



تعیین و بررسی سیرک‌های یخچالی اشترانکوه با استفاده از شاخص سطح نرمال شده‌ی پوشش برف (NDSI)

علی احمدآبادی^{۱*}، محمد فتح‌اله‌زاده^۲، طیبه کیانی^۳، فاطمه عمادالدین^۴

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۹

چکیده

سیرک‌های یخچالی، حفره‌هایی با حجم متغیر و اغلب نیمه‌مدور هستند که با توجه به اندازه و ویژگی شکل ناهمواری‌ها، نمونه‌های مختلفی دارند. سیرک‌ها هم از نظر میراث طبیعی یخچال‌ها که در گذشته فعال بوده‌اند و هم از نظر فرآیندهای یخچالی که در زمان حال رخ می‌دهد، به عنوان شاخص‌ترین لندفرم حاصل از فرسایش یخچالی، حائز اهمیت می‌باشند. این لندفرم‌ها با توجه به مورفولوژی که دارند در مشاهدات عینی و همچنین در تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی شاخصه‌ی مناسبی برای تعیین محدوده‌ی فعالیت‌های یخچالی و برف‌مرزها و دنباله‌های زبانه‌ی یخچالی در یک منطقه می‌باشند، چرا که این اشکال با تأمین شرایط لازم، زمینه را برای ذخیره و شکل‌گیری برفچال‌ها و یخچال‌ها در خود فراهم می‌کنند. در این پژوهش، سیرک‌های یخچالی منطقه‌ی اشترانکوه با توجه به روند شمال غربی-جنوب شرقی آن به دو دسته‌ی سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی و سیرک‌های دامنه‌ی جنوب-غربی تقسیم و توسط شاخص پوشش برف سطح نرمال شده (NDSI) و با استفاده از شکل خطوط منحنی میزان نقشه‌ی توپوگرافی منطقه تعیین شدند. پس از مشخص شدن سیرک‌های یخچالی منطقه، مورفومتری سیرک‌ها در هر دامنه تعیین و با یکدیگر مقایسه شد. در نتیجه‌ی این مقایسه مشخص شد که سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی با توجه به تابش دریافتی کمتر و تأثیرپذیری کمتر از فرآیندهای مختلف شکل‌زا مانند هوازدگی و رواناب ناشی از ذوب، کمتر از دامنه‌ی مقابل دستخوش تغییر شده‌اند و از سیرک‌های مشخص و تیپیک‌تری با توجه به تعریف ایوانس برخوردار است.

کلمات کلیدی: NDSI، تصاویر لندست، سیرک یخچالی، اشترانکوه.

E-mail: a_ahmadabadi@yahoo.com

۱- استادیار دانشگاه خوارزمی تهران، تهران (نویسنده‌ی مسئول).

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه، تهران تهران.

۳- استادیار دانشگاه خوارزمی تهران، تهران.

۴- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران.

مقدمه

برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه‌ی هیدرولوژی مناطق کوهستانی است که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریان‌های تأخیری در فصول پربارش و جریان‌های کمینه در فصول بدون بارش و تولید انرژی نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کند (قنبرپور و همکاران، ۱۳۸۴). یخچال‌های طبیعی در کوهستان‌ها، از مهم‌ترین مکان‌های انباشت برف است. سابقه‌ی بررسی و ارائه‌ی نظریات قطعی در مورد یخچال‌های ایران، شاید به کمتر از ۸۰ سال اخیر برمی‌گردد و سوابق و نظریات چندانی پیش از آن در دسترس نیست. برای مثال، استهل (stehl) زمین‌شناس فنلاندی که در سال ۱۹۱۲ نخستین مجموعه‌ی زمین‌شناسی ایران را تهیه کرد، نسبت به یخبندان کوتاه‌تر در ایران اظهار بی‌اطلاعی می‌کند (پروی به نقل از ثروتی، ۱۳۶۹).

یکی از مهم‌ترین اشکال ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها، سیرک است که نقش مهمی در مقدار برف موجود در یخچال‌ها بازی می‌کند. سیرک، حفره‌ای با حجم متغیر و اغلب نیمه‌مدور است که با توجه به اندازه و ویژگی شکل ناهمواری، نمونه‌های مختلفی دارد. ساده‌ترین نوع آن، حفره‌ی متوسط کیفی شکلی است که کف پر شیبی دارد (محمودی، ۱۳۶۷). عمیق شدن سیرک، نتیجه‌ی عمل حفر و ساییدگی آرام در کف یخچال است. در حقیقت شکل‌گیری سیرک‌های یخچالی بدین صورت است که در ابتدا یخچال‌ها در فرورفتگی‌ها و شیارهایی که در دامنه وجود دارند شکل می‌گیرند و با گذشت زمین و رخداد فرسایش یخچالی در نتیجه‌ی حرکت یخچال از محل ابتدایی خود به مرور کف این شیارها و فرورفتگی‌ها کندوکاو شده و عمق آنها افزوده می‌شود تا جایی که یک سیرک یخچالی شکل می‌گیرد. این پدیده در اثر حرکت یخ برفی در قسمت زیرین انجام می‌شود که در نتیجه‌ی این اعمال در پشت برجستگی خروجی، قطعه سنگ‌ها تا کف سیرک ظاهر می‌شوند (مقیم، ۱۳۸۷).

