



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۴، صص ۱۴۰-۱۲۲

تحلیل و بررسی پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی زردکوه

مهدی فیض اله پور

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان feyzolahpour@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰

چکیده

سیرک های یخچالی از جمله عوارض یخچالی هستند که اطلاعاتی را در زمینه شرایط اقلیمی گذشته ارائه داده و با بررسی مورفومتری سیرک های یخچالی می توان اطلاعاتی را در زمینه سیرک ها و وضعیت منابع رطوبتی به دست آورد. در این تحقیق، ۱۷ سیرک یخچالی در محدوده کوه زردکوه بختیاری مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی دقیق سیرک ها، از نرم افزارهای Arc Gis، Portable Googemap server، Google earth و Excel استفاده شد. به منظور بررسی مورفومتری سیرک ها، از پارامترهای مساحت، محیط، طول، عرض، حداکثر ارتفاع، حداقل ارتفاع، نسبت طول به عرض و ضریب گراولیوس استفاده شد. برای هر یک از این پارامترها، شاخص های آماری انحراف معیار، میانگین، ضریب تغییرات و مقادیر حداقل و حداکثر محاسبه شد. برای شناسایی روابط بین این پارامترها نیز ماتریس همبستگی پیرسون و ضریب تعیین R2 محاسبه گردید. بیشترین توزیع سیرک ها در جهت شمال شرقی بوده و حداکثر ارتفاع نیز به میزان ۳۷۰۰ متر در جهت جنوب شرقی قرار دارد. محدوده مساحت سیرک ها نیز در بین ۰/۵۵ تا ۴/۳۸ کیلومتر مربع قرار دارد. بیشترین میزان نسبت طول به عرض نیز به میزان ۳/۷۳ متعلق به سیرک شماره ۶ بوده و کشیده ترین سیرک به شمار می آید. بیشترین همبستگی نیز به میزان ۰/۹۶ متعلق به دو پارامتر مساحت و محیط می باشد. بیشترین ضریب R2 نیز به میزان ۰/۶۶ بین دو متغیر مساحت و عرض برقرار بوده است. نتایج نشان می دهد که دوره پلیستوسن از شرایط اقلیمی متفاوتی برخوردار بوده و باعث گسترش وسعت سیرک های یخچالی گردیده است.

کلمات کلیدی: پلیستوسن، سیرک یخچالی، شاخص آماری، مورفومتری، زردکوه

اشکال یخچالی از جمله مهمترین عواملی هستند که بوسیله آنها می توان به تغییرات گذشته اقلیمی پی برد (Abramowskia, 2006:1085). بنابراین بررسی اشکال یخچالی ایجاد شده در دوره پلیستوسن اطلاعات ارزشمندی را از تغییرات اقلیمی این زمان ارائه می دهد (Loso et al, 1998:5). از میان عوارض یخچالی، می توان سیرک ها را به داده های کمی تبدیل کرد. این امر یکی از قابلیت های ویژه سیرک ها در مطالعات پدیده های یخچالی به شمار می آید. برای اولین بار واژه سیرک یخچالی توسط چرپتیر (۱۸۲۳) مطرح گردیده و نقش سیرک ها در توسعه مورفولوژی یخچال ها بوسیله لویز بیان گردید (Graf, 1976:84). از نظر چورلی، عوامل توپوگرافی، زمین شناسی، نوع و مدت اثر یخچال ها باعث شکل گیری سیرک ها گردیده و عنوان می کند که ایجاد شرایط مناسب یخچالی باعث توسعه سیرک ها می گردد. سیرک های وسیع نشان دهنده دوره پیشرفته ای از تکامل یخچال ها بوده و گذشت زمان نقش کلیدی در عمیق شدن سیرک ها داشته است (Gordon, 1977:99). سیرک های یخچالی چاله های فرسایش یافته ای هستند که حالت قوسی داشته و توسط دریاچه یا باتلاق احاطه شده اند (Barr and Evans and Cox, 1974:32). سیرک ها از اشکال متنوعی برخوردار بوده و این امر معرفی آنها را با مشکل روبرو می سازد (Spagnolo, 2015:53). منشا تشکیل آنها به عصرهای یخبندان باز می گردد (Sanders et al, 2012:783). لذا برای بررسی فاکتورهای اقلیمی از قبیل دما، بارش و جهت باد در دوره پلیستوسن و عصرهای یخچالی از پارامترهایی از قبیل جهت، ارتفاع کف و مورفومتری سیرک های یخچالی استفاده شده است (Dahl and nesje, 1992:92; Ipsen et al, 2018:569; Barr and Spagnolo, 2015:53). پس از دوره های یخچالی، عواملی از قبیل فرسایش، بهره گیری از سیرک های یخچالی را در بازسازی شرایط اقلیمی گذشته با چالش روبرو ساخته است (Barr and Spagnolo, 2015:56). لیکن در عرض های بالاتر به علت استیلای اقلیم سرد، سیرک های یخچالی به تکامل خود ادامه داده اند (Ballantyne, 2002:1940; Kleman and Stroeven, 1997:41). این امر در یخچال های کوهستانی آلپ و هیمالیا قابل توجه تر است. در این نواحی، فعالیت دوره های یخچالی شدید بوده و سیرک های یخچالی در نتیجه این فعالیت ها به شکل گسترده شکل گرفته اند (Hughes et al, 2006:418; 2007:247). بسیاری از یخچال های کوهستانی در دوره آخرین حداکثر یخچالی (LGM) به حداکثر گسترش خود رسیده و سطح دریاها به پایین ترین سطح نسبت به زمان حال رسیده است. این رخداد در ۱۹ هزار تا ۲۶ هزار سال پیش بوقوع پیوسته است (Clark et al, 2009:715; Hughes et al, 2013:176). سیرک های یخچالی اطلاعات ارزشمندی را از نوسانات اقلیمی هولوسن و شکل گیری یخچال ها در عصرهای یخبندان ارائه کرده اند (Ribolini et al, 2007:358; Le roy et al, 2017:123; Ivy-Ochs et al, 2009:2142; Hippolyte et al, 2009:317). سیرک های یخچالی در سطح جهان از جنبه های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته اند.

بارس و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از سیرک های یخچالی اقدام به بازسازی صفحات یخی ایرلند نمودند. نتایج نشان داد که پوشش یخی موجود در ایرلند از سنی قدیمی تر از دوره حداکثر گسترش یخی برخوردارند. اسپگنولو و همکاران (۲۰۱۷)، از ابزار ACME در GIS برای استخراج سیرک ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که ACME در مقایسه با سایر تکنیکها در شناسایی سیرک ها به نتایج بهتری دست می یابد. بار و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از سیرک های یخچالی، الگوهای آب و هوایی بریتانیا و ایرلند را در دوره های پلیستوسن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیرک های عمیق در نواحی ساحلی منعکس کننده حضور یخچال های پویایی بوده که از اقیانوس اطلس شمالی تغذیه شده اند اما یخچال های کوچکتر که دارای سیرک های با عمق کمتر در نواحی داخلی تر هستند نشانه شرایط آب و هوایی نسبتاً قاره ای می باشند. پالاسیر و همکاران (۲۰۲۰) واکنش های ژئومورفولوژیکی و حساسیت اقلیمی سیرک های یخچالی از آخرین عصرهای یخچالی تا هولوسن در سیرانوادا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روند یخ زدایی و فرم های ایجاد شده در زمین در طول عقب نشینی یخبندان از الگوی مشابهی پیروی می کنند. گرچه سیرک ها در طی مراحل آب و هوایی ایجاد شده اند لیکن تنوع ژئومورفولوژیکی آنها به ویژگی های توپوگرافی محلی بستگی دارد. اوین و همکاران (۲۰۲۰) نقش عوامل کنترل کننده اقلیمی را بر روی ارتفاع خط تعادل و سیرک های یخچال در ناحیه اسکاندیناوی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می دهد که زمانیکه منطقه به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می شود میزان همبستگی بین ارتفاع خط تعادل و بارش افزایش می یابد. رودیگر و همکاران (۲۰۲۱) فرسایش یخچالی آخرین عصر یخچالی را در سیرک های عرض های میانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پس از گرمایش زمین و عقب نشینی یخچال ها، شیب مناطق برای رسیدن به سطح تعادل افزایش یافته است لیکن بازه زمانی برای حمل کامل مواد کف سیرک کفایت نکرده است. این امر نشان می دهد که توسعه سیرک ها بایستی در طول چندین مراحل یخچالی در دوره کوآترنری صورت گرفته باشد. لی و زائو (۲۰۲۲)، از یک روش اتوماتیک و مدل ارتفاعی برای ترسیم سیرک های یخچالی استفاده کردند. نتایج نشان داد که سیرک های استخراج شده از نظر فاکتورهای مورفومتریک ارتفاع، میزان شیب و جهت شیب مشابه می باشند. این جعبه ابزار می تواند فرایند آنالیز را به سرعت انجام داده و می تواند مورفومتری سیرک های یخچالی را در مقیاس ناحیه ای و جهانی انجام دهد. مور و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از سیرک های یخچالی در ناحیه فیوردلند نیوزیلند، حداکثر گسترش یخچالی و شرایط اقلیمی را بازسازی نمودند. بررسی ها نشان داد که شروع گرمایش زمین از ۱۷/۲ هزار سال پیش بوده که در آن تغییر جریان های اقیانوسی و افزایش دی اکسید کربن باعث کاهش شدت یخبندان گردیده است. کروس و همکاران (۲۰۲۲) تفاوت مورفولوژیکی نیمرخ طولی بین سیرک های یخچالی و دره های رودخانه ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین سیرک های یخچالی و دره های رودخانه ای وجود

