

بازسازی قلمروهای مورفودینامیکی بر اساس شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی (مطالعه موردی: کوه‌های چهل چشمه و سارال در استان کردستان)

امجد ملکی*؛ دانشیار، ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
ایرج جباری؛ دانشیار، ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
هاشم حسینی؛ دانشجوی دکتری، ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۳

چکیده

دینامیک یخچالی و مجاور یخچالی نقش مهمی در تحولات ژئومورفولوژی ایفا می‌کند. هدف این تحقیق بازسازی برف‌مرز کواترنر، بررسی آزمایشگاهی محیط رسوبی و شواهد قلمروهای مورفودینامیکی یخچالی و مجاور یخچالی کوه‌های چهل چشمه و سارال در استان کردستان است. در این رابطه، نخست سیرک‌های یخچالی با استفاده از تحلیل نقشه‌ها و بازدید میدانی شناسایی شد. سپس، با روش خط تعادل برف و آب پورتر، ارتفاع ۲۴۸۳ متر برف‌مرز دائمی کواترنری مشخص شد که در مقایسه با کوه‌های زاگرس و البرز در ارتفاع پایین‌تری قرار گرفته است. برای شناسایی محیط رسوبی، نتایج عملیات آزمایشگاهی به صورت دانه‌سنجی غربالی و لیزری روی نمونه‌ها نشان داد که منطقه مطالعاتی متأثر از فرایندهای ناشی از انجماد و ذوب برف با حفظ بقایای گیاهی و توزیع ناهمگن و جورشدگی ضعیف ذرات است. در بررسی لندفرم‌ها شواهدی از جمله سیرک‌ها، دره‌های یخچالی، یخرفت‌ها، سنگ‌های سرگردان، ترک‌های سنگی، روانه‌های سولیفلوکسیون، نهشته‌های بهمن و پلکان‌های سنگی شناسایی شد. در بررسی توزیع این شواهد به این نتیجه رسیدیم که مرز تحتانی پریگلاسیر تا ارتفاع ۲۷۵۰ متر است.

کلیدواژه‌ها: چهل چشمه، سارال، کردستان، کواترنر، یخچال.

مقدمه

بررسی یخچال‌های گذشته و آثار آن از موضوعات بسیار مهم دوره کواترنری است. یکی از مهم‌ترین میراث‌های اقلیمی پلیستوسن نیز در ارتفاعات کشور ایران، حاکمیت یخچال‌ها و لندفرم‌های مرتبط با آن است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۴). تحقیقات ژئومورفولوژی با تمرکز بر لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی اجازه می‌دهد بینش بهتری در تنوع فضایی آب‌وهوای حاضر و گذشته به دست بیاوریم (هندریکس، ۲۰۱۵: ۳). همان‌طور که محققان نیز تأکید کرده‌اند نباید انتظار داشت که در منطقه‌ای همه آثار و اشکال یخچالی وجود داشته باشد، بلکه با توجه به ماهیت یخچال‌ها و ویژگی‌های فیزیوگرافیکی متفاوت نواحی، طیف متنوعی از آثار و شواهد یخچالی را می‌توان ردیابی کرد که بدیهی است با نواحی دیگر متفاوت خواهد بود.

نمونه موردی این وضعیت در کوه‌های چهل چشمه و سارال در استان کردستان وجود دارد. هم‌زمان حضور لندفرم‌های یخچالی کواترنر همچون سیرک‌های یخچالی و دره‌های یخچالی، فرایندهای رودخانه‌ای و فرسایش فلوویال در عهد حاضر نقش مهمی در منطقه ایفا کرده است، به طوری که بسیاری از الگوهای اشکال یخچالی همانند سیرک‌های

یخچالی، یخرفت‌ها و دره‌های ل‌شکل، فرم تپیک خود را از دست داده‌اند. هر چند اکنون در منطقه مورد مطالعه یخچال طبیعی وجود ندارد، با وجود این، به نظر می‌رسد در دوره کواترنری مهم‌ترین فرایندهای شکل‌زایی مربوط به یخچال‌ها و قلمروهای فعال مورفودینامیکی آن بوده است. بازسازی برف‌مرزهای دائمی و تعیین قلمروهای مورفودینامیکی آن با استفاده از شواهد موجود در کوه‌های چهل‌چشمه و سارال بینش بیشتری از ویژگی‌های پالتوژومورفولوژی مناطق کوهستانی غرب کشور را در عهد کواترنری به وجود می‌آورد.

یخچال‌ها در عهد حاضر و کواترنری در سطح جهان را محققان زیادی بررسی کرده‌اند. از آن جمله و در سال‌های اخیر شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و رسوبی در کوه‌های هری در مرکز اروپا بررسی و وجود سیرک‌های یخچالی با استفاده از این شواهد تأیید شد (آنجل و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹). در مطالعه‌ای روی شبه‌جزیره ایبری بسیاری از لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی بررسی شد. مرز فعال قلمرو مجاور یخچالی هم‌اکنون بالاتر از ارتفاع ۲۵۰۰ متر است (اولیویا و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۹۳).

در مطالعه‌ای روی اروپای جنوب‌غربی و در یخچال‌های کوهستانی، بسیاری از لندفرم‌های یخچالی شناسایی و ارتفاع عصر کوچک یخچالی در مرتفع‌ترین سیرک‌ها بالاتر از ۲۲۰۰ متر برآورد شد (سرانو و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۱۰). در ارتفاعات نوادا در کشور اسپانیا توزیع لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی بررسی و با استفاده از این الگو ارتفاع خط تعادل برف و آب بالاتر از ۲۵۰۰ متر محاسبه شد (پالما و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۰).

با مطالعه الگوی کمی انواع سیرک‌های یخچالی به‌عنوان شواهد یخچالی کواترنری در ایالت واشنگتن، این عارضه در برآورد ارتفاع برف‌مرزها و خط تعادل برف و آب مهم تلقی شد و با استفاده از فرم‌های متفاوت سیرک‌ها محیط دیرینه بازسازی شده است (ایستین و اسپانگولو، ۲۰۱۵: ۵۰). در مطالعه‌ای درباره آخرین دوره یخچالی در کوه لاوسن واقع در مونته‌نگرو حد گسترش خط تعادل برف و آب در ارتفاع ۱۲۵۹ متر محاسبه شده است (زبرا و استیپسینی، ۲۰۱۴: ۲۳۴).

در ایران نیز نخستین مطالعات درباره مورفولوژی یخبندان‌های کواترنری با مطالعه سیرک‌های اشترانکوه و قلیان‌کوه انجام گرفته است (ژاک دومرگان، ۱۸۹۰، به نقل از یمانی، ۱۳۸۱: ۲). پیرامون منطقه مورد مطالعه و در کوهستان‌های کردستان عراق (مرز ایران) ارتفاع برف‌مرز دائمی در منطقه هلگورد ۱۸۰۰ متر برآورد شده است (رایت، ۱۹۶۲). بررسی کواترنری ارتفاعات اراک حاکی از گسترش شواهد یخچالی تا ارتفاع ۲۳۰۰ متر است (پدرامی، ۱۹۸۲، به نقل از قهرودی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۲).

علاوه بر آن، مطالعه یخبندان‌های کواترنری ایران در البرز، کوه‌های کردستان، زردکوه و زاگرس (بوبک، ۱۹۶۳؛ ۱۹۵۵)، یخچال علم‌کوه و تخت‌سلیمان (فیشسر، ۱۹۶۸؛ درش، ۱۹۷۴)، کوه سبلان (شوایتزر، ۱۹۷۰) و ایران مرکزی (هاگه‌درن، ۱۹۷۸) انجام گرفته است (به نقل از یمانی، ۱۳۸۶: ۱۲۶).

