دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه ی
علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره ی۹۰
تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۹۴-۶۶

حجت اله بیرانوند[۱]
عبداله سیف[۲]
مریم سیدی سگوند[۳]

تحلیل پارامترهای مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/ ۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

چکیده

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. هدف این پژوهش؛ شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل پارامترهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین در استان لرستان است. پس از شناسایی ۳۸ زیر حوضه یخچالی تعداد ۱۴۵ سیرک یخچالی در منطقه شناسایی و در روی نقشه شیب کلاس بندی شده به دو فرمت خطی و پلیگونی ترسیم شدند.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 مورفومتری و آلومتری آن‌ها با برازش مدل‌های توانی بر پروفیل طولی سیرک‌ها استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج تحقیق تعداد ۱۷ سیرک رده‌N1، تعداد ۲۸ سیرک رده N2، تعداد ۴۸ سیرک رده N3، تعداد ۳۷ سیرک رده N4 و تعداد ۱۵ سیرک یخچالی رده N5 در این ارتفاعات وجود دارد. در سیرک‌های رده N1 وN2 وN3 میانگین ضریب b بر روی محور طولی و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی این

۱ – گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم، دانشگاه علامه طباطبایی خرم آباد (نویسنده مسئول) Hojat359@yahoo.com
۲ – گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
۳ – گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

سیرک‌ها بیشتر از ۱ است. در نتیجه رفتار آلومتری و ایزومتری در این ارتفاعات برای سیرک‌های این رده مثبت است. همچنین میانگین ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌های رده N4 وN5 و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی سیرک‌های این رده کمتر از ۱ است. در نتیجه رفتار آلومتری و ایزومتری در این ارتفاعات برای این سیرک‌ها منفی است.

کلیدواژه‌ها: آلومتری، سیرک‌های یخچالی، مورفومتری، ارتفاعات گرین

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 زیست‌محیطی، منابع آبی، کشاورزی و همچنین روند تغییرات اقلیمی در گذشته، حال و آینده در اختیار محققین قرار می‌دهد. یکی از لندفرم-های 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 (Evans, 1977; Evans and Cox, 1995; Federic and Spagnolo, 2004; Evans, 2006; Hoggs et al., 2007). همچنین یکی از مهمترین عارضه‌های ژئومورفولوژی سیرک‌های یخچالی هستند، که نشان دهنده فعالیت‌های یخچالی گذشته بوده و مطالعه بر روی این عوارض پالئوژئومورفولوژی، کلید برخی از فعل و انفعالات بین اقلیم، توپوگرافی و یخچال‌های طبیعی است (Principato et al., 2014). بر طبق تعریف گروه تحقیقات ژئومورفولوژیک بریتانیا[1] (که یک تعریف صرفا ریخت شناسی صرف نظر از نحوه مکانیزم تشکیل آنهاست) سیرک یک گود افتادگی است که در بالا دست با تیغه صخره‌ای پر شیب (دیواره بالادست) احاطه شده و پایین دست آن به سمت دره و باز است. این گود افتادگی در پلان به فرم یک تیغه کمانی دور یک محدوده با شیب ملایم (کف سیرک) دیده می‌شود (Evans and Cox, 1974). نقطه کانونی تغذیه یخچال، سیرک نامیده می شود. پس از ناپدید شدن و ذوب یخچال، سیرک به صورت آمفی تئاتری بزرگ یا کاسه‌ای عظیم ظاهر می‌شود (Qanawati and Beheshti, 2014: 78). شکل سیرک‌ها انعکاسی از عوامل توپوگرافی و زمین شناسی، نوع و مدت زمان اثر یخچال‌هاست. ساختمان سنگ و درزها و شکاف‌ها از عوامل مهم در شکل صخره‌ها و عمق حوضه سیرکی به شمار می‌رود. وقتی که در یک کوهستان، ارتفاع قلل کمی از حد برف دائمی تجاوز کند، یخچال‌ها اغلب در سیرک‌ها مستقر می‌شوند (Derruau, 1990). بنابراین سیرک‌های یخچالی به عنوان یکی از لندفرم‌های تیپک قلمروهای یخچالی و شاخص مهمی در ردیابی دیرینه محسوب می‌شوند. شناسایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌ها سبب شناخت درجه تکامل آنها خواهد شد و ژئومورفولوژیست‌ها را در بازسازی دقیق‌تر محیط‌های دیرینه و برآورد صحیح ارتفاع خط تعادل یخچال‌های کواترنری یاری می‌نماید (Saif, 2014). برای شناسایی دقیق سیرک‌های یخچالی بررسی دقیق اندازه و شکل این اشکال، استفاده از مدل سازی و روابط ریاضی و عدی (مورفومتری) برای ژئومورفولوژیست‌ها لازم و ضروری به

[1] . British Geomorphological research Group

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

نظر می‌رسد. ژئومورفومتری یک زیرمجموعه از ژئومورفولوژی می‌باشد که دارای رویکرد اندازه‌گیری کمی و کیفی عوارض سطح زمین می‌باشد (Pick and Dickau, 1995; Dehn, 2001; Pike et al., 2009). 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 مدل های لندفرم‌های مختلف به دست آوردن روابط بهتر درک واقعیت‌های فیزیکی محیط می‌باشد (Eitzel-Mgller and Solbeck, 2000; Adidrin et al., 2004). این‌گونه بررسی‌ها امکان طبقه‌بندی و رده‌بندی گروه‌های مختلف لندفرم‌های یخچالی را میسر ساخته و علاوه بر تعیین فرآیندهای مؤثر در شکل‌گیری لندفرم امکان بررسی‌های کمی آنها را در ارتباط با عوامل مختلف محیطی (زمین شناسی، توپوگرافی و اقلیم) امکان پذیر می‌سازد (Evans, 2011: Mıˆndrescu et al., 2010: Stefanova and Mint Lak, 2007). 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 (Garcia et al, 2000: 435).

با توجه به اهمیت موضوع درکشور ایران و سایر نقاط جهان مطالعاتی در زمینه مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی 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. Alonso (1994) مشخصه-های مورفومتریک سیرک‌های یخچالی کوه‌های کنتابرین را در ارتباط با سنگ شناسی، جهت و نوع ساختارهای زمین شناسی، بررسی کرده است. Evans (2011, 2009, 2006, 1997) 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. Yarahmadi (2012) سیرک یخچالی در استرنکوه را شناسایی کرد (۲٤ سیرک در دامنه شمالی و ۱۸ سیرک در دامنه جنوبی) و با تجزیه و تحلیل مورفومتر-یک آنها نشان داد که سیر تکاملی سیرک تحت تأثیر شیب و جهت سیرک است. Saif (2014) 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. Saif and 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 و به این نتیجه رسیدند که در ارتفاعات زردکوه ۱۹ سیرک تحت عنوان سیرک قطعی وجود دارد. Delmas et al (2015) با بررسی رشد آلومتری سیرک‌های آلپ بر اساس روش‌های آماری، شکل سیرک را ناشی از متغیرهایی مانند نوع سنگ و تغییرات آب وهوای منطقه می‌داند. Ebrahimi & Saif (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. Lopez et al (2018) به بررسی توزیع مکانی پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های یخچالی در پیرنه مرکزی (دره های آران و بو) پرداختند و نتیجه گرفتند که سیرک‌های آران بیشتر شمال شرقی هستند در حالی که جنس زمین توزیع و توسعه سیرک‌های یخچالی دره بو را کنترل می‌کند. خصوصیات مورفومتریک سیرک‌های یخچالی در دره‌های آران و بو شبیه به سایر رشته‌های کوهستانی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

با عرض جغرافیایی متوسط است. Biranvand & Saif (2019) با استفاده از روش‌های ژئوماتیک و جدید به شناسایی، طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات یخچالی جوپار در استان کرمان پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند در ارتفاعات جوپار ۸ سیرک N2، ۳۳ سیرک N3 و ۵۰ شبه سیرک وجود دارد. در سیرک های رده N2 وN3 میانگین ضریبb برای محور طولی سیرک‌های رده N2 وN3 برابر ۰/۷۴۸ یعنی B<1 است. همچنین میانگین ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N4 وN5 برابر با ۱/۰۰۶ است و B>1 است. Biranvand & Saif (2021) در پژوهشی با استفاده از روش‌های ژئوماتیک به بررسی پارامترهای مورفومتری سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات مرکزی استان کرمان با استفاده از مدل سازی و روابط ریاضی پرداختند و به این نتیجه رسیدند میانگین ضریب b برای سیرک‌های رده‌های مختلف در ارتفاعات بیدخوان، لاله زار، هزار، جوپار و جبال بارز کمتر از ۱ است که B>1 است و رفتار آلومتری برای سیرک‌های این ارتفاعات منفی است. Baranipur & Saif (2022) با استفاده از روش‌های ژئوماتیک و جدید به شناسایی، طبقه بندی و تحلیل شاخص‌های مورفومتری سیرک‌های یخچالی حوضه سیلوه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رفتار آلومتریک سیرک‌های این منطقه منفی است. عملکرد یخچالی‌های کواترنری در این ارتفاعات به گونه‌ای بوده است که سبب توسعه و تکامل چشمگیر در سیرک‌های یخچالی نشده است. Şimşek et al (2023) به تحلیل ویژگی‌های مورفومتری سیرک‌های یخچالی در کوههای شرق دریای سیاه در ترکیه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این رشته کوه دارای ۸۱۱ سیرک یخچالی است. از این تعداد ۳۰۹ سیرک، سیرک‌های تکامل یافته هستند که در دامنه‌های رو به شمال این رشته کوه دیده می‌شوند. Pellitero et al (2024) با استفاده از تصاویر گوگل ارث و نرم افزار ACME GIS به تجزیه و تحلیل مورفومتریک سیرک‌های یخچالی در شبه جزیره ایبری در طول یخبندان‌های گذشته پرداخته‌اند. بر اساس نتایج تحقیق سیرک‌های یخچالی در شبه جزیره ایبری بیشتر در محدوده کانتابریا قرار دارند و تعداد کمتری در منطقه ایبری مرکزی و بتیک قرار دارند.

ارتفاعات گرین در استان لرستان با ارتفاع زیاد و برفگیر بودن دارای لندفرم‌های یخچالی مانند سیرک‌ها، دره‌ها و رسوبات یخچالی است. از میان این لندفرم‌ها سیرک‌ها با ذخیر کردن برف و یخ نقش بسیار مهمی در تامین آب قسمت‌های وسیعی از منطقه را دارند. شناخت و تحلیل مورفومتریک و ژئوآلومتریک این سیرک‌ها، برای برنامه‌ریزی محیطی ضروری است. همچنین با تحلیل مورفومتری و ژئوآلومتری سیرک‌های یخچالی منطقه می‌توان به تغییرات محیطی و نوسانات آب و هوایی در طی دوره‌ی کواترنر پسین پی برد. هدف از این پژوهش آنالیز دقیق پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین 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 سیرک ها از نظر درجه تکامل، تأثیر عوامل مختلف (عوامل زمین شناسی، توپوگرافیک و اقلیمی) در توسعه آنها بررسی خواهد شد.

