

## The Analysis of Morphometric Parameters of the Remains of Glacial Cirques in JabalBarez Altitudes in Würm

Hojatollah Biranvand<sup>1</sup>, Dr. Abdullah Seif<sup>2\*</sup>

1-Ph.D Student of Geomorphology, University of Isfahan

2-Associate Professor of Geomorphology, University of Isfahan



Biranvand, H & Seif, A. (2020). [The Analysis of Morphometric Parameters of the Remains of Glacial Cirques in JabalBarez Altitudes in Würm]. *Geography and Development*, 18 (60), 219-238, <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2020.5678>

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2020.5678>

Received:13/08/2019

Accepted:16/04/2020

### Keywords:

Morphometry,  
Glacier  
cirques,  
Jabal  
Barez  
altitudes,  
Alometry,  
Würm.

### ABSTRACT

Cirques are the major forms of glacier and its shape is the most important factor in determining glacial conditions. Accurate identification and morphometric and allometric analyzes of cirques will distinguish and distinguish them from other cirque -like effects and identify their evolution. The main purpose of this study was to identify, classify and morphometry glacial cirques of Jabal Heights in Kerman province based on new geometrical techniques and methods. 16 cirque glaciers under the glacier basin, based on the digital elevation model and its adaptation to the slope map classified in the software environment, 200 glacier cirques were identified in the study area and plotted in linear and polygonal formats. By fitting power models to the circular longitudinal profile, the cirques coefficients and statistical parameters were extracted. The cirques classification was carried out according to the methods of Wilburg and Rudberg, Evans and Cox. For the morphometry of these circuses, parameters such as (L), (W), (H), (L / W), (L / H), (W / H) and cirque size were used and their morphometric properties were investigated. Is. According to the results of the research, there are 60 N1, 67 N2, 42 N3 and 31 in the high altitudes of Jabal. In cirques of both classes B <1. The results of geo-geometric analysis of cirques of different classes in this area indicate that cirques in this area were not typical glacial cirques or that glacial erosion did not play a major role in their formation.

Copyright©2020, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

### Extended Abstract

#### 1- Introduction

**I**n the evolution of unevenness, glaciers and the rule of the Anaglyshial and Cataglyshic periods have played an important role in the processing and development of unevenness. Then, during the Anaglyshial periods, the accumulation of large amounts of snow and ice on the slopes and the

melting of these ice masses played a significant role in the formation of the slopes. This effect manifests itself not only in the formation of glacial forms but also in a series of subsequent events. cirques are the main forms of glaciation and its shape is the most important factor in determining glacial conditions. Glacial cirques are one of the most typical landforms of glacial territories and are an important indicator in long-term tracking. Accurate identification and morphometric and allometric analyses of cirques will distinguish them from other cirque -like complications. For accurate identification of glacial cirques, accurate study of the size and forms of these shapes, the use of modeling and mathematical and numerical relations (morphometry) seem necessary for geomorphologists. Morphometric and allometric

#### \*Corresponding Author:

Dr. Abdullah Seif

Address:Department of Geomorphology  
University of Isfahan

Tel: +98(9133289134)

E-mail: A.seif@ltr.ui.ac.ir

studies of glacial cirques provide the possibility of studying vertical and regional development, degree of evolution, direction of development, relationship between orientation of these landforms with topographic prominence, structural status of bedrock and climatic factors. Allometric relations also show the role of glacial erosion in cirques development

## 2-Methods and material

After identifying 16 glacial sub-basins, at altitudes above 3,000 meters, 85 glacial cirque artifacts were identified in the area and plotted on a graded map in two linear and polygonal formats. By fitting the power models to the longitudinal profile of the cirque works, the coefficients and statistical parameters of the cirques in the region were extracted. cirques classification operations were based on the methods of Wilburg and Rudberg, Evans and Cox. For the morphometry of these cirques, parameters such as (L), (W), (H), (L / W), (L / H), (W / H) and the size of the cirque are used and their morphometric characteristics were investigated. To perform geoalometry and isometry of cirques in the highlands, a power model fitted in the form  $y = ax^b$  on the longitudinal axis of the cirques was used.

## 3-Results and Discussion

In the highlands of Jebal Barez, out of 85 glacial cirques in the region, 11.68% of the total cirques are in the north direction, 42.63% in the east, northeast and southeast directions, 11.47% in the south direction, 46.34% are in the west, northwest and southwest direction.

According to the Wilburg and Rudberg method, 6 cirque equivalent to 7.06% of all cirque in the N2 category, 14 cirques equivalent to 16.47% of the total cirque in the N3 category, 45 cirque equivalent to 52.94% of all cirque are in N4 category and 20 cirques equal to 23.53% of all cirques are in N5 category. According to Evans and Cox classification, there are 6 cirque in the good and developed category, 14 cirque in the definite category, 45 cirque in the weak category and 20 border cirques in the study area. The results of cirque analysis at high mountain heights show that the coefficient of variation on the longitudinal axis of N2 cirques is 17.13 meters and for their transverse axis is 17.07 meters. This coefficient is

15.28 m for the longitudinal axis of cirques of N3 categories and 18.56 m for the transverse axis of these cirques. The coefficient of variation for the longitudinal axis of N5 class cirques is 29.51 meters and for the transverse axis of these cirques is 29.53 meters. The average longitudinal axis of cirques N2 and N3 is 802.5 meters and the average transverse axis of cirques in this category is 689.2 meters. Due to the average longitudinal axis, cirques in this category expand in the longitudinal direction. The average longitudinal axis of cirques N4 and N5 is 524.5 meters and the average transverse axis of cirques is 435.3 meters. In these roughnesses, the size of N4 and N5 cirques vary.

The minimum size of N4 and N5 cirques is 475.3 and the maximum is 1762.5 meters. The coefficient of variation of coefficient  $b$  for the longitudinal axis of cirques N2 and N3 is less than the coefficient of variation of coefficient  $b$  for the longitudinal axis of cirques N4 and N5. The average amplitude of the coefficient  $b$  is 0.193 for the longitudinal axis of N2 and N3 cirques and 0.197 for N4 and N5 cirques. This value is slightly higher for N4 and N5 cirques. The correlation coefficient for the longitudinal and transverse axis of cirques N2 and N3 is equal to 0.93 and this value is equal to 0.96 for the longitudinal and transverse axis of cirques N4 and N5. The coefficient  $b$  for the longitudinal axis of cirques N2 and N3 is equal to 0.891. As a result,  $B < 1$  and allometric behavior are negative for cirques in this category. The coefficient  $b$  for the longitudinal axis of cirques N4 and N5 is equal to 0.869 and  $B < 1$ .

## 4-Conclusion

According to the geological information of Kerman region, due to magmatic activity, roughnesses of Jebal Barez have been internally and externally formed. This issue has had a great impact on the spatial distribution, shape, size and evolution of cirques and has prevented the evolution and development of cirques in the study area. Due to this issue, the changes in the longitudinal and transverse axis of the cirques of both categories are greater than the changes in their depth. Due to the resistance of the roughness materials to water erosion and glacial erosion, the depth of the cirques and the related

changes at these altitudes are low. In general, cirques of both categories take a long time to develop and must be affected by a number of glacial periods. In cirques of both categories it is  $B < 1$ .

For cirques in this category, allometric behavior is also negative. The study of allometric behavior of cirques of different categories in this area indicates the mismatch of allometric behavior (or growth pattern) of cirques in this area with other glacial regions of the world and this does not match with the allometric behavior of snowy mountain cirques such as Alps and Tianshan. The coefficient  $a$  for the transverse axis of the cirques of these heights is greater than the coefficient  $b$ . We conclude that the isometric behavior is available both for cirques in category of N2 and N3 and for cirques in categories N4 and N5.

**Keywords:** Morphometry, Glacier cirques, Jabal Barez altitudes, Allometry, Würm.

## 5-References

- Ahmad Abadi, A., Karam, A., Sarkisian (2018). Identification of Zardkouch glacial cirques with emphasis on geomorphometric characteristics. Hydrogeomorphology, No. 15. 1-16 [In Persian].  
[https://hyd.tabrizu.ac.ir/article\\_7913.html](https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_7913.html)
- Al-Modarressi, S. A; Ramesht, M. H., Thorne, C., Georgian, L., Izadi, Z., (2011). Ergodic Behavior of Geomorphic Landscapes, Ahar Geographical Space Quarterly. Eleventh year. Number 3. Pages 232-258 [In Persian].  
<https://www.magiran.com/paper/882160>
- Barr, I. D., and Spagnolo, M., (2013). Palaeoglacial and palaeoclimatic conditions in the NW Pacific, as revealed by a morphometric analysis of cirques upon the Kamchatka Peninsula. Geomorphology. 192. PP. 15–29.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13001529>
- Beheshti Javid, I., Esfandiari, F (2017). Extraction and identification of glacial landforms using object oriented method (case study of Sabalan glacial cirque). Quantitative geomorphology researches. No. 4. 88-102 [In Persian].  
<http://ensani.ir/fa/article/389645>
- Biranvand, H., Saif, A(2020). Identification, classification and morphometry of glacial cirques in Jopar Kerman heights, quantitative geomorphological researches. Eighth year. No. 4. Pages. 63-80 [In Persian].  
<http://ensani.ir/fa/article/425083>
- Bull, W., (1975). Allometric change of landforms. Geological Society Of America. 2.V,86. No,11.  
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/86/11/1489/201696/Allometric-change-of-landforms?redirectedFrom=PDF>
- Delmas, M., and Gunnell, Y., and Calvet, M., (2015). A Critical Appraisal of Allometric Growth Among Alpine Cirques Based on Multivariate Statistics and Spatial Analysis. Geomorphology. 228. pp. 637-652.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X14005236>
- Dimitrijevic, M. D., (1973). Geology of Kerman region. Report YU/52. Iran. Geological Survey of Iran.P. 334.  
[https://www.scirp.org/\(S\(oyulxb452alnt1aej1nfow45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1523778](https://www.scirp.org/(S(oyulxb452alnt1aej1nfow45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1523778)
- Ebrahimi, B., and Seif, A., (2017). Morphometric Properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain. Iran. Geopersia 7 (1). PP. 131-151.  
[https://geopersia.ut.ac.ir/article\\_59236.html](https://geopersia.ut.ac.ir/article_59236.html)
- Evans I., S., and Cox, N., J., (2015). Size and shape of glacial cirques: comparative data in specific geomorphometry, Geomorphometry.org.  
<http://www.geomorphometry.org/system/files/EvansCox2015geomorphometry.pdf>
- Evans, I. S. and Cox, N.J., (1974). Geomorphometry and the operational definition of cirques. Area 6. 150e153.  
<https://www.jstor.org/stable/20000855?seq=1>
- Evans, I. S., (1997). Process and form in the erosion of glaciated mountains. In: Stoddart. D. R. (Ed.). Process and Form in Geomorphology. Routledge, London.PP. 145 -174  
[https://www.researchgate.net/publication/30050338\\_Glacial\\_erosional\\_processes\\_and\\_forms\\_mountain\\_glaciation\\_and\\_glacier\\_geography](https://www.researchgate.net/publication/30050338_Glacial_erosional_processes_and_forms_mountain_glaciation_and_glacier_geography)
- Evans, I. S., (2006). Allometric development of glacial cirque form: geological. Relief and regional effects on the cirques of Wales. Geomorphology. 80 (3-4): PP. 245-266.  
[https://www.researchgate.net/publication/222409770\\_Allometric\\_development\\_of\\_glacial\\_cirque\\_form\\_Geological\\_relief\\_and\\_regional\\_effects\\_on\\_the\\_cirques\\_of\\_Wales](https://www.researchgate.net/publication/222409770_Allometric_development_of_glacial_cirque_form_Geological_relief_and_regional_effects_on_the_cirques_of_Wales)
- Evans, I. S., (2009). Allometric development of glacial cirques: an application of specific geomorphometry. proceeding of Geomorphology. Zurich. Switzerland. 31 August- 2 September.  
[https://www.researchgate.net/publication/238659643\\_Allometric\\_Development\\_of\\_Glacial\\_Cirques\\_An\\_Application\\_of\\_Specific\\_Geomorphometry](https://www.researchgate.net/publication/238659643_Allometric_Development_of_Glacial_Cirques_An_Application_of_Specific_Geomorphometry)
- Evans, I. S (2011). Geomorphometry and landform mapping: what is a landform?. Geomorphology. (03), PP. 541.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11001462>

