

جغرافیا و توسعه شماره ۵۵ تابستان ۱۳۹۸

وصول مقاله: ۹۷/۰۲/۱۱

تأیید نهایی: ۹۷/۰۷/۰۷

صفحات: ۲۱۰-۱۹۳

برآورد ارتفاع برف‌مرز واحد ژئومورفیک ایران مرکزی

دکتر غلامحسین جعفری^۱، نسرين حضرتی^۲

چکیده

در این مقاله سعی بر این است که ارتفاع برف‌مرز ایران مرکزی با روش‌های رایج، ارتفاع کف سیرک، نسبت پنجه به دیواره و نسبت‌های ارتفاعی برآورد شود و بهترین روش برای برآورد ارتفاع برف‌مرز دائمی معرفی شود. در بررسی اثرگذاری مقدار شیب دامنه‌های کوهستانی و حداکثر ارتفاع قله بر ارتفاع برف‌مرز دائمی برآورد شده، روابط خطی این پارامترها در روش‌های مذکور در دامنه‌های نثار و نگار مرتفع‌ترین قله این واحد کوهستانی محاسبه شد. براساس فرم خطوط منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی، بیش از ۳۳۰۰ سیرک در ایران مرکزی شناسایی شد. امتداد ناهمواری‌ها در بیشتر مناطق ایران مرکزی، شمال غربی- جنوب شرقی و گاهی به‌صورت غربی- شرقی است و بیشتر سیرک‌های یخچالی در دامنه‌های شمال شرق یا جنوب غرب شکل‌گرفته‌اند. نحوه پراکندگی سیرک‌ها حاکی از این است که دامنه‌های نثار (شمال شرقی) واحد ژئومورفیک ایران مرکزی شرایط بهتری برای شکل‌گیری سیرک‌های یخچالی داشته و ۵۷/۷ درصد از سیرک‌ها در دامنه شمال شرقی شناسایی شده‌است. تجزیه و تحلیل ارتفاع برف‌مرزهای برآورد شده در روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش رایج، هم از نظر ارتفاع و هم از نظر اثر جهت بر تفاوت ارتفاع برف‌مرز با شرایط محیطی انطباق بیشتری دارد. ارتفاع برف‌مرز در این واحد بین ۲۷۴۳ متر تا ۳۰۹۸ متر متغیر برآورد شد. متوسط ارتفاع برف‌مرز کواترنری واحد ایران مرکزی ۲۸۵۳ متر بوده‌است. تجزیه و تحلیل اثر مقدار شیب و ارتفاع قله بر تفاوت ارتفاع مرز حاکی از آن است که ۷۷ درصد از اثرگذاری مقدار شیب در دامنه نگار و ۳۵ درصد از اثرگذاری ارتفاع قله مسلط به سیرک در دامنه نثار قابل تبیین است. واژه‌های کلیدی: کواترنری، سیرک، برف‌مرز، نسبت پنجه به دیواره، ایران مرکزی.

مقدمه

ارزیابی تغییرات اقلیمی کواترنری به دلیل انعکاس بر روی سیستم‌های شکل‌زا و فرم‌های ایجادشده بر روی سطح زمین، همواره از بحث‌برانگیزترین و جذاب‌ترین موضوعاتی بوده که توجه ژئومورفولوژیست‌ها را به خود جلب کرده‌است (معیری و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۱۳). در این دوره یخبندان‌های شدید و طولانی‌مدت اتفاق افتاده و یخچال‌هایی را در سراسر کره زمین به‌ویژه ارتفاعات بالا به‌وجود آورده‌است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۱). ماهیت اکثر اشکال سطحی زمین را به شرایط آب و هوایی، به‌ویژه به تحولات شدید و متناوب اقلیمی در دوره کواترنری ارتباط می‌دهند (ابطحی، ۱۳۹۲: ۱۸۶). با این‌وجود موقعیت کنونی ایران و تسلط شرایط خشک و نیمه‌خشک، حاکمیت یخچال‌ها در ایران با شک و تردید همراه ساخته است؛ اما وجود آثار و شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها در مناطق مختلف، حاکی از عملکرد یخچال‌ها در مناطق مختلف آن است (رامشت و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۰). در این واحد ژئومورفیک علی‌رغم خشک‌بودن در یال‌های کوهستانی قله مرتفعی همچون شیرکوه، هزار و لاله‌زار، الوند، سیرچ، بل، شاهان کوه، کرکس و... آثاری وجود دارد که دال بر فعالیت یخچال‌های کواترنری در این منطقه است. بر این اساس در این پژوهش سعی بر آن است که با توجه به شواهد موجود در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، به کمک آثار باقی‌مانده از فرایندهای یخچال، ارتفاع برف‌مرز کواترنری برآورد شود.

پیشینه تحقیق

پورتر (۱۹۸۹) معتقد است که در بررسی یخچال‌های کواترنری معمولاً محققان مرحله حداکثر گسترش یخچال را مدنظر قرار می‌دهند و آن را از طریق لندفرم‌هایی همچون سیرک‌ها، مورن‌ها، فیوردها و دیگر فرم‌های یخچالی دنبال می‌کنند. کلمن و استرون (۱۹۹۷) در بررسی ژئومورفولوژیکی

شمال غرب سوئد به این نتیجه رسیدند که در طی ۲/۵ میلیون سال گذشته، یخچال به شکل‌های مختلف سیرکی، فلاتی و صفحه‌ای منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌است. ژنگ و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی وضعیت یخچال‌های فلات قوینفای- تیبیان دریافتند که در طی کواترنری، چهار دوره یخچالی وجود داشته که در حداقل دمای کواترنری، یخچال بیش از ۵۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع از فلات را تحت تأثیر قرار می‌داده است.

هوقس و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی یخچال‌های کواترنری کوه‌های مدیترانه، به این نتیجه رسیدند که طی ۱۲۰ هزار سال گذشته، نواحی کوهستانی تحت تأثیر سه دوره یخچالی قرار داشته‌اند. آن‌ها معتقدند که با توجه به عرض جغرافیایی منطقه، یخچال‌ها در برابر تغییرات اقلیمی بسیار حساس هستند و سریع واکنش نشان می‌دهند. دورتچ و همکاران (۲۰۱۰) ارتفاع برف‌مرز دائمی کواترنری دامنه‌های شمالی ارتفاعات لاداخ، واقع در شمال‌ترین قسمت هند را پایین‌تر از سایر دامنه‌ها برآورد کردند. روی و لاجنیت (۲۰۱۰) برف‌مرز دائمی یخچال‌های کواترنری را در دامنه‌های مختلف فلات یخچالی گواتمالای آمریکای مرکزی، در اقل کواترنری ۳۴۷۰ تا ۳۶۷۰ متر برآورد کردند که نسبت به ارتفاع برف‌مرز دائمی کنونی با توجه به خط هم‌دمای صفر درجه (ارتفاع ۴۸۴۰ متر) ۱۱۳۶ تا ۱۴۳۶ متر متفاوت است. سررانو و همکاران (۲۰۱۳) ارتفاع برف‌مرز دائمی کوه‌های مرکزی کانتابریان شمال اسپانیا را به دو روش AAR و THRR به ترتیب ۲۰۵۰ و ۲۱۳۰ متر برآورد کردند. اوانس و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش ارتفاع کف سیرک، برف‌مرز دائمی کواترنری کوه‌های آلپ در رومانی را بیش از ۱۰۰۰ متر پایین‌تر از شرایط کنونی برآورد کرده‌اند.

یسلیورت و همکاران (۲۰۱۶) ارتفاع برف‌مرز دائمی کواترنری کوه‌های شرقی ترکیه را با دو روش ارتفاع کف سیرک و نسبت‌های ارتفاعی، ۲۹۰۰ متر

کواترنری داشته‌است. جعفریگلو و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی آثار یخچالی کوهستان بیدخوان کرمان، وجود اشکال یخچالی مثل سیرک و دره‌های یخچالی را تأیید کردند. قهرودی‌تالی و همکاران (۱۳۹۴) ارتفاع برفمرز حوضه دالاخانی کرمانشاه را در آخرین دوره یخچالی ۲۸۲۰ متر برآورد کردند.

شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی شواهد یخچالی در قسمت‌هایی از زاگرس چین‌خورده، حاکمیت قلمروهای یخچالی و مجاور یخچالی را مورد تأیید قرار دادند. جعفری و همکاران (۱۳۹۴) با سه روش رایت، شیب-جهت و ضریب خمیدگی به بازسازی ارتفاع برفمرز کواترنری الوند همدان پرداختند. نتیجه مطالعات آن‌ها، مناسب‌تر بودن دامنه‌های نثار را برای شکل‌گیری و فعالیت یخچالی کواترنری مورد تأیید قرار داده‌است. سیف و همکاران (۱۳۹۴) با بازسازی برفمرز پلنیستوسن در سایت ریگ به این نتیجه رسیدند که هرچند این مناطق در شرایط کنونی امکان تشکیل یخچال را ندارند؛ ولی در گذشته لندفرم‌های متعددی، تحت تأثیر فرایندهای یخچالی شکل گرفته‌اند. قربانی شورستانی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (کوه بینالود) به این نتیجه رسیدند که سیرک‌های یخچالی کواترنری بین ۲۱۰۰ تا ۳۳۸۰ متری پراکنده شده و ارتفاع برفمرز بین ۲۳۵۰ تا ۲۵۰۰ متر قرار داشته‌است. خوش‌رفتار و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی در کوه شاه البرز با روش‌های تجربی، وجود فرایند یخچال کواترنری را در دامنه شمالی آن که هم‌اکنون تحت تأثیر فرسایش آبی است، مورد تأیید قرار دادند. یافته‌های شریفی و همکاران (۱۳۹۵) در دشت ابراهیم‌آباد یزد حاکی از آن است که هرچند درحال حاضر آب‌وهوای غالب ایران مرکزی، گرم و خشک است؛ ولی وجود لندفرم‌های موجود در منطقه،

بالتر از سطح دریا برآورد کردند که نسبت به ارتفاع برفمرز کنونی در حدود ۸۰۰ متر پایین‌تر بوده‌است. بروک و کیرکبرید (۲۰۱۸) در تحقیقی ارتفاع برفمرز دائمی ناحیه تاراوای ایسلند را برای شرایط کنونی ۱۲۰۰ متر برآورد کردند؛ درحالی که آن‌ها معتقدند در دوره کواترنری، این ارتفاع هم‌سطح دریا و حتی پایین‌تر از آن بوده‌است. علاوه بر نامبردگان، محققانی همچون اسپوتیلا و همکاران (۲۰۰۴)، اوسکاین و همکاران (۲۰۰۵)، میشل و همکاران (۲۰۰۵)، ایوانس و رد (۲۰۰۳)، ناپیرالسکی و همکاران (۲۰۰۷)، سربیکایا و همکاران^۱ (۲۰۰۹)، سربیکایا و همکاران (۲۰۱۱)، میندراسکو^۲ (۲۰۱۴)، بار^۳ و اسپاگنولو^۴ (۲۰۱۵) در ارتباط با فعالیت یخچال‌های کواترنری در نقاط مختلف جهان مطالعاتی انجام داده‌اند.

در طی چند دهه اخیر، مطالعات یخچال‌شناسی در ایران نیز توسط محققان زیادی مورد توجه قرار گرفته‌است؛ از جمله: قهرودی‌تالی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی حوضه آبریز رودخانه زاب، ارتفاع برفمرز کواترنری را ۱۶۵۰ متر برآورد کردند و تأکید کردند که نهشته‌های تولیدشده در اثر فرسایش یخچالی، در دوره‌های بین یخچالی، دامنه‌های این حوضه را پوشانده‌است. سرور و مجتهدی (۱۳۹۰) در البرز غربی (کوه خشچال) مطالعاتی انجام دادند و شکل‌گیری یخچال توسط سه عامل زمین‌ساخت، ریخت‌شناسی و تغییرات آب‌وهوایی را در این منطقه تأیید کردند. پاریزی و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه شواهد یخچال‌های کواترنری پایانی در تنگه سیرجان پرداختند. جعفری و اصغری سراسکانرودی (۱۳۹۳) آثار یخچالی کواترنری زنجان‌رود را مطالعه کردند و این موضوع را تأیید کردند که در نواحی کوهستانی با ارتفاع بیش از ۱۸۰۰ متری در منطقه مورد مطالعه، شرایط مساعدی برای شکل‌گیری سیرک‌های یخچال

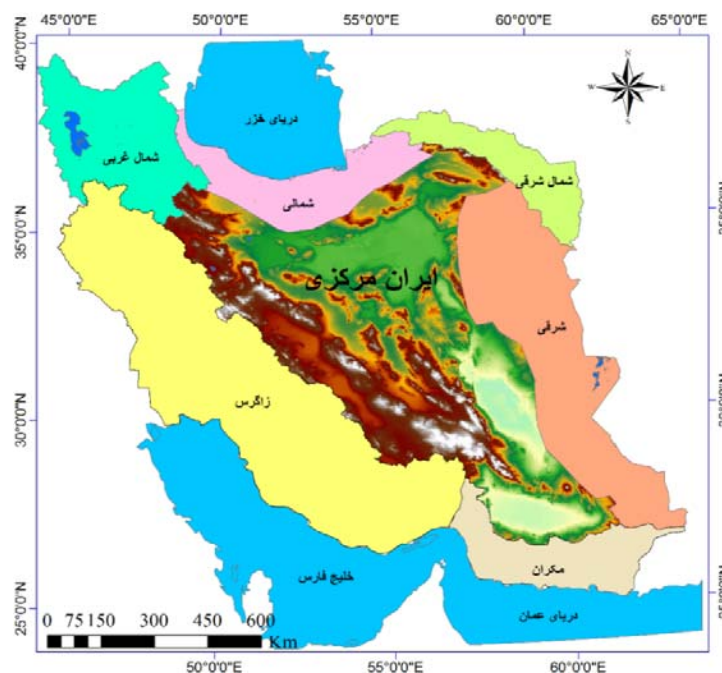
1-Sarikaya
2-Mindrescu
3-Barr
4-Spagnolo

مساحت ایران را شامل می‌شود که از شمال با رشته‌کوه البرز و از طرف غرب و جنوب غرب با کوه‌های زاگرس، از سمت جنوب و شرق به ترتیب با رشته‌کوه‌های مکران و شرقی محدود می‌شود (شکل ۱). وجود کوهستان‌های اطراف منطقه، امکان نفوذ توده هوای مرطوب را به ایران مرکزی محدود کرده است و باعث ایجاد شرایط خشک در اغلب مساحت منطقه می‌شود. این امر سبب کاهش نزولات جوی و افزایش دامنه تغییرات دما بین شب و روز و فصول گرم و سرد سال شده است. در ایران مرکزی دما از شمال غرب به جنوب شرق افزایش می‌یابد. ارتفاع نسبی منطقه کمتر است. تغییرات بارش در منطقه جهت‌گیری خاصی ندارد (امیدوار و جعفری ندوشن، ۱۳۹۶: ۲۲).

نشان‌دهنده آب‌وهوای سردتر و مرطوب‌تر در گذشته است. شریفی پیچون و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی شیرکوه یزد، ارتفاع برف‌مرز گذشته را ۲۲۰۰ متر برآورد کردند. ملکی و همکاران (۱۳۹۷) ارتفاع برف‌مرز کواترنری را با استفاده از روش پورتر در ارتفاعات چهل‌چشمه و سارال کردستان ۲۴۸۳ متر برآورد کردند که نسبت به البرز و زاگرس در ارتفاع پایین‌تری برآورد شده است.

منطقه مورد مطالعه

ایران مرکزی محدوده مثلثی‌شکلی است که در مختصات جغرافیایی ۵۱ تا ۵۸ درجه طول شرقی و ۲۹ تا ۳۴ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و ۳۷۶/۶۴۲ کیلومتر مساحت دارد و ۲۳ درصد از



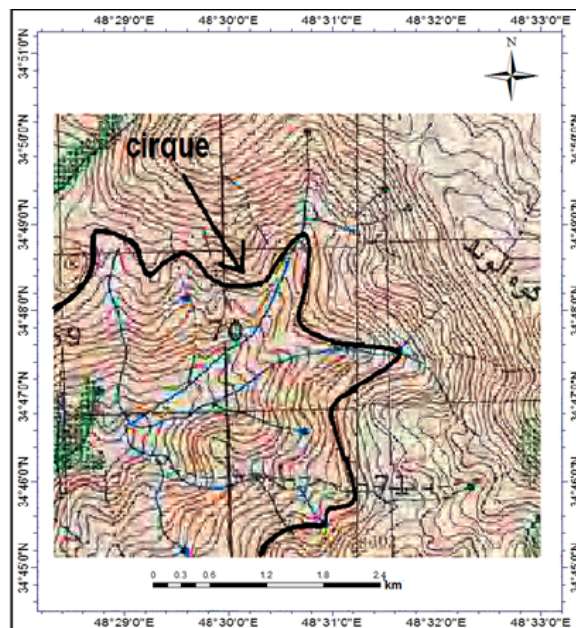
شکل ۱: موقعیت مکانی واحد ژئومورفیک ایران مرکزی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

مواد و روش‌ها

در برآورد ارتفاع برفمرز کوتاه‌تری، قدم اول، شناسایی سیرک‌های یخچالی به‌عنوان مهم‌ترین شاهد فرایند یخچالی است. برای ردیابی سیرک‌های منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، لایه خطوط منحنی میزان، مدل ارتفاعی رقومی ۳۰*۳۰ و نرم‌افزارهای GIS، Global Mapper استفاده شد. نقشه‌های توپوگرافی، عوارض و ناهمواری‌ها را با خطوط منحنی تراز به‌وضوح نشان می‌دهند. این خطوط تراز در

منطقه یخچالی، فرم پنجه‌ای شکل را برای شناسایی سیرک‌ها به‌وجود آورده‌است. فرم منحنی میزان‌ها در چنین مناطقی به شکل آبشخوermannند یا U است که در اثر تجمع یخچال در طی زمان به‌وجود آمده‌است. اگر چنین فرم‌هایی از ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متری در زاگرس یا ایران مرکزی یافت شوند، بدون تردید می‌توان آن‌ها را به فرایندهای یخچالی نسبت داد (رامشت، ۱۳۹۴: ۶۸) (شکل ۲).