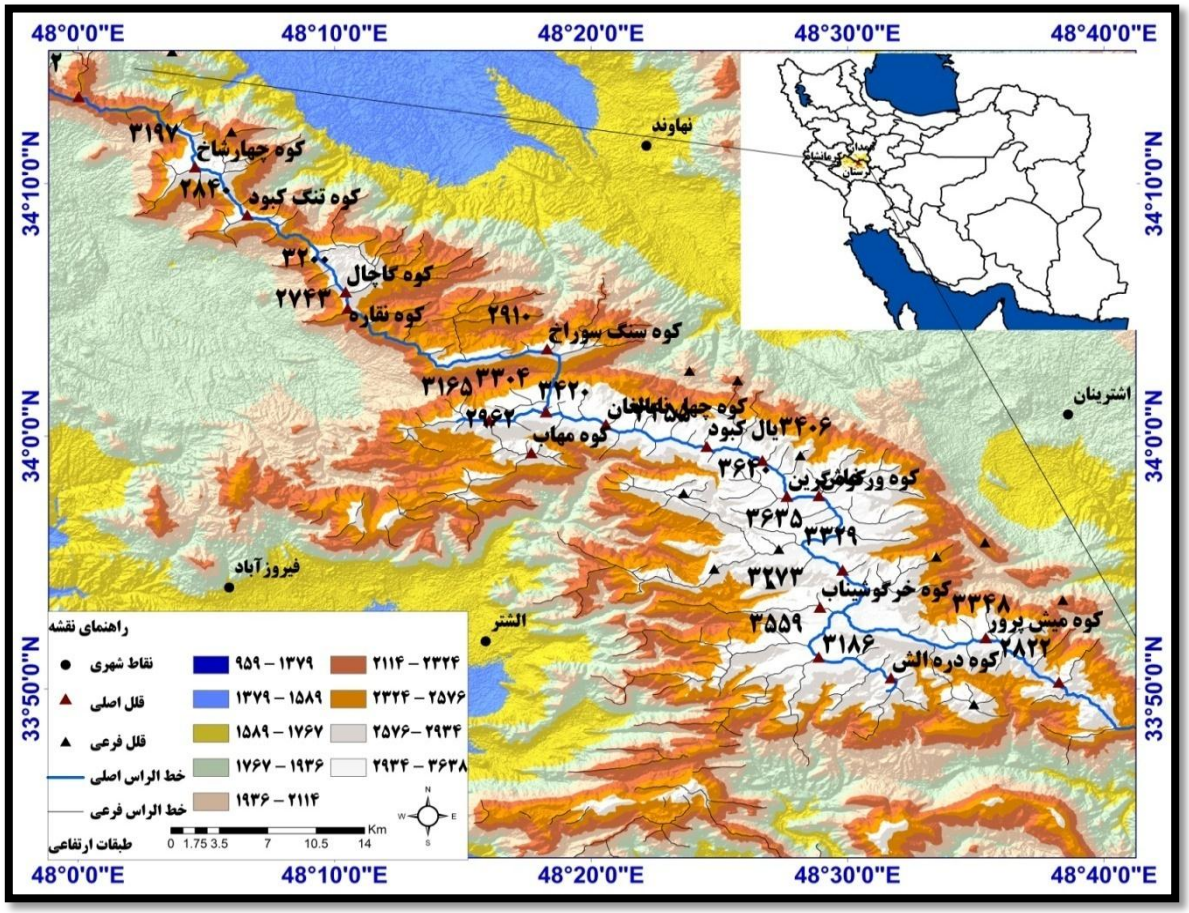
موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

ارتفاعات گرین قسمتی از رشته کوه‌های زاگرس است که بیشترین مساحت آن در شمال استان لرستان و بخشی دیگر در استان کرمانشاه و همدان قرار دارد. ارتفاعات گرین در ادامه اشترانکوه قرار دارد، طول آن به بیش از ۱۸۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

کیلومتر می‌رسد (Ghobadi, 2013). این منطقه از شمال شرق به نهاوند، از شمال غرب به نور آباد، از جنوب غرب به الشتر و از جنوب شرق به بروجرد منتهی می‌شود. این محدود در طول جغرافیایی ٤٧ درجه و ٥٥ درجه تا ٤٨ درجه ٥٧ دقیقه شرقی و عرض ٣٣ درجه و ٢٥ دقیقه تا ٣٤ درجه و ٣٠ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل های ١ و ٢). محدوده سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین از موادی مانند ولکانیک دگرگون شده، مرمر، سنگ آهک خاکستری تا تیره مربوط به دوره ژوراسیک، ماسه سنگ‌های توفی، ماسه سنگ‌ها و دولومیت های ضخیم و همچنین سنگ‌های کربناته و آهک بیستون مربوط به تریاس فوقانی و کرتاسه تشکیل شده است. واحدهای دولومیتی و آهکی ژوراسیک پایینی بیشترین گسترش را در منطقه دارند (Mosivand, 2005). این دو واحد توسط کمربندی از رادیولاریت از یکدیگر جدا شده اند. دامنه شمالی شرقی کوه گرین به‌طور کلی از سنگ های آهک‌های اولیگوسن – میوسن تشکیل شده است. این واحدها شامل دو بخش (OML) و (OMm) می‌باشند. OML عمدتاً از دولومیت‌های ضخیم خاکستری، سنگ آهک و میان لایه‌های سنگ آهک مارنی و مارن تشکیل شده است. OMm بالاترین واحد لیتولوژی اولیگوسن – میوسن می‌باشد که دارای لیتولوژی آهکی، آهک مارنی با میان لایه‌های ماسه سنگی است. این بخش بیش از ١٠٠٠ متر ضخامت دارد و در راستای گسله زاگرس در کنار سنگ های رسوبی – آتشفشانی کرتاسه قرار گرفته است (Ghobadi, 2013).

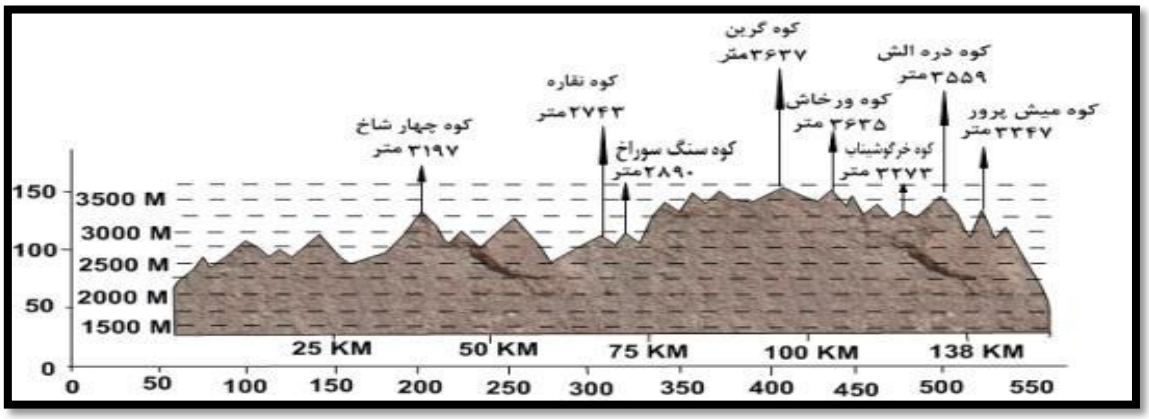


شکل ١: نقشه موقعیت جغرافیایی ارتفاعات گرین

Figure 1: Map of the geographic location of Green heights

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ۲: نقشه پروفیل طولی ارتفاعات گرین

Figure 2: Longitudinal profile map of Green heights

مواد و روش‌ها

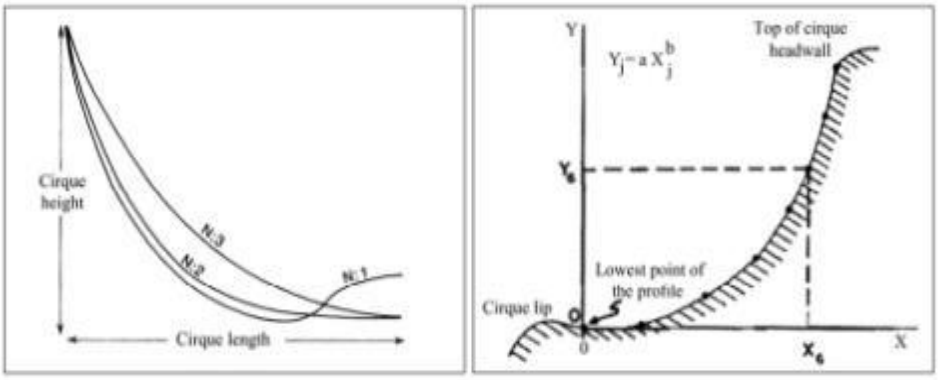
برای انجام عملیات شناسایی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین ابتدا با استفاده از نرم افزار Global Mapper محدوده مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر برش داده شد و سپس با استفاده از نرم افزار Arc Gis10.5، نقشه Hillshade (سایه روشن)، نقشه شیب کلاس بندی، نقشه جهت شیب و منحنی‌های میزان ساخته شد. برای تعیین حدود دقیق زیرحوضه‌های 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 زمین شناسی با مقیاس ۱۰۰۰۰۰: ۱، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت به وسیله نرم افزارهای Arc Gis و Portable Basemap Server V3.1 انطباق داده 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 طبقه بندی و محل دقیق سیرک‌های یخچالی بر روی آن تعیین گردید. برای دقت بیشتر و بالا بردن صحت کار پروفیل طولی و عرضی سیرک‌ها با استفاده از ابزار 3D Analyst Tools ترسیم و لندفرم هایی که سیرک واقعی بودند تشخیص داده شد و در دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترکیبی ترسیم شدند. همچنین با استفاده از روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس به طبقه بندی و رده بندی 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 رده بندی گردید (جدول ۱). در این رده بندی گروه N-1: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه یافته‌اند. گروه N-2: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه یافته‌اند اما توسعه آنها کمتر از گروه N1 است. گروه N-3: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه نیافته‌اند اما آثار کندو کاو یخچالی در آنها دیده می‌شود. گروه N-4: اشکالی با ظاهر سیرک‌های تخریب شده که منشاء آنها با سوال و تردید همراه است. گروه N-5: شیب کف این گروه از سیرک‌ها تند با اندکی تقعر است. بر اساس رده بندی ایوانس و کوکس سیرک‌ها به پنج گروه، کلاسیک، خوب و توسعه یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند (Wilburg quoted by Saif,2014).

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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

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 نرم افزار Excel اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت (شکل ۳). یکی از مهمترین مولفه‌های سیرک‌ها، شکل دیواره ها بخصوص دیواره بالایی سیرک است. پروفیل طولی سیرک-های یخچالی فرم سهمی دارند. توابع ریاضی یک متغیره زیادی برای شبیه سازی 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 ($y = ax^b$) شبیه سازی کرد (Graff, 1976). برای بیان ویژگی‌های آلومتری سیرک‌های یخچالی از این مدل توانی و با استفاده از نرم افزار Minitab 19 استفاده شده است.



شکل ۳: تغییر پروفیل سیرک با کمک معادله توانی که پایین ترین نقطه سیرک را از لبه پایینی سیرک تا بالاترین نقطه بالایی دیواره سیرک نشان می دهد(سمت راست)(Graff, 1976) . نیمرخ فرضی رده های مختلف سیرک های یخچالی در امتداد طولی (سمت چپ)(Wilburg, 1984) .

Figure 3: Changing the cirque profile with the help of the power equation that shows the lowest point of the cirque from the lower edge of the cirque to the highest point of the cirque wall (right) (Graff, 1976). Hypothetical profiles of different levels of glacial cirques along the longitudinal direction (left) (Wilburg, 1984).

جدول ۱- مقادیر پارامترهای مختلف شکلی سیرک های کلاس N1 تا N5 (Wilburg, 1977; 1984)

Table 1- Values of different shape parameters of class N1 to N5 circuses (Wilburg, 1977; 1984)

پارامتر		نوع سیرک				
		N1	N2	N3	N4	N5
طول	میانگین	۱۳۰۰±۵۰۰	۱۱۵۰±۵۵۰	۷۲۵±۳۲۷	۸۰۰±۳۵۰	۳۲۵±۱۷۵
	دامنه تغییرات	۸۰۰–۱۸۰۰	۶۰۰–۱۷۰۰	۳۵۰–۱۱۰۰	٤۵۰–۱۱۵۰	۱۵۰–۵۰۰
عرض	میانگین	۱۳۵۰±۳۵۰	۱۰۷۵±٤۲۵	۸۵۰±۳۵۰	۱۰۵۰±۳۵۰	۱۲۲۵±٦۲۵
	دامنه تغییرات	۱۰۰۰–۱۷۰۰	٦۵۰–۱۵۰۰	۵۰۰–۱۲۰۰	۷۰۰–۱٤۰۰	٦۰۰–۱۸۵۰
دامنه	میانگین	۳۳۵±۱۱۵	۲۸۰±۱۰۰	۱۷۰±۷۰	۱٦۰±۸۰	۲۵۰±۱۵۰
	دامنه تغییرات	۲۲۰–٤۵۰	۱۸۰–۳۸۰	۱۰۰–۲٤۰	۸۰–۲٤۰	۱۰۰–٤۰۰

