

## برآورد سطح پوشش برف در سطح شهرستان اردبیل و سرعین با استفاده از داده‌های سنجنده MSI ماهواره Sentinel 2

صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۱\*</sup> و ریحانه مدیرزاده<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۹)

### چکیده

پوشش برف یکی از عناصر مهم اقلیمی است که بر اساس آن ممکن است، تغییرات آب‌وهوایی تأثیر خاصی داشته باشد. به‌طور کلی، تغییرات آب‌وهوایی ممکن است در عناصر مختلف اقلیمی منعکس شود بنابراین مطالعه و اندازه‌گیری تغییرات سطوح برف به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب، بسیار حائز اهمیت است. شهرستان‌های اردبیل و سرعین از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر به‌منظور پایش سطح پوشش برف در سال ۱۳۹۷ از تصاویر ماهواره‌های اپتیکال سنتینل-۲ و برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص‌های NDVI, S3, NWDI, NDSI Cloud mask در نرم‌افزارهای Snap و Arcgis استفاده شده است. در ادامه به‌منظور صحت‌سنجی نقشه‌های برف استخراج شده از طریق تصاویر با داده‌های برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی زمینی از رگرسیون خطی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد همچنین به‌منظور ارزیابی دقت مدل مورد استفاده و اطمینان از دقت بالای نقشه‌های به‌دست آمده از شاخص‌های آماری RMSE, CORR, BIAS, MSE استفاده شد. نتایج نشان داد با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه حداکثر سطح پوشیده شده از برف در دی‌ماه با مقدار مساحت ۳۵۶/۵۲ کیلومتر مربع و حداقل سطح پوشیده شده از برف در اسفندماه با مقدار مساحت ۹۶/۱۰ کیلومتر مربع رخ داده است. بیشترین پوشش برف در مناطق با شیب‌های بالا در دامنه‌های غربی (ارتفاعات کوهستانی سبلان) بوده و کمترین پوشش برف در ارتفاعات پایین‌تر مربوط به دامنه‌های شرقی مشاهده شده است. نتایج بیانگر دقت کلی ۹۱/۳ درصد و ضریب کاپای ۸۴/۴۵ نقشه سطح برف است که نتایج حاصل از رگرسیون خطی نیز بین مقادیر مشاهداتی و تصاویر ماهواره‌ای برابر با ضریب تبیین ۸۵ درصد بوده و نتایج مربوط به خطای آماری مدل‌ها برابر با  $MSE=0/086$ ,  $BIAS=0/165$ ,  $CORR=0/924$  و  $RMSE$  برابر  $0/043$  به‌دست آمد. روابط همبستگی بین داده‌های زمینی و نقشه‌های برآوردی از برف میزان بالایی از همبستگی را نشان می‌دهند. این نتیجه از لحاظ آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر نشان داده که تصاویر اپتیکال سنتینل-۲ با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالا و همبستگی مناسب با داده‌های زمینی می‌توانند جایگزین خوبی برای ایستگاه‌های زمینی برف‌سنجی در ارتفاعات و یا مناطق صعب‌العبور باشند.

واژه‌های کلیدی: سطح پوشش برف، سنتینل-۲، شاخص NDSI، شاخص S3، سرعین، اردبیل

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی

\* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.asghari@uma.ac.ir

## مقدمه

برف یک پدیده معمول هواشناسی جهانی است که به عنوان یک جزء مهم چرخه هیدرولوژیکی و یک خطر محیط زیست شناخته می‌شود. خصوصیات پوشش برف و تخمین پارامترهای ژئوفیزیکی برف از اهمیت قابل توجهی در زمینه مدیریت منابع آب دارد. با پیشرفت در علم سنجش از دور، مطالعات زیادی در زمینه بررسی خصوصیات کمی و کیفی پارامترهای ژئوفیزیکی برف صورت گرفته است. با این حال، بسیاری از روش‌های موجود بر اساس روش ماکروویو فعال است پیش‌بینی پوشش برف در آینده ناشی از تغییرات دما و در نتیجه الگوی جریان رواناب ناشی از ذوب برف، در عرصه‌های گوناگونی مرتبط با برف کاربرد دارد (۵).

ورد و همکاران (۱۴)، به برآورد سطح پوشش برف با استفاده از داده‌های سنتینل-۲، در هیمالیا، با استفاده از بازتاب مادون قرمز نزدیک (NIR) و شاخص‌های (NDSI) و (S3) به برآورد پوشش و تخمین رطوبت برف پرداختند. نتایج حاصل از رویکرد پیشنهادی با شرایط مورد انتظار توافق خوبی نشان می‌دهد. همبستگی خوبی که توسط شاخص خطا RMSE برای صحت‌سنجی برآورد شد برابر با ۰/۰۷ بوده است. وسیم و همکاران (۱۶)، به برآورد پوشش برف با استفاده از داده‌های سنتینل-۲، در مراکش برای سال ۲۰۱۶-۲۰۱۵ پرداختند که با به‌کارگیری شاخص‌های (NDSI) و (S3) و با استفاده از نرم‌افزار Snap نقشه‌های پوشش برفی را تولید کردند؛ نتایج آنها با داده‌های زمینی با استفاده از شاخص خطا RMSE صحت‌سنجی شد که نتایج آنها ۲/۹۷ گزارش شده است. وانگ و همکاران (۱۵)، به تهیه نقشه‌های پوشش برف با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ و نظارت بر یخ با استفاده از داده‌های سنتینل-۱، برای شهرستان روتوگ، در بخشدار نگری، در غرب تبت که با استفاده از شاخص‌های (NDSI) و (S3) پرداختند؛ نقشه‌های به‌دست آورده شده با استفاده از ضریب کاپا صحت‌سنجی شد و مقدار آن ۰/۹۴ برآورد شده. نتایج آنها نشان داد که داده‌های راداری بهترین داده برای نظارت بر

پوشش یخ است و همچنین سنتینل-۲ کارایی بهتری نسبت به داده‌های مودیس و لندست دارد. تسای و همکاران (۱۳)، در منطقه کوهستانی آلپ به برآورد پوشش برف با استفاده از داده‌های سنتینل-۲ و استفاده از شاخص‌های S3، NDSI و عمق برف را با استفاده از داده‌های سنتینل-۱ با روش تداخل‌سنجی راداری پرداختند. نتایج آنها با داده‌های هواشناسی صحت‌سنجی شده که دقت کلی آن بالای ۸۵ درصد تأیید شده است. ناژوتی و همکاران (۱۰)، به برآورد و تخمین پوشش برف با استفاده از داده‌های سنتینل-۲، برای سال ۲۰۱۸-۲۰۱۷ در حوضه میبار و بغا از مناطق غربی هیمالیا در منطقه لاهول با استفاده از داده‌های سنتینل-۲ پرداختند که با استفاده از شاخص‌های S3 و NDSI پوشش برف را متمایز کردند؛ مساحت نقشه‌های پوشش برفی به‌دست آورده شده برای سال مورد نظر ۱۳۷۵/۵۰ کیلومتر مربع تخمین زده می‌شود. در نهایت داده‌های آن با استفاده از ضریب کاپا صحت‌سنجی شده که برابر با مقدار ۰/۸۸ است. پدیده برف در سال‌های اخیر تحت پدیده گرمایش جهانی توجه زیادی را به‌خود جلب کرده است. اهمیت این پدیده به‌علت خشک و نیمه‌خشک بودن بخش قابل توجهی از ایران که مناطق کوهستانی به‌عنوان تأمین کننده آب ایفای نقش می‌کنند از اهمیت بالایی برخوردار است. شهرستان اردبیل و سرعین یکی از مهم‌ترین مناطق برف‌گیر کشور هستند که نقش مهمی در تغذیه جریان‌های سطحی حوضه آبریز رودخانه ارس (از غرب جلغا تا اصلاندوز مغان جریان دارد)، بخش بزرگی از حوضه آبریز قره‌سو (از رشته‌کوه‌های تالش (باغرو) سرچشمه می‌گیرد)، رودخانه بالخلی (از دو رشته بزقوش و سبلان سرچشمه می‌گیرد)، دریاچه نئور (جنوب شرقی اردبیل) و دریاچه شورابیل (شهر اردبیل) را داراست به‌طوری که آگاهی از گستره پوشش برف آن، اطلاعات بسیار با ارزشی است که در مدل‌های گوناگون هیدرولوژیکی در زمینه مدیریت منابع آب به‌کار می‌رود. تحقیق حاضر با هدف استخراج سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ در مناطق کوهستانی شهرستان اردبیل و

ژانویه است؛ و متوسط حداکثر آن ۳۶/۴۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه ژوئیه است. در سرعین متوسط حداقل سالانه ۱/۴- درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه فوریه و متوسط حداکثر سالانه ۳۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه ژوئیه، در فرودگاه متوسط دمای حداقل ۲/۷- مربوط به ماه فوریه و متوسط دمای حداکثر ۲۶/۸ مربوط به ماه اوت است.

