

تحلیل پارامترهای مورفومتری آثار سیرک‌های یخچالی

ارتفاعات جبال بارز در وورم

حجت‌اله بیرانوند^۱، دکتر عبدالله سیف^{۲*}

چکیده

یکی از اشکال کاوشی مهم یخچال‌های کوهستانی، سیرک‌های یخچالی هستند. درجه تکوین این اشکال عامل مهمی در تعیین بازسازی اقلیم گذشته است. شناسایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریک و آلومتری سیرک‌ها باعث تفکیک و تمیز آن‌ها از دیگر عوارض شبه سیرک و شناخت درجه تکامل آنها خواهد شد. هدف اصلی این پژوهش؛ شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل پارامترهای مورفومتریک آثار سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز در استان کرمان بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید ابداعی است. پس از شناسایی ۱۶ زیر حوضه یخچالی، تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی در منطقه شناسایی و بر روی نقشه شیب کلاس‌بندی شده با دو فرمت خطی و پلیگونی ترسیم شدند. با برازش مدل‌های توانی بر پروفیل طولی آثار سیرک‌ها به استخراج ضرایب و پارامترهای آماری سیرک‌های منطقه مبادرت شد. عملیات رده‌بندی سیرک‌ها بر مبنای روش‌های ویلیبورگ 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 این ارتفاعات، ۶ سیرک N2، ۱۴ سیرک در رده N3 و ۶۵ سیرک در رده N4 و N5، موسوم به گروه شبه سیرک وجود دارد. ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۹۱ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۸۶۹ است. در سیرک‌های هر دو رده $B < 1$ است در نتیجه رفتار ژئوآلومتری برای سیرک‌های این ارتفاعات منفی است. تداوم کم یخچال‌های کواترنری و عملکرد ضعیف آنها باعث عدم توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این محدوده شده است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۰، پاییز ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۸
صفحات: ۲۳۸-۲۱۹



واژه‌های کلیدی:

مورفومتری، سیرک‌های یخچالی، ارتفاعات جبال بارز، آلومتری، وورم.

مقدمه

یخچالی به‌شمار می‌رود (Graf, 1976:88). یک سیرک زمانی سیرک یخچالی نامیده می‌شود که آثار فرسایش یخچالی در کف آن ملاحظه گردیده و مرز حوضه آبریز سیرک بر ستیغ بالای سیرک منطبق باشد. کف سیرک محدوده‌ای کم‌شیب بین دیواره بالادست و ناحیه انباشت یخرفت‌ها است. دیواره بالادست محدوده‌ای است که در بالا به مرز بین ناحیه پرشیب دیواره و محدوده کم‌شیب بالایی و در پایین به خط بین ناحیه پرشیب دیواره و کم‌شیب کف (خط شرودلاین) محصور است (Vilborg, 1977:90). در عمل، شیب سیرک جهت شناسایی دیواره بالادست و کف استفاده می‌شود.

در تحولات و تکامل ناهمواری‌ها، یخچال‌ها و حاکمیت دوره‌های آن‌گلیشیال و کاتگلیشیال، نقش مهمی در پردازش و تکامل آنها داشته‌اند. سپس در طول دوره‌های آن‌گلیشیال، انباشت مقادیر فراوان برف و یخ روی دامنه‌ها و ذوب این توده‌های یخی نقش قابل توجهی در پرداخت دامنه‌ها داشته است. این تأثیر نه تنها در ایجاد اشکال یخچالی بلکه در یک سری از وقایع بعدی هم، خود را نمایان می‌کند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳). سیرک‌ها شکل‌های اصلی یخچالی هستند و شکل آن مهمترین عامل در تعیین شرایط

یک سیستم و یا بر اساس اندازه‌گیری‌های متغیرهای یکسان در سیستم‌ها و مراحل مختلف از رشد آنها، استوار باشد. در واقع روابط آلومتری را می‌توان بین تک‌تک متغیرها با یکدیگر و نیز با سایر مجموعه متغیرها به کار برد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۸). بنابراین روابط آلومتری امکان پایش تغییرات (لندفرم‌ها) را در طول زمان برای ژئومورفولوژیست‌ها فراهم کرده است. بدین معنی که پایش نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود تغییرات در طول زمان در یک مکان می‌باشد. در واقع پایش مبتنی بر نتایجی است که از بررسی‌ها، مشاهدات و اندازه‌گیری‌هایی که در طول زمان به دست می‌آید و بر روی موضوعات و اهداف خاصی توجه و دقت بیشتری دارد (Vives, 1996: 28). به‌طور کلی تحلیل آلومتریک، رشد نسبی دو متغیر تأثیرگذار بر یکدیگر است که معمولاً به صورت تابع توانی $Y = ax^b$ بیان می‌شود (المدرسی، ۱۳۹۰: ۲۵۱). آلومتری ابتدا توسط اولیفانت و سپس ایوانس در بررسی خصوصیات مورفومتریک سیرک‌ها به کار گرفته شد (Evans, 2006: 261). اگر $B=1$ باشد نسبت ثابت است و هیچ تغییری در مقادیر نسبی اتفاق نمی‌افتد در این حالت گفته می‌شود رابطه از نوع غیر آلومتریک یا ایزومتریک است. اگر $B < 1$ 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: ۲۸۱). آلومتری نقش فرسایش یخچالی را در توسعه سیرک نشان می‌دهد. به عبارت دیگر آنالیز آلومتری تأیید کرده است که سرعت توسعه طولی بیشتر سیرک بیانگر تخریب سریعتر دیواره بالایی یک سیرک در طول دوره رشد است (Evans, 2009: 251). ایوانس در توسعه آلومتریکی سیرک‌های یخچالی به این نتیجه رسیده است که سیرک‌های یخچالی بزرگتر شیب

کف سیرک بطور متوسط شیبی کمتر از ۲۰ درجه داشته و دیواره بالا دست بیش از ۳۳ درجه شیب دارد (Evans, 2006: 10; Evans & Cox, 1974: 151). سیرک‌های یخچالی به عنوان یکی از لندفرم‌های تپیک قلمروهای یخچالی محسوب می‌شوند و شاخص مهمی در ردیابی اقلیم دیرینه محسوب می‌شوند. شناسایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌ها باعث تفکیک و تمیز آنها از دیگر عوارض شبه سیرک خواهد شد (سیف، ۱۳۹۴: ۱). برای شناسایی دقیق سیرک‌های یخچالی بررسی دقیق اندازه و شکل این اشکال، استفاده از مدل‌سازی و روابط ریاضی و عدی (مورفومتری) برای ژئومورفولوژیست‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. مورفومتری^۱ شامل آنالیزهای کمی اشکال ژئومورفیک به‌منظور کمی‌سازی خصوصیات توپوگرافی و هندسی اشکال است (Turner, 2006: 1 به نقل از سیف، ۱۳۹۴: ۲).

ژئومورفومتری، روش ارزیابی و تحلیل مشخصات سطحی یک یا چند فرآیند خاص است که طبق معیارهای مشخصی، بخش‌هایی از سطح زمین را تشخیص داده و تحلیل و توصیف می‌کند (Evans & Cox, 1974: 151). بررسی‌های مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی امکان بررسی توسعه عمودی و منطقه‌ای، درجه تکامل، جهت توسعه، ارتباط میان جهت‌گیری این لندفرم‌ها را با برجستگی توپوگرافیک، وضعیت ساختاری سنگ بستر و عوامل اقلیمی را فراهم می‌سازد (García-Ruiz et al, 2000: 435). تحلیل آلومتریکی مطالعه روابط متقابل دینامیکی در طی سرگذشت ژئومورفولوژیکی، یا روابط متقابل استاتیک در یک زمان معین را شامل می‌شود. به طور کلی رشد نسبی دو متغیر تأثیر گذار بر یکدیگر در یک سیستم آلومتری نامیده می‌شود (Bull, 1975: 213). تجزیه و تحلیل آلومتری ممکن است بر اساس تغییرات نسبی متغیرها در مدت‌زمان تکامل تدریجی

های یخچالی در مناطق کوهستانی اروپا پرداختند. دلماس^۶ و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی رشد آلومتری سیرک‌های آلپ بر اساس روش‌های آماری، شکل سیرک را ناشی از متغیرهایی مانند نوع سنگ و تغییرات آب و هوایی منطقه می‌دانند. ابراهیمی و سیف (۲۰۱۷) به آنالیز پارامترهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی در سراسر زاگرس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رفتار آلومتری ضریب طولی ۵۱ سیرک شبیه کوه‌های آلپ می‌باشد و ۱۳۶ سیرک دیگر شکلی متفاوت با سیرک‌های آلپ دارند. یاراحمدی (۱۳۹۱) سیرک‌های یخچالی را در اشترانکوه (۲۴ سیرک در دامنه شمالی و ۱۸ مورد در دامنه جنوبی) شناسایی و با آنالیز مورفومتریک آن‌ها، نشان داد که تکامل سیرک‌ها تحت تأثیر شیب و جهت ناهمواری‌ها است.

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 سیرک‌ها بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریک سیرک‌های گرین با سیرک‌های سایر نقاط دنیاست. بهشتی جاوید و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به استخراج و شناسایی سیرک‌های یخچالی سبلان با استفاده از روش شی‌گرا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این روش تا حدود زیادی برای برآورد اهداف پژوهش مورد نظر مناسب است. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفومتری با استفاده از مدل طبقه‌بندی نظارت شده^۷ (MLC) به بررسی شاخص‌های ژئومورفومتریک سیرک‌ها شامل؛ مشتقات درجه دوم انحنای پلان،

متفاوتی از سیرک‌های یخچالی کوچک دارند و اینکه ابعاد عمودیشان به آهستگی نسبت به ابعاد افقی رشد کرده‌اند (Goli Mokhtari et al, 2013:120).

