

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و سوم، بهار ۱۳۹۹

صص ۲۳۹-۲۶۲

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.78427>

مقاله پژوهشی

تجزیه و تحلیل روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز دائمی یخچال‌های کواترنری در ایران

غلام حسن جعفری^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

نسرین حضرتی - کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۴/۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰

چکیده

تغییرات اقلیمی کواترنری موجب جابه‌جایی ارتفاع برف مرز در نواحی کوهستانی ایران شده است. با توجه به گستردگی ایران در عرض‌های جغرافیایی مختلف و امتداد متنوع ناهمواری‌های آن، بررسی تغییرات این ارتفاع به صورت یک واحد امکان‌پذیر نیست. بر این اساس در حوضه‌های آبریز درجه ۲ ایران به تفکیک، آثار یخچال‌های کواترنری شناسایی شد. ارتفاع برف مرز به روش‌های رایج، ارتفاع کف سیرک پورتر، نسبت پنجه به دیواره رایج و پورتر و نسبت‌های ارتفاعی برآورد گردید. نتایج حاکی از آن است که ارتفاع برف مرز برآورد شده با روش رایج در بسیاری از حوضه‌های آبریز با روش‌های دیگر همخوانی ندارد. از اعمال این روش در برآورد ارتفاع برف مرز دائمی در چنین حوضه‌های آبریزی صرف‌نظر شد. در مجموع از ۲۱ حوضه آبریز دارای آثار سیرک یخچالی کواترنری، ارتفاع برف مرز ۹ حوضه آبریز با روش نسبت‌های ارتفاعی، ۶ حوضه آبریز با روش ارتفاع کف سیرک پورتر، ۵ حوضه آبریز با روش نسبت پنجه به دیواره رایج و ۱ حوضه آبریز با روش نسبت پنجه به دیواره پورتر همخوانی بیشتری دارد. بالاترین ارتفاع برف مرز کواترنری برآورد شده، در حوضه آبریز کویر درانجیر در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی ۳۰۹۸ متر و پایین‌ترین آن در حوضه آبریز تالش - مرداب انزلی در واحد ژئومورفیک شمال ۲۰۳۳ متر است. اختلاف ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری ناهمواری‌های ایران، ۱۰۶۵ متر بوده است. این ارتفاع بین ۲۰۳۰ تا ۳۱۰۰ متر متغیر بوده است. در بین واحدهای ژئومورفیک بالاترین ارتفاع برف مرز کواترنری متعلق به ایران مرکزی (۲۸۵۳ متر) و پایین‌ترین آن در واحد ژئومورفیک شمال شرق (۲۴۲۴ متر) بوده است.

کلیدواژه‌ها: کواترنری، ایران، برف مرز، جهت، سیرک، رایج، پورتر.

۱- مقدمه

بررسی فرآیندهای شکل‌زا با منشأ درونی و بیرونی دوره کواترنری بسیار اهمیت دارد (یمانی، ۱۳۸۶). تغییرات اقلیمی در کواترنری منجر به پیدایش دوره‌های یخچالی و بین یخچالی گردیده است (یمانی، ۱۳۸۱). از جمله موارد اساسی در مطالعات یخچال‌شناسی خط برف مرز و خط تعادل آب‌ویخ است (رامشت، ۱۳۹۰). برف مرز از نظر پورتر^۱، خطی است که در آن گسترش یخچال به وسیله انباشت بر ذوب یخ طی عمل برداشت برتری دارد (ابطحی، ۱۳۹۲). در ارتباط با ارتفاع برف مرز دائمی هم به صورت محلی و هم به صورت ملی تحقیقات زیادی انجام شده است؛ در سطح ملی می‌توان به این موارد اشاره کرد؛ ایوانز^۲ (۲۰۰۶) در ولز، سربکایا^۳ (۲۰۱۱) در ترکیه، میندرا اسکو^۴ (۲۰۱۳) در رومانی، هنریکس^۵ (۲۰۱۵) در اتیوپی، جعفری (۱۳۸۸) و معیری و همکاران (۲۰۱۱) و همچنین جعفری (۱۳۹۳) در ایران. یکی از مسائل بحث‌برانگیز در این مورد تفاوت ارتفاع برف مرز دائمی در عرض‌های جغرافیایی و جهات مختلف جغرافیایی ایران است. چراکه تنوع در امتداد ناهمواری‌ها باعث می‌شود که تغییر جهت شیب دامنه‌های کوهستانی اثرات متفاوتی بر ارتفاع برف مرز کواترنری گذاشته باشد و نتوان به صورت کلی در مورد آن اظهار نظر نمود. این پژوهش با شناسایی سیرک‌های یخچالی در واحدهای ژئومورفیک و حوضه‌های آبریز درجه ۲ ایران، به تجزیه و تحلیل ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری با روش‌های متفاوت پرداخته است.

حوضه آبریز به مساحتی از زمین است که اطراف آن را ارتفاعات در بر گرفته و رواناب حاصل از بارندگی روی این سطح، در گودترین نقطه تمرکز پیدا کرده است و از نقطه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را دارد از حوضه خارج می‌گردد (امین‌علیزاده، ۱۳۹۰: ۴۷۶). بر اساس معیار فضایی، واحد ژئومورفیک، بزرگ‌ترین سطحی در نظر گرفته شد که اشکال موجود در آن از همگونی و تجانس نسبی برخوردار بوده و با فضای مجاور خود قابل تفکیک هست. در صورت ثابت بودن متغیرهای جغرافیایی، اشکال حاصل از سنگ‌های یکنواخت تا حدودی می‌تواند همسان باشند و نتایج آن را در درجه اول، ساختمان زمین و جنس سنگ تعیین کرده است (علایی طالقانی، ۱۳۹۱: ۷۲).

عده زیادی از محققین در جهان به مطالعه یخچال و حاکمیت سیستم یخچالی پرداخته‌اند (جدول ۱). گرچه نمی‌توان زمان دقیق آغاز تحقیق و جستجوی انسان برای شناخت یخچال‌ها را تعیین کرد، اما در متون قدیم ایران زمین، اشارات عمیقی به این موضوع شده است؛ از جمله آن: تفسیر شیخ‌الرئیس ابوریحان بیرونی درباره سنگواره‌ها و بازشناسی موارد اقلیمی دوره‌های سرد و گرم است (رامشت، ۱۳۸۳). سابقه بررسی و ارائه نظریات قطعی در مورد یخچال‌های

1 Porter
2 Evans
3 Sarikaya
4 Mindrescu
5 Hendrickx

ایران، شاید به کمتر از ۸۰ سال اخیر برمی‌گردد (یمانی، ۱۳۸۸). محققین خارجی و ایرانی متعددی به مطالعه حاکمیت سیستم یخچال‌های کواترنری ایران، پرداخته‌اند (جدول ۲).

جدول ۱- محققین فعال در زمینه مطالعات یخچالی با ژئومورفولوژی یخچالی در جهان

نام محقق	سال تحقیق	منطقه مورد مطالعه	نتیجه تحقیق	نام محقق	سال تحقیق	منطقه مورد مطالعه	نتیجه تحقیق
اسمارک و شاریانیه	۱۸۲۱	اسکاندیناوی و نروژ	وسیع تر بودن یخچال‌ها در گذشته نسبت به امروز	ایوانز	۲۰۰۶	ولز	آلی متری سیرک‌های منطقه ولز
ونتز	۱۸۲۴	سوئیس	وسیع تر بودن یخچال‌های سوئیس	بوچرویتتر	۲۰۰۶	-	شناخت یخچال‌ها به‌عنوان شاخص آب و هوایی و معلول تغییرات اقلیمی و محیطی
آگاسیز و لوئیس	۱۸۴۰	-	پایه‌گذاری یخچال شناسی دیرینه	کریس	۲۰۰۶	قفقاز	عقب‌نشینی یخچال‌های قفقاز
فورس	-	اسکاتلند	حرکت یخچال‌ها با توجه به تغییر شکل ویسکوزیته	نایپراسکی	۲۰۰۷	-	بررسی لند فرم‌های یخچالی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی
پنک و بروخنر	۱۹۰۸-۱۹۰۱	-	گزارش تناوب دوره‌های یخچالی و بین یخچالی و ۴ دوره یخچالی	سریکایا	۲۰۰۹	ترکیه	مطالعه یخبندان‌های کواترنری و اقلیم گذشته
ایرل	۱۹۳۰	آلپ	مشخص کردن دو دوره سرد قدیمی دیگر	سریکایا	۲۰۱۱	ترکیه	مطالعه زمین‌شناسی یخچال‌های ترکیه و بازسازی محیط گذشته
میلانکوویچ	۱۹۵۰	-	بررسی آثار یخچالی و فرم ارضی رودخانه	میندراسکو	۲۰۱۳	رومانی	بررسی توسعه سیرک‌ها و بررسی تشابه آن با سیرک‌های منطقه ولز
کرک براید	۱۹۹۷	نیوزلند	کشف یخچال کوهستانی	خیانگ	۲۰۱۳	شمال غرب تبت	بررسی اقلیم و آثار یخچال‌های گذشته
کورترو و سانگور	۱۹۸۰	ترکیه	مطالعه یخبندان‌های ترکیه	دلمااس	۲۰۱۴	کوه‌های آلپ	آلومتري سیرک‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج آن
اسپوتیلا	۲۰۰۴	آلاسکا	کشف یخچال کوهستانی	سالچر	۲۰۱۴	-	شکل‌گیری اشکال یخچالی با توجه به عقب‌نشینی یخچال‌ها و ارتباط آن با فرسایش رودخانه‌ای