یکی از راه‌های متداول پژوهش در مورد یخچال‌ها، بهره‌گیری از مزایای مختلف داده‌های سنجش از دور است. از آن جمله می‌توان به امکان تهیه اطلاعات در مقیاس‌های

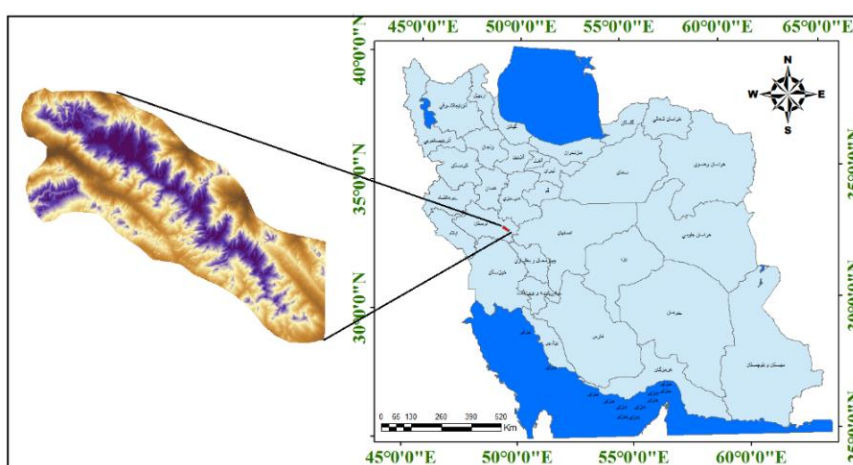
مختلف جهانی، ملی و ناحیه‌ای، پوشش گسترده، مقرون به صرفه بودن، تولید اطلاعات چندزمانه و مواردی از این دست را نام برد که کاربردهای گوناگونی را برای داده‌های سنجش از دور امکانپذیر ساخته است (حدادی و همکاران، ۱۳۸۸). از جمله این کاربردها، تهیه نقشه‌های پوششی بخصوص نقشه‌ی پوشش برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور است. برای نخستین بار برفسنجی در سال ۱۹۶۰ در شرق کانادا توسط ماهواره TIROS-1 انجام شد. پیشرفت‌های اخیر در فناوری و تعدد ماهواره‌ها، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را در بررسی پوشش برف امری حیاتی ساخته است (سیرگی و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهشی با استفاده از تصاویر لندست ۸، مقادیر NDSI در چند سال متوالی محاسبه و روند تغییرات سطوح برفی در اشترانکوه مورد بررسی قرار گرفت (احمدآبادی و فتح‌الله‌زاده، ۱۳۹۵).

در این پژوهش، ابتدا سیرک‌های یخچالی منطقه‌ی اشترانکوه توسط شاخص سطح نرمال شده‌ی پوشش برف (NDSI) با استفاده از تصویر لندست ۸ مربوط به ماه آوریل سال ۲۰۱۶ و موقعیت خطوط منحنی میزان نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه تعیین شدند. سپس با استخراج مورفومتری سیرک‌های هر دامنه، وضعیت سیرک‌ها در هر دامنه با یکدیگر مقایسه شد.

- منطقه‌ی مورد مطالعه

اشترانکوه به معنی کوه آب در پارسی باستان، نام رشته کوهی در شرق استان لرستان و یکی از بلندترین کوه‌های زاگرس می‌باشد. منطقه‌ی مطالعاتی مورد نظر در حد فاصل ۳۳ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه‌ی طول شرقی قرار گرفته و مساحتی حدود ۳۱۵ کیلومتر مربع دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی در استان لرستان، از غرب به شهرستان دورود، از جنوب و شرق به شهرستان الیگودرز و از شمال به شهرستان ازنا منتهی می‌شود. قله‌های

اشترانکوه به صورت قوس‌هایی هستند که در درون هر قوس آن، برفچال و یا یخچال بزرگی در حد فاصل دو قله قرار گرفته است (شکل ۱).



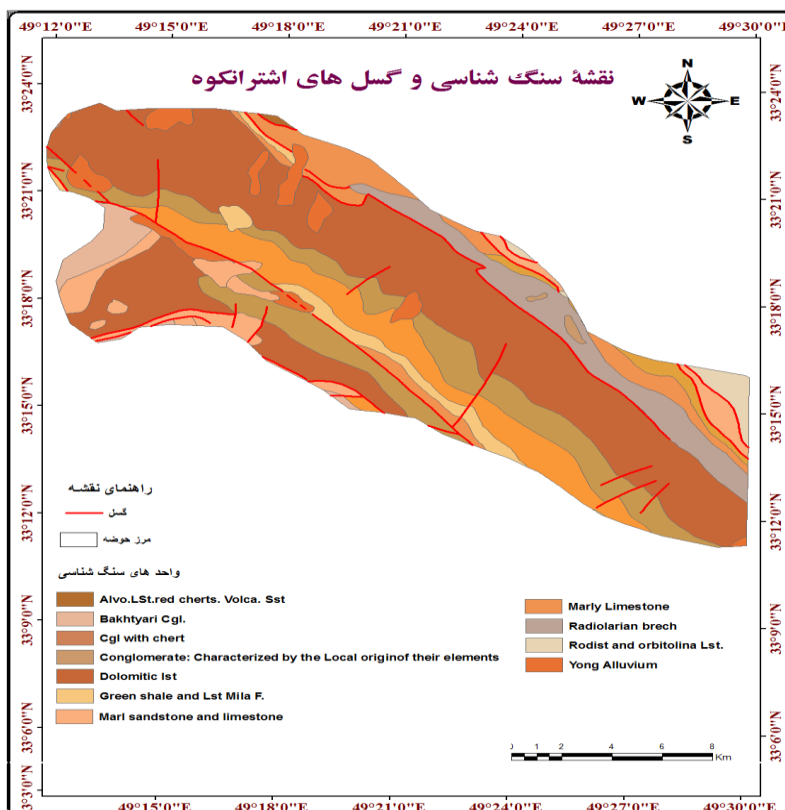
شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی اشترانکوه (سمت راست)، امتداد اشترانکوه (سمت چپ)

مواد و روش‌ها

- زمین ساخت درزه‌ای (گسل‌ها و برجستگی‌ها) منطقه‌ی اشترانکوه

اشترانکوه و رشته‌های مجاور آن دیواره‌ی بلند زاگرس محسوب می‌شوند که نتیجه‌ی فعالیت گسل‌ها و شکستگی‌ها در این منطقه می‌باشند. از آنجا که این قسمت از زاگرس اولین محل تصادم لبه‌ی شمال و شمال شرقی پلتفرم عربی با ایران مرکزی بوده است و تقریباً تمامی فشارهای مراحل تشکیل زاگرس را متحمل شده است، دارای ساختاری ویژه می‌باشد. چهره‌ی برجسته با پرتگاه‌های قائم به عوارض مجاور مشرف بوده و آنها را تحت‌الشعاع قرار داده است. پرتگاه‌های بلند جبهه‌ی روانده، پرتگاه‌های خط گسل، پیچیدگی ساختمان چین‌ها و نمای کارستی و مرتفع (علایی طالقانی، ۱۳۸۱) به عنوان نمادهای زاگرس مرتفع به خوبی در اشترانکوه جلوه‌گر و مورفولوژی عمومی منطقه را شکل داده‌اند (یاراحمدی، ۱۳۹۱).

