

## شناسایی، طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان

حجت‌اله بیرانوند - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.  
عبداله سیف\* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

### چکیده

یخچال‌ها شاخص‌های تغییر اقلیم است و یخچال‌های سیرکی شاید بهترین مورد برای این منظور باشد. هدف اصلی این پژوهش؛ شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار در استان کرمان بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید است. در ارتفاعات بالای سه هزار متر این ارتفاعات، تعداد ۹۱ سیرک یخچالی شناسایی و در روی نقشه شیب کلاس بندی شده به دو فرمت خطی و پلیگونی ترسیم گردید. با برازش مدل‌های توانی بر پروفیل طولی سیرک‌ها به استخراج ضرایب و پارامترهای آماری سیرک‌های منطقه اقدام گردید. عملیات رده‌بندی سیرک‌ها بر مبنای روش‌های ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس انجام پذیرفت. برای مورفومتری این سیرک‌ها از پارامترهایی چون (L)، (W)، (H)، (L/W)، (L/H)، (W/H) و اندازه سیرک استفاده شده و خصیصه‌های مورفومتریک آن‌ها بررسی شده است. بر اساس نتایج تحقیق در ارتفاعات جوپار ۸ سیرک N2، ۳۳ سیرک N3 و ۵۰ شبه سیرک وجود دارد. میانگین ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۶۱ و  $B < 1$  است که رفتار آلومتری سیرک‌های این رده منفی است. این ضریب برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۱/۰۰۴ و  $B > 1$  است که رفتار آلومتری این سیرک‌ها تا حدودی مثبت است. در ارتفاعات جوپار شکل‌گیری و توزیع سیرک‌ها تا حدود زیاد به نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس آنها بستگی داشته است. یخچال‌زایی در این ناهمواری‌ها به صورت دره‌ای عمل نموده و به دلیل فعال بودن تکتونیک، سیرک‌ها از توسعه و تکامل کمتری برخوردارند.

واژگان کلیدی: مورفومتری، سیرک‌های یخچالی، ارتفاعات جوپار، آلومتری، ایزومتری.

## مقدمه

سیرک‌های یخچالی به عنوان یکی از لندفرم‌های تپیک قلمروهای یخچالی و شاخص مهمی در ردیابی دیرینه محسوب می‌شوند. شناسایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریکی و آلومتریکی سیرک‌ها سبب شناخت درجه تکامل آنها خواهد شد و ژئومورفولوژیست‌ها را در بازسازی دقیق‌تر محیط‌های دیرینه و برآورد صحیح ارتفاع خط تعادل یخچال‌های کوترنری یاری می‌نماید (سیف، ۱۳۹۴). نقطه کانونی تغذیه یخچال، سیرک نامیده می‌شود. پس از ناپدید شدن و ذوب یخچال، سیرک به صورت آمفی تاتری بزرگ یا کاسه‌ای عظیم ظاهر می‌شود (قناتی و بهشتی، ۲۰۱۴: ۷۸). شکل سیرک‌ها انعکاسی از عوامل توپوگرافی و زمین شناسی، نوع و مدت زمان اثر یخچال‌هاست. ساختمان سنگ و درزها و شکاف‌ها از عوامل مهم در شکل صخره‌ها و عمق حوضه سیرکی به شمار می‌رود. وقتی که در یک کوهستان، ارتفاع قله کمی از حد برف دائمی تجاوز کند، یخچال‌ها اغلب در سیرک‌ها مستقر می‌شوند (دریو، ۱۹۹۰). برای شناسایی دقیق سیرک‌های یخچالی بررسی دقیق اندازه و شکل این اشکال، استفاده از مدل سازی و روابط ریاضی و عدی (مورفومتری) برای ژئومورفولوژیست‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. ژئومورفومتری یک زیرمجموعه از ژئومورفولوژی می‌باشد که دارای رویکرد اندازه گیری کمی و کیفی عوارض سطح زمین می‌باشد (پیک<sup>۲</sup> و دیکائو<sup>۳</sup>، ۱۹۹۵؛ دهن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱؛ پیک و همکاران، ۲۰۰۹). پایه اصلی ژئومورفومتری بر وجود ارتباط بین ناهمواری و پارامترهای عددی مذکور می‌باشد که در فرآیند تکامل و شکل‌گیری لندفرم‌ها نقش دارند. از اهداف ژئومورفولوژیست‌ها در کار با مدل‌های لندفرم‌های مختلف به دست آوردن روابط بهتر درک واقعیت‌های فیزیکی محیط می‌باشد (ایتزل مکوالر<sup>۵</sup> و سولبک<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰؛ آدیدرین<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). آلومتری عبارت است از مطالعه ارتباط میان اندازه و شکل یک ارگانیزم و یا مطالعه تغییرات نسبی در یک مولفه شکلی به دیگر مولفه‌ها در طول دوره رشد ارگانیزم. آلومتری اغلب به بررسی اختلاف‌های شکل بر اساس نسبت ابعاد می‌پردازد. دو شکل هندسی با اندازه‌های مختلف اما ریخت مشابه دارای نسبت‌های ابعادی برابر هستند. ارتباط میان دو کمیت اندازه گیری شده اغلب توسط معادله توانی  $f(x)=ax^{\beta}$  بیان می‌گردد. آلومتری ابتدا توسط اولیفانت و سپس ایوانس در بررسی خصوصیات مورفومتریکی سیرک‌ها به کار گرفته شد (ایوانس، ۲۰۰۶). اگر  $B=1$  باشد نسبت ثابت است و هیچ تغییری در مقادیر نسبی اتفاق نمی‌افتد در این حالت گفته می‌شود رابطه از نوع غیر آلومتریکی یا ایزومتریکی است. اگر  $1 < B$  باشد مقدار  $x$  نسبت به  $y$  فزونی یافته، آلومتری منفی را بر روی  $y$  خواهیم داشت. اگر  $B > 1$  باشد مقدار  $y$  نسبت به  $x$  افزایش یافته بر روی  $y$  آلومتری مثبت روی می‌دهد (مختاری و همکاران، ۱۳۸۶). این گونه بررسی‌ها امکان طبقه‌بندی و رده‌بندی گروه‌های مختلف لندفرم‌های یخچالی را میسر ساخته و علاوه بر تعیین فرآیندهای مؤثر در شکل‌گیری لندفرم امکان بررسی‌های کمی آنها را در ارتباط با عوامل مختلف محیطی (زمین شناسی، توپوگرافی و اقلیم) امکان پذیر می‌سازد (ایوانس، ۲۰۱۱؛ ماندرسیو و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۰؛ استیفانوا و مینت لیک<sup>۹</sup>، ۲۰۰۷).

1. Derruau

2. Pike

3. Dikau

4. Dehn

5. Etzelmqller

6. Sulebak

7. Adediran

8. Mi'ndrescu et al

9. Steffanova and Mentlik

در کشور ایران و سایر نقاط جهان مطالعاتی در زمینه مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی انجام گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. روش اندازه‌گیری بودجه یخچالی توسط آلمان<sup>۱</sup> در سال ۱۹۴۸ و از دهه ۱۹۲۰ آغاز و بخصوص در طول دوره موسوم به دهه هیدرولوژی بین المللی (۱۹۶۳ الی ۱۹۷۳) به خارج از آلپ گسترش و در دیگر نقاط جهان نیز به کار گرفته شد. آگاسیز (۱۸۴۰) اصول فرم شناسی یخچال شناسی دیرینه را بنیان نهاد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰). گراف<sup>۲</sup> (۱۹۷۶) به بررسی مورفومتریک سیرک‌های یخچالی پرداخته و خصوصیات مورفومتریک سیرک‌های یخچالی را ارائه نموده است. ویلبورگ<sup>۳</sup> (۱۹۷۷) به بررسی فرم سیرک‌های سوئد پرداخته است و ۵ گروه سیرک با منشأ مختلف را معرفی کرده است. آلسو<sup>۴</sup> (۱۹۹۴) مشخصه‌های مورفومتریک سیرک‌های یخچالی کوه‌های کنتابرین<sup>۵</sup> را در ارتباط با سنگ شناسی، جهت و نوع ساختارهای زمین شناسی، بررسی کرده است. ایوانس و کوکس<sup>۶</sup> (۱۹۹۵) فرم سیرک‌های ناحیه لایک دیستریکت<sup>۷</sup> انگلستان را بررسی و رده بندی جدیدتری در خصوص انواع سیرک‌ها ارائه کرده است. گارسیا-روز و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۴) به بررسی مورفومتریک سیرک‌های پیرنه مرکزی اسپانیا پرداخته است. ایوانس<sup>۹</sup> (۱۹۹۷، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱) به بررسی فرآیندها و فرم‌های فرسایشی یخچالی نواحی کوهستانی پرداخته و خصوصیات آلومتریک و مورفومتریک این فرم‌ها را در ارتباط با عوامل محیطی چون زمین شناسی، برجستگی توپوگرافیک در ناحیه ولز انگلستان می‌داند. سیف و ابراهیمی<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۴) برای اولین بار در ایران بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید به شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی زردکوه بختیاری پرداخته‌اند. بار و اسپاگنولو<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۵) سیرک‌ها را به عنوان شاخصی برای بررسی شرایط اقلیمی گذشته معرفی کردند و توزیع سیرک، ارتفاع آنها و مورفومتری سیرک‌ها را ناشی از تعامل بین یخچال و زمین شناسی و آب و هوا دانستند. دلماس<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی رشد آلومتری سیرک‌های آلپ بر اساس روش‌های آماری، شکل سیرک را ناشی از متغیرهایی مانند نوع سنگ و تغییرات آب و هوای منطقه می‌داند. سیف و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از توزیع انرژی اشعه خورشید و ارتباط آن با دخالت پستی و بلندی‌ها و سطوح ناهموار زمین به مورفودیشن ارتفاعات الوند و ارتباط آن با یخبندان دوران کواترنر، نشان دادند که هماهنگی قابل توجهی بین موقعیت و شکل و تاثیر یخچال‌ها بر محل (سیرک‌های یخچالی و دره‌ها) و انتشار انرژی تولید شده در ارتفاعات الوند از منظر پارامترهای فیزیکی و تابش وجود دارد. ابراهیمی و سیف (۲۰۱۷) به آنالیز پارامترهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی در سراسر زاگرس پرداختند و نتیجه گرفتند که رفتار آلومتری ضریب طولی ۵۱ سیرک شبیه کوه‌های آلپ می‌باشد و ۱۳۶ سیرک دیگر شکلی متفاوت با سیرک‌های آلپ دارند. سیف (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس به رده‌بندی سیرک‌ها بر مبنای روش‌های ویلبرگ، گراف، ایوانس پرداخت و سپس با روش مورفومتریک به تفسیر سیرک‌های مذکور پرداخت. بررسی‌های آلومتریک

