

شواهد یخچال‌های کواترنر پایانی در حوضه تنگویی سیرجان

اسماعیل یاریزی* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان
علیرضا تقیان - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان
محمدحسین رامشت - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۹/۲۵

چکیده

هدف از این پژوهش، شناسایی شواهد یخچال‌های کواترنر پایانی در حوضه تنگویی سیرجان است. نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی، ابزار و داده‌های به‌کار رفته در این پژوهش هستند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای ARC GIS، SURFER و GLOBAL MAPPER استفاده شد. شناسایی شواهد یخچال‌های کواترنر بر اساس چهاردسته از شواهد، شامل شاخص‌های مورفیک، شواهد اقلیمی، شواهد ژئومورفولوژیکی و شاخص‌های آزمایشگاهی انجام گرفت. با استفاده از شاخص‌های مورفیک (فرم خطوط منحنی میزان روی نقشه‌های توپوگرافی) و تصاویر ماهواره‌ای، نواحی تحت سلطه یخبندان یخی و آثار ۲۵۱ سیرک یخچالی شناسایی شد. شواهد اقلیمی نشان می‌دهد که حوضه تنگویی، نه تنها در کواترنر حدود ۹ درجه نسبت به زمان فعلی دمای سردتری داشته، بلکه مقدار بارش آن نیز در مقایسه با زمان حال، کمابیش دو برابر بیشتر بوده است. از سویی، سیرک‌های یخچالی، دره‌های یخچالی و یخرفت‌ها، مشخص‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها در حوضه مورد مطالعه معرفی شدند. در نهایت شاخص‌های آزمایشگاهی (گرانولومتری) به‌منزله تکمیل‌کننده شواهد یخچال‌ها، وجود رسوبات یخچالی را در حوضه تنگویی به‌اثبات رساندند. همچنین با استفاده از روش رایت، خط مرز برف دائمی در دوران حاکمیت یخچال‌های حوضه تنگویی، در ارتفاع ۲۷۱۹ متری و به روش ارتفاع کف سیرک پورتر، در ارتفاع ۲۷۱۴ متری برآورد شد.

کلیدواژه‌ها: حوضه تنگویی، خط برف دائمی، سیرجان، سیرک، کواترنر پایانی، یخچال.

مقدمه

شواهد نشان می‌دهد که در طول تاریخ زمین، شرایط آب و هوایی، بارها دستخوش تغییر و تحول کلی قرار گرفته و به دنبال آن شرایط جغرافیایی و از جمله ژئومورفیک نیز، تغییر یافته است (پدرامی، ۱۳۶۷، به نقل از امیر احمدی، ۱۳۹۰). تحولات اقلیمی کواترنر از روی آثار مورفولوژیک یخچال‌ها، برای اولین بار در اروپا شناخته شد و بعدها شواهد مرتبط با این پدیده، در سایر نقاط زمین مورد بررسی قرار گرفت. در ایران نیز مانند سایر نقاط خشک و نیمه‌خشک دنیا، آثار این تحولات شناخته شده است، ولی دربارهٔ چگونگی اقلیم حاکم بر ایران در آن زمان و دامنهٔ تغییرات آن ابهاماتی وجود دارد (رامشت و کاظمی، ۱۳۸۰).

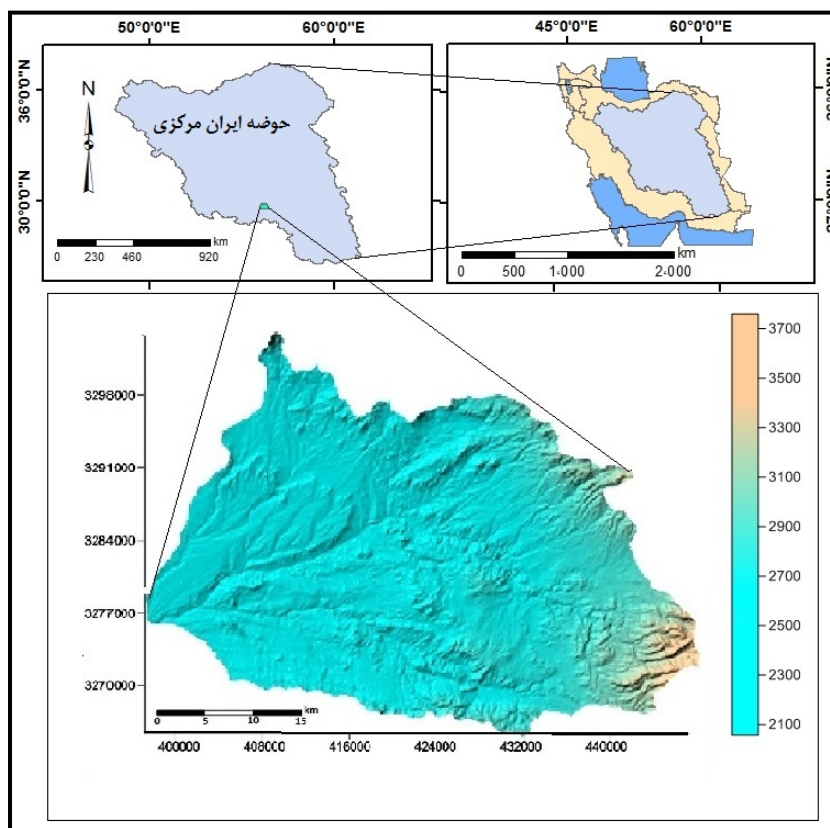
اگرچه موقعیت کنونی سرزمین ایران و تسلط شرایط خشک و نیمه‌خشک، وجود حاکمیت یخچال‌ها را در این سرزمین با شک و تردید همراه کرده است، اما وجود شواهد و آثار ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها در مناطق مختلف ایران، عملکرد یخچال‌ها در این مناطق را نشان می‌دهد (وزیری، ۱۳۸۲، به نقل از رامشت، لشکری، لاجوردی و محمدآبادی، ۱۳۹۰). بر اساس یافته‌های تجربی و مکتوب، تاریخچهٔ یخچال‌شناسی به اوایل قرن نوزدهم برمی‌گردد. در سال ۱۸۲۱، مهندس سوئسی به نام ونتز مقاله‌ای را عرضه کرد که متن مقاله حاکی از آثار گستردگی عظیم یخچال‌هایی از کواترنر بود که تا آن زمان در سوئیس، مورد توجه قرار نگرفته بودند. اگرچه شماری از افراد نظریهٔ ونتز را مورد بحث و نقادی قرار دادند و مخالفان آن بیش از مدافعان آن بود، اما بی‌شک باید گفت جین لوئیس رودلف آگازیس (۱۸۰۸-۱۸۷۳م) کسی است که بیشترین تلاش را در زمینهٔ مدلل کردن این نظریه به عمل آورده است. نام آگازیس در تبیین دوره‌ها و مطالعات یخچالی، مقدم بر هر کسی است. او یخچال‌شناسی را با تشریح یخچال‌های فعلی و تأثیرات فرسایشی آن روی صخره‌های بستری و دیگر قطعاتی آغاز کرد که همراه با آن حمل می‌شود (نعمت‌اللهی و رامشت، ۱۳۸۳). مطالعات انجام شده دربارهٔ یخچال‌های کواترنر در ایران، چندان زیاد نیست و اندک مطالعات انجام شده نیز مربوط به سدهٔ اخیر است (راب و دات، ۱۹۸۱: ۵۲، به نقل از یمانی، ۱۳۸۶). برای نمونه، ژاک دومرگان در سال ۱۸۹۰ اولین اظهار نظر کلی دربارهٔ مورفولوژی یخبندان‌های کواترنر ایران را عرضه کرد. وی از سیرک‌های قدیمی در اشترانکوه و قلیان‌کوه نام برده است. بوبک در سال ۱۹۳۳، مطالعهٔ مستقیم یخبندان‌های کواترنر ایران را در البرز و کوه‌های کردستان و دزیو در زردکوه آغاز کرد (جداری عیوضی، ۱۳۷۴). بوبک در سال ۱۹۵۵ با بررسی مورن‌های رشته‌کوه البرز و زاگرس، آن را شواهدی از یخبندان‌های قبل از وورم معرفی کرد. این اطلاعات او را بر آن داشت که در آن سال اولین اظهار نظر کلی دربارهٔ اقلیم ایران در کواترنر را منتشر کند. وی معتقد بود در طول دورهٔ یخچالی، اقلیمی سرد و خشک‌تر از امروز آن حاکم بوده است. مطالعات دیگری را فیشتر (۱۹۶۸) در کوه‌های البرز و قلعهٔ علم‌کوه انجام داد. وی سیرک‌های یخچالی، طول، عرض و ارتفاع سیرک‌ها و نیز، مسیر حرکت زبانه‌های یخی آنها را بررسی کرد. همچنین ژان درش روی یخچال علم‌کوه و تخت سلیمان مطالعاتی انجام داده است (رامشت، لشکری، لاجوردی و محمدآبادی، ۱۳۹۰). هاگه درن در سال ۱۹۷۴ مطالعاتی در ایران مرکزی انجام داد؛ مطالعات او بر این مطلب تأکید داشت که آن دسته از زبانه‌های یخچالی که از نواحی مرتفع کوهستانی خوب تغذیه شده باشند، توانایی آن را داشتند که تا پایکوه‌ها پایین بیایند و نفوذ خود را در تمام دره اعمال کنند. رامشت در سال ۱۳۷۱ تصاویر بی‌همتایی را از سنگ‌های سرگردان یخچالی در ارتفاع ۱۶۰۰ متری