گسل قدیمی زاگرس به عنوان عامل اصلی در ایجاد دیواره‌ی بلند گسل با پرتگاه‌های جبهه‌ی رورانده است که نقش آن در چهره‌ی کوه‌های منطقه انعکاس یافته است. این گسل خط شکستگی قدیمی است که در نتیجه‌ی کوهزایی کاتانگایی پدیدار شده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۴: ۱۱۲). تراکم و تعدد زیاد گسل‌ها در اشترانکوه و مناطق مجاور آن وجود فاز فشاری کوهزایی آلیپی در دوره‌ی ترشیاری و کوهزایی پاسادنین در کواترنر است که سبب چین‌خوردگی زاگرس چین‌خورده و گسلش زاگرس مرتفع گردیده است. در اشترانکوه دیواره‌های گسلی به صورت قطعات کوچک و بزرگ روی هم قرار گرفته‌اند (رجبی، ۱۳۷۹). در نتیجه پرتگاه‌های گسلی یا خط گسل معمولاً با اختلاف زیاد از ویژگی‌های اشترانکوه و کوه‌های مجاور آن است. گسل‌های منطقه عموماً امتداد لغز می‌باشند و به ماهیت نیروهای فشاری وارده در نتیجه‌ی برخورد صفحه‌ی عربی به ایران برمی‌گردند. گسل امتداد لغز زاگرس در امتداد دریاچه‌ی گهر جابجایی‌های افقی در حد ۱۷۳ متر ایجاد کرده‌اند و باعث تغییر جهت شبکه‌ی آبراهه‌ها شده‌اند. گسل امتداد لغز زاگرس راستگرد است. بررسی وضعیت شبکه‌ی هیدروگرافی منطقه، جابجایی شبکه‌ی آبراهه‌ها به میزان ۱۷۳ متر جابجایی را در پایین دریاچه‌ی گهر نشان می‌دهد. شواهد دیگری که نشان می‌دهد گسل موجود امتداد لغز می‌باشد، وجود شبکه‌ی آبراهه‌ها به صورت موازی در سازند لالون است که در دو طرف گسل زاگرس مشاهده می‌شود. بررسی بیشتر میزان تأثیر گسل‌ها در منطقه و شکل‌گیری عوارض ژئومورفولوژی نشان می‌دهد که گسل زاگرس فعال بوده و در امتداد گسل زاگرس تعداد کثیری زمین لغزش رخ داده است که اکثراً در سازندهای متشکل از شیل و ماسه سنگ و محل تقاطع سنگ آهک و شیل مشاهده می‌شود (شکل ۲). نقش اصلی درز و شکاف‌ها، هدایت رواناب‌های ناشی از ذوب برف به شبکه‌ی مجراهای زیرزمینی و شکل‌گیری آبخوان‌ها در منطقه می‌باشد (قدیمی، ۱۳۹۴).



شکل (۲) واحدهای سنگ شناسی و گسل‌های منطقه‌ی اشترانکوه

– شاخص سطح نرمال شده‌ی پوشش برف

NDSI یا شاخص پوشش برف سطح نرمال شده معیاری برای تعیین سطوح ارتفاعی دارای برف می‌باشد و یکی از تکنیک‌های سنجش از دور برای بررسی وضعیت مناطق کوهستانی و برفگیر می‌باشد. مبنای تعیین این شاخص، تصاویر ماهواره‌ای و با توجه به میزان بازتابش نور و گرما از سطح پوشیده از برف می‌باشد. این روش با در نظر گرفتن مشکلات دستیابی و صعب‌العبور بودن مناطق کوهستانی، برای شناسایی سطوح پوشیده شده از برف همچنین تعیین دقیق مساحت برف روش مناسب و نوینی به شمار می‌رود.

NDSI به عنوان یک الگوریتم استخراج اتوماتیک برف به همراه مجموعه‌ای از آستانه‌ها به کار می‌رود و به صورت پیکسل به پیکسل محاسبه می‌گردد. این شاخص بر مبنای این حقیقت که برف دارای بازتابندگی بالا در ناحیه مرئی و بازتابندگی پایین در فرو سرخ میانی می‌باشد، جهت تشخیص برف از ابر و مناطق فاقد برف استفاده می‌شود (نولین و همکاران، ۲۰۰۰).

- سیرک‌های یخچالی

سیرک، حفره‌ای با حجم متغیر و اغلب نیمه‌مدور است که با توجه به اندازه و ویژگی شکل ناهمواری، نمونه‌های مختلفی دارد. ساده ترین نوع آن، حفره‌ی متوسط قیفی شکلی است که کف پرشیبی دارد (محمودی، ۱۳۶۸). عمیق شدن سیرک، نتیجه‌ی عمل حفر و ساییدگی آرام در کف یخچال است که در اثر حرکت یخ برفی بر بستر سیرک انجام می‌شود. یکی از مشخص‌ترین خصوصیات نیمرخ طولی دره‌ی یخچالی، بی‌نظمی آن است. گاهی این نیمرخ از توالی سطوح کم شیبی به وجود می‌آید که در فواصل آنها شیب‌های تند پله مانند وجود دارد که در مجموع حالت نردبانی به خود می‌گیرند (مقیمی، ۱۳۸۷). سیرک‌ها با توجه به مورفولوژی خاصی که دارند، می‌توانند شاخصه‌ی مناسبی برای تعیین میزان فعالیت و گسترش یخچال‌ها در یک منطقه باشند (شکل ۳).

