Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2026, Vol. 16(1): 201 - 218

Research Article

Late Quaternary glacial margin reconstruction in Alborz mountains at heights using the Cirque Lake Method by Lewis and Hofer

Abdollah Seif [1]*, Rahman Zandi[2], Pari Shahzaidi[3]

1-Associate Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran
2-Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran
3-PhD Candidate in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Keywords: *Alvand Highlands, Equilibrium Line Altitude (ELA), Quaternary Glaciation, Geomorphology, Snowline, Quantitative Reconstruction.*

1. Introduction

The Alvand Mountains, located in northwestern Iran, represent a significant glacial region within the Zagros Mountain range, renowned for its extensive glacial landforms indicative of past ice cover. These landforms, including cirques, moraines, valleys, and glacial deposits, provide valuable insights into the paleoclimate conditions and glacial dynamics during the Quaternary period. The Quaternary period, spanning approximately the last 2.58 million years, has been characterized by significant climate fluctuations, including multiple glacial-interglacial cycles. The Late Quaternary, in particular, witnessed the growth and retreat of extensive ice sheets and valley glaciers, profoundly shaping the topography of mountain regions worldwide (Aghanbati,2014).

The study of past glacial environments relies heavily on the analysis of glacial landforms and the reconstruction of the Equilibrium Line Altitude (ELA). The ELA represents the elevation above which snow accumulates throughout the year, and below which snow melts completely. The ELA is a critical indicator of past climatic conditions, reflecting the balance between snow accumulation and ablation (melting and evaporation). Reconstructing past ELAs involves the application of various geomorphological methods, each with its own strengths and limitations (Seif and Ebrahimi, 2014).

This study focuses on reconstructing the Late Quaternary snowline in the Alvand Highlands utilizing three widely accepted methods: The Cirque Floor Altitude (CFA) method, the Louis method, and the Höfer method. The CFA method relies on the average elevation of the cirque floor, assuming it represents the altitude at which ice accumulation was balanced by ablation. The Louis method utilizes the geometric properties of the cirque, specifically the ratio of the cirque floor elevation to the maximum cirque height, to estimate the ELA. The Höfer method considers the slope of the cirque headwall and the altitude of the cirque floor to derive a more refined estimate of the ELA (Seif and Ebrahimi, 2016).

The objective of this research is to provide a comprehensive reconstruction of the Late Quaternary ELA in the Alvand Highlands, highlighting the spatial variations in glacial activity and their relationship to topographic and climatic factors. The findings will contribute to a better understanding of the regional glacial history and provide valuable data for paleoclimatic reconstructions and landscape evolution studies. Furthermore, the study's results have implications for water resource management, geological hazard assessment, and the development of sustainable tourism practices in the Alvand region.

* Corresponding author: *a.seif@geo.ui.ac.ir*
DOI: 10.22055/aag.2026.51436.2559
Received: 2026-01-16
Accepted: 2026-05-19

ISSN: 2717-0764

2. Material and Methods

2.1 Study Area

The study area encompasses the Alvand Mountains, located in northwestern Iran. The Alvand range is characterized by steep, rugged terrain, with elevations ranging from approximately 1600 meters to 3574 meters. The area is predominantly composed of metamorphic rocks, including schist and gneiss, and exhibits a complex geological structure that has influenced the distribution and development of glacial landforms. The study focused on the northern and southern slopes of the Alvand Mountains, specifically the Abbas-Abad basin (northern slope) and the Sarkan basin (southern slope).

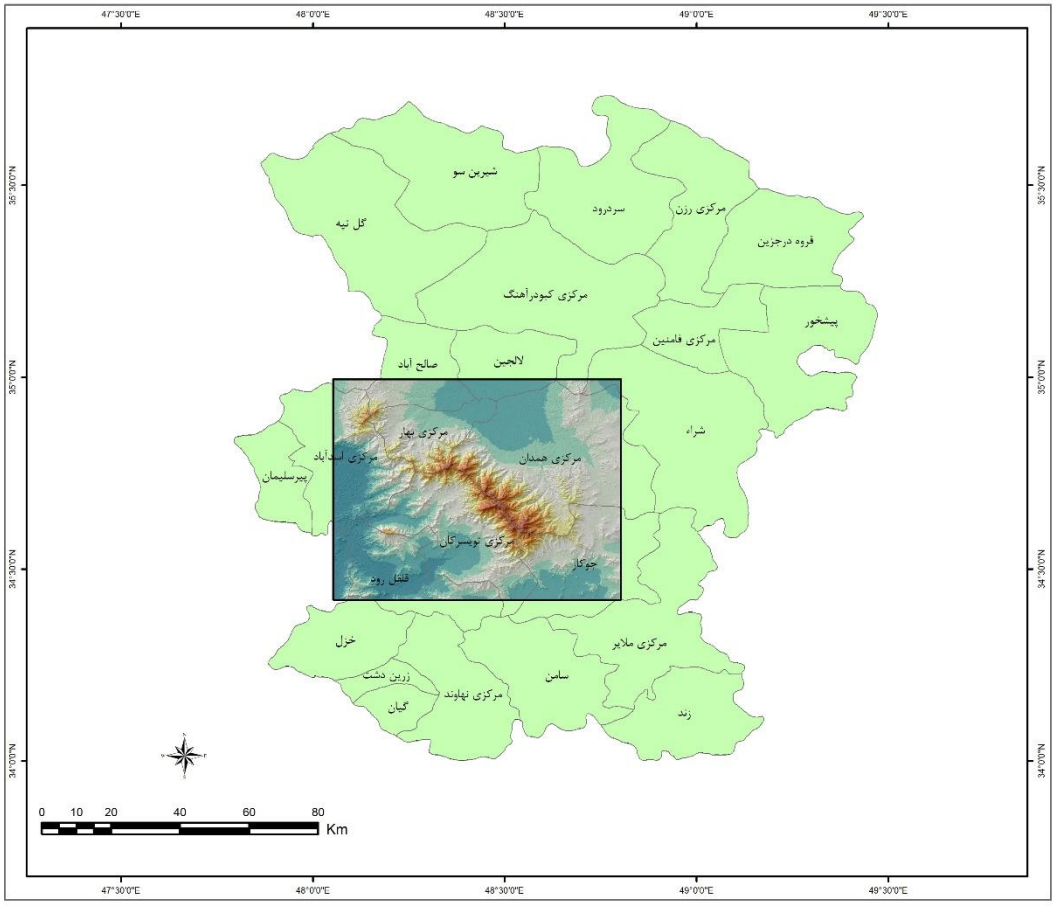


Figure 1 - Study Area Boundary in Hamadan Province.

2.2 Data Acquisition

The study utilized a variety of data sources to reconstruct the past snowline. These included:

Digital Elevation Model (DEM): A high-resolution DEM was obtained to create a detailed topographic map of the study area. The DEM served as the foundation for topographic analysis and the generation of slope and aspect maps.

Satellite Imagery: High-resolution satellite imagery was used for the identification and mapping of glacial landforms, such as cirques, moraines, and valley glaciers.

Geological Map: A geological map of the Alvand Mountains was used to understand the underlying lithology and structural controls on glacial distribution.

2.3 Glacial Landform Mapping

Detailed mapping of glacial landforms was conducted using both field observations and satellite imagery analysis. Cirques were identified based on their characteristic amphitheater shape and steep headwalls.

ISSN: 2717-0764
CC BY

Moraines (lateral and terminal) were mapped as accumulations of unsorted glacial debris. Down-valley ice-marginal deposits were identified as areas of glacial till and outwash. The spatial distribution of these landforms was analyzed to assess the extent and orientation of past glaciers. 26 cirques were identified in the Abbas-Abad basin and 21 in the Sarkan basin.

3. Results and Discussions

3.1 Glacial Landform Distribution

The glacial landforms observed in the Alvand Mountains demonstrate a distinct spatial pattern, with higher concentrations of glacial features in the northern slope (Abbas-Abad basin) compared to the southern slope (Sarkan basin). This difference may be attributed to variations in topographic relief, aspect, and slope angle. The Abbas-Abad basin, with its steeper slopes and higher elevation, experienced more extensive glaciation than the Sarkan basin. The distribution of cirques and moraines generally follows the flow of water and ice, with the most extensive glacial activity occurring in the higher elevations.

3.2 ELA Reconstruction Results

The results of the ELA reconstruction using the three methods are summarized in Table 1:

Basin	Method	Average ELA (m)
Abbas-Abad	CFA	2821
Abbas-Abad	Louis	2713
Abbas-Abad	Höfer	2721
Sarkan	CFA	2956
Sarkan	Louis	2798
Sarkan	Höfer	2772

As evident from the table, the ELA values obtained using the three methods are relatively consistent, with slight variations observed due to the inherent uncertainties in each method. The CFA method yielded the highest ELA values, while the Louis and Höfer methods resulted in lower estimates. The discrepancies may be attributed to differences in the assumptions made by each method and the influence of local topographic variations on glacial ice distribution (Seif and Bazvand, 2018).

