

# بررسی یخچال طبیعی خرسان زردکوه بختیاری به وسیله تصاویر ماهواره‌ای

نویسنده: یوسف رضائی\*، محمد جواد ولدان زوج\* و فریبرز وزیری\*

\*دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۱/۲۱

## چکیده

با توجه به این که یخچال‌ها و برف‌چال‌های کشور از منابع طبیعی اصلی و مهم آب شیرین ایران هستند، بنابراین شناسایی، مطالعه و حفاظت از این منابع ضروری به نظر می‌رسد. منظور از شناسایی و مطالعه یخچال‌های طبیعی، برآورد پارامترهای مختلف یخچالی نظیر بیشترین و کمترین ارتفاع، مساحت و محیط، موقعیت خط برف و... است. با توجه به مشکلات مطالعه این مناطق از طریق پژوهش میدانی و اندازه‌گیری مستقیم از نظر هزینه و سختی کار، کمک و بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور بسیار مفید است. در این تحقیق، به منظور بررسی و مطالعه یخچال طبیعی خرسان در زردکوه بختیاری و شناسایی و برآورد پارامترهای مهم یخچال طبیعی از تصاویر ماهواره‌ای Aster و IRS، عکس‌های هوایی و مدل ارتفاعی رقومی منطقه با دقت بالا برای محاسبه پارامترهای مختلف یخچال طبیعی استفاده شد. با به کارگیری الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت نشده بر روی تصاویر Aster، قسمت‌های مختلف یخچال طبقه‌بندی و مرزبندی شد همچنین برای شناسایی قسمت‌های مختلف یخچال، شامل یخ‌لخت، برف یخزده سال‌های قبل و برف تازه یخزده از فضای عارضه و منحنی طیفی یخ و برف و برای شناسایی حفره‌های مکش بر روی سطح یخچال از عکس‌های هوایی منطقه استفاده شد. در نهایت با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی و تصویر تلفیقی و استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از روش‌های طبقه‌بندی و تفسیر چشمی، مرز یخچال و پیشانی و حد بالای آن استخراج شد و نقشه قدیمی یخچال‌های منطقه به‌روز گردید.

**کلیدواژه‌ها:** پارامترهای یخچال، تصاویر ماهواره‌ای، منحنی طیفی، تفسیر چشمی، یخچال طبیعی

## ۱- مقدمه

یخچال‌ها، عوارض خاص یخچالی مانند وجود شکاف‌ها و یخرفت‌ها (مورن) بر سطح یخچال دیده نمی‌شود (وزیری، ۱۳۷۹)، به همین علت، این نوع یخچال‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و حتی به غلط به آنها برف‌چال نیز گفته می‌شود. یخچال‌های طبیعی منطقه زردکوه و اشتران‌کوه از نوع ساختار قابل نفوذ هستند به علت وسعت کم این یخچال‌ها، تا کنون در مورد شناسایی آنها اقدامات جدی صورت نگرفته است و تنها تحقیق مشخص توسط وزیری (۱۳۷۹) در این زمینه بوده است بنابراین مطالعه و بررسی بر روی این نوع یخچال‌ها بسیار ضروری و پراهمیت می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی و مطالعه یخچال طبیعی خرسان در منطقه زردکوه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و هوایی است. این مقاله ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه می‌پردازد و در ادامه داده‌های مورد استفاده در تحقیق و نحوه تحلیل این داده‌ها و بخصوص تصاویر ماهواره‌ای آورده می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری کلی از کارهای انجام شده و تحلیل‌های این تحقیق بیان می‌شود.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

رشته کوه زردکوه با درازای حدود ۱۲۰ کیلومتر و پهنای ۳۰ کیلومتر در رشته کوه زاگرس از بلندی‌های مهم ایران به شمار می‌آید. مرتفع‌ترین قله این کوه با نام شاه شهیدان (زرد کوه) با ارتفاع ۴۲۲۱ متر از سطح دریا در موقعیت جغرافیایی ۳۲°۲۲' شمالی و ۵۰°۰۴' خاوری قرار دارد. در این منطقه کوهستانی که دارای هوای سرد و زمستان‌های پربرف است، یخچال‌های طبیعی و برف‌چال‌های بزرگ و کشیده قرار دارند (وزیری، ۱۳۷۹). با آغاز فاز کوهزایی پلیوسن پیشین، بخش‌های مهمی از ایران مرکزی دچار فرارخاست می‌شود که از فرسایش آن رسوبات کنگلومرای زردکوه (کوه‌های بختیاری) که از قسمت‌های مهم میانی زاگرس به شمار می‌رود، پدیدار و ریخت‌شناسی (مرفولوژی) کنونی کشور را ترسیم شد. قسمت اصلی این رشته کوه را سازند بختیاری تشکیل داده است. در سازند بختیاری فسیل‌های قابل تشخیص یافت نشده و سن آن پلیوسن پسین و جوان‌تر ذکر شده است. کوهزایی میوسن - پلیوسن موجب چین خوردگی و خروج ناحیه زاگرس از آب شد. فرسایش این ارتفاعات و انباشت آنها در دامنه‌ها و مناطق

ثابت و محدود بودن منابع آب شیرین در چرخه طبیعت و بویژه ایران که از مناطق نیمه خشک به شمار می‌آید، از یک سو و افزایش جمعیت و گسترش علم و صنعت و توسعه شهرها که افزایش چندین برابری مصرف آب را موجب گردیده است، از سوی دیگر، ضرورت مطالعه و بررسی منابع تأمین آب شیرین کشور را نشان می‌دهد. در ایران بیشتر رودخانه‌های با جریان دائمی، حوضه آبرگیر برفگیر دارند و همچنین چشمه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین نیز بیشتر در حوضه‌های آبریز برفگیر قرار دارند. بنابراین درصد زیادی از منابع آب کشور ایران از ذخایر برفی در یخچال‌ها و برف‌چال‌های طبیعی تأمین می‌شود (وزیری، ۱۳۷۹).

