

استفاده از داده‌های سنجش از دور در تعیین محدوده یخچال‌های زردکوه

هانیه نیل‌فروشان*؛ کارشناس ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، کارشناس سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ایران

بابک ابراهیمی؛ دکتری ژئومورفولوژی، مدیر دفتر برنامه‌ریزی و بررسی‌های اقتصادی، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

چکیده

یخچال‌های طبیعی متأثر از فاکتورهای اقلیمی است، لذا شاخص مؤثری در بررسی تغییرات اقلیمی مطالعه می‌شود. اگرچه بررسی‌های مورفومتریکی یخچال‌های طبیعی بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های بازتابی سنجنده‌های ماهواره‌ای، امکان اندازه‌گیری رخنمون‌های یخ را فراهم می‌سازد، شناسایی و تعیین محدوده یخچال‌های مدفون در زیر واریزه‌ها و به تبع آن تعیین محدوده واقعی یخچال و سایر پارامترهای آن از جمله سطح و حجم یخچال بر اساس باندهای اپتیکی تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر نیست. از طرفی، وجود منبع سرمایشی یخ در زیر واریزه‌ها و منجر به کاهش قابل توجه دمای سطح واریزه نسبت به مناطق اطراف، وجه تمایزی برای تفکیک یخچال‌های طبیعی پوشیده‌شده با واریزه‌ها محسوب می‌شود. در این تحقیق، گسترش یخچال‌های طبیعی ارتفاعات زردکوه با تحلیل تلفیقی داده‌های حرارتی، اپتیکی (سنجنده‌های OLI و TIRS لندست ۸) بر اساس روش تک‌پنجره و داده‌های رقومی ارتفاعی تعیین شده است. بدین منظور، پس از اعمال تصحیحات رادیومتریکی و هندسی، دمای درخشندگی محاسبه، سپس بر اساس شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و مقدار ضریب گسلندگی سطح زمین (LSE)، دمای سطح زمین (LST) محاسبه شد. بر اساس نتایج این تحقیق، سطح پهنه‌های یخچالی (سطح توأم یخ و یخ مدفون زیر واریزه‌ها) در مرداد ۱۳۹۶ برابر با ۲۰۱ هکتار بوده است که در مقایسه با تحقیقات قبلی، کاهش چشمگیر پهنه‌های یخی را در دهه گذشته نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم تک‌پنجره، دمای سطح زمین، زردکوه، یخچال، NDVI، OLI، TIRS.

مقدمه

یخچال‌ها توده‌های طبیعی یخی است که بر اثر تجمع برف و یخ متراکم و تبلور مجدد ایجاد شده است. یخچال‌ها سیستم‌های باز و پویایی است که در آن‌ها تحرک و تراکم یخی وجود دارد. این سیستم‌ها به گونه‌ای است که نخست، آب باران یا برف از بخش بالایی آن تحت نیروی جاذبه زمین وارد سیستم یخچال می‌شود. سپس، در بخش انباشت یخچال متراکم و در آنجا تبدیل به یخ می‌شود. یخچال‌های کوهستانی و دره‌ای همانند سدهای طبیعی عمل می‌کند، به طوری که در فصل‌های پربارش و سرد سال آب ذخیره می‌کند و در فصل تابستان با گرم شدن هوا شروع به ذوب شدن می‌کند و به تأمین دبی پایه آبراهه‌های پایین دست خود می‌انجامد (اورلمانز و ریچارت، ۲۰۰۰: ۴).

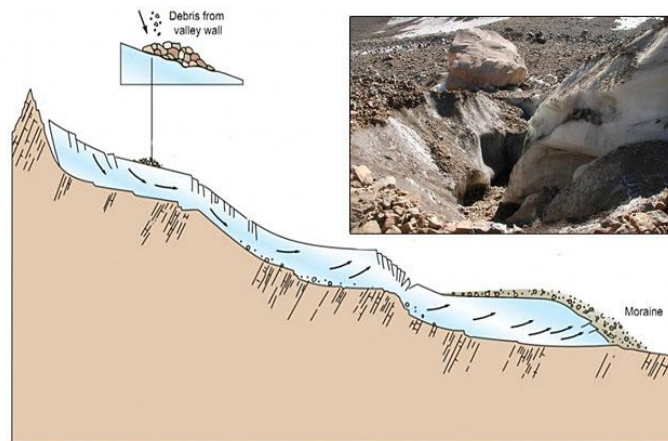
تغییرات توده‌های یخی ناشی از عوامل اقلیمی است. به همین علت، یخچال‌ها شاخص‌های مؤثر در شناسایی تغییر اقلیم شناخته شده است. به عبارت دیگر، هر گونه تغییر در بیلان یخ یخچال‌ها ناشی از واکنش مستقیم یخچال به شرایط سالیانه جوی است (هابرلی و هولز، ۱۹۹۵: ۲۰۶). انرژی و موازنه جرمی در سطح یخچال‌ها تحت تأثیر تغییرات در شرایط اتمسفری نظیر تابش خورشیدی، دمای هوا، بارش، باد و ابرناکی است. از این میان پارامتر دما در تغییرات موازنه یخچال

نقشی کلیدی ایفا می‌کند که خود بستگی زیادی به موازنه انرژی، آشفتگی در میزان مبادلات حرارتی و نسبت بارش جامد به مایع دارد (کوهن، ۱۹۸۱:۳). حساسیت یخچال نه تنها وابسته به متغیرهای اقلیمی محلی است، بلکه به شرایط توپوگرافی محلی نیز حساس است و این موضوع باعث می‌شود که دو یخچال مجاور یکدیگر موازنه جرمی متفاوتی داشته باشد (کوهن و همکاران، ۱۹۸۵:۴۰۹).

مطالعات مختلف نشان داده است طی ۲۵ سال اخیر، یخچال‌های کوهستانی در مناطق مختلف دنیا، با کاهش بسیار شدیدی مواجه شده است. برای مثال، حدود ۲۲ درصد مساحت یخچال‌های مناطق کوهستانی آلپ در فاصله سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹ کاهش یافته است و این روند کاهش حدود ۷ برابر بیش از میزان کاهش آن‌ها در فاصله سال‌های ۱۹۷۳ تا ۱۹۸۵ است (پتری و همکاران، ۲۰۱۰:۱۰۲). بنابراین، با توجه به اهمیت یخچال‌های طبیعی و تأثیر آن بر حیات ساکنان زمین، ضرورت مطالعه و پایش یخچال‌های طبیعی از جنبه‌های مختلف هیدرولوژیکی، اقلیمی و محیط‌زیستی اهمیت بسیار دارد. موانع و مشکلات موجود بر سر راه مطالعه یخچال‌ها، محققان را به استفاده از فناوری‌های جدید سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در سطح بسیار گسترده سوق داده است. این تکنیک‌ها جایگزین روش‌های کلاسیک و میدانی شده و امکان شناسایی، تشخیص و به‌طور کلی مطالعه پدیده‌ها را از راه دور و بدون تماس فیزیکی فراهم ساخته است (بار و اسپاگنولو، ۲۰۱۵:۴۸؛ سیف و ابراهیمی، ۲۰۱۴:۲۳۶؛ موسوی و همکاران، ۲۰۰۹:۵۰؛ طرح حفاظت از یخچال‌های طبیعی کشور، ۱۳۹۱).

اندازه‌گیری سطح یخچال‌های طبیعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و بر اساس تباین بازتابندگی سطح یخچال و سایر عوارض اطراف آن صورت می‌گیرد. در واقع، دو مقوله تفکیک و تعیین محدوده یخچال‌های طبیعی از سایر عوارض با توجه به بازتابندگی بسیار بالاتر سطح برف و یخ نسبت به سایر پوشش‌های طبیعی صورت می‌گیرد. روش‌ها و تکنیک‌های مختلف سنجش از دور در شناسایی محدوده یخچالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی توسعه داده شده است. در بین آن‌ها می‌توان به روش‌هایی مانند رقومی کردن محدوده یخچال‌ها با استفاده از روش‌های دستی^۱ (هال و همکاران، ۱۹۹۲:۱۲۹)، استفاده از روش نسبت بانندی^۲ (هال و همکاران، ۱۹۸۸:۳۱۱؛ کشیری و همکاران، ۲۰۰۹:۵۲۴؛ برنگز، ۱۹۹۹:۲۲۵)، استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI)^۳ اشاره کرد (سیلوریا و جاگت، ۲۰۰۵:۳۴۲؛ گوپتا و همکاران، ۲۰۰۵:۴۵۸).

