Hydrogeomorphology

Vol. 10, Issue.36, Fall2023

Research Paper

Morphometric analysis of controlling parameters of glacial cirques in the Jajrud basin

Mehdi Feyzolahpour[1]*

This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.

DOI:10.22034/hyd.2023.55656.1685

Refference to this article: Feyzolahpour, Mehdi. (2023). Morphometric analysis of controlling parameters of glacial cirques in the Jajrud basin. *Hydrogeomorphology*, 10(36): 19– 37.

Keywords

Correlation, Morphometry, Pleistocene, Glacial Cirques, Jajrud Basin, Iran

A B S T R A C T

Glacier cirques show the characteristics of past glaciers and climates. In this research, the analysis of 39 glacial cirques in the catchment area of Jajrud River was done. For this purpose, Arc GIS software and Google Earth images were used. The parameters of length, width, height of the top of the circus, height of the floor of the cirques , area, perimeter, ratio of length to width, ratio of length to height of floor and ratio of width to height of floor were used to check the morphometry of cirques. For each of the morphometric parameters, statistical factors of coefficient of variation, standard deviation, average, maximum and minimum were calculated and estimated in Excel. Then R2 values or coefficient of determination were estimated for each of the parameters and a scatter diagram was drawn. Finally, the correlation matrix was estimated using the Pearson correlation coefficient for all factors. The highest abundance of cirques is located in the southwest direction. The maximum height of the cirques is 3800 meters and belongs to the geographical direction of the south.The highest correlations between length and width parameters were observed at the rate of 0.9936. The results show that the cirques in the north-facing slopes have a lower height. This indicates the high nutrition of these cirques and their significant volume in the Pleistocene period. Investigations showed that more developed cirques have more area, less height and less length to width ratio than less developed cirques.

Receive Date: 2023/03/02

Accept Date: 2023/07/08

Available: 2023/10/30

*** Corresponding Author: Mehdi Feyzolahpour**
E-mail: feyzolahpour@znu.ac.ir

1. Assistant professor of Geography, University of Zanjan

Extended Abstract

Introduction

During glacial periods, cirques were the first areas to be covered by ice, while during interglacial periods they were the last to leave the ice. Cirques were present in almost all the past glacial regions and their development was related to the past climate. Therefore, Cirquesprovide information about past climates (Barr and Spagnolo, 2015: 53). For example, the size and shape of the cirques are a reflection of the dynamics of the past glaciers, and the azimuth of the cirques indicates the direction of the past winds and past climatic conditions. In addition, the height of the circus floor indicates the height of the balance line during the glacial period (Pelto, 1992: 46., Porter, 1964: 482., Williams, 1975: 174). Topography and geology have also influenced the morphology of glacial cirques. In some cases, non-climatic factors play a decisive role (Walder and Hallett, 1986: 30, White, 1970: 128). Glacier cirques are semi-circular pits that are open in the downstream direction of the slope and the upstream parts are enclosed by steep walls. These forms exist in many mountain ranges of the world and indicate the process of erosion due to the action of glaciers during tens and hundreds of thousands of years (Evans, 2006: 250). Cirques have long been used as a direct indicator in identifying the extent and nature of past glaciations and Pleistocene climatic conditions.

Methodology

Jajrud watershed is located in the geographical coordinates of 51°22' to 51°52' east longitude and 35°45' to 36°50' north latitude. The area of this basin equals to 1890 square kilometers and it is located on the southern slope of the Alborz Mountain range and in the northeast of Tehran city. In this research, 39 glacial cirques were identified in the Jajrud watershed using Google Earth images and the topographic map of the area. The curves were examined and validated with Google Earth satellite images and portable base map server software to identify the cirques. Then, a TIN map and then DEM were drawn using a topographic map. Next, the maps of the slope and the direction of the slope were drawn. For all cirques, longitudinal profiles were prepared using Arc GIS software, and morphometric parameters were estimated based on this. This research aimed to investigate the morphometrics of cirques, therefore, the parameters of length, width, height of the top of the cirques, height of the cirques floor, area, perimeter, ratio of length to width, ratio of length to height of the floor and ratio of width to height of the floor were calculated for all cirques. Then R2 values or coefficient of determination were estimated for each of the parameters and a scatter diagram was drawn. Finally, the correlation matrix was estimated using Pearson's correlation coefficient for all factors and their relationship with each other and their role in the formation of glacial cirques and their location relative to the geographical direction and height were identified. It should be noted that the position of the glacial cirques was drawn in two ways: linear and polygonal.

Results and Discussion

The study of the distribution of glacial cirques showed that out of the 39 glacial cirques identified in the region, the highest frequency of glacial cirques belongs to the geographical direction of the southwest in the amount of 9 cirques. The frequency of this section was estimated to be 23.07% of all cirques. Some of the highest glacier cirques with altitudes of more than 3200 meters were identified in this region. After that, there are 8 circuses with the south direction in the next place. The frequency of this part is equal to 20.5%. In other words, about 44.2% of all circuses have been identified only in these two directions. In this range, the slopes facing the sun and facing the sun have not had an effect on the formation of cirques. It is clear that the direction of the high-pressure current of Siberia should mainly affect the geographical directions of the north, which carries the moisture of the Caspian Sea but such a situation has not been observed in this basin. Therefore, the reason for the formation of these cirques should be searched in the heights of this region and the special climatic conditions of the period Pleistocene.

Conclusions

In this basin, the elongated cirques are stretched in the geographical direction of the south and have higher values. These cirques represent the alternating process of melting and freezing in the direction with the highest amount of solar radiation. Therefore, the feeding of these cirques was not done well and they did not have a significant depth. The opposite of this process can be observed in the slopes to the north. In these domains, the ratio of length to width is low and is almost close to 1. In this region, cirques are typical and have high depth and nutrition. In the analysis of the

correlation matrix, it can be seen that the highest correlation between length and width is 0.9936, which has the highest correlation between all parameters. The highest amount of negative correlation is 0.4246 between the parameters of length-to-width ratio and floor width-to-height ratio. According to the investigations, the morphometric analysis of glacier cirques has provided useful information about past climatic conditions and can show the amount of nutrition, volume, and the lowest level of development of glaciers.

References

Barr, I.D., & Spagnolo, M. (2015). Glacial cirques as paleoenvironmental indicators: Their potential and limitations. Earth Sci. Rev, 151, 48-78.

Evans, I.S. (2006). Allometric development of glacial cirque form: geological, relief and regional effects on the cirques of Wales. Geomorphology, 80 (3), 245–266.

Pelto, M.S. (1992). Equilibrium line altitude variations with latitude, today and during the late Wisconsin. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol, 95, 41-46.

Porter, S.C. (1964). Composite Pleistocene snow line of Olympic mountains and Cascade Range, Washington. Geol. Soc. Am. Bull, 75, 477- 482.

Walder, J.S., & Hallet, B. (1986). The physical basis of frost weathering: toward a more fundamental and unified perspective. Art. Alp. Res, 18, 27-32.

White, W.A. (1970). Erosion of cirques. J Geol, 78, 123-126.

Williams, L.D. (1975). The variation of corrie elevation and equilibrium lime altitude with aspect in eastern Baffin Island, NWT, Canada. Art. Alp. Res, 7, 169-181.

مقاله پژوهشی

تحلیل مورفومتری پارامترهای کنترل کننده سیرک های یخچالی در حوضه آبریز جاجرود

مهدی فیض اله پور [1]*

این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کریتیو کامانز قابل استفاده است.

DOI:10.22034/hyd.2023.55656.1685

ارجاع به این مقاله: فیض اله پور، مهدی (۱۴۰۲). تحلیل مورفومتری پارامترهای کنترل کننده سیرک های یخچالی در حوضه آبریز جاجرود. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۰ (۳۶)،۳۷-۱۹.

چکیده

سیرک های یخچالی نشان دهنده خصوصیات یخچالها و اقلیمهای گذشته می باشند. در این تحقیق ۳۹ سیرک یخچالی در حوضه آبریز رودخانه جاجرود مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از نرم افزار Arc GIS و تصاویر google earth استفاده شد. برای بررسی مورفومتری سیرکها، پارامترهای طول، عرض، ارتفاع راس سیرک، ارتفاع کف سیرک، مساحت، محیط، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و نسبت پهنا به ارتفاع کف برآورد گردید. برای هر یک از پارامترهای مورفومتریک، فاکتورهای آماری ضریب تغییرات، انحراف معیار، میانگین، ماکزیمم و مینیمم در Excel محاسبه و برآورد شد. سپس مقادیر R2 یا ضریب تعیین برای هر یک از پارامترها برآورد شده و نمودار پراکنش ترسیم گردید. در نهایت ماتریس همبستگی با بهره گیری از ضریب همبستگی پیرسون برای تمامی فاکتورها برآورد شد. بیشترین میزان فراوانی سیرک در جهت جنوب غربی واقع شده است. حداکثر ارتفاع سیرک ها به میزان ۳۸۰۰ متر نیز متعلق به جهت جغرافیایی جنوب می باشد. بیشترین همبستگی ها بین پارامتر طول و عرض به میزان ۰/۹۹۳۶ مشاهده شد. نتایج نشان می دهد که سیرک ها در دامنه های رو به شمال از ارتفاع پایین تری برخوردار بوده و نسبت طول به عرض نیز مقادیر کمتری را نشان می دهد. این امر نشان دهنده تغذیه بالای این سیرک ها و حجم قابل توجه آنها در دوره پلیستوسن می باشد. بررسی ها نشان داد که سیرک های تکامل یافته تر نسبت به سیرک های کمتر توسعه یافته از مساحت بیشتر، ارتفاع کمتر و نسبت طول به عرض کمتری برخوردار هستند.