محققان داخلی نیز در مطالعات خود حدود گسترش یخچال‌های کوهستانی و بسیاری از شواهد کواترنری را بررسی کرده‌اند. در مطالعه‌ای روی آثار یخچالی کواترنری و تحولات آن در نقاط مختلف ایران نتایج نشان می‌دهد که بسیاری از کوهستان‌های ایران در گذشته تحت تأثیر یخچال‌ها بوده است (محمودی، ۱۳۶۷: ۹؛ جداری‌عیوضی، ۱۳۸۳: ۶۷). در کوهستان بیدخوان استان کرمان با استفاده از روش پورتر، برف‌مرزهای دائمی در ارتفاع ۳۱۶۶ متر معرفی شده است، در حالی که در ارتفاعات زردکوه با استفاده از بسیاری از شواهد تراکمی و فرسایش یخچالی ارتفاع برف‌مرز در این منطقه ۳۴۰۰ متر برآورد شده است.

بر اساس مطالعه‌ای در ارتفاعات خرم‌آباد در رابطه با فرایندهای شکل‌زایی مجاور یخچالی، ارتفاع حد پایین قلمرو مجاور یخچالی ۲۶۰۰ متر معرفی شد. مطالعه کوه‌های البرز، به‌ویژه حوضه جاجرود نشان داد که خط دائمی برف‌مرز در این منطقه با استفاده از روش تجربی پورتر منحنی هم‌ارتفاع ۳۰۷۲ متر است (یمانی، ۱۳۸۶: ۱۳۸؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۶؛ ۱۳۹۳: ۹۰). بررسی خط تعادل برف و آب در دره‌ها از ارتفاع متوسط برف‌مرزها را خط ۲۷۰۶ متر نشان می‌دهد (یمانی و زمانی، ۱۳۹۵: ۳۱۳).

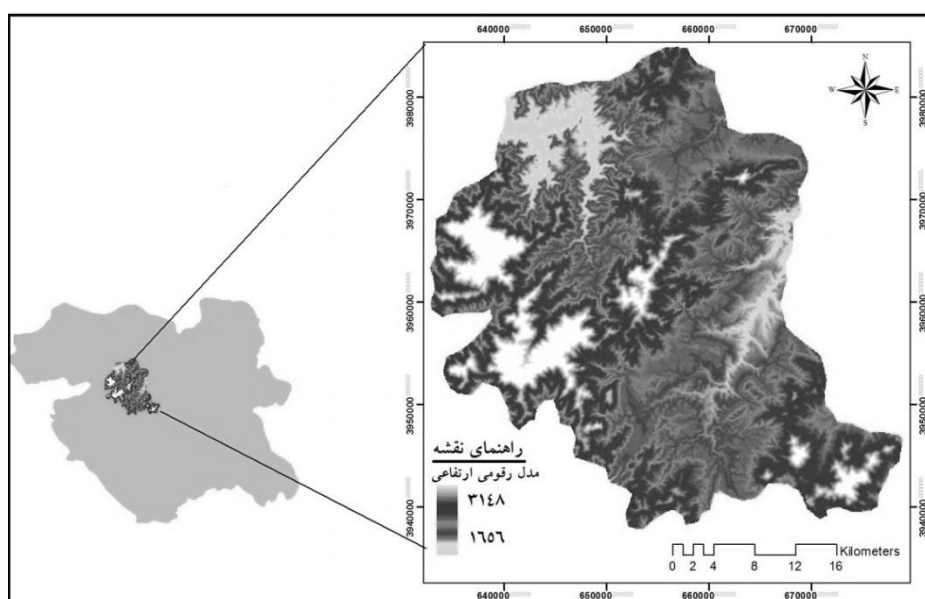
در مطالعه‌ای مرتبط با منطقه مورد مطالعه قلمروهای مورفوکلیماتیکی هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان بررسی شد. ارتفاع برف‌مرز در مجموعه کوهستانی چهل‌چشمه بالاتر از ۲۱۳۲ متر معرفی شده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰).

در مطالعه‌ای با عنوان «ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی در حوضه ماهان کرمان» با استفاده از شواهد مورفوسکوپی و میدانی ارتفاع برف‌مرز ۲۹۰۰ متر معرفی شد، در حالی که در مناطق پیرامون و در بررسی شواهد یخچالی منطقه بم ارتفاع برف‌مرزها ۲۶۴۰ متر محاسبه شده است (رامشت و پوردهقان، ۱۳۸۷: ۱۳۱؛ رامشت و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۶). بررسی گسترش برف‌های دائمی در حوضه دالاخانی واقع در شمال شرق استان کرمانشاه نشان داد که ارتفاع ۲۸۲۰ متر مرز تحتانی این قلمرو به‌شمار می‌رود (قهرودی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۴۵). در بررسی شواهد یخچالی و عملیات آزمایشگاهی، فعالیت‌های یخچالی در حوضه گرگانرود تأیید و ارتفاع برف‌مرزها در این منطقه خط هم‌ارتفاع ۴۱۷۵ متر معرفی شد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۴).

در این تحقیق نیز قرار است شواهد یخچالی و مجاور یخچالی کوه‌های چهل‌چشمه و سارال در شهرستان دیواندره با هدف بازسازی برف‌مرز کواترنری و تعیین قلمرو مناطق مورفودینامیکی آن بررسی شود.

مواد و روش‌ها

کوه‌های چهل‌چشمه و سارال از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۶ درجه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). محدوده ارتفاعی منطقه ۱۶۵۶ تا ۳۱۴۸ متر از سطح دریای آزاد است. آب‌وهوای منطقه مورد مطالعه از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، شبیه اقلیم مدیترانه‌ای و دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب است. میانگین بارش معادل ۴۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه معادل ۸ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (مدل رقومی ارتفاعی)

تحقیق مورد نظر بر اساس هدف از نوع کاربردی و بر اساس ماهیت و روش تحقیق جزو تحقیقات توصیفی-تحلیلی به‌شمار می‌رود. روش گردآوری داده به‌صورت کتابخانه‌ای و میدانی است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای (Landsat, 2016)، مدل رقومی ارتفاعی و نقشه‌های توپوگرافی است. Arc map v.10 و Gradistat v.4 ابزار کار تحقیق استفاده شده است. برای بازسازی برف‌های دائمی و تعیین قلمروهای کواترنری مهم‌ترین لندفرم‌ها، یعنی سیرک‌های یخچالی، را باید شناسایی کرد.

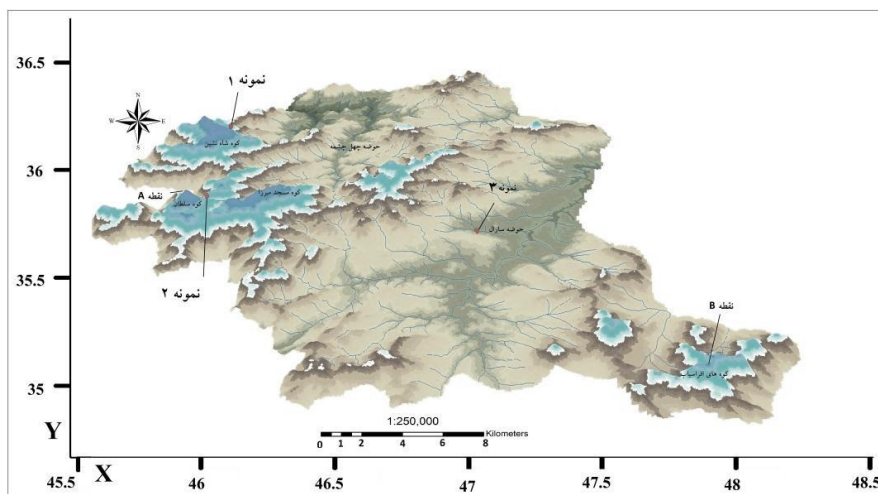
شناسایی مورفولوژی سیرک‌ها با تأکید بر طبقه‌بندی ایوان و کاکس (۱۹۷۴: ۱۵۲) انجام گرفت. آن‌ها تکامل سیرک‌ها را به وجود یا عدم‌وجود بخش انحنایی بالای سیرک، بخش جداره پرسیب سیرک و ویژگی‌های کف سیرک