روش‌های بالا به دلیل به کارگیری باندهای اپتیکی سنجنده‌های ماهواره‌ای در شناسایی یخچال‌های کوهستانی با ابعاد کوچک نقصان دارد و این به دلیل وجود واریزه‌ها و یخرفت‌های مختلف با ابعاد گوناگون در سطح این گونه یخچال‌هاست (شکل ۱).



شکل ۱. شمایی از نیمرخ توده‌ای یخچالی و وضعیت رسوباتی مورنی در بخش‌های حاشیه، انتهایی، همچنین واریزه‌های پوشاننده سطح یخچال (طرح حفاظت از یخچال‌های طبیعی کشور، ۱۳۹۱)

1. manual digitization
2. band ratio
3. Normalized Difference Snow Index (NDSI)

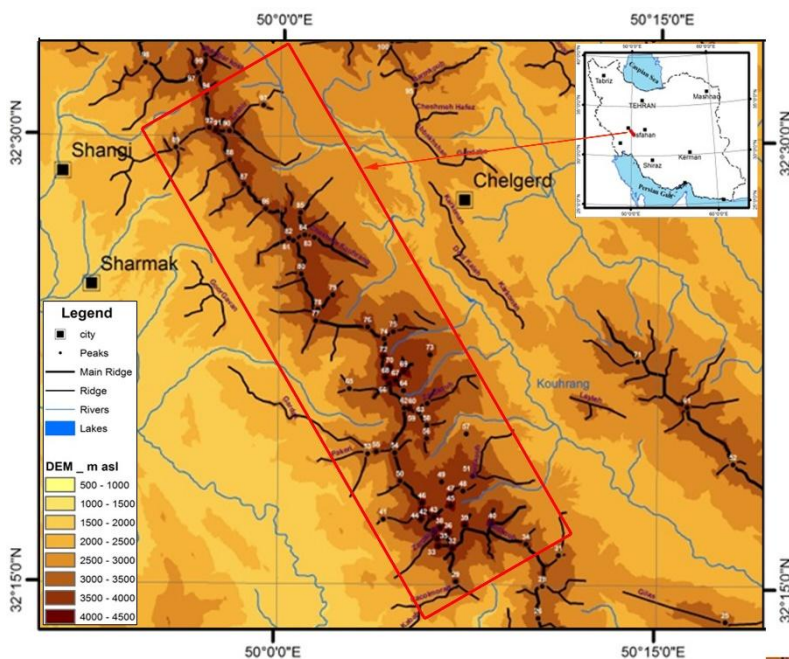
در حقیقت، سطح این گونه یخچال‌ها را واریزه‌هایی می‌پوشاند که باندهای اپتیکی تصاویر ماهواره‌ای قادر به شناسایی یخچال‌های مدفون شده در زیر این واریزه‌ها نیست. در نتیجه، نتایج غلطی از محدوده یخچال و به تبع آن سایر پارامترهای یخچالی نشان خواهد داد. ناکارآمدی تکنیک‌های رایج نام‌برده شده در تعیین محدوده واقعی یخچال‌های طبیعی به این دلیل رخ می‌دهد که خصوصیات طیفی و انعکاسی این دو نوع واریزه و محدوده‌های مجاور آن کاملاً شبیه هم است و در عمل، امکان تعیین محدوده واقعی سطح یخچال‌ها با استفاده از تصاویر اپتیکی وجود ندارد (طرح حفاظت از یخچال‌های طبیعی کشور، ۱۳۹۱).

از جمله خصوصیات تمایزپذیر یخچال‌های کوهستانی پوشیده شده با واریزه‌های سطح یخچالی، وجود منبع سرمایشی یخ در زیر چنین واریزه‌هایی است که به کاهش قابل توجه دمای سطح واریزه با مناطق اطراف می‌انجامد. اختلاف دمای مذکور منای مناسبی برای شناسایی محدوده واقعی یخچال‌هاست. بر این مبنای، محققان تحقیقات مختلفی را در مناطق مختلف دنیا صورت داده‌اند (طرح حفاظت از یخچال‌های طبیعی کشور، ۱۳۹۱؛ لوژای، ۱۹۷۴:۴۸۷؛ تسچر و رانزی، ۲۰۰۲:۲۴؛ رانزی و همکاران، ۲۰۰۴:۱۱۴۴). اگرچه این مطالعات نشان داده است که کارایی الگوریتم‌های حرارتی در مناطق با عمق واریزه سطح یخچالی زیاد چندان مناسب نیست، مقایسه آن با نتایج سایر الگوریتم‌ها حاکی از دقت بالایی آن است.

بر این اساس، فرضیه اساسی این تحقیق، بررسی کارایی داده‌های ماهواره‌ای حرارتی در تفکیک محدوده واقعی یخچال‌ها (اعم از مناطق دارای رخنمون یخ و مناطق پوشیده با واریزه‌های سطحی) در محدوده مطالعاتی زردکوه و تعیین مساحت یخچال‌های مهم این منطقه بر اساس داده‌های ماهواره‌ای حرارتی و مقایسه آن با نتایج مطالعات قبلی در این منطقه است.

مواد و روش‌ها محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی دربرگیرنده پیکره کوهستانی زردکوه بختیاری است که در امتداد سلسله جبال زاگرس میانی و در محدوده جغرافیایی ۱۴' ۳۲° الی ۳۸' ۳۲° درجه شمالی و ۵۰' ۴۹° الی ۱۵' ۵۰° درجه شرقی و در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل ۲). بلندترین قله در منطقه زردکوه، شاه شهیدان یا کلونچی است با ارتفاعی در حدود ۴۲۲۰ متر از سطح دریا (ابراهیمی و سیف، ۱۳۹۵). منطقه زردکوه در ۹۰ کیلومتری شهرکرد و ۱۸۵ کیلومتری شهر اصفهان قرار دارد و در حال حاضر دربرگیرنده چند یخچال کوچک (عموماً یخچال‌های واقع در سیرک‌های یخچالی) در دامنه شمال شرقی است (موسوی و همکاران، ۲۰۰۹:۵۰؛ فریرنو، ۱۹۹۱؛ ابراهیمی و سیف، ۱۳۹۵:۹۶؛ ابراهیمی و سیف، ۲۰۱۷:۱۱۷). دو رودخانه مهم این منطقه، بازفت و کوه‌رنگ است که از این ارتفاعات سرچشمه می‌گیرد. در منطقه مطالعاتی زردکوه، متوسط دمای سالیانه در ایستگاه‌های واقع در منطقه از ۹/۶ درجه سانتی‌گراد (ایستگاه کوه‌رنگ) تا ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد (ایستگاه گذارلندر) متغیر است. عمده بارش این منطقه در فصل زمستان و به صورت برف است و بر اساس داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه چلگرد در ارتفاع ۲۴۰۰ متری از سطح دریا، شمال شرق پیکره زردکوه سالیانه در حدود ۱۴۶۸ میلی‌متر بارش در بخش کوهپایه‌ای دریافت می‌کند. حداکثر و حداقل بارش سالیانه ثبت شده در ایستگاه چلگرد ۲۵۵۵ و ۹۲۵ میلی‌متر است. متوسط دمای سالیانه در ارتفاع بالای ۳۷۰۰ متر به زیر صفر درجه می‌رسد و در بلندترین قله زردکوه (با ارتفاع ۴۲۲۰ متر از سطح دریا) حدود ۳/۶- سانتی‌گراد است. همچنین، متوسط دمای فصل ذوب، متوسط دمای تابستان و متوسط گرم‌ترین ماه سال به ترتیب در ارتفاعات بالای ۵۰۱۵، ۵۱۰۰ و ۵۴۳۰ متر از سطح دریا به زیر صفر درجه می‌رسد. ارتفاع خط تعادل یخچالی اقلیمی حاضر بر اساس مطالعات ابراهیمی و سیف (۱۳۹۵) در تراز بالای ۴۵۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد که تقریباً ۳۰۰ متر بالاتر از بلندترین نقطه زردکوه است. به عبارت دیگر، اگرچه شرایط منطقه‌ای این ارتفاعات مناسب تشکیل و حفظ توده‌های یخچالی نیست، برخی پهنه‌های کوچک یخچالی در دامنه‌های شمالی ارتفاعات زردکوه ناشی از پایین‌تر بودن ارتفاع خط تعادل محلی نسبت به قله این مناطق است. لذا، بخش شمالی این ارتفاعات به دلیل اثر بادرفتی برف و همین‌طور دریافت تشعشع خورشیدی کمتر میزبان پهنه‌های کوچک یخچالی است (ابراهیمی و سیف، ۱۳۹۵:۹۶).