به طور کلی یخچال‌های طبیعی به این صورت به وجود می‌آیند که برف به صورت بلورهایی با شکل‌های گوناگون بر روی سطح زمین سقوط می‌کند و در مناطقی که از نظر شرایط محیطی و جوی مستعد تشکیل یخچال طبیعی هستند، انباشته می‌شود. برف در اثر سه عامل مهم دمای خورشید، تصعید و اثر فشار فزاینده، دچار دگرگونی پیچیده شده که طی این فرایند، یخ یخچالی تشکیل می‌شود (شکل ۱).

ایران دارای ۵ منطقه یخچالی مهم است که از نظر ساختار زمین‌شناسی، به دو نوع با ساختار غیر قابل نفوذ و ساختار قابل نفوذ رده‌بندی می‌شوند. مناطق یخچالی عمده ایران به قرار زیر می‌باشد (وزیری، ۱۳۷۹):

- یخچال‌های طبیعی اطراف قله علم کوه (کوه‌های تخت سلیمان)
- یخچال‌های طبیعی اطراف قله دماوند
- یخچال‌های طبیعی اطراف قله سبلان
- یخچال‌های طبیعی رشته کوه زرد کوه
- یخچال‌های طبیعی رشته کوه اشتران کوه

از مناطق یخچالی بالا، یخچال‌های طبیعی علم کوه، دماوند و سبلان در ساختار غیر قابل نفوذ و یخچال‌های مناطق زردکوه و اشتران‌کوه از نظر ساختار زمین‌شناسی دارای ساختار آهکی بوده که با سه یخچال اول، از نظر شکل و عوارض یخچالی متفاوت هستند. ستبرای یخ یخچال‌های طبیعی که در سازندهای آهکی شکل گرفته‌اند، نسبت به یخچال‌های طبیعی موجود در واحدهای گرانیتی کم است. همچنین در این نوع

در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، سازمان نقشه‌برداری کشور مربوط به سال ۱۳۷۶ استفاده شده است. سنجنده Aster بر روی ماهواره Terra است که در دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده دارای ۱۴ باند تصویربرداری است. این سنجنده از لحاظ رادیومتریکی و مکانی قدرت تفکیکی خوبی دارد. از باندهای فرورسرخ (قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) و مرئی و فرورسرخ (مادون قرمز) نزدیک (قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر) سنجنده ASTER، در این تحقیق استفاده شد (جدول ۱). ماهواره Indian Remote Sensing Sat (IRS 1C, 1D) متعلق به سازمان فضایی هند است که به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شده و سنجنده پانکروماتیک آن دارای قدرت تفکیک فضایی ۵/۸ متر و عرض پوشش ۷۰ کیلومتر و باند طیفی ۷۵٪-۵٪ میکرون است که از تصویر پانکروماتیک مرداد ماه ۱۳۸۳ مربوط به منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

### ۲-۳- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پس از به دست آوردن داده‌های مورد نیاز، بایستی این تصاویر برای پردازش و استخراج اطلاعات مورد نیاز آماده شوند. اولین قسمت آماده‌سازی داده‌ها، تصحیح رادیومتریکی تصاویر است. تصحیح رادیومتریکی تصاویر به طور عمده شامل خطای سنجنده و اتمسفر است. در این تحقیق، تصاویر فاقد خطای سنجنده بوده و فقط تصحیح اتمسفری به روش کلی بر روی تصاویر انجام شده است. مرحله دوم، تصحیح هندسی تصاویر است. منظور از تصحیح هندسی تصاویر، کاهش خطاهای موجود بر روی تصاویر ماهواره‌ای است. برای کاهش خطاهای موجود در تصویر و همچنین تبدیل مختصات از سیستم تصویربرداری به سیستم زمینی می‌توان از مدل‌های ریاضی استفاده کرد که در اینجا از معادله‌های چند جمله‌ای (Polynomial) استفاده شده است.

به منظور استفاده از این معادله‌ها، بایستی از یک سری نقاط کنترل زمینی استفاده کرد. برای استخراج نقاط کنترل زمینی می‌توان از نقشه‌های موجود بهره گرفت. با توجه به این که در این تحقیق از نقشه‌ای با مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ استفاده شده است، بنابراین با توجه به دقت نقشه، می‌توان از آن برای استخراج نقاط کنترل زمینی به منظور تصحیح هندسی تصاویر Aster استفاده کرد. اما برای تصحیح تصویر IRS (با قدرت تفکیک ۵/۸ متر) مناسب نیست و باید از اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر که توسط GPS یا نقشه‌برداری زمینی انجام می‌گیرد، استفاده کرد اما در این تحقیق به علت صعب‌العبور بودن منطقه مطالعاتی، امکان انجام عملیات زمینی وجود نداشت و با صرفه‌ترین راه استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ موجود از منطقه و نقاط مثلث‌بندی هوایی موجود در سازمان نقشه‌برداری کشور بود بنابراین برای تصحیح تصویر ماهواره ای IRS، از ارتوفتو منطقه حاصل از عکس‌های هوایی، استفاده شده است.

