

واژه‌های کلیدی: برآورد، پوشش برف، تصاویر، ماهواره،
لندست، شاخص **NDSI**

مقدمه

یکی از مهم‌ترین منابع آب در مناطق کوهستانی پوشش برف می‌باشد [۲۵]؛ که به‌طور قابل توجهی در میزان رواناب جاری شده در سطح زمین دخالت دارد [۲۷ و ۲۸]. پوشش برف یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده‌ی آب شیرین بوده و بر سیستم هیدرولوژی ارتفاعات مختلف در مناطق کوهستانی تأثیر می‌گذارد [۸]. سنجش از راه دور با توجه به مزیتی که دارد می‌تواند مناطق بزرگ با وضوح مکانی و زمانی بالا را کنترل کند [۱۸]. این فناوری توانایی اندازه‌گیری کمی خصوصیات فیزیکی برف و آب در مناطق دورافتاده و غیرقابل دسترس که اندازه‌گیری زمینی ممکن است گران‌قیمت و خطرناک باشد را فراهم می‌کند [۶]؛ بنابراین می‌توان گفت در حوضه‌هایی که فاقد آمار دقیقی از پوشش برف می‌باشند می‌توان از این فناوری برای استخراج پوشش برفی استفاده کرد [۹]. تحلیل دقیق مسائل برفی به مجموعه‌ای از مشاهدات درزمینه برف سنجی نیاز دارد که سنجنده‌های OLI و TIRS با داشتن مزیت‌های فراوان و با داشتن تعداد باندهای مناسب، ابزار مناسبی برای این منظور محسوب می‌شوند [۲۴]. طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای استخراج اطلاعات کاربردی محسوب می‌شود [۵]. از این رو، امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور باهدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به‌صورت عملیاتی اجرا می‌گردد [۱۴]. در این ارتباط، می‌توان الگوریتم‌های مختلفی را در پذیرش تصاویر باهدف طراحی مدل‌های واقعی به کار گرفت [۲۱]. در دهه‌های گذشته، تکنیک‌های به‌کاررفته در روند تهیه نقشه پوشش برف شامل پیمایش به‌وسیله ابزارهای متعددی بوده است [۲۸]؛ اما در حال حاضر، به دلیل پائین بودن هزینه‌ها (از نقطه‌نظرهای زمانی و مکانی) و وسعت محدوده پوشش برف، فن‌آوری سنجش‌ازدور به انتخابی منطقی مبدل شده است [۲۲]. برف حاصل از بارش منطقه‌ی کوهستانی البرز، نقش عمده‌ای در آبیاری زمین‌های کشاورزی و تأمین آب شرب شهرها و روستاها ایفا می‌کند. لذا تعیین سطح پوشش برف جهت برنامه‌ریزی، ضروری به نظر می‌رسد؛ سنجش‌ازدور و تصاویر حاصل از آن به‌عنوان ابزار کارآمد در این امر محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر از طریق شاخص **NDSI** برای برآورد نسبی سطح پوشش برف استفاده شده

برآورد مساحت پوشش برف با به‌کارگیری تصاویر
ماهواره‌ی لندست با استفاده از شاخص **NDSI**
(مطالعه موردی: محدوده علم کوه)

محمدرضا یوسفی روشن*^۱، رسول شریفی نجف‌آبادی^۲
تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۱/۰۶ تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
DOI: 10.22034/wmji.2024.2025474.1060

چکیده

با پیشرفت علم و فناوری، ماهواره‌های سنجش‌ازدور، کره زمین را به‌صورت دقیق و لحظه‌ای مورد مطالعه و پایش قرار می‌دهند. تصاویر ماهواره‌ای کاربردهای فراوانی دارد، برآورد سطح پوشش برف نقش مهمی در مطالعات هیدرولوژی دارد. شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی، امکان اندازه‌گیری زمینی جهت برآورد مساحت پوشش برف و تشکیل پایگاه داده‌ها وجود ندارد؛ به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای پردازش تصاویر به دلیل هزینه‌ی کم و پوشش وسیع؛ راهگشا بوده و در شناسایی مناطق برف‌گیر، برآورد مساحت پوشش برف و ارزیابی تغییرات آن؛ روش مناسبی است. هدف این تحقیق برآورد مساحت سطح پوشش نسبی برف است که به‌صورت نمونه قله علم کوه و محدوده آن در البرز غربی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای برآورد مساحت پوشش برف، از تصاویر ماهواره‌ی لندست به کار گرفته شد. از طریق نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳ پیش‌پردازش، پردازش و ترکیب اطلاعات انجام شد و با استفاده از شاخص پوشش برف (**NDSI**) در طول چهار دوره یک سال پوشش برف جدا و از طریق شیب فایل در نرم‌افزار Arc Map مساحت پوشش برف در تاریخ‌های اخذ تصاویر برآورد و مقایسه گردید. برآورد مساحت پوشش برف در مناطق مرتفع کوهستانی، ضرورت به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای را بیان نموده است. از نتایج روش فوق می‌توان به‌عنوان جایگزین ایستگاه‌های برف سنجی استفاده کرد و میزان آب ورودی حوزه‌های آبریز را برآورد نمود.

۱- گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران، ایمیل:
Email: mr.yousefiroshan@cfu.ac.ir

۲- گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

است. میر موسوی و صبور [۲۰] در مطالعه‌ای به پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران پرداختند. روش مورد استفاده در این مطالعه شاخص NDSI می‌باشد. بررسی نقشه‌های مربوط به تغییرات پوشش برفی در ماه آوریل نشان داد که در طول دوره‌ی مورد مطالعه، کم‌ترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۰۸ با $1040/01$ کیلومتر مربع و بیش‌ترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۷ با $10471/78$ کیلومتر مربع می‌باشد. جویباری مقدم و همکاران [۱۵] در تحقیق خود به تخمین سطح پوشیده از برف با استفاده از ماهواره‌ی لندست پرداخته‌اند. به این منظور ابتدا با بررسی رفتار طیفی برف، شاخص و حد آستانه مطلوب روی باندهای محدوده مرئی، مادون قرمز میانی و حرارتی طیف الکترومغناطیس، طراحی شده و پیکسل‌های برفی شناسایی شدند؛ سپس بر اساس قدرت تفکیک مکانی و تعداد پیکسل‌های شناسایی شده در مرحله قبل سطح پوشیده شده از برف تخمین زده شد. محمدپور و همکاران [۲۱] در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی مودیس به بررسی میزان اختلاف در بازتابش باندهای مختلف در تصاویر پرداختند، آن‌ها با به کار بردن شاخص پوشش برفی (NDSI) در تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی در نرم‌افزارهای ArcMap و Erdas سطح پوشش برف را استخراج کردند. نتایج نشان داد که شاخص پوشش برفی همراه با آستانه گذاری طیفی روی باند ۲ و ۴ رابطه‌ای پایدار در استخراج نقشه پوشش برفی دارد. در پژوهشی حلییان و همکاران [۹] به بررسی ارتباط پوشش برف و دمای سطح زمین با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع در ارتفاعات البرز مرکز با استفاده از داده‌های ماهواره ترا و آکوا در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ پرداخته‌اند نتایج این پژوهش نشان داد ارتباط واضحی بین افزایش ارتفاع و افزایش پوشش برف در ارتفاعات البرز مرکزی وجود دارد. سیفی [۲۵] با استفاده از تصاویر سنجنده OLI، مساحت سطح پوشش برف محدوده کوهستانی سبلان را $2142/62$ کیلومتر مربع برآورد نمود و اعلام کرد که از نتایج سنجنش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به‌عنوان جایگزین ایستگاه‌های برف سنجی استفاده کرد.

یوسفی روشن [۳۱] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ از طریق شاخص NDSI مساحت سطح پوشش برف در تاریخ اخذ تصاویر روی قله دماوند و محدوده مورد مطالعه $25/57$ کیلومتر مربع برآورد نموده است. اصغری سراسکانرود و همکاران [۲] در پژوهشی مساحت سطح پوشش برف و مقدار دمای سطح زمین به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از سنجنده مودیس در حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سطح پوشش برف با ارتفاع رابطه مستقیمی دارد، به‌طوری‌که در ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر در همه فصل‌ها به‌جز تابستان حدود $0/98$ برف وجود دارد، هر چه ارتفاع کاهش می‌یابد، درصد سطح پوشش برف در منطقه کاهش پیدا می‌کند.

