دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۰
تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۲۰۹-۱۸۹

حجت‌اله بیرانوند[۱]
*عبداله سیف[۲]

طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات پلوار کرمان در دوره پلیستوسن پسین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

چکیده

شناسایی سیرک‌های یخچالی علاوه بر اثبات تغییرات اقلیمی گذشته برای شناخت محدودیت‌ها و پتانسیل‌های محیطی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی اهمیت دارند. هدف اصلی این پژوهش شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز شاخص‌های مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات پلوار در استان کرمان با استفاده از مدل‌سازی و روابط ریاضی است. بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید تعداد ٦٦ سیرک یخچالی در این ارتفاعات شناسایی و در روی نقشه شیب کلاس‌بندی شده و مدل رقومی ارتفاعی به دو فرمت خطی و پلیگونی ترسیم شدند. آنگاه با برازش مدل‌های توانی بر پروفیل طولی سیرک‌ها به استخراج ضرایب و پارامترهای آماری سیرک‌های منطقه مبادرت 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 به تفسیر گذاشته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در ارتفاعات پلوار تعداد ۱ سیرک رده N1، ٤ سیرک N2، ۱۳ سیرک N3 و ٤٨ سیرک در رده N4 و N5 موسوم به گروه شبه سیرک وجود دارد. میانگین ضریب b برای سیرک‌های رده N1، N2، N3 برابر با ۱/۰۱۷ است که در سیرک‌های این رده B >1 است و تا حدودی وضعیت آلومتری برقرار است. میانگین ضریب b برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۳۲ و

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
*۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان. (نویسنده مسئول). E-mail: A.seif@ltr.ui.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

B< 1 است. ضرایب پایین b برای سیرک‌های این رده بیانگر رفتار منفی آلومتری، فرسایش اندک یخچالی، عدم تکامل و توسعه سیرک‌های این رده در این ارتفاعات است.

کلید واژه‌ها: مورفومتری، سیرک‌های یخچالی، ارتفاعات پلوار، آلومتری، پلیستوسن پسین.

مقدمه

ماهیت اکثر اشکال و فرآیندهای بیرونی زمین اساساً تابع شرایط اقلیمی حاکم بر یک منطقه در طی زمان می‌باشد. ازاین‌رو آثار و شواهد تغییرات اقلیمی دوران چهارم که مهم‌ترین آن‌ها وجود آثار باقی‌مانده از این دوره است، تنوع ویژه و قابل توجهی در مطالعات ژئومورفولوژی ایجاد نموده و با توجه به این آثار می‌توان شواهد اقلیمی را بازسازی نمود (Almodaresi and Ramesht, 2007). شواهد ژئومورفولوژیکی و لندفرم‌های موجود مانند سیرک‌های یخچالی و دره‌های یخچالی در مناطق مختلف ایران حاکی از عملکرد فرآیندهای یخچالی و حاکمیت سیستم‌های یخچالی است. شناسایی این ژئوفرم‌ها علاوه بر اثبات تغییرات اقلیمی گذشته برای کشف روند حاکم بر لندفرم‌ها، همچنین شناخت محدودیت‌ها و پتانسیل‌های محیطی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی در مدیریت محیط موثر است (Anthonsen, 1996: 71). بخش بزرگی از مطالعات در زمینه تحول شرایط فرسایشی کوهستان در ایران، ماحصل شناسایی میراث زمین شکل‌های بازمانده از دوره‌های یخچالی کواترنری است که در فلات ایران به اشکال گوناگون دیده می‌شود. در این میان، شناسایی اشکال فرسایش یخچالی چون سیرک‌های یخچالی، به‌عنوان کانون تجمع برف و به‌تبع آن یخ و تغذیه یخچالی کوهستانی اهمیت بسزایی دارد (Khosraftatr et al., 2016). مهم‌ترین الگویی که در نتیجه فرسایش یخچالی ایجاد می‌شود، سیرک یخچالی است. در آثار فرسایش یخچالی کوهستانی، فرورفتگی‌هایی عمیق با دیواره‌های پرشیب، کف مسطح با شیب کم به شکل نیم کاسه (هلالی شکل)، در ارتفاعات و حاشیه قلل کوهستانی ایجاد می‌شود (Jafari and Avaj, 2017). سیرک‌ها به دلیل قابلیت تبدیل به داده‌های کمّی اهمیت فراوانی دارند. سیرک، بازتابی از عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، نوع و مدت اثر یخچال‌هاست (Moghimi et al, 2012: 122). نمایش عددی سطح زمین به شکل‌های مختلفی همچون مدل‌سازی سطح زمین، آنالیز رویه سطحی زمین، در علم توپوگرافی شناخته شده است. توصیف کننده‌های کمی یا اندازه‌گیری فرم سطح زمین شامل: بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای لندفرمی، متغیرهای مورفومتریک، اطلاعات رویه سطحی و ویژگی‌های ژئومورفومتریک است و ژئومورفومتری در واقع علم توپوگرافی کمی‌سازی شده است که تمرکز خاصی بر استخراج ویژگی‌ها و اجزای سطح زمین از مدل رقومی ارتفاعی دارد (Hengl & Reuter, 2009). ژئومورفومتری علم تجزیه‌وتحلیل کمی سطح زمین است (Pike, 1995, 2000; Rasemann, 2004) که رویکرد نسبتاً جدیدی در بازسازی توپوگرافی سطوح زمین به‌وسیله پردازش کامپیوتری ارتفاع سطح زمین است (Tobler, 1976, 2000). ژئومورفومتری روش ارزیابی و تحلیل مشخصات سطحی یک یا چند فرآیند خاص است که طبق معیارهای مشخصی، بخش‌هایی از سطح زمین را

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تشخیص داده و تحلیل و توصیف می‌کند (Evans, 1974). بر این اساس برای شناسایی دقیق اشکال یخچالی بررسی دقیق اندازه و شکل این اشکال، بخصوص سیرک‌های یخچالی، استفاده از مدل‌سازی و روابط ریاضی و عددی (ژئومورفومتری) برای ژئومورفولوژیست‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. بررسی‌های مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌ها امکان بررسی توسعه عمودی و منطقه‌ای، درجه تکامل، جهت توسعه، ارتباط میان جهت‌گیری این لندفرم‌ها با برجستگی توپوگرافیک، وضعیت ساختاری سنگ بستر و عوامل اقلیمی را فراهم می‌سازد (Garcia- Ruiz et al., 2004; Evans, 2006). 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 اندازه‌گیری شده اغلب توسط معادله توانی $f(x)= ax^{\beta}$ بیان می‌گردد. آلومتری ابتدا توسط اولیفانت و سپس ایوانس در بررسی خصوصیات مورفومتریک سیرک‌ها به‌کار گرفته شد (Evans, 2006). 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 (Mokhtari et al., 2007). بر این اساس مطالعاتی در زمینه مورفومتری سیرک‌های یخچالی در دنیا و ایران انجام گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. Graf (1976) به بررسی مورفومتریک سیرک‌های یخچالی پرداخته و خصوصیات مورفومتریک سیرک‌های یخچالی را ارائه نموده است. Vilborg (1977) به بررسی فرم سیرک‌های سوئد پرداخته است و ۵ گروه سیرک با منشأ مختلف را معرفی کرده است. ایوانس و کوکس در سال ۱۹۹۵ فرم سیرک‌های ناحیه لایک دیستریکت[3] انگلستان را بررسی و رده‌بندی جدیدتری در خصوص انواع سیرک‌ها ارائه کرده است. (Evans 1997, 2006, 2008, 2011) به بررسی فرآیندها و فرم‌های فرسایشی یخچالی نواحی کوهستانی پرداخته و خصوصیات آلومتریک و موفومتریک این فرم‌ها را در ارتباط با عوامل محیطی چون زمین‌شناسی، برجستگی توپوگرافیک در ناحیه ولز انگلستان می‌داند. Yarammadi (2012) سیرک‌های یخچالی را در اشترانکوه (۲٤ 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 سیرک‌ها است. Seif & Ebrahimi (2014) 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. Seif (2015) 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

3- Lake District

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

سیرک‌های گرین با سیرک‌های سایر نقاط دنیاست. Seif et al (2016) با استفاده از توزیع انرژی اشعه خورشید و ارتباط آن با دخالت پستی‌وبلندی‌ها 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. Ebrahimi & seif (2017) 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 ۱۳٦ سیرک دیگر شکلی متفاوت با سیرک‌های آلپ دارند. Beheshti Javid et al (2017) در پژوهشی به استخراج و شناسایی سیرک‌های یخچالی سبلان با استفاده از روش شی‌گرا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این روش تا درجه زیادی اهداف مورد نظر را در پژوهش برآورد کند. Ahmad Abadi et al (2018) با استفاده از مدل طبقه‌بندی نظارت شده MLC به شناسایی و بررسی شاخص‌های ژئومورفومتریک سیرک‌های یخچالی زردکوه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از ۲٦ چاله سیرک مانند مشخص شده تنها ١٤ سیرک در مدل طبقه‌بندی نظارت شده شناسایی شدند. Solhi and Seif (2018) با روش مورفومتریک به مورفومتری دره‌های طولی سهند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دره‌های واقع بر دامنه‌های شمال و شمال‌شرقی سهند از تکامل پروفیل طولی متفاوتی نسبت به دامنه‌های جنوب تا جنوب‌غربی برخوردارند که حاکی از تفاوت در سیستم‌های اقلیمی، فرسایشی و نیز رژیم‌های رطوبتی حرارتی متفاوت در این دو جناح از ارتفاعات سهند است. بررسی‌های مورفومتریک لندفرم‌های یخچالی یک تکنیک جدید در جهت بررسی کمی لندفرم‌ها در ارتباط با عوامل مختلف محیطی می‌باشد که کم‌تر توسط محققان به‌کار گرفته شده است. این موضوع باعث شد تا با روش‌های کمی و پارامترهای مورفومتریک به بررسی دقیق سیرک‌های یخچالی کواترنر پایانی، طبقه‌بندی و رده‌بندی این لندفرم‌ها در ارتفاعات پلوار واقع در استان کرمان پرداخته شود تا سیرک‌های این محدوده مورد ارزیابی‌های دقیق آماری قرار گیرند. هدف از این پژوهش آنالیز دقیق پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های یخچالی 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.