- 1 . Ahlmann
- 2 . Graf
- 3 . Vilborg
- 4 . Alonso
- 5 . Cantabrian
- 6 . Evans & Cox
- 7 . Lake District
- 8 . García-Ruiz et al
- 9 . Evans
- 10 . Seif, and Ebrahimi
- 11 . Barr & Spagnolo
- 12 . Delmas

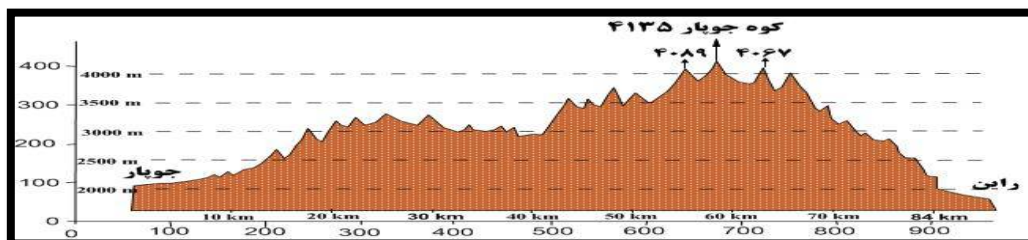
سیرک‌ها بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریکی سیرک‌های گرین با سیرک‌های سایر نقاط دنیا است. بهشتی جاوید و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به استخراج و شناسایی سیرک‌های یخچالی سیلان با استفاده از روش شی گرا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این روش تا درجه زیادی اهداف مورد نظر را در پژوهش برآورد کند. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل طبقه بندی نظارت شده MLC به شناسایی و بررسی شاخص‌های ژئومورفومتریکی سیرک‌های یخچالی زردکوه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از ۲۶ چاله سیرک مانند مشخص شده تنها ۱۴ سیرک در مدل طبقه بندی نظارت شده شناسایی شدند. صلحی و سیف (۱۳۹۷) با روش مورفومتریکی به مورفومتری دره‌های طولی سه‌پند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دره‌های واقع بر دامنه‌های شمال و شمال شرقی سه‌پند از تکامل پروفیل طولی متفاوتی نسبت به دامنه‌های جنوب تا جنوب غربی برخوردارند که حاکی از تفاوت در سیستم‌های اقلیمی، فرسایشی و نیز رژیم‌های رطوبتی حرارتی متفاوت در این دو جناح از ارتفاعات سه‌پند است. کوهله (۱۹۷۴، ۲۰۰۸) به بررسی آثار یخچالی در ارتفاعات جوپار پرداخته و آثار دو یخبندان بزرگ کواترنری را به دوره‌های ریس و وورم نسبت داده است. اما تا کنون مطالعاتی در زمینه مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی در این ارتفاعات انجام نگرفته است. بررسی‌های مورفومتریکی و آلومتریکی سیرک‌های یخچالی یک تکنیک جدید در جهت بررسی کمی سیرک‌ها در ارتباط با عوامل مختلف محیطی است. هدف از این پژوهش آنالیز دقیق پارامترهای مورفومتریکی سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین ارتفاعات جوپار شامل: طول سیرک (L)، عرض سیرک (W)، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک (H)، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع نقطه خروجی سیرک و اندازه سیرک است. همچنین پارامترهای نسبت طول به عرض (L/W)، نسبت طول به ارتفاع (L/H) و نسبت عرض به ارتفاع کف سیرک (W/H) در واحد مورد مطالعه است. در این واحد ضمن رده‌بندی سیرک‌ها از نظر درجه تکامل، تأثیر عوامل مختلف (عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافیک و اقلیمی) در توسعه آنها بررسی خواهد شد.

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

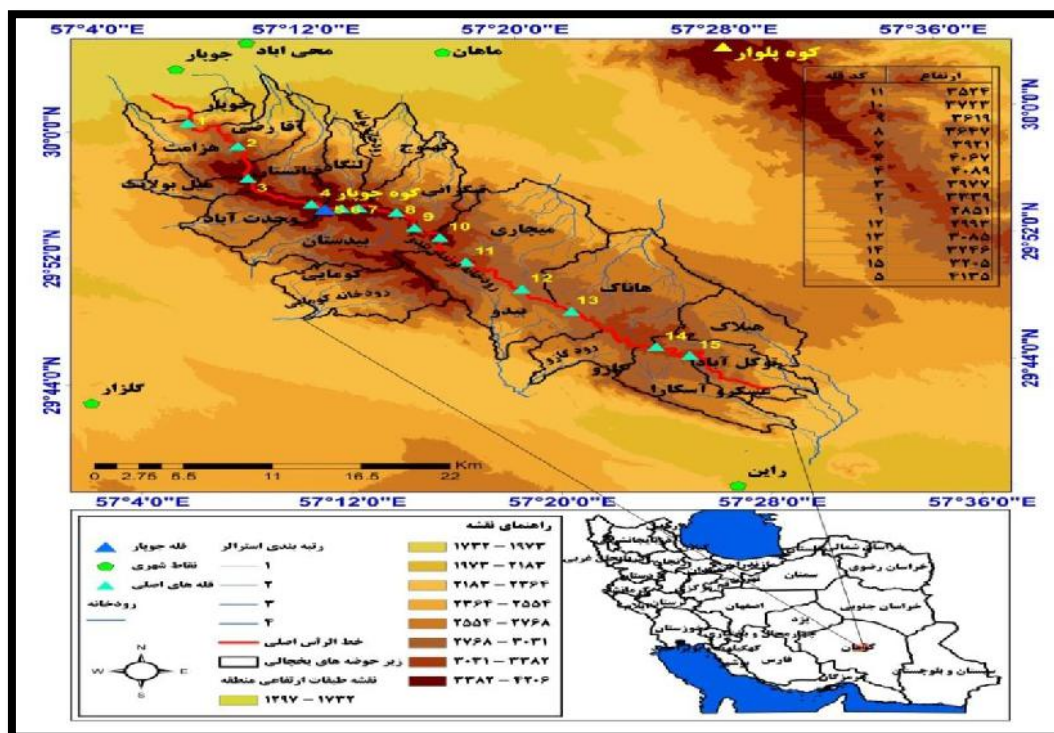
رشته کوه جوپار، به طول ۵۷ کیلومتر و عرض بین ۱۰ تا ۲۲ کیلومتر با جهت شمال غرب - جنوب شرق در جنوب بخش ماهان امتداد دارد. رشته کوه جوپار مرز طبیعی میان بخش ماهان و بخش راین را تشکیل می‌دهد. این رشته کوه قسمتی از ارتفاعات مرکزی استان کرمان می‌باشند. بلندترین قله آن جوپار با ارتفاع ۴۱۳۵ متر است که باید آن را جزء رشته کوه‌های قدیمی بارز به شمار آورد. قله‌های مهم این رشته کوه قله بلوچی، کیل جلال، برج سه شاخ، سه شاخ کوچک، تافک سفید، تخت سلیمان، و کیش است. جبهه شمالی این کوه دارای ستیخ‌ها و قله بلند می‌باشد، بیشترین برف را در خود نگه می‌دارد و به نام کاسه سه شاخ معروف است. محدوده مورد مطالعه بین ۲۹ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳۵ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار گرفته است. رشته کوه پلوار در سمت شمال شرقی و رشته کوه هزار در سمت جنوب رشته کوه جوپار قرار گرفته‌اند. (شکل ۱ و ۲).

