

Measuring snow depth and evaluating the relationship between temperature component and snow characteristics in the Liqvan watershed

Sayyad Asghari Saraskanrod^{*1}  | Shiva Safary²  | Elham Mollanouri³ 

1. Corresponding Author, Professor, Dept. of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: s.asghari@uma.ac.ir
2. M.Sc. Student, Dept. of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: safari.shiva@gmail.com
3. M.Sc. Student, Dept. of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: e.mollanuri@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 10.11.2021
Revised: 03.14.2022
Accepted: 03.16.2022

Keywords:
Google Earth Engine,
Liqvan catchment,
Radar interference,
Sentinel 1,
Snow depth measurement

ABSTRACT

Background and Objectives: Considering the important role of snow in the groundwater cycle, the study of snow characteristics, especially in mountainous regions, seems necessary. Remote sensing technology can be used to study large areas with high spatial and temporal resolution. Synthetic aperture radar sensors with large frequency bands, small wavelengths, and high permeability are preferred in this type of study. Differential Radar interferometry technique Although the volume of information derived from interferometric analysis is high is a powerful tool in calculating the depth of snow, and the Sentinel data set is preferred due to easy access in interferometric studies. On the other hand, the relationship between LST with snow characteristics is considered to be a lot of researchers. In this study, the radar interferometry technique for estimating the depth of snow, as well as the Google Earth Engine, cloud system, has been used to estimate the snow characteristics, including the depth and surface of the snow cover. Also, the relationship between the component of temperature and snow surface and depth is examined.

Materials and Methods: The Liqvan watershed with an area of 185 kilometers is located in the northwest of the country and East Azerbaijan province. In this study, for extraction of the depth of snows from 4 radar images of Sentinel 1 related to the time interval of December until March 1398 and a radar image associated with September 1398 in SLC format to implement radar interferometry in SARSCAPE software Used. To increase accuracy part of the work was used from the Google Earth Engine system. For this purpose, to extract the surface of the snow cover and its area of the NDSI daily product of the Modis sensor and the monthly NDSI- DEPTH product was used for extraction of the average depth of snow of each snow month in the Google Earth Engine Cloud System. Also, the Daily Product of Mod11A1 Modis Sensor was used to prepare a temperature map to examine the relationship between temperature and snow characteristics.

Results: Investigating the map of snow surfaces in the area of all months of the study period in the region showed the highest concentration of snow surfaces in high regions. Due to the outputs of the Google Earth Engine system, the highest and lowest snow cover level is calculated by January with 180 kilometers and December with a value of 83 km. The average and

the lowest amount of the depth of snow is related to the February and December months, which utilizes the radar interferometry technique of 32 and 9 centimeters and uses the Snow depth- Inst product in the Google Earth Engine system 24 and 4 centimeters Has shown. The values for regression analysis were obtained between the time series of the surface temperature and the surface of the snow cover, respectively, 0.003 and -3.020 for the parameters of Sig and Z. The R^2 variable was also obtained 0.47 about the correlation of the depth of snow and 1st.

Conclusion: The results of this study indicate the ability of both radar interferometry technique and coding in the Google Earth Engine in calculating the depth of snow. Maps and measures of the depth of snow can be an appropriate tool for managing water resources in the region for various uses. Also, the results of regression coefficients showed a significant relationship between the LST variable and the depth of snow and snow cover. So that the inverse relationship between the two components of LST and the snow cover (SC) and LST, and the depth of snow, as well as the direct relationship between reduced temperature and LST, showed.

Cite this article: Asghari Saraskanrod, Sayyad, Safary, Shiva, Mollanouri, Elham. 2022. Measuring snow depth and evaluating the relationship between temperature component and snow characteristics in the Liqvan watershed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (4), 187-206.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19570.3502

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اندازه‌گیری عمق برف و ارزیابی ارتباط مؤلفه دما با ویژگی‌های برف در حوزه آبخیز ليقوان

صیاد اصغری سراسکانرود*^۱ | شیوا صفری^۲ | الهام ملانوری^۳

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: safari.shiva@gmail.com
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: e.mollanuri@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: با توجه به نقش مهم برف در چرخه آب زمین، بررسی خصوصیات برف به‌ویژه در مناطق کوهستانی، ضروری به‌نظر می‌رسد. فن‌آوری سنجنش‌ازدور می‌تواند جهت مطالعه مناطق بزرگ با وضوح مکانی و زمانی بالا استفاده شود. سنجنده‌های راداری با روزه مجازی با باندهای فرکانسی بزرگ و طول‌موج‌های کوچک و قابلیت نفوذپذیری زیاد در این دست از مطالعات ترجیح داده می‌شوند. فن‌تداخل‌سنجی راداری با وجود این‌که حجم اطلاعات حاصل از تحلیل ایتترفرومتری بالا است، یک ابزار قدرتمند در محاسبه عمق برف بوده و مجموعه داده سنتینل ۱ به دلیل دسترسی آسان در مطالعات تداخل‌سنجی ترجیح داده می‌شوند. از طرفی امروزه ارتباط LST با ویژگی‌های برف مورد توجه بسیاری از پژوهشگران می‌باشد. در مطالعه حاضر از فن تداخل‌سنجی راداری جهت برآورد عمق برف و هم‌چنین از سامانه ابری Google Earth Engine در برآورد خصوصیات برفی از جمله عمق و سطح پوشش برفی استفاده شده است. هم‌چنین ارتباط بین مؤلفه دما و سطح و عمق برف نیز مورد بررسی قرار گرفته است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹	مواد و روش‌ها: حوزه ليقوان با وسعتی حدود ۱۸۵ کیلومترمربع در شمال غرب کشور و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. در این مطالعه برای استخراج عمق برف از ۴ تصویر راداری سنتینل ۱ مربوط به بازه زمانی آذر تا اسفند ۱۳۹۸ و یک تصویر راداری مربوط به شهریور ۱۳۹۸ با فرمت SLC جهت پیاده‌سازی تداخل‌سنجی راداری در نرم‌افزار SARSCAPE استفاده شده است. جهت افزایش دقت بخشی از کار از سامانه Google Earth Engine استفاده شده است. به‌همین منظور برای استخراج سطح پوشش برفی و مساحت آن از محصول روزانه NDSI سنجنده مودیس و محصول ماهانه NDSI-DEPTH جهت استخراج میانگین عمق برف مربوط به هریک از ماه‌های برفی در سامانه ابری Google Earth Engine استفاده شد. هم‌چنین از محصول روزانه MOD11A1 سنجنده مودیس جهت تهیه نقشه دما برای بررسی رابطه دما با ویژگی برف استفاده شد.
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵	
واژه‌های کلیدی: تداخل‌سنجی راداری، حوزه آبخیز ليقوان، سنتینل ۱، عمق‌سنجی برف، گوگل ارث انجین	

یافته‌ها: بررسی نقشه سطوح برفی حضور برف در تمام ماه‌های بازه زمانی مورد مطالعه، در منطقه را نشان داده و بیش‌ترین تمرکز سطوح برفی در مناطق مرتفع مشاهده شد. با توجه به خروجی‌های سامانه گوگل ارث انجین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار سطح پوشش برف به ترتیب مربوط به دی‌ماه با ۱۸۰ کیلومتر مربع و آذرماه با مقدار ۸۳ کیلومتر مربع محاسبه شده است. متوسط بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عمق برف به ترتیب مربوط به ماه‌های بهمن و آذر بوده که با بهره‌گیری از فن تداخل‌سنجی راداری مقادیر ۳۲ و ۹ سانتی‌متر و با استفاده محصول SnowDepth-inst در سامانه گوگل ارث انجین مقادیر ۲۴ و ۴ سانتی‌متر را نشان داده است. هم‌چنین بررسی‌های حاصل از نقشه‌های دما مقادیر کمینه و بیشینه ۱۴- و ۵- درجه سانتی‌گراد را نشان داد. مقادیر مربوط به تحلیل رگرسیون بین سری زمانی دمای سطح زمین و سطح پوشش برف به ترتیب ۰/۰۰۳ و ۳/۰۲۰- برای پارامترهای SIG و Z به دست آمد. مقدار متغیر R^2 نیز در ارتباط با بررسی همبستگی عمق برف و دما نیز ۰/۴۷ به دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بیانگر قابلیت هر دو روش فن تداخل‌سنجی راداری و کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین در محاسبه عمق برف می‌باشد. نقشه‌ها و مقادیر عمق برف به دست آمده می‌تواند ابزار مناسب جهت مدیریت منابع آبی منطقه برای مصارف گوناگون باشد. هم‌چنین بررسی نتایج ضرایب رگرسیونی رابطه معنی‌داری بین متغیر LST و عمق و سطح پوشش برف نشان داد. به‌طوری‌که رابطه معکوس بین دو مؤلفه LST و پوشش برفی (SC) و LST و عمق برف و هم‌چنین رابطه مستقیم بین کاهش دما و LST را نشان داد.