نام محقق	سال تحقیق	منطقه مورد مطالعه	نتیجه تحقیق	نام محقق	سال تحقیق	منطقه مورد مطالعه	نتیجه تحقیق
اوسکاین	۲۰۰۵	فراقستان	کشف یخچال کوهستانی	بار و اسپاگنولو	۲۰۱۵	-	مورفومتری سیرک‌ها از طریق فراوانی توزیع سیرک و ارتفاع آن‌ها
میشل	۲۰۰۶	آمریکا	کشف یخچال کوهستانی	هنریکس	۲۰۱۵	اتیوپی	بررسی یخچال‌ها و ژئومورفولوژی مناطق مجاور یخچالی و اقلیم گذشته

جدول ۲- نام محققین خارجی و ایرانی فعال در زمینه مطالعات یخچالی با ژئومورفولوژی یخچالی در ایران

نام محقق	سال تحقیق	منطقه مورد مطالعه	نتیجه تحقیق
دومورگان	۱۹۸۰	اشترانکوه و قلیان کوه	مطالعه سیرک‌های یخچالی قدیمی
استهل	۱۹۱۲	ایران	تهیه نخستین مجموعه زمین‌شناسی و اظهار بی‌اطلاعی درباره یخبندان کوتاه‌تر
برادران مولر	۱۹۳۲	ایران	مطالعه یخچال علم کوه
نیر مایر	۱۹۳۳	ایران	وجود نشانه‌هایی از فعالیت یخچال‌ها در مناطق کوهستانی
هانس بویک	۱۹۳۳	رشته‌کوه البرز و ارتفاعات کردستان	بررسی آثار یخبندان در دوره کوتاه‌تر و شناسایی یخچال‌های دوره سرد
دزیو	۱۹۳۴	زرد کوه بختیاری	مطالعه یخچال‌های گذشته
بوسک	۱۹۳۴	تخت سلیمان	نقشه‌برداری از ارتفاعات و یخچال‌های منطقه علم کوه
اهلرز	۱۹۶۰	ایران	پایین بودن ارتفاع برف مرز در گذشته
رایت	۱۹۶۲	مرز ایران و عراق	شناسایی سیرک‌های متعدد
شوایتزر	۱۹۷۰	کوه سبلان	شناسایی ۷ یخچال و چند طبقه برف دائمی
هاگه درن	۱۹۷۴	شیرکوه یزد	برآورد ارتفاع ۴۲۰۰ متری به‌عنوان ارتفاع برف مرز
کهل	۱۹۷۶	کوه جوپار کرمان	شناسایی آثار یخبندان کوتاه‌تری در دوره‌های ریس و وورم
کریستف پروی	۱۹۸۰	زرد کوه بختیاری	مشخص کردن حد پایین زبانه یخچالی
ژان درش	۱۹۸۲	علم کوه و تخت سلیمان	مطالعه یخچال
پدرامی	۱۹۸۲	مریوان و تهران	بررسی آثار یخچالی و فرسایش یخچالی
طاحونی	۱۳۸۳	ارتفاعات تالش	شناسایی دو سیستم فرسایش یخچالی و مجاور یخچالی کوتاه‌تری
یمانی و زمانی	۱۳۸۶	زرد کوه	شناسایی یخچال زرد کوه به‌عنوان وسیع‌ترین یخچال زاگرس
موسوی	۱۳۸۶	ایران	تقسیم‌بندی یخچال‌های ایران از نظر زمین‌شناسی
موسوی و همکاران	۱۳۸۷	زرد کوه	شناسایی ۵ منطقه یخچالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای
جعفری	۱۳۸۸	ایران	تأثیر جهت شیب سطوح ارضی بر ارتفاع خط تعادل آب و یخ
قهرودی	۱۳۹۰	حوضه آبریز رود هراز	مطالعه برف مرز رد دوره یخچالی و بین یخچالی

نام محقق	سال تحقیق	منطقه مورد مطالعه	نتیجه تحقیق
سرور و مجتهدی	۱۳۹۰	البرز مرکزی (خشیشال)	شکل‌گیری یخچال توسط سه عامل زمین‌ساخت، ریخت‌شناسی و تغییرات آب و هوایی
قهرودی و حسینی	۱۳۹۱	کوه (قندیل) مرز ایران و عراق	مطالعه یخچال و برآورد ارتفاع برف مرز در آخرین دوره یخچالی
پاریزی و همکاران	۱۳۹۲	تنگ‌نویه سیرجان	مطالعه شواهد یخچال‌های کواترنری پایانی
سیف و ابراهیمی	۱۳۹۳	زرد کوه	مورفومتری سیرک‌های یخچالی
جعفریگلو	۱۳۹۳	کوهستان بیدخوان کرمان	بررسی آثار یخچالی
شمسی‌پور و همکاران	۱۳۹۴	ارتفاعات قلاجه (زاگرس چین خورده)	اثبات حاکمیت قلمروهای یخچالی و مجاور یخچالی
سیف و همکاران	۱۳۹۴	زرد کوه	بازسازی برف مرز پلیستوسن
شورستانی و همکاران	۱۳۹۵	ارتفاعات شمال شرق ایران (کوه بینالود)	بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری
خوش‌رفتار و همکاران	۱۳۹۵	کوه شاه البرز (البرز غربی)	بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی
قهرودی و همکاران	۱۳۹۶	مرز ایران، ترکیه و عراق	شناسایی شواهد یخچالی در کوهستان‌های رندوله و بابوله
احمدآبادی و همکاران	۱۳۹۷	زردکوه	شناسایی سیرک‌های یخچالی با تاکید بر شواهد ژئومورفومتری
بهشتی جاوید و اسفندیاری	۱۳۹۷	کوه سبلان	شناسایی لندفرم‌های یخچالی کوه سبلان با استفاده از روش‌های گرا

۲- منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع، مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است. محدوده سیاسی ایران به ۶ واحد ژئومورفیکی (واحد زاگرس، واحد شمالی، واحد ایران مرکزی، واحد شرق، واحد شمال شرق و واحد شمال غرب) تقسیم شده است (طالقانی، ۱۳۹۱: ۲۱). کشور ایران به ۶ حوضه آبریز درجه ۱ و ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲ تقسیم می‌شود (سالنامه آماری ایران، ۱۳۹۰). از ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲، در ۲۱ زیرحوضه آثار سیرک‌های یخچالی کواترنری (۶ واحد ژئومورفیک) شناسایی شد (شکل ۱).

دوره‌های سرد کواترنری تحت تأثیر فرایند یخچالی قرار داشته‌اند. ارتفاع برف مرز به روش‌های رایج، ارتفاع کف سیرک پورتر محاسبه شد. جهت کلی سیرک‌های شناسایی شده با توجه به امتداد ناهمواری‌ها مشخص گردید؛ به‌عنوان مثال اگر خط‌الرأس امتدادی شمال غرب - جنوب شرق داشت (زاگرس) جهت سیرک شمال شرقی یا جنوب غربی در نظر گرفته شد، یا امتداد شمالی - جنوبی تالش باعث شکل‌گیری سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی یا غربی می‌شود. علاوه بر آن با توجه به نقشه‌های جهت شیب و گرفتن نمونه از نقاط سیرکی، جهت محل سیرک برآورد شد. جهات جغرافیایی سیرک‌ها در ۸ جهت اصلی و فرعی طبقه‌بندی گردید. در اینجا شرح مختصری از روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز ارائه می‌شود.

روش رایج

در روش رایج با تعیین مکان سیرک‌ها و گذراندن خط ۶۰ درصد از آن، برف مرز دائمی تعیین می‌شود (جعفری‌گلو، ۱۳۹۳). در این روش بر روی سیرک‌های شناسایی شده، رابطه (۱) اعمال شد.

$$X = (H_{max} - H_{min}) / 100 * 60 \quad R = H_{min} + X \quad \text{رابطه (۱)}$$

که X تفاوت ارتفاع برف مرز دائمی از ارتفاع پایین‌ترین سیرک شناسایی شده، H_{max} بالاترین ارتفاع سیرک، H_{min} پایین‌ترین ارتفاع سیرک و R ارتفاع برف مرز است (قهرودی، ۱۳۹۵).

روش پورتر

از نظر پورتر (۲۰۰۱) یخچال زمانی سیرک را پر می‌کند که خط برف مرز خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک نباشد، این روش برای به دست آوردن ارتفاع خط تعادل‌های گذشته است (رابطه ۲).

