Journal of Geography

Journal Homepage: https://mag.iga.ir

Online ISSN: 2717-2996

Research Paper 2024, 22 (80)

ELA Reconstruction of late Quaternary in the Green Mountain in Zagros, Iran

Abdollah Seif [1], Hojatollah Beiranvand[2]

1. Department of Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
E: a.seif@geo.ui.ac.ir (Corresponding Author)
2. Department of Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
E: hojat359@yahoo.com

ARTICLEINFO

Keywords
Late Quaternary
Hofer and Lewis method
permanent boundary snow
geomorphic evidence
Green Heights

Article History:
Received:
17 JU 2023
Received in revised form:
06 FE 2024
Accepted:
28 AP 2024
Available online:
20 AP 2024

ABSTRACT

Reconstruction of ancient snow borders in the mountainous regions of Iran is one of the important ways to investigate the evolution of past climatic geomorphology. Meanwhile, the precise identification of glacial effects and the limits of their expansion in the mountainous regions of Iran is considered the best key for morphoclimatic and morphodynamic demarcations. The main goal of this research is to reconstruct the elevation of the snow boundary (ELA) of the late Quaternary in the Green Heights located in the Middle Zagros. For the reconstruction of ELA, the digital database, geomatic techniques, frequent field visits and glacial geomorphic evidence, including terminal moraines, have been used. A GPS device was used to determine the height of the moraines and to determine their position, and reconstruction calculations were performed using the Hofer, Lewis and Cirque Porter methods. After preparing the required layers, finally, the geomorphological map of the area was drawn and the exact location of the moraines was determined on it. The results show that based on climate statistics, the current ELA level has been reconstructed at an altitude of 4577 meters. The average height of the total snow border located on the northern slopes of the Green Heights was estimated to be 2531 meters and 2739 meters, respectively, by Hofer and Lewis methods. Also, the average height of the total snow border located on the southern slopes of these heights was estimated to be 2795 meters and 2847 meters, respectively, by Hofer and Lewis methods. It should be noted that according to Porter's Cirque Floor method, ELA is located in Green Heights at an altitude of 2780 meters

Citation: Seif1, A. & Beiranvand, H. (2024). ELA Reconstruction of late Quaternary in the Green Mountain in Zagros, Iran. Journal of Geography, 22 (80), 151-171.

http://doi.org/10.22034/iga.2024.712873

© The Author (s). Publisher: Iranian Geographical Associati This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Extended Abstract

Introduction

Perhaps one of the most controversial topics in geomorphology is the debates related to the Quaternary climate changes and the legacies of these changes. Iran has attracted the attention of many researchers due to its great diversity in its geomorphological environments and the widespread nature of these forms. Investigating the Quaternary climatic changes and its climatic legacies is one of the most interesting topics in Iran's geomorphology. In the meantime, the investigation of glacial effects and the extent of their expansion in the mountainous regions of Iran is considered the most important for morphoclimatic and morphodynamic demarcations. Quaternary climatic changes have played a special role in the current landforms of Iran. The change of the snow territory of the permanent boundaries in the Quaternary is one of the results of these developments.

Methodology

Using frequent field visits, the end moraines along the main valleys were identified and their height was measured using GPS. To prepare the geomorphological map, first, using the Global Mapper 18 software, the study area was cut from the DEM map with an accuracy of 10 meters (obtained from the Aster satellite). Then, a bright shadow map, a geological map with a scale of 1:100,000, a slope map, a slope direction map and degree curves were made. In order to determine the exact boundaries of the sub-glacial basins, the hydrological map of the studied area was made based on Staller's classification from the DEM map. Using Arc Gis 10.5 and Portable Basemap Server V3.1 software, 1/50000 topographic maps and layers created with Google Earth satellite images were created and a combined map was created. The geomorphology map of the area was drawn using Arc Gis 10.5 software. Then, by using terminal glacial moraines, the height of the snow line of the permanent border has been reconstructed using the Lewis, Hofer method and the height of the Cirque Porter floor.

Result and discussion

According to the figure above and the linear relationship obtained between the average annual temperature and the height of ELA meteorological stations, it was calculated to be 4577 meters in the study area.

According to the height of the final moraines in Gachal Valley and based on the Lewis method, the lowest ELA is 2700 meters and the highest is at 2898 meters. According to Hofer's method, the lowest ELA is at the height of 2610 meters and the highest is at the height of 2808 meters. According to the height of the final moraines in Taznab Valley and based on the Lewis method, the lowest ELA is 2636 meters and the highest is at 2687 meters. According to Hofer's method, the lowest ELA is at the height of 2511 meters and the highest is at the height of 2562 meters. According to the height of the final moraines in Gamasiab Valley and based on the Lewis method, the lowest ELA is 2752 meters and the highest is at 2884 meters. According to Hofer's method, the lowest ELA is at the height of 2673 meters and the highest is at the height of 2806 meters. According to the geomorphic evidence and the height of the terminal moraines in the sub-basin of Sohran glacier and according to the Lewis method, the highest ELA in this sub-basin is located at an altitude of 3153 meters. According to Hofer's method, ELA is located at an altitude of 3097 meters. According to the geomorphic evidence and the height of the terminal moraines in the Venai sub-basin and based on the Lewis method, the lowest ELA in this sub-basin is 2876 meters and the highest is 3196 meters. According to Hofer's method, the lowest ELA in this sub-basin is at an altitude of 2791 meters and the highest is at an altitude of 3119 meters. According to the geomorphic evidence and the height of the terminal moraines in the collider sub-basin and based on the Lewis method, the lowest ELA in this sub-basin is 2814 meters and the highest is 2854 meters. According to the geomorphic evidence and the height of the terminal moraines in the sub-basin of Ab Sarda glacier and according to the Lewis method, the lowest ELA in this sub-basin is 3036 meters and the highest is 3146 meters. According to Hofer's method, the lowest ELA in this sub-basin is at an altitude of 2946 meters and the highest is at an altitude of 3053 meters. According to the geomorphic evidence and the height of the

terminal moraines in the Vorkhash sub-basin and based on the Lewis method, the highest ELA in this sub-basin is 2817 meters. According to Hofer's
method, the highest amount of ELA in this sub-basin is located at an altitude of 2786 meters. According to the Lewis method, the lowest ELA in this sub-basin is 2722 meters and the highest is at 3040 meters. According to Hofer's method, the lowest ELA in this sub-basin is at an altitude of 2652 meters and the highest is at an altitude of 2970 meters.