شکل ۲. موقعیت محدوده مطالعاتی زردکوه

شواهدی از یخچال‌های کوچک در منطقه زردکوه زاگرس را نخستین بار دزیو مطرح کرد (۱۹۳۴:۱۴۱). او در گزارش خود اشاره به چهار یخچال کوچک با مجموع مساحت ۱۵۰ هکتار کرد که ضمن نامگذاری این یخچال‌ها، عنوان کرد که یخچال موسوم به کلونچی مساحتی بالغ بر ۷۰/۴ هکتار را اشغال کرده است. دزیو اشاره می‌کند که هر یک از این یخچال‌ها محدوده ارتفاعی حدود ۲۰۰ متر را دربر گرفته است که پایین‌ترین رقوم آن‌ها در ۳۶۰۰ و بالاترین در ۴۲۰۰ متر قرار دارد. دزیو در گزارش خود اشاره می‌کند که این یخچال‌ها، آثار باقی‌مانده از یخچال بزرگ‌تری مربوط به دوره یخچالی کوچک (لیا) در ۱۸۵۰ است.

در سال ۱۹۷۸ گرونرت و همکارانش در بررسی یخچال‌ها و پهنه‌های یخی زردکوه موقعیت پنج ناحیه کوچک یخچالی را در زردکوه گزارش کردند (شکل ۳ الف). بزرگ‌ترین یخچال معرفی شده آن‌ها، عرضی برابر با ۵۰۰ متر داشت که محدوده ارتفاعی برابر با ۱۵۰ متر (از ۳۹۰۰ الی ۴۰۵۰ متر از سطح دریا) را اشغال کرده است. بر اساس تحقیقات موسوی و همکارانش (۲۰۰۹) یخچال‌های ناحیه زردکوه مساحتی بالغ بر ۷/۱ کیلومتر مربع دارد. همچنین، بر اساس تحقیقات آن‌ها، مهم‌ترین یخچال‌های منطقه زردکوه در محدوده جفت زرده، اطراف سیردان و هفتنان (ایلوک) واقع است (شکل ۳ ب و ج؛ جدول ۳). در شکل ۴ تصویر منطقه‌ای و مدل سه‌بعدی یخچال‌های چال‌میشان و جفت زرده ارائه شده است (رانزی، ۲۰۰۴:۱۱۴۴).

مواد و روش‌ها

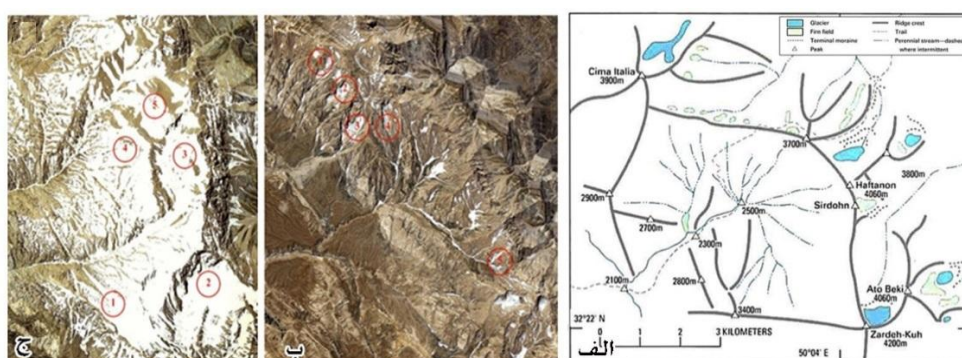
ابزارهای تحقیقی این پژوهش در دو گروه ابزار فیزیکی و ابزار مفهومی قرار دارد. نقشه‌های رقومی، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای رایانه‌ای مهم‌ترین ابزار فیزیکی به‌کارگرفته‌شده در این تحقیق است. در این تحقیق، از تصویر ماهواره لندست ۸ در ۱۷ اوت ۲۰۱۷ استفاده شد. این تصویر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ و در فرمت GeoTiff تهیه شده است. تصویر مورد نظر قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۶ بیتی دارد. ماهواره لندست ۸ دو سنجنده OLI^۲ و TIRS^۳ با قدرت تفکیک طیفی ۱۱ باند است که ۹ باند آن (باندهای ۱ تا ۷ و باند ۹) قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری و باند ۸

1. LIA: The Little Ice Age about 1850
2. USGS Earth Explorer
3. Operational Land Imager
4. Thermal Infrared Sensor

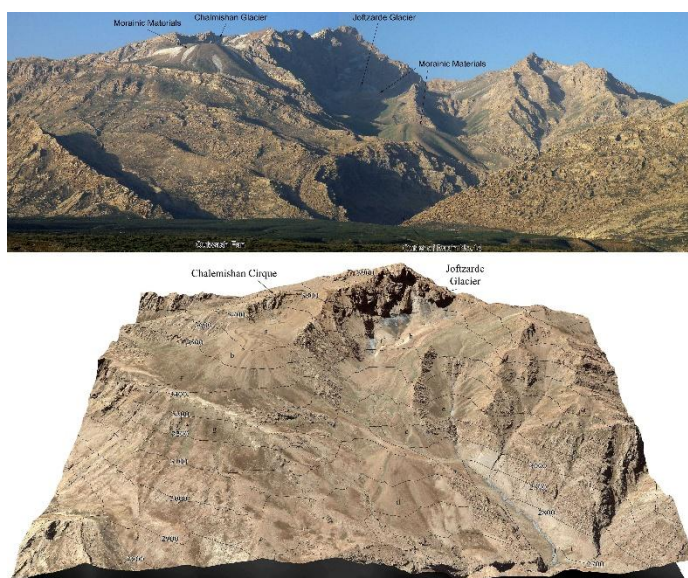
(پانکروماتیک) رزولوشن ۱۵ متر دارد. علاوه بر این، لندست ۸ دارای ۲ باندهای حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متری است که در این تحقیق استفاده شد. علاوه بر این، در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی با دقت تفکیک مکانی ۱۰ متری سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد.

مهم‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق ArcGIS نسخه ۱۰.۳، Google Earth نسخه ۷ حرفه‌ای، SAS.Planet نسخه ۳.۴ و ENVI نسخه ۵.۳ است. مبانی نظری، روابط ریاضی، فرمول‌ها، و مدل‌های تجربی نیز از عمده‌ترین ابزارهای مفهومی است که در این پژوهش استفاده شده است.

اقدامات لازم برای اندازه‌گیری محدوده واقعی یخچال‌های منطقه زردکوه طی چند مرحله کلی صورت گرفت، به طوری که نخست دمای سطح زمین محاسبه شد. سپس، با آنالیزهای دمایی صورت گرفته طبقه‌بندی اجزای مختلف یخ صورت گرفت. در نهایت، محدوده واقعی یخچال‌های منطقه زردکوه استخراج و با محدوده ظاهری یخچال‌ها بر اساس تفسیر مستقیم تصاویر تهیه‌شده مقایسه شد.