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

که M_o ارتفاع کف سیرک، L حد پایین طبقه نمادار، d_1 تفاضل فراوانی طبقه ماقبل طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار، d_2 تفاضل فراوانی طبقه مابعد طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار و h اختلاف ارتفاع طبقه نمادار است (سیف، ۱۳۹۴).

ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

در روش ارتفاع کف سیرک، نیم‌رخ طولی سیرک در دو شکل مختلف ترسیم گردید: یکی پروفیل طولی از بالاترین ستیغ حوضه تا نقطه خروجی سیرک و دیگری پروفیلی از بالاترین ستیغ حوضه تا اولین مورن‌های میانی باقی‌مانده در محیط (محل تلاقی دوزبانه یخچالی). در این دو پروفیل، ارتفاع حداکثر و حداقل پروفیل و ارتفاع کف سیرک برآورد گردید. در ترسیم پروفیل‌ها نهایت دقت شد که پروفیل مای از کف سیرک عبور کنند و حالت تقعر را بتواند نشان دهد.

در این روش، از راه میانگین محدوده ارتفاعی پایانه زبانه یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقه موردنظر، ارتفاع برف مرز مشخص می‌شود (رابطه ۳).

$$AR = \frac{Ah + At}{2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که AR ارتفاع برف مرز، Ah بالاترین ارتفاع سیرک و At پایین‌ترین ارتفاع سیرک است (شریفی، ۱۳۹۴).

روش نسبت پنجه به دیواره

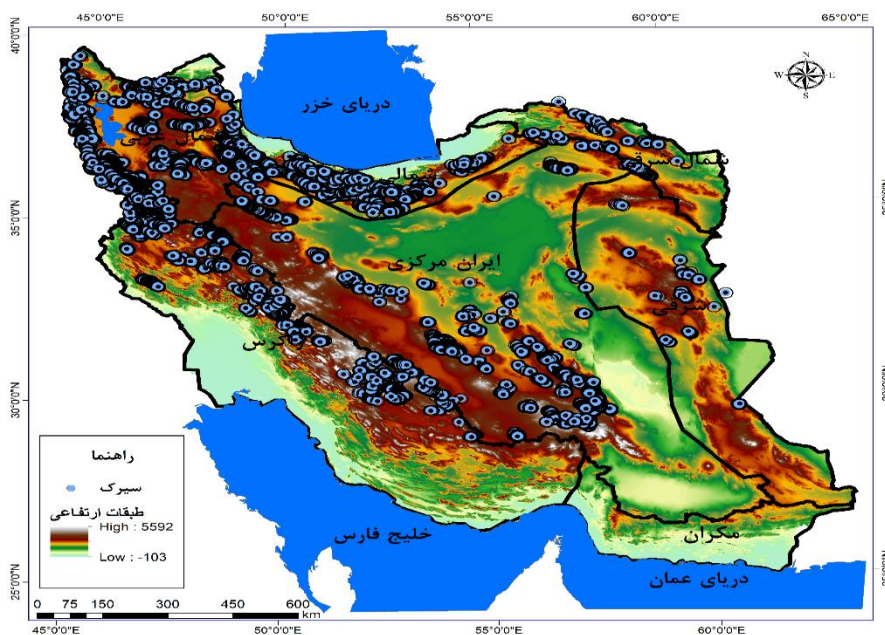
با استفاده از روش نسبت پنجه به دیواره ارتفاع خط تعادل (ELA) و نسبت THAR به دست می‌آید. با روش THAR بهترین نتیجه برای یخچال‌های کوچک و متقارن با توزیع نرمال پهنه‌ها و ارتفاعات به دست می‌آید. نسبت THAR بین ۰ تا ۱ است. برای شناسایی سیرک‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود و اگر نسبت THAR کمتر از ۰٫۶ یا بزرگ‌تر از ۰٫۸۶ باشد، شکل شناسایی شده، سیرک محسوب نمی‌شود (رابطه ۴) (یمانی و مقیمی، ۱۳۹۲).

$$THAR = (ELA - AT) / (AH - AT) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که ELA ارتفاع خط تعادل، AH بیش‌ترین ارتفاع، AT کمترین ارتفاع است.

۴- بحث و نتایج

سیرک‌های یخچالی، لندفرم‌هایی به شکل مقعر هستند که در یخچال‌های کوهستانی شکل گرفته‌اند (اوانز، ۲۰۰۶). با توجه به فرم و ارتفاع خطوط منحنی میزان، وضعیت آبراهه‌ها و ارتفاع قله‌های مسلط به سیرک، ۱۱۶۴۱ سیرک در ایران شناسایی شد (شکل ۲). در بسیاری از حوضه‌های واحدهای ژئومورفیک جهت شیب سطوح ارضی در تعداد سیرک‌ها اثر گذاشته است؛ به طوری که در کل ایران بیش از ۶۰ درصد سیرک‌ها در دامنه‌هایی شکل گرفته‌اند که شیب سطوح ارضی آن‌ها متمایل به شمال هست. این گونه دامنه‌ها با توجه به تمایل بیشتر زاویه خورشیدی، دامنه‌های نثار شناخته شده‌اند (جدول ۶). بعد از شناسایی سیرک‌ها، به روش‌های ذکر شده، ارتفاع برف مرز برآورد گردید.



شکل ۲- موقعیت مکانی سیرک‌های شناسایی شده در ایران

جدول ۶- فراوانی سیرک در جهات مختلف جغرافیایی در واحدهای ژئومورفیک

واحد ژئومورفیک	فراوانی کل	جهت	فراوانی در جهت	درصد فراوانی در جهت
ایران مرکزی	۲۶۱۵	شمال	۲۷۰	۱۰
		جنوب	۱۶۶	۶
		شمال شرق	۱۲۸۶	۴۹
		جنوب غرب	۸۹۳	۳۴
شمال	۱۹۴۸	شرق	۵۳	۳
		شمال	۱۱۷۶	۶۰
زاگرس	۱۵۰۶	جنوب	۷۱۹	۳۷
		شمال شرق	۹۲۲	۶۱
شمال غرب	۲۷۲۰	جنوب غرب	۵۸۴	۳۹
		شمال	۶۳۳	۲۳
شمال شرق	۱۱۲	جنوب	۹۹	۴
		شمال شرق	۲۸۶	۱۰
		شمال	۲۹	۲۴
		جنوب	۵۱	۴۲
		شمال شرق	۲۶	۲۱
		جنوب غرب	۱۶	۱۳

واحد ژئومورفیک	فراوانی کل	جهت	فراوانی در جهت	درصد فراوانی در جهت
شرق	۱۶	شمال شرق	۱۰	۶۲/۵
		جنوب غرب	۶	۳۷/۵

ارتفاع برف مرز به روش رایت در جهات مختلف ناهمواری

بعد از شناسایی آثار سیرکی به کمک نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای و پس از تفکیک سیرک‌ها در هشت جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق، غرب) و فرعی (شمال شرق، جنوب غرب، شمال غرب، جنوب شرق) در حوضه‌های آبریز طبق رابطه (۱) ارتفاع برف مرز برآورد گردید. مقایسه تفاوت ارتفاع برف مرز در جهت‌های مختلف به روش رایت حاکی از آن است که بیشترین تفاوت در حوضه‌های دریاچه نمک (۴۴۹ متر) و ارس (۴۴۰ متر) برآورد شده است. کمترین تفاوت ارتفاع در حوضه‌های آبریز هراز- قره‌سو (۵۵۱- متر) و کویر درانجیر (۳۵۰- متر) بوده است و در ۳ حوضه آبریز هیچ‌گونه تفاوتی در ارتفاع برف مرز در جهات مختلف وجود نداشته است. عدم تفاوت ارتفاع برف مرز در حوضه‌های آبریز حاکی از آن است که نحوه پراکندگی ناهمواری‌ها به‌گونه‌ای است که جهت کمترین اثر را بر ارتفاع برف مرز گذاشته است. هرچه جهت اثر بیشتری بر ارتفاع برف مرز داشته باشد، تفاوت ارتفاع برف مرز نیز بیشتر برآورد می‌گردد. چنانچه در واحدهای ژئومورفیک شمال غرب (۲۸۳ متر)، ایران مرکزی (۲۳۱ متر) بیش‌ترین تأثیر جهت ناهمواری‌ها در ارتفاع برف مرز دیده می‌شود و واحد ژئومورفیک زاگرس کمترین اثر را از تغییر جهت ناهمواری‌ها پذیرفته‌اند (جدول ۷).