- García-Ruiz, J. M., Gómez-Villar, A., Ortigosa, L., Martí-Bono, C., (2000). Morphometry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler*. 82A. 433–442.  
[https://www.researchgate.net/publication/229521561\\_Morphometry\\_of\\_Glacial\\_Cirques\\_in\\_the\\_Central\\_spanish\\_Pyrenees](https://www.researchgate.net/publication/229521561_Morphometry_of_Glacial_Cirques_in_the_Central_spanish_Pyrenees)
- Ghorbani, M., (2014). *Geology of Iran*. Arian Zamin. Pages. 488 [In Persian].  
<http://94.182.185.68/modules.php?name=News&op=nasher&bmax=0&ncode=51960&boname=&page=2>
- Goli Mokhtari, L., Ramesht, M. H., (2013). Almodaresi, A. Analyzing of Surface Relations in an Experimental Drainage Basin, *Journal of Basic and applied. Scientific Research*. 3(4). PP. 120-124, Text Road Publication.  
<http://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20>
- Graf, W. L., (1976). Cirques as glacier location. *Arctic and Alpine Research* 8. PP. 79 e 90.  
<https://www.jstor.org/stable/1550611?seq=1>
- Křížek, M., and Mida, P., (2013). The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). *Geomorphology*. 198. PP. 57–68.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13002870>
- Mokhtari, D., Karami, F., Bayati Khatibi, M., (2007). Different forms of ankle cone around the mountainous mountains of Maysudahagh (Northwest of Iran). with emphasis on the role of quaternary tectonics in their creation. *Quarterly journal of humanities. Specialty Letter of Geography* . Pages. 257-292 [In Persian].  
<https://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-4111-fa.pdf>
- Rasooli, J., Ghorbani, M., (2011). Geochemistry and Mineralogy of Delayed Crohn Intrusive Massif (East of Barez Barez), Geological Survey of Iran, Proceedings of the 30th Conference on Earth Sciences, March 1st to 3rd. Pages. 1 to 7 [In Persian].  
<https://civilica.com/doc/182542>
- Sadeghi, H., Noor Mohammadi, F., Sufi, M., Yathribi, B., (2009). Allometric models of gorges in Darrehshahr region of Ilam province, watershed management research (research and construction). No. 85. Pages. 38-44 [In Persian].  
<https://www.magiran.com/paper/889937>
- Saif, A., (2015). Plitoscene glacier cirques in the Green Zagros heights. 2nd National Conference of Quaternary Association of Iran. University of Isfahan [In Persian].  
<https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=25865>
- Seif, A. & Ebrahimi, B., (2014). Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques. *Zardkuh Mountain. Iran. Quaternary International*. 353, PP. 236 e249.  
[https://www.researchgate.net/publication/269578330\\_Combined\\_use\\_of\\_GIS\\_and\\_experimental\\_functions\\_for\\_the\\_morphometric\\_study\\_of\\_glacial\\_cirques\\_Zardkuh\\_Mountain\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/269578330_Combined_use_of_GIS_and_experimental_functions_for_the_morphometric_study_of_glacial_cirques_Zardkuh_Mountain_Iran)
- Stocklin, J., (1968). Structural history and tectonics of Iran, A review . *AAPG Bulletin* 52.7. PP.1229-1258.  
[https://books.google.com/books/about/Structural\\_History\\_and\\_Tectonics\\_of\\_Iran.html?id=PxkFGwAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Structural_History_and_Tectonics_of_Iran.html?id=PxkFGwAACAAJ)
- Turner, A., (2006). *Geomorphometrics: ideas for generation and use*. CCG Working paper. version 0.3.1 [online] centre for computational geography. university of leeds. UK; accessed 7 May 2007.  
<https://environment.leeds.ac.uk/geography-research/direct-record/research-projects/513/centre-for-computational-geography>
- Vilborg, L., (1984). The cirque forms of Central Sweden. *Geo- grafiska Annaler*. 66 A (1-2): PP. 41-77.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1984.11880099>
- Vilborg, L., (1977). The Cirque Forms of Swedish Lapland. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*. Vol. 59. NO. 3/4. pp. 89-150.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1977.11879948>
- Vivas T, P., (ed). (1996). *Monitoring Mediterranean Wetlands: A Methodological Guide*. Med Wet Publication. Wetlands International. Slimbridge. Uk and Icn. Lisbon. PP. 150.  
<https://www.amazon.co.uk/Monitoring-Mediterranean-Wetlands-Methodological-Guide/dp/1900442043>
- Yamani, M., Moghimi, I., Azizi, Q., Happily, K., (2013). Determining the Morpho-Climatic Territories of the Holocene in the Western Highlands of Kurdistan Province. *Natural Geographical Research*. Year 45. Number 4. Pages. 1-14 [In Persian].  
[https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_50068.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_50068.html)

## تحلیل پارامترهای مورفومتری آثار سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز در وورم

حجت‌اله بیرانوند<sup>۱</sup>، دکتر عبدالله سیف<sup>۲\*</sup>

### چکیده

یکی از اشکال کاوشی مهم یخچال‌های کوهستانی، سیرک‌های یخچالی هستند. درجه تکوین این اشکال عامل مهمی در تعیین بازسازی اقلیم گذشته است. شناسایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریک و آلومتریک سیرک‌ها باعث تفکیک و تمیز آن‌ها از دیگر عوارض شبه سیرک و شناخت درجه تکامل آنها خواهد شد. هدف اصلی این پژوهش؛ شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل پارامترهای مورفومتریک آثار سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز در استان کرمان بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید ابداعی است. پس از شناسایی ۱۶ زیر حوضه یخچالی، تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی در منطقه شناسایی و بر روی نقشه شیب کلاس‌بندی شده با دو فرمت خطی و پلیگونی ترسیم شدند. با برآزش مدل‌های توانی بر پروفیل طولی آثار سیرک‌ها به استخراج ضرایب و پارامترهای آماری سیرک‌های منطقه مبادرت شد. عملیات رده‌بندی سیرک‌ها بر مبنای روش‌های ویلیورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس انجام پذیرفت. برای مورفومتری این سیرک‌ها از پارامترهایی چون  $(L)$ ،  $(W)$ ،  $(H)$ ،  $(L/W)$ ،  $(L/H)$ ،  $(W/H)$  و اندازه سیرک استفاده شده و خصیصه‌های مورفومتریک آن‌ها بررسی شده است. بر اساس نتایج تحقیق در این ارتفاعات، ۶ سیرک N2، ۱۴ سیرک در رده N3 و ۶۵ سیرک در رده N4 و N5، موسوم به گروه شبه سیرک وجود دارد. ضریب  $b$  برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۹۱ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۸۶۹ است. در سیرک‌های هر دو رده  $B < 1$  است در نتیجه رفتار ژئوآلومتری برای سیرک‌های این ارتفاعات منفی است. تداوم کم یخچال‌های کواترنری و عملکرد ضعیف آنها باعث عدم توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این محدوده شده است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۰، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۸

صفحات: ۲۱۹-۲۳۸



واژه‌های کلیدی:

مورفومتری، سیرک‌های یخچالی، ارتفاعات جبال بارز، آلومتری، وورم.

### مقدمه

در تحولات و تکامل ناهمواری‌ها، یخچال‌ها و حاکمیت دوره‌های آن‌گلیشیاال و کاتانگلیشیاال، نقش مهمی در پردازش و تکامل آنها داشته‌اند. سپس در طول دوره‌های آن‌گلیشیاال، انباشت مقادیر فراوان برف و یخ روی دامنه‌ها و ذوب این توده‌های یخی نقش قابل توجهی در پرداخت دامنه‌ها داشته است. این تأثیر نه تنها در ایجاد اشکال یخچالی بلکه در یک سری از وقایع بعدی هم، خود را نمایان می‌کند (بیمانی و

همکاران، ۱۳۹۲: ۳). سیرک‌ها شکل‌های اصلی یخچالی هستند و شکل آن مهمترین عامل در تعیین شرایط یخچالی به‌شمار می‌رود (Graf, 1976: 88). یک سیرک زمانی سیرک یخچالی نامیده می‌شود که آثار فرسایش یخچالی در کف آن ملاحظه گردیده و مرز حوضه آبریز سیرک بر ستیغ بالای سیرک منطبق باشد. کف سیرک محدوده‌ای کم‌شیب بین دیواره بالادست و ناحیه انباشت یخرفت‌ها است. دیواره بالادست محدوده‌ای است که در بالا به مرز بین ناحیه پرشیب دیواره و

رشد نسبی دو متغیر تأثیر گذار بر یکدیگر در یک سیستم آلومتری نامیده می‌شود (Bull, 1975:213). تجزیه و تحلیل آلومتری ممکن است بر اساس تغییرات نسبی متغیرها در مدت زمان تکامل تدریجی یک سیستم و یا بر اساس اندازه‌گیری‌های متغیرهای یکسان در سیستم‌ها و مراحل مختلف از رشد آنها، استوار باشد. در واقع روابط آلومتری را می‌توان بین تک تک متغیرها با یکدیگر و نیز با سایر مجموعه متغیرها به کار برد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۸). بنابراین روابط آلومتری امکان پایش تغییرات (لندفرم‌ها) را در طول زمان برای ژئومورفولوژیست‌ها فراهم کرده است. بدین معنی که پایش نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود تغییرات در طول زمان در یک مکان می‌باشد. در واقع پایش مبتنی بر نتایجی است که از بررسی‌ها، مشاهدات و اندازه‌گیری‌هایی که در طول زمان به دست می‌آید و بر روی موضوعات و اهداف خاصی توجه و دقت بیشتری دارد (Vives, 1996: 28). به‌طور کلی تحلیل آلومتریک، رشد نسبی دو متغیر تأثیرگذار بر یکدیگر است که معمولاً به صورت تابع توانی  $Y = ax^b$  بیان می‌شود (المدرسی، ۱۳۹۰: ۲۵۱). آلومتری ابتدا توسط اولیفانت و سپس ایوانس در بررسی خصوصیات مورفومتریکی سیرک‌ها به کار گرفته شد (Evans, 2006: 261). اگر  $B=1$  باشد نسبت ثابت است و هیچ تغییری در مقادیر نسبی اتفاق نمی‌افتد در این حالت گفته می‌شود رابطه از نوع غیر آلومتریک یا ایزومتریک است. اگر  $B < 1$  باشد مقدار  $x$  نسبت به  $y$  فزونی یافته، آلومتری منفی را بر روی  $y$  خواهیم داشت. اگر  $B > 1$  باشد مقدار  $y$  نسبت به  $x$  افزایش یافته بر روی  $y$  آلومتری مثبت روی می‌دهد (مختاری و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۸۱). آلومتری نقش فرسایش یخچالی را در توسعه سیرک نشان می‌دهد. به عبارت دیگر آنالیز آلومتری تأیید کرده است که سرعت توسعه طولی بیشتر سیرک بیانگر

محدوده کم‌شیب بالایی و در پایین به خط بین ناحیه پرشیب دیواره و کم‌شیب کف (خط شرودلاین) محصور است (Vilborg, 1977:90). در عمل، شیب سیرک جهت شناسایی دیواره بالادست و کف استفاده می‌شود. کف سیرک بطور متوسط شیبی کمتر از ۲۰ درجه داشته و دیواره بالا دست بیش از ۳۳ درجه شیب دارد (Evans, 2006:10; Evans & Cox, 1974: 151). سیرک‌های یخچالی به عنوان یکی از لندفرم‌های تیپک قلمروهای یخچالی محسوب می‌شوند و شاخص مهمی در ردیابی اقلیم دیرینه محسوب می‌شوند. شناسایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریکی و آلومتریک سیرک‌ها باعث تفکیک و تمیز آنها از دیگر عوارض شبه سیرک خواهد شد (سیف، ۱۳۹۴: ۱). برای شناسایی دقیق سیرک‌های یخچالی بررسی دقیق اندازه و شکل این اشکال، استفاده از مدل‌سازی و روابط ریاضی و عدی (مورفومتری) برای ژئومورفولوژیست‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. مورفومتری<sup>۱</sup> شامل آنالیزهای کمی اشکال ژئومورفیک به منظور کمی‌سازی خصوصیات توپوگرافی و هندسی اشکال است (Turner, 2006:1 به نقل از سیف، ۱۳۹۴: ۲).

