



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۵، دوره ۹ شماره ۱، صص ۶۶-۴۹

## بهره گیری از پارامترهای مورفومتریک در تحلیل روند تکاملی سیرکهای یخچالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دالامپر)

مهدی فیض اله پور

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

feyzolahpour@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

### چکیده

سیرک های یخچالی از جمله اشکال یخچالی هستند که به واسطه آنها می توان شرایط اقلیمی گذشته از جمله دوره های سرد پلیستوسن را شناسایی نمود. در این تحقیق، ۲۰ سیرک یخچالی در حوضه آبریز دالامپر مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از نرم افزار Arc Gis، Portable googlemap server و Google earth استفاده شد. برای بررسی مورفومتری سیرک ها نیز از پارامترهای مساحت، محیط، عرض، طول، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و نسبت عرض به ارتفاع کف استفاده شد. برای هر یک از پارامترهای فوق نیز شاخص های آماری ضریب تغییرات، انحراف معیار، میانگین، ماکزیمم و مینیمم برآورد شد. در نهایت برای پارامترهای مورد بررسی، ضریب تعیین R2 محاسبه شده و ماتریس همبستگی پیرسون ترسیم شد. حدود ۹ سیرک یخچالی با حداکثر ارتفاع ۳۲۰۰ متر در جهت جغرافیایی شمال قرار دارد. بیشترین مساحت نیز به میزان ۳ کیلومتر مربع متعلق به سیرک شماره ۹ بوده است. بررسی ها نشان می دهد که سیرک های یخچالی که در قسمت جنوبی حوضه واقع شده اند از نسبت طول به عرض بیشتری برخوردار بوده و این امر نشان دهنده کشیدگی سیرک، عمق کم و ذخیره کم برف در آنها می باشد. در بین تمامی پارامترها نیز بیشترین میزان همبستگی بین نسبت عرض با نسبت پهنا به ارتفاع کف به میزان ۰/۹۸ بوده است. بین مساحت و عرض سیرک ها نیز همبستگی بالایی به میزان ۰/۸۷ برخوردار بوده است. با توجه به جهت سیرک ها می توان استدلال نمود که این وضعیت متأثر از دوره های پرآبی دریاچه ارومیه در دوره پلیستوسن بوده است.

کلمات کلیدی: سیرک یخچالی، مورفومتری، شرایط اقلیمی، پلیستوسن، دالامپر

سیرک های یخچالی، چاله های فرسایشی با دیواره های شیب داری می باشند که حالت قوسی شکل داشته و اغلب توسط دریاچه یا باتلاق اشغال می شوند (Evans and Cox, 1974:53; Barr and Spagnolo, 2015:471). اشکال سیرک ها بسیار متنوع بوده و این امر معرفی آنها را با مشکل مواجه می سازد (Mîndrescu and Evans, 2014:122). منشا شکل گیری آنها به دوره های یخبندان باز می گردد لیکن مکانیزم های موثر در شکل گیری آنها همچنان مورد بحث می باشد (Benn and Evans, 2010:715; Sanders et al, 2012:784, 2013:234). از اولین مطالعات صورت گرفته در این زمینه، اهمیت شرایط اقلیمی در شکل زایی اشکال در محیط های یخچالی و مجاور یخچالی بطور برجسته ای مورد توجه قرار گرفته است (Benedict, 1973; Delmas et al, 2015:642; Barr et al, 2017:471). در نتیجه، پارامترهای مختلفی مانند توزیع، جهت، ارتفاع کف و مورفومتری سیرک های یخچالی برای بررسی دمای دیرینه، گرادیان بارش و جهت باد غالب در طول دوره های یخبندان مورد استفاده قرار گرفته است (Dahl and Nesje, 1992:92; Ipsen et al, 2018:570). با این حال، عواملی مانند ساختار زمین شناسی، فرسایش پس از دوره های یخچالی و عدم قطعیت در مورد منشا آنها، بازسازی شرایط اقلیمی گذشته را با استفاده از مورفومتری سیرک ها، با چالش مواجه ساخته است (Barr and Spagnolo, 2015:473). علاوه بر این باید در نظر گرفت که سیرک های یخچالی در بسیاری از موارد در طول دوره های بین یخچالی به تکامل خود ادامه می دهند (Kleman and Stroeve, 1997:40; Ballantyne, 2002:1940). این امر به ویژه در رشته کوه های مدیترانه ای و رشته کوه های آلپ و هیمالیا بسیار مشهود است. در این نواحی، سیرک های یخچالی یکی از فراوانترین اشکال یخچالی هستند که تحت تاثیر آخرین دوره عصر یخچالی قرار گرفته اند (Hughes et al, 2006:418, 2007:245). در طول دهه های اخیر دو تکنیک بررسی رسوبات دریاچه ای و بررسی پرتوهای کیهانی در لندفرم های یخچالی، شواهدی را از شرایط اقلیمی گذشته در سیرک های یخچالی ارائه کرده اند. بسیاری از یخچال های کوهستانی طبیعی بین ۱۹ هزار تا ۲۶ هزار سال پیش به حداکثر وسعت خود دست یافته اند. این دوره با عنوان آخرین حداکثر یخچالی (LGM) شناخته شده که با حداقل سطح دریاها در مقیاس جهانی مصادف شده است (Clark et al, 2009:715; Hughes et al, 2013:176). سیرک های یخچالی اطلاعات ارزشمندی را در زمینه شرایط اقلیمی گذشته ارائه کرده اند. با وجود اینکه اکثر مطالعات مرتبط با سیرک ها مربوط به کوه های آلپ و مدیترانه بوده اند لیکن وجود سیرک های یخچالی با اطلاعات با ارزش از اقلیم گذشته منحصر به منطقه مدیترانه نمی باشد. سیرک ها حاصل یخبندان های متوالی در نواحی قاره ای به شمار می آیند. از سیرک ها برای بررسی روند و زمان گسترش یخچال ها در کوه های کرکونوس (Engel et al, 2014:112)، کارپات شمالی (Engel et al, 2015:111; Makos et al, 2018:135) و کارپات جنوبی (Gheorghiu et al, 2015) استفاده شده است. سن سنجی یخچال ها در این تحقیقات تا دوره هولوسن ادامه یافته است. سیرک های یخچالی کوچک یخچالی در کوه های آلپی همچنین اطلاعات

دقیقی در مورد نوسانات یخبندان و تکامل آب و هوایی اواخر هولوسن ارائه کرده اند (Ribolini et al, 2007; Ivy-Ochs et al, 2009:2142; Hippolyte et al, 2009:317; Moran et al, 2016:183; Ivy-Ochs, 2015:300; Le Roy et al, 2017:123). در ایالات متحده نیز سیرک های یخچالی اطلاعاتی را در مورد نوسانات دوره های یخچالی گذشته ارائه داده اند (Marcott et al, 2019:34; Laabs et al, 2020: 29). نتایج این تحقیقات، یافته های مربوط به یافته های یخچالی در سیرانوادا را مورد تأیید قرار داده است (Clark and Gillespie, 1997:26). سیرک های یخچالی می توانند داده های دقیقی را در مورد آخرین مراحل یخ زدایی صفحات یخی و پیشروی یخچال ها ارائه نمایند. به عنوان مثال، چهار مرحله پیشروی یخچال ها پس از ناپدید شدن کامل ورقه های یخی اسکاندیناوی در سیرک های نوژ مشاهده شده است (Paasche et al, 2007:392; Dahl and Nesje, 1992:92). در سوالبارد، سیرک های کوچک حاوی مورن هایی هستند که مربوط به سال های ۱۳۰۰ تا ۱۸۵۰ میلادی بوده اند (Mangerud and Landvik, 2007:283). یکی از بهترین نمونه های اهمیت دیرینه اقلیمی سیرک ها را می توان در شبه جزیره ترولاسکاگی در شمال ایسلند مشاهده کرد. این ناحیه قبلاً توسط ورقه یخی پوشیده شده بود (Ipsen et al, 2018:570). در این شبه جزیره، سیرک های یخچالی میزبان مورن های دوره هولوسن و پلیستوسن می باشند (Fernandez et al, 2019:504).