دارد. رویکرد ارائه شده در این تحقیق در تمایز بین دره های با منشا رودخانه ای و سیرک های یخچالی مفید می باشد.

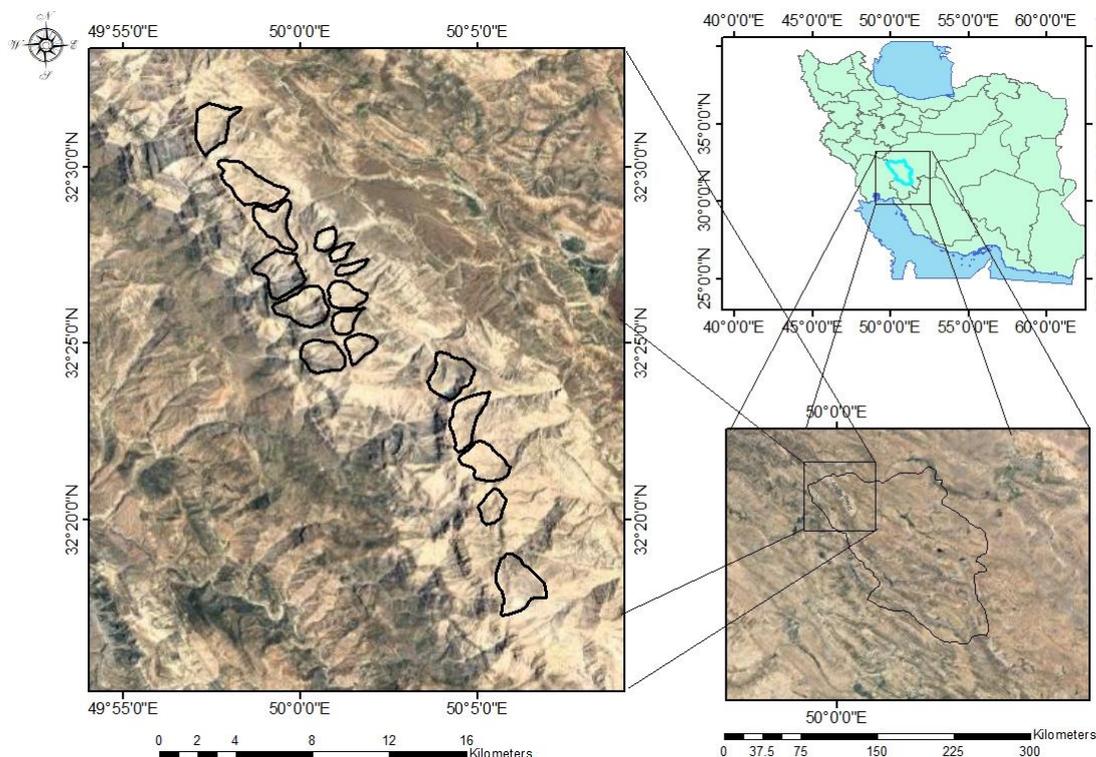
در ایران تحقیق در زمینه سیرک های یخچالی به شکل بازسازی شرایط اقلیمی پلیستوسن و تحلیل مورفومتری سیرک های یخچالی بوده است. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) تاثیر مورفولوژی دامنه ها را در تحول سیرک های یخچالی اشترانکوه بررسی کردند. نتایج نشان می دهد که در دامنه جنوبی بیشترین همبستگی با تحول سیرک ها مربوط به متغیر جهت جغرافیایی می باشد. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۷) اقدام به شناسایی سیرک های یخچالی زردکوه با تاکید بر ویژگی های ژئومورفومتری نمودند. نتایج نشان داد که سازند غالب منطقه کربناته و انحلالی است و در نتیجه سیرک های یخچالی در زردکوه تحت شرایط انحلال کارستی شکل و توسعه یافته و در بیشتر موارد شکل تیپیک سیرک را ندارند. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف به تعیین و بررسی سیرک های یخچالی اشترانکوه پرداختند. در نتیجه این تحقیق مشاهده شد که سیرک های واقع در دامنه شمال شرقی با توجه به تابش دریافتی کمتر و تاثیرپذیری کم از فرایندهای هوازگی و رواناب، کمتر از دامنه های مقابل تغییر یافته اند. بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) مورفومتری سیرک های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ارتفاعات جوپار شکل گیری و توزیع سیرک ها تا حدود زیاد به نحوه شکل گیری ناهمواری ها و جنس آنها بستگی داشته است. 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 نشان می دهد که در ارتفاعات زاگرس و زردکوه یخچال زایی و عمل فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ خوب عمل کرده و سیرک هایی که در این ارتفاعات وجود دارند تکامل یافته تر از سیرک های محدوده مورد مطالعه می باشند. بارانی پور و سیف (۱۴۰۱) اقدام به شناسایی، طبقه بندی و تحلیل شاخص های مورفومتری سیرک های یخچالی حوضه سیلوه نمودند. 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.

در این تحقیق با انتخاب ۱۷ سیرک یخچالی در کوه زردکوه به بررسی پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی پرداخته شد.

منطقه مورد مطالعه

سیرک های یخچالی مورد مطالعه در کوه زردکوه در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مرتفع ترین نقطه زردکوه در این

محدوده حدود ۴۱۰۰ متر می باشد. این کوه در شهرستان کوهرنگ و استان چهارمحال بختیاری قرار داشته و سرچشمه رودهای کارون و زاینده رود می باشد. زردکوه بخشی از رشته کوه زاگرس مرتفع به شمار می آید. میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه کوهرنگ معادل ۱۶۰۰ میلی متر بوده و پرباران ترین نقطه در بخش های مرکزی ایران به شمار می آید. در دوره پلیستوسن شرایط اقلیمی این منطقه متفاوت از حال بوده و پرباران تر از زمان حال بوده است. منابع رطوبتی این منطقه از سیکلون های دریای مدیترانه تامین شده و سیکلون ها پس از عبور از سرزمین های عراق و سوریه وارد ایران شده و به علت ارتفاع زیاد زردکوه که عمدتاً بیش از ۴۰۰۰ متر ارتفاع دارند به صورت برف در این ناحیه انباشته شده و یکی از سردترین نقاط ایران را تشکیل می دهد.