### ۳-۳- تهیه ارتوفتو منطقه

برای تهیه ارتوفتو منطقه از عکس‌های هوایی منطقه در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و نرم‌افزار VirtuoZONT، استفاده شد. با استفاده از این نرم‌افزار، توجیه‌های داخلی، نسبی و مطلق با دقت زیر متر انجام شد. بعد از انجام توجیهات و با استفاده از ۶ عکس هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ از منطقه که به وسیله اسکتر با پیکسل سائز ۲۵μm رقومی شده بودند، مدل منطقه تهیه شد. عکس‌های مورد استفاده در ۲ ردیف (Ran) و هر ردیف دارای ۳ عکس بود که بنابراین در هر ردیف، ۲ مدل تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار VirtuoZONT، مدل ارتفاعی منطقه با منحنی میزان‌های یک متری تهیه شد. پس از تهیه مدل ارتفاعی منطقه، ارتوفتوی هر کدام از مدل‌ها نیز تهیه شد. با استفاده از ارتوفتو موزاییک شده منطقه، تصویر IRS منطقه یخچالی با استفاده از ۱۰

پست، موجب تشکیل رسوبات کنگلومرایی شد که در نواحی ساحلی فارس، لایه نازکی از آهک کنگلومرایی به طور دگرشیب سازند آغاچاری را می‌پوشاند که معرف سازند بختیاری در این مناطق است. در این منطقه، بخصوص در حوالی منطقه زردکوه سازندهای آهکی از نوع آهک آسماری است (وزیری، ۱۳۷۹).

همان‌طور که ذکر شد ایران دارای ۵ منطقه یخچالی عمده است، در بین این ۵ منطقه یعنی دماوند، اشتران‌کوه، زردکوه، سبلان و علم‌کوه به دلایلی چند، منطقه زردکوه برای انجام این تحقیقات در نظر گرفته شد که این دلایل عبارتند از: یخچال‌های این منطقه منشأ رودخانه‌های مهمی مانند رودخانه کوه‌رنگ و رودخانه بازفت است،

– سابقه کم مطالعه در مورد این منطقه،

– تفاوت عمده رفتار یخچال‌های این منطقه با دیگر یخچال‌ها،

در طول رشته‌کوه طویل زردکوه یخچال‌ها و برف‌چال‌های زیادی وجود دارد. اما عمده یخچال‌ها و برف‌چال‌های این منطقه در سه محل زیر متمرکز است (وزیری، ۱۳۷۹)؛

الف) یخچال‌های طبیعی اطراف قلل جفت زرده و شاه شهیدان، شامل یخچال چال میشان، یخچال جفت زرده، یخچال خرسان، یخچال پورسونان.

ب) یخچال‌های طبیعی و برف‌چال‌های اطراف قله سیردان، شامل یخچال‌های کوه‌رنگ. ج) یخچال هفت‌تان (ابلوک).

در شکل ۲ نقشه منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

### ۱-۲- ویژگی‌های یخچال‌های طبیعی منطقه زردکوه

یخچال‌های این منطقه از نوع یخچال‌های کوهستانی کاسه‌ای (با سیرک یخچالی) هستند (وزیری، ۱۳۷۹).

به دلیل وجود سازندهای آهکی در منطقه، بر اثر ذوب تدریجی برف‌چال‌ها و نفوذ در درز و شکاف‌های کارستی و حل شدن کانی‌های آهکی، حفره‌های مقعری در سطح زمین ناشی از توسعه درز و شکاف‌ها و جذب آب‌های حاصل از ذوب برف‌چال در داخل سازندها به وجود می‌آید و به Sinkhole (حفرات کارستی)، (شکل ۳) معروف است.

به طور کلی در یخچال‌های طبیعی با ساختار آهکی، به علت نفوذ تدریجی آب حاصل از ذوب برف در سطح یخچال، ستبرای یخ تشکیل شده بسیار کم است. البته ستبرای یخ بستگی به میزان بارش برف سالانه دارد. اگر ستبرای یخ کم باشد، حرکت یخچال و فرایندهای مربوط به انبساط حجم یخ از قبیل تشکیل شکاف‌های یخچالی و به وجود آمدن یخرفت‌ها در یخچال یا مشاهده نمی‌شود یا وجود این پدیده‌ها بسیار ضعیف است.

### ۳- تحلیل تصاویر ماهواره‌ای

روش‌های سنجش از دور به همراه سامانه اطلاعات مکانی و اطلاعات ماهواره‌ای، را می‌توان برای بازسازی و نمایش جنبه‌های خاصی از طبیعت استفاده کرد که شبیه‌سازی و آزمایش آنها یا امکان‌پذیر نیست و یا در صورت امکان، مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار زیادی است (طوسی، ۱۳۸۲). در این تحقیق نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل آنها، به بررسی یخچال‌های منطقه صعب‌العبور زردکوه پرداخته شده است. در ابتدا به معرفی داده‌های مورد استفاده می‌پردازیم.