Conclusion

The calculation results of the reconstruction of the height of the past snow border based on the lowest number of the end moraines and the application of Hofer and Lewis method in the selected basins of the northern slopes of the Green Heights are as flows: in Gachal basin using the Hofer method 2610 meters and Lewis method 2700 meters, in Taznab basin using Hofer method 2511 meters and Lewis method 2636 meters, in Gamasiab basin using Hofer method 2673 meters and Lewis method 2752 meters, in Sohran basin using Hofer method 2764 meters and the Lewis method 2820 meters, in the Venai basin using the Hofer method 2100 meters and the Lewis method 2791 meters, in the Collider basin using the Hofer method 2798 meters and the Lewis method 2814 meters. Also, the average height of the total snow border located in the northern slopes was estimated to be 2531 meters and 2739 meters, respectively, by Hofer and Lewis methods. The results of calculations in the selected basins of the southern slopes of Green are: in Absardeh basin using Hofer method 2946 meters and Lewis method 3036 meters, in Warkhash basin using Hofer method 2786 meters and Lewis method 2817 meters and in Kohman basin 2652 meters were estimated using the Hofer method and 2847 meters using the Lewis method. The average height of the total snow border located on the southern slopes of these heights is estimated to be 2795 meters and 2847 meters, respectively, by Hofer and Lewis method.

Funding
There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved thecontent 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.

References

1) Bobek, H. (1959). Future and Formation of the Grate Kawir and Masileh, Arid Zone Research Center University of Tehran, Vol. 470, pp. 53-66. http://www.briancoad.com/species%20 accounts/ complete_bibl.htm.
2) Bobek, H. (1937). Die Rolle der Eiszeit in Nordwestiran. In: Z. Glestscherk. Vol. 25, pp. 130-183.
3) Desio, A. (1934) . Appunti Goegrafici Sulla Catena dello Zardeh Kuh in Persia, Memorie geologiche e Geographicale, di G. Dainelli, Vol. 4, pp. 141-167. https://books.google.com /advanced_book_search?q=Desio,+A.,+1934a.
4) Ebrahimi, B. & Seif, A. (2016). Equilibrium - Line Altitude of Late Quaternary Claciers in the Zardkuh Mountain, Iran, Geopersia, Vol. 6, No. 2, pp. 299-322. . Doi: 299-322. 10.22059/ jgeo¬pe.2016.58674.
5) Ghahroudi, M., Abdoli, E. & Nezammahalleh, M. A. (2013). Geomorphological and Sedimentological evidence of Alpine Glaciers in The Zagros Mountains, Dinevar, Iran, Journal of Tethys, Vol. 1, No. 1, pp. 85-95. https://jtethys. journals.pnu.ac.ir/article 2758 186fb 54a16d465 38c7ef54abcb 108 dbf .pdf.
6) Hendrickx, H., Jacob, M., Frankl, A. & Nyssen, J. (2015). Glacial and Periglacial Geomor¬phology and its Paleoclimatological significance in three North Ethiopian Moun¬tains, including a detailed Geomorphological Map, Geomorphology. Vol. 246, 156-167. https://doi.org/10.1016/ J.Geomorph. 2015.05.005

7) Gallardo, M., Otto, J. C., Gayo, E. M. & Sitzia, L. (2023). Reconstruction of Glaciers in the Western boundary of the Altiplano (18.5◦-19◦S): Singularities and insights on potential drivers of Quaternary Science Advances, Vol. 13, 100158. https://doi.org/ 10.1016/ j.qsa.2023. 100158.
8) Höfer, H. (1879). Gletscher und Eiszeit-Studien Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch naturwissenschaftliche Klasse, Vol. 79, p. 331 - 367. https://www. zobodat. at/publikation_articles.php?id=146365.
9) Louis, H. (1955). Schneegrenze und Schneegrenzbestimmung, Geographisches Taschenbuch 1954, Vol. 55, 414-418.
10) Mark, B., Harrison, S. P., Spessa, A., New, M., Evans, D. G. A. & Helmens, K. F. (2005). Tropical Snowline chnges at the last Glacial maximum: A Global assessment, Quaternary International, Vol. 138-139, 168-201. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.02.012
11) Seif, A. (2015). Equilibrium-Line Altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran, Quaternary International, 2 (6), 126-143. https://doi.org/10.22059/ jgeope. 2016.58674
12) Seif, A. & Ali, B. (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 (6), 120-142. https://doi.org/10.4236/gep.2018.66010
13) Seif, A. & Ebrahimi, B. (2014). Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran. Quaternary International, Vol. 353, pp. 236-249. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.005.
14) Schweizer, G. (1972). Klimatisch bedingte Geomorphologiche und Glazialo- gische Zuge der Hochregion vorderasiatischer Gebirge (Iran and Ostanatolien) [Climatically based geomorphological and glaciolog- ical characteristics of the high- altitude regions of Near Eastern mountains (Iran and Eastern Anatolia)] :Erdwissenschaftliche Forschung, Vol. 4, 221-236.

فصلنامه علمی جغرافیا

Journal Homepage: https://mag.iga.ir

شاپا الکترونیکی: ۲۹۹۶-۲۷۱۷

مقاله مستخرج از رساله دکتری

دوره۲۲، شمارهٔ ۸۰، ۱۴۰۳

بازسازی برف مرزهای دائمی کواترنر پایانی در ارتفاعات گرین در زاگرس ایران

عبداله سیف [1]، **حجت اله بیرانوند** [2]

۱. گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران (نویسنده مسئول). E: a.seif@geo.ui.ac.ir

۲. گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران. E: hojat359@yahoo.com.ir

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:
کواترنر پایانی
روش هوفر و لویز
برف مرزهای دائمی
شواهد ژئومورفیک
ارتفاعات گرین

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۲/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۲/۰۹
تاریخ چاپ:
۱۴۰۳/۰۲/۰۱

