

بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته‌کوه بینالود)

علی قربانی شورستانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
عذرا خسروی* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
علی محمد نورمحمدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۵/۱۸

چکیده

پژوهش حاضر تلاش دارد تا با بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کواترنر در ارتفاعات بینالود، تعداد و محدوده پراکندگی سیرک‌های یخچالی و همچنین برف‌مرز آخرین دوره یخچالی را در ارتفاعات بینالود تعیین کند. بدین منظور با استفاده از تفسیر نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه، موقعیت شواهد یخچالی از جمله سیرک‌ها بررسی و در مرحله بعد با انجام بازدید میدانی موقعیت آن‌ها شناسایی گردید. در گام بعدی با استفاده از دو روش رایت و پورتر حد برف‌مرز آخرین دوره یخچالی محاسبه گردید. همچنین در این تحقیق با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک موجود در منطقه و به کمک رابطه‌سنجی بین دما، بارش، ارتفاع و همچنین با در نظر گرفتن ارتفاع خط برف، نقشه‌های هم‌دما و هم‌باران حوضه در شرایط کنونی و در کواترنر بازسازی و ترسیم گردید. نتایج نشان می‌دهد افزون بر ۳۹ سیرک بزرگ و کوچک بر روی ارتفاعات بینالود شکل گرفته‌اند که بین ارتفاع ۲۱۰۰ تا ۳۳۸۰ متری توزیع شده‌اند. تراکم سیرک‌ها در ارتفاع ۲۳۵۰ تا ۲۵۰۰ متر بیش از بقیه ارتفاعات است به طوری که حدود ۵۰ درصد آن‌ها در این ارتفاع تمرکز یافته‌اند. همچنین حداقل دمای متوسط سالانه بینالود در زمان حاکمیت یخچال‌ها برابر ۸/۸- درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۳۳۰۸ متری و حداکثر دمای متوسط سالانه منطقه برابر با ۹/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۸۷۰ متری بوده است. مقایسه نقشه هم‌دمای فعلی و گذشته منطقه حاکی از آن است که رشته‌کوه بینالود در کواترنر حدود ۸/۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان فعلی سردتر بوده است. نقشه هم‌بارش منطقه در کواترنر حاکی از آن است که حداقل بارش در آن زمان برابر با ۳۶۹ میلی‌متر در پست‌ترین نقطه و حداکثر مقدار بارش برابر با ۸۳۲ میلی‌متر در مرتفع‌ترین بخش بوده است.

واژگان کلیدی: ارتفاعات بینالود، سیرک یخچالی، یخچال‌های کواترنر، تغییرات اقلیمی.

مقدمه

پراکندگی زیاد سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات، انباشت‌های یخرفتی در دره‌ها و نواحی پیش کوهی کوه‌های بلند ایران، وجود آبرفت‌های رودخانه‌ای ضخیم، پراکندگی پادگانه‌های رودخانه‌ای و دریاچه‌ای و نظایر آن به‌عنوان نمونه‌ای از نشانه‌های متعدد نوسانات اقلیمی در دوره چهارم زمین‌شناسی (پلیوستوسن - هولوسن) می‌باشد (یمانی، ۲۰۱۳:۸۱).

می‌توان مدعی شد که اثرات تغییرات آب و هوایی در کواترنر به‌ویژه دوره‌های یخچالی در کشور ما کمتر مورد مطالعه قرار گرفته و شناخته شده است. اگرچه در مورد برخی یخچال‌های کواترنر در ایران از جمله البرز مطالعاتی صورت گرفته است. اما در مورد مناطق شرق و شمال شرق ایران پژوهشی هرچند اندک صورت نگرفته است. ارتفاعات بینالود در شمال شرق ایران از جمله مناطقی است که با توجه به ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر و قرار گرفتن در محدوده عبور جریان‌های سرد سبیری خصوصاً در دوران سرد سال امکان ایجاد یخچال و شرایط یخچالی در آن وجود دارد.

بررسی آثار مورفولوژیکی یخبندان‌های کواترنر ایران موضوع مورد علاقه‌ی بسیاری از محققان بوده است که می‌توان شروع آن را به ژاک دومرگان^۱ (۱۸۹۰ م.) نسبت داد (نعمت‌اللهی و رامشت، ۱۳۸۳، ۱۴۳). اما مطالعات جدی‌تر توسط هانس بوبک^۲ در کوه‌های البرز و دزیو در کوه‌های زردکوه شروع شد. هانس بوبک پس از مطالعات زیاد یخچال‌های امروزی و آثار دوره‌های یخبندان با ارائه دلایلی از تئوری دوره‌های سرد دفاع کرد (جداری عیوضی، ۱۳۸۳، ۹۳). بروکس^۳ (۱۹۸۲) محقق کانادایی نیز شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات اقلیمی دوران چهارم را در ایران بررسی کرده است. همچنین فرینو^۴ (۱۹۸۸) در بررسی یخچال‌های ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، خط‌مرز برف دائمی در پلیستوسن را ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ متر پایین‌تر از خط‌مرز فعلی برآورد نموده است. اما بهترین تحقیقات یخچالی ایران توسط مرحوم منوچهر پدرامی صورت گرفته است. تلاش‌های وی بیشتر روی خط‌برف دائمی در ایران متمرکز بوده و حاصل مطالعات او، نقشه‌ی خط برف دائم ایران و وورم اخیر است. او به مسائل مربوط به یخچال‌های ایران اشراف خوبی داشته و کارهایش مبنایی برای سایر پژوهشگران شده است (رامشت و کاظمی، ۱۳۸۶، ۴). ایشان مهم‌ترین اصل در بازسازی خط برف مرز گذشته دوره وورم را مطالعه یخرفت‌های این دوره یخچالی می‌داند (پدرامی، ۱۹۸۲). طی قریب به دو دهه‌ی اخیر گزارشات ارزشمندی از شواهد یخچال‌های ایران توسط ژئومورفولوژیست‌ها ارائه گردیده است که می‌توان به پژوهش‌های یمانی^۱ (۱۳۸۱) در ارتفاعات علم‌کوه، یمانی^۱ (۱۳۸۶) در ارتفاعات زردکوه، یمانی و زمانی^۱ (۱۳۸۶) در دره‌ی شهرستانک، افشاری‌آزاد و پورصبا^۱ (۱۳۸۸) در دامنه‌ی شمالی کوه سیالان در البرز غربی و رامشت و همکاران^۱ (۱۳۹۰) در حوضه تیگرانی ماهان اشاره نمود.