ارتباط می‌دهند. بر این اساس ۲۵ سیرک با استفاده از عملیات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل روی لایه‌ها در GIS شناسایی شد. برای بازسازی قلمرو یخچالی در منطقه مورد مطالعه از روش‌های رایب و روش ارتفاع کف سیرک^۱ پورتر (۲۰۰۱: ۱۰۶۹) استفاده شده است. یکی از دلایل استفاده از خط تعادل برف و آب^۲ یا ELA در برآورد دقیق برف‌مرزها و قلمرو یخچالی، تخریب سیرک‌های یخچالی بعد از آخرین دوره یخچالی است که در اثر فرسایش تغییر یافته است. دلیل دیگر استفاده از این روش فعالیت یخچال‌های گذشته است که در دره‌های یخچالی شکل گرفته و عرصه فعالیت آن‌ها تا پایین‌تر از کف سیرک‌های یخچالی نیز ادامه داشته است (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۸). برای محاسبه ELA در روش ارتفاع کف سیرک پورتر از نما برای داده‌های طبقه‌بندی استفاده شده است. ارتفاع کف سیرک با توجه به معرترین نقطه ارتفاعی سیرک‌ها اندازه‌گیری شده است. سیرک‌ها به هفت طبقه با اختلاف ارتفاع ۱۰۰ متری طبقه‌بندی و نما برای آن محاسبه شده است.

نما یا مد برای داده‌های طبقه‌بندی شده از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$M_o = L + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times h \quad (1)$$

که در آن L حد پایین رده نمادار، d₁ تفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار از رده نمادار، d₂ تفاضل فراوانی رده مابعد رده نمادار از رده نمادار، و h فاصله رده‌هاست. هدف از عملیات آزمایشگاهی در این تحقیق بررسی شواهد کوچک‌مقیاس منطقه مطالعاتی است. به عبارتی، در این تحقیق در کنار شواهد بزرگ‌مقیاس همچون سیرک‌ها و دره‌های یخچالی از ویژگی‌های محیط رسوبی به‌منزله شواهد کوچک‌مقیاس در اثبات نوع فرایندهای شکل‌زایی استفاده شده است. لذا، از دو روش گرانولومتری و میکروسکوپی برای سه نمونه از رسوب در آبراهه‌ها و کف سیرک استفاده شد. شکل ۲ موقعیت نمونه‌ها را روی نقشه نشان می‌دهد که به نحوی تمام منطقه را پوشش می‌دهد.



شکل ۲. برف‌مرزهای دائمی کوتاه‌تری به‌روشن رایب و پورتر (انتهای قلمرو آبی‌رنگ روش رایب و انتهای قلمرو سفید روش پورتر)

برای عملیات دانه‌سنجی از دو روش دانه‌سنجی غربالگری برای دانه‌های با قطر بیش از ۲ میلی‌متر و دانه‌سنجی لیزری برای دانه‌های رسوبی با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر استفاده شد. هدف استفاده از روش دانه‌سنجی لیزری در این تحقیق بیشتر شناسایی مواد تشکیل‌دهنده نمونه‌های مورد بررسی در آزمایشگاه و تعیین گردشگری ذرات است. برای دانه‌سنجی لیزری لازم است مواد آلی رسوبات از نمونه‌ها حذف شود. برای این کار در محیط آزمایشگاه رسوبات بعد از واکنش با آب اکسیژنه حذف و سپس نمونه‌ها روی صفحات داغ با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا واکنش تکمیل

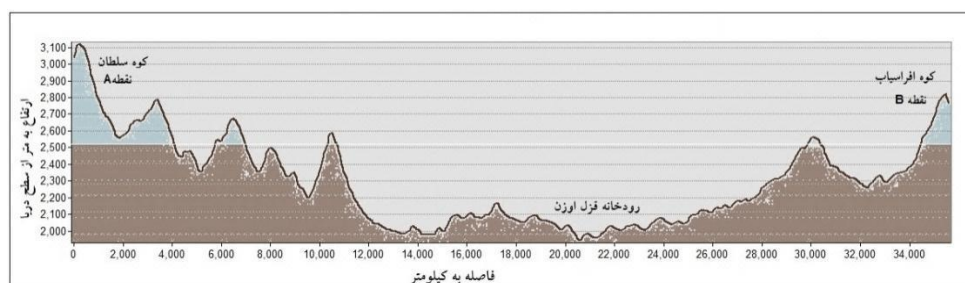
1. cirque-floor altitude
2. equilibrium line altitude

شود و برای تجزیه و تحلیل آماده شوند. در نهایت، در بازدیدهای میدانی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی شواهد هر یک از قلمروهای مورفودینامیکی یخچالی و مجاور یخچالی شناسایی شد.

یافته‌های پژوهش

بازسازی برف‌مرز کواترنری

در ۲۵ سیرک منطقه مورد مطالعه ارتفاع ۲۵۱۰ متر خطی بود که ۶۰ درصد سیرک‌ها تا آن ارتفاع پایین آمده بود. به عبارت دیگر، منحنی ۲۵۱۰ متری ارتفاعی است که بالاتر از آن یخچال‌های دائمی وجود دارد. با استفاده از روش ارتفاع کف سیرک پورتر و طبق رابطه (۱) نما برای داده‌های طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه معادل ۲۴۸۳ متر از سطح دریا بود که نسبت به روش رایت ۲۷ متر پایین‌تر است و اختلاف زیادی را نشان نمی‌دهد (شکل ۲ و ۳). مساحت قلمرو یخچالی طبق محاسبات زمین‌آمار در منطقه مورد مطالعه معادل ۱۴۹ کیلومتر مربع است که ۱۱/۵ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه (۱۲۹۰ کیلومتر مربع) را تشکیل می‌دهد.



شکل ۳. نیمرخ توپوگرافی بین دو نقطه A و B و گسترش برف‌مرزهای دائمی عهد کواترنری با استفاده از روش رایت و پورتر

بررسی شواهد یخچالی و مجاور یخچالی

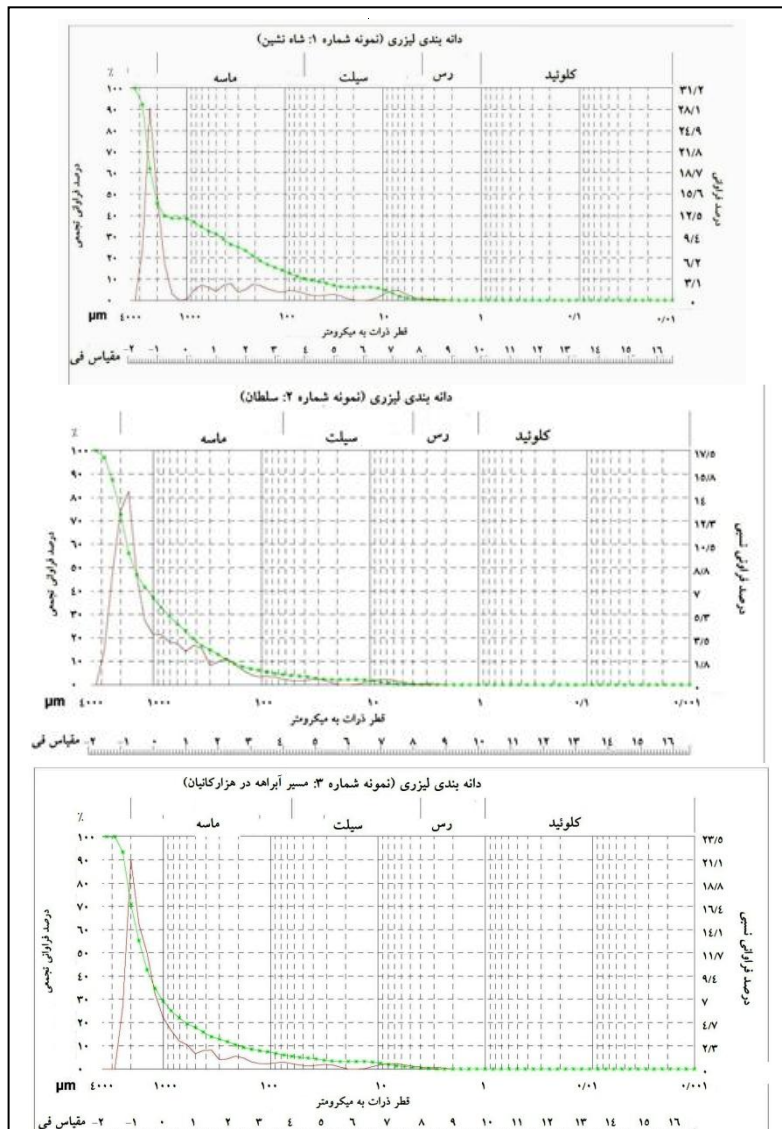
برای شناسایی فعالیت‌های یخچالی و مجاور یخچالی عهد کواترنری و عهد حاضر از عملیات آزمایشگاهی، بازدیدهای میدانی و تحلیل لایه‌ها و نقشه‌ها استفاده شد.