کلیدواژه‌ها

همبستگی،مورفومتری، پلیستوسن، سیرک یخچالی، حوضه آبریز جاجرود، شمال ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول: مهدی فیض اله پور
رایانامه: feyzolahpour@znu.ac.ir

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

مقدمه

در طول دوره های یخچالی، سیرک ها اولین مناطقی بودند که بوسیله یخ احاطه می شدند در حالیکه در دوره های بین یخچالی آخرین مناطقی بودند که از زیر سلطه یخ خارج می شدند (گراف[1]، ۱۹۷۶: ۸۴). سیرک ها تقریبا در تمام نواحی یخچالی گذشته حضور داشته و توسعه آنها در ارتباط با اقلیم گذشته بوده است. بنابراین سیرکها اطلاعاتی را در مورد اقلیم گذشته فراهم می کنند (بار و اسپگنولو[2]، ۲۰۱۵: ۵۳). برای مثال، اندازه و شکل سیرک ها بازتابی از دینامیک یخچال های گذشته بوده و آزیموت سیرک دلالت بر جهت بادهای گذشته و شرایط اقلیمی گذشته بوده است. همچنین ارتفاع کف سیرک نشان دهنده ارتفاع خط تعادل در طی دوره یخچالی می باشد (پلتو[3]، ۱۹۹۲: ۴۶؛ پارتر[4]، ۱۹۶۴: ۴۸۲؛ ویلیامز[5]، ۱۹۷۵: ۱۷۴). همچنین توپوگرافی و زمین شناسی بر روی مورفولوژی سیرک های یخچالی تاثیر گذاشته و در برخی مواقع، فاکتورهای غیراقلیمی نقش تعیین کننده ای را ایفا می کنند (باتی، ۱۹۶۰: ۸؛ والدر و هالت[6]، ۱۹۸۶: ۳۰ ؛ وایت[7]، ۱۹۷۰: ۱۲۸). سیرکهای یخچالی چاله های نیم دایره ای هستند که در جهت پایین دست شیب بصورت باز بوده و قسمت های بالادست توسط دیواره های شیب دار محصور شده است. این اشکال در بسیاری از رشته کوه های جهان وجود داشته و نشان دهنده روند فرسایشی در اثر عملکرد یخچال ها و در طی ده ها و صدها هزار سال می باشد (ایوانس[8]، ۲۰۰۶: ۲۵۰). سیرک ها از دیرباز به عنوان شاخص مستقیمی در شناسایی وسعت و ماهیت یخبندان های گذشته و شرایط اقلیمی پلیستوسن مورد استفاده قرار می گیرند (ایوانز، ۱۹۷۷: ۱۵۶؛ آنیا و ولچ[9]، ۱۹۸۱: ۴۶؛ ایوانز و کاکس[10]، ۱۹۹۵: ۱۸۰؛ گارسیا روئیز[11] و همکاران، ۲۰۰۰: ۸۴؛ فدرسی و اسپاگنولو[12]، ۲۰۰۴: ۲۴۰؛ ایوانز، ۲۰۰۶: ۲۴۸؛ هوگز[13] و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۴۷؛ روئیز فرناندز[14] و همکاران، ۲۰۰۹: ۵۲). توزیع، مورفومتری و جهت گیری سیرک ها متاثر از شدت، مدت و وسعت یخبندان بوده و توسط عوامل اقلیمی و توپوگرافی تاثیر می پذیرند. بررسی شکل گیری، توزیع و یا مورفولوژی سیرک های یخچالی به اواخر قرن ۱۹ باز می گردد (هلاند[15]، ۱۸۷۷: ۱۴۷؛ هارکر[16]، ۱۹۰۱: ۲۲۶). بسیاری از مطالعات قبلی توسط ایوانز (۱۹۷۷) گردآوری شده که ۵۸ تحقیق را شامل شده و حدود ۹۶۰۰ سیرک یخچالی را در بر می گیرد. این مجموعه داده ها، جامع نیستند لیکن برخی از بزرگترین و مهمترین تحقیقات را شامل شده و توسط ایوانز (۱۹۷۷) گردآوری شده اند. از لیست ارائه شده توسط ایوانز (۱۹۷۷) آشکار است که تحقیقات عمدتا در اروپا و امریکای شمالی متمرکز شده اند گر چه مطالعات جداگانه ای در نواحی دیگری از قبیل استرالیا، ژاپن و نیوزیلند صورت پذیرفته است. برخی مناطق بویژه بریتانیا و امریکای شمالی در موارد متعددی مورد بررسی قرار گرفته اند. با این حال بسیاری از مناطق دیگر در سطح جهان وجود دارند که نسبتا ناشناخته باقی مانده اند. این مناطق، نواحی وسیعی را شامل شده که پتانسیل گنجاندن تعداد زیادی سیرک یخچالی را داشته و مطالعه آنها می تواند به درک ما از فرایندهای تشکیل سیرک های یخچالی کمک کرده و همچنین دانش بشر را از شرایط پالئوکلیما در سراسر جهان افزایش دهند. تحقیقات انجام شده تاکنون بطور قابل توجهی از نظر تعداد سیرک های تحلیل شده متفاوت هستند. در برخی تحقیقات کمتر از ۱۰ سیرک مورد مطالعه قرار گرفته (شارپ[17] و همکاران، ۱۹۵۹: ۸۶؛ استفانوا و منتلیک[18]، ۲۰۰۷: ۱۹۶). لیکن در اکثر تحقیقات بازه ای در بین ۱۰ تا ۲۵۰ سیرک بررسی شده اند. تنها دو تحقیق، مقادیر بالاتر از ۱۰۰۰ سیرک را مورد بررسی قرار داده اند. برای مثال پیوی[19] و همکاران (۱۹۶۷) حدود ۱۴۷۴ سیرک را در آلاسکا مورد بررسی قرار داده و رودبرگ[20] (۱۹۹۴) بیش از ۴۰۰۰ سیرک را در اسکاندیناوی بررسی نمود.

[1] Graf
[2] Barr & Spagnolo
[3] Pelto
[4] Porter
[5] Williams
[6] Walder & Hallet
[7] Whilte
[8] Evans
[9] Aniya & Welch
[10] Evans& Cox
[11] Garcia Ruiz et al
[12] Federici& Spagnolo
[13] Hughes
[14] Ruiz-Fernandez
[15] Helland
[16] Harker
17 Sharp
18 Steffanova& Mentik
19 Pewe
20 Rudberg

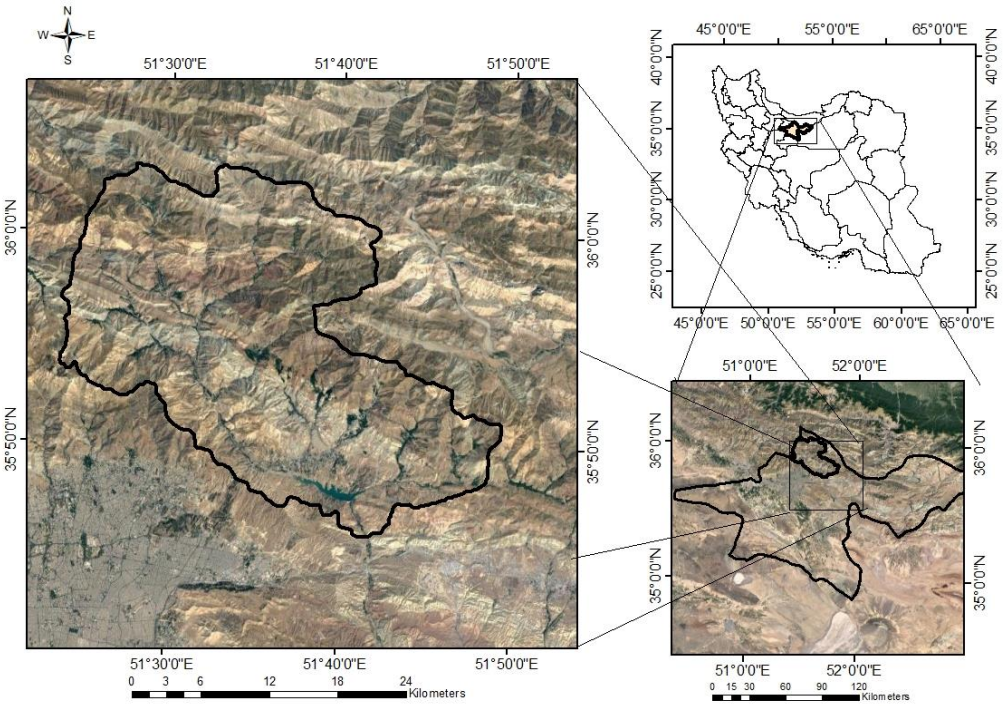
تحقیقات متعددی در جهان در زمینه سیرک های یخچالی انجام شده است (بار[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ ایوانس، ۲۰۲۱؛ ایپسن[2] و همکاران، ۲۰۱۸؛ اولیوا[3] و همکاران، ۲۰۲۰؛ پدرازا[4] و همکاران، ۲۰۱۹؛ والیک و پرینسیپاتو[5]، ۲۰۲۰). ایوانس و میندرسکو[6] (۲۰۱۴)، آلومتری و توسعه سیرک های یخچالی را در رومانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیرک های رومانی از نظر اندازه و شکل شبیه سیرک های انگلستان و ولز بوده و در برخی موارد شبیه کوه های ساحلی بریتیش کلمبیا می باشند. روش پیشنهادی این تحقیق تنها برای ارتفاعات بالاتر پاسخو می باشد. زانگ[7] و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل مورفومتری سیرک های یخچالی و شرایط پالئوکلیمای جنوب دشت تبت پرداختند. بررسی ها نشان داد که سیرک های واقع در بخش شرقی دشت تبت از عمق بیشتری برخوردار بوده که علت این امر مسیر باران های موسمی هند، ساختار زمین شناسی و میزان تابش خورشیدی در این منطقه می باشد. اوین[8] و همکاران (۲۰۲۰) نقش کنترل کنندگی اقلیمی را بر روی ارتفاع خط تعادل و سیرک های یخچالی اسکاندیناوی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می دهد که یخچال های طبیعی به شدت با فاصله از ساحل در ارتباط بوده و این امر نشان دهنده الگوی بارش اموزی در اسکاندیناوی می باشد. ایوانس وهمکاران (۲۰۲۱) شرایط پالئوکلیما و شکل سیرک ها را در جنوب غرب ترکیه مورد بررسی قرار دادند. بررسی ها نشان داد که کوه های نزدیک به ساحل در محدوده کوه های توروس در آخرین عصر یخچالی مرطوبتر از زمان حال بوده و توسعه سیرک ها متاثر از جهت شیب و میزان تابش دریافتی خورشید بوده است. در ایران تحقیقاتی که در زمینه سیرک های یخچالی انجام می گیرد عمدتا یا به منظور بازسازی شرایط اقلیمی پلیستوسن بوده و یا بوسیله آن اقدام به تعیین خط برف مرز دائمی در نواحی مختلف ایران نموده اند. در سایر موارد از سیرک های یخچالی برای تحلیل آلومتری و مورفومتری آنها استفاده شده که نسبتا روش جدیدی بوده و از پارامترهای مختلفی مانند مساحت، طول، پهنا، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع راس سیرک، نسبت طول به عرض و نسبت طول به ارتفاع کف استفاده می کنند.احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف به بررسی سیرک های یخچالی اشترانکوه پرداختند. نتایج نشان داد که سیرک های دامنه شمال شرقی با توجه به تابش دریافتی کمتر و تاثیرپذیری کمتر از فرایندهای مختلف شکل زا کمتر از دامنه های مقابل دستخوش تغییر شده اند. 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. 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.