طلاحونی^۱ (۱۳۸۳) به بررسی آثار ژئومورفیک یخچالی در ارتفاعات تالش پرداخته و بر اساس شواهد ژئومورفیک، دو سیستم فرسایش یخچالی و مجاور یخچالی را طی دوره‌های سرد پلیستوسن شناسایی نمود. رامشت و کاظمی^۱ (۱۳۸۶)، با استفاده از شاخص‌های فرم‌شناسی در ژئومورفولوژی، تحلیل‌های آماری و مطالعات میدانی به بازسازی شرایط محیطی منطقه‌ی اقلید فارس در سردترین فاز یخچالی کواترنر پرداخته و برای اولین بار، وجود آثار یخچالی در اقلید فارس را به اثبات رساندند. همچنین المدرسی و رامشت^۱ (۱۳۸۶) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، شواهد اقلیمی و شواهد میدانی آثار یخسازگی در حوضه‌ی سخوید در شیرکوه یزد را مورد ارزیابی قرار داده و خط تعادل آب و یخ در منطقه را در ارتفاع ۲۳۵۰ متر و محدوده گلاسیر را ارتفاع ۳۲۲۰ متری برآورد نمودند. یمانی و زمانی^۱ (۱۳۸۶) به بررسی حدود برف‌مرز در

^۱ - De Morgan

^۲ - Bobek

^۳ - Brooks

^۴ - Ferrigno

دره‌ی شهرستانک در آخرین دوره یخچالی پرداخته، ایشان با ادغام روش بررسی سیرک‌ها و روش‌های آماری، ارتفاع ۲۶۱۶ متر را برای برف‌مرز دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی پیشنهاد نمودند.

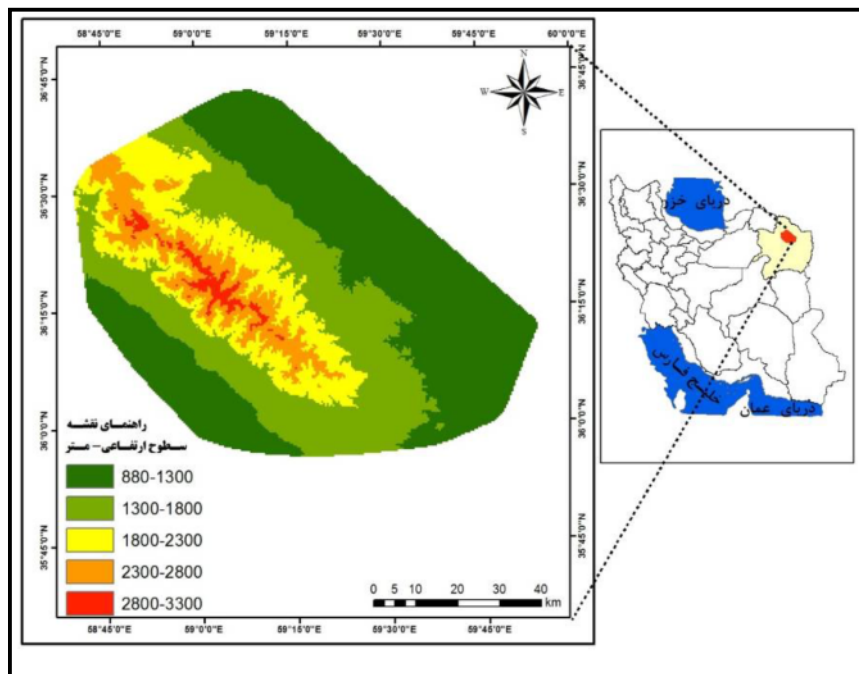
از دیگر پژوهش‌های موردتوجه در زمینه‌ی ردیابی آثار یخچال‌های کواترنری در ایران، می‌توان به مطالعات رامشت و پوردهقان (۱۳۸۷) در حاشیه کویر لوت در منطقه‌ی دهبکری شهر بم اشاره کرد که ایشان بر اساس مطالعات ژئومورفیک و دانه‌سنجی رسوبات، خط‌مرز برف دائمی را در ارتفاع ۲۶۴۰ متری محاسبه نموده و منطقه‌ی دهبکری بم را به‌عنوان بزرگ‌ترین برفخانه‌ی ایران در آخرین فاز یخچالی دوران چهارم معرفی می‌نماید.

رامشت و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی آثار یخچالی در منطقه ماهان کرمان نمودند بر اساس نتایج ایشان خط‌مرز برف در ارتفاع ۲۹۰۰ متر و خط تعادل آب و یخ در ارتفاع ۱۹۰۰ متری قرار دارد همچنین نتایج تحقیق ایشان اختلاف دمای حال و گذشته را حدود ۸/۵ درجه سانتی‌گراد و اختلاف بارش فعلی و گذشته را در حدود ۳۰۰ میلی‌متر برآورد نمودند.