شکل ۱. موقعیت سیرک های یخچالی در ارتفاعات زردکوه بختیاری

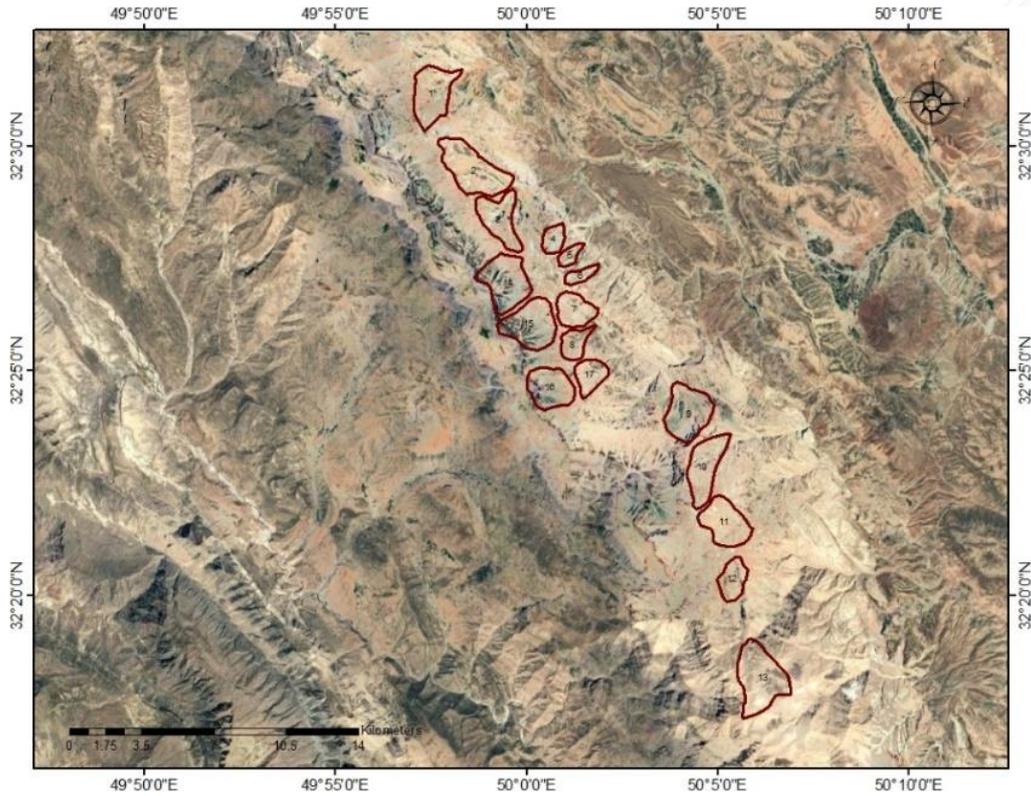
مواد و روش ها

برای بررسی مورفومتری سیرکهای یخچالی در محدوده کوه زردکوه نیاز به ترسیم نقشه ها، نمودارها و محاسبات آماری می باشد. به این منظور از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده و بر اساس منحنی های میزان سیرک های یخچالی مشخص شدند و برای بررسی آنها در تصاویر ماهواره ای از نرم افزارهای Google earth, Portable Arc Map Server استفاده شده و وارد نرم افزار Arc Gis شدند. به واسطه نقشه توپوگرافی، ابتدا در بخش Arc catalog برای لایه سیرک های یخچالی، Shapfile تهیه شد. به منظور ترسیم نقشه میزان و جهت شیب نیاز به ترسیم

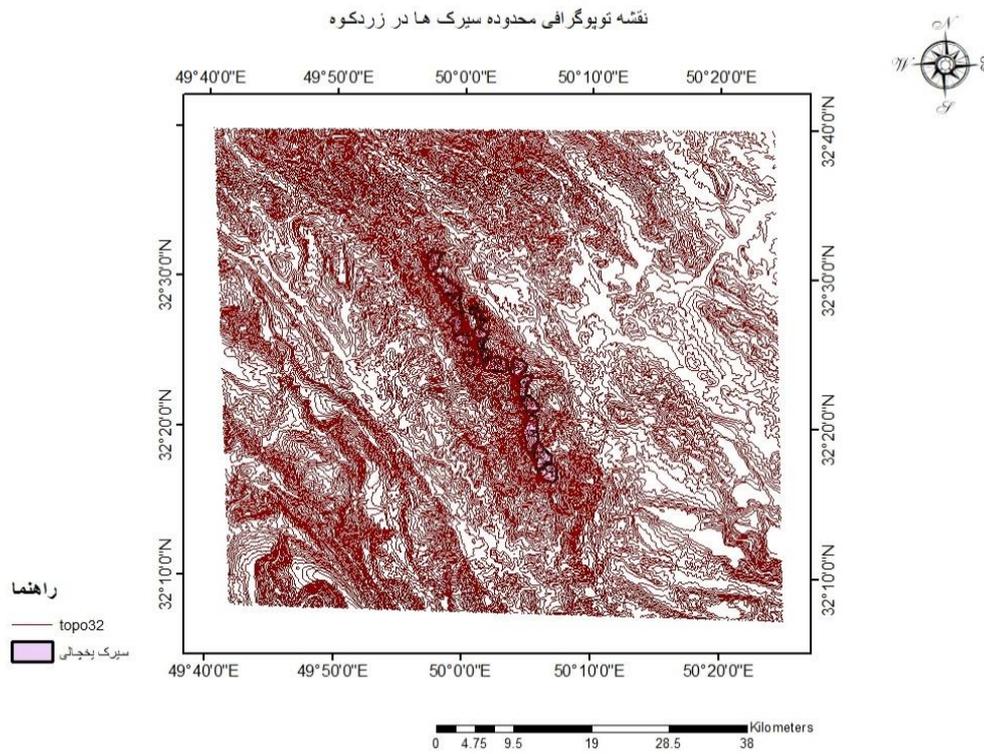
لایه سطوح ارتفاعی یا DEM بود که از طریق لایه TIN در Arc toolbox تهیه گردید. از طریق همین لایه نیمرخ طولی تمامی سیرکها ترسیم شد. از طریق این نمودار اطلاعاتی همچون حداکثر، حداقل و ارتفاع کف سیرک ها به دست آمد. برای بررسی مورفومتری، پارامترهای مساحت، محیط، حداقل و حداکثر ارتفاع، ضریب گراولیبوس، نسبت طول به عرض، طول و عرض از طریق Arc Gis استخراج گردیده و پارامترهای آماری ضریب تغییرات، میانگین، انحراف معیار و مقادیر حداکثر و حداقل در نرم افزار Excel استخراج شد. بر اساس این مقادیر، ماتریس همبستگی پیرسون محاسبه شد. نسبت بین پراکنش سیرکها و ارتفاع آنها به جهت جغرافیایی نیز برآورد گردید. در نهایت نمودار پراکنش و نسبت ضریب تعیین R2 در نرم افزار Excel محاسبه شد. بر این اساس روابط بین هر یک از متغیرها و نقش آنها در شکل و سایر پارامترها برآورد شده و نقش عوامل اقلیمی در شکل و وسعت سیرکها مورد بررسی قرار گرفت.

بحث و نتایج

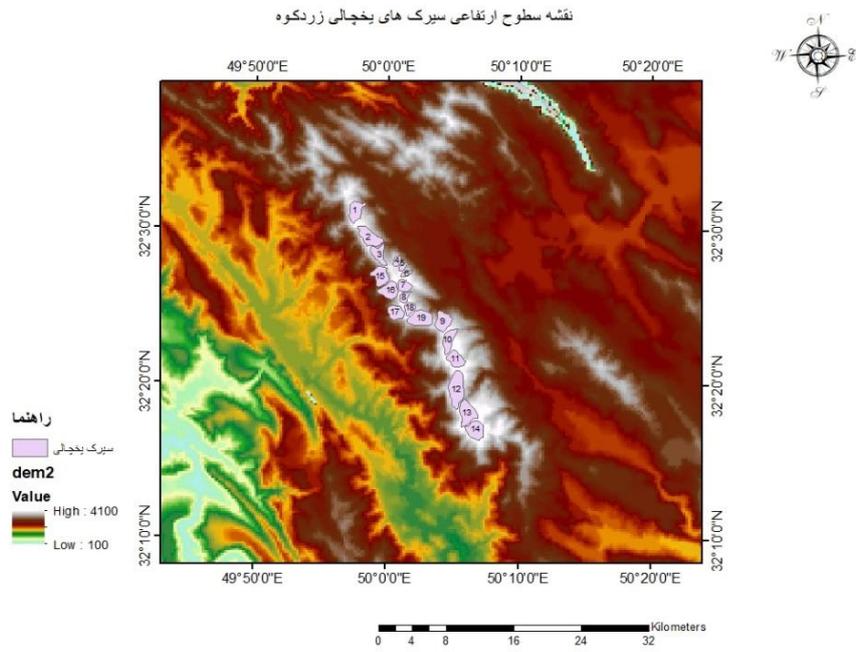
در این تحقیق با استفاده از نقشه توپوگرافی و تصاویر ماهواره ای Google earth موقعیت ۱۷ سیرک در منطقه زردکوه بختیاری شناسایی شده و نیمرخ طولی آنها ترسیم گردید. برای ترسیم نیمرخ طولی و برآورد مقادیر مساحت و محیط، نقشه های Dem، جهت شیب و توپوگرافی ترسیم شد. سیرک ها از نظر وسعت از تنوع زیادی برخوردار هستند. در ابتدا برای فهم روابط مورفومتریکی بین سیرک ها نقشه های توپوگرافی، میزان و جهت شیب و سطوح رقومی ارتفاعی ترسیم شده و پارامترهای مورفومتریکی بر اساس این نقشه ها تهیه شد. نقشه های فوق در زیر نمایش داده شده است.