استناد: اصغری سراسکانرود، صیاد، صفری، شیوا، ملانوری، الهام (۱۴۰۰). اندازه‌گیری عمق برف و ارزیابی ارتباط مؤلفه دما با ویژگی‌های برف در حوزه آبخیز لبقوان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۸ (۴)، ۱۸۷-۲۰۶.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19570.3502



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

می‌شوند (۶) با توجه به قطبش‌های مختلف و فاز تصاویر راداری می‌توان اطلاعات با ارزشی را درباره ویژگی‌های برف به دست آورد (۲۲). فن تداخل‌سنجی راداری^۵ با روزنه مجازی (In-SAR) با وجود این‌که حجم اطلاعات حاصل از تحلیل ایتترفرومتری بالاست، یک ابزار قدرتمند در محاسبه عمق برف بوده (۱۸) و مجموعه داده سنتینل ۱ به دلیل تکرار بالا و دسترسی رایگان برای مطالعات تداخل‌سنجی بسیار کاربردی می‌باشد (۲۴). در مطالعه‌ای الحسینی المدرسی و همکاران (۲۰۱۶) به محاسبه خصوصیات فیزیکی برف با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس و الگوریتم نقشه برف پرداخته‌اند. این پژوهش‌گران با استفاده فن تداخل‌سنجی تفاضلی راداری^۱ (D-InSAR) مقدار جابجایی عمق برف را شناسایی کرده‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی عمق برف با استفاده از داده زمینی عمق آب معادل برف به وسیله رگرسین خطی، نشانگر دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب ۹۱/۳ درصد و ۸۴/۴۵ درصد نقشه سطح برف و ضریب تعمیم ۸۵ درصد و RMSE ۲/۷۸ برای نقشه عمق برف بوده است که این نتایج از لحاظ آماری ۹۹ درصد معنی‌دار بوده‌اند (۲). کیخسروی کیانی و مسعودیان (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی نقش دمای سطح زمین (LST) در پراکنش پوشش برف به کمک داده‌های مودیس پرداختند. طبق نتایج این پژوهش‌گران گرم‌ترین دماها در ایران در ارتفاعات چند صد یا چند ده متر از سطح دریا دیده می‌شوند. آن‌ها همچنین به رابطه مستقیم دمای سطح زمین و پوشش برفی اشاره کرده و مناطقی از ایران را که دارای میانگین دمای سطح زمین صفر درجه می‌باشند را دارای بیش‌ترین روزهای شامل پوشش برفی و مناطقی با میانگین دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد را مناطق فاقد پوشش برفی معرفی کرده‌اند (۱۱).

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته گروه‌های اقلیم کشور ایران بر اثر تغییرات اقلیمی از ۱۱ مورد به ۹ مورد کاهش داشته که از این میان زیر گروه‌های اقلیم برفی بیش‌ترین میزان پس‌روی را داشته‌اند (۱۶) پوشش فصلی برف نقش اساسی در چرخه آب زمین ایفا می‌کند. حداقل یک سوم آب مصرفی جهت آبیاری باغات و زمین‌های کشاورزی در جهان از آب حاصل از ذوب برف تأمین می‌شود (۲). برف، اشعه خورشید را به سمت فضا بازتاب می‌دهد و باعث کاهش گرمای کره زمین می‌شود (۸). هنگامی که برف و یخ ذوب می‌شوند، بیش‌تر میزان انرژی وارد شده از سمت خورشید جذب شده و انرژی بازگشتی به فضا کم‌تر می‌شود که با عناوین آلبدوی برف^۱ و آلبدوی یخ^۲ شناخته می‌شوند (۲۱) در این میان ارتباط دمای سطح زمین^۳ به عنوان موضوع مهمی که امروزه مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران است با برف مطرح می‌شود. معمولاً تغییرات LST تغییرات پوشش برفی می‌باشد. عوامل متعددی می‌تواند از جمله نوسانات اتمسفری دما، رطوبت، ابرها در استخراج LST اثرگذار باشد (۸). سنجش‌ازدور امکان اندازه‌گیری عوامل مختلف از جمله LST و ویژگی‌های برف را به‌ویژه در جاهایی که دسترسی به داده‌های زمینی محدود است، راحت‌تر کرده است. اندازه‌گیری زمینی برف و خصوصیات آن به‌ویژه در مناطق کوهستانی و برف‌گیر ممکن است گران‌قیمت و خطرناک باشد. سنجش‌ازدور توانایی اندازه‌گیری کمی خصوصیات فیزیکی برف در مناطق دورافتاده و غیرقابل دسترس را دارد (۱۰). سنجنده‌های راداری با روزنه مجازی^۴ (SAR) در این دست از مطالعات ترجیح داده

- 1- Snow Albedo
- 2- Ice Albedo
- 3- Land surface Temperature (LST)
- 4- Synthetic Aperture Radar

5- Interferogram

6- Difference interferogram synthetic aperture radar

کرده‌اند (۸). ایوان و کروس (۲۰۱۴) پژوهشی با عنوان شناسایی عمق برف با استفاده از تشخیص اختلافات ارتفاعی به روش تداخل‌سنجی راداری با روزنه مصنوعی انجام داده‌اند. هدف این پژوهش‌گران بررسی روش InSAR Multi-pass بوده است. آن‌ها چهار تصویر مربوط به پایین‌آمدگی برف^۱ در طول تابستان و دو تصویر مربوط به بالاآمدگی برف^۲ در زمستان را در منطقه کوچکی از کوه ماموت در کالیفرنیا با توان تفکیک مکانی ۰/۱ میلی‌متر به دست آورده و با استفاده از تداخل‌نماهای SAR حاصل از تصاویر برای بالا آمدگی و پایین‌رفتگی برف، مدل رقومی ارتفاعی را ایجاد کرده و به این ترتیب به بررسی عمق برف پرداختند (۵). وارادا و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به عمق‌سنجی برف در منطقه مهم هیمالیا هند با اعمال تصحیحات وزن‌دار در روش تداخل‌سنجی راداری پرداختند. این پژوهش‌گران از شاخص NDSI جهت برآورد اولیه سطح پوشش برف بر روی تصاویر لندست ۸ و از تصاویر ماهواره‌ای sentinel-1 و اختلاف فاز در قطبش VV و VH جهت برآورد جابجایی عمق برف استفاده کرده‌اند. نتایج عمق‌سنجی برف با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی، ضریب تعیین ۰/۶۲۸ با بهبود ۰/۴ نسبت به روش‌های مرسوم را نشان می‌دهد (۲۴). منیکام و باروس (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به تجزیه سیستم SAR در اندازه‌گیری برف با توجه به مقیاس و مکان متفاوت در سه ناحیه متفاوت از نظر عمق برف (بالای یک میلی‌متر) با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel، UAVSAR Data، داده SRTM^۳ و تصاویر ماهواره لندست ۸ برای انطباق سطح پوشش برف با داده راداری پرداخته‌اند. طبق

سیفی و قربانی (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به تخمین سطح پوشیده شده از برف کوهستان سهند پرداخته‌اند. آن‌ها بدین‌منظور از تصاویر سنجنده لندست ۸ و باندهای حرارتی و روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، استفاده کرده‌اند و نتایج خود را به‌عنوان جایگزینی مناسب برای ایستگاه‌های برف‌سنجی مختلف دانسته‌اند (۱۸). سیفی و فیضی‌زاده (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای با عنوان برآورد عمق برف با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و آب حاصل از آن، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) جهت برآورد عمق برف استفاده کرده‌اند. هم‌چنین از تصاویر لندست ۸ جهت بررسی‌های لازم برای انتخاب تصویر پایه و برای برآورد سطح پوشش برف با اعمال شاخص NDSI و فن شیء‌پایه، استفاده کرده‌اند. این پژوهش‌گران به ضریب همبستگی ۸۵ درصد در صحت‌سنجی نتایج عمق برف با داده زمینی و یک معادله خطی با ضریب همبستگی ۸۷ درصد بین عمق برف و آب معادل آن دست یافتند (۱۹). اصغری و مدیرزاده (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۱ به روش تداخل‌سنجی راداری به برآورد عمق برف در سطح شهرستان‌های اردبیل و سرعین پرداختند. آن‌ها برای استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای اپتیکال سنتینل ۲ و شاخص NDSI استفاده کرده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تصاویر راداری با توجه به قدرت تفکیک بالا، می‌تواند جایگزین خوبی برای ایستگاه‌های زمینی برف‌سنجی در مناطق صعب‌العبور باشد (۳). حلبیان و صلحی (۲۰۲۰) به بررسی ارتفاعات برف‌پوش و دمای سطح زمین با مؤلفه ارتفاع در منطقه ارتفاعات البرز مرکزی با استفاده از محصولات سنجنده مودیس پرداختند. این پژوهش‌گران به ارتباط مستقیم و قوی بین درصد مناطق برف‌پوش و ارتفاع در بدنه کوهستانی البرز مرکزی، اشاره

1- Snow off

2- Snow up

3- Shuttle Radar Topography Mission

لیقوان، از ضرورت و اهمیت بسیاری برخوردار است؛ که در این میان اندازه‌گیری سطح پوشش برفی و عمق برف و رابطه‌ای که می‌تواند با دمای سطح زمین داشته باشد، دارای اهمیت است. بنابراین سنجش‌ازدور و تصاویر حاصل از آن به‌عنوان ابزاری کارآمد در این امر محسوب می‌شوند (۱۷).

