فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶
ص ۲۷۷-۲۸۸

شواهد یخچال‌های رندوله و بابوله در قلمرو مرزهای ایران، ترکیه و عراق

منیژه قهرودی تالی*؛ استاد، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
رسول حسنی قارنایی؛ دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
طاهر خورشیدی؛ دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
مهرنوش حیدری؛ دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۳۰

چکیده

کوهستان‌های رندوله و بابوله در دو طرف دره‌ای یخچالی بخشی از رشته‌کوه ماکو- بانه در مرزهای ایران، ترکیه و عراق است. این منطقه از نظر ساختمانی در زون سنندج- سیرجان واقع شده است و از روند زاگرس تبعیت می‌کند. این پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های اقلیمی، داده ارتفاعی، مشاهدات میدانی و نمونه‌برداری رسوب انجام شده است. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی در مناطق یخچالی موقعیت چندین سیرک بزرگ و کوچک شناسایی و برف‌مرز با استفاده از روش رایت محاسبه شد. مسیر مشاهدات میدانی تعیین و بازدیدهای مکرر از منطقه مورد مطالعه انجام شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که خط برف‌مرز دایمی در آخرین دورهٔ سرد در ارتفاع ۲۶۰۰ متری قرار داشته و چندین سیرک بزرگ و کوچک یخچالی همراه با دره‌های Uشکل و مورن‌های کناری برجای‌مانده در حواشی دره‌ها حاکی از شکل‌زایی یخچالی در آخرین دورهٔ سرد بوده است. با گرم‌شدن هوا بعد از عصر یخبندان و بالارفتن خط برف‌مرز، احتمالاً ذوب یخچال‌ها، جریان‌های سیلابی قوی ایجاد کرد که سبب حرکت مواد یخچالی و ته‌نشین‌شدن آن در نواحی کم‌ارتفاع‌تر شد، که در حال حاضر بستر شهر اشنویه و چندین روستای منطقه را تشکیل می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: **اشنویه، رسوبات یخچالی، رشته‌کوه ماکو- بانه، ژئومورفولوژی.**

مقدمه

از میراث‌های تحولات اقلیمی دورهٔ کواترنری آثار و شواهد باقی‌مانده از یخچال‌هاست که عمدتاً در مناطق کوهستانی پراکنده است. از جمله کوهستان‌های ایران و دارای شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی، رشته‌کوه ماکو– بانه در مرزهای ایران، ترکیه و عراق است. رشتهٔ کوهستانی رندوله و بابوله در دو طرف درهٔ یخچالی بخشی از رشته‌کوه اخیر است که تا شهر اشنویه امتداد دارد.

سابقهٔ بررسی و نظریه‌ها در مورد یخچال‌های ایران، سالیان متمادی مورد نظر پژوهشگران بسیاری بوده است. نخستین مطالعات در این زمینه را ژاک دومرگان انجام داد. او در سال ۱۸۹۰ از سیرک یخچالی قدیمی اشتران‌کوه در ارتفاع ۳۸۰۰ متری و سیرک قلیان‌کوه در ارتفاع ۲۴۴۰ متری نام برده است (به نقل از طاحونی، ۱۳۸۳: ۳۲). نتایج مطالعات دیگر در منطقهٔ اشتران‌کوه نشان‌دهندهٔ وجود مورن انتهایی در ارتفاع ۲۶۵۰ متری و سه سیرک یخچالی در ارتفاع ۳۴۰۰متری زیرحوضهٔ گلگل است (سیف، ۲۰۱۵: ۱۳۵–۱۳۶).

دزیو آثار دوران یخبندان را در منطقهٔ زردکوه نشان داد. همچنین، یک یخچال دره‌ای عظیم و طویل در درهٔ کرج

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲ ۱۲۶۳۹۶۸ Email: M-Ghahroudi@sbu.ac.ir

است که تا نزدیکی کرج گسترش دارد (به نقل از سرور و فرید مجتهدی، ۱۳۸۹: ۷۰). در یخچال‌های علم‌کوه بیش از ۳۶ سیرک یخچالی وجود دارد که برخی از آن‌ها دارای زبانه‌های یخچالی فعال یا هستهٔ یخی است. شکاف‌های یخی انتهای سیرک از دیگر شواهد یخچالی است که بزرگ‌ترین این‌ها در انتهای سیرک‌های علم‌چال و هفت‌خوان وجود دارد (یمانی، ۱۳۸۱: ۸ و ۹).

در مطالعهٔ حرکت یخچال‌های علم‌کوه، ضمن اندازه‌گیری زبانه‌های یخچالی، میزان جابه‌جایی زبانهٔ علم‌چال سالیانهٔ ۲۳۰ متر برآورد شده است (یمانی، ۱۳۸۸ :۵۱). در گرگانرود یخرفت‌های پیشانی تا ارتفاع ۱۲۰۰ متری از سطح دریا شناسایی شده است (محمودی، ۱۳۷۵: ۱۴). در ایران مرکزی در ارتفاعات جنوب کرمان و در جنوب‌غربی یزد و در اشتران‌کوه شواهد یخچالی پیدا شده است (به نقل از سرور و فرید مجتهدی، ۱۳۸۹: ۷۰). همچنین، در ایران مرکزی آثار کلاهک یخی در ناحیهٔ سلفچگان همراه با معبر بزرگ یخچالی که با سیرک و دریاچهٔ یخی تغذیه شده است، فعالیت عصر یخچالی در این منطقه را اثبات می‌کند (رامشت و شوشتری، ۱۳۸۳: ۱۲۰).

در ارتفاعات تالش شواهد ژئومورفیکی از جمله سیرک‌ها، دره‌های یخچالی، سنگ‌های سرگردان، رسوب‌های یخچالی و سطوح فرسایش‌یافته بر اثر یخ، به‌دست آمده است و ارتفاع خط برف‌مرز در دو جهت این کوهستان تعیین شده است (طاحونی، ۱۳۸۳: ۳۳).

مطالعات روی ارتفاعات زاگرس در امتداد ایران و عراق خط دائمی برف در دورهٔ وورم ۱۸۰۰ متری ردیابی کرده است (نعمت‌الهی و رامشت، ۱۳۸۴: ۱۴۷؛ رامشت، ۱۳۷۹ :۹۷). در ارتفاعات بزابن و بزاکوه، سیرک بزرگی را به فاصلهٔ ۵ کیلومتری جنوب‌شرق تکام‌جان تشخیص داده‌اند که در سازندهای آهکی و آهکی–رسی کرتاسه در ناودیسی بین دو گسلهٔ تکام‌جان و بزاکوه ایجاد کرده است (سرور و مجتهدی، ۱۳۸۵: ۸۲).

در ارتباط با تغییر سطوح یخچالی کوهستانی در علم‌چال، میزان جابه‌جایی یخچال‌های این منطقه نشان داد که جابه‌جایی محدودهٔ مرکزی از یخچال طبیعی با توجه به تجمع و میزان فرسایش است (موسوی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۰۱۵). در شواهد ریخت‌شناسی کوه سیالان مهم‌ترین اشکال کاوشی، شامل ۱۸ سیرک در این محدوده بوده است (سرور و مجتهدی، ۱۳۸۹: ۷۷). در دامنهٔ شمالی کوه خشچال، مهم‌ترین یافته‌ها و عوارض شناسایی‌شده در محدودهٔ دامنهٔ شمالی آن، پنج سیرک یخچالی و یازده سیرک برف– بهمنی است (سرور و مجتهدی، ۱۳۹۰: ۵۹ و ۶۰).