1 Barr et al
2 Ipsen et al
3 Oliva et al
4 Pedraza et al
5 Wallick& principato
6 Evans& mindrescu
7 Zhang et al
8 Oien at al

ارتفاعات البرز مرکزی مرتفعترین نقاط ایران از جمله کوه آتشفشان دماوند را در خود جای داده و به علت استقرار در مسیر پرفشار سیبری و رطوبت دریای خزر از مقادیر بارشی قابل توجهی به شکل برف برخوردار بوده و جزو معدود نقاطی در ایران می باشد که هنوز یخچال های فعال را در خود جای داده است لیکن استقرار سیرک ها در دامنه های پایین تر از خط برف مرز دائمی نشان دهنده استیلای اقلیم سرد در دوره یخچالی پلیستوسن می باشد. در این تحقیق سیرکهای یخچالی حوضه آبریز جاجرود شناسایی شده و اقدام به بررسی مورفومتری آنها گردید.

مواد و روش

حوضه آبریز جاجرود در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه معادل ۱۸۹۰ کیلومتر مربع بوده و در دامنه جنوبی رشته کوه البرز و در شمال شرق شهر تهران واقع شده است. همچنین این حوضه در دامنه جنوب غربی کوه آتشفشان دماوند قرار گرفته است. سد لتیان در این حوضه واقع شده است. رودخانه جاجرود از مهم ترین رودخانه های تغذیه کننده سد لتیان بوده و از ارتفاعات خرسنگ، دیزین، گرمابدره و شکرآب سرچشمه گرفته و از به هم پیوستن رودهای کندرود، لوارک، افجه و فشم تشکیل شده و طول شاخه اصلی آن به ۴۰ کیلومتر می رسد. میانگین بارندگی در ارتفاعات به ۸۰۰ میلیمتر و در بخش های جنوبی به ۲۰۰ میلیمتر در سال می رسد. اشکال یخچالی از عوارض قابل توجه مربوط به دوران های پلیستوسن و هولوسن در این منطقه بوده و نشان دهنده شرایط اقلیمی گذشته می باشند(شکل ۱).



شکل(۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه جاجرود

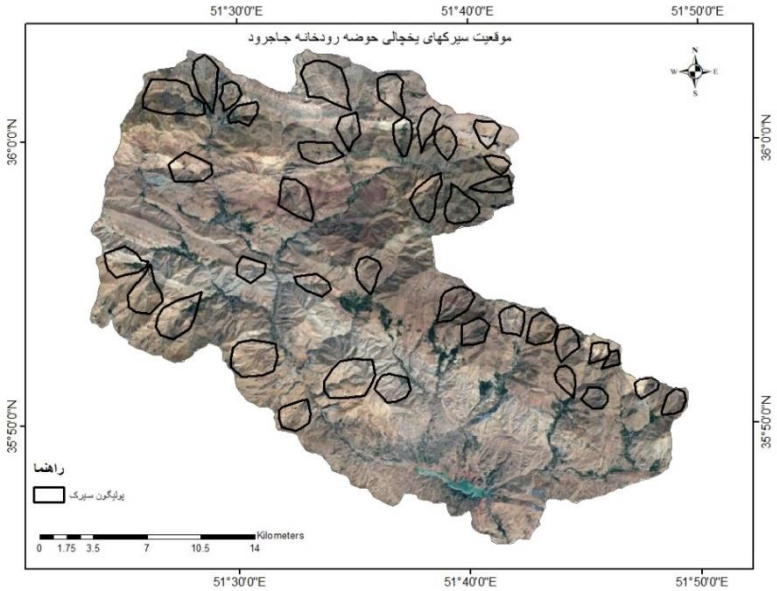
Fig (1): Geographical location of Jajrud basin

در این تحقیق ۳۹ سیرک یخچالی در حوضه آبریز جاجرود با استفاده از تصاویر Google earth و نقشه توپوگرافی منطقه شناسایی شدند. برای شناسایی سیرک ها، منحنی های میزان مورد بررسی قرار گرفته و با تصاویر ماهواره ای Google earth و نرم افزار Portable Basemap Server صحت سنجی شدند. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی، نقشه TIN و سپس DEM ترسیم شد. در ادامه، نقشه های

میزان شیب و جهت شیب ترسیم شدند. برای تمامی سیرک ها، نیمرخ طولی با استفاده از نرم افزار Arc GIS تهیه شده و بر این اساس پارامترهای مورفومتریک برآورد گردیدند. چون هدف از این تحقیق بررسی مورفومتری سیرک ها بود لذا پارامترهای طول، عرض، ارتفاع راس سیرک، ارتفاع کف سیرک، مساحت، محیط، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و نسبت پهنا به ارتفاع کف برای تمامی سیرک ها محاسبه شد. همچنین درصد فراوانی سیرک ها نسبت به جهات جغرافیایی ۸ گانه برآورد گردید. در کنار برآورد درصد فراوانی سیرک ها به نسبت جهت جغرافیایی، ارتفاع سیرک ها نسبت به جهت جغرافیایی نیز تعیین گردید. برای هر یک از پارامترهای مورفومتریک، فاکتورهای آماری ضریب تغییرات، انحراف معیار، میانگین، ماکزیمم و مینیمم در Excel محاسبه و براورد شد. سپس مقادیر R^2 یا ضریب تعیین برای هر یک از پارامترها برآورد شده و نمودار پراکنش ترسیم شد. در نهایت ماتریس همبستگی با بهره گیری از ضریب همبستگی پیرسون برای تمامی فاکتورها برآورد شده و ارتباط آنها با یکدیگر و نقش آنها در تشکیل سیرک ها و استقرار موقعیت آنها نسبت به جهت جغرافیایی و ارتفاع شناسایی شد. لازم به ذکر است که موقعیت سیرک ها به دو حالت خطی و پولیگونی ترسیم شدند.

یافته ها و بحث

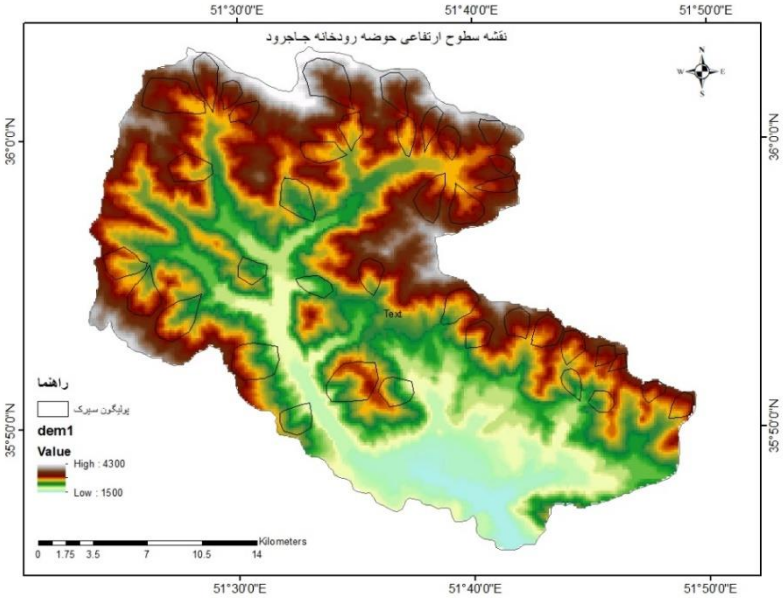
با بهره گیری از نقشه توپوگرافی، خطوط منحنی میزان و تصاویر ماهواره ای Google earth حدود ۳۹ سیرک یخچالی با ابعاد مختلف، جهات جغرافیایی متنوع و ارتفاعات مختلف شناسایی شده و ترسیم شدند. سیرک های یخچالی در دو فرمت خطی و پولیگونی ترسیم گردید.



شکل (۲): موقعیت سیرک های یخچالی در حوضه آبریز رودخانه جاجرود

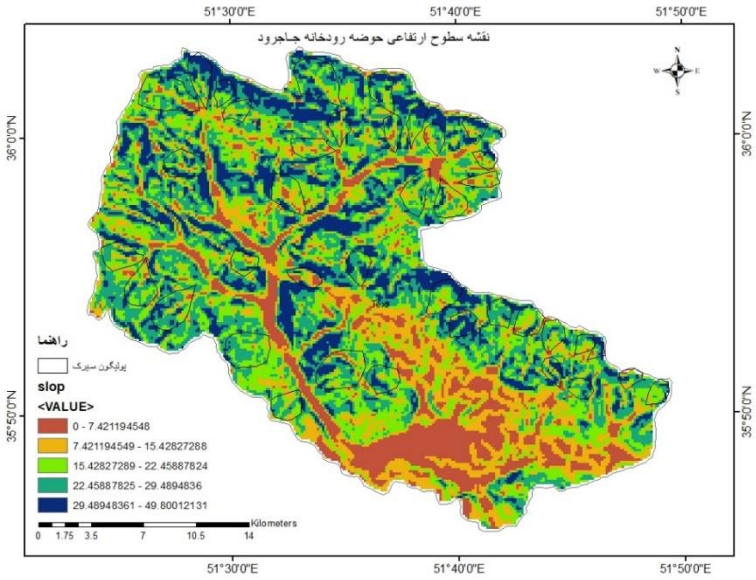
Fig (2): The location of glacial cirques in the watershed area of Jajrud river basin

با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه و تصاویر Google earth و نرم افزار Portable Basemap Server تصاویر Googlemap بر روی Arc Gis فراخوانی شده و وضعیت سیرک ها با تفکیک بالاتری رصد شده و شناسایی شدند. به منظور درک بهتر شرایط سیرک ها، نقشه میزان و جهت شیب و سطوح طبقات ارتفاعی ترسیم شد(اشکال ۲ تا ۶).



