



Research Paper

Investigation of thermal and humidity anomalies between the present and Pleistocene and reconstruction of climatic conditions using geomorphic evidence A Case study the Northeastern heights of Binalood

Mahnaz Naemi Tabar ^{a*}, Mohammadali Zanganeh Asadi^a

^a Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Geomorphological evidence, cirque, border snow, Quaternary glaciers, climate changes.



Received:

05 April 2022

Received in revised form:

10 June 2022

Accepted:

07 August 2022

pp. 99-115

Pleistocene climatic changes are of special importance due to the time of their occurrence and their role in the formation of the current landscape of the planet. The current research aims to investigate the geomorphological evidence of Quaternary glaciers in the northeast of Binalud highlands. The border snow height was estimated by Wright and Porter's methods, including height ratio, cirque floor height, and cumulative area ratio. Based on the form of curve lines in the topographic maps, 55 cirques were identified in the northern, eastern, and western parts of the research area. The analysis of the estimated heights proves that the snow height of the permanent border in Porter and Wright's method is more consistent with reality than other methods due to the reflection of the effect of the roughness direction on the snow height of the border. The analysis of the findings shows that this region was under the rule of the glacial morphogenesis system during the cold periods. According to the correlation between the height and average annual temperature and the height and amount of annual precipitation, the thermal and humidity gradient was calculated. The findings of the research show that the snow line of the permanent border is located at an altitude of 2600 and 2100 meters with the Wright and Porter methods. According to this line and the drop in temperature to the value of 0.7 degrees for every 100 meters of height, the current temperature difference with the Pleistocene period was calculated to be 6.4 degrees Celsius. The results showed that the amount of annual precipitation in the Pleistocene period was 130 mm higher than today's average.

Citation: Naemi Tabar, M., & Zanganeh Asadi, M. A. (2022). Investigation of thermal and humidity anomalies between the present and Pleistocene and reconstruction of climatic conditions using geomorphic evidence A Case study the Northeastern heights of Binalood. *Geographical planning of space quarterly journal*, 12 (2), 99-115.



<http://doi.org/10.30488/GPS.2022.273894.3369>

*. Corresponding author (Email: mahnaznaemi@hsu.ac.ir)

Copyright © 2022 The Authors. Published by Golestan University. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

The evaluation of Quaternary climate changes has always been one of the most controversial and attractive topics that have attracted the attention of geomorphologists due to the reflection on morphogenic systems and forms created on the surface of the earth. In the Quaternary period, glacial and interglacial conditions occurred alternately and geomorphological evidence has left undeniable. By using this evidence, it is possible to determine the boundaries of snow and the limits of glacial expansion and to study the climatic changes of that period. This is possible since the external processes that change the shape of the earth have not been able to completely remove the remaining effects of the Quaternary glacial erosion.

Methodology

In estimating the snow height of the Quaternary boundary, the first step is to identify glacial cirques as the most important evidence of the glacial process. To track the cirques of the region, topographic maps of 1/50000, the layer of curve lines, and the digital height model have been used. Climatic data were obtained from rain gauge stations during a 20-year statistical period (1378-1398). To identify this evidence, the form of curve lines, the state of waterways, and the 30x30 digital elevation model were used. According to the purpose of the research and to achieve the desired results, the map of the cirque shapes of the region, temperature, and precipitation data as the main variables of the region were analyzed and evaluated in the determination of snow borders. In the next step, 55 cirques were identified in the study area. According to the snow height of the boundary estimated by the Wright and Porter method (height ratio, cirque floor height, and cumulative area ratio), the past temperature of the stations was estimated and with the help of this temperature, the past precipitation was also reconstructed.

Determining the border snowline

Write method

In this method, the height of the snow line

was 2600 meters. In other words, during the coldest period ruling the region, there was always snow at this height, or in other words, the average temperature on this line was equal to zero degrees Celsius.

Porter's method

Circus floor height method

To use the method of the height of the circus floor to find out the past border snow and the water and ice balance line in the study area, view or mode has been used.

Height ratio method

The snow line was obtained at an altitude of 2200 meters.

Cumulative area ratio method

First, the initial boundary snow is selected using the height ratio method. Then, the 100-meter lines of the specified glacier surface and the area between two consecutive curves (at a distance of 100 meters) are measured and used to create a cumulative curve that graphically displays the area of the glacier with the height distribution..

Results and discussion

In the studied area, 55 cirques with reasonable density were identified on the northern slopes.

Ice and water balance line

In the studied area, the water and ice balance line in Wright's method was 1900 meters, in Porter's method (cirque floor height 2700 meters), (height ratios 2200 meters) and (cumulative area ratio 2800 meters) were obtained.

Current ambient temperature of the area

The current average temperature in the region ranges from 12°C in the highlands (northeast and southwest) to 3°C in the plains.

Reconstruction of ambient temperature conditions in the Quaternary

The results of the digital evaluation of the average annual temperature map in the past period show that in the northern and western highlands of the region, cold cells prevail more than any other place, and its value is the lowest, -3.5 degrees Celsius in the highlands. It varies up to the maximum of 6 degrees Celsius in the region.

Reconstruction of environmental precipitation conditions in the past

The amount of past precipitation in the zero-degree isoline is calculated to be 630 mm.

Current ambient rainfall in the region

The current rainfall map in the region shows that the minimum rainfall in the region is 281 mm and the maximum rainfall is 504 mm in the highest part of the region.

Comparison of current and past temperature conditions of the region (freezing anomaly)

Assuming an adiabatic drop in temperature during the cold season to the value of 0.7, it can be seen around altitudes above 2500 meters. This amount of drop was assumed because the adiabatic temperature drop is always higher in colder regions than in hot regions.

Comparison of current and past rainfall in the region (rainfall anomaly)

Rainfall in the past period was 1.98 times more than the current one. In other words, when the average annual temperature has decreased by 6 degrees Celsius compared to today, the average rainfall has increased twice..

Conclusion

The findings of the research show that the snow line of the permanent border is located at the height of 2600 and 2100 meters by Wright and Porter methods. Temperature and precipitation information indicates that the maximum and minimum temperature is 12 and 3 degrees Celsius and the maximum and minimum precipitation is 504 and 281 mm at present and in the last quarter, the maximum and minimum precipitation is 630 and 440 mm. And the maximum and minimum temperatures were 6 and -3

degrees Celsius, and by comparing the climatic conditions of the present time and the Pleistocene, we can conclude that the temperature difference is 0.7 degrees Celsius and the precipitation difference is 130 mm. A total of 55 cirques were identified, with the highest number of cirques located in the northern and western highlands. To reconstruct the water and ice balance line, considering the change of geomorphological processes in the region and the more dominant process, the best tool is to use wandering moraines and glacial valleys in the region. The balance line of water and ice in Wright's method was 1900 meters, in Porter's method (cirque floor height 2700 meters), (height ratios 2200 meters) and (cumulative area ratio 2800 meters) were obtained.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper



بررسی آنومالی حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک مطالعه موردی: ارتفاعات شمال شرقی بینالود

مهناز ناعمی تبار^۱ - گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
محمدعلی زنگنه اسدی - گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

تغییرات اقلیمی پلیستوسن با توجه به زمان وقوع و نقش آن در شکل‌گیری چشم‌اندازهای فعلی کره زمین، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. هدف از پژوهش حاضر بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کواترنر در شمال شرقی ارتفاعات بینالود است. ارتفاع برف مرز با روش رایت و روش پورتر شامل نسبت ارتفاع، ارتفاع کف سیرک و نسبت مساحت تجمعی برآورد گردید. بر اساس فرم خطوط منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی، ۵۵ سیرک در بخش‌های شمالی، شرقی و غربی منطقه تحقیق شناسایی شدند. تجزیه و تحلیل ارتفاعات برآورد شده گواه این است که ارتفاع برف مرز دائمی در روش پورتر و رایت، به دلیل انعکاس اثرگذاری جهت ناهمواری بر ارتفاع برف مرز نسبت به سایر روش‌ها با واقعیت انطباق بیشتری دارد. تجزیه و تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که این منطقه در دوره‌های سرد تحت حاکمیت سیستم شکل‌زایی یخچالی بوده است. برحسب همبستگی بین ارتفاع و متوسط دمای سالانه و ارتفاع و مقدار بارش سالانه، گرادیان حرارتی و رطوبتی محاسبه شد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد خط برف مرز دائمی با روش‌های رایت و پورتر، در ارتفاع ۲۶۰۰ و ۲۱۰۰ متری واقع شده است. با توجه به این خط و افت آهنگ دما به مقدار ۰/۷ درجه به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع، مقدار تفاوت دمای کنونی با دوره پلیستوسن، معادل ۶/۴ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار بارش سالانه در دوره پلیستوسن ۱۳۰ میلی‌متر نسبت به میانگین امروزی بیشتر بوده است.

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:

شواهد ژئومورفولوژیکی، سیرک، برف مرز، یخچال‌های کواترنر، تغییرات اقلیمی.



تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۱/۱۶

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۵/۱۶

صص. ۹۹-۱۱۵

استناد: ناعمی تبار، مهناز و زنگنه اسدی، محمد علی. (۱۴۰۱). بررسی آنومالی حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک مطالعه موردی: ارتفاعات شمال شرقی بینالود. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۲ (۲)، ۹۹-۱۱۵.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2022.273894.3369>

مقدمه

ارزیابی تغییرات اقلیمی کواترنری به دلیل انعکاس بر روی سیستم‌های شکل‌زا و فرم‌های ایجادشده بر روی سطح زمین، همواره از بحث‌برانگیزترین و جذاب‌ترین موضوعاتی بوده که توجه ژئومورفولوژیست‌ها را به خود جلب کرده است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۹۴). بررسی یخچال‌های گذشته و آثار آن از موضوعات بسیار مهم دوره کواترنری است. یکی از مهم‌ترین میراث‌های اقلیمی پلیستوسن نیز در ارتفاعات کشور ایران، حاکمیت یخچال‌ها و لندفرم‌های مرتبط با آن است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۷). دوره کواترنر خود به دو بخش پلیستوسن و هولوسن تقسیم می‌شود که پلیستوسن از اواخر پلیوسن در ۱/۶ میلیون سال پیش شروع و تا ۱۰ هزار سال قبل ادامه داشته و به قسمت‌های کوچک‌تر پلیستوسن تحتانی، میانی و پسین تقسیم‌شده است (شریفی نجف‌آبادی، ۱۳۹۷: ۲۲۵). در دوره کواترنر شرایط یخچالی و بین یخچالی به‌تنبوب به وقوع پیوسته و شواهد ژئومورفولوژیکی انکارناپذیری بر جای گذاشته است. با استفاده از این شواهد می‌توان برای تعیین برف مرز و حدود گسترش یخچالی و مطالعه تغییرات اقلیمی آن دوره اقدام نمود. این امر به این دلیل امکان‌پذیر است که فرایندهای بیرونی تغییردهنده شکل زمین نتوانسته‌اند به‌طور کامل آثار باقی‌مانده از فرسایش یخچالی کواترنری را از بین ببرند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۰). سیرک‌های یخچالی به‌عنوان یکی از لندفرم‌های تیپیک قلمروهای یخچالی و شاخص مهمی در ردیابی دیرینه محسوب می‌شوند. شنا سایی دقیق و آنالیزهای مورفومتریکی و آلومتریکی سیرک‌ها سبب شناخت درجه تکامل آن‌ها خواهد شد و ژئومورفولوژیست‌ها در بازسازی دقیق‌تر محیط‌های دیرینه و برآورد صحیح ارتفاع خط تعادل یخچال‌های کواترنری یاری می‌نمایند (بیراوند و همکاران، ۱۳۹۹: ۶۴). تغییرات توده‌های یخی ناشی از عوامل اقلیمی است. به همین علت، یخچال‌ها شاخص‌های موثر در شناسایی تغییر اقلیم شناخته‌شده است. به‌عبارت‌دیگر، هرگونه تغییر در بیلان یخ یخچال‌ها ناشی از واکنش مستقیم یخچال به شرایط سالیانه جوی است (نیل فروشان و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۰۱). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تکنیک‌های سنجش‌ازدور، دانه‌بندی رسوبات و تحلیل دیاتومه‌ها، اطلاعات بسیار با ارزشی را در زمینه بررسی اکوژئومورفولوژی دیرینه و عهد حاضر در اختیار قرار می‌دهد (نظم فر و همکاران: ۱۳۹۴). هدف از پژوهش حاضر بررسی تحولات اقلیمی دوره پلیستوسن بر اساس شاخص‌های اقلیمی دما و بارش، تعیین خط مرز برف دائمی و خط تعادل آب و یخ با روش رایت و پورتر و شاخص‌های نسبت ارتفاع، ارتفاع کف سیرک و نسبت مساحت تجمعی، بازسازی تغییرات اقلیمی دوره پلیستوسن و حال و بررسی تفاوت آنومالی حرارتی و رطوبتی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در طی چند دهه اخیر، مطالعات یخچال شناسی توسط محققان زیادی مورد توجه قرار گرفته است. سررانو و همکاران (۲۰۱۳) بیشترین گسترش یخچال‌های کواترنری را در کوه‌های کانتابریان شمال اسپانیا با روش نسبت‌های ارتفاعی بازسازی کردند. بار و اسپاگنولو^۲ (۲۰۱۵) با بررسی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی و ارتفاع آن‌ها به تعامل بین یخچال با شرایط زمین شناسی و آب و هوایی پی بردند. هنریکس^۳ و همکاران (۲۰۱۵) ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی را در اثنوپیی بررسی کردند. آنجل^۴ و همکاران (۲۰۱۷) شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و رسوبی در کوه‌های هری در مرکز اروپا را بررسی و وجود سیرک‌های یخچالی با استفاده از این شواهد را تأیید کردند. پالما^۵ و همکاران ۵ (۲۰۱۷) در ارتفاعات نوادا در کشور اسپانیا توزیع لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی را بررسی و با استفاده از این الگو ارتفاع خط تعادل برف و آب بالاتر از ۲۵۰۰ متر محاسبه