در ارتباط با قلمرو برف‌مرزهای دائمی در حوضهٔ رود هراز، آثار تراکمی یخچال‌ها، همچون مورن‌ها، بیانگر قلمرو مجاور یخچالی به‌دست آمده است. در این حوضه دره‌های یخچالی در صورتی که از سیرک‌های بزرگ تغذیه شده باشد، تا ارتفاعات کمتر از ۱۸۰۰ متر نیز دیده می‌شود. نتایج این پژوهش حد پایین برف‌مرز را در دوره‌های سرد برابر ۱۸۰۰ متر و در دوره‌های گرم ۳۲۰۰ متر تعیین کرده است (قهرودی، ۱۳۹۰: ۱۰۳–۱۰۴).

در جاجرود سیرک‌های شناسایی‌شده در ارتفاعات شمالی حوضه،۴۴۰ سیرک با حداقل ارتفاع ۲۵۰۰ متر و حداکثر ۴۳۰۰ متر بوده است. میانگین ارتفاع سیرک‌ها ۳۱۵۲ متر و بیشترین فراوانی مربوط به ارتفاع ۳۰۰۰ متر بود. خط برف‌مرز به‌روش رایت ۳۰۰۰ متر تعیین شده است (ابطحی، ۱۳۹۲: ۱۹۱).

بر اساس روش رایت، در محدودهٔ کرج برف‌مرز دائمی در ارتفاع ۲۶۹۲ متر برآورد شد. همچنین، حداکثر پیشروی زبانه‌های یخی درون دره‌های یخچالی کرج، در ارتفاع ۱۳۰۰ متری بود که معادل خط تعادل آب و یخ در نظر گرفته شده است (رامشت و بیرامعلی گیوی، ۱۳۹۳: ۱۷).

در بررسی یخچال‌های البرز غربی، چهار سیرک متفاوت شناسایی و آثار تراکمی یخچالی شامل انواع یخرفت‌ها و بیانگر قلمروی مجاور یخچالی مشخص شده است (خوش‌رفتار و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۸). در آذربایجان و شمال ایران ارتفاعات بالاتر از ۳۶۰۰ متر، از جمله سهند و سبلان، در قلمرو فرسایش یخچال‌های کوهستانی قراردارد و بر اساس نتایج پژوهش‌ها برف‌مرزهای دائمی در ایران غربی ۴۲۰۰ متر در حال حاضر، و در دورهٔ سرد ۱۸۰۰ متر مشخص شده است (به‌نقل از رجبی و بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷: ۱۰۷).

در بررسی آثار یخچالی منطقهٔ بم، با توجه به ارزیابی تغییرات اقلیمی و شناسایی آثار سیرک‌ها و دره‌ها، بم را یکی از برف‌خانه‌های بزرگ ایران در کواترنر می‌دانند (به‌نقل از مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۱). در اطراف منطقهٔ مورد مطالعه آثار یخچالی متعددی شناسایی شده است. یخچال‌های دازگیر، راژان و زیویه در ۳۰–۴۰ کیلومتری جنوب‌غرب ارومیه

حاصل برف‌مرز در حدود ۲۰۰۰ متری است. یخچال‌های دازگیر به‌وضوح مورن‌های ورم اخیر را در ناحیه‌ای وسیع، تا پایین‌تر از ۱۷۵۰ متری نشان می‌دهد (پدرامی، ۱۹۸۲). کوه‌های دالامپر و بزسینا چندین سیرک بزرگ و کوچک دارد و مورن‌ها تا پایکوه‌ها کشیده شده است. تراس‌های اطراف رودخانه باراندوز نشان‌دهندهٔ عظمت جریان‌های ناشی از ذوب یخچال‌های گذشته است (قهرودی و حسنی قارنایی، ۱۳۹۴: ۳۲۳–۳۳۷). در دامنه‌های کوه‌های رندوله و بابوله در غرب اشنویه نیز آثار فراوانی از عملکرد یخ ثبت شده است. تخلیهٔ مواد تخریب‌شده و حمل‌شده با یخچال مشهود است. در این پژوهش، آثار این دو یخچال بررسی شده است.

منطقهٔ مورد مطالعه

یخچال‌های رندوله و بابوله در رشتهٔ کوهستانی به همین نام در محدودهٔ مرزی در استان کردستان قراردارد. از نظر موقعیت جغرافیایی در محدودهٔ '۵۶ °۴۴ تا '۶ °۴۵ طول جغرافیایی و '۱ °۳۷ تا '۳۰ °۳۷ عرض جغرافیایی قراردارد. درهٔ یخچالی از میان این دو رشته کوهستانی تا داخل شهر اشنویه کشیده شده است. دامنه‌های این رشتهٔ کوهستانی تا دریاچهٔ ارومیه از سازندهای کواترنر پوشیده شده است. این منطقه از نظر ساختمانی در زون سنندج– سیرجان واقع شده است و از روند زاگرس تبعیت می‌کند، اما چینه‌شناسی آن با ایران مرکزی مطابقت دارد.

از نظر زمین‌شناسی شرایط این منطقه به این شرح است: سازندهای روته متشکل از آهک‌های ضخیم‌لایه با گسترش فراوان و سازند باروت با تناوبی از سنگ‌های آهک خاکستری و سفیدرنگ بلورین و دولومیت با لایه‌های متوسط تا نازک همراه با شیل‌های اسلیتی دربردارندهٔ گرهک‌ها و نوارهایی از چرت. توده‌های گرانیتی در منطقه برونزد زیادی دارد. همچنین، گرانودیوریت، دیوریت و گابرو با سن کرتاسهٔ بالا تا قبل از ائوسن نتیجهٔ رخداد تکتونیکی لارامید است که سنگ‌های کرتاسه و قدیمی‌تر را قطع کرده و خود با دگرشیبی نهشته‌های میوسن پوشیده شده است. هالهٔ دگرگونی گرانیت‌ها سبب ایجاد کانی‌های هورنفلس، مرمر، کوردیریت و آندالوزیت شده است. شمال حوضهٔ سرپانتینیت سبز رنگ دیده می‌شود. در بخش شمالی‌تر منطقه افیولیت‌ها با جهت شرقی–غربی گسترش دارد. در شمال‌غرب اشنویه آهک پلاژیک تفکیک‌نشده همراه با چرت رادیولاریتی سطح وسیعی را پوشانده است (نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ آذربایجان‌غربی و ۱:۱۰۰۰۰۰ اشنویه، نقده و ارومیه).