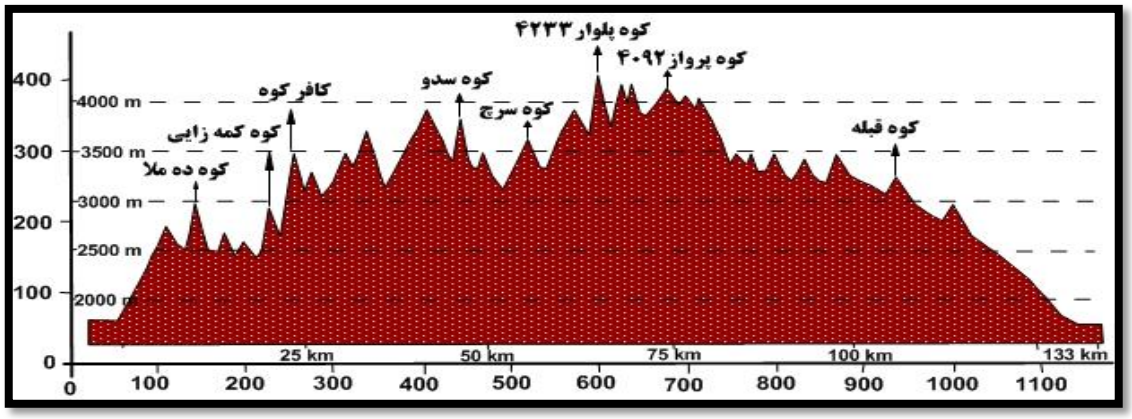
منطقه مورد مطالعه

کوهستان پلوار که همانند دیواری ناحیه جنوبی کویر لوت را از بخش‌های درونی کشور جدا می‌سازد، به صورت رشته‌ای به طول ١٤٧ کیلومتر از سوی شمال‌غربی به‌طرف جنوب‌شرقی کشیده شده و پهنه‌ای به وسعت ١٤٥٠ کیلومتر را زیر پوشش قرار داده است. این کوهستان از کوه‌ها و قله‌های بسیاری از ارتفاع غالب آن‌ها از ۲۵۰۰ متر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بیش‌ترین است، تشکیل یافته و روستاهای فراوانی را در دامنه‌های خود جای داده است. این منطقه بین ۲۹ درجه و ٤٠ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه به ۷ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده است که شامل زیر حوضه‌های یخچالی کوه‌های پلوار با ارتفاع ٤٢٣٣ متر، کوه سد و ۳۷۷۷ متر، کوه سرج ۳۵٤۹ متر، کوه پرواز ٤۰۸۹ متر، کوه قبله ۳۱۰٦ متر، کوه کافر ۳٤۵۷ متر، کوه کمه زای با ارتفاع ۲۸٤۹ متر و کوه ده ملا ۲۹۵۰ متر است. شهر کرمان در شمال‌غربی، شهر ماهان و جوپار در سمت غرب، شهداد در سمت شمال‌شرقی و گلبافت در سمت جنوب‌غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارد (شکل ۱ و ۲). با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گوک[4]، شیت ۷۵٤۹ سازمان نقشه برداری کشور که محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌داد این نتایج در مورد زمین‌شناسی منطقه به‌دست آمد.

ارتفاعات پلوار به‌طور کلی در زمان کرتاسه از مارن و سنگ آهک اگزورژیرا دار و کمی سنگ آهک تا سنگ آهک ریفی تا ضخیم لایه‌ای و در زمان ژوراسیک از ماسه‌سنگ شیل قرمز تشکیل شده است. در دوره ژوراسیک میانی از سازند هجدک تشکیل شده است که شامل تناوب ماسه‌سنگ و شیل خاکستری، شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده ضعیف است. در دوره پالئوسن از سنگ‌آهک ضخیم لایه میکریتی و آواری در ردیف سه کنج همچنین خاک رس و ماسه‌سنگ همراه با فسیل موجودات تشکیل شده است. قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که از دامنه تا پای کوه گوک رخنمون دارند سنگ بستر دوره ژوراسیک است. آن‌ها از کوارتز، ماسه‌سنگ، شیل همراه با کنگلومراهای کوچک لایه ای تشکیل شده است. تفاوت فرسایش‌پذیری بین ستیغ‌های کربناتی کرتاسه و ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها و رسوبات تبخیری ژوراسیک موجب پیدایش دندانه‌هایی در پستی‌وبلندی این بخش گشته است. این بخش در سمت باختر خود به یک زون گسلی منتهی می‌گردد که دارای روند تقریبی شمالی–جنوبی می‌باشد.

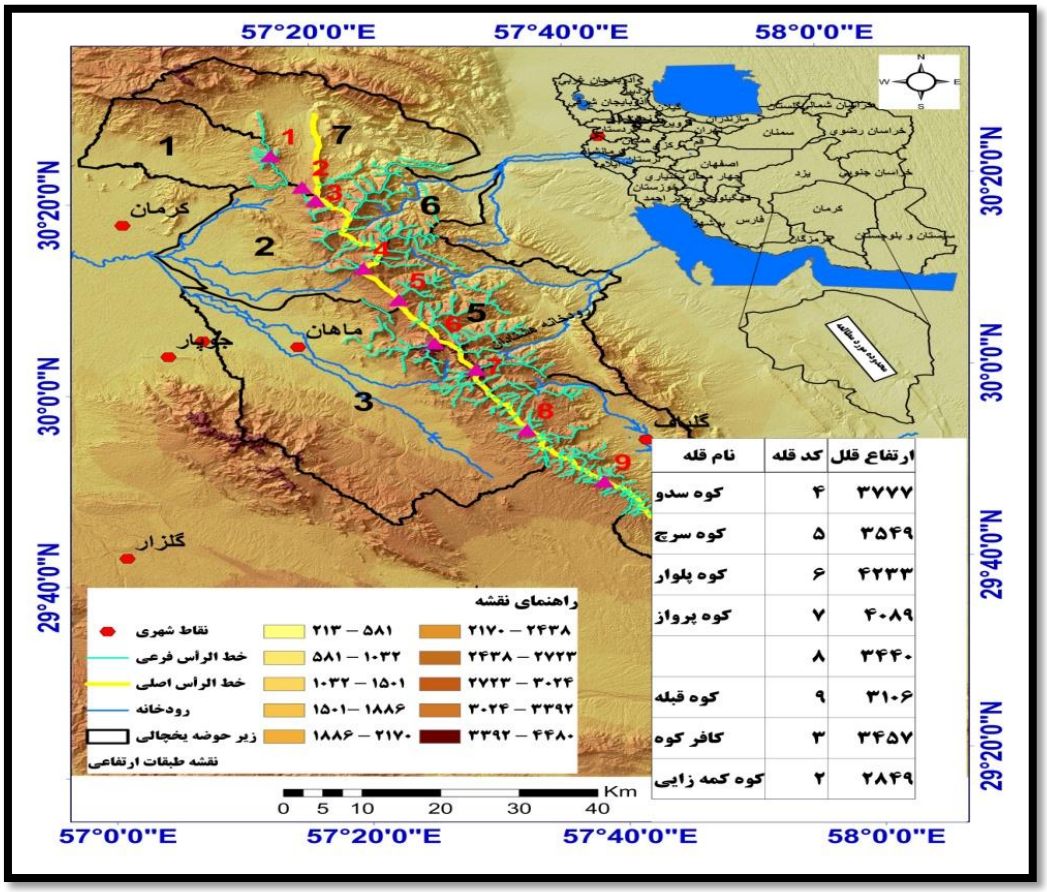


شکل ۱: پروفیل طولی ارتفاعات پلوار

Figure 1: longitudinal profile elevations Polvar

4- Gowk

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۲: نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

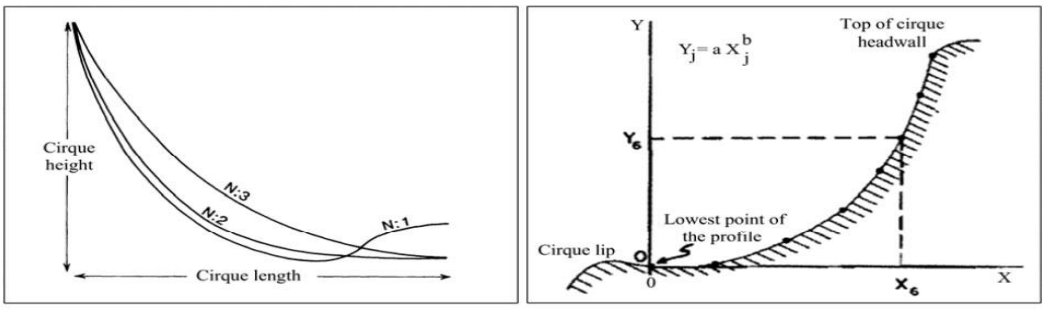
Figure 2: Location of the studied area

مواد و روش‌ها

جهت انجام عملیات شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل پارامترهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی ارتفاعات پلوار، ابتدا در ارتفاعات بالای سه هزار متر بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و بر مبنای روش سیف و ابراهیمی (۲۰۱٤) به شناسایی سیرک‌های یخچالی در این ارتفاعات مبادرت گردید. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper محدوده مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر برش داده شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc Gis10.5، نقشه Hillshade (سایه روشن)، نقشه شیب کلاس‌بندی، نقشه جهت شیب و منحنی‌های میزان ساخته شد. 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 ۱۰۰۰۰۰: ۱، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت به وسیله نرم‌افزارهای Arc Gis و Portable Basemap Server V3.1 انطباق داده شد. سپس خط‌الرأس‌های 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 بر اساس متد sife and ebrahimi(۲۰۱٤) در ۹ کلاس طبقه‌بندی و محل دقیق سیرک‌های یخچالی بر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