شکل ۳. الف) یخچال‌های طبیعی زردکوه، ب) یخچال‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ کوه‌رنگ و ۵ یخچال هفتان (ایلوک) در تصاویر ماهواره‌ای اسپات از منطقه مطالعاتی زردکوه، ج) ۱ یخچال چال‌میشان، ۲ یخچال جفت زرده، ۳ یخچال خرسان، ۴ یخچال پورسونان، و ۵ در تصاویر ماهواره‌ای اسپات از منطقه مطالعاتی زردکوه (رانزی، ۲۰۰۴:۱۱۴۴)



شکل ۴. تصویر منطقه‌ای (الف) و مدل سه‌بعدی حاصل از تلفیق مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متری و تصویر کوییک‌برد، (ب) از یخچال‌های چال‌میشان و جفت زرده (ابراهیمی و سیف، ۲۰۱۶:۲۹۹). در این تصاویر موقعیت رخنمون یخ‌های یخچالی و واریزه‌های مورنی انتهایی و پوششی را می‌توان مشاهده کرد (a و b در مدل سه‌بعدی).

الف) محاسبه دمای سطح زمین (LST)^۱. روش‌های تخمین دمای سطح زمین مانند روش‌های الگوریتم دو زاویه‌ای^۲، پنجره مجزا^۳ و تک‌پنجره^۴ بسیار متنوع است (لطیفی، ۲۰۱۴: ۳۸۴۰). در این تحقیق برای محاسبه LST از الگوریتم تک‌پنجره استفاده شد. در این الگوریتم دمای روشنایی^۵ باندهای ۱۰ و ۱۱ با گسیلندگی سطح زمین^۶ ترکیب می‌شود و دما سطح زمین برای هر پیکسل را تخمین می‌زند. در این روش، نخست، پس از انجام تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی، دمای روشنایی حاصل می‌شود. پس از آن، با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، ضریب گسیلندگی سطح زمین (LSE) به دست آمد. در انتها، دمای سطح زمین با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$LST = [BT/1 + L\lambda * (BT/14380) * Ln(e)] \quad (1)$$

در این رابطه، LST دمای سطح زمین، BT دمای روشنایی باندهای حرارتی، $L\lambda$ رادیانس باندهای حرارتی و e ضریب گسیلندگی^۷ سطح زمین است. برای محاسبه دمای روشنایی (BT)، نخست لازم است داده‌های باندهای حرارتی به رادیانس^۸ بالای اتمسفر (TOA) تبدیل شود. تبدیل مقادیر درجات خاکستری (DN) به رادیانس بالای اتمسفر با استفاده از رابطه (۲) صورت می‌پذیرد.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (2)$$

در این رابطه، $L\lambda$ رادیانس بالای اتمسفر بر حسب وات بر مترمربع در استرادیان در میکرومتر (Watts/(m2. srad.μm) ML فاکتور تغییر مقیاس ضرب‌شونده، AL فاکتور تغییر مقیاس اضافه‌شونده و Qcal باند مورد نظر است. مقادیر ML و AL از متادیتای ارائه‌شده به همراه تصویر ماهواره‌ای به شرح جدول ۱ به دست می‌آید. دمای روشنایی، دمای متناظر با انرژی تابشی دریافتی از سطح پدیده یا شی مورد نظر توسط سنجنده است. در این مرحله رادیانس طیفی باندهای ۱۰ و ۱۱ (باندهای حرارتی) به دمای روشنایی تبدیل می‌شود. برای این منظور از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

$$T = K2 / Ln(K1/L\lambda + 1) \quad (3)$$

در این رابطه، T دمای روشنایی، K1 ضریب کالیبراسیون بر حسب Watts/(m2. srad.μm)، K2 ضریب کالیبراسیون بر حسب کلوین و $L\lambda$ رادیانس بالای اتمسفر بر حسب Watts/(m2. srad.μm) است. مقادیر ضرایب K1 و K2 از متادیتای ارائه‌شده به همراه تصویر ماهواره‌ای به شرح جدول ۲ به دست می‌آید. دمای به دست آمده از این رابطه بر حسب درجه کلوین است و برای تبدیل آن به درجه سلسیوس، عدد ۲۷۳/۱۵ از تصویر تبدیل شده به دمای روشنایی کسر می‌شود.

جدول ۱. فاکتور تغییر مقیاس ضریبی و تجمیعی برای باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده

AL برای باند ۱۱	ML برای باند ۱۱	AL برای باند ۱۰	ML برای باند ۱۰	ضریب کالیبراسیون مقدار ضریب
۰/۱	۰/۰۰۰۳۴۲	۰/۱	۰/۰۰۰۳۴۲	

1. Land Surface Temperature
2. dual angle algorithm
3. split-window
4. single-window
5. Brightness temperature (BT)
6. Land Surface Emissivity (LSE)
7. emissivity
8. radiance

جدول ۲. ضرایب کالیبراسیون باندهای حرارتی لندست ۸

K2 KELVIN	K1 Watts/ m2 . srad . μm	باند
۱۳۲۱/۰۸	۷۷۴/۸۹	باند ۱۰ OLI
۱۲۰/۱۴	۴۸۰/۸۹	باند ۱۱ OLI

به منظور محاسبه ضریب گسیلندگی سطح زمین، ضروری است مقادیر شاخص NDVI، سپس ضریب PV محاسبه شود. برای به دست آوردن شاخص NDVI از رابطه (۴) استفاده می‌شود. در این فرمول از باندهای ۴ و ۵ اصلاح اتمسفری شده استفاده می‌شود.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (۴)$$

در این رابطه، NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵) اصلاح شده و RED باند قرمز سنجنده (باند ۴) اصلاح شده است. به منظور محاسبه NDVI، مقادیر بازتابش طیفی از داده‌های ماهواره در محدوده طیفی باندهای ۴ و ۵ محاسبه می‌شود. داده‌های تابش طیفی OLI با استفاده از ضرایب بازتابشی موجود در فایل متادیتا تصاویر به بازتابش بالای اتمسفر تبدیل می‌شود. رابطه (۵) برای تبدیل درجات خاکستری (DN) به مقادیر بازتابش بالای اتمسفر برای باندهای انعکاسی استفاده می‌شود.

$$\rho\lambda = M\rho * Qcal + A\rho \quad (۵)$$

در این رابطه، $\rho\lambda$ بازتابش جهانی بالای اتمسفر بدون تصحیح زاویه خورشید، $M\rho$ عامل تغییر مقیاس ضرب شونده، $A\rho$ عامل تغییر مقیاس اضافه شونده و $Qcal$ باند مورد نظر است. مقادیر $M\rho$ و $A\rho$ برای باند ۵ و ۶ لندست ۸ برابر با ۰/۰۰۰۲ و ۰/۱- است. اصلاح مقادیر بازتابش شده با توجه به زاویه تابش خورشید بر اساس رابطه (۶) صورت می‌پذیرد.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda}{\cos \theta SZ} = \frac{\rho\lambda}{\sin \theta SE} \quad (۶)$$

در این رابطه، $\rho\lambda$ بازتابش جهانی بالای اتمسفر، θSZ زاویه سمت‌الرأس خورشیدی محلی (- $90^\circ = \theta SZ$) و θSE زاویه ارتفاع محلی خورشید است که از فایل متادیتای موجود در پوشه باندهای تصویر به دست می‌آید و برابر با ۶۱/۴۶ است.

برای محاسبه شاخص PV^۱ نیز از فرمول (۷) استفاده می‌شود.