چکیده

بازسازی برف‌مرزهای دیرینه در مناطق کوهستانی ایران یکی از راهکارهای مهم جهت بررسی تحولات ژئومورفولوژی اقلیمی گذشته می‌باشد. در این میان شناسایی دقیق آثار یخچالی و حدود گسترش آنها در نواحی کوهستانی ایران بهترین کلید برای مرزبندی‌های مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک به شمار می‌رود. هدف اصلی این پژوهش، بازسازی ارتفاع مرز برف‌های (ELA) کواترنر پایانی در ارتفاعات گرین واقع در زاگرس میانی است. جهت بازسازی ELA، از پایگاه رقومی داده‌ها، تکنیک‌های ژئوماتیک، بازدیدهای مکرر میدانی و شواهد ژئومورفیک یخچالی از جمله، مورن-های پایانی استفاده شده است. برای تعیین ارتفاع مورن‌ها و تعیین موقعیت آنها از دستگاه GPS استفاده گردید و با استفاده از روش‌های هوفر، لویس و کف سیرک پورتر محاسبات بازسازی انجام شده است. پس از تهیه لایه‌های مختلف مورد نیاز، در نهایت نقشه ژئومورفولوژی منطقه ترسیم و مکان دقیق مورن‌ها بر روی آن مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس آمار اقلیمی میزان ELA زمان حال حاضر در ارتفاع ۴۵۷۷ متری بازسازی شده است. ارتفاع میانگین مجموع مرز برف-های واقع در دامنه‌های شمالی ارتفاعات گرین با روش هوفر و لویز به ترتیب ۲۵۳۱ متر و ۲۷۳۹ متر برآورد گردید. همچنین ارتفاع میانگین مجموع مرز برف‌های واقع در دامنه‌های جنوبی این ارتفاعات با روش هوفر و لویز به ترتیب ۲۷۹۵ متر و ۲۸۴۷ متر برآورد گردید. لازم به یاداوری است بر اساس روش کف سیرک پورتر ELA در ارتفاعات گرین در ارتفاع ۲۷۸۰ متری قرار دارد. به طور کلی 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.

استناد: سیف، عبداله و بیرانوند، حجت اله (۱۴۰۳). بازسازی برف مرزهای دائمی کواترنر پایانی در ارتفاعات گرین در زاگرس ایران، فصلنامه علمی جغرافیا، (۸۰) ۲۲، ۱۷۱-۱۵۱.

http://doi.org/10.22034/iga.2024.712873

© نویسندگان

صاحب امتیاز: انجمن جغرافیایی ایران

مقدمه و پیشینه

کواترنر جدیدترین دوره عمر کره زمین است. برخلاف کوتاهی این برهه از زمان، شواهد موجود گواه تنوع و اهمیت رخ دادهای صورت گرفته در آن می‌باشد (شریفی نجف‌آبادی، ۱۳۹۷: ۲۲۴). شاید یکی از بحث انگیزترین زمینه‌های ژئومورفولوژی، مباحث مربوط به تحولات اقلیمی کواترنری و مواریث این تحولات باشد. ایران به دلیل داشتن تنوع فراوان در محیط‌های ژئومورفولوژیک خود و از طرفی گسترده بودن این اشکال در آن تاکنون توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است (Bobek, 1959: 2). بررسی تحولات اقلیمی کواترنر و مواریث اقلیمی آن یکی از جالب‌ترین مباحث ژئومورفولوژی ایران می‌باشد. در این میان بررسی آثار یخچالی و حدود گسترش آن‌ها در نواحی کوهستانی ایران بهترین کلید برای مرزبندی‌های مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک به شمار می‌رود (یمانی، ۱۳۸۵: ۱۲۵). تحولات اقلیمی کواترنری نقشی ویژه در شکل لندفرم‌های کنونی ایران داشته است. تغییر قلمرو برف مرزهای دائمی در کواترنری از نتایج این تحولات به شمار می‌آید. تغییرات برف مرزهای دائمی در طول کواترنری مرز تغییرات قلمروهای شکل‌زایی در ایران است. به بیانی دیگر مرز قلمروهای شکل‌زایی یخچالی با برف مرزهای دائمی در دوره‌های سرد انطباق داشته است (قهرودی تالی، ۱۳۹۰: ۹۸). تحقیقات ژئومورفولوژی با تمرکز بر زمین ریخت‌های یخچالی و مجاور یخچالی اجازه می‌دهد یک بینش بهتری در تنوع فضایی آب و هوای حاضر و گذشته به دست بیاوریم (Hendrickx et al, 2015: 3). بر اساس شواهد و آثار یخچالی می توان به بازسازی وضعیت ژئومورفولوژیکی و اقلیمی گذشته پرداخت که در نهایت این بازسازی و آگاهی از شرایط گذشته محدوده مطالعاتی اطلاعات مفیدی را به ما می‌دهد که در برنامه‌ریزی‌های محیطی و عمرانی بسیار کارساز خواهد بود.

با توجه به اهمیت موضوع محققان داخلی و خارجی در قالب پژوهش‌های مختلفی به مطالعه و محاسبه ارتفاع خط تعادل یخچال‌های دیرینه و حاضر پرداختند که به بعضی از آنها اشاره می‌شود.

ژاک دومرگان (۱۹۰۵– ۱۸۹۰) در بازدید خود از ارتفاعات زاگرس به ارتفاعات پوشیده از برف گرین در جنوب نهاوند اشاره می‌نماید و از کوه چهل نابالغان در جنوب نهاوند بازدید نموده است (بوبک، ۱۹۳۳). دزیو (۱۹۳۳) در زردکوه بختیاری مرز برف دائمی را حدود ۴۰۰۰ الی ۴۱۰۰ متری تعیین کرد. شوایتزر (۱۹۷۲) با استفاده از کارهای دیگران و تحلیل‌های خود از عکس‌های هوایی ناحیه ارتفاع مرز برف کنونی را در ایران تخمین زد. بر اساس مطالعه وی، ارتفاع مرز برف کنونی در ارتفاعات گرین ۴۲۰۰ متر است. قهرودی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی در ارتفاعات دیناور به ردیابی آثار یخچال و مرز برف‌های دائمی پرداخته و با استناد برشواهد ژئومورفیک یخچالی از جمله مورن‌ها، دره‌ها، سیرک‌های یخچالی و تصاویر ماهواره‌ای و آمارهای هواشناسی ارتفاع خط برف دائمی را در این واحد کوهستانی که ۲۸۲۰ متر بوده تشخیص داده است. سیف (۲۰۱۵) ارتفاع خط تعادل یخچال‌های کواترنری اشترانکوه واقع در زاگرس میانی را با استناد بر مشاهدات میدانی و شواهد ژئومورفیک یخچالی و با استفاده از متدهای کوهله، هوفر، لویس و کف سیرک محاسبه نمود. پاینترین رقوم ارتفاعی زبانه‌ها در دره‌های یخچالی گل‌گل و دره تخت به ترتیب ۲۴۰۰ تا ۲۴۴۰ متر قابل مشاهده می‌باشند. این محقق یخچال شناس با استناد بر روش کوهله ارتفاع خط تعادل در اثنای حداکثر گسترش یخچالی۳۰۹۰ متر برای دره گل‌گل و ۳۰۶۷ متر برای دره تخت، و با متد هوفر ۳۰۲۵ متر برای دره گل‌گل و ۲۹۶۲ متر برای دره تخت و نیز با متد لویز ۳۲۶۱ متر برای دره گل‌گل و ۳۱۵۴ متر برای دره تخت محاسبه و برآورد نمود. همچنین بکارگیری روش کف سیرک نشان داد که ارتفاع میانگین مرز برف‌های کواترنری دره گل‌گل ۳۵۰۰ متر و در دره تخت ۳۴۰۰ متر می‌باشد. مرز برف حال حاضر اشترانکوه با روش لی و همکاران۴۵۰۰ متر محاسبه گردید و میزان افت ارتفاع مرز برف ارتفاعات اشترانکوه متعلق به حداکثر پیشروی یخبندان ۱۳۸۰ متر برآورد گردید. ابراهیمی و سیف (۲۰۱۶) ارتفاع خط تعادل یخچالی یخچال‌های کواترنر

