جغرافیا (نشریه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران)
دوره جدید، سال پنجم، شماره ۱۲ و ۱۳ بهار و تابستان ۱۳۸۶

بازیابی حدود برف مرز دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی

دکتر مجتبی یمانی[۱]
حمزه زمانی[۲]

چکیده

دره‌ی شهرستانک بی‌شک، یکی از مهم‌ترین مناطق برای مطالعه‌ی یخچالهای دوران کواترنر در البرز مرکزی است. از ویژگیهای منحصر به فرد این حوضه، می‌توان به یخرفتی با ۵۸۰۰ متر طول و ۳,۵ کیلومتر مربع مساحت در انتهای آبراهه‌ی اصلی، دره‌های U شکل، تخته سنگهای سرگردان، دره‌های کور و بالاخره سیرکها اشاره کرد. پژوهشگران بسیاری از منطقه‌ی البرز مرکزی بازدید کرده و گزارشهای ارزشمندی نیز تهیه کرده‌اند که در میان آنها اشاره‌هایی نیز به برخی اشکال تراکمی و یا کاوشی فرسایش یخچالی دره‌ی شهرستانک شده است. اما در مقیاس تفصیلی در مورد حدود گسترش یخبندانهای دوره‌ی کواترنر، ارتفاع برف‌مرز و ارتفاع خط تعادل (ELA) در آن دوره در دره‌ی شهرستانک، سخنی به میان نیامده است. این پژوهش در صدد بوده است تا با تحلیلی آماری، توزیع سیرکهای یخچالی و نیز ارتفاع برف‌مرز در آخرین دوره‌ی یخچالی را در این محدوده مورد بررسی قرار دهد. برای دست‌یابی به این هدف و بیان چگونگی توزیع سیرکهای یخچالی از آزمون مجذور کی استفاده شده است. روشهای گوناگونی برای بازسازی خط تعادل برف و یخ (ELA) پیشنهاد شده است که در اینجا با روش شاخص قرار دادن ارتفاع کف سیرکها، ارتفاع برف‌مرز دوره وورم تعیین شده است. نتایج تحقیق ثابت می‌کند که در مورد سیرکهای یخچالی، بین فراوانیهای مشاهده شده و فراوانیهای مورد انتظار، تفاوت معنی‌داری وجود دارد و توزیع این سیرکها ناشی از راستای ناهمواری است. افزون بر

---

۱. دانشیار دانشکده جغرافیا- دانشگاه تهران
۲. دانشجوی ژئومرفولوژی- دانشگاه تهران

این، اندازه‌ی سیرکها حاکی از آن است که فرایندهای گوناگونی در شکل‌گیری آنها شرکت داشته‌اند. در مورد ارتفاع برف‌مرز دوره‌ی گذشته نیز ادغام روش بررسی کف سیرکها و روشهای آماری، ارتفاع ۲۶۱۶ متر را برای برف مرز دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: یخچال، ارتفاع خط تعادل برف و یخ، برف‌مرز، سیرک یخچالی، دره‌ی شهرستانک.

مقدمه

در دوره کواترنر، شرایط یخچالی و بین‌یخچالی به تناوب به وقوع پیوسته و شواهد ژئومورفولوژیکی انکارناپذیری بر جای گذاشته است. با استفاده از این شواهد می‌توان برای تعیین برف‌مرز و حدود گسترش یخچالی و نیز مطالعه‌ی تغییرات اقلیمی آن دوره اقدام نمود. این امر، بدان دلیل امکان‌پذیر است که فرایندهای بیرونی تغییر دهنده‌ی شکل زمین نتوانسته‌اند به طور کامل آثار باقی مانده از فرسایش یخچالی کواترنری را از بین ببرند.

پرسشهایی که این تحقیق در پی یافتن پاسخ آنهاست عبارتند از:

۱) مرز یخبندان کواترنر در دره‌ی شهرستانک در دوره‌های یخچالی گذشته و در آخرین دوره یخچالی در چه ارتفاعاتی قرار داشته است؟

۲) بین فراوانی، حجم و توزیع سیرکهای یخچالی و از طرفی توپوگرافی و راستای ناهمواریها چه ارتباطی وجود دارد؟

نظریه یخچالی در اوایل دهه‌ی ۱۸۳۰ در کوهستانهای اروپای غربی گسترش یافت. شارپانتیه[1] و اسمارک[2] در گسترش این مفهوم که یخچالها در گذشته سطح وسیعی از خشکیها را پوشانده بودند کار کردند. در سال ۱۸۲۴ اسمارک به این نتیجه رسید که در گذشته، یخچالها نسبت به عصر حاضر، بسیار وسیع‌تر بوده و ضخامت بیشتری داشته و بیشتر قسمتهای نروژ را تا نزدیکی دریا پوشانده بودند. آگاسی[3] یکی دیگر از محققینی بود که در این زمینه به مشاهدات عینی

1. Jean de Charpentier
2. Jens Esmark
3. Jean Louis Rudolph Agassiz

پرداخت. وی در سال ۱۸۳۷ نظریه‌ای ارائه کرد مبنی بر اینکه در گذشته پهنه‌های وسیع یخ، بخش عمده نیمکره شمالی را پوشانده بودند. فوربس[1] طبیعی‌دان اسکاتلندی بر خلاف نظریاتی که معتقد بودند یخچالها با انبساط یا انجماد دوباره حرکت می‌کنند ثابت کرد که یخچالها با تغییر شکل گرانروی (ویسکوزیته) داخلی به تدریج حرکت می‌کنند.