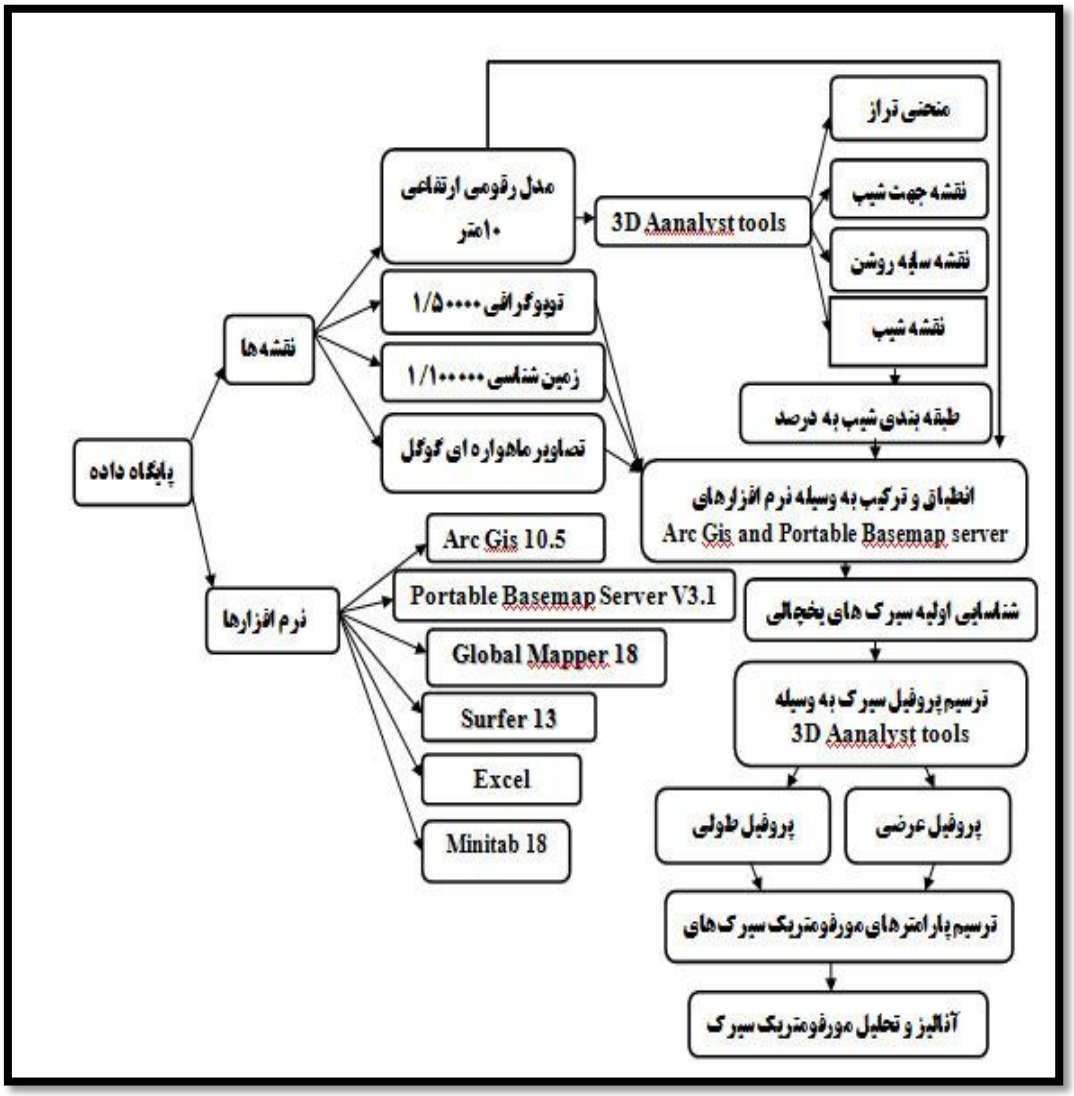
روی آن تعیین گردید. برای دقت بیش‌ترین و بالا بردن صحت کار پروفیل طولی و عرضی سیرک‌ها با استفاده از ابزار ۳ D Analyst Tools ترسیم و لند فرم‌هایی که سیرک واقعی بودند تشخیص داده شد و در دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترکیبی ترسیم شدند. برای آنالیز و مورفومتری سیرک‌ها از پارامترهای مورفومتریک شامل: طول 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. همچنین پارامترهایی مانند نسبت طول به عرض (L/W)، نسبت طول به ارتفاع (L/H) و نسبت عرض به ارتفاع کف سیرک (W/H) در محیط نرم‌افزار Excel اندازه‌گیری و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت (شکل ۳). جهت طبقه‌بندی و رده‌بندی سیرک‌ها 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،5-N رده‌بندی گردید. در این رده‌بندی گروه N-1: سیرک‌های این گروه به‌خوبی توسعه یافته‌اند. گروه N-2: سیرک‌های این گروه به‌خوبی توسعه یافته‌اند اما توسعه آن‌ها کم تر از گروه N1 است. گروه N-3: سیرک‌های این گروه به‌خوبی توسعه نیافته‌اند اما آثار کندوکاو یخچالی در آن‌ها دیده می‌شود. گروه N-4: اشکالی با ظاهرسیرک‌های 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 توسعه یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند (seif, 2015) (Vilborg, 1984). پروفیل طولی سیرک‌های یخچالی فرم سهمی دارند. توابع ریاضی یک متغیره زیادی برای شبیه‌سازی و بیان مورفولوژیک نیمرخ طولی سیرک‌ها ارائه شده است. مثالی از روابط ریاضی جهت آنالیز دیواره سیرک‌ها توسط گراف در کوه‌های راکی ارائه شده است. وی نشان داد که مقطع طولی یک سیرک یخچالی را می‌توان توسط یک مدل توانی به فرم ($y = ax^b$) شبیه‌سازی کرد (Graf, 1976). برای انجام عملیات آلومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات پلوار از مدل توانی برازش به فرم ($y = ax^b$) شده استفاده شده است.



شکل ۹: تغییر پروفیل سیرک با کمک معادله توانی که پایین‌ترین نقطه سیرک را از لبه پایینی سیرک تا بالاترین نقطه بالایی دیواره سیرک نشان می‌دهد (سمت راست). (Graf, 1976). نیمرخ فرضی رده‌های مختلف سیرک‌های یخچالی در امتداد طولی (سمت چپ)(Vilborg, 1984)

Figure 9: Change profiles cirque with the help of the power equation, the lowest point to the highest point of cirque from the bottom edge of the upper wall of the cirques show (right) (Graf, 1976). hypothetical profile of a different category glacial cirque along Longitudinal (left) (Vilborg, 1984)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