شیرکوه یزد منتشر کرد و به پایین آمدن زبانه‌های یخی تا این ارتفاع تأکید ورزید (نعمت‌اللهی و رامشت، ۱۳۸۳). یمانی (۱۳۸۵) به بررسی اشکال ژئومورفیک یخچال‌ها و حدود گسترش آنها در منطقه زردکوه پرداخته است. وی بیان کرد در دامنه‌های شمال غربی این رشته‌کوه و پیرامون قله اصلی آن که بالای ۴۰۰۰ متر ارتفاع دارند، بیش از ۱۵ سیرک و زبانه یخچالی وجود دارد. به اعتقاد وی حداکثر گسترش زبانه‌های یخچالی تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر بوده و به بستر رودخانه کوه‌رنگ محدود می‌شد و مرز تشکیل سیرک‌های یخچالی حداقل تا ارتفاع ۳۴۰۰ متر بوده است. کوهله در کوه جویبار واقع در جنوب کرمان، آثار دو یخبندان بزرگ کواترنر را بررسی کرده و آنها را به دوره ریس و وورم نسبت داده است (جداری عیوضی، ۱۳۷۴). رامشت و پوردهقان (۱۳۸۷) شواهد یخبندان‌های کواترنر را در منطقه دهبکری بم بررسی کردند و دریافتند که این منطقه در فاز پایانی کواترنر بزرگترین برفخانه ایران را داشته است و زبانه‌های یخچال‌ها تا ارتفاع ۱۴۰۰ متری پایین می‌آمده‌اند. همچنین رامشت و محمدآبادی (۱۳۸۸) در پژوهشی دیگر، آثار یخچال‌های طبیعی را در حوضه تیگرانی ماهان بررسی کرده و ارتفاع خط مرز برف دائمی در این حوضه را در دوره حاکمیت یخچال‌ها در ارتفاع ۲۹۱۶ متر تعیین کردند.

اگرچه محققان متعددی به مطالعات یخچال‌شناسی در نقاط مختلف ایران پرداخته‌اند، ولی می‌توان گفت بهترین تحقیقات یخچالی ایران را مرحوم منوچهر پدرامی انجام داده است. تلاش‌های وی بیشتر روی خط برف دائمی ایران تمرکز داشت و حاصل مطالعات او تهیه نقشه خط مرز برف دائمی ایران در دوره وورم بود (رامشت و کاظمی، ۱۳۸۶). به باور جداری عیوضی (۱۳۷۴) جالب‌ترین یخچال‌هایی که از نظر اقلیم کواترنر ایران اهمیت دارند، آنهایی هستند که در ارتفاعات مناطق خشک داخلی شناسایی شده‌اند. حوضه تنگ‌تویه سیرجان جزء مناطقی از ایران مرکزی است که از این امر مستثنی نیست. به گفته‌ای، اگرچه این حوضه در زمان فعلی دارای اقلیم نیمه‌خشک است، ولی آثار و شواهد مختلفی از یخچال‌های کواترنر در آن دیده می‌شود که کسی تا کنون بدان توجه نداشته است. درواقع لندفرهایی در این حوضه وجود دارد که با فرآیندهای حاکم در این حوضه سنخیتی ندارند و باید در اثر فرآیندی دیگر که قدرت و توان بیشتری داشته، ایجاد شده باشند. بنابراین در این پژوهش تلاش شده است نخست، با توجه به شواهد مختلفی مانند: شواهد اقلیمی، شاخص‌های مورفیک، شواهد ژئومورفولوژیکی و شاخص‌های آزمایشگاهی، آثار یخچال‌های کواترنر پایانی در این حوضه شناسایی شود و دوم، با توجه به روش‌های رایج و پورتر، خط مرز برف دائمی حوضه در زمان حاکمیت یخچال‌ها برآورد شود.

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه، موسوم به حوضه تنگ‌تویه در جنوب حوضه ایران مرکزی و شمال شرق شهرستان سیرجان قرار دارد (شکل ۱). این حوضه با مساحت ۱۱۵۵/۴ کیلومتر مربع در محدوده‌ای به عرض ۲۹ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۱ دقیقه و طول ۵۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۷ دقیقه واقع شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع این حوضه به ترتیب ۳۷۶۰ و ۲۰۵۶ متر است و از نظر ژئومورفولوژی، اشکال غالب این حوضه به دلیل واقع شدن در زون سه‌سهند - بزمان در اثر فعالیت‌های ماگمایی به وجود آمده‌اند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز تنگوییہ سیرجان

مواد و روش‌ها

شناسایی شواهد یخچال‌های کواترنر پایانی حوضه تنگوییہ سیرجان با تحدید حوضه مورد مطالعه و توجه به نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ آغاز شد. در این راستا برای تهیه نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دما، حال حاضر حوضه، از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های سیرجان، چهارگنبد، شهربابک، رفسنجان، زمزرج، سعادت‌آباد، باغ خشک، اسطور، پاریز، بافت، بردسیر، بلورد، جیرفت، کرمان، بم و کهنوج استفاده شد و به کمک این داده‌ها و مدل رقومی ارتفاعی حوضه، نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دما، حال حاضر حوضه در نرم‌افزار ARC GIS ترسیم شد.

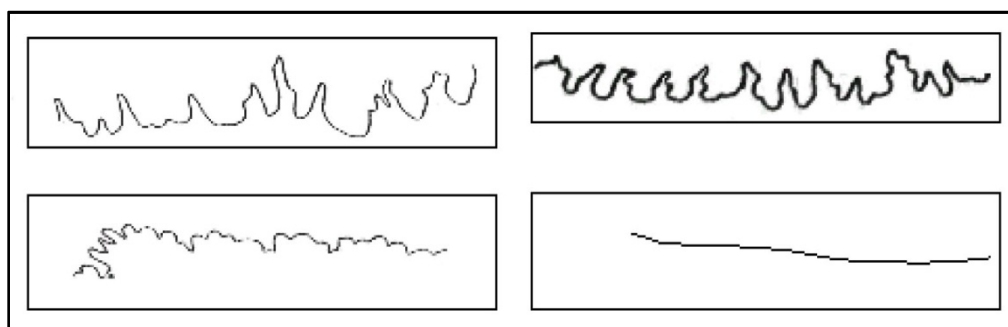
در مرحله بعد با توجه به فرم منحنی میزان‌ها در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، نواحی تحت تسلط پهنه‌های یخی و سیرک‌های یخچالی که نشانه حاکمیت اقلیم یخچالی در گذشته بوده، در منطقه مشخص گردید و خط مرز برف دائمی گذشته حوضه تنگوییہ به روش راییت و پورتر برآورد شد. سپس با استفاده از ارتفاع خط مرز برف گذشته و افت آدیاباتیک دما، نقشه هم‌دما، گذشته حوضه به دست آمد. برای تهیه نقشه هم‌بارش گذشته، پس از هم‌پوشانی نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش حال حاضر حوضه در نرم‌افزار ARC GIS، همبستگی نقطه‌ای آنها گرفته شد و با استفاده از رابطه بین بارش و دمای زمان حال و داده‌های دمایی زمان گذشته، نقشه هم‌بارش گذشته حوضه تهیه شد. پس از آن در عملیات میدانی، فرم‌های ایجاد شده توسط یخچال‌ها، مشتمل بر دره‌های یخچالی، سیرک‌ها و

یخرفت، مورد شناسایی قرار گرفت و از محل‌های خاصی از حوضه نمونه‌برداری انجام گرفت و پس از انتقال به آزمایشگاه، در نهایت به تجزیه و تحلیل داده‌ها مبادرت شد.