تحقیقات دانشمندان در مورد یخچالها در کشورهای مختلف اروپا و امریکای شمالی ادامه داشت تا اینکه در اواسط سده نوزدهم، اروپاییان برای مطالعه‌ی یخچالها به مناطق مرتفع ایران سفر کردند. لیکن در گزارشهای خود چیزی در مورد یخچالهای ایران ننوشتند؛ چرا که یخچالی را مشاهده نکردند (برای نمونه: واتسن[2]، ۱۸۶۲). تا اینکه در سال ۱۸۹۰ ژاک دو مورگان[3]، در بیان مشاهدات خود از لرستان به وجود سیرک یخچالی اشاره کرد. از آن پس، کارهای جدی‌تری صورت گرفت که باز هم دانشمندان غربی در این راه پیشگام بودند. در این زمینه می‌توان به مطالعات باسک[4] (۱۹۳۳)، بوبک[5] (۱۹۳۴، ۱۹۳۷، ۱۹۵۷ و ۱۹۶۳)، دزیو[6] (۱۹۳۴)، هایبروک[7] (۱۹۴۰)، فالکن[8] (۱۹۴۶)، هاردینگ[9] (۱۹۵۷)، درش[10] (۱۹۵۸)، پگی[11] (۱۹۵۸)، دریو[12] (۱۹۶۱)، بوت[13] (۱۹۶۱)، رایت[14] (۱۹۶۲)، مک‌کیلان[15] (۱۹۶۹)، شوایتزر[16] (۱۹۷۲)، هوروات[17] (۱۹۷۵)،

1. James D. Forbes
2. R. G. Watson
3. Jaques De Morgan
4. D. L. Busk
5. H. Bobek
6. A. Desio
7. W. Heybrock
8. Falcon
9. J. G. R. Harding
10. J. Dresch
11. Ch. P. Péguy
12. M. Derrau
13. P. Bout
14. H. E. Wright
15. H. McQuillan
16. G. Schweitzer
17. E. Horvath

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

گرونـرت[1] (۱۹۷۸)، پـروی[2] (۱۹۸۰) و فریگنـو[3] (۱۹۸۸) اشـاره کـرد. برخـی از زمـین‌شناسـان و ژئومورفولوژیستهای ایرانی نیز به مطالعه در این زمینه پرداخته‌اند، برای نمونه: محمـودی (۱۳۶۷)، پدرامی (۱۹۸۷ و ۱۳۶۶)، یمانی(۱۳۸۱) و رامشت (۱۳۸۱ و ۱۳۸۴).

شوایتزر ارتفاع برف دائم را در حال حاضر، در البرز حدود ۴۲۰۰ متر تعیین می‌کند(عیوضـی، ۱۳۷۴، ص ۷۴). در باره مرزهای گسترش یخچالی و ارتفاع برف دائم در البرز مرکزی نیز نظریـات مختلفی ارائه شده است. به نظر بوبک و شوایتزر ، ارتفاع برف مرز در دوره‌هـای سـرد پلئیـستوسن حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر نسبت به حد امروزی پایین‌تر بوده است (عیوضی، ۱۳۷۴، صـص ۵-۷۴). یعنی در البرز مرکزی بین ۳۲۰۰ تا ۳۷۰۰ و یا بین ۳۰۰۰ تـا ۳۵۰۰ متـر بـوده اسـت. اهلـرز[4] بـا استناد به کارهای هوورمن[5] (۱۹۶۰) مرز برف دائم را در پلئیستوسن، ۲۰۰ متر پایین‌تر از آنچه که بوبک و شوایتزر نقل می‌کنند می‌دانـد (ر ک بـه: اهلـرز، ۱۳۷۲، ص ۱۰۷)؛ یعنـی بـین ۳۰۰۰ تـا ۳۵۰۰ و یا بین ۲۸۰۰ تا ۳۳۰۰ متر. پدرامی مرز برفهای دائمی در وورم اخیـر را در البـرز مرکـزی در حدود ۲۲۰۰ متر تعیین کرده است. پژوهشهای اخیر نشان می‌دهد که حد گسترش یخچالهـای دوره‌ی وورم در دامنه‌های شمالی علم‌کوه و تخت سلیمان ۲۸۰۰ متر و در دامنـه‌هـای جنـوبی آن ۳۱۰۰ متر می‌باشد (یمانی، ۱۳۸۱، ص ۱۵).

مطالعه‌ی کارهای انجام شده قبلی نشان می‌دهد که این مطالعات نه تنها گذرا و موردی بـوده بلکه نتایج آنها نیز به همان نسبت مختصر و گذرا است. از طرفی اختلاف نظر در نتایج بدست آمده بسیار زیاد است. ناگفته نماند که سهم البرز مرکـزی در ایـن مطالعـات بـسیار انـدک اسـت. نکتـه دیگری که در بررسی کارهای پیشین مطرح است اینکه، جز در مـوارد معـدود، کمتـر بـه بررسـی یخبندانهای دوره‌ی پلئیستوسن پرداخته شده و آنچه مسلم است یـک تحلیـل علمـی، تفـصیلی و همه‌جانبه بر روی ژئومورفولوژی یخچالی به صورت ناحیه‌ای ضروری می‌نماید.

1. J. Grunert
2. C. Preu
3. Jane G. Ferrigno
4. Ekart Ehlers
5. Hövermann

این تحقیق عمدتاً یک تحقیق بنیادی است. بنابر این، هدف کلی در این پـژوهش، گـسترش و بسط نظریه یخبندان کواترنر به وسیله تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافتن ارتباط میان جهـت و ارتفـاع ناهمواری و چگونگی پدید آمدن اشکال مورفولوژی یخچالی است. بر این اساس اهداف این تحقیـق را موارد زیر تشکیل داده اند:

۱) شناخت اشکال مورفولوژی یخچالی در دره‌ی شهرستانک؛

۲) تعیین مرزهای یخچالی کواترنر در البرز مرکزی؛

۳) مطالعه اختلافات موجود در مرزهای تشکیل و گسترش یخچالی در دامنـه‌هـای شـمالی و جنوبی البرز مرکزی و شناخت علل این اختلافات.