با توجه به مطالب بیان شده و مطالعات صورت گرفته در ارتباط با این موضوع، هدف از این پژوهش استفاده از فن تداخل‌سنجی راداری در برآورد عمق برف و همچنین استفاده از مزایا و قدرت سامانه ابری Google Earth Engine در برآورد خصوصیات برفی از جمله عمق و سطح پوشش برفی در حوزه آبخیز لیقوان می‌باشد. هدف دیگر این مطالعه نشان دادن ارتباط بین مؤلفه دما و سطح و عمق برف به‌دست آمده می‌باشد. استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و بررسی نتایج آن با نتایج حاصل از سامانه گوگل ارث انجین می‌تواند به عنوان نوآوری پژوهش حاضر باشد.

مواد و روش‌ها

حوزه لیقوان‌چای با وسعتی حدود ۱۸۵ کیلومترمربع در منطقه شمال غرب کشور و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این حوزه یکی از زیرحوزه‌های فرعی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بوده و در دامنه شمالی سهند بین طول‌های جغرافیایی $30^{\circ} 27' 46''$ تا $30^{\circ} 20' 26''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 55' 42''$ تا $37^{\circ} 49' 30''$ شمالی گسترده شده است. بلندترین نقطه حوزه با ارتفاع ۳۶۲۰ متر از سطح دریای آزاد در جنوب شرقی ارتفاعات سهند و پایین‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۱۴۰ متر در محل ایستگاه هیدرومتری لیقوان است (۲۳). استان آذربایجان شرقی به دلیل حضور کوهستان‌های دامنه‌های غربی رشته‌کوه‌های فلات مرکزی ایران از

نتایج این پژوهش‌گران پراکنش^۱ (BSC) امواج در برف انباشته شده بستگی به فاکتورهایی از جمله هوای برف، خاک برف و لایه‌های برفی دارد و تضعیف سیگنال‌های ریزموج در برف خشک بسیار ناچیز می‌باشد (۱۳). تیوبلت و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی تغییرات پوشش برفی^۲ (SCE) و رابطه آن با دمای سطح زمین و پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از محصولات سنجنده MODIS در شمال آمریکا پرداخته‌اند. نتایج اجرای رگرسیون خطی توسط این پژوهش‌گران، همبستگی بین LST، NDVI و SCE را به ترتیب در فصل بهار ۳۱ و ۲۲ درصد، در فصل بارشی ۴۰ درصد و همبستگی ناچیز با NDVI، در سال برفی ۴۳ و ۵۱ درصد و در ماه ژوئن ۳۴ درصد و ارتباط ناچیز با NDVI را نشان داده است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ارتباط متوسط معکوسی بین میزان پوشش برفی و LST و رابطه کمی بین پوشش برفی و پوشش گیاهی وجود دارد (۲۱).

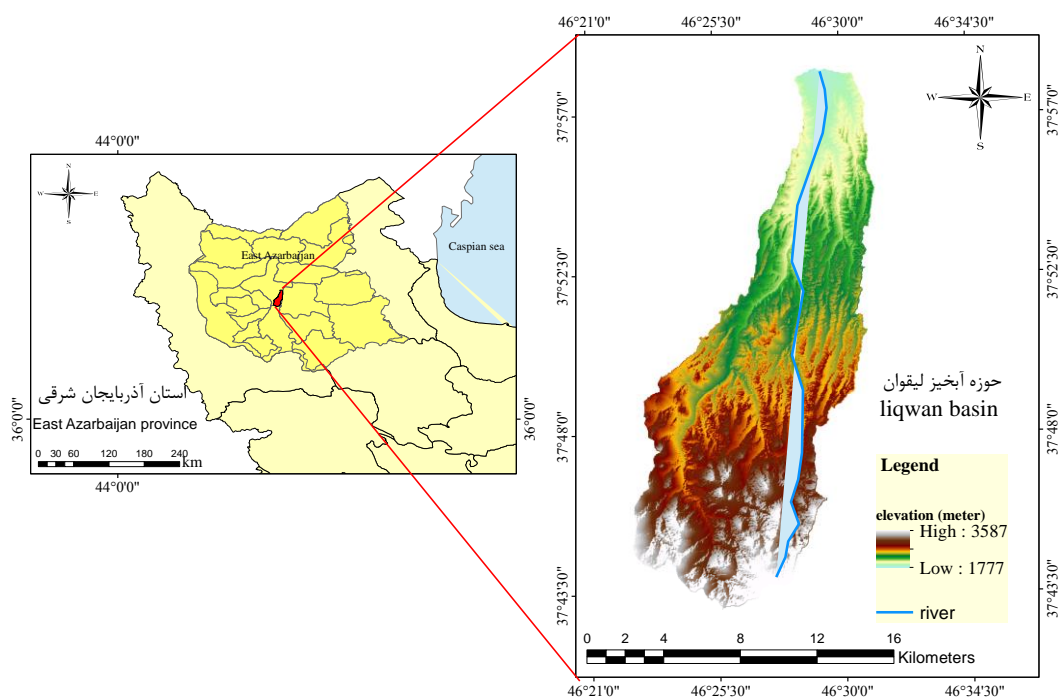
با توجه به این‌که کشور ایران در کمربند بیابانی کره زمین واقع شده است، شناسایی منابع آبی و بررسی تغییرات پوشش برفی ضروری است (۲۰). نکته قابل‌توجه منطقه شمال غرب ایران می‌باشد که اقلیم نیمه‌بیابانی سرد در این منطقه به‌سرعت در حال گسترش بوده و در حال از بین بردن گروه‌های اقلیم برفی و معتدل است (۱۶). کوهستان سهند و ارتفاعات برف‌گیر آن واقع در شمال غرب کشور یکی از بزرگ‌ترین منشأهای رودخانه‌های متعددی است که حیات شهری، روستایی و عشایری را تداوم بخشیده است و شاهد تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی می‌باشد. از این‌رو دستیابی به داده‌های برف‌سنجی، به‌خصوص با توجه به عدم وجود ایستگاه برف‌سنجی در حوزه

1- Back scattering coefficient

2- Snow cover extent

نیمه مرطوب سرد تغییر پیدا می‌کند. کوهستان سهند در مجاورت حوزه ليقوان را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در اقلیم منطقه یاد برد که با ارتفاع حدود ۳۷۰۷ متر در قله‌ی سهند و اختلاف ارتفاع زیاد با گرمادوز با ارتفاع حدوداً ۱۶۰ متر، تفاوت دمایی تا حدود ۱۶ درجه و تفاوت بارشی تا حدود ۳۰۰ میلی‌متر را در اطراف خود شامل می‌شود. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مناطق سردسیر کشور به شمار آمده و سرمای شدید در زمستان و هوای معتدل در تابستان را تجربه می‌کند، بارش و دما جزء عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری اقلیم استان آذربایجان شرقی به شمار می‌روند. حوزه آبخیز ليقوان نیز به‌علت وجود پوشش‌های برفی دائمی در ارتفاعات مختلف آن دارای رژیم برفی بوده و ذوب برف در جریان دائمی آن مؤثر و فراوان است (۱). این حوزه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است که به‌سمت ارتفاعات اقلیم



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و کشور.

Figure 1. Location of the study area in East Azerbaijan province and the country.

۳) محصول عمق برف حاصل از مدل داده FLDAS در سامانه Google earth engine
 ۴) اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شرق تبریز جهت ارزیابی نقشه‌های LST
 در مطالعه حاضر با توجه به این‌که نزدیک‌ترین ایستگاه برف‌سنجی به منطقه، در شهر تبریز واقع شده و با توجه به اختلاف ارتفاعی و تفاوت اقلیمی دشت

در پژوهش حاضر داده‌های مورد استفاده به ترتیب زیر می‌باشد:
 ۱) تصاویر ماهواره سنتینل ۱ مربوط به ماه‌های پربرف سال (آذر، دی، بهمن، اسفند)
 ۲) محصولات سنجنده مودیس جهت استخراج سری زمانی LST و سطح پوشش برفی مربوط به ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند در سامانه Google earth engine

مطالعه حاضر جهت استخراج مساحت تحت پوشش برف و جهت بررسی حضور برف در منطقه از محصول روزانه NDSI ۵۰۰ متری سنجنده مودیس با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر و استخراج دوباره عمق برف جهت مقایسه با نتیجه فن تداخل‌سنجی از محصول NDSI-DEPTH حاصل از FLDAS در سامانه Google Earth Engine استفاده شده است. با استفاده از FLDAS می‌توان اطلاعات با ارزشی در مورد برف، آب، رطوبت خاک و نظایر آن‌ها به‌ویژه در مناطقی با محدودیت دسترسی به داده، به دست آورد (۱۴). این محصول دارای قدرت تفکیک مکانی 0.1 arcdegree، معادل ۱۰ کیلومتر مربع در استوا می‌باشد. در ادامه اقدام به دانلود محصول روزانه MOD11A1 سنجنده مودیس جهت تهیه نقشه‌های دمای (LST) آذر، دی، بهمن، اسفند برای بررسی رابطه دما با عمق و سطح پوشش برف شده است. از نظر مکانی این محصول دارای توان تفکیک مکانی یک کیلومتری است (۳). جدول ۲ محصولات استفاده شده در سامانه Google earth engine را نشان می‌دهد.