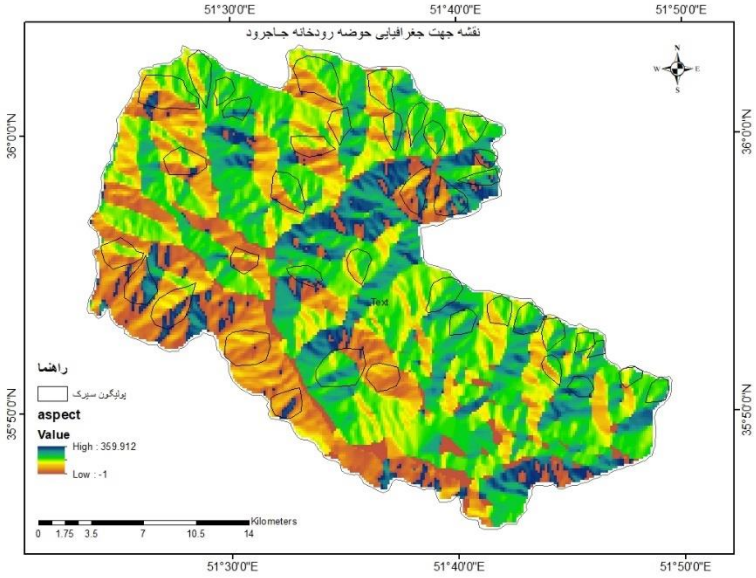
شکل(۳): نقشه سطوح ارتفاعی و موقعیت سیرک ها بر روی این نقشه در حوضه رودخانه جاجرود

Fig (3): The map of elevation levels and the location of cirques on this map in the Jajrud river basin



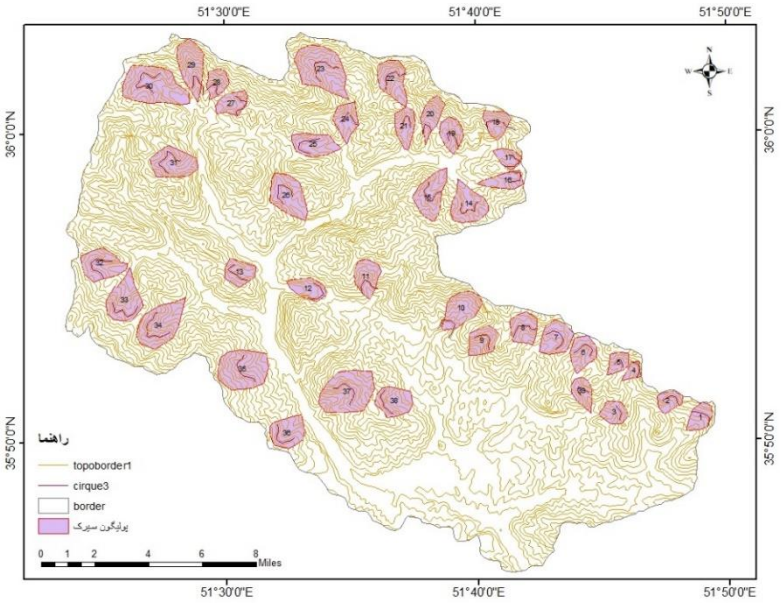
شکل(۴): نقشه میزان شیب در حوضه رودخانه جاجرود.

Fig (4): Slope map in Jajrud river basin.



شکل(۵): نقشه جهت شیب و موقعیت سیرک های یخچالی در حوضه آبریز رودخانه جاجرود.

Fig (5):Map of the direction of slope and location of glacial girques in the watershed area of Jajrud river basin.



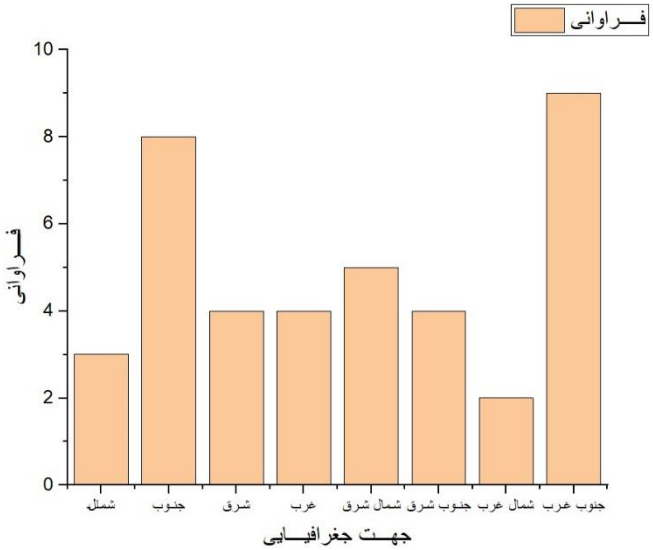
شکل (۶): نقشه توپوگرافی حوضه آبریز جاجرود و موقعیت سیرک های شناسایی شده در حوضه رودخانه جاجرود

Fig (6): Topographical map of the Jajrud watershed and the location of the cirques identified in the Jajrud river basin

توزیع و فراوانی سیرک های یخچالی ارتفاعات حوضه آبریز رودخانه جاجرود

بررسی پراکنش سیرک های یخچالی نشان داد که از ۳۹ سیرک یخچالی شناسایی شده در منطقه، بیشترین فراوانی سیرک های یخچالی متعلق به جهت جغرافیایی جنوب غرب به میزان ۹ سیرک بوده است. درصد فراوانی این بخش معادل ۲۳/۰۷ درصد از کل سیرک ها برآورد گردید. برخی از مرتفعترین سیرک های یخچالی با ارتفاعاتی بیش از ۳۲۰۰ متر در این منطقه شناسایی شد. پس از آن سیرک های برخوردار از جهت جنوبی به میزان ۸ سیرک در جایگاه بعدی قرار گرفته است. درصد فراوانی این بخش معادل ۲۰/۵ درصد می

باشد. یعنی به عبارتی در حدود ۴۴/۲ درصد از کل سیرک ها تنها در این دو جهت شناسایی گردیده اند. در این محدوده، دامنه های رو به آفتاب و پشت به آفتاب تاثیری در شکل گیری سیرک ها نداشته اند. بطوری که مشخص است جهت حرکت جریان پرفشار سیبری که حامل رطوبت دریای خزر می باشد عمدتا جهات جغرافیایی شمال را بایستی متاثر می ساخته لیکن در این حوضه چنین وضعیتی مشاهده نشده و لذا علت تشکیل این سیرک ها را در ارتفاعات این منطقه و وضعیت اقلیمی خاص دوره پلیستوسن بایستی جستجو کرد.



شکل(۷): تعداد سیرکهای یخچالی در جهات مختلف جغرافیایی

Fig (7): Number of glacier cirques in different geographical directions

جدول (۱): درصد فراوانی سیرک های یخچالی حوضه آبریز جاجرود

Table (1): Frequency percentage of glacial cirques in Jajrud river basin

جهت سیرک	شمال	جنوب	شرق	غرب	شمال شرق	جنوب شرق	شمال غرب	جنوب غرب
درصد فراوانی سیرک ها	۷/۶۹	۲۰/۵	۱۰/۲۵	۱۰/۲۵	۱۲/۸۲	۱۰/۲۵	۵/۱۲	۲۳/۰۷

پس از برآورد درصد فراوانی و تعداد سیرک های یخچالی در جهات مختلف جغرافیایی، حداکثر ارتفاعات ۳۹ سیرک یخچالی در این جهات تعیین گردید. مشاهده می شود که بیشترین تعداد سیرک ها به تعداد ۹ سیرک در جهت جغرافیایی جنوب غرب واقع شده که این امر نشان دهنده عدم وابستگی و علل تشکیل اینها در اثر منابع رطوبتی پرفشار سیبری و دریای خزر می باشد. حداکثر ارتفاع سیرک ها به میزان ۳۸۰۰ متر نیز متعلق به جهت جغرافیایی جنوب و جنوب شرق می باشد. کمترین تعداد سیرک ها نیز در جهت جغرافیایی شمال غرب مشاهده شد. کمترین ارتفاع سیرک ها به میزان ۲۲۰۰ متر نیز در این جهت مشاهده شد. این امر نشان دهنده گشترس سیرک های پلیستوسن تا ارتفاعات پایین بوده و نشان دهنده خط برفمرز پلیستوسن می باشد. خط برفمرز دامنه های رو به شمال نسبت به دامنه های روبه جنوب در ارتفاعات پایین تری بوده و مجددا علت آن دریافتی کم انرژی خورشید و همچنین تبخیر کم و ماندگاری بالای برف در این سیرک ها می باشد که می تواند باعث شکل گیری سیرک هایی با وسعت و مساحت بیشتر و شکل تیپیک تر و نسبت طول به عرض کمتر باشد. این سیرک ها از عمق و حجم بیشتری نیز برخوردار می باشند(جدول ۲).