پایانی در کوهستان زردکوه ایران بر اساس داده‌های زمین شناسی و یخچالی که نشان دهنده محدوده برف و یخ قدیمی می‌باشند بازسازی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که در طول دوره گسترش حداکثری یخچال‌ها خط تعادل یخچالی نسبت به تراز فعلی خط تعادل یخچالی ۳۰۶۷ (متر از سطح دریا) ۱۴۳۳متر افت داشته است. سیف و بازوند (۲۰۱۸) با به کارگیری روش‌های کوهله، هوفر و لویز، ارتفاع مرز برف دائمی دامنه‌های جنوبی الوند را با استناد بر مشاهدات میدانی و شواهد ژئومورفیک یخچالی محاسبه کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، ارتفاع مرز برف‌های گذشته در دامنه‌های جنوبی الوند با روش کوهله ۲۶۱۷ متر، با روش هوفر ۲۶۰۳ متر و با روش لویز ۲۷۷۷ متر می‌باشد.

گالاردو[۱] و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به بازسازی یخچال‌های طبیعی در مرز غربی آلتی‌پلانو در حوضه آمازون (۱۸/۵ تا ۱۹ درجه جنوبی) با توجه به مورن‌های متفاوت پرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به پیشروی مورن‌های پایانی یخچال‌های طبیعی از اکثر قله‌ها و در همه جهت‌ها ارتفاعات این ناحیه تا ارتفاع ۴۰۰۰ متری پیشروی کردند. با توجه به وجود مورن‌ها در امتداد ۹۰ دره ارتفاع ELA بین ۴۴۰۰ تا ۵۰۰۰ متر بازسازی شده است. توزیع ELA در خط الرأس غربی آلتی‌پلانو یک توزیع یکنواخت را نشان می‌دهد، که ۳۰۰ متر پایین‌تر از یخچال‌های طبیعی است که در خط الرأس‌های شرقی قرار دارند. همچنین ارتفاع ELA در قله‌های بلند آلتی‌پلانو با ارتفاع ELA یخچال های طبیعی رو به شرق در خط الرأس‌های آلتی‌پلانو غربی قابل مقایسه هستند.

یمانی (۱۳۸۶) در دامنه‌های شمال غربی زردکوه، حدود گسترش زبانه‌های یخچالی را تا ارتفاع ۲۵۰۰ متری مشخص نمود و با شناسایی ۱۵ سیرک یخچالی، مرز تشکیل سیرک‌های یخچالی را حداقل تا ارتفاع ۳۴۰۰ متری تشخیص داد. همچنین مرز برف دائمی عصر حاضر را ۴۸۰۰ متر از سطح دریا برآورد کرده است و مخروط‌هایی را در دامنه‌های شمالی ارتفاعات زردکوه تشخیص داده است. سیف و ابطحی (۱۳۹۲) در پژوهشی با بهره‌گیری از شواهد ژئومورفیک یخچالی واقع در ارتفاعات حوضه دریاچه نمک باشناسایی ۹ سایت یخچالی و ۸۰۰ سیرک یخچالی در ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متری واقع در پیرامون حوضه دریاچه نمک، ارتفاع مرز برف‌های دیرینه محاسبه نمودند. نتایج این پژوهش با روش کف سیرک، نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع مرز برف کواترنری در حوضه دریاچه نمک و در آخرین دوره یخچالی ۲۸۰۰ متر برآورد نمودند. جعفر بیگلو و همکاران (۱۳۹۳) در بازسازی برف مرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان‌های بیدخوان (استان کرمان) با استفاده از روش ارتفاع کف سیرک و روش رایت به این نتیجه رسیدند که در آخرین دوره یخچالی دما در منطقه حدود ۹ و ۱۱ درجه سانتی گراد به ترتیب در پایکوه و مناطق مرتفع سردتر بوده است. سیف (۱۳۹۴) در پژوهشی سیرک‌های یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس شناسایی و مورفومتری نمود و بر مبنای روش‌های ویلبرگ، گراف، ایوانس انهارا رده بندی کرد. بررسی‌های آلومتریک سیرک‌ها بیانگر عدم تطابق رفتار آلومتریک سیرک‌های گرین با سیرک‌های سایر نقاط دنیاست. ابراهیمی و سیف (۱۳۹۵) ارتفاع خط تعادل در ارتفاعات زاگرس (زردکوه، دینا، اشتران کوه، گرین، شاهو) را بازسازی کردند و به این نتیجه رسیدند که ارتفاع خط تعادل دمای یخ – بارش در مناطق مورد مطالعه برابر است. بین ۴۴۰۰ تا ۴۵۰۰ متر از سطح سطح دریا (بالاتر از بلندترین قله های رشته کوه زاگرس) و همچنین ارتفاع خط تعادل یخبندان دما – بارش – وزش باد در محدوده ارتفاعات زردکوه و اشترنکوه حدود ۳۸۵۰ متر است. بالاتر از سطح دریا، که حدود ۶۵۰ متر کمتر از ارتفاع خط تعادل یخبندان دما – بارش است. رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) به بازسازی محیط و آب و هوای دیرینه در ارتفاعات چهل چشمه دیواندره کردستان در طول آخرین دوره حداکثر گسترش یخچالی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که میزان ارتفاع خط تعادل در طول آخرین دوره حداکثر گسترش یخچالی در ارتفاعات چهل چشمه حدود

۱. Gallardo et al

۲۹۰۵ متر از سطح دریا برآورده شد. سیف و بیرانوند (۱۴۰۰) در پژوهشی بر اساس شواهد ژئومورفیک یخچالی و با استفاده از روش لویز، هوفر و کف سیرک پورتر به بازسازی برف مرزهای دائمی کواترنر پایانی در ارتفاعات جنوبی ایران مرکزی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بالاترین مقدار ELA بر اساس روش لویز ۴۰۶۳ متر در ارتفاعات هزار و کمترین آن ۲۸۵۸ متر در ارتفاعات جوپار است. همچنین بالاترین مقدار ELA بر اساس روش هوفر ۳۸۷۵ متر در ارتفاعات هزار و کمترین آن ۲۶۸۲ متر در ارتفاعات جوپار است. شاهزیدی (۱۴۰۲) در پژوهشی ارتفاع مرز برف‌های کواترنر پایانی را در دامنه‌های شمالی و جنوبی الوند را (دره‌های عباس‌آباد و سرکان) با استناد بر شواهد ژئومورفیک یخچالی و روش‌های هوفر، لویز و کف سیرک بازسازی کردند. 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 عباس‌آباد 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.