1 Serrano

2 Barr

3 Hendrickx

4 Engel

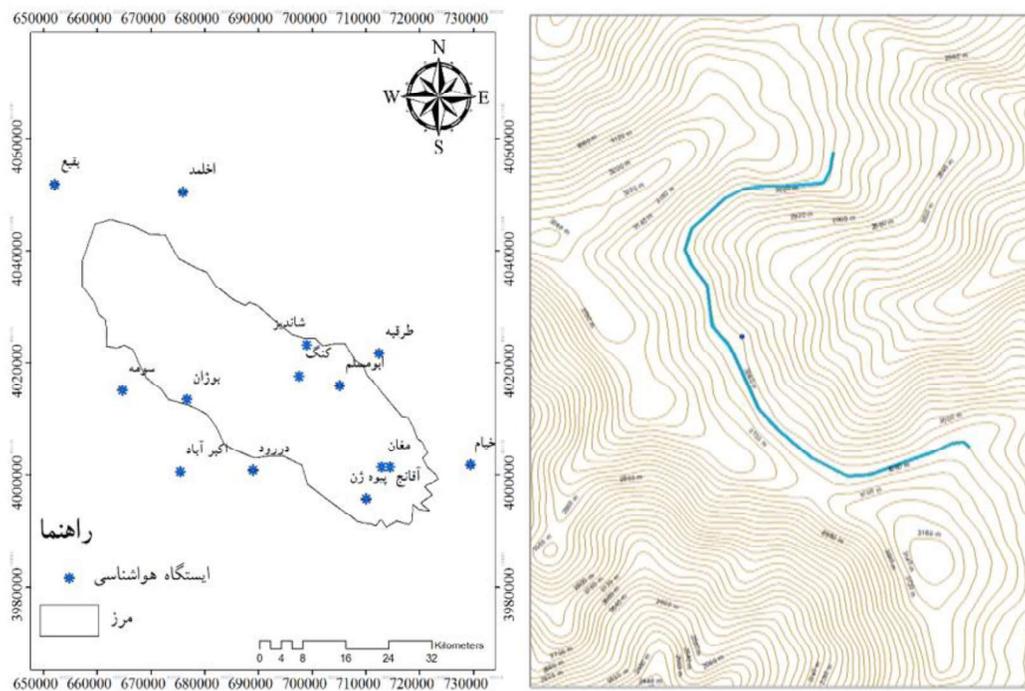
5 Palma

نمودند. ایستین و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه الگوی کمی انواع سیرک‌های یخچالی به‌عنوان شواهد یخچالی کواترنری در ایالت واشنگتن، این عارضه در برآورد ارتفاع برف مرزها و خط تعادل برف و آب مهم تلقی شد و با استفاده از فرم‌های متفاوت سیرک‌ها محیط دیرینه بازسازی شده است. بروک و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی ارتفاع برف مرز دائمی ناحیه تاراواای ایسلند را برای شرایط کنونی ۱۲۰۰ متر برآورد کردند. درحالی‌که آن‌ها معتقدند در دوره کواترنری، این ارتفاع هم‌سطح دریا و حتی پایین‌تر از آن بوده است. جعفری و همکاران (۱۳۹۴) با سه شاخص شیب، جهت و ضریب خمیدگی موردنظر رایب به بازسازی ارتفاع برف مرز کواترنری الوند همدان پرداختند. نتیجه مطالعات آن‌ها، مناسب‌تر بودن دامنه‌های نثار را برای شکل‌گیری و فعالیت یخچالی کواترنری مورد تأیید قرار داده است. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل طبقه‌بندی نظارت‌شده MLC به شناسایی و بررسی شاخص‌های ژئومورفومتریک سیرک‌های یخچالی زرد کوه پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که از ۲۶ چاله سیرک مانند مشخص شده تنها ۱۴ سیرک در مدل طبقه‌بندی نظارت‌شده شناسایی شدند. صلیحی و سیف (۱۳۹۷) با روش مورفومتریک به مورفومتری دره‌های شعاعی سه‌پند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دره‌های واقع بر دامنه‌های شمال و شمال شرقی سه‌پند از تکامل پروفیل طولی متفاوتی نسبت به دامنه‌های جنوب تا جنوب غربی برخوردارند که حاکی از تفاوت در سیستم‌های اقلیمی، فرسایشی و نیز رژیم‌های رطوبتی حرارتی متفاوت در این دو جناح از ارتفاعات سه‌پند است. جعفری و همکاران (۱۳۹۸) جهت بررسی فضایی پادگانه‌ها و تغییرات آب و هوایی به این نتایج دست یافتند که ۶۵ درصد از حوضه مطالعاتی تحت تسلط فرایند مجاور یخچالی، امکان متأثر شدن از جریان یخچالی منشعب شده از سیرک را داشته است، اما شواهد میدانی حاکی از آن است که فقط یخچال‌های تغذیه‌شده از کوه‌های مرتفع توانسته‌اند در شکل‌گیری دره‌های U شکل و تراس‌های آبرفتی نقش داشته‌اند. ملکی و همکاران (۱۳۹۷) ارتفاع برف مرز کواترنری را با استفاده از روش پورتر در ارتفاعات چهل چشمه و سارال کردستان ۲۴۸۳ متر برآورد کردند که نسبت به البرز و زاگرس در ارتفاع پایین‌تری برآورد شده است. ملکی و همکاران (۱۳۹۷) ارتفاع برف مرز کواترنری را با استفاده از روش پورتر در ارتفاعات چهل چشمه و سارال کردستان ۲۴۸۳ متر برآورد کردند که نسبت به البرز و زاگرس در ارتفاع پایین‌تری برآورد شده است.

روش پژوهش

در برآورد ارتفاع برف مرز کواترنری، قدم اول شناسایی سیرک‌های یخچالی به‌عنوان مهم‌ترین شاهد فرایند یخچالی است. برای ردیابی سیرک‌های منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، لایه خطوط منحنی میزان و مدل رقومی ارتفاع استفاده شده است. شناسایی سیرک‌های یخچالی در نقشه‌های توپوگرافی به‌صورت فرم پنجه‌ای شکل می‌باشد. سیرک‌های یخچالی در منحنی‌های میزان هشتی شکل‌هایی را در محدوده قله کوهستان‌ها ایجاد می‌کنند که شباهت به نعل اسب دارد (شکل ۱). داده‌های اقلیمی طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) از ایستگاه‌های باران‌سنجی پیوه ژن، اکبرآباد، دررود، مغان، آق‌انج، خیام، بوژان، سومه، ابوم‌سلم، کنگ، طرقله، شاندریز، اخلمد و بقیع به دست آمد (شکل ۲). برای شناسایی این شواهد از فرم خطوط منحنی میزان، وضعیت آبراهه‌ها و مدل ارتفاعی رقومی ۳۰*۳۰ استفاده گردید. با توجه به هدف پژوهش و برای دستیابی به نتایج موردنظر، نقشه اشکال سیرک منطقه، داده‌های دما و بارش به‌عنوان متغیرهای اصلی منطقه، در تعیین برف مرزها مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. در مرحله بعد، تعداد ۵۵ سیرک در منطقه

مطالعاتی شناسایی شد (شکل ۳). با توجه به ارتفاع برف مرز برآورد شده با روش رایت و پورتر (نسبت ارتفاع، ارتفاع کف سیرک و نسبت مساحت تجمعی) دمای گذشته ایستگاه‌ها برآورد و به کمک این دما، بارش گذشته نیز بازسازی گردید. با توجه به شرایط اقلیمی گذشته و حال و پس از ترسیم نقشه آن‌ها در نرم‌افزار Arc GIS 10/4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.



شکل شماره ۱. نمونه‌ای از سیرک یخچالی در نقشه توپوگرافی؛ شکل شماره ۲. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه



شکل شماره ۳. سیرک یخچالی در منطقه مورد مطالعه

تعیین خط برف مرز

روش راییت

یکی دیگر از روش‌هایی که می‌توان به‌وسیله آن برف مرز دائمی را در دوره‌های سرد کواترنر تعیین کرد، روش راییت است. در این روش با تعیین مکان سیرک‌های کوچک و گذراندن خط ۶۰ درصد از آن‌ها، برف مرز دائمی تعیین می‌شود (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۷). ارتفاع خط برف در این روش ۲۶۰۰ متر به دست آمد (شکل ۴). به عبارتی در سردترین دوره حاکم بر منطقه، در این ارتفاع برف همیشه وجود داشته و یا به مفهومی دیگر میانگین دما بر روی این خط برابر صفر درجه $^{\circ}\text{C}$ ساتی‌گراد بوده است. در این روش، اختلاف ارتفاع سیرک‌ها محاسبه و با ضرب آن در ۶۰ درصد سیرک‌ها و کم کردن حاصل از بیشترین ارتفاع، برف مرز تعیین می‌شود (رابطه ۱).

رابطه ۱:

$$۶۰ \times \frac{\text{پایین ترین ارتفاع سیرک} - \text{ارتفاع بالاترین سیرک}}{۱۰۰} - \text{ارتفاع بالاترین سیرک} = \text{خط برف مرز}$$

روش پورتر

برای تعیین خط برف مرز در منطقه، از سه روش پورتر استفاده شد که عبارت‌اند از: الف) روش ارتفاع کف سیرک؛ ب) روش نسبت ارتفاعی؛ ج) روش نسبت مساحت تجمعی.

روش ارتفاع کف سیرک

بر اساس نظر پورتر، هنگامی که یخچالی فقط سیرک را پر می‌کند ELA دائمی آن معمولاً خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF) نیست. بنابراین استفاده از این روش (مطالعه کف سیرک مناسب برای تعیین ارتفاع) خط‌های تعادل گذشته است (Porter, 2001:1068).

برای استفاده از روش ارتفاع کف سیرک به‌منظور پی بردن به برف مرز گذشته و خط تعادل آب و یخ در منطقه مورد مطالعه، بعد از آماده‌سازی جدول ۱، از رابطه ۲ برای محاسبه نما یا مد استفاده شده است.

برای مقایسه ارتفاع متوسط سیرک‌های یخچالی و ارتفاعی که سیرک‌ها بیشترین فراوانی را در آن داشته‌اند، میانگین حسابی و مد (نما) هر یک در زیر آن یادداشت شده است. در آمارهای دسته‌بندی شده، به دسته‌ای که بالاترین فراوانی وقوع را دارد، نما می‌گویند.

$$= L + \left(\frac{f_1}{f_1+f_2}\right) \times h \text{ MO}$$

رابطه ۲:

L: حد پایین طبقه نمودار.

F1: تفاضل طبقه ماقبل طبقه نمودار از فراوانی طبقه نمودار

F2: تفاضل طبقه مابعد طبقه نمودار از فراوانی طبقه نمودار

$$M_{211...190} = 1900 + \left(\frac{1900-7}{(1900-7)+(2100-7)}\right) \times 100 = 2681/13$$

$$M_{22...210} = 2100 + \left(\frac{2100-9}{(2100-9)+(2100-9)}\right) \times 100 = 2669/31$$

جدول شماره ۱. توزیع فراوانی ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی

طبقه‌های ارتفاعی	فراوانی سیرک	جهت جغرافیایی							درصد	
		شمال شرق	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب شمال غرب		
۱۵۰۰-۱۳۰۰	۰	-	-	-	-	-	-	-	۰	
۱۷۰۰-۱۵۰۰	۰	-	-	-	-	-	-	-	۰	
۱۹۰۰-۱۷۰۰	۳	۱	-	۱	-	-	-	۱	۵/۴۵	
۲۱۰۰-۱۹۰۰	۷	۲	-	-	۱	-	۱	۱	۱۲/۷۲	
۲۳۰۰-۲۱۰۰	۹	۳	۱	۱	۱	-	-	۳	۱۶/۳۶	
۲۵۰۰-۲۳۰۰	۶	۱	-	-	-	-	۲	۱	۱۰/۹	
۲۷۰۰-۲۵۰۰	۸	۲	۱	-	-	-	۲	۲	۱۴/۵۴	
۲۹۰۰-۲۷۰۰	۷	۱	۱	۱	-	-	-	۲	۱۲/۷۲	
۳۱۰۰-۲۹۰۰	۸	۳	-	-	-	-	۲	۱	۱۴/۵۴	
۳۳۰۰-۳۱۰۰	۷	۲	-	-	-	-	-	۱	۱۲/۷۲	
جمع	۵۵	۱۷	۳	۳	۲	۰	۸	۹	۱۰۰	
نما (متر)	-	۲۶۵۰	۲۵۸۵	۲۵۸۵	۲۳۰۰	۰	۲۶۲۱	۲۶۷۰	۲۶۲۳	۲۸۲۱
ΔELA		اختلاف در دو دامنه						۲۳۵		

با توجه به مدل مذکور ارتفاع برف مرز گذشته (آخرین دوره یخچالی) برابر با مقدار نما در ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی است که البته این ارتفاع در دامنه‌های شمالی و جنوبی با هم اختلاف دارد، میزان این اختلاف برابر با $\Delta ELA = 235$ متر بنا بر مقدار به دست آمده از این روش، ارتفاع برف مرز در منطقه مورد مطالعه ۲۷۰۰ متر و میزان اختلاف ارتفاع خط تعادل در دو دامنه نیز برابر با ۲۳۵ متر است (شکل ۵).