جدول (۲): حداکثر ارتفاع سیرک ها به نسبت جهت جغرافیایی

Table (2): Maximum height of cirques according to geographical direction

جهت سیرک ها	جنوب غرب	جنوب	شمال شرق	غرب	شرق	جنوب شرق	شمال	شمال غرب
ارتفاع سیرک به متر	۳۰۰۰	۳۱۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۳۰۰۰	۲۲۰۰
	۳۱۰۰	۳۳۰۰	۲۵۰۰	۲۸۰۰	۲۹۰۰	۲۴۰۰	۳۰۰۰	۳۱۰۰
	۳۰۵۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۱۰۰	۳۰۰۰	۳۸۰۰	۳۰۵۰	
	۳۱۵۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۳۱۰۰	۲۸۰۰	۳۷۰۰		
	۳۱۵۰	۳۵۰۰	۳۱۰۰					
	۳۰۰۰	۳۰۵۰						
	۳۲۰۰	۲۷۸۰						
	۳۵۰۰	۳۸۰۰						
	۳۲۰۰							

تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرکهای یخچالی

در تحلیل پارامترهای مورفومتری، برای ۳۹ سیرک یخچالی داده های مساحت، محیط، عرض، حداکثر ارتفاع، حداقل ارتفاع، نسبت طول به عرض، نسبت طول به ارتفاع کف و نسبت پهنا به ارتفاع کف به دست آمد. بیشترین مساحت به میزان ۷/۰۲ کیلومتر مربع اختصاص به سیرک شماره ۳۰ دارد. این سیرک در شمال غربی حوضه واقع شده است. در این بین بیشترین محیط به میزان ۱۰/۵۵ مربوط به سیرک شماره ۲۳ می باشد. سیرک های این منطقه از طول قابل توجهی برخوردارند بطوری که طول سیرک ها از ۱۴۳۷ متر کمتر نبوده و طویلترین سیرک به ۴۱۱۳ متر رسیده و متعلق به سیرک شماره ۲۳ می باشد. با بررسی طول سیرک ها مشاهده می شود که جهت این سیرک به سمت جنوب شرق بوده و البته این امر می تواند نشان دهنده تغذیه زیاد و در نتیجه حرکت طولانی مدت سیرک باشد. سیرک های بزرگ و طویل عمدتا متعلق به سیرکهایی با جهت شمالی و شمال شرقی بوده که این امر می تواند توجیه کننده مسیر حرکت پرفشار سیبری و رطوبت دریای خزر باشد. نسبت طول به عرض می تواند نشانه میزان کشیدگی یا دایره بودن سیرک باشد. مقادیر کم نشانه دایروی بودن سیرک بوده و مقادیر زیاد نشانه کشیدگی سیرک می باشد. بررسی سیرک ها نشان می دهد که عمدتا سیرکهایی که به سمت شمال و شمال شرق می باشند از کرویت بیشتری برخوردار بوده و سیرکهای کوچکی که به سمت جنوب و جنوب غرب هستند از کشیدگی بالایی برخوردار بوده و البته از توزیع و فراوانی بیشتری نیز برخوردارند بیشترین میزان طول به عرض متعلق به سیرک هایی می باشد که مقادیری بیش از دو داشته و به سمت جنوب بوده اند. برای مثال، سیرک شماره ۱۶، ۲۰ و ۲۹ از مقادیر طول به عرضی معادل ۲/۷، ۳ و ۲/۶۵ برخوردار بوده و تماما به سمت جنوب قرار گرفته اند. این امر نشانه حجم کم انباشت در این سیرک ها بوده که جهت جغرافیایی جنوب توجیه کننده این امر می باشد. تمامی سیرک هایی با نسبت بالای طول به عرض از مساحت های کمتری برخوردارند که این امر توسعه نیافتگی و حجم کم برف را در آنها نشان می دهد. مقادیر کم نسبت طول به ارتفاع کف با نسبت بالای طول به عرض همراه بوده که این امر نشاندهنده این است که سیرک های با کشیدگی زیاد از نسبت طول به ارتفاع کف کمتری برخوردارند(جدول ۳).

جدول (۳): پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی حوضه آبریز جاجرود

Table (3): Morphometric parameters of glacia cirques of Jajrud river basin

شماره	مساحتkm2	محیطkm	طولm	عرضm	حداکثر ارتفاعm	حداقل ارتفاعm	نسبت طول به عرض	نسبت طول به ارتفاع کف	نسبت پهنا به ارتفاع کف
۱	۱/۵۸	۵/۳۱	۲۱۱۷	۱۲۶۸	۳۲۰۰	۲۵۰۰	۱/۶۷	۰/۸۴	۰/۵
۲	۱/۴۴	۴/۶۲	۱۵۵۳	۱۳۸۰	۳۰۰۰	۲۷۰۰	۱/۱۲	۰/۵۷	۰/۵۱
۳	۱/۷۲	۴/۹۲	۱۷۵۹	۱۳۱۱	۲۷۰۰	۲۱۰۰	۱/۳۴	۰/۸۳	۰/۶۲
۴	۰/۷۸	۳/۹۲	۱۴۳۷	۹۲۴	۳۱۵۰	۲۷۰۰	۱/۵۵	۰/۵۳	۰/۳۴
۵	۱/۳۱	۴/۵۹	۱۸۰۳	۱۲۳۴	۳۱۵۰	۲۷۰۰	۱/۴۶	۰/۶۶	۰/۴۵
۶	۲/۴۳	۶/۰۶	۲۳۲۳	۱۶۳۲	۳۰۰۰	۲۵۰۰	۱/۴۲	۰/۹۲	۰/۶۵
۷	۲/۹۸	۶/۵۶	۲۲۴۷	۱۹۵۵	۳۰۵۰	۲۶۰۰	۱/۱۵	۰/۸۶	۰/۷۵
۸	۲/۵۲	۶	۲۰۴۰	۱۶۱۸	۳۳۰۰	۲۶۰۰	۱/۲۶	۰/۷۸	۰/۶۲
۹	۲/۴	۵/۹۹	۲۲۱۱	۱۷۷۶	۳۱۰۰	۲۲۰۰	۱/۲۴	۱	۰/۸
۱۰	۳/۶۱	۷/۴۷	۲۹۷۰	۱۸۳۷	۳۰۰۰	۲۲۰۰	۱/۶۱	۱/۳	۰/۸۳
۱۱	۲/۵۹	۶/۲۶	۲۴۷۷	۱۴۷۶	۳۱۰۰	۲۳۰۰	۱/۶۷	۱/۰۷	۰/۶۴
۱۲	۲/۱۵	۵/۹۲	۲۴۶۰	۱۱۹۴	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۲	۱/۲۳	۰/۵۹
۱۳	۲/۲۲	۵/۷۳	۱۹۱۰	۱۶۳۳	۲۴۰۰	۲۰۵۰	۱/۱۷	۰/۹۳	۰/۷۹
۱۴	۳/۷۵	۷/۸۱	۲۷۷۶	۲۳۰۲	۳۰۵۰	۲۶۰۰	۱/۲	۱	۰/۸۸
۱۵	۳/۷۳	۸/۲۳	۳۲۳۲	۱۶۹۴	۳۱۰۰	۲۶۰۰	۱/۹	۱/۲	۰/۶۵
۱۶	۱/۸۵	۶/۴۲	۲۶۹۵	۹۹۶	۳۱۰۰	۲۷۰۰	۲/۷	۰/۹۹	۰/۳۶
۱۷	۱/۳۱	۴/۵۹	۱۷۱۱	۱۰۶۳	۳۱۰۰	۲۹۰۰	۱/۶	۰/۵۹	۰/۳۶
۱۸	۱/۹۷	۵/۵۴	۱۷۱۷	۱۷۲۹	۳۵۰۰	۳۰۰۰	۳/۴	۰/۵۷	۰/۵۷
۱۹	۲/۱۳	۵/۶۳	۲۲۵۷	۱۴۳۵	۳۰۵۰	۲۷۰۰	۱/۵۷	۰/۸۳	۰/۵۳
۲۰	۲/۱۳	۶/۹۳	۳۰۹۵	۱۰۱۹	۳۲۰۰	۲۷۰۰	۳	۱/۱	۰/۳۷
۲۱	۲/۲۳	۶/۱۷	۲۵۷۳	۱۲۰۹	۲۷۸۰	۲۶۰۰	۲/۱	۰/۹۸	۰/۴۶
۲۲	۳/۲۹	۷/۶	۲۹۶۹	۱۵۷۳	۳۷۰۰	۲۹۰۰	۱/۸۸	۱	۰/۵۴
۲۳	۶/۶۵	۱۰/۵۵	۴۱۱۳	۲۷۹۰	۳۸۰۰	۲۸۰۰	۱/۴۷	۱/۴	۰/۹۹
۲۴	۲/۳۳	۶/۴	۲۵۶۳	۱۶۲۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۱/۵۸	۱	۰/۶۵
۲۵	۳/۰۴	۷/۲۵	۲۹۳۰	۱۳۳۸	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲/۱۸	۱/۱	۰/۵۳
۲۶	۴/۲۵	۸/۲۳	۳۳۷۵	۲۰۴۸	۲۴۰۰	۲۲۰۰	۱/۶۴	۱/۵	۰/۹۳
۲۷	۱/۹۸	۵/۷۷	۱۹۹۸	۱۳۶۵	۳۱۰۰	۲۷۰۰	۱/۴۶	۰/۷۴	۰/۵
۲۸	۱/۷۱	۵/۲۲	۱۸۸۳	۱۴۰۱	۳۵۰۰	۲۸۰۰	۱/۳۴	۰/۶۷	۰/۵
۲۹	۳/۸۵	۸/۷۷	۳۹۳۲	۱۴۸۰	۳۸۰۰	۳۰۰۰	۲/۶۵	۱/۳	۰/۴۹
۳۰	۷/۰۲	۷/۸۱	۴۱۰۵	۲۳۰۲	۳۰۰۰	۲۶۰۰	۱/۷۸	۱/۵	۰/۸۸
۳۱	۳/۹۳	۸/۲۳	۲۸۵۱	۱۷۷۹	۳۰۰۰	۲۵۵۰	۱/۶	۱/۱	۰/۶۹
۳۲	۳/۷	۶/۹۳	۲۷۸۳	۲۱۲۰	۲۹۰۰	۲۴۰۰	۱/۳۱	۱/۱	۰/۸۸
۳۳	۴/۱۶	۵/۶۳	۳۳۰۳	۲۳۶۶	۳۰۰۰	۲۴۰۰	۱/۴	۱/۳	۰/۹۸
۳۴	۵/۳۱	۶/۴۲	۳۸۶۷	۲۱۸۱	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۱/۷۷	۱/۷	۰/۹۹
۳۵	۵/۹۹	۴/۵۹	۳۱۷۵	۲۴۳۶	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱/۳	۱/۵	۱/۲۱
۳۶	۳/۱۵	۶/۶۹	۲۴۳۰	۱۹۲۱	۲۵۰۰	۱۹۰۰	۱/۲۶	۱/۲	۱
۳۷	۶/۷۵	۹/۸	۳۶۶۶	۲۶۷۴	۲۸۰۰	۱۸۰۰	۱/۳۷	۲	۱/۴۸
۳۸	۳/۱۴	۶/۶۲	۲۲۰۴	۱۸۵۰	۲۷۰۰	۲۰۰۰	۱/۲	۱/۱	۰/۹۲
۳۹	۱/۷۵	۵/۴۳	۲۱۱۳	۱۲۳۱	۲۴۰۰	۲۱۰۰	۱/۷۱	۱	۰/۵۸