ژئومورفومتری، روش ارزیابی و تحلیل مشخصات سطحی یک یا چند فرآیند خاص است که طبق معیارهای مشخصی، بخش‌هایی از سطح زمین را تشخیص داده و تحلیل و توصیف می‌کند (Evans & Cox, 1974: 151). بررسی‌های مورفومتریکی و آلومتریک سیرک‌های یخچالی امکان بررسی توسعه عمودی و منطقه‌ای، درجه تکامل، جهت توسعه، ارتباط میان جهت‌گیری این لندفرم‌ها را با برجستگی توپوگرافیک، وضعیت ساختاری سنگ بستر و عوامل اقلیمی را فراهم می‌سازد (García-Ruiz et al, 2000: 435). تحلیل آلومتریکی مطالعه روابط متقابل دینامیکی در طی سرگذشت ژئومورفولوژیکی، یا روابط متقابل استاتیک در یک زمان معین را شامل می‌شود. به طور کلی

و آلومتریکی سیرک‌های یخچالی زردکوه بختیاری پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که در ارتفاعات زردکوه ۱۹ سیرک تحت‌عنوان سیرک قطعی وجود دارد. ایوانس و کوکس (۲۰۱۵) به مورفومتری سیرک‌های یخچالی در مناطق کوهستانی اروپا پرداختند. دلماس<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی رشد آلومتری سیرک‌های آلپ بر اساس روش‌های آماری، شکل سیرک را ناشی از متغیرهایی مانند نوع سنگ و تغییرات آب و هوایی منطقه می‌دانند. ابراهیمی و سیف (۲۰۱۷) به آنالیز پارامترهای مورفومتریکی و آلومتریکی سیرک‌های یخچالی در سراسر زاگرس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رفتار آلومتری ضریب طولی ۵۱ سیرک شبیه کوه‌های آلپ می‌باشد و ۱۳۶ سیرک دیگر شکلی متفاوت با سیرک‌های آلپ دارند. یاراحمدی (۱۳۹۱) سیرک‌های یخچالی را در اشترانکوه (۲۴ سیرک در دامنه شمالی و ۱۸ مورد در دامنه جنوبی) شناسایی و با آنالیز مورفومتریکی آن‌ها، نشان داد که تکامل سیرک‌ها تحت تأثیر شیب و جهت ناهمواری‌ها است.

سیف (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس به رده‌بندی سیرک‌ها بر مبنای روش‌های ویلیورگ، گراف، ایوانس پرداخت و سپس با روش مورفومتریکی به تفسیر سیرک‌های مذکور پرداخت. بررسی‌های آلومتریکی سیرک‌ها بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریکی سیرک‌های گرین با سیرک‌های سایر نقاط دنیاست. بهشتی جاوید و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به استخراج و شناسایی سیرک‌های یخچالی سبلان با استفاده از روش شی‌گرا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این روش تا حدود زیادی برای برآورد اهداف پژوهش مورد نظر مناسب است. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تأکید بر ویژگی‌های

تخریب سریعتر دیواره بالایی یک سیرک در طول دوره رشد است (Evans, 2009: 251). ایوانس در توسعه آلومتریکی سیرک‌های یخچالی به این نتیجه رسیده است که سیرک‌های یخچالی بزرگتر شیب متفاوتی از سیرک‌های یخچالی کوچک دارند و اینکه ابعاد عمودیشان به آهستگی نسبت به ابعاد افقی رشد کرده‌اند (Goli Mokhtari et al, 2013: 120).

در کشور ایران و سایر نقاط جهان مطالعاتی در زمینه مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی انجام گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

ایوانس<sup>۱</sup> (۱۹۹۷، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱) به بررسی فرآیندها و فرم‌های فرسایشی یخچالی نواحی کوهستانی پرداخته و خصوصیات آلومتریکی و مورفومتریکی این فرم‌ها را در ارتباط با عوامل محیطی چون زمین‌شناسی، برجستگی توپوگرافیک در ناحیه ولز انگلستان می‌داند. کاریزیک<sup>۲</sup> و میدیا<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) در پژوهشی به بررسی تأثیر ارتفاع در اندازه، شکل و توزیع مکانی سیرک‌های یخچالی در اسلوواکی و لهستان پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که سیرک‌های نسبتاً متکاملی در دامنه‌های شمالی کوهستان‌های این کشورها قرار دارند که فرسایش یخچالی باعث توسعه و تکامل این سیرک‌ها نسبت به دامنه‌های جنوبی شده است. بار و اسپاگنولو (۲۰۱۳) در بررسی شرایط یخچال‌ها و اقلیم گذشته شمال غربی اقیانوس اطلس به آنالیز و تحلیل شاخص‌های مورفومتری سیرک‌های یخچالی در شبه‌جزیره کاماچتکا<sup>۴</sup> در پنسلوانیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین گسترش یخبندان در شبه‌جزیره کاماچتکا در اواخر کواترنر بوده است. سیف و ابراهیمی<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) برای اولین بار در ایران بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید به شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتریکی

1-Evans  
2-Křížek  
3-Mida  
4-Kamchatka  
5-Seif and Ebrahimi

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ارتفاعات جبال بارز به طول ۱۷۶ کیلومتر بین ۲۸ درجه و ده دقیقه تا ۲۹ درجه و ده دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی در جنوب شرقی استان کرمان قرار گرفته است. بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری (Stöcklin, 1968: 1229).

از فلات ایران منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی کمر بند ماگمایی ارومیه دختر قرار دارد. مجموعه گرانیتهایی جبال بارز، از لحاظ مورفولوژی به شکل کوه‌های مرتفعی است با روند شمال غرب جنوب شرق و توسط دره‌ها و آبراهه‌های عمیق بریده شده است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). در این ارتفاعات کوه‌های بلندی مانند؛ کوه بانهریزان با ارتفاع ۳۰۶۵ متر، کوه کیوک ۳۵۰۳ متر، کوه علم‌شاه ۳۷۴۱ متر، کوه سنگراه ۳۰۱۸ متر، کوه کوهار ۲۶۷۳ متر، کوه شکرک ۳۱۷۵ متر، کوه شاه‌جبال ۳۵۱۰ متر، کوه کورشت ۳۴۳۹ متر، کوه تپه جنگل ۳۰۵۵ متر وجود دارد (شکل ۲). در شمال این ارتفاعات شهرهای بم و بروت، در غرب، شهر جیرفت در جنوب غربی شهر عنبرآباد و در شمال‌غربی این ارتفاعات شهر فهرج قرار دارد (شکل ۱). در منطقه جبال بارز فعالیت ماگمایی به صورت درونی و بیرونی نمود یافته‌اند. به طور کلی فعالیت‌های آذرین منطقه جبال بارز، در چهار مرحله رخ داده است. اولین مرحله فعالیت ماگمایی مربوط به ژوراسیک است که پیامد آن تشکیل سنگ‌های گرانیتهایی است (Dimitrijevic, 1973: 132).

دومین مرحله مربوط به سنگ‌های ماگمایی اتوسن است که از دید گسترش و فعالیت در منطقه مورد مطالعه اهمیت چشمگیری دارد. این مرحله به طور چیره دارای فعالیت بیرونی بوده و سنگ‌های آن بیشتر شامل آندزیت و آندزی بازالت، ریوداسیت، ریولیت پورفیری و پیروکلاستیک‌های وابسته است.

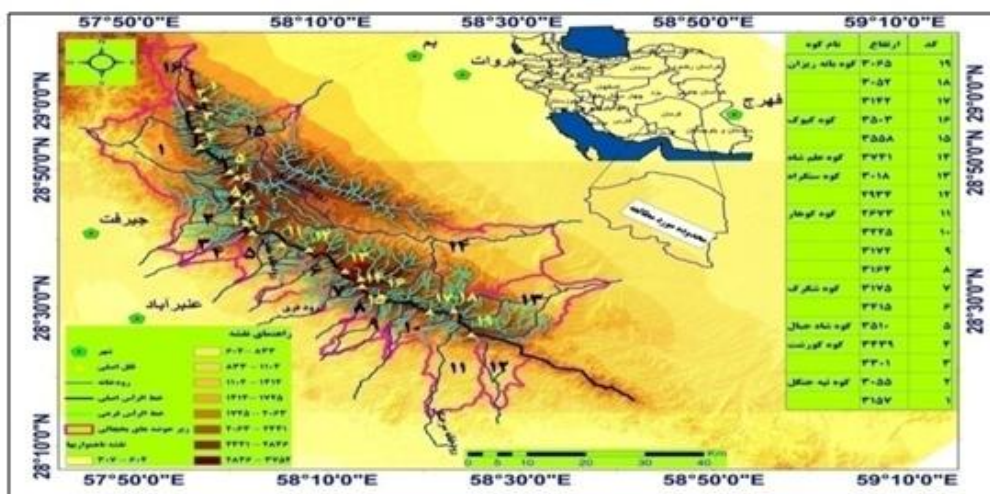
ژئومورفومتری با استفاده از مدل طبقه‌بندی نظارت شده<sup>۱</sup> (MLC) به بررسی شاخص‌های ژئومورفومتریک سیرک‌ها شامل؛ مشتقات درجه دوم انحنای پلان، پروفیل طولی، حداقل و حداکثر انحنای طولی و مقطعی و شاخص شیب به‌عنوان مشتق درجه اول پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از ۲۶ چاله سیرک مانند مشخص شده تنها ۱۴ مورد توسط مدل طبقه‌بندی نظارت شده سیرک تشخیص داده شد.

بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید مورفومتریک به شناسایی، طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در این ارتفاعات شکل‌گیری و توزیع سیرک‌ها تا حدودی به نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس آنها بستگی داشته است. یخچال‌زایی در این ناهمواری‌ها به صورت دره‌ای عمل نموده و به دلیل فعال بودن تکتونیک، سیرک‌ها از توسعه و تکامل کمتری برخوردارند.

بررسی‌های مورفومتریک سیرک‌های یخچالی یک تکنیک جدید در جهت بررسی کمی سیرک‌ها در ارتباط با عوامل مختلف محیطی است. هدف از این پژوهش آنالیز دقیق پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های یخچالی وورم ارتفاعات جبال بارز شامل؛ طول سیرک (L)، عرض سیرک (W)، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک (H)، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع نقطه خروجی سیرک و اندازه سیرک است. همچنین پارامترهای نسبت طول به عرض (L/W)، نسبت طول به ارتفاع (L/H) و نسبت عرض به ارتفاع کف سیرک (W/H) در واحد مورد مطالعه است. در این واحد ضمن رده‌بندی سیرک‌ها از نظر درجه تکامل، تأثیر عوامل مختلف (عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافیک و اقلیمی) در توسعه آنها بررسی خواهد شد.

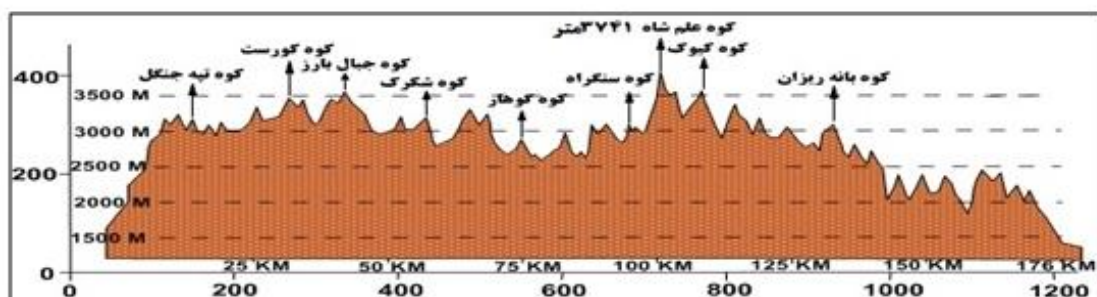
طور چیره گرانودیوریتی تا گرانیتهی هستند. این دسته از توده‌های پورفیری، فاز دوم ماگمایی منطقه در طول الیگومیوسن هستند. دوباره پس از مدت‌زمانی کوتاه، آخرین فاز ماگمایی الیگومیوسن (فاز سوم) رخ داده است. توده‌های نفوذی فاز سوم الیگومیوسن که دارای ترکیب آلكالی گرانیتهی بوده، به درون توده‌های نفوذی پیشین تزریق شده‌اند. چهارمین مرحله از فعالیت ماگمایی منطقه مورد بحث، مربوط به بازالت‌های کوآترنی است. البته این سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه بسیار کم هستند (قربانی، ۱۳۹۳: ۱۷۶).