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^2 \quad (۷)$$

در نهایت، با توجه به مقدار PV در مرحله قبل می‌توان ضریب گسیلندگی سطح زمین را از رابطه (۸) محاسبه کرد (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴:۱):

$$e = 0.004 * PV + 0.986 \quad (۸)$$

$$e = 0.99 \quad \text{For } 0.5 < NDVI$$

$$e = 0.97 \quad \text{For } 0.2 < NDVI$$

$$e = 0.004 * PV + 0.986 \quad \text{For } 0.2 < NDVI < 0.5$$

ب) تعیین رخنمون یخ در یخچال‌ها با استفاده از روش‌های دستی (هال و همکاران، ۱۳۵:۱۹۹۲). در این روش

ترکیب رنگی مختلفی از جمله RGB753 تهیه شد. پس از افزایش میزان تفکیک مکانی به میزان ۱۵ متر، با استفاده از باند پانکروماتیکی ماهواره لندست ۸، مرز یخ و خاک جدا شد. از آنجا که هدف نهایی مقایسه نتایج با مطالعات قبلی است، این جداسازی تنها در محدوده یخچال‌های شناسایی شده و معرفی شده موسوی و همکاران (۲۰۰۹: ۵۰) صورت گرفته است. تجزیه و تحلیل اختلاف دماهای موجود در بین اجزای مختلف یخچال و تفکیک محدوده یخچال‌ها. برای شناسایی محدوده واقعی یخچال‌های زردکوه، از داده‌های LST در محدوده‌های سطح یخچال، واریزه‌های سطح یخچالی، حاشیه یخچالی و یخ‌بودن واریزه، همین‌طور واریزه‌های بخش‌های میانی یخچال‌ها به تفکیک هر یک از یخچال‌های اصلی منطقه نمونه برداری شد. در مرحله بعد، بر اساس مقادیر LST، محدوده‌های هم‌دما با سطوح یخ و واریزه‌های سطح یخچالی جداسازی شد.

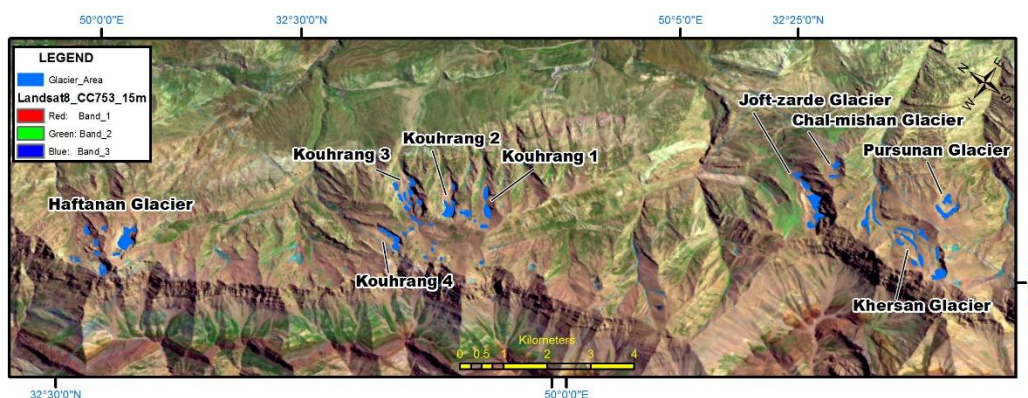
یافته‌ها

با توجه به اینکه یخچال‌های حقیقی در تمام ایام سال فعال است و کم‌ترین سطح واقعی را در فصل ذوب داراست، در این تحقیق از داده‌های سنجنده‌های لندست ۸ در تاریخ ۱۷ اوت ۲۰۱۷ استفاده شد. تصویر یادشده حداقل پوشش ابر در کل سین را دارد و فاقد پوشش ابر در محدوده ارتفاعات زردکوه است.

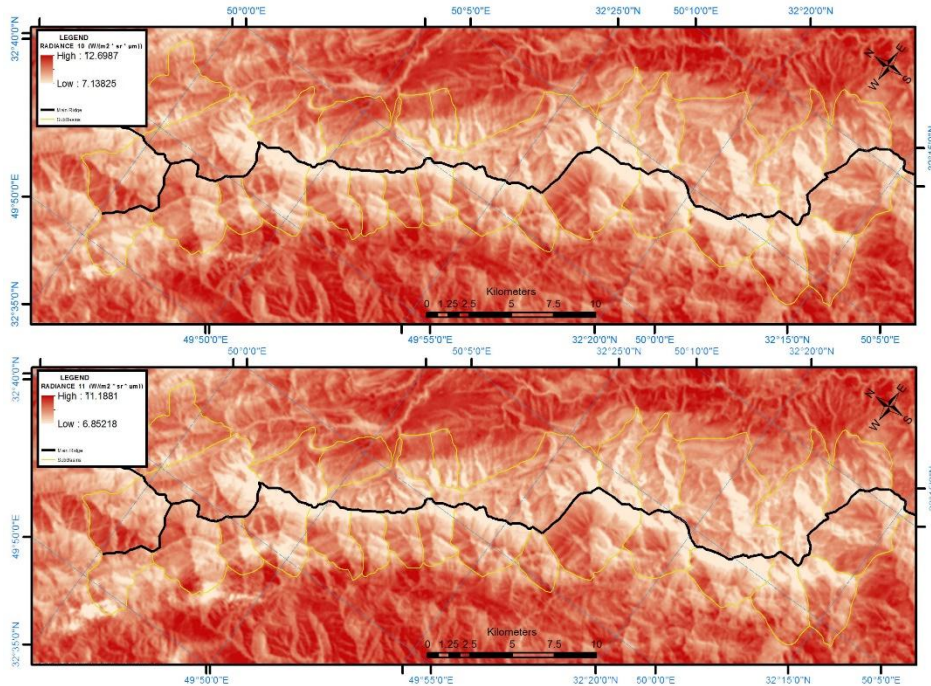
تعیین رخنمون یخ در یخچال‌های زردکوه به روش‌های دستی (هال و همکاران، ۱۳۵:۱۹۹۲) صورت گرفته است. در این روش بر اساس ترکیب رنگی RGB753 که وضوح مکانی آن بر اساس باند پانکروماتیکی ماهواره لندست ۸ افزایش یافته است، مرز یخ و خاک جدا شد (شکل ۵). از آنجا که هدف نهایی مقایسه نتایج با مطالعات قبلی است، این جداسازی تنها در محدوده یخچال‌های شناسایی شده و معرفی شده موسوی و همکاران (۲۰۰۹) صورت گرفته است. همچنین، مدل‌های سه‌بعدی از یخچال‌های منطقه با استفاده از تلفیق داده‌های کوئیک برد مربوط به ۲۴ اکتبر ۲۰۱۶ و مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متری برای درک بیشتر گسترش یخچال‌های منطقه تهیه شد.

در مرحله بعد، پس از اعمال تصحیحات رادیومتریکی و هندسی، تبدیل ارزش‌های خام تصاویر به رادیانس در تصاویر لندست از رابطه (۲) و ضرایب ارائه شده در جدول ۱، استفاده شده است (شکل ۶). داده‌های باندهای حرارتی از رادیانس طیفی در سنجنده به دمای درخشندگی تبدیل می‌شود. دمای درخشندگی با فرض اینکه زمین جسم سیاه است ($\text{emissivity}=1$) محاسبه می‌شود و شامل تأثیرات اتمسفر است. دمای درخشندگی در این تحقیق با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده (جدول ۲) و از رابطه (۴) به دست آمده است (شکل ۷).