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.

ایوانس^۱ (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 زمین‌شناسی، برجستگی توپوگرافیک در ناحیه ولز انگلستان می‌داند. کاریزیک^۲ و میدیا^۳ (۲۰۱۳) در پژوهشی به بررسی تأثیر ارتفاع در اندازه، شکل و توزیع مکانی سیرک‌های یخچالی در اسلواکی و لهستان پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که سیرک‌های نسبتاً متکاملی در دامنه‌های شمالی کوهستان‌های این کشورها قرار دارند که فرسایش یخچالی باعث توسعه و تکامل این سیرک‌ها نسبت به دامنه‌های جنوبی شده است. بار و اسپاگنولو (۲۰۱۳) در بررسی شرایط یخچال‌ها و اقلیم گذشته شمال غربی اقیانوس اطلس به آنالیز و تحلیل شاخص‌های مورفومتری سیرک‌های یخچالی در شبه‌جزیره کاماچتکا^۴ در پنسلوانیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین گسترش یخبندان در شبه‌جزیره کاماچتکا در اواخر کواترنر بوده است. سیف و ابراهیمی^۵ (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 و به این نتیجه رسیدند که در ارتفاعات زردکوه ۱۹ سیرک تحت‌عنوان سیرک قطعی وجود دارد. ایوانس و کوکس (۲۰۱۵) به مورفومتری سیرک-

1-Evans
2-Křížek
3-Mida
4-Kamchatka
5-Seif and Ebrahimi

6-Delmas
7-Maximum Likelihood Classification(MLC)

درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی در جنوب شرقی استان کرمان قرار گرفته است. بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری (Stöcklin, 1968: 1229).

از فلات ایران منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی کمر بند ماگمایی ارومیه دختر قرار دارد. مجموعه گرانیتوئیدی جبال بارز، از لحاظ مورفولوژی به شکل کوه‌های مرتفعی است با روند شمال غرب جنوب شرق و توسط دره‌ها و آبراهه‌های عمیق بریده شده است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). در این ارتفاعات کوه‌های بلندی مانند؛ کوه بانهریزان با ارتفاع ۳۰۶۵ متر، کوه کیوک ۳۵۰۳ متر، کوه علم‌شاه ۳۷۴۱ متر، کوه سنگراه ۳۰۱۸ متر، کوه کوهار ۲۶۷۳ متر، کوه شکرک ۳۱۷۵ متر، کوه شاه‌جبال ۳۵۱۰ متر، کوه کورشت ۳۴۳۹ متر، کوه‌تپه جنگل ۳۰۵۵ متر وجود دارد (شکل ۲). در شمال این ارتفاعات شهرهای بم و بروات در غرب، شهر جیرفت در جنوب غربی شهر عنبرآباد و در شمال‌غربی این ارتفاعات شهر فهرج قرار دارد (شکل ۱). در منطقه جبال بارز فعالیت ماگمایی به صورت درونی و بیرونی نمود یافته‌اند. به طور کلی فعالیت‌های آذرین منطقه جبال بارز، در چهار مرحله رخ داده است. اولین مرحله فعالیت ماگمایی مربوط به ژوراسیک است که پیامد آن تشکیل سنگ‌های گرانیتوئیدی است (Dimitrijevic, 1973: 132).

دومین مرحله مربوط به سنگ‌های ماگمایی ائوسن است که از دید گسترش و فعالیت در منطقه مورد مطالعه اهمیت چشمگیری دارد. این مرحله به طور چیره دارای فعالیت بیرونی بوده و سنگ‌های آن بیشتر شامل آندزیت و آندزی بازالت، ریوداسیت، ریولیت پورفیری و پیروکلاستیک‌های وابسته است. سومین فعالیت ماگمایی منطقه در الیگومیوسن رخ داده است. این فعالیت ماگمایی به طور گسترده سبب تشکیل سنگ‌های نفوذی شد است. خود مرحله سوم یعنی فعالیت‌های ماگمایی نفوذی زمان الیگومیوسن،

پروفیل طولی، حداقل و حداکثر انحنای طولی و مقطعی و شاخص شیب به‌عنوان مشتق درجه اول پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از ۲۶ چاله سیرک مانند مشخص شده تنها ۱۴ مورد توسط مدل طبقه‌بندی نظارت شده سیرک تشخیص داده شد.

بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید مورفومتریک به شناسایی، طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در این ارتفاعات شکل‌گیری و توزیع سیرک‌ها تا حدودی 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.

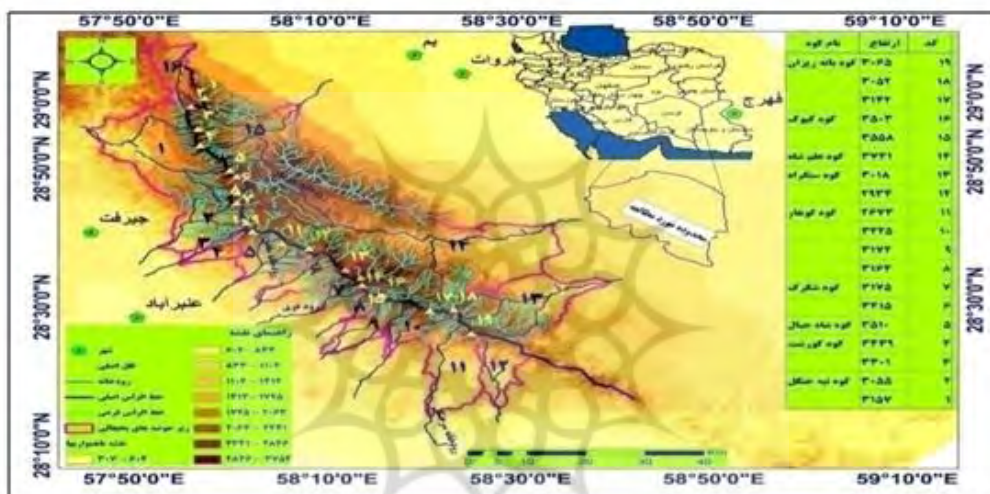
بررسی‌های مورفومتریک سیرک‌های یخچالی یک تکنیک جدید در جهت بررسی کمی سیرک‌ها در ارتباط با عوامل مختلف محیطی است. هدف از این پژوهش آنالیز دقیق پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های یخچالی وورم ارتفاعات جبال بارز شامل؛ طول سیرک (L)، عرض سیرک (W)، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک (H)، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع نقطه خروجی 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

ارتفاعات جبال بارز به طول ۱۷۶ کیلومتر بین ۲۸ درجه و ده دقیقه تا ۲۹ درجه و ده دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸

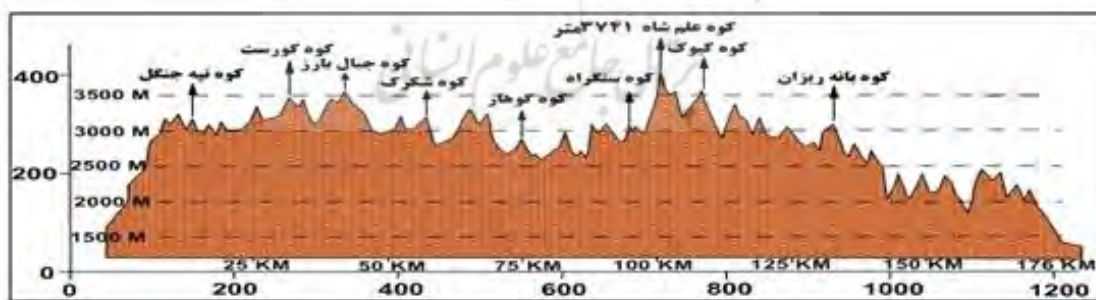
لیگومیوسن هستند. دوباره پس از مدت‌زمانی کوتاه، آخرین فاز ماگمایی لیگومیوسن (فاز سوم) رخ داده است. توده‌های نفوذی فاز سوم لیگومیوسن که دارای ترکیب آلکالی گرانیته بوده، به درون توده‌های نفوذی پیشین تزریق شده‌اند. چهارمین مرحله از فعالیت ماگمایی منطقه مورد بحث، مربوط به بازالت‌های کوآترنی است. البته این سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه بسیار کم هستند (قربانی، ۱۳۹۳: ۱۷۶).