به‌طور کلی در شرایط یکسان لیتولوژی و اقلیمی در یک منطقه، انتظار می‌رود اشکال و چهره‌های مورفولوژی یکسانی به وجود آید. در چنین شرایطی، در صورتی که این اشکال دارای تفاوت‌های بارزی باشند، گویای متغیرهای ناشناخته‌ای است که به صورت محلی مداخله کرده و موجب تفاوت در ریخت‌ها و میزان تحول آنها شده‌اند. این مسئله در مورد سیرک‌های یخچالی اشترانکوه دارای اهمیت هستند چرا که در شرایط زمین شناسی و زمین ساختی تقریباً برابر در طول کوهستان، درجه‌ی تحول و توسعه‌ی سیرک‌ها بسیار متفاوت است.



شکل (۳) نمایی از یک سیرک یخچالی در اشترانکوه

سیرک‌های یخچالی به دلایل زیر به عنوان مهم‌ترین متغیر در بررسی مناطق یخچالی مورد توجه قرار می‌گیرند:

- ۱- مهم‌ترین الگویی که در نتیجه‌ی فرسایش یخچالی ایجاد می‌شود سیرک‌های یخچالی می‌باشند (احمدی، ۱۳۸۵).
- ۲- شکل سیرک‌ها انعکاس عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، نوع و مدت اثر یخچال‌ها می‌باشد (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹).
- ۳- هر اندازه شرایط برای یخچالی شدن مناسب‌تر باشد، توسعه‌ی سیرک و گسترش آن بر روی دامنه بیشتر می‌شود (چورلی، ۱۹۸۵).
- ۴- سیرک‌های بزرگ‌تر، معرف دوره‌ی پیشرفته‌تری از تکامل یخچال هستند و با گذشت زمان سیرک عمیق‌تر و محدودتر می‌شوند (گردان، ۱۹۷۷).

- ماهواره‌ی لندست

مهم‌ترین ویژگی تصاویر لندست ۸، جمع‌آوری و آرشیو اطلاعات تصاویر چندطیفی

(multispectral) با رزولوشن متوسط و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری، همچنین اطمینان از این که داده‌های لندست ۸ به اندازه‌ی کافی با داده‌های ماهواره‌های قبلی سری لندست از لحاظ هندسه برداشت داده، کالیبراسیون، خصوصیات پوشش، ویژگی‌های طیفی، کیفیت محصول خروجی و در دسترس بودن داده‌ها سازگار هستند، می‌باشد. لندست ۸ با ارائه‌ی تصاویر با رزولوشن متوسط از ۱۵ متر تا ۱۰۰ متر از سطح زمین و در محدوده‌ی نور مرئی، مادون قرمز نزدیک (near-infrared)، موج کوتاه مادون قرمز (short wave infrared)، و طیف مادون قرمز حرارت (thermal infrared) به کار گرفته می‌شود. لندست ۸ حدود ۴۰۰ تصویر در روز می‌گیرد، که نسبت به ۲۵۰ تصویر در روز ماهواره‌ی لندست ۷ افزایش قابل توجهی یافته است. سنسورهای OLI و TIRS نسبت سیگنال به نویز (SNR¹) را در عملکرد رادیومتری بهبود بخشیده‌اند و در نتیجه این کوانتیزیشن (quantization) دوازده بیتی داده‌ها از طریق همین بیت‌های بیشتر، امکان توصیف بهتری از پوشش زمین را می‌دهد.

بحث و نتایج

برای محاسبه‌ی شاخص پوشش برف سطح نرمال شده (NDSI)، ابتدا تصویر لندست ۸ مربوط به ماه آوریل (فروردین) سال ۲۰۱۶ تهیه و در محیط نرم افزار Erdas Imagine 2014 ترکیب باندهای ۶ گانه آن صورت گرفت. سپس با استفاده از رابطه شماره ۱ مقدار NDSI محاسبه شد:

$$\text{NDSI} = \frac{OLI3 - OLI6}{OLI3 + OLI6} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

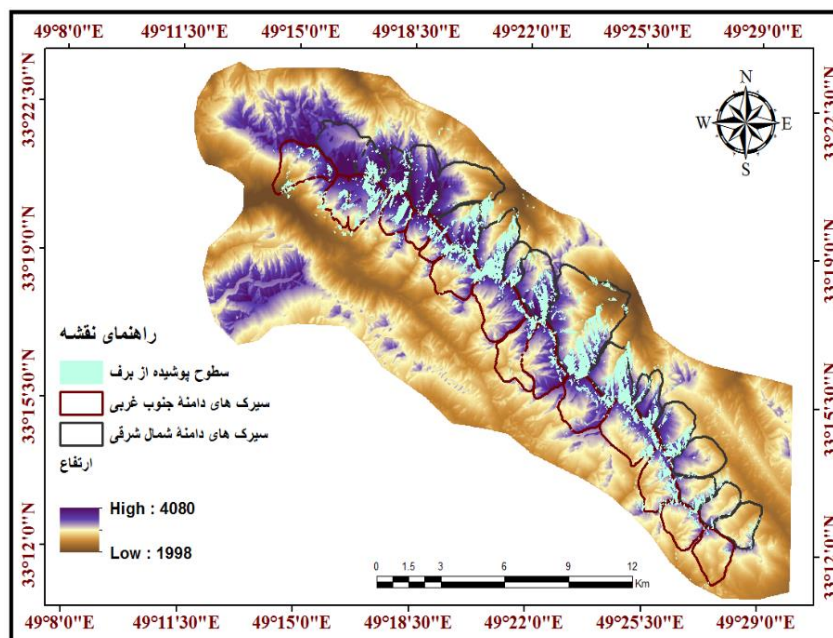
$$\text{رابطه‌ی (۲)} = \frac{\text{(باند 6 تصویر لندست 8 - باند 3 تصویر لندست 8)}}{\text{(باند 6 تصویر لندست 8 + باند 3 تصویر لندست 8)}} = \text{شاخص سطح نرمال شده‌ی پوشش برف}$$