جدول ۷- ارتفاع برف مرز به روش رایت (رابطه ۲) در جهات مختلف ناهمواری‌ها

Δh	$X=(H_{max}-H_{min})/100*60$ $R=H_{min}+X$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۲۰۴	-	-	-	-	۳۱۰۸	۲۹۰۴	-	-	گاوخونی	ایران مرکزی
۸۲	-	-	-	-	۳۵۳۰	۳۴۴۸	-	-	کویر لوت	
-۳۵۰	-	-	-	-	-	-	۳۰۹۹	۳۴۴۹	کویر درانجیر	
۱۶۵	-	-	-	-	۳۰۵۶	۲۸۹۱	-	-	کویر سیاه کوه	
۲۴۰	-	-	-	-	۳۱۶۷	۲۹۲۷	-	-	ابرقو- سیرجان	
۴۴۹	-	-	-	-	۳۳۳۶	۲۸۳۷	-	-	دریاچه نمک	
۰	-	-	-	۲۲۰۲	-	-	-	-	تالش-مرداب انزلی	شمال
-۳۴۸	-	-	-	-	-	-	۳۰۸۰	۳۴۲۸	سفیدرود-هراز	
-۵۵۱	-	-	-	-	-	-	۲۷۱۰	۳۲۶۱	هراز- قره‌سو	
۰	-	-	-	-	-	-	-	۲۵۷۲	قره‌سو-گرگان رود	
-۱۷	-	-	-	-	-	-	۲۸۰۲	۲۸۱۹	کویر مرکزی	

Δh	$X=(H_{max}-H_{min})/100*60$ $R=H_{min}+X$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۷۰	-	-	-	-	۲۸۷۹	۲۸۰۹	-	-	کرخه	زاگرس
-۲۸۲	-	-	-	-	۲۸۸۴	۳۱۶۶	-	-	کارون	
-۶۶	-	-	-	-	۲۴۱۴	۲۴۸۰	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	-	-	۲۹۸۴	-	-	بختگان-مهملو	
۴۴۰	-	-	-	۲۹۲۵	-	-	-	۲۴۸۵	ارس	شمال غرب
۲۸۰	-	-	-	۲۶۱۴	۳۱۲۷	۲۸۲۵	۲۸۷۲	-	سفیدرود	
۱۲۹/۵	-	-	۲۹۲۲	۲۶۳۷	-	-	۲۵۸۱	۲۶۰۷	دریاچه ارومیه	
۲۷۶	-	-	-	-	-	-	۲۴۸۴	۲۲۰۸	اترک	شمال شرق
-۵۰	-	-	-	-	۲۶۱۶	۲۶۶۶	-	-	قره‌قوم	
-۴۵	-	-	-	-	۲۵۲۰	۲۵۶۵	-	-	نمکزار خواف	شرق

ارتفاع برف مرز به روش ارتفاع کف سیرک پورتر

در این روش ابتدا سیرک‌ها از نظر ارتفاعی بافاصله ۱۰۰ متر طبقه‌بندی شد و فراوانی نسبی سیرک در هرکدام از طبقات مشخص گردید. ارتفاع برف مرز دائمی کوتاه‌تری در طبقه‌ای قرار دارد که سیرک‌ها بیشترین فراوانی را داشته باشد. با مشخص کردن طبقه نمادار، طبق رابطه (۳) عمل شد. مقایسه ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش ارتفاع کف سیرک پورتر در جهات مختلف حاکی از آن است که حوضه‌های آبریز ارس (۷۶۱ متر)، سفیدرود (۶۰۲ متر) و کویر مرکزی (۳۵۰ متر) بیش‌ترین تفاوت را در جهات مختلف داشته‌اند. مقایسه واحدهای ژئومورفیک از این نظر حاکی از آن است که همانند روش رایت، واحد شمال غرب (۴۷۴ متر) بیش‌ترین تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات مختلف داشته است (جدول ۸).

جدول ۸- ارتفاع برف مرز به روش ارتفاع کف سیرک در جهات مختلف ناهمواری‌ها

Δh	$M_o=L+\frac{d_1}{d_1+d_2} \times h$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۱۶	-	-	-	-	۲۷۶۶	۲۷۵۰	-	-	گاوخونی	ایران مرکزی
۲۶	-	-	-	-	۲۹۶۶	۲۹۴۰	-	-	کویر لوت	
-۱۲۵	-	-	-	-	-	-	۳۰۳۳	۳۱۵۸	کویر درانجیر	
۵۱۲	-	-	-	-	۳۰۶۲	۲۵۵۰	-	-	کویر سیاه کوه	
۱۱۸	-	-	-	-	۳۰۰۶	۲۸۸۸	-	-	ابر قو- سیرجان	
۳۳	-	-	-	-	۲۷۶۶	۲۷۳۳	-	-	دریاچه نمک	
۰	-	-	-	۱۹۶۴	-	-	-	-	تالش-مرداب انزلی	شمال

Δh	$Mo = L + \frac{d1}{d1+d2} \times h$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۳۲۵	-	-	-	-	-	-	۳۱۵۰	۲۸۲۵	سفیدرود-هراز	
-۷	-	-	-	-	-	-	۲۹۵۷	۲۹۶۴	هراز-قرهسو	
۰	-	-	-	-	-	-	۰	۲۵۶۵	قرهسو-گرگان رود	
۳۵۰	-	-	-	-	-	-	۲۸۵۰	۲۵۰۰	کویر مرکزی	
-۶۸۷	-	-	-	-	۲۳۶۷	۳۰۵۴	-	-	کرخه	زاگرس
۳۰۲	-	-	-	-	۳۱۵۵	۲۸۵۳	-	-	کارون	
-۲۹۱	-	-	-	-	۲۱۴۲	۲۴۳۳	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	-	-	۲۹۱۶	-	-	بختگان-مهارلو	
۷۶۱	-	-	-	۲۸۳۴	-	-	-	۲۰۷۳	ارس	شمال غرب
۶۰۲	-	-	-	۲۶۱۶	۳۱۵۳	۲۱۵۳	۲۸۲۰	-	سفیدرود	
۲۶۳/۵	-	-	۳۰۵۵	۲۱۲۸	-	-	۲۴۵۰	۲۸۵۰	دریاچه ارومیه	
۲	-	-	-	-	-	-	۲۲۲۰	۲۲۱۸	اترک	شمال شرق
۱۴۰	-	-	-	-	۲۶۴۰	۲۵۰۰	-	-	قرهقوم	
-۲۲	-	-	-	-	۲۵۱۳	۲۵۳۵	-	-	نمکزار خواف	شرق

ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره

برآورد ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره در دو مرحله انجام شد.

مرحله اول

در این مرحله از اطلاعات پروفیل‌های تهیه‌شده در مرحله قبل، علاوه بر ارتفاع کف سیرک، ارتفاع پایین‌ترین و بالاترین قسمت پروفیل نیز استخراج گردید. پس از برداشت اطلاعات لازم، نسبت THAR برای هرکدام از سیرک‌ها محاسبه شد. به این صورت که ارتفاع پایین‌ترین قسمت پروفیل از ارتفاع کف سیرک کسر شد و عدد به‌دست‌آمده بر تفاوت بین حداقل ارتفاع و حداکثر ارتفاع پروفیل تقسیم شد. نسبت به‌دست‌آمده بین ۰ تا ۱ متغیر است. سیرک‌هایی که نسبت به‌دست‌آمده برای آن‌ها پایین‌تر از ۰/۴۶ و یا بالاتر از ۰/۸۶ است، سیرک محسوب نمی‌شوند و در برآورد ارتفاع برف مرز مدنظر قرار نمی‌گیرند (پورتر، ۲۰۰۱). پس از خارج کردن اطلاعات آن‌ها از جدول، ارتفاع برف مرز همانند روش رایج و روش ارتفاع کف سیرک پورتر (مدیا نما) برآورد شد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال-جنوب، ۳۲۶ متر و ۲۸۷ متر در جهت‌های شمال شرق-جنوب غرب، محاسبه شد. جهت شمال شرق-جنوب غرب در حوضه گاوخونی با ۵۹- متر و حوضه آبریز دریاچه نمک با ۴۸۳ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را نشان دادند. در واحد ژئومورفیک شمالی، ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال-جنوب، ۲۵۲ متر تفاوت داشت. این تفاوت ارتفاعی در جهت‌های شرق-غرب این واحد و در

حوضه آبریز تالش- مرداب انزلی (شرق- غرب)، حوضه آبریز قره‌سو- گرگان رود (شمال- جنوب) صفر بود. در جهت شمال - جنوب حوضه آبریز هراز - قره‌سو ۹۷- متر و قسمت‌های شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی ۵۶۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع در برف مرز برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک زاگرس، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی شده در جهت‌های شمال شرق- جنوب غرب، ۹۱ متر محاسبه گردید. حوضه آبریز کارون با اختلاف ۴۳ متر و حوضه آبریز مرزی غرب ۳۱۸- متر کمترین اختلاف برف مرز را داشته‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق - جنوب غرب، ۲۷۳ متر و در جهت شمال - جنوب، ۲۸ متر برآورد گردید. جهت شمال - جنوب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ۲۸ متر و شمال شرق - جنوب غرب در حوضه آبریز سفیدرود با ۲۷۳ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را به خود اختصاص داده‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال- جنوب (حوضه آبریز اترک) ۱۵ متر و در جهت شمال شرق- جنوب غرب (حوضه آبریز قره‌قوم) ۲۶- متر برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک شرق، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق- جنوب غرب، ۶۹ متر بوده است (جدول ۹).