### روش تحقیق

به‌منظور بررسی سطح پوشش برف، ابتدا چهار تصویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۹۷ از منطقه مورد مطالعه تهیه شد، این تصاویر از ماهواره سنتینل-۲، بسته به بازه زمانی مدنظر، از سنجنده MSI آن اخذ شد. به‌منظور بررسی سطح پوشش برف با توجه به این موضوع که بازه زمانی مورد استفاده باید دارای سطح پوشیده از برف باشد تصویر چهار ماه مدنظر اخذ شد. در این پژوهش برای پایش خصوصیات فیزیکی برف از قبیل پوشش برف با دقت مکانی بالا سعی شده است تا از مزایای تصاویر ماهواره‌های اپتیکال استفاده شود با استفاده از داده‌های ماهواره به‌دست آمده از سنجنده Sentinel2 و الگوریتم‌های NDVI، S3، NDWI، NDSI، Cloud mask سطح پوشش برف تخمین زده شده و مساحت آن به‌دست آمده است.

### ماهواره Sentinel2

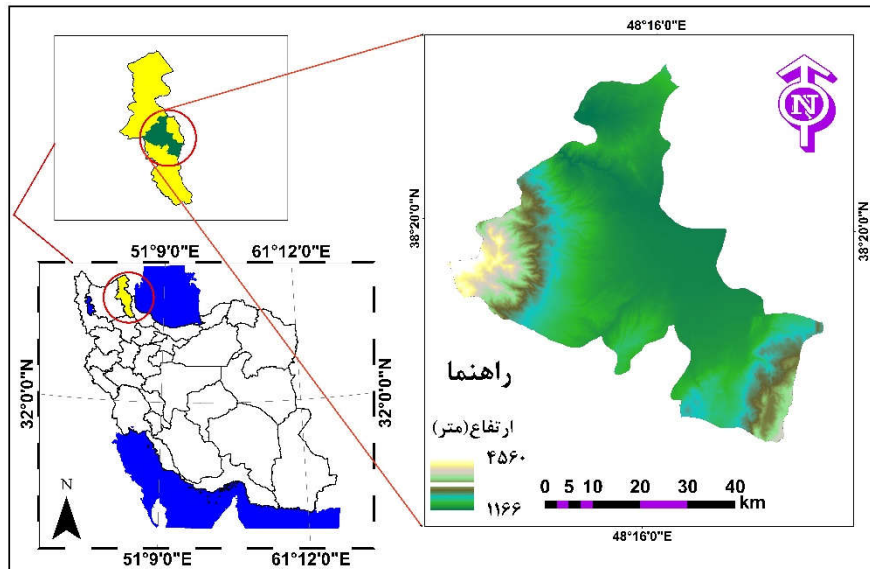
داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی با موفقیت برای نظارت بر پوشش برف در مناطق مختلف، استفاده می‌شوند. جامعه علمی تاکنون از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح متوسط مختلف مانند (MODIS، AWIFS، Landsat (OLI, TM, MSS)) و غیره برای نقشه برداری از منطقه پوششی از برف استفاده کرده است. امروزه در نظارت بر پوشش برف با سنسور وضوح متوسط (وضوح طیفی و زمانی)، چالش‌های خاصی وجود دارد که اخیراً با راه‌اندازی توسط آژانس فضایی اروپا با نام Sentinel-2A در سال ۲۰۱۵ و Sentinel-2B در سال ۲۰۱۷-۲۰۱۶ و سنجنده MSI (Multispectral Imager)، آن را با دستیابی به

سرعین انجام شده است که منطقه مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه واقع شده است. این بخش از منطقه در استان اردبیل به‌طور عمده کوهستانی بوده که در ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده مورد مطالعه با وسعت ۳۸۱۰ کیلومتر مربع که در ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد، در شمال غرب ایران واقع شده که از ۳ بخش و ۱۰ دهستان تشکیل شده است این محدوده توسط ارتفاعات باغرو در شرق و توده کوهستانی سبلان در شمال احاطه شده است. شهرستان‌های اردبیل و سرعین از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است که در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. این منطقه بین پنج تا هشت ماه از سال دارای هوای سرد بوده که با توجه به موقعیت جغرافیایی آن تعداد روزهای یخبندان در نقاط برف‌گیر، به حدود ۶ ماه در سال می‌رسد احتمال وقوع متفاوت یخبندان در ایستگاه‌های منطقه به‌استثنای ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد امکان‌پذیر است (۶). برحسب آمار بلندمدت جوی تعداد روزهای یخبندان ماهانه در طول دوره آماری مورد مطالعه رخ داده نشان می‌دهد که میانگین روزهای یخبندان سالانه در ایستگاه اردبیل ۱۲۷ روز، سرعین ۱۴۷ روز، در پارس‌آباد نیز ۹۲ روز در نوسان بوده که این آمار نشان می‌دهند با افزایش ارتفاع از شمال به جنوب تعداد روزهای یخبندان افزایش می‌یابد و در ارتفاعات بالای ۲۲۰۰ متر از سطح دریا جزء اقلیم ارتفاعات فوقانی محسوب می‌شود؛ بنابراین چنین استنباط می‌شود که با توجه به کوهستانی بودن منطقه تعداد روزهای یخبندان در شهرستان اردبیل و سرعین بالای ۵ ماه در سال است. میانگین دمای حداقل در اردبیل ۱/۱ درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

### سطح پوشش برف

تجمع برف نشانگر تنوع قوی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است. زمانبندی و بزرگی ذوب برف به شدت تحت تأثیر تغییرپذیری تغییرات آب و هوا است. دمای گرم‌تر میزان بارش برف و مدت زمان پوشش برف را کاهش می‌دهد چرا که یک عامل محرک می‌تواند تا حد زیادی در شکل‌گیری اصلی برف و میزان ذوب برف تأثیر بگذارد و میزان پوشش برف را تحت تأثیر قرار دهد. فرایندهای اتصال جوی باد کریستال‌های برفی را مجدد توزیع می‌کند و روی جرم و انرژی در سطح برف تأثیر می‌گذارند و عواقب هیدرولوژی برف، خطر بهم‌پاشی توسعه اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بدین ترتیب چگالی و زبری سطح یک برف را تغییر می‌دهد. به‌طور کلی تغییرات در شرایط محیطی محلی تفاوت‌های مکانی و زمانی در ویژگی‌های انباشت پوشش برف ایجاد می‌کند. همچنین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، مانند ارتفاع و شیب می‌توانند بر الگوهای پوشش برف مسلط شوند علاوه بر این عوامل، پوشش گیاهی نیز می‌تواند بر حمل و نقل و انباشت برف تأثیر بگذارد (۱۰). الگوریتم‌های مختلفی در تولید نقشه‌های سطح پوشش برف وجود دارد و هر کدام از آنها دارای دقت

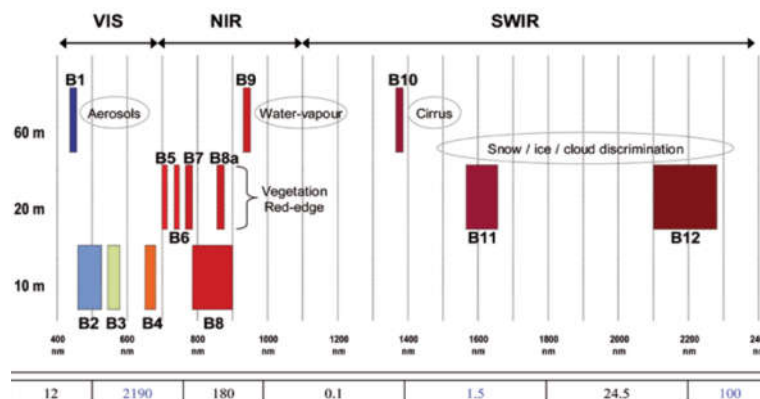
داده‌های چندطیفی در ۱۳ باند می‌توان پوشش برف را به‌دست آورد. در دسترس بودن داده‌های Sentinel-2 با وضوح دقیق‌تر ۱۰ متر با پوشش ۲۹۰ کیلومتری با دوره بازنگری ترکیبی Sentinel-2 A&B) به مدت ۵ روز، در رفع مشکلات حل و فصل کمک کرده و به تسریع در پایش منطقه پوششی از برف کمک کرده است (۱۰). به‌روشنی مؤثر در مطالعه حاضر، میزان پوشش برف با استفاده از شاخص‌های برف بر اساس بازتاب برف در هر منطقه از طیف الکترومغناطیسی نقشه‌برداری شده است. همچنین داده‌های Sentinel-2 در سه سطح محصولات مختلفی ارائه می‌دهد که شامل: (سطح 1B، سطح 1C، سطح 2A) که برای مطالعه حاضر از سطح 2A برای سال ۱۳۹۷ استفاده شده است. جدول ۱ نوع تصاویر استفاده شده ماهواره Sentinel2 را نشان می‌دهد.