این تحقیق یک تحقیق بنیادی است که هدف از آن بررسی لندفرم‌های یخچالی در ارتفاعات بینالود، تعیین مرزهای یخچالی در کواترنری، مطالعه اختلاف دمای کنونی و کواترنری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل ارتفاعات بینالود در شمال شرق ایران و در استان خراسان رضوی است که در بخش غربی حوضه‌ی بزرگ کشف‌رود واقع شده است. موقعیت ریاضی محدوده‌ی مطالعاتی در حدفاصل ۵۵° ۳۵' تا ۵۰° ۳۶' عرض شمالی و بین ۵۸° ۳۵' تا ۵۹° ۴۰' طول شرقی قرار دارد (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد) (شکل ۱).

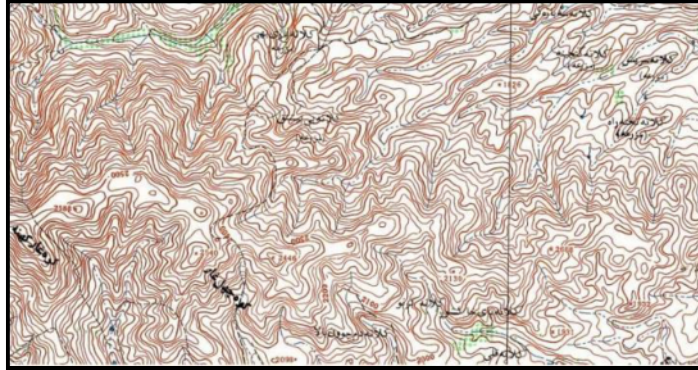


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

هدف از این پژوهش شناسایی شواهد یخچالی و تعیین ارتفاع برف‌مرز دائمی کواترنری پایانی رشته‌کوه بینالود می‌باشد. مطالعه با تحدید منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی آغاز شد. برای تهیه نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای حال حاضر منطقه از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های مشهد، نیشابور، طرق، اخمد، چناران، شاندیز، طرقله،

شناسایی شدند (شکل ۲). این عوارض که روی نقشه‌های توپوگرافی به شکل نعل اسب هستند، چنانچه در ارتفاع بالای ۲۴۰۰ متر واقع شوند، احتمال بیشتری برای نسبت دادن آن‌ها به فعالیت‌های یخچالی وجود دارد.



شکل ۲: انعکاس آثار پهنه‌های یخی در نقشه‌های توپوگرافی بینالود (منبع: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شیت II 7862، پیوه‌ژن)

سیرک‌های شمارش شده روی ارتفاعات بینالود افزون بر ۳۹ سیرک بزرگ و کوچک است که بین ارتفاع ۲۰۵۰ تا ۳۳۸۰ متری توزیع شده‌اند. همان گونه که در جدول (۱) بیان شده، تراکم سیرک‌ها در ارتفاع ۲۳۵۰ تا ۲۵۰۰ متر بیشتر از بقیه ارتفاعات است به طوری که حدود ۵۰ درصد آن‌ها در این ارتفاع تمرکز یافته‌اند.

جدول ۱: بررسی سیرک‌های موجود بر روی ارتفاعات بینالود

ردیف	ارتفاع	تعداد سیرک‌ها	درصد سیرک‌ها	درصد تجمعی
۱	۲۰۵۰ - ۲۱۰۰	۱	۲,۵۶٪	۲,۵۶٪
۲	۲۱۰۰ - ۲۱۵۰	۲	۵,۱۲٪	۷,۶۸٪
۳	۲۱۵۰ - ۲۲۰۰	۲	۵,۱۲٪	۱۲,۸٪
۴	۲۲۰۰ - ۲۲۵۰	۲	۵,۱۲٪	۱۷,۹۲٪
۵	۲۲۵۰ - ۲۳۰۰	۲	۵,۱۲٪	۲۳٪
۶	۲۳۰۰ - ۲۳۵۰	۵	۱۲,۸۲٪	۳۵,۸۶٪
۷	۲۳۵۰ - ۲۴۰۰	۹	۲۳٪	۵۸,۸٪
۸	۲۴۰۰ - ۲۴۵۰	۶	۱۵,۳۸٪	۷۴,۲۴٪
۹	۲۴۵۰ - ۲۵۰۰	۶	۱۵,۳۸٪	۸۹,۶٪
۱۰	۲۵۰۰ - ۲۵۵۰	۲	۵,۱۲٪	۹۴,۷٪
۱۱	۲۵۵۰ - ۲۶۰۰	۲	۵,۱۲٪	۱۰۰٪
-----	جمع کل	۳۹	۱۰۰٪	-----

شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها

سیرک

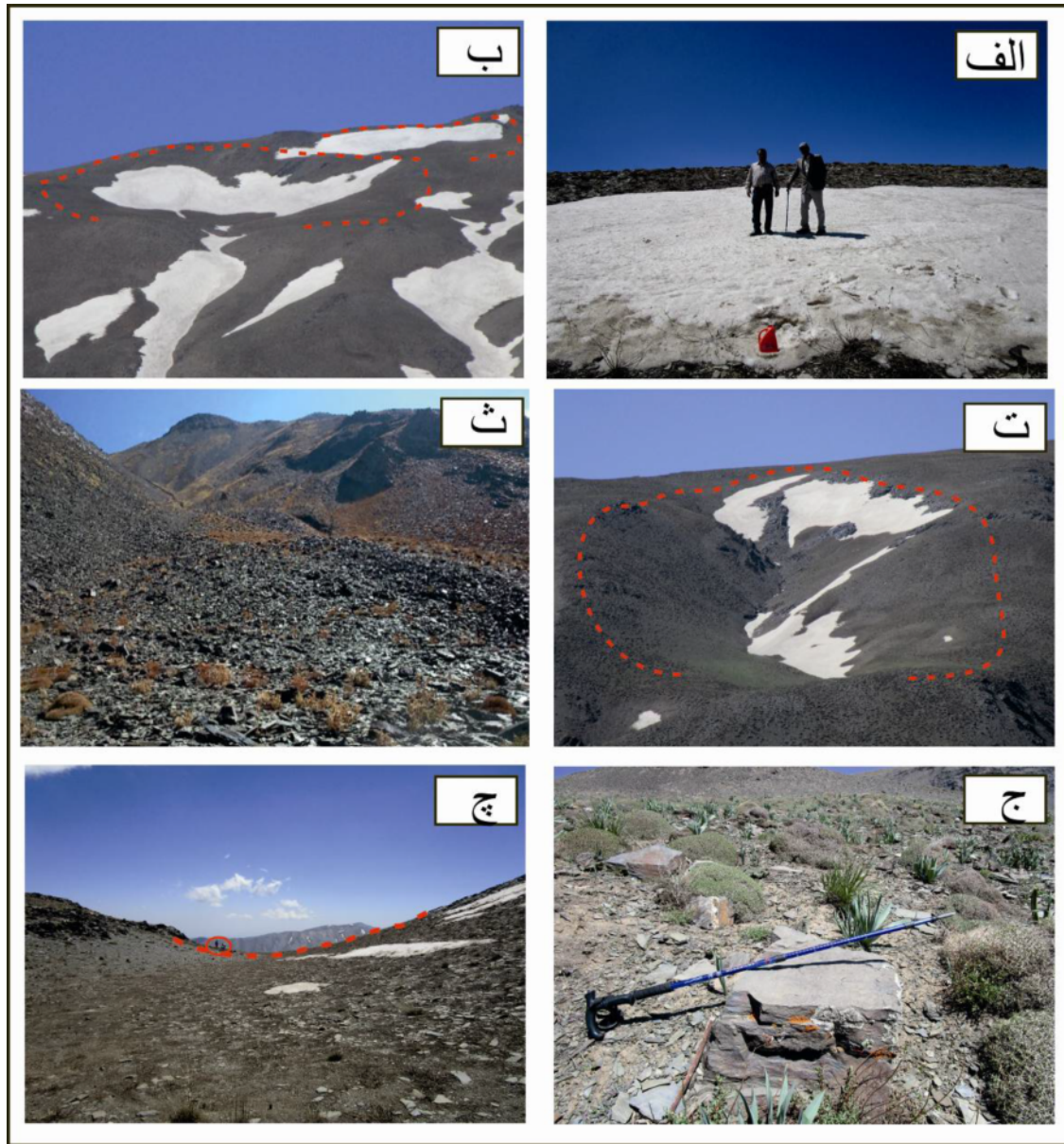
اولین و ساده‌ترین شکلی که یخچال‌های کوهستانی به وجود می‌آورند، سیرک یخچالی است (محمودی ۱۳۸۶). این عارضه به صورت چاله نیم‌دایره به دیواره‌های بلند و تند محدود می‌شود و به صورت آمفی‌تئاتر در بالادست دره‌های یخچالی شکل می‌گیرد. پس از ذخیره شدن برف در سیرک، جریان یخی شکل می‌گیرد و به صورت رودخانه‌ای به سمت پایین جریان می‌یابد (پاریزی ۱۳۹۲، به نقل از کافمن، ۱۹۹۲) بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که در این منطقه سیرک‌های متعددی وجود دارد (اشکال ۳ الف، ۳ ب و ۳ ج) که بین ارتفاع ۲۳۵۰ تا ۳۳۸۰ متری واقع شده است (جدول ۱).

تیل یا یخرفت

وقتی که دوره یخبندان به پایان می‌رسد، یخ‌ها تمام رسوباتی را که با خود حمل کرده‌اند، روی زمین باقی می‌گذارند و از یک پوشش ناهموار به نام تیل یا یخرفت به وجود می‌آورند (اشکال ۳) ث و ۳) ج). آنچه تیل یا یخرفت را از رسوبات دیگر جدا می‌کند و ویژگی عادی این رسوبات به شمار می‌رود نبود لایه‌بندی و عدم جورشدگی دانه‌هاست. این رسوبات برخلاف نهشته‌های آبی هیچ نشانی از لایه‌بندی ندارند و در آن ریزترین دانه‌های رس همراه با تخته‌سنگ‌ها در ساختار بی‌نهایت بی‌نظم درهم آمیخته‌اند (پاریزی به نقل از کرسول، ۱۳۹۲). در منطقه موردنظر سازند موجود از نوع شیل و شیست می‌باشد و با توجه به فعالیت شدید فرسایش مکانیکی (ترموکلاستی و کریوکلاستی) تقریباً بخش اعظمی از این دانه‌بندی توسط واریزه‌های حاصل از این نوع فرسایش مدفون شده است و فقط در نقاط محدودی قابل ردیابی است).

دره‌های یخچالی

یکی از اشکال مهم یخچال‌های کوهستانی، دره‌های یخچالی هستند که اغلب از قبل وجود داشته و زبانه‌های یخچالی به شدت دستکاری شده‌اند. این دره‌ها، جداری پرشیب دارند و برش عرضی آن‌ها به شکل U است (محمودی، ۱۳۸۶). در واقع یخچال‌ها همان‌گونه 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 است (دیلج ۱۹۹۸: ۴۱۰ به نقل از رجبی و خطیبی، ۱۳۸۷). به نظر می‌رسد دره‌های یخچالی در بینالود به دلیل تغذیه اندک سیرک‌های یخچالی نتوانسته‌اند فاصله زیادی از خروجی کف سیرک طی کنند و گسترش زیادی نداشته‌اند (شکل ۳) ث).