پس از محاسبه‌ی NDSI با در نظر گرفتن سطوح ارتفاعی بالاتر از ۳۵۰۰ متری، به کمک مدل رقومی ارتفاعی، تصحیح خطاهای ناشی از بازتابش سطوح شبه‌برف انجام و

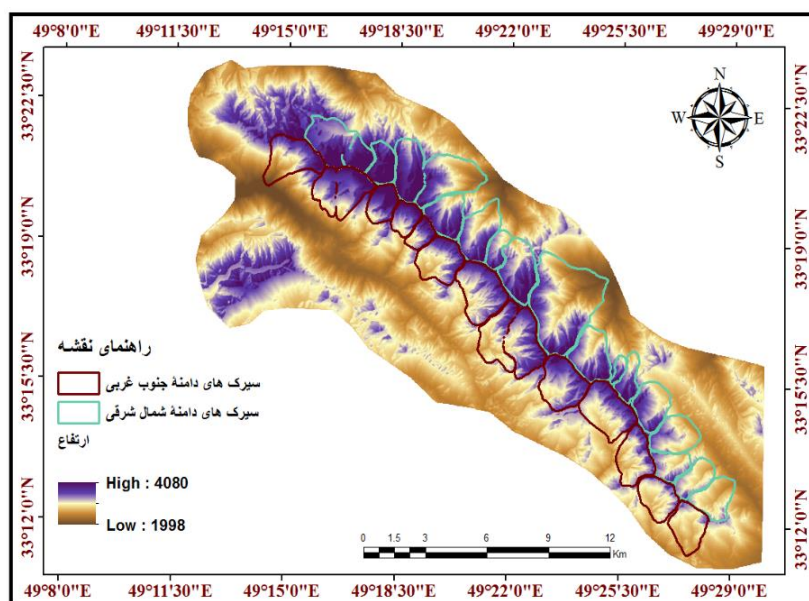
1- Signal Noise Ratio

در نهایت مساحت پوشیده از برف و یخ منطقه‌ی اشتراک‌نکوه تعیین شد (گاهی ممکن است دریاچه‌های یخچالی یا سطوح پوشیده شده از ذرات نمک نیز در تصاویر ماهواره‌ای بازتابی شبیه پوشش‌های برفی ایجاد کنند که با اعمال فیلتر ارتفاع این خطاها به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد). با توجه به اینکه در فصول گرم، برف و یخ موجود در مرکز سیرک‌ها زودتر از برف و یخ پای دیواره‌های داخلی سیرک‌ها ذوب می‌شوند، دیواره‌ها و مرز هر سیرک توسط این پوشش‌های برفی و یخی مشخص و تعیین شد (شکل ۴).

بنابراین از شاخص پوشش برف سطح نرمال شده (NDSI) می‌توان جهت شناسایی و تعیین سیرک‌های یخچالی استفاده کرد. البته باید به این نکته توجه کرد که تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تاریخی (فصل زمستان) باشد که محدوده‌ی همه‌ی سیرک‌ها دارای حداقلی از مقدار برف و یخ برای شناسایی توسط NDSI باشند.



شکل (۴) تعیین محدوده‌ی سیرک‌های یخچالی با استفاده از سطوح پوشیده از برف (NDSI)



شکل (۵) سیرک‌های یخچالی اشتراک‌کوه در دو دامنه‌ی شمال شرقی و جنوب غربی

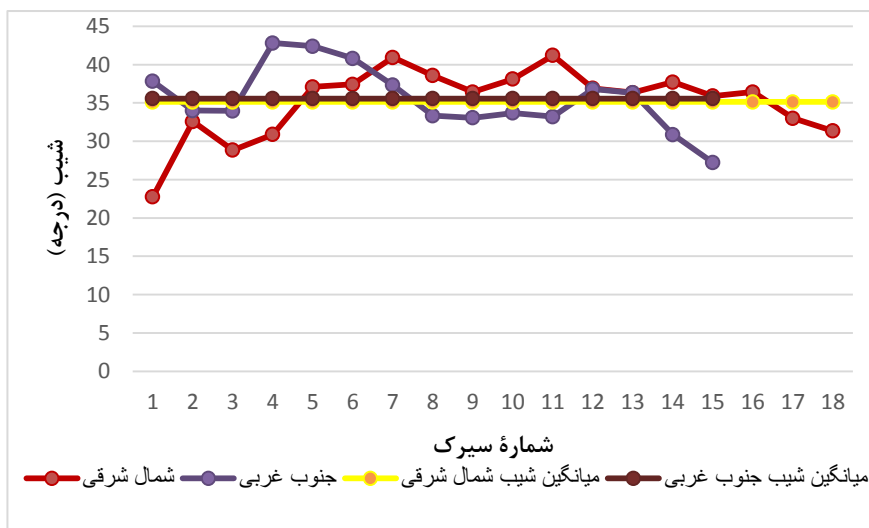
پس از تعیین سیرک‌های یخچالی منطقه‌ی اشتراک‌کوه توسط NDSI، با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی منطقه و شکل و نحوه‌ی قرارگیری خطوط منحنی میزان محدوده‌های به دست آمده از شاخص پوشش برف سطح نرمال شده تصحیح شد و مرز تعیین شده برای سیرک‌ها توسط خطوط منحنی میزان کنترل و اصلاح شد و نهایتاً تعداد ۳۳ سیرک یخچالی تعیین و موقعیت‌یابی شد. سپس با توجه به امتداد اشتراک‌کوه در جهت شمال غربی - جنوب شرقی، سیرک‌ها به دو دسته‌ی سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی که شامل ۱۸ سیرک و سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی که مشتمل بر ۱۵ سیرک است، تقسیم‌بندی شدند (شکل ۵). تفاوت این دو دامنه در میزان شدت تابش و مدت تابش دریافتی است. سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی به دلیل دریافت تابش خورشیدی چه از نظر مدت و چه از نظر شدت بر دامنه‌ی شمال شرقی برتری دارند و همین امر موجب افزایش ذوب یخچالی در فصول گرم می‌شود، طوری که در اواخر تابستان اثری از برفچال و یخچال‌ها بر جای نمی‌ماند. این تخلیه‌ی سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی از