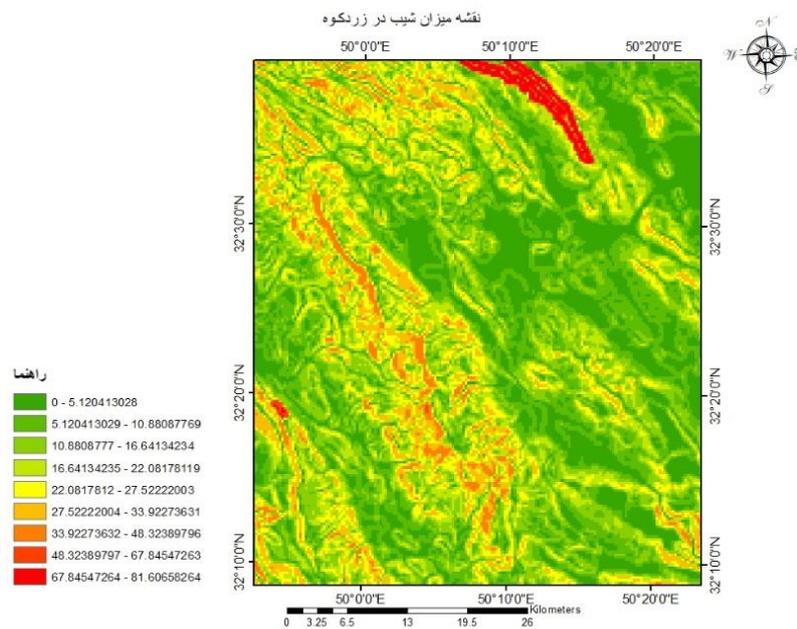
شکل ۲. موقعیت سیرک های یخچالی در زردکوه



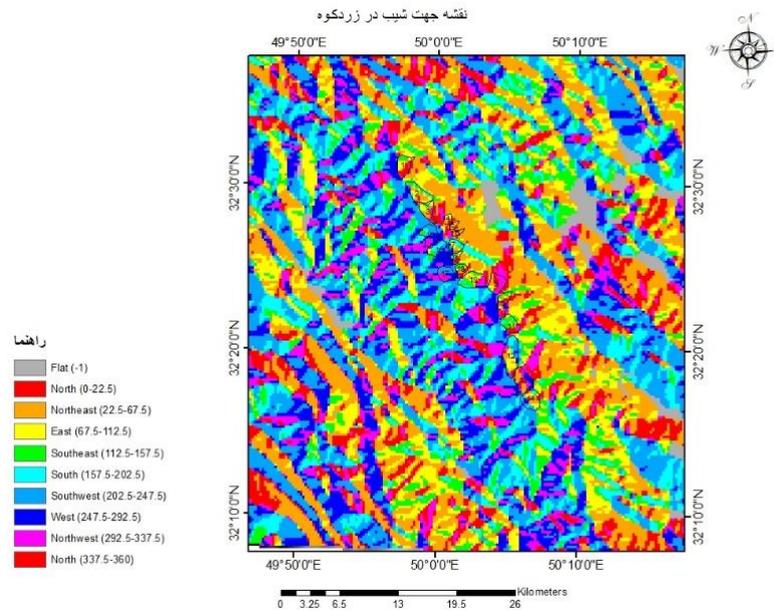
شکل ۳. نقشه توپوگرافی و موقعیت سیرک های یخچالی زردکوه



شکل ۴. نقشه سطوح رقومی ارتفاعی و موقعیت سیرک های یخچالی زردکوه



شکل ۵. نقشه میزان شیب در محدوده سیرک های یخچالی زردکوه



شکل ۶. نقشه جهت شیب در محدوده سیرک های یخچالی زردکوه

در تحلیل توزیع سیرک ها به نسبت جهت جغرافیایی مشاهده می شود که از ۱۷ سیرک مورد مطالعه در ارتفاعات زردکوه، ۷ سیرک در جهت شمال شرق توسعه یافته که این میزان بیشترین فراوانی سیرک ها را به خود اختصاص داده است. لیکن این جهت جغرافیایی مرتفع ترین سیرک را در خود جای نداده است بلکه مرتفعترین سیرک به ارتفاع ۳۷۰۰ متر در جهت جنوب شرق واقع شده است. در دو جهت جغرافیایی غرب و شمال، هر کدام به تنهایی فقط ۱ سیرک را در خود جای داده اند. سه جهت شمال شرق، جنوب غرب و جنوب شرق در کل ۱۳ سیرک از ۱۷ سیرک را در خود جای داده اند. برای تحلیل های بعدی باید فاکتورهای دیگری مانند مساحت و نسبت طول به عرض و همینطور ضریب گراولپوس نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرند تا به واسطه آنها مشاهده کرد که وسیع ترین سیرک در کدام سمتی توزیع شده که این امر نشان دهنده میزان تغذیه رطوبتی به تناسب مسیر حرکت سیکلون های مدیترانه ای در دوره پلیستوسن می باشد.

جدول ۱. حداکثر ارتفاع سیرک ها به نسبت جهت جغرافیایی

جهت سیرک ها	شمال شرق	جنوب غرب	جنوب شرق	شمال غرب	غرب	شمال
ر ۳ ۳ ۳ ۳ ۳ ۳ ۳ ۳ ۳ ۳	۳۰۱۰	۳۵۰۰	۳۳۰۰	۳۶۰۰	۲۷۰۰	۳۳۰۰
	۳۱۵۰	۲۵۰۰	۳۵۵۰	۲۹۰۰		
	۳۱۰۰	۲۸۰۰	۳۷۰۰			
	۳۴۰۰					
	۳۵۰۰					
	۳۵۰۰					
	۳۵۰۰					

جهت جغرافیایی شمال شرق، حدود ۴۱ درصد سیرک ها را در خود جای داده و ۳۶ درصد سیرک ها نیز در جهت جنوب شرق و جنوب غرب واقع شده است.

جدول ۲. درصد فراوانی سیرک های یخچالی حوضه آبریز دالامپر

جهت سیرک	شمال شرق	جنوب غرب	جنوب شرق	شمال غرب	غرب	شمال
درصد فراوانی سیرک ها	۴۱	۱۸	۱۸	۱۱	۶	۶
تعداد سیرک	۷	۳	۳	۲	۱	۱

برای بررسی وسعت و میزان ذخیره سیرک ها و تحلیل شرایط اقلیمی گذشته نیاز به تحلیل پارامترهای مورفومتریکی می باشد. برای هر یک از ۱۷ سیرک مورد مطالعه، از پارامترهای مساحت، محیط، طول، عرض، حداکثر ارتفاع، حداقل ارتفاع، نسبت طول به عرض و ضریب گراولیوس استفاده شد. سیرک شماره ۱۳ از بیشترین مساحت به میزان ۴/۳۸ کیلومتر مربع برخوردار بوده و در جهت شمال قرار دارد. این سیرک تنها سیرکی می باشد که در جهت شمال واقع شده است. کوچکترین سیرک نیز از مساحتی معادل ۰/۵۵ کیلومتر مربع برخوردار بوده و متعلق به سیرک شماره ۵ می باشد. این سیرک در جهت شمال شرق واقع شده است. کوچکترین سیرک ها در جهت شمال شرق واقع شده اند. این امر نشان می دهد که با وجود اینکه بیشترین تعداد سیرک ها در جهت شمال شرق واقع شده اند لیکن عمدتاً این سیرک ها از کمترین مساحت نسبت به سایر سیرک ها برخوردارند. البته در چندین مورد استثناهایی دیده می شود. سیرک های واقع در سمت جنوب غرب و جنوب شرق از بیشترین مساحت برخوردارند که علت این پدیده واقع شدن سیرکها در مسیر سیکلون های مدیترانه می باشد. البته در دوره پلیستوسن شرایط اقلیمی متفاوت از زمان حال بوده لیکن این امر شامل شدت عملکرد سیکلون های مدیترانه بوده و مسیر آنها را شامل نمی شود لذا نمی توان انتظار تغییر مسیر در سیکلون ها را در دوره پلیستوسن داشت. محیط نیز پارامتری است که از مساحت تبعیت می کند. پارامترهای طول و عرض در چندین پارامتر دیگر از قبیل نسبت طول به عرض و ضریب گراولیوس کاربرد دارند.