الف) شواهد رسوبی (عملیات آزمایشگاهی)

نتایج کلی حاصل از تحلیل اندازه ذرات و مقاطع میکروسکوپی در هر سه نمونه نشان داد که تمامی رسوبات از نوع آواری با منشأ غیرآلی است که از تخریب سنگ‌های پیرامون حاصل شده است. در بررسی منحنی‌های درصد فراوانی نسبی و تجمعی (در رسوبات با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر) در روش لیزری مشخص شد که ذرات رس در تمامی نمونه‌ها بسیار ناچیز و مواد کلوییدی در آن صفر است (شکل ۴).

نتایج تلفیقی از دانه‌سنجی دو روش غربالگری و لیزری در سه نمونه به تفکیک تهیه شد. در نمونه ۱ (سیرک شاه‌نشین) ۷۷/۵ درصد وزنی از کل رسوب را گروه گراول‌ها تشکیل داد. کمترین مقدار درصد وزنی در آن نیز مربوط به گل‌ولای به مقدار ۵ درصد بود. از طرفی، مقدار کج‌شدگی^۱ با توجه به مقیاس فولک (۱۹۸۱) مثبت شد (میانگین بزرگ‌تر از میانه و میانه بزرگ‌تر از مد) و معادل ۰/۵۱۳ محاسبه گردید. به این ترتیب، فراوانی ذرات ریز از ذرات درشت خیلی بیشتر بوده است. این بی‌نظمی در توزیع ذرات و درصد وزنی آن نشان‌دهنده محیط رسوبگذاری آشفته به دلیل ذوب شدن مکرر برف و شستشوی فصلی است. مطابق مقیاس فولک، انحراف معیار در مقیاس فی در نمونه ۱ معادل ۲/۱۳۹ است که در گروه جورشدگی^۲ بسیار ضعیف قرار می‌گیرد (جدول ۱). نمونه‌های ۲ و ۳ نیز جورشدگی ضعیف و کج‌شدگی مثبت (میانگین بزرگ‌تر از میانه و میانه بزرگ‌تر از مد) بی‌نظمی در آرایش رسوبات ریز و درشت به همراه فرایندهای مختلف رسوبگذاری را در مکان مورد نظر تأیید می‌کند.

1. skewness
2. sorting

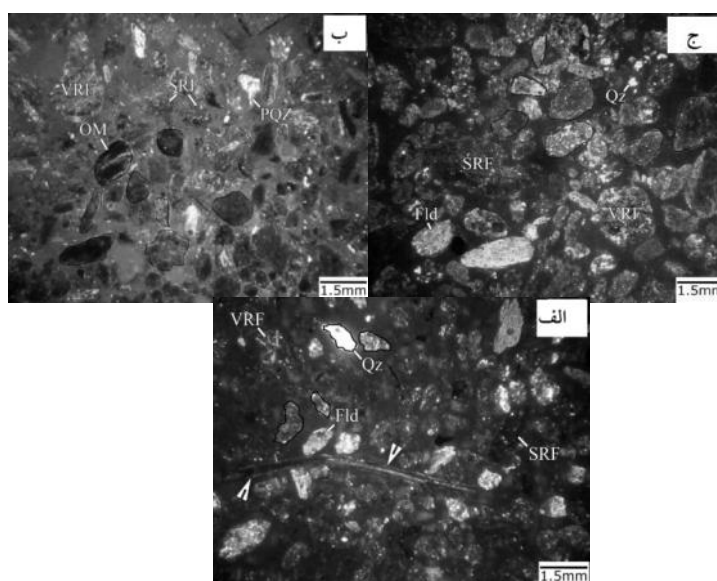


شکل ۳. دانه بندی لیزری حاصل از بررسی سه نمونه برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

با وجود قرارگرفتن نمونه‌ها در ارتفاعات مختلف، از لحاظ توزیع اندازه ذرات، بی‌نظمی وجود داشت و بیشترین درصد وزنی از ذرات را گروه گراول‌ها و ماسه‌های درشت تشکیل داده است. در روش لیزری نتایج حاصل از پتروگرافی زیر میکروسکوپ برای هر سه نمونه نشان داد که رسوبات به سبب وجود کانی‌های کوارتز، فلدسپات و خرده‌های سنگی (شامل خرده‌های ولکانیکی، دگرگونی و شیلی) از نوع آواری خشکی‌زاد است. بررسی میزان گردشدگی^۱ دانه‌ها (پتی‌جان و سیویر، ۱۹۷۳) در مقاطع میکروسکوپی نشان داد که در هر سه نمونه درجهٔ کرویت دانه‌ها پایین است. نکتهٔ قابل توجه وجود آثار باقیمانده از گیاهان در رسوبات بسیار ریز است (شکل ۵ الف) که به دلیل شرایط سرد محیطی و دفن سریع، امکان اکسیدشدگی و فساد را نداشته‌اند و به خوبی در نمونهٔ رسوب حفظ شده‌اند.

جدول ۱. پارامترهای آماری تلفیقی روش غربالگری و لیزری در نمونه‌های برداشت‌شده

روشن فولک (واحد Φ)	جورشدگی (σ)	کج‌شدگی (Sk)	کشیدگی (K)	توضیح
نمونه ۱	۲/۱۳۹	۰/۵۱۳	۱/۵۹	جورشدگی خیلی ضعیف کج‌شدگی مثبت شدید کشیدگی خیلی زیاد
نمونه ۲	۱/۸۹	۰/۱۵۷	۰/۹۱	جورشدگی ضعیف کج‌شدگی مثبت کشیدگی متوسط
نمونه ۳	۱/۴۲۹	۰/۴۳۲	۰/۹۸۶	جورشدگی ضعیف کج‌شدگی مثبت شدید کشیدگی متوسط
توزیع اندازه ذرات (%)				
نمونه ۱	۷۷/۵	۱۷/۵	۵	گل‌ولای
نمونه ۲	۵۴/۲	۴۳/۳	۲/۵	
نمونه ۳	۷۷/۵	۲۲/۵	۲	
پارامترهای آماری (واحد μm)				
نمونه ۱	۴۹۵۴/۲	۴۰۶۳/۳	۱۷۴۱، ۳۴۰۰، ۹۶۰۰	مد (Mo)
نمونه ۲	۳۸۹۶/۶	۲۳۵۷/۹	۶۲۴، ۹۰۶، ۱۱۹۹	
نمونه ۳	۵۲۹۰/۹	۴۸۹۸/۴	۱۱۹۹، ۱۴۴۴، ۱۷۴۱	