روش نسبت‌های ارتفاعی^۱

در این روش، ابتدا از راه میانگین محدوده ارتفاعی پایانه زبانه یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقه مورد نظر، خط برف مرز مشخص می‌شود (Porter, 2001: 1069). خط مرز برف در ارتفاع ۲۲۰۰ متر به دست آمد (شکل ۶).

$$AR = \frac{Ah + At}{2}$$

رابطه ۳: AR : ارتفاع برف مرز

Ah : بالاترین ارتفاع قلمرو یخچالی

At : پایین‌ترین ارتفاع قلمرو یخچالی

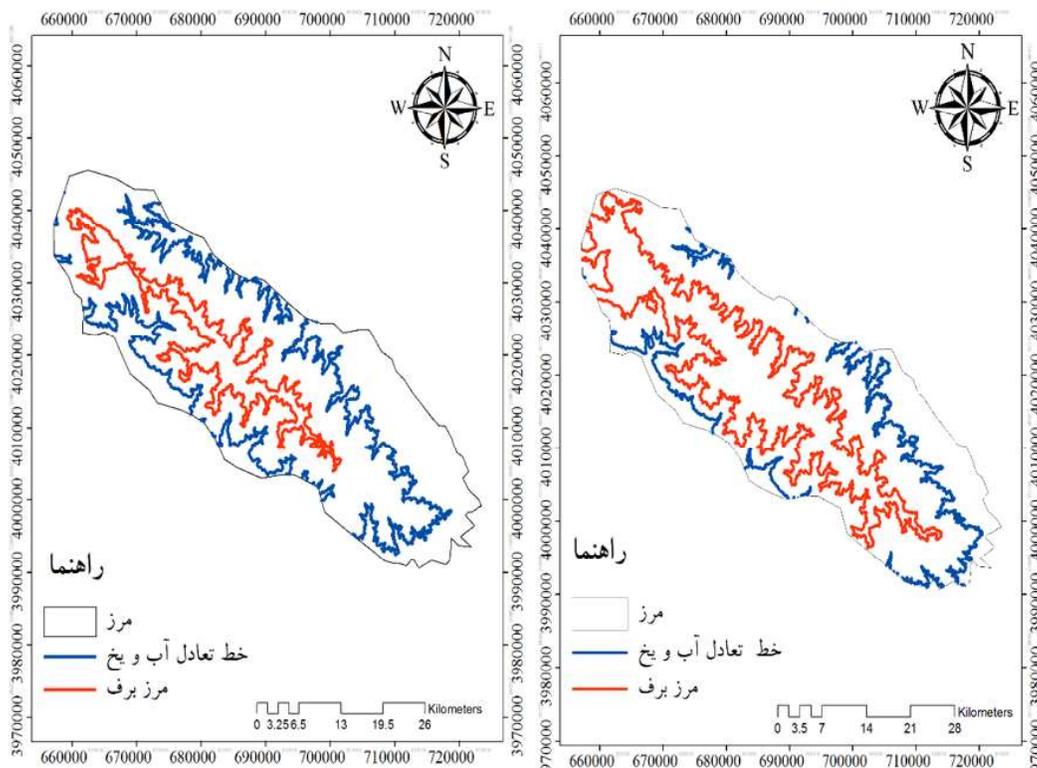
$$\text{خط مرز برف} = \frac{2600 + 1800}{2} = 2200$$

روش نسبت مساحت تجمعی

ابتدا برف مرز اولیه با استفاده از روش نسبت ارتفاعی انتخاب می‌شود. سپس خطوط میزان ۱۰۰ متری سطح یخچالی مشخص و مساحت بین دو منحنی متوالی (به فاصله ۱۰۰ متر) اندازه‌گیری و برای ایجاد منحنی تجمعی استفاده می‌شود که به شکل گرافیکی، مساحت یخچال را به نسبت توزیع ارتفاعی نمایش می‌دهد. با فرض ثابت بودن نسبت مساحت تجمعی ۰/۶۵ از ارتفاعات بالادست، برف مرز ممکن است از سطح گرافیکی تعیین شود. نقطه‌ای که حوالی ۰/۶۵ مساحت قلمرو یخچال‌های گذشته را بپوشاند، برف مرز در نظر گرفته می‌شود (Porter, 2001: 1069). میزان ۱۹/۵۴٪ در طبقه

1 Accumulation-area ratio (AAR)

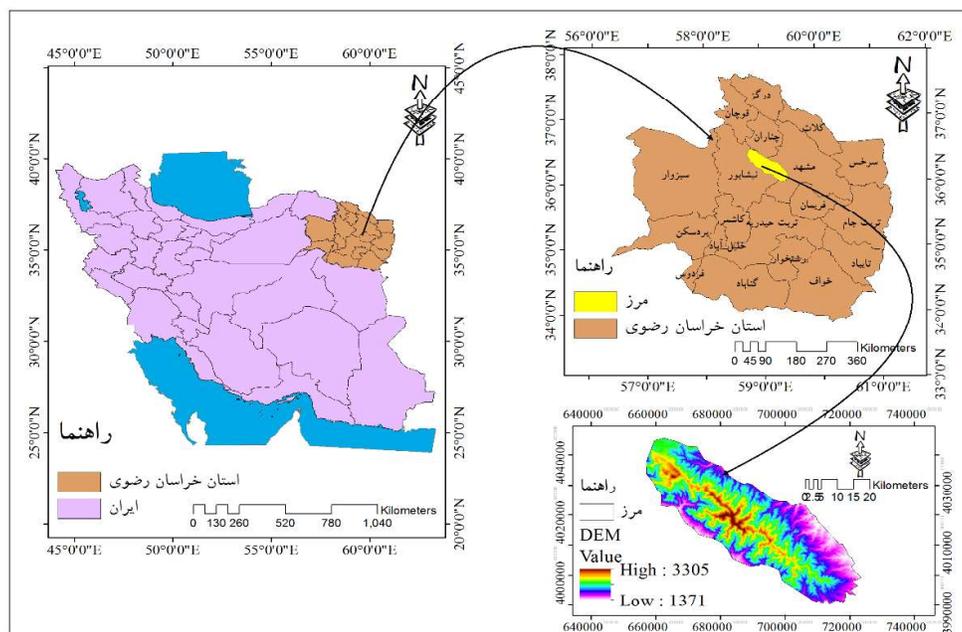
ارتفاعی ۲۹۰۰-۲۷۰۰ متر قرار گرفته است. میانگین بین دو ارتفاع (۲۸۰۰) متر خط برف مرز برآورد شده است (شکل ۷).



شکل شماره ۶. مرز برف دائمی و خط تعادل آب و یخ به روش نسبت‌های ارتفاعی؛ شکل شماره ۷. مرز برف دائمی و خط تعادل آب و یخ به روش نسبت مساحت تجمعی

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات شمال شرقی بینالود در استان خراسان رضوی است که در بخش غربی حوضه کشف رود، اترک و کال شور و در امتداد زون مورفوکلیماتیک البرز شرقی واقع شده است. تمام زهکش‌ها و آبریزهای شمالی رشته‌کوه بینالود به کشف رود و زهکش‌های دامنه جنوبی آن به کال شور و دشت نیشابور ملحق می‌شوند. محدوده مطالعاتی در حول مدار ۴۰° و ۲۲' و شمالی و نصف‌النهار ۱۰° و ۵' و ۵۸° شرقی واقع شده است. مساحت منطقه ۲۵۸۱ کیلومتر مربع است (شکل ۸). از دیدگاه اقلیمی، نتایج حاصل از به‌کارگیری روش دومارتن نشان می‌دهد که رشته‌کوه بینالود و محدوده مورد مطالعه، آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک دارند. میانگین دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد، حداکثر و حداقل دمای منطقه نیز به ترتیب ۳۴/۴ و -۷/۷ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه محدوده مورد مطالعه برابر ۴۰۰ میلی‌متر است. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۳۰۵ متر و حداقل ارتفاع ۱۳۷۱ متر و حداکثر شیب بیش از ۶۰ درجه می‌باشد.