البته نسبت طول به عرض و ضریب گراولیوس هر دو نشان دهنده کشیدگی و کرویت سیرک ها می باشند و لذا به یک نتیجه دست می یابند. مقادیر بالای نسبت طول به عرض نشان دهنده کشیدگی سیرک بوده و این پدیده در زمانی رخ می دهد که عمق سیرک ها کم بوده و از تغذیه مناسب برخوردار نبوده و لذا به تکامل نرسیده اند. کمترین میزان نسبت طول به عرض متعلق به سیرک شماره ۱۵ به میزان $0/74$ می باشد. این سیرک با مقادیر بالای مساحت به میزان $3/42$ کیلومتر مربع در جهت جنوب غربی واقع شده و از شکل تکامل یافته تری برخوردار است. این امر تغذیه مناسب این سیرک ها را به علت واقع شدن در مسیر سیکلون های مدیترانه ای تائید می کند. بیشترین میزان نسبت طول به عرض متعلق به سیرک شماره ۶ به میزان $3/73$ بوده و این سیرک در جهت شمال شرق واقع شده است. این سیرک از مساحت کمی برخوردار بوده و معادل $0/59$ کیلومتر مربع بوده و از کم وسعت ترین سیرک ها به شمار می آید. سیرک های واقع در ارتفاعات پایین تر از 3000 متر از مساحت های قابل توجهی برخوردارند. سیرک شماره ۱۴ که کمترین نسبت طول به عرض را داشته است با برخورداری از مساحت قابل توجه در کمترین ارتفاع که معادل 2500 متری است واقع شده است. لازم به ذکر است که این سیرک در جهت جنوب غربی واقع شده است.

جدول ۳. پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی حوضه آبریز دالامپیر

شماره	جهت	مساحت km ²	محیط km	طول m	عرض m	حداکثر ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	نسبت طول به عرض	ضریب گراولیوس
۱	شمال شرق	۳/۱۶	۷/۸۴	۲۵۱۴	۱۵۱۳	۳۶۲۰	۳۰۱۰	۱/۶۶	۱/۲۵
۲	جنوب شرق	۴	۸/۸۸	۳۰۴۸	۱۵۲۸	۳۷۰۰	۳۳۰۰	۲	۱/۲۵
۳	شمال شرق	۲/۵۷	۷/۸۵	۱۸۹۰	۲۱۹۰	۳۶۰۰	۳۱۵۰	۱/۱۵	۱/۳۸
۴	شمال شرق	۰/۸۷	۳/۵۹	۱۳۶۷	۸۸۵	۳۶۰۰	۳۱۰۰	۱/۵۴	۱/۰۸
۵	شمال شرق	۰/۵۵	۳/۱۹	۱۲۸۷	۶۸۸	۳۷۰۰	۳۴۰۰	۱/۸۷	۱/۲۱
۶	شمال شرق	۰/۵۹	۳/۶۳	۱۵۱۵	۴۰۶	۳۹۰۰	۳۵۰۰	۳/۷۳	۱/۳۴
۷	جنوب شرق	۱/۷۷	۵	۱۶۴۱	۱۳۹۷	۳۸۰۰	۳۵۵۰	۱/۱۷	۱/۰۶
۸	شمال غرب	۱/۱۴	۴/۶۵	۱۸۲۵	۱۱۴۱	۳۸۰۰	۳۶۰۰	۱/۵۹	۱/۲۳
۹	شمال غرب	۳/۳۲	۷/۰۹	۲۴۰۳	۲۰۳۶	۳۴۰۰	۲۹۰۰	۱/۱۸	۱/۰۹
۱۰	شمال شرق	۲/۹۲	۷/۹۲	۲۸۱۴	۱۱۶۲	۳۸۰۰	۳۵۰۰	۲/۴۲	۱/۳۱
۱۱	جنوب شرق	۲/۸۹	۶/۷۲	۲۱۴۲	۱۳۶۲	۴۰۰۰	۳۷۰۰	۱/۵۷	۱/۱۱
۱۲	جنوب غرب	۱/۴۸	۴/۸۹	۱۸۸۱	۹۸۵	۴۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۹۱	۱/۱۴
۱۳	شمال	۴/۳۸	۸/۹۵	۲۸۱۵	۲۰۲۲	۳۹۰۰	۳۳۰۰	۱/۳۹	۱/۲
۱۴	جنوب غرب	۳/۴۲	۷/۶۴	۱۵۳۹	۲۰۷۲	۳۵۰۰	۲۵۰۰	۰/۷۴	۱/۱۷
۱۵	جنوب غرب	۳/۳۵	۷/۱۲	۲۰۲۵	۱۹۰۴	۳۷۰۰	۲۸۰۰	۱/۰۶	۱/۱
۱۶	غرب	۲/۵۹	۵/۹۸	۱۹۲۴	۱۷۱۱	۳۶۰۰	۲۷۰۰	۱/۱۲	۱/۰۵
۱۷	شمال شرق	۱/۴۱	۱/۴۱	۱۳۳۸	۱۱۴۳	۳۸۰۰	۳۵۰۰	۱/۱۷	۱/۱۲

در تحلیل آماری متغیرها مشاهده می شود که تفاوت بین حداقل و حداکثر مساحت قابل توجه بوده و این امر نشان می دهد که برخی از سیرکها از وسعت قابل توجه برخوردار بوده و برخی دیگر کم وسعت می باشند. علت این امر را می توان در جهت جغرافیایی و مسیر حرکت سیکلون ها مشاهده کرد. دسترسی به منابع رطوبتی می تواند دلیل اصلی وسعت سیرک ها باشد. سیرک ها از طیف وسیع طول و عرض نیز برخوردارند. این امر نشان دهنده درجه تکامل سیرک ها بوده و نسبت طول به عرض نشان دهنده کشیدگی و یا گردی سیرک ها می باشد. مقادیر بالای نسبت طول به عرض نشان دهنده کشیدگی و عدم تغذیه مناسب سیرک ها بوده است.

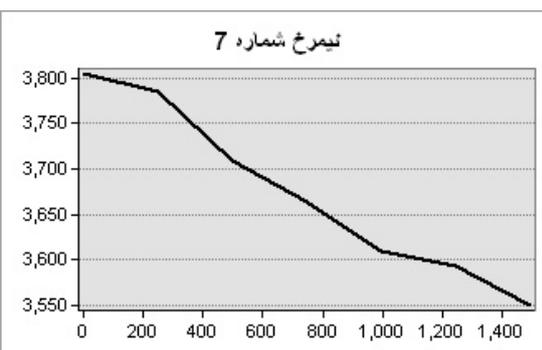
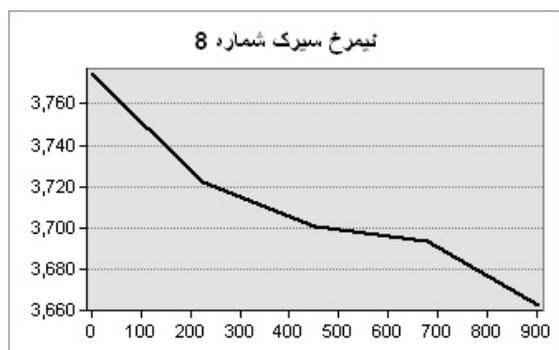
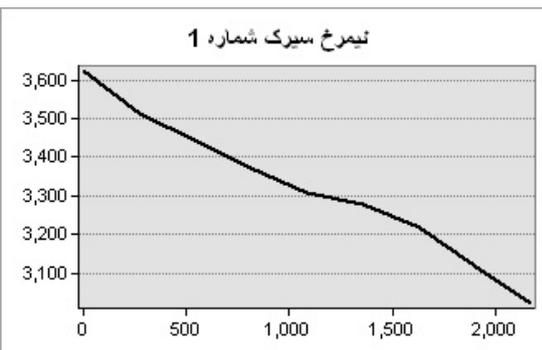
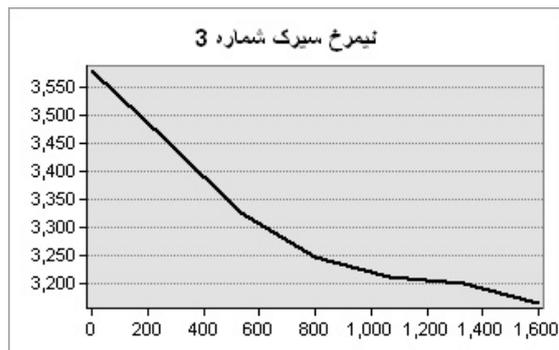
جدول ۴. تحلیل آماری پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی زردکوه