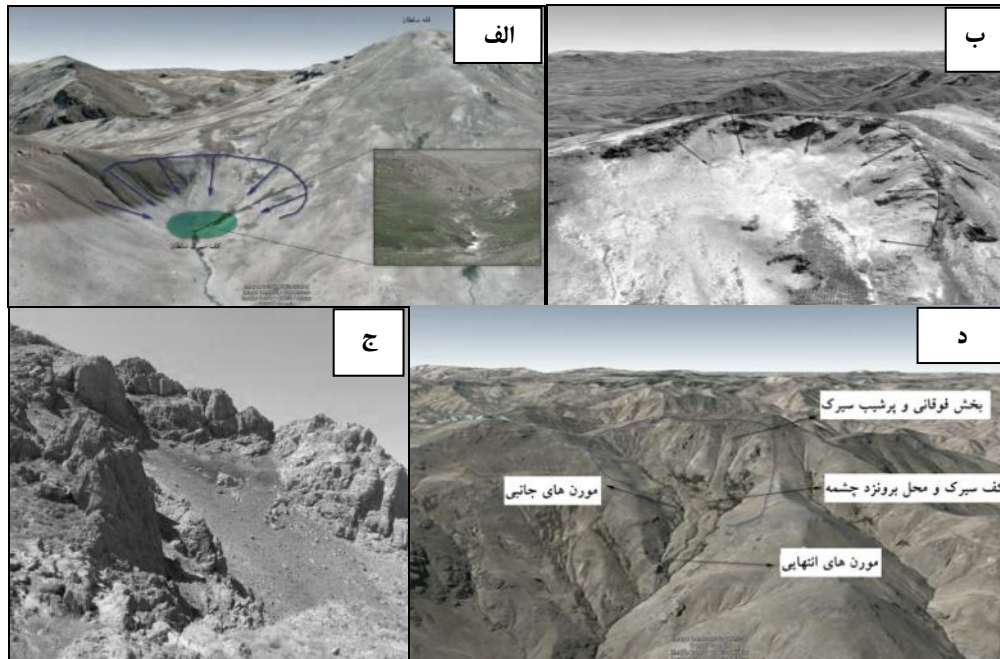


شکل ۵. مقاطع نازک رسوبات در نمونه‌های برداشت از منطقه مورد مطالعه. الف) نمونه ۱ (شاه‌نشین) زاویه‌دار بودن و کرویت ضعیف اجزای آواری شامل کوارتز (QZ)، فلدسپار (FLD)، خرده‌سنگ ولکانیکی (VRF) و خرده‌سنگ ماسه‌سنگی (SRF)؛ بیکان‌ها باقیمانده گیاهی را نشان می‌دهد. ب) نمونه ۲ (سلطان) اجزای آواری با گردشگی نسبتاً خوب؛ ج) نمونه ۳ (هزارکانیان) شامل ذرات آواری با گردشگی خوب

ب) لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی (شواهد میدانی، بررسی تصاویر ماهواره‌ای و توپوگرافی) در آخرین دوره یخچالی، بیشتر مناطق کوهستانی ایران تحت تأثیر فرایندهای یخچالی قرار داشتند. شواهدی که امروزه تحت تأثیر یخچال‌های گذشته در مناطق مرتفع و کوهستانی نمود پیدا کرده است، بیشتر شامل لندفرم‌هایی از قبیل سیرک‌های یخچالی، دره‌های یخچالی و یخرفت‌هایی است که تحت استیلای فعالیت‌های یخ و حرکت توده‌های عظیم برف بوده است. علاوه بر شواهد قلمرو یخچالی، شواهد زیادی نیز وجود دارد که مربوط به قلمرو مجاور یخچالی است که هم‌اکنون در نقاط مرتفع منطقه مورد مطالعه فعالیت دارد. لندفرم‌های مربوط به قلمرو مجاور یخچالی غالباً در اثر فرایندهای انجماد و ذوب برف و فرایندهایی از قبیل ترموکلاستی و هالوکلاستی در بخش عمده‌ای از سال به وجود می‌آید.

شواهد یخچالی (قلمرو گلاسیر)

در بازدیدهای میدانی، بررسی تصاویر ماهواره‌ای، الگوی فرم منحنی میزان‌ها و مدل رقومی ارتفاعی بسیاری از عوارض یخچالی از جمله سیرک‌ها به تعداد ۲۵ مورد شناسایی شد. سیرک یخچالی شاه‌نشین در عصر یخچالی محل فعالیت چندین سیرک فرعی جانبی بوده است. این سیرک‌ها بعد از گذشت زمان و در اثر فرایندهای مختلف فرسایشی به صورت سیرک بزرگی شکل گرفته که روند نهشته‌های یخرفتی در آن حفظ شده است. در کف برخی سیرک‌ها نیز چشمه‌هایی وجود دارد. در سیرک بزرگ شاه‌نشین این چشمه «کانی چاو رهش» در ارتفاع ۱۷۱۰ متری قرار گرفته است. شکل ۶ برخی دیگر از سیرک‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

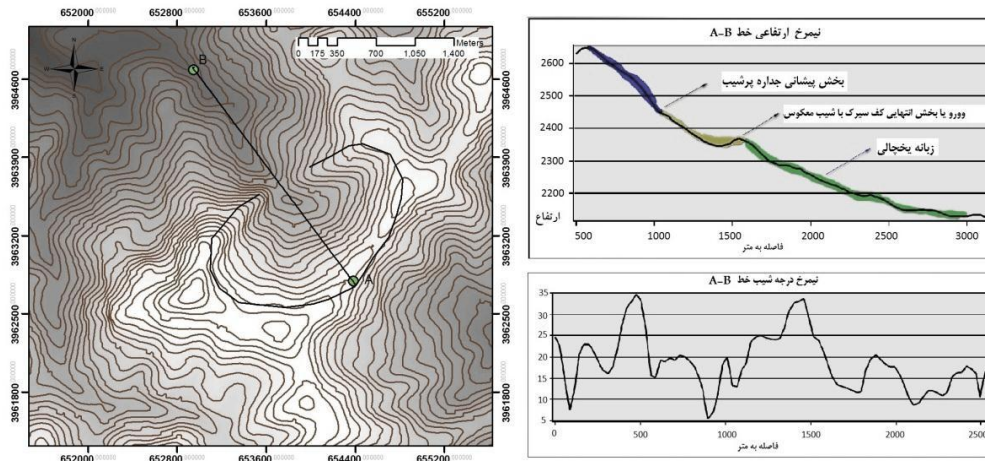


شکل ۶. سیرک‌های یخچالی؛ الف) سیرک مسجد میرزا از نوع سیرک درجه ۲ که کف سیرک آن به خوبی شکل نگرفته است، ولی سیرکی کاملاً مشخص است؛ ب) سیرک سلطان که در آن بسیاری از ویژگی‌های سیرک تیبیک حفظ شده است. درجه شیب کف این سیرک در برخی بخش‌های آن صفر و حتی معکوس نیز است؛ ج) سیرک بزرگ شاه‌نشین با مورن‌های جانبی و انتهایی آن در ارتفاع ۲۷۱۰ متر؛ د) سیرک دامنه شمالی شاه‌نشین در ارتفاع ۲۷۰۰ متری با تاج پرشیب

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و به کمک نیمرخ ارتفاعی نیز می‌توان سیرک‌های یخچالی را شناسایی کرد. شکل ۷ موقعیت یکی از سیرک‌های یخچالی کوه‌های مسجد میرزا را روی مدل رقومی ارتفاعی نشان می‌دهد. در نیمرخ ارتفاعی آن به خوبی بخش‌های مختلف سیرک از جمله جداره پرشیب (سفید رنگ)، بخش انحنايي و شیب معکوس کف سیرک (سیاه رنگ) مشخص شده است.