### ۱-۳- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای Aster مربوط به مردادماه سال ۱۳۸۰ و IRS-Pan مربوط به مردادماه سال ۱۳۸۲ و همچنین نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵,۰۰۰ و عکس‌های هوایی

یخ در باندهای ۱ و ۲ سنجنده Aster بیشترین بازتابش را دارد و در باندهای فرورسرخ کمترین بازتابش را دارد. بنابراین با استفاده از فضای طیفی باندهای ۱ و ۹ در می‌یابیم که منطقه‌ای که در باند ۹ کمترین بازتابش را دارا است یخ می‌باشد. بنابراین منطقه‌ای که در شکل ۶ نشان داده شده یخ است و با مشخص کردن آن در فضای طیفی و نمایش آن منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای، بالاترین ارتفاع کاسه یخگیر، یخچال شناسایی شد که یخ دیواره‌ای است. همچنین آخرین نقطه که نزدیک پیشانی یخچال است نیز شامل یخ لخت است که از این طریق به خوبی شناسایی شد. ناحیه دوم، منطقه‌ای از یخچال طبیعی است که یخ پوشیده از برف است. با توجه به نمودار طیفی برف، شکل ۷، مشخص می‌شود که برف در باند ۱ بیشترین بازتابش و در باندهای ۵ و ۶ و ۷ کمترین بازتابش را داراست. همچنین با توجه به منحنی طیفی برف کهنه یخزده و برف تازه یخزده (برفک)، شکل ۷، با استفاده از تصویر Aster می‌توان به خوبی این دو منطقه را تفکیک کرد.

در شکل ۸ مناطقی بر روی یخچال طبیعی که شامل برف کهنه (سال‌های قبل) و برف یخزده است به خوبی شناسایی شد. مناطقی که کم‌رنگ‌تر مشخص شده‌اند مناطقی از یخچال طبیعی است که برف آنها کهنه بوده و مربوط به سال‌های قبل است که در نتیجه بازتابش آنها نسبت به برف منجمد شده (برفک) که نسبت به آن تازه‌تر است، کمتر است. مناطقی که با تن رنگی کمتر متمایز شده‌اند، نشان‌دهنده مناطق یخچال طبیعی هستند که دارای برف یخزده و یخ قدیمی می‌باشند. بدین صورت که یخچال پورسونان و جنوب خاوری زردکوه نیز به خوبی متمایز شده‌اند.

با استفاده از این روش می‌توان منطقه یخچالی را به بخش‌های مختلف تفکیک کرد که شامل یخ لخت، یخ پوشیده از برف (برف یخزده کهنه) و برف برفک شده که آماده یخ زدن است. تنها منطقه‌ای بر روی یخچال طبیعی که نمی‌توان آن را شناسایی نمود یخ زیر خاک است که چون از تصاویر نوری استفاده شده است این کار ممکن نیست. مناطق مختلف بر روی یخچال طبیعی که با این روش مشخص شده‌اند در شکل ۹ نشان داده شده است.

در شکل ۱۰ محدوده استخراج شده توسط طبقه‌بندی نظارت نشده و محدوده استخراج شده یخچال با استفاده از منحنی طیفی و فضای عارضه مقایسه شده است. مقایسه این دو محدوده استخراج شده، نشان می‌دهد که در محدوده استخراجی توسط طبقه‌بندی نظارت نشده، سایه‌ها نیز جزو یخچال طبقه‌بندی شده‌اند که به علت شباهت طیفی یخ و مناطق سایه است و با کمک گرفتن از فضای عارضه فقط مناطق یخی و برفی استخراج شده است.

در جدول ۲ مقایسه آماری این دو روش نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود در دو روش مناطقی که یخچال شناسایی شده‌اند بسیار نزدیک به هم هستند و در طبقه‌بندی نظارت نشده مناطقی که به اشتباه یخچال طبیعی طبقه‌بندی شده‌اند ۱۱/۰۹ درصد هستند، که با توجه به تصویر ماهواره‌ای منطقه، سایه‌کوه‌ها هستند که یخچال طبقه‌بندی شده‌اند.

#### ۴- استفاده از تفسیر بصری

با استفاده از ترکیب رنگ‌های مختلف می‌توان سیمای سطحی یخچال را بررسی کرد و محدوده یخچال را به صورت رقومی استخراج کرد. با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Aster منطقه و ترکیب آن با تصویر IRS می‌توان به یک تصویر واضح و شارپ از منطقه دست یافت و با استفاده از این تصویر محدوده یخچال را رقومی کرد، در یخچال‌های کارستیک پیشانی یخچال به سادگی قابل تشخیص نیست و بایستی از مدل ارتفاعی دقیق منطقه استفاده کرد. در خصوص شناسایی یخچال، مفسر باید تعاریف و اصطلاحات خاص یخچال‌های طبیعی و نحوه تشکیل آنها را بداند، همچنین

نقطه کنترل و با دقت ۰/۵ پیکسل تصحیح هندسی شد. پس از تصحیح هندسی تصویر IRS، تصویر ماهواره‌ای Aster نیز نسبت به تصویر IRS هم‌مختصات (Register) شد. همچنین به منظور بارزسازی تصاویر و نمایش بهتر، تصویر Aster با تصویر IRS Pan با استفاده از روش PCA (Principle Component Analyses)، تلفیق (Fusion) شدند.