داده‌های یاد شده، علاوه بر تفکیک مکانی مناسب از تفکیک طیفی به‌نسبت خوبی (محدوده ۴۴۳ تا ۲۱۹۰ نانومتر) برخوردارند (۱۲). شکل ۲ محدوده‌های طیفی این سنجنده را نشان می‌دهد.

جدول ۲ مشخصات کلی باندهای ماهواره سنتینل-۲ به‌همراه کاربردها را نمایش می‌دهد.

جدول ۱. نوع تصاویر استفاده شده اپتیکال ماهواره Sentinel2

ماهواره	باند تصویربرداری	قدرت تفکیک مکانی	فرمت	تاریخ تصویربرداری
Sentinel2	msi	10m	Tif	۲۰۱۸/۰۱/۱۸
Sentinel2	msi	10m	Tif	۲۰۱۷/۱۲/۲۰
Sentinel2	msi	10m	Tif	۲۰۱۸/۰۲/۱۴
Sentinel2	msi	10m	Tif	۲۰۱۸/۰۳/۸



شکل ۲. محدوده‌های طیفی سنجنده سنتینل-۲

جدول ۲. اطلاعات باندهای سنتینل-۲

شماره باند	نام باند	هدف و کاربرد	میانگین طول موج	توان تفکیک مکانی (متر)	سنجنده
۱	Coastal aerosol	تشخیص آئروسول	۰/۴۳	۶۰	MSI
۲	Blue	آبی	۰/۴۹	۱۰	MSI
۳	Green	سبز	۰/۵۶	۱۰	MSI
۴	Red	قرمز	۰/۶۵	۱۰	MSI
۵	Vegetation Red Edge	طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۰/۷۰	۲۰	MSI
۶	Vegetation Red Edge	طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۰/۷۴	۲۰	MSI
۷	Vegetation Red Edge	طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۰/۷۸	۲۰	MSI
۸	NIR	مادون قرمز	۰/۸۴	۱۰	MSI
۹	Narrow NIR	مادون قرمز نزدیک	۰/۸۶	۲۰	MSI
۱۰	Water vapour	بخار آب	۰/۹۴	۶۰	MSI
۱۱	SWIR – Cirrus	سیروس	۱/۳۷	۶۰	MSI
۱۲	SWIR	برف / یخ / ابر	۱/۶۱	۲۰	MSI
۱۳	SWIR	برف / یخ / ابر	۲/۱۹	۲۰	MSI

بزرگ تر یا مساوی ۰/۴ است به عنوان پیکسل برفی در نظر گرفته می شود (۱۱).

$$NDSI = \frac{Green - Swir}{Green + Swir} = \frac{B_3 - B_{11}}{B_3 + B_{11}} \quad (1)$$

شاخص NDVI: این شاخص یکی از رایج ترین شاخص های پوشش گیاهی در مطالعات زیست محیطی است (۲): که معیار مناسبی برای جداسازی برف از خاک و پوشش گیاهی است درحقیقت آن دسته از پوشش که در هنگام پردازش ها ابر و برف آمیخته شده اند، از طریق این الگوریتم جدا شدند. این شاخص از طریق رابطه (۲) به دست می آید (۴). آستانه در نظر گرفته شده برای این الگوریتم در تحقیق حاضر، بالاتر از ۰/۵ است:

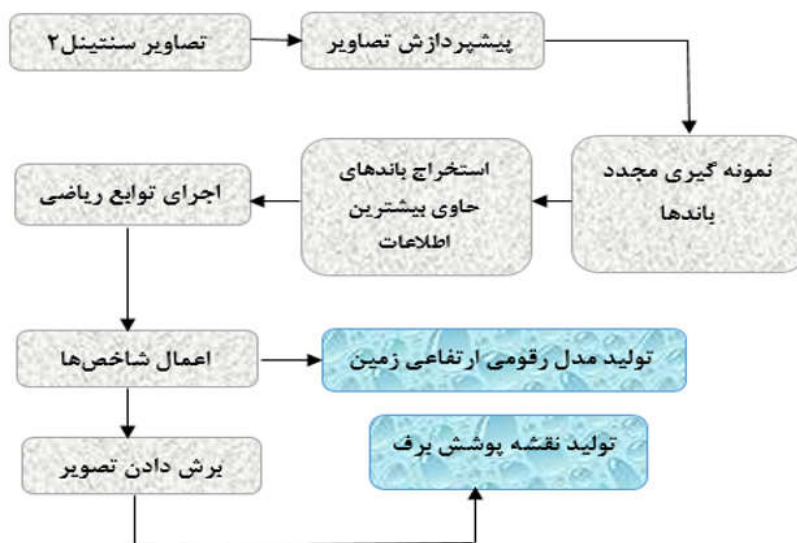
$$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red} = \frac{B_8 - B_4}{B_8 + B_4} \quad (2)$$

الگوریتم cloud\_mask: محصول Sentinel-2 به راحتی حاوی ماسک برداری ابر است که به عنوان محصولی از تصحیح جوی ایجاد می شوند، از آنجا که استفاده از ماسک روی همه باندها به صورت مجموع کامل، زمان بر است و اطلاعات این محصولات با این عمل از بین می روند؛ بنابراین برای حفظ اطلاعات، الگوریتم جدیدی ایجاد می شود که حاوی ماسک ابری باشد بنابراین باید الگوریتم cloudmask را به طور جداگانه برای هر محصول با استفاده از BandMaths اضافه کرد (۱).

الگوریتم Water and cloud mask: برای ردیابی آب از شاخص تفاضل بهنجار آب بانام اختصاری (Normalized NDWI(difference water) که نخستین بار از سوی مک فیترز (McFeeters)(۱۹۹۶) برای تفکیک نواحی آبی ارائه شده است. برف به این علت که بازتابش آب در باند ۳ کمتر از ۱۱ درصد است، قابل تفکیک است؛ بنابراین اگر بازتابش باند ۳ بزرگ تر از ۱۱ درصد باشد و NDSI هم بیشتر از ۰/۴ باشد، آن پیکسل به عنوان برف در نظر گرفته نمی شود. همچنین ابرهایی

متفاوتی در پیش بینی رواناب هستند به طور مثال الگوریتم SCA در تولید داده های پوشش برف از داده های به دست آمده از سنجنده سنتینل-۲ مورد استفاده قرار می گیرد. الگوریتم Snow Cover مجموعه ای از تولیدات پوشش برف را در سطوح مختلف ارائه می دهد محصولات SCA از تصاویر Sentinel-2 بر اساس پردازنده MAJA, LIS تولید می شوند که MAJA, Maccs, Atcor مخفف Maccs Atcor Joint است. در واقع Maccs, Atcor نرم افزارهای تصحیح جوی هستند که توسط مرکز ملی مطالعات فضایی CNES (National Centre for Space Studies) و مرکز مطالعه زیست کره از فضا (Center for the Study of the Biosphere from Space) تهیه شده است (۵): خروجی MAJA محصولی از سطح 2A است که توسط پردازنده LIS برای تعیین سطح پوشش برف در وضوح ۲۰ متر خوانده می شود به طور کلی یک الگوریتم با استفاده از آزمون های گروهی حد آستانه است که بر پایه شاخص NDSI با بازتابش باندهای باند ۳ و باند ۱۱ و بر پایه شاخص S3 با بازتابش باند ۳ و باند ۸ است. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص ها می توانند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده ها بسیار مفید واقع شوند (۱۲). با استفاده از داده های سنتینل-۲ و انجام پیش پردازش های لازم روی آن در نرم افزار Snap، پیاده کردن الگوریتم Ndsi, Ndvi, S3 و cloud Mask پوشش ابر و برف و پوشش گیاهی مختلط شده با برف به صورت جداگانه از هم متمایز شد. در شکل ۳ نحوه کار با تصاویر سنتینل-۲ برای برآورد سطح پوشش برف آورده شده است.