شکل ۲: انعکاس سیرک یخچالی در خطوط منحنی تراز الوند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

گرفته شد. با توجه به امتداد ناهمواری‌های واحد ایران مرکزی (شمال‌غربی - جنوب‌شرقی) و اثر دامنه‌ها در شکل‌گیری سیرک، ارتفاع برفمرز در دامنه‌های شمال شرقی و جنوب غربی این واحد برآورد شد. در برخی نواحی مثل حوضه کویر درانجیر، امتداد ناهمواری‌ها غربی - شرقی است. ارتفاع برفمرز کوتاه‌تری برای دامنه‌های شمالی و جنوبی برآورد شد.

بررسی ارتفاع برفمرز واحد برای منطقه‌ای که امتداد ناهمواری‌های آن باعث شکل‌گیری یخچال در دامنه‌های متفاوت می‌شود، خالی از اشکال نیست؛ به‌همین دلیل، ابتدا ارتفاع برفمرز در حوضه‌های آبریز واحد ژئومورفیک ایران مرکزی برآورد شد. جهت کلی سیرک‌های شناسایی شده با توجه به امتداد ناهمواری‌ها مشخص شد؛ در واقع امتداد خط‌الرأس اصلی هر حوضه، تعیین‌کننده جهت تشکیل سیرک در نظر

که Mo: ارتفاع کف سیرک، L: حد پایین طبقه نمادار، d1: تفاضل فراوانی طبقه ماقبل طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار، d2: تفاضل فراوانی طبقه مابعد طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار و h: اختلاف ارتفاع طبقه نمادار است (قربانی شورشانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴).

روش نسبت پنجه به دیواره: با استفاده از روش نسبت پنجه به دیواره، ارتفاع خط تعادل (ELA) و نسبت THAR^۱ به دست می‌آید. با روش THAR بهترین نتیجه برای یخچال‌های کوچک و متقارن با توزیع نرمال پهنه‌ها و ارتفاعات به دست می‌آید. با توجه به اینکه روش‌های محاسبه دیرینه ELA بر مبنای داده‌های تجربی و فرضیه‌های نظری هستند، در محاسبه ELA با دامنه‌ای از خطاها و عدم قطعیت‌ها روبه‌رو هستند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷؛ به نقل از ژو و همکاران، ۲۰۱۰). نسبت THAR بین ۰ تا ۱ است. برای شناسایی سیرک‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود و اگر نسبت THAR کمتر از ۰/۴۶ یا بزرگ‌تر از ۰/۸۶ باشد، شکل شناسایی شده، سیرک محسوب نمی‌شود (رابطه ۴).

رابطه ۴: $THAR = (ELA - AT) / (AH - AT)$
 که ELA: ارتفاع خط تعادل، AH: ارتفاع سر یخچال، AT: ارتفاع پایه یخچال است (Porter, 2000: 1069)
روش نسبت‌های ارتفاعی: در این روش، از راه میانگین محدوده ارتفاعی پایانه زبانه یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقه موردنظر، ارتفاع برف‌مرز مشخص می‌شود (رابطه ۵).

$$AR = \frac{Ah + At}{2} \quad \text{رابطه ۵}$$

که AR: ارتفاع برف‌مرز، Ah: بالاترین ارتفاع قلمرو یخچالی و At: پایین‌ترین ارتفاع قلمرو یخچالی است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۶).

در قدم بعدی، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ایران، شرایط لیتولوژیکی مکان سیرک‌ها بررسی شد و اطلاعات سیرک‌های شناسایی شده در رسوبات دیاژنز نشده آبرفتی یا رسوبات حساس به فرسایش مثل مارن و رس، از داده‌های قبلی خارج شد. برای همه سیرک‌های شناسایی شده، نیمرخ طولی ترسیم شد و با توجه به روش نسبت پنجه به دیواره، از اطلاعات آن دسته از سیرک‌هایی که نیمرخ طولی مقعری نداشتند، در برآورد ارتفاع برف‌مرز دائمی استفاده نشد. ارتفاع برف‌مرز کواترنری، به روش‌های مختلف برآورد شد که در زیر به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود:

روش رایت: در روش رایت با تعیین مکان سیرک‌ها و گذراندن خط ۶۰ درصد از آن، برف‌مرز دائمی تعیین می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۲). در این روش بر روی سیرک‌های شناسایی شده، روابط (۱ و ۲) اعمال شد:

$$R = n \times 0.60 \quad \text{رابطه ۱}$$

رابطه ۲: $R = H_{min} + X$ $X = (H_{max} - H_{min}) / 100 * 60$
 در روابط مذکور، n: فراوانی کل سیرک‌ها در حوضه موردنظر، X: تفاوت ارتفاع برف‌مرز دائمی از ارتفاع پایین‌ترین سیرک، Hmax: بالاترین ارتفاع سیرک، Hmin: پایین‌ترین ارتفاع سیرک و R: ارتفاع برف‌مرز است (قهرودی‌تالی و حسنی قارنایی، ۱۳۹۴: ۳۲۷).

روش ارتفاع کف سیرک پورتر: از نظر پورتر، یخچال زمانی سیرک را پر می‌کند که خط برف‌مرز خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک نباشد. این روش برای به دست آوردن ارتفاع خط تعادل‌های یخچالی گذشته است. در روش پورتر از رابطه (۳) استفاده می‌شود که به کمک آن نما و مد محاسبه می‌شود.

$$Mo = L + \frac{d1}{d1+d2} \times h \quad \text{رابطه ۳}$$

و شواهد یخچالی در این منطقه دال بر وجود آب‌وهوای سرد و مرطوب در گذشته است. حوضه‌های آبریز دریاچه نمک، گاوخونی، ابرقو- سیرجان، کویر سیاه‌کوه، کویر درانجیر و کویر لوت از جمله حوضه‌هایی هستند که در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی واقع شده‌اند. از میان این حوضه‌های آبریز فقط امتداد ناهمواری‌های کویر درانجیر به صورت غربی-شرقی است و سیرک‌های آن در جهت شمال و جنوب شکل گرفته‌اند. امتداد ناهمواری‌ها در سایر حوضه‌ها شمال غربی- جنوب شرقی است و سیرک‌ها در دامنه‌های شمال شرقی و جنوب غربی شکل گرفته‌اند. تعداد ۳۳۰۵ سیرک در این واحد شناسایی شد که با حذف اشکال شبه سیرک، ۲۵۰۸ سیرک باقی ماند. ۵۷/۷ درصد از سیرک‌ها در دامنه‌های نثار و ۴۲/۲۲ درصد آن‌ها در دامنه‌های نگار قرار گرفته‌اند (جدول ۱)، (شکل ۳).

از بین روش‌های مختلف اعمال شده در برآورد ارتفاع برفمرز، بهترین روش، انتخاب و ارتفاع برفمرز زیرحوضه‌های واحد و خودواحد ژئومورفیک ایران مرکزی مشخص شد. برای تجزیه و تحلیل اثرگذاری مقدار شیب و ارتفاع بر ارتفاع برفمرز دائمی قتل مرتفع ایران مرکزی، از روابط خطی استفاده شد. رابطه خطی به صورت $y=bx+a$ است. a : عرض از مبدأ، نقطه آغاز ارتباط بین دو متغیر را نشان می‌دهد. b : شیب خط حاصل از معادله. به طور ساده این مقدار گویای میزان تغییر در متغیر y به ازای یک واحد تغییر در x است. شیب مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم دو متغیر است (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۱۹).