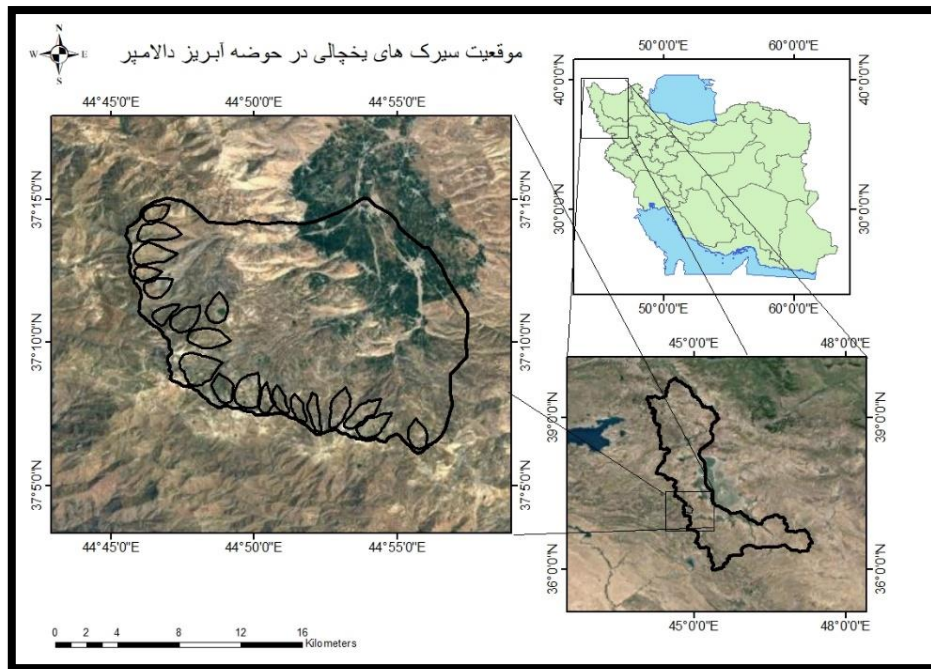
در اقلیم ایران که بخش اعظم آن در محیط نیمه خشک بیابانی قرار گرفته است وجود اشکال یخچالی شواهدی از دوره های سرد گذشته داشته اند. در تحقیقات مختلفی با بهره گیری از سیرک های یخچالی اقدام به بازسازی شرایط اقلیمی دوره های یخچالی پلیستوسن شده است. احمدآبادی و همکاران (۱۹۹۷) با بهره گیری از ویژگیهای ژئومورفومتری به شناسایی سیرک های یخچالی زردکوه پرداختند. نتایج نشان داد که سیرک های یخچالی در زردکوه تحت شرایط انحلال کارستی شکل و توسعه یافته و در بیشتر موارد شکل تیپیک سیرک را ندارند. جعفری و حضرتی (۱۳۹۷) اقدام به بازسازی برف مرز کواترنری واحد ژئومورفیک زاگرس ایران پرداختند. پراکندگی سیرک های شناسایی شده نشان داد که دامنه شمال شرقی این واحد، شرایط مساعدتری برای شکل گیری سیرک داشته است. بهشتی و اسفندیاری (۱۳۹۷) با استفاده از روش شی گرا به شناسایی سیرک های یخچالی سبلان پرداختند. نتایج نشان داد که روش فوق توانسته با بهره گیری از روش فوق به خوبی به شناسایی سیرک ها پردازد. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف به تعیین و بررسی سیرک های یخچالی اشترانکوه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سیرک های دامنه شمال شرقی با توجه به تابش دریافتی کمتر و تاثیرپذیری کمتر از فرایندهای مختلف شکل زا مانند هوازدگی، کمتر از دامنه های مقابل تغییر یافته است. بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) اقدام به شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که یخچال زایی در این ناهمواری ها به صورت دره ای عمل نموده و به دلیل فعال بودن تکتونیک، سیرک ها از توسعه و تکامل کمتری برخوردارند. بیرانوند و سیف (۱۴۰۰) پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی در ارتفاعات مرکزی استان

کرمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که از بین ۸۸۴ سیرک یخچالی شناسایی شده، ۱۸۵ سیرک از تکامل خوبی برخوردار بوده اند. بارانی پور و سیف (۱۴۰۱) به شناسایی، طبقه بندی و تحلیل شاخص های مورفومتری سیرک های یخچالی حوضه سیلوه پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد یخچال های کواترنری در این ارتفاعات به گونه ای بوده است که سبب تکامل چشمگیر در سیرک های یخچالی نشده است.

کوه های دالامپر در مرز بین ایران، ترکیه و عراق یکی از نواحی بکر و دست نخورده ای است که تاکنون از نظر گسترش یخچال ها و شرایط اقلیمی دوران های سرد گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا استفاده از مورفومتری سیرک های یخچالی می تواند در تحلیل شرایط گذشته اقلیمی موثر باشد. بنابراین در این تحقیق به بررسی مورفومتری ۲۰ سیرک در حوضه آبریز دالامپر پرداخته شد.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه دالامپر در مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی در استان آذربایجان غربی و در نقطه مرزی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در بین کوه بزسینا و دالامپر بین شهرستان اشنویه و ارومیه واقع شده است. روستاهای این منطقه بر روی رسوبات یخچالی پلیستوسن واقع شده است. فاصله قله دالامپر تا کوه بزسینا حدود ۳ کیلومتر می باشد. میانگین بارش سالانه در ایستگاه اشنویه ۴۴۷ میلیمتر بوده ولی در این کوهستان به ۶۰۰ میلیمتر می رسد که عمدتاً به صورت برف می باشد. میانگین دمای سالانه نیز در ایستگاه اشنویه به ۱۱/۲ درجه سانتیگراد می رسد. سنگ های این منطقه عمدتاً از نوع سنگ های آهکی و دگرگونی بوده و بخش هایی از آن را توده های افیولیتی تشکیل می دهد. در این منطقه شواهد دوره های یخچالی کواترنری به شکل سیرک ها و مورن های یخچالی مشاهده می شود.



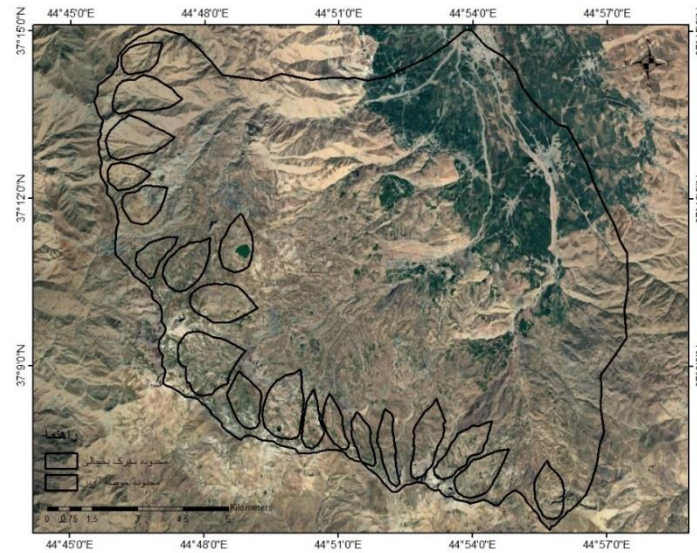
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه دالامپیر