شاخص NDSI: شاخص (Normalized Difference Snow Index) یک روش مؤثر برای تمایز برف از بسیاری خصوصیات سطح دیگر است (۸). این شاخص را می توان از رابطه (۱) محاسبه کرد که از نسبت اختلاف بازتابندگی باند مرئی (B<sub>3</sub>) سنجنده و مادون قرمز میانی (B<sub>11</sub>) سنجنده تقسیم بر مجموع بازتابندگی در این دو باند به دست می آید و در تهیه نقشه پوشش برفی زمانی که پیکسل دارای NDSI



شکل ۳. دیاگرام کار با تصاویر سنتینل-۲ برای برآورد سطح پوشش برف

رابطه (۴) محاسبه می‌شود (۱۱):

(۴)

$$S3 = \frac{\text{Nir}(\text{Red} - \text{Swir})}{(\text{Nir} + \text{Red})(\text{Nir} + \text{Swir})} = \frac{B_3 (B_8 - B_{11})}{(B_3 + B_8) + (B_3 + B_{11})}$$

### یافته‌های تحقیق

با اعمال الگوریتم‌های Cloud mask, NDVI, NDSI, S3 نقشه‌های سطح برف برای ماه‌های مورد نظر استخراج شد. در مرحله بعد با استفاده از همبستگی بین داده‌های تولیدی و داده‌های زمینی، معادله آن محاسبه شده نقشه‌های تولید شده صحت‌سنجی شدند. شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ نقشه‌های مربوط به تغییرات سطح پوشش برفی در بازه زمانی ۱۳۹۷ را نمایش می‌دهند.

در این پژوهش نیز با توجه به اینکه در فصل زمستان پوشش برف به دلیل پایین بودن دمای هوا در این نوع از منطقه کوهستانی تغییرات قابل توجهی را در چند روز ندارد از تصاویر سنجنده MSI سنتینل-۲ استفاده شد با اخذ داده‌های هواشناسی از ایستگاه‌های موجود در منطقه جدول ۳ بیشترین روز بارش برفی در آذرماه در منطقه مورد مطالعه مربوط به تاریخ ۱۳۹۷/۹/۲۹ بوده که نقشه به‌دست آمده از سطح پوشش

را که در هر تصویر ورودی وجود دارد، باید حذف شود. برای این منظور، یک ماسک ترکیبی از آب و ابر ایجاد می‌شود. آستانه مناسبی ۰/۳۷ برای پوشاندن پیکسل‌های آب از پیکسل‌های برفی به‌دست آمده است. این شاخص آب در این محصول به‌منظور به حداقل رساندن بازتاب آب در باند NIR است که از طریق رابطه (۳) به‌دست می‌آید (۳):

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Green} - \text{Nir}}{\text{Green} + \text{Nir}} = \frac{B_3 - B_8}{B_3 + B_8} \quad (۳)$$

شاخص S3: شاخص عادی برف ( Normal Snow Index) توسط سایتو (Saito) و یامازاکی (Yamazaki) در سال ۱۹۹۹ ارائه شده است؛ این شاخص از مشخصات بازتابی برف و پوشش گیاهی استفاده می‌کند تا خطاهای ناشی از مناطق پوشیده از برف مخلوط با پوشش گیاهی را کاهش دهد. در این شاخص از باند Nir و Swir برای شناسایی برف در زیر پیکسل‌های پوشش گیاهی استفاده شده است که باعث کاهش خطا در نقشه منطقه پوششی از برف می‌شود. مقدار آستانه ۰/۱۸ برای نقشه‌برداری از پوشش برفی استفاده شده است این شاخص از طریق

جدول ۳. موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
اردبیل	۴۸/۲۰	۳۸/۱۳
سرعین	۴۸/۰۵	۳۹/۰۳
فرودگاه	۴۸/۲۵	۳۸/۲۰

مقدار ۳۵۶/۵۲ کیلومتر مربع است و در مقایسه با ماه آذر از سطح پوشش برف بیشتری برخوردار است.

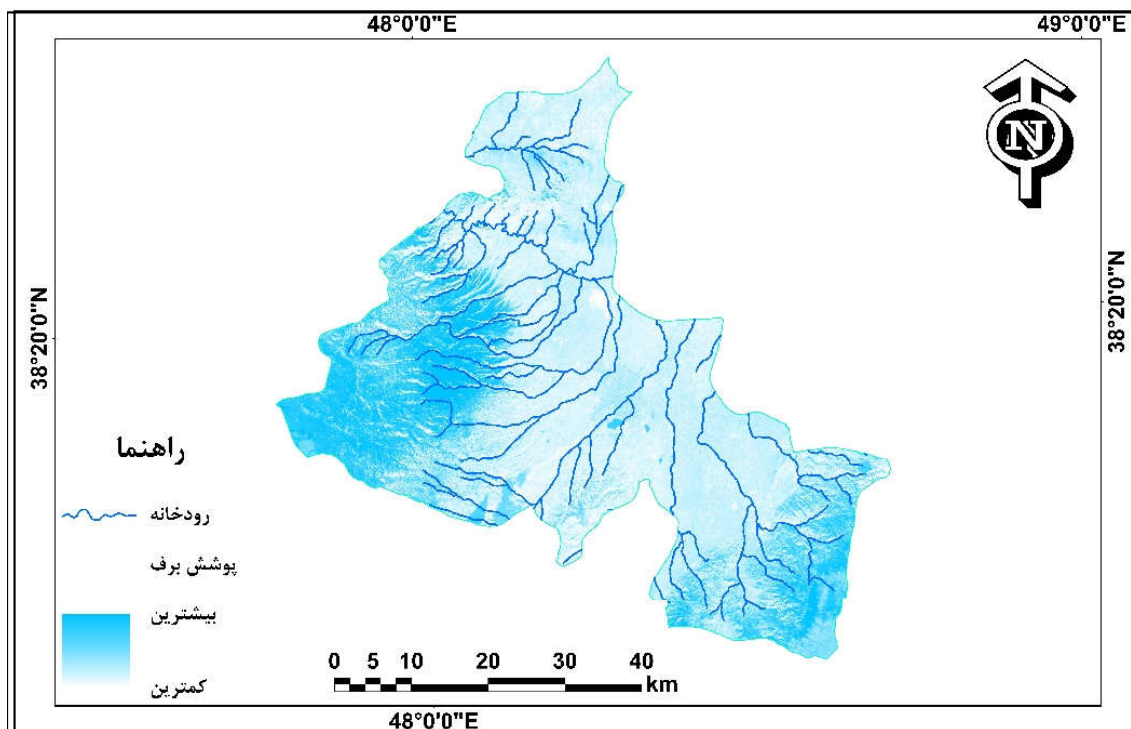
نقشه پوشش برف ماه بهمن مربوط به بیشترین روز بارش برفی ۱۳۹۷/۱۱/۲۵ نشان می‌دهد که از پوشش برف نسبت به ماه‌های آذر و دی کاسته شده و دمای هوا بین ۱- تا ۲+ درجه است که نشان می‌دهد دمای هوا رو به حداکثر است در این ماه بیشترین پوشش برف مربوط به ارتفاعات سبلان و ارتفاعات جنوبی و نواحی اطراف آنها بین ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰ است و کمترین پوشش برف مربوط به سرعین، بخش هیر، بخش مرکزی شهرستان اردبیل است. مساحت پوشش برفی به دست آمده ۱۸۰/۲۳ کیلومتر مربع برآورد شده که نسبت به ماه آذر و دی از مساحت کمتری برخوردار است.

پوشش برف ماه اسفند در بیشترین بارش برف در روز ۱۳۹۷/۲/۱۷ به وقوع پیوسته است که بیشترین پوشش برف در ارتفاعات بالای ۴۰۰۰ متر است با توجه به دمای هوا که بین ۴+ تا ۵+ درجه سانتی‌گراد است و همچنین تعداد روزهای یخبندان در این ماه بین ۲۰-۱۵ است می‌توان گفت که دمای هوا نسبت به ماه‌های گذشته بیشتر شده و همچنین تعداد روزهای یخبندان آن کمتر شده بنابراین انتظار می‌رود با پوشش برف کمتری نسبت به ماه‌های قبل همراه باشد. با این حال بیشترین پوشش برف در غرب (ارتفاعات سبلان) و بخش کمتری از ارتفاعات جنوبی قرار گرفته است کمترین پوشش برف مربوط به شمال غرب (بخش ثمرین) است. مساحت به دست آمده از ماه اسفند برابر با ۹۶/۱۰ کیلومتر مربع است که نسبت به سه ماه دی، آذر، بهمن مساحت کمتری را به خود اختصاص داده است.