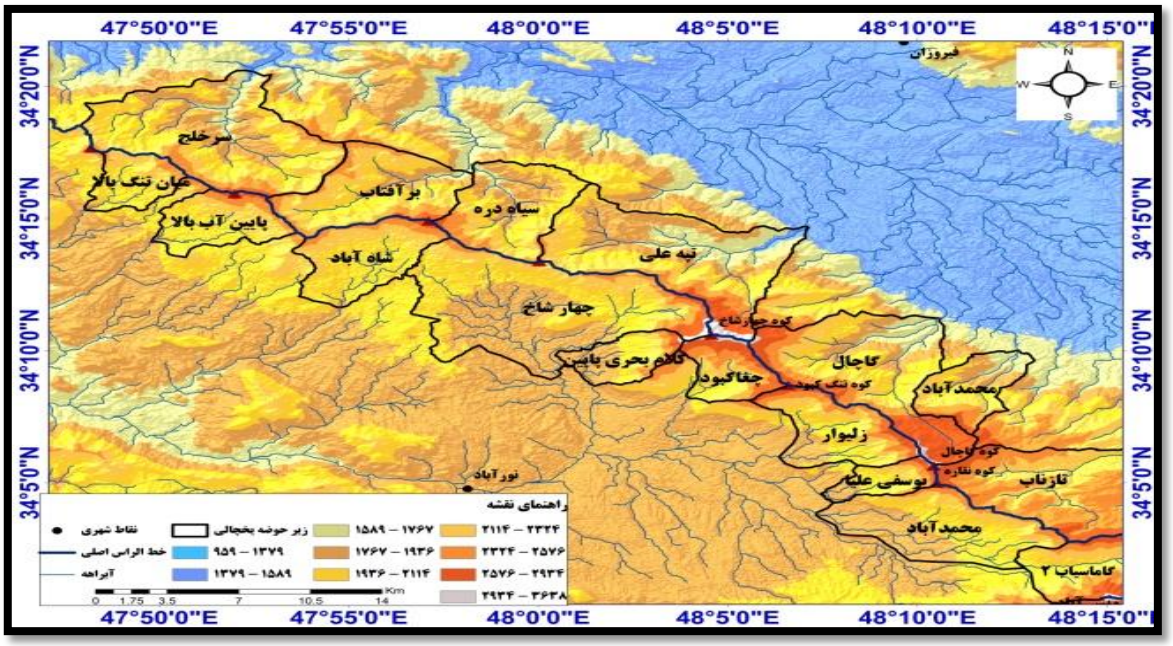
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

بحث و یافته‌ها

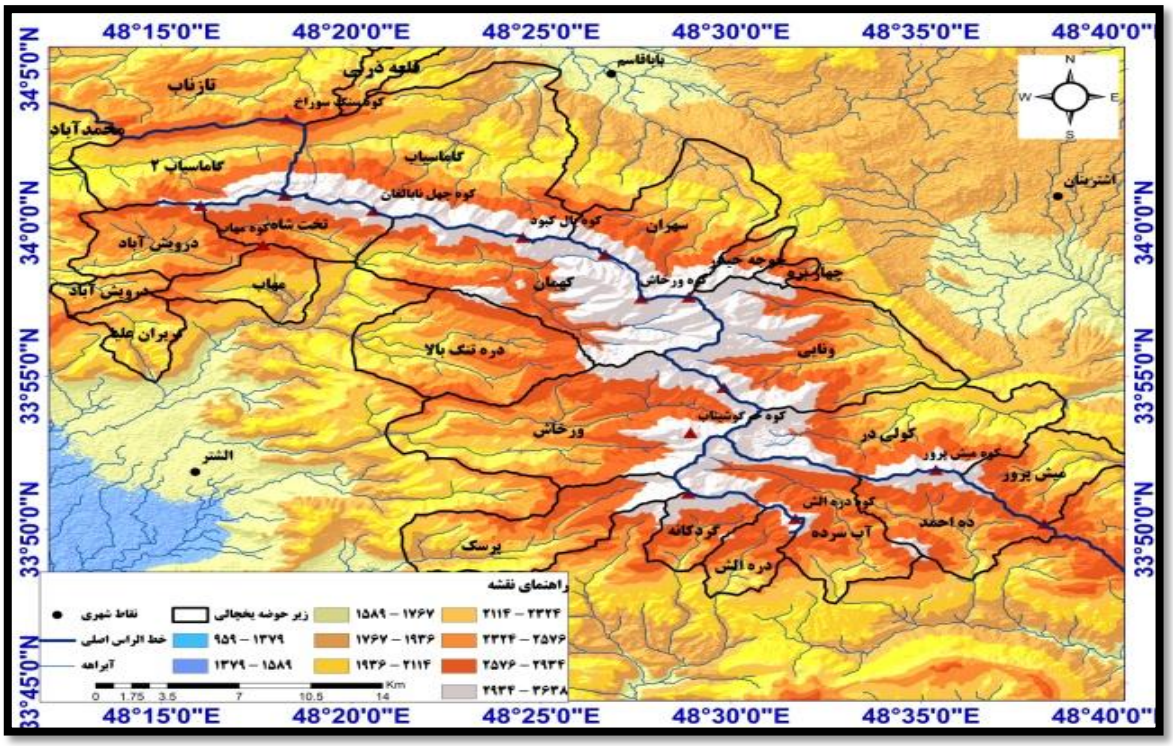
سیرک‌ها و زیر حوضه‌های یخچالی در ارتفاعات گرین

ارتفاعات گرین با جهت شرقی – غربی با طول حدود ۱۸۰ کیلومتر دارای قلل بلندی مانند؛ چهارشاخ، نقاره، سنگ سوراخ، گرین، ورخاش، خرگوشیناب، دره الش و میش پرور است. برای تعیین زیر حوضه‌های یخچالی این ارتفاعات از نقشه DEM ۱۰ متر و بر اساس رفتار آبراهه ها بر روی آن و بر روی نقشه های توپوگرافی استفاده شده است. بر این اساس محدوده مورد مطالعه به ۳۸ زیر حوضه یخچالی تقسیم شد. در ارتفاعات مشرف به این زیر حوضه‌ها بر اساس روش‌های ژئوماتیک جدید تعداد ۱۴۵ سیرک یخچالی شناسایی و در روی نقشه ترسیم گردید (شکل ٤).



[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ٤: زیر حوضه‌های یخچالی ارتفاعات گرین

Figure 4: Glacial sub-basins of Green heights

توزیع فضایی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین با توجه به ساختار زمین شناسی منطقه

محدوده سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین از موادی مانند ولکانیک دگرگون شده، مرمر، سنگ آهک خاکستری تا تیره مربوط به دوره ژوراسیک، ماسه سنگ‌های توفی، ماسه سنگ‌ها و دولومیت‌های ضخیم و همچنین سنگ‌های کربناته و آهک بیستون مربوط به تریاس فوقانی و کرتاسه تشکیل شده است. واحدهای دولومیتی و آهکی ژوراسیک پایینی بیشترین گسترش را در منطقه دارند (Mosivand, 2005). با توجه به ساختار زمین شناسی منطقه، دامنه‌های شمالی ارتفاعات گرین (شمال، شمال شرقی و شمال غربی) چون از مواد انحلال پذیری مارن و آهک تشکیل شده‌اند، دامنه‌های پشت به آفتاب و برف گیر این ارتفاعات هستند و دارای سیرک‌های یخچالی بیشتری هستند. به طوری که از ۱٤٥ سیرک یخچالی موجود در ارتفاعات گرین ۵۸/٤۱ درصد از کل سیرک‌ها در جهت شمالی (شمال شرق تا شمال غربی)، ٤۱/٤۷ درصد در جهت جنوب، (جنوب شرقی تا جنوب غربی) قرار دارند (جدول ۲) و (شکل ۵ و ٦).

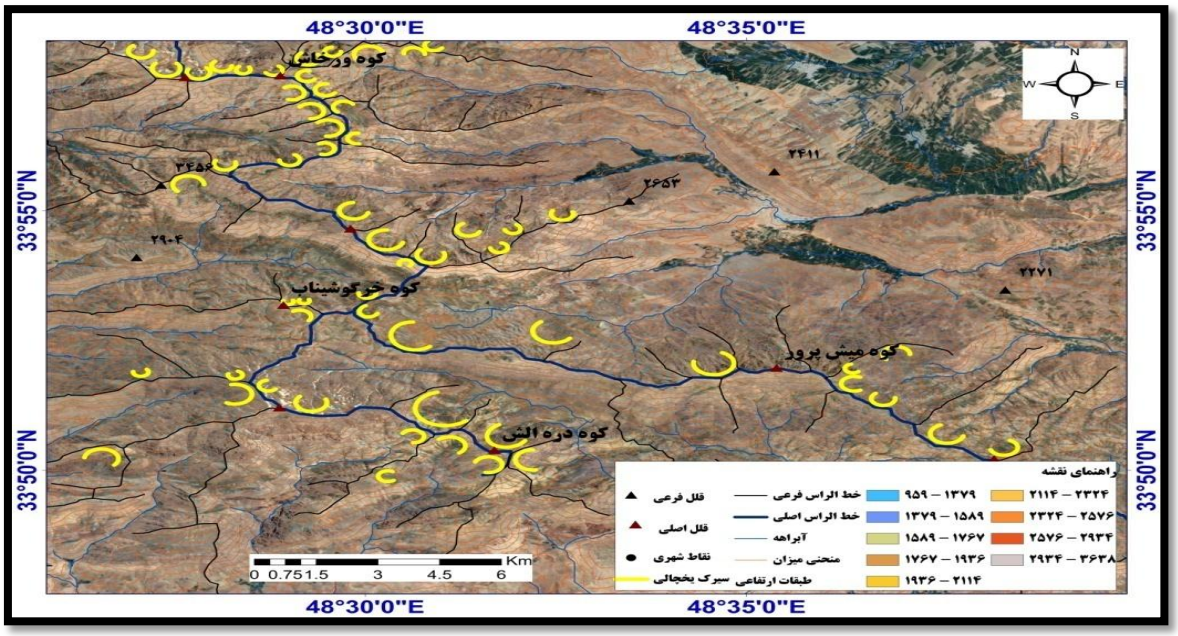
جدول ۲- توزیع فضایی سیرک های یخچالی ارتفاعات بیدخوان

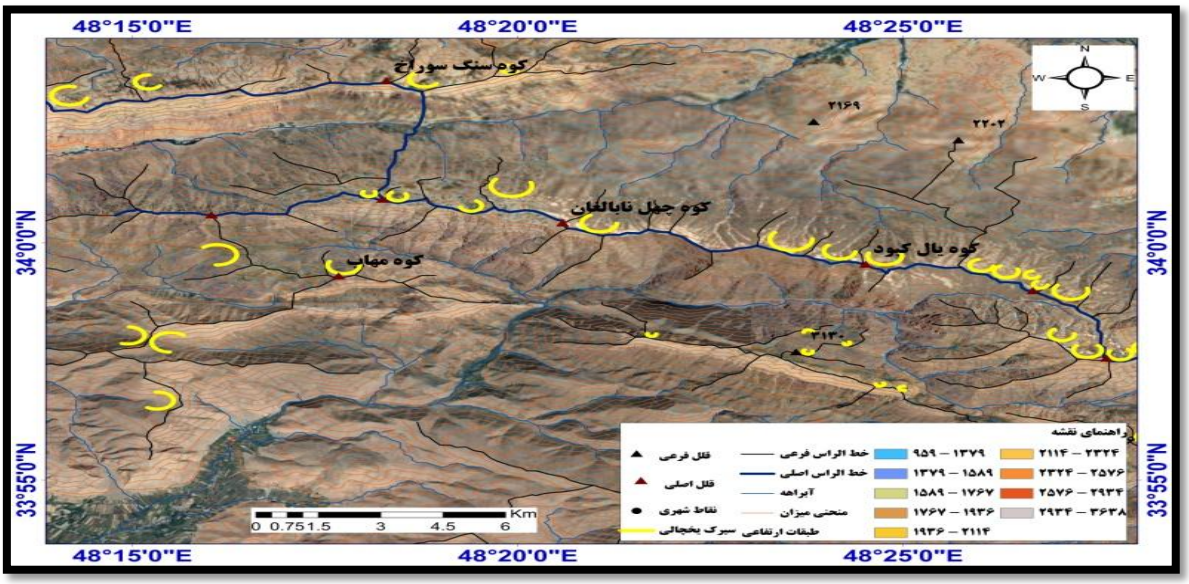
Table 2- Spatial distribution of glacial cirques in Bidkhan heights

جهت سیرک	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غرب
درصد و فراوانی سیرک ها	۱۵/۲۸	۱۳/٤۳	۸/۸٤	۱۰/۳۷	۱٦/۲۳	۱٤/۸۷	۹/۹٤	۱۰/۹۲