طی سه فاز رخ داده است. فاز اول شامل بدنه اصلی جبال بارز و بیشتر دارای ترکیب سنگ‌نگاری کوارتزدیوریت تا گرانودیوریت است. پس از یک فاصله زمانی کوتاه و تفریق ماگمای درون آشیانه ماگمایی، توده‌های پورفیری به درون این مجموعه پلوتونیک اصلی نفوذ کرده‌اند. ترکیب سنگ‌نگاری این توده‌ها به طور چیره گرانودیوریتی تا گرانیته هستند. این دسته از توده‌های پورفیری، فاز دوم ماگمایی منطقه در طول



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۲: پروفیل طولی محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

مواد و روش ها

شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتریک و ژئوآلومتری آثار سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز که در ارتفاع بالای سه هزار متر قرار داشتند بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و بر مبنای روش سیف (۲۰۱۴) که یکی از پیشگامان به کارگیری روش‌های جدید در مطالعات یخچال‌شناسی ایران است و در قالب رسالات و مقالات ارزشمند در سال‌های اخیر تحول شگرفی در یخچال‌شناسی کوآترنری ایران ایجاد نموده است انجام گرفت. ابتدا در محیط نرم‌افزاری محدوده مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر برش داده شد. سپس نقشه (سایه روشن^۱)، نقشه شیب، نقشه جهت شیب و منحنی‌های میزان ساخته شدند. برای تعیین حدود دقیق زیر حوضه‌های یخچالی نقشه هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی استالر از نقشه DEM ساخته شد. نقشه ترکیبی تولید شده با نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت منطبق شد. سپس خط الرأس‌های اصلی، فرعی و خط القعرهای منطقه به دقت ترسیم شدند، همچنین ستیغ‌های اصلی و فرعی در روی نقشه ترکیبی با توجه به منحنی‌های میزان مشخص شدند. نقشه شیب منطقه در ۹ کلاس طبقه‌بندی و محل دقیق آثار سیرک‌های یخچالی بر روی آن تعیین گردید. برای دقت بیشتر و بالا بردن صحت کار پروفیل طولی و عرضی سیرک‌ها ترسیم و لندفرم‌هایی که سیرک واقعی بودند تشخیص داده شد. همچنین سیرک‌ها در دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترسیم شدند.

برای آنالیز و مورفومتری آثار 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) اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۳). بعد از مورفومتری با استفاده از روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس به طبقه‌بندی و رده‌بندی آثار سیرک‌های یخچالی پرداخته شده است. در روش ویلبورگ و رودبرگ، سیرک‌ها به پنج رده N-1، N-2، N-3، N-4، N-5 رده‌بندی گردید (جدول ۱). در این رده‌بندی 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 تقعر است. بر اساس رده‌بندی ایوانس و کوکس سیرک‌ها به پنج گروه، کلاسیک، خوب و توسعه‌یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند

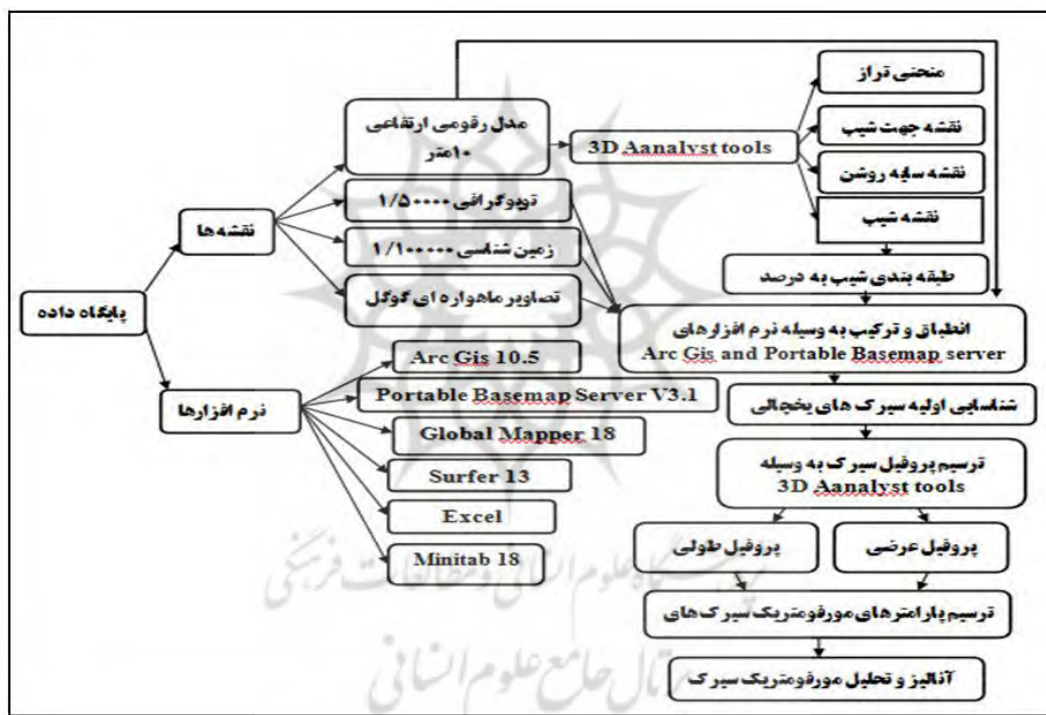
(Seif & Ebrahimi, 2014: 238).

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

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مختلف شکلی سیرک های کلاس N1 تا N5

نوع سیرک					پارامتر	
N5	N4	N3	N2	N1		
۳۲۵±۱۷۵	۸۰۰±۳۵۰	۷۲۵±۳۲۷	۱۱۵۰±۵۵۰	۱۳۰۰±۵۰۰	میانگین	طول
۱۵۰-۵۰۰	۴۵۰-۱۱۵۰	۳۵۰-۱۱۰۰	۶۰۰-۱۷۰۰	۸۰۰-۱۸۰۰	دامنه تغییرات	
۱۲۲۵±۶۲۵	۱۰۵۰±۳۵۰	۸۵۰±۳۵۰	۱۰۷۵±۴۲۵	۱۳۵۰±۳۵۰	میانگین	عرض
۶۰۰-۱۸۵۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۰۰-۱۲۰۰	۶۵۰-۱۵۰۰	۱۰۰۰-۱۷۰۰	دامنه تغییرات	
۲۵۰±۱۵۰	۱۶۰±۸۰	۱۷۰±۷۰	۲۸۰±۱۰۰	۳۳۵±۱۱۵	میانگین	دامنه
۱۰۰-۴۰۰	۸۰-۲۴۰	۱۰۰-۲۴۰	۱۸۰-۳۸۰	۲۲۰-۴۵۰	دامنه تغییرات	

مأخذ: Vilborg, 1977; Vilborg, 1984



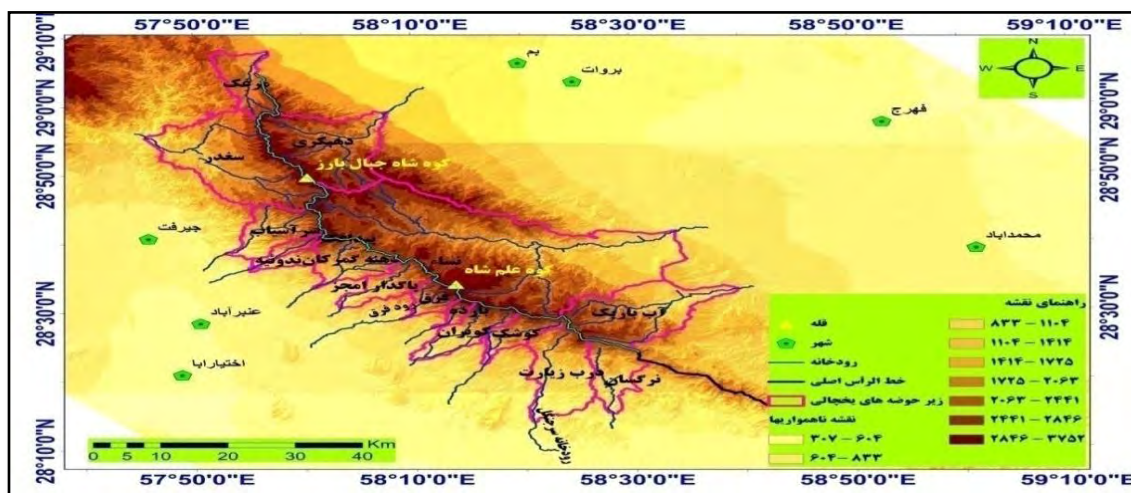
شکل ۳: نمودار تحلیلی تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

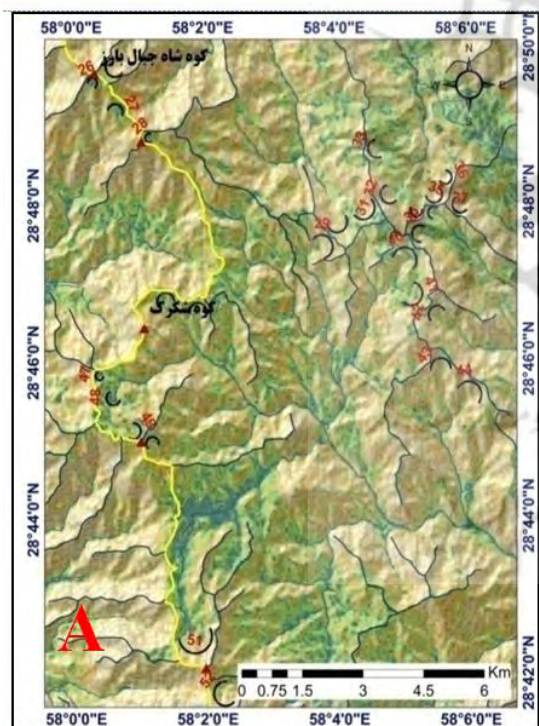
یافته‌های تحقیق

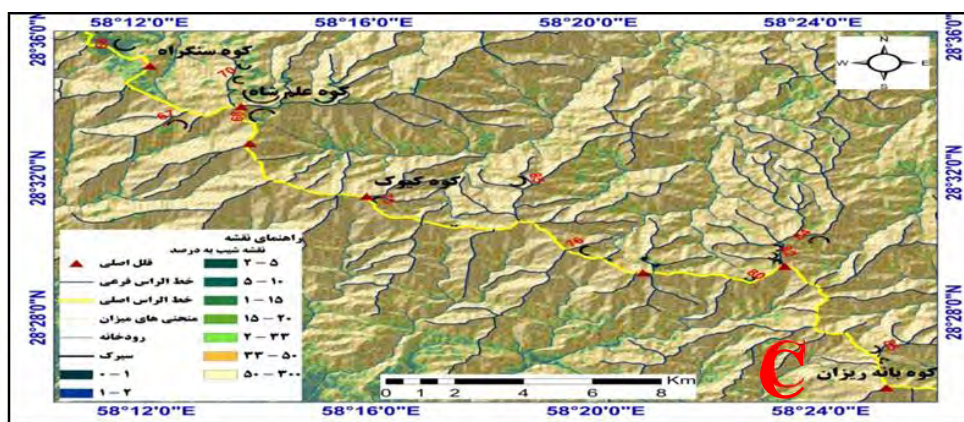
در ارتفاعات بالای سه‌هزارمتر در زیرحوضه‌های یخچالی تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی موجود در منطقه شناسایی و به دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترسیم گردید (شکل ۵).