3.3 Discussion

The reconstructed Late Quaternary ELA values suggest that the Alvand Mountains experienced significant glaciation during the Pleistocene epoch. The observed variations in ELA between the northern and southern slopes reflect the influence of topographic and climatic factors. The higher ELA in the Sarkan basin compared to the Abbas-Abad basin may be related to lower elevations and a more humid climate in the south (Seif and Ebrahimi 2017).

The results are consistent with other studies of Quaternary glaciation in the Zagros Mountains, which have documented similar patterns of glacial distribution and ELA variations. The observed differences in ELA between the northern and southern slopes may also reflect variations in the timing and intensity of glacial advances and retreats. The fluctuations in ELA during the Late Quaternary were likely driven by variations in global climate, including changes in solar radiation, greenhouse gas concentrations, and orbital parameters.

4. Conclusion

This study successfully reconstructed the Late Quaternary snowline in the Alvand Highlands using the Cirque Floor Altitude, Louis, and Höfer methods. The results reveal significant glacial activity during the Pleistocene epoch, with variations in ELA observed between the northern and southern slopes. These variations are likely related to topographic and climatic factors. The findings contribute to a better understanding of the regional glacial history and provide valuable data for paleoclimate reconstructions and

ISSN: 2717-0764
CC BY

landscape evolution studies. The study highlights the importance of integrating geomorphological evidence with quantitative methods for reconstructing past glacial environments.

5. References

Aghanbati, Seyed Ali, Geology of Iran, Samr Publications, First Edition, 2014.

Seif, A., Bazvand, A., 2018. Investigation of Glacial Effects and the Permanent Snow Lines on the Southern Slopes of the Hamadan Alvand Kuh. Journal of Geoscience and Environment Protection 6, 120-142, ISSN Print: 2327-4336.

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, 236-249.

Seif, A., Ebrahimi, B., 2016. Equilibrium-Line Altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran. Geopersia 6 (2), 2016, 299-322.

Seif, A., Ebrahimi, B., 2017. Morphometric Properties of Glacial Cirques in Zagros Mountain, Iran, Geopersia 7 (1), 2017, 131-151.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Seif, A., Zandi, R., Shahzaidi, P,. 2026. Late Quaternary glacial margin reconstruction in Alborz mountains at heights using the Cirque Lake Method by Lewis and Hofer. Adv. Appl. Geol. 16 (1), 201-218.
DOI: 10.22055/aag.2026.51436.2559
https://aag.scu.ac.ir/article_20745.html

©2026 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

بازسازی مرزبرف های کواترنری پایانی در ارتفاعات الوند با روش های کف سیرک، لویس و هوفر

عبدالله سیف
گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان،ایران
رحمان زندی
گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
پری شاه زیدی
گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
A.seif@geo.ui.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۹

چکیده
ارتفاعات الوند همدان یکی ازقلمروهای یخچالی کواترنری ایران محسوب می‌شود که شواهد ژئومورفیک یخچالی متعددی در دامنه‌های شمالی و جنوبی آن برجای مانده است. هدف این پژوهش، بازسازی ارتفاع مرز برف‌های دائمی(ELA) گذشته در کواترنر پایانی با استفاده از شواهد ژئومورفیک و روش‌های کف سیرک ،هوفر ولوییس می باشد. بدین منظور، کلیه حوضه‌های یخچالی دامنه‌های شمالی و جنوبی پیکره الوند تفکیک و دو زیر حوضه عباس‌آباد (شمالی) و سرکان (جنوبی) به‌عنوان حوضه های منتخب جهت بازسازی انتخاب شدند. در مرحله نخست، لندفرم‌های یخچالی شامل سیرک‌ها، مورن‌های انتهایی و دره های یخچالی شناسایی و مورد پیمایش میدانی قرار گرفتند. در مجموع، ۲۶ سیرک یخچالی در حوضه عباس‌آباد و ۲۱ سیرک در حوضه یخچالی سرکان تشخیص داده شد. سپس با بهره‌گیری از داده‌های رقومی ارتفاعی (DEM) و ترسیم انواع لایه های ژئومورفیک یخچالی در محیط GIS، پایگاه‌داده مکانی پژوهش تهیه گردید. سپس نقشه‌های ژئومورفولوژی یخچالی دو زیر حوضه تهیه گردید وارتفاع مرز برف‌های گذشته با استفاده از روش کف سیرک (CFA)، هوفر و لوئیز محاسبه شد. نتایج روش کف سیرک نشان داد که میانگین ارتفاع کف سیرک‌ها در حوضه عباس‌آباد ۲۸۲۱ متر و در حوضه سرکان ۲۹۵۶ متر است. همچنین، ارتفاع ELA بازسازی‌شده در حوضه شمالی به کمک روش‌های هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۷۲۱ و ۲۷۱۳ متر و در حوضه جنوبی به ترتیب ۲۷۷۲ و ۲۷۹۸ متر برآورد گردید. اختلاف ارتفاع ELA بین دامنه‌های شمالی و جنوبی الوند، حاکی از تأثیر جهت دامنه، شرایط توپوگرافی و تفاوت‌های اقلیمی محلی بر الگوی یخچال‌زایی در کواترنر پایانی است.

واژه های کلیدی: ارتفاعات الوند، ارتفاع خط تعادل ELA، خط برف، زاگرس، کواترنرپایانی، لندفرم‌های یخچالی

۱-مقدمه
ژئومورفولوژی به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین شاخه‌های جغرافیای طبیعی، به مطالعه اشکال سطح زمین، منشأ پیدایش آن‌ها و فرایندهایی می‌پردازد که در گذشته و حال مسئول شکل‌دهی سیمای زمین بوده‌اند. در میان عوامل مؤثر بر تحول لندفرم‌ها، اقلیم نقشی اساسی ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که ماهیت و شدت فرایندهای شکل‌زای بیرونی همواره تابع شرایط اقلیمی حاکم بر هر دوره زمانی بوده است. شواهد اقلیمی برجای‌مانده در نواحی مختلف جهان نشان می‌دهد که در طول دوره کواترنری، اقلیم زمین به‌طور مکرر دستخوش نوسانات شدید شده و همین امر سبب تغییرات بنیادین در سامانه‌های ژئومورفولوژیکی گردیده است (Jafari et al., 2016). اگرچه بسیاری از آثار مورفولوژیکی دوره‌های اقلیمی بسیار کهن از میان رفته یا به‌صورت فسیل درآمده‌اند، اما تحولات اقلیمی کواترنری به‌دلیل تازگی نسبی و تأثیر مستقیم بر محیط کنونی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

دوره کواترنری جدیدترین و کوتاه‌ترین دوره زمین‌شناسی است که حدود دو میلیون سال اخیر تاریخ زمین را دربرمی‌گیرد و به دو زیردوره پلئیستوسن و هولوسن تقسیم می‌شود. ویژگی بارز این دوره، نوسانات شدید و متناوب اقلیمی و وقوع دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی متعدد از یک‌سو، و ظهور و گسترش انسان از سوی دیگر است (Jafari et al., 2017). این تحولات اقلیمی عمدتاً ناشی از نوسانات بلندمدت دما در مقیاس جهانی بوده‌اند که تحت تأثیر عوامل طبیعی متعددی نظیر تغییرات

پارامترهای مداری زمین، فعالیت‌های تکتونیکی و آتشفشانی، کوه‌زایی، تغییرات میدان مغناطیسی زمین و برهم‌کنش سامانه زمین–اقیانوس–جو رخ داده‌اند. تغییرپذیری طبیعی اقلیم، چه در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت و چه در مقیاس‌های بلندمدت، از ویژگی‌های ذاتی سامانه اقلیمی زمین به‌شمار می‌رود (Azizi and Davoudi., 2019).

کواترنر پایانی عمدتاً با دوره بین‌یخچالی هولوسن متناظر است. هولوسن که حدود ۱۱ هزار سال گذشته را شامل می‌شود، به‌طور سنتی دوره‌ای نسبتاً گرم و باثبات در نظر گرفته می‌شد، اما مطالعات اخیر نشان داده‌اند که اقلیم این دوره نیز از نوسانات کوتاه‌مدت متعدد و بعضاً شدید برخوردار بوده است. هرچند دامنه این نوسانات در مقایسه با دوره‌های یخچالی پلئیستوسن محدودتر بوده، اما تأثیر آن‌ها بر سامانه‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی چشمگیر است (Azizi and Davoudi., 2019). شواهد موجود بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی هولوسن در مقیاس جهانی رخ داده، هرچند زمان‌بندی و شدت آن‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی یکسان نبوده است.