شکل ۳: الف) (ب و ت) - سیرک‌های یخچالی و آثار باقی‌مانده. ث) - تیل یا یخرفت در ارتفاعات محدوده مورد مطالعه ج).
تخته‌سنگ‌های بجا مانده از فعالیت‌های یخچالی در محدوده مورد مطالعه. ج) - آثار دره‌های یخچالی گسترش نیافته

ردیابی آثار یخچالی بر اساس شواهد اقلیمی

از جمله دلایل مهمی که می‌توان با توجه به آن وجود یخچال‌های کواترنری 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. لذا برای تهیه نقشه هم‌دمای فعلی بینالود بعد از تهیه داده‌های دمایی ایستگاه‌های مشهد، نیشابور، طرق، اخلمد، چناران، شاندیز، طرهبه، کنگ، گلمکان، ارسلان، امین‌آباد، سلطان‌آباد و چکنه رابطه بین دما و ارتفاع آن‌ها محاسبه شد، سپس میانگین دمای سالانه رشته‌کوه بینالود در عصر حاضر به دست آمد.

نقشه هم‌دمای فعلی منطقه نشان می‌دهد که حداقل دمای متوسط سالانه منطقه برابر ۳ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۳۳۰۰ متری است و حداکثر دمای متوسط سالانه برابر با ۱۵٫۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۸۷۰ متری است (شکل ۴).

تخمین دمای بینالود در کوتاه‌تر

برای تخمین میزان دمای محیطی گذشته، بعد از تعیین خط‌مرز برف دائمی منطقه در زمان گذشته، همبستگی بین دما و ارتفاع ایستگاه‌های موردنظر با استفاده از رابطه خطی محاسبه شد و معادله خطی آن به صورت $T = -0/005H + 19/148$ به دست آمد. سپس با استفاده از این رابطه افت آدیاباتیک دمای حال حاضر منطقه به میزان $0/62$ درجه سانتی‌گراد به ازای هر 100 متر ترفیع مکانی محاسبه شد. سپس با استفاده از ارتفاع خط‌مرز برف دائمی گذشته بینالود و افت آدیاباتیک آن نقشه هم‌دمای گذشته منطقه آماده شد (شکل ۵).

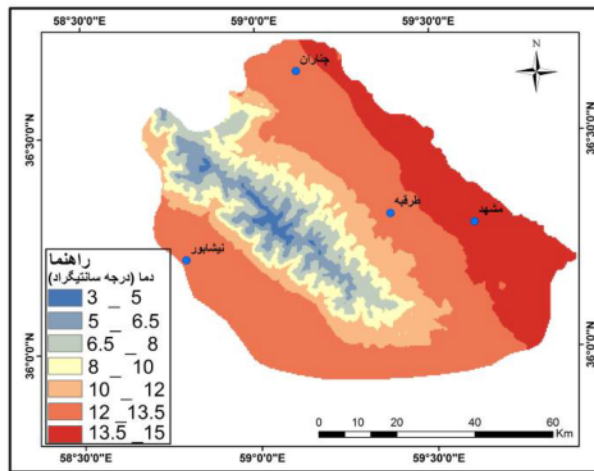
همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداقل دمای متوسط سالانه بینالود در زمان حاکمیت یخچال‌ها برابر $5/8$ - درجه سانتی‌گراد در ارتفاع 3308 متری و حداکثر دمای متوسط سالانه منطقه برابر با $9/5$ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع 870 متری بوده است. مقایسه نقشه هم‌دمای فعلی و گذشته منطقه حاکی از آن است که رشته‌کوه بینالود در کوتاه‌تر حدود $8/8$ درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان فعلی سردتر بوده است. البته این میزان تفاوت برای همه نقاط منطقه یکسان نبوده و تحت‌تأثیر ارتفاع افزایش می‌یافته است، به طوری که بیشترین تفاوت حرارتی مربوط به مرتفع‌ترین قسمت و کمترین تفاوت مربوط به پست‌ترین نقطه منطقه بوده است. برای بازسازی شرایط رطوبتی گذشته، با توجه به اینکه از بیان آبی گذشته اطلاعاتی در دست نبود نیاز به نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای فعلی منطقه داشتیم. برای تهیه نقشه هم‌بارش فعلی منطقه بعد از تهیه داده‌های بارشی ایستگاه‌های موجود رابطه بین بارش و ارتفاع محاسبه و نقشه میانگین سالانه بارش منطقه در عصر حاضر در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه شد (شکل ۶ الف).

نقشه هم‌بارش حال حاضر منطقه نشان می‌دهد که میانگین سالانه حداقل بارش منطقه برابر با 196 میلی‌متر و میانگین حداکثر بارش برابر با 551 میلی‌متر در مرتفع‌ترین قسمت منطقه است.

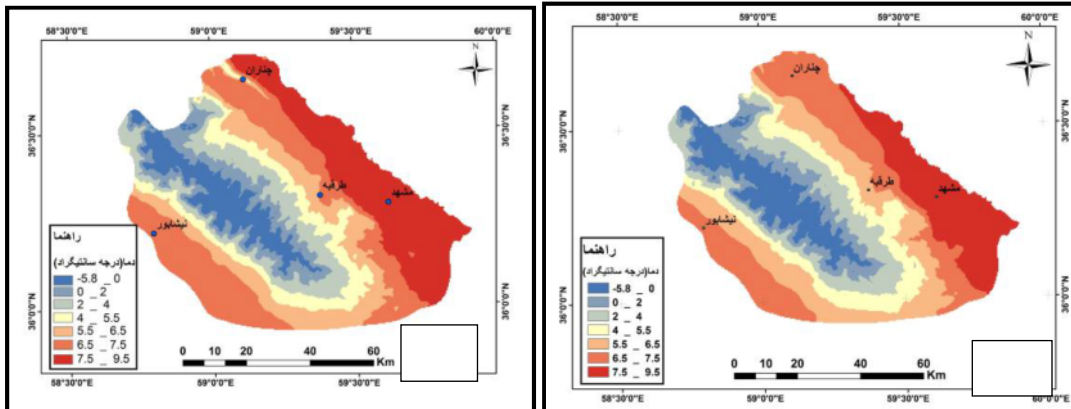
برآورد میزان بارش بینالود در کوتاه‌تر

در این راستا بعد از همپوشانی نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای فعلی منطقه در نرم‌افزار ArcGIS 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 منطقه در دوره حاکمیت یخچال‌ها تهیه شد (شکل ۶ ب).