بررسی شواهد یخچالی و بازسازی برف مرزها در ارتفاعات گرین واقع در استانهای همدان و لرستان یکی از راهکارهایی است که می‌توان به ماهیت ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتیکی این مناطق پی برد و عرصه فعالیت‌های یخچالی گذشته را در این مناطق آشکار سازی کنیم. بر همین اساس در این تحقیق به ارزیابی ELA حال حاضر با استفاده از آمار اقلیمی و گذشته با استفاده از شواهد ژئومورفیک یخچالی مانند مورن‌های پایانی، در ارتفاعات گرین لرستان پرداخته می‌شود.

مبانی نظری

یخچال‌ها توده‌های بزرگی از یخ هستند که در مناطق با آب و هوای سرد و مرطوب شکل می‌گیرند. وسعت عملکرد فرآیندهای یخی در گذشته (کواترنر) بیشتر از امروزه بوده به طوریکه خیلی از نواحی که در حال حاضر تحت تسلط فرآیندهای غیر یخچالی است در کواترنر متأثر از عملکرد یخ بوده و در حال حاضر نیز شواهد آن از بین نرفته است (رجبی و خطیبی، ۱۳۸۶: ۱۰۵). با این وجود با کاهش تعداد روزهای یخبندان، طول عمر برف‌های کوهستانی و همچنین منابع یخچالی کوتاه شده است (محمدی همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲۱). امروزه، تغییرات اقلیمی کواترنر تا عهد حاضر، موضوعی است که مورد توجه محققین علوم مختلفی چون اقلیم شناسی، زمین شناسی و جغرافیا قرار گرفته است. به منظور بررسی گستره یخچالی عوارضی مانند سیرک‌ها از اهمیت زیادی برخوردار خواهند بود. مهمترین الگویی که در نتیجهٔ فرسایش یخچالی ایجاد می‌شود، سیرک یخچالی است. در آثار فرسایش یخچالی کوهستانی، فرورفتگیهایی عمیق با دیواره‌های پرشیب، کف مسطح با شیب کم به شکل نیم کاسه (هلالی شکل)، در ارتفاعات و حاشیه قلل کوهستانی ایجاد می‌شود (جعفری و آوجی، ۱۳۹۶: ۲). همچنین مطالعه‌ی مباحثی مانند خط‌برف دائمی و خط تعادل آب و یخ به منظور بررسی آثار یخچال‌های کواترنری ضروری می‌باشد. ارتفاع خط تعادل یخچالی (ELA) یخچال‌های عهد حاضر و مقایسه آن با ارتفاع خط تعادل یخچال‌های دیرینه از جمله پارامترهایی است که از آن به عنوان یک شاخص تغییر اقلیم استفاده می‌شود (مارک و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۶۹).

روش پژوهش

در ارتفاعات محدوده مورد مطالعه با توجه به شواهد ژئومورفیک یخچالی مانند؛ سیرک‌های موجود، مخروطه افکنه‌ها، مورن‌های مختلف و آثار دریاچه‌های قدیمی، تعداد ۳۸ زیر حوضه یخچالی در محدوده این ارتفاعات شناسایی گردید. با استفاده از بازدیدهای مکرر میدانی، مورن‌های پایانی در امتداد دره‌های اصلی شناسایی و ارتفاع آنها با استفاده از GPS

اندازه‌گیری شد. مکان دقیق مورن‌ها یخچالی در امتداد دره‌های اصلی واحدهای کوهستانی بر روی نقشه ژئومورفولوژِی یخچالی منطقه ترسیم شده است. برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی، ابتدا با استفاده از نرم افزار Global Mapper 18، از نقشه DEM با دقت ۱۰ متر (دریافتی از ماهواره آستر[1]) محدوده مورد مطالعه برش داده شد. سپس نقشه سایه روشن[2]، نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه شیب، نقشه جهت شیب و منحنی‌های میزان ساخته شدند. برای تعیین حدود دقیق زیر حوضه‌های یخچالی نقشه هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی استالر از نقشه DEM ساخته شد. با استفاده از نرم افزارهای Arc Gis10.5 و Portable Basemap Server V3.1 نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و لایه‌های ساخته شده با تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث منطبق و نقشه ترکیبی ساخته شد. در روی نقشه ترکیبی خط الرأس‌های اصلی، فرعی و خط القعرهای منطقه به دقت ترسیم شدند، همچنین ستیغ‌های اصلی و فرعی در روی این نقشه با توجه به منحنی‌های میزان مشخص شدند. در نهایت با استفاده از نرم افزارArc Gis10.5 نقشه ژئومورفولوژی منطقه ترسیم گردید. سپس با استفاده از مورن‌ها یخچالی پایانی ارتفاع خط برف مرز دائمی با استفاده از روش لویز، هوفر و ارتفاع کف سیرک پورتر بازسازی گردیده است. هوفر (۱۸۷۹) 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[3]نیز نامیده‌اند. همچنین با استفاده از روش کف سیرک (پورتر) میزان ELA گذشته در این ارتفاعات 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 مقعرترین نقطه ارتفاعی سیرک‌ها اندازه‌گیری می شود.