علاوه بر این، موارد سیرک‌های یخچالی را می‌توان به کمک الگوی منحنی میزان نیز شناسایی کرد. طبق شکل ۷، در بخش پرتگاهی سیرک یخچالی مسجد میرزا فواصل منحنی میزان‌ها از هم بسیار کم و پرشیب است، در حالی که در بخش کف سیرک منحنی‌های بازتر و کم‌شیب‌تری وجود دارد. یکی دیگر از شواهد توپوگرافی، نیمرخ‌های درجه شیب و ارتفاع خط A-B است که به خوبی در بخش کف سیرک فرورفتگی کاملاً مشخصی در آن‌ها مشاهده می‌شود. بخش پیشانی سیرک‌های یخچالی در عصر کواترنری در مناطق کوهستانی نقطه شروع دره‌ها و زبانه‌های یخچالی است. توزیع سیرک‌های یخچالی نشان داد که قلمرو یخچالی تا ارتفاع ۲۲۸۰ متر پایین آمده است. شکل ۸ ب دره یخچالی منشعب از سیرک شاه‌نشین را نشان می‌دهد که فعالیت رودخانه‌ای در کف دره الگوی یخچالی دره را تحت تأثیر فرسایش و برش دره قرار داده است. نامنظم بودن ذرات درشت و ریز در کنار هم و بی‌نظمی در ته‌نشینی رسوبات، فعالیت یخچالی گذشته

را در مکان مورد نظر نشان می‌دهد و حضور یخرفت‌های دره‌ای را اثبات می‌کند. بررسی‌های میدانی یخرفت‌های دره‌ای آخرین حد گسترش یخچال‌ها را نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری پایین آمده است. در مناطق با ارتفاع کمتر و در شیب‌های جنوبی رسوبات کف بستر رودخانه‌ها ترکیبی از رسوبات رودخانه‌ای-یخچالی است. شکل ۸ الف بستر رود قزل‌اوزن را در ارتفاع ۱۹۰۰ متری نشان می‌دهد که بقایای رسوبات درشت یخچالی در آن مشاهده شده و تحت تأثیر فرایندهای رودخانه‌ای زوایای برخی رسوبات نیز از بین رفته است. سنگ‌های سرگردان، مورن‌ها، پرتگاه‌های سنگی، پلکان سنگی و رودسنگ‌ها از دیگر لندفرم‌های یخچالی است که بقایای آن در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است (شکل ۹).

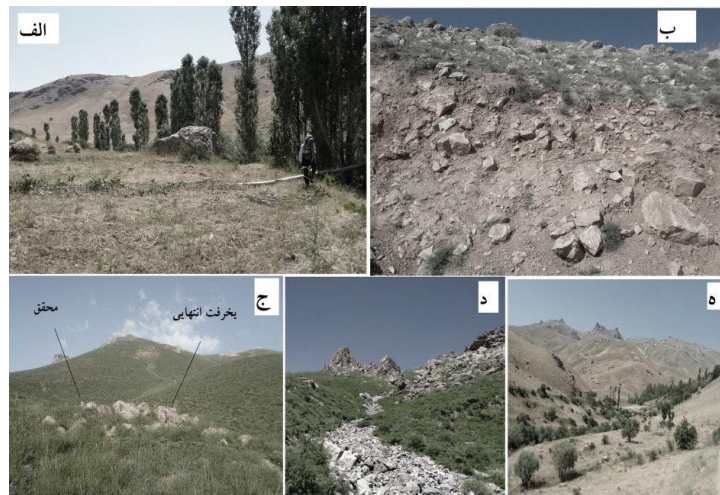


شکل ۷. موقعیت سیرک یخچالی مسجدمیرزا روی مدل رقومی ارتفاعی، خطوط منحنی میزان و نیمرخ‌های آن



شکل ۸ الف) رسوبات رودخانه‌ای-یخچالی^۱ در بستر رود قزل‌اوزن در روستای هزارکانیان (ارتفاع ۱۹۰۰ متر)؛ ب) دره یخچالی^۲ فرسایش یافته و برون‌زدگی رسوبات یخچالی گذشته در اثر فرایند رودخانه‌ای (ارتفاع ۱۸۰۰ متری)

1. glacio-fluvial deposition
2. glacial valley



شکل ۹. لندفرم‌های یخچالی؛ الف) سنگ سرگردان^۱ (با ابعاد ۳*۵ متر) مستقر روی رسوبات ریزدانه در ارتفاع ۲۰۰۰ متری، ب) تیل‌های یخچالی^۲ در ارتفاع ۲۸۰۰ متری، ج) یخرفت انتهایی^۳ در ارتفاع ۲۲۵۰ متری، د) رودسنگ^۴، ه) دره یخچالی

در محل پلکان‌های سنگی اغلب آبشارهایی نیز دیده می‌شود که در فصل سرما آبشارهای یخی را شکل می‌دهند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. الف) پلکان‌های سنگی^۵ در لبه پایینی سیرک مسجد میرزا، ب) پلکان سنگی و ایجاد آبشار به ارتفاع ۸ متر در لبه پایینی سیرک شاه‌نشین

شواهد مجاور یخچالی عهد حاضر

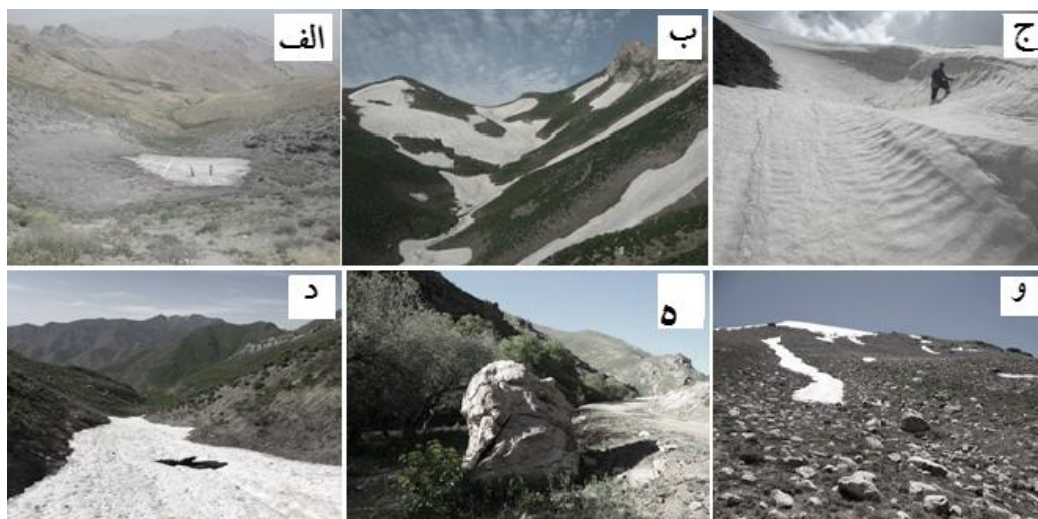
منطقه مورد مطالعه در بخش عمده‌ای از سال تحت استیلای برف قرار دارد و فرایند ذوب برف تا اواسط تابستان نیز ادامه دارد. بیشتر لندفرم‌هایی که در گذشته در قلمرو یخچالی قرار داشته‌اند، امروزه در بخش‌های مرتفع تحت قلمرو مجاور یخچالی شناخته می‌شود. به همین دلیل، گاه شواهد عهد حاضر در کنار آثار باقیمانده از عهد کوتاه‌تری مشاهده می‌شود (شکل ۱۱).