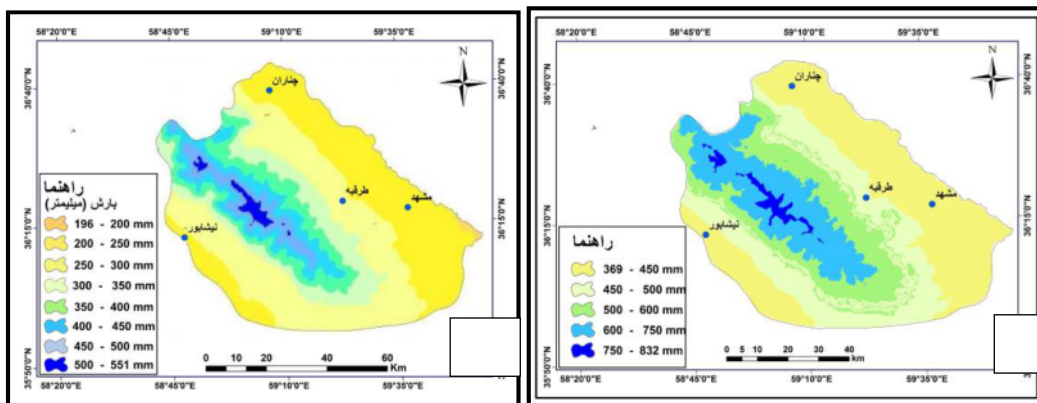
نقشه هم‌بارش منطقه در کوتاه‌تر حاکی از آن است که حداقل بارش در آن زمان برابر با 369 میلی‌متر در پست‌ترین نقطه و حداکثر مقدار بارش برابر با 832 میلی‌متر در مرتفع‌ترین بخش بوده است. مقایسه نقشه‌های هم‌بارش حال و گذشته منطقه نشان می‌دهد که میزان رطوبت محیطی در دوره‌ای که دمای محیط به میزان $8/8$ درجه سانتی‌گراد کمتر بوده با مقدار بارش‌های فعلی تفاوت چشمگیری داشته است. به طوری که میزان بارش در زمان حاکمیت یخچال‌ها در ارتفاعات پایین بیش از دو برابر و در ارتفاعات بالا کمابیش $1/5$ برابر مشاهده شد. این مقدار تغییر در رطوبت و دمای محیطی، به همراه نوع سازند موجود (شیبست و شیل) منطقه تغییر اساسی در سیستم شکل‌زایی منطقه به وجود آورده، به گونه‌ای که از سیستم شکل‌زایی یخچالی در حال حاضر نشانی در دست نیست.



شکل ۴: نقشه همدمای کنونی محدوده‌ی مورد مطالعه



شکل ۵: الف: نقشه هم‌دما به روش راییت. ب: نقشه هم‌دما به روش پورتر



شکل ۶: الف: نقشه طبقه‌بندی بارش در دوره‌های قدیمی‌تر کواترنر ب: نقشه بارندگی سالیانه کنونی

تخمین خط‌مرز برف دائمی رشته‌کوه بینالود

تخمین خط‌مرز برف دائمی رشته‌کوه بینالود در کواترنر به روش راییت

روش راییت که یکی از روش‌های تعیین برف‌مرز دائمی شناخته می‌شود، بر شمارش سیرک‌های کوچک و محاسبه ارتفاع مدخل خروجی آن‌ها استوار است (رامشت به نقل از پاریزی، ۱۳۹۲: ۱۱۷). بر اساس سیرک‌های شمارش شده به روش راییت، خط ۶۰ درصد سیرک‌های منطقه مشخص شد. این خط ارتفاعی 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 ۲۳۴۵ متری برآورد شده است (شکل ۸ الف).

تخمین خط مرز برف دائمی رشته کوه بینالود در کوتاه‌ترین به روش پورتر

روش 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 پنج‌گانه‌ی پورتر، با توجه به بارز بودن شواهد سیرک‌های یخچالی، روش مطالعه کف سیرک برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است (شکل ۸ ب). 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 بنابراین روش ارتفاع کف سیرک برای تعیین ارتفاع (خط تعادل) به کار می‌رود (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۸، به نقل از یمانی، ۱۳۸۶) برای استفاده از این روش به منظور پی‌بردن به برف‌مرز گذشته و خط تعادل آب و یخ در منطقه مورد مطالعه بعد از آماده کردن جدول ۲، از رابطه ۲ برای محاسبه نما یا مد استفاده شده است.

$$m_o = L + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times h \quad (\text{رابطه ۲})$$