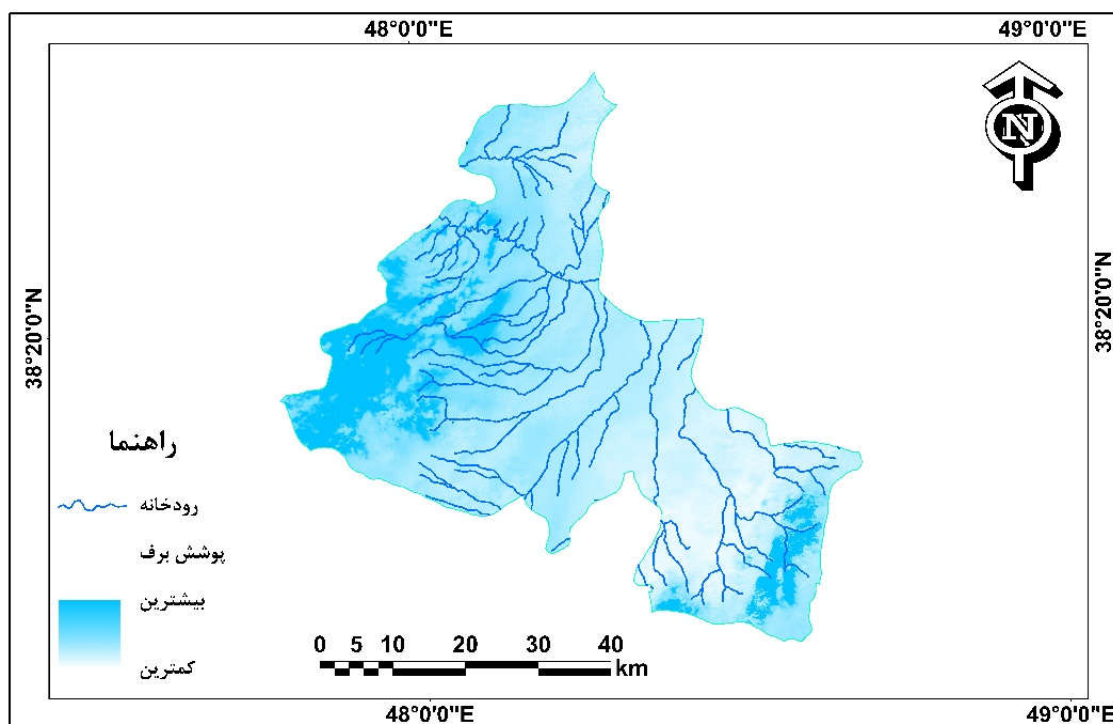
برف آذرماه در شکل ۴ نشان داده شده است که با توجه به پارامترهای اقلیمی، سرد شدن هوا و کاسته شدن دما بین ۱- تا ۳ درجه سانتی‌گراد و تعداد روزهای یخبندان بین ۱۸ تا ۲۴ بوده که باعث اولین بارش زمستانی از نوع برف روی ارتفاعات بین ۴۵۰۰-۲۵۰۰ که جزء ارتفاعات فوقانی محسوب می‌شود، شده است بیشترین بارش برف در غرب منطقه (کوه سبلان) و ارتفاعات جنوبی آن است همچنین کمترین بارش برف در این ماه مربوط به مناطق شمالی (کوه‌های تالش) و بخش مرکزی (دهستان ارسق شرقی، دهستان بالغلو، دهستان سردابه، دهستان شرقی، دهستان کلخوران و شهر اردبیل) است با توجه به سطح پوشش برف به دست آمده از آذرماه مساحت برفی این ماه به دست آمد که برابر با ۲۳۳/۲۰ کیلومتر مربع است.

بیشترین بارش برفی در دی‌ماه مربوط به تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۲۸ است که علاوه بر ارتفاعات، مناطق هموار نیز بیشترین پوشش برفی را به خود اختصاص داده‌اند که با توجه به مقادیر حداقل دما بین ۱- تا ۳- است که دمای هوای سردتری دارد و با توجه به روزهای یخبندان تعداد روزهای یخبندان در این ماه بین ۲۶-۲۵ بوده است که نسبت به آذرماه از تعداد روزهای یخبندان بیشتری برخوردار است؛ بنابراین شکل ۶ بیشترین پوشش برف روی بخش مرکزی، ارتفاعات واقع در جنوب منطقه، کوه‌های تالش و کوه سبلان که به ترتیب در شمال، غرب قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. کمترین پوشش برف مربوط به بخش هیر (دهستان فولادلوی جنوبی، دهستان فولادلوی شمالی، دهستان هیر و شهر هیر) است با توجه به نقشه سطح پوشش برف مساحت آن برآورد شد که برابر با