یافته‌های پژوهش

شواهد مورفیک

گام اول برای دنبال کردن آثار یخچال‌های کواترنر در حوضه تنگ‌ئیه سیرجان، بررسی فرم‌شناسی بر اساس شاخص‌های مورفیک روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث است. این نقشه‌ها که به نمایش مجازی ناهمواری‌ها می‌پردازند، می‌توانند تشخیص فرم، فرآیند، پدیده‌های ژئومورفیک و مواد مادری را به کمک چهار عنصر فرم خطوط منحنی میزان، آرایش قله، فرم شبکه آبراهه و نقاط ارتفاعی منفرد آسان‌تر کنند. اگرچه خطوط منحنی میزان روی نقشه‌های توپوگرافی رقوم ارتفاعی خاصی را نشان می‌دهند، ولی همه آنها فرم یکسانی ندارند (شکل ۲).

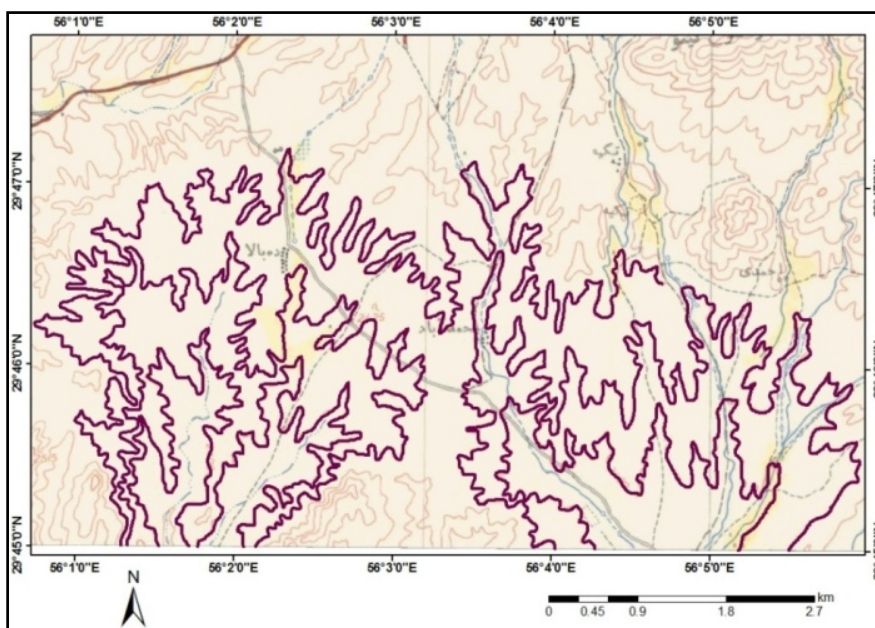


شکل ۲. بخشی از فرم‌های خطوط منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰

منبع: رامشت، ۱۳۸۴

علت این امر ناشی از دو عامل تغییر در جنس زمین و فرآیند حاکم بر منطقه است. نواحی تحت سیطره پهنه‌های یخی در زمان گذشته، از جمله مواردی است که می‌توان به کمک فرم منحنی میزان‌ها روی این نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای تشخیص داد. این نواحی روی نقشه‌های توپوگرافی به صورت سینوس‌های بلند و پنجه‌ای با طول موج بزرگ روی منحنی‌های تراز منعکس می‌شود^۱ که علت آن، حرکت ورقه‌ای یخ بعد از ترک کوهستان و رسیدن به سطح هموار است. این نوع حرکت یخ باعث ایجاد تپه‌ماهورهای ملایم در سطوح پایکوهی و دشت‌ها می‌شود. چنین چشم‌اندازهایی بعد از ذوب سطوح منجمد یخی جلوه‌گر شده و یخرفت‌های آن به صورت تپه‌های موجی شکل در سطح اراضی باقی می‌ماند (رامشت، ۱۳۸۴). در بخش‌هایی از حوضه که فرم زمین از کوهستان به دشت تغییر شکل می‌دهد، ما شاهد این اشکال هستیم که بارزترین آنها در غرب حوضه در مجاورت جاده سیرجان - کرمان است (شکل ۳).

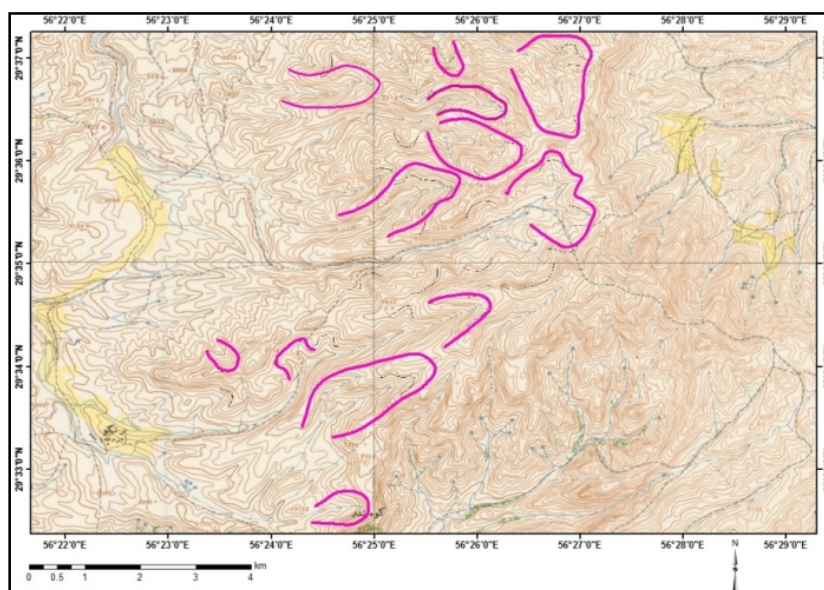
۱. به طور کلی وجود این عوارض در نقشه‌های توپوگرافی ایران مرکزی در ارتفاعات بالاتر از ۲۱۰۰ متر، دلیل عملکرد ورقه‌ای یخ در گذشته است.



شکل ۳. انعکاس آثار پهنه‌های یخی در نقشه‌های توپوگرافی حوضه تنگویه سیرجان

منبع: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سمت (شماره 7249IV)

همچنین با توجه به فرم منحنی میزان‌ها روی همین نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، سیرک‌های یخچالی شناسایی شدند (شکل ۴). این عوارض که روی نقشه‌های توپوگرافی به شکل نعل اسب هستند، چنانچه در ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر واقع شوند، احتمال نسبت‌دادن آنها به فعالیت‌های یخچالی قریب به یقین است (رامشت، ۱۳۸۴).