برف و یخ در فصول گرم موجب شدت گرفتن فرسایش یخچالی از یک طرف و پدید آمدن رواناب‌های سطحی فراوان از سوی دیگر می شود. این پدیده، افزایش فرسایش آبی را به همراه دارد. شواهد این امر توسعه‌یافتگی بیشتر سیرک‌ها در دامنه‌ی جنوب غربی نسبت به دامنه‌ی مقابل است و گاه این فرسایش بقدری شدید است که عملاً شکل سیرک تغییر یافته و شیب شدیدی به خود می‌گیرد.

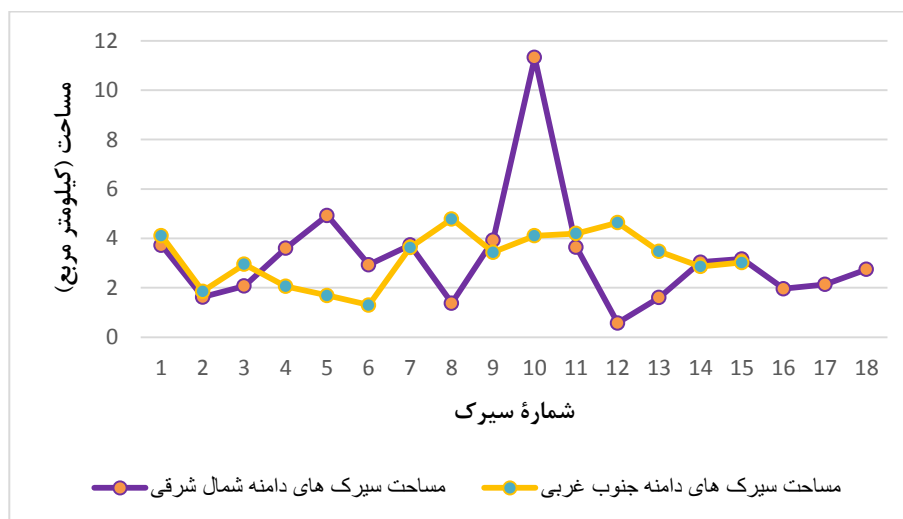
پس از تعیین سیرک‌های یخچالی منطقه‌ی اشترانکوه، پارامترهای مساحت، میانگین شیب و میانگین ارتفاع مربوط به هر یک از سیرک‌های دو دامنه به طور جداگانه در محیط ARC GIS 10.3 محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد (جدول ۱).

جدول (۱) پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی (سمت چپ) و دامنه‌ی جنوب غربی (سمت راست) اشترانکوه

| شماره سیرک | مساحت KM ² | شیب درجه | میانگین ارتفاع KM | شماره سیرک | مساحت KM ² | شیب درجه | میانگین ارتفاع KM |
|------------|--------------------------|-------------|----------------------|------------|--------------------------|-------------|----------------------|
| ۱ | ۳,۷۲۴ | ۲۲,۷۵ | ۰,۸۵ | ۱ | ۴,۱۱۲ | ۳۷,۸۲ | ۱,۶۰ |
| ۲ | ۱,۶۲۶ | ۳۲,۵۹ | ۰,۹۸ | ۲ | ۱,۸۶۰ | ۳۳,۹۹ | ۱,۱۰ |
| ۳ | ۲,۰۷۴ | ۲۸,۸۴ | ۰,۸۰ | ۳ | ۲,۹۵۵ | ۳۳,۹۶ | ۱,۴۰ |
| ۴ | ۳,۶۰۵ | ۳۰,۸۸ | ۱,۰۸ | ۴ | ۲,۰۶۰ | ۴۲,۸۱ | ۱,۲۹ |
| ۵ | ۴,۹۳۲ | ۳۷,۰۸ | ۱,۶۰ | ۵ | ۱,۶۹۰ | ۴۲,۴۰ | ۱,۲۰ |
| ۶ | ۲,۹۳۵ | ۳۷,۴۳ | ۱,۲۱ | ۶ | ۱,۳۰۲ | ۴۰,۸۰ | ۱,۰۹ |
| ۷ | ۳,۷۳۳ | ۴۰,۹۳ | ۱,۴۰ | ۷ | ۳,۶۳۳ | ۳۷,۳۱ | ۱,۲۰ |
| ۸ | ۱,۳۸۰ | ۳۸,۵۷ | ۰,۹۴ | ۸ | ۴,۷۸۸ | ۳۳,۳۴ | ۱,۱ |
| ۹ | ۳,۹۲۹ | ۳۶,۴۲ | ۱,۲۷ | ۹ | ۳,۴۴۳ | ۳۳,۰۶ | ۱,۱۷ |
| ۱۰ | ۱۱,۳۲۴ | ۳۸,۱۲ | ۱,۶۷ | ۱۰ | ۴,۱۰۷ | ۳۳,۶۹ | ۱,۱۳ |
| ۱۱ | ۳,۶۴۷ | ۴۱,۲۰ | ۱,۲۰ | ۱۱ | ۴,۱۹۸ | ۳۳,۲۱ | ۱,۰۶ |
| ۱۲ | ۰,۵۷۹ | ۳۶,۹۰ | ۰,۸۷ | ۱۲ | ۴,۶۴۰ | ۳۶,۸۰ | ۱,۱۶ |
| ۱۳ | ۱,۶۰۷ | ۳۶,۳۴ | ۱,۲۴ | ۱۳ | ۳,۴۷۳ | ۳۶,۳۲ | ۱,۰۲ |
| ۱۴ | ۳,۰۳۹ | ۳۷,۷۱ | ۱,۰۸ | ۱۴ | ۲,۸۶۶ | ۳۰,۸۷ | ۰,۷۷ |
| ۱۵ | ۳,۱۶۷ | ۳۵,۹۰ | ۰,۹۸ | ۱۵ | ۳,۰۲۴ | ۲۷,۲۱ | ۰,۷۴ |
| ۱۶ | ۱,۹۶۰ | ۳۶,۴۳ | ۰,۷۸ | | | | |
| ۱۷ | ۲,۱۳۸ | ۳۲,۹۹ | ۰,۸۱ | | | | |
| ۱۸ | ۲,۷۵۰ | ۳۱,۳۴ | ۰,۸۰ | | | | |