ایران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط توپوگرافیک پیچیده و پراکنش ناموزون ناهمواری‌ها، در طول کواترنر از الگوهای اقلیمی متنوع و گاه متضادی برخوردار بوده است. شواهد نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از کشور، به‌ویژه نواحی کوهستانی، سیستم‌های یخچالی در دوره‌های سرد گسترش یافته و آثار مورفولوژیکی ارزشمندی را برجای گذاشته‌اند (Jafari et al., 2018). در این میان، بررسی شواهد یخچالی ازجمله سیرک‌ها، دره‌های یخچالی، سنگ‌های سرگردان و نهشته‌های تراکمی، امکان بازسازی شرایط اقلیمی گذشته و درک بهتر تحولات محیطی را فراهم می‌آورد. یخچال‌ها به‌عنوان یکی از مستقیم‌ترین و روشن‌ترین شاخص‌های تغییرات اقلیمی، نقش مهمی در تفسیر اقلیم دیرینه ایفا می‌کنند و بررسی مراحل تحول آن‌ها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره نوسانات دما و بارش در دوره‌های گذشته ارائه دهد (Seif., 2015).

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در مطالعات یخچال‌شناسی، ارتفاع خط تعادل (ELA) است. این پارامترها بیانگر موازنه میان ناحیه انباشت و ناحیه ذوب یخچال بوده و تحت تأثیر عوامل متعددی همچون دما، بارندگی، جهت ناهمواری وجهت و شیب دامنه‌ها، لیتولوژی و شرایط عناصر اقلیمی تغییر می‌کنند (Seif et al., 2016). لذا، برآورد دقیق ارتفاع ELA در دوره‌های یخچالی و مقایسه آن با شرایط امروزی، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیمی کواترنر به‌شمار می‌رود.

در ناحیه کوهستانی الوند، شواهد متعدد ژئومورفویک یخچالی از عملکرد سیستم‌های یخچالی در دوره کواترنری حکایت دارد. وجود سیرک‌ها و دره‌های یخچالی در ارتفاعات بالای ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر و حضور یخرفت های انتهایی در دره های الوند، نشان‌دهنده پیشروی زبانه‌های یخچالی تا ارتفاعات پایین‌تر در دوره‌های سرد کواترنری است.

اهمیت بررسی این شواهد صرفاً به بازسازی اقلیم گذشته محدود نمی‌شود، بلکه از منظر مدیریت منابع طبیعی، برنامه‌ریزی محیطی و تأمین منابع آب نیز حائز اهمیت فراوان است. بخش قابل‌توجهی از منابع آب شیرین ایران به ذوب برف و یخچال‌های کوهستانی وابسته است و شناخت روند تحولات یخچالی در گذشته می‌تواند در تفسیر وضعیت کنونی و آینده این منابع نقش مؤثری ایفا کند (Seif and Biranvand., 2021). افزون بر این، بیشتر فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی، شهرسازی و توسعه زیرساخت‌ها بر سازندهای کواترنری استوار شده‌اند و درک دقیق تحولات ژئومورفولوژیکی این دوره، برای کاهش مخاطرات طبیعی و بهره‌برداری پایدار از سرزمین ضروری است (Moghimi et al., 2014).

Seif و Biranvand (۲۰۲۴) خط مرزبرف را با روش‌های لوئیز و هوفر و روش ارتفاع کف سیرک پورتر بازسازی کرده‌اند و ارتفاع خط تعادل در ارتفاعات جنوبی ایران مرکزی بازسازی شده است و ارتفاع خط تعادل در ارتفاعات جنوبی ایران مرکزی ۴۶۲۹ است و در بین این واحدهای کوهستانی بالاترین خط تعادل ارتفاع آن به روش لوییز ۴۰۶۳ متر و به روش هوفر در ارتفاع ۳۸۷۵ متر می‌باشد بالاترین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی زیرحوضه یخچالی در ارتفاعات پلوار با ارتفاع ۲/۳۷۰۳ متر و کمترین ارتفاع کف سیرک در زیر حوضه یخچالی فرق در ارتفاع جبال بارز ۲۹۱۲ متر است. تاکنون در ارتفاعات الوند و پیرامون ان ازجمله ارتفاعات گرین و اشتران کوه مطالعات متعددی صورت‌گرفته است. Jafari و همکاران (۲۰۲۶) با استفاده از روش رایت به نتایج زیر دست یافته‌اند: برای استفاده از روش رایت، ابتدا زیرحوضه‌های دامنه شمال شرقی و جنوب غربی الوند تـفکیک گردید. پس از مشخص‌کردن و شمارش سیرک‌های منطقه از روی فرم خطوط منحنی میزان و

مرتب‌کردن آن‌ها به‌صورت نزولی، ارتفاعی که ۶۰٪ سیرک‌ها بالاتر از آن بودند به‌عنوان ارتفاع برف مرز دائمی گذشته در نظر گرفته شد. ارتفاع خط برف مرز از این روش در کل منطقه ۲۲۹۴ متر برآورد گردید. Seif و Biranvand (۲۰۲۱) با بکارگیری روش‌های کوهله، هوفر و لویس، ارتفاع مرزبرف دائمی دامنه‌های جنوبی الوند را با استناد بر مشاهدات میدانی شواهد ژئومورفیک یخچالی محاسبه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد ارتفاع مرزبرف‌های گذشته در دامنه‌های جنوبی الوند با روش کوهله۲۶۱۷ متر، با روش هوفر۲۶۰۳ متر و با روش لویس ۲۷۷۷متر می‌باشد. Seif (۲۰۱۵) ارتفاع خط تعادل یخچال-های کواترنری اشترانکوه واقع در زاگرس میانی را با استناد بر مشاهدات میدانی و شواهد ژئومورفیک یخچالی و با استفاده از روش‌های کوهله، هوفر، لویس و کف سیرک محاسبه نمود. پایین‌ترین رقوم ارتفاعی زبانه‌ها در دره‌های یخچالی در دره‌های گل‌گل و دره تخت به ترتیب ۲۴۰۰ تا ۲۴۴۰ متر قابل مشاهده می‌باشند. این محقق یخچال‌شناس با استناد بر روش کوهله ارتفاع خط تعادل در اثنای حداکثر گسترش یخچالی ۳۰۹۰ متر برای(دره گل‌گل) و ۳۰۶۷ متر (دره تخت)، و با روش هوفر ۳۰۲۵ (دره گل‌گل) و ۲۹۶۲ (دره تخت) و نیز با روش لویس ۳۲۶۱ متر (دره گل‌گل) و ۳۱۵۴ (دره تخت) محاسبه و برآورد نمود. همچنین بکارگیری روش کف سیرک نشان داد که ارتفاع میانگین مرزبرف‌های کواترنری دره گل‌گل ۳۵۰۰ متر و دره تخت ۳۴۰۰ متر می‌باشد. مرزبرف حال حاضر اشترانکوه با روش لی و همکاران ۴۵۰۰ مترمحاسبه گردید و میزان افت ارتفاع مرزبرف ارتفاعات اشترانکوه متعلق به حداکثر پیشروی یخبندان ۱۳۸۰ متر برآورد گردید. Seif و Biranvand (۲۰۲۴) در پژوهشی، به بازسازی ارتفاع مرز برف‌های (ELA) کواترنر پایانی در ارتفاعات گرین واقع در زاگرس میانی پرداختند. جهت محاسبات بازسازی ELA گذشته، ۹ حوضه یخچالی که ۶ حوضه آن در دامنه‌های شمالی، به نام‌های گاچال، تازناب، گاماسیاب، کولیدر، سهران و حوضه ونایی و ۳ زیر حوضه یخچالی در دامنه‌های جنوبی به نام‌های آبسرده، ورخاش و حوضه کهمان انتخاب گردید.

نتایج محاسبات بازسازی ارتفاع مرز برف‌های گذشته بر مبنای پایین‌ترین رقوم مورن‌های انتهایی و به کارگیری روش هوفر و لویز در حوضه‌های منتخب دامنه‌های شمالی ارتفاعات گرین به ترتیب عبارتند از: در حوضه گاچال با استفاده از روش هوفر ۲۶۱۰ متر و روش لویز ۲۷۰۰ متر، در حوضه تازناب با استفاده از روش هوفر ۲۵۱۱ متر و روش لویز ۲۶۳۶ متر، در حوضه گاماسیاب با استفاده از روش هوفر ۲۶۷۳ متر و روش لویز ۲۷۵۲ متر، در حوضه سهران با استفاده از روش هوفر ۲۷۶۴ متر و روش لویز ۲۸۲۰ متر، در حوضه ونایی با استفاده از روش هوفر ۲۱۰۰ متر و روش لویز ۲۷۹۱ متر، در حوضه کولیدر با استفاده از روش هوفر ۲۷۹۸ متر و و روش لویز ۲۸۱۴ متر برآورد گردید. همچنین ارتفاع میانگین مجموع مرز برف‌های واقع در دامنه‌های شمالی با روش هوفر و لویز به ترتیب ۲۵۳۱ متر و ۲۷۳۹ متر برآورد گردید.

نتایج محاسبات در حوضه‌های منتخب دامنه‌های جنوبی گرین عبارتند از: در حوضه‌آبسرده با استفاده از روش هوفر ۲۹۴۶متر و روش لویز ۳۰۳۶ متر، در حوضه ورخاش با استفاده از روش هوفر ۲۷۸۶ متر و روش لویز ۲۸۱۷ متر و در حوضه کهمان با استفاده از روش هوفر ۲۶۵۲ متر و روش لویز ۲۸۴۷ متر برآورد گردید. ارتفاع میانگین مجموع مرز برف‌های واقع در دامنه‌های جنوبی این ارتفاعات با روش هوفر و لویز به ترتیب ۲۷۹۵ متر و ۲۸۴۷ متر برآورد گردیده است.