تبریز و منطقه ليقوان واقع در ارتفاعات سهند و در نتیجه تفاوت چشمگیر نوع بارش، مقدار بارش و دما در دو منطقه، داده‌های حاصل از ایستگاه برف‌سنجی جهت بررسی نتایج قابل اطمینان نبوده و فقط داده‌های سنجش‌ازدور مدنظر قرار گرفته است. با این وجود سعی شده با استفاده از سایر عوامل از جمله دما و سطح پوشش برف و سامانه پردازشی ابری گوگل ارث انجین به بررسی نتایج عمق برف پرداخته شود. در این مطالعه برای استخراج عمق برف از ۴ تصویر راداری سطح یک سنتینل ۱ با فرمت SLC^۱ و مد Interferometric Wide swath (IW) مربوط به بازه زمانی آذر تا اسفند ۱۳۹۸ (ماه‌های برفی) و یک تصویر راداری مربوط به شهریور ۱۳۹۸ (فاقد پوشش برفی) با فرمت SLC با مد IW جهت پیاده‌سازی تداخل‌سنجی راداری استفاده شده است. تصاویر راداری سنتینل ۱ در باند C فعال بوده و با توجه به عدم حساس بودن به شرایط اقلیمی این تصاویر و عمق نفوذ مناسب باند C در این دست از مطالعات توصیه شده‌اند (۱۸). جدول ۱ ویژگی تصاویر راداری استفاده شده را نشان می‌دهد. در

جدول ۱- مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده.

Table 1. Specifications of the radar images used.

تاریخ تصاویر Image Date	فرمت تصاویر Image format	مد تصاویر Image Mode	توان تفکیک مکانی (متر) Spatial resolution (meters)	باند Band
2019/12/8	SLC	IW (Interferometric Wide swath)	20×5	C-SAR
2020/1/13	SLC	IW (Interferometric Wide swath)	20×5	C-SAR
2020/2/18	SLC	IW (Interferometric Wide swath)	20×5	C-SAR
2020/3/13	SLC	IW (Interferometric Wide swath)	20×5	C-SAR
2019/9/27	SLC	IW (Interferometric Wide swath)	20×5	C-SAR

جدول ۲- مشخصات محصولات استفاده شده در سامانه Google Earth Engine

Table 2. Product specifications used in the Google Earth Engine system.

نام محصولات	توان تفکیک مکانی	مقیاس (متر)	تاریخ محصول
Products name	Spatial resolution	Scale (meter)	Products Date
SnowDepth-inst	0.1 arcdegree	10000	2019/12/8
SnowDepth-inst	0.1 arcdegree	10000	2020/1/13
SnowDepth-inst	0.1 arcdegree	10000	2020/2/18
SnowDepth-inst	0.1 arcdegree	10000	2020/3/13
NDSI_Snow_Cover	500 square meter	500	2019/12/8
NDSI_Snow_Cover	500 square meter	500	2020/1/13
NDSI_Snow_Cover	500 square meter	500	2020/2/18
NDSI_Snow_Cover	500 square meter	500	2020/3/13
Land Surface Temperature and Emissivity	1 square kilometer	500	2020/1/13

NDSI بر مبنای نرمال‌سازی تفاضل باندهای سبز و SWIR1 بر روی تصاویر مودیس پیشنهاد شد (۹). (رابطه ۱). در تهیه نقشه پوشش برفی توسط NDSI زمانی که پیکسل دارای مقادیر بزرگتر یا مساوی ۰/۴ است به‌عنوان پیکسل برفی در نظر گرفته می‌شود (۱۵).

$$NDSI = (p_{GREEN} - p_{SWIR1}) / (p_{GREEN} + p_{SWIR1}) \quad (1)$$

تصویر شهریور ۱۳۹۸ به‌عنوان تصویر پایه تشکیل شد. در واقع هر تداخل‌نگار تشکیل شده حاصل ضرب یک تصویر راداری در مختلط مزدوج تصویر دوم می‌باشد (۱۲). با توجه به ماهیت تصاویر SAR، در مطالعه حاضر پس از آزمون فیلترهای مختلف و به دست آوردن نتیجه قابل قبول با استفاده از فیلتر گلدستاین^۲، جهت نرم کردن نتایج اینترفرومتری و حذف نویز اسپیکل از این فیلتر در تداخل‌سنجی استفاده شده است. بعد از این مرحله بازیابی فاز^۳ و اصلاح اطلاعات^۴ فاز انجام می‌گیرد که این مرحله باعث می‌شود تا خطاهای احتمالی مداری تصحیح شده و

در عملیات مربوط به استخراج مساحت تحت پوشش برف، جهت رفع خطای مربوط به محاسبه شاخص NDSI که در اکثر موارد عارضه آب به‌عنوان برف در نظر گرفته می‌شود، از کدهای لازم جهت ماسک کردن پهنه آبی و جهت استخراج دقیق مساحت تحت پوشش برف استفاده گردید. شاخص

که در آن، P_{GREEN} انعکاس طیفی باند سبز و P_{SWIR1} انعکاس طیفی باند مادون قرمز کوتاه است.

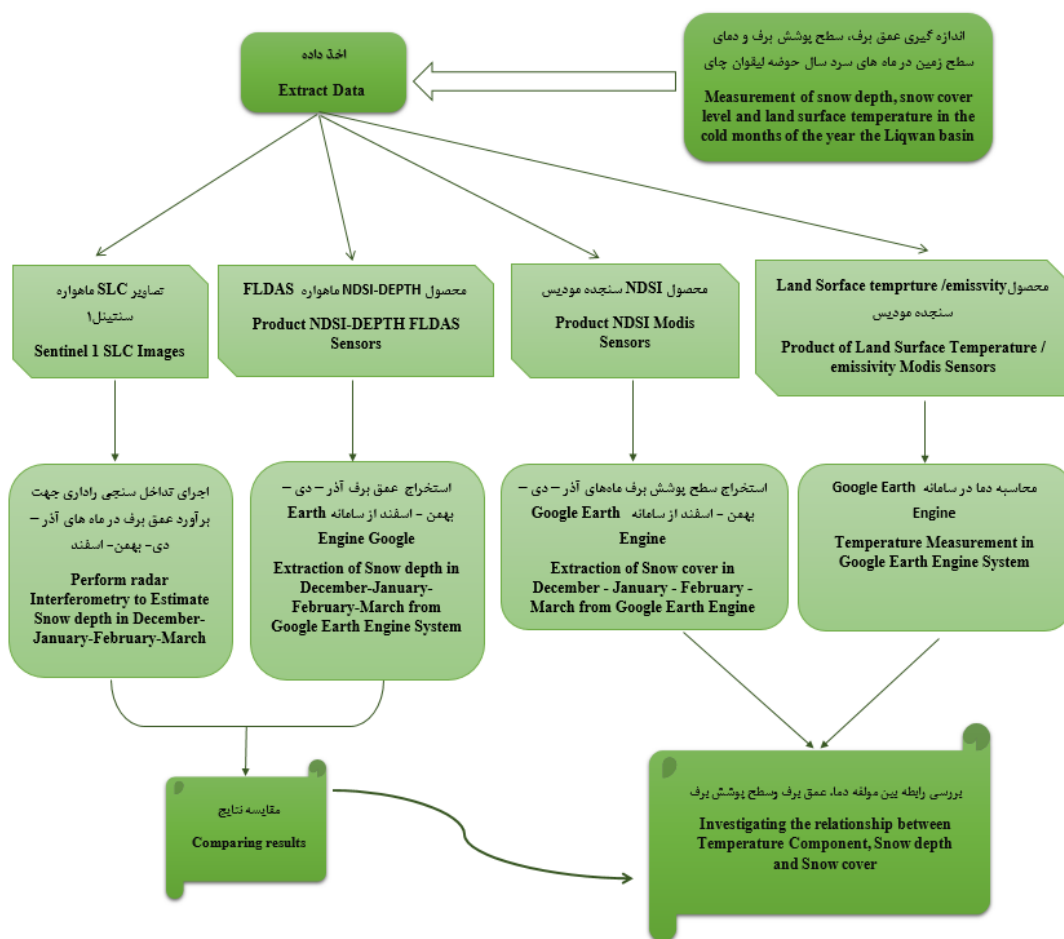
جهت استخراج عمق برف با استفاده از فن تداخل‌سنجی راداری ابتدا تصاویر SLC ماهواره سنتیل-۱ دریافت شده و سپس اطلاعات مربوط به سرعت، دقت ماهواره در زمان تصویربرداری برای هریک از داده‌های ورودی با معرفی فایل مداری انجام شد (۱۵). در مرحله بعد با استفاده از افزونه SARSCAPE فن تداخل‌سنجی راداری اجرا شد. بدین منظور ابتدا برس‌های^۱ پوشش‌دهنده منطقه مورد مطالعه انتخاب شده و در مرحله بعد ۴ تداخل‌نگار مربوط به ماه‌های برفی با در نظر گرفتن

2- Goldstein
3- Phase unwrapping
4- Refinement

1- Burs

دی‌ماه به‌عنوان تصویر فاقد ابر و بررسی رابطه آن با عمق برف شده است. جهت اعتبارسنجی دمای به‌دست آمده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شرق تبریز قابل‌دسترس در پایگاه اطلاعاتی اوجیتر^۲ استفاده شد؛ نتایج نشان‌دهنده هماهنگی دمای به‌دست آمده و داده زمینی می‌باشد. در نهایت عمق‌های مختلف برف در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه و نقشه دمای سطح زمین بررسی شدند. شکل ۲ روند کلی پژوهش را نشان می‌دهد.