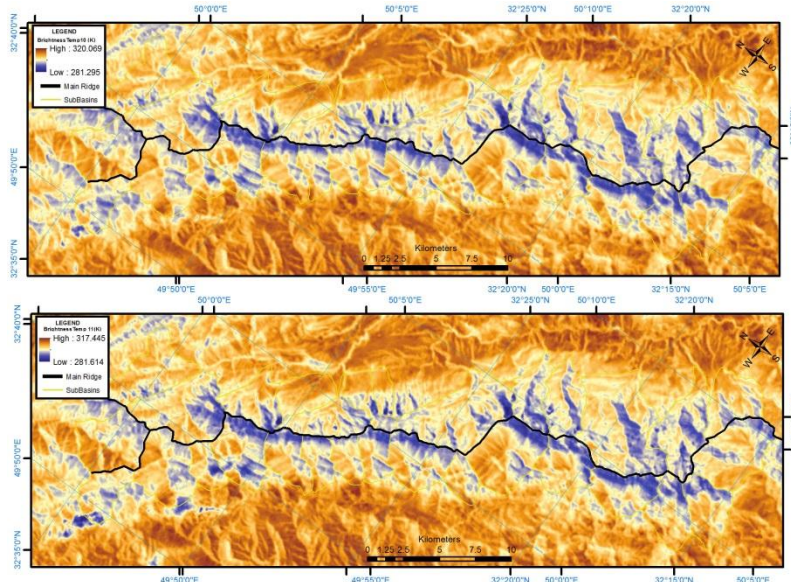
به دست آوردن دمای سطح زمین نیازمند دانش پیرامون توان تشعشعی سطح زمین (یا ضریب گسلندگی) سطح زمین (LSE یا e) است. همان‌طور که در بخش قبل گفتیم، به دست آوردن این ضریب بر اساس نقشه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده صورت می‌گیرد. بدین منظور شاخص NDVI بر اساس روابط (۴)، (۵) و (۶) (شکل ۸ بالا) استفاده شده است. همچنین، مقادیر محاسبه شاخص PV و مقدار ضریب گسلندگی (LSE یا e) به ترتیب از روابط (۷) و (۸) محاسبه شده است. نقشه مقادیر شاخص PV در شکل ۷ و نقشه LSE در شکل ۹ ارائه شده است.



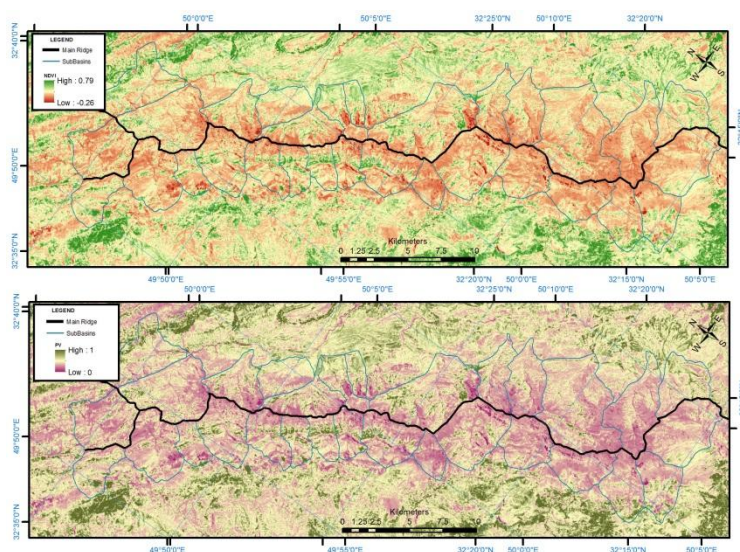
شکل ۵. ترکیب رنگی RGB753 داده‌های لندست ۸ (با دقت تفکیک مکانی ۱۵ متر) و تفکیک مناطق با رخنمون یخ



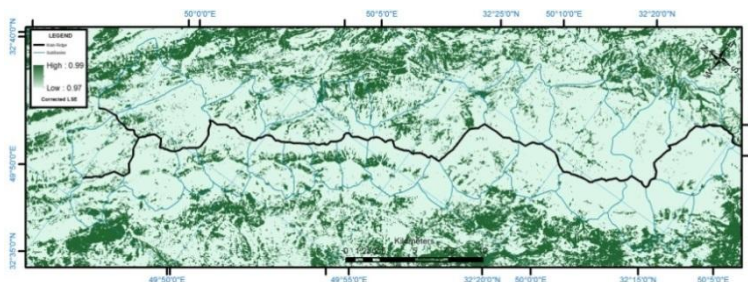
شکل ۶. رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در باندهای حرارتی ۱۰ (بالا) و ۱۱ (پایین) سنجنده OLI لندست ۸ ($\text{Watts}/(\text{m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \mu\text{m})$)



شکل ۷. دمای درخشندگی (بر حسب درجه کلوین) در باندهای حرارتی ۱۰ (بالا) و ۱۱ (پایین) سنجنده OLI لندست ۸



شکل ۸. نقشه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (بالا) و شاخص PV (پایین)



شکل ۹. توان تشعشعی سطح زمین (یا ضریب گسلندگی) سطح زمین (LSE یا e)

همان‌طور که گفتیم، در این تحقیق، برای محاسبه دمای سطح زمین (LST) از الگوریتم تک‌پنجره استفاده شده است. بر این اساس، دمای سطح زمین برای باندهای ۱۰ و ۱۱ (شکل ۱۰ بالا) بر اساس رابطه (۱) محاسبه شده است. متوسط دمای سطح زمین بر اساس مقادیر دمای سطح زمین در باندهای ۱۰ و ۱۱ محاسبه و بر حسب درجه کلوین در شکل ۱۰ (پایین) ارائه شده است.

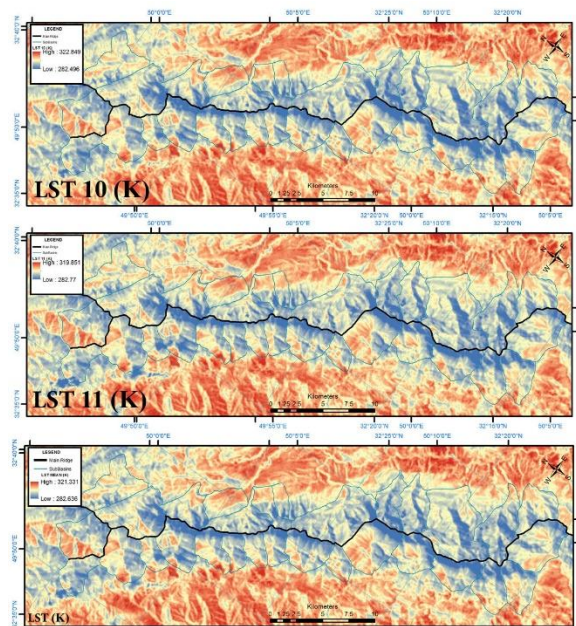
همان‌طور که گفتیم، در باندهای مرئی به دلیل شباهت رفتار طیفی واریزه‌های سطح یخچالی و حاشیه یخچالی تفکیک این دو بخش امکان‌پذیر نیست. در حالی که باندهای مرئی قابلیت بسیار بالایی در شناسایی و تفکیک یخ‌های بدون واریزه دارد، چرا که یخ دارای بازتابندگی بالا در باندهای انعکاسی است. لذا، به منظور شناسایی سطح واقعی یخچال‌ها (سطح یخ و یخ پوشیده‌شده با واریزه‌ها) داده‌های اختلاف دمای موجود در بین اجزای مختلف یخچال تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه و تحلیل اختلاف دماهای موجود بین اجزای مختلف یخچال به منظور تفکیک و شناسایی محدوده واقعی یخچال‌های زردکوه بر اساس نمونه‌برداری از داده‌های LST در محدوده‌های سطح یخچال، واریزه‌های سطح یخچالی، حاشیه یخچالی به تفکیک هر یک از یخچال‌های اصلی منطقه در مقایسه با رخنمون واقعی یخ یخچالی در شکل ۱۱ ارائه شده است. در شکل ۱۱، محدوده یخچال‌های مهم منطقه زردکوه بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از محاسبه دمای سطح زمین (LST)، همین‌طور محدوده رخنمون سطح یخ برای یخچال‌های کوه‌رنگ، پورسونان-خرسان، جفت زرده، میشان و یخچال‌های منطقه هفت‌تان ارائه شده است.