شکل ۴. انعکاس آثار سیرک‌های یخچالی در نقشه‌های توپوگرافی حوضه تنگویه

منبع: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (سطاق شماره 7249II)

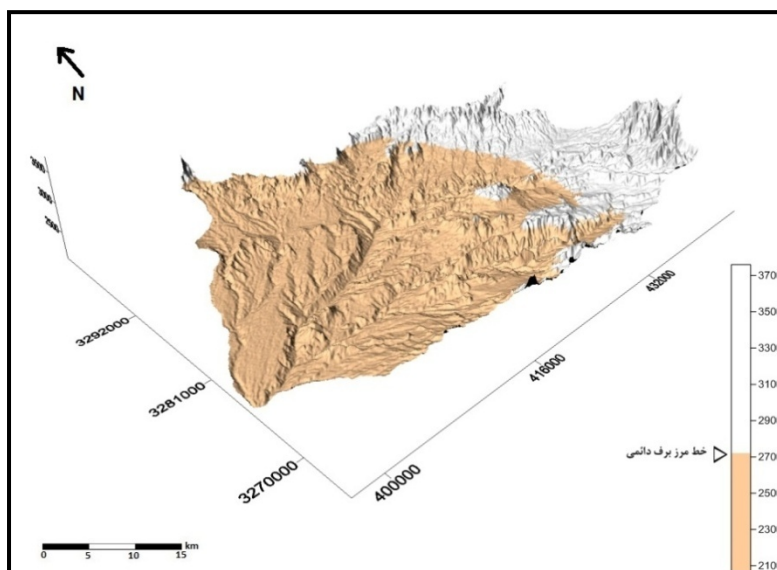
سیرک‌های شمارش‌شده روی ارتفاعات حوضه تنگوبه، افزون بر ۲۵۱ سیرک بزرگ و کوچک است که بین ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۴۰۰ متری توزیع شده‌اند. همان‌گونه که در جدول ۱ بیان شده، تراکم سیرک‌ها در ارتفاع ۲۷۰۰ تا ۲۸۰۰ متر بیشتر از بقیه ارتفاعات است؛ به طوری که حدود ۲۰ درصد آنها در این ارتفاع تمرکز یافته‌اند.

جدول ۱. نحوه توزیع سیرک‌های یخچالی در حوضه تنگوبه سیرجان

ارتفاع	تعداد سیرک‌ها	درصد سیرک‌ها	درصد تجمعی
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۲۹	۱۱/۵	۱۱/۵
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۴۹	۱۹/۵	۳۱
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۵۲	۲۰/۷	۵۱/۷
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۳۱	۱۲/۳	۶۴
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۳۲	۱۲/۷	۷۶/۷
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۲۴	۹/۵	۸۶/۲
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۱۲	۴/۷	۹۱
۳۲۰۰-۳۳۰۰	۱۷	۶/۷	۹۸/۱
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۵	۱/۹	۱۰۰

تخمین خط مرز برف دائمی حوضه در کواترنر به روش رایت

روش رایت که یکی از روش‌های تعیین خط برف مرز دائمی شناخته می‌شود، بر شمارش سیرک‌های کوچک و محاسبه ارتفاع مدخل خروجی آنها استوار است (رامشت و پوردهقان، ۱۳۸۷: ۱۳۳). بر اساس سیرک‌های شمارش‌شده به روش رایت، خط ۶۰ درصد سیرک‌های منطقه مشخص شد. این خط ارتفاعی را برای ما مشخص می‌کند که ۶۰ درصد سیرک‌ها، بالاتر از این خط ارتفاعی قرار دارند. با محاسبه این خط، مرز برف دائمی در منطقه مورد مطالعه در زمان حاکمیت یخچال‌ها در ارتفاع ۲۷۱۹ متری برآورد شده است (شکل ۵).



شکل ۵. نقشه مرز برف دائمی حوضه تنگوبه در دوره حاکمیت یخچال‌ها به روش رایت

تخمین خط مرز برف دائمی حوضه در کواترنر به روش پورتر (روش ارتفاع کف سیرک)

روش ارتفاع کف سیرک یکی از پنج روشی است که پورتر در مطالعه کوهستان‌های یخچالی عرض‌های پایین برای بازسازی ارتفاع خط تعادل (ELA) ارائه داده است. از میان روش‌های پنج‌گانه پورتر، با توجه به بارز بودن شواهد سیرک‌های یخچالی، روش مطالعه کف سیرک برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است؛ زیرا بر اساس نظر پورتر، هنگامی که یخچالی فقط سیرک را پر می‌کند، ELA دائمی آن خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF) نیست (شکل ۶). بنابراین روش ارتفاع کف سیرک برای تعیین ارتفاع (خط‌های تعادل) به کار می‌رود (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۸، به نقل از یمانی، ۱۳۸۶). برای استفاده از این روش به منظور پی بردن به برف مرز گذشته و خط تعادل آب و یخ در حوضه مورد مطالعه، بعد از آماده کردن جدول ۲، از رابطه ۱ برای محاسبه نما یا مد استفاده می‌کنیم.

$$M_o = L + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times h \quad \text{رابطه ۱}$$

L : حد پایین رده نمادار؛

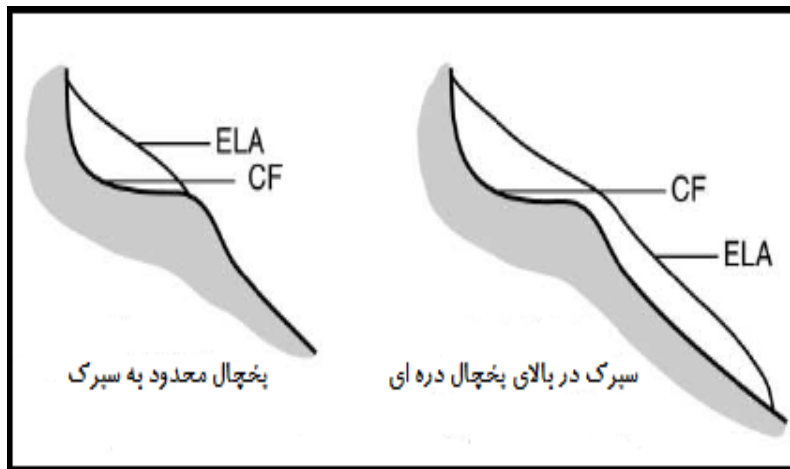
d_1 : تفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار، از فراوانی رده نمادار؛

d_2 : تفاضل فراوانی رده مابعد رده نمادار، از فراوانی رده نمادار؛

h : فاصله رده‌ها.

جدول ۲. توزیع فراوانی ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضه تنگنویه

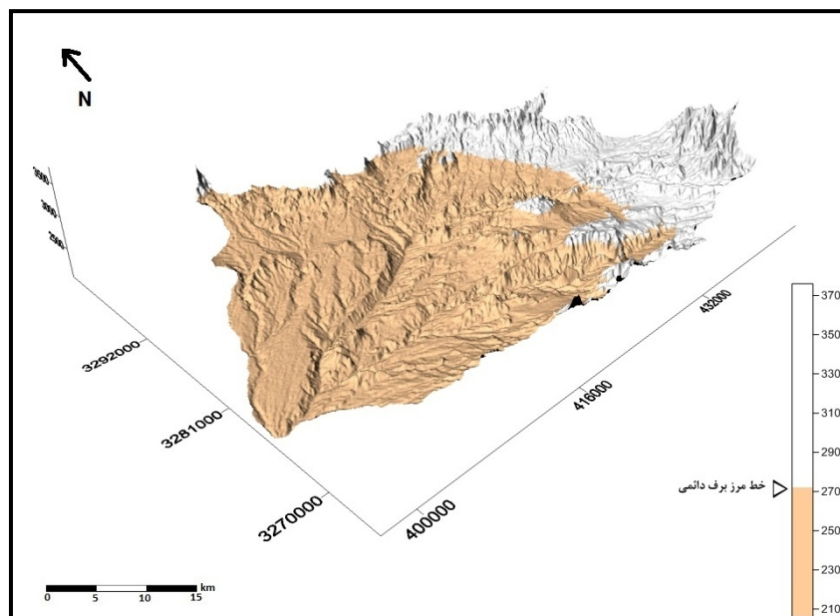
طبقات ارتفاعی	فراوانی سیرک	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	درصد
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۲۱	۵	۲	-	۰	۴	۶	-	۴	۸/۳
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۵۱	۸	۲	۱	۶	۳	۱۸	۸	۵	۲۰/۳
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۵۵	۷	۷	۱	۲	۱	۱۴	۱۴	۹	۲۱/۹
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۳۲	۵	۲	۲	-	۱	۲	۱۶	۴	۱۲/۷
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۲۶	-	-	-	-	۲	۱۶	۸	-	۱۰/۳
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۲۹	۱	۲	-	۲	۱	۱۱	۷	۵	۱۱/۵
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۱۲	۲	-	-	-	-	۲	۶	۲	۴/۷
۳۲۰۰-۳۳۰۰	۱۷	۳	-	-	۳	۲	۴	۱	۴	۶/۷
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۸	۳	-	-	-	-	-	۲	۳	۳/۱
جمع	۲۵۱	۳۴	۱۵	۴	۱۳	۱۴	۷۳	۶۲	۳۶	۱۰۰
نما (متر)	-	۲۶۷۵	۲۷۵۰	۲۸۳۳	۲۶۶۰	۲۵۸۰	۲۶۷۵	۲۸۲۰	۲۷۴۴	۲۷۱۴



شکل ۶. روش ارتفاع کف سبرک

منبع: پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۸، به نقل از یمانی، ۱۳۸۶

ارتفاع برف‌مرز آخرین دوره یخچالی برابر با مقدار نما در ارتفاع کف سبرک‌های یخچالی است (یمانی، شمسی‌پور و جعفری‌اقدم، ۱۳۹۰: ۴۶). همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار مد یا نما در محدوده مورد مطالعه ۲۷۱۴ متر است. به گفته‌ای مرز برف دائمی در دوران حاکمیت یخچال‌ها در حوضه تنگ‌تپه در ارتفاع ۲۷۱۴ متری قرار داشته است (شکل ۷) که در مقایسه با روش رایج ۵ متر اختلاف دارد.