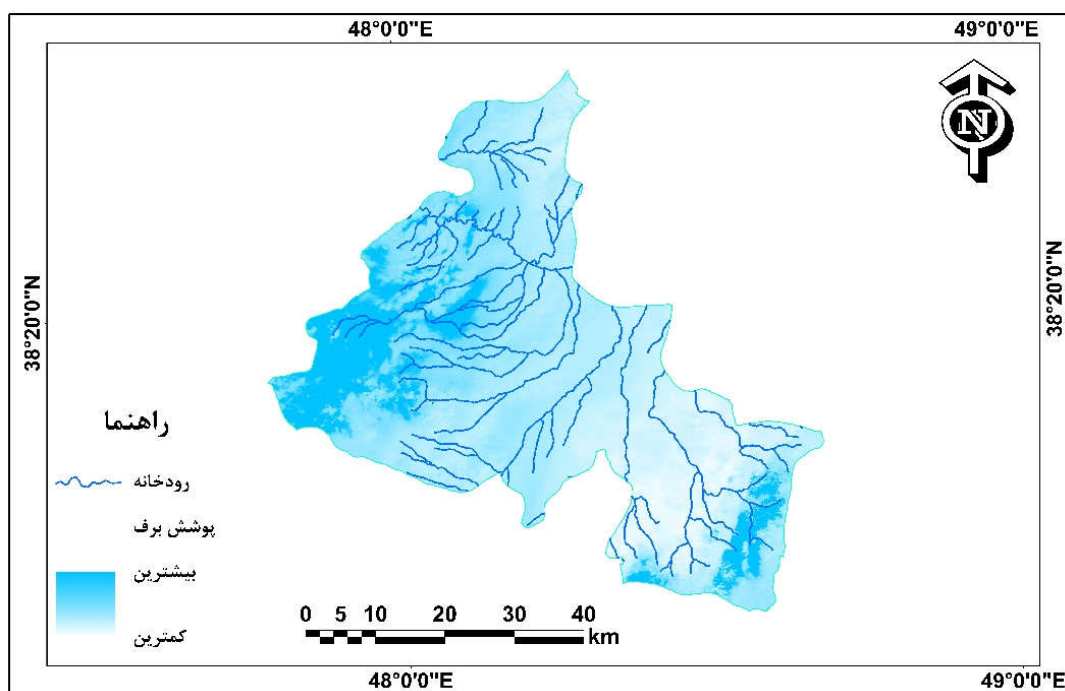




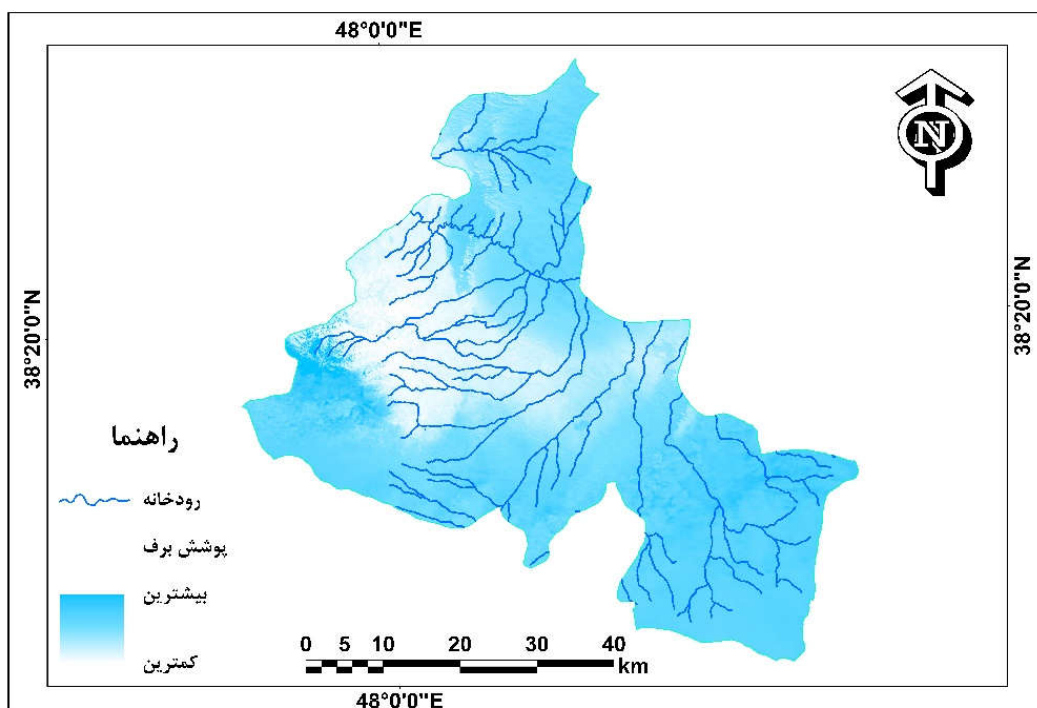
شکل ۴. نقشه سطح پوشش برف آذرماه



شکل ۵. نقشه سطح پوشش برف دی ماه



شکل ۶. نقشه سطح پوشش برف بهمن ماه



شکل ۷. نقشه سطح پوشش برف اسفندماه

است و به ترتیب مقدار مساحت آنها برابر با ۳۵۶/۵۲ و ۹۶/۱۰ کیلومتر مربع است. نتایج نشان می‌دهد که سطح پوشش برف از اوایل زمستان تا آخر زمستان روند کاهشی داشته است و این روند دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش سطح پوشش برف در ماه بهمن و اسفند دارد. بدون شک با افزایش دما الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده و کاهش ذخیره برفی در حوضه آبریز منطقه را ایجاد می‌کند. آنچه از نقشه‌های پوشش برف می‌توان دریافت کرد این است که در واقع بیشترین ماندگاری برف در مناطق با شیب‌های بالا در ارتفاعات بالاتر (۳۰۰۰-۲۵۰۰) است کمترین میزان برف در دامنه‌های شرقی و بیشترین مقدار آن در دامنه‌های غربی بوده که وجود شیب زیاد و جهت بادهای غالب منطقه که شرقی غربی است از دلایل آن محسوب می‌شود. یکی دیگر از عواملی که سبب کاهش برف می‌شود کاهش میانگین دما است. قابل ذکر است طبق نتایج این مطالعه در ایستگاه‌ها کاهش دما در طی این سال مشاهده شده است، بنابراین علاوه بر کاهش دما، عوامل دیگری می‌تواند علل کاهش بارش برف در مناطق باشد. با توجه به اینکه روند کاهشی در تعداد روزهای برفی همزمان با کاهش در سطح پوشش برف مشاهده شده است بنابراین به نظر می‌آید کاهش برف در سال‌های اخیر عامل مؤثر و اصلی باشد در نهایت برای بررسی و ارزیابی نتایج اعمال الگوریتم روی داده‌های سنتینل-۲ و محاسبه سطح پوشش برف از داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی که نتیجه در شکل (۸) و از ضریب کاپای جدول ۵ استفاده شد که با توجه به ایستگاه‌های زمینی موجود در منطقه برآورد سطح برف سنجنده MSI برای افزایش قدرت صحت‌سنجی با نقاط تمام ایستگاه‌های برف‌سنجی موجود در شهرستان اردبیل و سرعین مورد ارزیابی قرار گرفته و همه محققین خارج از کشور به اتفاق صحت بالای تصاویر Sentinel2 برای برآورد سطح برف را تأیید کرده‌اند. نتایج این برآورد با استفاده از ضریب کاپا برای صحت تصاویر Sentinel2 در این منطقه در تاریخ‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به زمان داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح زمین تصاویر

پوشش برف ماه اسفند در بیشترین بارش برف در روز ۱۳۹۷/۱۲/۱۷ به وقوع پیوسته است که بیشترین پوشش برف در ارتفاعات بالای ۴۰۰۰ متر است با توجه به دمای هوا که بین ۴+ تا ۵+ درجه سانتی‌گراد است و همچنین تعداد روزهای یخبندان در این ماه بین ۲۰-۱۵ است می‌توان گفت که دمای هوا نسبت به ماه‌های گذشته بیشتر شده و همچنین تعداد روزهای یخبندان آن کمتر شده بنابراین انتظار می‌رود با پوشش برف کمتری نسبت به ماه‌های قبل همراه باشد. با این حال بیشترین پوشش برف در غرب (ارتفاعات سبلان) و بخش کمتری از ارتفاعات جنوبی قرار گرفته است کمترین پوشش برف مربوط به شمال غرب (بخش ثمرین) است. مساحت به دست آمده از ماه اسفند برابر با ۹۶/۱۰ کیلومتر مربع است که نسبت به سه ماه دی، آذر، بهمن مساحت کمتری را به خود اختصاص داده است. نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده آن است که در ارتفاعات کوهستانی سبلان، بیشترین بارش در اواخر فصل پاییز و ماه‌های سرد زمستان، از نوع برف بوده است به این علت که شهرستان اردبیل و سرعین به علت شرایط کوهستانی و قرارگیری در میان کوه سبلان و کوه‌های تالش و برغوش بارش برف زودتر اتفاق می‌افتد درحقیقت قسمت بسیاری از این شهرستان‌ها دارای ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۴۲۰۰ متر را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. با توجه به سطح برف به دست آمده از طریق تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در شهرستان اردبیل و سرعین، خروجی هر چهار ماه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این برآورد نشان داد که بیشترین مقدار پوشش برف برای سال ۱۳۹۷ مربوط به ماه دی (شکل ۵) و کمترین مقدار پوشش برف مربوط به ماه اسفند (شکل ۷) است همچنین در جدول ۴ مساحت سطح پوشش برف برای چهار ماه آورده شده است که نشان می‌دهد ماه دی با توجه به کاهش دمایی که دارد و همچنین به علت بیشترین تعداد روزهای یخبندان نسبت به ماه‌های دیگر از پوشش برف بیشتری و ماه اسفند به دلیل افزایش دمایی و تعداد روزهای یخبندان کمتر از پوشش برف کمتری برخوردار بوده

جدول ۴. مساحت پوشش برفی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷

تاریخ تصویر	۱۳۹۷/۱۱/۲۵	۱۳۹۷/۱۰/۲۸	۱۳۹۷/۹/۲۹
مساحت km <sup>2</sup>	۱۸۰/۲۳	۳۵۶/۵۲	۲۳۳/۲۰
تاریخ تصویر	۱۳۹۷/۱۲/۱۷		
مساحت km <sup>2</sup>	۹۶/۱۰		

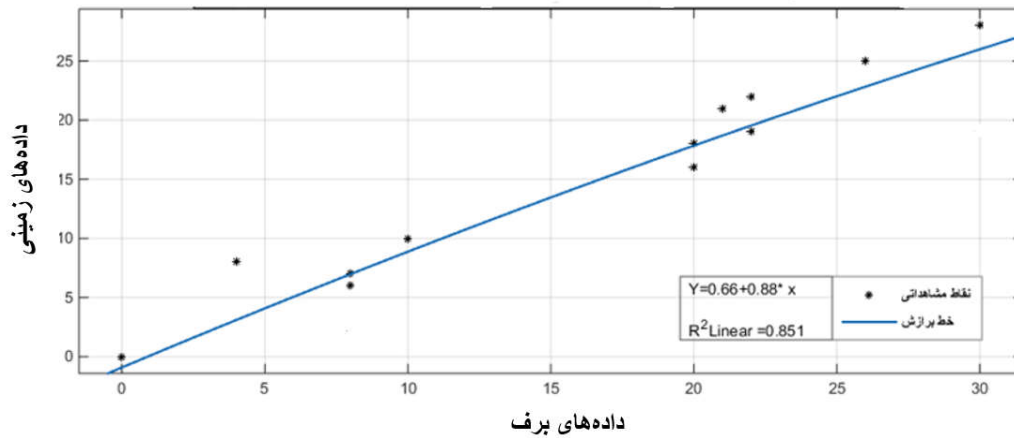
جدول ۵. برآورد دقت سطح برف در ۴ توزیع برف در منطقه

تاریخ مشترک تصویر و اندازه گیری زمینی	دقت کلی (درصد)	ضریب کاپا (درصد)
۲۰۱۸/۰۱/۱۸	۹۱/۳	۸۴/۱۲
۲۰۱۷/۱۲/۲۰	۸۶/۹	۸۰/۵۲
۲۰۱۸/۰۲/۱۴	۹۱/۳	۸۴/۱۲
۲۰۱۸/۰۳/۸	۹۵/۶	۸۵/۰۲
میانگین	۹۱/۳	۸۳/۴۵

کاربردی در مناطق کوچک و متوسط یا بزرگ مورد استفاده قرار بگیرند.