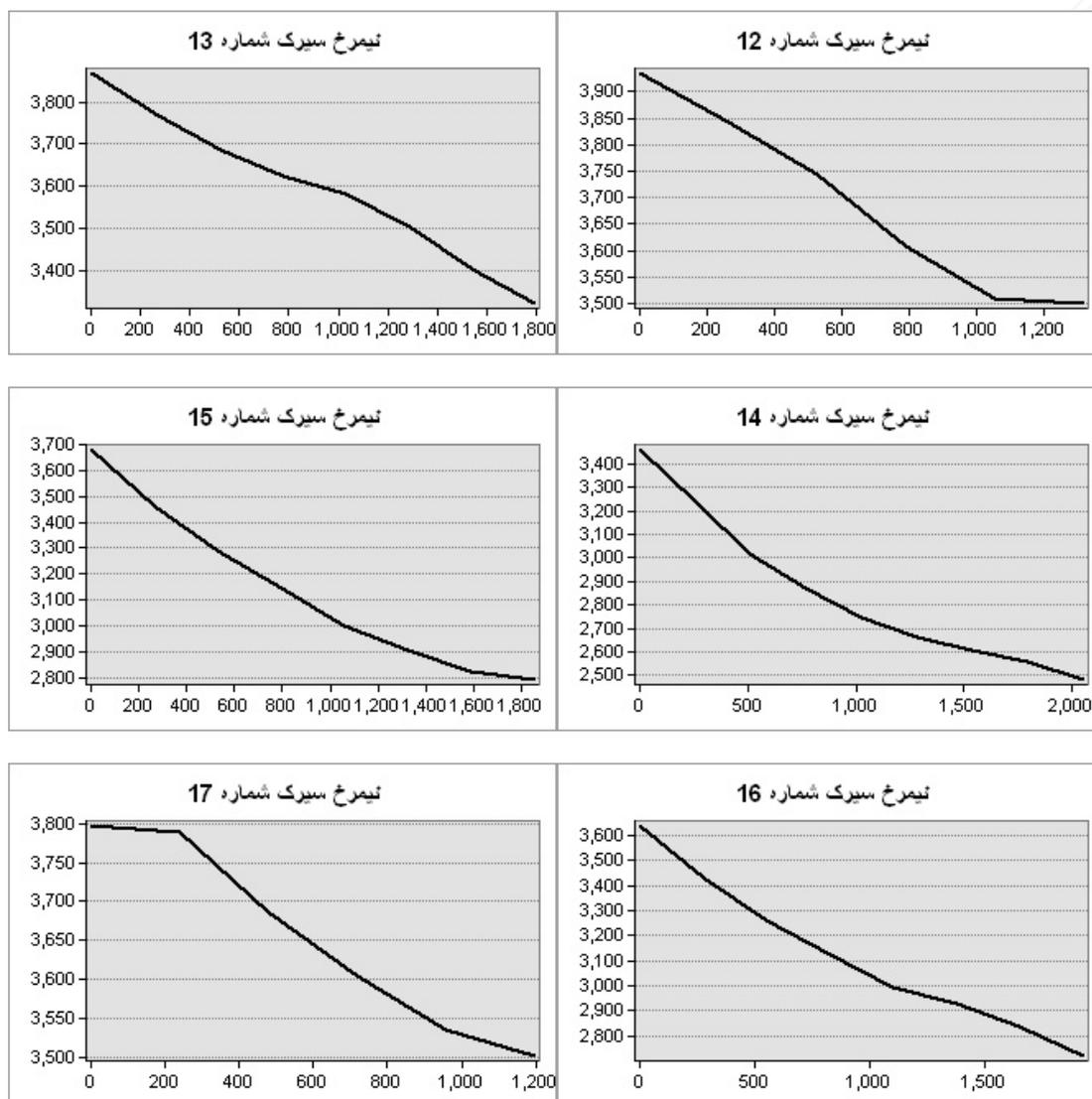
پارامترهای مورفومتری	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
مساحت km ²	۰/۵۱	۱/۲۱	۲/۳۷	۴/۳۸	۰/۵۵
محیط km	۰/۳	۱/۸۹	۶/۲۱	۸/۹۵	۳/۱۹
طول m	۰/۲۷	۵۵۱	۱۹۹۸	۳۰۴۸	۱۲۸۷
عرض m	۰/۳۶	۵۲۲/۲	۱۴۲۰/۳	۲۱۹۰	۴۰۶
حداکثر ارتفاع m	۰/۰۴	۱۶۷/۸	۳۷۳۰/۵	۴۰۰۰	۳۴۰۰
حداقل ارتفاع m	۰/۱۱	۳۵۰/۸	۳۲۳۵/۸	۳۷۰۰	۲۵۰۰
نسبت طول به عرض	۰/۴۳	۰/۶۹	۱/۶	۳/۷۳	۰/۷۴
ضریب گراولیوس	۰/۰۸	۰/۱	۱/۱۸	۱/۳۸	۱/۰۵

بین پارامترهای مورفومتری مرتب با سیرک ها روابط متنوعی برخوردار بوده و برخی متغیرها با دیگری همبستگی بالایی داشته و با برخی متغیرها فاقد ارتباط می باشد. با بررسی روابط بین این متغیرها می توان پی به روند تکاملی سیرک ها در دوره پلیستوسن برد. بین دو پارامتر مساحت و محیط بیشترین همبستگی به میزان ۰/۹۶ برقرار است.

جدول ۵. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای پارامتری سیرک یخچالی زردکوه