همچنین، مدل سه‌بعدی محدوده رخنمون واقعی یخ‌های یخچالی در دو سیرک یخچالی پورسونان و هفت‌تان با استفاده از تلفیق مدل رقومی ارتفاعی ده متری، همین‌طور تصاویر ماهواره کویک‌برد (مهر ۱۳۹۵) تهیه شد (شکل ۱۲ و ۱۳). در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، مدل سه‌بعدی ترکیب رنگی RGB753 ماهواره لندست (در مرداد ۱۳۹۶) نیز ارائه شده است که در آن رخنمون یخ‌های یخچالی به رنگ آبی نشان داده شده است. همچنین، در این دو شکل محدوده محتمل

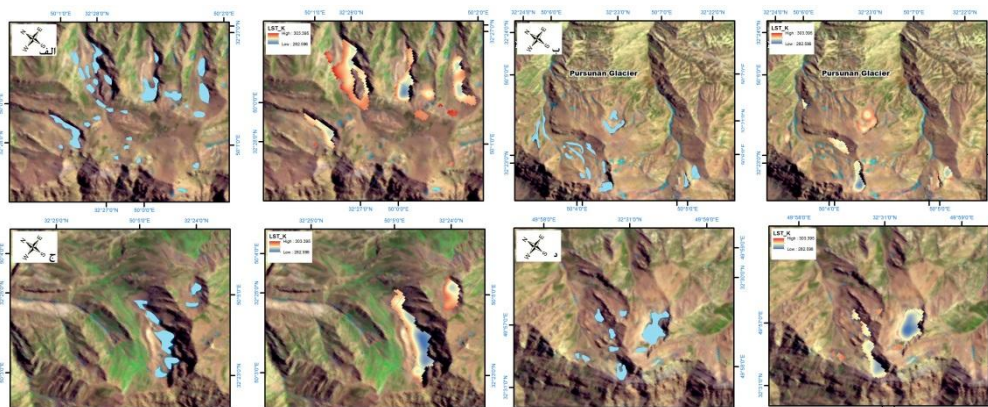
یخچال‌های این دو سیرک (اعم از رخنمون یخ، همین‌طور یخچال‌های پوشیده از واریزه‌ها)، روی مدل سه‌بعدی تصویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد آورده شده است.

جدول ۳. مساحت پهنه‌های یخچالی منطقه زردکوه بر اساس مشاهده مستقیم رخنمون یخ، برآورد بر اساس داده‌های حرارتی و مقایسه آن با نتایج حاصل از تحقیق موسوی و همکاران (۲۰۰۹)

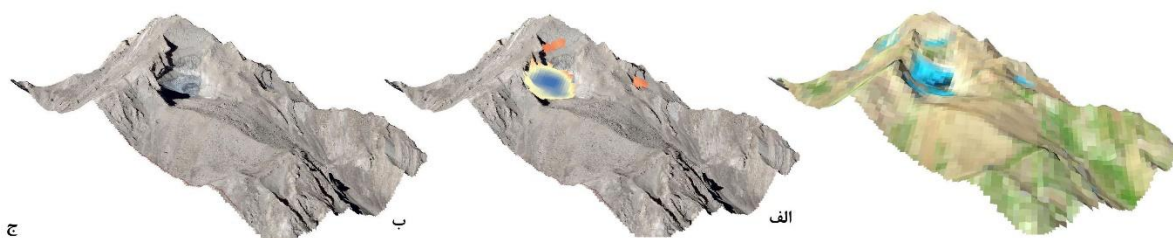
یخچال	جهت	مساحت	مساحت	مساحت
		Km ²	Km ²	Km ²
		موسوی و همکاران (۲۰۰۹)	رخنمون یخ	یخ و یخ پوشیده
یخچال‌های اطراف جفت زرده و شاه شهیدان	چال میشان	۰/۹	۰/۰۳	۰/۱۰
	جفت زرده	۱/۳	۰/۱۵	۰/۳۱
	خرسان	۱/۸	۰/۲۹	۰/۲۹
	پورسونان	۰/۴	۰/۰۹	۰/۱۶
یخچال‌های اطراف سیردان	زردکوه	۰/۶	۰/۰۹	۰/۰۹
	کوه‌رنگ ۱	۰/۴	۰/۰۹	۰/۱۶
	کوه‌رنگ ۲	۰/۵	۰/۰۷	۰/۱۹
	کوه‌رنگ ۳	۰/۴	۰/۱۶	۰/۳۰
یخچال‌های هفتنان	کوه‌رنگ ۴	۰/۴	۰/۰۶	۰/۰۹
	شمال شرق	۰/۴	۰/۲	۰/۳۲
مجموع	-	۷/۱	۱/۲۳	۲/۰۱



شکل ۱۰. دمای سطح زمین بر اساس الگوریتم تک‌پنجره برای باندهای ۱۰ و ۱۱ (بالا) و متوسط دمای سطح زمین (پایین) (درجه کلوین)



شکل ۱۱. محدوده یخچال‌های مهم منطقه زردکوه بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از محاسبه دمای سطح زمین (LST) (تصاویر سمت راست)، همین‌طور محدوده رخنمون سطح یخ (تصاویر سمت چپ) به ترتیب برای یخچال‌های الف (کوه رنگ، ب) پورسونان و خرسان، ج) جفت زرده و میشان و د) یخچال‌های منطقه هفت تنان



شکل ۱۲. مقایسه محدوده یخچال واقع در سیرک یخچالی هفت تنان در مدل سه‌بعدی ماهواره لندست در مرداد ۱۳۹۶ (الف)، محدوده یخچال بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از محاسبه دمای سطح زمین (LST) روی مدل سه‌بعدی از تصویر ماهواره کوئیک برد در مهر ۱۳۹۵ (ب) و رخنمون یخ یخچالی و واریزه‌های مورنی در مدل سه‌بعدی از تصویر ماهواره کوئیک برد در مهر ۱۳۹۵



شکل ۱۳. مقایسه محدوده یخچال واقع در سیرک یخچالی پورسونان در مدل سه‌بعدی ماهواره لندست در مرداد ۱۳۹۶ (الف)، محدوده یخچال بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از محاسبه دمای سطح زمین (LST) روی مدل سه‌بعدی تصویر ماهواره کوئیک برد در مهر ۱۳۹۵ (ب) و رخنمون یخ یخچالی و واریزه‌های مورنی در مدل سه‌بعدی از تصویر ماهواره کوئیک برد در مهر ۱۳۹۵

بر اساس نتایج ارائه شده، مجموع مساحت رخنمون یخ‌های یخچالی در فصل گرم سال، $1/23$ کیلومترمربع و مجموع مساحت محتمل یخچال‌های اصلی منطقه زردکوه در حدود ۲ کیلومترمربع (۲۰۱ هکتار) اندازه‌گیری می‌شود. بزرگ‌ترین پهناهای یخچالی در این منطقه، پهناهای جفت زرده، هفت تنان و کوه رنگ ۳ و کمترین مساحت نیز مربوط به پهناهای یخچالی کوه رنگ چهار و شمال شرق زردکوه است. در جدول ۳ مساحت پهناهای یخچالی منطقه زردکوه بر اساس مشاهده مستقیم رخنمون یخ، برآورد بر اساس داده‌های حرارتی و مقایسه آن با نتایج حاصل از تحقیق موسوی و همکاران (۲۰۰۹) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مساحت پهناهای یخچالی (پهناهای یخی و یا پهناهای یخی با پوشش واریزه) نسبت به آنچه موسوی و همکاران در سال ۲۰۰۹ منتشر کرده‌اند، به شدت کاهش نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در بین پهنه‌های مهم یخچالی در ارتفاعات زاگرس، یخچال‌های زردکوه با توجه به گسترش و قرارگیری در سیرک‌های یخچالی، در مدیریت منابع آب و بررسی آثار تغییرات اقلیمی اهمیت بیشتری دارد. در این تحقیق، پس از انجام مطالعات اولیه، گردآوری اطلاعات و تبیین مبانی نظری، با توجه اهداف تحقیق، ابزارهای تحقیق و روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها، مراحل اجرای پژوهش دنبال و مساحت پهنه‌های یخچالی محدوده مطالعاتی زردکوه اندازه‌گیری شد. تمرکز این تحقیق بر پیکره زردکوه و به‌طور خاص یخچال‌های مهم منطقه شامل چال میشان، جفت‌زرده، خرسان، پورسونان، شرق زرکوه، کوه‌رنگ و هفت‌تان بوده است.