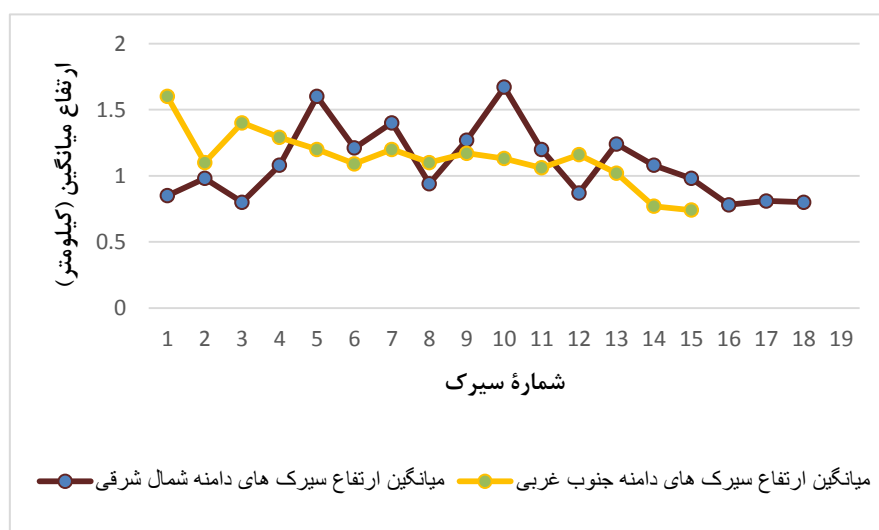


شکل (۶) نمودار تغییرات شیب متوسط سیرک‌های یخچالی اشترانکوه در دو دامنه



شکل (۷) نمودار تغییرات مساحت سیرک‌های یخچالی اشترانکوه در دو دامنه

همانگونه که در نمودار شکل (۶) مشخص است، شیب سیرک‌های یخچالی دو دامنه دارای تغییراتی نسبت بهم می‌باشند اما در مجموع میانگین شیب در هر دو دامنه تقریباً یکسان و نزدیک بهم است. شیب میانگین بستر سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی ۳۵٫۵۷ درجه و شیب میانگین بستر سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی ۳۵٫۱۳ درجه می‌باشد بنابراین با وجود تفاوت دو دامنه در تابش و انرژی دریافتی متفاوت شیب بستر سیرک‌های یخچالی دو دامنه نسبت به هم تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد.



شکل (۸) نمودار تغییرات میانگین ارتفاع سیرک‌های یخچالی اشترانکوه در دو دامنه

از مقایسه‌ی نمودار تغییرات مساحت و ارتفاع میانگین (عمق) (شکل ۷ و ۸) سیرک‌ها در دو دامنه درمی‌یابیم که به طور کلی سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی نسبت به دامنه‌ی جنوب غربی هم از نظر مساحت و هم از نظر عمق یا ارتفاع میانگین از توسعه‌یافتگی بیشتری برخوردارند. به عبارت دیگر سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی به شکل تپیک سیرک‌های یخچالی که توسط ایوانس تعریف شده است نزدیک‌ترند. طبق

نظر ایوانس سیرک‌ها دارای ویژگی‌های پیچیده‌ای هستند که معمولاً با توجه به مقدار توسعه و گستردگی‌شان، آنها را طبقه‌بندی می‌نماییم (ایوانس، ۱۹۹۹).

علت عدم توسعه‌ی سیرک‌های دامنه‌ی جنوب شرقی چیزی نیست جز دخالت فرسایش ناشی از رواناب در این دامنه، که گاهی اوقات در نتیجه‌ی ذوب ناگهانی برف و یخ موجود در محل، بر فرسایش یخچالی پیشی می‌گیرد.

به طور کلی سیرک یخچالی اشکالی هستند که در محیط‌های یخچالی در نتیجه‌ی عمل حفر و ساییدگی آرام در کف یخچال بر اثر حرکت زبانه‌ی یخچالی و در دراز مدت شکل می‌گیرند و چنانچه در کنار فرسایش یخچالی عوامل دیگری مانند فرسایش ناشی از رواناب نیز دخالت کند شکل و توسعه‌یافتگی سیرک‌ها دستخوش تغییر خواهد شد که این تغییر به وضوح در سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی منطقه‌ی اشترانکوه دیده می‌شود.

نتیجه گیری

سیرک‌ها یخچالی یکی از اشکال کاوشی مهم قلمروهای یخچالی می‌باشند که با توجه به اندازه و ویژگی شکل ناهمواری‌ها، نمونه‌های مختلفی دارند. عمیق شدن سیرک، نتیجه‌ی عمل حفر و ساییدگی آرام در کف یخچال بر اثر حرکت زبانه‌ی یخچالی است. تعیین سطح پوشش برفی در مناطق کوهستانی به عنوان یکی از پارامترهای مهم برفسنجی، نقش مهمی در مطالعات هیدرولوژی و اقلیمی دارد. سیرک‌های یخچالی به عنوان مخازن انباشت و ذخیره‌ی برف و یخ شاخصه‌ی مناسبی برای تعیین فعالیت‌های قلمروی یخچالی محسوب می‌شوند چرا که با توجه به مورفولوژی خاصی که دارند شرایط تشکیل یخ برفی و در نهایت یخچال را در خود فراهم می‌کنند. بنابراین با توجه به باقی ماندن برفچال‌ها در کف سیرک‌ها، می‌توان توسط شاخص سطوح نرمال شده‌ی پوشش برف (NDSI)، سیرک‌های یخچالی یک منطقه‌ی کوهستانی را مشخص کرد. در این پژوهش با استفاده از شاخص سطوح نرمال شده‌ی پوشش برف (NDSI) که توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به ماه آوریل (فروردین) سال ۲۰۱۶ میلادی