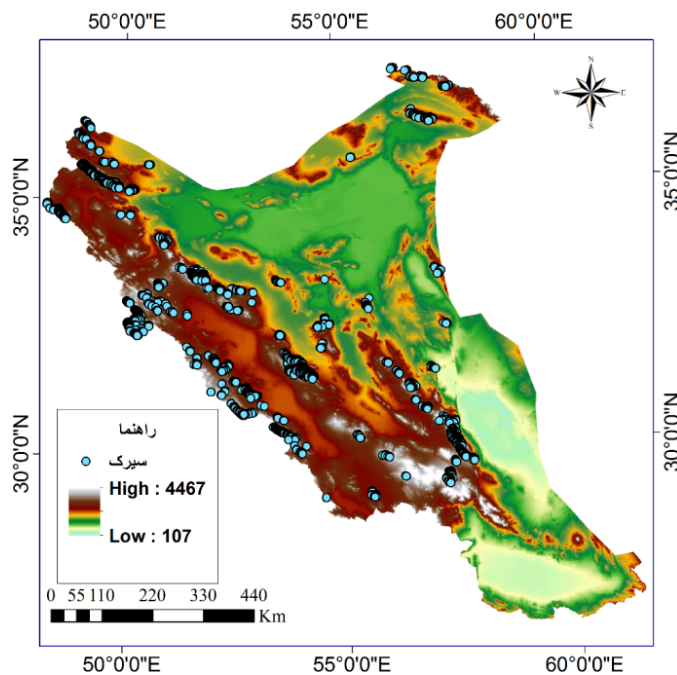
یافته‌های پژوهش

واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در قسمت‌های مرکزی ایران قرار گرفته است که امروزه دارای آب‌وهوای خشک یا بسیار خشک است؛ ولی وجود آثار

جدول ۱: فراوانی سیرک‌های شناسایی شده در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی

حوضه آبریز	جهت	فراوانی کل سیرک	فراوانی سیرک پس از حذف شبه سیرک	درصد فراوانی
دریاچه نمک	شمال شرق	۶۱۰	۶۰۷	۲۴/۲
	جنوب غرب	۴۲۸	۴۲۷	۱۷/۰۲
درانجیر	شمال	۳۵۰	۲۷۰	۱۰/۷۶
	جنوب	۲۵۰	۱۶۶	۶/۶۱
گاوخونی	شمال شرق	۱۶۳	۱۶۳	۶/۴۹
	جنوب غرب	۱۵۶	۱۵۰	۵/۹۸
کویر لوت	شمال شرق	۱۸۰	۱۱۲	۴/۴۶
	جنوب غرب	۱۲۴	۱۰۶	۴/۲۲
کویر سیاه‌کوه	شمال شرق	۵۳۵	۲۹۷	۱۱/۸۴
	جنوب غرب	۱۸۸	۱۱۲	۴/۴۶
ابرقو- سیرجان	جنوب غرب	۱۴۸	۹۸	۳/۹

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۳: موقعیت سیرک‌های شناسایی شده در منطقه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

روش راییت

الف) بعد از شناسایی آثار سیرکی به کمک نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، برآورد برف‌مرز با روش راییت (رابطه ۱) در دو مرحله متفاوت انجام شد. در مرحله اول ارتفاع برف‌مرز از ضرب تعداد کل سیرک‌های هریک از حوضه‌های آبریز در عدد 0.6 یا 60% درصد برآورد شد. مرحله دوم، همانند مرحله اول عمل شد؛ ولی از داده‌های آن دسته از سیرک‌هایی که در رسوبات دیاژنز نشده مثل کنگلومرا و سست قرار داشت، در برآورد ارتفاع برف‌مرز استفاده نشد. آثار سیرکی در این سنگ‌ها، شبه‌سیرک‌هایی هستند که بعد از عقب‌نشینی یخچال‌ها و در شرایط کنونی بر اثر عوامل فرسایشی شکل گرفته‌اند و نمی‌توان تشکیل آن‌ها را به کواترنری نسبت داد. همچنین از داده‌های ارتفاعی سیرک‌هایی که پروفیل‌های ترسیم‌شده آن‌ها

دلیلی بر شبه‌سیرک بودنشان است نیز استفاده نشد. مقایسه این دو مرحله، نشان‌دهنده افزایش ارتفاع برف‌مرز برآوردی در مرحله دوم برای همه حوضه‌ها است؛ به طوری که در حوضه کویر لوت با حذف شبه‌سیرک‌ها، ارتفاع برف‌مرز برآوردی نزدیک به 500 متر مرتفع‌تر برآورد شد (جدول ۲).

ب) این مرحله حاصل تفریق حداکثر ارتفاع از حداقل ارتفاع بر عدد 100 تقسیم و عدد برآوردی در عدد 60 ضرب شد. از جمع عدد به دست آمده از این رابطه با کمترین ارتفاع سیرک شناسایی شده، ارتفاع برف‌مرز محاسبه می‌شود (رابطه ۲). در این مرحله نیز ارتفاع برف‌مرز در مقایسه با رابطه (۱) افزایش داشته‌است و بیشترین افزایش مربوط به حوضه آبریز کویر لوت 454 متر است (جدول ۳).

جدول ۲: ارتفاع برفمرز به روش رایت (رابطه ۱)

تفاوت ارتفاعی	رابطه ۱ (بعد از حذف سیرک)	رابطه ۱ (قبل از حذف سیرک)	حوضه آبریز
۱۲۹	۲۷۶۸	۲۶۳۹	گاوخونی
۴۷۹	۲۹۹۴	۲۵۱۵	کویر لوت
۴۶۳	۳۱۲۶	۲۶۶۳	کویر درانجیر
۳۲۶	۲۷۳۰	۲۴۰۴	کویر سیاه کوه
۲۵۶	۲۸۳۷	۲۵۸۱	ابرکو- سیرجان
۳۷۵	۲۸۱۲	۲۴۳۷	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۳: ارتفاع برفمرز به روش رایت (رابطه ۲)

تفاوت ارتفاعی	رابطه ۲	رابطه ۱	حوضه آبریز
۲۶۴	۳۰۳۲	۲۷۶۸	گاوخونی
۴۵۴	۳۴۴۸	۲۹۹۴	کویر لوت
۲۸۱	۳۴۰۷	۳۱۲۶	کویر درانجیر
۳۱۵	۳۰۴۵	۲۷۳۰	کویر سیاه کوه
۱۰۸	۲۹۴۵	۲۸۳۷	ابرکو- سیرجان
۲۳۴	۳۰۴۶	۲۸۱۲	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

پایین تری نسبت به دامنه نگار (جنوب غرب) داشته باشد و چون در حوضه های آبریز کویر درانجیر خلاف این بود و برای دامنه نثار ارتفاع برفمرز بالاتری برآورد شد، از این مرحله نمی توان در برآورد ارتفاع برفمرز آن استفاده کرد (جدول ۴).

ج) در این مرحله همان مرحله قبلی تکرار شد، منتهی اعمال مرحله قبلی پس از تفکیک سیرک های شناسایی شده در جهات جغرافیایی منطقه (شمال شرق و جنوب غرب حوضه های آبریز) انجام شد. معمولاً دامنه نثار (شمال شرق) باید ارتفاع برفمرز

جدول ۴: ارتفاع برفمرز به روش رایت (رابطه ۲) در جهات مختلف

اختلاف	جنوب غرب	شمال شرق	جنوب	شمال	حوضه آبریز
۲۰۴	۳۱۰۸	۲۹۰۴	-	-	گاوخونی
۸۲	۳۵۳۰	۳۴۴۸	-	-	کویر لوت
-۳۵۰	-	-	۳۰۹۹	۳۴۴۹	کویر درانجیر
۱۶۵	۳۰۵۶	۲۸۹۱	-	-	کویر سیاه کوه
-	۳۱۶۷	-	-	-	ابرکو- سیرجان
۴۴۹	۳۳۳۶	۲۸۳۷	-	-	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

هر طبقه مشخص شد. ارتفاع برفمرز دائمی کواترنری در طبقه ای قرار دارد که سیرکها بیشترین فراوانی را دارد. با مشخص کردن طبقه نمادار، مطابق با رابطه (۳)

روش ارتفاع کف سیرک پورتر

در این روش ابتدا سیرکها از نظر ارتفاعی با فاصله ۱۰۰ متر طبقه بندی شد و فراوانی نسبی سیرک در

تفاوت ارتفاع برفمرز در جهات مختلف در حوضه آبریز کویر سیاه‌کوه ۵۱۲ متر برآورد شد (جدول ۵).