برای یافتن جواب‌های واقعی و برآورد پارامترهای مربوط به برف از رگرسیون خطی با هدف دقیق بودن رابطه بین نمونه‌های مشاهداتی و برآوردی با بهترین برازش خطی در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد. حاصل مدل رگرسیون خطی به صورت نموداری بوده است. شکل ۸ که این نمودار پراکنش نقاط مشاهداتی و ضرایب همبستگی در نقاط موجود در سطح منطقه را نشان می‌دهد. همچنین برای انجام ارزیابی مدل رگرسیون خطی و اطمینان از دقت بالای نقشه‌های به‌دست آمده از چندین شاخص آماری چون: ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)، میانگین مجذور خطا (MSE)، بایاس (BIAS) و ضریب همبستگی خطی (CORR) استفاده شد. اعمال این شاخص‌ها در نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت که نتیجه در شکل‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است.

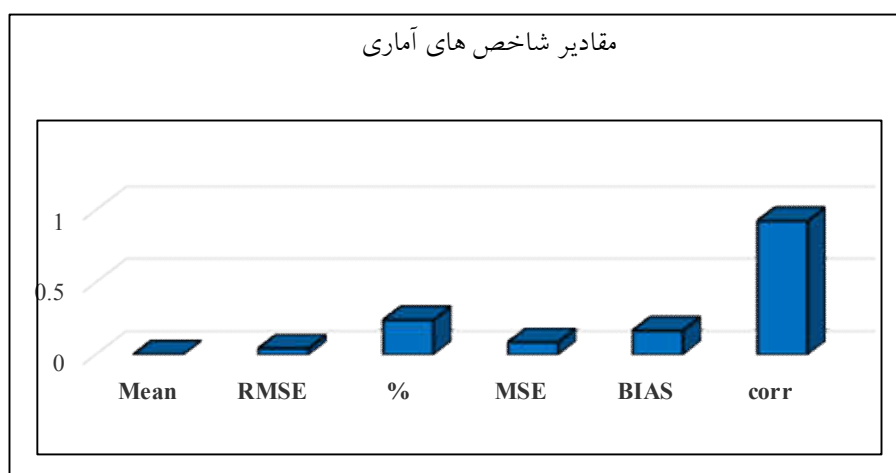
مربوط به آن تاریخ‌ها انتخاب و ارزیابی صورت گرفت. در چهار تاریخ مختلف برای سال ۱۳۹۷ مربوط به منطقه مورد مطالعه بررسی نتایج صورت گرفت. تصاویر به‌دست آمده از سطح پوشش برف با داده‌های زمینی مقایسه شدند. چنانچه در مواد و روش‌ها بیان شد برای انجام ارزیابی و بررسی از معادله رگرسیون خطی استفاده شد که در این معادله  $y=a+bx$ ، بهترین خط برازنده، برای نمودار پراکنش نمونه‌های مشاهداتی و نمونه‌های برآوردی برازش شد در واقع ضرایب  $a$  و  $b$  طوری تعیین شدند که مجموع توان دوم خطاها در آن کاهش یافته و بهترین خط برازش شده است انجام موارد فوق در نرم‌افزار (MATLAB) انجام گرفت نمودار حاصل از پراکنش نقاط مشاهداتی و خط رگرسیون و ضرایب همبستگی را در نقاط موجود در سطح شهرستان اردبیل و سرعین نمایش می‌دهد. بر پایه نتایج از برف استخراج شده از تصاویر سنتینل-۲ با تغییرات برف اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها منطبق است. در واقع داده‌های سنتینل-۲ به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا می‌توانند به صورت



شکل ۸. نمودار صحت‌سنجی داده‌های برف با داده‌های زمینی



شکل ۹. همبستگی بین داده‌های زمینی با برف تولید شده از تصاویر Sentinel



شکل ۱۰. مقادیر شاخص‌های آماری برای ارزیابی نتایج

تصاویر سنتینل-۲ امکان پایش پوشش برف و برآورد میزان ذخایر برفی را با دقت بسیار بالا در ماه‌های سرد زمستان را امکان‌پذیر ساخته است که نتایج به‌دست آمده از این‌گونه تصاویر را در مدیریت منابع آب و سامانه‌های هشدار سیل و دیگر سازمان‌های مرتبط به‌کار می‌گیرند، نتایج حاصل شده از این تصاویر و یا حتی ماهواره‌های مشابه، می‌تواند راه‌حلی مفید و کاربردی برای پایش مکانی پوشش برف برای مناطق کوهستانی باشد که این موضوع در رابطه با سری محصولات سنتینل-۲ به‌دلیل برخورداری از قدرت تفکیک بسیار مناسب و دسترسی آسان و رایگان از سایت مربوطه از جمله مزایای سنجنده MSI ماهواره سنتینل-۲ است که در برآورد سطح پوشش برف بسیار مؤثر و سودمند واقع می‌شوند. با توجه به نتایج می‌توان گفت که تصاویر سنجنده MSI با تفکیک مکانی ۱۰ متر نسبت به کیفیت مکانی ۱۵ متر ماهواره (OLI و TIRS) Landsat8 و ۵۰۰ متر ماهواره (MODIS) از قدرت تفکیک بسیار بالایی و کیفیت بهتری برخوردار هستند. سنتینل-۲ به‌دلیلی برخورداری از الگوریتم Snow cover که یکی از مزایای این سنجنده است که می‌توان سطح پوشش برف را به‌صورت کامل از این نوع داده‌ها استخراج کرد. همچنین تعداد باندهای بیشتر نیز یکی از نقاط قوت آن محسوب می‌شود. درنهایت چون در زمینه برآورد پوشش برف با داده‌های سنتینل-۲ هنوز هیچ تحقیقی در ایران صورت نگرفته است به‌همین دلیل از تحقیقات معتبر خارج از کشور در مقایسه با پژوهش حاضر استفاده می‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت نتایج مطالعه با نتایج مطالعات افرادی چون: دای و همکاران (۳)، تسای و همکاران (۱۳)، نازوتی و همکاران (۱۰)، ورد و همکاران (۱۴)، وسیم و همکاران (۱۶) تطابق دارد؛ بدین‌صورت که آنها معتقدند سنتینل-۲ با توان تفکیک بالا نسبت به دیگر ماهواره‌ها و اعمال شاخص NDVI، S3، NDWI، NDSI، Cloud mask روی این سنجنده از قابلیت بسیار بالایی در برآورد پوشش برف برخوردار هستند. با توجه به نتایج این پژوهش و دیگران می‌توان در یک جمع‌بندی گفت که ماهواره‌های سری سنتینل-۲