محاسبه شد، به شناسایی و تفکیک سطوح پوشیده از برف در منطقه‌ی اشترانکوه پرداخته شد و با توجه به اینکه برف و یخ موجود در مرکز سیرک‌ها در فصول گرم زودتر از برف و یخ پای دیواره‌های داخلی سیرک‌ها ذوب می‌شوند، دیواره‌ها و مرز هر سیرک توسط این پوشش‌های برفی و یخی و همچنین با کمک خطوط منحنی میزان نقشه‌ی توپوگرافی منطقه مشخص و تعداد ۳۳ سیرک که ۱۵ سیرک یخچالی در دامنه‌ی جنوب غربی و ۱۸ سیرک یخچالی در دامنه‌ی شمال شرقی شناسایی شد. تفاوت این دو دامنه در میزان شدت تابش و مدت تابش دریافتی است. سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی به دلیل دریافت تابش خورشیدی چه از نظر مدت و چه از نظر شدت بر دامنه‌ی شمال شرقی برتری دارند و همین امر موجب افزایش ذوب یخچالی در فصول گرم طوری که در اواخر تابستان اثری از برفچال و یخچال‌ها بر جای نمی‌ماند می‌شود. این تخلیه‌ی سیرک‌های دامنه‌ی جنوب غربی از برف و یخ در فصول گرم موجب شدت گرفتن هوازگی از یک طرف و پدید آمدن رواناب‌های سطحی فراوان از سوی دیگر که افزایش فرسایش آبی را به همراه دارد می‌شود. پس از تعیین سیرک‌ها یخچالی منطقه‌ی اشترانکوه پارامترهای مساحت، میانگین شیب و میانگین ارتفاع مربوط به هر یک از سیرک‌های دو دامنه به طور جداگانه محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد و مشخص شد سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی نسبت به دامنه‌ی جنوب غربی هم از نظر مساحت و هم از نظر عمق یا ارتفاع میانگین از توسعه‌یافتگی بیشتری برخوردارند. در کل می‌توان نتیجه گرفت سیرک‌های دامنه‌ی شمال شرقی نسبت به دامنه‌ی جنوب غربی، به شکل تیبیک سیرک‌های یخچالی براساس تعریف ایوانس نزدیک‌ترند و علت عدم توسعه‌ی دامنه‌ی جنوب شرقی چیزی نیست جز دخالت فرسایش ناشی از هوازگی و رواناب در این دامنه که گاهی اوقات در نتیجه‌ی ذوب ناگهانی برف و یخ موجود در محل به دلیل تابش دریافتی بیشتر، بر فرسایش یخچالی پیشی می‌گیرد.

References

- Aberlander, Theodore, (1999), **The Zagros Rivers from a Geomorphological Perspective**, Translated by Masoumeh Rajabi and Ahmad Abbasnejad, University of Tabriz Publications, 412, First Edition, p.128.
- Ahmadi, Hasan., Feiznia, Sadat, (2006), **The Quaternary Formations, Theoretical and Practical Principles in Natural Resources**, University of Tehran, pp. 324-336.
- Chorley, Richard J., E. Schum, Stanley., E. Suden, David., (2000), **Geomorphology**, Translated by Ahmad Motamed, Samt Publications, Vol 4, pp.5-144.
- Chorely R.j, Schumm S.A, Sugden D.E., (1985), **Geomorphology. Methuen & Co**, New York, pp.550.
- Darvishzadeh, Ali, (1995), **Geology of Iran**, Payame Noor University Press, pp.112-116.
- Ghadimi, Mehrnoosh, (2015), **Relationship between lithogeomorphology, karsticization and surface networks in the calcareous zone of Oshtrankuh**, PhD Thesis, Supervisor Dr. Ebrahim Moghimi, University of Tehran.
- Ghanbarpour, Mohammad Reza., Mohseni Saravi, Mohsen., Saghafian, Bahram., Ahmadi, Hassan, (2005), **Determination of Effective Areas for Stacking and Shelf Life of Snow Cover and Melting Contribution in Runoff**, Iranian Journal of Natural Resources, No. 3, pp: 513-503.
- Gordon, J.E., (1977), **Morphometry of cirques in the Kintail Affrica Cannich Area of Northwest Scotland**, Geographica Annaler, Vol, 59A, pp.94-177.
- Haddadi, Ataollah., Sahebi, Mohammad Reza., Mokhtarzadeh, Mehdi., Fatahi, Hirsch, (2009), **A Combined Approach of Supervised and Unsupervised Neural Networks in Remote Sensing Classification**, Iranian Remote Sensing Journal and GIS, No. 3, pp.33-50.
- Mahmoudi, Farajollah., (1988), **The Evolution of Iranian Roughness in Quaternary**, Journal of Geographical Research, No. 22, pp.5-43.

- Moghimi, Ebrahim., (2008), **Climatic Geomorphology of Cold and Glacial Territory**, University of Tehran Publications.
- Nolin, A., liang, S., (2000), **Progress in bidirectional reflectance modeling and application for surface particulate media: snow and soil**, Remote Sensing Review, No.14, pp.307-342.
- Sirguey, P., Mathieu, R., Arnaud, Y, (2009), **Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250~m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand: methodology and accuracy assessment**, Remote Sensing of Environment, Vol.113, No.1, pp.160-181.
- Peru Christoff, (1989), **The Quaternary Frost in the Inner Zardkouh Mountains in the Zagros Field**, Translated by Mohammad Reza Servati, Journal of Geographical Research, Vol. 22, No. 26.