#### ۴-۳- طبقه‌بندی نظارت نشده

در فرایند طبقه‌بندی نظارت نشده، اساس کاربر طبقه‌بندی گروهی است. در یک طبقه قراردادن پیکسل‌ها در سنجش از دور بر اساس ویژگی‌های طیفی مشابه آنها، فرایندی است که به آن خوشه‌بندی گویند (Richard & Xiuping, 2006). علت انتخاب این روش طبقه‌بندی متعدد است از آن جمله می‌توان از عدم امکان انتخاب نواحی آموزشی نام برد، بویژه مواقعی که امکان دریافت داده‌های آموزشی سخت می‌باشد. با استفاده از Iso Data Clustering (Iterative Self Organizing Data Analysis) که یک روش خودکار است می‌توان باندهای ورودی مختلف را طبقه‌بندی کرد. در این روش فقط تعداد خوشه‌ها (cluster) و بیشترین تعداد تکرار مورد نیاز است. این روش یک روش سریع است که برای شناسایی و طبقه‌بندی یخچال‌هایی که سطح آنها تمیز باشد (یعنی پوشیده از یخرفت (morain) و خاک نباشد) دقت قابل ملاحظه‌ای را داراست (Kaab et al., 2003; Paul, 2001; Paul et al., 2002). در شکل ۴ نتیجه طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم ISO DATA و ۱۰ طبقه (شامل مناطق مختلف خاک، گیاه، سنگ، صخره، سایه، انواع برف و یخ) و ۱۵ بار تکرار ارائه شده است. تعداد طبقه‌ها طوری انتخاب شد که بهترین حالت از نظر شناسایی انواع برف و یخ به دست آید، یعنی بیشترین حالت تفکیک برف و یخ صورت گیرد.

همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، در این روش طبقه‌بندی، مناطق مختلفی بر روی یخچال طبیعی طبقه‌بندی شده است. در سمت راست تصویر ماهواره‌ای منطقه و در سمت چپ محدوده استخراج شده یخچال که به صورت خودکار و با تلفیق سه طبقه (دو طبقه برف و یک طبقه یخ) به دست آمده است، مشاهده می‌شود. ولی همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، در این روش به دلیل شباهت طیفی بعضی قسمت سایه‌ها به مناطق یخی، یک طبقه سایه کوه‌ها نیز جزو منطقه یخچالی طبقه‌بندی شده است که این عامل یکی از مشکلات این روش می‌باشد.

#### ۵-۳- استفاده از فضای عارضه و منحنی طیفی

با استفاده از منحنی بازتابش برف، مشخص می‌شود که در طول موج مرئی، برف تازه معمولاً بازتابش در حدود ۹۰ درصد یا بیشتر دارد، در حالی که برف کهنه یا برف همراه با خاک و خاشاک بازتابش برابر ۴۰ درصد دارد (leroux et al., 1996). بازتابش به ویژگی‌های برف مانند اندازه، ابعاد و شکل دانه‌ها، آب موجود در آن، زبری سطح، ستبرای وجود آلودگی‌ها در آن بستگی دارد (Rott, 1987). بازتابش برف در هر دو ناحیه نور مرئی و فرورسرخ (مادون قرمز) نزدیک با افزایش عمر آن کاهش می‌یابد. اما این کاهش در فرورسرخ نزدیک مشهودتر بوده و کاهش بازتابش فرورسرخ ناشی از افزایش بعد ذرات برف و اثر ذوب شدن و انجماد مجدد است (Rott, 1987). کاهش بازتابش نور مرئی بیشتر به دلیل وجود آلودگی‌هایی چون غبار، خاک و سایر ذرات است. با استفاده از تصویر Aster که شامل ۹ باند است و استفاده از منحنی طیفی یخ و برف نتایج زیر حاصل شد. و در روی تصویر Aster مناطق زیر شناسایی شد. با توجه به نمودار طیفی یخ لخت، شکل ۵، در می‌یابیم که

جدول ۱- باندهای مورد استفاده سنجنده ASTER

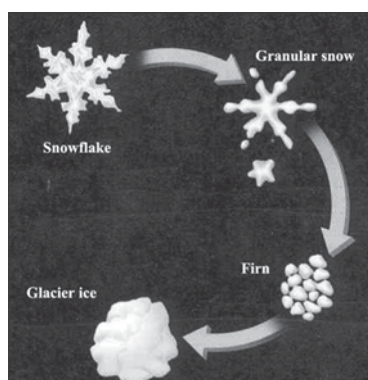
نام باند	شماره باند	طول موج (میکرو متر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	قدرت تفکیک رادومتریک (متر)
VNIR	۱	۰/۵۲-۰/۶۰	۱۵	۸ بیت
	۲	۰/۶۳-۰/۶۹		
	۳	۰/۸۳-۰/۸۶		
	Backward	۰/۸۳-۰/۸۶		
SWIR	۴	۱/۶-۱/۷	۳۰	۸ بیت
	۵	۲/۱۴۵-۲/۱۸۵		
	۶	۲/۱۸۵-۲/۲۲۵		
	۷	۲/۲۳۵-۲/۲۸۵		
	۸	۲/۲۹۵-۲/۳۶۵		
	۹	۲/۳۶-۲/۴۳		