جیمینز مونوز و همکاران [۱۳] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنش‌ازدوری لندست ۸ سطح پوشش برف را تخمین زدند. به

این صورت که با استفاده از باندهای مرئی، مادون قرمز و حرارتی پیکسل‌های برفی را از تصویر منطقه‌ی مورد مطالعه استخراج کرده و سطح پوشش برف را به دست آوردند. داریان و همکاران [۷] در تحقیقی که برای منطقه کوهستانی البرز مرکزی در شمال ایران انجام دادند، به مقایسه تغییرات سطوح برف طی سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۵ پرداختند و با توسعه الگوریتم حذف متوالی ابر، سطح برف را با دقت بیش‌تری از طریق تصاویر ماهواره‌ای مودیس ۲ برآورد کردند. نتایج تحقیق نشان داد که میزان سطح برف منطقه کوهستانی البرز مرکزی در یک دوره کوتاه‌مدت (۱۳ سال) کاهش شدیدی را داشته است. وانگ و همکاران [۳۰] با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های پامیر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پوشش برف در کوهستان‌های پامیر در طول دوره مورد مطالعه کاهش یافته است. غلام و همکاران [۱۲] داده‌های چند منبع ماهواره‌ای را برای بررسی تغییرات و روند پوشش برف در منطقه هیمالیا مورد استفاده قرار دادند، نتایج نشان داد که مساحت پوشش برف در منطقه هیمالیا در حال کاهش است.

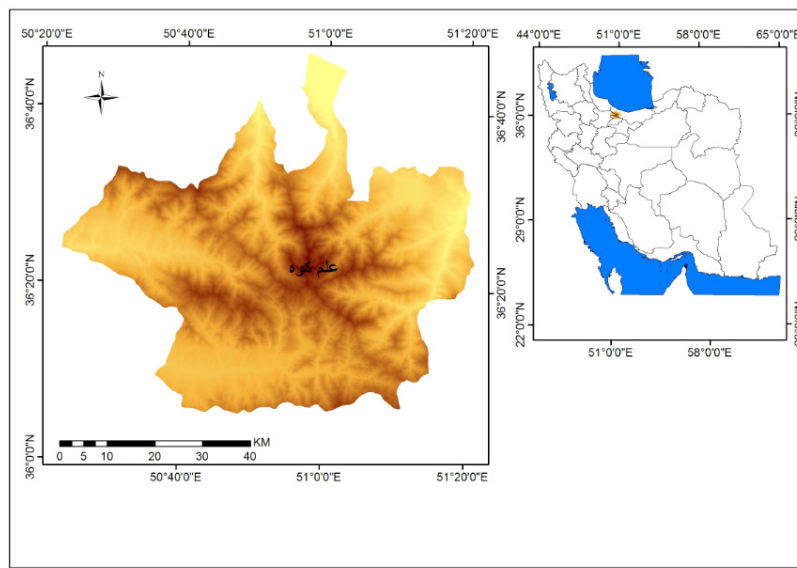
لیو و همکاران [۱۷] با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام در یک بازه زمانی ۲۰ ساله را با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دادند. بهارذواج و همکاران [۳] به بررسی پوشش برفی منطقه هندوکش هیمالیا پرداخته‌اند. آن‌ها در مطالعه خود از تصاویر ۸ روزه مودیس استفاده کردند و برای اعتبار سنجی و ارزیابی دقت محصولات برفی از ماهواره‌های لندست ۸ و لندست ۷ استفاده شده است. مشخص شد که حداکثر مساحت پوشش برفی در ۲ فوریه ۲۰۰۸ بوده که برابر با یک میلیون کیلومتر مربع و حداقل مساحت پوشش برفی در ۲۸ جولای ۲۰۱۳ و برابر با 293775 میلیون کیلومتر مربع بوده است. لذا هدف از این تحقیق، برآورد سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست از طریق شاخص NDSI محدوده علم‌کوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق قله علم‌کوه و محدوده آن مورد مطالعه قرار گرفته است. علم‌کوه، کوهی واقع در شمال ایران است که دومین کوه بلند ایران پس از دماوند است. علم‌کوه در جنوب دریای مازندران و بخش رشته‌کوه البرز غربی جای دارد (شکل ۱).

مهم‌ترین ویژگی پیکرشناسی ناحیه علم‌کوه وجود یک باتولیت با دو قله بلند یکی از این دو، علم‌کوه و دیگری تخت سلیمان نام دارند [۱]. باتولیت علم‌کوه از گرانیت می‌باشد و سن آن را سه تا پنج میلیون سال قبل (پلیوسن) می‌دانند [۱۶]. مهم‌ترین توده یخچالی ناحیه علم‌کوه همان یخچال علم چال است. یخچال علم چال عظیم و پرشیب است. رأس یخچال در ارتفاع ۴۲۰۰ متری (پای دیواره علم‌کوه) قرار دارد و زبانه آن تا ارتفاع ۳۹۰۰ متری



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۲۶۶ درصد و مناطقی که شیب بالای ۱۰۰ درصد دارند نشان دهنده شیب بالای ۴۵ درجه است (شکل ۳). نقشه طبقه‌بندی DEM منطقه به هشت کلاس طبقه‌بندی شد، رودهایی که از حوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه سرچشمه می‌گیرند، شش حوضه را در بر می‌گیرد، علاوه بر این منطقه علم‌کوه دارای یخچال دائمی کوهستانی است و همین امر سبب سرچشمه چندین رودخانه گردید که در نقشه ارتفاعات در قسمت مرکز و چندین دره رودخانه را به‌خوبی نمایش می‌دهد (شکل ۳).

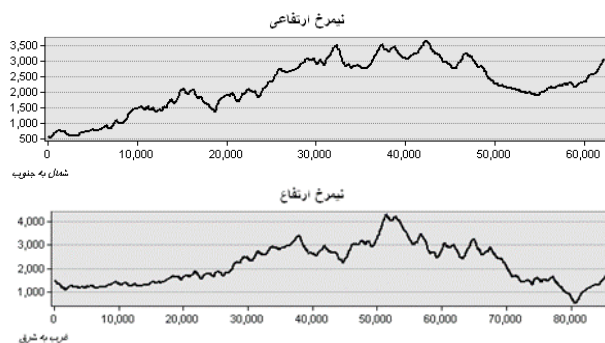
با توجه به نقشه جهت شیب، تمامی مناطقی را که دارای سطوح شیب رو به جنوب هستند، میزان ذوب برف‌ها زودتر از سایر جاها بوده و به آب تبدیل می‌شود، لذا دامنه‌های جنوبی که میزان نور دریافتی بیش‌تر است، میزان ذوب برف‌ها بیش‌تر می‌باشد (شکل ۴).

روش‌ها

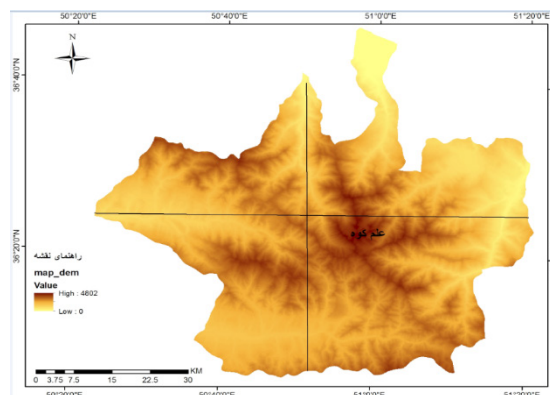
در این مقاله از طریق سنجش‌ازدور و پردازش تصاویر ماهواره‌ی لندست ۹ و ۸ سطح پوشش برف با استفاده از شاخص NDSI

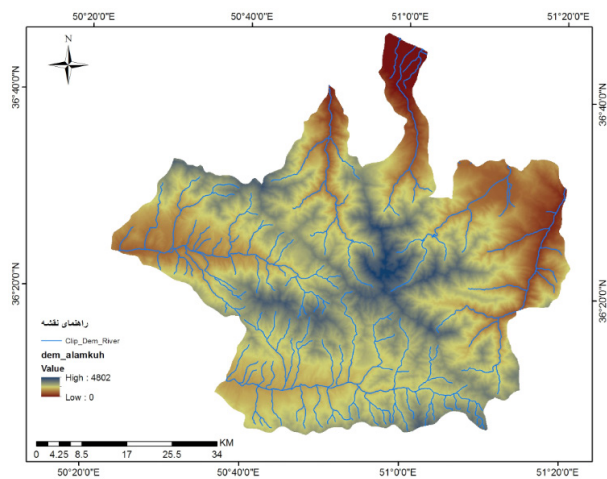
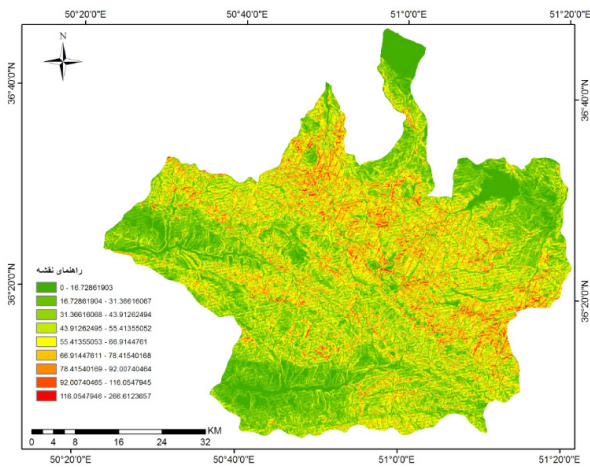
(یخچال سرچال) کشیده شده است. طول زمانه آن کمی بیش از ۷ کیلومتر می‌باشد. یخچال علم چال حرکت دارد و اثر حرکت به‌صورت پدیده ریماک بین توده یخ و دیواره علم‌کوه به‌خوبی دیده می‌شود [۱]. توپوگرافی کنونی توده علم‌کوه در حاشیه شرقی از دو برجستگی مشخص تشکیل شده است. فرورفتگی بین این دو قله حاصل فرسایش یخچالی دره‌های مجاور می‌باشد [۳۰]. با توجه به نقشه DEM منطقه مورد مطالعه، بالاترین ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۴۸۰۲ متر می‌باشد (شکل ۲)، نیم‌رخ ارتفاعی و تغییرات ارتفاع را با جهت غربی - شرقی و شمالی - جنوبی و میزان ذخیره برف را بخصوص در روی قله علم‌کوه نشان می‌دهد که بر اثر ذوب برف، سرچشمه تعدادی از رودخانه‌ها است (شکل ۲).