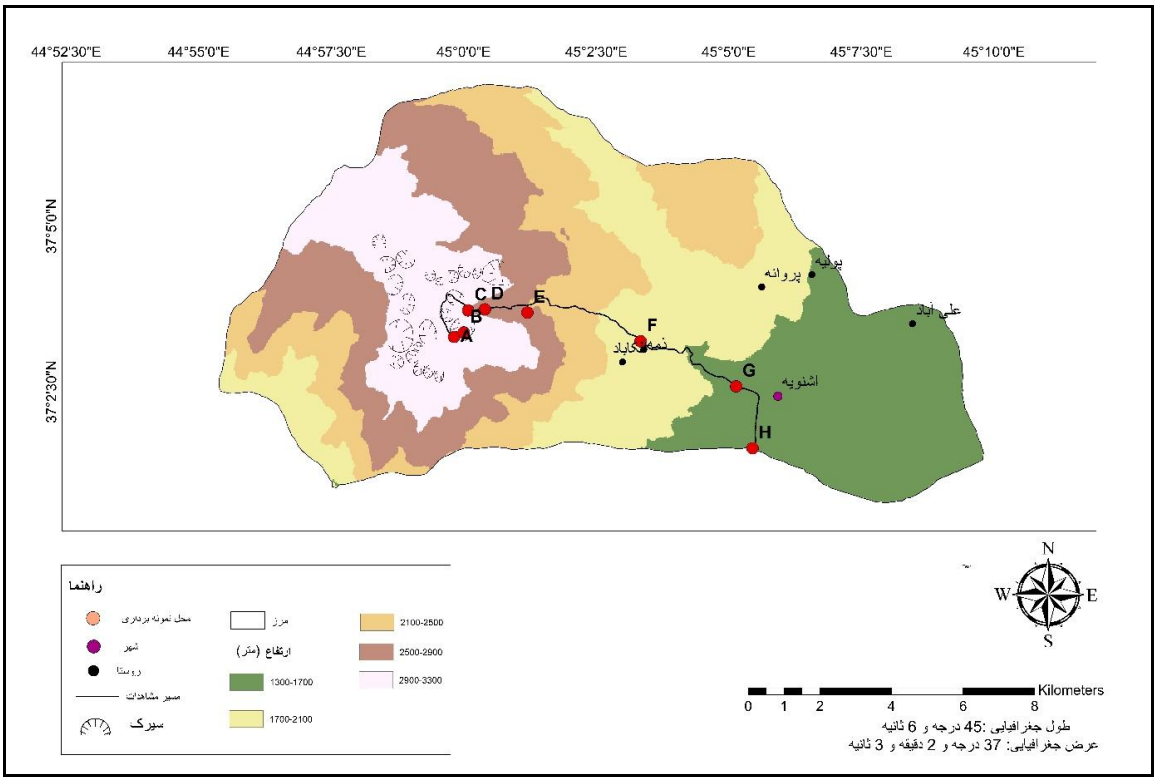
به‌طور کلی، منطقهٔ مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی و دولومیتی دربرگرفته است، اما توده‌های نفوذی ضمن برهم‌زدن نظم، سبب توسعهٔ سنگ‌های دگرگونی شده است. مهم‌ترین گسل‌ها در جنوب حوضه، گسل‌های تراستی است که بر اثر نیروهای فشاری و با روند شمال‌غربی–جنوب‌شرقی ایجاد شده است. رودخانهٔ اشنویه یکی از شاخه‌های رودخانهٔ گادر است که از ارتفاعات مرز ایران و عراق سرچشمه می‌گیرد و کوه‌های رندوله و بابوله را زهکشی می‌کند. سیرک‌های یخچالی در همهٔ جهات این تودهٔ کوهستانی وجود دارد، ولی عمدتاً در شمال، شمال‌شرقی و شمال‌غربی تکامل بیشتری یافته و در ارتفاع پایین‌تری شکل گرفته است. در دامنهٔ شمالی گسترش مورن‌ها بیشتر است و هنوز سیمانی نشده است. شکل ۱، موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه، محدودهٔ سیرک‌ها و مسیر مشاهدات میدانی را نشان می‌دهد.

داده‌ها و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ اشنویه و دیزج، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ آذربایجان غربی و ۱:۱۰۰۰۰۰ نقده و اشنویه، تصاویر پانکروماتیکی ۲/۵ متر ماهوارهٔ IRS، هندوستان سال ۱۳۹۵ و تصاویر ماهوارهٔ لندست ۷ سنجندهٔ ETM انجام شده است. همچنین، داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیکی پیرانشهر، نقده و ارومیه، ایستگاه اقلیم‌شناسی اشنویه و ایستگاه‌های تبخیرسنجی قاسملو و پی‌گله، دادهٔ ارتفاعی Aster از ماهوارهٔ ترا[1] گرفته شده است. بخشی از داده‌ها نیز از مشاهدات میدانی و نمونه‌برداری رسوب تهیه شده است. نخست، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی در مناطق یخچالی موقعیت چندین سیرک بزرگ و کوچک شناسایی شد. شکل ۲ نحوهٔ شناسایی سیرک‌ها و دره‌های یخچالی را روی تصویر پانکروماتیکی نشان می‌دهد. براساس سیرک‌های

1. Terra Satellite

استخراج‌شده، برف‌مرز با استفاده از روش رایت و محاسبهٔ ۶۰ درصد حداکثر فراوانی سیرک‌ها بر اساس جدول ۱ محاسبه شده است (شریفی و فرح‌بخش، ۱۳۹۴: ۵۸۹).



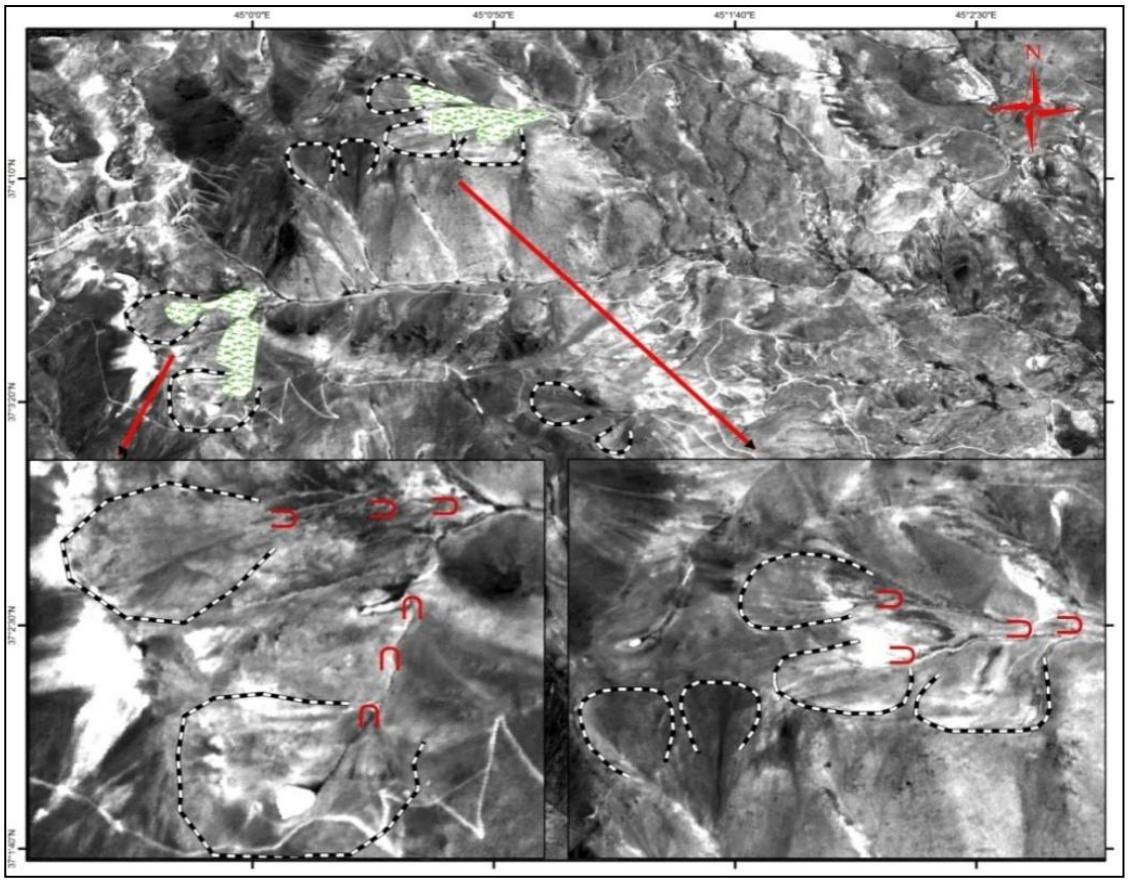
شکل ۱. موقعیت یخچال‌های رندوله و بابوله و مسیر مشاهدات