٤) دست‌یابی به متغیرهایی که در اختلاف ارتفاع مرزهای یخچالی این دو پهنه موثرند.

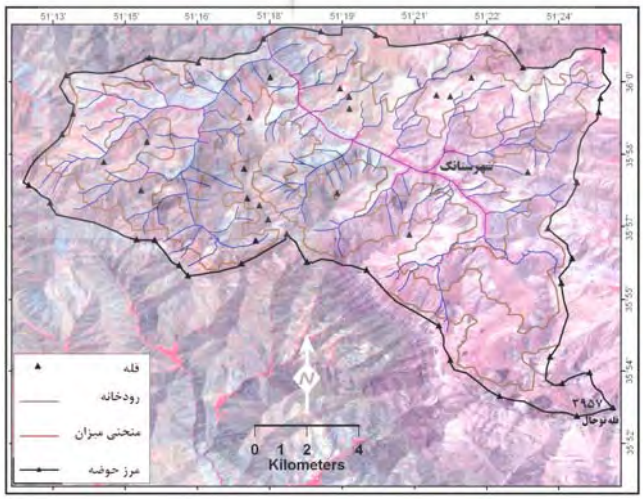
مواد و روشها

تحقیق حاضر، بر پایه یک روش تجربی استوار بوده است. بـرای مقایـسه اخـتلاف متغیرهـای عامل در دو دامنه شمالی و جنوبی حوضه تحت بررسی از روش تحلیلی استفاده شده است. تکنیک کار، بر پایه‌ی مقایسه‌ی ارتفاع سیرکها و تعیین حدود گسترش زبانه‌هـای یخچـالی در دو دامنـه‌ی شمالی و جنوبی و با انتخاب مقاطع نمونه استوار است. داده‌ها عمدتا شامل ارتفاع، مساحت، جهت و طول سیرک های یخچالی و نیز حد گسترش و پیشروی زبانه های یخچـالی در طـول در هـا بـر اساس یخرفتهای انباشته شده و موجود در دره های مذکور بوده اسـت. ایـن داده هـا بـه وسـیله‌ی مشاهده مستقیم و کارهای میدانی تفصیلی با استفاده از GPS اندازه گیری و موقعیت آنهـا ثبـت شده است . علاوه بر این، مشاهدات غیرمستقیم بـا اسـتفاده از ابـزار هـای نقـشه‌هـای توپـوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱، عکـسهای هـوایی بـه مقیـاس ۵۵۰۰۰ : ۱ (از شـماره‌هـای ۱۵۲۱۰ تـا ۱۵۲۱۷ و از شماره‌های ۱۵۲۴۸ تا ۱۵۲۵۳) و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده‌ی ETM+)، و نیز تـصاویر Aster سال ۲۰۰۶ برای بررسی بخشهای وسیع تری از حوضه به کـار گرفتـه شـده انـد. تمـامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و SPSS تحلیل شده و از طریق نقشه‌هـای موضـوعی متعدد نمایش داده شده‌اند.روش تجزیه و تحلیل شامل روشهای آماری (فرمول $X^2 = \sum (O -$

$(E)^2 / E$ و مقایسه نتایج حاصل با سایر روش ها از جمله روش رایت بوده است. این روابط ابزارهای مفهومی پژوهش را برای تجزیه و تحلیل و تعیین برف مرزها و خط تعادل برف و یخ را شامل شده است که طی آن فراوانی سیرکهای مشاهده شده و مورد انتظار در حوضه شهرستانک تعیین و سپس بر اساس این روشهای آماری، برف مرز های حوضه تحت بررسی تعیین شده اند. در اینجا، چون مقیاس اندازه‌گیری، جهت‌های جغرافیایی بوده اند و این جهات ارزش اسمی داشته اند، بنابراین، برای آزمون معنی‌دار بودن توزیع متغیر در جامعه، ناگزیر به استفاده از آزمونهای غیرپارامتریک بوده است.

موقعیت و حدود منطقه

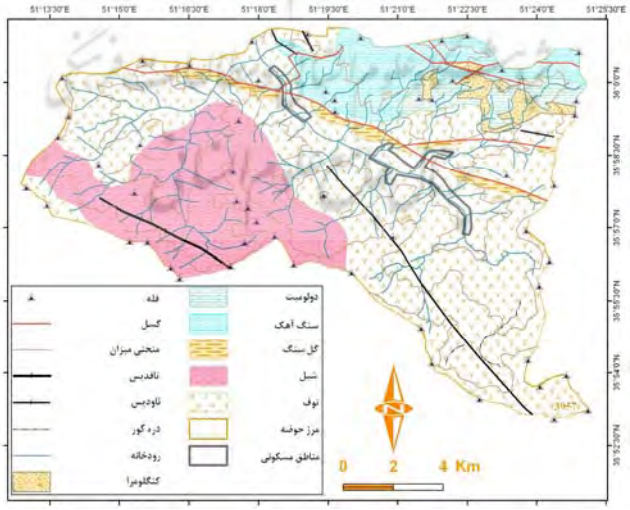
دره یخچالی شهرستانک در رشته کوه البرز مرکزی واقع و یکی از زیر حوضه‌های رود کرج می‌باشد. این حوضه بین مختصات "۴۳ '۱۲ °۵۱ و "۰۶ '۲۵ °۵۱ طول شرقی و "۰۳ '۵۳ °۳۵ و "۰۸ '۰۱ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد و قله توچال در حاشیه جنوب‌شرقی آن واقع شده و جاده چالوس از حاشیه غربی آن عبور می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت دره شهرستانک در البرز مرکزی