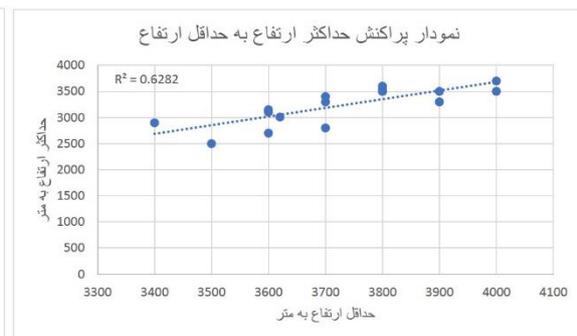
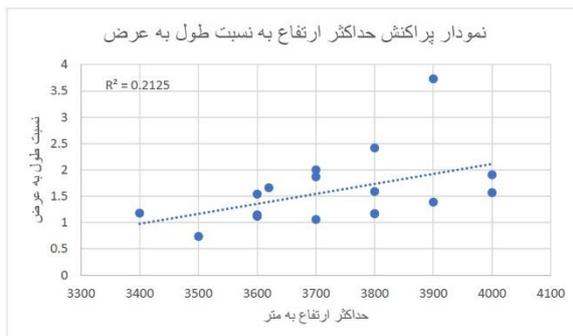
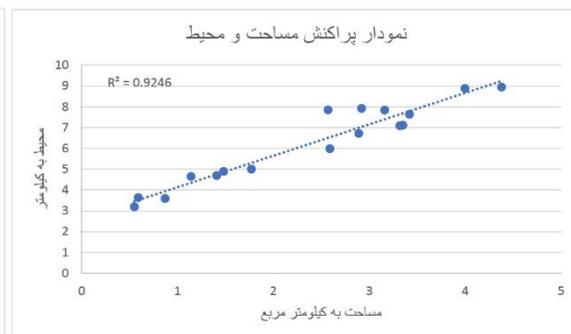
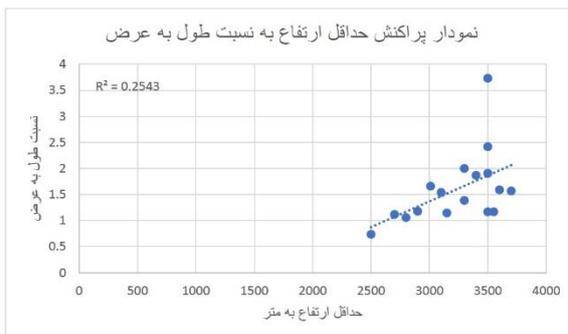
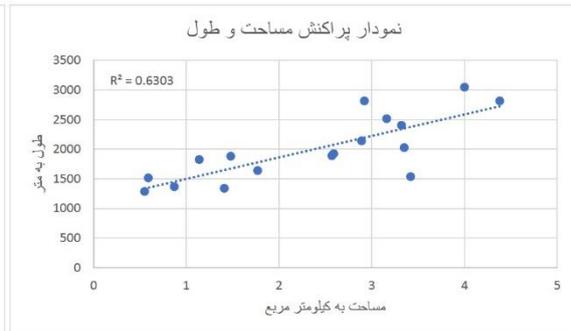
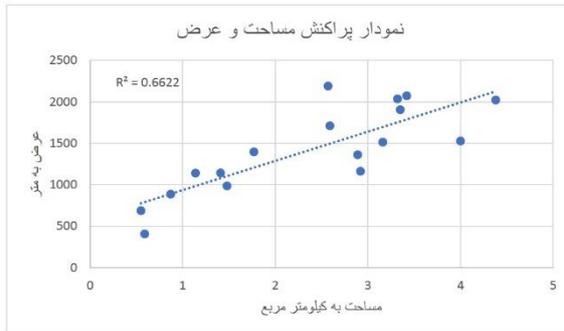
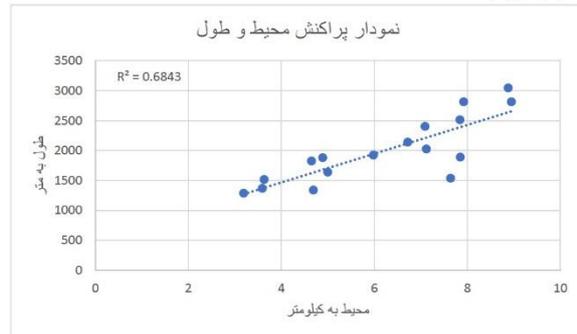
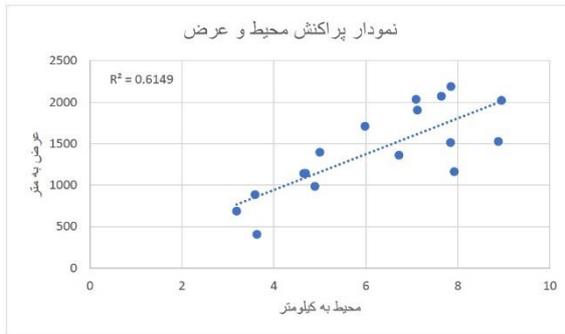
ضریب گراولوس	نسبت طول به عرض	حداقل ارتفاع m	حداکثر ارتفاع m	عرض m	طول m	محیط km	مساحت km ²	پارامترهای مورفومتری
۰	-۰/۳۸	-۰/۴۳	-۰/۲۳	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۹۶	۱	مساحت km ²
۰/۲۳	-۰/۲۹	-۰/۳۴	-۰/۱۹	۰/۷۸	۰/۸۲	۱		محیط km
۰/۲۴	۰/۰۷	۰	۰/۰۳	۰/۴۲	۱			طول m
-۰/۱۱	-۰/۷۲	-۰/۶۱	-۰/۴۹	۱				عرض m
۰/۱	۰/۴۶	۰/۷۹	۱					حداکثر ارتفاع m
۰/۲۳	۰/۵	۱						حداقل ارتفاع m
۰/۵۵	۱							نسبت طول به عرض
۱								ضریب گراولوس





شکل ۷. نيمرخ طولی سيرک های يخچالی در محدوده ارتفاعات زردکوه

در نهايت به منظور تعيين روابط بين هر يك از پارامترها، ضريب تعيين به صورت دو به دو بين تمامی شاخص ها محاسبه گرديد. برای محاسبه R2 از نرم افزار Excel استفاده شد. ماحصل اين فرایند ترسيم ۱۷ نمودار Scatterplot بين پارامترها بود. ليکن برخی از پارامترها با يکديگر فاقد مقادير ضريب تعيين قابل توجه بودند. لذا تنها مقادير قابل توجه R2 نمایش داده شدند. تنها ۸ پارامتر دارای مقادير ضريب تعيين قابل توجه هستند. بيشترين ميزان ضريب تعيين به ميزان ۰/۹۲۴۶ متعلق به پارامتر مساحت و محیط می باشد. وجود رابطه بين اين دو امری بدیهی می باشد. بررسی ها نشان می دهد که سيرک های پايين تر از ارتفاع ۳۵۰۰ متر از مساحت و وسعت قابل توجهی برخوردار بوده و نسبت طول ه عرض نیز بين آنها کمتر و به يک نزديک تر است. جهت جغرافیایی در وسعت سيرک ها نقش تعيين کننده ای دارد به صورتی که کم وسعت ترين سيرک ها در جهت شمال شرقی و در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر قرار دارند. در بين ۸ پارامتر از ۱۷ پارامتر رابطه قابل توجهی مشاهده نشد.



شکل ۸. نمودار پراکنش پارامترهای موثر در مورفومتری سیرک های یخچالی

نتیجه گیری

جهت جغرافیایی شمال شرقی با وجود برخورداری از بزرگترین سیرک محدوده به وسعت ۴ کیلومتر مربع پذیرای کوچکترین سیرک به وسعت ۰/۵۵ کیلومتر مربع نیز می باشد. جهت جغرافیایی شمال شرق ۷ سیرک از ۱۷ سیرک را

در خود جای داده است. ارتفاع در این جهت کمتر از ۳۰۰۰ متر نمی باشد و نشان دهنده این نکته است که سیرک های این منطقه در ارتفاعات بالاتری قرار دارند. از بین پارامترهای بررسی شده در این تحقیق، پارامتر نسبت طول به عرض یکی از فاکتورهای کلیدی در تکامل سیرک به شمار می آید. کمترین میزان به مقدار ۰/۷۴ متعلق به سیرک شماره ۱۴ بوده و این سیرک از نسبت تکامل بالاتری برخوردار بوده است. این سیرک در جهت شمال غرب واقع شده است. با بررسی روابط بین متغیرهای مورفومتریکی می توان پی به روند تکاملی سیرک ها در دوره پلیستوسن برد. بین دو پارامتر مساحت و محیط بیشترین همبستگی به میزان ۰/۹۶ برقرار است. بیشترین میزان ضریب تعیین به میزان ۰/۹۲۴۶ متعلق به پارامتر مساحت و محیط می باشد. وجود رابطه بین این دو امری بدیهی می باشد. بررسی ها نشان می دهد که سیرک های پایین تر از ارتفاع ۳۵۰۰ متر از مساحت و وسعت قابل توجهی برخوردار بوده و نسبت طول ه عرض نیز بین آنها کمتر و به یک نزدیک تر است. جهت جغرافیایی در وسعت سیرک ها نقش تعیین کننده ای دارد به صورتی که کم وسعت ترین سیرک ها در جهت شمال شرقی و در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر قرار دارند. در بین ۸ پارامتر از ۱۷ پارامتر رابطه قابل توجهی مشاهده نشد. سیرک ها به عنوان یکی از فراوانترین اشکال یخچالی اطلاعات قابل توجهی را در مورد شرایط اقلیمی دوران های گذشته به خصوص دوره های سرد پلیستوسن ارائه می دهد. لیکن تکامل سیرک ها محدود به آن دوران نبوده و در حال حاضر نیز روندی تکاملی سیرک ها ادامه دارد. لیکن بخش وسیع تری از جهان در دوران پلیستوسن و عصرهای یخچالی چهارگانه در زیر صفحات یخی قرار داشته و در حال حاضر بخش عظیمی از این نواحی فاقد فعالیت های یخچالی می باشند. ایران نیز با توجه به قرارگیری بخش اعظمی از آن در کمربند بیابانی و منطقه مجاور جنب حاره ای و برخورداری از اقلیم خشک و نیمه خشک در زمان حال حاضر شاهد مناطقی است که قبلا فرایندهای یخچالی در آن فعال بوده ولی اکنون فاقد هیچ نوع فعالیت یخچالی می باشند. وگر هم امکان تکامل سیرک ها در نواحی مرتفع تر کوهستانی وجود دارد به شدت آن دوران نبوده است. مناطق مرکزی ایران شاهد اینگونه شرایطی هستند. لیکن قرارگیری ایران در کمربند کوهستانی آلپ هیمالیا و فعالیت های کوهزایی و خشکی زایی باعث ایجاد سدی طبیعی در برابر سیکلون هایی می باشد که دور تا دور ایران را به خصوص در بخش شمال، شمال غرب و غرب احاطه کرده است. این فرایند باعث ایجاد کانون های پر بارش در شمال ایران و غرب گردیده که در محدوده رشته کوه ها البرز و زاگرس واقع شده اند. ماحصل این فرایند استقرار کانون های جمعیتی در ادوار کهن تاریخی شده است. زردکوه بختیاری به عنوان یکی از مرتفع ترین نقاط ایران و واقع شدن در مسیر سیکلون های مدیترانه ای دارای بارش قابل توجهی بوده است. در دوران پلیستوسن و فعالیت های عصرهای یخچالی شدیدتر از زمان حال بوده است. یکی از راه های تشخیص میزان شدت این فرایندها بررسی شواهدی است که از آن دوران باقی مانده است. اشکال یخچالی به شکل مورن ها، دره های یخچالی و سیرک ها اطلاعات با ارزشی را در مورد شرایط اقلیمی ارائه می دهند. جهت جغرافیایی با توجه به قرارگیری در مسیر سیکلون