با توجه به مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، وضعیت توپوگرافی، خط‌الراس‌های اصلی و فرعی و همچنین رفتار آبراهه‌ها، منطقه مورد مطالعه به ۱۶ زیرحوضه یخچالی تقسیم شده است (شکل ۴). سپس



شکل ۴: نقشه زیر حوضه های یخچالی ارتفاعات جبال بارز
تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸





شکل ۵: تصاویر A,B,C نقشه سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز با کدبندی آنها پیاده شده

بر روی نقشه شیب و سایه روشن منطقه (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸)

شرقی، ۱۱/۴۷ درصد در جهت جنوب، ۳۴/۴۶ درصد در غرب، شمال غرب و جهت جنوب غربی قرار دارند. در نتیجه توزیع فضایی آثار سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی کمی بیشتر از دامنه‌های غربی، شمال غربی و جهت جنوب غربی است. با توجه به ازدیاد و توزیع فضایی سیرک‌های یخچالی در دامنه‌های شرقی و غربی در این ناهمواری‌ها، دامنه‌های رو به آفتاب و پشت به آفتاب در این ارتفاعات تأثیر چندانی در شکل‌گیری سیرک‌های منطقه نداشته است. جنس ناهمواری‌های منطقه بر روی نحوه شکل‌گیری و توزیع فضایی آثار سیرک‌ها تأثیر مستقیم داشته است. در طی زمان برف‌گیری و یخچال‌زایی باعث توسعه و تکامل سیرک‌ها در دامنه‌های این ارتفاعات شده است (جدول ۲).

توزیع فضایی و فراوانی آثار سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز

جهت چین‌خوردگی ارتفاعات جبال بارز شمال غربی - جنوب شرقی است. شکل‌گیری و توزیع فضایی و آثار سیرک‌های منطقه تا حدود زیاد به نحوه تشکیل چین‌خوردگی‌ها و جنس ناهمواری‌های منطقه بستگی دارد. دامنه‌های شرقی این ارتفاعات (از شمال شرق تا جنوب شرق) از سنگ‌های آتشفشانی مانند؛ آندزیت و آندزی‌بازالت، ریوداسیت، ریولیتپورفیری و پیروکلاستیک‌های تشکیل شده است. دامنه‌های غربی این ارتفاعات (از شمال غرب تا جنوب غرب) از کوارتز دیوریت و گرانودیوریت تشکیل شده است. در این ارتفاعات از تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی موجود در منطقه، ۱۱/۶۸ درصد از کل سیرک‌ها در جهت شمال، ۴۲/۶۳ درصد در جهت شرق، شمال شرق و جنوب

جدول ۲: درصد فراوانی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز

جهت سیرک	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غرب	شمال
درصد فراوانی سیرک‌ها	۶/۳۶	۱۴/۸۸	۱۵/۱۷	۱۲/۳۱	۱۱/۴۷	۱۲/۰۴	۱۱/۷۰	۱۰/۷۲	۵/۳۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

درصد از کل سیرک‌ها در رده N5 قرار دارند. طبق رده‌بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۶ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ۱۴ سیرک در رده قطعی، تعداد ۴۵ سیرک در رده ضعیف و تعداد ۲۰ سیرک در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۳). در این ارتفاعات تعداد سیرک‌های ضعیف و مرزی موسوم به شبه سیرک از سیرک‌های خوب و توسعه یافته بیشتر است. سیرک‌های موجود در منطقه در مرحله تشکیل ناهمواری‌ها با توجه به نوع چین خوردگی ارتفاعات به وجود آمده‌اند و بعداً فرسایش یخچالی تغییراتی در شکل و اندازه آن‌ها به وجود آورده است.

رده‌بندی آثار سیرک‌های یخچالی محدوده مورد مطالعه پس از شناسایی دقیق و تحلیل شاخص‌ها و پارامترهای مورفومتری آثار سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات جبال بارز، برای اطلاع از میزان توسعه یافتگی آنها عملیات رده‌بندی و طبقه‌بندی بر روی این سیرک‌ها بر اساس آنچه که در مواد و روش‌های پژوهش توضیح داده شد انجام گرفت. بر اساس روش ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۶ سیرک معادل با ۷/۰۶ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2، تعداد ۱۴ سیرک معادل با ۱۶/۴۷ درصد از کل سیرک‌ها در رده N3، تعداد ۴۵ سیرک معادل با ۵۲/۹۴ درصد از کل سیرک‌ها در رده N4 و تعداد ۲۰ سیرک معادل ۲۳/۵۳

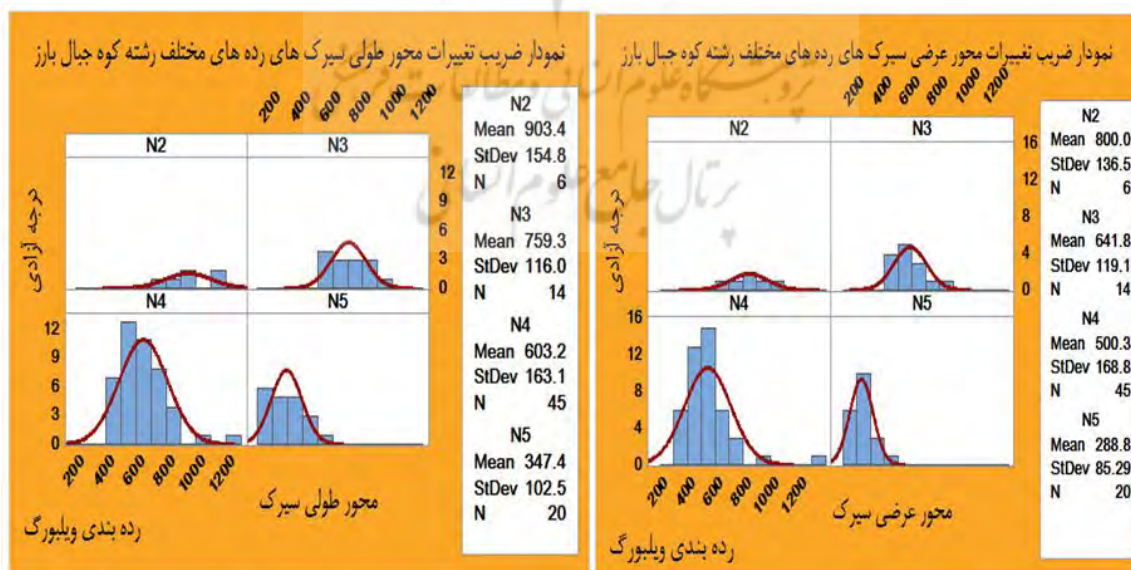
جدول ۳: رده‌بندی سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز به روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس

روش رده‌بندی سیرک	تعداد	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	درصد	بیشترین	کمترین	دامنه تغییرات محور طولی و عرضی
Evans And Cox	محور طولی سیرک (متر)							
ویلبرگ و رودبرگ	۶	۱۷/۱۳	۱۵۴/۸	۹۰۳/۴	۷/۰۶	۱۱۰۵	۷۳۴/۹	۳۷۰/۱
N2	۱۴	۱۵/۲۸	۱۱۶/۰	۷۵۹/۳	۱۶/۴۷	۱۰۱۳/۴	۶۲۰/۳	۳۹۳/۲
N3	۴۵	۲۷/۰۵	۱۶۳/۱	۶۰۳/۲	۵۲/۹۴	۱۲۲۶/۹	۳۷۲/۲	۸۵۴/۷
N4	۲۰	۲۹/۵۱	۱۰۲/۵	۳۴۷/۴	۲۳/۵۳	۵۸۵/۲	۱۹۸/۱	۳۸۷/۲
N5	محور عرضی سیرک (متر)							
ویلبرگ و رودبرگ	۶	۱۷/۰۷	۱۳۶/۵	۸۰۰/۰	۷/۰۶	۹۸۷/۲	۶۴۵/۵	۳۴۱/۷
N2	۱۴	۱۸/۵۶	۱۱۹/۱	۶۴۱/۸	۱۶/۴۷	۹۳۲/۳	۵۲۲/۶	۴۰۹/۷
N3	۴۵	۳۳/۷۳	۱۶۸/۸	۵۰۰/۳	۵۲/۹۴	۱۲۸۰/۴	۲۶۴	۱۰۱۶/۴
N4	۲۰	۲۹/۵۳	۵۵/۳	۲۸۸/۸	۲۳/۵۳	۴۸۶/۶	۲۰۲/۴	۳۲۵/۱
N5								