مقدار انحراف فاز محاسبه گردد تا از این طریق، مقادیر فاز مطلق به‌دست آید (۱۷)؛ و پس از انجام همه این مراحل نقشه جابجایی^۱ استخراج می‌شود. مرحله استخراج نقشه جابجایی در واقع مهم‌ترین بخش نامیده می‌شود؛ زیرا خروجی این مرحله میزان جابجایی زمین را نشان می‌دهد. مقادیر تغییرات فاز، بیان‌کننده تغییرات ارتفاعی به‌اندازه نصف طول‌موج است (۱۶). پس از استخراج نقشه جابجایی عمق برف اقدام به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از محصولات سنجنده مودیس با در نظر گرفتن تصویر



شکل ۲- نمودار روش کار.

Figure 2. Workflow diagram.

1- Displacement map

2- <http://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>

نتایج و بحث

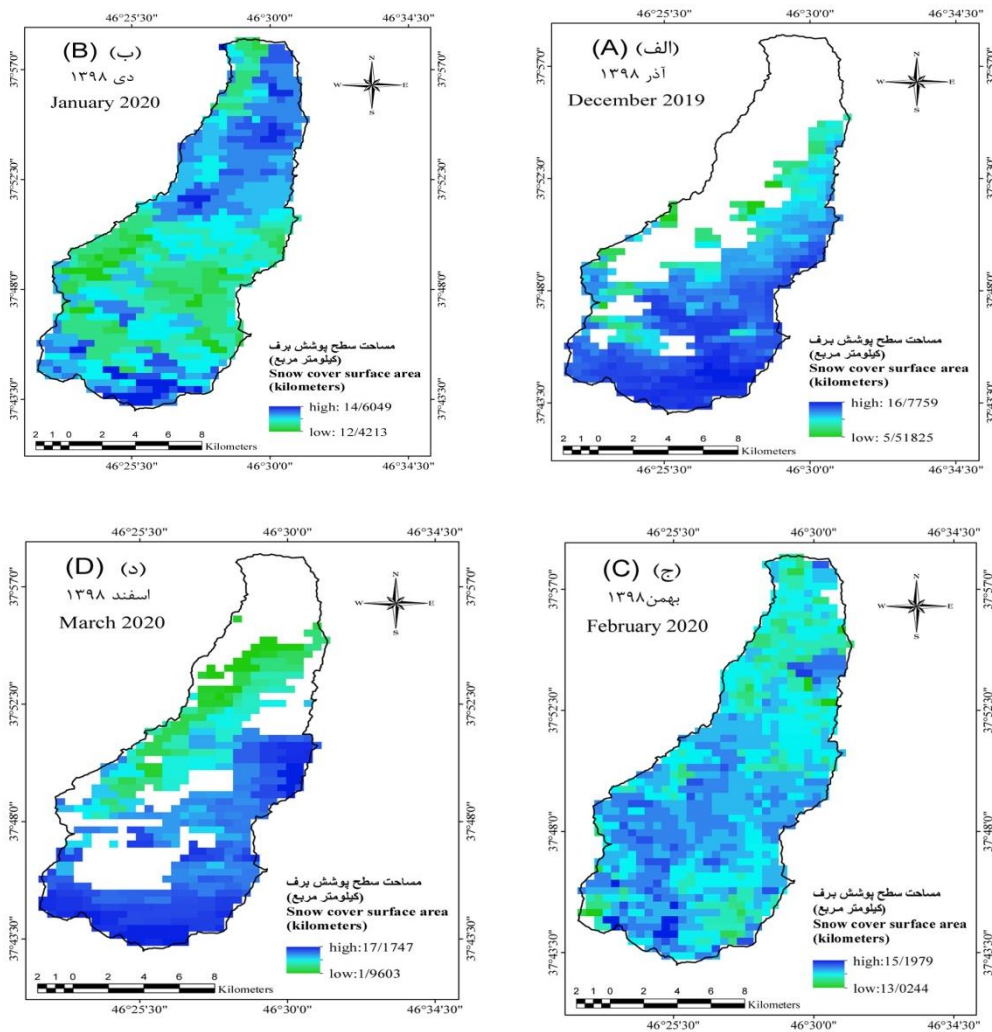
برای استخراج سطح پوشش برف با استفاده از پروداکت روزانه NDSI سنجنده مودیس، ۱۲۰ تصویر در بازه زمانی چهارماهه استخراج شد و در نهایت نقشه سطح پوشش برف برای ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند تهیه شد. نحوه محاسبه مساحت در این محصول به این ترتیب می‌باشد که مقدار پیکسل‌ها را معادل با مساحت مربوطه به هر پیکسل در مناطق تحت پوشش برف قرار داده و مقادیری برای مناطق غیربرفی در نظر نمی‌گیرد (شکل ۳). به‌علت کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه (شکل ۱)، از اواخر فصل پاییز و تمام فصل زمستان، بارش‌هایی که در منطقه صورت می‌گیرد به‌صورت برف بوده و بخش زیادی از منطقه دارای ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۲۸۰۰ متر را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. بررسی نقشه سطوح برفی بیانگر آن است که در تمام ماه‌های بازه زمانی مورد مطالعه، حضور برف در منطقه کاملاً مشهود است و تمرکز سطوح برفی در قسمت جنوب حوزه به دلیل نزدیکی به کوهستان سه‌سند بیشتر می‌باشد. با توجه به این‌که رابطه قوی بین نوع کاربری اراضی و دمای سطحی وجود دارد و از آن جایی که کاربری شهری جاذب حرارت هستند (۴) و مراکز صنعتی علاوه بر این‌که جاذب حرارت هستند خود منجر به تولید

حرارات می‌شوند و همچنین این‌که مسیرهای پرتدد نیز بیش‌ترین دما را شامل می‌شوند (۲۶)، در قسمت‌های شمالی حوزه به دلیل وجود مراکز شهری و صنعتی و بالا بودن دما نسبت به ارتفاعات، پوشش برفی به‌سرعت ذوب شده و منجر به کاهش سطوح برفی می‌شود. با توجه به خروجی‌های سامانه ابری Google Earth engine بیش‌ترین مقدار سطح پوشش برف برای سال ۹۸ مربوط به دی‌ماه که حدود ۱۸۰ کیلومترمربع و کم‌ترین مقدار پوشش برف برای آذرماه که حدود ۸۳ کیلومترمربع از مجموع مساحت پیکسل‌های مشخص شده در نقشه سطح پوشش برف محاسبه شده است. جدول ۳ مساحت سطوح برف‌گیر منطقه را برای چهار ماه موردنظر نشان داده است. شکل ۴ نیز نشان‌دهنده برفی بودن همه روزهای بازه زمانی مورد مطالعه بوده و پوشیده بودن سطح زمین از برف را نشان می‌دهد. محاسبه سطح پوشش برف با پژوهش یان و همکاران (۲۰۲۰) در مورد تفکیک پهنه آبی و برفی مطابقت دارد به‌طوری‌که این پژوهش‌گران در پژوهش خود به خطای شاخص NDSI در مورد تفکیک پهنه آبی و برفی اشاره کرده و از شاخص اصلاح شده NDSI جهت استخراج دقیق پهنه آبی استفاده کرده‌اند (۲۵).

جدول ۳- مساحت تحت پوشش برف ماه‌های پربرف ۱۳۹۸ با سامانه گوگل ارث انجین.

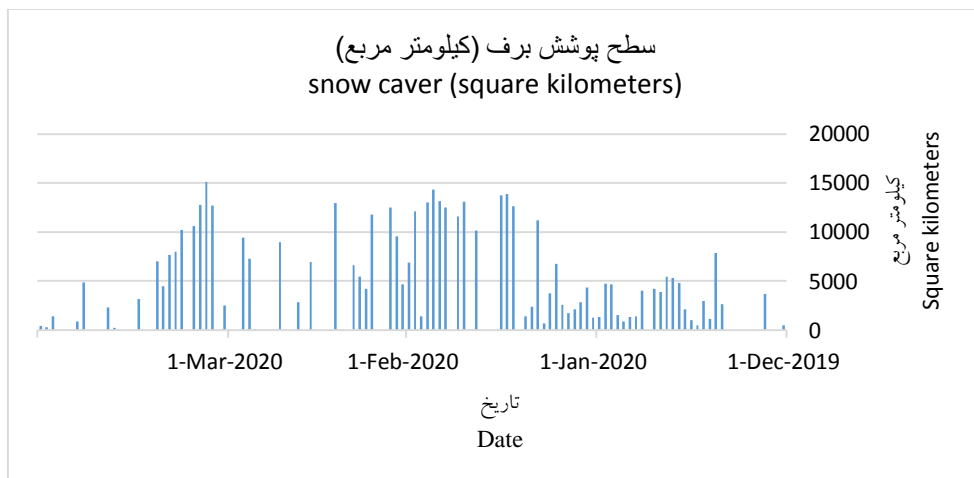
Table 3. Area covered by snow in the snowy months of 1398 with Google Earth Engine system.