زهکشی اصلی حوضه بر عهده رودخانه شهرستانک است. این رودخانه آبهای سطحی حوضه را پس از طی حدود ۱۳ کیلومتر در امتداد شمال‌غربی، به رودخانه کرج سرازیر می‌کند. زیرحوضه‌های شهرستانک عبارتند از لانیز، کافردره، درازدره، دره‌ی لوارک، شلنگ و گودر. مساحت حوضه ۱۵۴ کیلومتر مربع بوده و در نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ تجریش (6261 I)، کرج (6261 IV) و گاجره (6262 II) قرار گرفته است. پیرامون حوضه ۳۶ قله وجود دارد که مهم‌ترین آنها قله توچال است که ۳۹۵۷ متر ارتفاع دارد و بقیه نیز اکثراً بیش از ۳۰۰۰ متر ارتفاع دارند.

منطقه مورد مطالعه در نقشه‌های زمین‌شناسی ۲۵۰۰۰۰ : ۱ تهران و آمل قرار دارد. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد. امتداد چین‌خوردگیها شمال‌غربی ـ جنوب‌شرقی و روراندگی اصلی البرز نیز با روند تقریبی شرقی ـ غربی از شمال منطقه عبور می‌کند. جدول ۱ مساحت و درصد هر یک از سنگهای تشکیل دهنده منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توف و شیل سازند کرج حدود ۸۳ درصد منطقه را پوشانده است. با در نظر گرفتن سهم تشکیلات دیگر، می‌توان گفت که بیشتر منطقه از سنگهای دوران سنوزوئیک تشکیل شده است.



شکل ۲ زمین‌شناسی حوضه شهرستانک

جدول ۱ - سنگهای تشکیل دهنده حوضه شهرستانک

نوع سنگ	توف	شیل	سنگ آهک	دولومیت	گل‌سنگ	کنگلومرا	جمع
مساحت (کیلومترمربع)	۹۱/۶	۳۵/۳	۱۵/۴	۴/۷	۳/۷	۳/۳	۱۵۴
درصد	۵۹/۵	۲۳	۱۰	۳	۲/۴	½	۱۰۰

ژئومورفولوژی حوضه شهرستانک

حوضه شهرستانک به طول ۱۸ کیلومتر با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی در حاشیه‌ی غربی البرز مرکزی قرار گرفته و منطقه‌ای کاملاً کوهستانی است. مساحت حوضه، ۱۵۴ کیلومتر مربع، محیط آن۵۹/۸ کیلومتر، طول آبراهه اصلی ۲۱ کیلومتر، پست‌ترین نقطه حوضه که در خروجی حوضه واقع شده دقیقاً ۲۰۰۰ متر و بلندترین نقطه حوضه قله توچال(۳۹۵۷ متر) می‌باشد. اختلاف ارتفاع پست‌ترین و بلندترین نقاط حوضه ۱۹۵۷ متر می‌باشد. به این ترتیب، برخی ضرایب عددی مربوط به شکل حوضه عبارت است از: ضریب گراویلیوس[1] ۱,۳۵؛ ضریب شکل هورتن[2] ۰,۳۵، ضریب گردواری[3] ۰,۵۴ و ضریب تطویل ۰,۶۷. محاسبه این ضرایب نشان می‌دهد که حوضه شهرستانک دارای شکل کشیده‌ای است و آبراهه اصلی بر قطر آن منطبق بوده و زمان تمرکز آبهای موجود، بر اساس رابطه کرپیچ[4]، ۵,۷۵ ساعت محاسبه شده است. همچنین شیب آبراهه اصلی حدود ۹ درصد و شیب دامنه‌ها به جز کف دره، معمولاً بیش از ۴۰ درصد می‌باشد.

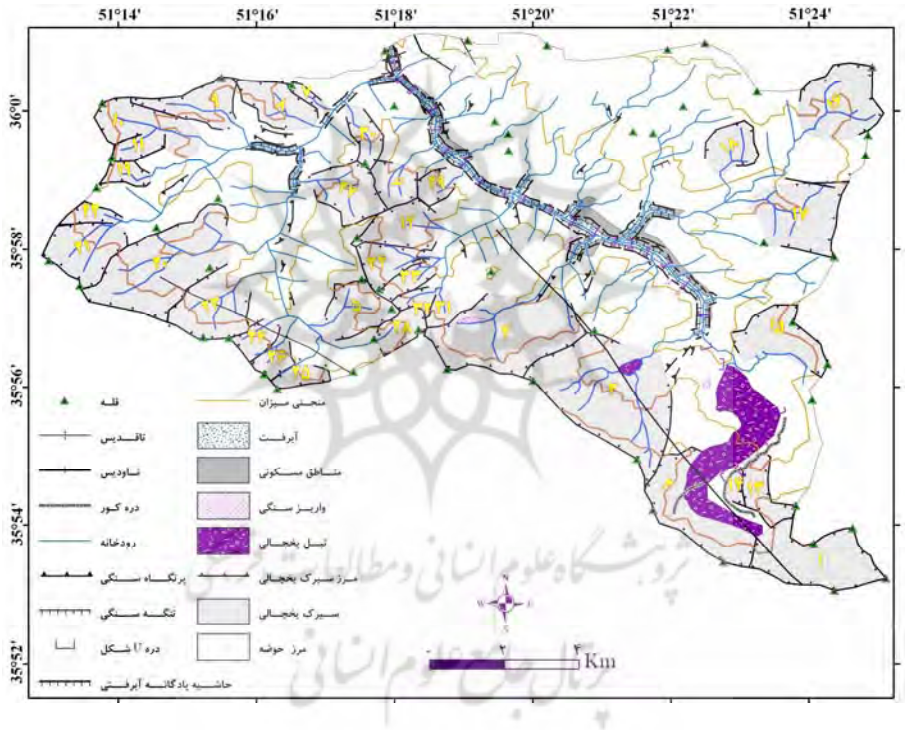
ویژگی منحصر به فرد شهرستانک که آن را از حوضه‌های همجوار متمایز می‌کند، وجود اشکال منحصر به فرد یخچالی در آن است. از جمله به وجود یخرفتی در انتهای آبراهه اصلی به طول ۵۸۰۰ متر با ضخامت ۲۰۰ متر و با مساحت ۳/۵ کیلومتر مربع می توان اشاره نمود.

