

## شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل شاخص‌های مورفومتری سیرک‌های یخچالی حوضه سیلوه

افسانه بارانی پور- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.  
عبدالله سیف\* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲      تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵

### چکیده

بررسی آلومتریک و مورفومتریک سیرک‌های یخچالی کمک زیادی به شناسایی ماهیت و چگونگی فرآیندهای اثرگذار در طی دوره‌های مختلف بر روی این لندفرم‌ها می‌کند. اندازه‌گیری ابعاد و شکل هندسی این لندفرم‌ها می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد شرایط محیطی و اقلیمی در اختیار ما قرار دهد. هدف از این پژوهش شناسایی، رده‌بندی و همچنین تحلیل شاخص‌های مورفومتری، آلومتری و ایزومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات حوضه سیلوه در خط مرزی کشورهای ایران و عراق در استان آذربایجان غربی است. بر این کار از مدل رقومی ارتفاعی و انطباق آن با نقشه شیب طبقه‌بندی شده در محیط نرم افزاری استفاده شده است. برای شناسایی و رده‌بندی سیرک‌های یخچالی منطقه از روش‌های رودبرگ - ویلبورگ و ایوانس و کوکس استفاده شده است. برای مورفومتری و آلومتری سیرک‌های این محدوده از شاخص‌هایی مانند: طول سیرک، عرض سیرک، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع نقطه خروجی سیرک، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع، نسبت عرض به ارتفاع کف سیرک و اندازه سیرک‌ها استفاده شده است. بر اساس نتایج تحقیق ۳۳ سیرک یخچالی در ارتفاعات حوضه سیلوه شناسایی گردید که ۲ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، ۱۱ سیرک در رده قطعی، ۲۰ سیرک در رده ضعیف و مرزی قرار می‌گیرند. بررسی آلومتریک سیرک‌های حوضه نشان می‌دهد که ضریب  $b$  برای محور طولی سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی، برابر با  $0.88+$  و برای سیرک‌ها رده ضعیف و مرزی برابر با  $0.90+$  است که  $B < 1$  است. در نتیجه رفتار آلومتریک سیرک‌های این منطقه منفی است. عملکرد یخچالهای کواترنری در این ارتفاعات به گونه‌ای بوده است که سبب توسعه و تکامل چشمگیر در سیرک‌های یخچالی نشده است.

واژگان کلیدی: سیرک‌های یخچالی، مورفومتری، آلومتری، حوضه سیلوه.

## مقدمه

یخچال‌ها به عنوان یک پدیده ژئومورفولوژی در مناطق مختلف با طول و عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات متفاوت پراکنده شده‌اند. یخچال‌ها به عنوان منابع مهمی در جهت کسب اطلاعات زیست محیطی، منابع آبی، کشاورزی و همچنین روند تغییرات اقلیمی در گذشته، حال و آینده در اختیار محققین قرار می‌دهد. یکی از لندفرم‌های یخچالی که می‌توان اطلاعات زیادی در مورد شرایط محیطی و اقلیمی از آن‌ها استخراج کرد سیرک‌های یخچالی هستند. سیرک‌ها مدت‌هاست که به عنوان نشانگر مستقیم میزان و ماهیت یخبندان‌های قدیمی استفاده می‌شود، از این رو به عنوان شاخصی از وضعیت آب و هوای گذشته محسوب می‌شود (ایوانس، ۱۹۹۷: ۱۴۸؛ ایوانس و کوکس، ۱۹۹۵: ۱۹۲؛ اسپاگنولو و فدریسی، ۲۰۰۴: ۲۴۳، ایوانس، ۲۰۰۶: ۲۵۲؛ هاگز و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۴۵). از آنجایی که توزیع سیرک‌ها، مورفومتری و جهت گیری آنها تحت تأثیر شدت، مدت و میزان یخبندان است، به وسیله آب و هوا و توپوگرافی کنترل می‌شوند. طبقه بندی و رده بندی گروه‌های مختلف سیرک‌های یخچالی میسر بوده و علاوه بر تعیین فرآیندهای موثر در شکل گیری لندفرم، امکان بررسی توسعه عمودی و منطقه‌ای، درجه تکامل جهت توسعه، ارتباط میان جهت گیری لندفرم‌ها با برجستگی توپوگرافیک، وضعیت ساختاری سنگ بستر و عوامل اقلیمی (مانند تابش) را فراهم می‌سازد (Evans, 2006:10). در مطالعه سیرک‌های یخچالی بررسی آلومتریک و مورفومتری سیرک‌ها کمک زیادی به شناسایی ماهیت و چگونگی فرآیندهای اثر گذار در طی دوره‌های مختلف بر روی فرم‌ها یخچالی می‌کند. ژئومورفومتری، روش آنالیز و تحلیل ویژگی‌های سطحی یک یا چند فرآیند خاص است که طبق شاخص‌هایی، بخش‌هایی از سطح زمین را تشخیص داده و تحلیل و توصیف می‌کند (Evans & Cox, 1974: 151). پایه اصلی ژئومورفومتری بر وجود ارتباط بین ناهمواری و پارامترهای عددی مذکور می‌باشد که در فرآیند تکامل و شکل گیری لندفرم‌ها نقش دارند. از اهداف ژئومورفولوژیست‌ها در کار با مدل‌های لندفرم‌های مختلف به دست آوردن روابط بهتر درک واقعیت‌های فیزیکی محیط می‌باشد (ایتزل مکوالر و سولیک، ۲۰۰۰: ۳۹؛ آدیدرین و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۶۱). تحلیل آلومتریک به 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 تأثیرگذار بر یکدیگر در یک سیستم آلومتری نامیده می‌شود (Bull, 1975:213). به طور کلی تحلیل آلومتریک، رشد نسبی دو متغیر تأثیرگذار بر یکدیگر است که معمولاً به صورت تابع توانی بیان می‌شود (المدرسی، ۱۳۹۰: ۲۵۱). آلومتری ابتدا توسط اولیفانت و سپس ایوانس در بررسی خصوصیات مورفومتری 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 یخچالی نقش فرسایش یخچالی را در توسعه سیرک نشان می‌دهد. به عبارت دیگر آنالیز آلومتری تأیید کرده است که سرعت توسعه طولی بیشتر سیرک 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 متفاوتی از سیرک‌های یخچالی کوچک دارند و اینکه ابعاد عمودی‌شان به آهستگی نسبت به ابعاد افقی رشد کرده‌اند (Goli Mokhtari et al, 2013:120). بر این اساس و با توجه به اهمیت موضوع مطالعاتی در زمینه مورفومتری سیرک‌های یخچالی در دنیا و ایران انجام گرفته است.

یکی از پیشگامان مطالعه یخچال‌ها بر اساس روش مورفومتری لندفرم‌های یخچالی ویلیورگ می‌باشد که در سال ۱۹۷۷ و ۱۹۸۴ به بررسی فرم سیرک‌های سوئد پرداخته است. ایوانس در سال‌های (۲۰۰۶، ۱۹۹۷) به بررسی فرآیندها و فرم‌های فرسایشی یخچالی نواحی کوهستانی پرداخته و خصوصیات آلومتریک و مورفومتری این فرم‌ها را با عوامل محیطی چون زمین شناسی، برجستگی توپوگرافیک در ناحیه ولز انگلستان پرداخته است. همچنین ایوانس و کوکس در سال

۱۹۹۵ فرم سیرک‌های ناحیه Lake District انگلستان را بررسی و رده بندی در خصوص انواع سیرک‌ها ارائه کرده‌اند. همچنین با بررسی فرسایش یخچالی نواحی کوهستانی و خصوصیات آلومتریکی و مورفومتریکی این یخچال‌ها آنها را مرتبط با عوامل محیطی مانند توپوگرافی و زمین شناسی، منطقه می‌دانند. اوردتا (۲۰۰۱) در پژوهشی به بررسی ناهمواری‌های یخچالی و توسعه یخچال‌ها در پلیستوسن پرداخته در این پژوهش به بررسی سیرک‌ها و دره‌های یخچالی برای هر یک از واحدهای کوهستانی رومانی و کوه‌های ریتزات پرداخته است. استفانوا و منتلیک (۲۰۰۷) به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مورفومتریکی ۷ نمونه از سیرک‌های یخچالی در جنگل بوهامیان پرداختند. در این بررسی خصوصیات مورفومتریکی مانند کف سیرک، راس دیواره، عقب نشینی سطح و غیره برای هر یک از اجزای سیستم مورد مقایسه قرار گرفت. بایراکدار و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با استفاده از روش‌های سنجش از دور به شناسایی و یافتن یخچال‌های طبیعی و خصوصیات مورفولوژیکی و ابعاد سیرک‌های یخچالی در کوه‌های منذر در شرق ترکیه پرداخته‌اند. سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) برای اولین بار در ایران بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید به شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتریکی و آلومتریکی سیرک‌های یخچالی زردکوه بختیاری پرداخته‌اند. دیلماس و گانل (۲۰۱۵) به ارزیابی رشد آلومتری در سیرک‌های آلپ بر اساس آمارهای چند متغیره و تجزیه و تحلیل مکانی به مطالعه ۱۰۷۱ سیرک در ارتفاعات پیرنه فرانسه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شکل سیرک‌های این ناحیه با لیتولوژی سنگ‌ها و تغییرات اقلیمی مطابق است. قهرودی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از نقشه توپوگرافی، داده‌های رقومی، شواهد میدانی و نمونه‌های رسوبی به بررسی لندفرم‌های یخچالی در کوهستان‌های نواحی مرزی ایران و عراق (کوه‌های قندیل) پرداختند و آثار یخچالی از جمله دره‌های یخچالی و تراس‌های آبرفتی متعددی را در این منطقه شناسایی کردند. ساریکایا و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه گسترده ۱۴ واحد کوهستانی در مدیترانه شرقی به بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و زمان بندی دقیق یخچال‌ها، پیشروی و پسروی آنها در این منطقه پرداختند. ابراهیمی و سیف (۲۰۱۷) به بررسی شاخص‌های مورفومتری ۱۸۷ سیرک یخچالی در محدوده زاگرس پرداخته‌اند. در این پژوهش همه سیرک‌های یخچالی بر اساس نتایج حاصل از مدل توان تابع و مقایسه پروفایل‌های طولی سیرک و بر اساس روش‌های ویلبورگ و ایوانس طبقه بندی شدند. سیف (۱۳۹۴) به مطالعه یخچال‌های پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس پرداخته و پس از شناسایی سیرک‌ها ورده بندی آنها براساس روش ویلبورگ و ایوانس با استفاده از بررسی‌های آلومتریکی درجه تکامل هرکدام از سیرک‌ها را مشخص کرده است. بیرانوند و سیف (۱۳۹۸) در پژوهشی با استفاده از روش‌های ژئوماتیک به شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات پلوار در استان کرمان با استفاده از مدل سازی و روابط ریاضی پرداختند و به این نتیجه رسیدند میانگین ضریب  $b$  برای سیرک‌های رده کلاسیک، خوب و توسعه یافته و قطعی برابر با  $1/0.17$  است که در سیرک‌های این رده  $B > 1$  است و تا حدودی وضعیت آلومتری برقرار است. میانگین ضریب  $b$  برای سیرک‌های رده ضعیف و مرزی برابر با  $0.932$  و  $B < 1$  است که بیانگر رفتار منفی آلومتری، فرسایش اندک یخچالی، عدم تکامل و توسعه سیرک‌های این رده در این ارتفاعات است. بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) با استفاده از روش‌های ژئوماتیک و جدید به شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات یخچالی جویبار در استان کرمان پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند در سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی ضریب طولی سیرک‌ها  $0.748$  یعنی  $B < 1$  است. ضریب طولی سیرک‌های رده ضعیف و مرزی برابر با  $1/0.06$  است و  $B > 1$  است. هدف از این پژوهش تحلیل دقیق پارامترهای مورفومتریکی و آلومتریکی سیرک‌های یخچالی دوره وورم در ارتفاعات حوضه سیلوه است. در این منطقه علاوه بر رده‌بندی و طبقه‌بندی سیرک‌ها، ارتباط بین عوامل مختلف زمین شناسی، توپوگرافیک و اقلیمی در توسعه آنها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