$$M = L + \frac{d1}{d1+d2} \times h \qquad (۱)$$

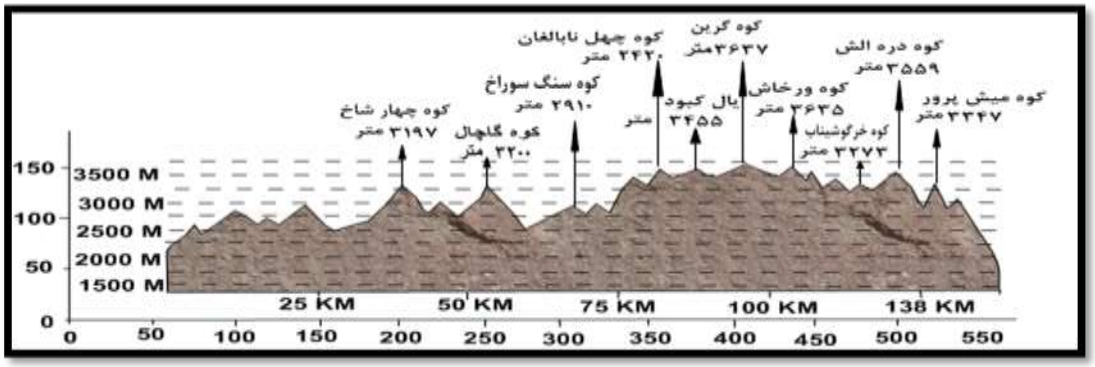
در این رابطه نما یا مد برای داده های طبقه بندی شده به کار می رود که در آن L حد پایین رده نمادار، ۱ dتفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار از رده نمادار، ۲ d تفاضل فراوانی رده ما بعد رده نمادار از رده نمادار، و h فاصله رده‌هاست. بازسازی شرایط دما و بارش گذشته و برآورد ارتفاع خط تعادل (ELA) زمان حال حاضر با استفاده از داده‌های اقلیمی بر اساس میانگین داده‌های دما و بارش سالانه ۱۳ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و بر اساس سال تأسیس آنها در دوره‌های مختلف آماری انجام گرفت.

محدوده مورد مطالعه

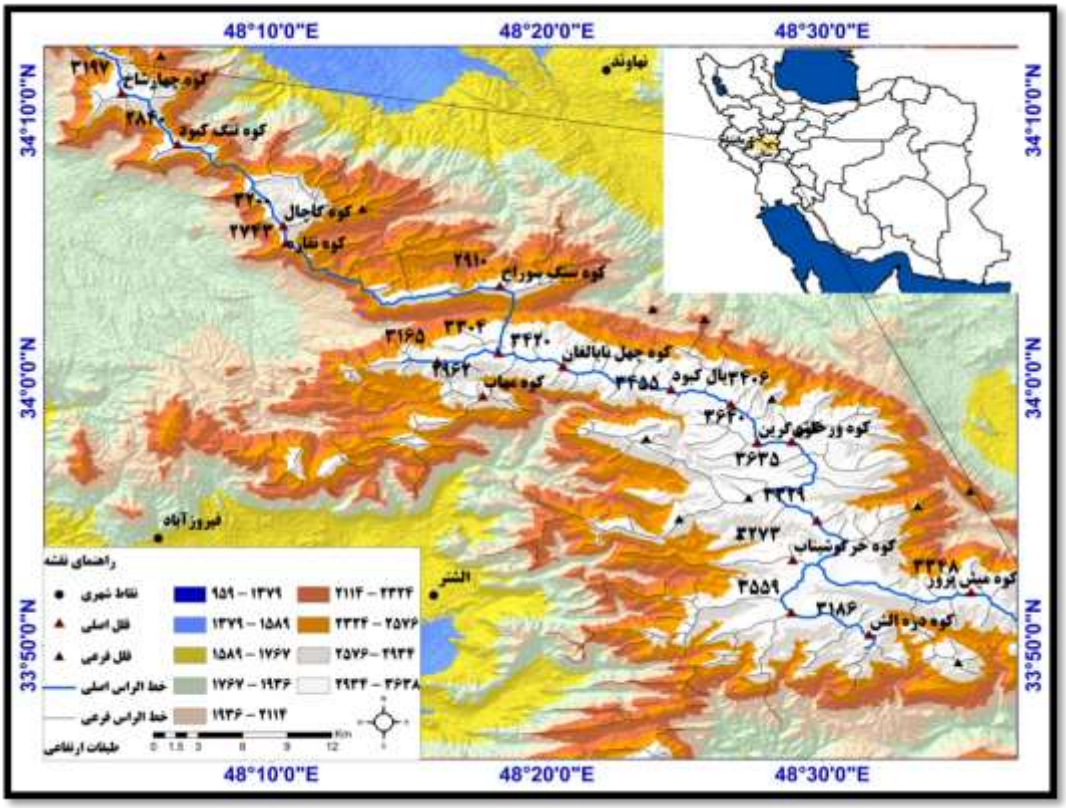
ارتفاعات گرین قسمتی از رشته کوه‌های زاگرس مرکزی است که بیشترین مساحت آن در شمال استان لرستان و بخشی دیگر در استان کرمانشاه و همدان قرار دارد. ارتفاعات گرین در ادامه اشترانکوه قرار دارد، طول آن به بیش از ۱۸۰ کیلومتر می‌رسد (قبادی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۰۰). این منطقه از شمال شرق به نهاوند، از شمال غرب به نور آباد، از جنوب غرب به الشتر و از جنوب شرق به بروجرد منتهی می‌شود. این محدود در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۵ درجه تا ۴۸ درجه ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱و۲). محدوده سیرک‌های یخچالی ارتفاعات گرین از موادی مانند ولکانیک دگرگون شده، مرمر، سنگ آهک خاکستری تا تیره مربوط به دوره ژوراسیک، ماسه سنگ‌های توفی، ماسه سنگ‌ها و دولومیت‌های ضخیم و همچنین سنگ‌های کربناته و آهک بیستون مربوط به تریاس فوقانی و کرتاسه تشکیل شده است. واحدهای دولومیتی و آهکی ژوراسیک پایینی بیشترین گسترش را در

1. ASTER
2. Hillshade
3. Toe to summit altitude method; TSAM

منطقه دارند. این دو واحد توسط کمربندی از رادیولاریت از یکدیگر جدا شده‌اند. دامنه شمالی شرقی کوه گرین بطور کلی از سنگ‌های آهک‌های اولیگوسن – میوسن تشکیل شده است. این واحدها شامل دو بخش (OML) و (OMm) می‌باشند. OML عمدتاً از دولومیت‌های ضخیم خاکستری، سنگ آهک و میان لایه‌های سنگ آهک مارنی و مارن تشکیل شده است. OMm بالاترین واحد لیتولوژی اولیگوسن – میوسن می‌باشد که دارای لیتولوژی آهکی، آهک مارنی با میان لایه‌های ماسه سنگی است. این بخش بیش از ۱۰۰۰ متر ضخامت دارد و در راستای گسله زاگرس در کنار سنگ‌های رسوبی – آتشفشانی کرتاسه قرار گرفته است (قبادی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۰۱).