جدول ۹- ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش رایت

Δh	THAR=(ELA-AT)/(AH-AT)								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
-۵۹	-	-	-	-	۲۷۷۲	۲۸۳۱	-	-	گاوخونی	ایران مرکزی
۵۶۷	-	-	-	-	۳۰۸۰	۲۵۱۳	-	-	کویر لوت	
۳۲۶	-	-	-	-	-	-	۲۹۳۶	۳۲۶۱	کویر درانجیر	
۱۱۵	-	-	-	-	۲۸۶۵	۲۷۵۰	-	-	کویر سیاه کوه	
۳۸۴	-	-	-	-	۳۰۴۲	۲۶۵۸	-	-	ابرکو- سیرجان	
۴۸۳	-	-	-	-	۳۰۵۶	۲۵۷۳	-	-	دریاچه نمک	
۰	-	-	-	۲۰۱۸	-	-	-	-	تالش-مرداب انزلی	شمال
۲۸۶	-	-	-	-	-	-	۳۱۲۱	۲۸۳۵	سفیدرود-هراز	
-۹۷	-	-	-	-	-	-	۲۷۱۶	۲۸۱۳	هراز- قره‌سو	
۰	-	-	-	-	-	-	-	۲۴۹۱	قره‌سو-گرگان رود	
۵۶۷	-	-	-	-	-	-	۳۰۸۰	۲۵۱۳	کویر مرکزی	
۱۵۲	-	-	-	-	۲۵۷۷	۲۴۲۵	-	-	کرخه	زاگرس
۴۳	-	-	-	-	۲۹۱۳	۲۸۷۰	-	-	کارون	
-۳۱۸	-	-	-	-	۲۱۲۵	۲۴۴۳	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	-	-	۲۷۸۰	-	-	بختگان-مه‌ارلو	
۵۹۶	-	-	-	۲۷۴۴	-	-	-	۲۱۴۸	ارس	شمال غرب
۹۹	-	-	-	۲۶۰۳	۲۵۶۷	۲۲۹۴	۲۵۲۸	-	سفیدرود	

Δh	THAR=(ELA-AT)/(AH-AT)								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۱۳۵	-	-	۲۶۵۰	۲۱۹۷	-	-	۲۴۷۲	۲۶۵۵	دریاچه ارومیه	
۱۵	-	-	-	-			۲۲۴۸	۲۲۳۳	اترک	شمال شرق
-۲۶	-	-	-	-	۲۵۰۴	۲۵۳۰	-	-	قره‌قوم	
۶۹	-	-	-	-	۲۴۷۵	۲۵۴۴	-	-	نمکزار خواف	شرق

مرحله دوم

تفاوت این مرحله با مرحله قبلی در این است که در این مرحله همانند روش ارتفاع کف سیرک پورتر ارتفاع برف مرز برآورد شده است. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال- جنوب، ۳۶ متر و ۱۳۵ متر در جهت شمال شرق- جنوب غرب، برآورد گردید. جهت شمال شرق- جنوب غرب در حوضه آبریز کویر سیاه کوه با ۱۹- متر و حوضه آبریز دریاچه نمک با ۵۸۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را نشان دادند. در واحد ژئومورفیک شمالی، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال- جنوب، ۱۱۱ متر و در جهت شرق- غرب کل واحد و در حوضه آبریز تالش- مرداب انزلی (شرق- غرب)، حوضه آبریز قره‌سو- گرگان رود (شمال- جنوب) تفاوت ارتفاعی صفر است. در جهت شمال- جنوب در حوضه آبریز قره- سو گرگان رود با ۲۱۶- متر و قسمت‌های شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی با ۳۸۴ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک زاگرس، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی شده در جهت‌های شمال شرق- جنوب غرب، ۲۲۷- متر برآورد گردید. حوضه آبریز مرزی غرب با اختلاف ۲۷۶- متر و حوضه آبریز کرخه با اختلاف ۷۰۴- متر، کمترین اختلاف برف مرز را داشته‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق- جنوب غرب، ۸۰۲ متر و کمترین اختلاف در جهت شمال- جنوب، ۱۸۶ متر برآورد گردید. در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، جهت شمال- جنوب با ۱۸۸ متر و جهت شرق- غرب با ۸۹۲ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را به خود اختصاص دادند. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال- جنوب (حوضه آبریز قره‌قوم) ۱۰- متر و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق- جنوب غرب (حوضه آبریز اترک) ۴۶۰ متر برآورد گردید و در نهایت در واحد ژئومورفیک شرق، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی شده در جهت شمال شرق- جنوب غرب، ۸۱- متر بوده است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش پورتر

Δh	THAR=(ELA-AT)/(AH-AT)								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۶۶	-	-	-	-	۲۸۶۶	۲۸۰۰	-	-	گاوخونی	ایران مرکزی
-۷۳	-	-	-	-	۲۹۳۳	۳۰۰۶	-	-	کویر لوت	
۳۶	-	-	-	-	-	-	۳۱۵۰	۳۱۱۴	کویر درانجیر	
-۱۹	-	-	-	-	۲۷۳۳	۲۷۵۴	-	-	کویر سیاه کوه	
۱۱۸	-	-	-	-	۳۰۸۰	۲۹۶۲	-	-	ایرفو- سیرجان	
۵۸۷	-	-	-	-	۳۰۳۷	۲۴۵۰	-	-	دریاچه نمک	
۰	-	-	-	۱۹۱۴	-	-	-	-	تالش-مرداب انزلی	شمال
۱۶۴	-	-	-	-	-	-	۳۱۲۱	۲۹۵۷	سفیدرود-هراز	
-۲۱۶	-	-	-	-	-	-	۲۵۵۰	۲۷۶۶	هراز- قره‌سو	
۰	-	-	-	-	-	-	۰	۲۴۹۱	قره‌سو-گرگان رود	
۳۸۴	-	-	-	-	-	-	۲۸۵۰	۲۴۶۶	کویر مرکزی	
-۷۰۴	-	-	-	-	۲۳۳۳	۳۰۳۷	-	-	کرخه	زاگرس
۳۰۰	-	-	-	-	۳۱۵۰	۲۸۵۰	-	-	کارون	
-۲۷۶	-	-	-	-	۲۱۶۶	۲۴۴۲	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	-	۰	۲۹۸۳	-	-	بختگان-مهارلو	
۷۴۲	-	-	-	۲۷۷۰	-	-	-	۲۰۲۸	ارس	شمال غرب
۲۴۳	-	-	-	۲۸۶۶	۳۱۴۴	۲۳۴۲	۲۵۵۰	-	سفیدرود	
۳۵۲	-	-	۳۰۴۲	۲۱۵۰	-	-	۲۶۶۲	۲۸۵۰	دریاچه ارومیه	
۴۶۰	-	-	-	-	-	-	۲۶۰۰	۲۲۶۰	اترک	شمال شرق
-۱۰	-	-	-	-	۲۶۵۰	۲۶۶۰	-	-	قره‌قوم	
-۸۱	-	-	-	-	۲۴۷۵	۲۵۵۶	-	-	نمکزار خواف	شرق

ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

در این مرحله پایین‌ترین ارتفاع با بالاترین ارتفاع پروفیل ترسیمی جمع و بر ۲ تقسیم گردید. برای به دست آوردن برف مرز از میانگین و مد استفاده شد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال-جنوب، ۲۸۰- متر و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز ۶۵۷ متر در جهت‌های شمال شرق-جنوب غرب، محاسبه شد. جهت شمال شرق-جنوب غرب در حوضه گاوخونی با ۱۳۳- متر و حوضه آبریز دریاچه نمک با ۶۵۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را نشان دادند. در واحد ژئومورفیک شمالی، ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال-جنوب، ۲۶۳ متر تفاوت داشت. در جهت شمال-جنوب در حوضه آبریز هرز-قره‌سو با ۱۲۵ متر و قسمت‌های شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی با ۴۲۱ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع در برف مرز برآورد

گردید. در واحد ژئومورفیک زاگرس، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی شده در جهت‌های شمال شرق- جنوب غرب، ۳۹۳ متر محاسبه گردید. حوضه آبریز کارون با اختلاف ۴۲۵ متر و حوضه آبریز کرخه ۶۴۷ متر، در واحد زاگرس کمترین و بیشترین اختلاف برف مرز را داشته‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق - جنوب غرب، ۸۹۹ متر و کمترین آن در جهت شمال - جنوب، ۲۰۰ متر برآورد گردید. جهت شمال - جنوب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ۱۵- متر و شمال شرق - جنوب غرب در حوضه آبریز ارس با ۷۰۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را به خود اختصاص دادند. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال- جنوب (حوضه آبریز اترک) ۲۳ متر و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق- جنوب غرب (حوضه آبریز قره‌قوم) ۶۳- متر برآورد گردید و در واحد ژئومورفیک شرق، در حوضه آبریز نمکزار خواف، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق- جنوب غرب، ۴۷- متر بوده است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