نتایج این پژوهش نشان داد که در استیلای دوره‌های سرد کواترنری دامنه‌های شمالی ارتفاعات گرین از شدت یخچال‌زایی بیشتری برخوردار بوده است و غنی از شواهد ژئومورفیک یخچالی از جمله یخرفت‌ها و سیرک‌های یخچالی می‌باشد.

-بازسازی ارتفاع خط تعادل ELA در حوضه های یخچالی منتخب الوند

-بازسازی کمی ارتفاع مرز برف‌های کواترنر پایانی در الوند با ترکیب هم‌زمان سه روش کلاسیک (CFA، هوفر و لوئیز) برای اولین‌بارانجام شد.

-مقایسه ELA محاسباتی بین حوضه های منتخب شمالی و جنوبی الوند و تبیین نقش جهت دامنه

-تولید پایگاه‌داده دقیق GIS از لندفرم‌های یخچالی الوند به‌عنوان مبنایی برای مطالعات اقلیمی–ژئومورفیک آینده

-ارائه شواهد ژئومورفیک گذشته جهت درک دقیق تر تغییرات اقلیمی کواترنر پایانی ایران

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تحلیل شواهد یخچالی کواترنری در ناحیه کوهستانی الوند و برآورد ارتفاع مرز برف دیرینه انجام شده است. بازسازی این شاخص اقلیمی، امکان ارزیابی شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه در

دوره‌های یخچالی را فراهم کرده و می‌تواند به درک دقیق‌تری از روند تغییرات اقلیمی کواترنر و پیامدهای آن در نواحی کوهستانی غرب ایران منجر شود.

۱-۱-نوآوری‌ها و مشارکت‌های پژوهش

-بازسازی کمی ارتفاع مرز برف‌های کواترنر پایانی در الوند با ترکیب هم‌زمان سه روش کلاسیک (CFA، هوفر و لوئیز) برای اولین‌بار

-مقایسه نظام‌مند ELA بین دامنه‌های شمالی و جنوبی زاگرس مرکزی و تبیین نقش جهت دامنه

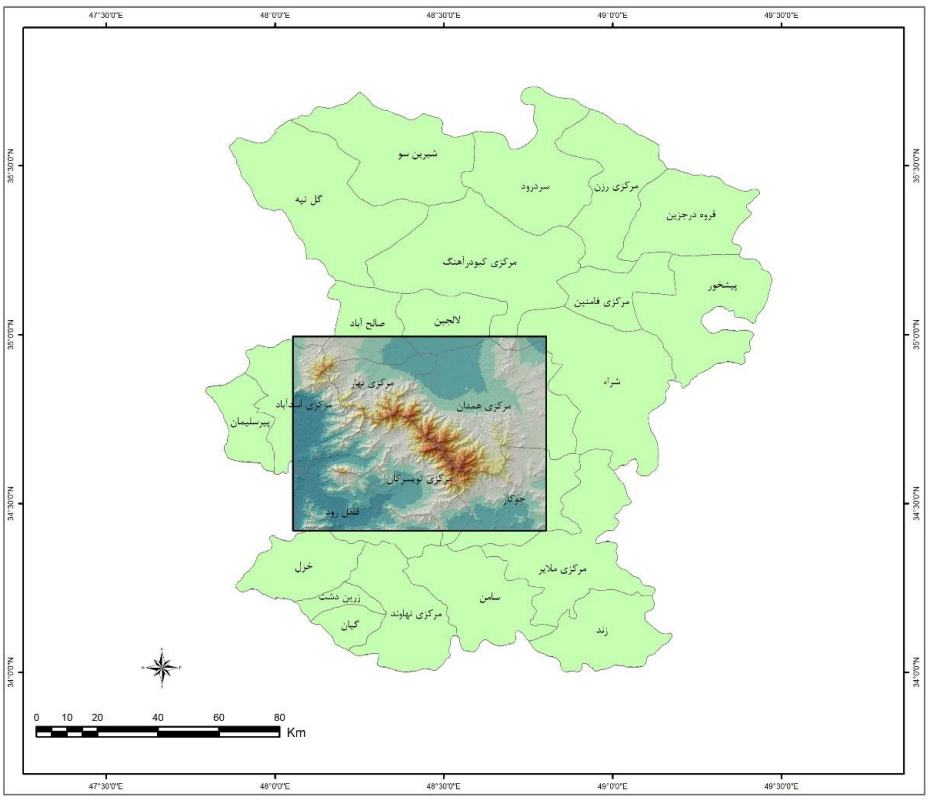
-تولید پایگاه‌داده دقیق GIS از لندفرم‌های یخچالی الوند به‌عنوان مبنایی برای مطالعات اقلیمی–ژئومورفیک آینده

-ارائه شواهد کمی جدید برای درک تغییرات اقلیمی کواترنر پایانی در غرب ایران

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تحلیل شواهد یخچالی کواترنری در ناحیه کوهستانی الوند و برآورد خط تعادل آب و یخ دیرینه انجام شده است. بازسازی این شاخص اقلیمی، امکان ارزیابی شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه در دوره‌های یخچالی را فراهم کرده و می‌تواند به درک دقیق‌تری از روند تغییرات اقلیمی کواترنر و پیامدهای آن در نواحی کوهستانی غرب ایران منجر شود.

۲-قلمرور مورد پژوهش

استان همدان با وسعت ۱۹۴۹۳ کیلومترمربع از شمال به استان زنجان و قزوین، از جنوب به استان لرستان، از مشرق به استان مرکزی و از مغرب به استان‌های کرمانشاه و کردستان محدود می‌شود و بین مدارهای (۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه) تا (۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه) عرض شمالی از خط استوا و (۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه) تا (۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه) طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است و بر اساس گزارش آماری عناصر و واحدهای تقسیماتی جمهوری اسلامی ایران (تاریخ گزارش۱۴۰۰/۷/۱۱) گرفته شده از پرتال خبری وزارت کشور شامل ۱۰ شهرستان،۳۲ شهر، ۲۶ بخش، ۷۵ دهستان و ۱۲۰۳ روستاست. قله الوند در۳۴/۶۶ درجه شمالی و ۴۸/۴۸ طول شرقی با ارتفاع ۳۵۷۴ متر از سطح دریا، بلندترین قله استان همدان است که خط‌الرأس آن حد طبیعی بین تویسرکان و همدان است. منطقه موردمطالعه که کوه الوند را در برمی‌گیرد، از ۳۴ درجه و ۵۹ دقیقه و ۴۸ ثانیه عرض شمالی تا ۴۸ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی گسترش یافته است (شکل۱).



شکل ۱-محدوده مطالعاتی در استان همدان

Figure 1 - Study Area Boundary in Hamadan Province.

۳-روش تحقیق

۳-۱-داده‌ها و منابع اطلاعاتی

در این پژوهش از ترکیب داده‌های میدانی، مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا استفاده شد. مدل رقومی ارتفاع برای استخراج پارامترهای ارتفاع، قلل، ابراهه، شیب و جهت دامنه‌ها به‌کار رفت و تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه برای شناسایی و ترسیم مرز سیرک‌های یخچالی و کنترل اولیه اشکال ژئومورفولوژیکی مورد استفاده قرار گرفت. بازدیدهای میدانی به‌منظورشناسایی و اعتبارسنجی لندفرم‌های یخچالی توسط Seif و Ebrahimi (۲۰۱۴)، Seif (۲۰۱۵) و Seif و Bazvand (۲۰۱۶) در بازه‌های زمانی مختلف انجام گردید.

۳-۲-شناسایی سیرک‌های یخچالی

سیرک‌های یخچالی بر اساس معیارهای مورفولوژیکی و روش سیف وابراهیمی شناسایی شدند. تنها سیرک‌هایی در تحلیل وارد شدند که شواهد واضح یخچالی داشته و کمترین میزان تأثیرپذیری از فرایندهای دامنه‌ای، فرسایش رودخانه‌ای یا دگریختی‌های انسانی را نشان می‌دادند. سیرک‌های تخریب‌شده یا چندمرحله‌ای به‌منظور کاهش عدم قطعیت از تحلیل حذف شدند.