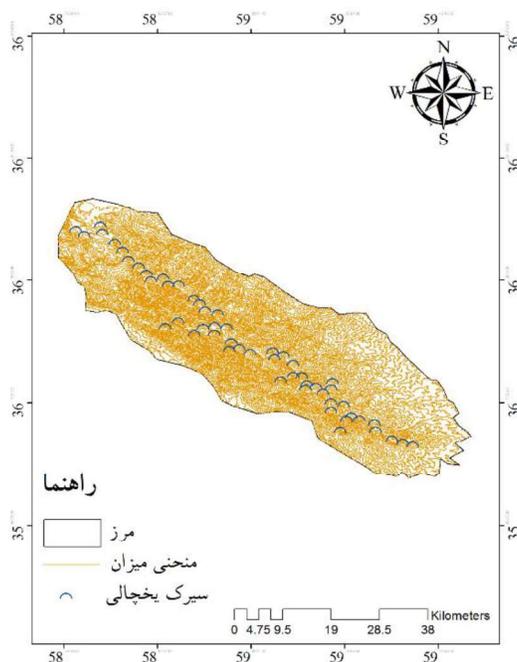


شکل شماره ۸. موقعیت منطقه مورد مطالعه

بحث و یافته‌ها

سیرک‌های یخچالی

سیرک، حفره‌ای با حجم متغیر و اغلب نیمه مدور است که با توجه به اندازه و ویژگی شکل ناهمواری، نمونه‌های مختلفی دارد. ساده‌ترین نوع آن، حفره متوسط کیفی شکلی است که کف پر شیبی دارد. عمیق شدن سیرک، نتیجه عمل حفر و ساییدگی آرام در کف یخچال است که در اثر حرکت یخ‌برف بر بستر سیرک انجام می‌شود. یکی از مشخص‌ترین خصوصیات نیمرخ طولی دره یخچالی، بی‌نظمی آن است. گاهی این نیمرخ از توالی سطوح کم شیبی به وجود می‌آید که در فواصل آن‌ها شیب‌های تند پله مانندی وجود دارد که در مجموع حالت نردبانی به خود می‌گیرند (جعفری و همکاران: ۱۳۹۸). سیرک‌ها با توجه به مورفولوژی خاصی که دارند، می‌توانند شاخص مناسبی برای تعیین میزان فعالیت و گسترش یخچال‌ها در یک منطقه باشند (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۷). در منطقه مورد مطالعه ۵۵ سیرک با تراکم منطقی در دامنه‌های شمالی شناسایی شد (شکل ۹). یخچال‌زایی و برف‌گیری این ناهمواری‌ها به علت ارتفاع زیاد باعث توسعه و تکامل سیرک‌های این محدوده در طی زمان شده است.



شکل شماره ۹. موقعیت سیرک‌ها منطقه مورد مطالعه

خط تعادل آب و یخ

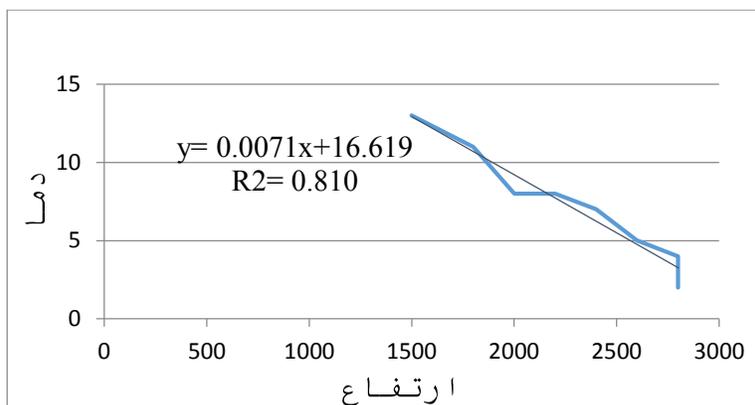
اگرچه تعیین خط برف دائمی در ارتفاع خاصی برآورد می‌شود ولی به این نکته باید دقت داشت که خط تعادل یخ همواره پایین‌تر از خط برف دائمی است. به عبارت دیگر جریان یخ در دره‌های یخچالی که از برفخان‌های بالادست به خوبی تغذیه شده‌اند قادر بوده صدها متر پایین‌تر از خط برف دائمی جریان یابند و بالاخره در ارتفاع خاصی به واسطه گرما و ذوب زبانه، حرکت یخ به پائین متوقف شده است و از آن نقطه به بعد منطقه آبدوبان معبر یا زبانه یخی شروع می‌شود (معبری و همکاران: ۱۳۸۷). در این پژوهش خط تعادل آب و یخ بر پایه فرم دره یخچالی و مورن‌ها در نظر گرفته شده است. یعنی تا جایی که دره به شکل عریض امتداد داشته و حالت U شکل خود را حفظ کرده است، جزو قلمرو یخی گذشته قلمداد می‌شود و از این نظر، در نقطه‌ای که فرم دره از حالت عریض تغییر می‌کند، خط تعادل آب و یخ در نظر می‌گیریم. پس از ترسیم لایه منحنی میزان با فاصله ۲۰ متر در سیستم اطلاعات جغرافیایی، از خطوط هم‌ارتفاع بین ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ متر، پلی‌گون‌های مستقلی تهیه و وسعت آن‌ها محاسبه شد. در منطقه مورد مطالعه خط تعادل آب و یخ در روش رایت ۱۹۰۰ متر، در روش پورتر (ارتفاع کف سیرک ۲۷۰۰ متر)، (نسبت‌های ارتفاعی ۲۲۰۰ متر) و (نسبت مساحت تجمعی ۲۸۰۰ متر) به دست آمد.

دمای محیطی حال منطقه

برای تهیه نقشه هم بارش زمان حال نیز ابتدا رابطه خطی از همبستگی بین ارتفاع و متوسط بارش سالیانه ایستگاه‌های طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) به دست آمد. به همین منظور، پس از ارزیابی اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های موجود در منطقه، برای استخراج نقشه حامل خطوط هم بارش در زمان حال، ابتدا رابطه سنجی بین ارتفاع و میانگین بارش ماهیانه برای ۱۴ ایستگاه انجام گرفت. با ایجاد رابطه خطی $y=a+bx$ دمای کنونی منطقه مشخص شد.

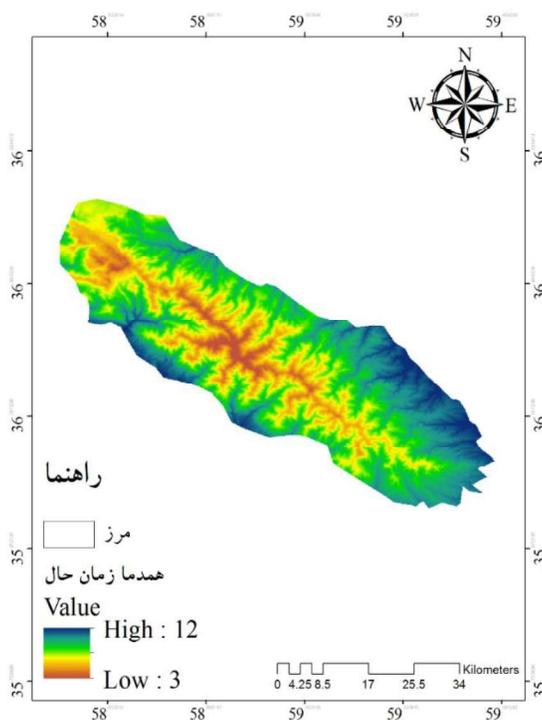
رابطه ۴: $T = 0.0071H + 16.619$

T دما بر حسب درجه سانتی‌گراد و H ارتفاع به متر است که با محاسبه آن ضریب همبستگی $R = 0.810$ به دست آمد (شکل ۱۰).



شکل شماره ۱۰. رابطه بین دما و ارتفاع

با اعمال این رابطه نقشه هم‌دمای کنونی ترسیم شد. شکل ۱۱ نشان‌دهنده مقدار متوسط دما در زمان حال در منطقه است که مقدار آن از ۱۲ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات (شمال شرق و جنوب غرب) تا ۳ درجه سانتی‌گراد به سمت دشت متغیر است.