## مواد و روش ها

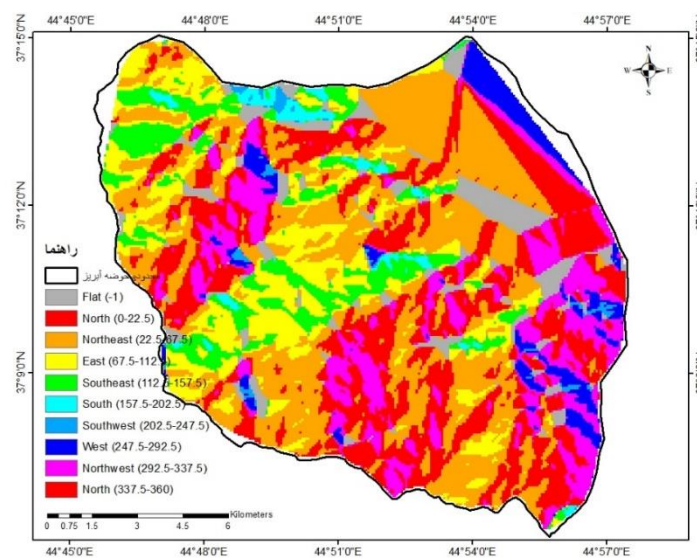
در این تحقیق، ۲۰ سیرک یخچالی در حوضه آبریز دالامپیر مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از نرم افزارهای Arc Gis، Portable Googlemap Server، Google Earth و Excel استفاده شدند. برای شناسایی سیرک ها از خطوط منحنی میزان استفاده شده و در تصاویر Google earth صحت سنجی شدند. سپس سیرک های یخچالی به دو شکل خطی و پولیگونی ترسیم گردید. علاوه بر آن نیاز به نقشه های سطوح ارتفاعی، جهت شیب و توپوگرافی محسوس بود لذا با بهره گیری از نرم افزار Arc Gis، از نقشه توپوگرافی، ابتدا لایه TIN و سپس DEM تهیه شد. با بهره گیری از لایه DEM، لایه جهت شیب ترسیم گردید. سپس برای تمامی سیرک های یخچالی نیمرخ طولی ترسیم شده و به این وسیله حداکثر و حداقل ارتفاع سیرک ها مشخص شد. برای مورفومتری سیرک ها نیز پارامترهای طول، عرض، محیط، مساحت، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و نسبت پهنا به ارتفاع کف برآورد گردید. درصد فراوانی و تعداد سیرک ها در جهات جغرافیایی نیز تعیین گردید. به منظور پی بردن به روابط بین پارامترهای مورفومتریک بین هر یک از پارامترها با پارامتر دیگر ماتریس همبستگی پیرسون برآورد گردید. پارامترهای آماری ضریب تغییرات، میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر نیز برای هر یک از پارامترهای مورفومتریک محاسبه شد. در نهایت مقادیر ضریب تعیین  $R^2$  محاسبه شده و نمودار پراکنش ترسیم گردید.

## بحث و نتایج

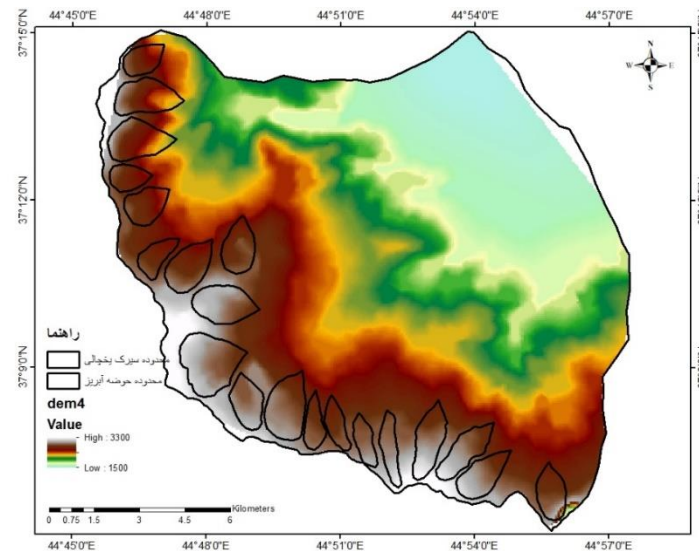
با استفاده از نقشه توپوگرافی و تصاویر ماهواره ای Google earth موقعیت ۲۰ سیرک در منطقه دالامپر شناسایی شده و نیمرخ طولی آنها ترسیم گردید. برای ترسیم نیمرخ طولی و برآورد مقادیر مساحت و محیط، نقشه های Dem، جهت شیب و توپوگرافی ترسیم شد.



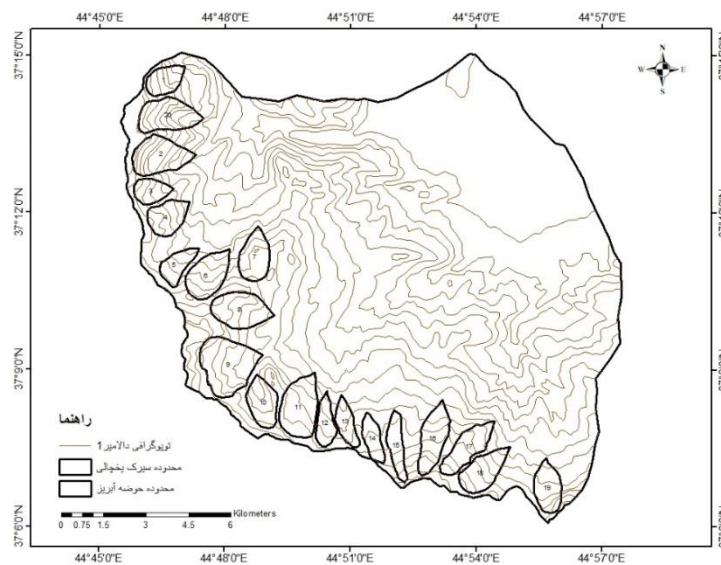
شکل ۲. موقعیت سیرک های یخچالی در حوضه آبریز رودخانه دالامپر



شکل ۳. نقشه جهت شیب و موقعیت سیرک های یخچالی در حوضه آبریز رودخانه دالامپر



شکل ۴. نقشه سطوح ارتفاعی و موقعیت سیرک ها بر روی این نقشه در حوضه رودخانه دالامپر



شکل ۵. نقشه توپوگرافی حوضه آبریز جاجرود و موقعیت سیرک های شناسایی شده در حوضه رودخانه دالامپر

سیرک های یخچالی با توجه به مسیر حرکت منابع رطوبتی و جریانات باران زا در جهات جغرافیایی مختلفی توسعه می یابند. دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی از قبیل دریاچه ها و دریاها در توسعه سیرک ها نقش مهمی ایفا می کند. شرایط اقلیمی دوران های گذشته متفاوت از زمان حال بوده است. در دوران پلیستوسن عصرهای یخچالی متنوعی به وقوع پیوسته و در بین هر یک نیز عصرهای بین یخچالی حاکم بوده است. در دوران های یخچالی دریاچه ها رفتاری متفاوت از دریاها داشته و با گسترش همراه بوده اند که در این بین دریاچه ارومیه از این امر مستثنی نیست. شواهد

فراوانی از پادگانه های دریاچه ای در نواحی دور از دریاچه مشاهده شده که این امر موید گسترش دریاچه تا این حدود بوده است. حوضه آبریز دالامپر که در غرب دریاچه واقع شده بی تاثیر از این نوسانات نبوده است. با شناسایی سیرک های یخچالی مشاهده می شود که این سیرکها تنها درسه جهت شمال، شرق و شمال شرق گسترش یافته اند. حداکثر ارتفاع سیرک به میزان ۳۲۰۰ متر در جهت شمال گسترش یافته است. و حداقل آن نیز در جهت شرقی دیده می شود. لیکن تفاوت در ارتفاعات بین این جهات جغرافیایی قابل توجه نبوده و تفاوت به ۳۵۰ متر نمی رسد. لذا این میزان ارتفاعات را نمی توان دلیلی بر وضعیت شرایط اقلیمی از قبیل مسیر جریانات هوا و توده های باران زا دانست.