براساس سیرک‌های شناسایی‌شده، مسیر مشاهدات میدانی تعیین و بازدیدهای مکرر از منطقه انجام شده است. در این رابطه آثار کاوشی و تراکمی فرسایش یخچالی، پرشدگی دره‌ها و بریدگی‌های شیب، سیرک‌های کوچک تخریب‌شده با جریان‌های بعد یخچالی شناسایی شد. بازدید میدانی از منطقهٔ مورد مطالعه در سه زمان متفاوت به‌عمل آمد و موقعیت سیرک‌ها و دره‌های یخچالی و مورن‌های کناری و انتهایی شناسایی و موقعیت آن‌ها با استفاده از GPS ثبت شد. برای بررسی شرایط فرسایشی، هشت نمونه رسوب نیز برداشت شد که موقعیت نمونه‌ها در جدول ۲ و شکل ۳ نمایان است. نمونه‌های برداشت‌شده از نظر دانه‌سنجی و مورفوسکپی بررسی و منحنی دانه‌سنجی و میزان جورشدگی آن‌ها محاسبه شد. در این رابطه از ۱۳ الک با مش ۱- ۲- ۴- ۵- ۱۰- ۱۴- ۱۸- ۳۵- ۵۰- ۸۰- ۱۴۰- ۲۰۰- ۲۳۰ استفاده شده است و از رسوبات ۱ میلی‌متری تا ۰/۰۶۳ میکرون مقاطع نازک برای بررسی گردشدگی، زاویه‌داربودن و نوع جورشدگی، با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان تهیه شد. برای محاسبهٔ جورشدگی رسوبات از طریق روش لحظه‌ای از رابطهٔ (۱) و (۲) استفاده شده است (اهری‌پور و مصدق، ۱۳۸۵: ۶۸).

$$\emptyset\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(m-\bar{x})^2}{100}} \qquad (۱)$$

که در آن f درصد وزن (فرکانس) دانه‌ها در هر رده، m نقطهٔ وسط هر رده در مقیاس فی، و $\bar{x}$ میانگین است (معادلهٔ ۲).

$$\bar{x} = \frac{\sum f.m}{n} \qquad (۲)$$



شکل ۲. برداشت سیرک‌ها از تصویر پانکروماتیکی در محدودهٔ رندوله و بابوله

جدول ۱. چگونگی توزیع سیرک‌های یخچالی در محدودهٔ رندوله و بابوله

ارتفاع (متر)	تعداد سیرک‌ها	درصد سیرک‌ها
۲۴۰۰ – ۲۵۰۰	۱	۱۱/۱۱
۲۵۰۰ – ۲۶۰۰	۲	۲۲/۲۲
۲۶۰۰ – ۲۷۰۰	۲	۲۲/۲۲
۲۷۰۰ – ۲۸۰۰	۳	۳۳/۳۳
۲۸۰۰ – ۲۹۰۰	۱	۱۱/۱۱

جدول ۲. نمونه‌های برداشت‌شده

کد نمونه	محل نمونه‌برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
A	کف سیرک یخچالی	44°59'49	37° 3'19	2800
B	بالاتر از جلی‌داران	45° 0'0	37° 3'24	2700
C	جلی‌داران	45° 0'5	37° 3'44	2598
D	جلی‌داران خوارو	45° 0'24	37° 3'45	2502
E	دو پیچه ذمه	45° 1'12	37° 3'42	2350
F	روستای ذمه	45° 3'20	37° 3'16	1751
G	قطرهٔ کانی	45° 5'8	37° 2'35	1487
H	پوش‌آباد	45° 5'26	37° 1'38	1436

شکل۳. محل نمونه‌های برداشت‌شده

یافته‌ها

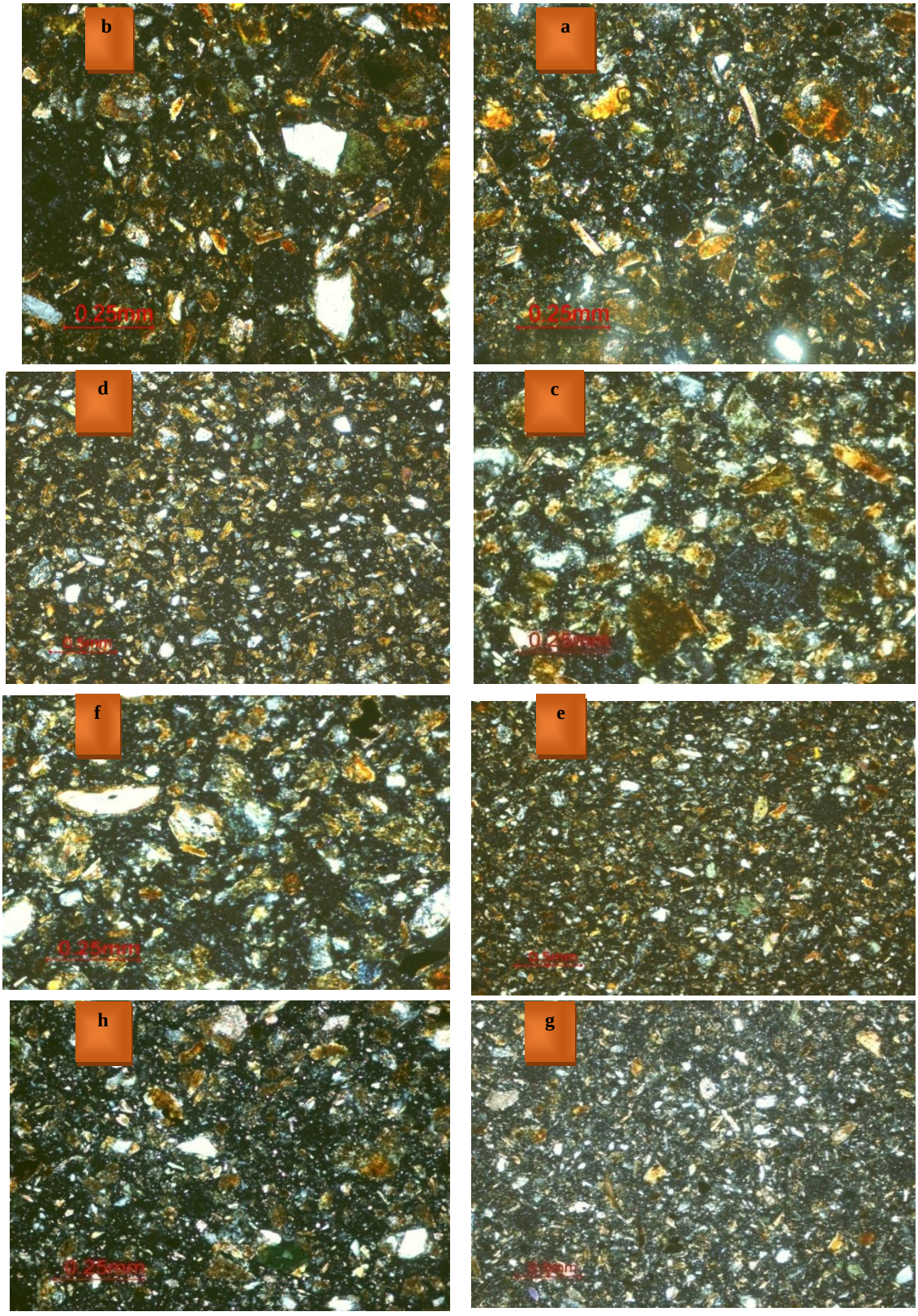
نتایج حاصل از بررسی تصاویر پانکروماتیکی، نقشه‌های توپوگرافی و مشاهدات میدانی موقعیت، تعداد و ارتفاع سیرک‌های محدودهٔ مورد مطالعه را مشخص کرد. بیشترین تراکم سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰ متری است. مشاهدات میدانی نشان داد که بیشترین سیرک‌ها در جهت شمال و شمال‌شرقی است که کمترین دریافت انرژی از خورشید را دارد. روی قلل تقریباً هم‌ارتفاع رندوله نیز سیرک نسبتاً تکامل‌یافته‌ای وجود دارد که در جهت شمال‌غربی قراردارد، اما درهٔ یخچالی در ادامهٔ سیرک به سمت جنوب‌غربی امتداد یافته است. بر اساس روش رایت خط ۶۰ درصد سیرک‌های منطقه در ارتفاع ۲۶۰۰ متری قراردارد. لذا، خط برف دایمی منطقه در این ارتفاع تعیین شده است که در اکثر نقاط منطبق بر انتهای سیرک‌ها و ابتدای دره‌های یخچالی منشعب از آن‌هاست.