جدول ۲- مقایسه دو روش استفاده از طبقه‌بندی ISO DATA و استفاده از فضای طیفی به صورت نظارت شده

مجموع درصد	مناطق طبقه‌بندی شده غیر یخچال درصد	مناطق طبقه‌بندی شده یخچال درصد	استفاده از فضای عارضه طبقه‌بندی ISO DATA
۸۶/۰۶	۸۸/۹۱	۰/۳۷	مناطق طبقه‌بندی شده غیر یخچال درصد
۱۳/۹۴	۱۱/۰۹	۹۹/۶۳	مناطق طبقه‌بندی شده یخچال درصد
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مجموع درصد

جدول ۳- پارامترهای محاسبه شده یخچال خراسان

مساحت حوضه آبریز	۹/۵۲۶۸۸۱ کیلومتر مربع	
محیط حوضه آبریز	۱۶/۵۲۹۷۶ کیلومتر	
مساحت یخچال	۱/۲۸ کیلومتر مربع	
محیط یخچال	۶/۵۸۰ کیلومتر	
ارتفاع پیشانی یخچال	۳۶۲۰ متر از سطح دریا	
ارتفاع حد بالای کاسه یخگیر	۴۰۴۰ متر از سطح دریا	
مرکز ثقل یخچال	$\Lambda, X$ $50^{\circ}04'30.60''$ $413001$	$\Phi, Y$ $32^{\circ}22'32.31''$ $3582450$
عرض میانگین یخچال	۳۵/۵۹۵ متر	
طول یخچال	۲/۳۶۰ کیلومتر	



شکل ۱- فرایند تشکیل یخچالی

قسمت‌های مختلف یک یخچال طبیعی و انواع مختلف یخ موجود در آنها را بشناسد. یخچال طبیعی شامل یک کاسه یخگیر است، که در یک سیرک یخچالی تشکیل می‌شود، اولین عامل در شناسایی یک یخچال طبیعی، شکل سیرک یخچالی است و در مرحله دوم، یخ موجود در سیرک یخچالی است، که حتی در اواخر فصل گرما (شهریور) نیز در سیرک یخچالی مشاهده می‌شود. برای نتیجه‌گیری بهتر، می‌توان از DEM منطقه نیز استفاده کرد. با استفاده از مدل ارتفاعی منطقه و تصویر تلفیق شده، شکل ۱۱، می‌توان موقعیت پیشانی یخچال، کاسه یخگیر و محدوده یخچال را دقیق‌تر شناسایی کرد. در یخچال‌هایی با ساختار زمین‌شناسی کارستی، عوارض مهم یخچالی مانند زبانه‌های یخچالی و یخرفت‌ها بر روی سطح یخچال مشاهده نمی‌شود و تنها پدیده قابل مشاهده وجود حفره‌های کارستی (Sinkhole) بر روی سطح یخچال است. با توجه به ابعاد این حفره‌ها (اندازه دهانه آنها در حد متر)، نمی‌توان آنها را بر روی تصاویر ماهواره‌ای در دسترس (در این تحقیق) مشاهده و شناسایی کرد. به این منظور برای شناسایی این عوارض از عکس‌های هوایی سازمان نقشه‌برداری با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ استفاده شد. در شکل ۱۲ شناسایی عوارض سطحی و پیشانی یخچال پورسونان بر روی عکس‌های هوایی نشان داده شده است.

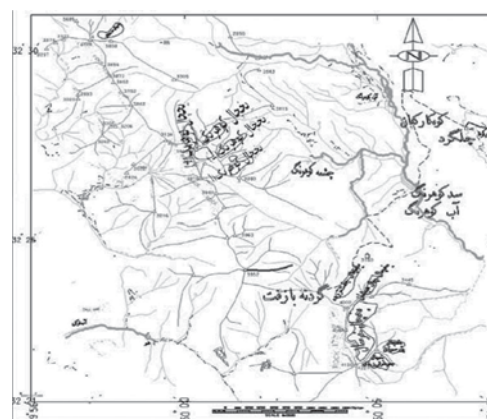
در شکل ۱۳ تصویر ترکیب شده Aster با IRS یخچال طبیعی خراسان و محدوده یخچال که رقومی شده است، مشاهده می‌شود. با توجه به اطلاعات به دست آمده از طبقه‌بندی قسمت‌های مختلف یخچال و شناسایی پیشانی و حد بالای کاسه یخگیر، با استفاده از عمل رقومی کردن محدوده یخچال و حوضه آبریز آن، پارامترهای زیر محاسبه شد (جدول ۳).