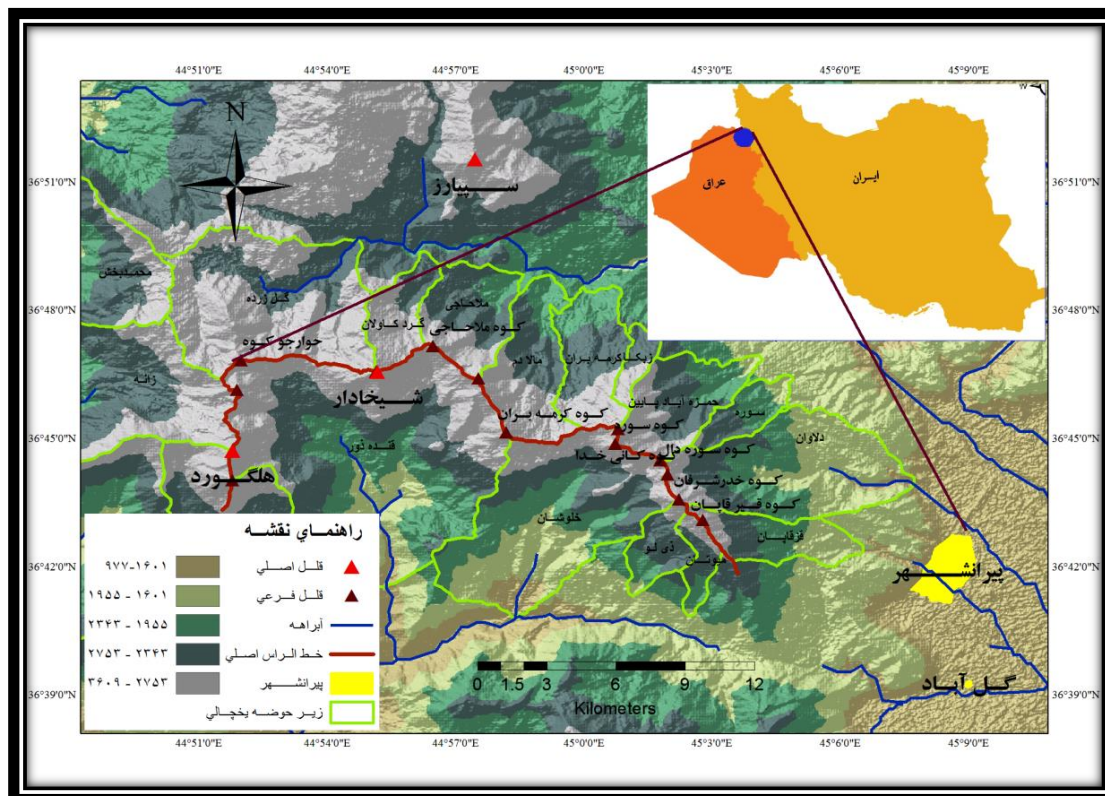
### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با مساحت ۱۹۱۶ کیلومتر مربع شامل ارتفاعات حوضه سیلوه در غرب شهرستان پیرانشهر در جنوب غربی آذربایجان غربی و مرز طبیعی و سیاسی بین ایران و عراق است. این منطقه بین ۳۶ درجه ۳۵ دقیقه تا ۳۶ درجه ۵۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار دارد. در ارتفاعات محدوده مورد مطالعه قله متعددی است وجود دارد که مهمترین و بلندترین آنها عبارتند از: کوه قیرقاپان با ارتفاع ۲۹۷۴ متر، کوه خدر شرفان ۳۰۶۷ متر، کوه سوره دال با ارتفاع ۲۹۹۲ متر، کوه کانی خدا با ارتفاع ۳۰۹۳ متر، کوه سوره با ارتفاع ۳۲۲۵ متر، کوه کرمه بران با ارتفاع ۳۲۸۵ متر، کوه ملاحاجی با ارتفاع ۳۱۶۷ متر و کوه حوارجو با ارتفاع ۳۲۲۳ متر است. (شکل ۱).

از نظر اقلیمی بیشترین مقدار بارندگی سالیانه در محدوده مورد مطالعه، ۸۳۹/۹ میلی متر است. که از لحاظ مکانی شامل محدوده کوچکی از استان‌های کرمانشاه (شمال غرب کرمانشاه)، کردستان (غرب سنندج) و آذربایجان غربی (قسمت جنوب غربی آذربایجان غربی) شامل شهرهای مریوان، بانه و سردشت می‌باشد از لحاظ پراکنش زمانی بیشترین بارش در فصل زمستان و کمترین بارش در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. سهم بارش زمستانه از کل بارش سالانه در این منطقه ۴۳ در صد و سهم بارش تابستانه ۵/۰ در صد می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه آثار و شواهد ژئومورفیک یخچالی در امتداد دره‌های اصلی کوه‌های قندیل شامل رسوبات یخچالی در ارتفاع ۲۲۰-۱۷۴۰ متر وجود دارد. همچنین خط برف دائمی در این منطقه ۳۱۶۲/۸ متر است (قهرودی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۶).

از نظر زمین شناسی و از دیدگاه تقسیمات ساختاری و رسوبی ایران، این منطقه جزء ناحیه تراسی زاگرس و در ناحیه دگرگونی سنندج- سیرجان واقع شده است. سنگ‌های کامبرین و پرمین قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند. همچنین سنگ‌های دگرگون آمفیبولیتی و شیستی با سن نامشخص در منطقه دارای برونزدهایی هستند. سنگ‌های افیولیتی کرتاسه در هم آمیخته بوده شامل؛ سنگ‌های الترامافیک، سرپانتیت، نیت، دیاباز، بازالت به همراه سنگ‌های رسوبی با خاستگاه عمقی و رسوب‌های تخریبی شامل ماسه سنگ و کنگلومرا هستند. این سنگ‌ها درجات مختلفی از دگرگونی را ثبت کرده‌اند. واحد کنگلومرای با ضخامت حدود چندین متر دارای میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و سنگ اهنک است. از نظر خاستگاه رسوبی سنگ‌های کنگلومرای دارای خاستگاه پلی ژنتیک هستند.

علایم و شواهد زمین شناسی نشان دهنده فعالیت‌های نو زمین ساختی، شامل کوتاه شدگی و طویل شدگی، ضخیم شدگی و نازک شدگی، کمانش یا قوس برداشتن پوسته، چین خوردگی‌ها، گسل خوردگی‌ها، فعالیت‌های گنبدی شدن و آتشفشان می‌شود که در طول دوران چهارم صورت گرفته‌اند. علایم و شواهد زمین شناسی حرکات جوان نسبت به علایم و شواهد دیگر، دوره‌های زمانی به نسبت طولانی تری را نشان می‌دهند؛ لیکن به استثنای گسل خوردگی جوان گسل‌های فعال، سایر علایم و شواهد زمین شناسی اغلب، صد در صد قاطع و مورد اطمینان نیستند. به همین علت، در اغلب مطالعات نو زمین ساختی، گسل‌های فعال و گسل خوردگی جوان بیشتر از سایر علایم و شواهد زمین شناسی مورد توجه قرار می‌گیرند؛ ضمن اینکه گسل‌های فعال جوان، معمولاً از نظر نرخ لغزش، میزان فعالیت و زلزله‌زایی، به گسل‌هایی با فعالیت کم، متوسط و زیاد و بر اساس چگونگی تظاهر در روی زمین نیز به انواع گسل‌های کور، پنهان و دارای رخنمون تقسیم می‌شوند. گسل پیرانشهر و محدوده مورد مطالعه که اندیس‌های مورفومتری در آن اندازه گیری شده‌اند، در تقسیم بندی‌های ساختمانی ایران، بخشی از زون زاگرس و زیر پهنه راندگی‌ها محسوب می‌شود (آقباتی، ۱۳۸۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