ساختمان زمین

امتداد ارتفاعات شهرستانک به تبعیت از البرز مرکزی به طورکلی شرقی - غربی بوده و با ورود به حوضه از مسیر جاده‌ی کرج - چالوس ، دو رشته ارتفاع در دو سوی دره دیده می شود. رشته

1. Graelius Factor
2. Horton Form Factor
3. Curve Factor
4. Kirpich

شمالی روند شرقی - غربی داشته و ارتفاع کمتری نسبت به رشته جنوبی دارد. رشته جنوبی نیز، روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی داشته و بر محور تاقدیس منطبق است. ساختمان زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه، شدیداً چین‌خورده بوده و گسل اصلی البرز، حوضه را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند (شکل ۲).



شکل ۳ ژئومورفولوژی و موقعیت سیرک های یخچالی حوضه شهرستانک

بررسی سیرکهای منطقه

دره‌های رودخانه‌ای پیش از دوره‌های یخچالی بستر مساعدی برای شکل‌گیری سیرکهای یخچالی هستند. به طور مستقیم به کمک مشاهدات میدانی و نیز به وسیله تصاویر ماهواره‌ای، عکسهای هوایی و نقشه‌های توپوگرافی ۳۴ سیرک یخچالی در حوضه‌شهرستانک شناسایی شده

است. موقعیت این سیرکها در شکل ۳ نشان داده شده است. جدول ۲ نیز مشخصات این سیرکها را از نظر جهت، ارتفاع، محیط و مساحت بیان کرده است. شواهد موجود حاکی از آن است که در دوره‌های یخچالی کواترنر، سیرکهای این حوضه مساحتی در حدود ۶۰ کیلومتر مربع را در تصرف خود داشتند. بزرگ‌ترین سیرک حدود ۷ کیلومتر مربع و کوچک‌ترین سیرک ۰/۲۶ کیلومتر مربع وسعت دارد. از مجموع ۳۴ سیرک یخچالی موجود ۱۰ سیرک در امتداد شمال‌شرق، ۷ سیرک در امتداد شرق، ۶ سیرک در امتداد شمال، ۵ سیرک در امتداد شمال‌غرب و سرانجام ۶ سیرک هم در جهت‌های دیگر قرار دارند.

جدول ۲- مشخصات سیرکهای یخچالی شهرستانک

جهت	شماره سیرک	ارتفاع (متر)	میانگین ارتفاع (متر)	طول (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)
شمال	۱	2570	2650	8790	5.17
	۲	2850		3028	0.57
	۳	2900		2858	0.60
	۴	2620		5165	1.82
	۵	2450		2495	0.48
	۶	2500		3020	0.47
شمال‌شرق	۷	3245	2825	8522	2.92
	۸	3710		10240	7.19
	۹	2350		3386	0.97
	۱۰	2790		2970	0.62
	۱۱	2630		9258	5.31
	۱۲	2720		5292	2.16
	۱۳	2750		5374	2.42
	۱۴	3000		3050	0.67
	۱۵	2470		2797	0.66
	۱۶	2600		3550	0.69
شرق	۱۷	2400	2600	4962	1.54
	۱۸	2350		5911	1.58
	۱۹	2500		6216	1.99
	۲۰	2630		5155	1.74

	۲۱	2730		3016	0.52
	۲۲	2650		3289	0.51
	۲۳	2650		4783	1.25
جنوب‌شرق	۲۴	2200	2200	2297	0.26
جنوب	۲۵	2530	2530	3787	1.19
جنوب‌غرب	۲۶	2780	2900	5318	1.89
	۲۷	3000		5815	2.86
	۲۸	2910		3466	0.86
غرب	۲۹	2520	2520	6776	3.03
شمال‌غرب	۳۰	3570	3065	8081	3.40
	۳۱	3300		4756	1.14
	۳۲	3300		2177	0.29
	۳۳	2850		6185	2.13
	۳۴	2310		3621	0.84
Total	۳۴	2745		165406	59.74

تجزیه تحلیل و بحث

سوال پژوهش این بوده است که چه ارتباطی بین فراوانی، حجم و توزیع سیرکهای یخچالی از یک طرف و توپوگرافی و راستای ناهمواریها از طرف دیگر وجود دارد؟ جدول ۲ نشان می‌دهد که وجود چنین ارتباطی معنی دار است. برای تحلیل و اثبات این رابطه، از روشهای آماری استفاده شده است. در اینجا، چون مقیاس اندازه‌گیری، جهت‌های جغرافیایی هستند که ارزش اسمی دارند، بنابراین برای آزمون معنی‌دار بودن توزیع متغیر در جامعه، ناگزیر به استفاده از آزمونهای غیرپارامتریک بوده است.

در این روش، داده‌های مربوط به جهت سیرکها در جدول شماره ۳ دسته‌بندی و سپس توزیع آنها بر اساس آزمون توان دوم کی[1] (یا آزمون مجذور X) تحلیل شده است.