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

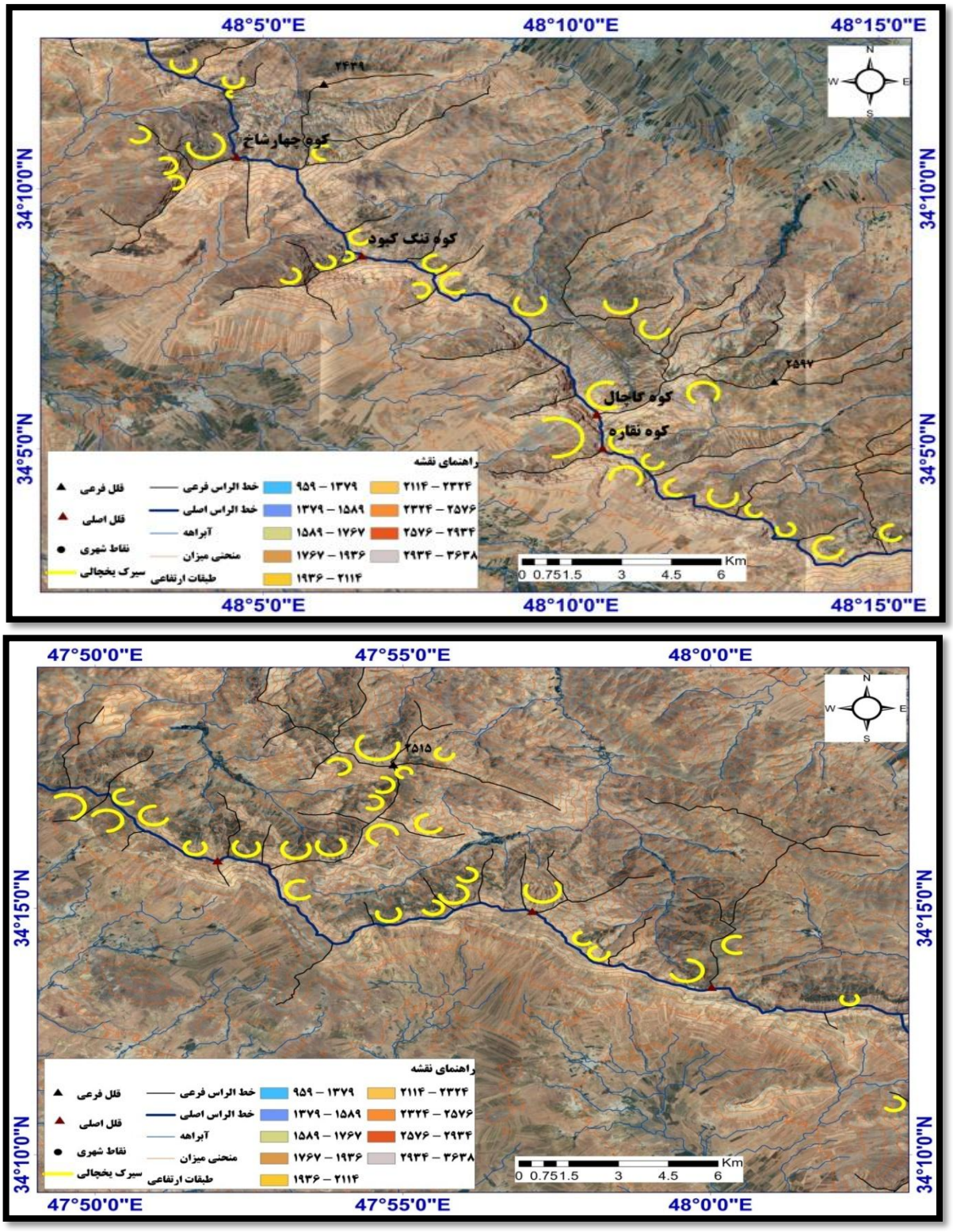
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]





[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

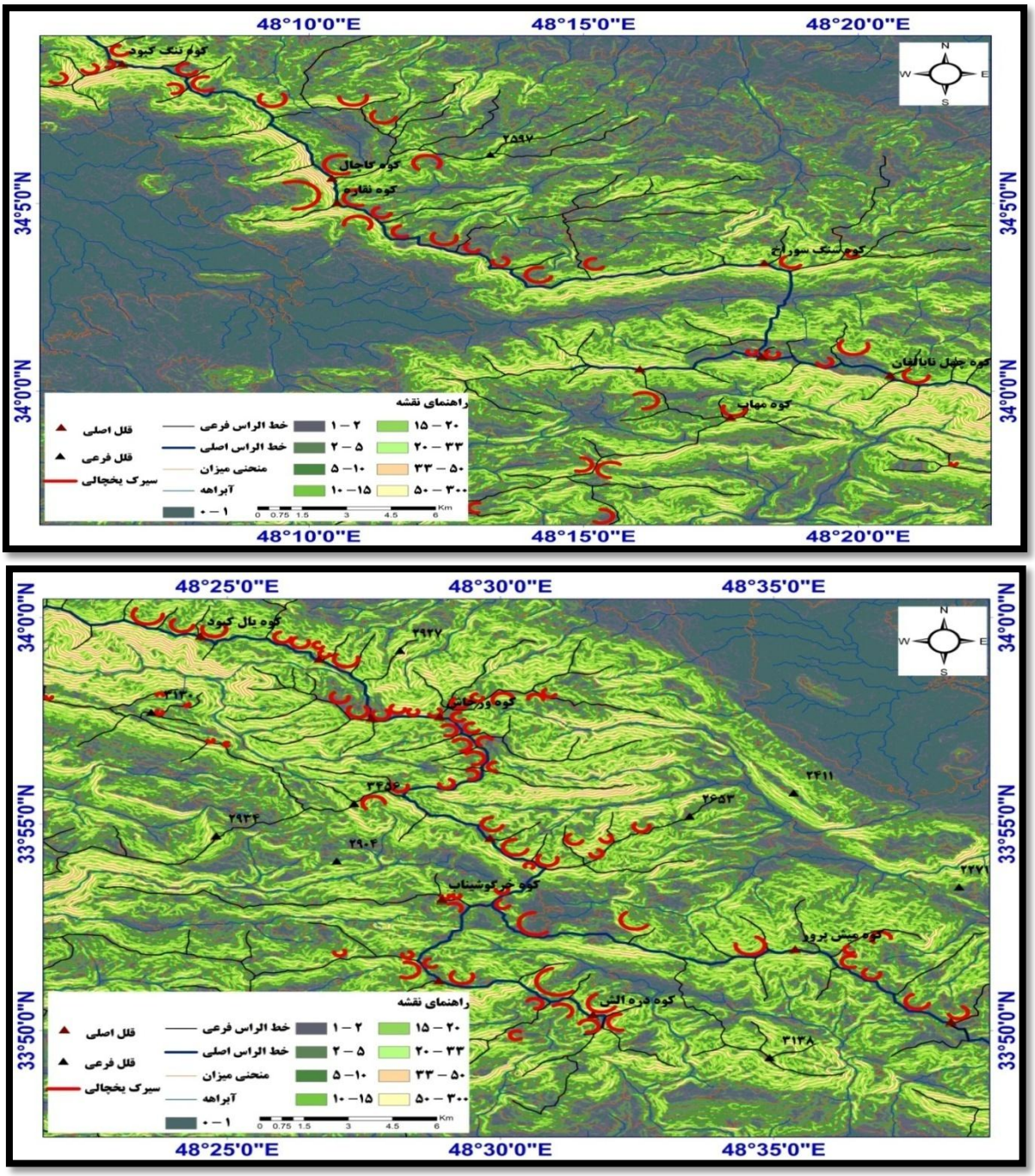


شکل ۵: نقشه توزیع فضایی سیرک‌های ارتفاعات گرین

Figure 5: Map of the spatial distribution of the circuses of the Green heights

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ٦: نقشه توزیع فضایی سیرک های ارتفاعات گرین روی نقشه شیب کلاس بندی شده

Figure 6: Spatial distribution map of the cirques of Green heights on the classified slope map

طبقه‌بندی و رده‌بندی سیرک‌های یخچالی محدوده مورد مطالعه

بر اساس روش ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۱۷ سیرک معادل با ۱۱/۷۲ درصد از کل سیرک‌ها در رده N1، تعداد ۲۸ سیرک معادل با ۱۹/۳۱ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2، تعداد ٤٨ سیرک معادل با ۳۳/۱۰ درصد از کل سیرک-ها در رده N3، تعداد ۳۷ سیرک معادل ۲۵/۵۲ درصد از کل سیرک‌ها در رده N4 و تعداد ۱۵ سیرک یخچالی معادل ۱۰/۳٤ درصد از کل سیرک‌ها در این ارتفاعات در رده N5 وجود دارد. طبق رده بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۱۷ سیرک در رده کلاسیک، تعداد ۲۸ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ٤٨ سیرک در رده قطعی، تعداد ۳۷

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

سیرک در رده ضعیف و تعداد ۱۵ سیرک رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۳). در ارتفاعات گرین تعداد سیرک‌های قطعی از سیرک‌های رده‌های دیگر بیشتر است. این موضوع حکایت از فعالیت یخچال‌های کواترنری در این ارتفاعات دارد که باعث توسعه و تکامل سیرک های یخچالی در این محدوده شده است.

جدول ۳- رده بندی سیرک های ارتفاعات گرین به روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس

Table 3- Classification of Green heights circuses according to Wilburg and Rodberg, Evans and Cox methods

ویلبورگ و رودبرگ	ایوانس و کوکس	تعداد	درصد
N1	کلاسیک	۱۷	۱۱/۷۲
N2	خوب و توسعه یافته	۲۸	۱۹/۳۱
N3	قطعی	٤۸	۳۳/۱۰
N4	ضعیف	۳۷	۲۵/۵۲
N5	مرزی	۱۵	۱۰/۳٤
تعداد		۱٤۵	۱۰۰

تحلیل تغییرات محور عرضی و طولی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین

تحلیل تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌ها نشان می‌دهد که ضریب تغییرات روی محور طولی سیرک‌های رده N1، ۱٦/۷۸ متر با انحراف معیار ۲۰۵/۹ و برای محور عرضی آنها ۱۹/۹۰ متر با انحراف معیار ۲۰۸/۷ است. این ضریب برای محور طولی سیرک‌های رده‌های N2، ۹/۳۸ متر با انحراف معیار ۹۱/۳ و برای محور عرضی این سیرک-ها ۱۳/۵۵ متر با انحراف معیار ۱۱۵/٤ است. ضریب تغییرات روی محور طولی سیرک‌های رده N3، ۱۲/۵۳ متر با انحراف معیار ۹٤/۹ و برای محور عرضی آنها ۱۳/۷۳ متر با انحراف معیار ۸۹/۷ است. این نتایج نشان می‌دهد ضزیب تغییرات محور عرضی این سیرک‌ها بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی آنها می‌باشد. در نتیجه سیرک‌های رده N1,N2,N3 در جهت عرضی گسترش بیشتری دارند. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های این رده و عدم حرکت توده یخ و برف و ذوب مجدد آن، همچنین فعالیت آبهای جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالا بردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این رده شده است. مساحت و محیط این سیرک‌ها در حال افزایش است و این سیرک‌ها در حال گسترش هستند که این نشان دهنده فعالیت یخچال‌های کواترنری در پلئستوسن پسین در این منطقه است.

ضریب تغییرات برای محور طولی سیرک‌های رده N4، ۱٤/۰۳ متر با انحراف معیار ۸۰ و برای محور عرضی آنها ۱٤/۷۷ متر با انحراف معیار ۷۲/٤ است. همچنین ضریب تغییرات برای محور طولی سیرک‌های رده N5، ۳۱/۹٦ متر و برای محور عرضی این سیرک‌ها ۳۱/۸۰ متر است (جدول٤).

ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های رده N4 کمی بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی این سیرک‌ها می-باشد. در نتیجه فعالیت یخچال‌ها تأثیر بسیار کمی روی توسعه و تکامل این سیرک‌ها دارد. همچنین ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های رده N5 کمتر از ضریب تغییرات محور طولی این سیرک‌ها است. با توجه به این نتایج هنوز

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

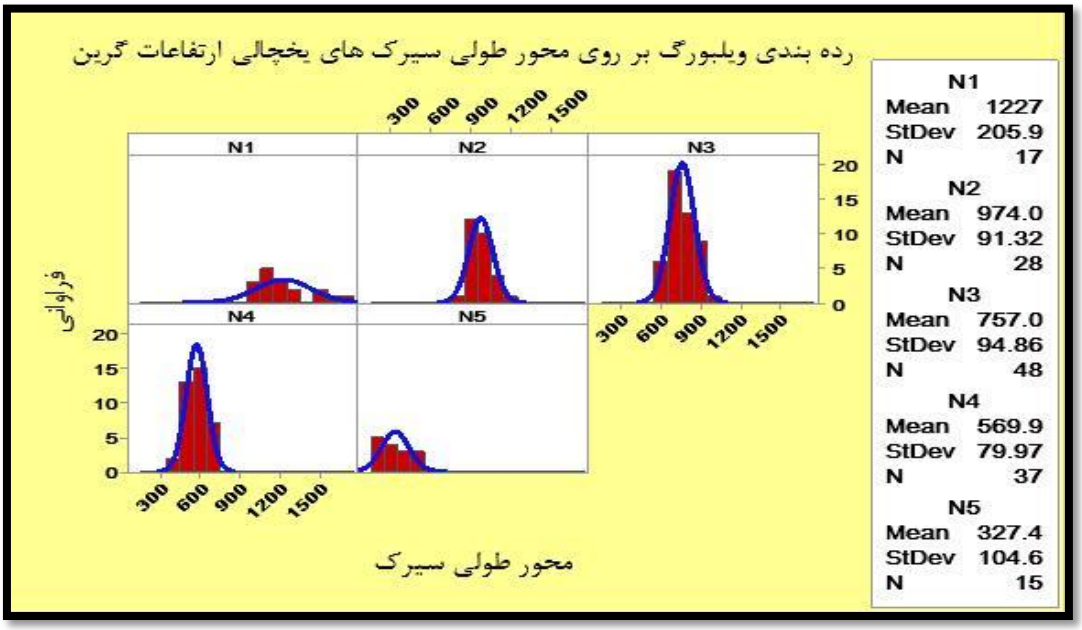
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

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 (جدول ٤).

جدول ٤- تغییرات محور عرضی و طولی سیرک های یخچالی ارتفاعات گرین

Table 4- Changes in the transverse and longitudinal axes of the glacier cirques of the Green heights

	رده سیرک	تعداد	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	بیشترین	کمترین	دامنه تغییرات محور طولی و عرضی
محور طولی سیرک (متر)	N1	۱۷	۱٦/۷۸	۲۰۵/۹	۱۲۲٦/٦	۱٦۹۵/۳	۱۰۰۳/۵	٦۹۱/۸
	N2	۲۸	۹/۳۸	۹۱/۳	۹۷٤	۱۲۲۵/۵	۷۵۲	٤۷۳/۵
	N3	٤۸	۱۲/۵۳	۹٤/۹	۷۵۷	۹۸۳/۷	۵۷۹/۵	٤۰٤/۲
	N4	۳۷	۱٤/۰۳	۸۰	۵٦۹/۹	٦۹٦/۱	۳۹۵/۸	٤۰٤/۲
	N5	۱۵	۳۱/۹٦	۱۰٤/٦	۳۲۷/٤	۵۱۷/٤	۱۹٤/۱	۳۰۰/۳
محور عرضی سیرک(متر)	N1	۱۷	۱۹/۹۰	۲۰۸/۷	۱۰٤۸/٦	۱۷۰٦/٤	۸۵۰/۱	۸۵٦/۳
	N2	۲۸	۱۳/۵۵	۱۱۵/٤	۸۵٦/۱	۱۲۱۹	٦۲۱	۵۹۸
	N3	٤۸	۱۳/۷۳	۸۹/۷	٦۵۳/٤	۸۹۷/۲	٤۹۵/۵	٤۰۷/۷
	N4	۳۷	۱٤/۷۷	۷۲/٤	٤۸۹/۹	٦۱٤/۳	۳٤٤/۳	۲۷۰/۱
	N5	۱۵	۳۱/۸۰	۸۹/٦	۲۸۱/۸	٤۵٦/۹	۱٦۳/۱	۲۹۳/۸

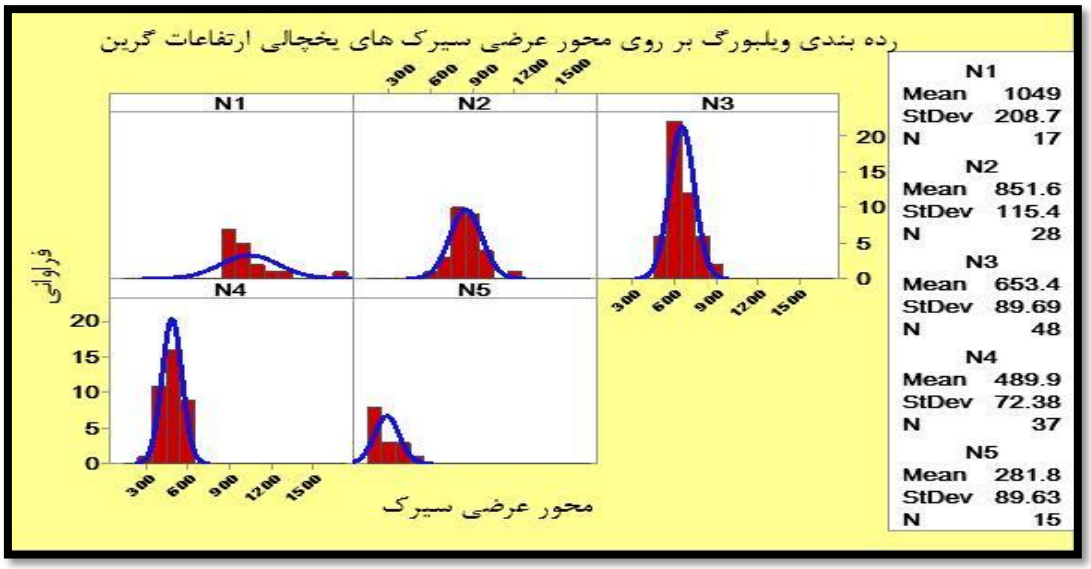


شکل ۷: نمودار رده بندی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین با توجه به ویژگی‌های محور طولی آنها

Figure 7: Chart of classification of glacier cirques of Green heights according to their longitudinal axis characteristics

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ۸: نمودار رده بندی سیرک های یخچالی ارتفاعات گرین با توجه به ویژگی های محور عرضی آنها

Figure 8: Classification diagram of glacier cirques of Green heights according to their transverse axis characteristics

تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N2, N1 و N3 ارتفاعات گرین

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N2, N1 وN3 ارتفاعات گرین برابر با ۹۰۸/۲ متر با ضریب تغییرات ۳۷/۷۲ متر و با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۴۳/۷۹ ±۱۱۱۵/۸و میانگین محور عرضی سیرک‌های این رده، ۷۸۵/۳ متر با ضریب تغییرات ۲۵/۰۹ متر و با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۴۰/۰۵ ± ۱۲۱۰/۹ است. در نتیجه سیرک‌های این رده در جهت طولی گسترش دارند و شکلی طولی دارند و در امتداد دره گسترش پیدا کرده‌اند. به طوری که میانگین نسبت طول به عرض این سیرک‌ها ۱/۱۶۴۴متر با ضریب تغییرات ۹/۶۶ متر است. در سیرک‌های یخچالی این رده ضریب تغییرات محور طولی بیشتر از ضریب تغییرات محور عرضی آنها است. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های این رده و حرکت کردن یخچال در امتداد دره‌های این ارتفاعات باعث گسترش سیرک در امتداد دره‌ها و بیشتر شدن محور طولی در این سیرک‌ها شده است که این نشان دهنده فعالیت یخچال‌های کواترنری در ارتفاعات گرین در پلیستوسن پسین است. این عامل بر اندازه سیرک‌های این رده تأثیر گذاشته است به طوری که کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N2, N1 و N3، ۹۸۱/۹ و بیشترین آن ۱۸۵۵/۱ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۳۶± ۸۷۳/۲ است. میانگین اندازه سیرک‌های این رده ۱۲۲۷ و میانگین مساحت آنها ۵۲۴۱۷۷ متر است. بین اندازه و محور طولی سیرک های این رده رابطه ۵۳۹/۲ + ۰/۷۵۷۴ با ضریب همبستگی ۰/۸۴ برقرار است. همچنین بین اندازه و محور عرضی سیرک‌های این رده رابطه ۵۶۹ + ۰/۸۳۷۹ با ضریب همبستگی ۰/۸۶ بر قرار است (شکل های ۹ و ۱۰). همچنین میانگین ارتفاع نقطه کف سیرک‌های این رده ۲۶۸۵متر با ضریب تغییرات ۱۵/۴۶متر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف سیرک) ۰/۳۰۲۸ متر با ضریب تغییرات ۳۲/۲۱ متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف ۰/۳۵۰۵متر با ضریب تغییرات ۳۲/۲۴ متر است (جدول ۵). تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده نسبت به تغییرات عمق سیرک‌ها بیشتر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

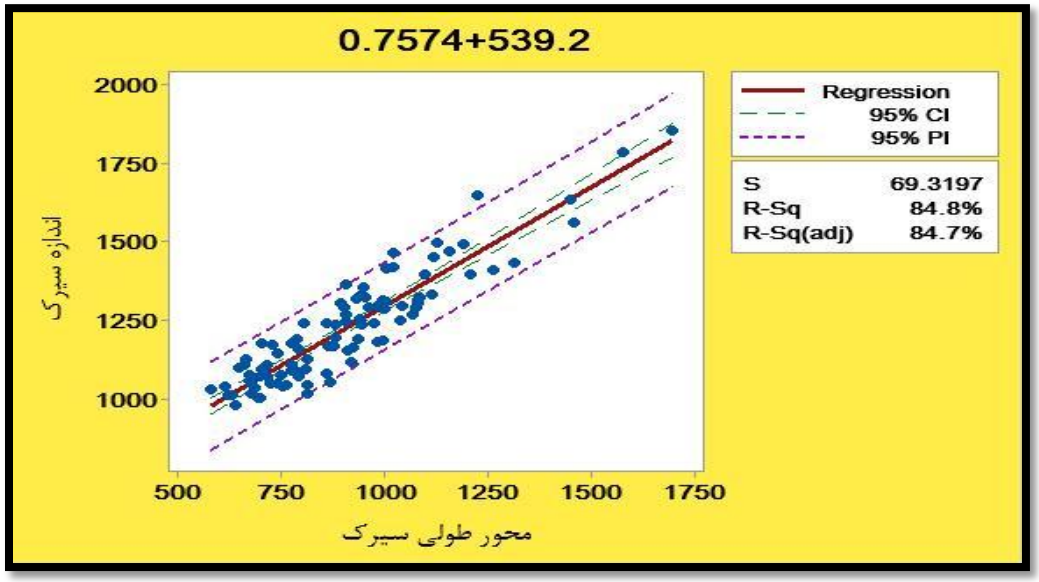
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

است. نتیجه می گیریم میزان تخلیه و حرکت یخچال‌ها در این سیرک‌ها کم بوده است و این مقدار یخ و برف نمی-تواند باعث عمیق شدن سیرک‌های این رده در ارتفاعات گرین شود.