بر اساس اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه رایان، سازمان نقشه برداری کشور که محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌داد این نتایج در مورد زمین‌شناسی منطقه به دست آمد. بلوک جوپار در پهنه ایران مرکزی و بخش جنوبی بلوک پشت بادام جای گرفته است و دربردارنده واحدهای سنگی رسوبی کرتاسه بالایی - پالئوسن تا واحدهای آتشفشانی نئوژن است. بیشتر واحدهای رسوبی کرتاسه، آهک ضخیم لایه، ماسه سنگ توفی و مارن هستند که به طور ناپیوسته با کنگلومرای کرمان به سن پالئوسن پوشیده شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده در بخش باختری بلوک جوپار برونزد دارند. افزون بر بازالت‌های بررسی شده، سنگ‌های آذرین دیگری مانند سنگ‌های اسیدی (ریولیت) و حد واسط نیز یافت می‌شوند (Dimitrijevic et al, 1979). در بیشتر بخش‌ها، واحدهای بازالتی به صورت روانه‌های گدازهای روی سنگ‌های اسیدی دیده می‌شوند. در برخی جاها به علت گرمای بسیار گدازه‌های بازالتی، ته نشست‌های زیرین د چار دگرگونی مجاورتی شده‌اند. در بیشتر بخش‌ها، واحدهای بازالتی به صورت روانه‌های گدازهای روی سنگ‌های اسیدی دیده می‌شوند.

در برخی جاها به علت گرمای بسیار گدازه‌های بازالتی، ته نشست‌های زیرین د چار دگرگونی مجاورتی شده‌اند (ارژنگ نژاد و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۱: پروفیل طولی ارتفاعات جویبار در استان کرمان



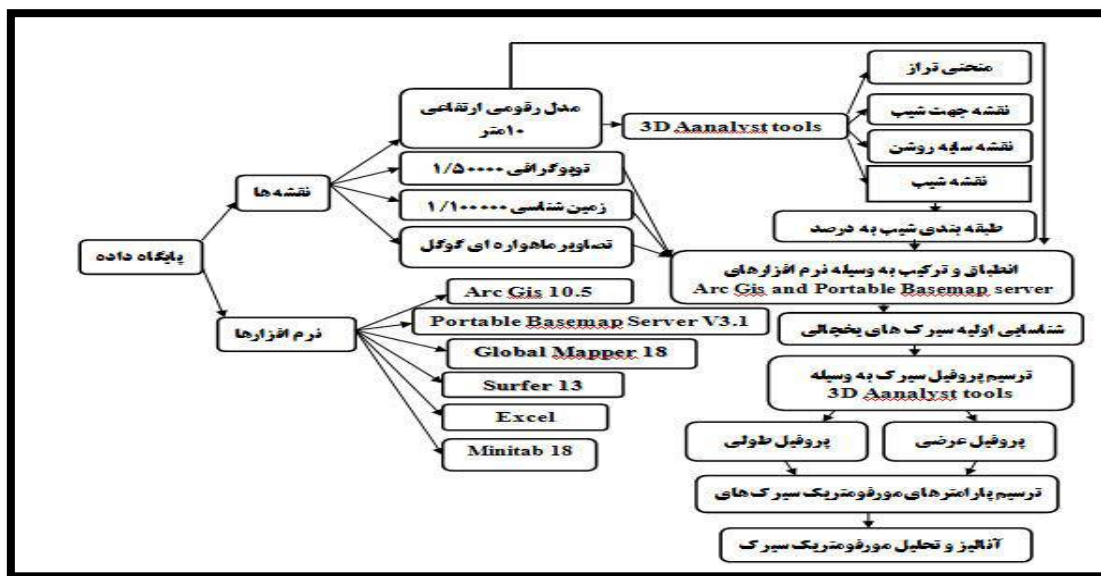
شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### مواد و روش‌ها

بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و بر مبنای روش سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) به شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتری و آومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جویبار که در ارتفاع بالای سه هزار متر قرار داشتند مبادرت گردید. برای این کار از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه با دقت ۱۰ متر استفاده شده است. ابتدا در محیط نرم افزاری محدوده مورد مطالعه از نقشه DEM برش داده شد. سپس نقشه (سایه روشن)، نقشه شیب، نقشه جهت شیب و

منحنی های میزان ساخته شدند. برای تعیین حدود دقیق زیر حوضه‌های یخچالی نقشه هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی استالر از نقشه DEM ساخته شد. نقشه ترکیبی تولید شده با نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و تصاویر ماهواره ای گوگل ارت منطبق شد. سپس خط الرأس های اصلی، فرعی و خط القعرهای منطقه به دقت ترسیم شدند، همچنین ستیخ های اصلی و فرعی در روی نقشه ترکیبی با توجه به منحنی های میزان مشخص شدند. نقشه شیب منطقه بر اساس متد سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) در ۹ کلاس طبقه بندی و محل دقیق سیرک‌های یخچالی بر روی آن تعیین گردید. برای دقت بیشتر و بالا بردن صحت کار پروفیل طولی و عرضی سیرک‌ها ترسیم و لندفرم هایی که سیرک واقعی بودند تشخیص داده شد. همچنین سیرک‌ها در دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترسیم شدند. برای آنالیز و مورفومتری سیرک‌ها از پارامترهای مورفومتریک شامل: طول سیرک (L)، عرض سیرک (W)، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک (H)، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع نقطه خروجی سیرک، مساحت، محیط و اندازه سیرک استفاده شده است. این پارامترها از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استخراج شدند. همچنین پارامترهایی مانند نسبت طول به عرض (L/W)، نسبت طول به ارتفاع (L/H) و نسبت عرض به ارتفاع کف سیرک (W/H) اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۳). جهت طبقه بندی و رده بندی سیرک‌های یخچالی از روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس استفاده شده است که در روش ویلبورگ و رودبرگ، سیرک‌ها به پنج رده N-1، N-2، N-3، N-4، N-5 رده بندی گردید. در این رده بندی گروه N-1: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه یافته‌اند. گروه N-2: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه یافته‌اند اما توسعه آن‌ها کمتر از گروه N1 است. گروه N-3: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه نیافته‌اند اما آثار کندو کاو یخچالی در آنها دیده می‌شود. گروه N-4: اشکالی با ظاهر سیرک‌های تخریب شده که منشاء آنها با سوال و تردید همراه است. گروه N-5: شیب کف این گروه از سیرک‌ها تند با اندکی تععر است. بر اساس رده بندی ایوانس و کوکس سیرک‌ها به پنج گروه، کلاسیک، خوب و توسعه یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند (سیف، ۱۳۹۴ به نقل از ویلبورگ ۱۹۸۴).

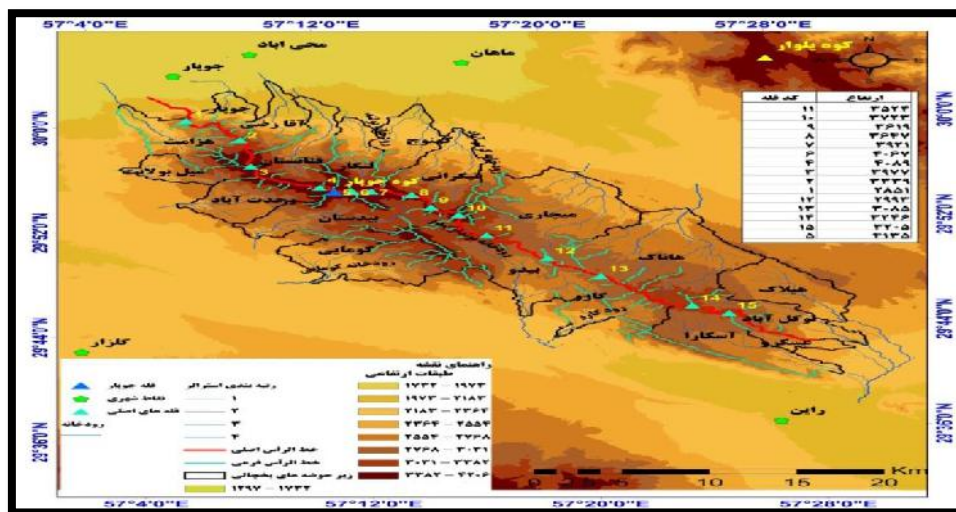
برای انجام آومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات جوپار از مدل توانی برازش شده به فرم  $(y = ax^b)$  بر روی محور طولی سیرک‌ها استفاده شده است (شکل ۳).