عمل شد. در این مرحله نیز حوضه کویر درانجیر به دلیل تفاوت منفی بین دامنه نگار و نثار از محاسبه خارج شد. در بین حوضه‌های باقی‌مانده بیشترین

جدول ۵: ارتفاع برفمرز به روش ارتفاع کف سیرک

اختلاف	جنوب غرب	شمال شرق	جنوب	شمال	حوضه آبریز
۱۶	۲۷۶۶	۲۷۵۰	-	-	گاوخونی
۲۶	۲۹۶۶	۲۹۴۰	-	-	کویر لوت
-۱۲۵	-	-	۳۰۳۳	۳۱۵۸	کویر درانجیر
۵۱۲	۳۰۶۲	۲۵۵۰	-	-	کویر سیاه‌کوه
-	۳۰۰۶	-	-	-	ابرقو- سیرجان
۳۳	۲۷۶۶	۲۷۳۳	-	-	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

ارتفاع پروفیل تقسیم شد. نسبت به دست‌آمده بین ۰ تا ۱ متغیر است. سیرک‌هایی که نسبت به دست‌آمده برای آن‌ها پایین‌تر از ۰/۴۶ یا بالاتر از ۰/۸۶ است، سیرک محسوب نمی‌شوند و در برآورد ارتفاع برفمرز مدنظر قرار نمی‌گیرند (پورتر، ۲۰۰۰). سپس ارتفاع برفمرز سیرک‌های باقی‌مانده طبق روش رایج محاسبه شد. کویر لوت بیشترین تفاوت ارتفاع برفمرز را در جهات مختلف داشته‌است (جدول ۶).

روش نسبت پنجه به دیواره

الف) در این مرحله از اطلاعات نیمرخ‌های ترسیم‌شده در مرحله قبل، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع پایین‌ترین و بالاترین قسمت پروفیل استخراج شد. پس از برداشت اطلاعات لازم، نسبت THAR برای هر کدام از سیرک‌ها محاسبه شد؛ به این صورت که ارتفاع پایین‌ترین قسمت پروفیل از ارتفاع کف سیرک کسر شد و عدد به دست‌آمده بر تفاوت بین حداقل ارتفاع و حداکثر

جدول ۶: ارتفاع برفمرز به روش نسبت پنجه به دیواره (با اعمال روش رایج)

اختلاف	جنوب غرب	شمال شرق	جنوب	شمال	حوضه آبریز
-۵۹	۲۷۷۲	۲۸۳۱	-	-	گاوخونی
۵۶۷	۳۰۸۰	۲۵۱۳	-	-	کویر لوت
۳۲۶	-	-	۲۹۳۶	۳۲۶۱	کویر درانجیر
۱۱۵	۲۸۶۵	۲۷۵۰	-	-	کویر سیاه‌کوه
-	۳۰۴۲	-	-	-	ابرقو- سیرجان
۴۸۳	۳۰۵۶	۲۵۷۳	-	-	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

منفی بین دامنه نگار و نثار حوضه آبریز کویر لوت و کویر سیاه‌کوه، نمی‌توان از این روش ارتفاع برفمرز آن‌ها را برآورد کرد. حوضه آبریز دریاچه نمک بیشترین تفاوت را دارد (۵۸۷ متر) (جدول ۷).

ب) تفاوت این مرحله با مرحله قبلی در این است که در این مرحله پس از جداکردن اطلاعات شبه‌سیرک‌ها، برای برآورد ارتفاع برفمرز همانند روش ارتفاع کف سیرک پورتر عمل شد. به دلیل تفاوت

جدول ۷: ارتفاع برفمرز به روش نسبت پنجه به دیواره (با اعمال روش پورتر)

اختلاف	جنوب غرب	شمال شرق	جنوب	شمال	حوضه آبریز
۶۶	۲۸۶۶	۲۸۰۰	-	-	گاوخونی
-۷۳	۲۹۳۳	۳۰۰۶	-	-	کویر لوت
۳۶	-	-	۳۱۵۰	۳۱۱۴	کویر درانجیر
-۱۹	۲۷۳۳	۲۷۵۴	-	-	کویر سیاه کوه
-	۳۰۸۰	-	-	-	ابرقو- سیرجان
۵۸۷	۳۰۳۷	۲۴۵۰	-	-	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

این روش نسبت به سایر روش‌ها نتایج بهتری را از خود نشان داد. حوضه آبریز دریاچه نمک بیشترین تفاوت (۶۵۷ متر) و گاوخونی کمترین تفاوت (۱۳۳ متر) را به خود اختصاص داده است (جدول ۸).

روش نسبت‌های ارتفاعی

در این روش پایین‌ترین ارتفاع با بالاترین ارتفاع پروفیل ترسیمی جمع و بر ۲ تقسیم شد. برای به‌دست آوردن برفمرز از میانگین و مد استفاده شد.

جدول ۸: ارتفاع برفمرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

اختلاف	جنوب غرب	شمال شرق	جنوب	شمال	حوضه آبریز
۱۳۳	۲۷۴۳	۲۸۶۷	-	-	گاوخونی
۲۶۶	۳۱۳۳	۲۸۶۷	-	-	کویر لوت
۲۸۰	-	-	۲۸۵۰	۳۱۳۰	کویر درانجیر
-۳۲۱	۲۷۵۰	۳۰۷۱	-	-	کویر سیاه کوه
-	۳۱۸۰	-	-	-	ابرقو- سیرجان
۶۵۷	۳۰۶۷	۲۴۱۰	-	-	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

جنوبی‌ترین حوضه (کویر درانجیر) و شمالی‌ترین حوضه (دریاچه نمک) حدود ۳۵۵ متر اختلاف ارتفاع برفمرز وجود داشته است. علاوه بر برآورد ارتفاع برفمرز، حدود پیشروی فعالیت یخچال‌ها با توجه به ارتفاع پایین‌ترین سیرک شناسایی شده (جدول ۹) مشخص شد. برای نمایش مناطقی از ایران مرکزی که در طی کواترنری تحت تأثیر فرایند یخچالی بودند، با در نظر گرفتن ارتفاع برفمرز براساس روش نهایی و ارتفاع برفمرز پایین‌ترین سیرک شناسایی شده، نقشه منطقه تحت حاکمیت فرایند یخچالی ایران مرکزی ترسیم شد. مساحت واحد ایران مرکزی ۳۷۶/۶۴۲ کیلومترمربع است که ۱/۱۹ درصد آن بالاتر از ارتفاع

مناطق تحت حاکمیت فرایندیخچالی ایران مرکزی

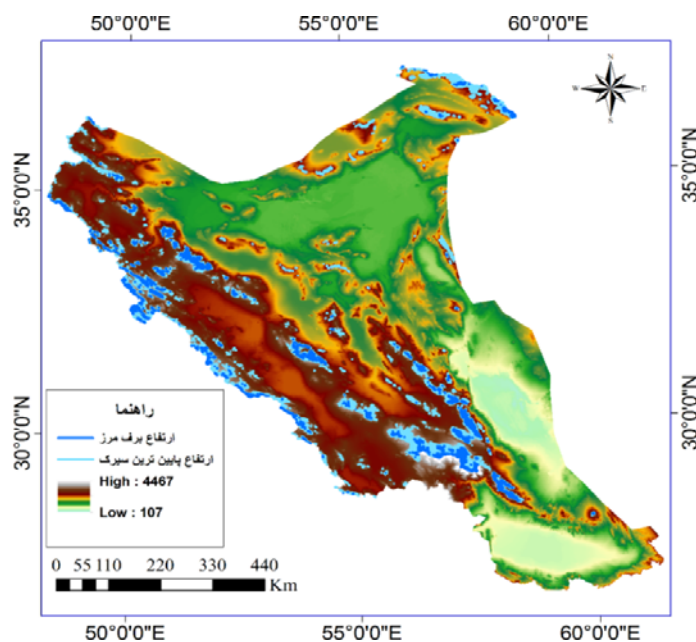
براساس نتایج برفمرز به‌دست آمده به روش‌های مختلف، روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش رایت (حوضه‌های کویر لوت، کویر درانجیر، ابرقو- سیرجان، دریاچه نمک)، روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش پورتر (حوضه گاوخونی)، روش ارتفاع کف سیرک (حوضه کویر سیاه کوه)، هم از نظر ارتفاع برفمرز و هم از نظر اختلاف ارتفاع برفمرز در دامنه‌های مختلف مناسب‌تر شناخته شدند. نگاهی به نتایج به‌دست آمده برای ارتفاع برفمرز دائمی کاملاً بیان‌کننده این مطلب است که ارتفاع برفمرز از جنوب به شمال کاهش یافته است؛ به طوری که بین

برفمرز قرار داشته و تحت تأثیر فرایند یخچالی بوده است. منطقه تحت حاکمیت سیستم یخچالی با توجه به ارتفاع پایین ترین سیرک شناسایی شده، ۴/۳۲ درصد از مساحت این واحد را دربر می گیرد (شکل ۴).