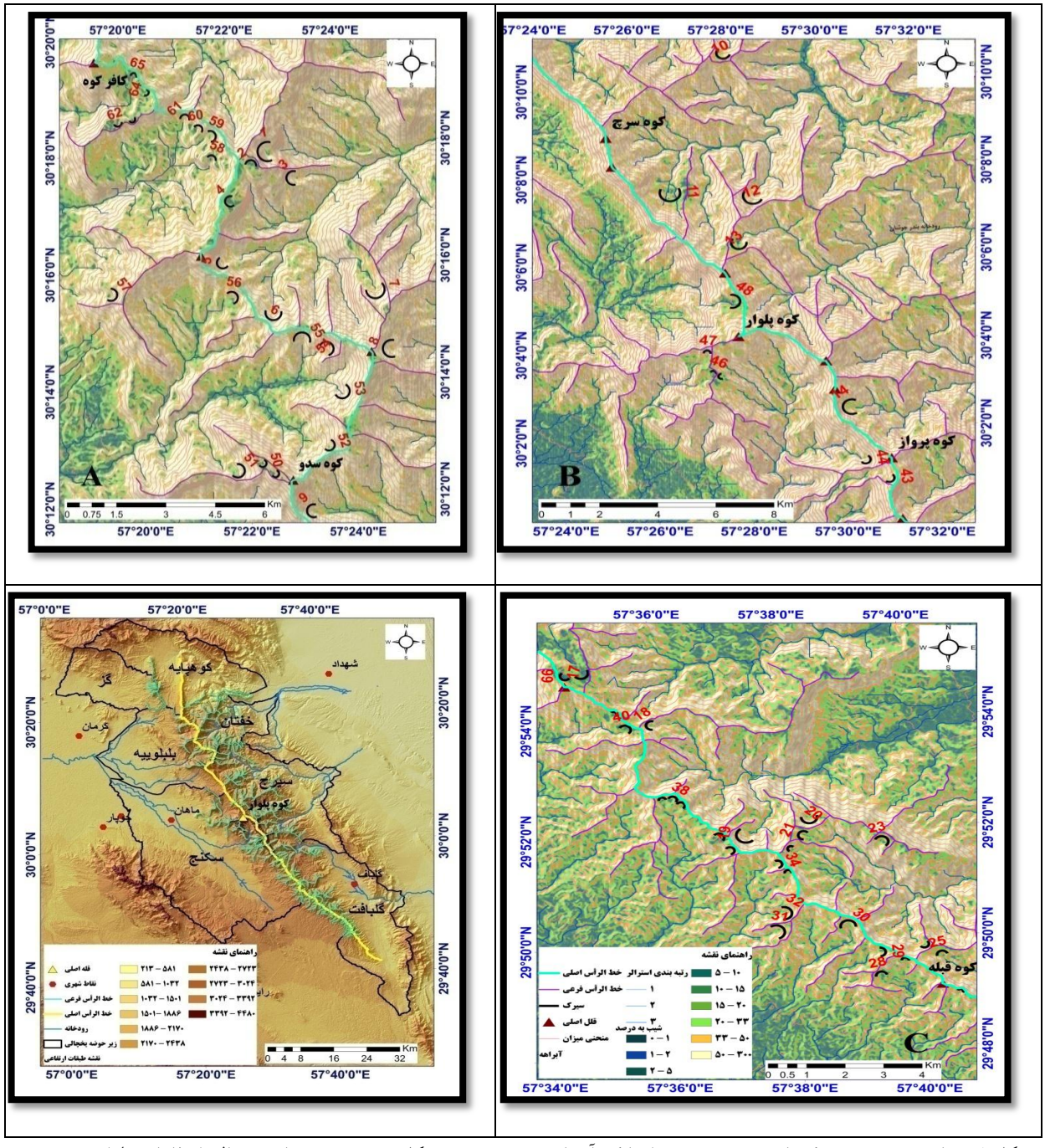
شکل ۳: مدل مفهومی تحقیق

Figure 3: Conceptual Model of Research

یافته‌ها و بحث

برای شناسایی، مکان‌یابی و ترسیم دقیق سیرک‌های یخچالی محدوده مورد مطالعه به ۷ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده است (شکل ٤). بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید تعیین سیرک‌های یخچالی تعداد ٦٦ سیرک یخچالی موجود در منطقه شناسایی و به صورت خطی و پلیگونی در روی نقشه شیب کلاس‌بندی شده ترسیم شدند (شکل ۵).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٤: تصاویر A، B، C سیرک‌های ترسیم شده همراه با کد آن‌ها

Figure 4: Images A, B, C cirques drawn with their code

شکل ٥: زیر حوضه‌های یخچالی ارتفاعات پلوار

Figure 5: sub-basin glacier of the mountain Polvar

توزیع فضایی و فراوانی سیرک‌های ارتفاعات پلوار

جهت ناهمواری‌های پلوار شمال‌غربی–جنوب‌شرقی است. مهم‌ترین ستیغ‌های برجسته این ارتفاعات را رسوبات آهکی کرتاسه تشکیل می‌دهد. تفاوت فرسایش‌پذیری بین ستیغ‌های کربناتی کرتاسه، ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها و رسوبات

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تبخیری ژوراسیک موجب پیدایش دندانه‌هایی در پستی‌وبلندی این بخش گشته است. توزیع فضایی سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی و غربی این ناهمواری‌ها بیش‌ترین از جنس زمین تبعیت می‌کند. دامنه‌های شرقی (از شمال‌شرق تا جنوب‌شرق) از جنس سنگ‌آهک، کنگلومرا با جورشدگی متوسط، ماسه‌سنگ و شیل قرمز تشکیل شده است به همین علت سیرک‌های یخچالی بیش‌ترینی در این دامنه‌ها به‌وجود آمده است. دامنه‌های غربی (از شمال‌غرب تا جهت جنوب‌غربی) از جنس گنبد ریولیتی، توف‌های شیشه‌ای، ماسه‌سنگ سفید کوارتزی و سنگ‌آهک ضخیم لایه‌ای تشکیل شده است در نتیجه سیرک‌های کم‌تری نسبت به دامنه شرقی دارند. شکل‌گیری سیرک‌های یخچالی در منطقه تا حدود زیاد به نحوه تشکیل ناهمواری‌ها و جنس ناهمواری‌ها بستگی دارد. در این ناهمواری‌ها عامل ارتفاع، جهت ناهمواری‌ها، دامنه‌های رو به آفتاب و پشت به آفتاب تأثیر چندانی در شکل‌گیری سیرک‌های منطقه نداشته است. در طی دوره‌های مختلف یخچالی برف‌گیری و یخچال‌زایی در این ارتفاعات باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی شده است به طور کلی از ٦٦ سیرک یخچالی در ارتفاعات پلوار، ۱۲/۲۹ درصد از کل سیرک‌ها در جهت شمال، ٤١/٤٢ درصد در جهت شرق، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی، ۹/۷۱ درصد در جهت جنوب، ٣٦/٥٤ درصد در غرب، شمال‌غرب و جهت جنوب‌غربی قرار دارند (جدول ۱).

جدول ۱- درصد فراوانی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات پلوار

Table 1- Percentage Frequency of glacial cirques heights Polvar

جهت سیرک	شمال	شمال‌شرق	شرق	جنوب‌شرق	جنوب	جنوب‌غربی	غرب	شمال‌غرب	شمال
درصد فراوانی سیرک‌ها	٦/٨١	١٦/٧٧	١٣/٨٥	١٠/٨٠	٩/٧١	١٢/٩٣	١٢/١٦	١١/٤٥	٥/٤٨

رده‌بندی سیرک‌های یخچالی محدوده مورد مطالعه

از تحلیل تعداد ٦٦ سیرک یخچالی تشکیل شده در ارتفاعات پلوار، طبق رده‌بندی ویلبورگ و رودبرگ تعداد ۱ سیرک معادل با ۱/۵۲ درصد از کل سیرک‌ها در رده N1، تعداد ٤ سیرک معادل با ٦/٠٦ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2 و تعداد ۱۳ سیرک معادل با ۱۹/۷۰ درصد از کل سیرک‌ها در رده N3 قرار می‌گیرند. همچنین تعداد ١٦ سیرک معادل ٢٤/٢٤ درصد در رده N4 و تعداد ۳۲ سیرک معادل ٤٨/٤٨ درصد از کل سیرک‌های یخچالی موجود در محدوده مورد مطالعه در رده N5 قرار دارند. طبق رده‌بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۱ سیرک در رده کلاسیک، ٤ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، ۱۳ سیرک در رده قطعی، ١٦ سیرک در رده ضعیف و تعداد ۳۲ سیرک یخچالی در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۲).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

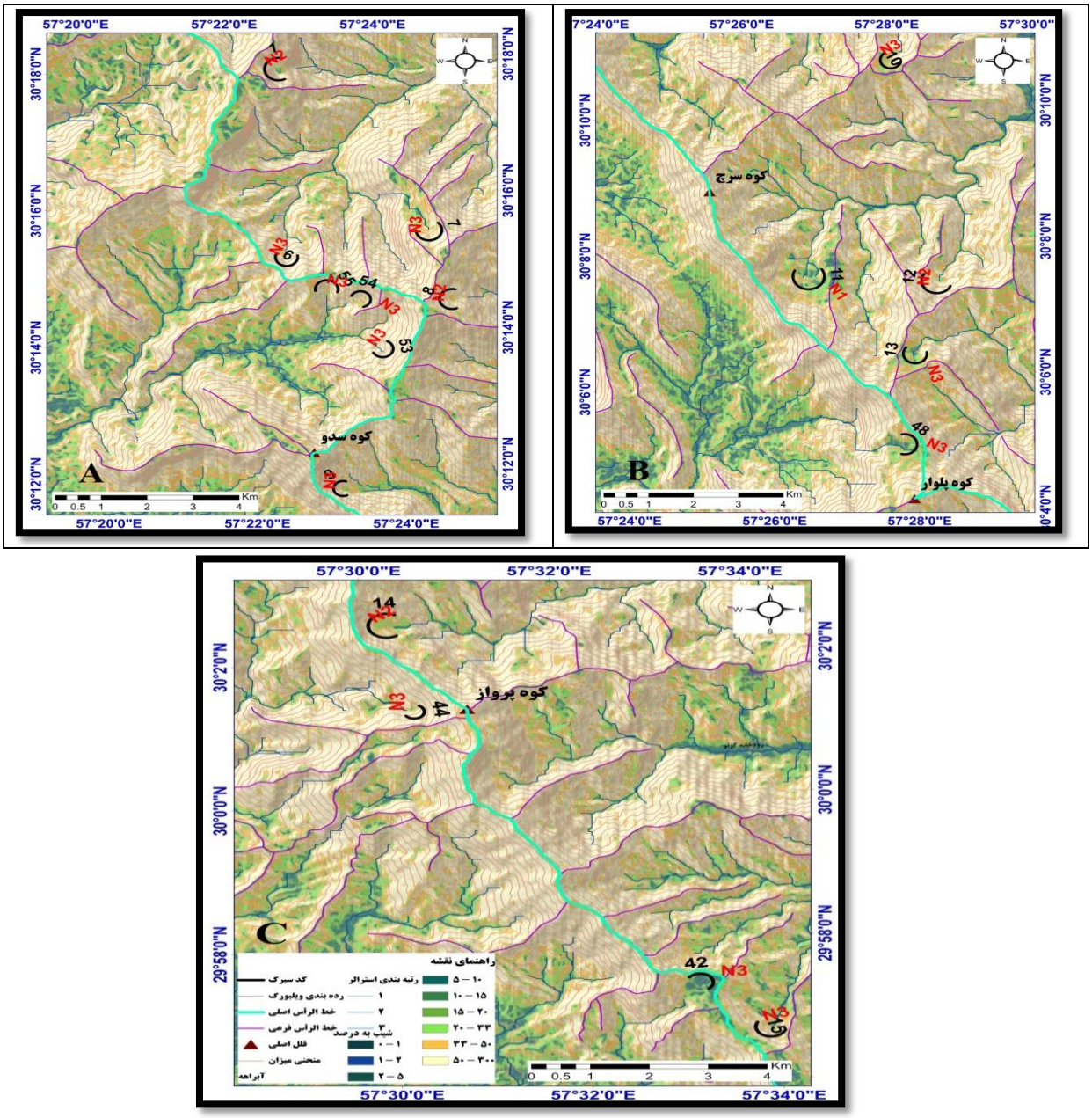
جدول ۲- رده‌بندی سیرک‌های ارتفاعات پلوار به روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس

Table 2- Classification of cirques heights of Polvar by Wilburg and Rudberg, Evans and Cox method

روش رده بندی سیرک		تعداد	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	درصد	بیش‌ترین	کم‌ترین	دامنه تغییرات
ویلبورگ و رودبرگ	Evans And Cox	محور طولی سیرک (متر)							
N1	کلاسیک	۱	*	*	۱٤٦۲/۸	۱/۵۲	۱٤٦۲/۷	۱٤٦۲/۷	۰
N2	خوب و توسعه یافته	٤	۱۰/۱۲	۸۹	۸۷۹/۳	٦/۰٦	۹۵۸/۸	۷۹۹/۹	۱۵۸/۸
N3	قطعی	۱۳	۷/٤٤	۵٤/۵	۷۳۲/٤	۱۹/۷۰	۸٤۵/۱	٦۵۸/۹	۱۸٦/۲
N4	ضعیف	۱٦	۱٤/۲٦	۸۰/٦	۵٦۵/٦	۲٤/۲٤	٦۹۹/٦	٤۰۷/۵	۲۹۲/۲
N5	مرزی	۳۲	۲۰/۳۹	۷۲	۳۵۳/۳	٤۸/٤۸	۵۵۱/۷	۲۲٦/۱	۳۲۵/٦
		محور عرضی سیرک (متر)							
N1	کلاسیک	۱	*	*	۱۱٦۸/۹	۱/۵۲	۱۱٦۸/۹	۱۱٦۸/۹	۰
N2	خوب و توسعه یافته	٤	۱۳/۹۲	۱۰٦/٤	۷٦٤/۳	٦/۰٦	۸٤۲/۱	٦۰۹/۵	۲۳۲/٦
N3	قطعی	۱۳	٦/۱۹	۳۷/۷	٦۱۰/۱	۱۹/۷۰	٦۷۳/۳	۵۵٤/٦	۱۱۸/۷
N4	ضعیف	۱٦	۱۳/۹۸	٦۲/۳	٤٤۵/۹	۲٤/۲٤	۵۰۲/۷	۲٦٦/٤	۲۳٦/۳
N5	مرزی	۳۲	۱۹/۳٤	۵۷/۷	۲۹۸/۱	٤۸/٤۸	٤۳۸/۵	۲۱۵/۱	۲۲۳/٤

میانگین محور طولی سیرک رده N1 یا کلاسیک ۱٤٦۲/۸ متر است. با توجه به این‌که تعداد ۱ سیرک یخچالی در رده N1 در این ارتفاعات وجود دارد ضریب تغییرات برای محور طولی و عرضی این سیرک لحاظ نشده است. میانگین محور عرضی این سیرک برابر با ۱۱٦۸/۹ متر است. به‌طور کلی میانگین محور طولی سیرک‌های یخچالی رده N1، N2، N3 از میانگین محور عرضی این سیرک‌ها بیش‌ترین است. سیرک‌های این رده شکلی کشیده و طولی دارند. در سیرک‌های این رده ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های رده N2 برابر با ۱۳/۹۲ متر است در حالی که ضریب تغییرات محور طولی این سیرک‌ها ۱۰/۱۲ متر است. افزایش ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های رده N2 نتیجه تخریب دیواره این سیرک‌ها به علت تمرکز یخ و برف و عمل انجماد و ذوب ناشی از آن در طی فصل سرد به علت ارتفاع زیاد این ناهمواری‌ها می‌باشد که باعث عریض شدن این سیرک‌ها در طول زمان شده است. با توجه به این موضوع این سیرک‌ها نسبت به سیرک‌های رده N3 زودتر به مرحله تکامل می‌رسند و شکل نهایی و واقعی خود را تثبیت خواهند کرد. همچنین با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، این ناهمواری‌ها بیش‌ترین از رسوبات تبخیری و قابل انحلال مثل آهک تشکیل شده‌اند و پدیده کارست در این محدوده فعال است. به همین دلیل سیرک‌های رده N2، N3 فرصت توسعه و تکامل پیدا کرده‌اند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



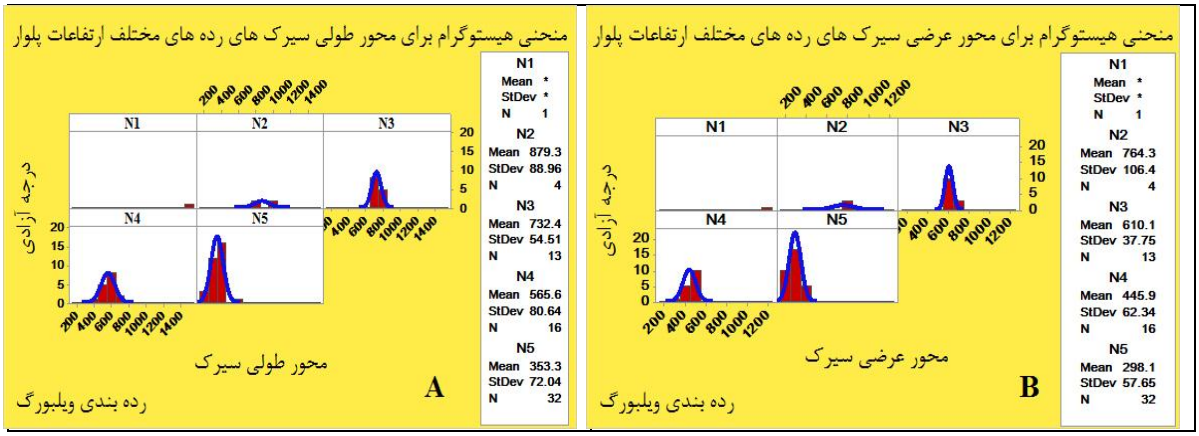
شکل ٦: نقشه‌های A، B و C سیرک‌های رده N1، N2، N3 پیاده شده بر روی نقشه شیب و سایه روشن محدوده مورد مطالعه

Figure 6: Maps of A, B, C cirques class N1, N2, N3 executed on the slope map and hillshade the of the studied area.

در محدوده مورد مطالعه میانگین محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 بیش‌ترین از میانگین محور عرضی سیرک‌های این رده است. همچنین ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های این رده بیش‌ترین از ضریب تغییرات محور عرضی آن‌ها است. ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N4 برابر با ١٤/٢٦ متر با انحراف معیار ٨٠/٦ و برای سیرک‌های رده N5 برابر با ٢٠/٣٩ متر با انحراف معیار ٧٢ است. در صورتی که این ضریب برای محور عرضی سیرک‌های رده N4، ١٣/٩٨ متر و برای سیرک‌های رده N5 برابر با ١٩/٣٤ متر است. (جدول ٢ و شکل ٧). سیرک‌های رده N4 و N5 موسوم به گروه شبه سیرک نیز شکلی کشیده و طولی دارند و در جهت دره کشیده شده-

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

اند. این سیرک‌ها کم‌تر تحت تأثیر فرسایش یخچالی قرار گرفته‌اند و برای تکامل و توسعه خود باید تحت تأثیر دوره‌های متفاوت یخچالی قرار گیرند. به همین علت تعداد سیرک‌های رده N4 و N5 از سیرک‌های رده N1، N2، N3 در این منطقه بیش‌ترین است.



شکل ۷: منحنی هیستوگرام رده‌بندی ویلبورگ بر روی محور طولی A و عرضی B سیرک‌های ارتفاعات پلوار

Figure 7: Weilberg classification histogram curves on the longitudinal axis A and lateral B of the cirques elevation circles

تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N1 و N2 و N3

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N3،N2،N1 برابر با ۸۰۵/٦ متر با ضریب تغییرات ۲۲/۹۸ متر و میانگین محور عرضی آن‌ها برابر با ٦۷۵/٤ متر با ضریب تغییرات ۲۲/۱۸ متر است. بر اساس این نتایج سیرک‌های این رده در جهت طولی گسترش یافته و شکلی طولی دارند. در نتیجه حرکت طولی یخچال‌ها در گذشته در امتداد دره‌های یخچالی باعث گسترش محور طولی سیرک‌های این رده شده است. به طوری که میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌های این رده برابر با ۱/۱۹٦ متر با ضریب تغییرات ۸/۲۵ متر است. در حال حاضر ضریب تغییرات محور عرضی و طولی سیرک‌های رده N3،N2،N1 تقریبا برابر است ولی ضریب تغییرات محور طولی کمی بیش‌ترین است. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، بارش کم برف و حجم کم برف و یخ در سیرک‌های این ارتفاعات در طی فصل سرد سال، فرسایش یخچالی به‌خوبی نتوانسته باعث فرسایش و تخریب دیوارهای جانبی سیرک‌ها و افزایش محور عرضی آن‌ها شود. این عامل بر اندازه و بزرگی سیرک‌ها تأثیر گذاشته است به‌طوری که کم ترین میزان اندازه سیرک‌های **رده** N3،N2،N1 برابر با ۱۰۷٤/۲ متر و بیش‌ترین آن ۱٦۹۸/۳ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۷۱/۳۷± ٦۲٤/۱ است. ارتفاع نقطه کف این سیرک‌ها بین ۲۸۲۷ تا ۳٦۰۳ متر متغیر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۲۱٤ متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۲۵۵ متر است. تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده نسبت به تغییرات عمق سیرک بیش‌ترین است. قدرت حرکت و فرسایش