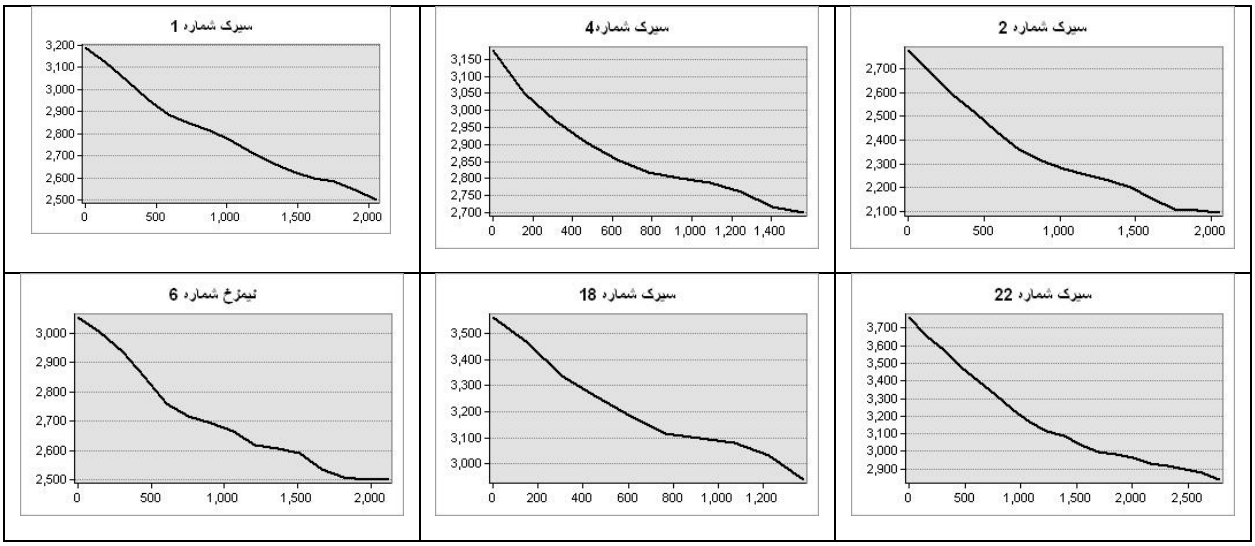
در تحلیل های آماری مشاهده می شود که مساحت، بیشترین ضریب تغییرات را دارا می باشد. علت این امر تنوع بالا در مساحت های سیرک ها می باشد. همانطور که ذکر شد سیرک های واقع شده به سمت شمال از بیشترین مساحت ها برخوردار می باشد. علت این امر تغذیه بالای این سیرک ها می باشد. فراوانی سیرکهای با مساحت کم و عمدتا کشیده در دامنه های رو به جنوب قابل توجه بوده و سیرک های واقع در جهت جنوب و جنوب غرب حدود ۴۴ درصد کل سیرک ها را شامل می شود. لیکن سطح بالایی از سیرک های کل حوضه را به خود اختصاص نداده و مساحت های کمی را دارا می باشند(جدول ۴).

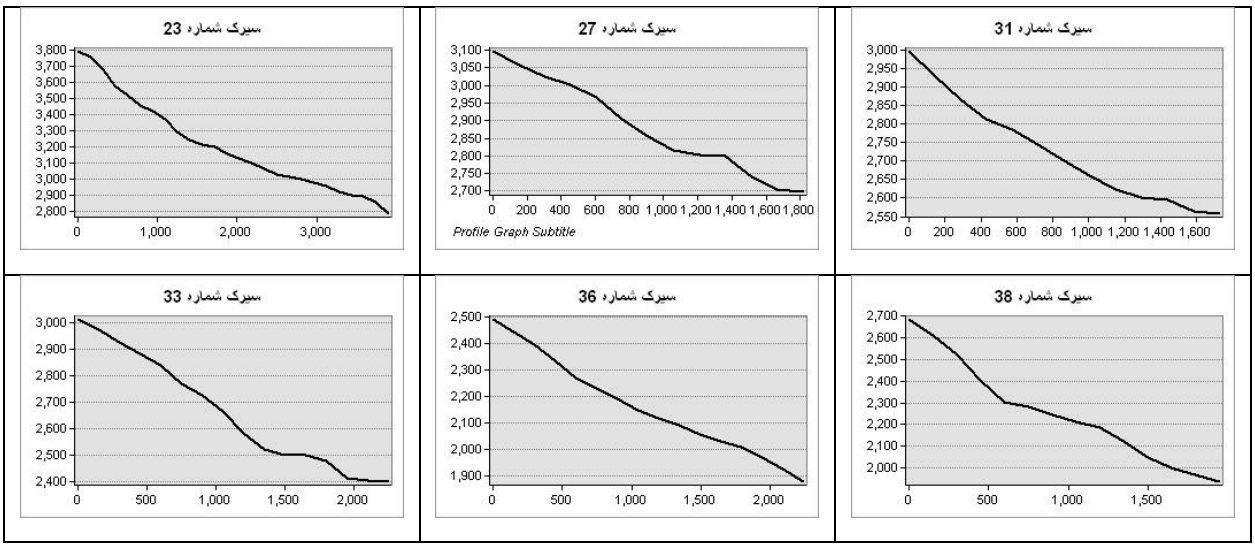
جدول (۴): تحلیل آماری پارامترهای مورفومتری سیرک های یخچالی حوضه آبریز جاجرود

Table (4): statistical analysis of morphometric parameters of glacial cirques in Jajrud river basin

پارامترهای مورفومتری	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
مساحتkm2	۰/۵۱	۱/۵۶	۳/۰۴	۷/۰۲	۰/۷۸
محیطkm	۰/۲۲	۱/۴۵	۶/۴۷	۱۰/۵۵	۳/۹۲
طولm	۰/۲۷	۷۲۲/۷	۲۶۰۵	۴۱۱۳	۱۴۳۷
عرضm	۰/۲۸	۴۷۰	۱۶۷۰	۲۷۹۰	۹۲۴
حداکثر ارتفاعm	۰/۱۲	۳۶۰	۳۰۰۵	۳۸۰۰	۲۲۰۰
حداقل ارتفاعm	۰/۱۳	۳۱۸	۲۴۶۹	۳۰۰۰	۱۸۰۰
نسبت طول به عرض	۰/۳۱	۰/۵۱	۱/۶۶	۳/۴	۱/۱۲
نسبت طول به ارتفاع کف	۰/۳۱	۰/۳۲	۱/۰۵	۲	۰/۵۳
نسبت پهنا به ارتفاع کف	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۶۹	۱/۴۸	۰/۳۴

سیرک های برخوردار از کشیدگی بالا و وسعت کم به علت فرسایش و تغذیه ضعیف از شکل تیپیک برخوردار نبوده و از عمق کمتری برخوردارند. این سیرک ها در دامنه های رو به جنوب واقع شده و با ترسیم نیمرخ به خوبی مشاهده می گردند. در این بین به علت حجم بالای سیرک ها تنها نیمرخ سیرک هایی با شکل کلاسیک تر در این تحقیق نمایش داده شد(شکل ۸).





شکل (۸): نیمرخ طولی سیرک های یخچالی برخوردار از نسبت بالای طول دو بعدی به طول سه بعدی

Fig (8): longitudinal profile of glacial cirques with a high ratio of two-dimensional length to three-Dimensional length