جدول ۹: ارتفاع برفمرز نهایی و ارتفاع پایین ترین سیرک شناسایی شده

ارتفاع برفمرز براساس ارتفاع پایین ترین سیرک	ارتفاع برفمرز	حوضه آبریز
۲۵۲۰	۲۸۳۳	گاوخونی
۲۵۰۶	۲۷۹۶/۵	کویر لوت
۲۵۱۲	۳۰۹۸/۵	کویر درانجیر
۲۵۷۴	۲۸۰۶	کویر سیاه کوه
۲۵۱۳	۲۸۷۳/۵	ایرقو- سیرجان
۲۱۶۷	۲۷۴۳/۵	دریاچه نمک

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۴: مناطق تحت تأثیر فرایند یخچالی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

ارتفاع برفمرز برآوردی بسیار کم بود، در برآورد ارتفاع برفمرز نهایی استفاده نشد. با کنارگذاشتن روش های نامناسب، میانگین ارتفاع برفمرز برآورد شد. قله شاه با ارتفاع ۴۳۵۱ متر، جنوبی ترین و قله الوند با ۳۵۸۰ متر ارتفاع، شمالی ترین قله در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی است (جدول ۱۰).

ارتفاع برفمرز قله مرتفع ایران مرکزی

برای برآورد ارتفاع برفمرز، ۱۰ قله در واحد ایران مرکزی انتخاب شد. پس از برآورد برفمرز به روش های مختلف، روشی که تفاوت زیادی با روش های دیگر داشت، کنار گذاشته شد. از روش هایی که ارتفاع برفمرز دامنه های نوار بالاتر از دامنه های نگار بود یا تفاوت

جدول ۱۰: ارتفاع برفمرز در قله مرتفع ایران مرکزی به روش‌های مختلف و ارتفاع معرفی شده

نام قله	جهت	شیب (درصد)	۱-۱*	۲-۱	۳-۱	۴-۱	۴-۱	۵-۱	میانگین
پلوار	شمال شرق	۳۸	۲۶۰۷	۲۵۴۳	۲۷۴۶	۲۶۴۹	۲۷۸۵	۲۹۱۰	۲۷۹۳
	جنوب غرب	۴۲	۳۰۹۲	۳۳۴۰	۳۰۳۰	۳۰۹۵	۳۱۵۰	۳۰۹۵	۳۰۹۲
شیرکوه	شمال شرق	۳۴	۲۷۹۶	۲۷۹۹	۳۳۵۰	۲۸۳۷	۲۹۰۴	۳۰۴۳	۲۹۰۴
	جنوب غرب	۴۲	۲۸۳۷	۳۰۱۵	۲۷۲۱	۳۰۳۱	۳۰۷۵	۳۱۱۰	۳۰۷۵
بل	شمال شرق	۳۵	۲۸۰۶	۲۷۸۶	۲۹۶۷	۲۸۵۳	۳۰۰۰	۳۰۲۹	۲۹۱۷
	جنوب غرب	۴۰	۲۷۷۱	۲۹۴۹	۲۹۷۵	۲۹۴۱	۳۲۰۰	۳۰۸۳	۳۰۴۳
الوند	شمال شرق	۲۸	۲۶۳۸	۲۵۲۵	۲۵۲۸	۲۶۵۸	۲۵۸۰	۲۷۳۵	۲۶۲۵
	جنوب غرب	۳۵	۲۶۴۸	۲۴۱۴	۲۶۵۷	۳۰۶۲	۳۰۲۵	۲۹۳۴	۲۹۱۹
گدار کج	شمال شرق	۳۷	۲۶۲۰	۲۷۴۰	۲۷۳۴	۳۲۰۰	۲۹۵۰	۲۸۲۰	۲۷۷۲
	جنوب غرب	۴۴	۲۹۷۸	۳۱۲۱	۲۹۰۶	۳۱۲۰	۲۹۹۰	۳۲۰۰	۳۰۳۹
شاهان کوه	شمال شرق	۳۳	۲۵۸۰	۲۷۰۰	۲۷۹۵	۲۹۴۱	۲۸۲۲	۳۲۲۰	۲۸۲۳
	جنوب غرب	۳۹	۲۶۳۵	۲۸۴۹	۲۹۷۸	۲۸۴۲	۲۹۵۰	۳۳۰۰	۲۹۴۲
ولیجا	شمال شرق	۳۹	۲۷۰۰	۲۶۲۳	۲۶۸۷	۲۷۶۷	۲۹۲۰	۲۸۹۸	۲۷۷۹
	جنوب غرب	۴۰	۲۶۳۰	۲۸۹۱	۲۹۶۱	۳۲۳۵	۳۰۵۳	۳۱۰۰	۳۰۴۸
شاه	شمال شرق	۳۱	۲۸۰۰	۲۹۶۶	۲۷۲۳	۳۱۳۴	۲۹۶۴	۲۹۸۹	۲۸۶۹
	جنوب غرب	۳۸	۲۹۲۳	۲۸۰۳	۲۹۴۵	۲۹۷۸	۳۲۰۰	۳۱۳۳	۳۰۵۰
جوپار	شمال شرق	۳۵	۲۶۰۰	۲۷۶۹	۲۹۸۶	۲۸۱۵	۲۹۳۰	۳۲۸۷	۲۸۷۵
	جنوب غرب	۴۲	۲۵۰۶	۲۹۶۱	۳۰۲۰	۳۰۰۰	۳۰۳۰	۲۸۷۶	۳۰۰۲
کرکس	شمال شرق	۳۷	۲۸۰۰	۲۶۲۳	۲۷۸۰	۲۷۶۸	۲۹۲۶	۲۸۹۰	۲۷۹۷
	جنوب غرب	۴۲	۲۶۴۰	۲۹۰۰	۲۹۶۷	۳۳۲۲	۳۰۶۱	۳۱۶۴	۳۰۸۲

* (روش‌ها به ترتیب ارائه در مقاله شماره‌گذاری شده‌اند) مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

رابطه خطی بین ارتفاع برفمرز و مقدار شیب

برای بررسی اثرگذاری مقدار شیب و ارتفاع قله مرتفع بر ارتفاع برفمرز، از روابط خطی استفاده شد. با توجه به یافته‌های نتایج به‌دست‌آمده در روش‌های مختلف، در واحد ایران مرکزی بیشترین ضریب همبستگی در دامنه‌های نثار و دامنه‌های نگار با اعمال روش رایت (رابطه ۲) برابر با ۰/۶۸ و ۰/۷۷ به‌دست آمد. در دامنه نگار، اختلاف مقدار شیب بین بالاترین و پایین‌ترین مقدار شیب دامنه، ۵ درصد و اختلاف برفمرز ۷۰۷ متر است. نسبت تغییرات این دامنه به‌ازای افزایش یک درصد شیب، ۱۴۱ متر است

و در دامنه‌های نثار با ۸ درصد تفاوت شیب، ۴۲۳ متر اختلاف برفمرز است که ۵۳ متر نسبت تغییرات به‌ازای افزایش یک درصد شیب برآورد شد. شیب منفی در رابطه خطی، ارتباط معکوس را نشان می‌دهد؛ به این معنی که با افزایش یک متغیر، متغیر دیگر کاهش می‌یابد و برعکس. با توجه به یافته‌ها در دامنه‌های نثار واحدهای ایران مرکزی، مقدار شیب و ارتفاع برفمرز رابطه معکوس دارند و با افزایش شیب، ارتفاع برفمرز کم می‌شود؛ اما در دامنه‌های نگار یک رابطه مستقیم بین این دو پارامتر وجود دارد و افزایش شیب سبب افزایش ارتفاع برفمرز می‌شود (جدول ۱۱).

جدول ۱۱: رابطه خطی مقدار شیب کوهستان و ارتفاع برفمرز

ضریب همبستگی	رابطه خطی مقدار شیب و ارتفاع برفمرز	روش مورد قبول	دامنه
۰/۶۸	$Y = -39.263x + 4124.8$	رابطه ۲	نثار
۰/۷۷	$Y = 82.303 X - 383.41$	رابطه ۲	نگار

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

نگار در روش راییت (رابطه ۱) برابر با ۰/۲۸ برآورد شد. در این واحد اختلاف ارتفاع مرتفع‌ترین و کم‌ارتفاع‌ترین قله، ۱۰۲۱ متر است. تفاوت ارتفاع برفمرز در دامنه‌های نثار، ۴۴۱ متر و در دامنه‌های نگار، ۵۸۶ متر است (جدول ۱۲).