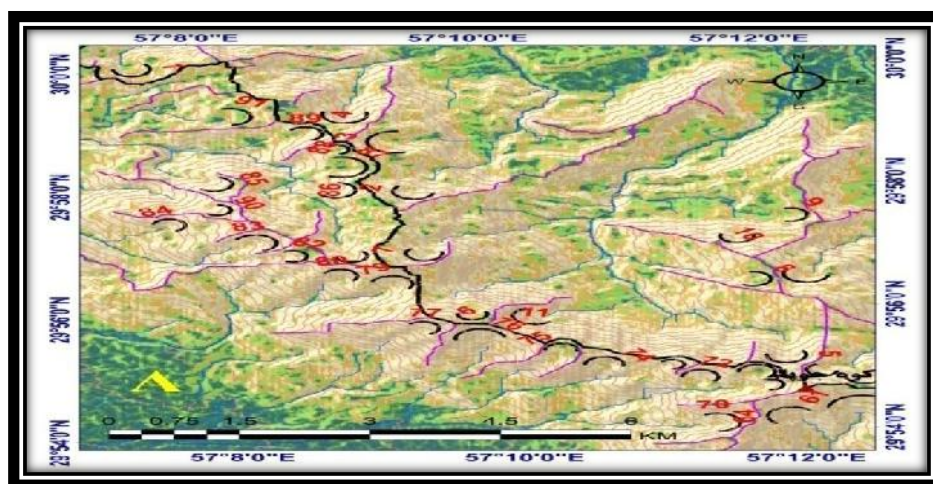
شکل ۳: نمودار تحلیلی تحقیق

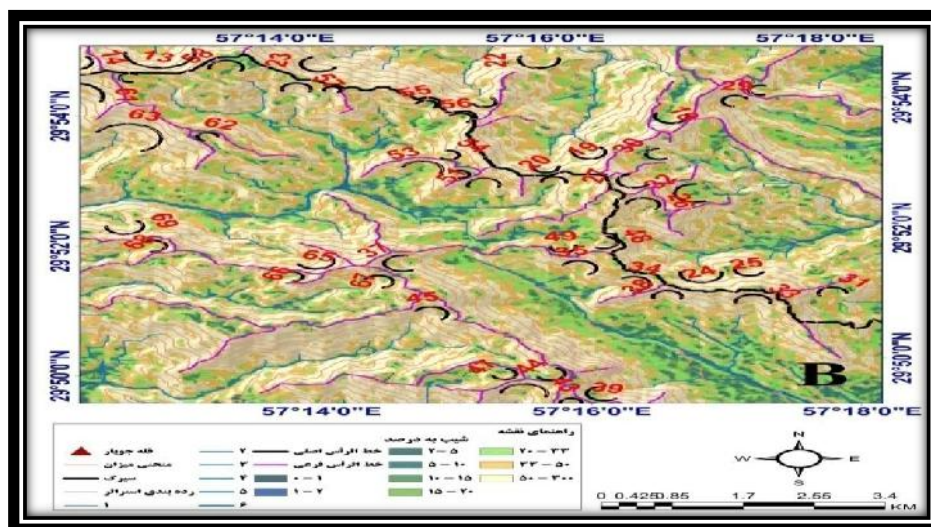
یافته‌های تحقیق

با توجه به وضعیت توپوگرافی، خط الراس‌های اصلی و فرعی و همچنین رفتار آبراهه‌ها، منطقه مورد مطالعه به ۱۹ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده است (شکل ۴). سپس در زیر حوضه‌های یخچالی رشته کوه جوپار تعداد ۹۱ سیرک یخچالی موجود در منطقه شناسایی و به دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترسیم گردید (شکل ۵).



شکل ۴: نقشه زیر حوضه‌های یخچالی کوه جوپار





شکل ۵: نقشه A, B سیرک‌های کوه جوپار با کدبندی آنها پیاده شده بر روی نقشه شیب و سایه روشن منطقه

### توزیع فضایی و فراوانی سیرک‌های ارتفاعات جوپار

شکل‌گیری و توزیع فضایی سیرک‌های یخچالی منطقه مورد مطالعه تا حدود زیادی از جنس ناهمواری‌های منطقه تبعیت می‌کند. جنس ناهمواری‌ها در دامنه‌های شرقی (از شمال شرق تا جنوب شرق) کوه جوپار از بازالیت، سنگ‌های آذرین مانند سنگ‌های اسیدی (ریولیت) و حد واسط تشکیل شده است. به همین دلیل تعداد سیرک‌ها در این دامنه‌ها کمتر از دامنه‌های غربی (از شمال غرب تا جنوب غرب) است. در دامنه‌های غربی کوه جوپار با توجه به ساختار زمین‌شناسی (آهک ضخیم لایه، ماسه سنگ توفی و مارن همراه با کنگلومرای کرمان) تعداد سیرک‌های یخچالی بیشتری دیده می‌شود. به طور کلی از تعداد ۹۱ سیرک یخچالی که در ارتفاعات جوپار تشخیص داده شده است، ۱۲/۳ درصد از کل سیرک‌ها در جهت شمال، ۳۶/۰۰۲ درصد در جهت شرق، شمال شرق و جنوب شرقی، ۱۰/۳۷ درصد در جهت جنوب، ۴۱/۲۸ درصد در غرب، شمال غرب و جهت جنوب غربی قرار دارند.

در این ناهمواری‌ها عامل جهت ناهمواری‌ها، دامنه‌های رو به آفتاب و پشت به آفتاب تأثیر چندانی در شکل‌گیری سیرک‌های منطقه نداشته است. یخچال‌زایی و برف‌گیری این ناهمواری‌ها به علت ارتفاع زیاد باعث توسعه و تکامل سیرک‌های این محدوده در طی زمان شده است. (جدول ۱).

جدول ۱: درصد فراوانی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار

جهت سیرک	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غرب	شمال
درصد فراوانی سیرک‌ها	۶/۶۸	۱۴/۴۵	۱۲/۴۴	۹/۱۱۲	۱۰/۳۷	۱۴/۵۵	۱۴/۴۵	۱۲/۲۸	۵/۶۲

### رده بندی سیرک‌های یخچالی محدوده مورد مطالعه

بر اساس رده بندی ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۸ سیرک معادل با ۸/۷۹ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2، تعداد ۳۳ سیرک معادل با ۳۶/۲۶ درصد از کل سیرک‌ها در رده N3 و تعداد ۱۵ سیرک معادل با ۱۶/۴۸ درصد از کل سیرک‌ها در رده N4 قرار می‌گیرند. همچنین تعداد ۳۵ سیرک معادل ۳۸/۴۶ درصد از کل سیرک‌ها در رده N5 قرار دارند. بر اساس رده بندی



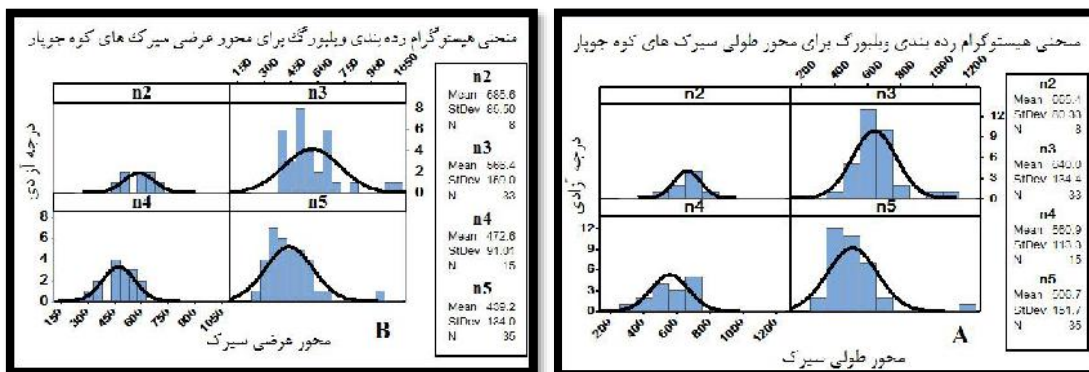
ایوانس و کوکس، تعداد ۸ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ۳۳ سیرک در رده قطعی، تعداد ۱۵ سیرک در رده ضعیف و تعداد ۳۵ سیرک در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۲).

ضریب تغییرات بین رده‌های N2 و N5 هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی سیرک‌ها زیاد است. کمترین میزان ضریب تغییرات هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی سیرک‌ها مربوط به سیرک‌های رده N2، سیرک‌های خوب و توسعه یافته است که این مقدار برای محور طولی سیرک‌های رده N2، ۱۲/۰۷ متر با انحراف معیار ۸۰/۳ و برای محور عرضی ۱۴/۶۰ متر با انحراف معیار ۸۵/۵ است. بیشترین میزان ضریب تغییرات هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی سیرک‌ها مربوط به سیرک‌های رده N5 سیرک‌های گروه ضعیف است که این مقدار برای محور طولی ۲۹/۹۴ متر با انحراف معیار ۱۵۱/۷ و برای محور عرضی ۳۰/۵۱ متر با انحراف معیار ۱۳۴ است (جدول ۲).