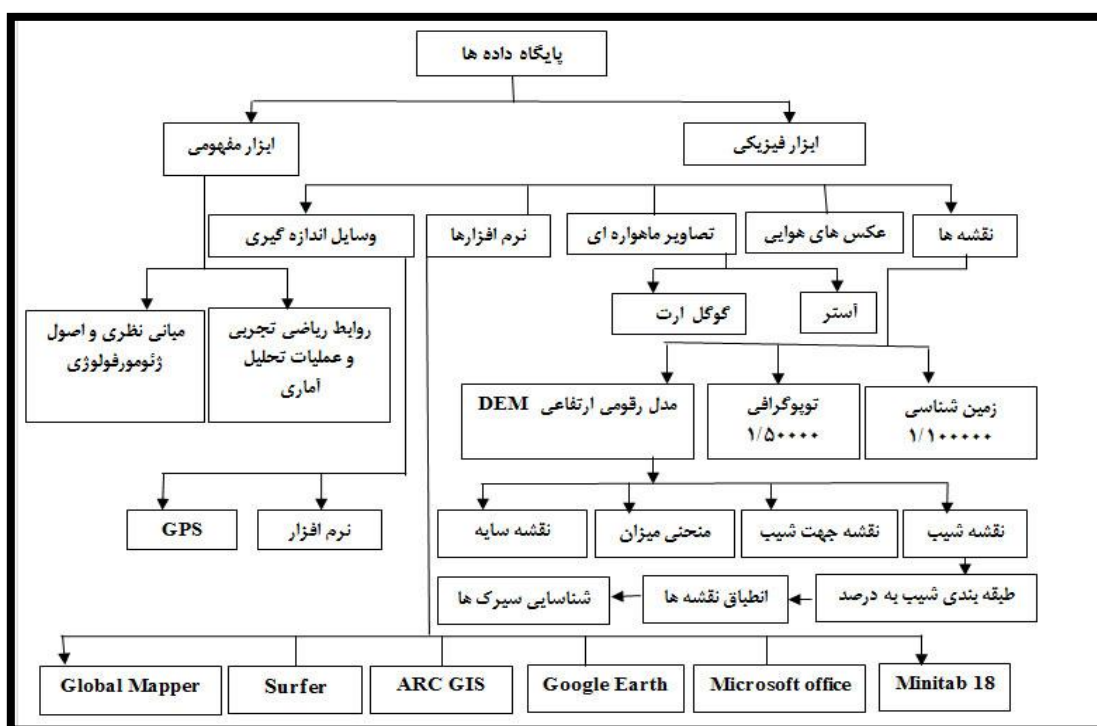
### مواد و روش تحقیق

در این پژوهش به شناسایی، طبقه بندی و تحلیل شاخص‌های مورفومتریک و آلمتریک سیرک‌های ارتفاعات حوضه سیلوه در شمال غرب ایران در مرز ایران و عراق پرداخته شده است. برای این کار از نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) ۱۰ متر (دریافتی از ماهواره آستر تهیه شده از سازمان نقشه برداری کشور)، شیت‌های نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ پیرانشهر و سردشت، نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نرده و سردشت و تصاویر ماهواره‌های گوگل ارث استفاده گردید است. مواد نقشه‌های ترکیبی و استخراج داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از نرم افزارهای ۱۸، Arc GIS 10.5، Global Mapper، Google earth، Surfer 11، Minitab 16، Excel استفاده شده است. پس از تعیین محدوده مورد مطالعه و برش آن با استفاده از نقشه DEM، لایه‌های مورد نیاز برای شناسایی و آنالیز پارامترهای مورفومتری و آلمتری سیرک‌های یخچالی تهیه و تولید گردید. این روش شامل نقشه شیب کلاس بندی شده منطقه در ۹ کلاس، نقشه سایه روشن، نقشه هیدرولوژی و رتبه بندی آبراهه‌ها با استفاده از روش استرالر و نقشه طبقات ارتفاعی هستند. با استفاده از نقشه هیدرولوژی حدود دقیق زیرحوضه‌های یخچالی در روی نقشه تعیین گردید. نقشه ترکیبی تولید شده با نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت منطبق شد. سپس خط الرأس‌های اصلی، فرعی و خط القعرهای حوضه به دقت ترسیم شدند. با توجه به نقشه شیب کلاس بندی شده مکان دقیق آثار سیرک‌های یخچالی بر روی نقشه ترکیبی تعیین گردید. برای اطمینان از دقت 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 پارامترهای مورفومتری و آلمتری سیرک‌های یخچالی از شاخص‌هایی مانند: طول سیرک (L)، عرض سیرک (W)، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک (H)، ارتفاع کف سیرک (CF)، ارتفاع نقطه خروجی سیرک، مساحت (A)، محیط (p) و اندازه سیرک استفاده شده است. 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 شد. طول سیرک بلندترین خطی است که سیرک را به دو بخش مساوی تقسیم می‌کند. بر اساس تعریف ایوانس طول عبارت است از فاصله افقی از بالا تا پایین سیرک در امتداد خط میانه که سیرک را به دو بخش مساوی (چپ و راست) تقسیم کرده و لذا بر اساس این تعریف طول ممکن است از عرض کوچکتر باشد (Evans, 2009; Seif and Ebrahimi, 2014). عرض سیرک عبارت از طولی‌ترین خط عمود بر محور طولی سیرک یا حداکثر فاصله لبه تا لبه سیرک در راستای عمود بر محور طولی سیرک. افت عمودی از بالا تا پایین‌ترین نقطه در امتداد محور میانه دامنه سیرک و اختلاف میان حداکثر ارتفاع در ستیغ و حداقل ارتفاع در پایین‌ترین نقطه سیرک محدوده ارتفاعی نامیده می‌شود. اندازه سیرک یکی از فاکتورهای مهم برای تفکیک سیرک از اشکال سیرک است. اندازه بر اساس مقادیر طول، عرض و دامنه ارتفاعی یک سیرک ارزیابی می‌شود (Graf, 1976; Seif and Ebrahimi, 2014). بر اساس تعریف ایوانس، اندازه عبارت است از ریشه سوم حاصل ضرب سه پارامتر طول، عرض و ارتفاع سیرک. نسبت طول به عرض دیگر پارامتر مهم در بررسی سیرک‌ها محسوب می‌گردد. سیرک‌هایی که مقدار  $L/W$  بالاست عموماً سیرک‌های طولی و باریک بوده در حالی که نسبت پایین این ضریب بیانگر سیرک‌های کوتاه و عریض است (Seif and Ebrahimi, 2014: 238). اولیفانت رابطه حجم (حاصل ضرب طول، عرض و ارتفاع) سیرک را به عنوان اندازه سیرک با سایر مولفه‌های سیرک مورد بررسی قرار داده است. او طول سیرک را از لبه خروجی سیرک تا میانه دیواره بالایی، عرض را متوسط چهار طول با فاصله برابر عمود بر محور طولی که اولین آنها از لبه سیرک آغاز می‌شود، در نظر گرفته است. بر اساس تعریف وی عمق، اختلاف عمودی میان لبه پایینی سیرک و متوسط ارتفاع لبه بالایی سیرک است. ایوانس مطابق تعاریفی که در بخش‌های قبلی برای طول، عرض و ارتفاع ارائه گردید پارامتر سائز را معرفی کرد و در بررسی آلومتریک سیرک‌ها مورد استفاده قرار داده است. همان‌طوری که قبلاً بیان شد بر اساس تعریف وی اندازه عبارت است از ریشه سوم حاصل ضرب سه پارامتر طول، عرض و ارتفاع سیرک. (Evans, 2009; Seif and Ebrahimi, 2014: 238). بر اساس این تعاریف محاسبات رده بندی

سیرک‌ها به روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس بر روی سیرک‌های زیر حوضه‌های یخچالی سیلوه انجام گردید. در روش ویلبورگ و رودبرگ، سیرک‌ها به پنج رده N-1، N-2، N-3، N-4، N-5 رده بندی می‌شوند. در این رده بندی گروه N-1 سیرک‌های 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 کند و 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 رده بندی ایوانس و کوکس سیرک‌ها به پنج گروه، کلاسیک، خوب و توسعه یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند (Seif & Ebrahimi, 2014: 238). بر اساس رده بندی ایوانس و کوکس سیرک‌ها به پنج گروه، کلاسیک، خوب و توسعه یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند (سیف، ۲۰۱۵). در نهایت به منظور ارزیابی‌های آلومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات حوضه سیلوه از مدل توانی برازش شده به فرم  $(y = ax^b)$  بر روی محور طولی سیرک‌ها (Graf, 1976:88) استفاده شده است.

نوع سیرک					پارامتر	
N5	N4	N3	N2	N1		
۱۷۵±۳۲۵	۳۵۰±۸۰۰	۳۲۷±۷۲۵	۵۵۰±۱۱۵۰	۵۰۰±۱۳۰۰	میانگین	طول
۵۰۰-۱۵۰	۱۱۵۰-۴۵۰	۱۱۰۰-۳۵۰	۱۷۰۰-۶۰۰	۱۸۰۰-۸۰۰	دامنه تغییرات	
۶۲۵±۱۳۲۵	۳۵۰±۱۰۵۰	۳۵۰±۸۵۰	۴۲۵±۱۰۷۵	۳۵۰±۱۳۵۰	میانگین	عرض
۱۸۵۰-۶۰۰	۱۴۰۰-۷۰۰	۱۲۰۰-۵۰۰	۱۵۰۰-۶۵۰	۱۷۰۰-۱۰۰۰	دامنه تغییرات	
۱۵۰±۲۵۰	۸۰±۱۶۰	۷۰±۱۷۰	۱۰۰±۲۸۰	۱۱۵±۳۳۵	میانگین	دامنه
۴۰۰-۱۰۰	۲۴۰-۸۰	۲۴۰-۱۰۰	۳۸۰-۱۸۰	۴۵۰-۲۲۰	دامنه تغییرات	