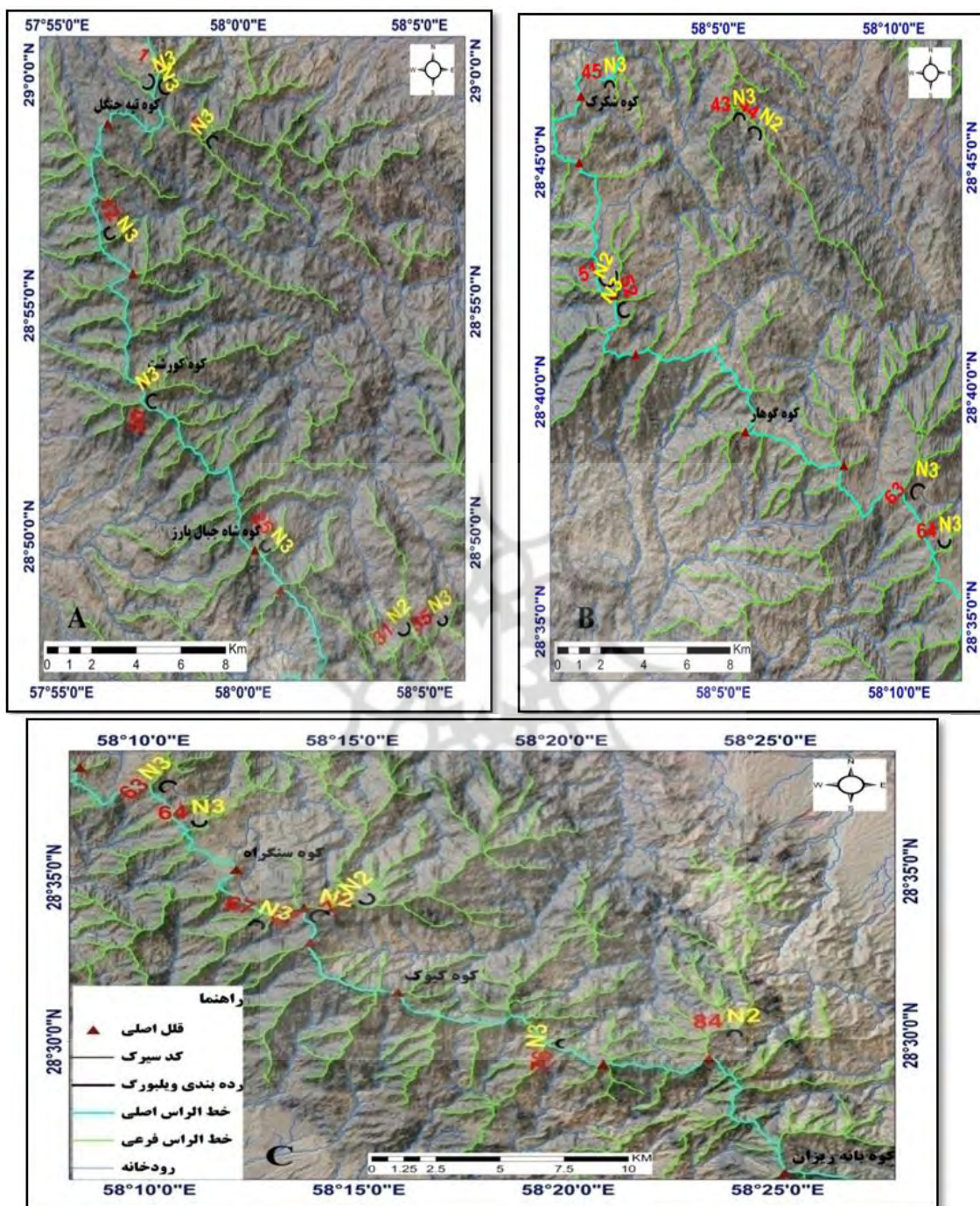
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

مربوط به سیرک‌های رده N4 و N5، سیرک‌های گروه ضعیف و مرزی است. این مقدار برای محور طولی سیرک‌های رده N4، ۲۷/۰۵ متر با انحراف معیار ۱۶۳/۱ و برای محور عرضی آنها ۳۳/۷۳ متر با انحراف معیار ۱۶۸/۸ است. همچنین ضریب تغییرات برای محور طولی سیرک‌های رده N5، ۲۹/۵۱ متر و برای محور عرضی این سیرک‌ها ۲۹/۵۳ متر است (جدول ۳). این اطلاعات نشان می‌دهد که سیرک‌های رده N5 و N4، گروه ضعیف و مرزی دارای ضریب تغییرات بیشتری روی محور طولی و عرضی هستند. با توجه به اندازه و عمق کمی که سیرک‌های این رده دارند فرسایش یخچالی و آب ناشی از ذوب یخ باعث تغییرات ضریب طولی و عرضی سیرک‌های این رده شده است. ولی هنوز زمان زیادی برای توسعه و تکامل این سیرک‌ها لازم است. این سیرک‌ها باید در طول زمان تحت تأثیر دوره‌های یخچالی قرار گیرند که توسعه و تکامل پیدا کنند.

نتایج تحلیل سیرک‌ها نشان می‌دهد که ضریب تغییرات روی محور طولی سیرک‌های رده N2، ۱۷/۱۳ متر و برای محور عرضی آنها ۱۷/۰۷ متر است. این ضریب برای محور طولی سیرک‌های رده‌های N3، ۱۸/۵۶ متر و برای محور عرضی این سیرک‌ها ۱۵/۲۸ متر است. مقدار ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N2 کمی بیشتر از ضریب تغییرات محور عرضی این سیرک‌ها است. در حالی که ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N3 کمتر از ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده است. یعنی سیرک‌های این رده در منطقه در جهت محور عرضی تغییرات بیشتری دارند تا در جهت محور طولی. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های این رده و حرکت نکردن توده یخ و برف به علت حجم کم و ذوب آن همچنین فعالیت آب‌های جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالا بردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این رده شده است. بیشترین میزان ضریب تغییرات هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی سیرک‌ها

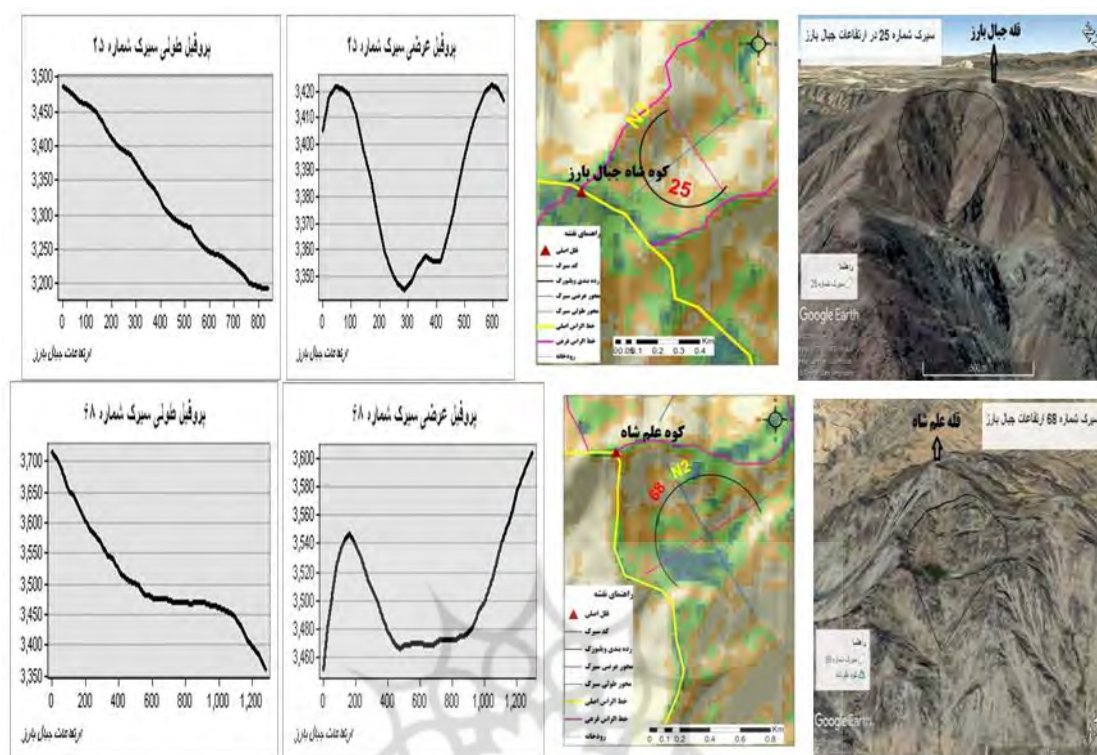


شکل ۶: منحنی هیستوگرام رده‌بندی ویلبورگ بر روی محور طولی و عرضی سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز



شکل ۷: نقشه A, B و C سیرک‌های رده N3, N2, N1 ارتفاعات جبال بارز پیاده شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۸: تصاویر ماهواره ای سیرک‌های شماره ۲۵ و ۶۸ سمت راست، نقشه DEM وسط، پروفیل طولی و عرضی سیرک‌های مختلف سمت چپ. (تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸)

سیرک‌های این رده شده است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N2 و N3، $977/5$ و بیشترین آن 1536 متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد $581/4 \pm 68/05$ است. همچنین ارتفاع نقطه کف سیرک‌های این رده بین 2739 تا 3500 متر متغیر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) $0/232$ متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف $0/270$ متر است (جدول ۴). تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده نسبت به تغییرات عمق سیرک‌ها بیشتر است. با توجه به جنس ناهمواری‌های منطقه که بیشتر از مواد آتشفشانی تشکیل شده‌اند و در برابر فرسایش مقاوم هستند فرسایش یخچالی و آبی تأثیر زیادی روی عمق سیرک‌ها نداشته‌اند. میزان تخلیه و حرکت یخچال‌ها در این سیرک‌ها کم بوده است و این مقدار یخ و برف نمی‌تواند باعث عمیق شدن سیرک‌های این رده در ارتفاعات جبال بارز شود.