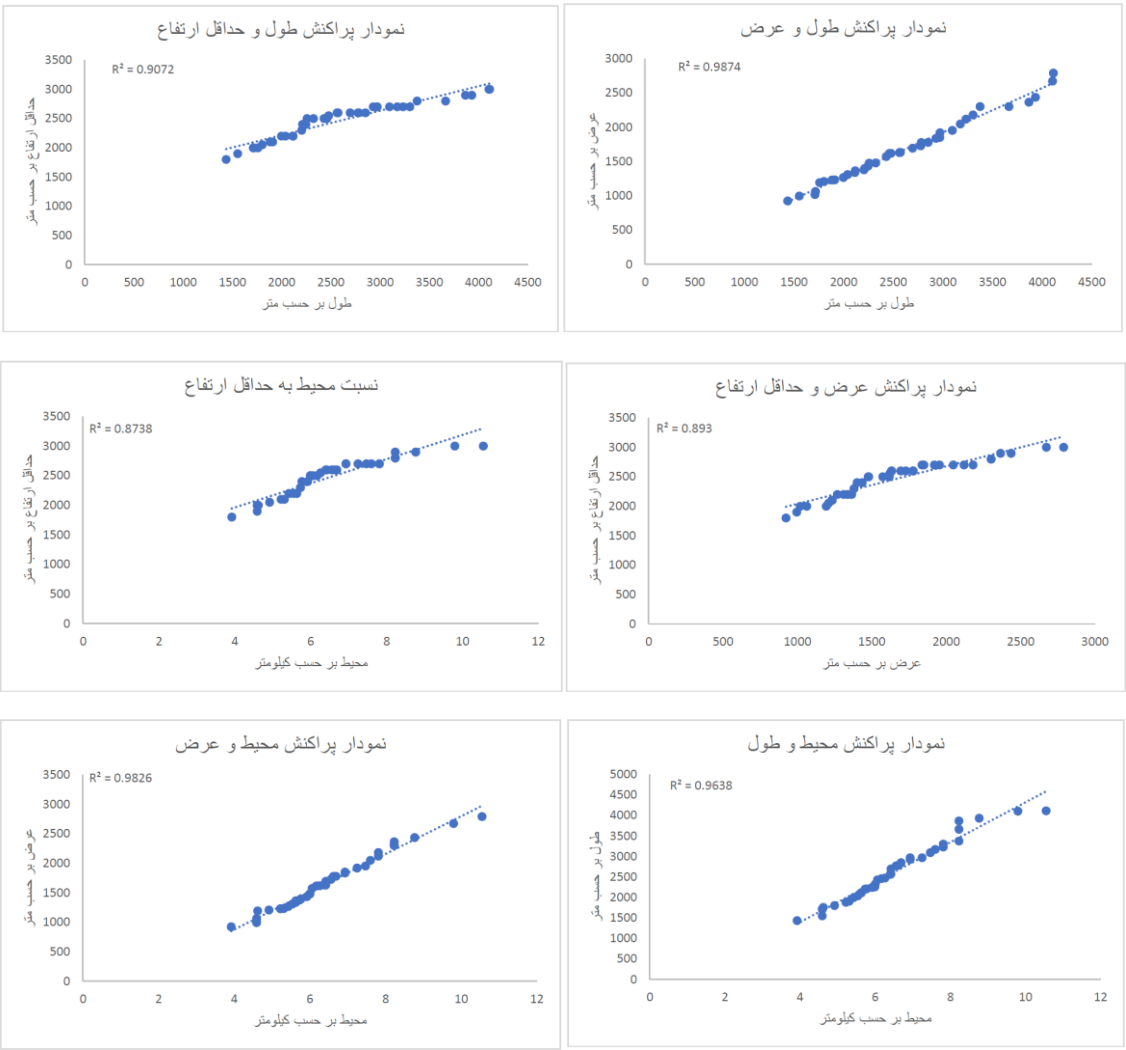
برای تحلیل روابط بین پارامترهای مورفومتریک، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده و ماتریس همبستگی براورد گردید. در بین برخی از پارامترها، روابط مثبت و منفی برقرار بوده و برخی از پارامترها هیچ نوع همبستگی را نشان ندادند. بیشترین همبستگی ها بین طول و عرض به میزان ۰/۹۹۳۶ مشاهده شد که بیشترین میزان همبستگی را بین تمام پارامترها برخوردار است. بیشترین میزان همبستگی منفی نیز به میزان ۰/۴۲۴۶- بین پارامترهای نسبت طول به عرض و نسبت پهنا به ارتفاع کف برقرار می باشد. نسبت طول به عرض نشان دهنده میزان کشیدگی سیرک می باشد. تمامی سیرک های با عمق کم از نسبت طول به عرض بالاتری برخوردار بوده و عمدتا در دامنه های به سمت جنوب مستقر گردیده اند. علت این امر تکرار فرایند ذوب و انجماد و در نتیجه کشیدگی سیرک ها می باشد. قاعدتا این سیرک ها از حجم کمی برخوردار بوده اند. پهنا و نسبت پهنا به ارتفاع کف نشانه ای بر حالت کروی سیرک داشته و حجم بالای سیرک تغذیه سیرک را نشان داده که این امر تائید کننده رابطه عکس بین نسبت طول به عرض و نسبت پهنا به ارتفاع کف می باشد(جدول ۵).

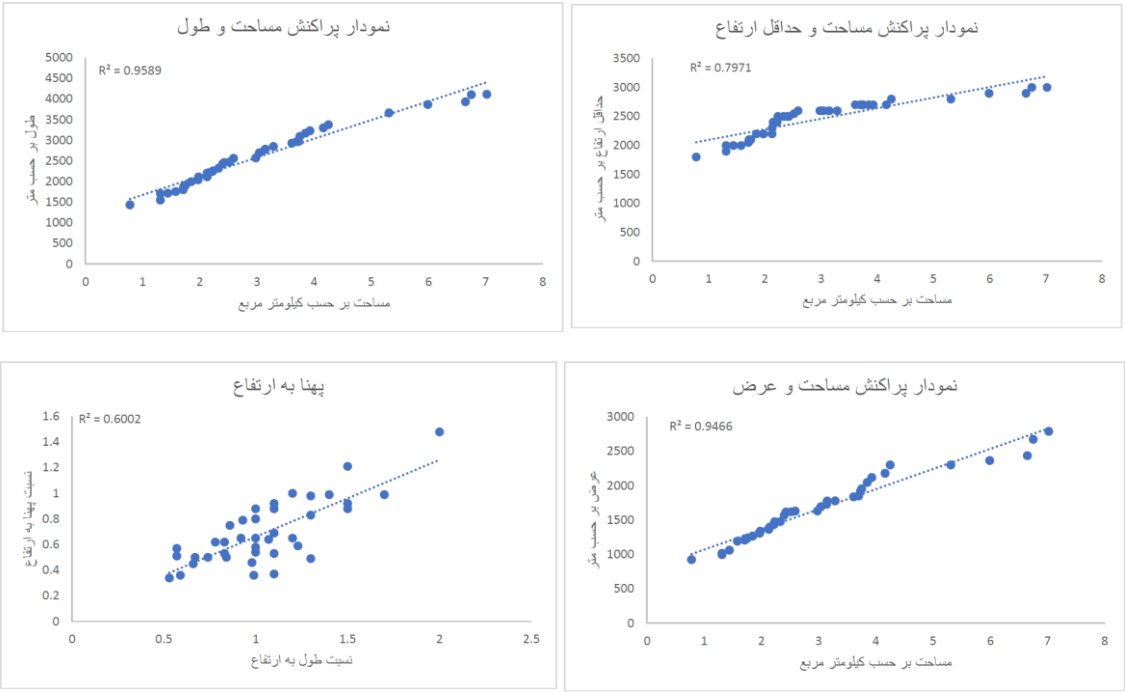
جدول (۵): مقادیر ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای پارامتری سیرک یخچالی حوضه آبریز جاجرود

Table (5): Pearson's correlation coefficient values of the parametric variables of the glacial cirque of Jajrud river basin

پارامترهای مورفومتری	مساحت km2	محیط km	طول m	عرض m	حداکثر ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	نسبت طول به عرض	نسبت طول به ارتفاع کف	نسبت پهنا به ارتفاع کف
مساحت km2	۱	۰/۹۷۰۲	۰/۹۷۹۲	۰/۹۷۲۲	۰/۲۶۹۵-	۰/۸۹۲۸	۰/۰۹۸-	۰/۵۴۹	۰/۵۶۹۲
محیط km		۱	۰/۹۸۱۷	۰/۹۹۱۲	۰/۲۵۳۵-	۰/۹۳۴۷	۰/۰۱۳-	۰/۵۴۳۲	۰/۵۰۲۷
طول m			۱	۰/۹۹۳۶	۰/۲۳۳۵-	۰/۹۵۲۴	۰/۰۲۹-	۰/۵۷۶۱	۰/۵۵۶۳
عرض m				۱	۰/۲۳۲۸-	۰/۹۴۴۹	۰/۰۰۶-	۰/۵۶۲۶	۰/۵۲۵۹
حداکثر ارتفاع m					۱	۰/۱۱۰۳-	۰/۲۷۷۵	۰/۲۲۰۴-	۰/۲۵۵-
حداقل						۱	۰/۱۳۶۶	۰/۵۲۴۵	۰/۴۲۱۳
نسبت طول							۱	۰/۰۰۵-	۰/۴۲۴۶-
نسبت طول								۱	۰/۷۷۴۷
نسبت پهنا به									۱

در نهایت، مقادیر ضریب تعیین یا R^2 برای تمامی پارامترها محاسبه شد. بین تمام متغیرهای موثر در تحلیل مورفومتری سیرک های یخچالی به صورت دو به دو ضریب تعیین برآورد گردیده و نمودار پراکنش ترسیم شد. تنها بین تعداد معدودی ضریب تعیین بالایی مشاهده شده و نمودار آنها نمایش داده شد. بیشترین میزان ضریب تعیین در بین دو پارامتر طول و عرض به میزان ۰/۹۸۷۴ مشاهده شد. این دو پارامتر و برقراری نسبت بین آنها نشان دهنده کشیدگی و پهنی در سیرک یخچالی بوده و میزان حجم و ذخیره برف را نشان می دهد. بین پارامتر پهنا و ارتفاع نیز مقادیر ضریب تعیین ۰/۶۰۰۲ مشاهده شد. به عبارتی بین تغییرات ارتفاع و پهنای سیرک روابط بالایی برخوردار است(شکل ۹). در تحلیل موقعیت استقرار سیرک های یخچالی مشاهده شد که سیرک های برخوردار از پهنای بالا و مقادیر کم نسبت طول به عرض، در جهت جغرافیایی شمال واقع شده و این امر از وضعیت منابع رطوبتی دریای خزر تاثیر پذیرفته اند. البته شرایط اقلیمی دوره پلیستوسن متفاوت از زمان حال حاضر بوده و خط برف مرز دائمی پایین تر از زمان حال بوده و لذا سیرک های یخچالی شواهدی از وضعیت اقلیمی آن زمان بوده اند.