جدول ۱. حداکثر ارتفاع سیرک ها به نسبت جهت جغرافیایی

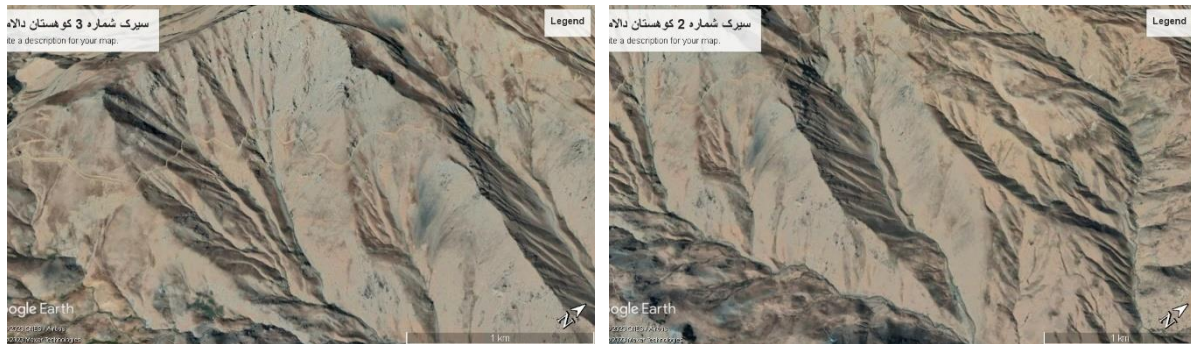
جهت سیرک ها	شمال	شمال شرق	شرق
۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰	۳۲۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰
	۳۱۰۰	۲۹۰۰	۳۰۰۰
	۳۰۰۰	۲۹۰۰	۳۰۰۰
	۲۹۰۰	۲۹۰۰	۳۰۰۰
	۲۹۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰
	۲۸۵۰	۲۸۰۰	
	۲۸۰۰		
	۲۸۰۰		
	۲۷۰۰		

جدول ۲. درصد فراوانی سیرک های یخچالی حوضه آبریز دالامپر

جهت سیرک	شمال	شمال شرق	شرق
درصد فراوانی سیرک ها	۴۵	۳۰	۲۵
تعداد سیرک	۹	۶	۵

پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی اطلاعات با ارزشی در مورد وضعیت اقلیمی گذشته ارائه می دهد. به این منظور پارامترهای طول، عرض، مساحت، محیط، حداکثر ارتفاع، حداقل ارتفاع، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و نسبت پهنا به ارتفاع کف برای هر یک از ۲۰ سیرک انتخاب شده برآورد گردید. بیشترین مساحت به میزان ۳ کیلومتر مربع مربوط به سیرک شماره ۹ می باشد این سیرک از بیشترین پهنا به میزان ۲۰۰۵ متر برخوردار بوده است. کمترین مساحت نیز با مقادیر ۸۴۰ متر مربع متعلق به سیرک شماره ۱۴ بوده است. طول هر

سیرک یخچالی نشان دهنده میزان گسترش آن و عمق و میزان تغذیه آن با مقادیر برف ذخیره شده می باشد. بیشترین میزان طول با مقادیر ۲۷۵۶ متر متعلق به سیرک شماره ۱۶ می باشد.



شکل ۶. نمایی از سیرک های شماره ۲ و ۳ از تصویر Google earth

نسبت طول به عرض نشان دهنده شکل و تکامل یک سیرک می باشد. مقادیر بالای این نسبت نشانه کشیدگی سیرک و تکامل نیافتگی سیرک می باشد. زمانی که این نسبت بالا باشد سیرک کم عمق بوده و حجم برف کمی را در خود نگه می دارد. بیشترین میزان نسبت طول به عرض به میزان ۴/۹۱ متعلق به سیرک شماره ۱۵ می باشد. این سیرک در جهت شمال کشیده شده و از عمق کمی برخوردار می باشد. سیرک های این ناحیه به علت دسترسی ناکافی به منابع رطوبتی تکامل نیافته بوده و از عمق کمتری برخوردارند. کمترین میزان نسبت طول به عرض نیز متعلق به سیرک شماره ۹ به میزان ۱/۰۳ می باشد. این سیرک تکامل یافته ترین و وسیع ترین سیرک در این حوضه به شمار می آید.

جدول ۳. پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی حوضه آبریز دالامپیر