تحلیل پارامترهای مورفومتری سیرک‌های رده N2 و N3 ارتفاعات جبال بارز

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3، $802/5$ متر با ضریب تغییرات $17/67$ متر و میانگین محور عرضی سیرک‌های این رده، $689/2$ متر با ضریب تغییرات $20/60$ متر است. با توجه به میانگین محور طولی، سیرک‌های این رده در جهت طولی گسترش دارند. شکل سیرک‌های این رده طولی است به طوری که میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها $1/174$ متر با ضریب تغییرات $7/91$ متر است. به طور کلی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده بیشتر از محور طولی آنها است. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های این رده و حرکت نکردن توده یخ و برف به علت حجم کم و ذوب آن همچنین فعالیت آب‌های جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالابردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این رده شده است. این عوامل باعث تغییر در اندازه

جدول ۴: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۲۰ سیرک رده N2 و N3 در ارتفاعات جبال بارز

پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N2 و N3	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک (متر)	۲۰	۱۷/۶۷	۱۴۱/۸	۸۰۲/۵	۶۲۰/۳	۱۱۰۵	۶۲/۱۸ ± ۴۸۴
محور عرضی سیرک (متر)	۲۰	۲۰/۶۰	۱۴۲	۶۸۹/۲	۵۲۲/۶	۹۸۷/۲	۶۲/۲۶ ± ۴۶۴/۶
ارتفاع نقطه کف سیرک (متر)	۲۰	۷/۵۱	۲۲۳/۸	۲۹۸۲/۴	۲۷۳۹	۳۵۰۰	۱۰۰/۳۲ ± ۷۶۱
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک (متر)	۲۰	۷/۷۴	۲۴۲/۹	۳۱۳۶/۲	۲۵۵۱	۳۷۱۲	۱۰۶/۵۱ ± ۸۶۱
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) (متر)	۲۰	۲۱/۰۲	۰/۰۴۸۷	۰/۲۳۲	۰/۱۵۸	۰/۳۳۳	۰/۰۲۱۴ ± ۰/۱۷۵
اندازه سیرک	۲۰	۱۳/۱۹	۱۵۵/۲	۱۱۷۶/۷	۹۷۷/۵	۱۵۳۶	۶۸/۰۵ ± ۵۵۸/۴
نسبت طول به عرض	۲۰	۷/۹۱	۰/۰۹۳	۱/۱۷۴	۰/۹۶۹	۱/۳۹۱	۰/۰۴۱ ± ۰/۴۲۱
مساحت سیرک	۲۰	۳۸/۱۰	۱۵۴۳۹۷	۴۰۵۲۸۰	۲۲۸۷۱۰	۷۵۰۸۵۹	۶۷۶۹۹/۸۰ ± ۵۲۲۱۴۹
محیط سیرک	۲۰	۱۸/۳۹	۴۲۰/۴	۲۲۸۵/۴	۱۷۵۳/۲	۳۱۲۸/۱	۱۸۴/۳۴ ± ۱۳۷۴/۹
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۲۰	۷/۲۰	۲۰۹/۹	۲۸۷۴/۱	۲۶۳۴	۳۳۲۵	۹۲/۰۴ ± ۶۹۱
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۲۰	۱۷/۱۹	۰/۰۴۶	۰/۲۷۰	۰/۲۱۱	۰/۳۶۲	۰/۰۲۰۲ ± ۰/۱۵۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

در این ناهمواری‌ها اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 متفاوت است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5، ۴۷۵/۳ و بیشترین آن ۱۷۶۲/۵ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۱۲۸۷/۲ ± ۵۳/۰۴ است. ارتفاع نقطه کف سیرک‌ها بین ۲۶۷۱ تا ۳۴۸۵ متر متغیر است. میانگین نسبت طول سیرک‌های این رده به ارتفاع کف ۰/۱۷۵ است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۴۵ است (جدول ۵). تداوم کم یخچال‌های کواترنری در این ارتفاعات، همچنین میزان تخلیه و حرکت یخچال‌ها در سیرک‌های این ارتفاعات کم بوده است و این مقدار یخ و برف نمی‌تواند باعث عمیق شدن سیرک‌های این رده شود. به همین دلیل عمق سیرک‌های رده N4 و N5 منطقه کم و حجم نگهداری برف و یخ در این سیرک‌ها کم است. مساحت و محیط این سیرک‌ها کمتر از سیرک‌های رده N2 و N3 است. سیرک‌های این رده برای تکامل خود به زمان زیادی نیاز دارند.

تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N4 و N5 ارتفاعات جبال بارز

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5، ۵۲۴/۵ متر با ضریب تغییرات ۳۵/۹۶ و میانگین محور عرضی سیرک‌ها ۴۳۵/۳ متر با ضریب تغییرات ۴۰/۷۳ است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها ۱/۲۲۲ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۰/۰۳۰ ± ۰/۵۳ است. با توجه به این آمار سیرک‌های این رده شکلی کشیده و طولی دارند و در جهت عرضی گسترش کمتری داشته و تکامل کمی پیدا کرده‌اند. ولی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی آنها است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ناهمواری‌های منطقه تجمع یخ و برف در این سیرک‌ها در طول سال کم است و با توجه به جنس این ناهمواری‌ها این مقدار برف و یخ و آب حاصل از ذوب آنها نمی‌تواند باعث فرسایش دیواره‌های کناری سیرک‌ها شود. در نتیجه اندازه و بزرگی سیرک‌های این رده زیاد نیست.

جدول ۵: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۶۵ سیرک رده N4 و N5 در ارتفاعات جبال بارز

پارامترهای مورفومتری سیرک‌های رده N4 و N5	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک (متر)	۶۵	۳۵/۹۶	۱۸۸/۶	۵۲۴/۵	۱۹۸/۱	۱۲۲۶/۹	۱۰۲۸/۸±۴۵/۸۶
محور عرضی سیرک (متر)	۶۵	۴۰/۷۳	۱۷۷/۳	۴۳۵/۳	۱۶۱/۵	۱۲۸۰/۴	۱۱۱۸/۹±۴۳/۱۲
ارتفاع نقطه کف سیرک (متر)	۶۵	۵/۶۲	۱۶۹/۳	۳۰۱۲/۴	۲۶۷۱	۳۴۸۵	۸۱۴±۴۱/۱۷
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک (متر)	۶۵	۵/۷۵	۱۷۸/۱	۳۰۹۴/۶	۲۷۹۵	۳۷۱۳	۹۱۸±۴۳/۳۱
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) (متر)	۶۵	۳۹/۷۴	۰/۰۵۸	۰/۱۴۵	۰/۰۵۳۰	۰/۳۶۷	۰/۳۱۴۵±۰/۱۴۱
اندازه سیرک	۶۵	۲۵/۱۱	۲۱۸/۱	۸۶۸/۷	۴۷۵/۳	۱۷۶۲/۵	۱۲۸۷/۲±۵۳/۰۴
نسبت طول به عرض	۶۵	۹/۹۴	۰/۱۲۲	۱/۲۲۲	۰/۹۴۹	۱/۴۸	۰/۵۳±۰/۰۳۰
محیط سیرک	۶۵	۳۷/۸۱	۵۵۹/۲	۱۴۷۹/۱	۵۶۸/۲	۳۸۶۱/۶	۳۲۹۳/۴±۱۳۵/۹۸
مساحت سیرک	۶۵	۸۶/۰۹	۱۵۹۰۴۵	۱۸۴۷۵۱	۲۳۱۳۰	۱۱۰۱۲۹۵	۱۰۷۸۱۶۵±۳۱۳۷۴/۸۸
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۶۵	۵/۶۶	۱۶۸/۱	۲۹۶۷/۵	۲۶۳۷	۳۴۳۰	۷۹۳±۴۰/۸۹
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۶۵	۳۵/۸۷	۰/۰۶۲۶	۰/۱۷۵	۰/۰۶۶	۰/۳۵۲	۰/۲۸۷±۰/۰۱۵۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

تحلیل ژئومتری و ایزومتری سیرک‌های محدوده مورد مطالعه

ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 کمتر از ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 است. میانگین دامنه تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 ۰/۱۹۳ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 ۰/۱۹۷ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N4 و N5 کمی بیشتر است.