در زمینه مطالعات مرتبط با ژئومورفولوژی و تعیین تغییرات شکل زمین، شیب یکی از متغیرهای اساسی و تعیین‌کننده است. مشخص کردن اینکه هر بخش از منطقه دارای چه مقدار شیبی است می‌تواند راه‌گشای بسیاری از مطالعات در زمینه‌ی ژئومورفولوژی می‌باشد. با توجه به نقشه شیب، تغییرات شیب منطقه مورد مطالعه بین صفر تا

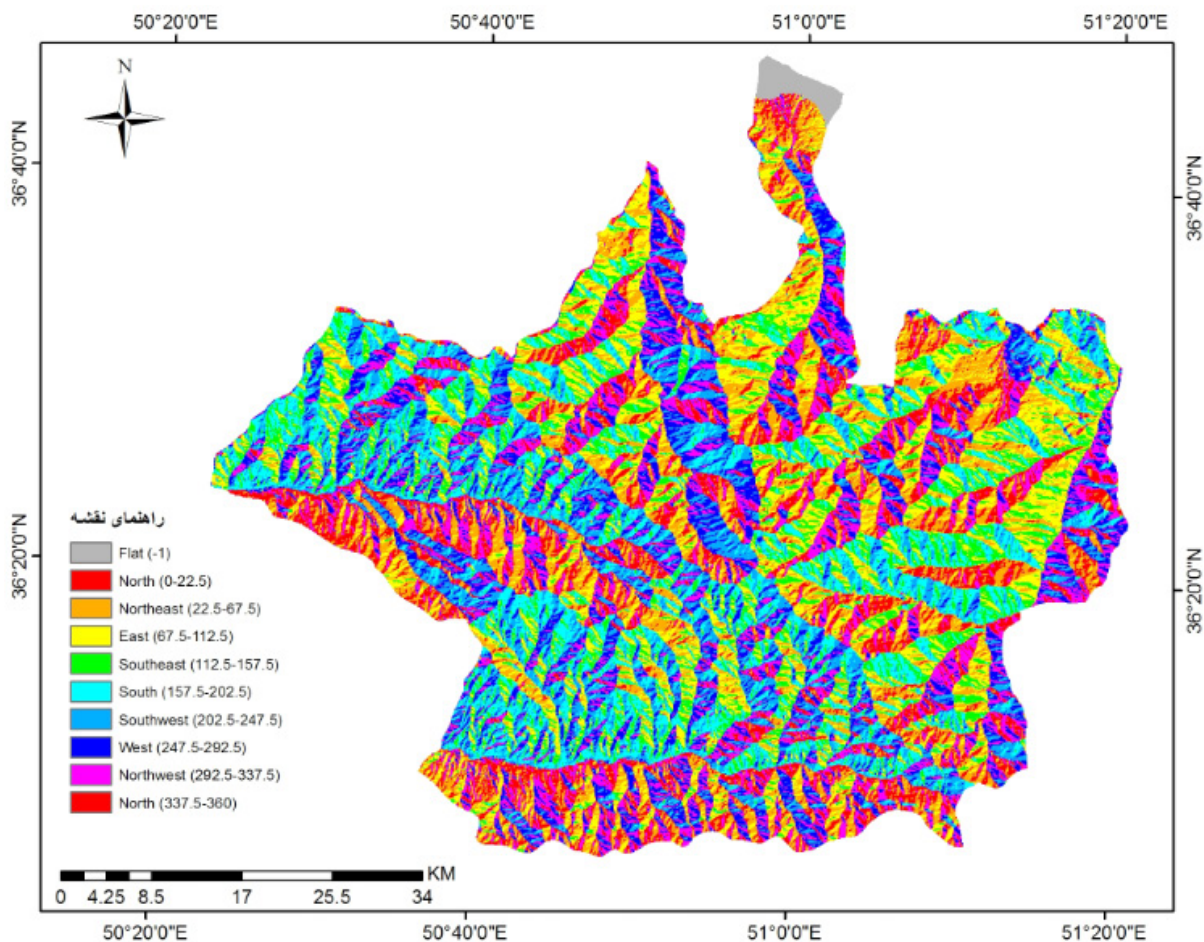


شکل ۲: نقشه DEM و نیم‌رخ ارتفاعی غربی-شرقی و شمالی-جنوبی منطقه مورد مطالعه





شکل ۳: نقشه شیب و نقشه طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه جهت شیب و سایه و روشن منطقه مورد مطالعه

آن رنگ‌آمیزی می‌شود. جهت برآورد سطح پوشش برف در قله علم‌کوه و محدوده مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ی لندست ۹ و ۸ مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تصاویر ماهواره لندست ۹ و ۸ با شماره گذر ۱۶۵ و شماره ردیف ۰۳۵ فصل پائیز و زمستان از

محاسبه گردید. شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) در واقع یک شاخص عددی است که پوشش برف روی سطح زمین را مشخص می‌کند. این شاخص با اندازه‌گیری مقدار نسبی اختلاف بازتاب نور مرئی سبز و مادون قرمز با طول موج کوتاه (- SWIR Infrared Short-Wave) محاسب و نقشه پوشش برف به وسیله‌ی

جدول ۱: باندهای لندست ۹

Band	نام باند	رزولوشن مکانی به متر Resolution	Wavelength (micrometers)
Band 1	Coastal Aerosol	۳۰	۰/۴۳-۰/۴۵
Band 2	Blue	۳۰	۰/۴۵-۰/۵۱
Band 3	Green	۳۰	۰/۵۳-۰/۵۹
Band 4	Red	۳۰	۰/۶۴-۰/۶۷
Band 5	Near Infrared (NIR)	۳۰	۰/۸۵-۰/۸۸
Band 6	Shortwave Infrared (SWIR) 1	۳۰	۱/۵۷-۱/۶۵
Band 7	Shortwave Infrared (SWIR) 2	۳۰	۲/۱۱-۲/۲۹
Band 8	Panchromatic	۱۵	۰/۵۰-۰/۶۸
Band 9	Cirrus	۳۰	۱/۳۶-۱/۳۸
Band 10	Thermal Infrared (TIRS) 1	۱۰۰	۱۰/۶-۱۱/۱۹
Band 11	Thermal Infrared (TIRS) 2	۱۰۰	۱۱/۵۰-۱۲/۵۱

DEM منطقه برش زده شد و به عنوان یک فایل مینا برای تحلیل‌های سطوح، نقشه‌ها مورد نیاز منطقه تهیه شد. جهت تهیه نقشه‌ی حوزه آبریز منطقه مورد مطالعه از تارنما^۲ شیب فایل حوزه آبریز، رودخانه‌های اصلی و شاخه‌های آن دانلود و نقشه‌های مورد نیاز در نرم‌افزار Arc Map تهیه گردید.