شکل ۱. نقشه پروفیل طولی ارتفاعات گرین
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

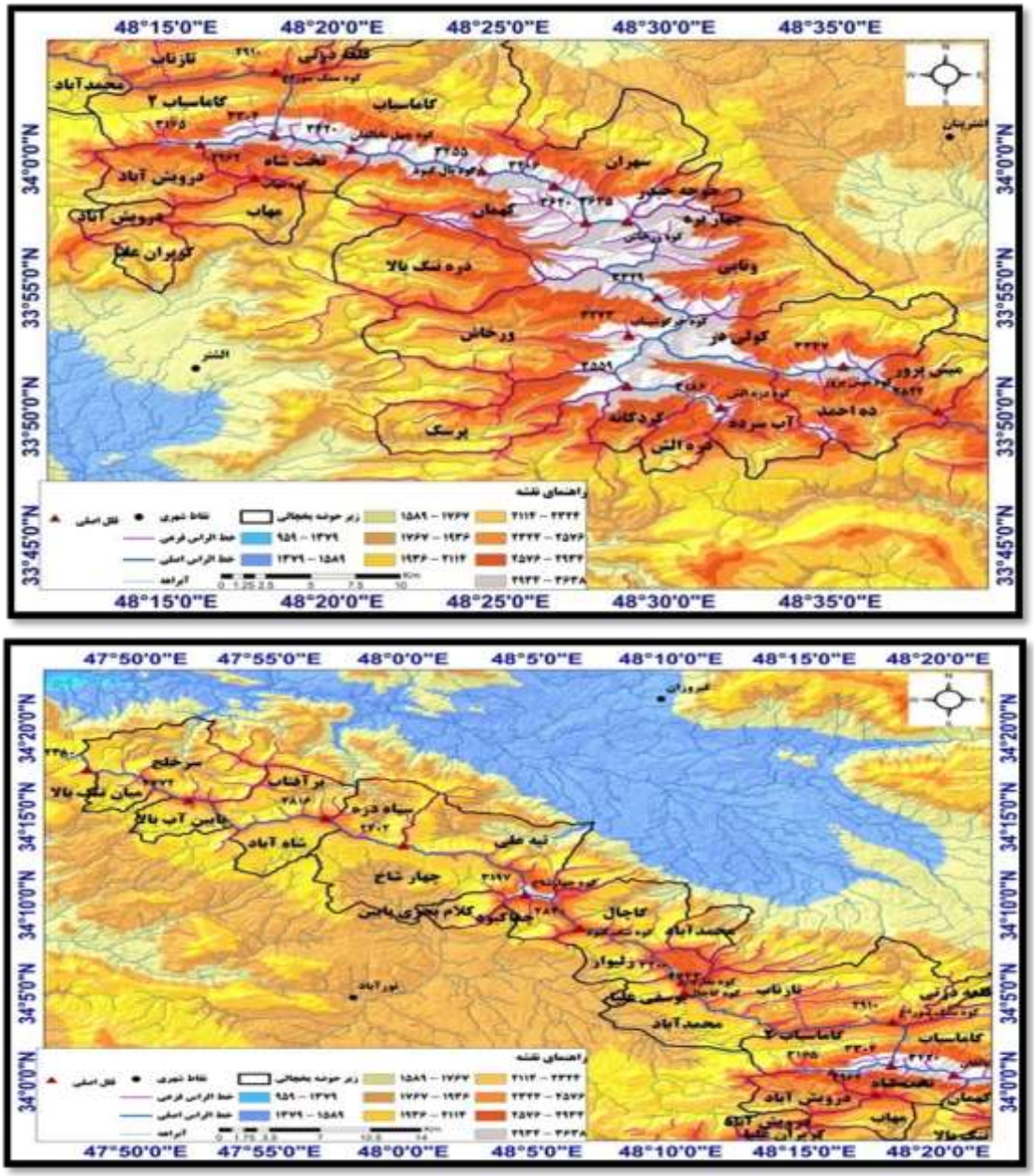


شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی ارتفاعات گرین
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

بحث و یافته‌ها

سیرک‌ها و زیر حوضه های یخچالی در ارتفاعات گرین

ارتفاعات گرین با جهت شرقی – غربی با طول حدود ۱۸۰ کیلومتر دارای قلل بلندی مانند؛ چهارشاخ، گاچال، نقاره، سنگ سوراخ، چهل نابالغان، گرین، ورخاش، خرگوشیناب، دره آلش و میش پرور است. این محدوده به ۳۸ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده است. در ارتفاعات مشرف به این زیر حوضه‌ها بر اساس روش‌های ژئوماتیک (سیف و ابراهیمی، ۲۰۱۴؛ سیف، ۱۳۹۴؛ بیرانوند و سیف، ۱۳۹۹) جدید تعداد ۱۴۵ سیرک یخچالی شناسایی و در روی نقشه ترسیم گردید (شکل ۳).



شکل ۳. زیر حوضه‌های یخچالی ارتفاعات گرین
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

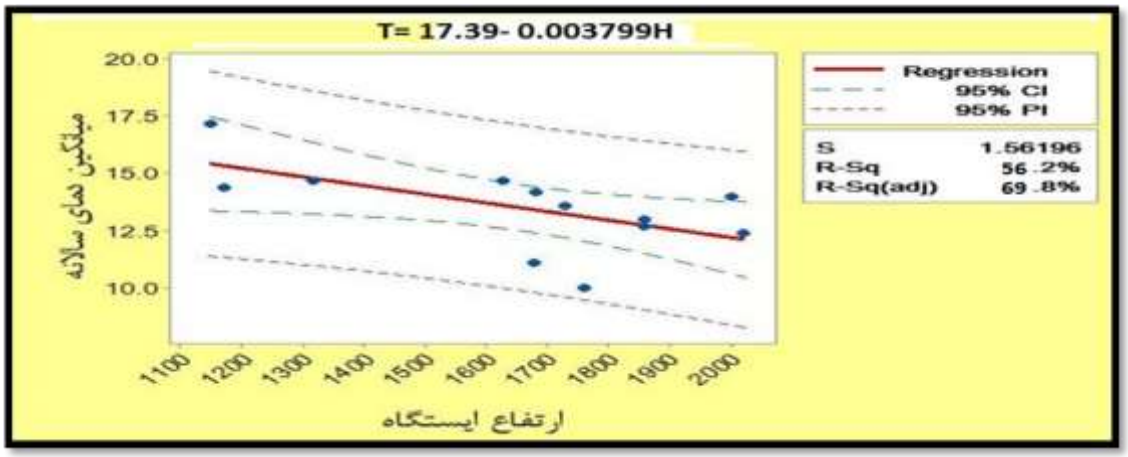
بازسازی ارتفاع خط تعادل ELA در ارتفاعات گرین