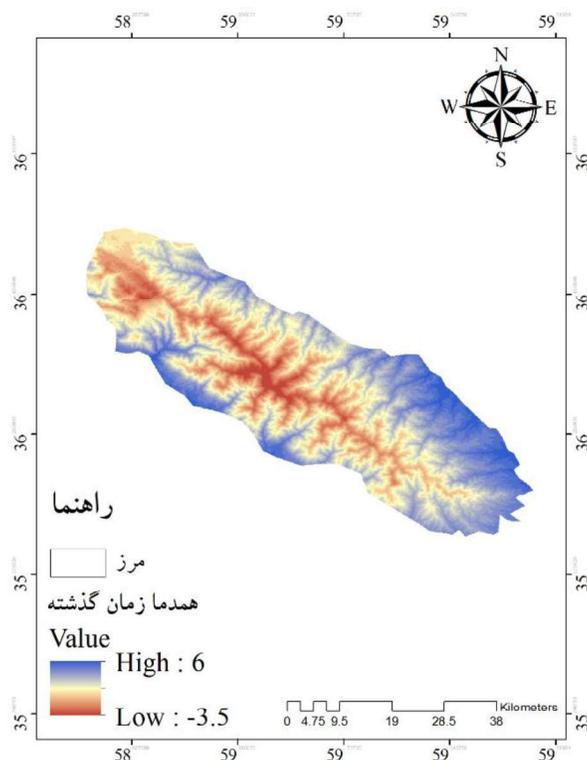
شکل شماره ۱۱. نقشه هم‌دمای منطقه در زمان حال

بازسازی شرایط دمای محیط در کواترنر

پس از بررسی شرایط کنونی دمایی منطقه، به بازسازی شرایط دمایی گذشته با استفاده از روش رایت و پورتر مبادرت شد. با بهره‌گیری از رابطه ۵، نقشه میانگین دما در دوره سرد ترسیم شد:

$$\text{رابطه ۵: } TW = (HS - H) \times 23.99$$

TW دمای وورم، HS ارتفاع خط مرز برف و H ارتفاع منطقه به متر است. از همبستگی بین ارتفاع و دما رابطه‌ای به دست آمد که در آن، یک‌بار به‌جای H، ارتفاع ۱۰۰۰ متر و یک‌بار ارتفاع ۲۰۰۰ متر قرار داده شد. سپس با کم کردن این دو عدد، افت آدیاباتیک دما محاسبه شد. در ادامه، با استفاده از ارتفاع خط برف مرز دائمی و مقدار افت آدیاباتیک دما، نقشه هم‌دمای زمان گذشته ترسیم شد. نتایج ارزیابی رقومی نقشه هم‌دمای متوسط سالانه در دوره گذشته نشان می‌دهد که در ارتفاعات شمال و غربی منطقه، سلول‌های برودتی بیش از هر مکان دیگر غلبه دارد و مقدار آن از کمترین، $-3/5$ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات تا بیشترین آن، ۶ درجه سانتی‌گراد در منطقه، متغیر است (شکل ۱۲).



شکل شماره ۱۲. نقشه هم‌دمای متوسط سالانه در پلیستوسن

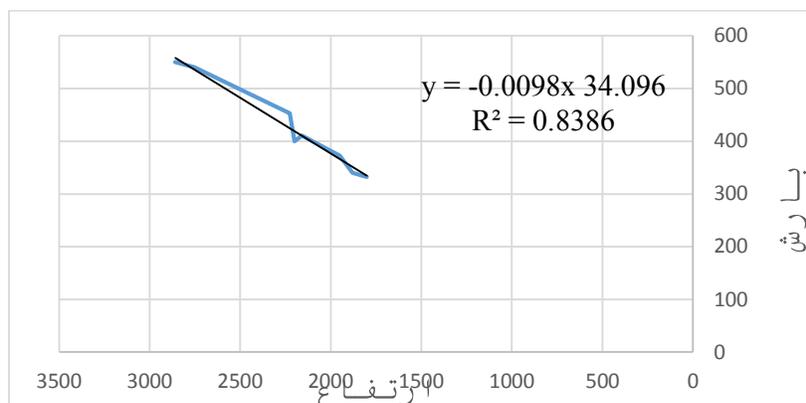
بازسازی شرایط بارش محیطی در گذشته

با در نظر گرفتن رابطه دما و بارش کنونی و ارتباط آن با دمای گذشته (با توجه به رابطه خطی بین دما و بارش) به‌جای X دمای گذشته جاگذاری شد تا مقدار بارش گذشته محاسبه شود.

$$\text{رابطه ۶: } P = -0.0098H - 34.096$$

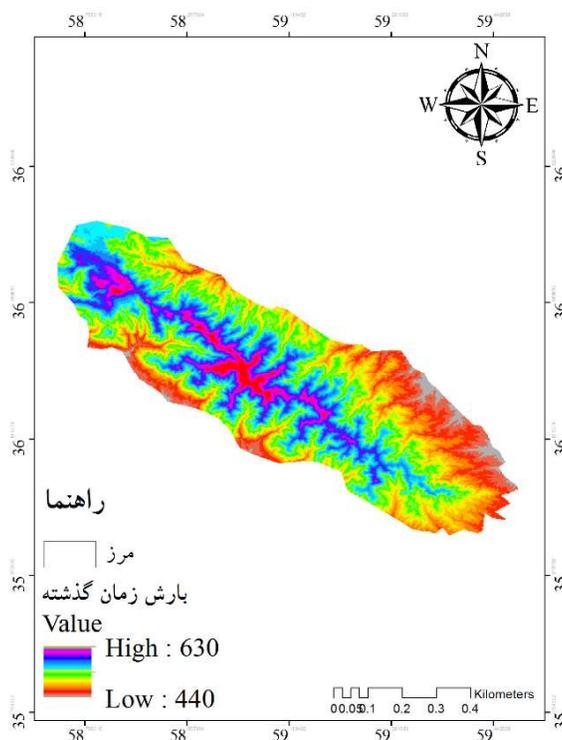
این رابطه نشان می‌دهد که بارش منطقه متأثر از تغییرات ارتفاعی است و با افزایش ۱۰۰ متر ارتفاع در این محدوده،

بارش نیز 0.0098 میلی‌متر افزایش می‌یابد. پس رابطه بین ارتفاع و بارش در منطقه، مستقیم و معنادار است. در این رابطه P بارش کنونی، H ارتفاع، عدد 0.0098 شیب خط بارش و 34.096 عرض از مبدأ خط بارش است (شکل ۱۳).



شکل شماره ۱۳. رابطه بین بارش و ارتفاع

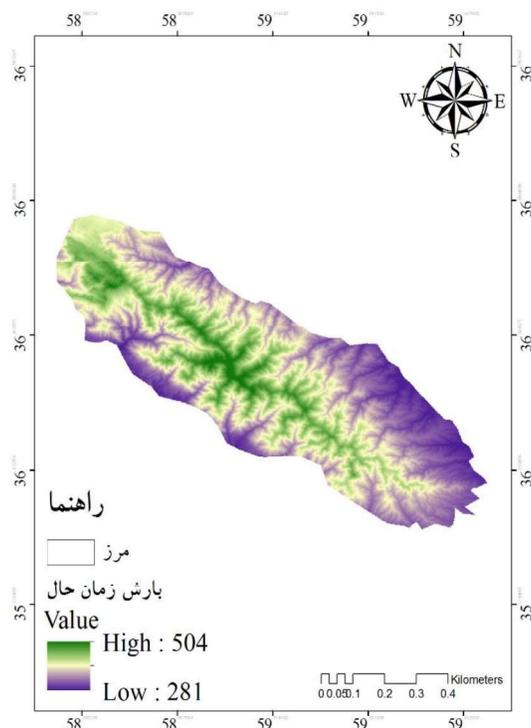
شکل ۱۴ نشان می‌دهد که همانند زمان کنونی، بیشترین مقدار بارش مربوط به ارتفاعات شمال غرب و جنوب غرب بوده و به سمت خروجی منطقه در بخش جنوبی، از مقدار بارش کاسته شده است. از این رو، بارش در مرحله اول در حدود برابر بارش کنونی بوده است. مقدار بارش گذشته در خط هم‌دمای صفر درجه سانتی‌گراد 630 میلی‌متر محاسبه شده است.



شکل شماره ۱۴. نقشه هم بارش منطقه در پلیستوسن

بارش محیطی فعلی منطقه

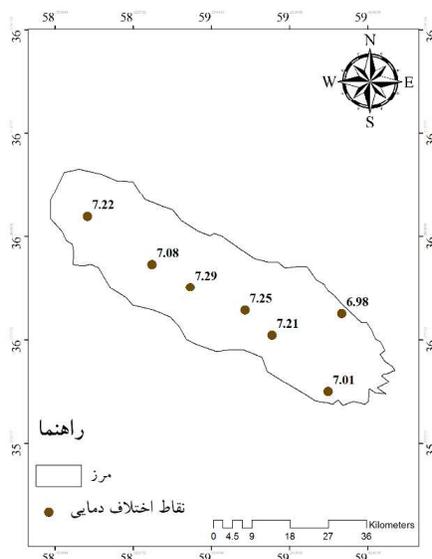
برای بازسازی شرایط رطوبتی منطقه در زمان حاضر، از داده‌های بارشی ۱۲ ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. رابطه بین ارتفاع و بارش در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد و نقشه هم‌بارش عصر حاضر تهیه شد (شکل ۱۵). نقشه هم‌بارش حال حاضر در منطقه نشان می‌دهد که حداقل بارش منطقه برابر با ۲۸۱ میلی‌متر و حداکثر بارش برابر ۵۰۴ میلی‌متر در مرتفع‌ترین قسمت منطقه است.