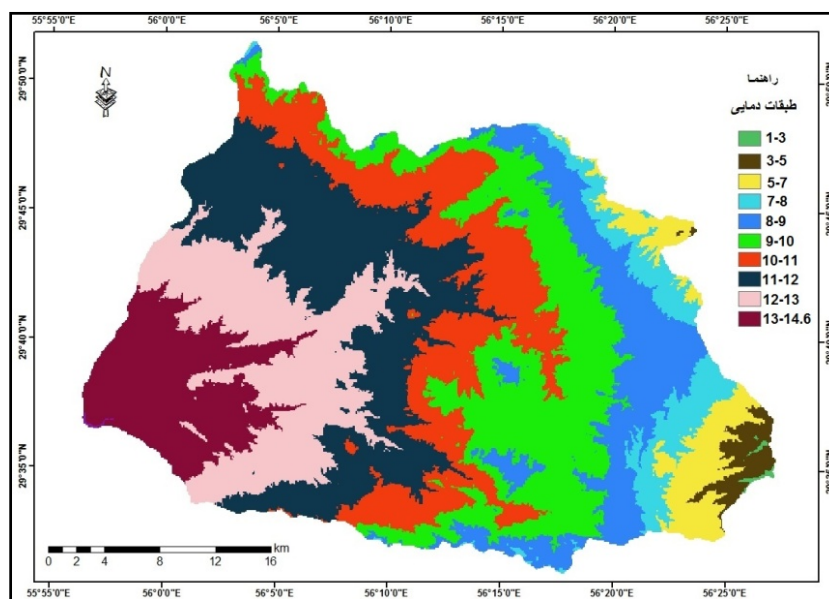


شکل ۷. نقشه مرز برف دائمی حوضه تنگ‌تپه در دوره کواترنر به روش پورتر

ردیابی آثار یخچال‌ها بر اساس شواهد اقلیمی

از جمله دلایل مهمی که می‌توان با توجه به آن وجود یخچال‌های کواترنر پایانی را در منطقه مورد مطالعه به اثبات رساند، شواهد اقلیمی است. برای بررسی میزان تغییرات عناصر اقلیمی، از جمله دما و بارش، به مقادیر کمی این پارامترها

نیازمندیم. در این راستا برای تهیه نقشه هم‌دمای فعلی حوضه تنگویی، بعد از تهیه داده‌های دمایی هفت ایستگاه سیرجان، بردسیر، رفسنجان، شهربابک، کهنوج، جیرفت و بم، رابطه بین بارش و ارتفاع آنها گرفته شد، سپس نقشه میانگین دمای سالانه حوضه تنگویی در عصر حاضر ترسیم گردید (شکل ۸).



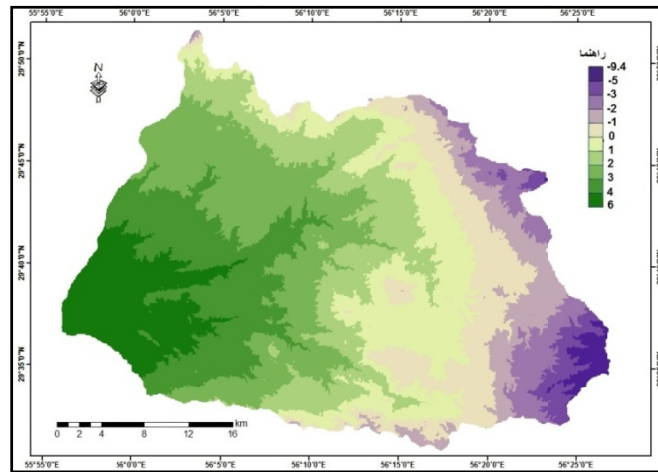
شکل ۸. نقشه هم‌دمای حوضه تنگویی در عصر حاضر

نقشه هم‌دمای فعلی حوضه تنگویی نشان می‌دهد که حداقل دمای متوسط سالانه حوضه برابر با ۱ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۳۷۶۰ متری است و حداکثر دمای متوسط سالانه حوضه برابر با ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد، در ارتفاع ۲۰۵۶ متری قرار دارد.

تخمین دمای حوضه تنگویی در کوتاه‌تر

برای تخمین میزان دمای محیطی گذشته، بعد از تعیین خط مرز برف دائمی حوضه در زمان گذشته، همبستگی بین دما و ارتفاع هشت ایستگاه سیرجان، بردسیر، بافت، رفسنجان، کهنوج، بم، جیرفت و شهربابک با استفاده از رابطه خطی محاسبه شد و معادله خطی آن به صورت $Y = 0.007 X + 30.54$ به دست آمد. سپس با استفاده از این رابطه، افت آدیاباتیک دمای حال حاضر حوضه به میزان تقریبی ۰/۸ درجه سانتی‌گراد، به‌ازای هر ۱۰۰ متر ترفیع مکانی، محاسبه شد. سپس با استفاده از ارتفاع خط مرز برف دائمی گذشته، حوضه تنگویی و افت آدیاباتیک^۱ آن، نقشه هم‌دمای گذشته حوضه آماده شد (شکل ۹).

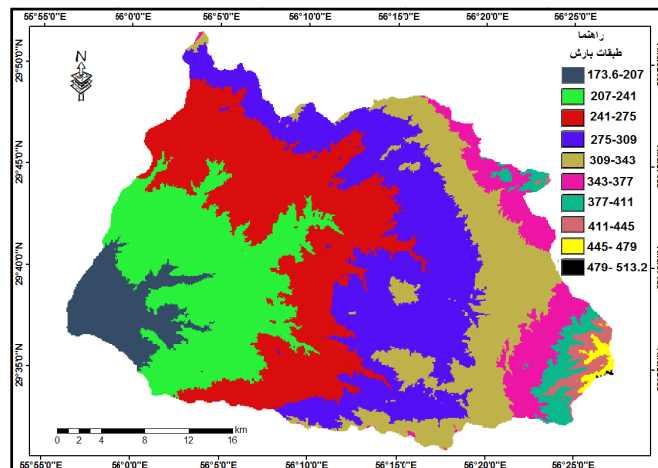
۱. افت آدیاباتیک ۰/۸ به زمان حال مربوط می‌شود، ولی چون در کوتاه‌تر اقلیم سردتری حاکمیت داشته، افت آدیاباتیک نیز بیشتر بوده است. بنابراین چون افت فعلی ۰/۸ است، افت آدیاباتیک گذشته ۱ درجه به‌ازای ۱۰۰۰ متر محاسبه شد.



شکل ۹. نقشه میانگین سالانه دمای حوضه تنگوبه در کواترنر پایانی

همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداقل دمای متوسط سالانه حوضه در زمان حاکمیت یخچال‌ها برابر با $-9/4$ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع 3760 متری و حداکثر دمای متوسط سالانه حوضه برابر با 6 درجه سانتی‌گراد در ارتفاع 2056 متری بوده است. مقایسه نقشه‌های هم‌دمای فعلی و گذشته حوضه حاکی از این است که حوضه تنگوبه سیرجان در کواترنر، حدود 9 درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان فعلی سردتر بوده است. البته این میزان تفاوت برای همه نقاط حوضه یکسان نبوده و تحت تأثیر ارتفاع، افزایش می‌یافته است؛ به طوری که بیشترین تفاوت حرارتی مربوط به مرتفع‌ترین قسمت حوضه و کمترین تفاوت مربوط به پست‌ترین نقطه حوضه بوده است.