سومین فعالیت ماگمایی منطقه در الیگومیوسن رخ داده است. این فعالیت ماگمایی به طور گسترده سبب تشکیل سنگ‌های نفوذی شد است. خود مرحله سوم یعنی فعالیت‌های ماگمایی نفوذی زمان الیگومیوسن، طی سه فاز رخ داده است. فاز اول شامل بدنه اصلی جبال بارز و بیشتر دارای ترکیب سنگ‌نگاری کوآتردیوریت تا گرانودیوریت است. پس از یک فاصله زمانی کوتاه و تفریق ماگمای درون آشیانه ماگمایی، توده‌های پورفیری به درون این مجموعه پلوتونیک اصلی نفوذ کرده‌اند. ترکیب سنگ نگاری این توده‌ها به



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۲: پروفیل طولی محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

## مواد و روش ها

شناسایی، طبقه‌بندی و آنالیز پارامترهای مورفومتریک و ژئوآلومتری آثار سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز که در ارتفاع بالای سه هزار متر قرار داشتند بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و بر مبنای روش سیف (۲۰۱۴) که یکی از پیشگامان به کارگیری روش‌های جدید در مطالعات یخچال‌شناسی ایران است و در قالب رسالات و مقالات ارزشمند در سال‌های اخیر تحول شگرفی در یخچال‌شناسی کوآترنری ایران ایجاد نموده است انجام گرفت. ابتدا در محیط نرم‌افزاری محدوده مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر برش داده شد. سپس نقشه (سایه روشن<sup>۱</sup>)، نقشه شیب، نقشه جهت شیب و منحنی‌های میزان ساخته شدند. برای تعیین حدود دقیق زیر حوضه‌های یخچالی نقشه هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی استالر از نقشه DEM ساخته شد. نقشه ترکیبی تولید شده با نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت منطبق شد. سپس خط الرأس‌های اصلی، فرعی و خط القعرهای منطقه به دقت ترسیم شدند، همچنین ستیغ‌های اصلی و فرعی در روی نقشه ترکیبی با توجه به منحنی‌های میزان مشخص شدند. نقشه شیب منطقه در ۹ کلاس طبقه‌بندی و محل دقیق آثار سیرک‌های یخچالی بر روی آن تعیین گردید. برای دقت بیشتر و بالا بردن صحت کار پروفیل طولی و عرضی سیرک‌ها ترسیم و لندفرم‌هایی که سیرک واقعی بودند تشخیص داده شد. همچنین سیرک‌ها در دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترسیم شدند.

برای آنالیز و مورفومتری آثار سیرک‌ها از پارامترهای مورفومتریک شامل: طول سیرک (L)، عرض سیرک (W)، ارتفاع بلندترین نقطه سیرک (H)، ارتفاع کف سیرک، ارتفاع نقطه خروجی سیرک، مساحت، محیط و اندازه سیرک استفاده شده است. این پارامترها از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استخراج شدند. همچنین پارامترهایی مانند نسبت طول به عرض (L/W)، نسبت طول به ارتفاع (L/H) و نسبت عرض به ارتفاع کف سیرک (W/H) اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۳). بعد از مورفومتری با استفاده از روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس به طبقه‌بندی و رده‌بندی آثار سیرک‌های یخچالی پرداخته شده است. در روش ویلبورگ و رودبرگ، سیرک‌ها به پنج رده N-1، N-2، N-3، N-4، N-5 رده‌بندی گردید (جدول ۱). در این رده‌بندی گروه N-1: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه یافته‌اند. گروه N-2: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه یافته‌اند اما توسعه آنها کمتر از گروه N1 است. گروه N-3: سیرک‌های این گروه بخوبی توسعه نیافته‌اند اما آثار کندو کاو یخچالی در آنها دیده می‌شود. گروه N-4: اشکالی با ظاهر سیرک‌های تخریب شده که منشاء آنها با سوال و تردید همراه است. گروه N-5: شیب کف این گروه از سیرک‌ها تند با اندکی تقعر است. بر اساس رده‌بندی ایوانس و کوکس سیرک‌ها به پنج گروه، کلاسیک، خوب و توسعه‌یافته، قطعی، ضعیف و مرزی تقسیم شده‌اند

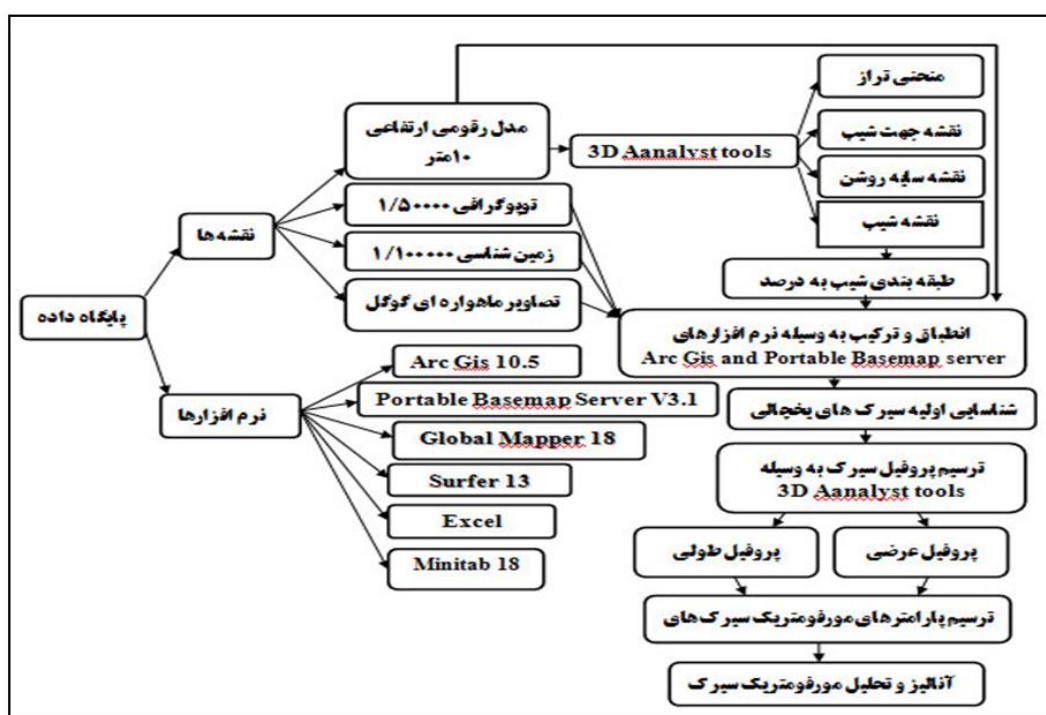
(Seif & Ebrahimi, 2014: 238).

برای انجام ژئوآلومتری و ایزومتری سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز از مدل توانی برازش شده به فرم  $(y = ax^b)$  بر روی محور طولی سیرک‌ها استفاده شده است (شکل ۳).

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مختلف شکلی سیرک های کلاس N1 تا N5

نوع سیرک					پارامتر	
N5	N4	N3	N2	N1		
۳۲۵±۱۷۵	۸۰۰±۳۵۰	۷۲۵±۳۲۷	۱۱۵۰±۵۵۰	۱۳۰۰±۵۰۰	میانگین	طول
۱۵۰-۵۰۰	۴۵۰-۱۱۵۰	۳۵۰-۱۱۰۰	۶۰۰-۱۷۰۰	۸۰۰-۱۸۰۰	دامنه تغییرات	
۱۲۲۵±۶۲۵	۱۰۵۰±۳۵۰	۸۵۰±۳۵۰	۱۰۷۵±۴۲۵	۱۳۵۰±۳۵۰	میانگین	عرض
۶۰۰-۱۸۵۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۰۰-۱۲۰۰	۶۵۰-۱۵۰۰	۱۰۰۰-۱۷۰۰	دامنه تغییرات	
۲۵۰±۱۵۰	۱۶۰±۸۰	۱۷۰±۷۰	۲۸۰±۱۰۰	۳۳۵±۱۱۵	میانگین	دامنه
۱۰۰-۴۰۰	۸۰-۲۴۰	۱۰۰-۲۴۰	۱۸۰-۳۸۰	۲۲۰-۴۵۰	دامنه تغییرات	

مأخذ: Vilborg, 1977; Vilborg, 1984



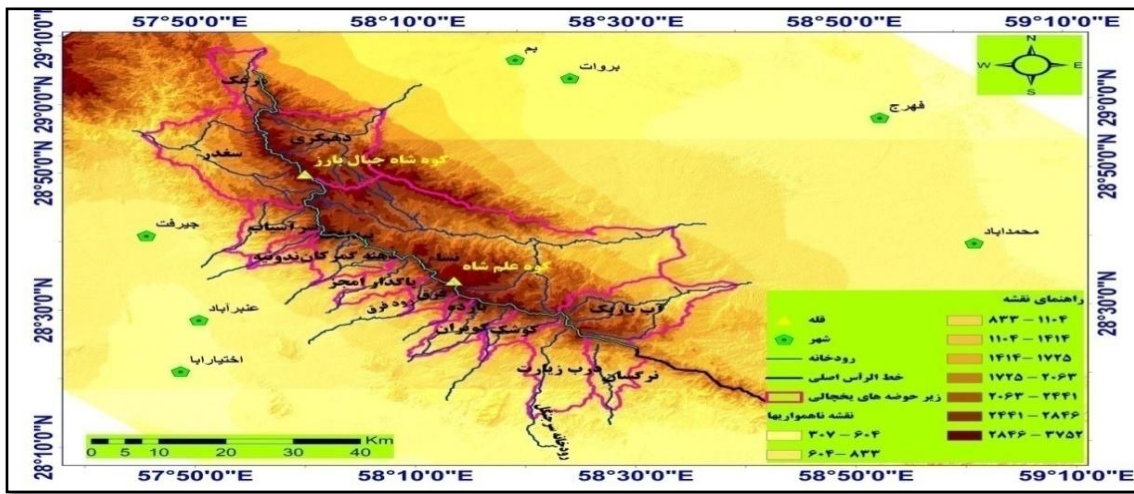
شکل ۳: نمودار تحلیلی تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

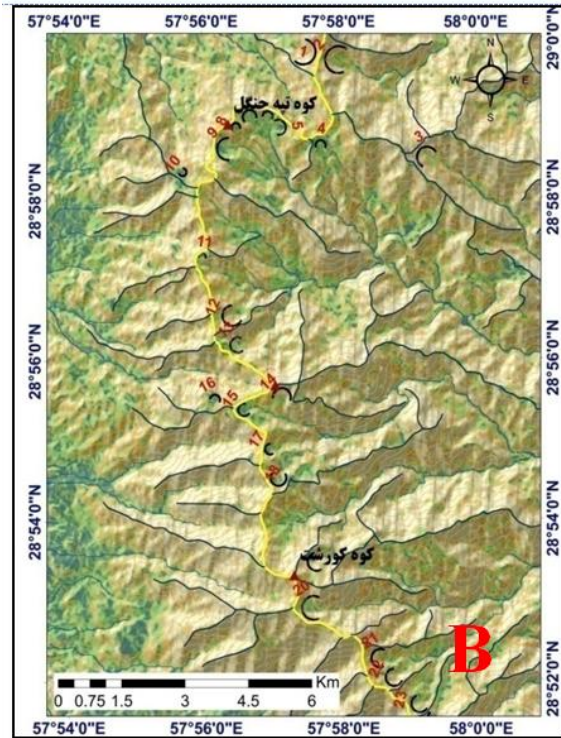
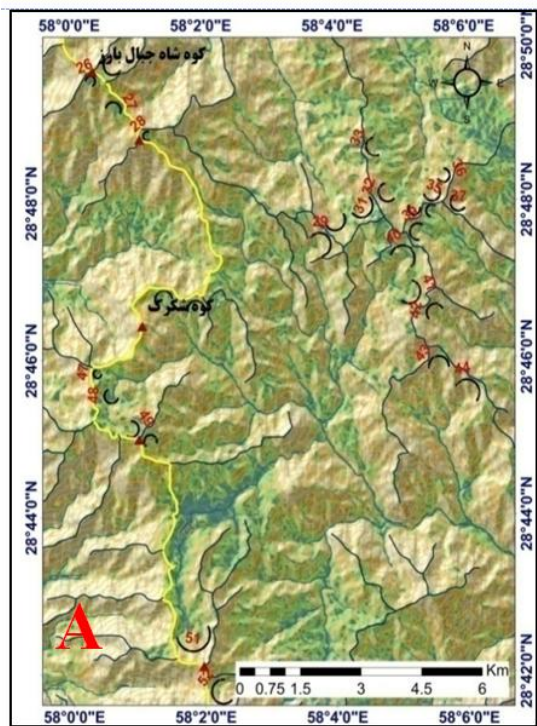
## یافته‌های تحقیق

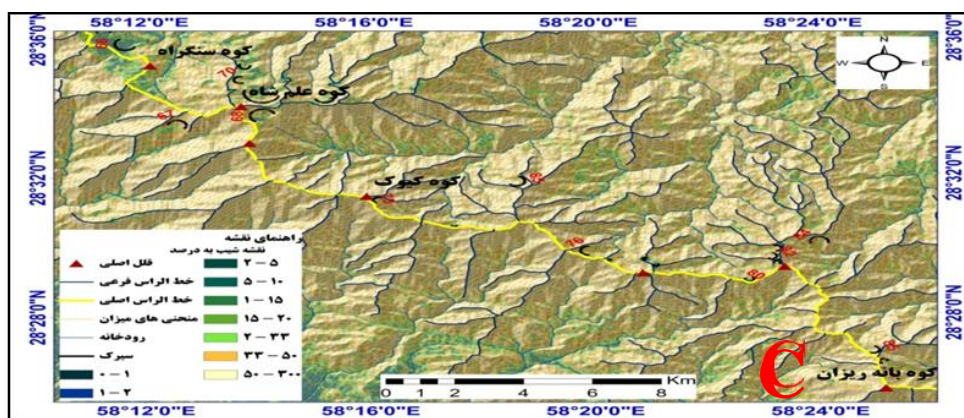
در ارتفاعات بالای سه هزار متر در زیرحوضه‌های یخچالی تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی موجود در منطقه شناسایی و به دو فرمت خطی و پلیگونی در روی نقشه ترسیم گردید (شکل ۵).