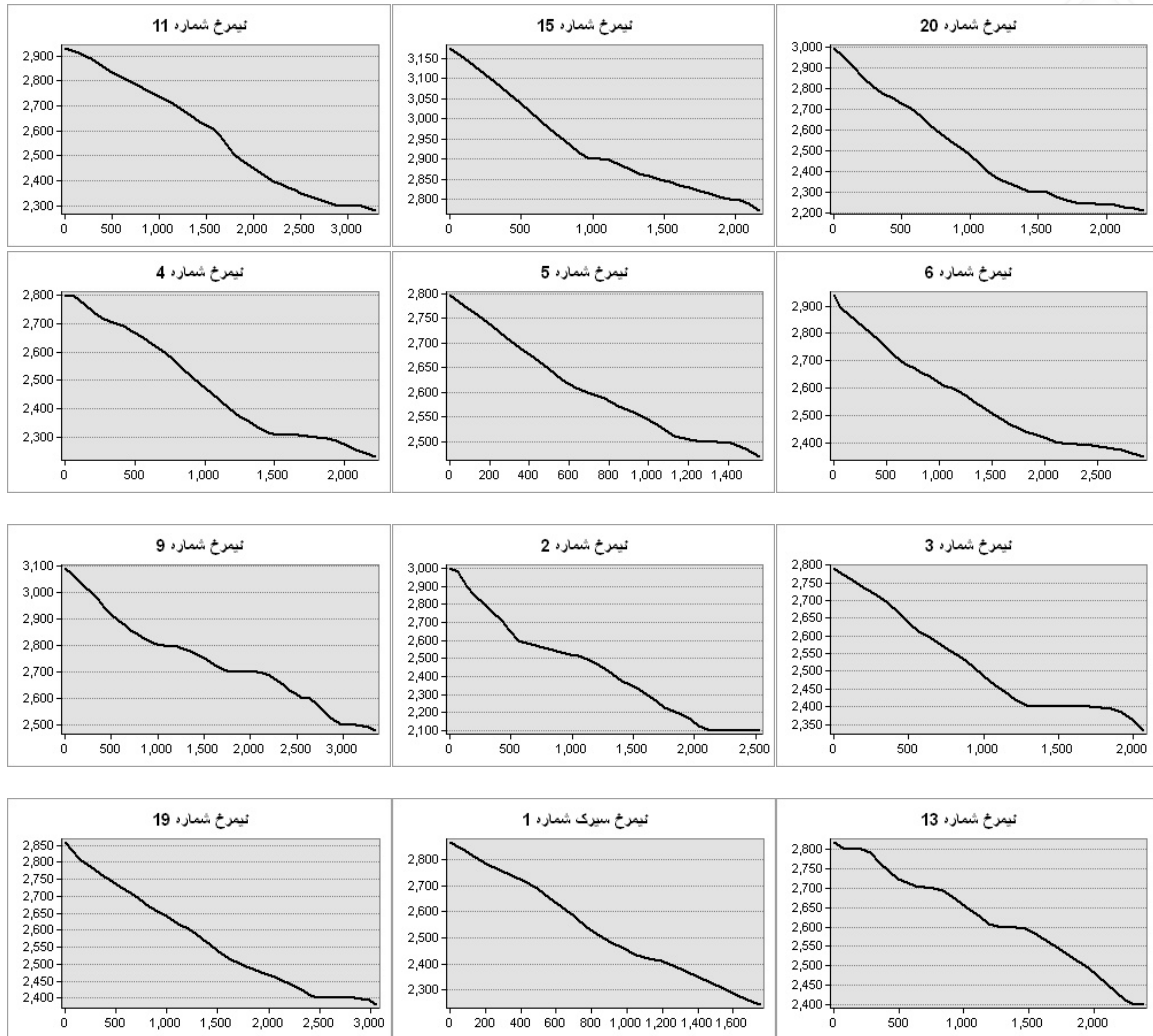
شماره	مساحت km <sup>2</sup>	محیط km	طول m	عرض m	حد اکثر ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	نسبت طول به عرض	نسبت طول به ارتفاع کف	نسبت پهنا به ارتفاع کف
۱	۱/۰۵	۴/۲۴	۱۵۷۱	۹۶۷	۲۹۰۰	۲۲۰۰	۱/۶۲	۰/۷۱	۰/۴۳
۲	۲/۰۷	۴/۸۲	۲۲۹۷	۱۲۷۸	۳۰۰۰	۲۱۰۰	۱/۷۹	۱/۰۹	۰/۶۱
۳	۰/۸۹	۵/۵۲	۱۴۰۳	۹۱۴	۲۸۰۰	۲۳۰۰	۱/۵۳	۰/۶۱	۰/۳۹
۴	۱/۳۴	۶/۹۱	۱۶۵۱	۱۰۹۱	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۱/۵۱	۰/۷۵	۰/۴۹
۵	۰/۹۶	۴/۷۳	۱۶۲۹	۷۵۵	۲۸۰۰	۲۴۰۰	۲/۱۵	۰/۶۷	۰/۳۱
۶	۱/۷۹	۶/۰۵	۲۱۱۷	۱۱۹۱	۲۹۰۰	۲۳۰۰	۱/۷۷	۰/۹۲	۰/۵۱
۷	۱/۵	۴/۴۵	۱۹۱۳	۱۱۰۲	۲۷۰۰	۲۳۰۰	۱/۸۳	۰/۸۳	۰/۴۷
۸	۲	۳/۴	۲۲۵۹	۱۲۸۰	۳۰۰۰	۲۴۰۰	۱/۷۶	۰/۹۴	۰/۵۳
۹	۳	۶/۹	۲۰۷۴	۲۰۰۵	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱/۰۳	۰/۸۳	۰/۸۱
۱۰	۱/۴۴	۴/۷۳	۱۹۳۲	۹۷۶	۳۰۰۰	۲۷۰۰	۱/۹۷	۰/۷۱	۰/۳۶
۱۱	۲/۳۴	۶/۰۵	۲۳۶۷	۱۲۸۶	۲۹۰۰	۲۳۰۰	۱/۸۴	۱/۰۳	۰/۵۶
۱۲	۰/۹	۴/۴۵	۱۹۴۳	۷۱۷	۲۸۰۰	۲۶۰۰	۲/۷۱	۰/۷۴	۰/۲۷
۱۳	۰/۸۶	۳/۴	۱۹۱۷	۵۶۷	۲۸۰۰	۲۴۰۰	۳/۳۸	۰/۷۹	۰/۲۳
۱۴	۰/۸۴	۴/۲۱	۱۸۵۰	۵۵۲	۲۹۰۰	۲۵۰۰	۳/۳۵	۰/۷۴	۰/۲۲
۱۵	۱	۵/۵۱	۲۵۶۴	۵۲۳	۳۲۰۰	۲۷۰۰	۴/۹۱	۰/۹۴	۰/۱۹
۱۶	۱/۷۶	۶/۱	۲۷۵۶	۸۳۷	۳۱۰۰	۲۶۰۰	۳/۲۹	۱/۰۶	۰/۳۲

۰/۲۸	۰/۹۶	۳/۳۷	۲۷۰۰	۳۱۰۰	۷۷۱	۲۵۹۸	۵/۹۲	۱/۶۳	۱۷
۰/۴۵	۰/۹۶	۲/۱۳	۲۳۰۰	۲۹۰۰	۱۰۴۰	۲۲۲۴	۵/۲۸	۱/۵۹	۱۸
۰/۴۱	۰/۸۱	۱/۹۳	۲۴۰۰	۲۸۵۰	۹۹۵	۱۹۲۱	۴/۶۴	۱/۳۵	۱۹
۰/۴۶	۱/۰۲	۲/۱۹	۲۲۰۰	۳۰۰۰	۱۰۲۵	۲۲۵۳	۵/۲۳	۱/۹۸	۲۰

برای هر یک از پارامترهای موثر در مورفومتری سیرک های یخچالی، تحلیل های آماری ضریب تغییرات، انحراف معیار و میانگین برآورد گردید. بررسی ها نشان داد که کمترین میزان ضریب تغییرات متعلق به پارامتر حداکثر ارتفاع بوده است. حداکثر ارتفاع سیرک ها در ارتفاع ۳۲۰۰ متری قرار داشته و کمترین میزان آن حدود ۲۷۰۰ متر می باشد. اختلاف بین حداکثر ارتفاع سیرک ها در این حوضه تنها ۵۰۰ متر بوده و این میزان قابل توجه نمی باشد و این نشان می دهد که تمامی سیرک های این منطقه از شرایط یکسانی برخوردار بوده اند. جهت جغرافیایی توزیع سیرک ها در این منطقه نیز موید این نکته می باشد. لیکن در مورد پارامتر عرض سیرک ها اختلاف بسیار قابل توجه بوده و حداکثر آن ۲۰۰۵ متر و حداقل آن ۵۲۳ متر می باشد. این پارامتر در برآورد نسبت طول به عرض به کار رفته و نشانه تکامل یک سیرک می باشد. بخش اعظمی از سیرک های این منطقه از نسبت طول به عرض قابل توجهی برخوردار بوده و بسیار کشیده می باشند که این نکته نشانه تغذیه کم این سیرک ها و تکامل نیافتگی آنها می باشد که علت آن را می توان عدم دسترسی به منابع رطوبتی کافی دانست. در این امر بایستی حد توسعه یافتگی دریاچه ارومیه در دوره پلیستوسن را مورد بررسی قرار داد.

#### جدول ۴. تحلیل آماری پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی حوضه آبریز دالامپر

پارامترهای مورفومتری	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
مساحت km <sup>2</sup>	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۵۱	۳	۰/۸۴
محیط km	۰/۱۶	۰/۸۶	۲/۵	۶/۹۱	۴/۲۱
طول m	۰/۱۷	۳۵۸	۲۰۶۱	۲۷۵۶	۱۴۰۳
عرض m	۰/۳۳	۳۳۶	۹۹۳	۲۰۰۵	۵۲۳
حداکثر ارتفاع m	۰/۰۴	۱۳۱	۲۹۲۷	۳۲۰۰	۲۷۰۰
حداقل ارتفاع m	۰/۰۷	۱۸۲	۲۴۰۵	۲۷۰۰	۲۱۰۰
نسبت طول به عرض	۰/۴۱	۰/۹۲	۲/۲۹	۴/۹۱	۱/۰۳
نسبت طول به ارتفاع کف	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۸۵	۱/۰۹	۰/۶۱
نسبت پهنا به ارتفاع کف	۰/۳۶	۰/۱۵	۰/۴۱	۰/۸۱	۰/۱۹



شکل ۷. نیمرخ طولی سیرک های یخچالی برخوردار از نسبت بالای طول دو بعدی به طول سه بعدی

نسبت طول دو بعدی به طول سه بعدی در ترسیم نیمرخ طولی نشان دهنده درجه توسعه یافتگی یک سیرک می باشد. البته با توجه به شکل کلاسیک سیرک ها می توان تا حدودی تکامل یافتگی و عمق آنها را تعیین نمود. از بین ۲۰ سیرک یخچالی برخی از سیرک ها از درجه تکامل یافتگی بهتری برخوردار بودند که نیمرخ طولی آنها در این تحقیق نمایش داده شد. از طریق نیمرخ طولی، پارامترهای طول، عمق و ارتفاع کف مشخص می گردد.