رابطه خطی بین ارتفاع قله مسلط به سیرک و ارتفاع برفمرز
با توجه به ارتفاع قله، رابطه خطی ارتفاع قله و ارتفاع برفمرز برآورد شد. در واحد ایران مرکزی بیشترین ضریب همبستگی در دامنه‌های نثار در روش راییت (رابطه ۲) برابر با ۰/۳۵ و در دامنه‌های

جدول ۱۲: رابطه خطی ارتفاع قله و ارتفاع برفمرز

ضریب همبستگی	رابطه خطی بین ارتفاع قله مسلط و ارتفاع برفمرز	روش مورد قبول	دامنه
۰/۳۱	$Y = 0.2417X + 1732.9$	رابطه ۲	نثار
۰/۲۸	$Y = 0.3166X + 1517.5$	رابطه ۱	نگار

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

نتایج معقول‌تری را در برآورد ارتفاع برفمرز و اختلاف ارتفاع برفمرز دائمی دامنه‌های شمال شرقی با جنوب غربی ارائه داد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی به‌عنوان خشک‌ترین واحد کنونی که در طی کواترنری تحت تأثیر فرایندهای یخچالی بوده‌است، روش ارتفاع کف سیرک پورتر و روش نسبت پنجه به دیواره راییت، مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد ارتفاع برفمرز کواترنری معرفی شد. در این واحد ژئومورفیک، ارتفاع برفمرز برآوردی بین ۲۷۴۳ متر تا ۳۰۹۸ متر متغیر بوده‌است (۳۶۰ متر اختلاف ارتفاع). ارتفاع برفمرز کواترنری این واحد ۲۸۵۳ متر است. از نظر جهت در این واحد ژئومورفیک، تفاوت ارتفاع برفمرز دامنه‌های نثار با نگار در حدود ۳۳۷ متر بوده‌است.

نتیجه

ارتفاع برفمرز کواترنری ارتفاعات ایران مرکزی، هرچند به‌صورت پراکنده و زیرحوضه‌های کوچک، توسط محققان مختلف برآورد شده؛ ولی تاکنون به‌صورت منسجم ارتفاع برفمرز این واحد ژئومورفیک مورد ارزیابی قرار نگرفته‌است. برای برآورد ارتفاع برفمرز دائمی کواترنری در این مقاله، از روش‌های راییت، ارتفاع کف سیرک پورتر، نسبت پنجه به دیواره راییت و پورتر و نسبت‌های ارتفاعی در جهات مختلف جغرافیایی استفاده شد. ارتفاع برفمرز به روش راییت در بیشتر حوضه‌های آبریز ایران مرکزی، حدود ۲۰۰ متر مرتفع‌تر از بقیه روش‌ها برآورد شد و از این روش برای برآورد ارتفاع برفمرز نهایی استفاده نشد. از بین روش‌های باقی‌مانده، روش نسبت پنجه به دیواره،

منابع

- ابطحی، سیدمرتضی (۱۳۹۲). بررسی پالئوکلیمای حوضه آبخیز جاجرود به کمک شواهد یخچالی، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. سال اول. شماره ۱. صفحات ۲۰۱-۱۸۵.
- امیدوار، کمال؛ مهدی جعفری‌ندوشن (۱۳۹۶). اثر نوسان قطبی بر تغییرات دما و بارش فصول سرد سال در ایران مرکزی، مجله علوم جغرافیایی. شماره ۲۶. صفحات ۳۰-۱۹.
- انتظاری، علیرضا؛ ابوالقاسم امیراحمدی؛ امان‌محمد قرنجیک؛ علی جهانفر؛ علی‌اکبر شایان‌یگانه (۱۳۹۴). بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگان‌رود در کواترنر، فصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی). دوره ۱. شماره ۲. صفحات ۱۸۰-۱۶۹.
- پاریزی، اسماعیل؛ محمدحسین رامشت؛ علیرضا تقیان (۱۳۹۲). شواهد یخچال‌های کواترنری پایانی در حوضه تنگ‌تیه سیرجان، پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی. سال ۲. شماره ۳. صفحات ۱۲۸-۱۱۱.
- جعفری‌گلو، منصور؛ مجتبی یمانی؛ احمد عباس‌نژاد؛ سیدمحمد زمان‌زاده؛ سمیه ذهاب ناظوری (۱۳۹۳). بازسازی برف‌مرزهای یخچال کواترنری در کوهستان بیدخوان کرمان، جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران). سال ۱۲. شماره ۴۰. صفحات ۱۰۷-۹۳.
- جعفری، غلام‌حسن؛ مهدی فیض‌الله‌پور؛ زینب براتی (۱۳۹۴). بازسازی ارتفاع برف‌مرز کواترنری الوند همدان (با سه روش رایج، شیب-جهت، ضریب خمیدگی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۳۰. شماره ۴. صفحات ۱۵۳-۱۳۵.
- جعفری، غلام‌حسن؛ صیاد اصغری‌سراسکانرودی (۱۳۹۳). بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان‌رود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال ۳. شماره ۲. صفحات ۶۱-۳۰.
- ارتفاع برف‌مرز برآوردشده المدرسی و رامشت (۱۳۸۶) در زیرحوضه سخوید (۳۱۰۰-۳۳۰۰ متر)، جعفری‌گلو و همکاران (۱۳۹۳) و ذهاب ناظوری و همکاران (۱۳۹۵) در زیرحوضه بیدخوان کرمان (۳۱۶۶ متر) در دامنه‌های نگار و رامشت و کاظمی (۱۳۸۶) در اقلید (۲۹۶۰ متر)، معیری و همکاران (۱۳۸۷) در صفاشهر (۲۹۵۰ متر)، رامشت و همکاران (۱۳۹۰) در ماهان کرمان (۲۹۰۰ متر)، یمانی و همکاران (۱۳۸۶) در دامنه‌های شمال شرقی کرکس (۳۰۰۰ متر)، مهرشاهی و بقایی‌نیا (۱۳۹۱) در فخرآباد یزد (۲۹۰۰ متر)، سیف و ابطحی (۱۳۹۲) در حوضه آبریز دریاچه نمک (۲۸۰۰ متر) و پاریزی و همکاران (۱۳۹۲) در تنگ‌تیه سیرجان (۲۷۱۹ متر) در دامنه‌های نثار کوه‌های واحد ایران مرکزی، یافته‌های این تحقیق را مورد تأیید قرار می‌دهد. روابط خطی برآوردشده بین مقدار شیب و ارتفاع برف‌مرز، اثرگذاری شیب بر ارتفاع برف‌مرز را تأیید می‌کند؛ ولی آن را تنها عامل تأثیرگذار معرفی نمی‌کند. بیشترین ضریب همبستگی برآوردشده در دامنه نثار واحد ایران مرکزی (۰/۶۸) و در دامنه‌های نگار (۰/۷۷) است. با توجه به این مسأله می‌توان همه تفاوت ارتفاع برف‌مرز را فقط وابسته به مقدار شیب نسبت داد. از تأثیر ارتفاع قله مسلط بر سیرک بر ارتفاع برف‌مرز نیز نمی‌توان چشم‌پوشی کرد. بیشترین تأثیری که ارتفاع قله بر ارتفاع برف‌مرز داشته، در دامنه نثار است؛ به طوری که ضریب همبستگی آن (۰/۳۱) به دست آمد و کمترین آن در دامنه نگار (۰/۲۸) برآورد شد. با این وجود ارتفاع برف‌مرز فقط متأثر از ارتفاع قله نیست.

فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال هفدهم، شماره ۵۵، تابستان ۱۳۹۸

- خوش‌رفتار، رضا؛ نیما فریدمجتهدی؛ ابراهیم اسعدی-اسکوئی؛ کامبیز نوروزپور شهر بیجاری (۱۳۹۵). شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی پلئیسٹوسن پایانی در کوه شاه‌البرز- البرز غربی، فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی). سال ۲. شماره ۲. صفحات ۱۶۵-۱۵۵.
- رامشت، محمدحسین (۱۳۹۴). نقشه‌های ژئومورفولوژی، انتشارات سمت.
- رامشت، محمدحسین؛ محمد مهدی کاظمی (۱۳۸۶). آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس، رشد آموزش جغرافیا. شماره ۷۹. صفحات ۱۱-۳.
- رامشت، محمدحسین؛ محمود لاجوردی؛ حسن لشکری؛ طیبه محمودی (۱۳۹۰). ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی حوضه تیگرانی ماهان، مجله فضای جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۲. شماره ۲. صفحات ۷۸-۵۹.
- سرور، جلیل‌الدین؛ نیما فریدمجتهدی (۱۳۹۰). شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی پلئیسٹوسن در دامنه شمالی کوه خشچال (البرز غربی)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین. سال ۸. شماره ۳۱. صفحات ۶۷-۵۱.
- سیف، عبدالله؛ محمد رضا ثروتی؛ محمد راهدان‌مفرد (۱۳۹۴). بازسازی برف‌مرزهای کواترنری پایانی در محدوده سایت ریگ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۳۰. شماره ۱. صفحات ۲۰۸-۱۹۳.
- سیف، عبدالله؛ سیدمرتضی ابطحی (۱۳۹۲). بررسی تحولات اقلیمی حوضه دریاچه نمک در کواترنر پایانی، جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۷. شماره ۴۶. صفحات ۱۱۱-۹۱.
- شریفی، محمد؛ کاظم طاهری‌نژاد؛ زهرا فرح‌بخش (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات اقلیمی بین زمان حال و پلئیسٹوسن و بازسازی شرایط اقلیمی گذشته با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه دشت‌ابراهیم‌آباد- یزد)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۵، شماره ۱، صفحات ۶۲۸-۶۱۰.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ سجاد باقری سیدلشکری؛ مریم جعفری‌اقدام؛ جبار سلیمی‌منش (۱۳۹۴). بازسازی برف‌مرزهای آخرین دوره یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (مطالعه موردی: تاقدیس قلاجه)، جغرافیا و توسعه. شماره ۳۹. صفحات ۷۴-۶۱.
- عساکره، حسین (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، زنجان. انتشارات دانشگاه زنجان.
- قربانی‌شورستانی، علی؛ عذرا خسروی؛ علی‌محمد نورمحمدی (۱۳۹۵). بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته‌کوه بینالود)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال ۵، شماره ۱. صفحات ۱۳-۱.
- قهرودی‌تالی، منیژه؛ محمد رضا ثروتی؛ رسول حسنی قارنایی (۱۳۹۲). تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه رود زاب کوچک، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. سال ۱۳. شماره ۴۳. صفحات ۱۷-۱.
- قهرودی‌تالی، منیژه؛ رسول حسنی قارنایی (۱۳۹۴). شواهد یخچالی در مناطق کوهستانی مرز ایران، ترکیه، عراق (کوهستان بزسینا و دالامپر)، فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی). دوره ۱. شماره ۴. صفحات ۳۳۷-۳۲۳.
- قهرودی‌تالی، منیژه؛ کاظم نصرتی؛ اسماعیل عبدلی (۱۳۹۴). تخمین برف‌مرز در آخرین دوره یخچالی در حوضه دالاخانی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۶(۲). صفحات ۲۴۶-۲۳۱.
- المدرسی، سیدعلی؛ محمدحسین رامشت (۱۳۸۶). آثار یخچالی در دره سخوید یزد، مجله فضای جغرافیایی. سال ۷. شماره ۱۹. صفحات ۱۰۷-۹۳.
- معیری، مسعود؛ محمدحسین رامشت؛ مسعود تقوایی؛ محمد مهدی تقی‌زاده (۱۳۸۷). مواریت یخچالی در حوضه صفاشهر- استان فارس، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان علوم انسانی. جلد ۱. شماره ۳۲. سال ۴. صفحات ۱۳۰-۱۰۹.
- مهرشاهی، داریوش؛ علیرضا بقایی‌نیا (۱۳۹۱). بررسی تغییرات احتمالی دما و بارش کواترنری پایانی در دامنه‌های شمالی شیرکوه با استفاده از شواهد یخچالی (حوضه آبریز فخرآباد یزد)، جغرافیا فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی جغرافیا. دوره جدید. سال ۱۰. شماره ۳۴. صفحات ۸۴-۶۵.

- Kleman, J & Stroeven, A. P (1997). Preglacial surface remnants and Quaternary glacial regimes in northwestern Sweden. *Geomorphology*, 19(1-2), 35-54.
- Mitchel, A (2005). The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: spatial measurements and statistics. ESRI Guide to GIS analysis.
- Mîndrescu, M., & Evans, I. S (2014). Cirque form and development in Romania: allometry and the buzzsaw hypothesis. *Geomorphology*, 208, 117-136.
- Napieralski, J., Harbor, J., & Li, Y. (2007). Glacial geomorphology and geographic information systems. *Earth-Science Reviews*, 85(1-2), 1-22.
- Oskin, M., & Burbank, D. W. (2005). Alpine landscape evolution dominated by cirque retreat. *Geology*, 33(12), 933-936.
- Porter, S. C (1989). Some geological implications of average Quaternary glacial conditions. *Quaternary Research*, 32 (3), 245-261.
- Porter, S. C (2000). Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation. *Quaternary science reviews*, 20(10), 1067-1091.
- Roy, A. J & Lachniet, M. S (2010). Late Quaternary glaciation and equilibrium-line altitudes of the Mayan Ice Cap, Guatemala, Central America. *Quaternary Research*, 74(1), 1-7.
- Sarıkaya, M. A., Ciner, A., & Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. *Developments in quaternary science*, 15, 393-403.
- Sarıkaya, M. A., Zreda, M., & Çiner, A (2009). Glaciations and paleoclimate of Mount Erciyes, central Turkey, since the Last Glacial Maximum, inferred from ³⁶Cl cosmogenic dating and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 28(23-24), 2326-2341.
- Serrano, E., González-Trueba, J. J., Pellitero, R., González-García, M., & Gómez-Lende, M (2013). Quaternary glacial evolution in the Central Cantabrian Mountains (northern Spain). *Geomorphology*, 196, 65-82.
- Spotila, J. A., Buscher, J. T., Meigs, A. J., & Reiners, P. W (2004). Long-term glacial erosion of active mountain belts: Example of the Chugach-St. Elias Range, Alaska. *Geology*, 32(6), 501-504.
- Yesilyurt, S., Akçar, N., Dogan, U., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., & Schlüchter, C. (2016, April). Extensive Quaternary glaciations in eastern Turkey. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 18, P. 1014).
- Zheng, B., Xu, Q., & Shen, Y (2002). The relationship between climate change and Quaternary glacial cycles on the Qinghai-Tibetan Plateau: review and speculation. *Quaternary international*, 97, 93-101.
- یمانی، مجتبی؛ جمشید جداری عیوضی؛ ابوالقاسم گواربی (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی مرزهای یخچال در دامنه‌های کرکس، فصلنامه مدرس علوم انسانی برنامه‌ریزی و آمایش فضا. سال ۱۱. شماره ۷۰. صفحات ۲۲۸-۲۰۷.
- یمانی، مجتبی؛ ابراهیم مقیمی؛ قاسم عزیزی؛ کاوه باخویشی (۱۳۹۲). تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دانشگاه تهران. سال ۴۵. شماره ۴. صفحات ۱۴-۱.
- ملکی، امجد؛ ایرج جباری؛ هاشم حسینی (۱۳۹۷). بازسازی قلمروهای مورفودینامیک براساس شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی (مطالعه موردی: کوه‌های چهل‌چشمه و سارال در استان کردستان)، فصلنامه کواترنری ایران. سال سوم. شماره ۱۰. صفحات ۱۳۰-۱۱۷.
- شریفی‌پیچون، محمد؛ کاظم طاهری‌نژاد؛ فاطمه زارع (۱۳۹۶). شواهد ژئومورفولوژی آثار یخچالی در عصر پلیستوسن (نمونه موردی: حوضه دشت ابراهیم‌آباد-یزد)، فصلنامه کواترنری ایران. سال سوم. شماره ۹. صفحات ۲۸-۱۵.
- Barr, I. D., & Spagnolo, M (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. *Earth-science reviews*, 151, 48-78.
- Brook, M. S., & Kirkbride, M. P. (2018). Reconstruction and paleoclimatic significance of late Quaternary glaciers in the Tararua Range, North Island, New Zealand. *Quaternary International*, 470, 53-66.
- Dortch, J. M., Owen, L. A & Caffee, M. W. (2010). Quaternary glaciation in the Nubra and Shyok valley confluence, northernmost Ladakh, India. *Quaternary Research*, 74(1), 132-144.
- Evans, D. J., & Rea, B. R (2003). Surging glacier landsystem. In *Glacial landsystems*. Taylor and Francis.
- Evans, I. S., Hall, A. M., & Kleman, J. (2015). Glacial cirques and the relationship between equilibrium line altitudes and mountain range height: Comment. *Geology*, 43(6), e366-e366.
- Hughes, P. D., Woodward, J. C., & Gibbard, P. L (2006). Quaternary glacial history of the Mediterranean mountains. *Progress in physical geography*, 30(3), 334-364.