شکل شماره ۱۵. نقشه هم‌بارش منطقه در زمان حال

مقایسه شرایط دمایی حال و گذشته منطقه (آنومالی برودتی)

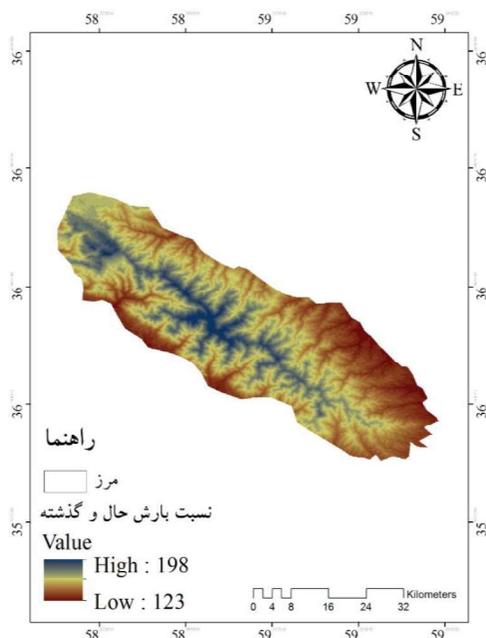
مقایسه دمایی گذشته و حال را آنومالی حرارتی می‌گویند. با توجه به میانگین دمای متوسط سالانه ۱۴ ایستگاه انتخابی موجود و با در نظر گرفتن رابطه دمایی گذشته با ارتفاع و همچنین دمایی حال حاضر با ارتفاع که ارتباط مستقیم با هم دارند و با فرض اینکه این رابطه در تمام زمان‌ها ثابت است (افزایش یا کاهش دما به افزایش یا کاهش ارتفاع بستگی دارد)، مقدار آنومالی حرارتی با استفاده از روش درونی‌یابی کریجینگ در سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد شد (شکل ۱۶). به این ترتیب، از مقایسه شکل‌های ۱۴ و ۱۵ می‌توان مقدار آنومالی حرارتی گذشته و حال را محاسبه کرد. کمترین تفاوت مربوط به حوالی غربی و شمال ارتفاعات و تا حدودی مرکز دره است. در قسمت ابتدای دشت، ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد اما در امتداد ارتفاعات این مقدار به ۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. همچنین، با فرض افت آدیاباتیک دما در دوران سرد به مقدار ۰/۷ همان‌طور که در نقشه تفاوت نقطه‌ای دما مشاهده می‌شود، در حوالی ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متری دیده می‌شود. این مقدار افت به این دلیل فرض شد که همواره در مناطق سردتر افت دمایی آدیاباتیک دما بیشتر از مناطق گرم است.



شکل شماره ۱۶. نقشه تفاوت نقطه‌ای دما در دوره حاکمیت یخچال‌ها و زمان حال

مقایسه بارش حال و گذشته منطقه (آنومالی بارش)

مقدار و نحوه تغییر رطوبت محیطی با نسبت گرفتن مقدار بارش در دوره سرد و بارش امروز در شکل ۱۷ نشان می‌دهد که مقدار اختلاف بارش در زمان گذشته نسبت به حال، حدود ۱۳۰ میلی‌متر بوده است. در واقع، بارش در دوره گذشته نسبت به حال ۱/۹۸ برابر بیشتر بوده است. به عبارت دیگر در زمانی که دمای متوسط سالانه ۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به امروز کاهش یافته، بارش به‌طور میانگین، دو برابر افزایش یافته است. آنومالی رطوبتی از ارتفاعات به سمت خروجی منطقه افزایش می‌یابد.



شکل شماره ۱۷. نقشه نسبت بارش در دوره حاکمیت یخچال‌ها و زمان حال

نتیجه گیری

یکی از راه‌های بررسی شواهد شرایط محیطی و اقلیمی گذشته، بازسازی این شرایط با آثار و داده‌های ژئومورفولوژیک است. هدف از پژوهش حاضر بررسی نرخ کاهش دما و بارش در دوره پلیستوسن و زمان حال می‌باشد. برای بررسی خط مرز برف از روش راییت و روش پورتر شامل نسبت ارتفاع، ارتفاع کف سیرک و نسبت مساحت تجمعی استفاده گردید. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد خط برف مرز دائمی با روش‌های راییت و پورتر، در ارتفاع ۲۶۰۰ و ۲۱۰۰ متر واقع شده است. ارتفاع برف مرز دائمی در روش ارتفاع کف سیرک پورتر، به دلیل انعکاس اثرگذاری جهت بر ارتفاع برف مرز نسبت به سایر روش‌ها با واقعیت انطباق بیشتری دارد. اطلاعات دما و بارش، حاکی از آن است که حداکثر و حداقل دما ۱۲ و ۳ درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل بارش ۵۰۴ و ۲۸۱ میلی‌متر در زمان حال و در کوتاه‌تر پایانی، حداکثر و حداقل بارش ۶۳۰ و ۴۴۰ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دما ۶ و ۳- درجه سانتی‌گراد وجود داشته است و با مقایسه شرایط اقلیمی زمان کنونی و پلیستوسن می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف دمایی ۰/۷ درجه سانتی‌گراد و اختلاف بارشی ۱۳۰ میلی‌متر می‌باشد. در مجموع ۵۵ سیرک شناسایی شد که بیشترین فراوانی سیرک‌ها در ارتفاعات شمالی و غربی واقع شده است. بر مبنای این بررسی‌ها و بر اساس آثار سیرک‌ها و همچنین روش‌های راییت و پورتر، خط برف مرز و خط تعادل آب و یخ تعیین شد. بر این اساس و با محاسبه مقدار افت آدیاباتیک دما برحسب همبستگی بین دما و ارتفاع و همچنین همبستگی بارش و ارتفاع، ابتدا بر اساس داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، نقشه هم‌دما و هم بارش برای حال حاضر ترسیم شد. به این ترتیب، مقدار تغییرات و آنومالی‌های حرارتی حال حاضر به نسبت پلیستوسن محاسبه و برآورد شد. با توجه به میانگین دمای متوسط سالانه ایستگاه‌های موجود و با در نظر گرفتن دمای گذشته به روش‌های برآورد شده با ارتفاع، آنومالی دما محاسبه گردید. برای بازسازی خط تعادل آب و یخ با توجه به تغییر فرایندهای ژئومورفولوژیکی در منطقه و غلبه بیشتر با فرایند بهترین ابزار استفاده از مورن‌های سرگردان و دره‌های یخچالی در منطقه است. خط تعادل آب و یخ در روش راییت ۱۹۰۰ متر، در روش پورتر (ارتفاع کف سیرک ۲۷۰۰ متر)، (نسبت‌های ارتفاعی ۲۲۰۰ متر) و (نسبت مساحت تجمعی ۲۸۰۰ متر) به دست آمد. به طوری که در مرتفع‌ترین قسمت بیشترین بارش و کمترین دما و در پست‌ترین قسمت کمترین بارش و بیشترین دما حاکم بوده است. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های قربانی شورستانی و همکاران (۱۳۹۵)، جعفری (۱۳۹۲)، جعفری و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت منطقه مطالعاتی در زمان کوتاه‌تر تحت حاکمیت یخچال‌ها بوده است. بازسازی شرایط اقلیمی گذشته می‌تواند ما را در زمینه بررسی تغییرات اقلیمی راهنمایی کند. به‌عنوان مثال سیرک‌ها نه تنها منبع غنی در تأمین ذخایر منابع آبی هستند بلکه شناسایی این عوارض می‌تواند در زمینه جلوگیری از وقوع مخاطرات محیطی مانند بهمین، لغزش و زلزله تأثیرگذار باشد و با شناخت منطقی و دقیق محیط می‌توان در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع تصمیم‌گیری نمود.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) احمدآبادی، علی؛ عمادالدین، فاطمه؛ کیانی، طیبه و فتح‌اله زاده، محمد. (۱۳۹۷). تعیین و بررسی سیرک‌های یخچالی اشترانکوه با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف (NDSI). *هیدروژئومورفولوژی*، ۵ (۱۹)، ۱۸-۱.
- ۲) بیرانوند، حجت‌اله و سیف، عبدالله. (۱۳۹۹). شنا سایی، طبقه‌بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جوپار کرمان.

- پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱ (۴)، ۸۰-۶۳.
- ۳) شمسی پور، علی اکبر؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ جعفری اقدم، مریم و سلیمی منش، جبار. (۱۳۹۴). بازسازی برف‌مرزهای آخرین دوره یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (مطالعه موردی: تاقدیس- قلاجه). *جغرافیا و توسعه*، ۱۳ (۳۹)، ۶۱-۴۰.
- ۴) جعفری، غلامحسین و حضرتی، نسرين. (۱۳۹۸). برآورد ارتفاع برف مرز واحد ژئومورفیک ایران مرکزی. *جغرافیا و توسعه*، ۱۷ (۵۵)، ۱۹۳-۲۱۰.
- ۵) جعفری، غلامحسین و حضرتی، نسرين. (۱۳۹۸). مرز سیستم شکل‌زای یخچال کواترنری در حوضه‌های آبریز شمال غرب ایران. *هیدروژئومورفولوژی*، ۵ (۱۸)، ۹۶-۷۹.
- ۶) جعفری، غلامحسین و حضرتی، نسرين. (۱۳۹۹). تجزیه و تحلیل روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز دائمی یخچال‌های کواترنری در ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳۳، ۲۳۹-۲۶۲.
- ۷) جعفری، غلامحسین و عباسی، مهدی. (۱۳۹۸). بررسی فضایی پادگانه‌های حوضه قزل‌اوزن در ارتباط با تکتونیک و تغییرات آب‌وهوایی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۹ (۳۳)، ۶۱-۷۶.
- ۸) جعفری، غلامحسین. (۱۳۹۲). روش برآورد ارتفاع خط برف مرز دائمی ایران و مقایسه آن با روش رایج. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۴ (۴)، ۱۸۸-۹۹.
- ۹) شریفی نجف‌آبادی، رسول. (۱۳۹۷). شواهد یخچالی و زمین‌ساختی کواترنری پسین در حوضه چشمه لنگان اصفهان. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۳ (۲)، ۲۳۷-۲۲۵.
- ۱۰) صلحی، سینا و سیف، عبدالله. (۱۳۹۷). مورفومتری دره‌های طولی سه‌سند. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۶ (۴)، ۵۳-۶۹.
- ۱۱) قربانی شورستانی، علی؛ خسروی، عذرا و نور محمدی، علی‌محمد. (۱۳۹۵). بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته‌کوه بینالود). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۵ (۱)، ۱۳-۱.
- ۱۲) معیری، مسعود؛ رامشت، محمدحسین؛ تقوایی، مسعود و تقی‌زاده، محمدمهدی. (۱۳۸۷). مورایش یخچالی در حوضه صفاشهر- استان فارس. *مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان*، ۱ (۳۲)، ۱۰۹-۱۳۰.
- ۱۳) ملکی، امجد؛ جباری، ایرج و حسینی، هاشم. (۱۳۹۶). بازسازی قلمروهای مورفودینامیکی بر اساس شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی (مطالعه موردی: کوه‌های چهل چشمه و سارال در استان کردستان). *فصلنامه کواترنری ایران*، ۳ (۲)، ۱۱۷-۱۳۰.
- ۱۴) نظم‌فر، حسین و رحیمی، امید. (۱۳۹۴). بازسازی شرایط اکوژئومورفولوژی دیرینه و عهد حاضر دریاچه زریوار بر اساس ویژگی‌های دیاتومه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۵ (۱۶)، ۱۰۵-۱۱۷.
- ۱۵) نیل فروشان، هانیه و ابراهیمی، بابک. (۱۳۹۶). استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در تعیین محدوده یخچال‌های زرد کوه. *فصلنامه کواترنری ایران*، ۳ (۳)، ۳۱۴-۳۰۱.
- ۱۶) یمانی، مجتبی؛ شم‌سی‌پور، علی‌اکبر و جعفری اقدم، مریم. (۱۳۹۰). بازسازی برف‌مرزهای پلی‌ستو سن در حوضه جاجرود. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۲۵، ۷۶-۵۰.

References

- 1) Ahmedabadi, A., Emaduddin, F., Kiyani, T., & Fathullah Zadeh, M. (2017). Determining and investigating Ashtrankoh glacier cirques using the normalized snow cover level index (NDSI). *Hydrogeomorphology*, 5 (19), 1-18. [In Persian].
- 2) Ahmedabadi, A., Sarkisian, V., & Karam, A. (2017). Identification of Zardkoh glacial cirques with emphasis on geomorphometric features. *Hydrogeomorphology*, 4 (15), 1-16. [In Persian].
- 3) Barr, Matteo. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. *Earth-Science Reviews*, 151, 48-78.
- 4) Biranvand, H., & Saif, A., (2019). Identification, classification, and morphometry of glacial cirques in Jopar heights of Kerman. *Quantitative geomorphological researches*, 8 (4), 63-80. [In Persian].
- 5) Brook, M. S., & Kirkbride, M. P. (2018). Reconstruction and paleoclimatic significance of late Quaternary glaciers in the Tararua Range, North Island, New Zealand. *Quaternary International*, 470, 53-66.

- 6) Engel, Z., Krizek, M., Kasprzak, M., Traczyk, A., Hlozek, M., & Krbcova, K. (2017). Geomorphological and sedimentary evidence of probable glaciation in the Jizersk'e hory Mountains, central Europe. *Geomorphology*, 280, 39-50.
- 7) Ghorbani Shurestani, A., Khosravi, O., & Noor Mohammadi, A. M. (2015). Investigating geomorphological evidence of Quaternary glaciation in the highlands of northeastern Iran (case study: Binaloud mountain range). *Quantitative geomorphology researches*, 5 (1), 1-13. [In Persian].
- 8) Hendrickx, H., Jacob, M., Frank, A., & Nyssen, J. (2015). Glacial and periglacial geomorphology and its paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed geomorphological map. *Geomorphology*, 246, 156-167.
- 9) Iestyn D, B., & Matteo, S. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. *Earth-Science Reviews*, , 151, 7-48.
- 10) Jafari Aghdam, J., & Salimi, M. (2014). Reconstruction of the ice boundaries of the last glacial period with the evidence of glacial periods in the northwestern Zagros (case study: Anticline-Kalajeh). *Geography and Development*, 39, 40-61. [In Persian].
- 11) Jafari, Gholamhasan & Abbasi, Mehdi. (2018). Spatial investigation of barracks in Qezel-Ozen basin to tectonics and climate changes. *Journal of Geographical Survey of Space*, 9 (33), 61-76. [In Persian].
- 12) Jafari, G., & Hazrati, N. (2018). Estimation of the snow height of the border of Central Iran geomorphic unit. *Geography and Development*, 55, 210-193. [In Persian].
- 13) Jafari, Gh., & Hazrati, N. (2018). The boundary of the Quaternary glacier forming system in the watersheds of northwestern Iran. *Hydrogeomorphology*, 5 (18), 96-79. [In Persian].
- 14) Jafari, Gh., & Hazrati, N. (2019). Analysis of methods for estimating the snow height of the permanent border of quaternary glaciers in Iran. *Geography and Environmental Hazards*, 33, 239-262. [In Persian].
- 15) Jafari, Gh. (2012). The method of estimating the height of the snow line of Iran's permanent border and its comparison with Wright's method. *Geography and environmental planning*, 24 (4), 188-99. [In Persian].
- 16) Maleki, A., Jabbari, I., & Hosseini, H. (2016). Reconstruction of morphodynamic territories based on the evidence of glacial and near-glacial geomorphology (case study: Chehl Cheshme and Saral mountains in Kurdistan province). *Iran Quaternary Quarterly*, 3 (2), 117-130. [In Persian].
- 17) Meiri, M., Ramsht, M. H., Tagwayi, M., & Taghizadeh, M. M., (2008). Glacial heritage in Safashehr basin - Fars province. *Isfahan University Research Journal*, 1 (32), 109-130. [In Persian].
- 18) Nazm Far, H., & Rahimi, O. (2014). Reconstruction of past and present ecogeomorphological conditions of Zarivar Lake based on the characteristics of diatoms and satellite images. *Journal of Geographical Survey of Space*, 5(16), 105-117. [In Persian].
- 19) Neel Foroshan, H., & Ebrahimi, B. (2016). Use of remote sensing data in determining the range of Zard Kouh glaciers. *Iran Quaternary Quarterly*, 3 (3), 301-314. [In Persian].
- 20) Palma, P., Oliva, M., & García-Hernández, C. (2017). Spatial characterization of glacial and periglacial landforms in the highlands of Sierra Nevada (Spain). *Science of The Total Environment*, 585, 1256-1267.
- 21) Porter, S. C. (2001). Snowline Depression in the Tropics during the Last Glaciations. *Quaternary Science Reviews*, 20, 117-131.
- 22) Serrano, E., González-Trueba, J. J., Pellitero, R., & González-García, M. (2013). Quaternary glacial evolution in the Central Cantabrian Mountains (northern Spain). *Geomorphology*, 196, 65-82.
- 23) Sharifi Najafabadi, R. (2017). Late Quaternary glacial and tectonic evidence in the Langan spring basin of Isfahan. *Geographical Research Quarterly*, 33 (2), 225-237. [In Persian].
- 24) Solhi, S., & Seif, A. (2017). Morphometry of the longitudinal valleys of Sahand. *Quantitative geomorphology research*, 6 (4), 53-69. [In Persian].
- 25) Yamani, M., Shamsipour, A. A., & Jafari Aghdam, M. (2011). Snow reconstruction of Pleistocene boundaries in Jajrud basin. *Natural Geography Research*, 35, 76-50. [In Persian].