نتایج حاصل از شاخص‌های آماری RMSE، MSE، BIAS، CORR به‌صورت نمودار نشان داد که مقادیر به‌دست آمده به‌ترتیب ۰/۰۴۳، ۰/۰۸۶، ۰/۱۶۵، ۰/۹۲۴ است. بر اساس نتایج شاخص‌های آماری RMSE، MSE، BIAS هرچقدر مقادیر به‌دست آمده از آنها به صفر نزدیک‌تر باشد از صحت بالاتری و خطای کمتری برخوردار است و بر اساس شاخص CORR مقادیر به‌دست آمده بین  $0.9 \leq r < 1$  قرار دارد که بیانگر همبستگی بسیار قوی بین داده‌ها است. قابل ذکر است که برای ارزیابی کارایی دقیق‌تر تصاویر سنتینل-۲ هرچه داده‌های ایستگاهی بیشتر باشند نتایج را بهتر برآورد خواهد کرد. بر پایه نتایج به‌دست آمده، تغییرات برف به‌دست آمده از سنتینل-۲ با ضریب تعیین ۸۵ درصد نشان می‌دهد که با تغییرات برف اندازه‌گیری شده در ایستگاه منطبق است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور پایش سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای اپتیکال سنتینل-۲ استفاده شد که برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف، شاخص‌های NDVI، S3، NDWI، Cloud mask، NDSI به‌کار گرفته شد نتایج حاصل نشان می‌دهد طی سال آبی ۱۳۹۷ بیشترین مقدار پوشش برف مربوط به ماه‌های آذر و دی شکل ۴ و شکل ۵ است و در جدول ۴ مساحت پوشش برف برای ماه‌های مورد مطالعه ذکر شده است که نشان می‌دهد این ماه‌ها با توجه به کاهش دمایی که دارند و همچنین به‌علت بیشترین تعداد روزهای یخبندان نسبت به ماه‌های دیگر از پوشش برف بیشتری برخوردار بوده‌اند و به‌ترتیب مقدار مساحت آنها برابر با ۳۵۶/۵۲ و ۲۳۳/۲۰ کیلومتر مربع است. همچنین کمترین مقدار پوشش برف در ماه‌های بهمن (شکل ۶) و اسفند (شکل ۷) به‌وقوع پیوسته است که این ماه‌ها با توجه به افزایش دمایی که دارند و همچنین به‌علت کمترین تعداد روزهای یخبندان نسبت به ماه‌های دیگر از پوشش برف کمتری برخوردار بوده‌اند و به‌ترتیب مساحت آنها برابر با ۱۸۰/۲۳ و ۹۶/۱۰ کیلومتر مربع است؛ بنابراین استفاده از

در سطح سیاره زمین در حال رخ دادن است را در فواصل زمانی کوتاه شناسایی کرد این مطالعه با نتایج خروجی خود و با توجه به داده‌های کم ایستگاه‌ها و از طرف دیگر صعب‌العبور بودن و کوهستانی بودن منطقه می‌تواند راهگشای تحقیقات متعدد برف توسط کارشناسان در منطقه باشد.

علاوه بر استخراج پوشش برف اطلاعات بسیار با ارزشی دیگری در ارتباط با برنامه‌های زیست‌محیطی در مقیاس جهانی می‌توانند فراهم کنند که از آنها در زمینه فعالیت‌های کشاورزی، تهیه نقشه‌های خاک، طبقه‌بندی و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، مدیریت و کنترل بحران و غیره می‌توان استفاده کرد زیرا توان تفکیک زمانی این ماهواره (۱۰ روز) شرایط و امکانی را فراهم آورده است تا بتوان از این طریق فرایندهای طبیعی که

### منابع مورد استفاده

- 1- Benateau, S., A. Gaudard, Ch. Stamm and F. Altermatt. 2018. Climate change and freshwater ecosystems: Impacts on water quality and ecological status. Hydro-CH2018. Project. Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland.
- 2- Borowik, T., N. Pettorelli, L. Sönnichsen and B. Jędrzejewska. 2013. Normalized difference vegetation index (NDVI) as a predictor of forage availability for ungulates in forest and field habitats. *European Journal of Wildlife Research* 675-682.
- 3- Du, Y. 2016. Water bodies mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Journal of Remote Sensing* 8: 354.
- 4- Gandhi, M., D. Parthiban and N. Thummalu. 2015. Ndvi: vegetation change detection using remote sensing and gis - A case study of Vellore District. *A Procedia Computer Science* 1199-1210.
- 5- Hagolle, O. M. and C. Huc. 2018. MAJA ATBD algorithm theoretical basis document. Approved by M. Dejus, CNES, Project Manager, Remote Sens, 37 p.
- 6- Hanafi Nairi, N. 1393. Investigating the application of CIT climate-tourism index in determining mountain climate tourism case study: Ardabil county, Master's Thesis in Geography and Tourism Planning, Regional Tourism Planning, Tabriz University.
- 7- Liu, Y., L. Li, J. Yang, X. Chen and J. Hao. 2017. Estimating snow depth using multi-source data fusion based on the D-InSAR method and 3DVAR fusion algorithm. *Journal of Remote Sensing* 1-17.
- 8- Masson, T. H., M. Dumont, M. Mura, P. Sirguey, P. Gascoïn, J. Dedieu and C. Chanussot. 2018. An assessment of existing methodologies to retrieve. Snow cover fraction from MODIS data. *Journal of Remote Sensing* 10: 619.
- 9- Mott, R., V. Vionnet and T. Grünwald. 2018. The seasonal snow cover dynamics: review on wind-driven coupling processes. *Frontiers in Earth Science* <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00197>.
- 10- Nagajothi, V., C. Priya and P. Sharma. 2019. Snow cover estimation of western himalayas using sentinel-2 high spatial resolution data. *Indian Journal of Ecology* 88-93.
- 11- Nagler, T., H. Rott, E. Ripper, G. Bippus and M. Hetzenecker. 2016. Advancements for snowmelt monitoring by means of Sentinel-1 SAR. *Journal of Remote Sensing* 10: 619.
- 12- Souza, M. V., C. Barbosa, L. Carvalho, D. Jorge, F. Lobo and N. Novo. 2017. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 MSI images applied to amazon floodplain lakes. *Journal of Remote Sensing* 9: 322.
- 13- Tsai, Y., A. Dietz, C. Künzer and N. Oppelt. 2019. Snow cover extent mapping based on dual-polarimetric Sentinel-1 SAR data. *Geophysical Research Abstracts. Remote Sensing* 11: 1456.
- 14- Varade, D., and O. Dikshit. 2018. Estimation of surface snow wetness using sentinel-2 multispectral data. *Journal of Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 223-228.
- 15- Wang, Sh., B. Yang, Y. Zhou, F. Wang, R. Zhang and Q. Zhao. 2018. Snow cover mapping and ice avalanche monitoring from the satellite data of the sentinels. *Journal of Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 1765-1772.
- 16- Wasim, B. M., S. Gascoïn and L. Hanich. 2018. Assimilation of Sentinel-2 data into a snowpack model in the high atlas of Morocco. Peer-reviewed version available at *Remote Sensing* 1-22.

## Estimation of Snow Cover Level in Ardebil and Sarein Cities Using Sensor Data Sentinel2 MSI Satellite

S. Asghari Saraskanroud<sup>1\*</sup> and R. Modirzadeh<sup>2</sup>

(Received: June 7-2020; Accepted: December 19-2020)

### Abstract

Snow cover is one of the important climatic elements based on which climate change may have a special effect. In general, climate change may be reflected in different climatic elements. Therefore, it is very important to study and measure changes in snow level as one of the important sources of water supply. Ardebil and Sarein cities are located at 48° 18' east longitude and 38° 15' north latitude. In this study, Sentinel-2 optical satellite was used to monitor the snow cover surface in 2018, and NDVI, S3, NWDI, NDSI, Cloud mask indices were applied to detect snow-covered surfaces using ArcGIS and Snap software. Next, to validate the snow maps extracted from the images, it was compared with the snow data in terrestrial stations using linear regression in MATLAB software and to evaluate the accuracy of the model statistical indices including RMSE, MSE, BIAS, CORR were used. The present study showed that according to Ardabil city climatic conditions, maximum-snow covered area in January with an area of 356.52 km<sup>2</sup> and minimum snow-covered area in March with an area of 96.10 km<sup>2</sup>. The highest snow cover is observed in the high slope areas in the western slopes (Sabalan Mountain Heights) and the lowest snow cover is observed in the lower eastern slopes. The results of linear regression with generalization coefficient are 85% and the results of statistical indices of error are equal to MSE: 0.086, BASAS: 0.165, CORR: 0.924, and RMSE: 0.03. Correlation relationships between terrestrial data and estimated snow maps showed a high degree of correlation. This result is statistically significant at the 99% level. The use of optical images in estimating snow levels is very cost-effective due to the size of the areas and the high cost of installing snowmobiles. The results obtained in the present study indicated that traditional radar images with high spatial resolution and good correlation with terrestrial data can be a good alternative to snowmobiling ground stations at high altitudes or in passable areas.

**Keywords:** Snow coverage level, Sentinel-2, NDSI index, S3 index, Sarein, Ardebil

1. Department of Natural Geography, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

2. Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

\*: Corresponding author, Email: s.asghari@uma.ac.ir