نتایج و بحث

در سنجش‌ازدور شناسایی اهداف از طریق انرژی‌های رسیده به سنجنده از طریق بازتاب و گسیل امواج الکترومغناطیسی ایجاد شده میسر می‌باشد [۵]. پردازش تصویر رقومی ممکن است شامل روش‌های متعددی از جمله قالب‌بندی و تصحیح داده‌ها، افزایش رقومی برای تسهیل تفسیر بصری بهتر یا طبقه‌بندی خودکار با کامپیوتر باشد [۵]. تصاویر ماهواره لندست از سال ۱۹۷۲ میلادی در دسترس است، جز با ارزش‌ترین تصاویر ماهواره‌ای سطح زمین محسوب می‌شود. ماهواره لندست ۹ یک پروژه مشترک بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا است، ماهواره لندست ۹ در ۲۷ سپتامبر ۲۰۲۱ در مدار زمین قرار گرفت و ۱۱ فوریه ۲۰۲۲ تصاویر این ماهواره در اختیار عموم مردم قرار دادند. تصاویر ماهواره لندست ۹ شبیه تصاویر ماهواره لندست ۸ است، ولی یک سری تفاوت‌هایی دارد. لندست ۹ دارای ۲ سنجنده OLI-2^۳ و TIRS-2^۴ می‌باشد ماهواره لندست ۹ دارای ۱۱ باند (جدول ۱) در محدوده‌های مرئی، مادون‌قرمز، مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه و حرارتی تصویربرداری می‌کند. توان تفکیک ۳۰ متری برای سنجنده OLI-2 (باند پانکروماتیک ۱۵ متری)، توان تفکیکی ۱۰۰ متری برای سنجنده TIRS-2، توان تفکیک زمانی ۱۶ روز و توان تفکیک رادیومتریکی ۱۴ بیت می‌باشد. تفاوت تصاویر لندست ۸ و ۹ در توان تفکیک

وب‌سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^۱ دانلود گردید. ماهواره لندست از دو سنجنده تصویربرداری برخوردار است. یکی سنجنده OLI و دیگری سنجنده TIRS، سنجنده OLI از ۹ باند طیفی در محدوده مرئی و مادون‌قرمز بازتابی برخوردار است. همچنین سنجنده TIRS نیز از دو باند حرارتی برخوردار است. بعد از دانلود تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ و ۸ در نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳ قله علم‌کوه و حوضه‌های آبریز محدود شده آن، برش زده شد، تصحیحات اتمسفری و فرمول نویسی روی تصاویر ماهواره‌ای و محاسبات بین‌باندی بر اساس اصول و قواعد برنامه‌نویسی IDL انجام شد. جهت محاسبه شاخص کاربردی در زمینه پوشش برف NDSI در نرم‌افزار ENVI از طریق دستور Spectral Indices شاخص NDSI (Normalized Difference Snow Index) انتخاب شده است. در نرم‌افزار ENVI از دستور Band Threshold ROI میزان ROI به دست آمد، سپس در Data Manager مقادیر ROI در موقعیت ۰/۳ تا ۱ نمایش داده شد. جهت برآورد سطح پوشش برف، خروجی Shape File در ENVI انجام شد. فایل خروجی شیب فایل در Arc Map فراخوانی و سطح پوشش برف برحسب کیلومتر مربع در تاریخ اخذ تصاویر ماهواره محاسبه گردید. داده‌های مورد استفاده در این مقاله علاوه بر تصاویر ماهواره‌ی لندست ۹ فصل پائیز و زمستان، تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ فصل پائیز و زمستان از وب‌سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ دانلود گردید، تصحیحات رادیومتریکی، تصحیحات اتمسفریک، تصاویر Rescale و شاخص NDSI روی تصاویر اعمال و مساحت پوشش برف فصل پائیز و فصل زمستان تصاویر دو ماهواره لندست محاسبه و باهم مقایسه شد.

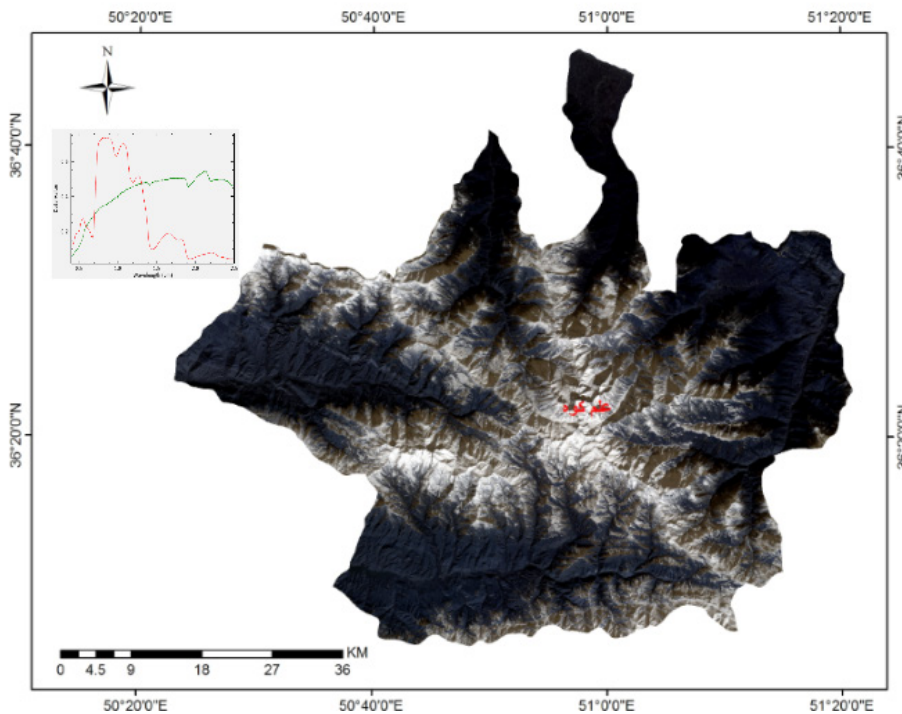
علاوه بر این فایل مدل رقومی ارتفاع از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا؛ مجموعه SRTM قسمت 'Arc Second Global SRTM' Arc Second Global SRTM^۱ در دسترس است. تصاویر ماهواره‌ای نقشه

2. <https://mghydro.com/watersheds/>

3. Operational Land Imager2

4. Thermal Infrared Sensor2

1. <https://earthexplorer.usgs.gov>



شکل ۵: تصحیحات اتمسفریک منطقه مورد مطالعه با روش Dark Subtraction

از سایر پدیده‌ها جدا می‌کند، یکی از این شاخص‌ها، شاخص NDSI که بر اساس رابطه بین باندها، در برآورد سطح پوشش برف کاربرد دارد. در سنجش‌ازدور تغییرات نسبی پدیده‌ها، مساحت پوشش برف که کم یا زیاد شده است را به ما نشان می‌دهد، اما مقادیر مطلق را نمی‌تواند برآورد کند، لذا در سنجش‌ازدور یک برآورد نسبی پدیده‌ها وجود دارد. تصحیحات اتمسفری لندست ۹ به دو روش صورت گرفت؛ از طریق روش Dark Subtraction که حداقل هر باند به‌عنوان خطا در نظر گرفته و تمام باندها را کم می‌کند و با این روش تصحیحات اتمسفری لندست ۹ منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است (شکل ۵). جهت بررسی نتایج اتمسفریک، از طریق کتابخانه طیفی^۳ رفتارهای طیفی پوشش گیاهی و خاک مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵).

روش دوم جهت تصحیح اتمسفری از طریق دستور Quick Atmospheric Correction (QUAC) در نرم‌افزار ENVI فراخوانی شد، تصویر لندست برش زده شده منطقه مورد مطالعه را انتخاب و Sensor Type را Landsat TM/ETM/OLI معرفی شد (شکل ۶).

از طریق Quick Stats گرفته شده مقادیر ۰ و ۱ نبود، لذا جهت تبدیل به مقادیر ۰ و ۱ از طریق Band Math فرمول به صورت زیر نوشته شده و مقادیر ۰ و ۱ تبدیل شده است (شکل ۷).

$$\text{float}((b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 \leq 10000) * \text{float}(b1/10000.0))$$

برای فرمول نویسی روی تصاویر ماهواره‌ای و محاسبات بین‌باندی در نرم‌افزار ENVI بر اساس اصول و قواعد زبان برنامه‌نویسی IDL

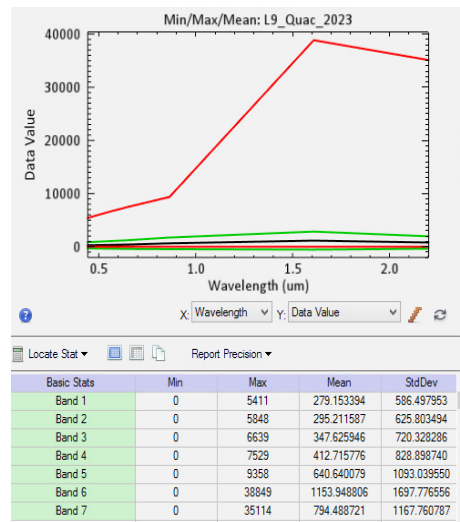
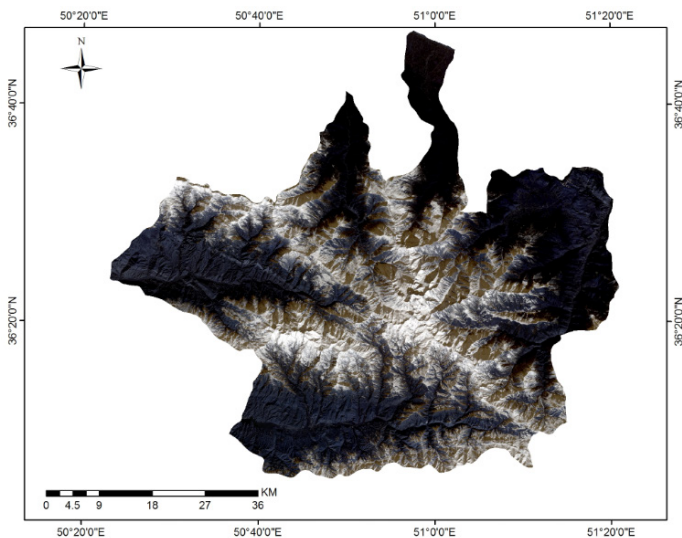
3. Spectral Library Viewer

رادیومتریکی (لندست ۸، ۱۲ بیتی)، نسبت سیگنال به نویز و بهبود دقت هندسی در لندست ۹ می‌باشد.