با استفاده از یخرفت های پایانی ارتفاع خط برف مرز دائمی با استفاده از روش لویز، هوفر بازسازی گردیده است. (Hofer., 1879) با محاسبه میانگین حسابی (ریاضی) ارتفاع پاشنه یخچال و میانگین حداکثر ارتفاع دیواره بالایی یخچال را به عنوان ELA در نظر گرفت. لویز (۱۹۵۵) توصیه کرد که متوسط ریاضی ارتفاع بالاترین قله به مورن انتهایی به عنوان ELA در نظر گرفته شود. بر این اساس، این روش را روش پاشنه به قله (Toe to summit altitude method) TSAM نیز نامیده‌اند. همچنین با استفاده و روش ارتفاع کف سیرک پورتر میزان ELA گذشته در محدوده سیرک های یخچالی بازسازی گردید. برای محاسبهٔ ELA در روش ارتفاع کف سیرک پورتر از نما برای داده‌های طبقه بندی استفاده شده است ارتفاع کف سیرک با توجه به کمترین ارتفاع نقطه کف سیرک‌ها اندازه‌گیری می شود.

$$\mathbf{M = L + \frac{d1}{d1+d2} \times h}$$

در این رابطه نما یا مد برای داده های طبقه بندی شده به کار می رود که در آن L حد پایین رده نمادار، ۱ dتفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار از رده نمادار، ۲ d تفاضل فراوانی رده ما بعد رده نمادار از رده نمادار، و h فاصله رده‌هاست. تحلیل جهت دامنه و الگوی مکانی

به‌منظور بررسی اثر جهت دامنه بر تغییرات مرز برف، مقادیر ELA برای سیرک‌های با جهات مختلف (شمالی، جنوبی، شرقی و غربی) مقایسه شدند. این تحلیل امکان ارزیابی نقش تابش خورشیدی و شرایط اقلیمی محلی بر اختلاف ارتفاع مرز برف را فراهم ساخت. پراکنش مکانی مقادیر ELA در محیط GIS تحلیل و نقشه مرز برف دیرینه منطقه ترسیم شد.

۳-۳-ارزیابی عدم قطعیت

عدم قطعیت در بازسازی مرز برف ناشی از تفکیک مکانی DEM، تغییرات پس‌یخچالی سیرک‌ها و مفروضات ذاتی هر روش است. برای کاهش این عدم‌قطعیت، سه روش مستقل به‌طور هم‌زمان به‌کار گرفته شدند و میانگین نتایج آن‌ها به‌عنوان مقدار نهایی ELA پیشنهاد شد. انحراف معیار مقادیر به‌دست‌آمده به‌عنوان شاخصی از میزان عدم‌قطعیت در نظر گرفته شد.

۳-۴-تفسیر اقلیمی

مرز برف بازسازی‌شده کواترنری پایانی با مرز برف کنونی منطقه مقایسه شد تا برآوردی نسبی از تغییرات دمایی و بارشی در دوره‌های سرد فراهم شود. اگرچه بازسازی کمّی دقیق پارامترهای اقلیمی از حیطه این پژوهش خارج است، اختلاف ارتفاع ELA دیرینه و کنونی به‌عنوان شاخصی معنادار از شدت تغییرات اقلیمی در ارتفاعات الوند مورد تفسیر قرار گرفت.



شکل۲- مراحل انجام پژوهش
Figure 2 - Research Process Stages

۴-بحث و تفسیر نتایج

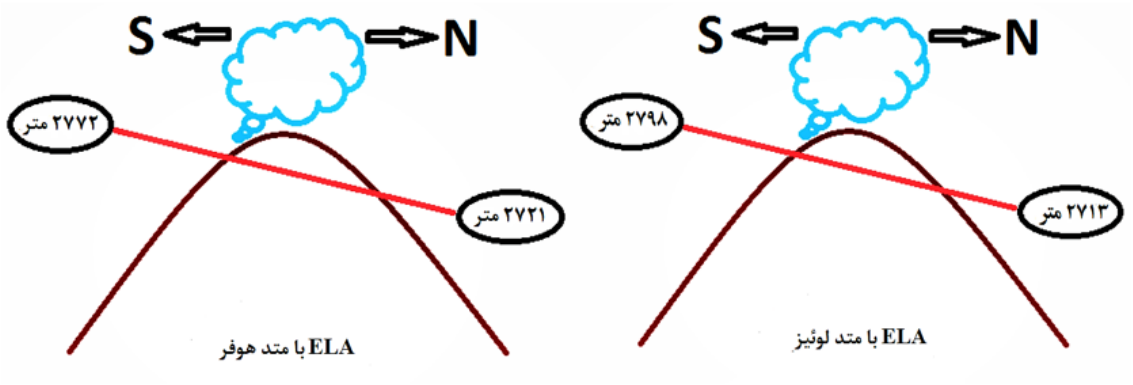
ارتفاعات الوند یکی از قلمروهای یخچالی کواترنری ایران است و قلل و حوضه‌های یخچالی متعددی در دامنه‌های شمالی و جنوبی الوند در طی دوران کواترنری، یخچال زایی داشته‌اند. در این تحقیق در دامنه‌های شمالی و جنوبی الوند حوضه‌های یخچالی تفکیک گردید و دو حوضه عباس‌آباد و سرکان جهت محاسبات ارتفاع مرز برف‌های کواترنری انتخاب گردید. در مرحله اول به شناسایی آثار ژئومورفیک یخچالی همچون سیرک‌های یخچالی، مورن‌های کناری، مورن‌های انتهایی، یخرفت‌های واقع در انتهای دره‌ها مبادرت گردید. سپس تعداد ۲۶ سیرک در حوضه شمالی (عباس‌آباد) و ۲۱ سیرک در حوضه جنوبی (سرکان) شناسایی گردید.

پس از تهیه نمودن پایگاه‌داده رقومی ارتفاعی مانند DEM و لایه HILL SHADE و لایه ستیغ و لایه زیر حوضه‌ها، لایه سیرک‌ها، لایه مورن‌ها، لایه یخرفت های انتهایی، پلی لاین سیرک‌ها و .... این لایه‌ها در محیط نرم‌افزاری تهیه گردید.

با بکار گیری روش های هوفر و لوئیز و ارتفاع میانگین کف سیرک به محاسبه ارتفاع مرز برف‌های گذشته مبادرت گردید. نتایجی که با روش کف سیرک برای دو حوضه شمالی (عباس آباد) و حوضه جنوبی (سرکان) به دست آمده به این شرح می باشد:

در حوضه شمالی (عباس‌آباد) با به‌کارگیری روش کف سیرک ارتفاع میانگین کف سیرک عدد ۲۸۲۱ به دست آمد و در حوضه جنوبی (سرکان) با به‌کارگیری روش کف سیرک

ارتفاع میانگین کف سیرک عدد ۲۹۵۶ به دست آمد. در مرحله بعد با به‌کارگیری روش هوفر و لوئیز در حوضه شمالی (عباس‌آباد) به ترتیب ارتفاع مرز برف‌های گذشته با روش هوفر ۲۷۲۱ و با روش لوئیز ۲۷۱۳ به دست آمد. در ادامه برای حوضه جنوبی (سرکان) با به‌کارگیری روش هوفر و لوئیز در حوضه سرکان به ترتیب ارتفاع مرز برف‌های گذشته با روش هوفر ۲۷۷۲ و با روش لوئیز ۲۷۹۸ به دست آمد. لازم به ذکر است که ELA حال حاضر در محدوده مطالعاتی با استفاده از نقشه شوایتزر ۴۱۰۰ است. در دامنه‌های شمالی الوند از جمله حوضه عباس‌آباد لندفرم‌های یخچالی نسبت به دامنه جنوبی از تنوع و تراکم بیشتری برخوردار است و در دامنه شمالی یخچال زایی شدیدتر بوده است. در خاتمه با تلفیق کلیه لایه‌ها و ژئوفرم های یخچالی تهیه شده نقشه ژئومورفولوژی یخچالی این دو حوضه تهیه گردید (جدول ۱)، (شکل ۳)، (شکل ۴)، (شکل ۵)، (شکل ۶)، (شکل ۷)، (شکل ۸)، (شکل ۹).



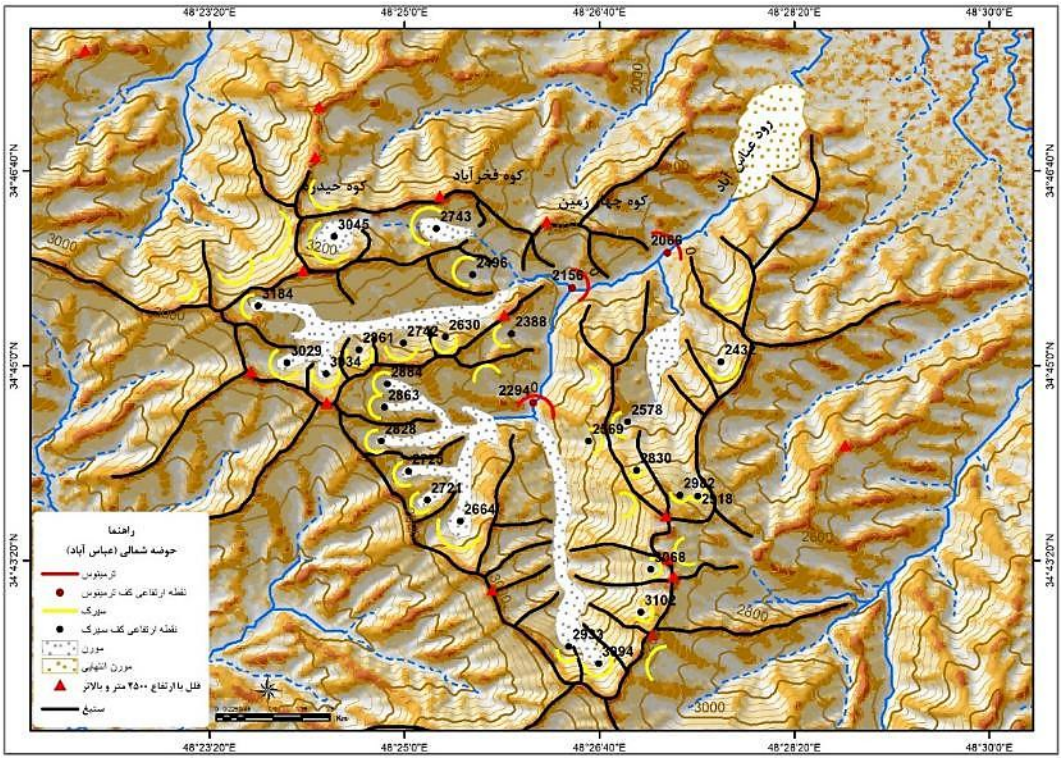
شکل ۳-ELA با روش هوفر و لوئیز برای حوضه شمالی (عباس آباد) و جنوبی (سرکان)