L: حد پایین رده نمادار

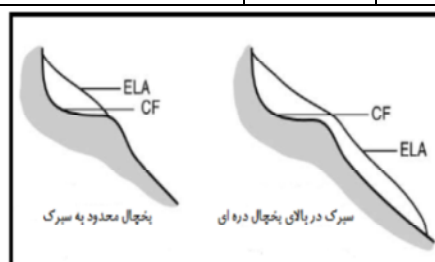
d₁: تفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار، از فراوانی رده نمادار

d₂: تفاضل فراوانی رده مابعد رده نمادار، از فراوانی رده نمادار

h: فاصله رده‌ها

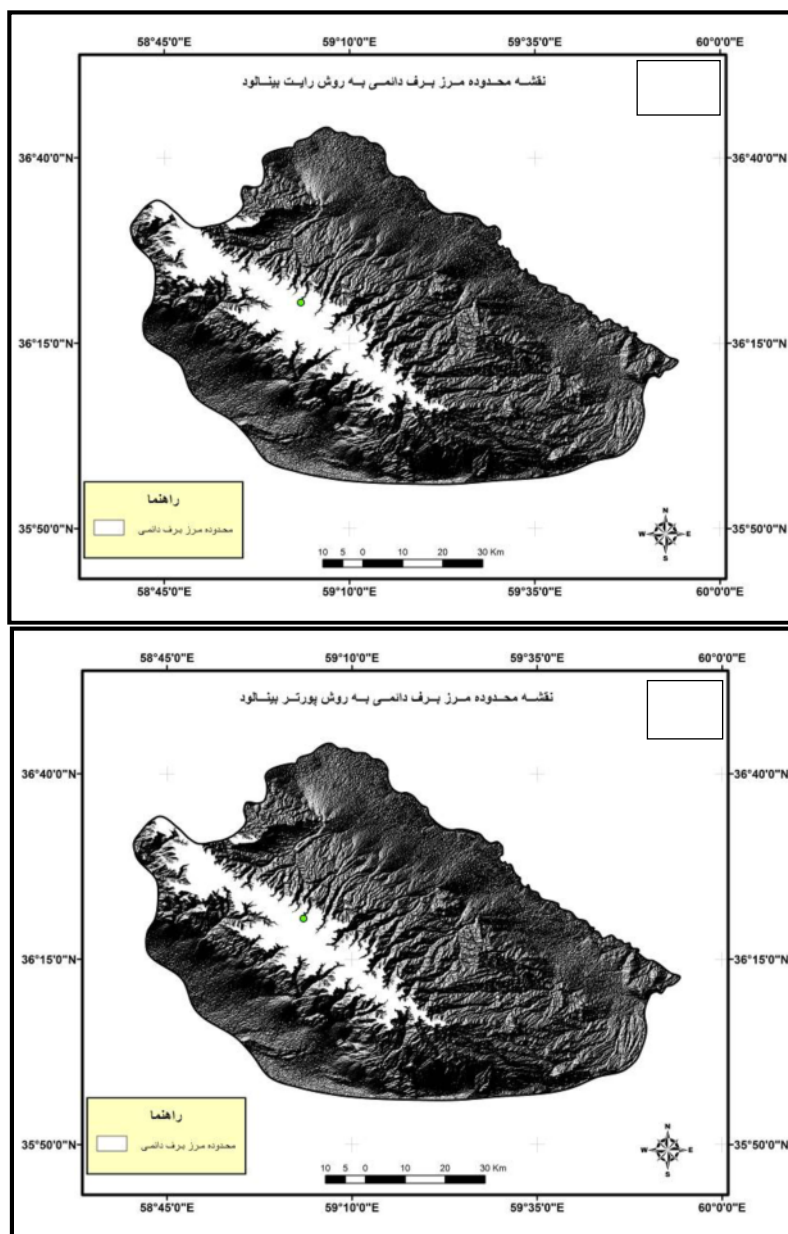
جدول ۲: توزیع فراوانی ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در رشته کوه بینالود

ردیف	ارتفاع	فراوانی سیرک‌ها	دامنه شمالی بینالود	دامنه جنوبی بینالود
۱	۲۰۵۰ - ۲۱۰۰	۱	۱	-----
۲	۲۱۰۰ - ۲۱۵۰	۲	-----	۲
۳	۲۱۵۰ - ۲۲۰۰	۲	۱	۱
۴	۲۲۰۰ - ۲۲۵۰	۲	۱	۱
۵	۲۲۵۰ - ۲۳۰۰	۲	۲	-----
۶	۲۳۰۰ - ۲۳۵۰	۵	۳	۲
۷	۲۳۵۰ - ۲۴۰۰	۹	۵	۴
۸	۲۴۰۰ - ۲۴۵۰	۶	۱	۵
۹	۲۴۵۰ - ۲۵۰۰	۶	۳	۳
۱۰	۲۵۰۰ - ۲۵۵۰	۲	۱	۱
۱۱	۲۵۵۰ - ۲۶۰۰	۲	۱	۱
-----	جمع کل	۳۹	۱۹	۲۰



شکل ۷: روش ارتفاع کف سیرک (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۸، به نقل از یمانی، ۱۳۸۶)

ارتفاع برف‌مرز آخرین دوره یخچالی برابر با مقدار نما در ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی است (بیمانی به نقل از پاریزی ۱۳۹۲: ۱۱۹). همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار نما در محدوده مورد مطالعه ۲۳۶۰ متری قرار داشته است که در مقایسه با راییت ۲۵ متر اختلاف دارد.



شکل ۸: الف: نقشه محدوده برف‌مرز به روش راییت ب: نقشه محدوده برف‌مرز به روش پورتر

نتیجه‌گیری

کشور ایران از جمله مناطقی بوده است که در دوران کواترنری تحت تأثیر تناوب دوران یخبندان و بین‌یخبندان قرار گرفته است اما ابعاد و دامنه این تغییرات در تمام عرض‌های آن به یک صورت نبوده است. بنابراین اثبات این ادعا که ارتفاعات بینالود در شمال شرق ایران تحت تأثیر یخبندان‌های کواترنری قرار داشته در نگاه اول با شک و تردید همراه است اما نتایج این پژوهش پس از بررسی شواهد ژئومورفولوژی موجود و بازدیدهای میدانی نشان می‌دهد که ارتفاعات بینالود در دوران کواترنری تحت تأثیر اقلیم سرد و یخچالی قرار داشته است به طوری که حداقل دمای متوسط سالانه بینالود در زمان