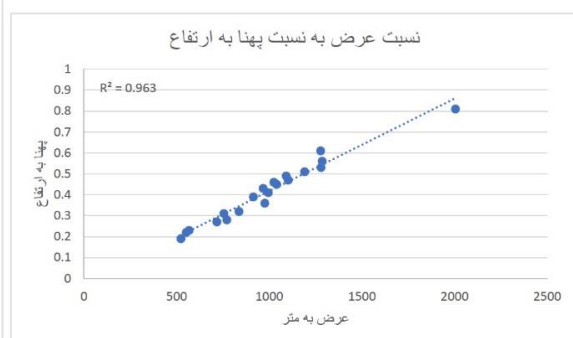
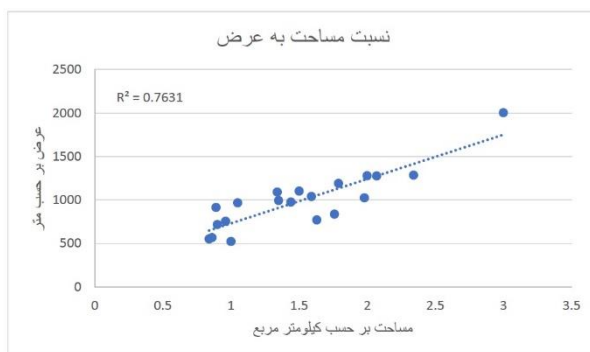
در برآورد ماتریس همبستگی، از همبستگی پیرسون استفاده شد. لذا بین هر پارامتر به صورت دو به دو رابطه همبستگی برقرار گردیده و در این امر از نرم افزار excel استفاده شد. مقادیر نزدیک به ۱ نشان دهنده همبستگی مثبت و مقادیر نزدیک به -۱ نشان دهنده همبستگی منفی می باشد. بیشترین میزان همبستگی بین پارامتر عرض و نسبت پهنا به ارتفاع کف بوده و این مقدار معادل ۰/۹۸ می باشد. پس از آن رابطه بین طول به نسبت طول به ارتفاع با مقادیر ۰/۸۸ در جایگاه دوم قرار دارد. رابطه بین مساحت با عرض نیز قابل توجه بوده و معادل ۰/۸۷ می باشد. در بین سیرک های

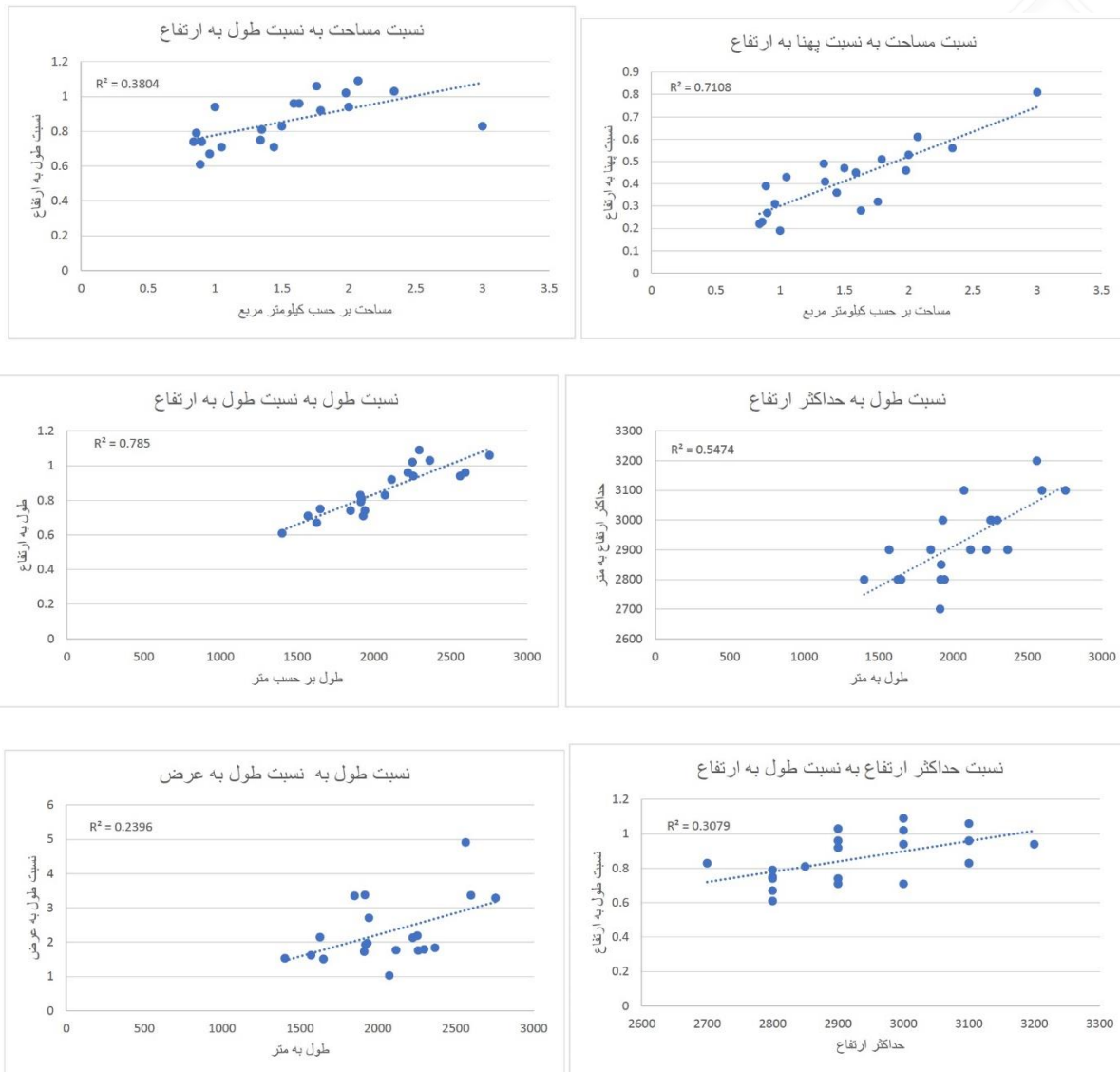
مورد مطالعه سیرک شماره ۹ که از بیشترین مساحت برخوردار است از بیشترین پهنا نیز برخوردار بوده که این امر نشانه کروی بودن سیرک و درجه بالای تکامل آن می باشد.