با توجه به مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، وضعیت توپوگرافی، خط‌الراس‌های اصلی و فرعی و همچنین رفتار آبراهه‌ها، منطقه مورد مطالعه به ۱۶ زیرحوضه یخچالی تقسیم شده است (شکل ۴). سپس



شکل ۴: نقشه زیر حوضه های یخچالی ارتفاعات جبال بارز  
تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸





شکل ۵: تصاویر A, B, C نقشه سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز با کدبندی آنها پیاده شده بر روی نقشه شیب و سایه روشن منطقه (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸)

شرقی، ۱۱/۴۷ درصد در جهت جنوب، ۳۴/۴۶ درصد در غرب، شمال غرب و جهت جنوب غربی قرار دارند. در نتیجه توزیع فضایی آثار سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی کمی بیشتر از دامنه‌های غربی، شمال غربی و جهت جنوب غربی است. با توجه به ازدیاد و توزیع فضایی سیرک‌های یخچالی در دامنه‌های شرقی و غربی در این ناهمواری‌ها، دامنه‌های رو به آفتاب و پشت به آفتاب در این ارتفاعات تأثیر چندانی در شکل‌گیری سیرک‌های منطقه نداشته است. جنس ناهمواری‌های منطقه بر روی نحوه شکل‌گیری و توزیع فضایی آثار سیرک‌ها تأثیر مستقیم داشته است. در طی زمان برف‌گیری و یخچال‌زایی باعث توسعه و تکامل سیرک‌ها در دامنه‌های این ارتفاعات شده است (جدول ۲).

## توزیع فضایی و فراوانی آثار سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز

جهت چین‌خوردگی ارتفاعات جبال بارز شمال غربی - جنوب شرقی است. شکل‌گیری و توزیع فضایی و آثار سیرک‌های منطقه تا حدود زیاد به نحوه تشکیل چین‌خوردگی‌ها و جنس ناهمواری‌های منطقه بستگی دارد. دامنه‌های شرقی این ارتفاعات (از شمال شرق تا جنوب شرق) از سنگ‌های آتشفشانی مانند؛ آندزیت و آندزی‌بازالت، ریوداسیت، ریولیتپورفیری و پیروکلاستیک‌های تشکیل شده است. دامنه‌های غربی این ارتفاعات (از شمال غرب تا جنوب غرب) از کوارتز دیوریت و گرانودیوریت تشکیل شده است. در این ارتفاعات از تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی موجود در منطقه، ۱۱/۶۸ درصد از کل سیرک‌ها در جهت شمال، ۴۲/۶۳ درصد در جهت شرق، شمال شرق و جنوب

جدول ۲: درصد فراوانی سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جبال بارز

جهت سیرک	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غرب	شمال
درصد فراوانی سیرک‌ها	۶/۳۶	۱۴/۸۸	۱۵/۱۷	۱۲/۳۱	۱۱/۴۷	۱۲/۰۴	۱۱/۷۰	۱۰/۷۲	۵/۳۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

درصد از کل سیرک‌ها در رده N5 قرار دارند. طبق رده‌بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۶ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ۱۴ سیرک در رده قطعی، تعداد ۴۵ سیرک در رده ضعیف و تعداد ۲۰ سیرک در رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۳). در این ارتفاعات تعداد سیرک‌های ضعیف و مرزی موسوم به شبه سیرک از سیرک‌های خوب و توسعه یافته بیشتر است. سیرک‌های موجود در منطقه در مرحله تشکیل ناهمواری‌ها با توجه به نوع چین خوردگی ارتفاعات به وجود آمده‌اند و بعداً فرسایش یخچالی تغییراتی در شکل و اندازه آن‌ها به وجود آورده است.

رده‌بندی آثار سیرک‌های یخچالی محدوده مورد مطالعه پس از شناسایی دقیق و تحلیل شاخص‌ها و پارامترهای مورفومتری آثار سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات جبال بارز، برای اطلاع از میزان توسعه یافتگی آنها عملیات رده‌بندی و طبقه‌بندی بر روی این سیرک‌ها بر اساس آنچه که در مواد و روش‌های پژوهش توضیح داده شد انجام گرفت. بر اساس روش ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۶ سیرک معادل با ۷/۰۶ درصد از کل سیرک‌ها در رده N2، تعداد ۱۴ سیرک معادل با ۱۶/۴۷ درصد از کل سیرک‌ها در رده N3، تعداد ۴۵ سیرک معادل با ۵۲/۹۴ درصد از کل سیرک‌ها در رده N4 و تعداد ۲۰ سیرک معادل ۲۳/۵۳

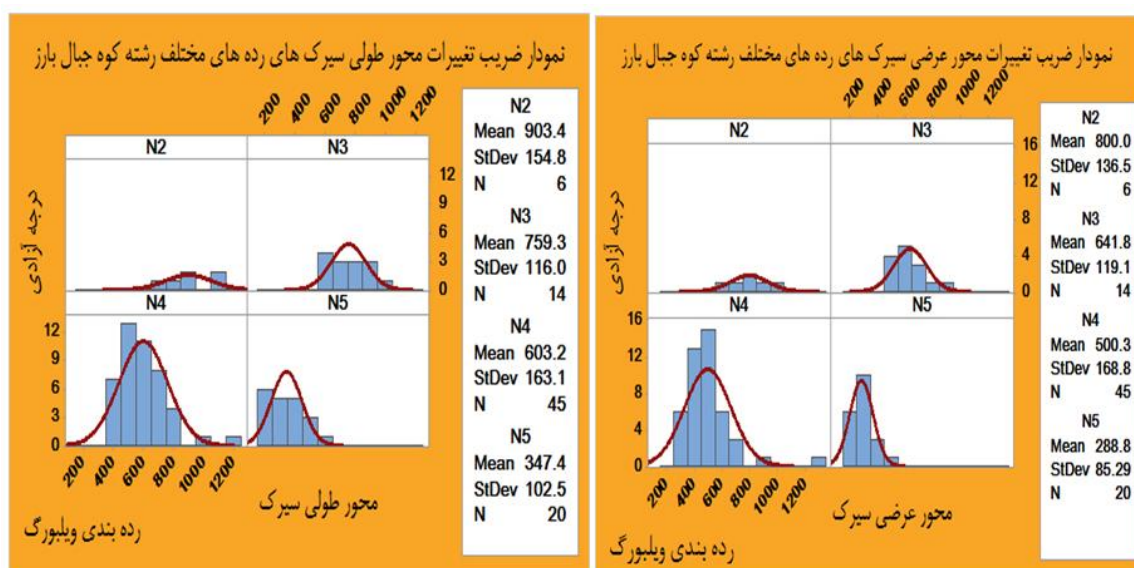
جدول ۳: رده‌بندی سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز به روش ویلبورگ و رودبرگ، ایوانس و کوکس

روش رده‌بندی سیرک	تعداد	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	درصد	بیشترین	کمترین	دامنه تغییرات محور طولی و عرضی
Evans And Cox	محور طولی سیرک (متر)							
ویلبورگ و رودبرگ	۶	۱۷/۱۳	۱۵۴/۸	۹۰۳/۴	۷/۰۶	۱۱۰۵	۷۳۴/۹	۳۷۰/۱
N2	۶	۱۷/۱۳	۱۵۴/۸	۹۰۳/۴	۷/۰۶	۱۱۰۵	۷۳۴/۹	۳۷۰/۱
N3	۱۴	۱۵/۲۸	۱۱۶/۰	۷۵۹/۳	۱۶/۴۷	۱۰۱۳/۴	۶۲۰/۳	۳۹۳/۲
N4	۴۵	۲۷/۰۵	۱۶۳/۱	۶۰۳/۲	۵۲/۹۴	۱۲۲۶/۹	۳۷۲/۲	۸۵۴/۷
N5	۲۰	۲۹/۵۱	۱۰۲/۵	۳۴۷/۴	۲۳/۵۳	۵۸۵/۲	۱۹۸/۱	۳۸۷/۲
محور عرضی سیرک (متر)								
ویلبورگ و رودبرگ	۶	۱۷/۰۷	۱۳۶/۵	۸۰۰/۰	۷/۰۶	۹۸۷/۲	۶۴۵/۵	۳۴۱/۷
N2	۶	۱۷/۰۷	۱۳۶/۵	۸۰۰/۰	۷/۰۶	۹۸۷/۲	۶۴۵/۵	۳۴۱/۷
N3	۱۴	۱۸/۵۶	۱۱۹/۱	۶۴۱/۸	۱۶/۴۷	۹۳۲/۳	۵۲۲/۶	۴۰۹/۷
N4	۴۵	۳۳/۷۳	۱۶۸/۸	۵۰۰/۳	۵۲/۹۴	۱۲۸۰/۴	۲۶۴	۱۰۱۶/۴
N5	۲۰	۲۹/۵۳	۵۵/۳	۲۸۸/۸	۲۳/۵۳	۴۸۶/۶	۲۰۲/۴	۳۲۵/۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

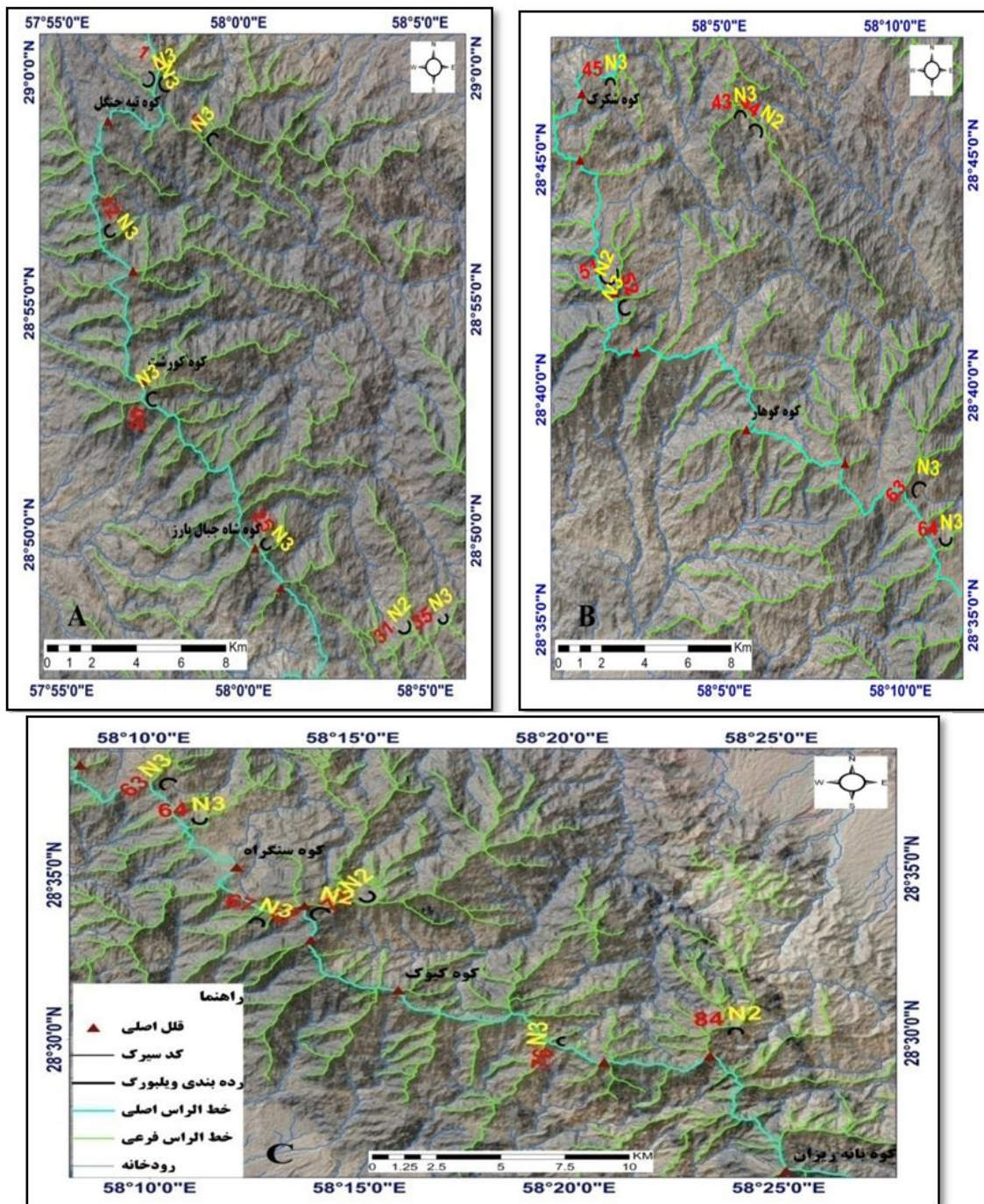
مربوط به سیرک‌های رده N4 و N5، سیرک‌های گروه ضعیف و مرزی است. این مقدار برای محور طولی سیرک‌های رده N4، ۲۷/۰۵ متر با انحراف معیار ۱۶۳/۱ و برای محور عرضی آنها ۳۳/۷۳ متر با انحراف معیار ۱۶۸/۸ است. همچنین ضریب تغییرات برای محور طولی سیرک‌های رده N5، ۲۹/۵۱ متر و برای محور عرضی این سیرک‌ها ۲۹/۵۳ متر است (جدول ۳). این اطلاعات نشان می‌دهد که سیرک‌های رده N5 و N4، گروه ضعیف و مرزی دارای ضریب تغییرات بیشتری روی محور طولی و عرضی هستند. با توجه به اندازه و عمق کمی که سیرک‌های این رده دارند فرسایش یخچالی و آب ناشی از ذوب یخ باعث تغییرات ضریب طولی و عرضی سیرک‌های این رده شده است. ولی هنوز زمان زیادی برای توسعه و تکامل این سیرک‌ها لازم است. این سیرک‌ها باید در طول زمان تحت تأثیر دوره‌های یخچالی قرار گیرند که توسعه و تکامل پیدا کنند.