برای بازسازی شرایط رطوبتی گذشته، با توجه به اینکه از بیلان آبی گذشته اطلاعاتی در دست نبود، نیاز به نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای فعلی حوضه داشتیم. برای تهیه نقشه هم‌بارش فعلی حوضه تنگوبه، بعد از تهیه داده‌های بارشی ایستگاه‌های چهارگنبد، سیرجان، سعادت‌آباد، باغ خشک، بافت، رفسنجان، شهر بابک، زمزرج، پاریز و بلورد، رابطه بین بارش و ارتفاع محاسبه و نقشه میانگین سالانه بارش حوضه تنگوبه در عصر حاضر، در نرم‌افزار ARC GIS تهیه شد (شکل ۱۰).

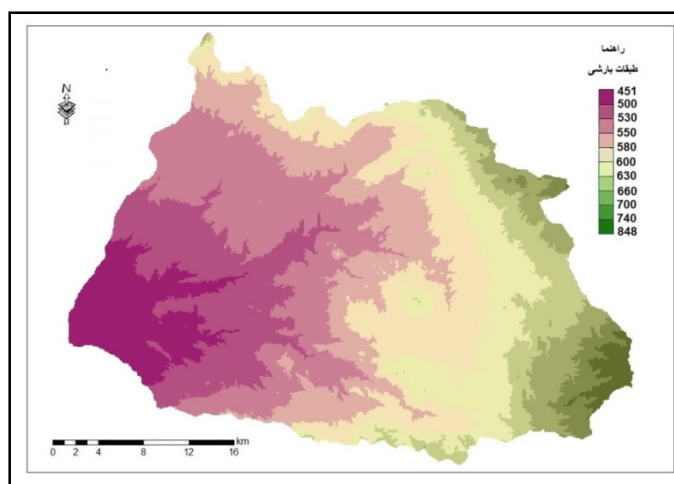


شکل ۱۰. نقشه هم‌بارش حوضه تنگوبه در عصر حاضر

نقشه هم‌بارش حال حاضر حوضه تنگویی نشان می‌دهد که میانگین سالانه حداقل بارش حوضه برابر با ۱۷۳ میلی‌متر در خروجی حوضه (روی سد تنگویی) و میانگین سالانه حداکثر بارش برابر با ۵۱۳ میلی‌متر در مرتفع‌ترین قسمت حوضه است.

برآورد میزان بارش حوضه در کوتاه‌تر

در این راستا، بعد از همپوشانی نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای فعلی حوضه در نرم‌افزار ARC GIS، رابطه بین دما و بارش محاسبه شد و با توجه به معناداری رابطه دما و بارش و ثابت بودن رابطه بین دما و بارش، با داشتن داده‌های دمایی زمان گذشته، نقشه هم‌بارش حوضه در دوره حاکمیت یخچال‌ها تهیه شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه هم‌بارش حوضه تنگویی در دوره حاکمیت یخچال‌ها

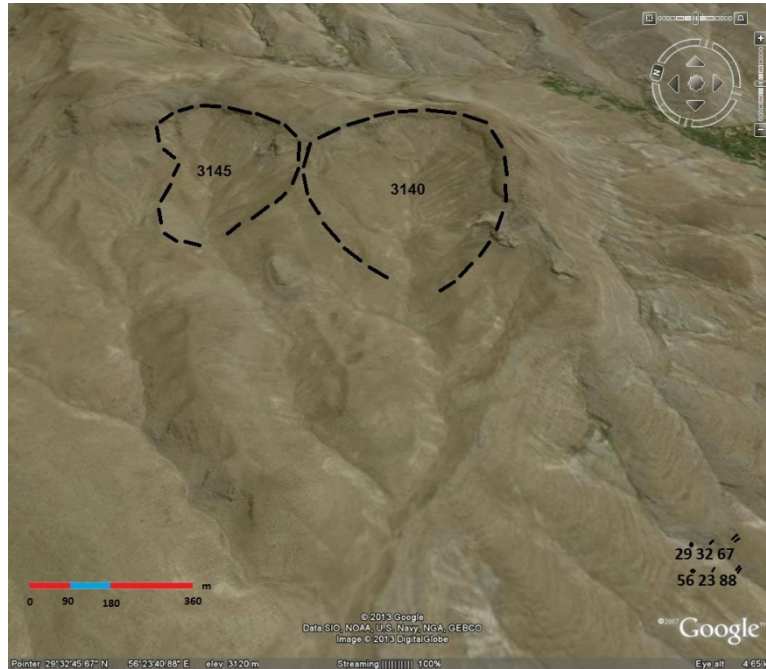
نقشه هم‌بارش حوضه در کوتاه‌تر حاکی از این است که حداقل بارش در آن زمان برابر با ۴۵۱ میلی‌متر در خروجی حوضه و حداکثر مقدار بارش برابر با ۸۴۸ میلی‌متر در مرتفع‌ترین بخش حوضه بوده است. مقایسه نقشه‌های هم‌بارش حال و گذشته حوضه تنگویی (اشکال ۴ و ۵)، نشان می‌دهد که میزان رطوبت محیطی در دوره‌ای که دمای محیط به میزان ۹ درجه سانتی‌گراد کمتر بوده با مقدار بارش‌های فعلی تفاوت چشمگیری داشته است؛ به طوری که میزان بارش در زمان حاکمیت یخچال‌ها در ارتفاعات پایین ۲/۶ برابر و در ارتفاعات بالا کمابیش ۱/۶ برابر مشاهده شد. این مقدار تغییر در رطوبت و دمای محیطی، تغییر اساسی در سیستم شکل‌زای منطقه به وجود آورده؛ به گونه‌ای که از سیستم شکل‌زای یخچالی در حال حاضر نشانی در دست نیست.

شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها

سیرک

اولین و ساده‌ترین شکلی که یخچال‌های کوهستانی به وجود می‌آورند، سیرک یخچالی است (محمودی، ۱۳۸۶). این عارضه به صورت چاله نیم‌دایره به دیواره‌های بلند و تند محدود می‌شود و به صورت آملی تئاتر در بالادست دره‌های یخچالی شکل می‌گیرد. پس از ذخیره شدن برف در سیرک‌ها، جریاب‌های یخی شکل می‌گیرد و به صورت رودخانه‌ای به

سمت پایین جریان می‌یابد (کافمن، ۱۹۹۰، به نقل از رامشت، ۱۳۸۷). بررسی صورت گرفته نشان می‌دهد که در این حوضه آثار سیرک‌های متعددی وجود دارد که بین ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۴۰۰ متری واقع شده‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. نمونه‌ای از سیرک‌های یخچالی در حوضه تنگوبیه (تصویر از گوگل ارث)

تیل یا یخرفت

وقتی که دوره یخبندان به پایان می‌رسد، یخ‌ها تمام رسوباتی را که با خود حمل کرده‌اند، روی زمین باقی می‌گذارند و یک پوشش ناهموار به نام تیل یا یخرفت به وجود می‌آورند (اشکال ۱۳ تا ۱۶). آنچه تیل یا یخرفت را از رسوبات دیگر جدا می‌کند و ویژگی عادی این رسوبات به‌شمار می‌رود، نبود لایه‌بندی دانه‌هاست. این رسوب برخلاف نهشته‌های آبی هیچ نشانی از لایه‌بندی ندارد و در آن ریزترین دانه‌های رس، با تخته‌سنگ‌ها در ساختار بی‌نهایت بی‌نظم درهم آمیخته‌اند (گرسول، ۱۳۹۰: ۶۵).