نمودارهای تهیه‌شده از رسوبات نمونه‌برداری‌شده بیشترین انطباق را با محیط پارابولیکی دارد و حاکی از جورشدگی بد و ضعیف رسوبات است. تجزیه‌وتحلیل دانه‌بندی رسوبات نشان داد که نمونه‌های برداشت‌شده از نظر دانه‌بندی مخلوطی از دانه‌های ریز و درشت و بیانگر بی‌نظمی و جورشدگی ضعیف است. نمودارها که خمیدگی آن‌ها به‌سمت بالاست، نشان می‌دهد که با جریان‌هایی ته‌نشین شده‌اند که قادر به حمل آن‌ها نبوده‌اند (بنی‌حبی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸).

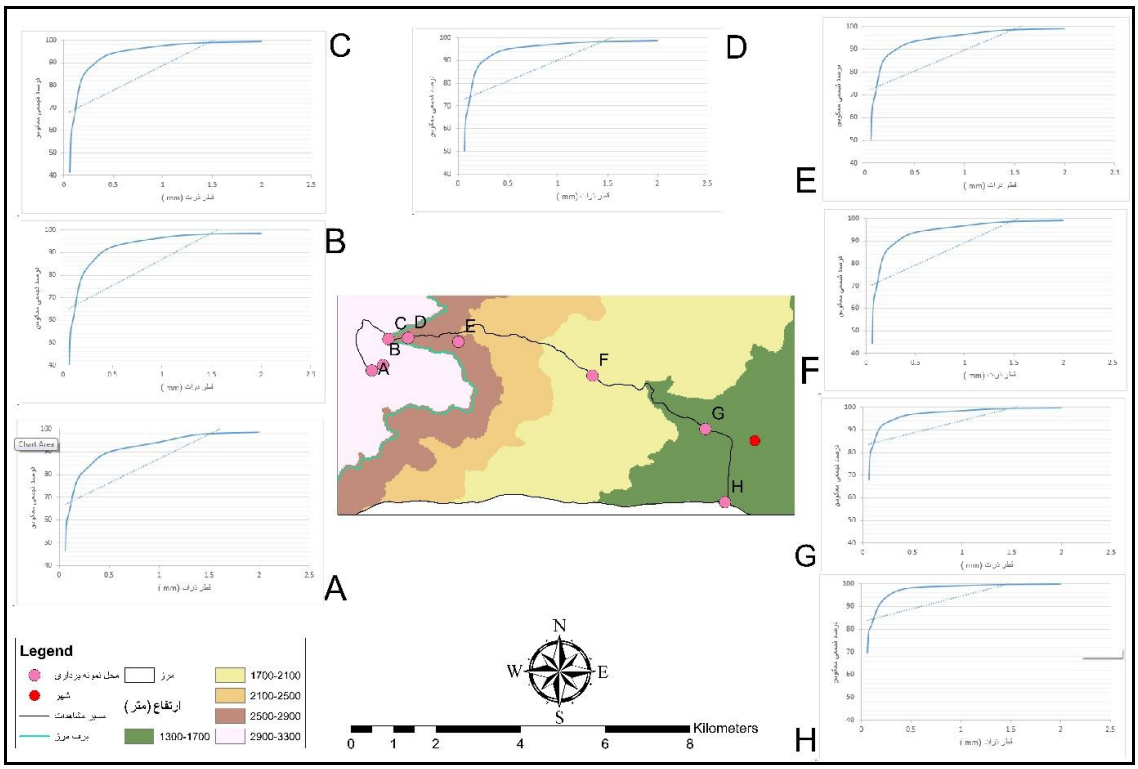
شکل ۵، منحنی تجمعی معکوس دانه‌بندی نمونه‌های رسوب را نشان می‌دهد که محور عمودی درصد تجمعی معکوس را نشان می‌دهد و از ۴۰ درصد محاسبه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، علی‌رغم اختلافات ارتفاعی حدود ۱۵۰۰ متر، دانه‌بندی نمونه‌ها یکسان است. این ممکن است حاکی از فاصلهٔ کم بین منشأ رسوبات و مناطق پایین‌دست باشد.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، جورشدگی تمام نمونه‌های رسوبی، عدد بیش از ۱ را به‌خود اختصاص می‌دهد، به‌طوری که نمونه‌های A.B.C.E.F عدد بالاتر از ۲ و نمونهٔ D.G.H عددی بین ۱ تا ۲ است. در حالت کلی، بر اساس شاخص جورشدگی فولک جورشدگی بسیار بد است. همچنین، نتایج بررسی‌های مورفوسکوپی نشان می‌دهد بالابودن درصد دانه‌های زاویه‌دار و از شاخصه‌های رسوبات مناطق تحت تأثیر یخچال است.

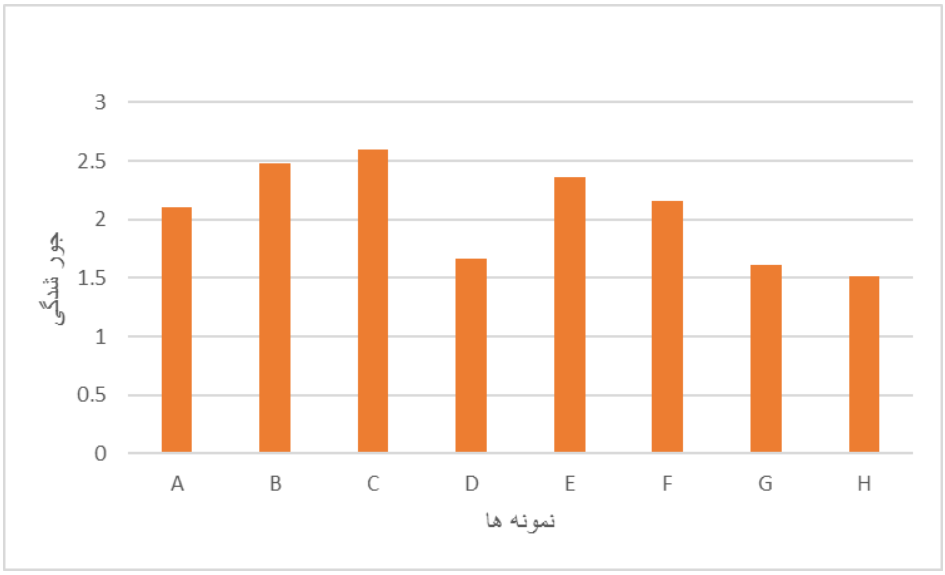
شکل ۷، نتایج حاصل از مورفوسکوپی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. ذرات زاویه‌دار در تمام نمونه‌ها بالای ۵۰ درصد و ذرات گردشدهٔ نمونه‌ها کمتر از ۲۰ درصد است. مشاهدات میدانی شواهد بارز اشکال یخچالی را در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقاطع نازک نمونه‌ها