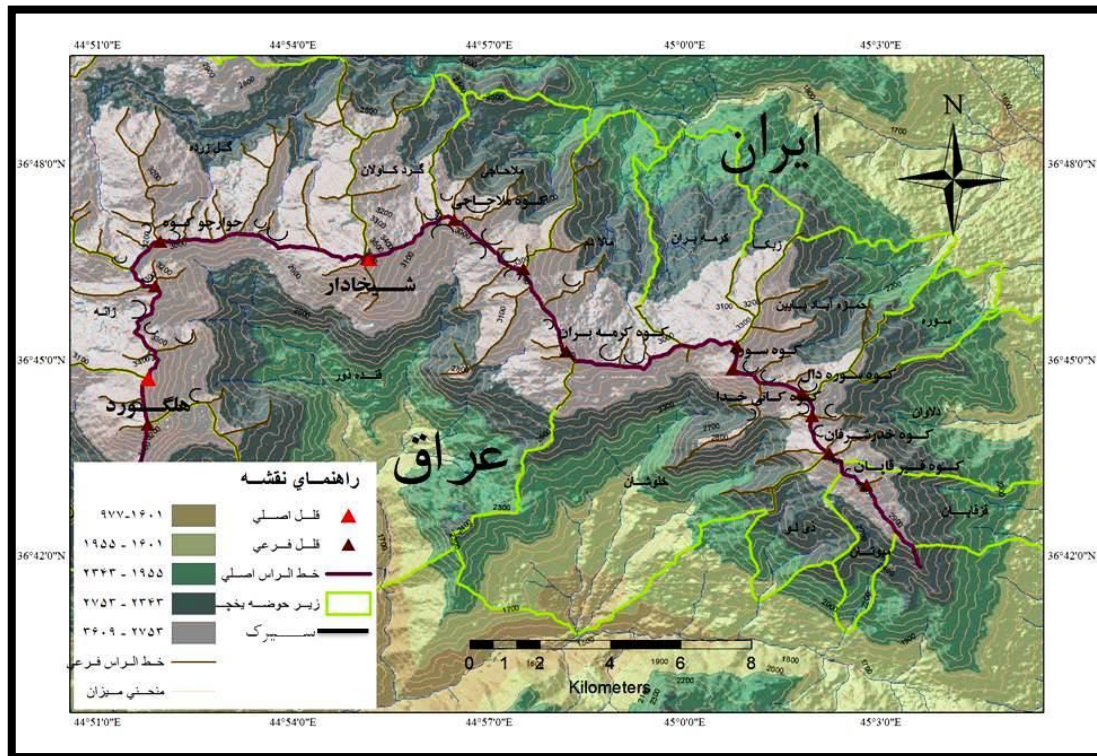


شکل ۲: نمودار تحلیلی تحقیق

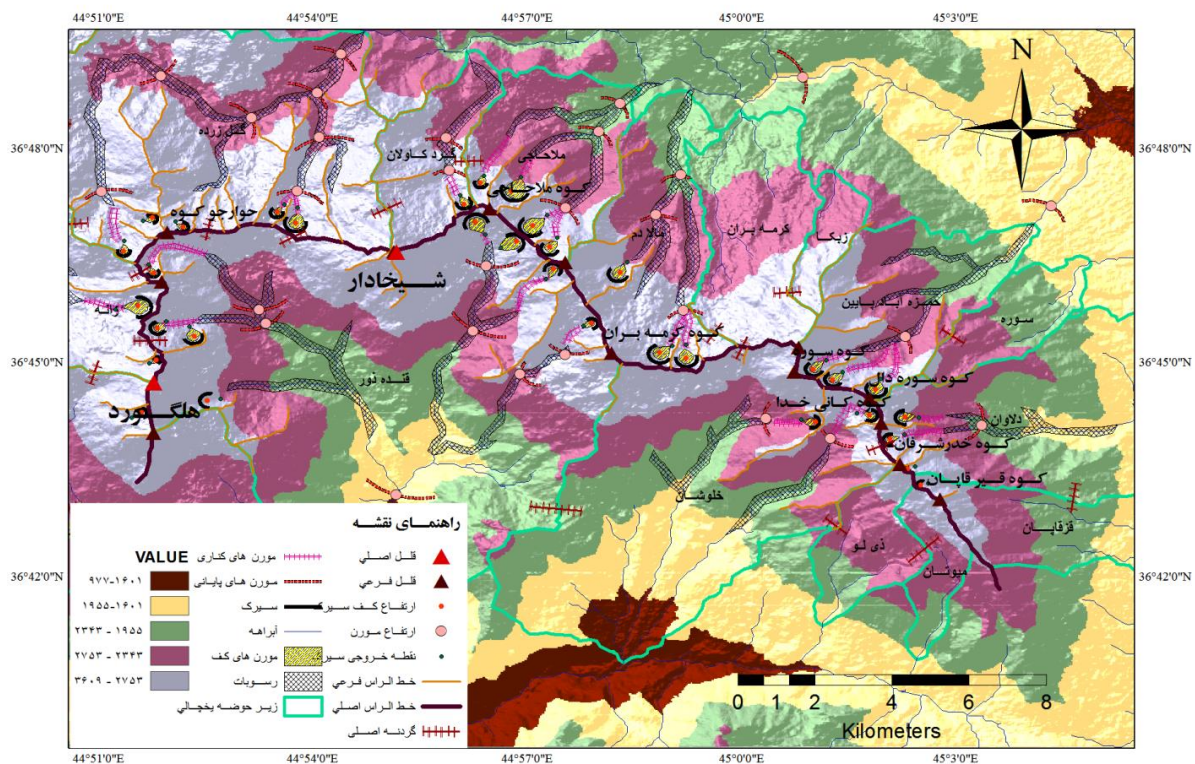
### تحلیل

#### توزیع فضایی و فراوانی سیرک‌های یخچالهای حوضه سیلوه

با توجه به نقشه‌های تولید شده منطقه مورد مطالعه به ۱۸ زیر حوضه یخچالی تقسیم بندی گردید. چون منطقه مورد مطالعه مرز بین ایران و عراق است و خط الراس اصلی دقیقاً مرز طبیعی این دو کشور است از این تعداد ۱۰ زیر حوضه در خاک ایران و ۸ زیر حوضه یخچالی در خاک عراق قرار دارد. (شکل ۳). در ارتفاعات بالای این زیر حوضه‌های یخچالی ۳۳ سیرک شناسایی و مرز آنها با فرمت خطی در روی نقشه ترسیم گردیده است (شکل ۴ و ۵).

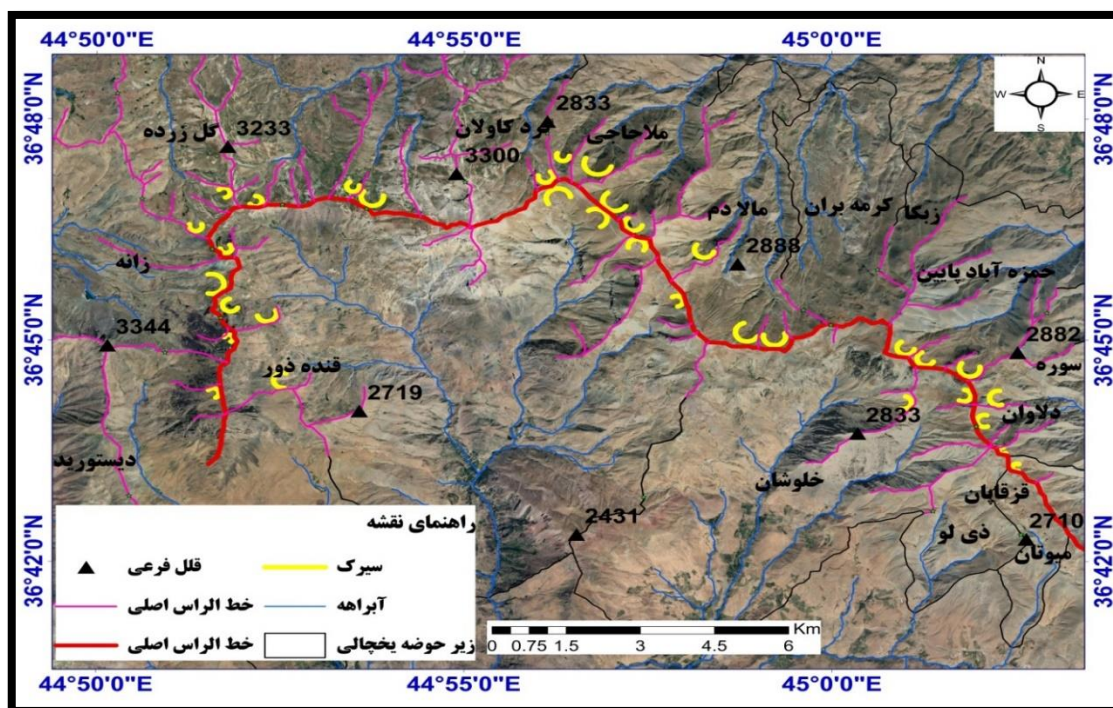


شکل ۳: نقشه زیر حوضه های یخچالی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه ژئومورفولوژی یخچالی منطقه مورد مطالعه



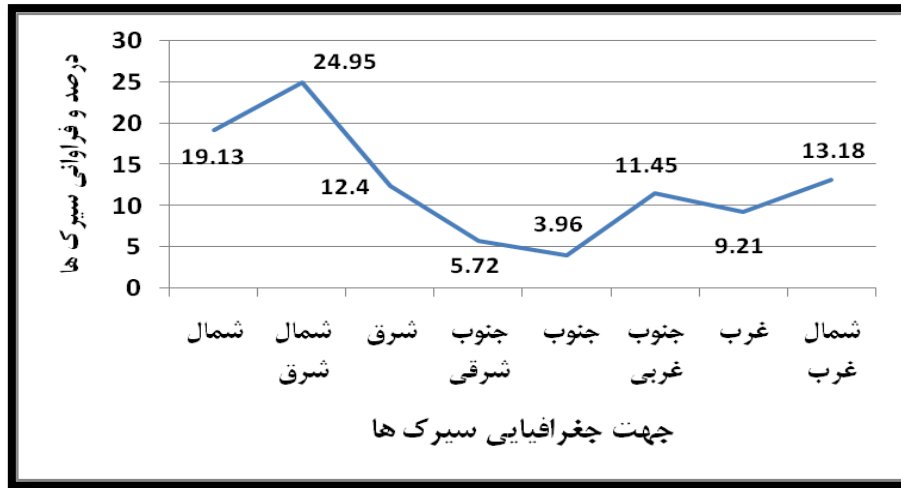


شکل ۵: نقشه سیرک‌های یخچالی منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای

پراکندگی فضایی سیرک‌های ارتفاعات حوضه سیلوه بیشتر از ساختار زمین‌شناسی منطقه تبعیت می‌کنند. تراکم آنها در بخش‌های شمالی حوضه بیشتر از بخش‌های جنوبی حوضه است. چین خوردگی‌های منطقه با جهتی شمال غربی به سوی جنوب و جنوب شرقی کشیده شده و سپس به طور قوسی شکل به سمت غرب و جنوب غربی در خاک عراق کشیده شده‌اند. در دامنه شمالی این ارتفاعات گسل‌ها و شکستگی‌هایی وجود دارد که بیشترین تراکم آنها در قسمت شمال شرقی حوضه در اطراف کوه‌های کانی خدا، کوه سوره دال و کوه خدر شرفان است. این گسل‌ها در به وجود آوردن لغزشی و ایجاد شکستگی‌ها و تشکیل بعضی از سیرک‌ها بی‌تأثیر نبوده است. در قسمت شمال و شمال غربی حوضه رخنمون‌هایی از سنگ‌های آهکی کرتاسه دیده می‌شود. در جنوب حوضه عموماً تناوب شیل و ماسه سنگ به همراه سنگ آهک دوران مزوزوئیک وجود دارد. به طور کلی بین پراکندگی سیرک‌ها و زمین‌شناسی منطقه ارتباط مستقیمی وجود دارد به طوری‌که در قسمت شمال و شمال شرقی حوضه که جنس سنگ‌ها رسوبی و آهکی است تعداد ۳۱/۵۳ درصد از سیرک‌های یخچالی وجود دارند. در تشکیل و توسعه این سیرک‌ها پشت به آفتاب بودن دامنه‌ها و برف گیر بودن آنها تأثیر زیادی داشته است. در قسمت دامنه‌های جنوبی از جنوب غربی تا جنوب شرقی که در خاک عراق تعداد ۲۱/۱۳ درصد از سیرک‌های یخچالی قرار دارند چون جنس این ناهمواری‌ها از مواد قابل انحلال کمتری مثل شیل و ماسه تشکیل شده است و همچنین دامنه‌های رو به آفتاب هستند و برف‌گیری کمتری دارند. در نتیجه با توجه به شرایط اقلیمی و نحوه چین خوردگی ناهمواری‌ها بیشترین میزان پراکندگی فضایی سیرک‌های یخچالی در دامنه‌های پشت به آفتاب ارتفاعات حوضه یخچالی سیلوه است (شکل ۶) (جدول ۲).