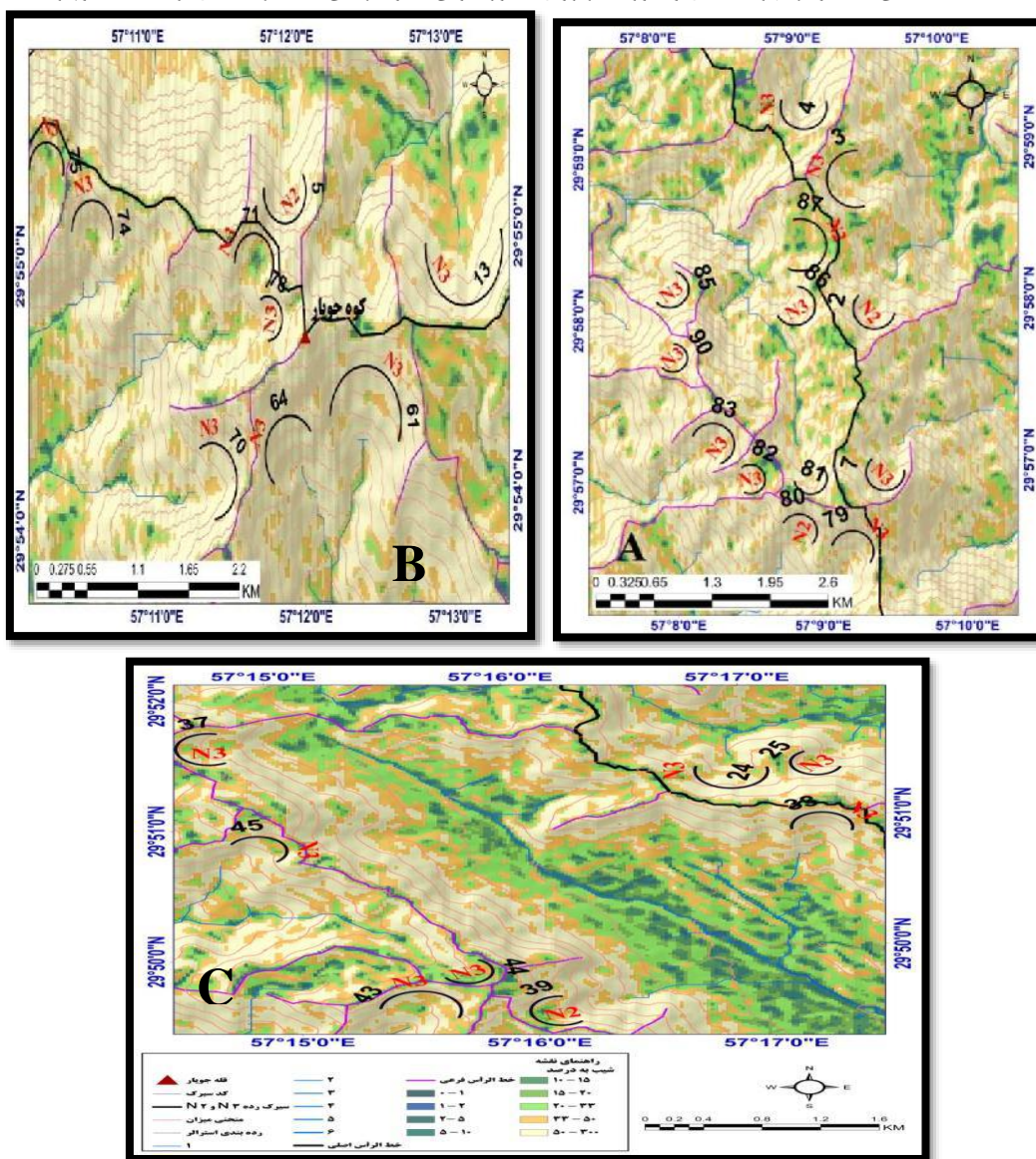
جدول ۲: رده بندی سیرک‌های ارتفاعات جوپار به روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس

دامنه تغییرات	کمترین	بیشترین	درصد	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	تعداد	رده بندی سیرک های یخچالی	
محور طولی سیرک (متر)								Evans And Cox	ویلبورگ و رودبرگ
۲۳۲	۵۴۱	۷۷۳	۸/۷۹	۶۶۵/۴	۸۰/۳	۱۲/۰۷	۸	خوب و توسعه یافته	N2
۶۳۴	۴۲۱	۱۰۵۵	۳۶/۲۶	۶۴۰	۱۳۴/۴	۲۱	۳۳	قطعی	N3
۳۹۵	۳۴۵	۷۴۰	۱۶/۴۸	۵۶۰/۹	۱۱۳/۳	۲۰/۲۰	۱۵	ضعیف	N4
۸۹۴	۲۸۵	۱۱۷۹	۳۸/۴۶	۵۰۶/۷	۱۵۱/۷	۲۹/۹۴	۳۵	مرزی	N5
محور عرضی سیرک (متر)									
۲۳۶	۴۶۶	۷۰۲	۸/۷۹	۵۸۵/۶	۸۵/۵	۱۴/۶۰	۸	خوب و توسعه یافته	N2
۶۹۴	۳۷۸	۱۰۷۲	۳۶/۲۶	۵۶۶/۴	۱۵۹	۲۸/۰۷	۳۳	قطعی	N3
۳۲۷	۲۸۸	۶۱۵	۱۶/۴۸	۴۷۲/۶	۹۱	۱۹/۲۶	۱۵	ضعیف	N4
۷۲۵	۲۳۵	۹۶۰	۳۸/۴۶	۴۳۹/۲	۱۳۴	۳۰/۵۱	۳۵	مرزی	N5

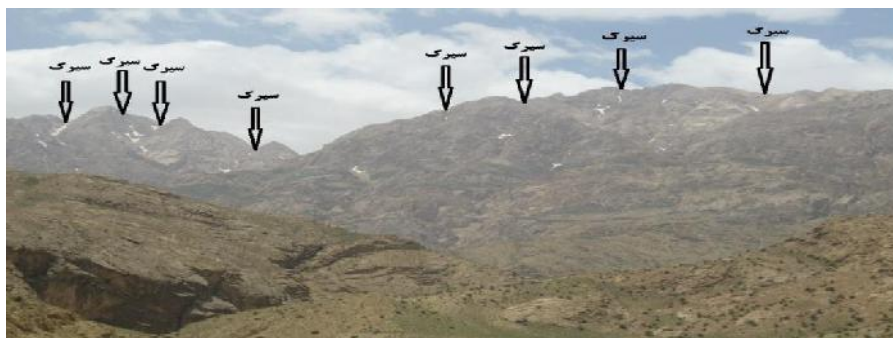
نتایج آنالیز سیرک‌ها نشان می‌دهد که سیرک‌های رده N2، گروه خوب و توسعه یافته دارای تغییرات کمتری هم در جهت محور طولی و عرضی خود هستند و تقریباً شکل نهایی و واقعی خود را تثبیت کرده اند. سیرک‌های این رده بیشتر تحت تأثیر فعالیت مستقیم فرسایش یخچالی و آب ناشی از ذوب یخ قرار گرفته اند. در سیرک‌های این رده میزان ضریب تغییرات محور عرضی بیشتر از محور طولی است. در صورتی که ضریب تغییرات سیرک‌های رده N5 هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی زیاد است. این سیرک‌ها اشکالی با ظاهر سیرک‌های تخریب شده هستند که بیشتر تحت تأثیر ذوب و یخبندان مدوام هستند و بیشتر فعالیت آبهای جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها شده و ضریب تغییرات محور طولی و عرضی در این رده سیرک‌ها زیاد شده است. سیرک‌های رده N4، سیرک‌های گروه ضعیف دارای ضریب تغییرات و انحراف معیار کمتری از سیرک‌های رده N3 و N5 هم روی محور طولی و هم روی محوری عرضی خود هستند. شاید تأثیر عوامل فرسایش یخچالی و فرسایش آبی روی این رده کمتر است.



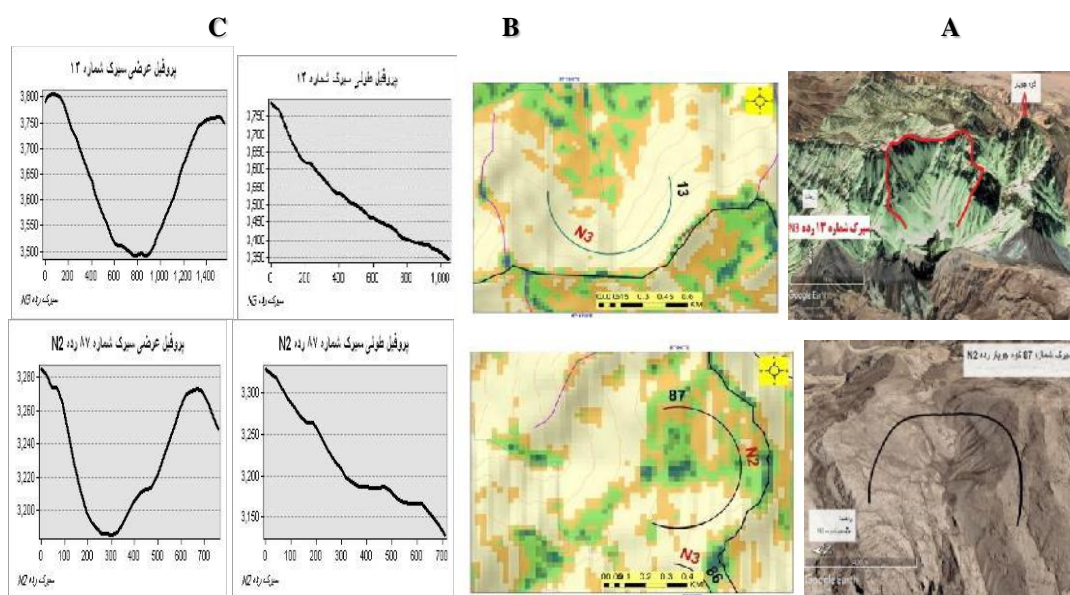
شکل ۶: منحنی هیستوگرام رده بندی ویلبورگ بر روی محور طولی A و عرضی B سیرک های ارتفاعات جویبار



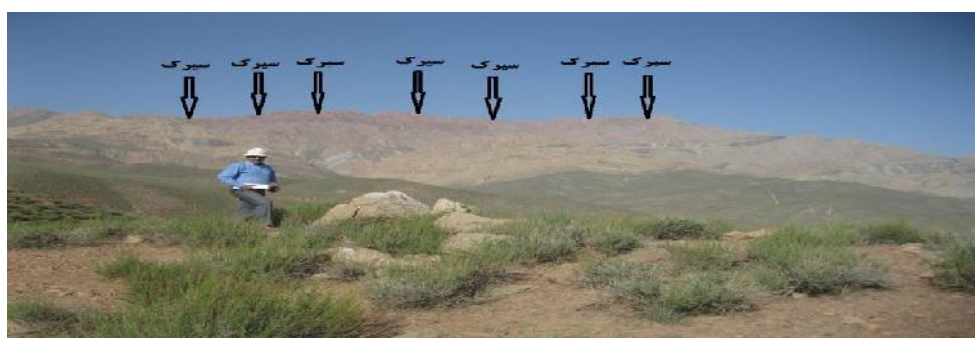
شکل ۷: نقشه A، B و C سیرک های رده N2 و N3 کوه جویبار



