribution of Precipitation and Temperature in Gharehsoo River Watershed. (In Persian).
- 14- Hall. D.K., Riggs. G.A. and Salomonson. V.V.. 1995. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data, *Remote Sensing Environment*, 54, 127-140. Doi: 10.1016/0034-4257(95)00137-P.
- 15- Hall. D.K., Riggs. G.A., Salomonson. V.V., DiGirolamo. N.E. and Bayr. K.J.. 2002. MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83: pp. 181-194. Doi: 10.1016/S0034-4257(02)00095-0.
- 16- Hall. D. K., Riggs. G. A., Foster. J. L. and Kumar. S. V.. 2010. Development and evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow-cover product. *Remote sensing of Environment*, 114(3), 496-503. Doi: 10.1016/j.rse.2009.10.007.
- 17- Houborg. R., Soegaard. H. and Boegh. E.. 2007. Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data. *Remote Sensing of Environment*. 106 (1) 39–58. Doi: 10.1016/j.rse.2006.07.016.
- 18- Jensen. R., Gatrell. J., Boulton. J. and Harper. B.. 2004. Using remote sensing and geographic information systems to study urban quality of life and urban forest amenities. *Ecology and Society*, 9(5).
- 19- Jing. Y., Shen. H., Li. X. and Guan. X.. 2019. A two-stage fusion framework to generate a spatio-temporally continuous MODIS NDSI product over the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 11(19), 2261. Doi: 10.3390/rs11192261.
- 20- Kuter. S., Akyurek. Z. and Weber. G.W.. 2018. Retrieval of fractional snow covered area from MODIS data by multivariate adaptive regression spline, *Remote Sensing of Environment* 205 (2018) pp.236-252. Doi: 10.1016/j.rse.2017.11.021.

- 21- Lee. S., Klein. A. G. and Over. T. M.. 2005. A comparison of MODIS and NOHRSC snow-cover products for simulating streamflow using the Snowmelt Runoff Model. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(15), 2951-2972.
- 22- Liang. T., Dong Huang. X., Wu. C., Liu. X., Long Li. W., Gang Guo. Z. and Ren. J.. 2008. An application of MODIS data to snow cover monitoring in a pastoral area: A case study in Northern Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment* 112 (2008). pp.1514–1526. Doi: 10.1016/j.rse.2007.06.001.
- 23- Li. X., Fu. W., Shen. H., Huang. C. and Zhang. L.. 2017. Monitoring snow cover variability (2000–2014) in the Hengduan Mountains based on cloud-removed MODIS products with an adaptive spatio-temporal weighted method. *Journal of hydrology*, 551, 314-327. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.049.
- 24- Lopez. P., Sirguey. P. and Arnaud. Y.. 2008. Snow cover monitoring in the Northern Patagonia Icefield using MODIS satellite images (2000–2006). *Global and Planetary Change* 61, pp. 103–116. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.07.005.
- 25- Marofi. S., Tabari. H., Zare Abyaneh. H., Sharifi. M. R. and Akhoondali. A.. 2009. Zoning of snow water equivalent in an mountain subbasin of Karun using GIS, Case study, Samsami basin. *Agricultural Sciences & Natural Resources*, 16(3), 1-11. (In Persian).
- 26- Mirabassi. R. and Dinpazhooh. Y.. 2013. Trend analysis of precipitation of NW of Iran over the past half of the century. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(4), 59-73. (In Persian).
- 27- Parajka. J. and Blöschl. G.. 2006. Validation of MODIS snow cover images over Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10 (5), pp.679-689.
- 28- Pu. Z.X., Xu. L. and Salomonson. V.. 2007. MODIS/Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters* 34, pp. 6706-1–6706-6.
- 29- Rayegani. B., Khajeddin. S. J., Soltani Kopaei. S. J. and Barati.. 2008. Calculation of changes in snow cover maps prepared from MODIS satellite images in periods without images. *Journal of Soil and Water Sciences*, 12(44), 315-332. (In Persian).
- 30- Rodell. M. and Houser. P.R.. 2004. Updating a land surface model with MODIS derived snow cover. *Journal of Hydrometeorology* 5, pp. 1064–1075.
- 31- Tabari. H., Marofi. S., Zare Abiane. H., Amiri Chayjan. R., Sharifi. M. and Akhondali. A. M.. 2010. Comparison of Non-Linear Regression and Computational Intelligence Methods in Estimating Spatial Distribution of Snow Water Equivalent in Karoon Upstream. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 13(50), 29-40. Dor: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.3.7. (In Persian).
- 32- Tekeli. A. E., Akyürek. Z., Şorman. A. A., Şensoy. A. and Şorman. A. Ü.. 2005. Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), 216-230. Doi: 10.1016/j.rse.2005.03.013.
- 33- Wang. X., Xie. H. and Liang. T.. 2008. Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment*. 112 (2008) 1497–1513. Doi: 10.1016/j.rse.2007.05.016.