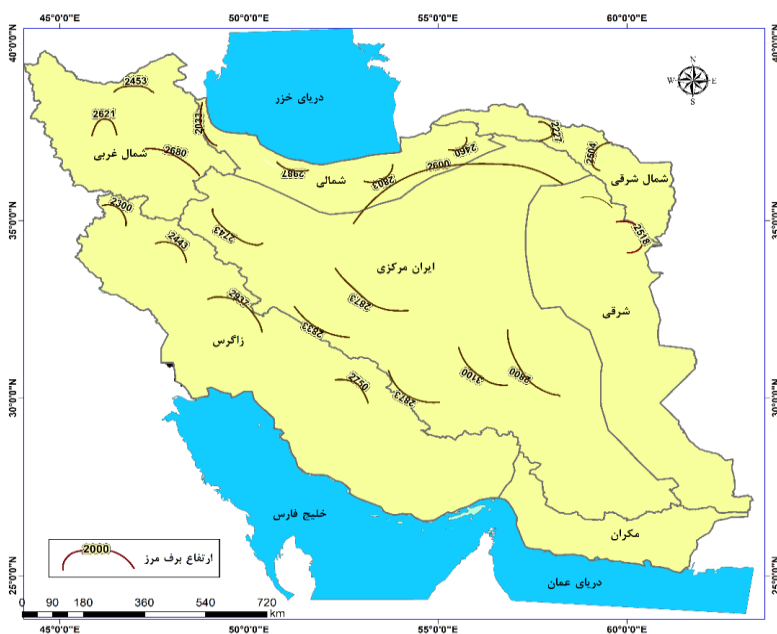
Δh	$R = (AH+AT)/2$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۱۳۳	-	-	-	-	۲۷۴۳	۲۸۶۷	-	-	گاوخونی	ایران مرکزی
۲۶۶	-	-	-	-	۳۱۳۳	۲۸۶۷	-	-	کویر لوت	
۲۸۰	-	-	-	-	-	-	۲۸۵۰	۳۱۳۰	کویر درانجیر	
-۳۲۱	-	-	-	-	۲۷۵۰	۳۰۷۱	-	-	کویر سیاه کوه	
۲۱۳	-	-	-	-	۳۱۸۰	۲۹۶۷	-	-	ابرقو- سیرجان	
۶۵۷	-	-	-	-	۳۰۶۷	۲۴۱۰	-	-	دریاچه نمک	
۰	-	-	-	۲۰۳۳	-	-	-	-	تالش-مرداب انزلی	شمال
۲۴۳	-	-	-	-	-	-	۳۰۶۸	۲۸۲۵	سفیدرود-هراز	
۱۲۵	-	-	-	-	-	-	۲۸۵۷	۲۷۵۰	هراز- قره‌سو	
۰	-	-	-	-	-	-	۰	۲۴۶۰	قره‌سو-گرگان رود	
۴۲۱	-	-	-	-	-	-	۲۸۷۵	۲۴۵۴	کویر مرکزی	
۶۴۷	-	-	-	-	۲۷۶۷	۲۱۲۰	-	-	کرخه	زاگرس
۴۲۵	-	-	-	-	۳۱۵۰	۲۷۲۵	-	-	کارون	
۵۰۰	-	-	-	-	۲۵۵۰	۲۰۵۰	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	-	-	۲۷۵۰	-	-	بخنگان-مهارلو	
۷۰۷	-	-	-	۲۷۴۳	-	-	-	۲۰۳۶	ارس	شمال غرب
۳۳۶	-	-	-	۲۴۷۶	۳۰۵۴	۲۱۵۵	۲۲۵۰	-	سفیدرود	
-۱۵	-	-	۲۴۲۰	۲۲۵۰	-	-	۲۵۸۰	۲۷۸۰	دریاچه ارومیه	

Δh	$R = (AH+AT)/2$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۲۳	-	-	-	-	-	-	۲۲۸۹	۲۲۶۶	اترک	شمال شرق
-۶۲	-	-	-	-	۲۵۰۰	۲۵۶۲	-	-	قره‌قوم	
-۴۷	-	-	-	-	۲۵۰۹	۲۵۵۶	-	-	نمکزار خواف	شرق

تحلیل ارتفاع برف مرز به روش‌های مختلف در واحدهای ژئومورفیک

مقایسه ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش‌های مختلف در واحدهای ژئومورفیک دال بر این است که روش رایج در واحدهای ژئومورفیک زاگرس، شمال، ایران مرکزی و شمال غرب با روش‌های ارتفاع کف سیرک پورتر، نسبت پنجه به دیواره (رایت و پورتر) و نسبت‌های ارتفاعی همخوانی ندارد و به‌طور متوسط ۲۰۰ متر بالاتر از آن‌ها برآورد شده است، در صورتی که در ارتفاع برف مرز برآورد شده واحدهای ژئومورفیک شرق و شمال شرق تفاوت چندانی با سایر روش‌ها ندارد. بر این اساس در واحدهای ژئومورفیکی که ارتفاع برآورد شده به روش رایج بیشتر از ارتفاع برآوردی در سایر روش‌ها بود، روش رایج در بررسی نهایی مدنظر قرار نگرفت. برای واحدهای ژئومورفیک شرق و شمال شرق در همه روش‌ها و برای سایر واحدها میانگین و انحراف معیار برآورد گردید. ارتفاعی که منطبق بر میانگین بود یا اختلاف کمتری از میانگین داشت، به‌عنوان روش برآورد ارتفاع برف مرز آن واحد ژئومورفیک معرفی گردید. نکته مهم دیگری که در انتخاب روش مناسب برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی در مناطق مختلف مدنظر قرار گرفت، تفاوت ارتفاع برف مرز دامنه‌های نثار از نگار بود. روش در صورتی در برآورد ارتفاع برف مرز حوضه و واحدی مناسب در نظر گرفته شد که علاوه بر برآورد ارتفاع برف مرز معقول، در جهات مخالف تفاوتی در ارتفاع برف مرز برآورد شده بود (شکل ۳)، (جدول ۱۲). بر این اساس تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات مختلف در تمام روش‌ها، در دو واحد ژئومورفیک شرق و شمال شرق، تفاوت ارتفاع نزدیک به هم برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، با توجه به اختلاف ارتفاع برف مرز برآورد شده از میانگین، ابتدا روش ارتفاع کف سیرک پورتر و سپس روش نسبت پنجه به دیواره (رایت) شرایط مطلوب‌تری دارند. از این نظر فقط در حوضه آبریز کویر سیاه کوه به کمک روش ارتفاع کف سیرک پورتر، ارتفاع برف مرز متفاوتی در جهات مختلف برآورد شده است. در سایر حوضه‌های آبریز، به کمک روش نسبت پنجه به دیواره (رایت)، اختلاف ارتفاع معقول‌تری در جهات مختلف محاسبه شده است. بر این اساس در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز برآورد شده در حوضه‌های آبریز مختلف و تفاوت ارتفاعی در جهات مختلف، نه از عرض جغرافیایی بلکه بیشتر از شرایط محلی تأثیر پذیرفته است؛ به‌طوری‌که ارتفاع برف مرز در حوضه آبریز کویر لوت (جنوبی‌ترین و گرم‌ترین حوضه) ۲۷۹۶ متر است، در صورتی‌که ارتفاع برف مرز در حوضه آبریز کویر درانجیر که در شرق حوضه آبریز کویر لوت واقع شده است، ۳۰۹۸ متر است. می‌توان گفت که جهت در ایجاد سیرک‌های یخچالی و ارتفاع برف مرز اثرگذار بوده است،

به طوری که ارتفاع بلندترین قله در حوضه‌های آبریز درانجیر و کویر لوت ۴۲۳۳ متر در کوه‌های پلوار است. جهت مؤثر بر ارتفاع سیرک‌ها در حوضه آبریز کویر لوت، شمال شرقی و در حوضه آبریز کویر درانجیر، جنوب غربی است و همین عامل در تفاوت ارتفاع برف مرز برآورد شده در آن‌ها نقش داشته است. در واحد ژئومورفیک شمالی از غرب به شرق، با توجه به کاهش ریزش‌های جوی و رطوبت نسبی، ارتفاع برف مرز کاهش داشته است. در حوضه‌های آبریز متعلق به این واحد ۲ استثنا وجود دارد؛ یکی حوضه آبریز تالش - مرداب انزلی که ناهمواری‌های آن جهت شمالی - جنوبی داشته است و بر اثر شرایط محلی کمترین ارتفاع برف مرز (۲۰۳۳ متر) را در کل ایران به خود اختصاص داده است و دیگری حوضه آبریز کویر مرکزی (قسمت‌های شمالی) که جهت دامنه‌های آن به سمت جنوب (البرز جنوبی) است. این حوضه آبریز ارتفاع برف متوسطی در بین حوضه‌های آبریز این واحد دارد (۲۶۶۴ متر). روش نسبت‌های ارتفاعی و روش ارتفاع کف سیرک پورتر، روش مناسب‌تری برای این واحد معرفی گردید.