در نتیجه فرسایش یخچالی و آبی دیواره سیرک‌های رده N4 و N5 بیشتر در حال تخریب شدن هستند. تخریب دیواره سیرک‌ها این رده باعث افزایش اندازه و همچنین افزایش ضریب تغییرات ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌ها شده است. این سیرک‌ها در حال تکامل و تبدیل شدن به سیرک‌های رده N2 و N3 در طی زمان هستند. ضریب همبستگی برای

محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۹۳ و این مقدار برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۶ است. بین اجزای مختلف سیرک‌های هر دو رده شامل طول و عرض و دیواره‌های سیرک همبستگی بالایی وجود دارد. فرسایش یخچالی و آبی باعث رشد متناسب اجزای سیرک‌های این محدوده شده است. میانگین اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 ۱۱۷۶/۷ متر و میانگین اندازه سیرک‌های شبه سیرک ۸۶۸/۷ متر است. از نظر بزرگی و اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 بزرگتر از سیرک‌های رده دیگر یا شبه سیرک هستند. این ارقام نشان می‌دهد که سیرک‌های این رده تکامل بیشتری از رده شبه سیرک دارند.

ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۹۱ است. در نتیجه $B < 1$ و رفتار آلومتری برای سیرک‌های این رده منفی است. ضریب

می‌دهد در ارتفاعات زاگرس، زردکوه و گرین یخچال‌زایی و عمل فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ خوب عمل کرده و سیرک‌هایی که در این ارتفاعات وجود دارند متکامل‌تر و توسعه یافته‌تر از سیرک‌های ارتفاعات جبال‌بارز هستند. در ارتفاعات جوبار میانگین ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده $N2$ و $N3$ برابر با $0/۸۶۱$ و $B < 1$ است که رفتار آلومتری سیرک‌های این رده منفی است. در نتیجه سیرک‌های رده $N2$ و $N3$ این ناهمواری‌ها شبیه به سیرک‌های ارتفاعات جبال‌بارز هستند. در ارتفاعات جبال‌بارز شکل‌گیری و توزیع فضایی سیرک‌ها تا حدود زیاد به‌نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس آنها بستگی داشته‌است. سیرک‌های این ناحیه اصولاً سیرک یخچالی‌تیپیک نبوده و یخچال‌زایی یا فرسایش یخچالی نقش زیادی در شکل‌گیری آنها نداشته‌است ولی عملکرد یخچال‌ها در دوره‌های مختلف باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این محدوده شده‌است.

b برای محور طولی سیرک‌های رده $N4$ و $N5$ برابر با $0/۸۶۹$ و $B < 1$ است. برای سیرک‌های این رده نیز رفتار آلومتری منفی است. بررسی رفتار آلومتری سیرک‌های رده‌های مختلف در این محدوده بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتری (یا الگوی رشد) سیرک‌های این ناحیه با دیگر نواحی یخچالی دنیا است و این با رفتار آلومتری سیرک‌های کوهستان‌های برفگیر مثل آلپ و تیانشان تطابق ندارد. ضریب a برای محور عرضی سیرک‌های این ارتفاعات از ضریب b بیشتر است. نتیجه می‌گیریم که رفتار ایزومتری هم برای سیرک‌های رده $N2$ و $N3$ و هم برای سیرک‌های رده $N4$ و $N5$ برقرار است.

در ارتباط با مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی در داخل ایران مطالعاتی توسط ابراهیمی و سیف (۲۰۱۷) در ارتفاعات زاگرس، سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) در ارتفاعات زردکوه، سیف (۱۳۹۴) در ارتفاعات گرین و بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) در ارتفاعات جوبار انجام گرفت. مقایسه نتایج این تحقیقات نشان

جدول ۶: تعیین ضریب a و b و ضریب همبستگی (معادله توانی برازش شده) برای محور طولی و عرضی سیرک‌های ارتفاعات جبال‌بارز

ضریب	رده‌بندی سیرک	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	ضریب همبستگی	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
ضریب b	$N4, N5$	۶۵	۹/۰۲	۰/۹۶	۰/۰۷۸	۰/۸۷	۰/۸۰۳	۱	$0/۱۹۷ \pm 0/۱۹۰$
	$N2, N3$	۲۰	۷/۶۸	۰/۹۳	۰/۰۶۹	۰/۸۹۱	۰/۸۰۸	۱	$0/۱۹۳ \pm 0/۰۳۰۳$
ضریب a	$N4, N5$	۶۵	۷/۱۷	۰/۹۶	۰/۰۸۱	۱/۱۲۵	۱	۱/۲۱	$0/۲۱ \pm 0/۰۲۰$
	$N2, N3$	۲۰	۳/۱۸	۰/۹۳	۰/۰۳۳	۱/۰۵	۱	۱/۰۸	$0/۰۸۵ \pm 0/۰۱۴$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجه

نقشه به صورت خطی و پلیگونی ترسیم گردید. بر اساس روش ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۶ سیرک معادل با $۷/۰۶$ درصد از کل سیرک‌ها در رده $N2$ ، تعداد ۱۴ سیرک معادل با $۱۶/۴۷$ درصد از کل سیرک‌ها در رده $N3$ ، تعداد ۴۵ سیرک معادل با $۵۲/۹۴$ درصد از کل سیرک‌ها در رده $N4$ و تعداد ۲۰ سیرک معادل

برای تشخیص، طبقه‌بندی و مورفومتری دقیق سیرک‌های یخچالی، منطقه مورد مطالعه به ۱۶ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده‌است. بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی در ارتفاعات جبال‌بارز شناسایی و در روی

۳۵/۹۶ متر و میانگین محور عرضی سیرک‌ها برابر با ۴۳۵/۳ متر با ضریب تغییرات ۴۰/۷۳ متر است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها ۱/۲۲۲ متر است. با توجه به میانگین محور طولی، سیرک‌های هر دو رده در جهت طولی گسترش دارند. ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های رده N2 و N3 و سیرک‌های رده N4 و N5، بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی این سیرک‌ها است. برف‌گیر بودن سیرک‌های این رده، انباشته شدن یخ و برف در آنها و حرکت نکردن توده یخ و برف به علت حجم کم و همچنین فرسایش یخچالی و آبی ناشی از پدیده ذوب و انجماد باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالا بردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این منطقه شده است. میانگین اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۱۷۶/۷ متر و میانگین اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۸۶۸/۷ متر است. همچنین مساحت و محیط سیرک‌های رده N2 و N3 بیشتر از سیرک‌های رده N4 و N5 است. این موضوع نشان می‌دهد که سیرک‌های این رده از سیرک‌های رده N4 و N5 متکامل‌تر هستند و بیشتر به سمت توسعه و تکامل حرکت می‌کنند. به طور کلی سیرک‌های هر دو رده برای تکامل خود به زمان زیادی نیاز دارند و باید تحت تأثیر دوره‌های یخچالی متعددی قرار گیرند. میانگین دامنه تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۱۹۳ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۱۹۷ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N4 و N5 کمی بیشتر است. در نتیجه فرسایش یخچالی و آبی دیواره‌ی سیرک‌های رده N4 و N5 بیشتر در حال تخریب شدن هستند. تخریب دیواره سیرک‌ها این رده باعث افزایش اندازه و همچنین افزایش ضریب تغییرات ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌ها شده است. این سیرک‌ها در حال تکامل و تبدیل شدن به

۲۳/۵۳ درصد از کل سیرک‌ها در رده N5 قرار دارند. طبق رده‌بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۶ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ۱۴ سیرک در رده قطعی، تعداد ۴۵ سیرک در رده ضعیف و تعداد ۲۰ سیرک رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. در مرحله تشکیل ناهمواری‌ها با توجه به نوع چین خوردگی ارتفاعات این سیرک‌ها به وجود آمده‌اند و بعداً فرسایش یخچالی تغییراتی در شکل و اندازه آنها به وجود آورده است. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه کرمان، ناهمواری‌های جبال بارز در اثر فعالیت ماگمایی به صورت درونی و بیرونی نمود یافته‌اند. این کمپلکس گرانیتوئیدی در محل همبری سنگ‌های آتشفشانی باسنگ‌های کمپلکس گرانیتوئیدی، گاه هاله دگرگونی دیده می‌شود و همچنین این کمپلکس دارای نفوذی‌های تأخیری پی در پی هستند که این توده‌ها ترکیب یکنواخت‌تری دارند. این موضوع روی توزیع فضایی، شکل، اندازه و نحوه تکامل سیرک‌ها تأثیر زیادی داشته است و مانع از تکامل و توسعه سیرک‌های محدوده مورد مطالعه شده است. با توجه به این موضوع تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های هر دو رده نسبت به تغییرات عمق آنها بیشتر است. به علت مقاوم بودن جنس ناهمواری‌ها در مقابل فرسایش آبی و یخچالی عمق سیرک‌ها و تغییرات مربوط به آن در این ارتفاعات کم است.

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۸۰۲/۵ متر با ضریب تغییرات ۱۷/۶۷ متر و میانگین محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ۶۸۹/۲ متر با ضریب تغییرات ۲۰/۶۰ متر است. میانگین نسبت طول به عرض این سیرک‌ها برابر با ۱/۱۷۴ متر با ضریب تغییرات ۷/۹۱ متر است. میانگین محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۵۲۴/۵ متر با ضریب تغییرات

منابع

- احمدآبادی، علی؛ امیرکرم واردوهی سرکیسیان (۱۳۹۷).
شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تأکید بر
ویژگی‌های ژئومورفومتری، هیدروژئومورفولوژی. شماره ۱۵.
صفحات ۱۶-۱.