شکل ۱۴. قطعات بزرگ یخرفت، نزدیک روستای سرسنگوبیه



شکل ۱۳. قطعات بزرگ یخرفت، نزدیک روستای سرسنگوبیه



شکل ۱۶. یخرفت‌های حوالی کوه خاکی



شکل ۱۵. تپه‌ماهورهای حاصل عملکرد ورقه‌ای یخ (بین جاده سیرجان - کرمان و روستای رضوان)

دره‌های یخچالی

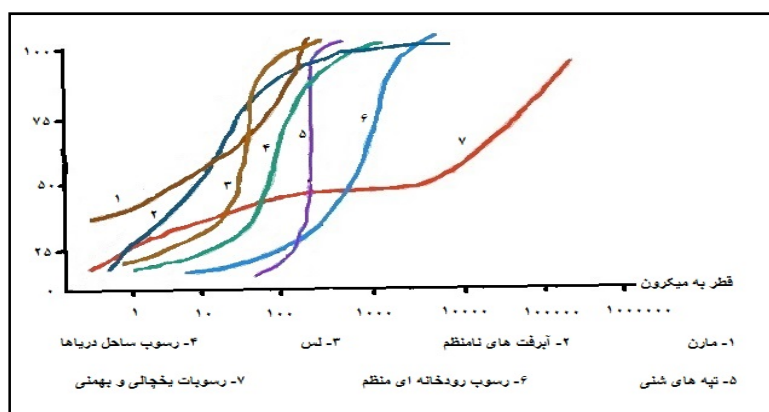
یکی از اشکال مهم یخچال‌های کوهستانی، دره‌های یخچالی هستند که اغلب از قبل وجود داشته و سپس توسط زبانه‌های یخچالی به شدت دستکاری شده‌اند. این دره‌ها جداری پرشیب دارند و برش عرضی آنها به شکل U است (محمودی، ۱۳۸۶). در واقع یخچال‌ها همان گونه که دره‌هایشان را عمیق‌تر می‌کنند، موجب تعریض دره نیز می‌شوند و در نتیجه، نیمرخ عرضی پهنی را به وجود می‌آورند که به‌طور مشخص U شکل است. این دره‌ها مشخص‌ترین لندفرم‌های یخچالی کوهستانی هستند (دیلج، ۱۹۹۸: ۴۱۰، به نقل از رجبی و خطیبی، ۱۳۸۷) که در شکل‌گیری و توسعه آنها متغیرهای چندی، مانند ضخامت توده یخ و ویژگی‌های دیگر آن، ساختار و لیتولوژی سنگ بستر، ویژگی‌های توپوگرافی و جهت‌گیری دره‌ها و مدت زمان استقرار یخچال، مؤثر است (ساگدن و براین، ۱۹۹۰: ۱۷۹، به نقل از رجبی و خطیبی، ۱۳۸۷). این اشکال یخچالی که مواریث یخچال‌های کواترنر در حوضه تنگنویه هستند، نه تنها مقطع عرضی U شکل دارند، بلکه کف آنها دارای یخرفت کوچک و بزرگ است (شکل ۱۷).



شکل ۱۷. تصویر دره یخچالی سرسنگنویه در حوضه تنگنویه سیرجان

شاخص‌های آزمایشگاهی

در اثبات وجود آثار یخچالی، تمسک به روش‌های آزمایشگاهی به‌ویژه در مطالعه رسوبات، مرسوم است (رامشت، لشکری، لاجوردی و محمدآبادی، ۱۳۹۰). در این پژوهش برای آزمون صحت یافته‌های تحلیلی و فرمیک و برای دستیابی به دلایل متقن و تأیید وجود آثار یخچال‌ها در منطقه، روی نمونه‌های آزمایش به عمل آمد. با اندازه‌گیری قطر ذرات در رسوب‌های نرم و جدا از هم (گرانولومتری)، می‌توان تغییرات قطر ذرات مشکله و تراکم هر یک از آنها را تعیین کرد و با استفاده از اندازه ذرات و درصد تجمعی رسوبات، می‌توان به نوع رسوبات پی برد (معمد، ۱۳۷۴: ۱۳). به‌گفته‌ای هر نوع رسوب، منحنی گرانولومتری منحصر به فرد خود را دارد (شکل ۱۸) که در این میان منحنی‌های رسوبات یخچالی در جهت طولی کشیدگی بیشتری دارند (غیور، ۱۳۷۸، به نقل از معیری، ۱۳۸۷).



شکل ۱۸. نمونه‌ای از منحنی‌های مختلف

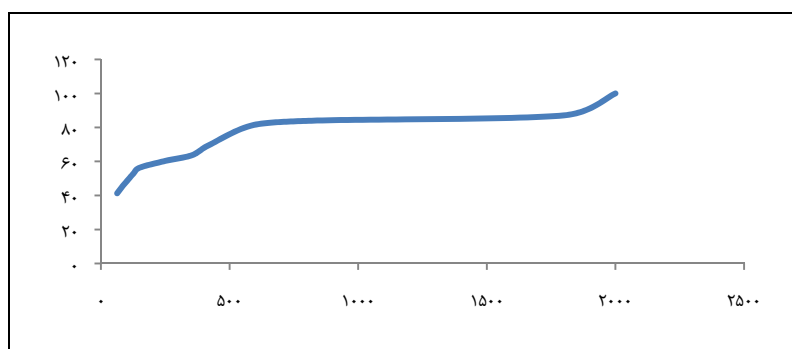
منبع: معمده، ۱۳۷۴

در این راستا، ابتدا از محل‌های خاص (رسوباتی که احتمال حمل آنها توسط یخچال وجود داشت) نمونه‌برداری^۱ کرده و به تفکیک دانه‌ها در اندازه‌های گوناگون اقدام شد. برای این کار، مقدار ۳۰۰ گرم از هر یک از رسوبات نمونه‌برداری شده را انتخاب کرده، سپس آنها را با آب شست‌وشو دادیم. این عمل تا روشن شدن آب خروجی ادامه یافت. سپس نمونه‌ها را در دستگاه اتو گذاشته و با حرارت ۱۰۵ درجه خشک نمودیم. رسوبات خشک شده بار دیگر وزن شدند. در این مرحله یازده الک را به اندازه‌های ۶۳، ۹۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۲۵، ۶۰۰، ۸۴۱، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰ میکرون انتخاب کرده، برای تعیین مقدار مواد در قطرهای مختلف، نمونه‌ها را در بزرگترین تامی (۲۰۰۰ میکرون) ریخته و با استفاده از دستگاه لرزاننده آنها را الک کردیم. الک‌ها قادرند رسوباتی که قطرشان از منفذ الک درشت‌تر است را در خود نگاه داشته و بقیه را به الک‌های زیر بفرستند. پس از تفکیک دانه‌ها براساس قطر، وزن ذرات باقی‌مانده در هر الک به کمک ترازوی دقیق به‌دست آمد و همراه با شماره الک یادداشت (جدول ۳) و نمودار آن ترسیم شد (شکل ۱۹).

۱. گفتنی است که برداشت نمونه به این شکل انجام گرفت، رسوبات سطحی کنار زده شدند و از رسوبات عمقی در نقاط مختلف به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد.

جدول ۳. ویژگی‌های گرانولومتری نمونه برداشت شده از دره سرسنگوئیه

فطر ذرات	وزن به گرم	وزن به درصد	درصد تجمعی	درصد تجمعی معکوس
$2000 \leq$	۸۰/۱	۴۱/۲	۴۱/۲	۱۰۰
۱۸۰۰	۹/۵	۴/۹	۴۶/۱	۵۸/۷
۸۴۱	۱۲/۵	۶/۴	۵۲/۶	۵۳/۸
۶۰۰	۷	۳/۶	۵۶/۲	۴۷/۳
۴۲۵	۷/۹	۴	۶۰/۳	۴۳/۷
۳۵۰	۶/۵	۳/۳	۶۳/۶	۳۹/۶
۲۵۰	۱۱/۵	۵/۹	۶۹/۶	۳۶/۳
۱۵۰	۲۳	۱۱/۸	۸۱/۴	۳۰/۳
۱۲۵	۵	۲/۵	۸۴	۱۸/۵
۹۰	۵/۹	۳	۸۷/۱	۱۵/۹
۶۳	۲۵	۱۲/۸	۱۰۰	۱۲/۸



شکل ۱۹. نمودار گرانولومتری نمونه برداشت شده

از مقایسه شکل‌های ۱۸ و ۱۹ درمی‌یابیم که رسوبات مورد بررسی جزء رسوبات یخچالی هستند و این خود دلیل دیگری بر عملکرد یخچال‌های کواترنر پایانی در حوضه تنگوئیه سیرجان است.