شکل (۹): نمودار پراکنش پارامترهای مورفومتریک سیرک های یخچالی حوضه آبریز جاجرود

Fig (9): distribution chart of morphometric parameters of glacial cirques of Jajrud river basin

بحث و نتیجه‌گیری

سیرک های یخچالی به عنوان یکی از اشکال معروف محیط های یخچالی، نشان دهنده تحولات اقلیمی دوران های سرد گذشته به خصوص دوران پلیستوسن می باشد. دمای هوا و شرایط اقلیمی در عصر یخچالی متفاوت از زمان حال بوده و لذا بررسی مورفولوژی سیرک ها می تواند اطلاعاتی را در زمینه این دوران ارائه نماید. در حوضه آبریز رودخانه جاجرود که در منطقه ای مرتفع با همجواری کوه دماوند واقع شده، حدود ۳۹ سیرک یخچالی شناسایی شد. این سیرک ها از پارامترهای کاملا متفاوتی برخوردار بوده اند. این تفاوت هم در پارامترهای مورفومتریک و هم در پارامترهایی از قبیل جهت جغرافیایی و ارتفاع مشاهده می شود. بیشترین فراوانی که معادل ۴۴ درصد از کل سیرک های منطقه را در بر می گیرد در دو جهت جغرافیایی جنوب و جنوب غرب واقع شده است. مرتفع ترین سیرک ها نیز با ارتفاع ۳۸۰۰ متر در جهت جنوب غرب و جنوب شرق واقع شده اند. این در حالیست که کم ارتفاع ترین سیرک با ارتفاع ۲۲۰۰ متر در جهت شمال غربی واقع شده است. این امر دارای توجیه منطقی بوده و علل آن را باید در مسیر جریانات باران زای سیبری و منابع رطوبتی دریای خزر جستجو کرده و با توجه به استقرار همین شرایط با شدت بیشتر در عصر یخچالی پلیستوسن می توان انتظار پایین بودن خط برمرز کواترنری را در این جهت جستجو کرد. نسبت طول به عرض نشان دهنده کشیدگی و کرویت سیرک های یخچالی می باشد. در این حوضه، سیرک های کشیده در جهت جغرافیایی جنوب کشیده شده و از مقادیر بالاتری برخوردارند. این سیرک ها نمایش دهنده فرایند متناوب ذوب و انجماد در جهتی بوده که از بیشترین میزان دریافتی تابش خورشیدی برخوردار بوده است. لذا تغذیه این سیرک ها به خوبی صورت نگرفته و لذا از عمق قابل توجهی برخوردار نبوده اند. عکس این فرایند در دامنه های دو به شمال دیده می شود. در این دامنه ها نسبت طول به عرض کم بوده و تقریبا نزدیک ۱ می باشند. سیرک های این منطقه تیپیک بوده واز عمق و تغذیه بالا برخوردار بوده اند. در تحلیل ماتریس همبستگی مشاهده می شود که بیشترین همبستگی ها بین طول و عرض به میزان ۰/۹۹۳۶ بوده که بیشترین میزان همبستگی را بین تمام پارامترها برخوردار است. بیشترین میزان همبستگی منفی نیز به میزان ۰/۴۲۴۶- بین پارامترهای نسبت طول به عرض و نسبت پهنا به ارتفاع کف برقرار می باشد. بررسی ها نشان می دهد که تحلیل مورفومتری سیرک

های یخچالی اطلاعات مفیدی را در زمینه شرایط اقلیمی گذشته ارائه داده و می تواند میزان تغذیه، حجم و پایین ترین سطح توسعه یخچال ها را نشان دهد.

منابع

Ahmadabadi, A., Karam, A., & Sargsyan, V. (2018). The Identification of Glacial Cirques of ZardKuh Based on Morphometric Features, Hydrogeomorphology, 5, 1-16.

Ahmadabadi, A., Fathollahzadeh, M., Kiani, T., & Emadodin, F. (2019). Using NDSI to identify the Glacier Cirques of Oshtorankuh, Hydrogeomorphology, 6(19), 1-18.

Aniya, M., & Welch, R. (1981). Morphometric analyses of Antarctic cirques from photogrammetric measurements. Geografiska Annaler: Series A, 63 (12), 41–53.

Baranipour, A., & Seif, A. (2022). Identification, classification and analysis of morphometric indicators of glacial cirques in Silveh basin, Quantitative Geomorphological Research, 11, 32-51.

Barr,I.D., & Spagnolo, M. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. Earth Sci. Rev, 151, 48-78.

Barr, I.D., Ely, J.C., Spagnolo, M., Evans, I.S., & Tomkins, M.D. (2019). The dynamics of mountain erosion: cirque growth slows as landscapes age. Earth surf. Process. Landf, 44, 2628- 2637.

Battey, M.H. (1960). Geological factors in the development of Veslgjuv-Botn and veslskautbotn. In: Lewis, W.V, Norwegian cirque Glaciers. Royal geographical society research series, 15, 5-10.

Beheshti Javid, E., & Esfandyari, F. (2018). Extraction and Identification of glacial landforms using object-oriented methods (Case Study: glacial Cirques Sabalan), Quantitative Geomorphological Research, 6, 88-102.

Beiranvand, H., & Seif, A. (1400). Morphometric parameters of Glacial Cirques in the highlands of ventral Kerman Province, Geography, 19, 129- 149.

Beranvand, H., & Saife, A. (2020). Identification, Classification and morphometry of glacial cirque in Jupar altitude of Kerman, Quantitative Geomorphological Research, 4, 63-80.

Evans, I.S. (2021). Glaciers, rock avalanches and the buzzsaw in cirque development: why mountain cirques are of mainly glacial origin. Earth surf. Process. Landf, 46, 24-46.

Evans, I.S., & Mindrescu, M. (2014). Cirque form and development in Romania: Allometry and the buzzsaw hypothesis, Geomorphology, 208, 117- 136.

Evans, I.S., Cilgin, Z., Bayrakdar, C., & Canpolat, E. (2021). The form, distribution and paleoclimatic implications of cirques in southwest Turkey (Western Taurus), Geomorphology, 391, 107- 124.

Evans, I.S. (2006). Allometric development of glacial cirque form: geological, relief and regional effects on the cirques of Wales. Geomorphology, 80 (3), 245–266.

Evans, I.S. (1977). World-wide variations in the direction and concentration of cirque and glacier aspects. Geografiska Annaler: Series A, 59 (4), 151–175.

Evans, I.S., & Cox, N.J. (1995). The formof glacial cirques in the English Lake District, Cumbria. Zeitschrift für Geomorphologie N.F, 39 (2), 175–202.

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). Geografiska Annaler: Series A, 86 (3), 235–248.

García–Ruiz, J.M., Gómez–Villar, A., Ortigosa, L., & Martí–Bono, C. (2000). Morphometry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees. Geografiska Annaler: Series A 82 (4), 433–442.

Graf,W.L., 1976, Cirque as glacier location. Arct. Alp. Res, 3, 79-90.

Harker, A. (1901). Ice erosion in the Cuillin Hills, Skye. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 40 (2), 221–252.

Helland, A. (1877). On the Ice-Fjords of North Greenland, and on the Formation of Fjords, Lakes, and cirques in Norway and Greenland. Quarterly Journal of the Geological Society, 33 (4), 142–176.

Hughes, P.D., Gibbard, P.L., & Woodward, J.C. (2007). Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. Geomorphology, 88 (3), 242–253.

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, 565- 576.

Jafari, G., & Hazrati, N. (2018). Reconstruction of Quaternary ELA of the Zagros geomorphic unit of Iran, Geography and environmental sustainability, 28, 33-49.

Oien, R., Spagnolo, M., Rea, B., Barr, I., & Bingham, R. (2020). Climatic controls on the equilibrium-line altitudes of Scandinavian cirque glaciers, Geomorphology, 352, 106- 127.

Oliva, L., Cioccale, M.A., & Rabassa, J.O. (2020). Morphometry and spatial distribution of glacial cirques in the western Fuegian Andes of Argentina, southernmost south America. Andean Geol, 47, 316- 350.

Pedraza, J., Carrasco, R.M., Villa, J., Soteres, R.L., Karampaglidis, T., & Fernandez Lozano, J. (2019). Cirques in the Sierra de guadarrama and Somosierra moutains: shape, size and controlling factors. Geomorphology, 341, 153- 168.

Pelto, M.S. (1992). Equilibrium line altitude variations with latitude, today and during the late Wisconsin. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol, 95, 41-46.

Péwé, T.L., Burbank, L., & Mayo, L.R. (1967). Multiple glaciations of the Yukon-Tanana upland, Alaska. US Geological Survey. Misc. Geol. Invest. Map 1–105, scale 1/ 500,000.

Porter, S.C. (1964). Composite Pleistocene snow line of Olympic mountains and Cascade Range, Washington. Geol. Soc. Am. Bull, 75, 477- 482.

Rudberg, S. (1994). Glacial cirques in Scandinavia. Norsk Geografisk Tidsskrift—Norwegian Journal of Geography, 48 (4), 179–197.

Ruiz-Fernández, J., Poblete-Piedrabuena, M.A., Serrano-Muela, M.P., Martí-Bono, C., García-Ruiz, J.M. (2009). Morphometry of glacial cirques in the Cantabrian Range (Northwest Spain). Zeitschrift für Geomorphologie N.F, 53 (1), 47–68.

Sharp, R.P., Allen, C.R., & Meier, M.F. (1959). Pleistocene glaciers on southern California mountains. American Journal of Science, 257 (2), 81–94.

Steffanová, P., & Mentlík, P. (2007). Comparison of morphometric characteristics of cirques in the Bohemian Forest. Silva Gabreta, 13 (3), 191–204.

Walder, J.S., & Hallet, B. (1986). The physical basis of frost weathering: toward a more fundamental and unified perspective. Arct. Alp. Res, 18, 27-32.

Wallick, K.N., & principato, S.M. (2020). Quantitative analyses of cirques on the Faroe islands: evidence for time transgressive glacier occupation. Boreas, 49, 828- 840.

White, W.A. (1970). Erosion of cirques. J. Geol, 78, 123-126.

Williams, L.D. (1975). The variation of corrie elevation and equilibrium lime altitude with aspect in eastern Baffin island, NWT, Canada. Arct. Alp. Res, 7, 169-181.

Zhang, Q., Fu, P., Yi, C., Wang, N., Wang, Y., capolongo, D., & Zech, R. (2020). Palaeoglacial and palaeoenvironmental conditions of the Gangdise Mountains, southern Tibetan Plateau, as revealed by an ice-free cirque, morphology analysis, geomorphology, 370, 112-138.