شکل ۸: تصویر سیرک‌های قله سه شاخ (بالاترین قله جوپار ۴۱۳۵ متری در سمت چپ تصویر)



شکل ۹: A: نمایش سیرک‌های شماره ۱۳ و ۸۷ بر روی تصاویر ماهواره ای، B: نمایش این سیرک‌ها بر روی نقشه شیب، C: پروفیل طولی و عرضی همان سیرک‌ها



شکل ۱۰: تصویر سیرک‌های درجه سه در ارتفاعات جوپار در زیر حوضه یخچالی تیگرانی

### آنالیز پارامترهای مورفومتری سیرک‌های رده N2 و N3

با توجه به جدول شماره ۳ کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N2 و N3، ۷۰۶ و بیشترین آن ۱۵۲۷ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد  $81/47 \pm 81/82$  است. میانگین محور طولی سیرک‌ها ۶۴۵ متر با ضریب تغییرات  $42/19$  متر و میانگین محور عرضی سیرک‌ها  $2/570$  متر با ضریب تغییرات  $76/25$  متر است. این ارقام نشان می‌دهد که سیرک‌های این رده در جهت طولی گسترش دارند یعنی شکل سیرک‌های این رده طولی است به طوری که میانگین

نسبت طول به عرض سیرک‌ها ۱/۱۴۷ متر با ضریب تغییرات ۸/۸۴ متر است. ولی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌ها بیشتر از محور طولی آنها است. سیرک‌های این رده ارتفاعات جوپار در جهت عرضی بیشتر تغییر می‌کنند. اکثر این ناهمواری‌ها از تشکیلات کنگلومرای کرمان، همراه با سنگ‌های آهکی زیرین تشکیل شده‌اند. فرسایش یخچالی همراه با فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ باعث فرسایش دیوارهای کناری سیرک‌ها شده است و در نتیجه ضریب تغییرات در امتداد محور عرضی سیرک‌ها بیشتر است. همچنین ارتفاع نقطه کف این سیرک‌ها بین ۲۸۱۴ تا ۳۸۸۸ متر متغیر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۷۰ متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۱۹۲ متر است. تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌ها نسبت به تغییرات عمق سیرک‌ها بیشتر است. یخچال‌ها تأثیر زیادی روی عمق سیرک‌ها نداشته‌اند شاید دلیلش تداوم کم یخچال‌های کوتاه‌تری در ارتفاعات جوپار بوده است.

جدول ۳: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۴۱ سیرک رده N2 و N3 در ارتفاعات جوپار

پارامترهای مورفومتری سیرک های رده N2 و N3 (متر)	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک	۴۱	۱۹/۴۲	۱۲۵/۲	۶۴۵	۴۲۱	۱۰۵۵	۶۳۴±۳۸/۳۴
محور عرضی سیرک	۴۱	۲۵/۷۶	۱۴۶/۹	۵۷۰/۲	۳۷۸	۱۰۷۲	۶۹۴±۴۴/۹۹
ارتفاع نقطه کف سیرک	۴۱	۷/۷۲	۲۶۱/۹	۳۳۹۲/۴	۲۸۱۴	۳۸۸۸	۱۰۷۴±۸۰/۲۱
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک	۴۱	۷/۱۸	۲۶۱/۸	۳۶۴۸/۵	۲۹۸۶	۴۰۲۳	۱۰۳۷±۸۰/۱۸
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)	۴۱	۲۸/۵۱	۰/۰۴۸۵	۰/۱۷۰	۰/۰۹۷	۰/۳۰۵	۰/۲۰۸۰±۰/۱۵
اندازه سیرک	۴۱	۱۵/۶۹	۱۵۶/۱	۹۹۴/۹	۷۰۶	۱۵۲۷	۸۲۱/۱±۴۷/۸۱
نسبت طول به عرض	۴۱	۸/۸۴	۰/۱۰۲	۱/۱۴۷	۰/۹۷۵	۱/۴۰۲	۰/۴۷۲±۰/۰۳۱۲
مساحت سیرک	۴۱	۵۱/۱۶	۱۳۹۱۴۲	۲۷۱۹۴۸	۱۲۰۶۵۲	۷۹۸۳۰۷	۶۷۷۶۵۵±۴۲۶۱۲/۲۴
محیط سیرک	۴۱	۲۲/۱۱	۴۱۰/۷	۱۸۵۷/۹	۱۲۵۵	۳۲۴۴	۱۹۸۹±۱۲۵/۷۷۷
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۴۱	۷/۷۲	۲۶۱/۹	۳۳۹۲/۴	۲۸۱۴	۳۸۸۸	۱۰۴۷±۸۰/۲۱
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۴۱	۲۲/۳۹	۰/۰۴۲۱	۰/۱۹۲	۰/۱۲۴۸۱	۰/۳۰۹۰۲	۰/۱۸۴۲۱±۰/۰۱۲۹

### آنالیز پارامترهای مورفومتری سیرک‌های رده N4 و N5

بر اساس اطلاعات جدول شماره ۴ میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌های رده N4 و N5 ارتفاعات جوپار ۱/۱۷۱۳ متر است که این نشان دهنده طولی بودن سیرک‌های این رده است. ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌ها ۲۷/۲۳ متر و ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌ها ۲۷/۳۲ متر است. این سیرک‌ها برخلاف سیرک‌های رده N2 و N3 دارای تغییراتی کمی در جهت محور عرضی می‌باشند. ضریب تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده تقریباً شبیه به هم است. عوامل فرسایش بخصوص فرسایش ناشی از آب‌های جاری حاصل از ذوب یخ‌ها به یک نسبت روی محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده تأثیر داشته است. میانگین ارتفاع کف این سیرک‌ها ۳۳۴۱/۹ متر است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 کوه جوپار ۶۲۳/۳ متر و بیشترین آن ۱۵۷۸/۷ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۹۵۷/۴۹±۹۵۵/۳ است. میانگین دامنه تغییرات اندازه سیرک‌های این رده از رده N2 و N3 بیشتر است و ضریب تغییرات آن‌ها بیشتر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۱۵۸۳ متر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۳۶ متر است. در هر دو پارامتر هم نسبت طول و هم نسبت عرض به عمق دارای تغییرات بیشتری هستند. حجم

یخ در این سیرک‌ها آنقدر زیاد نبوده که بتواند باعث عمیق شدن عمق سیرک‌ها گردد در نتیجه عمق سیرک‌های رده N4 و N5 منطقه کم است و حجم نگهداری برف و یخ در این سیرک‌ها کم است.

جدول ۴: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۵۰ سیرک رده N4 و N5 در ارتفاعات جوپار

پارامترهای مورفومتری سیرک های رده N4 و N5 (متر)	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک	۵۰	۲۷/۲۳	۱۴۲/۴	۵۲۳	۲۸۵	۱۱۷۹	۸۹۴±۳۹/۴۸
محور عرضی سیرک	۵۰	۲۷/۳۲	۱۲۲/۷	۴۴۹/۲	۲۳۵	۹۶۰	۷۲۵±۳۴/۰۲
ارتفاع نقطه کف سیرک	۵۰	۷/۳۹	۲۴۶/۹	۳۳۴۱/۹	۲۶۷۱	۳۸۳۷	۱۱۶۶±۶۸/۴۵
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک	۵۰	۷/۲۶	۲۵۴/۸	۳۵۱۰/۲	۲۸۱۶	۳۹۶۰	۱۱۴۴±۷۰/۶۴
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)	۵۰	۳۰/۷۷	۰/۰۴۲	۰/۱۳۶	۰/۰۶۵	۰/۳۰۵	۰/۲۴۰۱۶±۰/۰۱۲
اندازه سیرک	۵۰	۱۸/۳۹	۱۷۸/۸	۹۷۲	۶۳۳/۳	۱۵۷۸/۷	۹۵۵/۳±۴۹/۵۷
نسبت طول به عرض	۵۰	۸/۶۶	۰/۱۰۱۴	۱/۱۷۱۳	۰/۹۵۶	۱/۴۷	۰/۴۷±۰/۰۲۸
محیط سیرک	۵۰	۲۷/۲۶	۴۰۶	۱۴۸۹/۶	۸۱۲	۳۳۶۳	۲۵۵۱±۱۱۲/۵۵
مساحت سیرک	۵۰	۶۶/۳۱	۱۱۸۷۴۵	۱۷۹۰۷۱	۴۹۶۴۵	۸۵۹۷۳۳	۸۱۰۱±۳۳۹۱۹۱/۴۱
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۵۰	۷/۶۰	۲۴۹/۲	۳۲۷۹	۲۶۱۵	۳۷۹۹	۱۱۸۴±۶۹/۰۹
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۵۰	۳۰/۹۸	۰/۰۴۹۰۳	۰/۱۵۸۳	۰/۰۷۹	۰/۳۷۴۸	۰/۲۹۶±۰/۰۱۳۶