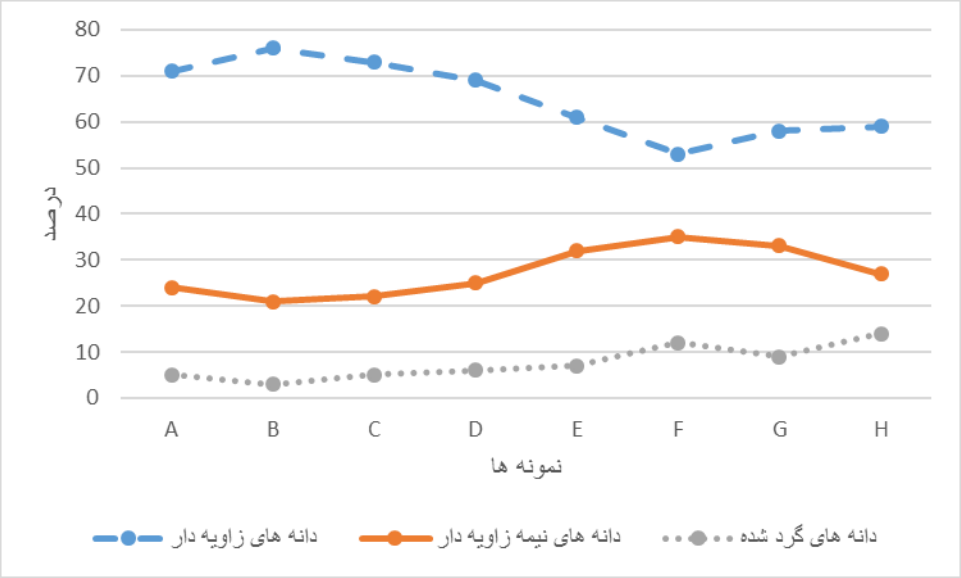


شکل ۵. منحنی تجمعی معکوس دانه‌بندی نمونه‌های رسوب



شکل ۶. نتایج حاصل از دانه‌سنجی نمونه‌ها

همان‌طور که در شکل ۸ نشان می‌دهد، تصویر ۱ انتهای درهٔ یخچالی در محل رسیدن به درهٔ اصلی است و مورن‌های کناری که بریده شده است، در جلوی تصویر دیده می‌شود. تصویر ۲ دو سیرک یخچالی در شمال رندوله را نشان می‌دهد که پرشدگی درهٔ یخچالی و حفر یخرفت‌ها با جریان‌های آب ناشی از ذوب یخ شیارهایی در آن ایجاد کرده است. تصویر ۳ بخشی از درهٔ یخچالی در دامنهٔ شمالی رندوله است و یخرفت‌های کناری در هر دو طرف دره و کف آن دیده می‌شود. تصویر ۴ مورن‌های جانبی در درهٔ یخچالی اصلی است. تصویر ۵ مورن‌های میانی دو زبانهٔ یخچالی و تصویر ۶ مربوط به درهٔ یخچالی در شمال‌غربی رندوله است که در آن زبانه و تپهٔ ماسه‌ای در جلوی چادر عشایر دیده می‌شود.



شکل ۷. نتایج حاصل از مورفوسکوپی نمونه‌ها

شکل ۸. شواهد یخچالی در کوهستان رندوله و بابوله (۱. انتهای درهٔ یخچالی، ۲. دو سیرک یخچالی در شمال رندوله، ۳. درهٔ یخچالی در دامنهٔ شمالی رندوله، ۴. مورن‌های جانبی، ۵. مورن‌های میانی دو زبانهٔ یخچالی، ۶. درهٔ یخچالی در شمال‌غربی رندوله)

بحث و نتیجه‌گیری

منطقهٔ کوهستانی رندوله و بابوله در غرب و شمال‌غربی شهر اشنویه و در نزدیکی مرز ایران با همسایگان غربی واقع شده است. آثار و شواهد تراکمی و فرسایشی یخچالی به‌ویژه در دامنهٔ شمالی آن به‌خوبی مشهود است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که خط برف‌مرز دایمی در آخرین دورهٔ سرد در ارتفاع ۲۶۰۰ متری قرار داشته است و چندین سیرک بزرگ و کوچک یخچالی همراه با دره‌های Uشکل و مورن‌های کناری برجای‌مانده در حواشی دره‌ها حاکی از شکل‌زایی یخچالی در آخرین دورهٔ سرد بوده است. با گرم‌شدن هوا بعد از عصر یخبندان و بالارفتن خط برف‌مرز، احتمالاً ذوب یخچال‌ها، جریان‌های سیلابی قوی ایجاد کرده است که سبب حرکت مواد یخچالی و ته‌نشین‌شدن آن‌ها در نواحی کم‌ارتفاع‌تر شده است که در حال حاضر بستر شهر اشنویه و چندین روستای منطقه را تشکیل می‌دهد.

مقایسهٔ نتایج این تحقیق با پژوهش یمانی و زمانی (۱۳۹۵) در مورد تعیین ارتفاع خط تعادل در درهٔ هراز در آخرین دورهٔ یخچالی از نظر تأثیر جهت ناهمواری بر توزیع سیرک‌ها مطابقت دارد، زیرا دامنه‌هایی که میزان انرژی کمتری از خورشید دریافت می‌کند، مکان مناسب‌تری برای تشکیل اشکال ژئومورفولوژی یخچالی است. همچنین، توزیع و فراوانی بیشتر سیرک‌های یخچالی در دامنه‌های شمال و شمال‌شرقی، عدم‌جورشدگی نمونه رسوبات، همچنین ارتفاع برف‌مرز کواترنر با مطالعات انجام‌شدهٔ قهرودی و همکاران در کوهستان‌های قندیل، بزسینا و دالامپر (۱۳۹۴)، بخش‌های شمالی حوضهٔ زاب کوچک (۱۳۹۲)، و حوضهٔ دالاخانی (۱۳۹۴) با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد.

بررسی آثار برف‌مرز دائمی یخچالی کواترنری، تودهٔ کوهستانی قروه نشان می‌دهد از ۳۴ سیرک بررسی‌شده ۲۰ مورد در دامنه‌های شمال و شمال‌شرقی قراردارد و ارتفاع برف‌مرز دائمی بر اساس روش رایت ۲۲۰۰ متر برآورد شده است (جعفری و آوجی، ۱۳۹۵: ۳۷۹–۳۹۱). نتایج این پژوهش با یافته‌های یمانی و همکاران (۱۳۹۲) در مورد تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیکی هولوسن در بلندی‌های غرب کردستان و تأثیرگذاری سیستم شکل‌زایی یخچالی در بالای ۲۰۰۰ متر و در خصوص ارتفاع ۲۵۰۰ متری برای قلمرو سیرک‌ها با مطالعات سیف و ابطحی (۲۰۱۴) دربارهٔ حوضهٔ دریاچهٔ نمک و ارتفاع برف‌مرز در حوضهٔ زنجان‌رود ۲۲۷۰ متر اختلاف کمی دارد (جعفری و اصغری، ۱۳۹۳: ۱۶–۳۰). همچنین، ارتفاع خط برف‌مرز در حوضهٔ رود کرج ۲۶۹۰ متر (رامشت و بیرامعلی گیوی، ۱۳۹۳: ۱–۱۹) و در حوضهٔ دینور ۲۸۲۰ متر (قهرودی و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۵–۹۵) برآورد شد که با یافته‌های تحقیق اختلاف چندانی ندارد.

ارتفاع سیرک‌های اصلی در این پژوهش و با یخچال‌های بزسینا و دالامپر همخوانی وجود دارد. در ارتفاع ۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰ متری توسعه و تکامل سیرک‌ها بیشتر است. این ویژگی با یخچال‌های قندیل (سیرک حصار قندیل ۲۶۵۰ متر) نیز قابل‌مقایسه است. ارتفاع مورن‌ها تا ارتفاع پایین (کمتر از ۱۶۰۰ متر) قابل‌پیگیری است. بررسی آزمایشگاهی رسوبات یخچالی حاکی از جورشدگی ضعیف، زاویه‌داربودن و کرویت کم رسوبات نمونه‌گیری‌شده در هر دو سایت است (قهرودی و حسنی، ۱۳۹۴: ۳۲۳–۳۳۷).