جدول ۲: درصد فراوانی سبیرک های یخچالی ارتفاعات حوضه سیلوه

جهت سبیرک	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غرب	شمال
درصد فراوانی سبیرک ها	۱۱/۴۲	۲۴/۹۵	۱۲/۴۰	۵/۷۲	۳/۹۶	۱۱/۴۵	۹/۲۱	۱۳/۱۸	۷/۷۱



شکل ۶: نمودار درصد فراوانی سبیرک های یخچالی ارتفاعات حوضه سیلوه



شکل ۸: تصویر سبیرک یخچالی بروی گوگل ارت

شکل ۷: تصویر سبیرک یخچالی بروی گوگل ارت

### رده بندی سبیرک های یخچالی محدوده مورد مطالعه

بر اساس رده بندی ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۲ سبیرک معادل با ۶/۰۶ درصد از کل سبیرک ها در رده N2، تعداد ۱۱ سبیرک معادل با ۳۳/۳۳ درصد از کل سبیرک ها در رده N3 و تعداد ۱۵ سبیرک معادل با ۴۵/۴۵ درصد از کل سبیرک ها در رده N4 قرار می گیرند. همچنین تعداد ۵ سبیرک معادل ۱۵/۱۵ درصد از کل سبیرک ها در رده N5 قرار دارند. بر اساس رده بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۲ سبیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ۱۱ سبیرک در رده قطعی، تعداد ۱۵ سبیرک در رده ضعیف و تعداد ۵ سبیرک در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۳).

ضریب تغییرات محور طولی سبیرک های رده N2 ۰/۸۷ متر و انحراف از معیار این سبیرک ها ۶/۳۲ متر است. در حالی که این مقدار برای محور عرضی این سبیرک ها برابر با ۰/۵۵ متر با انحراف معیار ۳/۴۳ متر است. هم برای محور طولی هم برای محور عرضی سبیرک های این رده مقدار کمی است. در نتیجه یخچال های کنونی تأثیر بسیار کمی روی محور طولی و عرضی سبیرک های این رده دارند. ضریب تغییرات محور طولی سبیرک های رده N3 ۱۵/۶۷ متر و انحراف از معیار این

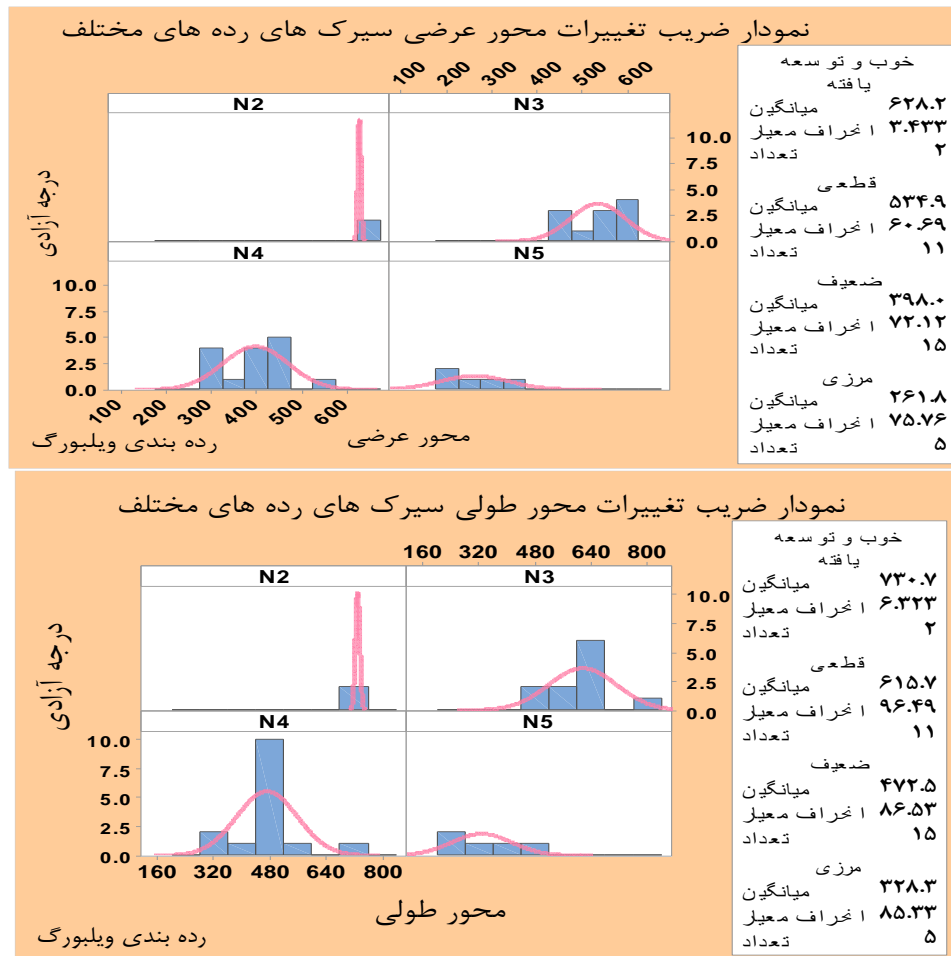
سیرک‌ها ۹۶/۵ متر است. این مقدار برای محور عرضی سیرک‌های این رده ۱۳/۳۵ متر با انحراف معیار ۶۰/۷ است. ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N4 ۱۸/۳۱ متر و انحراف از معیار این سیرک‌ها ۸۶/۵ متر است. این مقدار برای محور عرضی سیرک‌های این رده ۱۸/۱۲ متر با انحراف معیار ۷۲/۱ است. ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N5 ۲۵/۹۹ متر و انحراف از معیار این سیرک‌ها ۸۵/۳ متر است. این مقدار برای محور عرضی سیرک‌های این رده ۲۸/۹۳ متر با انحراف معیار ۷۵/۸ است (شکل ۹) (جدول ۴).

جدول ۳: رده بندی سیرک های یخچالی ارتفاعات حوضه سیلوه به روش ویلبرگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس

رده بندی سیرک های یخچالی	تعداد	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	درصد	بیشتری ن	کمترین	دامنه تغییرات
ویلبرگ و رودبرگ و ایوانس و کوکس								
N2	۲	۰/۸۷	۶/۳۲	۷۳۰/۷۲	۶/۰۶	۷۳۵/۱۹	۷۲۶/۲۵	۸/۹۴
N3	۱۱	۱۵/۶۷	۹۶/۵	۶۱۵/۷	۳۳/۳۳	۸۳۶/۸	۴۷۸/۱	۳۵۸/۷
N4	۱۵	۱۸/۳۱	۸۶/۵	۴۷۲/۵	۴۵/۴۵	۶۹۹/۱	۳۳۸/۳	۳۶۰/۷
N5	۵	۲۵/۹۹	۸۵/۳	۳۲۸/۳	۱۵/۱۵	۴۵۷/۶	۲۵۲/۹	۲۰۴/۷
محور عرضی سیرک (متر)								
N2	۲	۰/۵۵	۳/۴۳	۶۲۸/۲۰	۶/۰۶	۶۳۰/۶۲	۶۲۵/۷۷	۴/۸۵
N3	۱۱	۱۳/۳۵	۶۰/۷	۵۳۴/۹	۳۳/۳۳	۶۰۸/۴	۴۴۱	۱۶۷/۴
N4	۱۵	۱۸/۱۲	۷۲/۱	۳۹۸	۴۵/۴۵	۵۴۸/۶	۳۰۲/۶	۲۴۶/۱
N5	۵	۲۸/۹۳	۷۵/۸	۲۶۱/۸	۱۵/۱۵	۳۶۷/۹	۱۹۴/۳	۱۷۳/۶

نتایج آنالیز سیرک‌ها نشان می‌دهد که سیرک‌های رده N2، گروه خوب و توسعه یافته دارای تغییرات بسیار کمی هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی خود دارند. در نتیجه تقریباً شکل نهایی و واقعی خود را تثبیت کرده اند. سیرک‌های این رده در گذشته بیشتر تحت تأثیر فعالیت مستقیم فرسایش یخچالی‌های کواترنری قرار گرفته‌اند. در سیرک‌های رده N3 ضریب تغییرات روی محور طولی کمی بیشتر از محور عرضی است. به طور کلی سیرک‌های این رده بیشتر از سیرک‌های رده N2 تحت تأثیر فرسایش یخچالی و فعالیت ناشی از ذوب و انجماد یخ و برف قرار دارند و به سمت تکامل حرکت می‌کنند.

در صورتی که ضریب تغییرات هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی سیرک‌های رده N4 و N5 بسیار بیشتر از سیرک‌های رده N2 و N3 است. این گروه شبه سیرک اشکالی با ظاهر تخریب شده هستند که بیشتر تحت تأثیر ذوب و انجماد یخ و برف قرار دارند و فعالیت آبهای جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها شده و ضریب تغییرات محور طولی و عرضی در سیرک‌های این رده زیاد شده است.