Figure 3 - ELA (Elevation-Latitude Analysis) with the Hofer and Lewis method for the northern basin (Abbasabad) and southern basin (Sarkān).

جدول ۱-نتایج بازسازی مرز برف‌های گذشته دره‌های منتخب الوند با روش‌های لوئیز و هوفر و کف سیرک

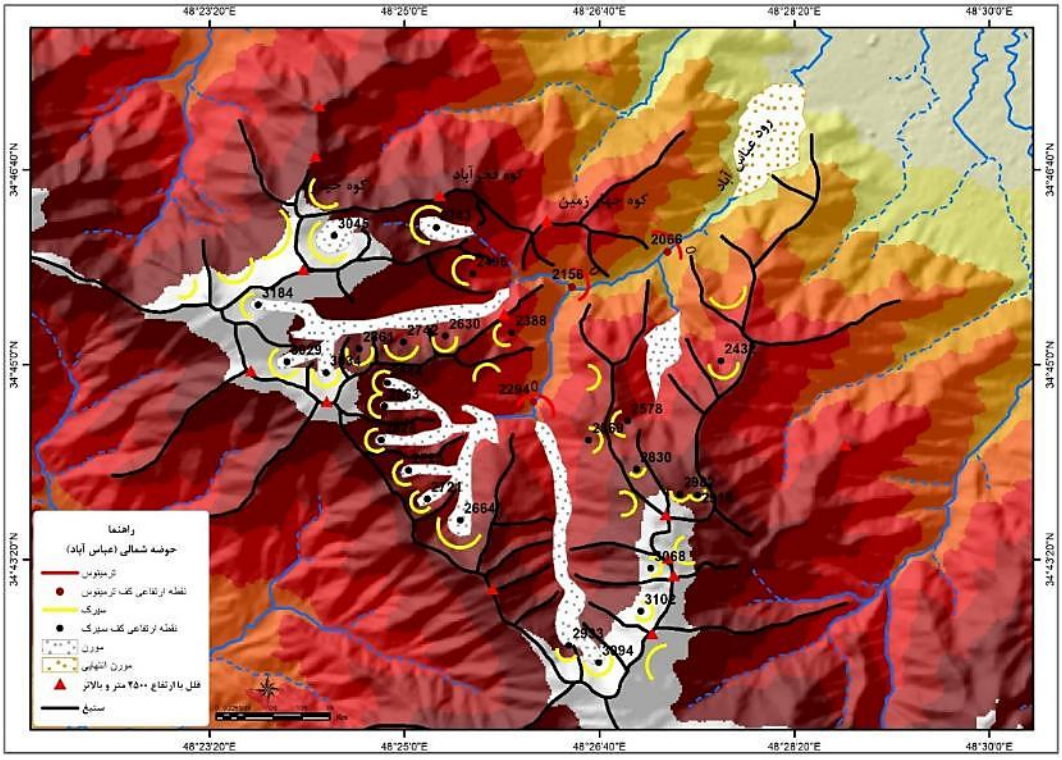
Table 1 - Results of reconstructing past glacial margins in selected Alborz valleys using Lewis and Hofer methods and the Cirque Lake Method.

رشته کوه	نام دره	بالاترین قله	ارتفاع پایانه یخچالی (متر)	ELA حال حاضر (شوایتزر)	ELA با روش لوئیز	ELA با روش هوفر	ELA حال سیف و ابراهیمی (۱۳۹۴)	ELA با روش کف سیرک	
								تعداد سیرک	میانگین کف سیرک
دره شمالی (عباس آباد)	عباس آباد	۳۳۹۴	۲۰۶۶	۴۱۰۰	۲۷۱۳	۲۷۲۱	۴۴۰۰	۲۶	۲۸۲۱
دره جنوبی (سرکان)	سرکان	۳۵۸۳	۲۰۱۴	۴۱۰۰	۲۷۹۸	۲۷۷۲	۴۴۰۰	۲۱	۲۹۵۶



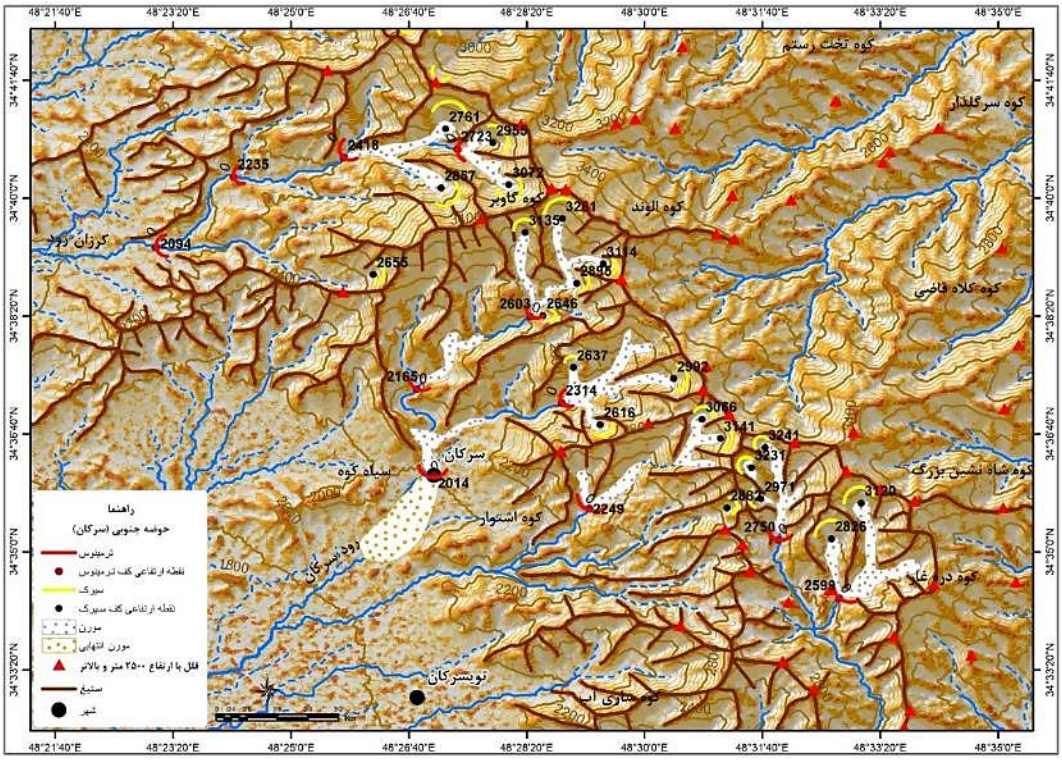
شکل ۴-عوارض ژئومورفولوژی یخچالی حوضه شمالی (عباس آباد) بر روی نقشه توپوگرافی

Figure 4 - Glacial geomorphological features of the northern basin (Abbasabad) on a topographic map.