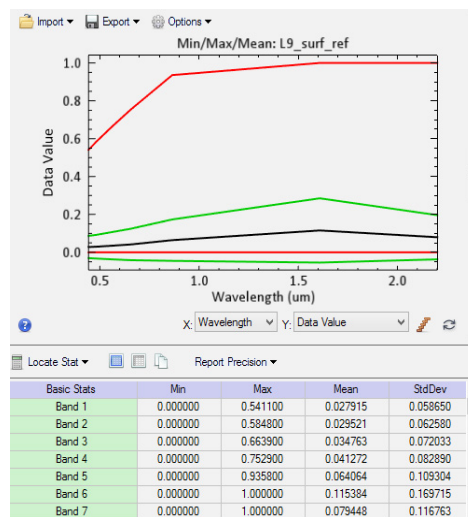
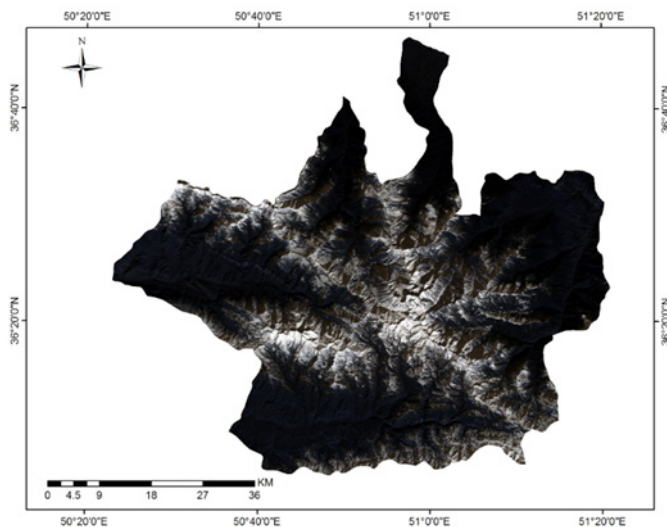
تصاویر ماهواره لندست دارای دو مجموعه^۱ یک و دو می‌باشد. هر کدام از مجموعه لندست در دو سطح^۲ مختلف ارائه می‌شود. بر اساس سطوح پردازش که روی تصاویر صورت می‌گیرد، در دسترس عموم می‌باشد. کالکشن^۱ سطح اول، تصاویر خامی است که نه تصحیحات اتمسفری روی آن صورت گرفته است و نه رادیومتریکی و پیش‌پردازش نشده است و کاربر باید آن را انجام دهد. کالکشن^۲ سطح دو، تصاویری است که تصحیحات رادیومتریکی روی آن صورت گرفته است اما کاربر باید تصحیحات اتمسفری را انجام دهد. کالکشن^۳ سطح اول، این تصاویر روی آن تصحیحات رادیومتریکی صورت گرفته است و لازم است که کاربر تصحیحات اتمسفری را انجام دهد. کالکشن^۲ سطح دو، روی این تصاویر هم تصحیحات اتمسفری و هم تصحیحات رادیومتریکی صورت گرفته است. البته در مجموعه^۲ سطح ۳ وجود دارد که پروداکت‌های آماده می‌باشند.

در تصاویر ماهواره‌ی لندست ۹ مجموعه^۲ سطح^۱، تصحیحات رادیومتریکی روی تصاویر صورت گرفته است و به رادیانس تبدیل شده است و نیاز است که تصحیحات اتمسفریک روی تصاویر صورت گیرد. نرم‌افزار ENVI یک سیستم تحلیل تصاویر هست که قابلیت تحلیل تصاویر را می‌تواند برای ما فراهم کند. شاخص‌های طیفی فرمول‌های بین‌باندی هستند که یک یا چند هدف و پدیده را

1. Collection
2. Level



شکل ۶: تصحیحات اتمسفریک منطقه مورد مطالعه با روش QUAC



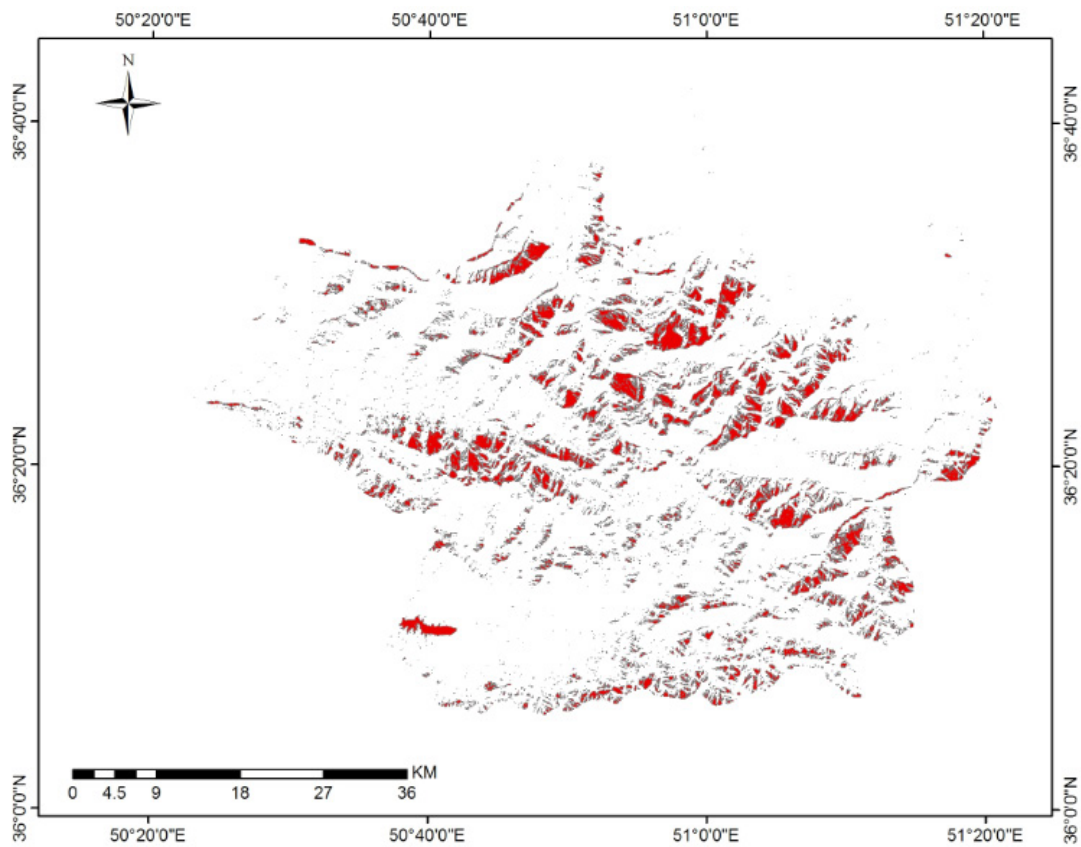
شکل ۷: نقشه Surface Reflectance و Quick Stats مقادیر بین ۰ و ۱

۲۰۲۳/۱۲/۱۶ تصاویر ماهواره‌ی لندست ۳۰۶/۰۳ کیلومترمربع در روی قله علم‌کوه و محدوده مورد مطالعه برای فصل پائیز برآورد شده است (شکل ۸). لذا با توجه به اینکه بیش‌تر مناطق برف‌گیر ایران در مناطق کوهستانی قرار دارند در این مناطق ایستگاه هواشناسی و اندازه‌گیری برف توسعه‌نیافته است، در نتیجه انباشت و مساحت پوشش برف در این مناطق اندازه‌گیری نمی‌شود که از نتایج روش فوق می‌توان به‌عنوان جایگزین ایستگاه‌های برف سنجی استفاده کرد. جهت مقایسه مساحت پوشش برف، تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ تاریخ ۲۰۲۳/۱۱/۲۲ دانلود گردید، برش تصاویر بر اساس شیب فایل منطقه مورد مطالعه انجام شد، تصحیحات رادیومتریک، تصحیحات اتمسفریک، فرمول نویسی مقادیر بین ۰ تا ۱ روی تصویر Rescale شده اعمال و شاخص NDSI صورت گرفت و مقادیر ROI بین ۰/۰۳ تا ۰/۳، مساحت پوشش برف در این روز ۸۳۷/۴۳ کیلومترمربع برآورده شده است (شکل ۹).