جدول ۵- تجزیه تحلیل پارامترهای مورفومتری ۹۳ سیرک رده N1 و N2 و N3 در ارتفاعات گرین

Table 5- Analysis of morphometric parameters of 93 cirques of category N1, N2 and N3 in Green heights

پارامترهای مورفومتریک سیرک های رده N1 و N2 و N3	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک (متر)	۹۳	۳۷/۷۲	۲۱۵/٤	۹۰۸/۲	۵۷۹/۵	۱۶۹۵/۳	٤۳/۷۹± ۱۱۱۵/۸
محور عرضی سیرک(متر)	۹۳	۲۵/۰۹	۱۹۷	۷۸۵/۳	٤۹۵/۵	۱۷۰۶/٤	٤۰/۰۵ ±۱۲۱۰/۹
ارتفاع نقطه کف سیرک(متر)	۹۳	۱۵/٤۶	٤۱۵/۱	۲۶۸۵	۲۰۳۸	۳٤۹۵	۸٤/٤۰±۱٤۵۷
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک(متر)	۹۳	۱۳/۳۰	۳۸۸/۲	۲۹۱۷/۶	۲۲۶۵	۳۶۰۷	۷۸/۹۳±۱۳٤۲
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) (متر)	۹۳	۳۲/۲۱	۰/۱۰۰۶	۰/۳۰۲۸	۰/۱٤۶۲	۰/۷۷۳۲	۰/۰۲۰٤±۰/۶۲۷۰
اندازه سیرک	۹۳	۱٤/٤۳	۱۷۷/۱	۱۲۲۷	۹۸۱/۹	۱۸۵۵/۱	۳۶±۸۷۳/۲
نسبت طول به عرض	۹۳	۹/۶۶	۰/۱۱۲۵	۱/۱۶٤٤	۰/۹۶۰٤	۱/٤۵۲۳	۰/۰۲۳±۰/٤۹۱۹
مساحت سیرک	۹۳	۵٤/۰۶	۲۸۳۳۵۵	۵۲٤۱۷۷	۲۶۳۵	۲۰۰۰۷۰۷	۵۷۵۹۱/۲۶±۱۹۹۸۰۷۲
محیط سیرک	۹۳	۶۵۵/۲۷	۵۳۲۰۶	۸۱۲۰	۱۷۰۹	۵۱۵۶۷۲	۱۰۸۱۷/۸۲±۵۱۳۹۶٤
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۹۳	۱۶/٤۵	٤۲۱	۲۵۵۹/۱	۱۹۲۵	۳٤۷۷	۸۵/۶۰±۱۵۵۲
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۹۳	۳۲/۲٤	۰/۱۱۳۰	۰/۳۵۰۵	۰/۱۷۸۲	۰/۷۶۸۲	۰/۰۲۳۰±۰/۵۹۰۰

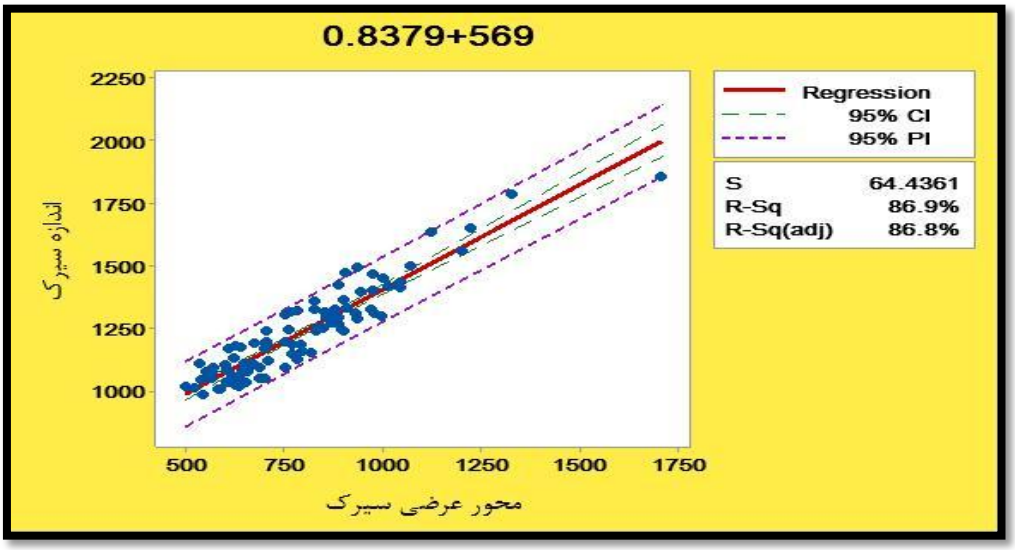


شکل ۹: نمودار رابطه بین اندازه سیرک‌های رده N1،N2،N3 و محور طولی آنها در ارتفاعات گرین

Figure 9: The diagram of the relationship between the size of the N1, N2, N3 category circuses and their longitudinal axis in Green heights

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ۱۰: نمودار رابطه بین اندازه سیرک‌های رده N3،N2،N1 و محور عرضی آنها در ارتفاعات گرین

Figure 10: The diagram of the relationship between the size of N1, N2, N3 category circuses and their transverse axis in Green heights

تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N4 و N5 ارتفاعات گرین

در ارتفاعات گرین میانگین محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 ، برابر با ۵۰۰ متر با ضریب تغییرات ۲۸/۱۷ متر و با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۳۸/۲۸ ± ۵۰۱/۹ و میانگین محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ٤۲۹/۹ متر با ضریب تغییرات ۲۸/٤۵ متر و با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد۳۳/۵۲ ± ٤۵۱/۲ است. میانگین نسبت طول به عرض این سیرک‌ها برابر با ۱/٦۷۵ متر و با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد۰/۰۲۹±۰/۳۹۱۵ است. در نتیجه سیرک‌های این رده مانند سیرک‌های رده رده N2, N1 و N3 شکلی کشیده و طولی دارند و در امتداد دره گسترش یافته‌اند. این سیرک‌ها در جهت عرضی گسترش کمتری داشته و تکامل کمی پیدا کرده‌اند. ولی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده کمی بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی آنها است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ناهمواری‌های منطقه این سیرک‌ها بیشتر در دامنه جنوبی گرین قرار دارند. تجمع یخ و برف در این سیرک‌ها در طول سال کم است و این مقدار برف و یخ و آب حاصل از ذوب آنها نمی‌تواند باعث فرسایش دیواره‌های کناری سیرک‌ها شود. در نتیجه اندازه و بزرگی سیرک های این رده زیاد نیست. در این ناهمواری‌ها اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 متفاوت است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5، برابر با ٤٤۹/۷ و بیشترین آن برابر با ۱۰۷۵/٦ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ٤۳/۳٦ ± ٦۲٦ است. میانگین اندازه سیرک‌های این رده ۸٤۲/۲ و میانگین مساحت آنها ۱٦٤۱٤۸ متر است. بین اندازه و محور طولی سیرک‌های این رده رابطه ۳۰٤/۵ + ۱/۰۷۵ با ضریب همبستگی ۰/۹۰ برقرار است. همچنین بین اندازه و محور عرضی سیرک‌های این رده رابطه ۳۱۲ + ۱/۲۳۳ با ضریب همبستگی ۰/۸۹ بر قرار است (شکل های ۱۱ و ۱۲). میانگین ارتفاع نقطه کف سیرک‌ها برابر با ۲۹۰۷/٦ متر است که این ارتفاع بین ۲۱۷۳ تا ۳۵۲۱ متر متغیر است. میانگین نسبت طول سیرک‌های این رده به ارتفاع کف ۰/۱۷۷٤۳ است. میانگین نسبت عرض

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

به عمق (ارتفاع کف) در این سیرک‌ها برابر با ۰/۱۵۲۶۳ است (جدول ۵). سیرک‌های این رده هم از نظر عمق و هم از نظر محور طولی و عرضی تکامل کمی دارند. 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 سیرک-های 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 (جدول ٦).

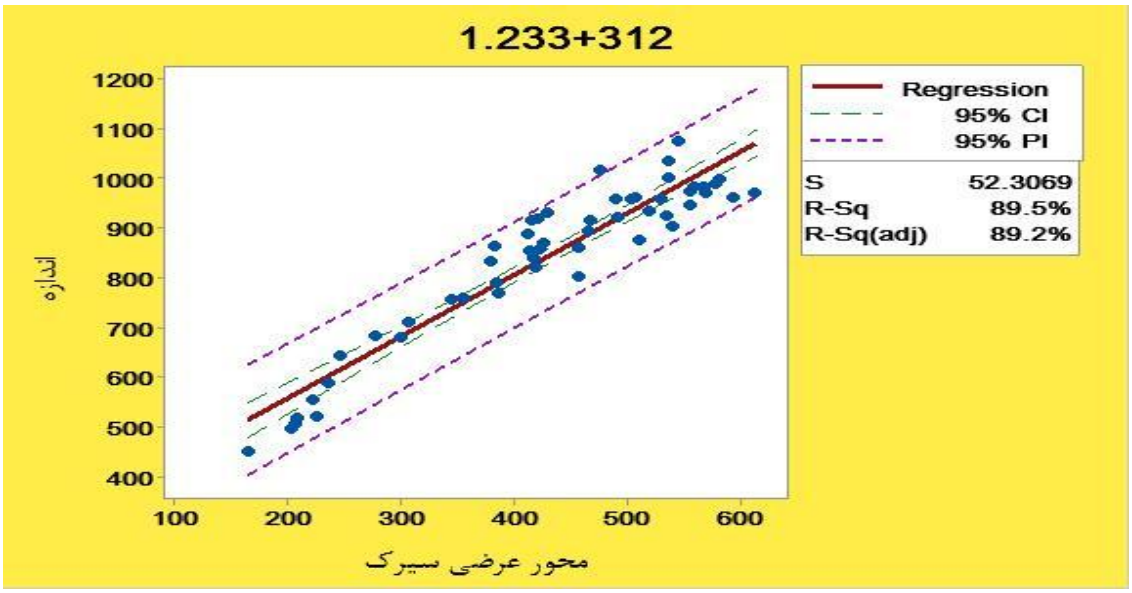
جدول ٦- تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفومتری ۵۲ سیرک رده N4 و N5 در ارتفاعات گرین

Table 6- Analysis of morphometric parameters of 52 cirques of category N4 and N5 in Green heights

پارامترهای مورفومتریک سیرک های 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)	۵۲	۲۸/۱۷	۱٤۰/۸	۵۰۰	۱۹٤/۳	٦۹٦/۱	۳۸/۲۸± ۵۰۱/۹
محور عرضی سیرک(متر)	۵۲	۲۸/٤۵	۱۲۳/۳	٤۲۹/۹	۱٦۳/۱	٦۱٤/۳	۳۳/۵۲ ±٤۵۱/۲
ارتفاع نقطه کف سیرک(متر)	۵۲	۱۳/۱۰	۳۸۱	۲۹۰۷/٦	۲۱۷۳	۳۵۲۱	۱۰۳/۵۷±۱۳۸٤
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک(متر)	۵۲	۱۱/۹۹	۳٦٤/۸	۳۰٤۳/۵	۲۳۱۱	۳٦۳۵	۹۹/۱۷±۱۳۲٤
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) (متر)	۵۲	۳۷/۰۷	۰/۰۵٦۵۹	۰/۱۵۲٦۳	۰/۰۵٦۸۲	۰/۲۸۷٤۷	۰/۰۵۳۸±۰/۲۳۰٦۵
اندازه سیرک	۵۲	۱۸/۹٤	۱۵۹/۵	۸٤۲/۲	٤٤۹/۷	۱۰۷۵/٦	٤۳/۳٦±٦۲٦
نسبت طول به عرض	۵۲	۹/۲۵	۰/۱۰۸۰	۱/٦۷۵	۰/۹۹٤۰	۱/۳۸۵۵	۰/۰۲۹±۰/۳۹۱۵
محیط سیرک	۵۲	۲۷/۸۵	۳۹۹/۳	۱٤۳۳/٦	۵۳٤/٤	۲۰۷۰/۸	۱۰۸/۵۵±۱۵۳٦/۳
مساحت سیرک	۵۲	٤۷/۷۱	۷۸۳۲۳	۱٦٤۱٤۸	۲۰۸۱۳	۳۲۱۲۷۷	۲۱۲۹۱/٦۹±۳۰۰٤٦٤
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۵۲	۱۳/۹۱	۳۹۲/۱	۲۸۱۸/۳	۱۹۸٤	۳٤۷۲	۱۰٦/۵۹±۱٤۸۸
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۵۲	۳٦/۸۵	۰/۰٦۵۳۸	۰/۱۷۷٤۳	۰/۰٦۷٦۹	۰/۳۲۵۷۵	۰/۰۱۷۸±۰/۲۵۸۰٦