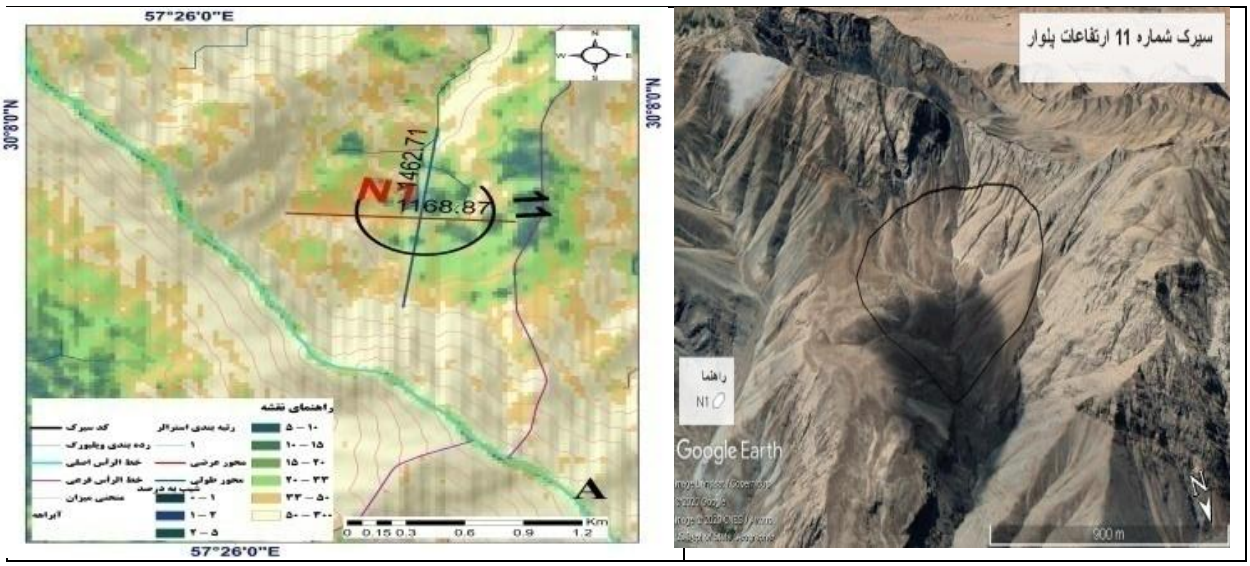
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

یخچال‌ها در این سیرک‌ها بسیار کم است و نمی‌تواند باعث عمیق شدن سیرک‌های این رده در ارتفاعات پلوار شود (جدول ۳).

جدول ۳- آنالیز پارامترهای مورفومتری ۱۸ سیرک رده N1 و N2 و N3 در ارتفاعات پلوار

Table 3- Analysis morphometric parameters cirque 134 of Category N1 and N2 and N3 in the elevations Polvar

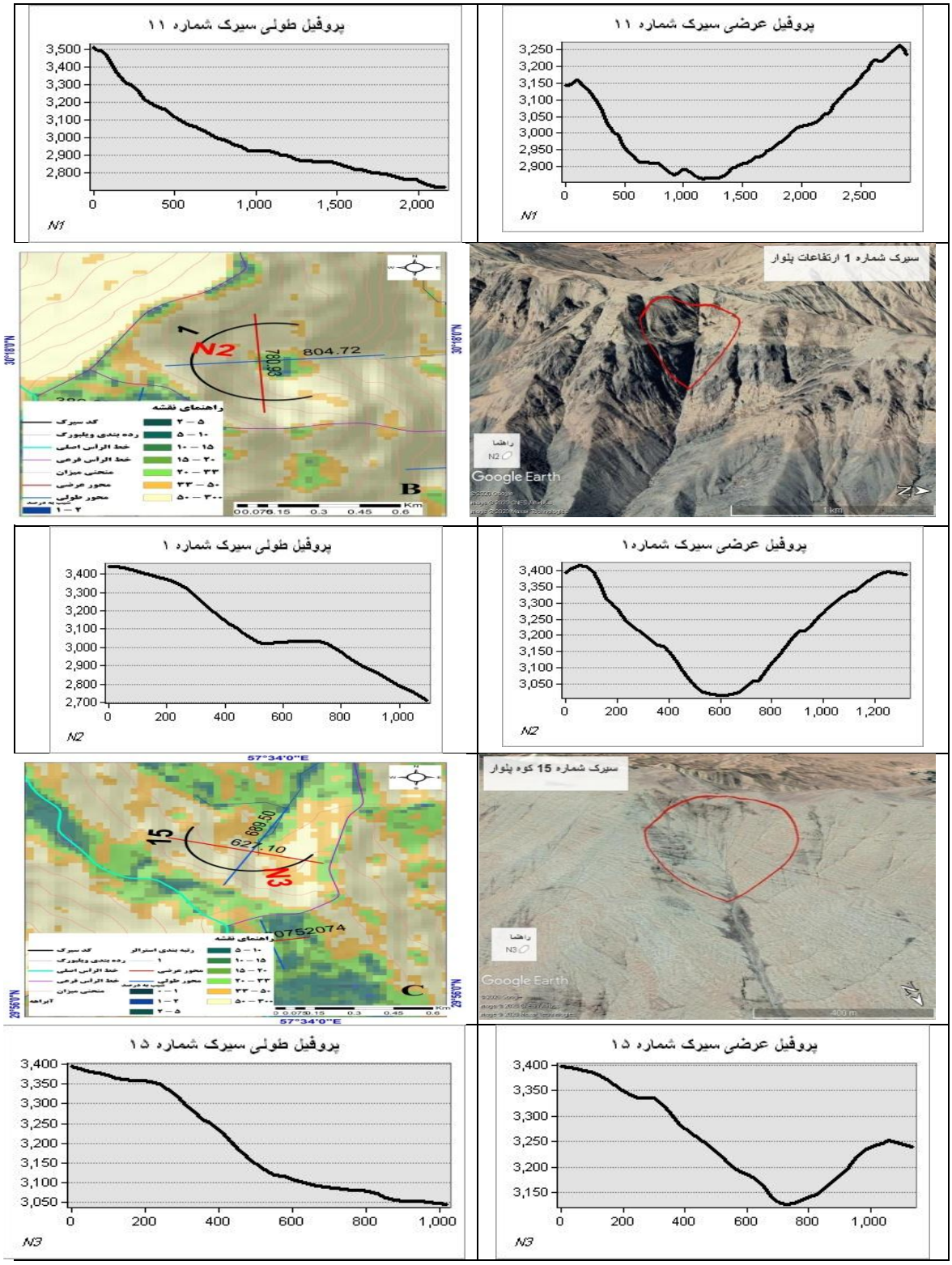
پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N1 و N2 و N3 (متر)	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک	۱۸	۲۲/۹۸	۱۸۵/۱	۸۰۵/٦	٦۵۸/۹	۱٤٦۲/۷	۸۰۳/۸± ۷۳/۰۸
محور عرضی سیرک	۱۸	۲۲/۱۸	۱٤۹/۸	٦۷۵/٤	۵۵٤/٦	۱۱٦۸/۹	٦۱٤/۳±٦۹/۲۵
ارتفاع نقطه کف سیرک	۱۸	۷/٦۸	۲٤۵/۳	۳۱۹٤/۹	۲۸۲۷	۳٦۰۳	۷۷٦±۱۱۳/۳۹
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک	۱۸	٦/۵۹	۲۳۲/۹	۳۵۳۱/۹	۳۰٤۳	۳۹۱٤	۸۷۱±۱۰۷/٦٦
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)	۱۸	۲۷/٦۵	۰/۰۵۹۲	۰/۲۱٤۰	۰/۱٦۰۸	۰/٤۰۸۰	۰/۲٤۷۲±۰/۰۲۷
اندازه سیرک	۱۸	۱۲/۹۲	۱۵٤/٤	۱۱۹٤/۵	۱۰۷٤/۲	۱٦۹۸/۳	٦۲٤/۱±۷۱/۳۷
نسبت طول به عرض	۱۸	۸/۲۵	۰/۰۹۹	۱/۱۹٦۱	۰/۰۳۱	۱/٤٤۱۲	۰/٤۱۱±۰/۰٤٦
مساحت سیرک	۱۸	۵۷/۵۳	۲۳۵۹۳۰	٤۱۰۰۸٦	۲٦۰٤۸۷	۱۲۸۱۲۰۸	۱۰۲۰۷۲۰±۱۰۹۰٦۱/۹۸
محیط سیرک	۱۸	۲۳/۱۳	۵۲۷	۲۲۸۰	۱۸۷٤	٤۱۲۹	۲۲۵٦±۲٤۳/٦۱
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۱۸	۸/٦۷	۲٦٦/۸	۳۰۷۹	۲٦٦۷	۳۵۷۵	۹۰۸±۱۲۳/۳۳
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۱۸	۲۸/۱۰	۰/۰۷۱٦	۰/۲۵٤۹	۰/۱٦۵۱	۰/۵۱۰۵	۰/۳۱۵٤±۰/۰۳۳



شکل ۸: تصاویر ماهواره‌ای سمت راست، نقشه DEM وسط، پروفیل طولی و عرضی سیرک‌های رده‌های مختلف سمت چپ

Figure 8: The right Satellite Images, maps DEM center, longitudinal and lateral profiles of different categories cirques left

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ۸: تصاویر ماهواره‌ای سمت راست، نقشه DEM وسط، پروفیل طولی و عرضی سیرک‌های رده‌های مختلف سمت چپ

Continue Figure 8: The right Satellite Images, maps DEM center, longitudinal and lateral profiles of different categories cirques left