نتایج تحلیل سیرک‌ها نشان می‌دهد که ضریب تغییرات روی محور طولی سیرک‌های رده N2، ۱۷/۱۳ متر و برای محور عرضی آنها ۱۷/۰۷ متر است. این ضریب برای محور طولی سیرک‌های رده‌های N3، ۱۵/۲۸ متر و برای محور عرضی این سیرک‌ها ۱۸/۵۶ متر است. مقدار ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N2 کمی بیشتر از ضریب تغییرات محور عرضی این سیرک‌ها است. در حالی که ضریب تغییرات محور طولی سیرک‌های رده N3 کمتر از ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده است. یعنی سیرک‌های این رده در منطقه در جهت محور عرضی تغییرات بیشتری دارند تا در جهت محور طولی. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های این رده و حرکت نکردن توده یخ و برف به علت حجم کم و ذوب آن همچنین فعالیت آب‌های جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالا بردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این رده شده است. بیشترین میزان ضریب تغییرات هم روی محور طولی و هم روی محور عرضی سیرک‌ها



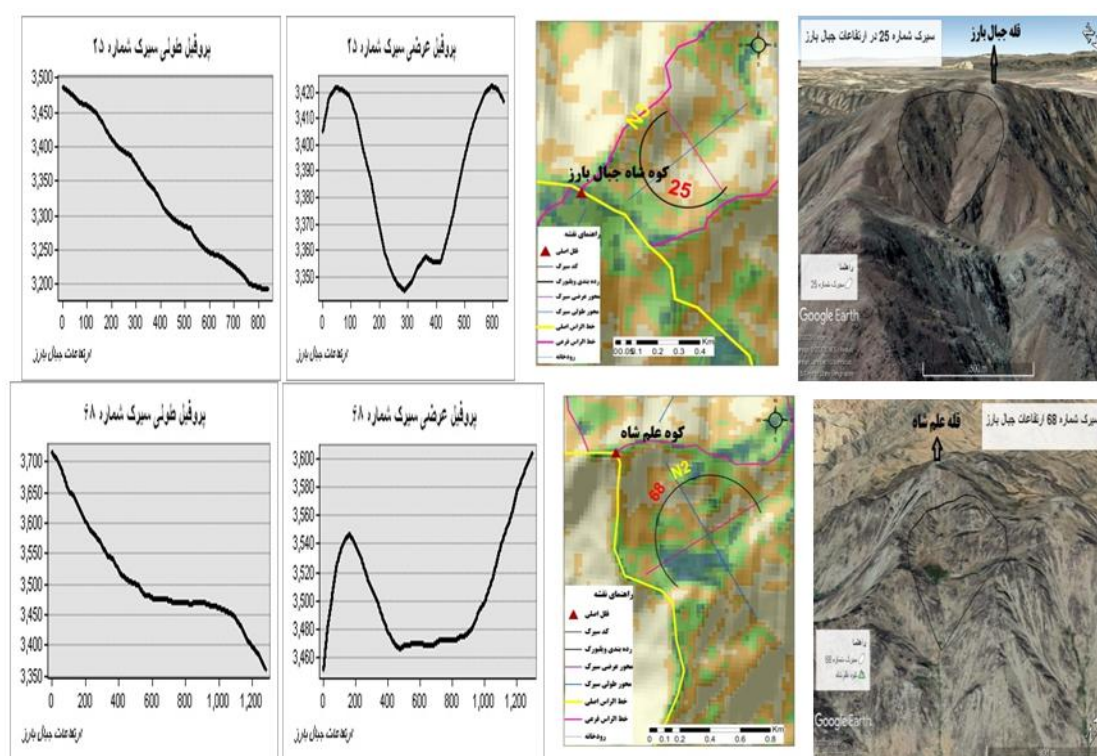
شکل ۶: منحنی هیستوگرام رده‌بندی ویلبورگ بر روی محور طولی و عرضی سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز

تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۷: نقشه A, B و C سیرک‌های رده N3, N2, N1 ارتفاعات جبال بارز پیاده شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۸: تصاویر ماهواره ای سیرک‌های شماره ۲۵ و ۶۸ سمت راست، نقشه DEM وسط.

پروفیل طولی و عرضی سیرک‌های رده‌های مختلف سمت چپ. (تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸)

سیرک‌های این رده شده است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N2 و N3، ۹۷۷/۵ و بیشترین آن ۱۵۳۶ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد  $۵۵۸/۴ \pm ۶۸/۰۵$  است. همچنین ارتفاع نقطه کف سیرک‌های این رده بین ۲۷۳۹ تا ۳۵۰۰ متر متغیر است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف)  $۰/۲۳۲$  متر است. میانگین نسبت طول سیرک به ارتفاع کف  $۰/۲۷۰$  متر است (جدول ۴). تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های این رده نسبت به تغییرات عمق سیرک‌ها بیشتر است. با توجه به جنس ناهمواری‌های منطقه که بیشتر از مواد آتشفشانی تشکیل شده‌اند و در برابر فرسایش مقاوم هستند فرسایش یخچالی و آبی تأثیر زیادی روی عمق سیرک‌ها نداشته‌اند. میزان تخلیه و حرکت یخچال‌ها در این سیرک‌ها کم بوده است و این مقدار یخ و برف نمی‌تواند باعث عمیق شدن سیرک‌های این رده در ارتفاعات جبال بارز شود.

## تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N2 و N3 ارتفاعات جبال بارز

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3،  $۸۰۲/۵$  متر با ضریب تغییرات  $۱۷/۶۷$  متر و میانگین محور عرضی سیرک‌های این رده،  $۶۸۹/۲$  متر با ضریب تغییرات  $۲۰/۶۰$  متر است. با توجه به میانگین محور طولی، سیرک‌های این رده در جهت طولی گسترش دارند. شکل سیرک‌های این رده طولی است به طوری که میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها  $۱/۱۷۴$  متر با ضریب تغییرات  $۷/۹۱$  متر است. به طور کلی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده بیشتر از محور طولی آنها است. انباشته شدن یخ و برف در سیرک‌های این رده و حرکت نکردن توده یخ و برف به علت حجم کم و ذوب آن همچنین فعالیت آب‌های جاری باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالابردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این رده شده است. این عوامل باعث تغییر در اندازه

جدول ۴: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۲۰ سیرک رده N2 و N3 در ارتفاعات جبال بارز

پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N2 و N3	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک (متر)	۲۰	۱۷/۶۷	۱۴۱/۸	۸۰۲/۵	۶۲۰/۳	۱۱۰۵	۶۲/۱۸ ± ۴۸۴
محور عرضی سیرک (متر)	۲۰	۲۰/۶۰	۱۴۲	۶۸۹/۲	۵۲۲/۶	۹۸۷/۲	۶۲/۲۶ ± ۴۶۴/۶
ارتفاع نقطه کف سیرک (متر)	۲۰	۷/۵۱	۲۲۳/۸	۲۹۸۲/۴	۲۷۳۹	۳۵۰۰	۱۰۰/۳۲ ± ۷۶۱
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک (متر)	۲۰	۷/۷۴	۲۴۲/۹	۳۱۳۶/۲	۲۵۵۱	۳۷۱۲	۱۰۶/۵۱ ± ۸۶۱
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) (متر)	۲۰	۲۱/۰۲	۰/۰۴۸۷	۰/۲۳۲	۰/۱۵۸	۰/۳۳۳	۰/۰۲۱۴ ± ۰/۱۷۵
اندازه سیرک	۲۰	۱۳/۱۹	۱۵۵/۲	۱۱۷۶/۷	۹۷۷/۵	۱۵۳۶	۶۸/۰۵ ± ۵۵۸/۴
نسبت طول به عرض	۲۰	۷/۹۱	۰/۰۹۳	۱/۱۷۴	۰/۹۶۹	۱/۳۹۱	۰/۰۴۱ ± ۰/۴۲۱
مساحت سیرک	۲۰	۳۸/۱۰	۱۵۴۳۹۷	۴۰۵۲۸۰	۲۲۸۷۱۰	۷۵۰۸۵۹	۶۷۶۹۹/۸۰ ± ۵۲۲۱۴۹
محیط سیرک	۲۰	۱۸/۳۹	۴۲۰/۴	۲۲۸۵/۴	۱۷۵۳/۲	۳۱۲۸/۱	۱۸۴/۳۴ ± ۱۳۷۴/۹
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۲۰	۷/۲۰	۲۰۹/۹	۲۸۷۴/۱	۲۶۳۴	۳۳۲۵	۹۲/۰۴ ± ۶۹۱
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۲۰	۱۷/۱۹	۰/۰۴۶	۰/۲۷۰	۰/۲۱۱	۰/۳۶۲	۰/۰۲۰۲ ± ۰/۱۵۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

در این ناهمواری‌ها اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 متفاوت است. کمترین میزان اندازه سیرک‌های رده N4 و N5، ۴۷۵/۳ و بیشترین آن ۱۷۶۲/۵ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۱۲۸۷/۲ ± ۵۳/۰۴ است. ارتفاع نقطه کف سیرک‌ها بین ۲۶۷۱ تا ۳۴۸۵ متر متغیر است. میانگین نسبت طول سیرک‌های این رده به ارتفاع کف ۰/۱۷۵ است. میانگین نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) ۰/۱۴۵ است (جدول ۵). تداوم کم یخچال‌های کواترنری در این ارتفاعات، همچنین میزان تخلیه و حرکت یخچال‌ها در سیرک‌های این ارتفاعات کم بوده است و این مقدار یخ و برف نمی‌تواند باعث عمیق شدن سیرک‌های این رده شود. به همین دلیل عمق سیرک‌های رده N4 و N5 منطقه کم و حجم نگهداری برف و یخ در این سیرک‌ها کم است. مساحت و محیط این سیرک‌ها کمتر از سیرک‌های رده N2 و N3 است. سیرک‌های این رده برای تکامل خود به زمان زیادی نیاز دارند.

#### تحلیل پارامترهای مورفومتریک سیرک‌های رده N4 و N5 ارتفاعات جبال بارز

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5، ۵۲۴/۵ متر با ضریب تغییرات ۳۵/۹۶ و میانگین محور عرضی سیرک‌ها ۴۳۵/۳ متر با ضریب تغییرات ۴۰/۷۳ است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها ۱/۲۲۲ متر با میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد ۰/۰۳ ± ۰/۵۳ است. با توجه به این آمار سیرک‌های این رده شکلی کشیده و طولی دارند و در جهت عرضی گسترش کمتری داشته و تکامل کمی پیدا کرده‌اند. ولی ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های این رده بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی آنها است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ناهمواری‌های منطقه تجمع یخ و برف در این سیرک‌ها در طول سال کم است و با توجه به جنس این ناهمواری‌ها این مقدار برف و یخ و آب حاصل از ذوب آنها نمی‌تواند باعث فرسایش دیواره‌های کناری سیرک‌ها شود. در نتیجه اندازه و بزرگی سیرک‌های این رده زیاد نیست.