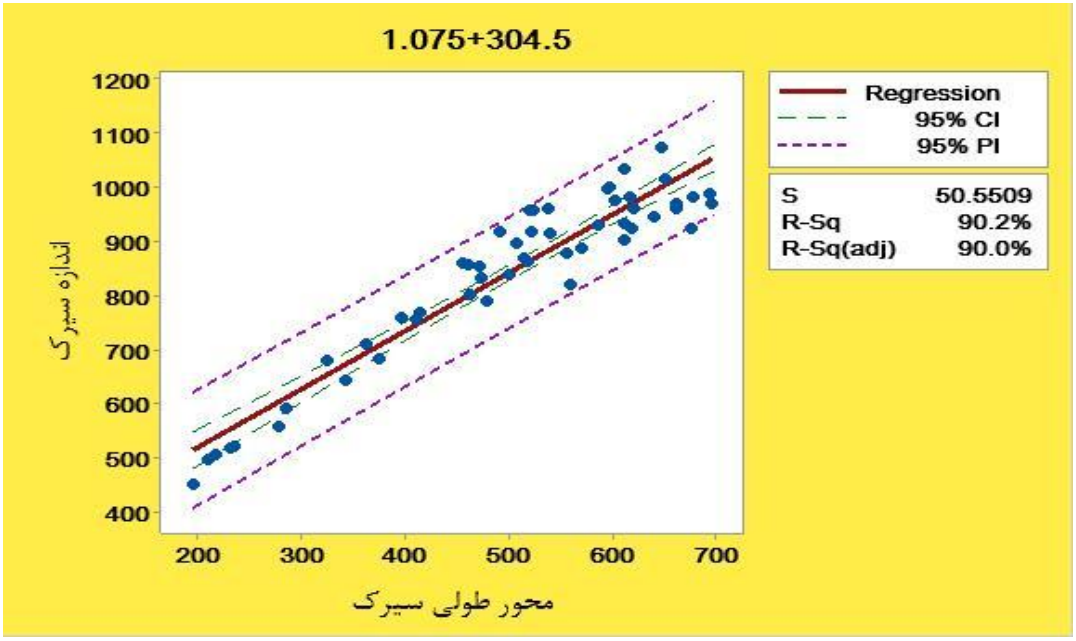
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ۱۱: نمودار رابطه بین اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 محور عرضی آنها در ارتفاعات گرین

Figure 11: The diagram of the relationship between the size of the N4 and N5 category cirques and their transverse axis in Green heights



شکل ۱۲: نمودار رابطه بین اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 محور طولی آنها در ارتفاعات گرین

Figure 12: The diagram of the relationship between the size of the N4 and N5 category cirques along their longitudinal axis in Green heights

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]



شکل ۱۳: تصویر سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین در حوضه یخچالی سهران

Figure 13: Picture of the glacier cirques of the Green heights in the Sohran glacier basin



شکل ١٤: تصویر سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین در واقع در دامنه‌های شمالی مجاور کارخانه سیمان نهاوند

Figure 14: Image of the glacial cirques of the Green heights, actually on the northern slopes adjacent to the Nahavand cement factory

تحلیل ژئوآلومتری و ایزومتری سیرک‌های یخچالی ارتفا عات گرین

در سیرک‌های رده N1 وN2 وN3 در ارتفاعات گرین میانگین ضریب b بر روی محور طولی و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی این سیرک ها بیشتر از ۱ است. در این ارتفاعات میانگین ضریب b بر روی محور طولی این سیرک ها برابر با ۱/۱۲۸ متر و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ۱/۱۲۲ متر است. همچنین ضریب همبستگی برای ضریب محور طولی سیرک‌های رده N1 وN2 وN3 برابر با ۰/۹٦ و این مقدار برای ضریب محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ۰/۸۷ است. در این سیرک‌ها هم میانگین ضریب b برای محور طولی و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

هم میانگین ضریب a برای محور عرضی بیشتر از ۱ است بنابراین B>1 و A>1 است. در نتیجه رفتار آلومتری و ایزومتری در این ارتفاعات برای سیرک‌های این رده مثبت است.

همچنین میانگین ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌های رده N4 وN5 و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی سیرک‌های این رده کمتر از ۱ است. در نتیجه در این ناهمواریها برای هر دو ضریب B<۱ و A<1 است. در این ارتفاعات میانگین ضریب b بر روی محور طولی این سیرک ها برابر با ۰/۹۳۵۷ و این مقدار برای ضریب a بر روی محور عرضی این سیرک ها برابر با ۰/۹۳۰۷ متر است. ضریب همبستگی برای ضریب محور عرضی سیرک های این رده برابر با ۰/۹۶ و این مقدار برای ضریب محور طولی این سیرک‌ها برابر با ۰/۸۷ است. در نتیجه رفتار آلومتری و ایزومتری در این ارتفاعات برای سیرک‌های رده N4 وN5 منفی است. به طور کلی در ارتفاعات گرین سیرک‌های رده N1 وN2 وN3 توسعه یافته تر و متکامل تر از سیرک‌های رده N4 وN5 هستند. عملکرد یخچال های در دوره کواترنر باعث توسعه و تکامل سیرک های رده N1 وN2 وN3 در این ناهمواریها شده است. همچنین در سیرک‌های رده N3,N2,N1 ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی برابر با ۲۰/۷۹ است و این مقدار برای محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۲۰/۳۵ است. در نتیجه سیرک‌های رده N3,N2,N1 در جهت طولی دارای تغییرات بیشتری هستند که این نشان دهنده حرکت و فعالیت بیشتر یخچال در این سیرک ها و در امتداد دره های منتهی به سیرک‌های یخچالی است. میانگین دامنه تغییرات ضریب b با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای محور طولی سیرک‌های رده N3,N2,N1 برابر با ۰/۳۳۲±۰/۰۶۶ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۳۲۳±۰/۰۶۲ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N3,N2,N1 کمی بیشتر است.

ضریب تغییرات ضریب A بر روی محور عرضی سیرک‌های رده N4 وN5 کمی بیشتر است. در نتیجه فرسایش یخچالی و آبی دیواره‌ی سیرک‌های رده N4 وN5 بیشتر در حال تخریب شدن هستند. تخریب دیواره سیرک‌ها این رده باعث افزایش اندازه سیرک‌ها شده است. این سیرک‌ها در حال تکامل و تبدیل شدن به سیرک‌های رده N3,N2,N1 در طول مدت زمان طولانی هستند.

جدول ۷- تعیین ضریب a و b و ضریب همبستگی (معادله توانی برازش شده) برای محور طولی و عرضی سیرک‌های ارتفاعات گرین

Table 7- Determining the a and b coefficients and correlation coefficient (fitted power equation) for the longitudinal and transverse axes of the Green heights circuses

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 بر روی محور طولی سیرک ها	N5، N4	۵۲	۲۰/۳۵	۰/۹۶	۰/۲۲۸	۱/۱۲۲	۰/۹۶۱	۱/۲۸٤	۰/۰٦۲ ±۰/۳۲۳
	N3، N2,N1	۹۳	۲۰/۷۹	۰/۹٦	۰/۲۳۵	۱/۱۲۸	۰/۹٦۲	۱/۲۹٤	۰/۰٦٦ ±۰/۳۳۲
ضریب a بر روی محور عرضی سیرک ها	N5، N4	۵۲	۱۰/۵۳	۰/۸۷	۰/۰۹۸۰	۰/۹۳۰۷	۰/۸٦۱٤	۱	۰/۱٤±۰/۰۲۷
	N3، N2,N1	۹۳	۹/۷۲	۰/۸۷	۰/۰۹۱۰	۰/۹۳۵۷	۰/۸۷۱٤	۱	۰/۱۲۷±۰/۰۱۹۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

نتیجه‌گیری

برای شناسایی و طبقه‌بندی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین به ۳۸ زیر حوضه یخچالی تقسیم شد. در ارتفاعات مشرف به این زیر حوضه‌ها تعداد ۱٤٥ سیرک یخچالی شناسایی گردید. بر اساس روش ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۱۷ سیرک معادل با ۱۱/۷۲درصد از کل سیرک‌ها در رده N1، تعداد ۲۸ سیرک معادل با ۱۹/۳۱ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2، تعداد ٤۸ سیرک معادل با ۳۳/۱۰ درصد از کل سیرک ها در رده N3، تعداد ۳۷ سیرک معادل ۲٥/٥۲ درصد از کل سیرک‌ها در رده N4 و تعداد ۱٥ سیرک یخچالی معادل ۱۰/۳٤ درصد از کل سیرک‌ها در این ارتفاعات وجود دارد. در ارتفاعات گرین تعداد سیرک‌های قطعی از سیرک‌های رده‌های دیگر بیشتر است. این موضوع حکایت از فعالیت یخچال‌های کواترنری در این ارتفاعات دارد که باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی در این محدوده شده است.

با توجه به میانگین محور طولی سیرک‌های هر دو رده، این سیرک‌ها شکلی طولی دارند و در امتداد دره گسترش پیدا کرده‌اند. همچنین در سیرک‌های یخچالی هر دو رده ضریب تغییرات محور طولی بیشتر از ضریب تغییرات محور عرضی آنها است. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های هر دو رده حرکت کردن یخچال در امتداد دره‌های این ارتفاعات باعث گسترش سیرک در امتداد دره‌ها و بیشتر شدن محور طولی در این سیرک‌ها شده است که این نشان دهنده فعالیت یخچال‌های کواترنری در ارتفاعات گرین در پلیستوسن پسین است. ولی سیرک‌های رده N4 و N5 در جهت عرضی گسترش کمتری داشته و تکامل کمی پیدا کرده‌اند. با توجه به موقعیت جغرافیایی ناهمواری-های منطقه این سیرک‌ها بیشتر در دامنه جنوبی گرین قرار دارند. تجمع یخ و برف در این سیرک‌ها در طول سال کم است و این مقدار برف و یخ و آب حاصل از ذوب آنها نمی‌تواند باعث فرسایش دیواره‌های کناری سیرک‌ها شود. در نتیجه اندازه سیرک های این رده زیاد نیست.

در سیرک‌های رده N1 وN2 وN3 در ارتفاعات گرین میانگین ضریب b بر روی محور طولی و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی این سیرک‌ها بیشتر از ۱ است. در این ارتفاعات میانگین ضریب b بر روی محور طولی این سیرک ها برابر با ۱/۱۲۸ متر و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ۱/۱۲۲ متر است. در این سیرک‌ها هم میانگین ضریب b برای محور طولی و هم میانگین ضریب a برای محور عرضی بیشتر از ۱ است بنابراین B>1 و A>1 است. در نتیجه رفتار آلومتری و ایزومتری در این ارتفاعات برای سیرک‌های این رده مثبت است. همچنین میانگین ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌های رده N4 وN5 و میانگین ضریب a بر روی محور عرضی سیرک‌های این رده کمتر از ۱ است. در نتیجه در این ناهمواریها برای هر دو ضریب B<۱ و A<1 است. در این ارتفاعات میانگین ضریب b بر روی محور طولی این سیرک ها برابر با ۰/۹۳٥۷ و این مقدار برای ضریب a بر روی محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ۰/۹۳۰۷ متر است. در نتیجه رفتار آلومتری و ایزومتری در این ارتفاعات برای سیرک‌های رده N4 وN5 منفی است. به طور کلی در ارتفاعات گرین سیرک‌های رده N1 وN2 وN3 توسعه یافته تر و متکامل تر از سیرک‌های رده N4 وN5 هستند. عملکرد یخچال‌های در دوره کواترنر باعث توسعه و تکامل سیرک های رده N1 وN2 وN3 در این ناهمواری‌ها شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

References

- Adediran, A. O., Parcharidis, I., Poscolieri, M., & Pavlopoulos, K. (2004). "Computerassisted discrimination of morphological units on north - central Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients". **Geomorphology**, 58(1), 357–370. DOI:10.1016/j.geomorph.2003.07.024.

- Alonso, V. (1994). "Analisis de los circos glaciares en las cabeceras de los rios Narcea, Ibias y Sil. Cordillera Cantabrica (NW de la Peninsula Iberica)". **Cuaternarioy Geomorfologia,** 8 (1-2), 109-121. http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images.

- Baranipour, l., & Saif, A. (2022). "Identification, classification and analysis of morphometric indices of glacial cirques in Silweh Basin". **Quantitative Geomorphology Research,** 2, 32-51. DOI:10.22034/gmpj.2022.319502.1323. [In Persian].

- Biranvand, H., & Saif, A. (2021). "Morphometric parameters of glacial cirques in the central highlands of Kerman province". **Geography**, 19, No. 71, 129-149. DOI:https://orcid.org/0000-0002-6880-1651. [In Persian].

- Biranvand, H., & Saif, A. (2019). "Identification, classification and morphometry of glacial cirques in Jopar highlands of Kerman". **Quantitative Geomorphology Research**, 4, 63-80. DOI:https://orcid.org/0000-0002-6880-1651. [In Persian].

- Dehn, M., & Dikau, R. (2001). "Principles of semantic modeling of landform structures". Computers, **Geosciences**, 27 (8), 1005–1010. DOI:10.1016/S0098-3004(00)00138-2.

- Delmas, M., Gunnell, Y., & Calvet, M. (2015). "A Critical appraisal of allometric growth amongAlpine cirques based on multivariate statistics and spatial analysis". **Geomorphology**, 228, 637- 652. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.021.

- Derruau, M. (1990). "**Les formes du relief terrestre: Notions de géomorphologie".** Part of: Géographie, Armand Colin, pub. 240p. ISBN 10: 2225841314 ISBN 13: 9782225841316.