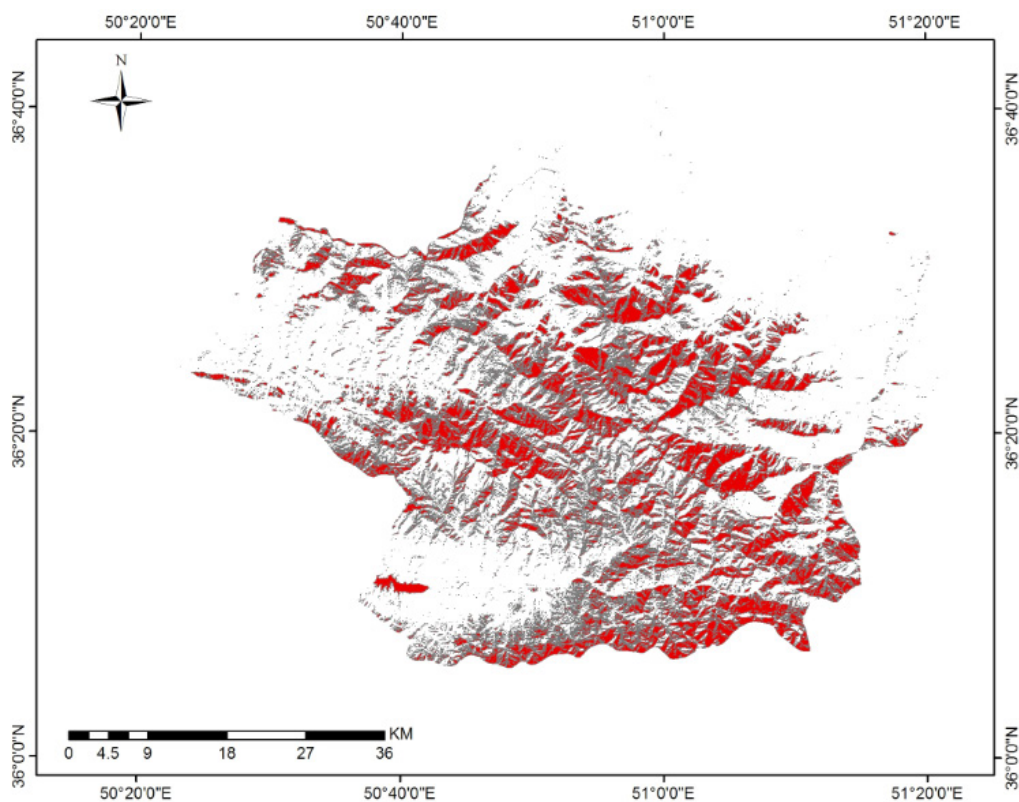
بدین صورت نوشته شد:

$$\text{float}((b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 \leq 10000) * \text{float}(b1/10000.0))$$

سپس در نرم‌افزار ENVI دستور Spectral Indices Rescale شده علم‌کوه و محدوده مورد مطالعه را انتخاب و شاخص NDSI ((Normalized Difference Snow Index) شاخص برآورد سطح پوشش برف انتخاب شد. در نرم‌افزار ENVI از دستور Band Threshold ROI که یکی از کاربردی‌ترین دستورات تکنیکی می‌باشد ROI به دست آمد، در Data Manager مقادیر ROI بین ۰/۰۳ تا ۱ قرار داده شد که در شکل ۸ رنگ قرمز پوشش برف منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جهت بررسی مساحت پوشش برف، خروجی Shape File در ENVI انجام شد. فایل خروجی شیب فایل در Arc Map فراخوانی شد. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ با مقادیر ROI بین ۰/۰۳ تا ۱، مساحت سطح پوشش برف در تاریخ



شکل ۸: نقشه پوشش برف NDSI علم کوه و محدوده مورد مطالعه تصاویر لندست ۹



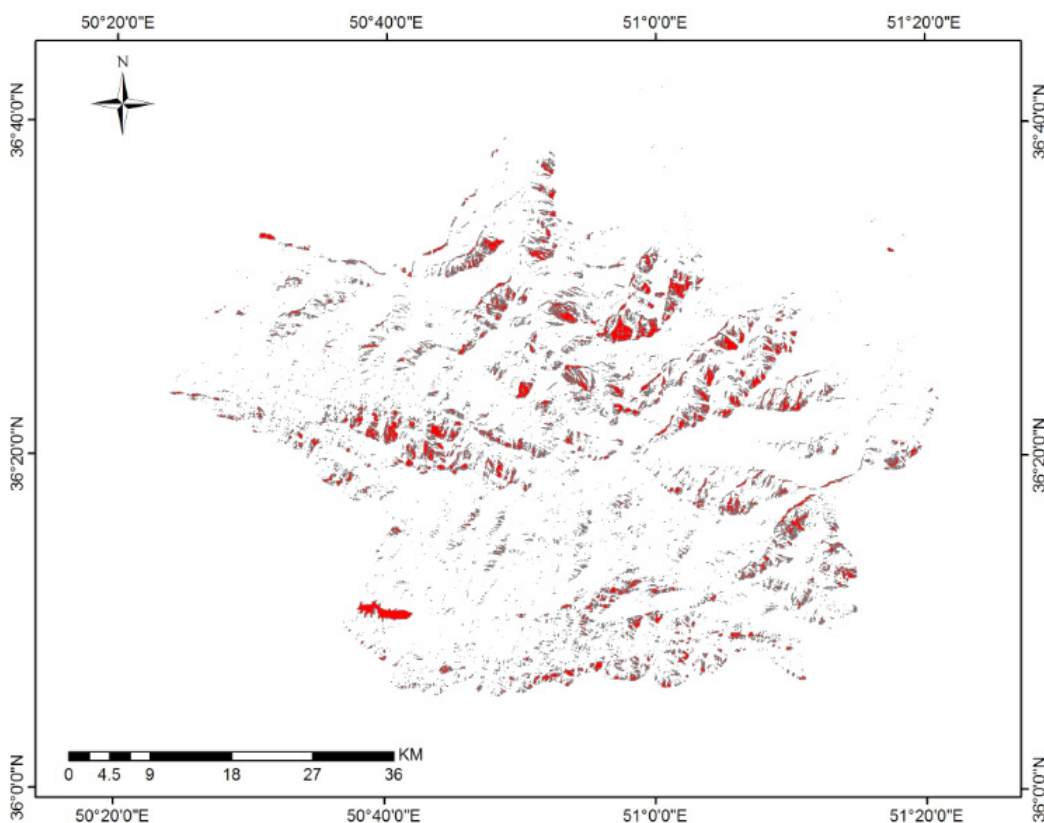
شکل ۹: نقشه پوشش برف NDSI علم کوه و محدوده مورد مطالعه، تصاویر ماهواره لندست ۸

فصل پائیز هست، در تاریخ فوق و روزهای قبل از آن بارش منطقه زیاد بوده است، برای لندست ۹ در تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۶ مساحت پوشش برف ۳۰۶۷۰۳ کیلومترمربع برآورد شده است. برای فصل زمستان تصاویر لندست ۹ تاریخ ۲۰۲۴/۰۱/۱۷ که کمترین پوشش ابری در روی تصویر وجود داشت دانلود گردید و در این تاریخ مساحت پوشش برف ۱۹۸/۲۵ کیلومترمربع برآورد شده است، جدیدترین تصاویر لندست ۸ که از نظر فصل و پوشش ابر و تاریخ با لندست ۹ نزدیک بود، تصاویر تاریخ ۲۰۲۴/۰۳/۱۳ بود که در این تاریخ مساحت پوشش برف را ۲۲۵/۱۶ کیلومترمربع برآورد نموده است. لازم به ذکر است که برآورد پوشش برف از طریق تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای سنجش‌ازدور به صورت نسبی است. در تصاویر لندست ۹ توان تفکیک رادیومتریکی ۱۴ بیتی هست، نسبت به لندست ۸ که توان تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی هست، دقیق‌تر است. علاوه بر این بارش می‌تواند در کاهش یا افزایش مساحت پوشش برف در منطقه‌ی مورد مطالعه تأثیر داشته باشد. لذا تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای سنجش‌ازدور نقش مهم و کاربردی در زمینه‌ی برنامه‌ریزی محلی، منطقه‌ای و در سطح کلان ملی برای مدیران خواهد داشت.