1. erratic rocks
2. glacial till
3. terminal moraine
4. block stream
5. rock steps



شکل ۱۱. ترکیبی از شواهد عهد حاضر (روانه‌های سولیفلوکسیون)^۱ و کواترنری (رسوبات یخچالی) در دامنه شرقی کوه شاه‌نشین

تکه‌های برفی، ترموسیرک‌ها و تونل‌های برفی از جمله شواهد پریگلاسیر است که در منطقه مورد مطالعه گاهی تا اواخر تابستان نیز فعالیت دارد. در زیر تکه‌های برفی و هنگام نوسانات دما و عمل انجماد و ذوب برف عمل سولیفلوکسیون انجام می‌گیرد. در واقع، زبانه‌های سرسبزی که گیاهان آن به‌لحاظ رشد با تأخیر زمانی روبه‌روست، ویژگی متفاوتی با محیط پیرامون دارد و عرصه فعالیت همان تکه‌های برفی است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. شواهد مجاور یخچالی؛ الف) تکه‌برفی^۲ (۱ مرداد ۱۳۹۵)، ب) ترموسیرک^۳، ج) گیلویی برف^۴ با ضخامت ۶ متر، د) تونل برفی^۵ با سقف فروریخته، ه) ترک سنگی^۶ ناشی از فرایند مکانیکی انجماد و ذوب یخ، و) ریگولیت^۷

بهمین‌ها و رسوبات انتهایی دالان بهمین از دیگر فرایندها و فرم‌های محیط پریگلاسیر یا مجاور یخچالی است که در منطقه مورد مطالعه به‌وفور دیده می‌شود. این فرایند بیشتر در دامنه‌های پرشیبی رخ می‌دهد که حجم زیادی از برف در اثر نیروی ثقل به پای دامنه سرازیر می‌شود (شکل ۱۳). آثار به‌جای‌مانده از وقوع بهمین به‌صورت نهشته‌های انتهایی در منطقه مورد مطالعه حاکی از فرایندهای مربوط به عمل ذوب برف است و به‌خوبی عرصه فعالیت قلمرو نیواسیون^۸ را

1. solifluction lobes
2. snow patch
3. thermocirque
4. corniches nivales
5. snow tunnel
6. rock cracking
7. regolith
8. Nivation

توجیه می‌کند. در بررسی توزیع لندفرم‌ها و عرصه فعالیت مجاور یخچالی در نقاط ارتفاعی مختلف مشخص شد که مرز تحتانی قلمرو مجاور یخچالی در منطقه مورد مطالعه خط هم‌ارتفاع ۲۷۵۰ متر را دنبال می‌کند.



شکل ۱۳. الف) وقوع بهمن در بخش پرشیب کوه در روستای دروین فارس، ب) نهشته‌های انتهایی^۱ حاصل از وقوع بهمن حد فاصل روستای نرگسله به دره گاوان، ج) نمایی نزدیک از گذرگاه بهمن^۲ در پای کوه (تاریخ وقوع: اسفند ۱۳۹۴)

بحث و نتیجه‌گیری

کوه‌های چهل چشمه و سارال یکی از مناطق سردسیر و برف‌گیر استان کردستان است که در عهد کواترنری عمدتاً تحت استیلای فعالیت‌های یخچالی و مجاور یخچالی بوده است. هدف تحقیق در اینجا بازسازی قلمروهای مورفودینامیکی کواترنری و عهد حاضر بر اساس مورایث یخچالی و فرم‌ها و فرایندهای کنونی است. بررسی‌های میدانی و مدل‌های تجربی از یک سو و عملیات آزمایشگاهی روی نمونه‌ها از سوی دیگر فرایند اثبات فعالیت‌های یخچالی و مجاور یخچالی را از دو بعد بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس در این تحقیق دنبال می‌کند. به عبارتی، در کنار عملیات میدانی و تجزیه و تحلیل تصاویر و نقشه‌ها از عملیات آزمایشگاهی نیز در راستای اهداف تحقیق کمک گرفته شده است. نتایج حاصل نشان داد که در عملیات آزمایشگاهی روی نمونه‌های رسوب محیط رسوبگذاری در منطقه مطالعاتی همراه با فرایند مکرر انجماد-ذوب بوده و رژیم رسوبگذاری آن به صورت آشفته به همراه پدیده‌های کریوکلاستی و ترموکلاستی است.

جورشدگی ضعیف ذرات، کج‌شدگی مثبت، زاویه‌داربودن و عدم تناسب کرویت دانه‌ها، توزیع نامنظم دانه‌ها، و نوسان زیاد اندازه قطر دانه‌ها این مطلب را تأیید می‌کند. حفظ بقایای گیاهی و حفظ کانی‌های فلدسپار یکی دیگر از دلایل فرسایش مکانیکی شدید و ضعیف بودن فرسایش شیمیایی در نمونه‌هاست. فلدسپارها کانی‌هایی هستند که در اثر فرایندهای شیمیایی به کانی‌های رس تبدیل می‌شوند، ولی در محیط‌های سرد به خوبی حفظ خواهند شد. نبود رسوبات ریزدانه رسی و کلوییدی در تمامی نمونه‌ها این ادعا را اثبات می‌کند. این موارد نشان می‌دهد که محیط کنونی در بیشتر مواقع سال در معرض فرسایش مکانیکی ناشی از نوسانات دما و جریان‌های ناشی از ذوب برف و یخ است که در عهد کواترنری نیز با شدت بیشتر تا ارتفاعات پایین‌تر امتداد داشته است.

بررسی شواهد میدانی و تحلیل نقشه‌ها و تصاویر حضور بسیاری از لندفرم‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. سیرک‌های یخچالی، دره‌های یخچالی، یخرفت‌ها، سنگ‌های سرگردان، نهشته‌های انتهایی بهمن، ترک‌های سنگی و روانه‌های سولیفلوکسیونی از جمله این لندفرم‌ها به‌شمار می‌رود. نتایج حاصل از بازسازی قلمروهای

1. debris avalanche deposit
2. avalanche trough

مورفودینامیکی نشان داد که برف‌مرزهای دائمی خط هم‌ارتفاع ۲۴۸۳ متر را دنبال می‌کند. علاوه بر این، آخرین حد گسترش یخچال‌ها در دره‌های یخچالی وجود دارد که توانسته است تا ارتفاع ۱۸۰۰ متر پایین برود.

در مقایسه و بررسی مطالعات مشابه در مناطق مختلف کشور به این نتیجه رسیدیم که برف‌مرز دائمی در کوه‌های چهل‌چشمه و سارال در مقایسه با بررسی‌های مشابه در کوه‌های البرز و زاگرس، همچنین کوه‌های ایران مرکزی در ارتفاع پایین‌تری قرار گرفته است. کم‌ارتفاع بودن برف‌مرزهای دائمی در تحقیقات دیگری نیز بررسی شده است که روی نواحی مجاور و نزدیک به منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است (یمانی، ۱۳۹۲؛ رایت ۱۹۶۲). به‌طوری که رایت پایین‌آمدن برف‌مرزها را در ارتفاعات مرزی کردستان تا ۱۸۰۰ متر معرفی کرد و یمانی نیز در مطالعه‌ای گسترده‌تر روی ارتفاعات مختلف کردستان خط هم‌ارتفاع ۲۱۳۲ متر را برای کوه‌های چهل‌چشمه معرفی کرد.

یکی از علت‌های تفاوت در مقادیر ارتفاعی برف‌مرزها در این تحقیق و پژوهش‌های سایر محققان، ویژگی‌های متفاوت مورفودینامیکی منطقه مورد مطالعه، همچنین استفاده از روش‌های متفاوت تجزیه و تحلیل داده‌هاست، به‌طوری که در مطالعه یمانی (۱۳۹۲) بازسازی شرایط گذشته بر اساس رژیم اقلیمی و با در نظر گرفتن شاخص‌های رطوبت و دما انجام گرفته است، در حالی که نتایج این تحقیق بر اساس توزیع شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی متکی بوده است.