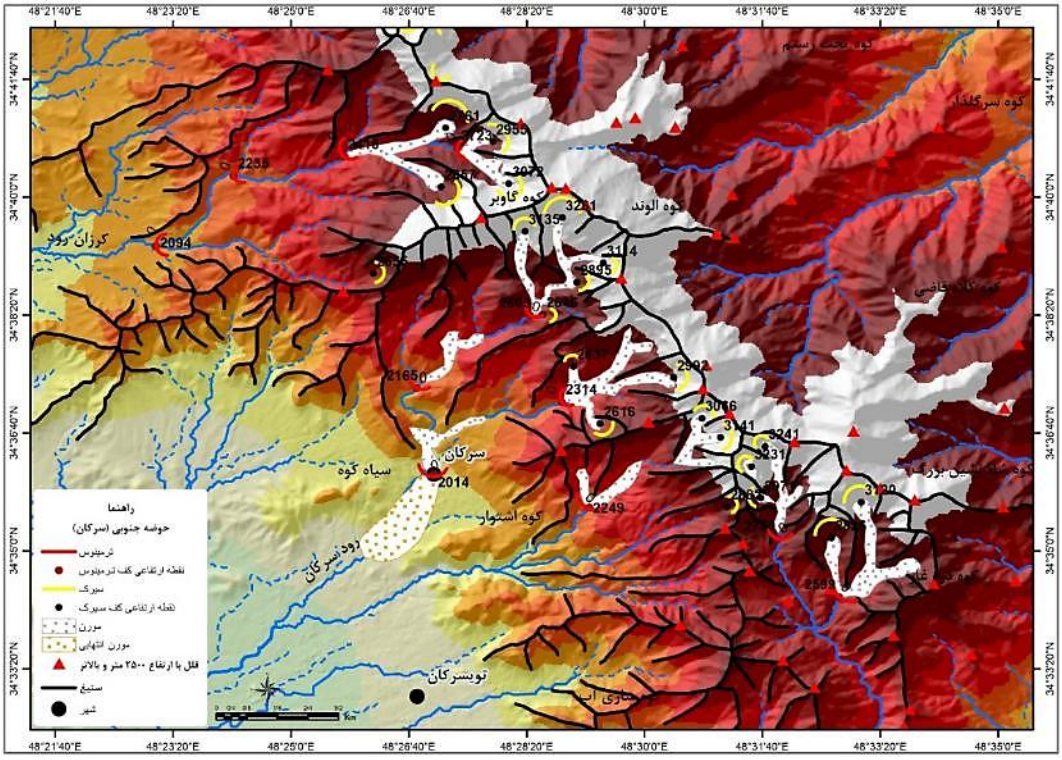
شکل ۵-عوارض ژئومورفولوژی یخچالی حوضه شمالی (عباس آباد) بر روی نقشه هیپسومتری

Figure 5 - Glacial geomorphological features of the northern basin (Abbasabad) on a hypsometric map.



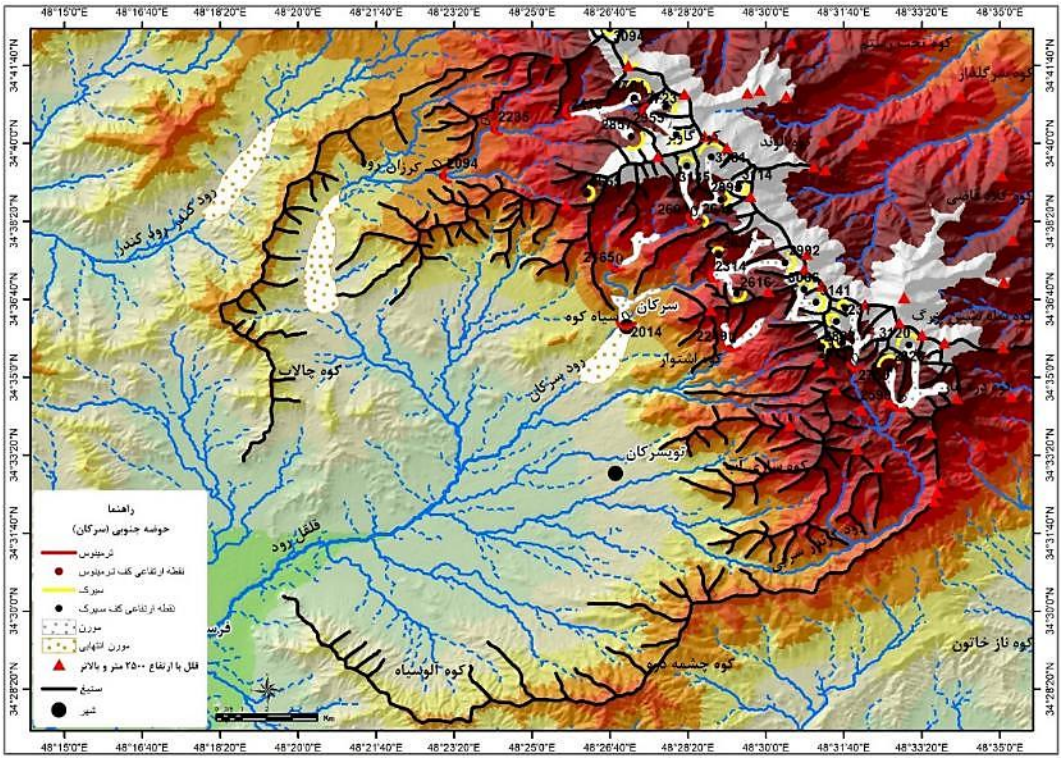
شکل ۶- عوارض ژئومورفولوژی یخچالی حوضه جنوبی (سرکان) بر روی نقشه توپوگرافی

Figure 6 - Glacial geomorphological features of the southern basin (Sarkān) on a topographic map.



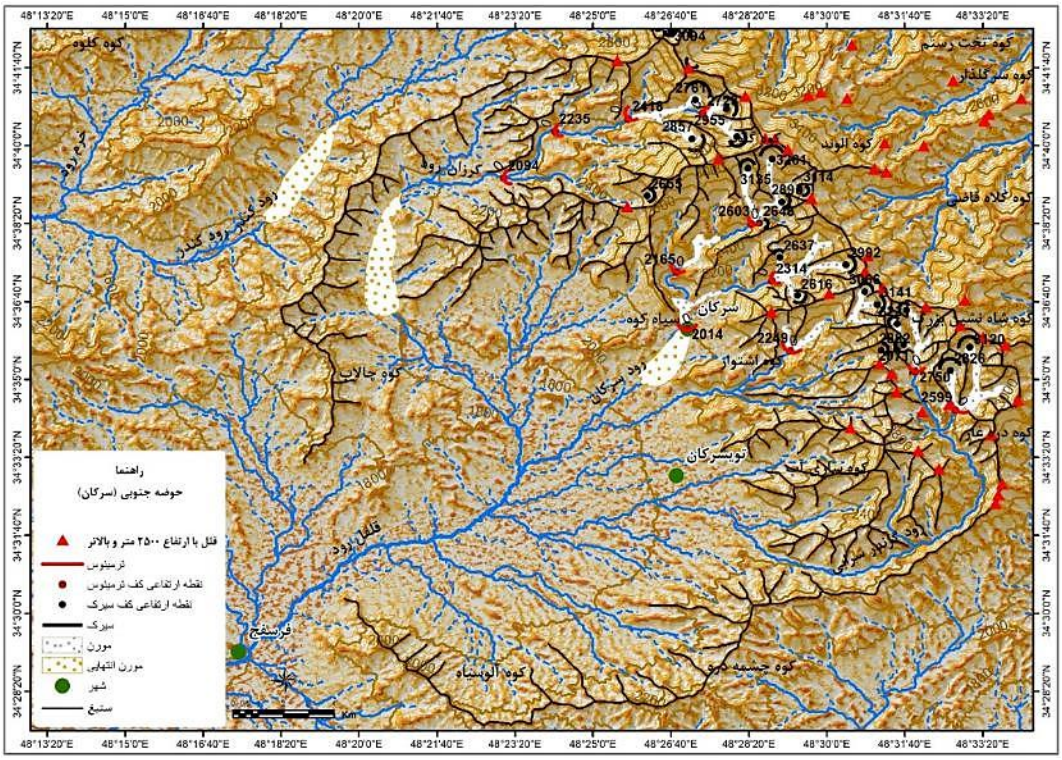
شکل ۷-عوارض ژئومورفولوژی یخچالی حوضه جنوبی (سرکان) بر روی نقشه هیپسومتری

Figura 7 - Principalia characteristica geomorphologica glacialis bacchae meridionalis (Serkan) in mappa hypsometrica.



شکل۸-عوارض کلی ژئومورفولوژی یخچالی حوضه جنوبی (سرکان) بر روی نقشه هیپسومتری

Figura 8 - Principalia characteristica geomorphologica glacialis bacchae meridionalis (Serkan) in mappa hypsometrica.



شکل ۹-عوارض کلی ژئومورفولوژی یخچالی حوضه جنوبی (سرکان) بر روی نقشه توپوگرافی

Figure 9. General glacial geomorphological features of the southern basin (Serkan) on the topographic map



شکل۱۰- پایانه یخچالی دره عباس آباد
Figure 10: The glacial terminus of Abbasabad Valley



شکل۱۱- یخرفت‌های کناری دره عباس آباد
Figure 11: Lateral moraines of Abbasabad Valley



شکل ۱۲- پایانه یخچالی دره سرکان
Figure 12: Glacial terminus of Sarakan Valley



شکل۱۳- پایانه یخچالی دره قلعه نوروز سرکان
Figure 13: Glacial terminus of Qaleh Nowruz Sarakan Valley



شکل ۱۴-سنگ سرگردان یخچالی واقع در دره سرکان
Figure 14: Glacial erratic in the Sarakan Valley

نتایج بازسازی مرز برف دائمی کواترنری پایانی در ارتفاعات الوند نشان می‌دهد که یخچال‌زایی این توده کوهستانی تحت کنترل هم‌زمان شرایط توپوگرافیکی، جهت دامنه و دینامیک فرایندهای یخچالی بوده است. اختلاف معنادار مقادیر ELA بین دو حوضه شمالی (عباس‌آباد) و جنوبی (سرکان) بیانگر ناهمگنی اقلیمی–ژئومورفولوژیکی در مقیاس محلی است که نقش مهمی در الگوی گسترش یخچال‌ها ایفا کرده است.