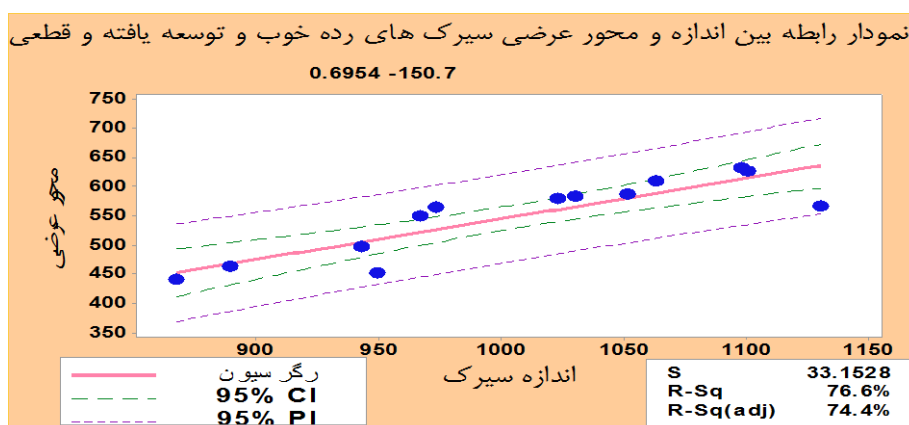
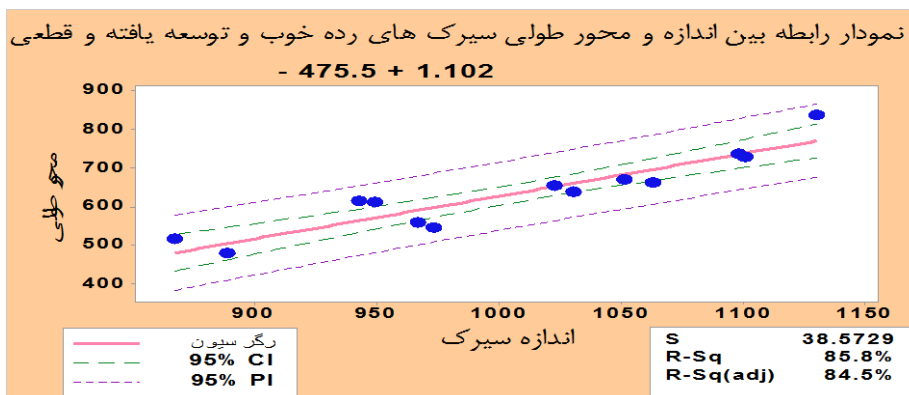


شکل ۹: نمودار ضریب تغییرات محور طولی و عرضی سیرک های یخچالی در رده بندی ویلبورگ

### تحلیل پارامترهای مورفومتری سیرک های رده N2 و N3

میانگین محور طولی سیرک های رده N2 و N3  $۶۳۳/۴$  متر با ضریب تغییرات  $۱۵/۴۹$  متر با میانگین دامنه تغییرات سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با  $۳۵۸/۷ \pm ۵۳/۴۱$  است و میانگین محور عرضی این سیرک ها  $۵۴۹/۲$  متر با ضریب تغییرات  $۱۱/۹۴$  متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با  $۱۸۹/۷ \pm ۳۵/۷۱$  است. این ارقام نشان می دهد که سیرک های این رده در جهت طولی گسترش دارند یعنی شکل سیرک های این رده طولی است به طوری که میانگین نسبت طول به عرض سیرک ها  $۱/۱۶$  متر با ضریب تغییرات ۱۲ متر است. همین موضوع روی اندازه سیرک ها تأثیر گذاشته به طوری که کمترین میزان اندازه سیرک های رده N2 و N3،  $۸۶۷/۴$  و بیشترین آن  $۱۱۳۰/۱$  متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد  $۲۶۲/۷ \pm ۴۴/۹۲$  است.

سیرک های این رده ارتفاعات حوضه سیلوه در جهت طولی بیشتر تغییر می کنند. حرکت یخچال ها در گذشته و حرکت آنها در امتداد دره های اصلی باعث گسترش محور طولی این سیرک ها در طی زمان شده است که در حال حاضر هم ذوب و انجماد یخ و برف باعث بالا رفتن ضریب تغییرات محور طولی این سیرک ها شده است. همچنین ارتفاع نقطه کف این سیرک ها بین ۲۷۵۹ تا ۳۱۷۹ متر متغیر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)  $۰/۱۷۰$  متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف  $۰/۱۸۶$  متر است. تغییرات محور طولی و عرضی سیرک ها نسبت به تغییرات عمق سیرک ها بیشتر است. تداوم کم یخچال ها در سیرک های این ارتفاعات و ذوب سریع یخ و برف باعث شده است که سیرک های این ارتفاعات عمیق نباشند (جدول ۴) (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نمودار رابطه بین اندازه سیرک های یخچالی رده N2, N3 و محور طولی و عرضی آنها

جدول ۴: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۱۳ سیرک رده N2 و N3 در ارتفاعات حوضه سیلوه

پارامترهای سیرک های رده N2 و N3 (متر)	مورفومتریک	تعداد سیرک	ضرب و تقسیم تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد	دامنه
محور طولی سیرک	۱۳	۱۵/۴۹	۹۸/۱	۶۳۳/۴	۴۷۸/۱	۸۳۶/۸	۳۵۸/۷±۵۳/۴۱		
محور عرضی سیرک	۱۳	۱۱/۹۴	۶۵/۶	۵۴۹/۲	۴۴۱	۶۳۰/۶	۱۸۹/۷±۳۵/۷۱		
ارتفاع نقطه کف سیرک	۱۳	۳/۸۵	۱۱۳/۸	۲۹۵۷/۸	۲۷۵۹	۳۱۷۹	۴۲۰±۶۱/۹۶		
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک	۱۳	۴/۸۸	۱۵۲/۷	۳۱۲۷/۸	۲۹۴۹	۳۵۷۳	۶۲۴±۸۳/۱۴		
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)	۱۳	۱۳/۲۴	۰/۰۲۴۶۴	۰/۱۸۶۱۲	۰/۱۴۵۳۳	۰/۲۲۰۹۶	۰/۰۷۵۶۳±۰/۱۳		
اندازه سیرک	۱۳	۸/۲۰	۸۲/۵	۱۰۰۶/۵	۸۶۷/۴	۱۱۳۰/۱	۲۶۲/۷±۴۴/۹۲		
نسبت طول به عرض	۱۳	۱۲	۰/۱۳۸۷	۱/۱۵۵۸	۰/۹۶۵۱	۱/۴۷۹۱	۵۱۴۰±۰/۰۷۶		
مساحت سیرک	۱۳	۲۳/۱۸	۵۸۱۶۴	۲۵۰۹۴۵	۱۵۸۶۱۹	۳۴۱۱۹۱	۱۸۲۵۷۲±۳۱۶۶۷		
محیط سیرک	۱۳	۱۲/۵۷	۲۲۸/۶	۱۸۱۷/۹	۱۴۴۱	۲۱۴۸/۸	۷۰۷/۹±۱۱۳/۱۵		
ارتفاع نقطه خروجی	۱۳	۴/۲۵	۱۲۱/۶	۲۸۶۳/۵	۲۶۷۲	۳۰۶۲	۳۹۰±۶۶/۲۰		

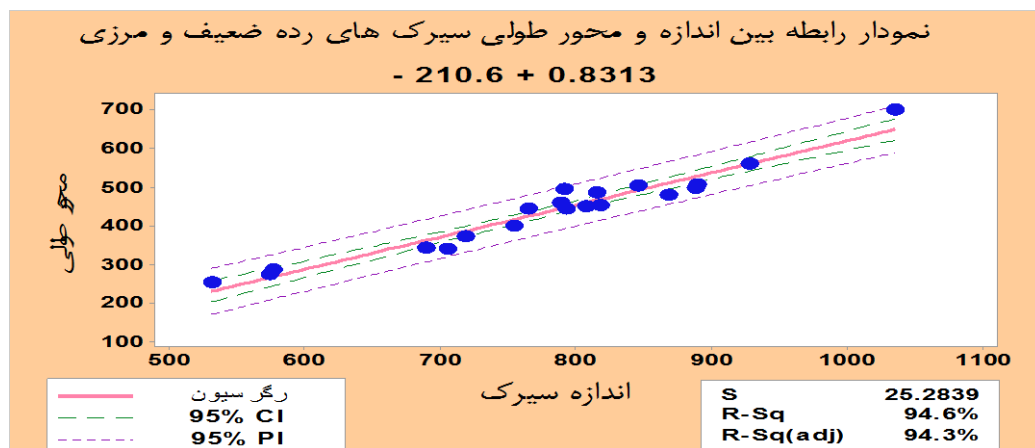
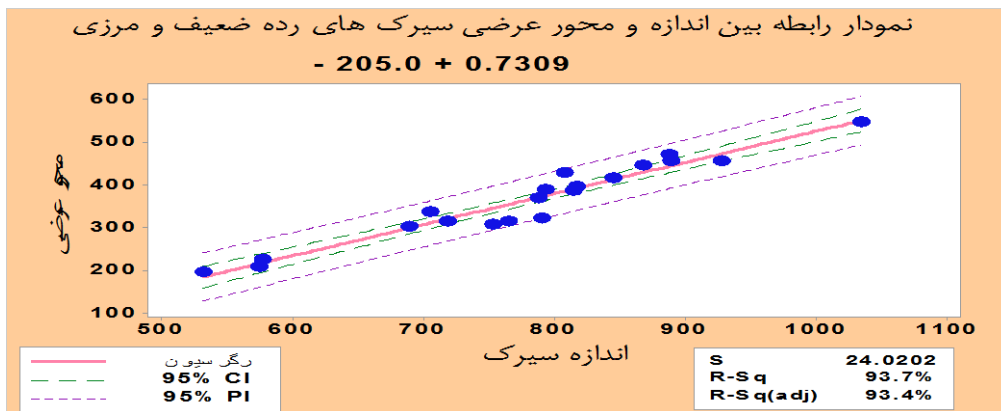
							سیرک
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۱۳	۱۶/۱۸	۰/۰۳۴۷۳	۰/۰۰۹۶۳	۰/۱۵۰۳۹	۰/۲۷۴۴۳	۰/۱۲۴۰۴±۰/۰۱۹