نتایج حاصل از بررسی دانه‌سنجی رسوبات نشان‌دهندهٔ جورشدگی بد و بسیار بد نمونه‌های رسوب است، به‌طوری که نمودار تجمعی حاصل از دانه‌سنجی به‌سمت قطر ذرات درشت‌تر کشیده شده است و شاخص جورشدگی حاصل از گرانولومتری نمونه‌ها، بیش از ۱ و معرف ترکیب ذرات ریز و درشت است. همچنین، نتایج مورفوسکوپی حاکی از درصد زیادی از رسوبات زاویه‌دار (حدود۶۰ درصد ذرات) و بیانگر منشأ یخچالی رسوبات است. تصویر مقاطع نمونه‌ها در مقیاس ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرون نشان‌دهندهٔ گردشدگی ضعیف ذرات است. به‌طور کلی، شواهد ژئومورفولوژیکی بیانگر حاکمیت شرایط یخچالی در منطقهٔ مورد مطالعه است. نمونه‌های رسوب از درهٔ یخچالی بین کوه‌های رندوله و بابوله و از ارتفاع ۱۴۳۶ متری تا ۲۸۰۰ متری برداشت شد. تراس یخچالی باقی‌مانده در سمت چپ دامنهٔ شمالی درهٔ یخچالی رندوله، در واقع مورن‌های جانبی یخچالی است که برونزد قطعات سنگی حجیم و زاویه‌دار، در دیوارهٔ بلند آن به‌وضوح دیده می‌شود (محل نمونهٔ B). دره‌های فرعی، به‌ویژه در محل پیوستن به درهٔ اصلی یخچالی (محل نمونهٔ C و D)، حجم عظیمی از رسوبات یخچالی را ته‌نشین کرده و پرشدگی دره را تا مسافتی طولانی سبب شده است. نمونه‌های A,B,C در ارتفاع بالاتر از برف‌مرز قراردارد و برداشته‌شده از سیرک و درهٔ یخچالی است.

در دورهٔ پس از یخچالی، بخش زیادی از رسوبات بر اثر جریان‌های ذوب یخ به پایین‌دست رودخانهٔ اشنویه منتقل شده و شهر اشنویه روی این رسوبات توسعه یافته است. در مسیر درهٔ اصلی یخچالی و دامنه‌های پر شیب آن وقوع رانش زمین، سبب ایجاد نوعی ناپیوستگی موازی و قابل‌تمایز شده است؛ یعنی، رسوبات دامنه‌ها در اثر ناپایداری پایین آمده و روی مورن‌های جانبی قرارگرفته است (حد فاصل محل نمونه‌های E و F). زهکشی و زیرشویی جویبارها در برخی نقاط آن‌ها را در معرض دید قرار داده است. شناسایی محدوده و مرز رسوبات یخچالی با توجه به ویژگی‌های آن‌ها، علاوه‌بر ارزش علمی بازیابی آثار یخچالی گذشته، از نظر ارتباط آن‌ها با محل استقرار سکونتگاه‌های شهری و روستایی و تأسیسات انسان‌ساخت اهمیت زیادی دارد.

منابع

ابطحی، س.م. (۱۳۹۲). بررسی پالئوکلیمای حوضهٔ آبخیز جاجرود به‌کمک شواهد یخچالی. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. ۱(۱): ۲۰۱-۱۸۵.

اهری‌پور، ر. و مصدق، ح. (۱۳۸۵). مبانی رسوب‌شناسی. انتشارات علوی، دامغان، ۳۶۲ ص.

بنی‌حبی، م.ا.، عربی، آ. و اصغری، س.ا. (۱۳۸۹). تعیین ابعاد رسوبگذاری جریان واریزه‌ای. چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. نور، دانشگاه تربیت مدرس، ۸ ص.

پدرامی، م. (۱۹۸۲). گزارش سازمان زمین‌شناسی ایران. ۱۵۳ ص.

جداری عیوضی، جمشید، (۱۳۷۴). ژئومورفولوژی ایران، دانشگاه پیام نور، تهران، ۱۱۰ صص.

جعفری، غ.ح. و اصغری سراسکانرود، ص. (۱۳۹۳). بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان‌رود. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۳(۲): ۳۰-۱۶.

جعفری، غ.م. و آوجی، م. (۱۳۹۵). بررسی آثار برف‌مرز دائمی یخچال‌های کواترنری تودهٔ کوهستان قروه. کواترنری ایران. ۲(۴): ۳۹۱-۳۷۹.

خوش‌رفتار، ر.، فرید مجتهدی، ن.، اسعدی اسکوئی، ا. و نوروزپور شهر بیجاری، ک. (۱۳۹۵). شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی پلئیستوسن پایانی در کوه شاه‌البرز– البرز غربی. کواترنری ایران. ۲(۲): ۱۶۵-۱۵۵.

رامشت، م.ح. (۱۳۷۹). تغییرات رطوبتی ایران در کواترنر. منابع طبیعی. ۴۹: ۲۱۹-۲۲۶.

رامشت، م.ح. و بیرامعلی گیوی، ف. (۱۳۹۳). نقش تغییرات فاز اقل در تحول ژئومورفولوژیکی حوضهٔ کرج. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۳(۱): ۱۹-۱.

رامشت، م.ح. و شوشتری، ن. (۱۳۸۳). آثار یخساری و یخچالی در سلفچگان قم. تحقیقات جغرافیایی. ۷۳: ۱۱۹-۱۳۲.

رجبی، م. و بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۷). بررسی لندفرم‌های دره‌های یخچالی (مطالعهٔ موردی: دره‌های یخچالی کوهستان سهند). پژوهش‌های جغرافیایی. ۶۴: ۱۰۵-۱۲۱.

سرور، ج. و فرید مجتهدی، ن. (۱۳۹۰). شواهد ژئومورفولوژی یخچالی پلئیستوسن در دامنهٔ شمالی کوه خشچال (البرز غربی). جغرافیایی سرزمین. ۸(۳۱): ۶۷-۵۱.

سرور، ج. و فرید مجتهدی، ن. (۱۳۸۹). شواهد ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) یخچالی کواترنری در البرز غربی: دامنهٔ شمالی کوه سیالان. جغرافیا و توسعه. ۱۸: ۶۹-۹۲.

سرور، ج. و فرید مجتهدی، ن. (۱۳۸۵). شواهد پدیده‌های یخچالی کوهستانی پلئیستوسن در ارتفاعات بزابن و بزاکوه (شرق گیلان). جغرافیایی سرزمین. ۳(۱۲): ۸۷-۷۴.

شریفی، م. و فرح‌بخش، ز. (۱۳۹۴). بررسی آنومالی‌های حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلیئستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک (مورد مطالعه: حوضهٔ خضرآباد- یزد). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۷(۴): ۶۰۵-۵۸۳.

طاحونی، پ. (۱۳۸۳). شواهد ژئومورفولوژیک فرسایش یخچالی پلیئستوسن در ارتفاعات تالش. پژوهش‌های جغرافیایی. ۴۷: ۵۵-۳۱.

قهرودی تالی، م. (۱۳۹۰). تخمین و مقایسهٔ قلمرو برف‌های دائمی در عصر یخچالی و بین‌یخچالی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ رود هراز). جغرافیا و توسعه. ۲۵: ۹۷-۱۱۰.

قهرودی تالی، م. و حسنی قارنایی، ر. (۱۳۹۴). شواهد یخچالی در مناطق کوهستانی مرز ایران، ترکیه و عراق (کوهستان بزسینا و دالامپر). کواترنری ایران. ۱(۴): ۳۳۷-۳۲۳.

قهرودی، م.، نصرتی، ک. و عبدلی، ا. (۱۳۹۴). تخمین برف‌مرز در آخرین دورهٔ یخچالی در حوضهٔ دالاخانی. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۲۶(۲): ۲۶۴-۲۳۱.

قهرودی، م.، ثروتی، م.ر. و حسنی قارنایی، ر. (۱۳۹۲). تحلیل ناپایداری حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضهٔ زاب کوچک. فضای جغرافیایی. ۱۳(۴۳): ۱۷-۱.

محمودی، ف. (۱۳۶۷). تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر. پژوهش‌های جغرافیایی. ۲۳: ۵-۱۸.