جدول ۵: آنالیز پارامترهای مورفومتری ۶۵ سیرک رده N4 و N5 در ارتفاعات جبال بارز

پارامترهای مورفومتری سیرک‌های رده N4 و N5	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
محور طولی سیرک (متر)	۶۵	۳۵/۹۶	۱۸۸/۶	۵۲۴/۵	۱۹۸/۱	۱۲۲۶/۹	۱۰۲۸/۸ ± ۴۵/۸۶
محور عرضی سیرک (متر)	۶۵	۴۰/۷۳	۱۷۷/۳	۴۳۵/۳	۱۶۱/۵	۱۲۸۰/۴	۱۱۱۸/۹ ± ۴۳/۱۲
ارتفاع نقطه کف سیرک (متر)	۶۵	۵/۶۲	۱۶۹/۳	۳۰۱۲/۴	۲۶۷۱	۳۴۸۵	۸۱۴ ± ۴۱/۱۷
ارتفاع بلندترین نقطه مشرف بر سیرک (متر)	۶۵	۵/۷۵	۱۷۸/۱	۳۰۹۴/۶	۲۷۹۵	۳۷۱۳	۹۱۸ ± ۴۳/۳۱
نسبت عرض به عمق (ارتفاع کف) (متر)	۶۵	۳۹/۷۴	۰/۰۵۸	۰/۱۴۵	۰/۰۵۳۰	۰/۳۶۷	۰/۳۱۴۵ ± ۰/۱۴۱
اندازه سیرک	۶۵	۲۵/۱۱	۲۱۸/۱	۸۶۸/۷	۴۷۵/۳	۱۷۶۲/۵	۱۲۸۷/۲ ± ۵۳/۰۴
نسبت طول به عرض	۶۵	۹/۹۴	۰/۱۲۲	۱/۲۲۲	۰/۹۴۹	۱/۴۸	۰/۵۳ ± ۰/۰۳۰
محیط سیرک	۶۵	۳۷/۸۱	۵۵۹/۲	۱۴۷۹/۱	۵۶۸/۲	۳۸۶۱/۶	۳۲۹۳/۴ ± ۱۳۵/۹۸
مساحت سیرک	۶۵	۸۶/۰۹	۱۵۹۰۴۵	۱۸۴۷۵۱	۲۳۱۳۰	۱۱۰۱۲۹۵	۱۰۷۸۱۶۵ ± ۳۱۳۷۴/۸۸
ارتفاع نقطه خروجی سیرک	۶۵	۵/۶۶	۱۶۸/۱	۲۹۶۷/۵	۲۶۳۷	۳۴۳۰	۷۹۳ ± ۴۰/۸۹
نسبت طول سیرک به ارتفاع کف	۶۵	۳۵/۸۷	۰/۰۶۲۶	۰/۱۷۵	۰/۰۶۶	۰/۳۵۲	۰/۲۸۷ ± ۰/۰۱۵۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۹۳ و این مقدار برای محور طولی و عرضی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۶ است. بین اجزای مختلف سیرک‌های هر دو رده شامل طول و عرض و دیواره‌های سیرک همبستگی بالایی وجود دارد. فرسایش یخچالی و آبی باعث رشد متناسب اجزای سیرک‌های این محدوده شده است. میانگین اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 ۱۱۷۶/۷ متر و میانگین اندازه سیرک‌های شبه سیرک ۸۶۸/۷ متر است. از نظر بزرگی و اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 بزرگتر از سیرک‌های رده دیگر یا شبه سیرک هستند. این ارقام نشان می‌دهد که سیرک‌های این رده تکامل بیشتری از رده شبه سیرک دارند.

ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۹۱ است. در نتیجه  $B < 1$  و رفتار آلومتری برای سیرک‌های این رده منفی است. ضریب

### تحلیل ژئوآلومتری و ایزومتری سیرک‌های محدوده مورد مطالعه

ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 کمتر از ضریب تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 است. میانگین دامنه تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 ۰/۱۹۳ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 ۰/۱۹۷ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N4 و N5 کمی بیشتر است.

در نتیجه فرسایش یخچالی و آبی دیواره سیرک‌های رده N4 و N5 بیشتر در حال تخریب شدن هستند. تخریب دیواره سیرک‌ها این رده باعث افزایش اندازه و همچنین افزایش ضریب تغییرات ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌ها شده است. این سیرک‌ها در حال تکامل و تبدیل شدن به سیرک‌های رده N2 و N3 در طی زمان هستند. ضریب همبستگی برای

می‌دهد در ارتفاعات زاگرس، زردکوه و گرین یخچال‌زایی و عمل فرسایش ناشی از ذوب و انجماد یخ خوب عمل کرده و سیرک‌هایی که در این ارتفاعات وجود دارند متکامل‌تر و توسعه یافته‌تر از سیرک‌های ارتفاعات جبال‌بارز هستند. در ارتفاعات جویبار میانگین ضریب  $b$  برای محور طولی سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  برابر با  $0/861$  و  $B < 1$  است که رفتار آلومتری سیرک‌های این رده منفی است. در نتیجه سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  این ناهمواری‌ها شبیه به سیرک‌های ارتفاعات جبال‌بارز هستند. در ارتفاعات جبال‌بارز شکل‌گیری و توزیع فضایی سیرک‌ها تا حدود زیاد به‌نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس آنها بستگی داشته‌است. سیرک‌های این ناحیه اصولاً سیرک یخچالی‌تیپیک نبوده و یخچال‌زایی یا فرسایش یخچالی نقش زیادی در شکل‌گیری آنها نداشته است ولی عملکرد یخچال‌ها در دوره‌های مختلف باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این محدوده شده است.

$b$  برای محور طولی سیرک‌های رده  $N4$  و  $N5$  برابر با  $0/869$  و  $B < 1$  است. برای سیرک‌های این رده نیز رفتار آلومتری منفی است. بررسی رفتار آلومتری سیرک‌های رده‌های مختلف در این محدوده بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتری (یا الگوی رشد) سیرک‌های این ناحیه با دیگر نواحی یخچالی دنیا است و این با رفتار آلومتری سیرک‌های کوهستان‌های برفگیر مثل آلپ و تیانشان تطابق ندارد. ضریب  $a$  برای محور عرضی سیرک‌های این ارتفاعات از ضریب  $b$  بیشتر است. نتیجه می‌گیریم که رفتار ایزومتری هم برای سیرک‌های رده  $N2$  و  $N3$  و هم برای سیرک‌های رده  $N4$  و  $N5$  برقرار است.

در ارتباط با مورفومتری و آلومتری سیرک‌های یخچالی در داخل ایران مطالعاتی توسط ابراهیمی و سیف (۲۰۱۷) در ارتفاعات زاگرس، سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) در ارتفاعات زردکوه، سیف (۱۳۹۴) در ارتفاعات گرین و بیرانوند و سیف (۱۳۹۹) در ارتفاعات جویبار انجام گرفت. مقایسه نتایج این تحقیقات نشان

جدول ۶: تعیین ضریب  $a$  و  $b$  و ضریب همبستگی (معادله توانی برازش شده) برای محور طولی و عرضی سیرک‌های ارتفاعات جبال‌بارز

ضریب	رده‌بندی سیرک	تعداد سیرک	ضریب تغییرات	ضریب همبستگی	انحراف معیار	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین دامنه تغییرات با سطح اطمینان ۹۵ درصد
ضریب $b$	$N4, N5$	۶۵	۹/۰۲	۰/۹۶	۰/۰۷۸	۰/۸۷	۰/۸۰۳	۱	$0/197 \pm 0/0190$
	$N2, N3$	۲۰	۷/۶۸	۰/۹۳	۰/۰۶۹	۰/۸۹۱	۰/۸۰۸	۱	$0/193 \pm 0/0303$
ضریب $a$	$N4, N5$	۶۵	۷/۱۷	۰/۹۶	۰/۰۸۱	۱/۱۲۵	۱	۱/۲۱	$0/21 \pm 0/020$
	$N2, N3$	۲۰	۳/۱۸	۰/۹۳	۰/۰۳۳	۱/۰۵	۱	۱/۰۸	$0/085 \pm 0/014$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

## نتیجه

نقشه به صورت خطی و پلیگونی ترسیم گردید. بر اساس روش ویلبورگ و رودبرگ، تعداد ۶ سیرک معادل با  $7/06$  درصد از کل سیرک‌ها در رده  $N2$ ، تعداد ۱۴ سیرک معادل با  $16/47$  درصد از کل سیرک‌ها در رده  $N3$ ، تعداد ۴۵ سیرک معادل با  $52/94$  درصد از کل سیرک‌ها در رده  $N4$  و تعداد ۲۰ سیرک معادل

برای تشخیص، طبقه‌بندی و مورفومتری دقیق سیرک‌های یخچالی، منطقه مورد مطالعه به ۱۶ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده‌است. بر اساس تکنیک‌های ژئوماتیک و روش‌های جدید تعداد ۸۵ آثار سیرک یخچالی در ارتفاعات جبال‌بارز شناسایی و در روی

۳۵/۹۶ متر و میانگین محور عرضی سیرک‌ها برابر با ۴۳۵/۳ متر با ضریب تغییرات ۴۰/۷۳ متر است. میانگین نسبت طول به عرض سیرک‌ها ۱/۲۲۲ متر است. با توجه به میانگین محور طولی، سیرک‌های هر دو رده در جهت طولی گسترش دارند. ضریب تغییرات محور عرضی سیرک‌های رده N2 و N3 و سیرک‌های رده N4 و N5، بیشتر از ضریب تغییرات محور طولی این سیرک‌ها است. برف‌گیر بودن سیرک‌های این رده، انباشته شدن یخ و برف در آنها و حرکت نکردن توده یخ و برف به علت حجم کم و همچنین فرسایش یخچالی و آبی ناشی از پدیده ذوب و انجماد باعث تخریب دیواره سیرک‌ها و بالا بردن ضریب تغییرات در محور عرضی سیرک‌های این منطقه شده است. میانگین اندازه سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۱۷۶/۷ متر و میانگین اندازه سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۸۶۸/۷ متر است. همچنین مساحت و محیط سیرک‌های رده N2 و N3 بیشتر از سیرک‌های رده N4 و N5 است. این موضوع نشان می‌دهد که سیرک‌های این رده از سیرک‌های رده N4 و N5 متکامل‌تر هستند و بیشتر به سمت توسعه و تکامل حرکت می‌کنند. به طور کلی سیرک‌های هر دو رده برای تکامل خود به زمان زیادی نیاز دارند و باید تحت تأثیر دوره‌های یخچالی متعددی قرار گیرند. میانگین دامنه تغییرات ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۱۹۳ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۱۹۷ است. این مقدار برای سیرک‌های رده N4 و N5 کمی بیشتر است. در نتیجه فرسایش یخچالی و آبی دیواره‌ی سیرک‌های رده N4 و N5 بیشتر در حال تخریب شدن هستند. تخریب دیواره سیرک‌ها این رده باعث افزایش اندازه و همچنین افزایش ضریب تغییرات ضریب b بر روی محور طولی سیرک‌ها شده

۲۳/۵۳ درصد از کل سیرک‌ها در رده N5 قرار دارند. طبق رده‌بندی ایوانس و کوکس، تعداد ۶ سیرک در رده خوب و توسعه یافته، تعداد ۱۴ سیرک در رده قطعی، تعداد ۴۵ سیرک در رده ضعیف و تعداد ۲۰ سیرک رده مرزی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. در مرحله تشکیل ناهمواری‌ها با توجه به نوع چین خوردگی ارتفاعات این سیرک‌ها به وجود آمده‌اند و بعداً فرسایش یخچالی تغییراتی در شکل و اندازه آنها به وجود آورده است. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه کرمان، ناهمواری‌های جبال بارز در اثر فعالیت ماگمایی به صورت درونی و بیرونی نمود یافته‌اند. این کمپلکس گرانیتوئیدی در محل همبری سنگ‌های آتشفشانی باسنگ‌های کمپلکس گرانیتوئیدی، گاه هاله دگرگونی دیده می‌شود و همچنین این کمپلکس دارای نفوذی‌های تأخیری پی در پی هستند که این توده‌ها ترکیب یکنواخت‌تری دارند. این موضوع روی توزیع فضایی، شکل، اندازه و نحوه تکامل سیرک‌ها تأثیر زیادی داشته است و مانع از تکامل و توسعه سیرک‌های محدوده مورد مطالعه شده است. با توجه به این موضوع تغییرات محور طولی و عرضی سیرک‌های هر دو رده نسبت به تغییرات عمق آنها بیشتر است. به علت مقاوم بودن جنس ناهمواری‌ها در مقابل فرسایش آبی و یخچالی عمق سیرک‌ها و تغییرات مربوط به آن در این ارتفاعات کم است.