## ۵- نتیجه‌گیری

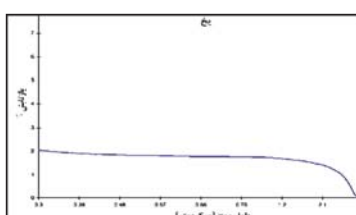
یخچال‌ها و برف‌چال‌های طبیعی یکی از منابع بسیار مهم آب شیرین کشور هستند که تا کنون مطالعه جدی در مورد آنها انجام نشده است. با توجه به این که این مناطق بیشتر در قسمت‌های کوهستانی و صعب‌العبور قرار دارند بنابراین مطالعه آنها با استفاده از روش‌های زمینی بسیار هزینه‌بر، طاقت فرسا و در بسیاری موارد ناممکن است، بنابراین استفاده از فناوری‌های جدید، ضروری به نظر می‌رسد. تلفیق روش‌های میدانی و استفاده از فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای در این مطالعات بسیار مفید خواهد بود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و مدل ارتفاعی رقومی منطقه یخچالی پارامترهای مختلف یخچال شناسایی و مشخص شد. با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Aster و طبقه‌بندی آن قسمت‌های مختلف بر روی یخچال طبیعی شناسایی شد. در یخچال‌های مناطق آهکی پدیده‌های مشخص در یخچال‌های طبیعی مثل، پیشانی یخچال و یخرفت‌های سطحی به وضوح مشخص نیست و در سطح یخچال حفره‌های کارستی مشاهده می‌شود که برای شناسایی آنها باید از تصاویر با قدرت تفکیک بالا استفاده کرد. نکته مهم این است که الگوریتم‌های خودکار (اتوماتیک) به تنهایی قادر به شناسایی یخچال طبیعی نیستند و به طور حتم باید از تفسیر بصری و کارشناس متخصص استفاده کرد. به منظور شناسایی بخش‌های مختلف یخچال از فنون طبقه‌بندی و برای محاسبه پارامترهای هندسی و شناسایی دقیق پیشانی یخچال از تلفیق تصویر IRS و Aster و مدل ارتفاعی رقومی منطقه استفاده شده است. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی و همچنین به کارگیری مدل ارتفاعی مناسب از منطقه، مفسر می‌تواند قسمت‌های مختلف یخچال طبیعی را شناسایی و پارامترهای مختلف آن را برآورد کند. برای رسیدن به این اهداف، تصاویر ماهواره‌ای باید در اواخر فصل ذوب گرفته شده باشند، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف و استخراج محدوده یخچال و وارد کردن آنها در پایگاه داده سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، می‌توان تغییرات یخچال طبیعی را در زمان‌های مشخص ارزیابی کرد.



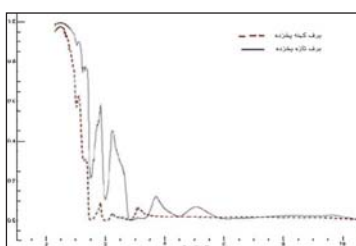
شکل ۳- نمونه‌ای از حفرات مکش در سطح یخچال میشان (فریبرز وزیری، شهریور ۱۳۷۳)



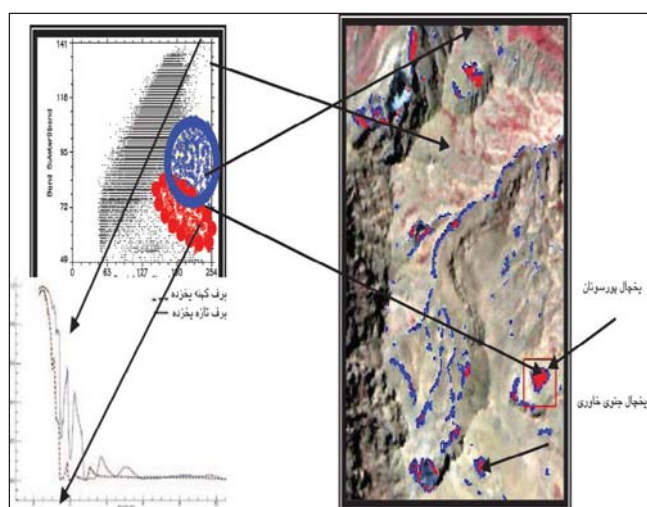
شکل ۲- نقشه منطقه مورد مطالعه



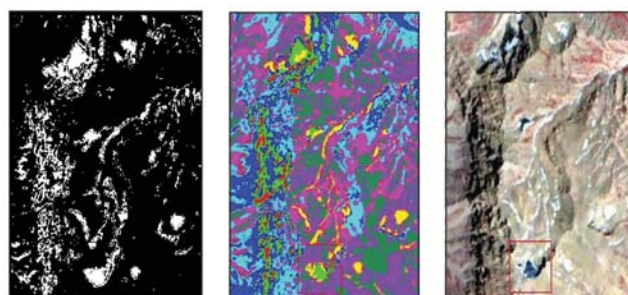
شکل ۵- بازتابش از سطح یخ لخت، کتابخانه طیفی سنجنده Aster. (<http://speclib.jpl.nasa.gov/>)



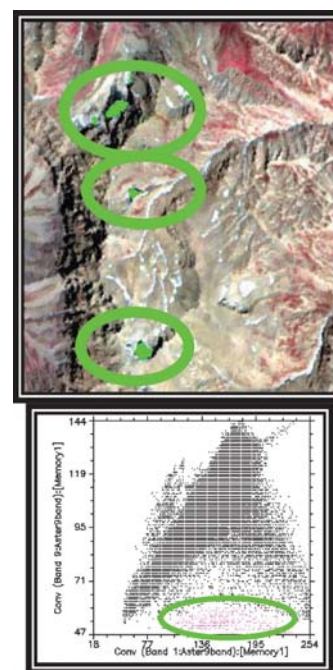
شکل ۷- بازتابش از سطح برف کهنه یخزده و برف تازه یخزده، کتابخانه طیفی سنجنده Aster (۹). (<http://speclib.jpl.nasa.gov/>)