- Ebrahimi , B., & Seif, A. (2017). "Morphometric properties of glacial cirques in Zagros mountain", Iran**. Geopersia**, 7 (1), 131-151. DOI: 10.22059/jgeope.2016.59236.

- Etzelmqller, B., & Sulebak, J. R. (2000). "Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology". **PhysischeGeographie**, 41, 35– 58. https://www.researchgate.net/publication / 285427262.

- Evans, I. S., & Cox, N.J. (1974). "Geomorphometry and the operational definition of cirques". 6, 150-159. https://scholar.google.co.uk/citations?view_op.

- 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. https://durham- repository.worktribe.com/output/1672976.

- 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. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.02.013.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

- Evans, I. S. (2009). "Allometric development of glacial cirques: an application of specific geomorphometry". **Proceeding of Geomorphology,** Zurich, Switzerland, 31 August – 2 September. http://www.geomorphometry.org/uploads.

- Evans, I. S. (2011). "Geomorphometry and landform mapping: what is a landform?". **Geomorphology**, 3, 341-354. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.09.029.

- Evans, I., & Cox, N. J. (1995). "The form of glacial cirques in the English Lake District", Cumbria. **Zeitschrift für Geomorphologie**, 39 (2): 175-202. DOI: 10.1127/zfg/39/1995/175.

- Federici, P. R., & Spagnolo, M. (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. https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2004.00228.x.

- García, 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://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2000.00132.x.

- Graf, W. L. (1976). "Cirques as glacier location". **Arctic and Alpine Research**, 8, 79-90. https://www.jstor.org/stable/1550611?seq=1.

- 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. DOI:10.1016/j.geomorph.2006.11.008 .

- Lopes, L., Oliva, M., Fernandes, M., Pereira, P., Palma, P., & Ruiz-Fernandez, J. (2018). Spatial distribution of morphometric parameters of glacial cirques in the Central Pyrenees (Aran and Boí valleys), ***J. Mt.*** 15(10), 2103-2119. https://link.springer.com/article/10.1007/s11629-018-4873-x

- Mıˆndrescu, M., Evans, I. S., & Cox, N. J. (2010). "Climatic implications of cirque distribution in the Romanian Carpathians: palaeowind directions during glacial periods". **Journal of Quaternary Science,** 25(6), 875 - 888. DOI:10.1002/jqs.1363.

- Mosivand, M. (2005). Engineering geological survey of green Nahavand dam construction, Master's Thesis, Bo Ali Sina University, Faculty of basic sciences. [In Persian].

- Pellitero, R., Barr, I., Spagnolo, M., & Omkins, M. (2024). "Morphometric analysis of cirques on the Iberian Peninsula provides insights into climate during past glaciations", **Geomorphology,** 461, (15), 109- 318. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109318.

- Pike, R. J., & Dikau, R. (1995). "**Advances in Geomorphometry - Proceedings of the Walter F. Wood Memorial Symposium**". International Conf on Geomorphology, Mc-Master University, Hamilton/Ontario, Canada, pub. 238p. ISBN 978-3-443-21101-1.

- Pike, R. J., Evans, I. S., & Hengl, T. (2009). "Geomorphometry: A brief guide, developments in soil science". **Elsevier**, 33, 3-30. https://doi.org/10.1016/S0166-2481 (08) 00001-9.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

- Principato, S, M., & Lee - Boreas, J, F. (2014). "GIS analysis of cirques on V estfirðir, northwest I celand: implications for palaeoclimate". **Boreas journal an international journal Quaternary research,** 43, (4), 807-817. https://doi.org/10.1111/bor.12075.

- Qhanavati, E., & Beheshti, J. A. (2014). "**New methods and techniques drawn maps geomorphology"**. Tehran University, pub. 306p. https://www.gisoom.com/book/11002238. [In Persian].

- Qobadi, M. (2018). "**Geology of karst engineering"**. Hamadan: Bo Ali Sina University, pub second edition, 320. https://www.gisoom.com/book/1725637. [In Persian].

- Seif, A., & Ebrahimi, B. (2014). "Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran". **Quaternary International,** 353(9), 236-249. DOI:10.1016/j.quaint.2014.07.005.

- Seif, A., (2014). "Pleistocene glacial cirques in the heights of Green Zagros". the first national conference of application and quaternary sciences in the understanding of environmental processes and the second national conference of the **Quaternary Association of Iran,** January 20, Isfahan University, 6-1. https://sid.ir/paper/830403/fa. [In Persian].

- Şimşek, M., Öztürk, M., Z., Yeşilyurt, S. & Utlu, M. (2023). "Morphometric characteristics and paleogeographic implication of glacial cirques in Eastern Black Sea Mountains (Türkiye)". **Geomorphology,** 441, (15), 10888. DOI:10.1016/j.geomorph.2023.108889.

- Steffanova, P., & Mentlik, P. (2007). "Comparison of morphometric characteristics of cirques in the Bohemian Forest". **Silva Gabreta,** 13 (3), 191-204. https://www.researchgate.net/publication/237677245.

- Vilborg, L. (1984). The cirque forms of Central Sweden. **Geografiska Annaler**. 66 A (1-2): 41-77. https://doi.org/10.1080/04353676.1984.11880099.

- Vilborg, L. (1977). The cirque forms of Swedish Lapland. **Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography**, 59, (3/4), 89-150. DOI:10.1080/04353676.1977.11879948.

- Yarahmadi, A. M. (2012). Analysis of factors affecting the formation of Quaternary glacial morphology in Ashtrankoh. Doctoral dissertation. The field of natural geography. Islamic Azad university, science and research Branch, Faculty of Literature and Humanities. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

Analysis of morphometric parameters of glacial cirques in the Green Heights

Hojjatollah Beiranvand[۱], Abdollah Seif[۲], Maryam Seydi Segvand[۳]

Email:hojat359@yahoo.com

Abstract

The Morphometric and allometric studies of glacial cirques allow for the investigation of vertical and regional development, degree of evolution, direction of development, relationship between the orientation of these landforms with topographic prominence, structural condition of bedrock and climatic factors. The aim of this study is to identify, classify and analyze the morphometric and allometric parameters of glacial cirques of the Green Heights in Lorestan Province. After identifying 38 glacial sub-basins, 145 glacial cirques were identified in the region and plotted on a classified slope map in two linear and polygonal formats. The cirque classification operation was carried out based on the methods of Wilburg and Rodberg, Evans and Cox. For the morphometry of these cirques, parameters such as (L), (W), (H), (L/W), (L/H), (W/H) and cirque size were used, and their morphometric and allometric characteristics were extracted and analyzed by fitting power models to the longitudinal profile of the cirques. According to the results of the research, there are 17 cirques of category N1, 28 cirques of category N2, 48 cirques of category N3, 37 cirques of category N4 and 15 glacial cirques of category N5 at these altitudes. In cirques of categories N1, N2 and N3, the average b coefficient on the longitudinal axis and the average a coefficient on the transverse axis of these cirques are greater than 1. As a result, the allometric and isometric behavior at these altitudes is positive for cirques of this category. Also, the average coefficient b on the longitudinal axis of the N4 and N5 category cirques and the average coefficient a on the transverse axis of the cirques of this category are less than 1. As a result, the allometric and isometric behavior at these altitudes is negative for these cirques.

Keywords: Allometry, glacial cirques, morphometry, Green Heights.

Introduction

The shape of cirques is a reflection of topographic and geological factors, the type and duration of glacial impact. The structure of rock, joints and cracks are important factors in the shape of the cliffs and the depth of the cirque basin. When the height of the peak in a mountain slightly exceeds the permanent snow line, glaciers often settle in cirques. Therefore, glacial cirques are considered as one of the typical landforms of glacial territories and an important indicator in paleo-tracing. Accurate identification and morphometric and allometric analyses of cirques will help to understand their degree of evolution and help geomorphologists in more accurate reconstruction of paleoenvironments and correct estimation of the height of the Quaternary glacier equilibrium line.

[1] . Department of Geography, Tarbiat Moalem University, Allameh Tabatabaei University, Khorramabad (Corresponding Author)
[2] . Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan.
[3] . Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

Materials and Methods

To identify the glacial cirques of the Green Heights, the study area was first cut from the digital elevation model (DEM) with an accuracy of 10 meters using Global Mapper software, and then, using Arc Gis10.5 software, a Hillshade map (light shade), a classification slope map, a slope direction map, and rate curves were created. For greater accuracy and to increase the accuracy of the work, the longitudinal and transverse profiles of the cirques were drawn using 3D Analyst Tools, and the landforms that were real cirques were identified and drawn in two linear and polygonal formats on the composite map. Also, the classification and ranking of the glacial cirques were carried out using the Wilburg and Rodberg, Evans, and Cox methods. Morphometric parameters including: cirque length (L), cirque width (W), height of the highest point of the cirque (H), cirque floor height, cirque outlet height, area, perimeter, and cirque size were used for analysis and morphometry of the cirques. Also, parameters such as length to width ratio (L/W), length to height ratio (L/H), and width to height ratio of the circus floor (W/H) will be measured and analyzed in the Excel software environment.

Results

The study area was divided into 38 glacial sub-basins. In the heights overlooking these sub-basins, 145 glacial cirques were identified and mapped based on new geomatic methods. According to the Wilburg and Rodberg method, there are 17 cirques in category N1, 28 cirques in category N2, 48 cirques in category N3, 37 cirques in category N4 and 15 glacial cirques in category N5. The average longitudinal axis of cirques in categories N2, N1 and N3 of Green Heights is 2.908 m with a coefficient of variation of 72.37 m and the average transverse axis of cirques in this category is 3.785 m. As a result, cirques in this category are extended in the longitudinal direction and have a longitudinal shape and have spread along the valley. So that the average length to width ratio of these circuses is 1.1644 meters with a coefficient of variation of 9.66 meters. In the Green Heights, the average longitudinal axis of the N4 and N5 category circuses is 500 meters and the average transverse axis of these circuses is 429.9 meters with a coefficient of variation of 28.45 meters. The average length to width ratio of these circuses is 1.675 meters. As a result, the circuses of this category, like the N2, N1 and N3 category circuses, have an elongated and longitudinal shape and are spread along the valley. In the N1, N2 and N3 category circuses in the Green Heights, the average coefficient b on the longitudinal axis and the average coefficient a on the transverse axis of these circuses are greater than 1. At these altitudes, the average coefficient b on the longitudinal axis of these circuses is 1.128 meters and the average coefficient a on the transverse axis of these circuses is 1.122 meters. Also, the correlation coefficient for the longitudinal axis coefficient of the circuses of the N1, N2, and N3 categories is 0.96, and this value for the transverse axis coefficient of these circuses is 0.87. In these circuses, both the average coefficient b for the longitudinal axis and the average coefficient a for the transverse axis are greater than 1, so B>1 and A>1. As a result, the allometric and isometric behavior at these altitudes for the circuses of this category is positive. Also, the average coefficient b on the longitudinal axis of the N4 and N5 categories and the average coefficient a on the transverse axis of the circuses of this category are less than 1. As a result, in these irregularities, for both coefficients, 1>B and A<1. At these altitudes, the average coefficient b on the longitudinal axis of these cirques is 0.9357 and this value for the coefficient a on the transverse axis of these cirques is 0.9307 m. The correlation coefficient for the transverse axis coefficient of cirques of this category is 0.96 and this value for the longitudinal axis

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]

coefficient of these cirques is 0.87. As a result, the allometric and isometric behavior at these altitudes is negative for cirques of categories N4 and N5.

Conclusion

According to the average longitudinal axis of the cirques of both categories, these cirques have a longitudinal shape and have expanded along the valley. Also, in the glacial cirques of both categories, the coefficient of variation of the longitudinal axis is greater than the coefficient of variation of their transverse axis. The accumulation of ice and snow in the cirques of both categories, the movement of the glacier along the valleys of these heights has caused the cirques to expand along the valleys and the longitudinal axis to increase in these cirques, which indicates the activity of Quaternary glaciers in the Green heights in the Late Pleistocene. However, the cirques of categories N4 and N5 have expanded less in the transverse direction and have evolved little. Due to the rugged geographical location of the region, these cirques are mostly located on the southern slopes of Green. The accumulation of ice and snow in these cirques is low throughout the year, and this amount of snow, ice, and water resulting from their melting cannot cause erosion of the side walls of the cirques. As a result, the size of the cirques of this category is not large.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4083]