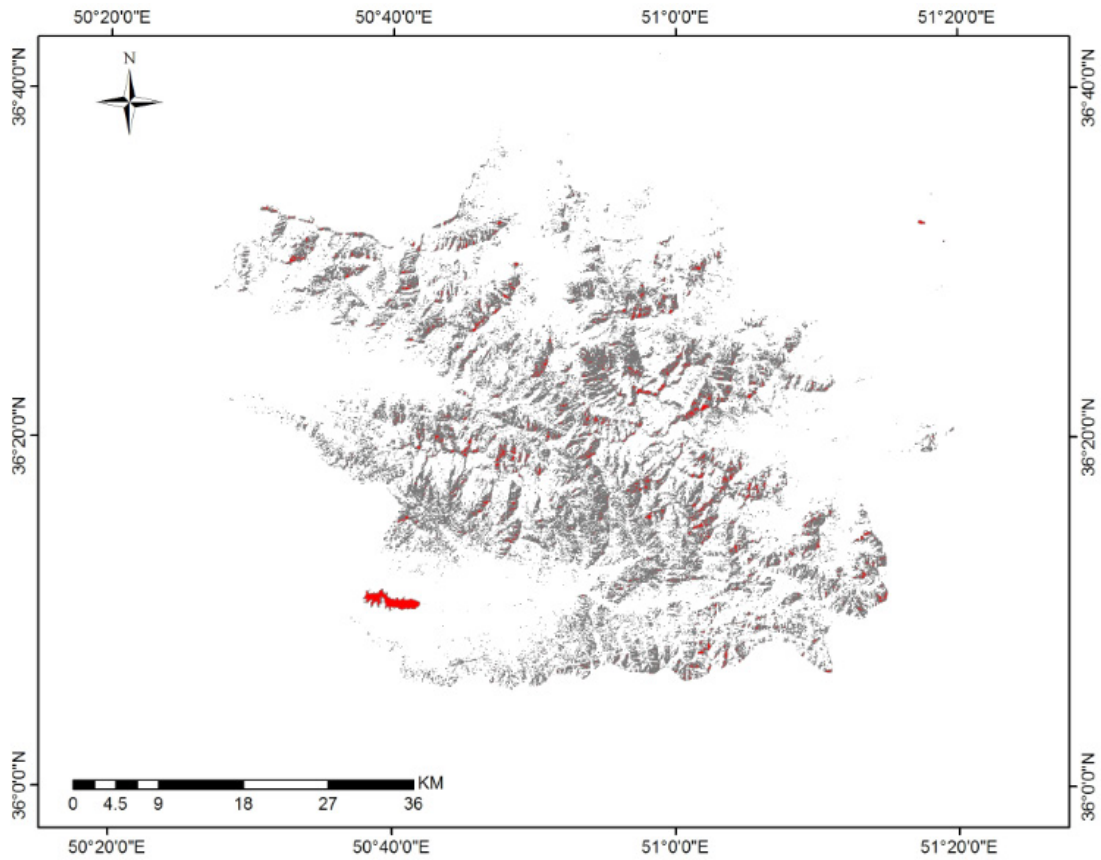
علاوه بر این جهت مقایسه مساحت پوشش برف، تصاویر ماهواره لندست ۹ تاریخ ۲۰۲۴/۰۱/۱۷ که کمترین پوشش ابر در روی تصاویر وجود داشت برای فصل زمستان دانلود گردید، بعد از تصحیحات اتمسفریک و فرمول نویسی در نرم‌افزار ENVI و مقادیر ROI بین ۰/۰۳ تا ۱، مساحت پوشش برف در این روز ۱۹۸/۲۵ کیلومترمربع برآورد شده است (شکل ۱۰).

برای فصل زمستان تصاویر ماهواره لندست ۸ تاریخ ۲۰۲۴/۰۳/۱۳ که نزدیک‌ترین تاریخ به تصاویر ماهواره‌ی لندست ۹ بود و کمترین پوشش برف در روی تصاویر وجود داشت دانلود گردید، از طریق شیب فایل منطقه مورد تصاویر Multispectral برش زده شد، تصحیحات رادیومتریکی، تصحیحات اتمسفریک، از طریق Band math و اعمال فرمول فرایند تغییرمقیاس مقادیر تصاویر بین ۰ تا ۱ قرار گرفت و مقادیر ROI بین ۰/۰۳ تا ۱، مساحت پوشش برف در این روز ۲۲۵/۱۶ کیلومترمربع برآورد شده است (شکل ۱۱).

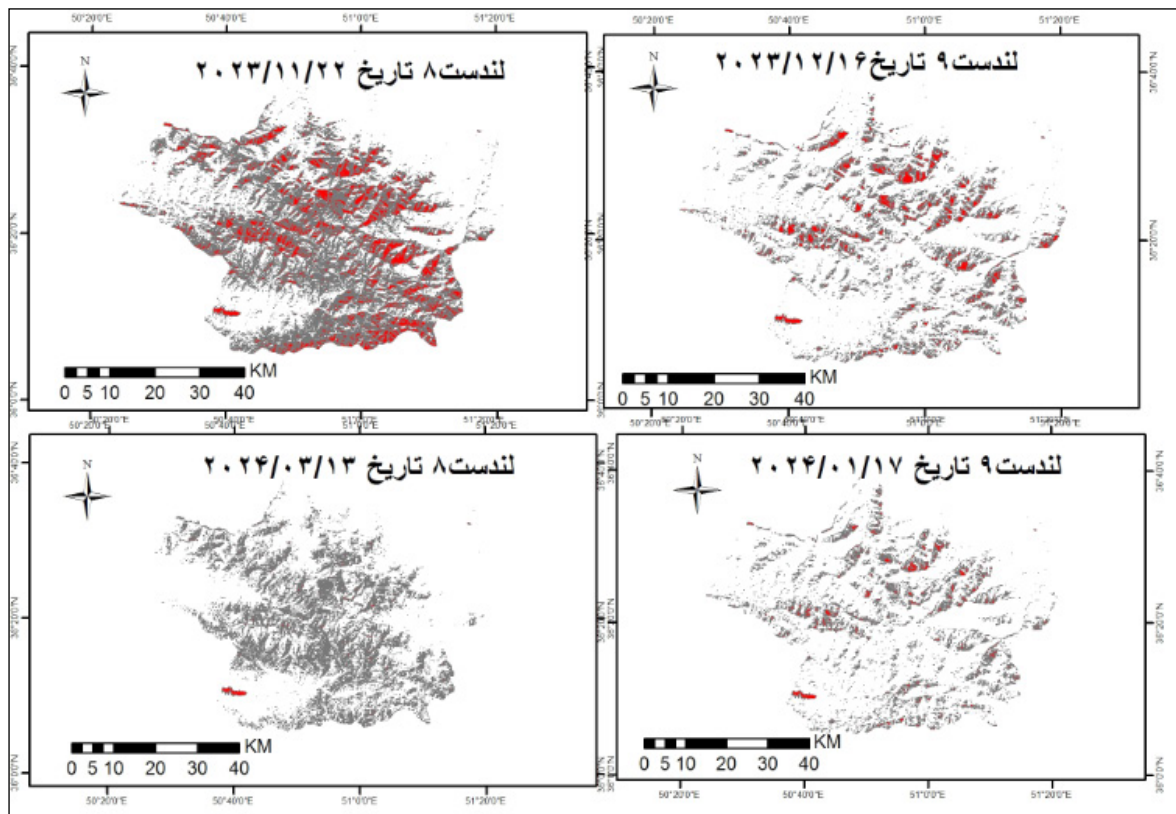
شکل ۱۲ چهار نقشه نهایی پوشش برف لندست ۹ و لندست ۸ منطقه مورد مطالعه برای فصل پائیز و زمستان را نشان می‌دهد. بیشترین مساحت پوشش برف مربوط به تاریخ ۲۰۲۳/۱۱/۲۲ لندست ۸ فصل پائیز که ۸۳۷/۴۳ کیلومترمربع برآورد شده است، با توجه به اینکه بیشترین بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به



شکل ۱۰: نقشه پوشش برف NDSI علم‌کوه و محدوده مورد مطالعه، تصاویر ماهواره لندست ۹



شکل ۱۲: نقشه نهایی پوشش برف علم کوه و محدوده مورد مطالعه لندست ۸ و ۹ فصل پائیز و زمستان



شکل ۱۱: نقشه پوشش برف NDSI علم کوه و محدوده مورد مطالعه، تصاویر ماهواره لندست ۸

Mitigated Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS) Snow Cover Data. Sustainable Infrastructure Development, 105–115.

4. Canadian Center for Remote Sensing. 2018. Fundamentals of Applied Remote Sensing, translated by Valizadeh Kamran, Khalil and Mahdavi Fard, Mostafa, Tehran, Satellite Publications.

5. Blaschke, T. 2010. Object Based Image Analysis for Remote Sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Remote Sensing of Environment, 65 (1), 2-16.

6. Custodio, E., Cabrera, M.D.C., Poncela, R., Puga, L.O., Skupien, E., and Del Villar, A. 2016. Groundwater intensive exploitation and mining in Gran Canaria and Tenerife, Canary Islands, Spain. Hydrogeological, environmental, economic and social aspects, Science of the Total Environment, 557, 425–437.

7. Dariane, A. Khoramian, A., and Alireza, E. 2017. Investigating Spatiotemporal Snow Cover Variability via Cloud-Free MODIS Snow Cover Product in Central Alborz Region. Remote Sensing of Environment, RSE-10284, Pages 14.

8. Donmez, C., Çiçekli, S.Y., Cilek, A., and Arslan, A. 2020. Mapping snow cover using landsat data: toward a fine-resolution water-resistant snow index. Meteorology and Atmospheric Physics. 10.1007/s00703-020-00749-y.

9. Hallbian, 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. Quantitative Geomorphological Research, 9(2), 227-249. (In persian).

10. Haghizadeh, A., Yousefi, H., Yarahmadi, Y., and Kiyani, A. 2020. Simulation of Climate Change Impact on Snowmelt Runoff (case study: Sarab Seyed Ali Watershed - Lorestan). Water and Irrigation Management, 10(1), 101-112.