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N4 و N5

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N5، N4 برابر با ٤٢٤ متر با ضریب تغییرات ۲۹/۵۸ متر و میانگین محور عرضی آن‌ها برابر با ۳٤۷/٤ متر با ضریب تغییرات ۲٦/۳۷ متر است. میانگین نسبت طول به عرض این سیرک‌ها برابر با ۱/۲۲۵ متر با ضریب تغییرات ۱۸/۷۸ متر است. ضریب تغییرات در امتداد محور طولی این سیرک‌ها بیش‌ترین است و سیرک‌های این رده در نیز جهت طولی گسترش یافته و شکلی طولی دارند. سیرک‌های این رده مانند سیرک‌های رده N1، N2، N3 دارای تغییراتی در جهت محور طولی هستند. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۱۹۱۰۰ متر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۱۱۰۳ متر است. در هر دو پارامتر هم نسبت طول و هم نسبت عرض به عمق دارای تغییرات بیش‌تری هستند. حجم یخ و برف در این سیرک‌ها آنقدر زیاد نبوده که بتواند باعث عمیق شدن عمق سیرک‌ها گردد در نتیجه عمق سیرک‌های رده N4 و N5 منطقه برای نگهداری یخ و برف کم است. میانگین ارتفاع کف این سیرک‌ها ۳۱٦۲/۹ متر است و کم‌تر از میانگین ارتفاع کف سیرک‌های رده N1، N2، N3 است. اندازه سیرک‌های این رده از رده N1، N2، N3 کم‌تر است ولی ضریب تغییرات آن‌ها بیش‌ترین است. کم‌ترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 ۵۳۷/٦ متر و بیش‌ترین آن ۱۰۰٦/۱ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ٤٦۸/٦±۳۸/۳۸ است. در نتیجه سیرک‌های این رده هنوز تکامل و توسعه پیدا نکرده‌اند و باید مدت زمان طولانی در معرض فرسایش یخچالی قرار گیرند که تکامل پیدا کنند (جدول ٤).

جدول ٤- آنالیز پارامترهای مورفومتری ٤۸ سیرک رده N4 و N5 در ارتفاعات پلوار

Table 4- Analysis morphometric parameters cirque 107 of Category N4 and N5 in the elevations Polvar

پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های 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	٤۸	۲۹/۵۸	۱۲۵/٤	٤۲٤	۲۲٦/۱	٦۹۹/٦	٤۷۳/۵± ۳۵/٤۷
محور عرضی سیرک	٤۸	۲٦/۳۷	۹۱/٦	۳٤۷/٤	۲۱۵/۱	۵۰۲/۷	۲۸۷/۷±۲۵/۹۱
ارتفاع نقطه کف سیرک	٤۸	۸/٤۳	۲٦٦/٦	۳۱٦۲/۹	۲٦۳۹	۳۹۲٦	۱۲۸۷±۷۵/٤۰
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک	٤۸	۷/۸٦	۲۵۵/۹	۳۲۵۷/۹	۲۹۰۰	٤۰٦٦	۱۱٦٦±۷۲/۳۸
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)	٤۸	۲۹/۵۵	۰/۰۳۳	۰/۱۱۱۰۳	۰/۰٦۲	۰/۱۸۸	۰/۱۲٦۲±۰/۰۰۹۳
اندازه سیرک	٤۸	۱۷/۷۱	۱۳۵/۷	۷٦٦/٦	۵۳۷/٦	۱۰۰٦/۱	٤٦۸/٦±۳۸/۳۸
نسبت طول به عرض	٤۸	۱۸/۷۸	۰/۰۵۳	۱/۲۲۵	۰/۹۹۷	۲/٦۲٦	۱/٦۲۹±۰/۰۱۵
محیط سیرک	٤۸	٤۲۱/۳۱	۱۲۸۵٦	۳۰۵۱	٦۹۱	۹۰۲۳٦	۸۹۵٤۵±۳٦۳٦/۰٤
مساحت سیرک	٤۸	۵۵/۹۱	٦٤۰۵٤	۱۱٤۵٦۸	۳۵۷۱۱	۲۷۹۵۷۷	۲٤۳۸٦۵±۱۸۱۱٦/۲۸
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	٤۸	۸/۷۳	۲۷۲/۳	۳۱۱۹/۹	۲۵۵۵	۳۸۲۹	۱۲۷٤±۷۷/۰۱
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۱۰۷	۲٤/۲۷	۰/۰٤٦٤	۰/۱۹۱۰۰	۰/۱۰۹۳۱	۰/۳۷۱۰۰	۰/۲٦۱۷±۰/۰۰۸۸

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تحلیل وضعیت آلومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات پلوار

ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N1، N2، N3 برابر با ۱/۱۲ است. ضریب تغییرات ضریب a برای محور عرضی این سیرک‌ها ۳/۷۳ است. ضریب همبستگی برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N1، N2، N3 برابر با ۰/۸۷ است که بیش‌ترین از ضریب همبستگی برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N4 و N5 است. میزان ضریب همبستگی در سیرک‌های این رده حاکی از این است که بین گسترش محور طولی، عرضی، بزرگی و اندازه سیرک‌ها رابطه نزدیکی وجود دارد. با افزایش محور طولی و عرضی، سیرک‌ها بزرگ‌تر و متکامل‌تر می‌شوند. میانگین ضریب b برای سیرک‌های رده N1، N2، N3 برابر با ۱/۰۱۷۱ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۳۲ است. در سیرک‌های رده N1، N2، N3، B >1 است. در این سیرک‌ها تا حدودی وضعیت آلومتری برقرار است. ولی در سیرک‌های رده N4 و N5، B <1 است. برای این سیرک‌ها رفتار آلومتری منفی است. ضرایب پایین b برای سیرک‌های این رده بیانگر فرسایش اندک یخچالی و عدم تکوین و تکامل سیرک‌ها است. همچنین ضریب همبستگی پایینی بین اجزای این سیرک‌ها وجود دارد. ضریب همبستگی در سیرک‌های این رده برابر ۰/۷۲ است که این عامل نتیجه عدم توسعه و تکامل سیرک‌های این رده است. نتیجه حاصل از بررسی آلومتریک سیرک‌های رده N4 و N5 در این محدوده بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریک (الگوی رشد) سیرک‌های این رده با دیگر نواحی یخچالی دنیاست. همچنین با توجه به مطالعات انجام گرفته در ایران رفتار آلومتری این سیرک‌ها با رفتار آلومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات زاگرس، زردکوه و گرین تطابق ندارد. با توجه به افزایش ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های هر دو رده هم در سیرک‌های تکامل یافته و هم در شبه سیرک تا حدودی رفتار ایزومتری برقرار است (جدول ۵).

جدول ۵- تعیین ضریب b و a و ضریب همبستگی (معادله توانی) برازش شده برای محور طولی و عرضی سیرک‌های ارتفاعات پلوار

Table 5- Determination of the coefficient b and a the correlation coefficient (power equation) fitted to the Longitudinal and latitudinal axis of the cirques in the elevations Polvar

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	٤٨	٥/٠٤	٠/٧٢	٠/٠٤٧	٠/٩٣٢	٠/٨٨٧	١	٠/١١٣±٠/٠١٣٣
	N1 ،N2 ،N3	١٨	١/١٢	٠/٨٧	٠/٠١١٤	١/٠١٧١	٠/٠٢٤٩	١	٠/٠٢٥±٠/٠٠٥٣
ضریب a	N4 ،N5	٤٨	١٠/٥٢	٠/٧٢	٠/٠٨٩	٠/٨٤٩٤	٠/٧٥٩	١	٠/٢٤١٣±٠/٠٢٥
	N1 ،N2 ،N3	١٨	٣/٧٣	٠/٨٧	٠/٠٣٥٣	٠/٩٤٨٤	٠/٩١٤٦	١	٠/٠٨٥٤±٠/٠١٦

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتیجه‌گیری

جهت ناهمواری‌های پلوار شمال‌غربی–جنوب‌شرقی است. مهم‌ترین ستیغ‌های برجسته این ارتفاعات را رسوبات آهکی کرتاسه تشکیل می‌دهد. تفاوت فرسایش‌پذیری بین ستیغ‌های کربناتی کرتاسه، ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها و رسوبات تبخیری ژوراسیک موجب پیدایش دندانه‌هایی در پستی‌وبلندی این بخش گشته است. توزیع فضایی سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی و غربی این ناهمواری‌ها بیش‌ترین از جنس زمین تبعیت می‌کند. دامنه‌های شرقی (از شمال‌شرق تا جنوب‌شرق) از جنس سنگ‌آهک، کنگلومرا با جورشدگی متوسط، ماسه‌سنگ و شیل قرمز تشکیل شده است به همین علت ٤١/٤٢ درصد از کل سیرک‌های یخچالی در این دامنه‌ها قرار گرفته است. دامنه‌های غربی (از شمال‌غرب تا جهت جنوب‌غربی) از جنس گنبد ریولیتی، توف‌های شیشه‌ای، ماسه‌سنگ سفید کوارتزی و سنگ‌آهک ضخیم لایه‌ای تشکیل شده است در نتیجه ٣٦/٥٤ درصد از کل سیرک‌های یخچالی در این دامنه قرار گرفته است. شکل‌گیری سیرک‌های یخچالی در منطقه تا حدود زیاد به جنس و نحوه تشکیل ناهمواری‌ها بستگی دارد. از تحلیل تعداد ٦٦ سیرک یخچالی شناسایی شده در ارتفاعات پلوار، بر اساس رده‌بندی ویلبورگ و رودبرگ تعداد ١ سیرک معادل با ١/٥٢ درصد از کل سیرک‌ها در رده N1، تعداد ٤ سیرک معادل با ٦/٠٦ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2 و تعداد ١٣ سیرک معادل با ١٩/٧٠ درصد از کل سیرک‌ها در رده N3 قرار می‌گیرند. همچنین تعداد ١٦ سیرک معادل ٢٤/٢٤ درصد در رده N4 و تعداد ٣٢ سیرک معادل ٤٨/٤٨ درصد از کل سیرک‌های یخچالی موجود در محدوده مورد مطالعه در رده N5 قرار دارند. طبق رده‌بندی ایوانس و کوکس، تعداد ١ سیرک در رده کلاسیک، ٤ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، ١٣ سیرک در رده قطعی، ١٦ سیرک در رده ضعیف و تعداد ٣٢ سیرک یخچالی در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. از آنالیز سیرک‌های رده‌های مختلف ارتفاعات پلوار نتیجه می‌گیریم که این سیرک‌ها در جهت طولی گسترش یافته و شکلی طولی دارند. به‌طوری که هم در سیرک‌های توسعه یافته (رده N1، N2، N3) و هم در گروه موسوم به شبه سیرک (رده N4 و N5) میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها بیش‌ترین است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌های رده N1، N2، N3، برابر با ١/١٩٦ متر با ضریب تغییرات ٨/٢٥ متر است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌های رده N4 و N5، برابر با ١/٢٢٥ متر با ضریب تغییرات ١٨/٧٨ متر است. در نتیجه حرکت طولی یخچال‌ها در گذشته در امتداد دره‌های یخچالی باعث گسترش محور طولی سیرک‌های یخچالی در این ارتفاعات شده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، بارش کم برف و حجم کم برف و یخ در سیرک‌های این ارتفاعات در طی فصل سرد سال، فرسایش یخچالی به‌خوبی نتوانسته باعث فرسایش و تخریب دیوارهای جانبی سیرک‌ها و افزایش محور عرضی آن‌ها شود. این عامل بر اندازه و بزرگی سیرک‌ها تأثیر گذاشته است به‌طوری که کم‌ترین میزان اندازه سیرک‌های **رده** N1، N2، N3، ١٠٧٤/٢ متر و بیش‌ترین آن ١٦٩٨/٣ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ٩٥ درصد ٧١/٣٧± ٦٢٤/١ است. کم‌ترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 ٥٣٧/٦ متر و بیش‌ترین آن ١٠٠٦/١ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ٩٥ درصد ٣٨/٣٨±٤٦٨/٦ است. در تمام سیرک‌های تشکیل شده در این ارتفاعات تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌ها نسبت به تغییرات