### تحلیل آلومتری و ایزومتری سیرک‌های محدوده مورد مطالعه

ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۱۰/۲۵ متر است. محور طولی این سیرک‌ها بیشتر تحت تأثیر فرسایش یخچالی بوده است. در نتیجه این فعالیت‌ها محور طولی سیرک‌های این رده نسبت به رده N4 و N5 که در منطقه فلویال قرار دارند دارای ضریب تغییرات بیشتری می‌باشد. یعنی این سیرک‌ها بیشتر به سمت تکامل و توسعه حرکت می‌کنند. بر اساس نظر ایوانس هر چه سرعت توسعه طولی سیرک بیشتر باشد بیانگر تخریب سریعتر دیواره بالایی یک سیرک در طول دوره رشد است (ایوانس، ۲۰۰۹، به نقل از ابراهیمی و سیف، ۱۳۹۴). ضریب همبستگی برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۹۶ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۴ است که همبستگی خوبی بین اجزای مختلف سیرک‌های هر دو رده شامل طول، عرض و دیواره‌های سیرک وجود دارد. عوامل فرسایش باعث رشد متناسب بین اجزای سیرک‌های این محدوده شده است. میانگین ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۶۱ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۱/۰۰۴ است. در سیرک‌های رده N2 و N3،  $B < 1$  است و رفتار آلومتری سیرک‌های این رده منفی است. در سیرک‌های رده N4 و N5،  $B > 1$  است و رفتار آلومتری این سیرک‌ها مثبت است. در سیرک‌های رده N2 و N3 ضریب a برای محور عرضی برابر با ۱/۱۲۹ است. در این سیرک‌ها رفتار ایزومتری برقرار است ولی در سیرک‌های رده N4 و N5 ضریب a برای محور عرضی برابر با ۰/۹۴۹ است که رفتار ایزومتری برای سیرک‌های این رده برقرار نیست. نتیجه حاصل از بررسی آلومتری سیرک‌های

رده‌های مختلف در این محدوده بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریکی (یا الگوی رشد) سیرک‌های این ناحیه با دیگر نواحی یخچالی دنیاست. همچنین مطالعات مشابهی در ارتباط با مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی توسط ابراهیمی و سیف (۲۰۱۶) در ارتفاعات زاگرس، سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) در ارتفاعات زردکوه و سیف (۱۳۹۴) در ارتفاعات گرین انجام گرفت. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد در ارتفاعات زاگرس و زردکوه یخچال زایی و عمل فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ خوب عمل کرده و سیرک‌هایی که در این ارتفاعات وجود دارند متکامل تر و توسعه یافته‌تر از سیرک‌های ارتفاعات جوپار می‌باشند. در ارتفاعات جوپار شکل‌گیری و توزیع سیرک‌ها تا حدود زیاد به نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس آنها بستگی داشته است. یخچال‌زایی در این ناهمواری‌ها کمتر در تشکیل سیرک‌ها نقش داشته است ولی عملکرد یخچال‌ها در دوره‌های مختلف باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این محدوده شده است.

جدول ۵: تعیین ضریب b برای محور طولی و ضریب A برای محور عرضی و همچنین ضریب همبستگی در معادله توانی برازش شده برای سیرک‌های ارتفاعات جوپار

تعیین ضریب	رده	ضریب تغییرات	تعداد سیرک	ضریب همبستگی	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم م	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
ضریب b بر روی محور طولی سیرک	N5 و N4	۰/۲۷	۵۰	۰/۹۴	۰/۰۲۷	۱/۰۰۴	۱	۱/۰۰۶	۰/۰۵۵±۰/۰۸۰
	N3 و N2	۱۰/۲۵	۴۱	۰/۹۶	۰/۰۸۸	۰/۸۶۱	۰/۷۵۶	۱	۰/۲۴۴±۰/۰۲۷
ضریب A بر روی محور عرضی سیرک	N5 و N4	۳/۵۸	۵۰	۰/۹۴	۰/۰۳۴	۰/۹۴۹	۰/۹۲	۱	۰/۰۷۹۵±۰/۰۰۹۴
	N3 و N2	۷/۳۱	۴۱	۰/۹۶	۰/۰۸۲۵	۱/۱۲۹	۱	۱/۲۴۰۰	۱/۲۴۰۰±۰/۰۲۲۵

### نتیجه‌گیری

برای تشخیص، طبقه‌بندی و مورفومتری دقیق سیرک‌های یخچالی منطقه مورد مطالعه به ۱۹ زیر حوضه یخچالی تفکیک گردید. بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک شناسایی سیرک‌های یخچالی، تعداد ۹۱ سیرک‌های یخچالی موجود در منطقه شناسایی و به صورت خطی و پلیگونی ترسیم گردید. از سیرک‌های یخچالی تشکیل شده در ارتفاعات جوپار، طبق رده‌بندی ویلیورگ و رودبرگ ۸ سیرک معادل با ۸/۷۹ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2، ۳۳ سیرک معادل با ۳۶/۲۶ درصد از کل سیرک‌ها در رده N3 و ۱۵ سیرک معادل با ۱۶/۴۸ درصد از کل سیرک‌ها در رده N4 قرار می‌گیرند. همچنین ۳۵ سیرک معادل ۳۸/۴۶ درصد از کل سیرک‌ها در رده N5 قرار دارند. طبق رده بندی ایوانس و کوکس، ۸ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، ۳۳ سیرک در رده قطعی، ۱۵ سیرک در رده ضعیف و ۳۵ سیرک در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N2 و N3، ۷۰۶ و بیشترین آن ۱۵۲۷ متر است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 کوه جوپار ۳/۶۲۳ متر و بیشترین آن ۱۵۷۸/۷ متر است. میانگین اندازه سیرک‌های رده N2 و N3، ۹۹۴/۹ متر و میانگین اندازه سیرک‌های شبه سیرک ۹۷۲ متر است. از نظر بزرگی و اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 بزرگتر از سیرک‌های رده دیگر یا شبه سیرک می‌باشند. همچنین میانگین دامنه تغییرات و ضریب تغییرات سیرک‌های شبه سیرک بیشتر از سیرک‌های رده N2 و N3 است. میانگین محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3، ۶۴۵ متر با ضریب تغییرات ۱۹/۴۲ متر و میانگین محور عرضی سیرک‌ها ۵۷۰/۲ متر با ضریب تغییرات ۲۵/۷۶ متر است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها ۱/۱۴۷ متر با ضریب تغییرات ۸/۸۴ متر است. سیرک‌های این رده در جهت طولی گسترش دارند یعنی شکل سیرک‌های این رده طولی است ولی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌ها بیشتر از محور طولی است. اکثر این ناهمواریها از رسوبات کنگلومرای کرمان، همراه با سنگ‌های آهکی زیرین تشکیل شده اند. فرسایش یخچالی همراه با

فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ باعث فرسایش دیوارهای کناری سیرک‌ها شده است و در نتیجه ضریب تغییرات در امتداد محور عرضی سیرک‌ها بیشتر است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌های رده N4 و N5 ارتفاعات جویبار ۱/۱۷۱۳ متر است که این طولی بودن سیرک‌های این رده را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌ها ۲۷/۲۳ متر و ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌ها ۲۷/۳۲ متر است. این سیرک‌ها برخلاف سیرک‌های رده N2 و N3 دارای تغییراتی کمی در جهت محور عرضی می‌باشند. ضریب تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده تقریباً شبیه به هم است. عوامل فرسایش بخصوص فرسایش ناشی از آب‌های جاری حاصل از ذوب یخ‌ها به یک نسبت روی محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده تأثیر داشته است. ارتفاع نقطه کف سیرک‌های رده N2 و N3 بین ۲۸۱۴ تا ۳۸۸۸ متر متغیر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۷۰ متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۱۹۲ متر است. میانگین ارتفاع کف سیرک‌های رده N4 و N5 ۳۳۴۱/۹ متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۱۵۸۳ متر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۳۶ متر است. سیرک‌های هر دو رده هم نسبت طول و هم نسبت عرض به عمق دارای تغییرات زیادی هستند. ضریب همبستگی برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۹۶ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۴ است که همبستگی خوبی بین اجزای مختلف سیرک‌های هر دو رده شامل طول و عرض و دیواره‌های سیرک وجود دارد. عوامل فرسایش باعث رشد متناسب بین اجزای سیرک‌های این محدوده شده است. میانگین ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۶۱ و  $B < 1$  است که رفتار آلومتری سیرک‌های این رده منفی است. این ضریب برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۱/۰۰۴ و  $B > 1$  است که رفتار آلومتری این سیرک‌ها تا حدودی مثبت است. در سیرک‌های رده N2 و N3 ضریب a برای محور عرضی برابر با ۱/۱۲۹ است. در این سیرک‌ها رفتار ایزومتری برقرار است ولی در سیرک‌های رده N4 و N5 ضریب a برای محور عرضی برابر با ۰/۹۴۹ است که رفتار ایزومتری برای سیرک‌های این رده برقرار نیست. با توجه به مطالعات مشابه انجام گرفته در ارتفاعات زاگرس، زردکوه و گرین و مقایسه آن با منطقه مورد مطالعه این نتایج به دست آمده است. در ارتفاعات گرین از بررسی ۴۸ سیرک، تعداد ۱ سیرک در رده N3 و ۴۸ سیرک در گروه‌های N4 و N5 قرار می‌گیرند. متوسط ضریب B برای گروه (N3) ۱/۲۴ و در گروه‌های N4 و N5 بین ۱ تا ۱/۷۰ قرار دارد. در نتیجه سیرک‌های کوه گرین دارای تکامل بیشتری از سیرک‌های ارتفاعات جویبار می‌باشند. در ارتفاعات زردکوه ۱۹ سیرک تحت عنوان سیرک قطعی وجود دارد. از این تعداد سیرک، ۱۰ سیرک با ضریب  $(b > 2)$  و ۹ سیرک با ضریب  $(b > 1.7)$  طبقه بندی شده‌اند. ۳۰ سیرک ضعیف و مرزی با ضریب  $(b > 1.4)$  وجود دارند. در ارتفاعات زاگرس حداقل ۳۴ سیرک یخچالی تحت عنوان سیرک‌های کلاسیک یا واقعی شناسایی شدند. از این تعداد ۱۵ سیرک تحت عنوان سیرک قطعی هستند. بقیه لندفرم‌ها تحت عنوان سیرک‌های ضعیف و مرزی شناسایی شدند. ضرائب آلومتریک ۱۵ سیرک یخچالی مطابق با سیرک‌های یخچالی آلف هستند. مقایسه ارتفاع کف سیرک ۱۵ سیرک یخچالی با ارتفاع خط تعادل در خلال آخرین پیشرفت یخچالی موید این نکته بود که ارتفاع کف سیرک رابطه با ELA ندارد. به طور کلی در ارتفاعات زاگرس و زردکوه یخچال‌زایی و عمل فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ خوب عمل کرده و سیرک‌هایی که در این ارتفاعات وجود دارند متکامل تر و توسعه یافته تر از سیرک‌های ارتفاعات جویبار می‌باشند. شکل‌گیری و توزیع سیرک‌های ارتفاعات جویبار تا حدود زیادی به جنس ناهمواری‌های منطقه مورد مطالعه بستگی داشته است. یخچال‌زایی در این ناهمواری‌ها به صورت دره‌ای عمل نموده و به دلیل فعال بودن تکتونیک، سیرک‌ها از توسعه و تکامل کمتری برخوردارند.