1. Chi-Square Test

جدول ۳ فراوانی تعداد سیرکهای یخچالی در حوضه شهرستانک

جهت	شمال	شمال‌شرق	شرق	جنوب‌شرق	جنوب	جنوب‌غرب	غرب	شمال‌غرب	جمع
تعداد	۶	۱۰	۷	۱	۱	۳	۱	۵	۳۴
درصد	۱۷,۶۵	۲۹,۴۱	۲۰,۵۹	۲,۹۴	۲,۹۴	۸,۸۲	۲,۹۴	۱۴,۷۱	۱۰۰

بدین منظور از فرمول زیر استفاده شده است:

$$X^2 = \sum (O - E)^2 / E$$

که در آن O فراوانی مشاهده شده، E فراوانی مورد انتظار و X^2 آزمون توان دوم کی است (باتاچاریا و جانسون[1]، ۱۳۶۶، ص ۴۹۷). جدول ۴ فراوانی سیرکهای مشاهده شده و مورد انتظار را در حوضه شهرستانک نشان می‌دهد.

جدول ۴- آزمون مجذور کی

	تعداد مشاهده شده	تعداد مورد انتظار	باقیمانده
1.0	3	1.3	1.7
3.0	1	1.3	-0.3
5.0	1	1.3	-0.3
6.0	1	1.3	-0.3
7.0	1	1.3	-0.3
10.0	1	1.3	-0.3
جمع	8		

جدول ۵ نتیجه محاسبات را بیان می‌کند. چون X^2 محاسبه شده، یعنی ۲,۵، از X^2 جدول درجات آزادی X^2، یعنی ۰,۷۷۶، در سطح ۰,۰۵ بزرگ‌تر است بنابراین، فرضیه صفر رد شده و می‌توان نتیجه گرفت که بین فراوانیهای مشاهده شده و فراوانیهای مورد انتظار تفاوت معنی‌داری وجود دارد و این اختلافات نمی‌تواند تصادفی باشد.

1. Gouri K. Bhattacharyya and Richard A. Johnson

جدول ۵ نتیجه آزمون X^2

	تعداد سیرکها
آزمون توان دوم کی (a)	2.500
درجه آزادی (df)	5
توان دوم کی در جدول	0.776

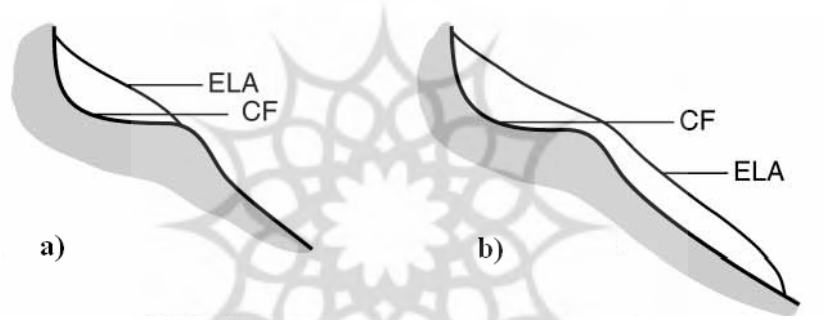
حداقل فراوانی مورد انتظار ۱,۳ است.

با توجه به آنچه گفته شد و در شکل ۳ نیز ملاحظه می‌شود، شکل‌گیری سیرکهای یخچالی در این منطقه تابعی از جهت ناهمواری است. به دیگر سخن، دامنه‌هایی که میزان انرژی کمتری از خورشید دریافت می‌کنند بستر مناسبی برای تشکیل سیرک و دیگر اشکال مورفولوژی یخچالی هستند. نکته شایان توجه در جدول ۲ فراوانی سیرکهای جهت جنوب‌غربی است. در پاسخ به این مسئله باید گفت ،توجه به میانگین ارتفاع بالای این سه سیرک می‌تواند کمکی در حل معمای حضور این سیرکها بنماید.

پورتر[1] در مطالعه کوهستانهای یخچالی عرضهای پایین از پنج روش برای بازسازی ارتفاع خط تعادل (ELA)[2] استفاده می‌کند. وی معتقد است از آنجا که این روشها از نظر شیوه با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین، نتایج حاصل از این روشها با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. این پنج روش عبارتند از: ۱- روش مطالعه‌ی کف سیرک؛ ۲- روش بررسی یخرفتهای جانبی قسمت بالای دره؛ ۳- روش آستانه‌های یخبندان؛ ۴- روش نسبت ارتفاع؛ و ۵- روش نسبت انباشتگی- مساحت (پورتر[3]، ۲۰۰۱، ص ۱۰۶۸). از میان روشهای ذکر شده، روش مطالعه کف سیرک برای منطقه مورد مطالعه مناسب به نظر می رسد. زیرا بر اساس نظر پورتر، هنگامی که یخچالی فقط سیرک را پر می‌کند، ELA دائمی آن معمولاً خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF)[4] نیست.

1. Stephen. C. Porter
2. equilibrium line altitude (ELA)
3. Stephen C. Porter
4. Cirque Floor

شکل شماره ۴ نیمرخ دو نوع از چنین سیرکهایی را نشان می‌دهد. در قسمت a یخچالی نمایش داده شده که محدود به سیرک است و در قسمت b سیرکی را نشان می‌دهد که در بالادست یک یخچال دره‌ای قرار دارد. بنابراین در چنین مواقعی، محاسبه ارتفاع کف سیرک روش مناسبی برای تعیین ارتفاع خط تعادلهای گذشته است. در این حالت با پایان یافتن دوره‌ی سرد پلیستوسن، برف‌مرز از سطح سیرک بالاتر می‌رود و در نتیجه، یخچالهای سیرکی نیز از بین می‌روند.