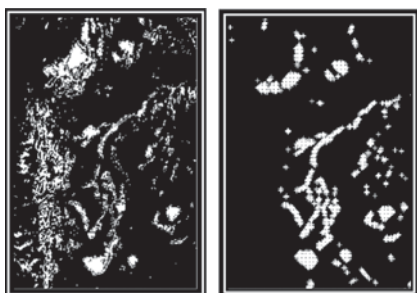
شکل ۸- مناطق مختلف برفی بر روی تصویر Aster و فضای عارضه مربوط به باندهای ۵ و ۹



شکل ۴- طبقه‌بندی تصویر Aster سال ۲۰۰۱ یخچال خرسان به روش ISODATA، (الف) تصویر ماهواره‌ای Aster، (ب) تصویر طبقه‌بندی شده با ۱۰ طبقه، (ج) محدوده استخراج شده یخچال



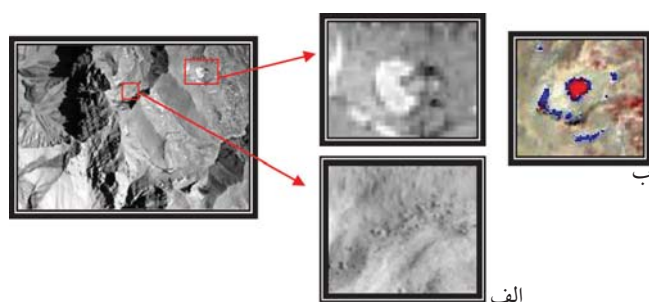
شکل ۶- فضای عارضه مربوط به باندهای ۱ و ۹ سنجنده Aster، منطقه سبز رنگ نشان‌دهنده یخ لخت و یخ سال‌های قبل (Firn) است.



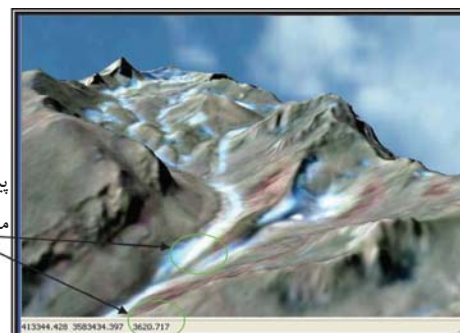
شکل ۱۰- مقایسه محدوده استخراج شده یخچال با استفاده از طبقه‌بندی نظارت نشده (ISO DATA)، سمت راست و محدوده استخراج شده یخچال با استفاده از فضای طیفی، سمت چپ. در تصویر اول سایه‌ها نیز جزو یخچال طبقه‌بندی شده‌اند.



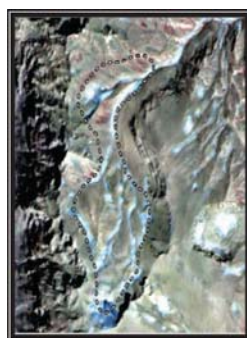
شکل ۹- محدوده استخراج شده یخچال با استفاده از فضای طیفی



شکل ۱۲- شناسایی پیشانی یخچال پورسونان (الف) بر روی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ و (ب) تصویر Aster و عوارض سطحی بر سطح یخچال



شکل ۱۱- مدل ارتفاعی منطقه یخچالی و تصویر تلفیق شده Aster و IRS



شکل ۱۳- تصویر تلفیق شده Aster و IRS یخچال خرسان و محدوده رقمی شده یخچال

## کتابنگاری

وزیری، ف.، ۱۳۷۹- هیدرولوژی کاربردی در ایران، کتاب دوم (شناخت آب‌های سطحی در ایران) شناسایی مقدماتی یخچال‌های طبیعی طوسی، م.، ۱۳۸۲- پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی سیمای طبیعی یخچال طبیعی علم چال به وسیله تصاویر ماهواره‌ای و GPS

## References

- <http://speclib.jpl.nasa.gov/>  
 Käab, A., Paul, F., Hugel, C., Kieffer, H., Kargel, J. and Wessels, R., 2003- "Glacier monitoring from ASTER imagery: Accuracy and applications". EARSeL Workshop on Remote Sensing of Land Ice and Snow, Bern, 11.-13.3.2002. EARSeL eProceedings, 2, 43-53.  
 Leroux C., J. Lenoble, J. L. Deuzé, P. Goloub, C. Sergent and Fily, M., 1996- "Modelling and measurements of snow reflectance from visible to near infrared", Proceedings IRS 96, Fairbanks, Alaska, July 1996.  
 Paul, F., 2001- "Evaluation of different methods for glacier mapping using Landsat TM". EARSeL Workshop on Remote Sensing of Land Ice and Snow, Dresden, 16.-17.6.2000. EARSeL eProceedings, 1, 239-245  
 Paul, F., Käab, A., Maisch, M., Kellenberger, T. W. and Haerberli, W., 2002- "The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods". Annals of Glaciology, 34, 355-361  
 Richards, John A. Jia, Xiuping, 2006- "Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction", chapter 9, 4th Edition, Springer.  
 Rott, H., 1987- "Remote sensing of snow", Large Scale Effects of Seasonal Snow Cover (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 166