بحث و نتیجه‌گیری

ایران یکی از مناطقی است که تحت تأثیر نوسانات اقلیمی قرار گرفته، اما ابعاد و دامنه آن به عمق و وسعت اروپا و آمریکای شمالی نبوده است (رامشت و کاظمی، ۱۳۸۶). بنابراین، اثبات این ادعا که حوضه تنگوئیه سیرجان که یکی از مناطق ایران مرکزی به‌شمار می‌رود، در کواترنر پایانی تحت حاکمیت یخچال بوده، دور از ذهن به نظر می‌رسد؛ اما با دقت در آثار و شواهد به جا مانده این شک و تردید از میان می‌رود. شواهد اقلیمی، مانند اطلاعات دما و بارش، بیانگر این است که گرچه حوضه تنگوئیه سیرجان با حداکثر و حداقل دمای $14/6$ و 1 درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل بارش 513 و 173 میلی‌متر، جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود، ولی در کواترنر پایانی با داشتن دمای حداکثر و حداقل $9/4-$ درجه سانتی‌گراد و بارش حداکثر و حداقل 848 و 451 میلی‌متر، تفاوت قابل توجهی با زمان حال داشته؛ به‌گونه‌ای که نه تنها دمای گذشته حوضه نسبت به حال حاضر 9 درجه سردتر بوده، بلکه بارش آن نیز دو برابر زمان حال

بوده است. از سویی، فرم منحنی میزان‌ها روی نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای حوضه تنگ‌تپه، آثار ۲۵۱ سیرک یخچالی و نواحی تحت تسلط پهنه‌های یخی در زمان گذشته را برای ما مشخص می‌کند. از ۲۵۱ سیرک شناسایی شده، ۱۳۵ سیرک در جهت غرب و جنوب غربی واقع شده‌اند که پیروی آنها را از جهت اصلی ناهمواری‌ها (شمال غربی - جنوب شرقی) می‌رساند. نواحی تحت تسلط پهنه‌ها در زمان گذشته نیز با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، فرم منحنی میزان‌ها و عملیات میدانی، بررسی شدند. این نواحی که با تپه‌های موجی شکل حاصل از حرکات ورقه‌ای یخ بعد از ترک کوهستان در دشت‌های حوضه تنگ‌تپه مشخص می‌شوند، ژئومورفولوژی خاصی به این دشت‌ها بخشیده‌اند. از بارزترین این گونه دشت‌ها، می‌توان دشت‌های موجی شکلی را نام برد که در غرب حوضه، در مجاورت راه ارتباطی سیرجان - کرمان شکل گرفته‌اند. شواهد ژئومورفولوژیکی، مثل قطعات بزرگ یخرفت، مورن‌ها، دره‌های یخچالی و سیرک‌ها نیز، مشخص‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کواترنر پایانی در این حوضه هستند. دره‌های یخچالی این حوضه، نه تنها مقطع عرضی U شکلی دارند، بلکه کف آنها دارای یخرفت‌های کوچک و بزرگ است. یکی دیگر از شاخص‌هایی که به کمک آن وجود آثار یخچال‌ها در حوضه تنگ‌تپه به اثبات رسید، شاخص‌های آزمایشگاهی بود. در این راستا از محل‌های خاصی از حوضه مورد نظر نمونه‌برداری به عمل آمد و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج رسوب‌سنجی انجام‌گرفته روی چند نمونه، گویای وجود رسوبات یخچالی در حوضه تنگ‌تپه سیرجان است. همچنین بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که خط مرز برف دائمی در کواترنر پایانی، در ارتفاع ۲۷۱۹ (به روش رایت) و ۲۷۱۴ (به روش پورتر) بوده است. در واقع وجود بارش کافی همراه با دمای پایین حوضه، شرایطی را به وجود آوردند که یخچال‌ها بتوانند به فرم‌سازی عوارضی بپردازند که فرآیند کنونی حوضه قادر به شکل دادن آنها نیست. در مجموع با توجه به آثار و شواهد ذکر شده می‌توان گفت که حوضه تنگ‌تپه سیرجان در آخرین فاز پایانی کواترنر، تحت تأثیر حرکات متمرکز و ورقه‌ای یخ بوده است.

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانم از راهنمایی‌های دکتر سیدابوالفضل مسعودیان در تهیه نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش گذشته حوضه مورد مطالعه سپاس‌گزاری نمایم.

منابع

امیراحمدی، ا.؛ مقصودی، ا. و احمدی، ط. (۱۳۹۰). بررسی آثار یخچالی کواترنر و تأثیر آن بر عدم شکل‌گیری مدنیت و سکونتگاه‌های شهری در دشت آسپاس، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، دوره ۳، شماره ۱۰، صص. ۸۰-۶۱.

پدرامی، م. (۱۳۶۷). سن مطلق کواترنر، مجله دانشکده علوم، دوره ۱۷، شماره ۳ و ۴، صص. ۱۱۴-۱۰۵.

رامشت، م. ح.؛ لاجوردی، م.؛ لشکری، ح.؛ محمودی محمدآبادی، ط. (۱۳۹۰). ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی (مطالعه موردی حوضه تیگرانی ماهان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۲، شماره ۲، صص. ۷۸-۵۹.

- رامشت، م. ح. (۱۳۸۴). نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها). تهران: انتشارات سمت.
- رامشت، م. ح. و پوردهقان، د. (۱۳۸۷). *یخ در آتش*، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۷، شماره ۸۹، صص. ۱۴۴-۱۲۹.
- رامشت، م. ح. و کاظمی، م. م. (۱۳۸۶). *آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس*، مجله رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲۱، شماره ۴، صص. ۱۱-۳.
- رامشت، م. ح. و نعمت‌اللهی، ف. (۱۳۸۳). *آثار یخساری در ایران*، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۹، شماره ۴، صص. ۱۶۲-۱۴۳.
- رجبی، م.؛ بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۷). *بررسی لندفرم‌های دره‌های یخچالی کوهستان سپهند*، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۸، شماره ۶۴، صص. ۱۲۱-۱۰۵.
- گرسول، ر. کی. آر. (۱۳۹۰). *ژئومورفولوژی یخچالی*. ترجمه حمزه زمانی. تهران: انتشارات پژوهشی نوآوران شریف.
- محمودی، ف. (۱۳۸۶). *ژئومورفولوژی دینامیک*. تهران: انتشارات پیام نور.
- المدرسی، س. ع. و رامشت، م. ح. (۱۳۸۶). *آثار یخچالی و یخساری در منطقه سخوید*، مجله فضای جغرافیایی، دوره ۷، شماره ۱۹، صص. ۳۱-۱.
- معیری، م.؛ رامشت، م. ح.؛ تقوایی، م.؛ تقی‌زاده، م. ح. (۱۳۸۷). *مواریث یخچالی حوضه صفا شهر - استان فارس*، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، دوره ۳۲، شماره ۴، صص. ۱۳۰-۱۰۹.
- سازمان نیروهای مسلح (۱۳۳۴). *نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰*.
- وزیری، ف. (۱۳۸۲). *هیدرولوژی کاربردی در ایران*. تهران: انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- یمانی، م. (۱۳۸۶). *اندازه‌گیری حرکت سالبانه یخچال‌های علم‌کوه*، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۷، شماره ۶۷، صص. ۵۲-۳۱.
- یمانی، م. (۱۳۸۵). *شواهد ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفیک و حدود و گسترش آنها)*. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۶، شماره ۵۹، صص. ۱۳۹-۱۲۵.
- یمانی، م.؛ شمسی‌پور، ع. ا. و جعفری اقدم، م. (۱۳۹۰). *بازسازی برف مرزهای پلیوستوسن در حوضه جاجرود*، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۷۶، صص. ۵۰-۳۵.
- Deblj, H.J., Muller. P. O., 1998, **Physical Geography of the Global Environment**. John Wiley and Sons, INC. London.
- Kauffman, J., 1990, **Physical Geology**, Prentice Hall (UK), London.
- Porter, S.C., 2001, **Snowline Depression in the Tropics during the Last Glaciations**, Quaternary Science Reviews, Vol. 6, No. 20, PP. 27-42.
- Rob, H. & Dott, Ir, 1981, **Pleistocene Glaciations and the Rise of Man**. Third Edition. Evolution of the Earth.
- Sugden, D. E. and Brian, S. J., 1990, **Glaciers and Landscape**, Edward Arnold. Wiley and Sons, INC., France.