مقیمی، ا.، یاراحمدی، ع.م.، ثروتی، م.ر. و کردوانی، پ. (۱۳۹۱). تأثیر مورفولوژی دامنه‌ها در تحول سیرک‌های یخچالی اشترانکوه. برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس سابق). ۱۶(۳): ۱۳۹-۱۱۹.

نعمت‌الهی، ف. و رامشت، م.ح. (۱۳۸۴). آثار یخساری در ایران. فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی. ۹(۴): ۱۶۲-۱۴۳.

یمانی، م. (۱۳۸۸). اندازه‌گیری حرکت سالیانهٔ یخچال‌های علم‌کوه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۶۷: ۳۱-۵۲.

یمانی، م. (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه. پژوهش‌های جغرافیایی. ۴۲: ۱-۱۸.

یمانی، م. و زمانی، ح. (۱۳۹۵). تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در درهٔ هراز در آخرین دورهٔ یخچالی. فصلنامهٔ کواترنری ایران. ۲(۴): ۳۱۴-۳۰۵.

یمانی، م.، مقیمی، ا.، عزیزی، ق. و باخویشی، ک. (۱۳۹۲). تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان. پژوهش‌های جغرافیایی. ۴۵(۴): ۱۴-۱.

Abtahi, M. (2013). Investigation of paleoclimatology of Jajrood basin in Iran by glacial evidence. Scientific Journal Management System. 1(1): 185-201. [in Persian]

Ahripor, R. and Mosadegh, H. (2007). Basics of sedimentology. Alavi publication, Damghan, 362 pp. [in Persian]

Bani Hobi, M.E.; Arabi, A. and Asghari, A. (2011). Determination of dimensions of landslides sedimentation. 4th national conference on erosion and sediment, 8 pp. [in Persian]
Ghahroudi Tali, M. (2012). Estimation and comparison of the territory of permanent snow in glacier and middle glacier era study case: Haraz basin. Geography and Development Iranian Journal. 25: 97-110. [in Persian]
Ghahroudi Tali, M. and Hassani Gharnay, R. (2017). Glacial evidences in north west of Iran and Pleistocene era in Kordestan. Shahid Beheshti University, Tehran, 124 pp. [in Persian]
Ghahroudi Tali, M.; Nosrati, K. and Abdoli, E. (2016). Estimation of snow line in the last glacial era in Dalakhani basin. Journal of Geography and Planning. 26(2): 231-264. [in Persian]
Ghahroudi Tali, M. and Hassani Gharnay, R. (2016). Glacial evidences in mountainous area of Iran, Turkey and Iraq boundary (Bozsina and Dalamper mountains). Quaternary Journal of Iran. 1(4): 232-337.
Ghahroudi Tali, M., Abdoli, E. and Nezammahalleh, M.A. (2013). Geomorphological and Sedimentological evidence of alpine glaciers in the Zagros Mountains, Dinevar, Iran. Journal of Tethys. 1(1): 85-95.
Ghahroudi Tali, M.; Sarvati, M.R. and Hassani Gharnay, R. (2011). Analysis of glacial deposits instability in Zab kouchak basin. Journal of Geographic Space. 13(43): 1-17. [in Persian]
Jafari, Gh. and Asghari, S. (2015). Study of the quaternary glacial effects of Zanjan Rood. Journal of Quantitative Geomorphological Research. 3(2): 16-30. [in Persian]
Jafari, Gh. and Avaji, M. (2017). The Quaternary evolution of Kurdistan Qorveh mountain mass. Quaternary Journal of Iran. 2(8): 379-391. [in Persian]
Jedary Eyvazi, J. (1996). Geomorphology of Iran. Payam Noor University, Tehran, 110 pp. [in Persian]
Khoshraftar, R.; Farid Mojtahedi, N.; Asadi Oskoei, E. and Norozpor Sahr e Bijare, K. (2016). Geomorphology of late Pleistocene mountain glaciers in Shah Alborz Mountain- Western Alborz. Quaternary Journal of Iran. 2: 155 -165. [in Persian]
Mahmoudi, F. (1997). The revolution of Iran's Topography in quaternary. Physical Geography Research Quarterly. 5-18. [in Persian]
Moghimi, E.; Yar Ahmadi, A.; Servati, M. and Kardovani, P. (2012). The effect of hillside morphology on the evolution of Oshtorankoh glacial circuses. The Journal of Spatial Planning. 16(3): 119-139. [in Persian]
Moussavi, M.S., Valadan Zoej, M.J., Sahebi, M.R. and Rezaei, Y. (2008). Change detection of mountain glacier surface using aerial and satellite imagery: a case study in Iran (Alamchal glacier). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science: 851013-1016.
Nematolahi, F. and Ramesht, M.H. (2006). Glacial impacts in Iran. Human Sciences Modares Quarterly. 9(4): 143-162. [in Persian]
Pedrami, M. (1982). The report of geological organization of Iran, 153 pp. [in Persian]
Rajabi, M. and Bayati Khatibi, M. (2009). Study of glacial valley landform case study: Sahand Glacial Valleys. Physical Geography Research Quarterly. 64: 105-121. [in Persian]
Ramesht, M.H. (2001). Moisture changes of Iran in quaternary. Journal of National Environment. 49: 219-226. [in Persian]
Ramesht, M.H and Biramali givi, F. (2015). The role of climate change of minimum phase in geomorphologic evolution of Karaj, Journal of Quantitative Geomorphological Researches. 3(1): 1-19. [in Persian]
Ramesht, M.H. and Shoshtari, N. (2005). Glacial impacts in Qom salafchegan. Geomorphological Research Quarterly Journal. 73: 119-132. [in Persian]
Seif, A. (2015). Equilibrium-line altitudes of Late Quaternary glaciers in the Oshtorankuh Mountain, Iran. Quaternary International. 374: 126-143.
Seif, A. and Abtahi, S.M. (2014). A survey of climatic changes of Namak Lake Basin in the Late Quaternary. Journal of Geography and Planning. 17(46): 91-111.
Sharifi, M. and Farahbakhsh, Z. (2016). Investigation about temperature and humidity anomalies between pleistocene and present times; Reconstruction of climate condition using geomorphic evidence (Case study: Khezrabad-Yazd), Physical Geography Research Quarterly. 47(4): 583-605. [in Persian]
Sorour, J. and Farid-Mojtahedi, N. (2012). Evidence of the geomorphology of Pleistocene glacier in the northern slopes of Khashachal mountains (Western Alborz). Sarzamin Geological Quarterly. 8(31): 51-67. [in Persian]
Sorour, J. and Farid-Mojtahedi, N. (2011). Evidence of quaternary glacial morphology (Geomorphology) in western Alborz: Northern range of Sialan Mountain. Geography and Development Journal. 18: 69-92. [in Persian]
Sorour, J. and Farid-Mojtahedi, N. (2007). Evidences of mountains phenomenon glacial of pleistocene at the Bozabon and Bozakuh Mountains (east of Gillian). Sarzamin Geological Quarterly. 3(12): 74-87. [in Persian]
Tahoni, P. (2005). Geomorphic evidences of glacial erosion in Talesh heights. Physical Geography Research Quarterly. 47: 31-55. [in Persian]
Yamani, M. and Zamani, H. (2017). 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. (2013). ThegGeomorphology of Alamkooh glaciers. Physical Geography Research Quarterly. 42: 1-18. [in Persian]
Yamani, M. (2010). The measurement of annual movement of Alamkooh Glaciers. Physical Geography Research Quarterly. 41(67): 31-52. [in Persian]
Yamani, M.; Moghimi, E.; Azizi, Q. and Bakhishi, K. (2014). Determination of Holocene Morphoclimatic regions in Highlands of the West and Northwest of Kurdistan Province. Physical Geography Research Quarterly. 45(4): 1-14. [in Persian]