جدول ۵. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای پارامتری سیرک یخچالی حوضه آبریز دالامپر

پارامترهای مورفومتری	مساحت km <sup>2</sup>	محیط km	طول m	عرض m	حداکثر ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	نسبت طول به عرض	نسبت طول به ارتفاع	نسبت پهنا به ارتفاع
مساحت km <sup>2</sup>	۱	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۸۷	۰/۴۳	-۰/۱۶	۰/۶۱	۰/۸۴	
محیط km		۱	-۰/۰۵	۰/۵۱	۰/۱۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴	۰/۵۰	
طول m			۱	۰/۰۳	۰/۷۳	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۸۸	-۰/۰۰۵
عرض m				۱	۰/۱۳	-۰/۳۴	-۰/۷۶	۰/۲۳	۰/۹۸
حداکثر ارتفاع m					۱	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۵۵	۰/۰۶
حداقل ارتفاع m						۱	۰/۶۱	-۰/۰۹	-۰/۵۱
نسبت طول به عرض							۱	۰/۱۹	-۰/۷۹
نسبت طول به ارتفاع								۱	۰/۲۷
نسبت پهنا به ارتفاع									۱

در نهایت در نرم افزار excel بین تمامی پارامترها به صورت دو به دو نمودار پراکنش ترسیم شده و مقادیر ضریب تعیین یا R<sup>2</sup> محاسبه شد. مقادیر نزدیک به ۱ نشان دهنده بیشترین همخوانی بین پارامترها می باشد. در بین سیرک ها تنها نمودار مقادیری نشان داده شد که از مقادیر قابل توجه تری برخوردار بوده است. برای مثال نسبت عرض به نسبت پهنا به ارتفاع معادل ۰/۹۶۳ بوده و این نشان دهنده همبستگی بالا بین این دو پارامتر می باشد. نسبت مساحت به عرض نیز از مقادیر ضریب تعیین معادل ۰/۷۶ برخوردار است که رقم قابل توجهی به شمار می آید.





شکل ۸. نمودار پراکنش پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی حوضه آبریز دالامپر

### نتیجه گیری

در دوره پلیستوسن فرایندهای یخچالی به دفعات مختلف فعالیت نموده و با پیشروی و پسروی خود، عصرهای یخچالی و بین یخچالی را شکل داده اند. تغییرات اقلیمی باعث کاهش و افزایش دما شده و باعث شکلگیری این دوره ها گردیده است. شواهد این دوران به شکل عوارض ژئومورفولوژیکی از قبیل مورن، دره های یخچالی و سیرک های یخچالی در کوهستان ها باقی مانده و طی فرایندهای بعدی دستخوش تغییرات فرسایشی قرار گرفتند. کاهش چندین درجه ای دما علاوه بر پایین آمدن خط برف مرز دائمی، باعث تبخیر از سطح دریاچه ها شده و سطح آب دریاچه ها بالا آمده و پادگانه های آبرفتی از خود برجای گذاشته اند. در دریاچه ارومیه می توان ۴ پادگانه آبرفتی را که مربوط به دوران های یخچالی می باشند مشاهده کرد. پوشش برف در کوهستان ها و جریان زبانه های یخی باعث

حفر عوارضی در دامنه ها گردیدند. برخی از تکنیک ها از قبیل استفاده از تصاویر ماهواره ای و نرم افزار Arc GIS امکان مشاهده این تغییرات را میسر ساخته است. در این بین برخی از تکنیک ها از قبیل مورفومتری اشکال یخچالی می تواند اطلاعاتی را از وضعیت اقلیمی گذشته ارائه نموده و بازسازی شرایط دمایی و بارشی گذشته را ممکن سازد. در این تحقیق از روش مورفومتری برای بررسی سیرک های یخچالی استفاده شد. به این منظور پارامترهای محیط، مساحت، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع راس سیرک، طول، عرض، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و عرض به ارتفاع کف مورد بررسی قرار گرفته و بین این پارامترها رابطه همبستگی پیرسون و ضریب تعیین R2 محاسبه شده و به این وسیله نمودار پراکنش ترسیم شد. بین پارامترهای مورفومتری، نسبت عرض به نسبت پهنا به ارتفاع و نسبت مساحت به عرض به ترتیب با مقادیر ۰/۹۶۳ و ۰/۷۶۳۱ بیشترین مقادیر R2 را داشته اند. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون نیز برای این دو پارامتر به ترتیب معادل ۰/۹۸ و ۰/۸۷ بوده که نشاندهنده بیشترین مقادیر همبستگی بین این دو پارامتر بوده است. نسبت طول به عرض نشان دهنده تغذیه سیرک های یخچالی و عمق آنها می باشد. نسبت بالای این پارامتر نشان دهنده کشیدگی بالای سیرک داشته و لذا عمق سیرک کم خواهد بود. مقادیر کم این پارامتر نیز نشان دهنده حالت کروی سیرک داشته و نمایانگر تکامل در سیرک می باشد. بیشترین میزان نسبت طول به عرض معادل ۴/۹۱ می باشد که متعلق به سیرک شماره ۱۵ می باشد. این سیرک از کشیدگی قابل توجهی برخوردار بوده لیکن از عمق کمتری برخوردار است. کمترین میزان این نسبت نیز معادل ۱/۰۳ بوده و پهنای این سیرک معادل ۲۰۰۵ متر می باشد که تکامل یافته ترین و بزرگترین سیرک این منطقه می باشد. در بخش اعظمی از سال می توان هسته های یخی را در این سیرک مشاهده کرد. شواهدی از فرسایشی تراکمی و کاوشی یخچال های دوره پلیستوسن به فراوانی در دامنه های این منطقه مشاهده می شود. بعضی از سیرک ها توسط جریان های یخچالی پس از دوره پلیستوسن دچار تخریب و فرسایش شده اند. این سیرک ها تنها در ماه های شهریور تا مهر امکان مشاهده داشته و پس از آن توسط لایه های برف پوشیده می شوند. جهت تمام سیرک های این منطقه به سمت مال، شرق و شمال شرق بوده و به سمت دریاچه ارومیه می باشند. این منطقه از منابع رطوبتی دریاچه خزر، دریای سیاه و مدیترانه دور بوده و وسعت سیرک ها نشانه شدت عملکرد عوامل اقلیمی در دوره های یخبندان پلیستوسن می باشد.

## منابع

احمدآبادی، علی؛ فتح اله زاده، محمد؛ کیانی، طیبه؛ عمادالدین، فاطمه. (۱۳۹۸). تعیین و بررسی سیرک های یخچالی اشترانکوه با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف (NDSI)، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۹، سال ۵، ص ۱-۱۸.

احمدآبادی، علی؛ کرم، امیر؛ سرکیسیان، واردوهی. (۱۳۹۷). شناسایی سیرک های یخچالی زردکوه با تاکید بر ویژگی های ژئومورفومتری، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، ص ۱-۱۶.