شکل ۳- ارتفاع برف مرز در واحدهای ژئومورفیک ایران

جدول ۱۲- مقدار انحراف معیار در واحدهای ژئومورفیک

واحد ژئومورفیک	روش‌ها	میانگین	میانگین ارتفاع	انحراف از میانگین	انحراف معیار
ایران مرکزی	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۹۶۹	۲۹۶۷/۲۵	۱/۷۵	۱۸/۸۷۲
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۹۵۶		-۱۱/۲۵	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۹۹۷		۲۹/۷۵	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۹۴۷		-۲۰/۲۵	

واحد ژئومورفیک	روش‌ها	میانگین	میانگین ارتفاع	انحراف از میانگین	انحراف معیار
شمال	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۵۵۶	۲۵۲۸	۲۸	۳۲/۱۱۶
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۵۵۱		۲۳	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۴۷۵		-۵۳	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۵۳۰		۲	
زاگرس	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۶۸۴	۲۶۴۲/۲۵	۴۱/۷۵	۴۵/۱۲۴
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۵۸۳		-۵۹/۲۵	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۶۸۸		۴۵/۷۵	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۶۱۴		-۲۸/۲۵	
شمال غرب	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۶۶۱	۲۵۸۳	۷۸	۹۵/۲۳۳
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۴۸۷		-۹۶	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۶۹۴		۱۱۱	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۴۹۰		-۹۳	
شمال شرق	رایت	۲۴۹۳	۲۴۴۲/۲	۱۱۱	۶۳/۹۴۴
	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۳۹۴		-۹۳	
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۳۷۸		-۶۴/۲	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۵۴۲		۹۹/۸	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۴۰۴		-۳۸/۲	
شرق	رایت	۲۵۴۰	۲۵۲۲/۲	۱۷/۸	۱۰/۲۰۵
	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۵۲۴		۱/۸	
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۵۱۰		-۱۲/۲	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۵۱۵		-۷/۲	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۵۲۲		-۰/۲	

نتیجه بررسی روش‌های مختلف در واحد ژئومورفیک زاگرس حاکی از آن است که روش نسبت‌های ارتفاعی در این واحد، هم از نظر ارتفاع برف مرز و هم از نظر تفاوت اختلاف برف مرز در جهات مختلف کاربرد مناسب‌تری دارد. پیچیدگی امتداد ناهمواری‌ها در واحد ژئومورفیک شمال غرب باعث شد که در جهات اصلی به غیر شمال شرق- جنوب غرب سیرک‌ها پراکنده شده باشند و بر این اساس ارتفاع برف مرز در جهات مختلف برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، روش ارتفاع کف سیرک پورتر چه در برآورد ارتفاع برف مرز و چه در تفاوت ارتفاعی جهات مختلف، در همه زیرحوضه‌ها روش مناسب‌تری است. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، روش نسبت‌های ارتفاعی و روش ارتفاع کف سیرک پورتر به ترتیب کمترین تفاوت را با میانگین ارتفاعی برآورد شده به روش‌های مختلف دارد. از نظر تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات مختلف، حوضه آبریز قره‌قوم با روش ارتفاع کف

سیرک پورتر و حوضه آبریز اترک با روش نسبت‌های ارتفاعی هماهنگی بیشتری دارد و در واحد ژئومورفیک شرق و تنها حوضه آبریز آن (نمکزار خواف) ارتفاع برف مرز با روش نسبت پنجه به دیواره (رایت) همخوانی بیشتری دارد.

۵- نتیجه‌گیری

ارتفاع برف مرز کواترنری در واحد ژئومورفیک زاگرس در طی کواترنری به‌طور متوسط ۲۶۰۸ متر بوده است. اختلاف ارتفاع برف مرز کواترنری در این واحد ژئومورفیک که در عرض جغرافیایی گسترش بیشتری دارد، ۶۳۷ متر برآورد شد. ارتفاع برف مرز دامنه‌های نگار (سطوح ارضی به‌طرف جنوب غربی) ۵۲۴ متر بالاتر از ارتفاع برف مرز دامنه‌های شمال شرقی (دامنه‌های نسا) برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی به‌عنوان خشک‌ترین واحدی که در طی کواترنری تحت تأثیر فرایندهای یخچالی بوده است، روش ارتفاع کف سیرک پورتر و روش نسبت پنجه به دیواره رایت مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد ارتفاع برف مرز کواترنری معرفی گردید. در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز برآوردی بین ۲۷۴۳ متر تا ۳۰۹۸ متر متغیر بوده است (۳۶۰ متر اختلاف ارتفاع). ارتفاع برف مرز کواترنری این واحد ۲۸۵۳ متر و بالاترین ارتفاع برف مرز در بین واحدهای ژئومورفیک ایران بوده است. از نظر جهت در این واحد ژئومورفیک، تفاوت ارتفاع برف مرز دامنه‌های نسا با نگار در حدود ۳۳۷ متر بوده است واحد ژئومورفیک شمال در طول جغرافیایی گسترش بیشتری نسبت به عرض جغرافیایی دارد؛ ارتفاع برف مرز برآورد شده به‌خصوص برای حوضه‌های آبریزی جنوب دریای خزر، از غرب به شرق با کاهش بارش و رطوبت نسبی، کمتر شده است. بالاترین ارتفاع برف مرز برآورده شده در این واحد ۲۹۸۷ متر مربوط به حوضه آبریز سفیدرود-هراز در جنوب غربی دریای خزر و کمترین ارتفاع ۲۴۶۰ متر مربوط به حوضه آبریز قره‌سو-گرگان رود در جنوب شرقی دریای خزر است. در این واحد ژئومورفیک یک استثنای مهم وجود دارد و آن حوضه آبریز تالش-مرداب انزلی است که با امتداد شمالی-جنوبی کوه‌های تالش، کمترین ارتفاع برف مرز را در بین حوضه‌های آبریز ایران داشته است (۲۰۳۳ متر). در واحد ژئومورفیک شمال غرب، مناسب‌ترین روش برای برآورد ارتفاع برف مرز، روش ارتفاع کف سیرک پورتر بوده است، چراکه برف مرز برآورد شده در این روش هم کمترین اختلاف را با میانگین دارد و هم تأثیر جهت در تفاوت ارتفاع برف مرز را منعکس می‌کند. در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز کواترنری بین ۲۴۵۳ متر (حوضه آبریز ارس) تا ۲۶۸۵ متر (حوضه آبریز سفیدرود) متغیر بوده است (۲۳۲ متر اختلاف ارتفاع). در مجموع باید گفت که در طی کواترنری از جنوب به شمال ایران، ارتفاع برف مرز کاهش داشته است، به‌طوری‌که از نظر عرضی این اختلاف بین حوضه آبریز کارون (جنوبی‌ترین حوضه آبریز) و حوضه آبریز ارس (شمالی‌ترین حوضه آبریز) ۴۸۴ متر است. از نظر طول جغرافیایی، حوضه آبریز مرزی غرب در غرب با ارتفاع برف مرز برآوردی ۲۳۰۰ متر و حوضه آبریز کویر درانجیر در مرکز ایران با ۳۱۰۰ متر، بیش از ۸۰۰ متر اختلاف ارتفاع برف

را داشته‌اند. در مجموع در طی کوتاه‌ترینی اختلاف ارتفاع برف مرز ایران بیش از ۱۰۶۵ متر و ارتفاع برف مرز بین ۲۰۳۰ تا ۳۱۰۰ متر متغیر بوده است. متوسط ارتفاع برف مرز کوتاه‌ترینی ایران ۲۵۹۵ متر بوده است. با توجه به عرض‌های جغرافیایی که آثار لندفرم‌های سیرکی در آن‌ها شناسایی شد، می‌توان نتیجه گرفت که هر درجه عرض جغرافیایی ۸۹ متر بر ارتفاع برف مرز اثر گذاشته است.

کتابنامه

- ابطحی، سید مرتضی؛ ۱۳۹۰. بررسی پائوکلیمای حوضه آبخیز جاجرود به کمک شواهد یخچالی. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. (۱)۱. صص ۱۸۵ - ۲۰۱.
- احمدآبادی، علی؛ کرم، امیر؛ سرکیسیان، واردوهی؛ ۱۳۹۷. شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تاکید بر ویژگی‌های ژئومورفومتری. هیدروژئومورفولوژی. ۱۵. صص ۱-۱۶.
- انتظاری، علیرضا؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ قرنچیک، امان محمد؛ جهانفر، علی؛ شایان یگانه، علی اکبر؛ ۱۳۹۴. بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگان رود در کوتاه‌ترین. فصلنامه کوتاه‌ترینی ایران (علمی- پژوهشی). (۲)۱. صص ۱۶۹ - ۱۸۰.
- بهشتی جاوید، ابراهیم؛ اسفندیاری؛ فریبا؛ ۱۳۹۷. استخراج و شناسایی لندفرم‌های یخچالی با استفاده از روش‌های گرا (مطالعه موردی سیرک‌های یخچالی سبلان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. (۴)۶. صص ۸۸ - ۱۰۲.
- پاریزی، اسماعیل؛ رامشت، محمدحسین؛ تقیان، علیرضا؛ ۱۳۹۲. شواهد یخچال‌های کوتاه‌ترینی پایانی در حوضه‌ی تنگ‌نویه سیرجان. پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی. (۳)۲. صص ۱۱۱ - ۱۲۸.
- جعفری‌بیلگو، منصور؛ یمانی، مجتبی؛ عباس نژاد، احمد؛ زمان زاده، سید محمد؛ ذهاب ناظوری، سمیه؛ ۱۳۹۳. بازسازی برف مرزهای یخچالی کوتاه‌ترین در کوهستان بیدخوان (استان کرمان). فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران. (۴۰)۱۲. صص ۹۳ - ۱۰۷.
- جعفری، غلامحسین؛ اصغری سراسکانرودی، صیاد؛ ۱۳۹۳. بررسی آثار یخچالی کوتاه‌ترینی زنجان رود. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. (۲)۳. صص ۱۶ - ۳۰.
- خوش‌رفتار، رضا؛ فرید مجتهدی، نیما؛ اسعدی اسکوئی، ابراهیم؛ نوروزپور شهربیجاری، کامبیز؛ ۱۳۹۵. شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی پلیستوسن پایانی در کوه شاه البرز- البرز غربی. فصلنامه کوتاه‌ترینی ایران (علمی- پژوهشی). (۲)۲. صص ۱۵۵ - ۱۶۵.
- رامشت، محمدحسین؛ لاجوردی، محمود؛ لشکری، حسن؛ محمودی محمدآبادی، طیبه؛ ۱۳۹۰. ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی (مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. (۲)۲۲. صص ۵۹ - ۷۸.
- رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۸۰. دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران، تحقیقات جغرافیایی. (۶۰)۱۶. صص ۹۰ - ۱۱۱.

- رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۹۳. نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها). نشر سمت، دانشگاه تهران.
- سرور، جلیل‌الدین؛ فرید مجتهدی، نیما؛ ۱۳۹۰. شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی پلئستوسن در دامنه شمالی کوه خشچال (البرز غربی). فصلنامه جغرافیایی سرزمین ۸(۳۱). صص ۵۱ - ۶۷.
- سیف، عبدالله؛ ثروتی، محمدرضا؛ راهدان مفرد، محمد؛ ۱۳۹۴. بازسازی برف مرزهای کواترنری پایانی در محدوده سایت ریگ. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۳۰(۱). صص ۱۹۳-۲۰۸.
- شریفی، محمد؛ فرح‌بخش، زهرا؛ ۱۳۹۴. بررسی آنومالی حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلئستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه‌ی خضرآباد - یزد). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴(۴۷). صص ۵۸۳-۶۰۴.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ باقری سید لشکری، سجاده؛ جعفری اقدم، مریم؛ سلیمی منش، جبار؛ ۱۳۹۴. بازسازی برف مرزهای آخرین دوره یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (مطالعه موردی: تاقدیس قلاجه). جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹. صص ۶۱ - ۷۴.
- طاحونی، پوران؛ ۱۳۸۳. شواهد ژئومورفولوژیک فرسایش یخچالی پلئستوسن در ارتفاعات طالش. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۳۱ - ۵۵.
- علایی طالقانی، محمود؛ ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس.
- علیزاده، امین؛ ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- قربانی شورشانی، علی؛ خسروی، عذرا؛ نور محمدی، علی محمد؛ ۱۳۹۵. بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته‌کوه بینالود). پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، ۱(۱)۵. صص ۱-۱۳.
- قهرودی تالی، منیژه؛ حسنی قارنایی، رسول؛ خورشیدی، طاهر؛ حیدری، مهنوش؛ ۱۳۹۶. شواهد یخچالی رندوله و بابوله در قلمرو مرزهای ایران، ترکیه و عراق. فصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی). ۳(۳). صص ۲۷۷-۲۸۸.
- قهرودی تالی، منیژه؛ ۱۳۹۰. تخمین و مقایسه برف مرزهای دائمی در عصر یخچالی و بین یخچالی (مطالعه موردی: حوضه رود هراز). جغرافیا و توسعه. شماره ۲۵. صص ۹۷-۱۱۰.
- کیانی، طیبه؛ رامشت، محمدحسین؛ ملکی، امجد؛ صفاکیش، فریده؛ ۱۳۹۵. بررسی تغییرات حوضه گاوخونی در فاز پایانی کواترنر. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۸(۲). صص ۲۱۳-۲۲۹.
- نعمت‌الهی، فاطمه؛ رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۸۵. آثار یخساری در ایران، نشریه دانشکده علوم انسانی تبریز. شماره ۳. صص ۱۳۰-۱۴۹.
- یمانی، مجتبی؛ ۱۳۸۸. اندازه‌گیری حرکت سالیانه یخچال علم‌کوه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۶۷. صص ۳۱ - ۵۲.
- یمانی، مجتبی؛ زمانی، حمزه؛ ۱۳۸۶. بازیابی حدود مرز برف دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی. جغرافیا (نشریه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران). ۵(۱۲ و ۱۳). صص ۹۹-۱۱۶.

یمانی، مجتبی؛ زمانی، حمزه؛ ۱۳۹۵. تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در دره هراز در آخرین دوره یخبچالی. فصلنامه کوآترنری ایران (علمی - پژوهشی). ۲(۴). صص ۳۰۵-۳۱۴.

یمانی، مجتبی؛ شمسی‌پور، علی اکبر؛ جعفری اقدم، مریم؛ ۱۳۹۰. بازسازی برف مرزهای پلیوستوسن در حوضه‌ی جاجرود. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۶. صص ۳۵-۵۰.

یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم؛ عزیزی، قاسم؛ باخویشی، کاوه؛ ۱۳۹۲. تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، ۴۵(۴). صص ۱-۱۴.

- Barr, ID., Spagnolo, M., 2015. Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations, *Earth-Science Reviews*. 151. 48-78.
- Delmas, M., Gunnell, Y., Calvet, M., 2015. A critical appraisal of allometric growth among alpine cirques based on multivariate statistics and spatial analysis, *Geomorphology*. 228. 637-652.
- Evans DJ. ReaBR. 2003. Surging glacier land system. In *Glacial land systems*. Taylor and Francis
- Evans, IS., 2006. Allometric development of glacial cirque form: geological, relief and regional effects on the cirques of Wales, *Geomorphology*. 80(3). 245-266.
- GhahroudiTali, M., Hassani Gharnaie, R., 2012. Evolution of glacial landforms in Iraq and Iran borders. *Geological Conference of Kurdistan*, November 14-16, Sulaimani, Kurdistan Region, Iraq.
- Mîndrescu, M., Evans, IS., 2014. Cirque form and development in Romania: allometry and the buzzsaw hypothesis, *Geomorphology*. 208. 117-136.
- Mitchell, S.G., Montgomery, D.R., 2006. Influence of a glacial buzz saw on the height and morphology of the Cascade Range in central Washington State, USA. *Quaternary Research*. 65(1). 96-107.
- Moayeri, M., Ramesht, M.H., Saif, A., Yamani, M., JafariGhH., 2011. The impact of mountainous skirts direction of Iran on differences in altitude of withers and ice equilibrium line of quaternary, *Geography and environmental planning journal*. 40(4). 1-12.
- Moussavi, M.S., Valadan, Zoj, M.J. Vaziri, F., Sahebi, M.R., Rezaei, Y., 2009. A new glacier inventory of Iran, *Annals of Glaciology*. 50(53). 93-103.
- Napieralski, J., Harbor, J., Li, Y., 2007. Glacial geomorphology and geographic information systems, *Earth-Science Reviews*. 85(1). 1-22.
- Oskin, M., Burbank, D.W., 2005. Alpine landscape evolution dominated by cirque retreat, *Geology*. 33(12). 933-936.
- Pedrami, M., 1982. Pleistocene Glaciation's and Paleoclimate in Iran. *Geol. Surv. Iran*, Tehran.
- Porter, S.C., 2000. Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation, *Quaternary science reviews*. 20(10). 1067-1091.
- Salcher, B.C., Kober, F., Kissling, E., Willett, S.D., 2014. Glacial impact on short-wavelength topography and long-lasting effects on the denudation of a DE glaciated mountain range, *Global and Planetary Change*. 115. 59-70.
- Sarikaya, M. A., Zreda, M., Çiner, A., 2009. Glaciations and paleoclimate of Mount Erciyes, central Turkey, since the Last Glacial Maximum, inferred from 36 Cl cosmogenic dating and glacier modeling, *Quaternary Science Reviews*. 28(23). 2326-2341.
- Sarikaya, M.A., Ciner, A., Zreda, M., 2011. Quaternary glaciations of Turkey, *Developments in quaternary science*. 15. 393-403.

- Seif, A., Ebrahimi, B., 2014. Combined Use of GIS and Experimental Functions for the Morphometric Study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, Iran, *Quaternary International* .353.236-249.
- 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.
- Stokes, C. R., Gurney, S. D., Shahgedanova, M., &Popovnin, V. (2006). Late-20th-century changes in glacier extent in the Caucasus Mountains, Russia/Georgia. *Journal of Glaciology*, 52(176), 99-109.
- Xu X. 2014. Climates during Late Quaternary glacier advances, glacier-climate modeling in the Yingpu Valley, the eastern Tibetan Plateau. *Quaternary Science Reviews* 101, 18-27.