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_7913.html

- المدرسی، سیدعلی؛ محمدحسین رامشت؛ کالین تورن؛
لیلا گرجی؛ زهرا ایزدی (۱۳۹۰). رفتار ارگودیک چشم
اندازهای ژئومورفیک، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای
جغرافیایی اهر. سال یازدهم. شماره ۳. صفحات ۲۵۸-۲۳۲.

<https://www.magiran.com/paper/882160>

- بهشتی جاوید، ابراهیم؛ فریبا اسفندیاری (۱۳۹۶).
استخراج و شناسایی لندفرم‌های یخچالی با استفاده از
روش شیء‌گرا (مطالعه موردی: سیرک‌های یخچالی
سیلان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال هشتم.
شماره ۴. صفحات ۱۰۲-۸۸.

<http://ensani.ir/fa/article/389645>

- بیرانوند، حجت‌اله؛ عبدالله سیف (۱۳۹۹). شناسایی، طبقه
بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار
کرمان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال هشتم.
شماره ۴. صفحات ۸۰-۶۳.

<http://ensani.ir/fa/article/425083>

- رسولی، جمال؛ منصور قربانی (۱۳۹۰). ژئوشیمی و کانی‌شناسی
توده نفوذی تأخیری کرور (شرق جبال بارز)، سازمان زمین
شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات
سی‌امین گردهمایی علوم زمین، یکم تاسوم اسفندماه.
صفحات ۷-۱.

<https://civilica.com/doc/182542>

سیرک‌های رده N2 و N3 در طی زمان هستند. ضریب
همبستگی برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3
برابر با ۰/۸۴ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با
۰/۹۳ است. ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده
N2 و N3 برابر با ۰/۸۹۱ است. در نتیجه $B < 1$ و رفتار
آلومتري برای سیرک‌های این رده منفی است. ضریب
b برای محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با
۰/۸۶۹ و $B < 1$ است. برای سیرک‌های این رده نیز
رفتار آلومتري منفی است. بررسی رفتار آلومتريک
سیرک‌های رده‌های مختلف در این محدوده بیانگر
عدم تطابق رفتار آلومتريک (یا الگوی رشد) سیرک‌های
این ناحیه با دیگر نواحی یخچالی دنیا است و این با
رفتار آلومتري سیرک‌های کوهستان‌های برفگیر مثل
آلپ و تیانشان تطابق ندارد. ضریب a برای محور
عرضی سیرک‌های این ارتفاعات از ضریب b بیشتر
است. نتیجه می‌گیریم که رفتار ایزومتري هم برای
سیرک‌های رده N2 و N3 و هم برای سیرک‌های رده
N4 و N5 برقرار است. با توجه به مطالعات مشابه در
ارتفاعات جوپار میانگین ضریب b برای محور طولی
سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۶۱ و $B < 1$ است.
در نتیجه سیرک‌های رده N2 و N3 این ناهمواری‌ها
شبیه به سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز هستند. در
ارتفاعات جبال بارز شکل‌گیری و توزیع سیرک‌ها تا
حدود زیاد به نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس
آنها بستگی داشته است. سیرک‌های این ناحیه اصولاً
سیرک یخچالی تپیک نبوده و یخچال‌زایی یا
فرسایش یخچالی نقش زیادی در شکل‌گیری آنها
نداشته است ولی عملکرد یخچال‌ها در دوره‌های
مختلف باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این
محدوده شده است.

- Barr, I. D., and Spagnolo, M., (2013). Palaeoglacial and palaeoclimatic conditions in the NW Pacific, as revealed by a morphometric analysis of cirques upon the Kamchatka Peninsula. *Geomorphology*. 192. PP. 15–29.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13001529>
- Bull, W., (1975). Allometric change of landforms. *Geological Society Of America*. 2. V.86. NO,11.
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/86/11/1489/201696/Allometric-change-of-landforms?redirectedFrom=PDF>
- 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X14005236>
- Dimitrijevic, M. D., (1973). Geology of Kerman region. Report YU/52. Iran. Geological Survey of Iran. P. 334.
[https://www.scirp.org/\(S\(oyulxb452alnt1aej1nfow45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1523778](https://www.scirp.org/(S(oyulxb452alnt1aej1nfow45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1523778)
- Ebrahimi, B., and Seif, A., (2017). Morphometric Properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain. *Iran. Geopersia* 7 (1). PP. 131-151.
https://geopersia.ut.ac.ir/article_59236.html
- Evans I., S., and Cox, N., J., (2015). Size and shape of glacial cirques: comparative data in specific geomorphometry, *Geomorphometry.org*.
http://www.geomorphometry.org/system/files/Evan_sCox2015geomorphometry.pdf
- Evans, I. S. & Cox, N.J., (1974). Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area* 6. 150e153.
<https://www.jstor.org/stable/20000855?seq=1>
- 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. PP. 145 -174 .
https://www.researchgate.net/publication/30050338_Glacial_erosional_processes_and_forms_mountain_glaciation_and_glacier_geography
- سیف، عبدالله (۱۳۹۴). رده‌بندی سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس، دومین همایش ملی انجمن کواترنری ایران. دانشگاه اصفهان.
<https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=25865>
- صادقی، حمیدرضا؛ فرهاد نورمحمدی؛ مجید صوفی؛ بنفشه یثربی (۱۳۸۸). مدل‌های آلومتری آبکندها در منطقه دره شهر استان ایلام، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). شماره ۸۵. صفحات ۴۴-۳۸.
<https://www.magiran.com/paper/889937>
- قربانی، منصور (۱۳۹۳). زمین‌شناسی ایران. آراین زمین. صفحات ۴۸۸.
<http://94.182.185.68/modules.php?name=News&op=nasher&bmax=0&ncode=51960&boname=&page=2>
- مختاری، داود؛ فریبا کرمی؛ مریم بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۶). اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آن‌ها، فصلنامه مدرس علوم انسانی. ویژه‌نامه جغرافیا. بهار. صفحات ۲۹۲-۲۵۷.
<https://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-4111-fa.pdf>
- یاراحمدی، علی محمد (۱۳۹۱). تحلیل عوامل مؤثر بر شکل‌گیری مورفولوژی یخچالی کواترنر در اشترانکوه، استاد راهنما: دکتر ابراهیم مقیمی. رساله دکتری. رشته جغرافیای طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات.
- یمانی، مجتبی؛ ابراهیم مقیمی؛ قاسم عزیزی؛ کاوه باخوشی (۱۳۹۲). تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندهای غرب استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. سال ۴۵. شماره ۴. صفحات ۱۴-۱.
- https://jphgr.ut.ac.ir/article_50068.html

- 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, PP. 236 e249.
https://www.researchgate.net/publication/269578330_Combined_use_of_GIS_and_experimental_functions_for_the_morphometric_study_of_glacial_cirques_Zardkuh_Mountain_Iran
- Stocklin, J., (1968). Structural history and tectonics of Iran, A review . AAPG Bulletin 52.7. PP.1229-1258.
https://books.google.com/books/about/Structural_History_and_Tectonics_of_Iran.html?id=PxkFGwAA_CAAJ
- VivasT,P, (ed). (1996). Monitoring Mediterranean Wetlands: A Methodological Guide. Med Wet Publication. Wetlands International. Slimbridge. Uk and Icn. Lisbon. PP. 150.
<https://www.amazon.co.uk/Monitoring-Mediterranean-Wetlands-Methodological-Guide/dp/1900442043>
- Turner, A., (2006). Geomorphometrics: ideas for generation and use. CCG Working paper. version 0.3.1 [online] centre for computational geography. university of leeds. UK; accessed 7 May 2007.
<https://environment.leeds.ac.uk/geography-research/dir-record/research-projects/513/centre-for-computational-geography>
- Vilborg, L., (1984). The cirque forms of Central Sweden. Geografiska Annaler. 66 A (1-2): PP.41-77.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1984.11880099>
- Vilborg, L., (1977). The Cirque Forms of Swedish Lapland. Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography. Vol. 59. NO. 3/4. PP. 89-150.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1977.11879948>
- 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.
https://www.researchgate.net/publication/222409770_Allometric_development_of_glacial_cirque_form_Geological_relief_and_regional_effects_on_the_cirques_of_Wales
- Evans, I. S., (2009). Allometric development of glacial cirques: an application of specific geomorphometry. proceeding of Geomorphology. Zurich. Switzerland. 31 August – 2 September.
https://www.researchgate.net/publication/238659643_Allometric_Development_of_Glacial_Cirques_A_N_Application_of_Specific_Geomorphometry
- Evans, I. S., (2011). Geomorphometry and landform mapping: what is a landform?. Geomorphology. (03), PP. 541.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11001462>
- García-Ruiz, J. M., Gómez-Villar, A., Ortigosa, L., Martí-Bono, C., (2000). Morphometry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees. Geografiska Annaler. 82A. 433-442.
https://www.researchgate.net/publication/229521561_Morphometry_of_Glacial_Cirques_in_the_Central_spanish_Pyrenees
- Goli Mokhtari, L., Ramesht, M. H., (2013). Almodaresi, A. Analyzing of Surface Relations in an Experimental Drainage Basin, Journal of Basic and Applied. Scientific Research. 3(4). PP. 120-124, Text Road Publication.
<http://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20>
- Graf, W. L., (1976). Cirques as glacier location. Arctic and Alpine Research 8. PP. 79 e 90.
<https://www.jstor.org/stable/1550611?seq=1>
- Křížek, M., and Mida, P., (2013). The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). Geomorphology. 198.PP.57-68.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13002870>