شکل ۴ انواع سیرکهای یخچالی در روش مطالعه‌ی کف سیرک

یکی دیگر از روشهایی که گفته می‌شود می‌توان به وسیله‌ی آن برف‌مرز دائمی را در دوره‌های سرد کواترنر تعیین کرد روش رایت[1] است. در این روش با تعیین مکان سیرکهای کوچک و گذراندن خط ۶۰ درصد از آنها، برف‌مرز دائمی تعیین می‌شود (رامشت و نعمت‌الهی، ۱۳۸۴، ص ۱۳). برای نمونه، چنانچه طبق نظر هانس بوبک، حدود گسترش یخچالهای کنونی را در دماوند در ارتفاع ۴۵۰۰ متری بدانیم (فریگنو، یخچالهای ایران، ص۳۵)، در آن صورت، برف‌مرز دائمی این قله در دوره‌ی وورم در ارتفاع ۲۷۰۰ متری قرار داشته است و حال آنکه خود بوبک برف‌مرز این قله را در دوره‌ی پلئیستوسن، ارتفاع ۳۷۰۰ تا ۳۸۰۰ متری ذکر کرده است (زمردیان، ۱۳۸۱، ص ۳۰ و فریگنو، ۱۹۸۸، ص ۴۲).

1. Wright

جدول ۶ جدول توزیع فراوانی سیرکهای منطقه

ارتفاع (متر)	تعداد	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۲۲۰۰ تا ۲۴۵۰	۵	۱۴,۷	۵,۱۹	۸,۶۹
۲۴۵۰ تا ۲۷۰۰	۱۳	۳۸,۲	۲۴,۳۱	۴۰,۶۹
۲۷۰۰ تا ۲۹۵۰	۹	۲۶,۵	۱۱,۷۷	۱۹,۷۰
۲۹۵۰ تا ۳۲۰۰	۲	۵,۹	۳,۵۳	۵,۹۱
۳۲۰۰ تا ۳۴۵۰	۳	۸,۸	۴,۳۵	۷,۲۸
۳۴۵۰ تا ۳۷۰۰	۱	۲,۹	۳,۴۰	۵,۶۹
۳۷۰۰ تا ۳۹۵۰	۱	۲,۹	۷,۱۹	۱۲,۰۴
جمع	۳۴	۱۰۰	۵۹,۷۴	۱۰۰

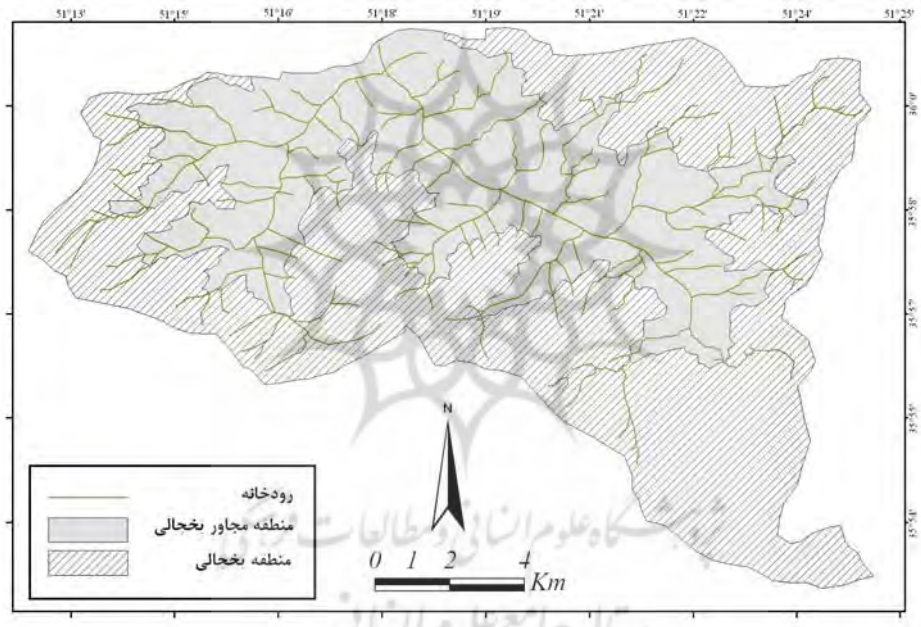
جدول شماره‌ی ۶ توزیع فراوانی سیرکهای منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات آماری، دامنه تغییرات ۱۵۱۰ متر، میانگین ارتفاع سیرکها ۲۷۴۵ متر، انحراف معیار ۳۵۲ متر و مقدار میانه‌ی این جامعه ۲۶۵۰ متر است. به دلیل چند مدی بودن جدول توزیع فراوانی، باید از فرمول محاسبه‌ی مد استفاده کرد؛ یعنی:

$$Mo = L + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times h$$

که در آن L حد پایین طبقه‌ی نمادار؛ d_1 تفاضل طبقه‌ی ماقبل طبقه‌ی نمادار از فراوانی طبقه‌ی نمادار؛ d_2 تفاضل طبقه‌ی ماقبل طبقه‌ی نمادار از فراوانی طبقه‌ی نمادار؛ و h فاصله‌ی طبقات است (مهدوی، ۱۳۷۲، ص ۷۳). که پس از عددگذاری، مقدار مد ۲۶۱۶ متر حاصل می‌شود.