ها و آنتی سیکلون ها می تواند پذیرایی سیرک هایی با وسعت های متفاوت باشد. جهت جغرافیایی شرق و شمال شرق به علت قرارگیری در بخش های مرکزی ایران که نوعی بیابان بادپناهی می باشد با کمترین میزان رطوبت و بارندگی مواجه هستند لذا سیرک های این مناطق بایستی از وسعت کمتری برخوردار باشند. بررسی وسعت سیرک ها به تناسب جهت جغرافیایی نشان می دهد در جهات مختلف جغرافیایی سیرک های وسیعی مشاهده می شود. لیتولوژی کارستی زردکوه بختیاری با توجه به حساسیت کارست نسبت به درجه برودت و سرمای هوا می تواند با مقادیر قابل توجه انحلال مواجه شده و این امر در وسعت سیرک ها نقش تعیین کننده ای دارد.

منابع

- احمدی، علی؛ فتح اله زاده، محمد؛ کیانی، طیبه و عماد الدین، فاطمه. (۱۳۹۸). تعیین و بررسی سیرک های یخچالی اشترانکوه با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۹، سال ۵، ص ۱۸-۱.
- احمدآبادی، علی؛ کرم، امیر و سرکیسیان، وردوهی. (۱۳۹۷). شناسایی سیرک های یخچالی زردکوه با تاکید بر ویژگی های ژئومورفومتری، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، ص ۱۶-۱.
- بارانی پور، افسانه و سیف، عبدالله. (۱۴۰۱). شناسایی، طبقه بندی و تحلیل شاخص های مورفومتری سیرک های یخچالی حوضه سیلوه، پژوهش ژئومورفولوژی کمی، سال یازدهم، شماره ۲، ص ۵۱-۳۲.
- بیرانوند، حجت الله و سیف، عبدالله. (۱۴۰۰). پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی در ارتفاعات مرکزی استان کرمان، فصلنامه جغرافیا، دوره ۱۹، شماره ۷۱، ص ۱۴۹-۱۲۹.
- بیرانوند، حجت الله و سیف، عبدالله. ۱۳۹۹. شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، ص ۸۰-۶۳.
- مقیم، ابراهیم؛ یاراحمدی، علی؛ ثروتی، محمدرضا و کردوانی، پرویز. ۱۳۹۱. تاثیر مورفولوژی دامنه ها در تحول سیرک های یخچالی اشترانکوه، برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره شانزدهم، شماره ۳، ص ۱۳۹-۱۱۹.

Abramowska, U.A. 2006. Pleistocene Glaciations of central Asia: Results from 10 Be surface exposure ages of Erratic boulders from the Pamir (Tajikistan) And the Alay (Kyrgyzstan): Quaternary science reviews, No. 25 pp. 1080- 1096.

Ballantyne, C.K. 2002. Paraglacial geomorphology: Quat. Sci. Rev. 21, pp. 1935-2017.

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, pp. 48-78.
- Barth, A., Clark, P., Clark, J., McCabe, M., Caffè, M. 2016. Last glacial maximum cirque glaciation in Ireland and implications for reconstructions of the Irish Ice sheet: *Quaternary Science Reviews*, 141, pp. 85-93.
- Benedict, J.B. 1973. Chronology of cirque glaciation, Colorado front range: *Quat. Res.* 3 (4), pp. 584-599.
- 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.
- 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.
- Evans, I.S., Cox, N.J. 1974. Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area* 6, 150-153.
- Gordon, J.E. 1977, Morphometry of cirques in the Kintail- Affric- Cannich Area of northwest Scotland: *Geografiska Annaler*, Vol. PP. 94-177.
- Graf, W.L. 1976. Cirques as Glacier locations: *Arctic and Alpine research*, Vol 8, No1. PP. 79- 90
- Hippolyte, J.C., Bourlès, D., Braucher, R., Carcaillet, J., L'Heuff, L., Arnold, M., Aumaitre, G. 2009. Cosmogenic ¹⁰Be 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.
- Kleman, J., Stroeven, A.P. 1997. Preglacial surface remnants and Quaternary glacial regimes in northwestern Sweden: *Geomorphology* 19 (1), pp. 35-54.
- Krause, D., Fiser, J., Krizek, M., 2022. Morphological difference of longitudinal profiles between glacial cirques and non-glacial valley head, described by mathematical fitting: *Geomorphology*, 404, pp. 108- 124.
- Le Roy, M., Deline, P., Carcaillet, J., Schimmelpfennig, I., Ermini, M., A. 2017. ¹⁰Be exposure dating of the timing of Neoglacial glacier advances in the Ecrins-Pelvoux massif, southern French Alps: *Quat. Sci. Rev.* 178, pp. 118-138.
- Li, Y., Zhao, Z. 2022. Auto cirque: an automated method to delineate glacial cirque outlines from digital elevation models: *Geomorphology*, 398, pp. 108-125.

- Loso, M.G., Schwartz, H.K., Wright, S.F., Bierman, P.R. 1998. Composition, morphology and Genesis of a moraine like feature in the miller Brook valley, Vermont northeastern: *geology science*, No. 20(1), PP. 1-10.
- Mîndrescu, M., Evans, I.S. 2014. Cirque form and development in Romania: allometry and the buzzsaw hypothesis: *Geomorphology* 208, pp. 117-136.
- Moore, E., Eaves, S., Norton, K., Mackintosh, A., Anderson, B., Dowling, L., Hidy, A. 2022. Climate reconstructions for the last glacial maximum from a simple cirque glacier in fiordland, New Zealand: *Quaternary science reviews*, 275, pp. 84-121.
- Olen, R., Spagnolo, M., rea, B., Barr, I., Bingham, R. 2020. Climatic control on the equilibrium line altitudes of Scandinavian cirque glaciers: *Geomorphology*, 352, pp. 71-92.
- Palacios, D., Oliva, M., Ortiz, A., Andres, N., Fernandez, J., Schimmelpfennig, I., Leanni, L. 2020. Climate sensitivity and geomorphological response of cirque glaciers from the late glacial to the Holocene, Sierra Nevada, Spain: *Quaternary science reviews*, 248, pp. 117-132.
- 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.
- 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.
- Rudiger, Z., Kern, Z., Urdea, P., Madarasz, B., Braucher, R. 2021. limited glacial erosion during the last glaciation in mid latitude cirques (retezat Mts, southern carpathians, Romania): *Geomorphology*, 384, pp. 24- 41.
- Spagnolo, M., Pellitero, R., Barr, I., Ely, J. 2017. ACME, a GIS tool for Automated cirque metric extraction: *Geomorphology*, 278, pp.280- 286.