### تحلیل پارامترهای مورفومتری سیرک های رده N4 و N5

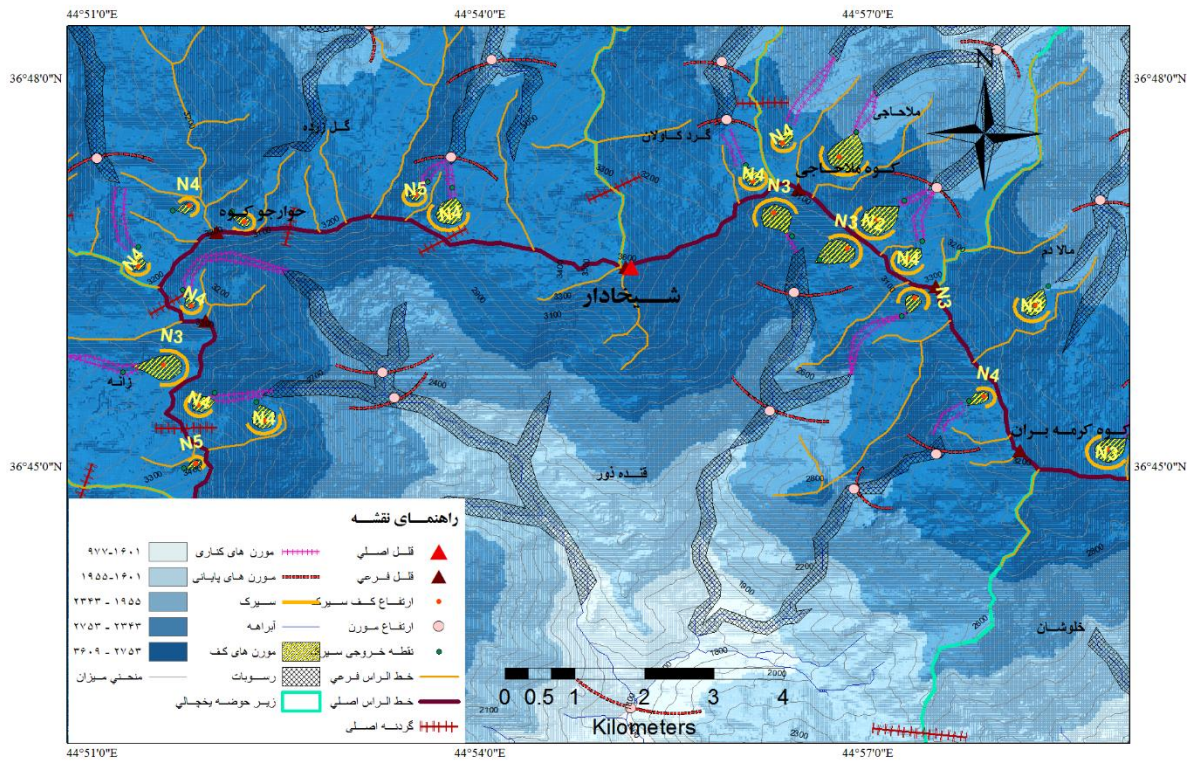
ضریب تغییرات محور طولی سیرک های این رده ۲۴/۱۹ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۴۶۶/۳۰±۴۴۶/۳۰ است و ضریب تغییرات محور عرضی این سیرک ها ۲۳/۶۳ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۳۵۴±۴۰/۹۱ است. میانگین محور طولی این سیرک ها ۴۳۶/۴ متر و میانگین محور عرضی برابر با ۳۶۳/۹ متر است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک های رده N4 و N5 ارتفاعات حوضه سیلوه ۱/۲۱۲۴ متر است. به طور کلی سیرک های این رده شکلی کشیده و طولی دارند. برخلاف سیرک های رده N2 و N3 این سیرک ها دارای تغییراتی تقریباً برابری در جهت محور عرضی می باشند. عوامل فرسایش بخصوص فرسایش ناشی از آب های جاری حاصل از ذوب یخ ها به یک نسبت روی محور طولی و عرضی سیرک های این رده تأثیر داشته است. میانگین ارتفاع کف این سیرک ها ۳۰۵۱/۴ متر است. کمترین میزان اندازه سیرک های رده N4 و N5 ارتفاعات حوضه سیلوه ۵۳۰/۸ متر و بیشترین آن ۱۰۳۴/۵ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۵۰۳/۷±۵۴/۱۵ است. میانگین دامنه تغییرات اندازه سیرک های این رده از رده N2 و N3 بیشتر است و ضریب تغییرات آنها بیشتر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۱۴۴۱۶ با ضریب تغییرات ۲۶/۷۵ متر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۲۰۴۳ با ضریب تغییرات ۲۸/۵۳ متر است. در هر دو پارامتر هم نسبت طول و هم نسبت عرض به عمق دارای تغییرات بیشتری هستند. حجم یخ در این سیرک ها آنقدر زیاد نبوده که بتواند باعث عمیق شدن عمق سیرک ها گردد در نتیجه عمق سیرک های رده N4 و N5 منطقه کم است و حجم نگهداری برف و یخ در این سیرک ها کم است (جدول ۵) (شکل ۱۱ و ۱۲ و ۱۳).

جدول ۵: تحلیل پارامترهای مورفومتری ۲۰ سیرک رده N4 و N5 در ارتفاعات حوضه سیلوه

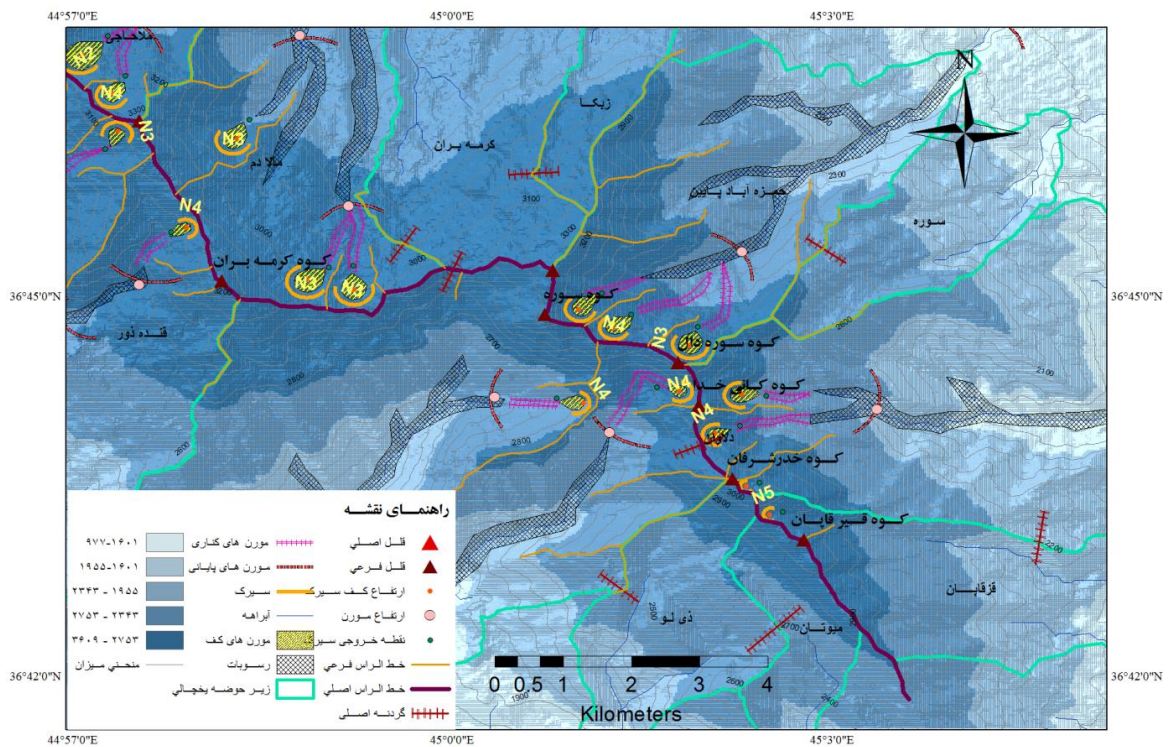
پارامترهای سیرک های رده N4 و N5 (متر)	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک	۲۰	۲۴/۱۹	۱۰۵/۶	۴۳۶/۴	۲۵۲/۹	۶۹۹/۱	۴۴۶±۴۶/۳۰
محور عرضی سیرک	۲۰	۲۳/۶۳	۹۳/۳	۳۶۳/۹	۱۹۴/۳	۵۴۸/۶	۳۵۴±۴۰/۹۱
ارتفاع نقطه کف سیرک	۲۰	۵/۸۱	۱۷۷/۲	۳۰۵۱/۴	۲۷۳۱	۳۵۰۲	۷۷۱±۷۷/۷۰
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک	۲۰	۵/۶۰	۱۷۴/۳	۳۱۱۳/۹	۲۷۶۹	۳۵۲۹	۷۶۰±۷۶/۴۳
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)	۲۰	۲۸/۵۳	۰/۰۳۴۳۶	۰/۱۲۰۴۳	۰/۰۶۱۷۹	۰/۱۹۰۰۳	۰/۱۲۸۵۲±۰/۰۱۵
اندازه سیرک	۲۰	۱۵/۸۷	۱۲۳/۵	۷۷۸/۴	۵۳۰/۸	۱۰۳۴/۵	۵۰۳/۷±۵۴/۱۵
نسبت طول به عرض	۲۰	۱۰/۵۷	۰/۱۳۰۴	۱/۲۱۲۴	۱/۰۰۹۵	۱/۵۳۸۹	۰/۵۲۹۴±۰/۰۵۷
محیط سیرک	۲۰	۲۳/۷۴	۲۹۲/۷	۱۲۳۳/۳	۶۹۲/۴	۱۹۱۴/۸	۱۲۲۲۴±۱۲۸/۳۴
مساحت سیرک	۲۰	۴۹/۱۹	۵۵۰۴۵	۱۱۹۱۶۱	۳۵۲۵۶	۲۷۰۳۲۸	۲۳۵۰۷۲±۲۴۱۳۶
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۲۰	۶	۱۷۹/۶	۲۹۹۴/۸	۲۶۳۶	۳۴۱۷	۷۸۱±۷۸/۷۵
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۲۰	۲۶/۷۵	۰/۰۳۸۵۶	۰/۱۴۴۱۶	۰/۰۸۱۴۳	۰/۲۴۲۱۴	۰/۱۶۰۷۲±۰/۰۱۷



شکل ۱۱: نمودار رابطه بین اندازه سیرک های یخچالی رده N4 , N5 و محور طولی و عرضی آنها



شکل ۱۲: نقشه رده بندی سبزه های یخچالی محدوده مورد مطالعه روی نقشه ژئومورفولوژی یخچالی



شکل ۱۳: نقشه رده بندی سبزه های یخچالی محدوده مورد مطالعه روی نقشه ژئومورفولوژی یخچالی



### آلومتری و ایزومتری سیرک‌های محدوده مورد مطالعه

ضریب تغییرات ضریب  $b$  برای محور طولی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  برابر با  $7/58$  متر است. در حالی که این مقدار برای سیرک‌های رده  $N4$  و  $N5$  برابر با  $4/81$  متر است. همچنین ضریب تغییرات ضریب  $a$  بر روی محور طولی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  برابر با  $19/47$  متر و این مقدار برای سیرک‌های رده  $N4$  و  $N5$  برابر با  $4/07$  متر است. محور طولی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  بیشتر تحت تأثیر فرسایش یخچالی بوده است و این عامل در توسعه و تکامل سیرک‌های این رده موثر بوده است. با توجه به ضریب همبستگی محور طولی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  که  $0/98$  است پی می‌بریم که بین اندازه و اجزای سیرک‌های این رده ارتباط بسیار خوبی وجود دارد.