حاکمیت یخچال‌ها برابر ۵/۸- درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۳۳۰۸ متری و حداکثر دمای متوسط سالانه منطقه برابر با ۹/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۸۷۰ متری بوده است. مقایسه نقشه هم‌دمای فعلی و گذشته منطقه حاکی از آن است که رشته‌کوه بینالود در کوتاه‌ترین حدود ۸/۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان فعلی سردتر بوده است. البته این میزان تفاوت برای همه نقاط منطقه یکسان نبوده و تحت تأثیر ارتفاع افزایش می‌یافته است، به طوری که بیشترین تفاوت حرارتی مربوط به مرتفع‌ترین قسمت و کمترین تفاوت مربوط به پست‌ترین نقطه منطقه بوده است. حداقل بارش در آن زمان برابر با ۳۶۹ میلی‌متر در پست‌ترین نقطه و حداکثر مقدار بارش برابر با ۸۳۲ میلی‌متر در مرتفع‌ترین بخش بوده است. مقایسه نقشه‌های هم‌بارش حال و گذشته منطقه نشان می‌دهد که میزان رطوبت محیطی در دوره‌ای که دمای محیط به میزان ۸/۸ درجه سانتی‌گراد کمتر بوده با مقدار بارش‌های فعلی تفاوت چشمگیری داشته است. به طوری که میزان بارش در زمان حاکمیت یخچال‌ها در ارتفاعات پایین بیش از دو برابر و در ارتفاعات بالا کمابیش ۱/۵ برابر مشاهده شد. بر اساس بررسی‌های صورت‌گرفته حدود ۳۹ سیرک یخچالی در منطقه شناسایی شده است که حداقل ارتفاع شناسایی شده برای سیرک‌های منطقه ارتفاع ۲۱۰۰ متر می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده خط‌مرز برف دائمی در منطقه در ارتفاع ۲۳۶۰ متری قرار دارد.

این پژوهش به‌عنوان گامی نو در جهت مطالعه‌ی آثار یخبندان‌های کوتاه‌تر در شمال شرق ایران بوده است. امید است این‌گونه مطالعات بنیادی، ضمن شناخت سرگذشت طبیعی ایران، زمینه مناسبی جهت پژوهش در این منطقه از ایران، توسط سایر پژوهشگران و علاقمندان فراهم سازد.

منابع

- المدرسی، سیدعلی و محمدحسین رامشت، ۱۳۸۶، آثار یخساری و یخچالی شیرکوه یزد در منطقه سخوید، فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۹، صص ۳۱-۱.
- افشاری آزاد، محمدرضا و آیدا پورصبا، ۱۳۸۸، بررسی اشکال یخچالی و حدود گسترش آن در دامنه شمالی کوه سیلان، جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره ۱۳، صص ۳۰۰-۲۸۳.
- پاریزی، اسماعیل و همکاران (۱۳۹۲)، شواهد یخچال‌های کوتاه‌تر پایانی در حوضه تنگ‌تویه سیرجان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، ۱۲۸-۱۱۱.
- جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۸۳، ژئومورفولوژی ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مشهد.
- رامشت، محمدحسین و محمدحسین کاظمی، ۱۳۸۱، آثار یخچالی در حوضه‌ی اقلید فارس، رشد آموزش جغرافیا، دوره‌ی بیست و یکم شماره ۳، صص ۱۱-۲.
- رامشت، محمدحسین و داوود پوردهقان، ۱۳۸۷، یخ در آتش: آثار یخچالی در منطقه‌ی بم، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۹، صص ۱۴۴-۱۳۰.
- رامشت، محمدحسین و همکاران، ۱۳۸۹، ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی (مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲ شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲، صص ۷۸، ۵۹.
- رجبی، معصومه و مریم بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷، بررسی لندفرم‌های دره‌های یخچالی کوهستان سهند، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۸، شماره ۶۴، صص ۱۲۱-۱۰۵.
- طاحونی، پوران، ۱۳۸۳، شواهد ژئومورفیک فرسایش یخچالی پلیستوسن در ارتفاعات طالش، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۷، صص ۵۵-۳۱.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۸، ژئومورفولوژی ایران، چاپ اول، نشر قومس.

- گرسول، ر، کی، آر، ۱۳۹۰، ژئومورفولوژی یخچالی، ترجمه حمزه زمانی، تهران، انتشارات پژوهشی نوآوران شریف.
- نعمت‌اللهی، فاطمه و محمدحسین رامشت، ۱۳۸۴، آثار یخساری در ایران، فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، دوره ۹، شماره ۴، صص ۱۶۲-۱۴۳.
- یمانی، مجتبی، ۱۳۸۱، ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۲، صص ۱۸-۱.
- یمانی، مجتبی، ۱۳۸۶، ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفیک و حدود گسترش آن‌ها)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، صص ۱۳۹-۱۲۵.
- یمانی، مجتبی و حمزه زمانی، ۱۳۸۶، بازیابی حدود برف مرز دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی، جغرافیا، سال پنجم، شماره ۱۲ و ۱۳، صص ۱۱۶-۹۹.
- Brooks, I.A., 1982. *Geomorphological evidence for climatic change in Iran during the last 20000 Years. PPH communities in the eastern Mediterranean region in later prehistory.* British Archeological Reports, International Series, 133, pp.191-230.
- Kurter, A., 1991. *Glaciers of Middle East and Africa-Glaciers of Turkey.* In Satellite image atlas of the world (Vol. 1386, pp. 1-30). USGS Professional Paper.
- Pedrami, M. (1982). *Pleistocene and Paleo Climate in Iran.* Geo, 1, Surv, Tehran.
- Thouret, J.C., 1999. Volcanic geomorphology—an overview. *Earth-science reviews*, 47(1), pp.95-131.