تاریخ Date	مساحت برف (کیلومترمربع) Snow area (square kilometers)	
۱۳۹۸/۹/۱۷	2019/12/8	83
۱۳۹۸/۱۰/۲۳	2020/1/13	180
۱۳۹۸/۱۱/۲۹	2020/2/18	126
۱۳۹۸/۱۲/۲۳	2020/3/13	118



شکل ۳- نقشه‌های سطح پوشش برف (الف) آذرماه ۱۳۹۸ (ب) دی‌ماه ۱۳۹۸ (ج) بهمن‌ماه ۱۳۹۸ (د) اسفند ۱۳۹۸.

Figure 3. Snow cover surface maps (a) December 2019 (b) February 2019 (c) January 2020 (d) March 2020.

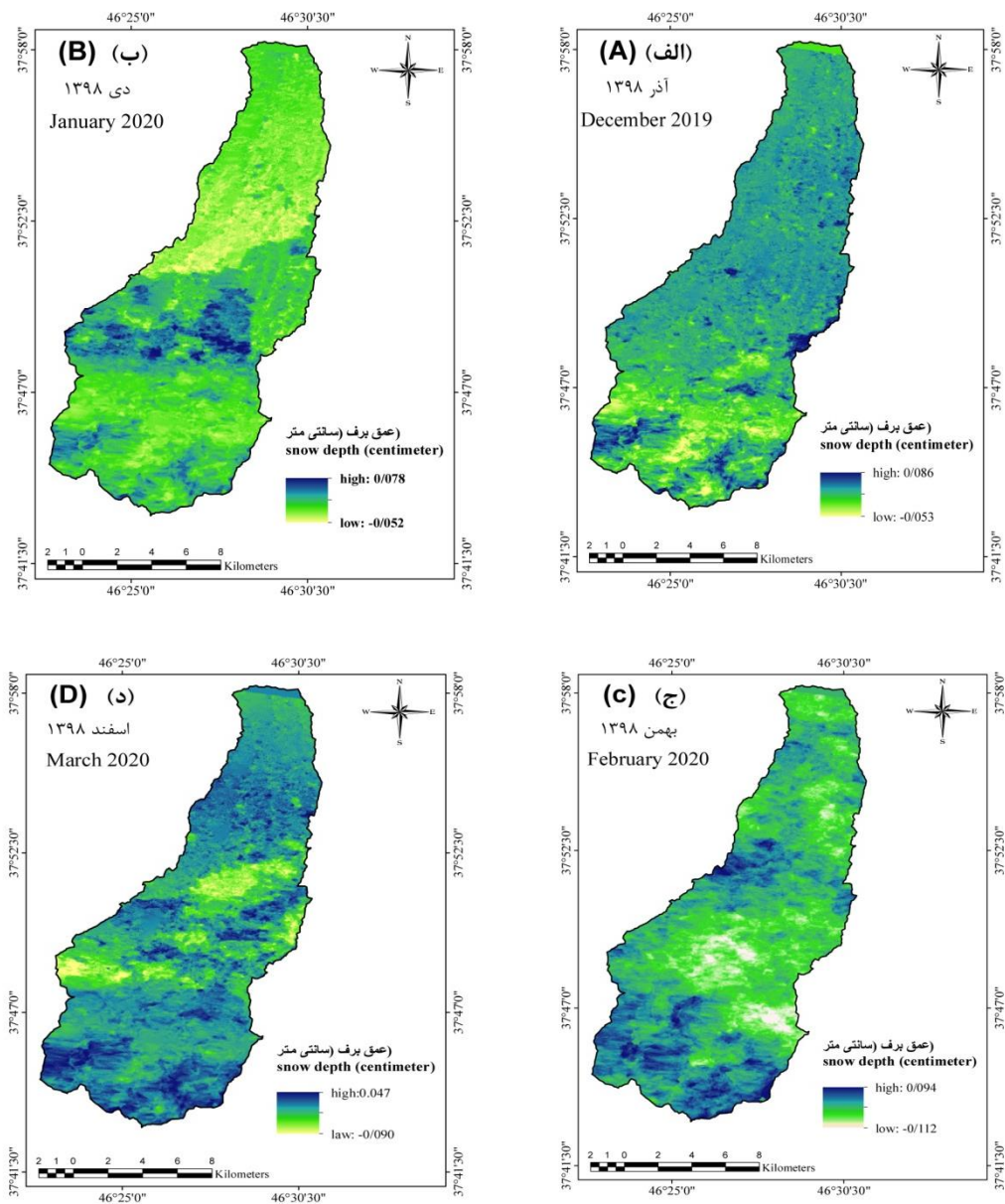


شکل ۴- نمودار تغییرات سطح پوشش برف مربوط به ماه‌های پربرف سال ۱۳۹۸ با استفاده از سامانه گوگل ارت انجین.

Figure 4. Graph of snow cover level changes related to the snowy months of 1398 using Google earth Engine system.

برای استخراج عمق برف به وسیله فن تداخل سنجی راداری، تصویر شهریورماه ۱۳۹۸ با بررسی تصاویر سنجنده MODIS در سامانه گوگل ارث انجین به صورت فاقد برف شناسایی شده و به عنوان تصویر پایه جهت تداخل سنجی با تصاویر ماه‌های برفی (آذر، دی، بهمن و اسفند) در نظر گرفته شد؛ بنابراین چهار تداخل‌نگار استخراج شده که منجر به تولید نقشه جابجایی و نقشه عمق برف شده است که عدد درجات خاکستری هر پیکسل نشان‌دهنده عمق برف موجود در آن پیکسل بر حسب سانتی‌متر است. با توجه به ماهیت تصاویر SAR، در مطالعه حاضر پس از تست فیلترهای مختلف و به دست آوردن نتیجه قابل قبول با استفاده از فیلتر گلدستاین، جهت نرم کردن نتایج اینترفرومتری و حذف نویز اسپکل از این فیلتر در تداخل سنجی استفاده شده است که گلدستاین و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی کاربرد فیلتر در اینترفرومتری به بهبود مشاهده فرنیچ‌ها با استفاده از این فیلتر اشاره کرده و کاهش چشمگیر نویز را جزو مزیت این فیلتر می‌دانند (۷). بررسی نقشه‌ها با انتخاب تعدادی نقطه در هرماه و محاسبه میانگین آن‌ها نشان داد که میانگین عمق برف در آذرماه، ۹ سانتی‌متر بوده و با شروع فصل سرما در دی‌ماه به مقدار ۲۸ سانتی‌متر و در بهمن‌ماه به حداکثر مقدار خود یعنی ۳۲ سانتی‌متر رسیده است و با وارد شدن به اسفندماه و نزدیک شدن به پایان فصل زمستان

میانگین عمق برف کاهش یافته و مقدار ۶ سانتی‌متر را نشان داده است (شکل ۵)؛ قابل ذکر است به دلیل عدم وجود ایستگاه برف‌سنجی در منطقه و با توجه به این‌که نزدیک‌ترین ایستگاه برف‌سنجی در تبریز واقع شده است و تفاوت اقلیمی و توپوگرافی دو منطقه داده‌های این ایستگاه جهت ارزیابی نتایج قابل اطمینان نبوده و فقط داده‌های سنجش‌ازدوری مدنظر قرار گرفته است. نتایج مربوط به این قسمت از پژوهش با مطالعه‌ی اصغری و همکاران (۲۰۲۰)، سیفی و فیضی‌زاده (۲۰۱۹)، مطابقت دارد به طوری که این پژوهش‌گران با توجه به آزمون‌های آماری و دستیابی به مقادیر همبستگی بالای ۸۵ درصد بین داده‌های مشاهداتی و عمق برف حاصل از تداخل سنجی، تصاویر راداری را مناسب‌ترین تصاویر برای محاسبه عمق برف دانسته و به این نتیجه رسیده‌اند که تصاویر راداری و امواج ریزموج سنجنده Sentinel1 که در باند C فعال بوده و بیش‌تر از عمق برف قابل نفوذ نیست، با استفاده از فن تداخل سنجی راداری می‌تواند ابزار بسیار قدرتمند در شناسایی عمق برف به خصوص در ماه‌های پربرف سال باشند (۳، ۲۰). تسی و همکاران (۲۰۱۹)، وردا و همکاران (۲۰۱۹) و الحسینی المدرسی و همکاران (۲۰۱۶) نیز در همین رابطه به قدرت تفکیک بالای تصاویر راداری و مناسب بودن این تصاویر جهت برآورد عمق برف اشاره کرده‌اند (۲۲، ۲۴ و ۲).



شکل ۵- نقشه‌های عمق برف استخراج شده به روش فن تداخل سنجی راداری (الف) آذرماه ۱۳۹۸ (ب) دی‌ماه ۱۳۹۸ (ج) بهمن‌ماه ۱۳۹۸ (د) اسفند ۱۳۹۸.