ضریب  $b$  برای محور طولی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  برابر با  $0/90$  است که در سیرک‌های این رده  $B < 1$  می‌باشد. در نتیجه وضعیت آلومتری برای سیرک‌های این رده در این ارتفاعات برقرار نیست. همچنین ضریب  $a$  برای محور عرضی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  برابر با  $0/70$  است که در این سیرک‌ها وضعیت ایزومتری برقرار نیست. ضریب  $b$  برای محور طولی سیرک‌های رده  $N4$  و  $N5$  برابر با  $0/90$  است و در این سیرک‌ها  $B < 1$  است. بنابراین وضعیت آلومتری برای سیرک‌های این رده در این ارتفاعات برقرار نیست. همچنین ضریب  $a$  برای محور عرضی سیرک‌های رده  $N4$  و  $N5$  برابر با  $0/92$  است که در این سیرک‌ها هم وضعیت ایزومتری برقرار نیست.

بنابراین به طور کلی فعالیت یخچال‌ها هم در زمان حاکمیت آنها هم در حال حاضر تأثیر زیادی بر روی توسعه و تکامل سیرک‌های این ارتفاعات نداشته است و سیرک‌های این ارتفاعات به مدت زمان زیادی برای رشد و تکامل خود نیاز دارند.

جدول ۶: تعیین ضریب  $b$  و ضریب همبستگی (معادله توانی) برای محور طولی برازش شده سیرک‌های ارتفاعات حوضه سیلوه

ضریب	رده بندی سیرک	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	ضریب همبستگی	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
ضریب $b$	$N5, N4$	۲۰	$4/81$	$0/88$	$0/043$	$0/90$	$0/87$	۱	$0/19 \pm 0/1253$
	$N3, N2$	۱۳	$7/58$	$0/98$	$0/07$	$0/88$	$0/83$	۱	$0/048 \pm 0/1740$
ضریب $a$	$N5, N4$	۲۰	$4/07$	$0/90$	$0/037$	$0/92$	$0/90$	۱	$0/1009 \pm 0/016$
	$N3, N2$	۱۳	$19/47$	$0/48$	$0/14$	$0/70$	$0/48$	۱	$0/52 \pm 0/076$

### نتیجه‌گیری

۱- برای تشخیص، طبقه‌بندی و مورفومتری دقیق سیرک‌های یخچالی منطقه مورد مطالعه به ۱۸ زیر حوضه یخچالی تفکیک گردید. در ارتفاعات این زیر حوضه‌ها تعداد ۳۳ سیرک یخچالی شناسایی و به صورت خطی و پلیگونی در روی نقشه شیب کلاس‌بندی ترسیم گردید. از سیرک یخچالی تشکیل شده در ارتفاعات حوضه سیلوه، طبق رده بندی ایوانس و کوکس، ۲ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، ۱۱ سیرک در رده قطعی، ۱۵ سیرک در رده ضعیف و ۵ سیرک در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد.

۳- از نظر بزرگی و اندازه، سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی بزرگتر از سیرک‌های رده ضعیف و مرزی هستند. میانگین دامنه تغییرات اندازه سیرک‌های این رده از رده ضعیف و مرزی بیشتر است و ضریب تغییرات آنها بیشتر است. سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته، در جهت طولی گسترش دارند یعنی شکل سیرک‌های این رده طولی است. حرکت یخچال‌ها در گذشته و حرکت آنها در امتداد دره‌های اصلی باعث گسترش محور طولی این سیرک‌ها در طی زمان

شده است که در حال حاضر هم ذوب و انجماد یخ و برف باعث بالا رفتن ضریب تغییرات محور طولی این سیرک‌ها شده است.

۴- میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌های رده ضعیف و مرزی ارتفاعات حوضه سیلوه ۱/۲۱۲۴ متر است که این طولی بودن سیرک‌های این رده را نشان می‌دهد. برخلاف سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی این سیرک‌ها دارای تغییراتی تقریباً برابری در جهت محور عرضی هستند. 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.

۵- سیرک‌های رده ضعیف و مرزی برخلاف سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی 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.

۶- در سیرک‌های هر دو رده در منطقه مورد مطالعه تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌ها نسبت به تغییرات عمق سیرک‌ها بیشتر است. تداوم کم یخچال‌ها در سیرک‌های این ارتفاعات و ذوب سریع یخ و برف باعث شده است که سیرک‌های این ارتفاعات عمیق نباشند. محور طولی این سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی بیشتر تحت تأثیر فرسایش آبی یا یخچالی بوده است. در نتیجه این فعالیت‌ها محور طولی سیرک‌های این رده نسبت به رده مرزی و ضعیف که در منطقه فلوپال قرار دارند دارای ضریب تغییرات بیشتری می‌باشد. با توجه به میانگین دامنه تغییرات محور طولی سیرک‌های رده خوب و توسعه یافته و قطعی، این سیرک‌ها بیشتر به سمت تکامل و توسعه حرکت می‌کنند.

۷- در سیرک‌های هر دو رده مقدار  $B < 1$  است. این نشان می‌دهد که رفتار آلومتری برای محور طولی سیرک‌های هر دو رده منفی است. همچنین برای سیرک‌های هر دو رده وضعیت ایزومتری برقرار نیست. بنابراین به طور کلی فعالیت یخچال‌ها هم در زمان حاکمیت آنها هم در حال حاضر تأثیر زیادی بر روی توسعه و تکامل سیرک‌های این ارتفاعات نداشته است و سیرک‌های این ارتفاعات به مدت زمان زیادی برای رشد و تکامل خود نیاز دارند. یخچال‌زایی در این ناهمواری‌ها به صورت دره‌ای عمل نموده و به دلیل فعال بودن تکتونیک، سیرک‌ها از توسعه و تکامل کمتری برخوردارند.

۸- از نظر زمین‌شناسی این منطقه جزء ناحیه تراسی زاگرس و در ناحیه دگرگونی سنندج- سیرجان واقع شده است. سنگ‌های کامبرین و پرمین قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند. همچنین سنگ‌های دگرگون آمفیبولیتی و شیستی با سن نامشخص در منطقه دارای برونزدهایی هستند. همچنین علایم و شواهد زمین‌شناسی نشان دهنده فعالیت‌های نو زمین‌ساختی، شامل کوتاه‌شدگی و طولیل‌شدگی، ضخیم‌شدگی و نازک‌شدگی، کمانش یا قوس برداشتن پوسته، چین خوردگی‌ها، گسل خوردگی‌ها، فعالیت‌های گنبدی شدن و آتشفشان می‌شود که در طول دوران چهارم صورت گرفته‌اند. در نتیجه شکل‌گیری سیرک‌ها در این منطقه بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی بوده است و در مراحل بعدی یخچال‌های کواترنری وارد عمل شده و با فعالیت خود باعث توسعه و تکامل این سیرک‌ها شده‌اند.

## منابع

- آقناباتی، ع، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، صفحات. ۵۸۶.
- المدرسی، س، ع؛ رامشت، م، ح؛ تورن، ک؛ گرجی، ل؛ ایزدی، ز، ۱۳۹۰، رفتار ارگودیک چشم اندازه‌های ژئومورفیک، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی اهر، سال یازدهم. شماره ۳، صص. ۲۳۲-۲۵۸.
- بیرانوند، ح؛ سیف، ع، ۱۳۹۹، تحلیل پارامترهای مورفومتری آثار سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز در وورم، جغرافیا و توسعه، شماره ۶۰، صص. ۲۳۸-۲۱۹.

- بیرانوند، ح؛ سیف، ع، ۱۳۹۹، شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، صص. ۸۰-۶۳.
- سیف، ع، ۱۳۹۴، رده بندی سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس، اولین همایش ملی علوم کواترنری در شناخت فرآیندهای محیطی، اصفهان .
- مختاری، د؛ کرمی، ف؛ بیاتی خطیبی، م، 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، صص ۲۹۲-۲۵۷.
- 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.
- Bayrakdar, C., Çılğın, Z., Döker, M., F., & Canpolat, E., 2015. Evidence of an active glacier in the Munzur Mountains, eastern Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 56-71.
- Bull, W., 1975. Allometric change of landforms, *Geological Society Of America*, 2. V. 86, NO,11.
- Delmas, M., Gunnel, Y., calvert, M., 2015. Acritical appraisal of allometric growth among alpine cirque based on multivariate statics and spatial analysis, *Elsevier, Geomorphology*, 228, 637-652.
- Ebrahimi, B., 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. *Physische Geographie*, vol. 41. *Geographisches Institute der Universit7t Zqrich*, pp. 35-58.
- Evans, I., S., Cox. N., J., 1974. *Geomorphoetry and the operational definition of cirques Area* (Institute of British Geographers, IBG, London), 6, 150-153.
- 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 .
- 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: and application of specific geomorphometry, *Proceeding of Geomorphology*, Zurich, Sitzerland, 31 August -2 September.
- Evans, I., S., Cox, N., J., 1995. The form of glacial cirques in the English Lake District. *Cumbria. Z. Geomorph, N.F*, 39(2): pp. 175-202.
- Ghahroudi Tali, M., Naeimi., A., Hassani Gharnaie, R., 2015. *Glacial Landforms in Border Mountainous Areas Between Iran and Iraq*, *Asian Journal of Earth Sciences*, 9 (1): 16-26.
- 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.

- Graf, W., L., 1976. *Cirques as glacier location. Arctic and Alpine Research* 8, 79e90.
- Hughes, P. D., Gibbard, P.L., Woodward, J., C., 2007. *Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece, Geomorphology*, 88 (3-4): 242–253.
- Sarikaya, A., M., 2017. *Late Quaternary Glaciataione in the easteran Mediterranean, Earths Scinence ,Istanbul Technical University, Maslak 34469, Istanbul ,Turkey.*
- Seif, A., Ebrahimi, B., 2014. *Combined Use of GIS and Experimental Functions for the Morphometric Study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, IRAN. Quaternary International, Volume 353: 236-249.*
- Spagnolo, M., Federici, P., R., 2004. *Morphometric Analysis on the Size, Shape and Areal Distribution of Glacial Cirques in the Maritime Alps (Western French Italian Alps), Article in Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 86(3):235 - 248.
- URDEA, P., 2001. *Glaciar Relief and Pleistocene Glaciation in Retezat Mountains (Transylvanian Alps, Romania), Geographica Pannonica*, 5, Novi Sad.
- Vilborg, L., 1984. *The cirque forms of Central Sweden. Geo- grafiska Annaler. 66 A (1-2): PP. 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.*