۴-۱-تحلیل اختلاف ارتفاع مرز برف بین دو حوضه شمالی و جنوبی سرکان وعباس اباد

مقادیر ELA بازسازی‌شده نشان می‌دهد که مرز برف در حوضه جنوبی الوند به‌طور متوسط بین ۱۰۰ تا ۱۳۰ متر بالاتر از حوضه شمالی قرار داشته است. این اختلاف، علی‌رغم دریافت تابش خورشیدی بیشتر در دامنه‌های جنوبی، عمدتاً ناشی از شرایط توپوگرافیکی خاص این دامنه‌هاست. شیب‌های تندتر، دره‌های عمیق‌تر و امکان همگرایی یخچال‌های دره‌ای موجب افزایش ضخامت یخ و تداوم جریان یخچالی تا ارتفاع‌های پایین‌تر شده است.

در مقابل، باریکی پیشانی جبهه کوهستان در دامنه‌های شمالی باعث پراکندگی سریع یخ پس از عبور از خط تعادل شده و پایداری جریان یخچالی را کاهش داده است. این موضوع نشان می‌دهد که در الوند، توپوگرافی نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به تابش خورشید در کنترل مرز برف دائمی ایفا کرده است.

۴-۲-ارزیابی کارایی روش‌های بازسازی مرز برف

مقایسه نتایج حاصل از سه روش کف سیرک، هوفر و لوئیز نشان می‌دهد که هر روش پاسخ متفاوتی به هندسه سیرک‌ها و وضعیت فرسایش آن‌ها دارد. روش کف سیرک، به دلیل اتکا بر اشکال فرسایشی پایدار، مقادیر بالاتری از ELA ارائه می‌دهد که می‌توان آن را به‌عنوان برآورد محافظه‌کارانه در نظر گرفت. در مقابل، روش‌های هوفر و لوئیز که ساختار قائم کل سیرک را لحاظ می‌کنند، مرز برف پایین‌تری را بازسازی کرده‌اند.

همگرایی نسبی نتایج این سه روش و تطابق آن‌ها با شواهد تراکمی یخچالی (مورن‌ها و سنگ‌های سرگردان) دقت بازسازی انجام‌شده را تأیید می‌کند. به‌ویژه، قطع ناگهانی پراکنش سنگ‌های سرگردان در ارتفاع‌های مشخص با مقادیر بازسازی‌شده ELA سازگاری دارد و نقش غالب فرایند یخچالی را در انتقال این مواد تأیید می‌کند.

۴-۳-نقش لندفرم‌های یخچالی در تفسیر دینامیک یخچال‌ها

توزیع سیرک‌ها، دره‌های U شکل و یخرفت‌ها در الوند نشان می‌دهد که یخچال‌های کواترنری این منطقه غالباً از نوع یخچال‌های دره‌ای تغذیه‌شده از سیرک‌ها بوده‌اند. تراکم بیشتر سیرک‌ها در دامنه‌های شمالی بیانگر حساسیت بالاتر این دامنه‌ها به تجمع برف و شروع یخچال‌زایی است؛ در حالی که

توسعه دره‌های عمیق در دامنه‌های جنوبی نشان‌دهنده پایداری بیشتر جریان یخ در آن نواحی است.

وجود سیرک‌های معلق و پلکانی نیز نشان می‌دهد که تغییرات ناگهانی شیب و تفاوت مقاومت لیتولوژیکی نقش مهمی در حفظ یا تخریب اشکال یخچالی داشته‌اند. این موضوع اهمیت تحلیل توأمان ساختار زمین‌شناسی و ناهمواری‌ها را در بازسازی اقلیم گذشته برجسته می‌کند.

۴-۴-پیامدهای اقلیمی نتایج

اختلاف حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ متری مرز برف دیرینه با وضعیت کنونی (۴۱۰۰ متر) بیانگر شرایط اقلیمی به‌مراتب سردتر در طی مراحل سرد کواترنری پایانی است. اگرچه بازسازی کمّی دقیق دما و بارش خارج از هدف این پژوهش بوده است، اما کاهش قابل توجه ELA به‌عنوان شاخصی معتبر از تشدید سرمای اقلیم و افزایش پایداری برف در ارتفاعات الوند قابل تفسیر است.

هم‌خوانی نتایج این پژوهش با مطالعات انجام‌شده در سایر بخش‌های ایران مرکزی و زاگرس میانی نشان می‌دهد که الوند بخشی از الگوی منطقه‌ای یخچال‌زایی پلئیستوسن فوقانی بوده و نه یک واکنش اقلیمی منفرد.

۴-۵-اهمیت وکاربرد نتایج

سیرک ها ،دره‌های یخچالی و نهشته‌های مورنی به‌عنوان کانون‌های بالقوه تغذیه آب‌های زیرزمینی و تمرکز رسوبات شناخته می‌شوند. شناسایی دقیق ژئوسایت‌های یخچالی الوند می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای توسعه ژئوتوریسم و برنامه‌های حفاظت زمین‌میراثی فراهم آورد.

۵-نتیجه گیری

ارتفاعات الوند یکی از قلمروهای یخچالی کواترنری ایران می باشد. قلل و حوضه‌های یخچالی متعددی در دامنه‌های شمالی و جنوبی الوند در طی دوران کواترنری، یخچال زایی داشته‌اند.

در این پژوهش ارتفاع مرز برف‌های کواترنر پایانی را در دامنه‌های شمالی و جنوبی الوند (دره‌های عباس‌آباد و سرکان) با استناد بر شواهد ژئومورفیک یخچالی و روش‌های هوفر، لویز و کف سیرک بازسازی گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ارتفاع مرز برف گذشته با استفاده از روش‌های فوق الذکر عبارتند از: حداقل ارتفاع مرز برف گذشته با روش هوفر و لویز در دره عباس‌آباد ۲۷۲۱ متر و در دره سرکان ۲۷۱۳ متر و حداکثر آن در دره عباس آباد ۲۷۷۲ متر و سرکان ۲۷۹۸ متر برآورد گردید. همچنین با استفاده از روش کف سیرک پورتر، میانگین کف سیرک دره عباس آباد در ارتفاع ۲۸۲۱ متری و دره سرکان در ارتفاع ۲۹۵۶ متر محاسبه و برآورد گردید.

در دامنه‌های شمالی الوند از جمله حوضه عباس‌آباد لندفرم‌های یخچالی نسبت به دامنه جنوبی از تنوع و تراکم بیشتری برخوردار است و در دامنه شمالی یخچال زایی شدیدتر بوده است. واضح است که اهمیت چنین مطالعاتی به‌ویژه در توسعه گردشگری (مخصوصاً اکوتوریستی و ژئوتوریستی)، تأمین منابع آب و مدیریت و آمایش منابع آب و حفاظت خاک و پوشش گیاهی، می‌تواند ما را یاری دهد، بنابراین مطالعه و حفاظت از این منابع ضروری به نظر می‌رسد.

مراجع

Azizi, G., Davoodi, M., 2019. Climate Changes of Iran during the Holocene. Quaternary Journal of Iran 5, 1-25. https://doi.org/10.22034/irqua.2019.702214

Höfer, H.v., 1879. Gletscher und Eiszeitstudien Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse 1(79), 331-367.

Jafari, G.H., Feizollahpour, M., Baratit, Z., 2016. Reconstruction of the Permanent Snowline Altitude of Alvand-Hamadan Quaternary (with Three Methods: Ray, Slope-Aspect, and Curvature Coefficient). Geographical Research Quarterly 30(4), 625. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05661-8

Jafari, G.H., Hazrati Kabar, N., 2017. Investigating the Spatial Differences of Quaternary Permanent Snowline Altitude in Iran, 625. https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-020-05661-8

Seif, A., 2015. Equilibrium-Line Altitude of Late Quaternary Glaciers in the Oshtorankuh Mountain, Iran. Quaternary International 374, 126-143. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.02.063

Seif, A., Bazvand, A., Solhi, S., 2016. Morphoradition of Alvand Heights and its Relation with Quaternary Glacial effects. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 6(S2), 304-314. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2310831

Seif, A., Biranvand, H., 2021. Reconstruction of the Late Quaternary Permanent Snowlines in the Highlands of Southern Central Iran. Quantitative Geomorphology Research, 10(3), 111-133. https://mag.iga.ir/article_712873.html

Seif, A., Biranvand, H., 2024. Reconstruction of the Late Quaternary Permanent Snowlines in the Green Highlands of the Iranian Zagros. Scientific Geography Quarterly, 22(80), 151-171. https://mag.iga.ir/article_712873.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, 236-249. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.005