از آنجا که نتایج این تحقیق بر اساس تکنیک‌های بروز سنجش از دور و استفاده توأم از تصاویر ماهواره کویک‌برد، مدل رقومی ارتفاعی با تفکیک مکانی ۱۰ متر و ترکیب آن با دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ (سنجنده TIRS) به‌دست آمده است، آمار و ارقام به‌دست‌آمده برای سطح یخچال‌های بدون پوشش واریزه‌ای و سطح یخ با پوشش واریزه‌ای اطمینان‌پذیری بیشتری نسبت به سایر روش‌های مرسوم دارد.

بر اساس نتایج این تحقیق، حداقل مساحت پهنه‌های یخچالی (تنها با لحاظ رخنمون سطح یخ) در مرداد ۱۳۹۶ حدود ۱۲۳ هکتار بوده است. همچنین، سطح واقعی یخچال‌ها (سطح یخ و یخ پوشیده‌شده با واریزه‌ها) بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج LST و بررسی اختلاف دما‌های موجود در بین اجزای مختلف یخچال، واریزه‌های سطح یخچالی، حاشیه یخچالی به تفکیک هر یک از یخچال‌های اصلی منطقه حدود ۲۰۱ هکتار اندازه‌گیری شد. بارزترین یخچال‌های این منطقه از لحاظ وسعت به ترتیب یخچال‌های منطقه هفت‌تان (۳۲ هکتار)، جفت‌زرده (۳۱ هکتار)، کوه‌رنگ سه (۳۰ هکتار) و یخچال خرسان به وسعت ۲۹ هکتار است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق و تحقیق موسوی و همکاران (۲۰۰۹) نشان از کاهش چشمگیر پهنه‌های یخچالی طی ۱۰ سال اخیر دارد.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تلفیق داده‌های رقومی ارتفاعی، داده‌های دقت بالای باندهای مرئی و داده‌های ماهواره‌ای حرارتی در تفکیک محدوده واقعی یخچال‌ها (اعم از مناطق دارای رخنمون یخ و مناطق پوشیده‌شده با واریزه‌های سطحی) کارایی خوبی دارد و نتایج قابل‌قبولی در اختیار محققان قرار می‌دهد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مادی و معنوی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان صورت پذیرفت. لذا، مؤلفان بر خود وظیفه می‌دانند تا از مدیریت این نهاد تشکر و قدردانی کنند.

منابع

- ابراهیمی، ب. و سیف، ع. (۱۳۹۵). ارتفاع خط تعادل TP-ELA و TPW-ELA در ارتفاعات زاگرس. پژوهش‌های دانش زمین. ۷(۲۸): ۹۶-۱۱۸.
- علوی‌پناه، ک.، هاشمی، س. و کاظم‌زاده، ع. (۱۳۹۴). تحلیل زمانی-مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش سطح شهر و تغییرات کاربری پوشش اراضی. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری. ۳(۱): ۱۷-۱.
- مؤسسه تحقیقات آب، طرح حفاظت از یخچال‌های طبیعی کشور (۱۳۹۱). پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب. جلد چهارم.
- Alavipanah, K., Hashemi, S. and Kazemzadeh, A. (2015). Spatial-temporal analysis of Mashhad thermal island due to expansion of the city's surface and land use changes. *Geography and Urban Planning Research*. 3(1): 1-17. [in Persian]
- Barr, I.D. and Spagnolo, M. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: their potential and limitations. *Earth-Science Reviews*. 151: 48-78.
- Bronge, L.B. and Bronge, C. (1999). Ice and snow type classification in Vestfold Hills, East Antarctica, using LANDSAT TM data and ground radiometer measurements. *International Journal of Remote Sensing*. 20(2): 225-240.
- Desio, A. (1934). Appunti geografici e geologici sulla catena dello Zardeh Kuh in Persia. *Memorie Geologiche e Geographiche di G. Dainelli*. 4: 141-167.
- Ebrahimi, B. and Seif, A. (2017). Morphometric properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain, Iran. *Geopersia*. 7(1): 117-137.
- Ebrahimi, B. and Seif, A. (2016). Equilibrium-ine altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran. *Geopersia*. 6(2): 299-322.
- Ebrahimi, B. and Seif, A. (2016). TP-ELA and TPW-ELA in Zagros Mountain, Iran. *Journal of Earth Sciences Researches*. 28: 96-118. [in Persian]

- Ferrigno, J.G. (1991). Glaciers of the Middle East and Africa. Glaciers of Iran. In Williams, R.S., Jr and J.G. Ferrigno, eds. Satellite image atlas of glaciers of the world. Denver, CO, United States Geological Survey, G31-G47. (USGS Professional Paper 1386 G-2.).
- Grunert, J., Carls H.G. and Preu, C. (1978). Rezente vergletscherungsspuren in zentraliranischen Hochgebirgen. *Eiszeitalter Ggw.* 28: 148-166.
- Gupta, R.P., Haritashya, U.K. and Singh, P. (2005). Mapping dry/wet snow cover in the Indian Himalayas using IRS multispectral imagery. *Remote Sensing of Environment.* 97(4): 458-469.
- Haerberli, W. and Hoelzle, M. (1995). Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. *Annals of Glaciology.* 21: 206-212.
- Hall, D.K. Jr., Williams, R.D. and Baur, K.J. (1992). Glacier recession in Iceland and Austria. *EOS, Transaction of the American Geophysical Union.* 73, 129, 135 and 141.
- Hall, D.K., Chang, A.T.C. and Siddalingaiah, H. (1988). Reflectances of Glaciers as calculated from the Landsat 5 Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment.* 25: 311-321.
- Keshri, A., Shukla, A. and Gupta, R.P. (2009). ASTER ratio indices for supraglacial terrain, aping. *International Journal of Remote Sensing.* 30(2): 519-524.
- Kuhn, M. (1981). Climate and glaciers. *IAHS.* 131: 3-20.
- Kuhn, M., Markl, G., Kaser, G., Nickus, U. and Obleitner, F. (1985). Fluctuations of climate and mass balance. Different responses of two adjacent glaciers. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie.* 2: 409-416.
- Latif, M.S. (2014). Land surface temperature retrieval of Landsat-8 data using split window algorithm- A case study of Ranchi District. *International Journal of Engineering Development and Research.* 2: 3840-3849.
- Lougeay, R. (1974). Detection of buried glacial and ground ice with thermal infrared remote sensing. In H. S. Santeford, & J. L. Smith (Eds.), *Advanced concepts and techniques in the study of snow and ice resources:* 487-494.
- Moussavi, M.S., Valadan Zoej M.J., Vaziri F., Sahebi M.R. and Rezaei, Y. (2009). A new glacier inventory of Iran. *Annals of Glaciology.* 50(53).
- Ranzi, R., Grossi, G., Iacovelli, L. and Taschner, S. (2004). Use of multispectral ASTER images for mapping debris-covered glaciers within the GLIMS project. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Symposium:* 1144-1147.
- Oerlemans, J. and Reichert, B.K. (2000). Relating glacier mass balance to meteorological data by using a seasonal sensitivity characteristic. *Journal of Glaciology.* 46: 1-4.
- Petri, K.E., Pellikka, W. and Ress, G. (2010). Remote sensing of glaciers. Techniques for topographic, spatial and thematic mapping of glacier. Taylor & Francis Group, London, UK.
- Seif, A. and Ebrahimi, B. (2014). Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, Iran. *Quaternary International.* 353: 236-249.
- Silverio, W. and Jaquet, J.M. (2005). Glacial cover mapping (1987-1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment.* 95(3): 342-350.
- Taschner, S. and Ranzi, R. (2002). Comparing opportunities of Landsat-TM and ASTER data for monitoring a debris-covered glacier in the Italian Alps within the GLIMS project. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Symposium:* 24-28.
- Water Research Institute (2012). National Glacier Protection Plan Report, V. 4.