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

عمق سیرک بیش‌ترین است. قدرت حرکت و فرسایش یخچالی در این سیرک‌ها بسیار کم است و نمی‌تواند باعث عمیق شدن سیرک‌ها در ارتفاعات پلوار شود. ضریب همبستگی برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N1، N2 ، N3 برابر با ۰/۸۷ است که بیش‌ترین از ضریب همبستگی برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N4 و N5 است. میزان ضریب همبستگی در سیرک‌های این رده حاکی از این است که بین گسترش محور طولی، عرضی، بزرگی و اندازه سیرک‌ها، رابطه نزدیکی وجود دارد. با افزایش محور طولی و عرضی، سیرک‌ها بزرگ‌تر و متکامل‌تر می‌شوند. میانگین ضریب b برای سیرک‌های رده N1، N2، N3 برابر با ۱/۰۱۷۱ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۳۲ است. در سیرک‌های رده N1، N2، N3، B >1 است. در این سیرک‌ها تا حدودی وضعیت آلومتری برقرار است. ولی در سیرک‌های رده N4 و N5، B <1 است برای این سیرک‌ها رفتار آلومتری منفی است. ضرایب پایین b برای سیرک‌های این رده بیانگر فرسایش اندک یخچالی و عدم تکوین و تکامل سیرک‌های این رده است. همچنین ضریب همبستگی پایینی بین اجزای این سیرک‌ها وجود دارد. ضریب همبستگی در سیرک‌های این رده برابر ۰/۷۲ است که این عامل نتیجه عدم توسعه و تکامل سیرک‌های این رده است. نتیجه حاصل از بررسی آلومتریک سیرک-های رده N4 و N5 در این محدوده بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریک (الگوی رشد) سیرک‌های این رده با دیگر نواحی یخچالی دنیاست. همچنین با توجه به مطالعات انجام گرفته در ایران رفتار آلومتری این سیرک‌ها با رفتار آلومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات زاگرس، زردکوه و گرین تطابق ندارد. با توجه به افزایش ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های هر دو رده هم در سیرک‌های تکامل یافته و هم در شبه سیرک تا حدودی رفتار ایزومتری برقرار است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Ahmad Abadi, A., Karam, A., Sarksian (2018), "Identification of Zardkouh glacial circuses with emphasis on geomorphometric characteristics", ***Hydrogeomorphology***, 16-1. [In Persian].
- Almodares, S, A., Ramesht, M, H., (2007), "Yakhsari and Glacier works of Shirkuh Yazd in Sakhvid region", ***Journal of Geographical Space***, 19: 1-29. [In Persian].
- Beheshti Javid, I., Esfandiari, F., (2017), "Extraction and identification of glacial landforms using object oriented method (case study of Sabalan glacial circus)", ***Quantitative geomorphology researches***, 88-102. [In Persian].
- Ebrahimi, B., Seif, A., (2017), "Morphometric Properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain, Iran", ***Geopersia***, 7 (1), 2017: 131-151.
- Ebrahimi, B., (2015), "Investigation and Analysis of Late Quaternary Glacial Landforms in Zagros Mountain, Iran", Ph.D. thesis, ***University of Esfahan***, IRAN, [In Persian].
- Ebrahimi, B., Aeif, A., (2016), "Equilibrium-Line Altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran", ***Geopersia***, 6 (2): 299-322.
- Garcia- Ruiz, J., M., Go'mez-Villar, A., Ortigosa, L., Marti'-Bono ,C., (2000), Morphoentry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees, ***Geographical Annular***, 82A: 433-442.
- Jafari, G, H., Avaghi, M., (2017), "Reconstruction of glacial circuses in the cavernier volcanic crater (Case study of Qurveh of Kurdistan), ***Environmental erosion researches***, - Geol. Surv, Iran, Tehran, (2) (15-1). [In Persian].
- Moghimi, E., Yarahmadi, A., Servati, M., R,. Kordvani, P., (2012), "The Effect of Domain Morphology on the Evolution of Cricket Glacier Oshtrankouh, Moderator of Humanities", ***Planning and Approval of Space, Tarbiat Modares University***. Ayat. [In Persian].
- Mokhtari, D., Karami, F., Bayati Khatibi, M., (2007), "Different forms of ankle cone around the mountainous mountains of Maysudahagh (Northwest of Iran), with emphasis on the role of quaternary tectonics in their creation", ***Quarterly journal of humanities***, Specialty Letter of Geography, 292-257. [In Persian].
- Saif, A., (2015), "Plitoscene glacier circuses in the Green Zagros heights", 2nd National Conference of Quaternary Association of Iran, University of Isfahan [In Persian].
- Seif, A., (2015), "Equilibrium-line altitudes of Late Quaternary glaciers in the Oshtorankuh Mountain, Iran", ***Quaternary International***, 374: 126-143.
- Solhi, S., Saif, A., (2018), "Morphometry of Sahand Longitudinal Valleys", ***Quantitative Geomorphology Researches***, 69-53. [In Persian].
- Yarahmadi, A., M., (2012), "Analysis of Factors Affecting the Formation of the Quaternary Glacier Morphology in Oshtorankh", Supervisor: Dr. Ebrahim Moghimi, Ph.D., Natural Geography, Islamic Azad University, Science and Research Branch [In Persian].
- Anthonsen, K., L., Clemmensen, L., B., Jensen, J., H., (1996), "Evolution of a dune from crescentic to parabolic form in response to short-term climati nges: Råbjerg Mile, Skagen Odde, Denmark", ***Geomorphology***, 17: 63-77.
- Ebrahimi, B., Seif, A., (2016), "Morphological analysis of glaciated valleys in the Zardkuh Mountains, Iran", ***Natural Environment Change***, 2 (2): 127-142.
- 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): 245-266.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- 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., Cox, N., J., (1974), "***Geomorphometry and the operational definition of cirques***", Area 6, 150e153.
- Evans, I., S., Cox, N., J., (1995), "The form of glacial cirques in theEnglish Lake District. Cumbria. Z", ***Geomorph***, N. F, 39 (2): 175-202.
- Graf, W., L., (1976), "Cirques as glacier location", ***Arctic and Alpine Research***, 8, 79e90.
- Hengl, T., Reuter, H., (2009), "Development in soil science", ***Geomorphometry***: concepts, software, Applications. Amsterdam.
- Khosraftar, R., Mojtahedi, N., Assadi Oskouei, F., Nowruzpour shahr Bijeri, K., (2016), "Geomorphologic Evidences of the Upper Pliocentos Mountain Glaciers in the Shah Alborz Mountains", ***Western Quarantine Quarterly Quarterly Journal of Iran***, 155-165. [In Persian].
- Leopold, L., B., Wolman, M., G., Miller, J., P., (1995), "***Fluvial Processes in Geomorphology***", New York
- Pike, R., J., (1995), "Geomorphometry - progress, practice, and prospect. Zeitschrift für", ***Geomorphologie***, 101: 221-238.
- Pike, R., J., (2000), "Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis", ***Progress in Physical Geography***, 24 (1): 1-20.
- 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., Ebrahimi, B., (2014), "Combined Use of GIS and Experimental Functions for the Morphometric Study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, IRAN", ***Quaternary International***, 353: 236-249.
- Seif, A., Bazvand, A., Solhi, S., (2014), "Morphoradition of Alvand heigts and its Relation with Quaternary Glacial effects", ***Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences***, 6 (S2): 304-314.
- Tobler, W., R., (1976), "Analytical cartography", ***The American Cartographer***, 3 (1): 21-31.
- Tobler, W., R., (2000), "The development of analytical cartography-A personal note", ***Cartography and Geographic Information Science***, 27 (3): 189-194.
- 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***, 59 (3/4): 89-150.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]