11. <https://mghydro.com/watersheds/>

12. Ghulam, A., Zaman, Q. U., Ahmad, S., and Babel, M. S. 2021. Assessment of snow cover variability and trends in the Hindu Kush Himalaya using multi-source satellite data. Science of the Total Environment, Goodinson B.E, Rango A, Walker, 753, 142

در این مطالعه مساحت پوشش برف، روزهای فصل پائیز و فصل زمستان در قله علم‌کوه و محدوده آن با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و لندست ۹ مورد بررسی قرار گرفت. شاخص NDSI بر اساس رابطه بین باندها، در نرم‌افزار ENVI به کار گرفته شد که در جداسازی و استخراج پوشش برف از قابلیت نسبتاً بالایی برخوردار است. با توجه به برآورد نسبی مساحت پوشش برف، سرعت‌بالا، هزینه‌ی کم، دسترسی به تمامی مناطق صعب‌العبور، به‌عنوان مزیت‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای کاربردی در زمینه‌ی مطالعات منابع آب محسوب می‌شود. طبق محاسبه صورت گرفته مساحت سطح پوشش برف در تصاویر لندست ۹ و ۸ متفاوت بوده است. لندست ۹ از توان رادیومتریکی ۱۴ بیتی برخوردار است، علاوه بر این در فصل پائیز منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به فصل‌های دیگر، از بارش بیشتری برخوردار است که همین امر نشان داد که میزان مساحت پوشش برف در فصل پائیز نسبت به زمستان بیش‌تر بوده است. با توجه به نتیجه پژوهش؛ استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۹ و ۸ و نرم‌افزارهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، کاربرد اساسی جهت برآورد سطح پوشش برف در مناطق صعب‌العبور کوهستانی را دارا می‌باشد. از آنجاکه سطح پوشش برف به‌عنوان یک منبع بسیار مهم و حیاتی برای تأمین آب و یکی از پارامترهای مهم و دخیل در میزان جریان رواناب حاصل از ذوب برف می‌باشد، این روش به‌عنوان جایگزین پایش‌ها و عملیات زمینی مطرح شده‌اند. لذا برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی برف در مناطق مرتفع کوهستانی، ضرورت روش‌های غیرمستقیم از جمله تحلیل داده‌های دور سنجی را نشان داده و از نتایج روش فوق می‌توان به‌عنوان جایگزین ایستگاه‌های برف سنجی استفاده کرد. پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آتی، مساحت پوشش برف (NDSI) بر اساس حوزه آبخیز که ذوب برف، منبع تأمین‌کننده آب شرب و کشاورزی روستاها و شهرها است مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

1. Alaei Taleghani, M. 2002. Geomorphology of Iran, first edition, Tehran, Nashreqoms. (In Persian).
2. Asghari Saraskanroud, S., Sadeghi, A., and Melanuri, E. 2023. Investigating changes in snow cover and ground surface temperature with the topographical component of height a Case study: Urmia Lake drainage basin. Hydrogeomorphology, 10(34), 53-75. (In Persian).
3. Bhardwaj, N., Bhaskar, R., Yadav, S., Shukla, S., Mohapatra, M., Aggarwal, S., and Poddar, J. 2022. Snow Cover Mapping Over the Region of Hindu Kush Himalaya (HKH) for 2008–2018 Using Cloud

Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing, First Edition, Tabriz: Tabriz University Publications. (In persian).

23. Seifi, H. 2021. Estimating the level of snow cover through object-oriented techniques using TIRS and OLI sensor images (case study: Sabalan Mountain), Applied Research Journal of Geographical Sciences, 21(63), 19-37. (In persian).

24. Seifi, H., and Ghorbani, A. 2017. estimation of snow cover level through object-oriented techniques using TIRS and OLI sensor images, a case study: Kohistan Sahand, Scientific Research Quarterly of Geographic Information (Sephar), 28(109), 77-91. (In persian).

25. Shayan, S., Yamani, M., and Yadegari, M. 2017. Zoning of the Land Subsidence in the Hamedan Qarachai Watershed. Hydrogeomorphology, 3(9), 139-158.

26. Shimizu, M., H, and Nakamura. 1997. A method for Estimating snow weight in Mountainous Area. Snow Engineering, pp 143-146.

27. Thomas, A.C., Reager, J.T., Famiglietti, J., and Rodell, M. 2014. A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization. Geophysical Research Letters, 41(5), 1537-1545.

28. Voss K.A., Famiglietti, J., Lo, M., de Linage, C., Rodell, M., and Swenson, S. 2013. Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for trans boundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region. Water Resource Research, 49: 27-39.

29. Wang, X., Zhang, Y., Li, W., Zhang, J., Huang, G., and Li, L. 2021. Spatiotemporal analysis of snow cover in the Pamir Mountains using MODIS data from 2000 to 2019. Ecological Indicators, 121, 107103.

30. Yamani, M. 2002. Geomorphology of Glaciers in Mountain Science, Geographical Researches, 42(1), 1-18. (in persian).

31. Yousefi Roshan, M. R. 2021. estimation of snow cover level using Landsat 8 satellite images using NDSI index (case study: Damavand peak), 8th National Conference of Iranian Geomorphology Association, Tehran, Faculty of Geography, University of Tehran, 548-555. (In persian).

13. Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Mattar, C., and Cristobal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods from LANDSAT 8 Thermal Infrared Sensor Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11(11), 1840-1843.

14. Johansson, B., Caves, R., Ferguson, R. and Turpin, O. 2001. Using remote sensing data to update the simulated snow pack of the HBV runoff model, proceedings symposium of Remote Sensing and Hydrological 2000, Santa Fe New Mexico, USA. IAHS Pub. No. 267

15. Juybari Moghadam, Y., Akhundzadeh, M., and Sarajian, M. 2013. Snow Cover Level Estimation Using Landsat 8 Satellite Images, First International Conference on Environmental Engineering, Tehran, Center for Sustainable Development Solutions.

16. Khosrotharani, Kh. 1996. Geology of Iran, Tehran, Payam Noor University Press. (In persian).

17. Liu, Y., Lei, Y., Zhang, J., Li, X., Huang, X., and Wang, X. 2021. Spatiotemporal variations of snow cover in the Karakoram Mountains based on MODIS data from 2000 to 2019. International Journal of Digital Earth, 14(3), 313-328.

18. Manickam, S., and Barros, A. 2020. Parsing Synthetic Aperture Radar Measurements of Snow in Complex Terrain: Scaling Behavior and Sensitivity to Snow Wetness and Land cover. Journal remote sensing, 12(483), 1-31.

19. Metcalfe, R., A and Buttle, J. M. 1999. Semi-Distributed Water Balance Dynamics in a small boreal forest basin, Journal of Hydrology, 226, 66-87.

20. Mirmousavi, H., Sabour, L. 2012. monitoring changes in snow cover using MODIS sensor images in the northwest region of Iran, Geography and Development Quarterly, 12(35), 181-200.

21. Mohammadpour, A., and Mohammadpour, R. 2016. investigating the changes in the snow cover of Ardabil province using MODIS sensor images (in the agricultural year 2017-2018), the second international conference on new ideas in agriculture, environment and tourism, Ardabil, Institute of Bio-thinking Supporters of the Ideal Environment. (In persian).

22. Rasouli, A. 2008. Fundamentals of Applied

**Abstract****Estimation of Snow Cover Area Using Landsat Satellite Images Using NDSI Index
(Case Study: Mountain Alamkuh Range)**M. Yousefi Roshan¹ and R. Sharifi Najafabadi²

Received: 2024/03/25 Accepted: 2024/06/21

In With the progress of science and technology, remote sensing satellites study and monitor the earth in a precise and real-time manner. Satellite images have many applications, snow cover level estimation plays an important role in hydrology studies. Due to the harsh physical conditions of mountainous environments, there is no possibility of ground measurement to estimate the area of snow cover and form a database; using satellite images and image processing software due to low cost and wide coverage; It is pioneering in identifying snow catchment areas, estimating the area of snow cover and evaluating its changes; It is a good method. The purpose of this research is to estimate the area of the relative snow cover surface, which is studied as a sample of Alam Kuh peak and its range in Alborzgharbi. Landsat satellite images were used to estimate the snow cover area. Through ENVI version 5/3 software, pre-processing, processing and combination of information was done and by using snow cover index (NDSI) during four periods of one year, snow cover was separated and through the slope of the file in Arc Map software, the area of snow cover in history The images taken were estimated and compared. Estimating the area of snow cover in high mountain areas has stated the necessity of using satellite data. The results of the above method can be used as a substitute for snow measuring stations and estimate the amount of water entering the catchment basins.

Keywords: Estimate, Snow cover, Images, Satellite, Landsat, NDSI index.

1. Department of Geography Education, Farhangian University Tehran, Iran, and Corresponding Author: Email: mr.yousefiroshan@cfu.ac.ir

2. Department of Geography Education, Farhangian University Tehran, Iran