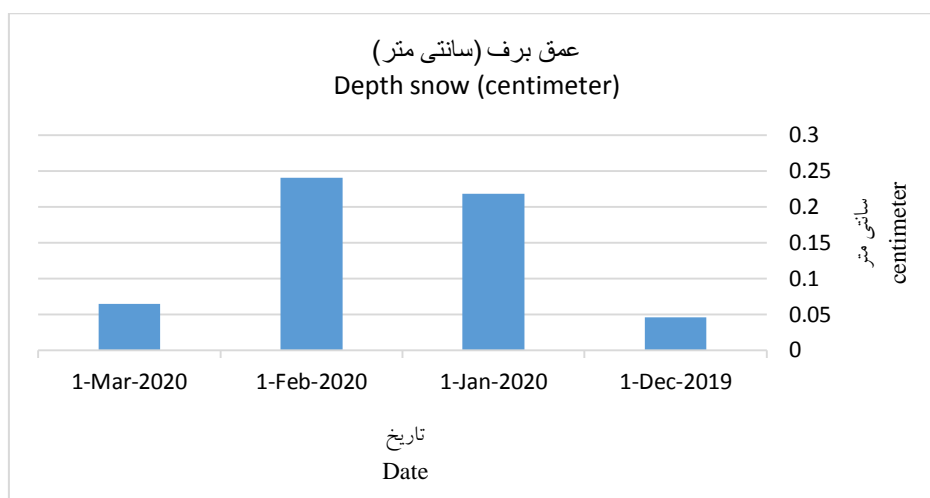
Figure 5. Snow depth maps extracted by radar interferometry technique (a) December 2019 (b) February 2019 (c) January 2020 (d) March 2020.

حسب سانتی‌مترمربع را نشان می‌دهد. بررسی نمودار و مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد که ماه آذر حداقل میانگین عمق برف با مقدار ۴ سانتی‌متر را به خود اختصاص داده و با اوج گرفتن فصل سرما و وارد شدن به ماه‌های زمستان روند صعودی به خود گرفته

در ادامه کار جهت بررسی بیشتر، عمق برف با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین استخراج شده و به مقایسه با نتایج عمق حاصل از فن تداخل‌سنجی پرداخته شد. شکل ۶ نمودار میانگین تغییرات عمق برف به‌دست آمده از سامانه گوگل ارث انجین بر

تقریباً مطابقت دارد. جدول ۴ نکته دارای اهمیت در محاسبه عمق برف در سامانه پردازشی گوگل ارث انجین، عدم نیاز به دانلود تصاویر و بی‌نیاز بودن این سامانه از انجام عملیات پیچیده و سنگین می‌باشد. به طوری که در حداقل زمان و با نوشتن دستورات لازم می‌توان نتایج قابل قبول در رابطه با خصوصیات برف به دست آورد.

و در دی‌ماه به ۲۰ سانتی‌متر و بالاخره در بهمن‌ماه به حداکثر مقدار خود یعنی ۲۴ سانتی‌متر رسیده است و از آن به بعد دوباره روند کاهش پیدا کرده و در اسفند و نزدیک شدن به فصل بهار میانگین ۶ سانتی‌متر را نشان داد. میانگین حداقل و حداکثر عمق برف به دست آمده با استفاده از این سامانه با مقادیر میانگین به دست آمده هرماه با استفاده از فن تداخل‌سنجی



شکل ۶- نمودار تغییرات عمق برف برای ۴ ماه پربرف سال ۱۳۹۸ با سامانه گوگل ارث انجین.

Figure 6. Graph of power depth changes for 4 snowy months of 1398(2019) with Google Earth Engine.

جدول ۴- مقادیر عمق برف.

Table 4. Snow depth values.

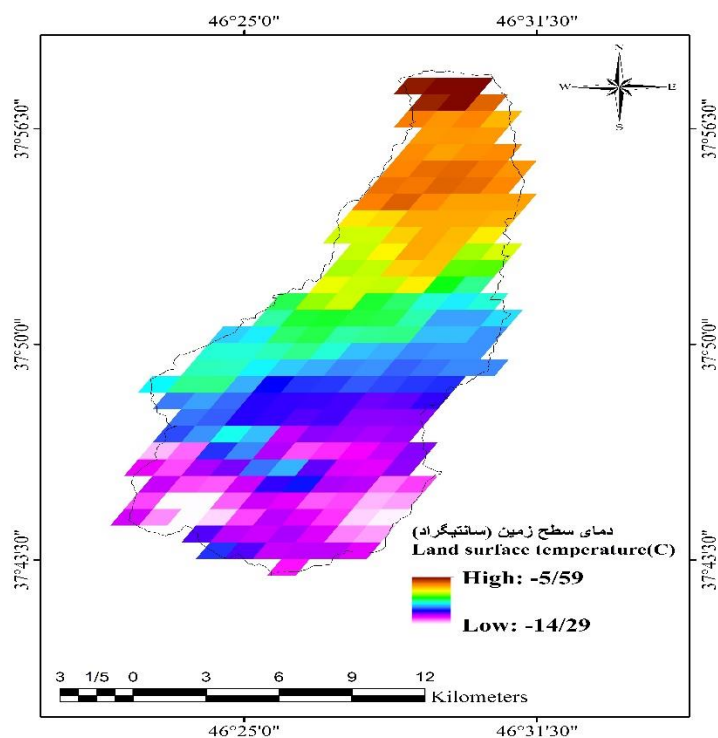
میانگین عمق برف با کدنویسی در ارث انجین (سانتی متر) Average snow depth with coding in engine inheritance (Centimeter)	میانگین عمق برف با فن D-InSAR (سانتی متر) Average snow depth with D-InSAR technique (Centimeter)	تاریخ Date
4	9	۱۳۹۸/۹/۱۷ 2019/12/8
20	28	۱۳۹۸/۱۰/۲۳ 2020/1/13
24	32	۱۳۹۸/۱۱/۲۹ 2020/2/18
6	6	۱۳۹۸/۱۲/۲۳ 2020/3/13

با توجه به بررسی نقشه دما و نقشه عمق برف، مناطقی با بیشترین عمق برف دمای کمتری را نسبت به مناطق با عمق برف کم‌تر به خود اختصاص داده‌اند.

شکل ۷ نقشه دمای مربوط به دی‌ماه را نشان می‌دهد. بررسی نقشه دما بیشترین و کمترین میزان دما را به ترتیب ۵- و ۱۴- درجه سانتی‌گراد نشان داد.

دارد. البته باید این نکته را مدنظر قرارداد که پایین‌دست حوزه آبخیز لیقوان به دلیل مجاورت با دامنه کوهستان سهند حداقل دما را شامل می‌شود و قسمت‌های بالای حوزه به دلیل نزدیکی به کلان شهر تبریز و دور شدن از دامنه کوهستان سهند افزایش دما را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج حاصل از دمای سطح زمین (LST)، با داده‌های پایگاه اطلاعاتی اوجیتم برگرفته از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شرق تبریز منطقی بودن مقادیر به دست آمده را نشان داد. نتایج به دست آمده در مورد رابطه عمق برف و دما با پژوهش حلییان و همکاران (۲۰۲۰) و تیوبلت و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۸ و ۲۱).

دلیل کاهش دما را می‌توان افزایش ذرات یخ موجود در برف پشته به دلیل کاهش دمای هوا و بارش‌های مکرر برف در ماه‌های زمستان دانست. خروجی حاصل از آزمون آماری جهت بررسی میزان همبستگی سری زمانی LST و سطح پوشش برف به ترتیب مقادیر ۰/۰۰۳ و ۳/۰۲۰- را برای پارامترهای SIG و Z نشان داد که معنی‌داری رابطه بین متغیرهای LST و سطح پوشش برف را نشان می‌دهد. همچنین مقدار R^2 (ضریب تعمیم) در بررسی رابطه عمق برف و دمای سطح زمین مرتبط با دی ماه ۰/۴۷ به دست آمد که نشان‌دهنده همبستگی متوسط بین این دو متغیر است. همچنین بررسی نقشه دما نشان می‌دهد، بین افزایش ارتفاع و کاهش دما رابطه مستقیمی وجود



شکل ۷- نقشه دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه.

Figure 7. Land surface temperature of the study area.

نتیجه‌گیری کلی

استخراج سطح پوشش برفی با توجه به یکی در نظر گرفتن پدیده‌ی آب و برف در شاخص NDSI، با ماسک کردن پوشش آبی با کدهای لازم در سامانه Google Earth Engine صورت گرفت. متوسط عمق برف به دست آمده با فن تداخل‌سنجی راداری با مقادیر بیشینه و کمینه ۳۲ و ۹ سانتی‌متر به ترتیب مربوط به بهمن با مساحت پوشش برف ۱۲۶ کیلومتر مربع و آذر با مساحت پوشش برف ۸۳ کیلومتر مربع می‌باشد و داده‌های عمق برف به دست آمده از سامانه Google Earth Engine، با مقادیر متوسط ۲۴ و ۴ سانتی‌متر مربوط به بهمن و آذر، مقادیر نزدیک به هم را نشان می‌دهند؛ بنابراین در مطالعه حاضر با استفاده از فن تداخل‌سنجی و سامانه ابری Google Earth Engine (در حداقل زمان) نتایج قابل‌قبولی در اندازه‌گیری عمق برف حاصل شد. در مقایسه نقشه دمای سطح زمین (LST) با نقشه سطح پوشش برفی و نقشه عمق برف، رابطه معکوس بین دو مؤلفه LST و پوشش برفی (SC) و LST و عمق برف و همچنین رابطه مستقیم بین کاهش دما و LST مشاهده شد. در همین راستا نتایج حاصل از آزمون آماری با مقدار ۰/۳۰۰ برای پارامتر SIG همبستگی بالایی بین تغییر دمای سطح زمین و سطح پوشش برف را نشان داد. هم‌چنین مقدار ۰/۴۷ مرتبط با پارامتر R^2 ، که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌داری متوسطی بین عمق برف و دما است. با توجه به بحران آب در کشور و اهمیت مطالعه برف در مناطق کوهستانی یکی از مهم‌ترین پارامترها برای برنامه‌ریزی در امور آب، آگاهی از ویژگی‌های برف با خطای پایین می‌باشد. هم‌چنین استفاده از ابزارهای جدید مانند سامانه Google Earth Engine با عملکرد سریع و دقیق می‌تواند مورد توجه پژوهش‌گران قرار گیرد. البته وابستگی به شبکه جهانی اینترنت جزء