ذکر شاخصهای مرکزی و نیز شاخصهای پراکندگی از این رو اهمیت دارد که مشاهدات خود را با کمک روشهای آماری به واقعیت نزدیک‌تر کنیم تا حد برف دائمی در آخرین دوره یخچالی به دست آید. بنابراین، بر پایه‌ی داده‌های موجود که حاصل کار مشاهده مستقیم از طریق کار های میدانی و مشاهده غیر مستقیم از طریق عکسهای هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نیز تحلیلهای آماری

بوده است، مقدار مد ارتفاع سیرکهای منطقه‌ی شهرستانک، که بیانگر بیشترین فراوانی است، می‌تواند ملاک سنجش قرار گیرد که ارتفاع ۲۶۱۶ متر است و از همین راه می‌توان ارتفاع برف‌مرز دوره‌ی وورم را با قطعیت بیشتری حدس زد. بر این اساس، حدود ۹۳ کیلومتر مربع از پهنه حوضه بالاتر و ۶۱ کیلومتر مربع هم پایین‌تر از حد برف دائمی قرار داشته‌اند (شکل ۵).



شکل ۵ نقشه‌ی برف‌مرز حوضه شهرستانک بر اساس روشهای آماری

در مورد سیرکهایی که در ارتفاعات پایین‌تر از ۲۵۰۰ متری تشکیل شده‌اند نیز نمی‌توان نقش کوههای بلندتری را که این سیرکها را محاصره کرده‌اند از نظر دور داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش ثابت می‌کنند که در مورد سیرکهای یخچالی بین فراوانی‌های مشاهده شده و فراوانی‌های مورد انتظار، تفاوت معنی‌داری وجود دارد و شکل‌گیری سیرکهای یخچالی در این منطقه تابعی از جهت ناهمواری است. یعنی، دامنه‌هایی که میزان انرژی کمتری از خورشید دریافت می‌کنند مکان مناسبی برای تشکیل سیرک و دیگر اشکال مورفولوژی یخچالی هستند. در مورد ارتفاع برفمرز دوره‌ی گذشته نیز از میان پنج روش پیشنهادی پورتر، روش بررسی کف سیرک مناسب‌تر بوده و ادغام آن با روشهای آماری، ارتفاع ۲۶۱۶ متر را برای منطقه‌ی شهرستانک پیشنهاد می‌دهند. بر همین اساس، برآورد می‌شود که در آخرین دوره‌ی یخچالی، حدود ۹۳ کیلومتر مربع از مساحت حوضه بالاتر و ۶۱ کیلومتر مربع هم پایین‌تر از حد برف دائمی قرار داشته‌اند. بدین ترتیب، تغییر شکل بارش از مایع به جامد، سبب انباشت حجم انبوهی از برف و یخ شده و سیمای طبیعی حوضه را شدیدا تحت تأثیر قرار داده و شواهد مورفولوژی یخچالی زیادی را بر جای گذاشته است.ناگفته نماند که در منطقه‌ی مورد مطالعه، سیرک‌هایی هم وجود دارند که در ارتفاعات پایین‌تر از منحنی میزان ۲۵۰۰ متر تشکیل شده‌اند. لیکن با احتمال قریب به یقین، پیدایش آنها به تأثیرگذاری کوههای بلندتری که بر این سیرکها مشرف می باشد وابسته بوده و این قلل، مانع تابش مستقیم آفتاب به این سیر ک ها شده اند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱. اهلرز، اکارت (۱۳۷۲)؛ *ایران: مبانی کشورشناسی جغرافیایی*، جلد اول، جغرافیای طبیعی، ترجمه‌ی محمدتقی رهنمایی، چاپ دوم، تهران: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی سحاب.

۲. باتاچاریا، گوری ک. و جانسون ریچارد ا. (۱۳۶۶)؛ *مفاهیم و روشهای آماری*، ۲ج، جلد دوم، ترجمه‌ی مرتضی ابن شهرآشوب و فتاح میکائیلی، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

۳. جداری‌عیوضی، جمشید(۱۳۷۴)؛ *ژئومورفولوژی ایران*، چاپ اول، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

۴. رامشت، محمدحسین و نعمت‌الهی، فاطمه (۱۳۸۴)؛ آثار یخساری در ایران، مدرس، شماره‌ی ۴۳، تهران: دانشگاه تربیت مدرس.

۵. زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۱)؛ ژئومورفولوژی ایران، ۲ج، جلد دوم، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۶. مهدوی حاجیلویی، مسعود (۱۳۷۲)؛ *آمار و احتمالات در جغرافیا*، چاپ دوم، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

۷. یمانی، مجتبی (۱۳۸۱)؛ ژئومورفولوژی یخچالهای علم کوه، *پژوهشهای جغرافیایی*، سال سی و چهارم، شماره‌ی ۴۲، تهران: موسسه جغرافیای دانشگاه تهران.

8. Bobek. H. Future and Formation of the Grate Kawir and Masileh, Arid Zone

9. Carla.W. Montgomery, Physical Geology, 1987 .

10. Ferrigno، Jane G. (1988); *Glaciers of the Middle East and Africa - Glaciers of Iran*، www.pubs.usgs.gov/prof/p1386g/Iran.pdf

11. Porter، Stephen C. (2001); Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation، *Quaternary Science Reviews*، No. 20.

Research Center, University of Tehran, 1959..

12. Pedrami, M. Pleistocene and Paleo Climate in Iran.Geo,l,Surv, Tehran1982,.

13. Pedrami,M. 1987.Carla w . Montgomery The Physical Geology of Pleistocene and Paleo climate in Iran .1982. Geol.Surv. Tehran,

14. Rob. h. & Dott, Ir, Pleistocene Glaciations and the Rise of Man. 1981. Third Edition. Evolution OF The Earth .

15. Rieben,E.H.1955.The Geology of the Tehran Plain.An.J.Science,253,617-639.

16. Robert.l . Bates And Julia.A. Jackson,1980. Glossary of the Geology, second edition, pops. Prkin & Śquire.