میانگین محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۸۰۲/۵ متر با ضریب تغییرات ۱۷/۶۷ متر و میانگین محور عرضی این سیرک‌ها برابر با ۶۸۹/۲ متر با ضریب تغییرات ۲۰/۶۰ متر است. میانگین نسبت طول به عرض این سیرک‌ها برابر با ۱/۱۷۴ متر با ضریب تغییرات ۷/۹۱ متر است. میانگین محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۵۲۴/۵ متر با ضریب تغییرات

## منابع

- احمدآبادی، علی؛ امیرکرم واردوهی سرکیسیان (۱۳۹۷). شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفومتری، هیدروژئومورفولوژی. شماره ۱۵. صفحات ۱۶-۱.

[https://hyd.tabrizu.ac.ir/article\\_7913.html](https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_7913.html)

- المدرسی، سیدعلی؛ محمدحسین رامشت؛ کالین تورن؛ لیلان گرجی؛ زهرا ایزدی (۱۳۹۰). رفتار ارگودیک چشم اندازهای ژئومورفیک، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی اهر. سال یازدهم. شماره ۳. صفحات ۲۵۸-۲۳۲.

<https://www.magiran.com/paper/882160>

- بهشتی جاوید، ابراهیم؛ فریبا اسفندیاری (۱۳۹۶). استخراج و شناسایی لندفرم‌های یخچالی با استفاده از روش شیء‌گرا (مطالعه موردی: سیرک‌های یخچالی سیلان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال ششم. شماره ۴. صفحات ۱۰۲-۸۸.

<http://ensani.ir/fa/article/389645>

- بیرانوند، حجت‌اله؛ عبدالله سیف (۱۳۹۹). شناسایی، طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال هشتم. شماره ۴. صفحات ۸۰-۶۳.

<http://ensani.ir/fa/article/425083>

- رسولی، جمال؛ منصور قربانی (۱۳۹۰). ژئوشیمی و کانی‌شناسی توده نفوذی تأخیری کرور (شرق جبال بارز)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، یکم تاسوم اسفندماه. صفحات ۷-۱.

<https://civilica.com/doc/182542>

است. این سیرک‌ها در حال تکامل و تبدیل شدن به سیرک‌های رده N2 و N3 در طی زمان هستند. ضریب همبستگی برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۴ و برای سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۹۳ است. ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۹۱ است. در نتیجه  $B < 1$  و رفتار آلومتری برای سیرک‌های این رده منفی است. ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N4 و N5 برابر با ۰/۸۶۹ و  $B < 1$  است. برای سیرک‌های این رده نیز رفتار آلومتری منفی است. بررسی رفتار آلومتریک سیرک‌های رده‌های مختلف در این محدوده بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریک (یا الگوی رشد) سیرک‌های این ناحیه با دیگر نواحی یخچالی دنیاست و این با رفتار آلومتری سیرک‌های کوهستان‌های برفگیر مثل آلپ و تیانشان تطابق ندارد. ضریب a برای محور عرضی سیرک‌های این ارتفاعات از ضریب b بیشتر است. نتیجه می‌گیریم که رفتار ایزومتری هم برای سیرک‌های رده N2 و N3 و هم برای سیرک‌های رده N4 و N5 برقرار است. با توجه به مطالعات مشابه در ارتفاعات جوپار میانگین ضریب b برای محور طولی سیرک‌های رده N2 و N3 برابر با ۰/۸۶۱ و  $B < 1$  است. در نتیجه سیرک‌های رده N2 و N3 این ناهمواری‌ها شبیه به سیرک‌های ارتفاعات جبال بارز هستند. در ارتفاعات جبال بارز شکل‌گیری و توزیع سیرک‌ها تا حدود زیاد به نحوه شکل‌گیری ناهمواری‌ها و جنس آنها بستگی داشته است. سیرک‌های این ناحیه اصولاً سیرک یخچالی تیبیک نبوده و یخچال‌زایی یا فرسایش یخچالی نقش زیادی در شکل‌گیری آنها نداشته است ولی عملکرد یخچال‌ها در دوره‌های مختلف باعث توسعه و تکامل سیرک‌های یخچالی این محدوده شده است.

- Barr, I. D., and Spagnolo, M., (2013). Palaeoglacial and palaeoclimatic conditions in the NW Pacific, as revealed by a morphometric analysis of cirques upon the Kamchatka Peninsula. *Geomorphology*. 192. PP. 15-29.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13001529>
- Bull, W., (1975). Allometric change of landforms. *Geological Society Of America*. 2. V,86. NO,11.  
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/86/11/1489/201696/Allometric-change-of-landforms?redirectedFrom=PDF>
- Delmas, M., and Gunnell, Y., and Calvet, M., (2015). A Critical Appraisal of Allometric Growth Among Alpine Cirques Based on Multivariate Statistics and Spatial Analysis. *Geomorphology*. 228. PP. 637-652.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X14005236>
- Dimitrijevic, M. D., (1973). Geology of Kerman region. Report YU/52. Iran. Geological Survey of Iran. P. 334.  
[https://www.scirp.org/\(S\(oyulxb452alnt1aej1nfow45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1523778](https://www.scirp.org/(S(oyulxb452alnt1aej1nfow45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1523778)
- Ebrahimi, B., and Seif, A., (2017). Morphometric Properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain. *Iran. Geopersia* 7 (1). PP. 131-151.  
[https://geopersia.ut.ac.ir/article\\_59236.html](https://geopersia.ut.ac.ir/article_59236.html)
- Evans I., S., and Cox, N., J., (2015). Size and shape of glacial cirques: comparative data in specific geomorphometry, *Geomorphometry.org*.  
[http://www.geomorphometry.org/system/files/Evan\\_sCox2015geomorphometry.pdf](http://www.geomorphometry.org/system/files/Evan_sCox2015geomorphometry.pdf)
- Evans, I. S. & Cox, N.J., (1974). Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area* 6. 150e153.  
<https://www.jstor.org/stable/20000855?seq=1>
- Evans, I. S., (1997). Process and form in the erosion of glaciated mountains. In: Stoddart. D. R. (Ed.). *Process and Form in Geomorphology*. Routledge, London. PP. 145 -174 .  
[https://www.researchgate.net/publication/30050338\\_Glacial\\_erosional\\_processes\\_and\\_forms\\_mountain\\_glaciation\\_and\\_glacier\\_geography](https://www.researchgate.net/publication/30050338_Glacial_erosional_processes_and_forms_mountain_glaciation_and_glacier_geography)
- سیف، عبدالله (۱۳۹۴). رده‌بندی سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس، دومین همایش ملی انجمن کواترنری ایران. دانشگاه اصفهان.  
<https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=25865>
- صادقی، حمیدرضا؛ فرهاد نورمحمدی؛ مجید صوفی؛ بنفشه یثربی (۱۳۸۸). مدل‌های آلومتری آبکندها در منطقه دره شهر استان ایلام، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). شماره ۸۵. صفحات ۴۴-۳۸.  
<https://www.magiran.com/paper/889937>
- قربانی، منصور (۱۳۹۳). زمین‌شناسی ایران. آراین زمین. صفحات ۴۸۸.  
<http://94.182.185.68/modules.php?name=News&op=nasher&bmax=0&ncode=51960&boname=&page=2>
- مختاری، داود؛ فریبا کرمی؛ مریم بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۶). اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آن‌ها، فصلنامه مدرس علوم انسانی. ویژه‌نامه جغرافیا. بهار. صفحات ۲۹۲-۲۵۷.  
<https://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-4111-fa.pdf>
- یاراحمدی، علی محمد (۱۳۹۱). تحلیل عوامل مؤثر بر شکل‌گیری مورفولوژی یخچالی کواترنر در اشترانکوه، استاد راهنما: دکتر ابراهیم مقیمی. رساله دکتری. رشته جغرافیای طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات.
- یمانی، مجتبی؛ ابراهیم مقیمی؛ قاسم عزیزی؛ کاوه باخوشی (۱۳۹۲). تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندهای غرب استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. سال ۴۵. شماره ۴. صفحات ۱۴-۱.  
[https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_50068.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_50068.html)

- Seif, A. & Ebrahimi, B., (2014). Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques. Zardkuh Mountain. Iran. Quaternary International. 353, PP. 236 e249.  
[https://www.researchgate.net/publication/269578330\\_Combined\\_use\\_of\\_GIS\\_and\\_experimental\\_functions\\_for\\_the\\_morphometric\\_study\\_of\\_glacial\\_cirques\\_Zardkuh\\_Mountain\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/269578330_Combined_use_of_GIS_and_experimental_functions_for_the_morphometric_study_of_glacial_cirques_Zardkuh_Mountain_Iran)
- Stocklin, J., (1968). Structural history and tectonics of Iran, A review . AAPG Bulletin 52.7. PP.1229-1258.  
[https://books.google.com/books/about/Structural\\_History\\_and\\_Tectonics\\_of\\_Iran.html?id=PxFGwAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Structural_History_and_Tectonics_of_Iran.html?id=PxFGwAACAAJ)
- VivasT,P, (ed). (1996). Monitoring Mediterranean Wetlands: A Methodological Guide. Med Wet Publication. Wetlands International. Slimbridge. Uk and Icn. Lisbon. PP. 150.  
<https://www.amazon.co.uk/Monitoring-Mediterranean-Wetlands-Methodological-Guide/dp/1900442043>
- Turner, A., (2006). Geomorphometrics: ideas for generation and use. CCG Working paper. version 0.3.1 [online] centre for computational geography. university of leeds. UK; accessed 7 May 2007.  
<https://environment.leeds.ac.uk/geography-research/dir-record/research-projects/513/centre-for-computational-geography>
- Vilborg, L., (1984). The cirque forms of Central Sweden. Geografiska Annaler. 66 A (1-2): PP.41-77.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1984.11880099>
- Vilborg, L., (1977). The Cirque Forms of Swedish Lapland. Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography. Vol. 59. NO. 3/4. PP. 89-150.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1977.11879948>
- Evans, I. S., (2006). Allometric development of glacial cirque form: geological. Relief and regional effects on the cirques of Wales. Geomorphology. 80 (3-4): PP. 245-266.  
[https://www.researchgate.net/publication/222409770\\_Allometric\\_development\\_of\\_glacial\\_cirque\\_form\\_Geological\\_relief\\_and\\_regional\\_effects\\_on\\_the\\_cirques\\_of\\_Wales](https://www.researchgate.net/publication/222409770_Allometric_development_of_glacial_cirque_form_Geological_relief_and_regional_effects_on_the_cirques_of_Wales)
- Evans, I. S., (2009). Allometric development of glacial cirques: an application of specific geomorphometry. proceeding of Geomorphology. Zurich. Switzerland. 31 August – 2 September.  
[https://www.researchgate.net/publication/238659643\\_Allometric\\_Development\\_of\\_Glacial\\_Cirques\\_A\\_n\\_Application\\_of\\_Specific\\_Geomorphometry](https://www.researchgate.net/publication/238659643_Allometric_Development_of_Glacial_Cirques_A_n_Application_of_Specific_Geomorphometry)
- Evans, I. S., (2011). Geomorphometry and landform mapping: what is a landform?. Geomorphology. (03), PP. 541.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11001462>
- García-Ruiz, J. M., Gómez-Villar, A., Ortigosa, L., Martí-Bono, C., (2000). Morphometry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees. Geografiska Annaler. 82A. 433–442.  
[https://www.researchgate.net/publication/229521561\\_Morphometry\\_of\\_Glacial\\_Cirques\\_in\\_the\\_Central\\_spanish\\_Pyrenees](https://www.researchgate.net/publication/229521561_Morphometry_of_Glacial_Cirques_in_the_Central_spanish_Pyrenees)
- Goli Mokhtari, L., Ramesht, M. H., (2013). Almodaresi, A. Analyzing of Surface Relations in an Experimental Drainage Basin, Journal of Basic and Applied. Scientific Research. 3(4). PP. 120-124, Text Road Publication.  
<http://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20>
- Graf, W. L., (1976). Cirques as glacier location. Arctic and Alpine Research 8. PP. 79 e 90.  
<https://www.jstor.org/stable/1550611?seq=1>
- Křížek, M., and Mida, P., (2013). The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). Geomorphology. 198.PP.57-68.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13002870>