منابع

- انتظاری، ع.، امیراحمدی، ا.، قرنچیک، ا.م.، جهان‌فر، ع. و شایان‌یگانه، ع.ا. (۱۳۹۴). بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگانرود در کواترنری. فصلنامه کواترنری ایران، ۲: ۱۶۹-۱۸۰.
- جداری عبوسی، ج. (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- رامشت، م.ح. و پوردهان، د. (۱۳۸۷). یخ در آتش: آثار یخچالی در منطقه بم. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۸۹: ۱۴۴-۱۳۰.
- رامشت، م.ح.، لاجوردی، م.، لشکری، ح. و محمودی محمدآبادی، ط. (۱۳۹۰). ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی: مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲ (شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲): ۷۸-۵۹.
- قهرودی تالی، م.، نصرتی، ک. و عبدلی، ا. (۱۳۹۴). تخمین برف‌مرز در آخرین دوره یخچالی در حوضه دالاخانی. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲: ۲۳۱-۲۴۶.
- محمودی، ف. (۱۳۶۷). تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنری. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۲۳: ۴۳-۵.
- یمانی، م. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه، بررسی اشکال ژئومورفولوژیک و حدود گسترش آن‌ها. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۹، بهار: ۱۳۹-۱۲۵.
- یمانی، م. (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۲: ۱-۱۸.
- یمانی، م. و زمانی، ح. (۱۳۹۵). تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در دره هراز در آخرین دوره یخچالی. فصلنامه کواترنری ایران، ۴: ۳۰۵-۳۱۴.
- یمانی، م.، شمسی‌پور، ع.ا. و رحمتی، م. (۱۳۹۳). تعیین قلمروهای آب‌وهوایی و فرایندهای شکل‌زایی حال حاضر و کواترنری در مسیر آزادراه خرم‌آباد- پل زال. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲: ۹۰-۱۰۳.
- یمانی، م.، میمی، ا.، عزیزی، ق. و باخویشی، ک. (۱۳۹۲). تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴: ۱-۱۴.
- یمانی، م.، شمسی‌پور، ع.ا.، جعفری‌اقدم، م.، و باقری سید شکر، س. (۱۳۹۰). تعیین حدود مناطق مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی کواترنری در حوضه جاجرود. مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۳: ۸۳-۱۱۰.
- Bobek, H. (1963). Nature and implications of Quaternary Climatic changes in Iran, in Changes of climate, Proceedings of Symposium on Changes of Climate with Special Reference to And Zones: Rome, 1961. UNESCO: 403-413.
- Engel E., Krızek, M., Kasprzak, M., Traczyk, A., Hložek, M. and Krbcov'a, K. (2017). Geomorphological and sedimentary evidence of probable glaciation in the Jizerské hory Mountains, central Europe. *Geomorphology*, 280: 39-50.
- Entezari, A., Amirahmadi, A., Gherenjic A.M., Jahanfar, A. and Shayanyeganeh, A.A. (2015). Geomorphologic study of climate change in Gorganroud Basin in Quaternary. *Journal of Space Planning and Design*, 3: 83-110.
- Evans, I.S. and Cox, N.J. (1974). Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area Journal*, 6: 150-153.
- Fisher, W.B. (1968). *The land of Iran, the Cambridge History of Iran*, Cambridge, Geological Survey, Geological Map Scale 1:100000 East of Tehran, Marzanabad, Baladeh.
- Folk R.L. (1981). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing, Co; 2 edition, Austin, texas, 182 p.
- Ghohroodi Tali, M., Nosrati, K. and Abdoli, I. (2015). Estimation of snowline at the last glacial period in the Dahlakhani Basin. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 2: 231-246.

- Hagedorn, H., Haars, W., Busche, D. and Grunert, J. (1978). Some geomorphological observations from the Shir Kuh mountains area. *Geography, Journal of the Association of Iranian Geographers*, 1(2): 10-19.
- Hendrickx, H., Jacob, M., Frankl, A. and Nyssen, J. (2015). Glacial and periglacial geomorphology and its paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed geomorphological map. *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.
- Iestyn, D. and Spagnolo, B. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. *Earth-Science Reviews*, 151: 48-78.
- Jedari Eivazi, J. (2003). *Geomorphology of Iran*. Payame Noor University Publication, Tehran.
- Landsat satellite imagery (2016). Digital globe.
- Mahmudi, F. (1988). The transformation of the Iran terrains in Quaternary. *Researches in Geography Quaternary*, 20(23): 5-43.
- Oliva, M., Serrano, E., Ortiz, A.G., Gonzalez, M.J., Nieuwendam, A., Palacios e, D., Alberti, A., Ondicol, R., Fernandez, J., Valcarcel, M., Vieira, G. and Antoniadis, D. (2016). Spatial and temporal variability of periglacialiation of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, 137: 176-199.
- Palma, P., Oliva, M., Hernandez, H.G., Ortiz, A.G., Fernandez, J.R., Franch, F.S. and Catarineu, M. (2017). Spatial characterization of glacial and periglacial landforms in the highlands of Sierra Nevada (Spain). *Science of The Total Environment*, 585: 1256-1267.
- Pedrami, M. (1982). *Pleistocenf glaciations and Paleoclimate of Iran*. GEO 1, Survey of Iran. Tehran.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1973). *Sand and sandstones*. Springer Verlag, New York.
- Porter, S.C. (2001). Snowline depression in the tropics during the last glaciations. *Quaternary Science Reviews*, 6(20): 27-42.
- Ramesht, M.H., Lajvardi, M., Lashkari, H. and Mahmodi Mohamad Abadi, T. (2011). Tracing of glacier (Case Study: Glacier Basin Tigrany Mahan). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 42(2): 59-78.
- Ramesht, M.H. and Pourdehghan, D. (2008). Ice in fire: Glacial evidence in Bam Area. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 89: 130-144.
- Schweizer, J. (1970). The Sabalan Mountains (north west Iran) contributions to the glacier and glacial geomorphology of high mountains, in: H Schroder (eds) *Beitrag zur geographiede detropen und subtropen Tubiger geographische studien*: 163-178.
- Serrano, E., Trueba, J.J.G. and García, M.G. (2012). Mountain glaciation and paleoclimate reconstruction in the Picos de Europa (Iberian Peninsula, SW Europe). *Quaternary Research*, 78: 303-314.
- Wright, H.E. (1962). Pleistocene glaciation in Kurdistan. *Quaternary Science Journal*, 121: 1-15.
- Yamani, M. (2007). Geomorphology of Zardkooh glaciers. *Geography Research of Quaternary*, 59: 128-139.
- Yamani, M. (2002). The geomorphology of Alamkooh Glaciers. *Researches in Geography Quaternary*, 42: 1-18.
- Yamani, M., Shamsipor A.A. and Rahmati, M. (2014). Determination of the territory of the climate and formation processes in the quaternary and present period in the freeway of Khorram Abad-Polezal. *Quantitative Geomorphology Researches*, 2: 90-103.
- Yamani, M. and Zamani, H. (2015). An assessment of equilibrium-line altitudes in the Haraz Valley during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Journal of Iran*, 2(4): 305-314. [in Persian]
- Yamani, M., Moghimi, E., Azizi, G. and Bakhishi, K. (2013). Determination of Holocene morphoclimatic regions in highlands of the west and northwest of Kurdistan Province. *Researches in Physical Geography Quaternary*, 45(4): 1-14.
- Yamani, M., Shamsipor A.A. and Jafari Aghdam, M. (2011). Reconstruction of snowline basin Pleistocene in the Jajrood. *Physical Geography Research*, 76: 35-44.
- Zebre, M. and Stepisni, U. (2014). Reconstruction of Late Pleistocene glaciers on Mount Lovćen, Montenegro. *Quaternary International*, 353: 225-235.