محدودیت این سامانه پردازشی تحت وب می‌باشد طبق نتایج مطالعه حاضر فن تداخل‌سنجی راداری و سامانه ابری Google Earth Engine می‌تواند ابزار مناسبی جهت مطالعه برف و خصوصیات آن در ارتفاعات و یا مناطق صعب‌العبور به‌ویژه مناطق فاقد ایستگاه‌های برف‌سنجی، باشند. عدم وجود ایستگاه‌های برف‌سنجی در منطقه مورد مطالعه جهت ارزیابی نتایج و هم‌چنین وابستگی سامانه پردازشی گوگل ارث انجین به شبکه جهانی اینترنت را می‌توان به عنوان محدودیت مطالعه حاضر مدنظر قرار داد؛ هم‌چنین با توجه به این‌که اجرای تکنیک D-InSAR (تداخل‌سنجی راداری) زمان‌بر بوده و محاسبات پیچیده‌ای می‌طلبد، بنابراین پیشنهاد می‌شود سایر تکنیک‌های جدید تداخل‌سنجی از جمله PS-InSAR و دیگر تصاویر راداری از جمله Envisat و یا سایر باندهای تصاویر سنتینل ۱ در زمینه استخراج عمق برف به کار گرفته شود. هم‌چنین توصیه می‌شود پارامترهای استخراج شده در رابطه با برف از جمله عمق برف برای سایر مناطق به‌ویژه در مناطقی با حضور عارضه آبی بیش‌تر به کار گرفته شود.

داده‌ها و اطلاعات

منای تهیه داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده دوم است. این پژوهش در تابستان ۱۴۰۰ انجام شده است. در این پژوهش داده‌های راداری از سایت copernicus open access hub و سامانه گوگل ارث انجین فراخوانی شده‌اند. مکان اجرای پژوهش دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:
دکتر صیاد اصغری به عنوان نویسنده اول نظارت و هدایت تحقیق و تحلیل و تفسیر نتایج، شیوا صفری تهیه تصاویر ماهواره‌ای، اجرای روش‌ها بر روی تصاویر، کار با سامانه Google Earth Engine و نگارش نسخه اولیه مقاله، الهام ملانوری تهیه نقشه‌ها در نرم‌افزار GIS، استخراج نقشه دما و ویرایش متن مقاله.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

پژوهش حاضر در قالب پایان‌نامه دانشجویی و با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است.

منابع

1. Aalami, M., and Hosseinzadeh, H. 2014. Modeling Rainfall – Runoff Process in Lighvan Chai Basin Using Conditional Threshold Temperature Neuron. *Journal of Water and Soil Science*, 20: 2. 97-110. (In Persian)
2. Alhossaini Almodaresi, A., Hatami, J., and Sarkargar, A. 2016. Calculating the physical properties of snow, using differential radar interferometry and TerraSAR-X and MODIS images. *Journal of RS & GIS for Natural Resources*. 7: 2. 59-75. (In Persian)
3. Asghari, S., and Emami, H. 2019. Monitoring the earth surface temperature and relationship land use with surface temperature using of OLI and TIRS Image. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 19: 53. 195-215. (In Persian)
4. Asghari, A., and Modirzadeh, R. 2020. Estimation of changes in snow depth in Ardabil and Sarein city using Sentinel1 satellite data with Radar interferometry method. *Journal of Iran-Water Resources Research*. 16: 1. 394-407. (In Persian)
5. Evans, J., and Kruse, F. 2014. Determination of snow depth using elevation differences determined by interferometric SAR (InSAR). *Research gate*. 1-5. DOI: 10.1109/IGARSS. 2014. 6946586.
6. Geetha Priya, M., and Krishnaveni, D. 2019. An Approach to Measure Snow Depth of Winter Accumulation at Basin Scale Using Satellite Data. *International Journal of Computer and Information Engineering*. 13: 2. 70-74.
7. Goldstein, M., and Werner, L. 1998. Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical Research Letters*, 25: 21. 4035-4038.
8. Halabian, A., and Solhi, S. 2020. Snow-cover and Land Surface Temperature investigation, related to the Elevation as a Topographic Factor in the Central Alborz Mountain. *Journal of Quantitative geomorphological research*. 9: 2. 227-249. (In Persian)
9. Hall, D.K., Riggs, G.A., and Salomonson, V. 1995. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging Spectroradiometer data. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 54: 127-140.
10. Hui, L., Zou, W., Guangjun, H., and Wang, M. 2017. Estimating Snow Depth and Snow Water Equivalence Using Repeat-Pass Interferometric SAR in the Northern Piedmont Region of the Tianshan Mountains, *Journal of Sensors*, <https://doi.org/10.1155/2017/8739598>.
11. Keikhosravi Kinay, M., and Masoudian, A. 2017. Exploring the Role of Land Surface Temperature on Distribution of

- Snow Coverage in Iran by Remote Sensing Data. *Journal of Geography and Development*, 15: 49. 189-204. (In Persian)
12. Maghsoudi, Y., and Mahdavi, S. 2015. *Fundamentals of Radar Remote Sensing*, Khajeh Tasir al-Din Tusi University of Technology, First Edition, 290p. (In Persian)
 13. Manickam, S., and Barros, A. 2020. Parsing Synthetic Aperture Radar Measurements of Snow in Complex Terrain: Scaling Behaviour and Sensitivity to Snow Wetness and Landcover. *Journal of remote sensing*, 12: 483. 1-31.
 14. McNally, A., Rui, H., and Loeser, C. 2021. FLDAS: Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System. <https://developers.google.com/earth>.
 15. Meyer, F. 2019. Sentinel-1 InSAR processing using the Sentinel-1 toolbox, Alaska satellite facility. *Journal of Adapted from coursework developed*, 4: 1. 1-18.
 16. Razinei, T. 2017. Identification of the temperature regimes of Iran using multivariate methods. *Iranian Journal of Geophysics*, 11: 2. 15-35. (In Persian)
 17. Roostaei, S., Mokhtari, D., and Ashrafi Fini, Z. 2018. Identification and monitoring of domain instability by differential intermetal processing In the Taleghan watershed. *Quantitative geomorphological researches*, 7: 3. 18-30. (In Persian)
 18. Seifi, H., and Feizizadeh, B. 2019. Application of interferometric method and radar remote sensing images to estimate the depth of snow and water discharge, Case Study: (Yamchie Basin). *Iran-Water Resources Research*, 15: 1. 341-355. (In Persian)
 19. Seifi, H., and Gorbani, I. 2019. Estimating snow cover trends using Object-Oriented Methods and images received from OLI and TIRS sensors (Case Study: Sahand Mountain). *scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28: 109. 77-91. (In Persian)
 20. Shojaei Anari, M., Khabazi, M., and Karimi, S. 2020. Analysis of changes in snow reservoirs for planning and management of dehydration (Case Study: Sarab Halilroud Area in Kerman Province). *Regional Planning*, 9: 36. 167-184. (In Persian)
 21. Thiebault, K., and Young, S. 2020. Snow cover change and its relationship with land surface temperature and vegetation in northeastern North America from 2000 to 2017, *International Journal of Remote Sensing*, 41: 21. 8453-8474.
 22. Tsai, Y., Dietz, A., Oppelt, N., and Kuenzer, C. 2019. Remote sensing of snow cover using Spaceborne SAR: A review. *Remote Sensing* 11: 1456. 1-44.
 23. Vahidi, M., Jafarzadeh, A., Fakhri Fard, A., Sadeghi, H., Rezaei Moghadam, M., and Valizadeh Kamran, Kh. 2015. Investigation of land cover and land use changes in Liqvan catchment area in East Azarbaijan province. *Journal of Geographical Space*, Volume. 15: 49. 100-75. (In Persian)
 24. Varade, D., Maurya, A.K., Dikshit, O., Singh, G., and Manickam, S. 2019. Snow depth in Dhundi: An estimate based on weighted bias corrected differential phase observations of dual polarimetric bi-temporal Sentinel-1 data. *International Journal of Remote Sensing*, 41: 8. 3031-3053.
 25. Yan, D., Huang, C., Ma, N., and Zhang Y. 2020. Improved Landsat-Based Water and Snow Indices for Extracting Lake and Snow Cover/Glacier in the Tibetan Plateau. *Journal of water*, 12: 1339. 1-16.
 26. Zhang, Q., and Ban, Y. 2011. "Evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in Beijing, China", *Joint Urban Remote Sensing Event Munich, Germany*, 11: 13. 357-360.