- بارانی پور، افسانه؛ سیف، عبدالله. (۱۴۰۱). شناسایی، طبقه بندی و تحلیل شاخص های مورفومتری سیرک های یخچالی حوضه سیلوه، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال یازدهم، شماره ۲، صص ۵۱-۳۲.
- بهشتی جاوید، ابراهیم؛ اسفندیاری، فریبا. (۱۳۹۷). استخراج و شناسایی لندفرم های یخچالی با استفاده از روش شی گرا، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۴، صص ۱۰۲-۸۸.
- بیرانوند، حجت اله؛ سیف، عبدالله. (۱۳۹۹). شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۴، صص ۸۰-۶۳.
- بیرانوند، حجت اله؛ سیف، عبدالله. (۱۴۰۰). پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی در ارتفاعات مرکزی استان کرمان، فصلنامه جغرافیا، دوره ۱۹، شماره ۷۱، صص ۱۴۹-۱۲۹.
- جعفری، غلامحسین؛ حضرتی، نسرين. (۱۳۹۷). بازسازی برف مرز کوتاترنری واحد ژئومورفیک زاگرس ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲۸، صص ۴۹-۳۳.
- Barr, I.D., Ely, J.C., Spagnolo, M., Clark, C.D., Evans, I.S., Pellicer, X.M. 2017. Climate patterns during former periods of mountain glaciation in Britain and Ireland: inferences from the cirque record. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 485, pp.466- 475.
- Barr, I.D., Spagnolo, M. 2015. Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: their potential and limitations. *Earth Sci. Rev.* 151, 48-78.
- Ballantyne, C.K. 2002. Paraglacial geomorphology. *Quat. Sci. Rev.* 21, pp.1935-2017.
- Benedict, J.B. 1973. Chronology of cirque glaciation, Colorado front range. *Quat. Res.* 3 (4), pp.584-599.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A. 2010. *Glaciers and Glaciation*. Hodder Education, London.
- Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W., McCabe, A. 2009. The last glacial maximum. *Science* 325, pp.710-714.
- Clark, D.H., Gillespie, A.R. 1997. Timing and significance of late-glacial and Holocene cirque glaciation in the Sierra Nevada, California. *Quat. Int.* 38, pp.21-38.
- Dahl, S.O., Nesje, A. 1992. Palaeoclimatic implications based on equilibrium-line altitude depressions of reconstructed Younger Dryas and Holocene cirque glaciers in inner Nordfjord, western Norway. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 94 (1e4), pp.87-97.
- Delmas, M., Gunnell, Y., Calvet, M. 2015. A critical appraisal of allometric growth among alpine cirques based on multivariate statistics and spatial analysis. *Geomorphology* 228, pp.637-652.
- Engel, Z., Braucher, R., Traczyk, A., Laetitia, L. 2014. <sup>10</sup>Be exposure age chronology of the last glaciation in the Krkono\_se Mountains, Central Europe. *Geomorphology* 206, pp.107-121.
- Engel, Z., Mentlík, P., Braucher, R., Min\_ar, J., L\_eanni, L., Aster Team. 2015. Geomorphological evidence and <sup>10</sup>Be exposure ages for the last glacial maximum and deglaciation of the velk\_a and mal\_a studen\_a dolina valleys in the high Tatra mountains, central Europe. *Quat. Sci. Rev.* 124, pp.106-123.
- Evans, I.S., Cox, N.J. 1974. Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area* 6, 150-153.

- Fernandez-Fernandez, J.M., Palacios, D., Andres, N., Schimmelpfennig, I., Brynjolfsson, S., Sancho, L.G., Zamorano, J.J., Heiðmarsson, S., Sæmundsson, Þ., ASTER Team. 2019. A multi-proxy approach to Late Holocene fluctuations of Tungnahryggsgjöfokull glaciers in the Tröllaskagi peninsula (northern Iceland). *Sci. Total Environ.* 664, pp.499-517.
- Gheorghiu, D.M., Hosu, M., Corpade, C., Xu, S. 2015. Deglaciation constraints in the Parang Mountains, Southern Romania, using surface exposure dating. *Quat. Int.* 388, pp.156-167.
- Hippolyte, J.C., Bourles, D., Braucher, R., Carcaillet, J., Lèanni, L., Arnold, M., Aumaitre, G. 2009. Cosmogenic <sup>10</sup>Be dating of a sackung and its faulted rock glaciers, in the Alps of Savoy (France). *Geomorphology* 108, pp.312-320.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., Gibbard, P.L., Macklin, M.G., Gilmour, M.A., Smith, G.R. 2006. The glacial history of the Pindus Mountains, Greece. *J. Geol.* 114, pp.413-434.
- Hughes, P.D., Gibbard, P.L., Woodward, J.C. 2007. Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology* 88 (3), pp.242-253.
- Hughes, P.D., Gibbard, P.L., Ehlers, J. 2013. Timing of glaciation during the last glacial cycle: evaluating the concept of a global 'Last Glacial Maximum' (LGM). *Earth Sci. Rev.* 125, pp.171-198.
- Ipsen, H.A., Principato, S.M., Grube, R.E., Lee, J.F. 2018. Spatial analysis of cirques from three regions of Iceland: implications for cirque formation and palaeoclimate. *Boreas* 47, pp.565-576.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Maisch, M., Christl, M., Kubik, P.W., Schlüchter, C. 2009. Latest pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps. *Quat. Sci. Rev.* 28, pp.2137-2149.
- Ivy-Ochs, S. 2015. Glacier variations in the European Alps at the end of the last glaciation. *Cuadernos de Investigaci\_ on Geogr\_ afica* 41 (2), pp.295-315.
- Kleman, J., Stroeven, A.P. 1997. Preglacial surface remnants and Quaternary glacial regimes in northwestern Sweden. *Geomorphology* 19 (1), pp.35-54.
- Laabs, B.J., Licciardi, J.M., Leonard, E.M., Munroe, J.S., Marchetti, D.W. 2020. Updated cosmogenic chronologies of Pleistocene Mountain glaciation in the western United States and associated palaeoclimate inferences. *Quat. Sci. Rev.* 242, 106427.
- Le Roy, M., Deline, P., Carcaillet, J., Schimmelpfennig, I., Ermini, M., ASTER Team. 2017. <sup>10</sup>Be exposure dating of the timing of Neoglacial glacier advances in the Ecrins-Pelvoux massif, southern French Alps. *Quat. Sci. Rev.* 178, pp.118-138.
- Makos, M., Rinterknecht, V., Braucher, R., Tołoczko-Pasek, A., Arnold, M., Aumaître, G. 2018. Last glacial maximum and lateglacial in the polish high Tatra mountains-revised deglaciation chronology based on the <sup>10</sup>Be exposure age dating. *Quat. Sci. Rev.* 187, pp.130-156.
- Mangerud, J.A.N., Landvik, J.Y. 2007. Younger Dryas cirque glaciers in western spitsbergen: smaller than during the little ice age. *Boreas* 36 (3), pp.278-285.
- Marcott, S.A., Clark, P.U., Shakun, J.D., Brook, E.J., Davis, P.T., Caffee, M.W. 2019. <sup>10</sup>Be age constraints on latest Pleistocene and Holocene cirque glaciation across the western United States. *Clim. Atmos. Sci.* 2 (5).
- Mîndrescu, M., Evans, I.S. 2014. Cirque form and development in Romania: allometry and the buzzsaw hypothesis. *Geomorphology* 208, pp.117-136.
- Moran, A.P., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Kerschner, H. 2016. rock glacier development in the northern calcareous Alps at the pleistocene-holocene boundary. *Geomorphology* 273, pp.178-188.

- Paasche, Ø., Dahl, S.O., Bakke, J., Løvlie, R., Nesje, A. 2007. Cirque glacier activity in arctic Norway during the last deglaciation. *Quat. Res.* 68 (3), pp.387-399.
- Ribolini, A., Chelli, A., Guglielmin, M., Pappalardo, M. 2007. Relationships between glacier and Rock glacier in the maritime Alps, schiantala valley, Italy. *Quat. Res.* 68, pp.353-363.
- Sanders, J.W., Cuffey, K.M., Moore, J.R., MacGregor, K.R., Kavanaugh, J.L. 2012. Periglacial weathering and headwall erosion in cirque glacier bergschrunds. *Geology* 40 (9), pp.779-782.
- Sanders, J.W., Cuffey, K.M., MacGregor, K.R., Collins, B.D. 2013. The sediment budget of an alpine cirque. *Geol. Soc. Am. Bull.* 125, pp.229-248.
- Zasadni, J., Kłapyta, P., Bro\_s, E., Ivy-Ochs, S., \_Swia\_ der, A., Christl, M., Bal\_a\_zovi\_cov\_a, L. 2020. Latest Pleistocene glacier advances and post-Younger Dryas rock glacier stabilization in the Mt. Kriv\_a\_n group, High Tatra Mountains, Slovakia. *Geomorphology* 107093.

-