## منابع

- احمد آبادی، علی؛ واردوهی سرکیسیان، امیر کرم، ۱۳۹۷، شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفومتری، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، صص. ۱۶-۱.
  - ارزنگ نژاد، فرزانه؛ قدمی، غلامرضا؛ مرادیان، عباس؛ پوستی، محمد، ۱۳۷۹، بررسی بازالت‌های آکالن بلوک جوپار در جنوب کرمان (استان کرمان)، پترولوژی، سال نهم، شماره سی و ششم، صص ۱۳۳-۱۵۲.
  - بهشتی جاوید، ابراهیم؛ اسفندیاری، فریبا، ۱۳۹۶، استخراج و شناسایی لندفرم‌های یخچالی با استفاده از روش شی گرا (مطالعه موردی سیرک‌های یخچالی سبلان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۴، صص. ۸۸-۱۰۲.
  - سیف، عبدالله، ۱۳۹۴، سیرک‌های یخچالی پلیستوسن در ارتفاعات گرین زاگرس، دومین همایش ملی انجمن کواترنری ایران، دانشگاه اصفهان.
  - صلحی، سینا؛ سیف، عبدالله، ۱۳۹۷، مورفومتری دره‌های طولی سه‌سهند، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۴، صص. ۶۹-۵۳.
  - مختاری، داود؛ کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم، ۱۳۸۶، اشکال مختلف مخروط افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آنها، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه نامه جغرافیا، بهار، صص. ۲۹۲-۲۵۷.
  - یمانی، مجتبی؛ شمسی پور، علی اکبر؛ جعفری اقدم، مریم، ۱۳۹۰، بازسازی برفمرزهای پلیوستوسن در حوضه جاجرود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۳ (۷۶)، صص. ۵۰-۳۵.
- Adediran, A., O., and Parcharidis, I., and Poscolieri, M., and Pavlopoulos, K., 2004. Computerassisted discrimination of morphological units on north-central Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients. *Geomorphology*, 58, 357–370.
  - Agassiz, L., 1840. On glaciers, and the evidence of their having once existed in Scotland, Ireland, and England. *Proceedings of the Geological Society of Londoll*, Vol, 3, No. 72, pp. 327-32.
  - Ahlmann, H., and son, W., 1948. Glaciological Research on the North Atlantic Coasts. *Royal Geographical Society London*. Research Series 1, 83.
  - Alonso, V., 1994. Analisis de los circos glaciares en las cabeceras de los rios Narcea, Ibias y Sil. Cordillera Cantabrica (NW de la Peninsula Iberica). *Cuaternario y Geomorfologia*, 8 (1-2), pp. 109-121.
  - Barr, I., D., and Spagnolo, M., 2015. Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations, *Earth-Science Reviews*, 151 (1) pp. 48-78
  - Dehn, M., and Dikau, R., 2001. Principles of semantic modeling of landform structures. *Comput. Geosci.* 27 (8), 1005– 1010
  - Delmas, M., and Gunnell, Y., and Calvet, M., 2015. A Critical Appraisal of Allometric Growth Among Alpine Cirques Based on Multivariate Statistics and Spatial Analysis, *Geomorphology*, 228, pp. 637-652.



- Derruau, M., 1990. Les forms du relief terrestre, *Notions geomorphology*, publisher: Nima.
- Dimitrijevic, M. N., Djockovic, I., Cvetic. S., and Halaviatiz., I., 1979. Geological map of Rayan 1:100000 seris, *sheet 74499 survey of Iran*, Iran.
- Ebrahimi, B., and Seif, A., 2017. Morphometric Properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain, Iran, *Geopersia* 7 (1), 2017, PP. 131-151
- Etzelmqller, B., and Sulebak, J., R., 2000. Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology. *PhysischeGeographie*, vol. 41. *Geographisches Institute der Universit7t Zqrich*, pp. 35– 58.
- Evans, I. S., 1997. Process and form in the erosion of glaciated mountains. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*. Routledge, London, 145-174 pp.
- Evans, I. S., 2006. Allometric development of glacial cirque form: geological, Relief and regional effects on the cirques of Wales. *Geomorphology*, 80 (3-4): pp. 245-266.
- Evans, I. S., 2009. Allometric development of glacial cirques: an application of specific geomorphometry, *proceeding of Geomorphology*, Zurich, Switzerland, 31 August – 2 September.
- Evans, I. S., 2011. Geomorphometry and landform mapping: what is a landform?. *Geomorphology*, (03), p.541.
- Evans, I. S., and Cox, N., J., 1995. The form of glacial cirques in theEnglish Lake District. *Cumbria. Z. Geomorph, N.F.*, 39(2): pp. 175-202.
- Glassera, N., F., and Matthew R., B., 2004. Glacial erosional landforms: origins and significance for palaeoglaciology. *Progress in Physical Geography*, (28) 1, pp. 43–75.
- Graf, W., L., 1976. Cirques as glacier location. *Arctic and Alpine Research* 8, 79e90.
- Kuhle, M., 1974. Vorlaufige Ausfuehrungen morphologicacher Feldarbeit sergebnisse aus den SE- Iranischen Hochgebirgen am Beispiel des Kuh- i- Jupar. *Z. Geomorphol . N. F.* 18: 472- 483.
- Kuhle, M., 2008 . The Pleistocene Glaciations of SE Iranian Mountains Exemplified by the kuh- I – jupar, Kuh – i- Lalezear and kuh – i- Hezar Massifs in the zagros., *Polarforschung* 77 ( 2-3), 71- 88.
- Miˆndrescu, M., and Evans, I. S., & Cox, N. J., 2010. Climatic implications of cirque distribution in the Romanian Carpathians: palaeowind directions during glacial periods. *J. Quaternary Sci*, ISSN, 0267-8179.
- Pike, R., J., and Dikau, R., 1995. Advances in geomorphometry. *Z. Geomorphol.*, N.F. Suppl. Bd. 101, 238.
- Pike, R., J., I. S., Evans, and T., Hengl, 2009. Geomorphometry: A Brief Guide, *Developments in Soil Science, Elsevier*, Volume 33, chapture 1.
- Qhanavati, E., and Beheshti, J., A., 2014. New methods and techniques drawn maps geomorphology, *publisher: Tehran University*, 306 p. (in persian)
- Seif, A., & Ebrahimi, B., 2014. Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran. *Quaternary International*, 353, 236e249.
- Seif, A., Ali, B., & Solhi, S., 2016, Morphoradition of Alvand heigts and its Relation with Quaternary Glacial effects. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, ISSN: 2231– 6345, Vol. 6 (S2), pp. 304-314.

- Steffanova, P., and Mentlik, P., 2007. Comparison of morphometric characteristics of cirques in the Bohemian Forest. *Silva Gabreta*, Vol. 13(3), P. 191-204.
- Vilborg, L., 1984. The cirque forms of Central Sweden. *Geo- grafiska Annaler*, 66 A (1-2): 41-77.
- Vilborg, L., 1977. The Cirque Forms of Swedish Lapland. *Geografiska Annaler*, Series A, *Physical Geography*, Vol. 59, No. 3/4, pp. 89-150.