برای بازسازی ELA زمان حال حاضر، میانگین دما و بارش سالیانه در ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک موجود در محدوده مورد مطالعه و اطراف آن در طول دوره‌های آماری مختلف بر مبنای سال تأسیس ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. رابطه بین دما و ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس رابطه $T = 17.39 - 0.003799\ h$ با همبستگی R= ۰/۶۹ به دست آمد (جدول ۱) (شکل ۴).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			دوره آماری	میانگین بارش سالیانه	میانگین دمای سالیانه	نوع ایستگاه
		طول	عرض	ارتفاع				
۱	ورانیه همدان	۴۸-۲۴	۳۴-۰۵	۱۷۶۰	۸۰-۱۳۴۵	۵۴۰/۶	۱۰	باران‌سنج
۲	همدان	۴۸-۴۳	۳۵-۱۲	۱۶۷۹/۷	۲۰۱۰-۱۹۵۱	۳۳۱/۵	۱۱/۱	سینوپتیک
۳	خرم‌آباد	۴۸-۱۷	۳۳-۲۶	۱۱۴۷/۸	۲۰۱۰-۱۹۵۱	۵۰۴/۳	۱۷/۲	سینوپتیک
۴	ازنا	۴۹-۲۵	۳۳-۲۷	۱۸۷۱/۹	۸۰-۱۳۴۵	۴۵۰	۱۴/۴	سینوپتیک
۵	الیگودرز	۴۹-۴۲	۳۴-۳۳	۲۰۲۲	۲۰۱۰-۱۹۸۶	۴۰۱/۶	۱۲/۴	سینوپتیک
۶	کرمانشاه	۴۷-۰۹	۳۴-۲۱	۱۳۱۸/۶	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۴۳۲/۲	۱۴/۷	سینوپتیک
۷	الشتر	۴۸-۱۵	۳۳-۴۹	۱۸۵۹	۲۰۱۰-۱۹۹۷	۴۵۹/۴	۱۲/۷	سینوپتیک
۸	درود	۴۹-۰۰	۳۳-۳۱	۱۵۲۲/۲	۲۰۰۵-۲۰۰۰	۶۴۰	۱۶/۱	سینوپتیک
۹	ملایر	۴۸-۴۹	۳۴-۱۷	۱۷۲۹	۲۰۱۰-۱۹۹۹	۲۸۸/۴	۱۳/۶	سینوپتیک
۱۰	نهاوند	۴۸-۲۵	۳۴-۰۹	۱۶۸۰/۹	۲۰۱۰-۱۹۹۶	۳۷۴	۱۴/۲	سینوپتیک
۱۱	نورآباد	۴۸-۰۰	۳۴-۰۳	۱۸۵۹/۱	۲۰۱۰-۲۰۰۰	۴۷۸/۶	۱۳	باران سنج
۱۲	بروجرد	۴۵-۴۸	۳۳-۵۵	۱۶۲۹	۲۰۱۰-۱۹۸۹	۴۵۸/۵	۱۴/۷	سینوپتیک
۱۳	ونایی	۴۸-۳۵	۳۳-۵۴	۲۰۰۰	۸۰-۱۳۴۵	۶۶۷/۱	۱۴	باران‌سنج

منبع: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۲)



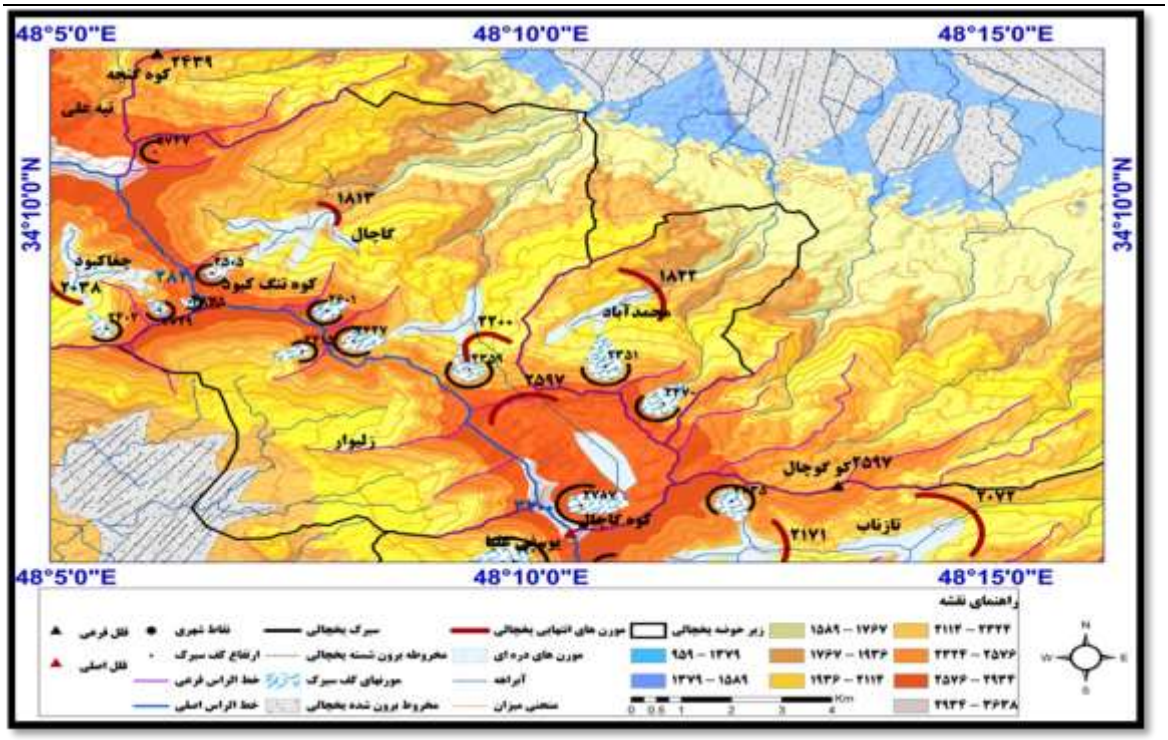
شکل ۴. نمودار همبستگی بین دما و ارتفاع در محدوده مورد مطالعه

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

با توجه به شکل بالا و رابطه خطی به دست آمده بین میانگین دمای سالانه و ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی ELA در حال حاضر ۴۵۷۷ متر در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. از مقایسه ELA گذشته که با استفاده از روش کف سیرک پورتر برای واحدهای مورد مطالعه به دست آمده است با ELA حال حاضر متوجه می‌شویم که این خط در حال حاضر به علت تغییرات اقلیمی حاکم میزان ELA تغییرات زیادی داشته و به میزان زیادی بالاتر رفته است.

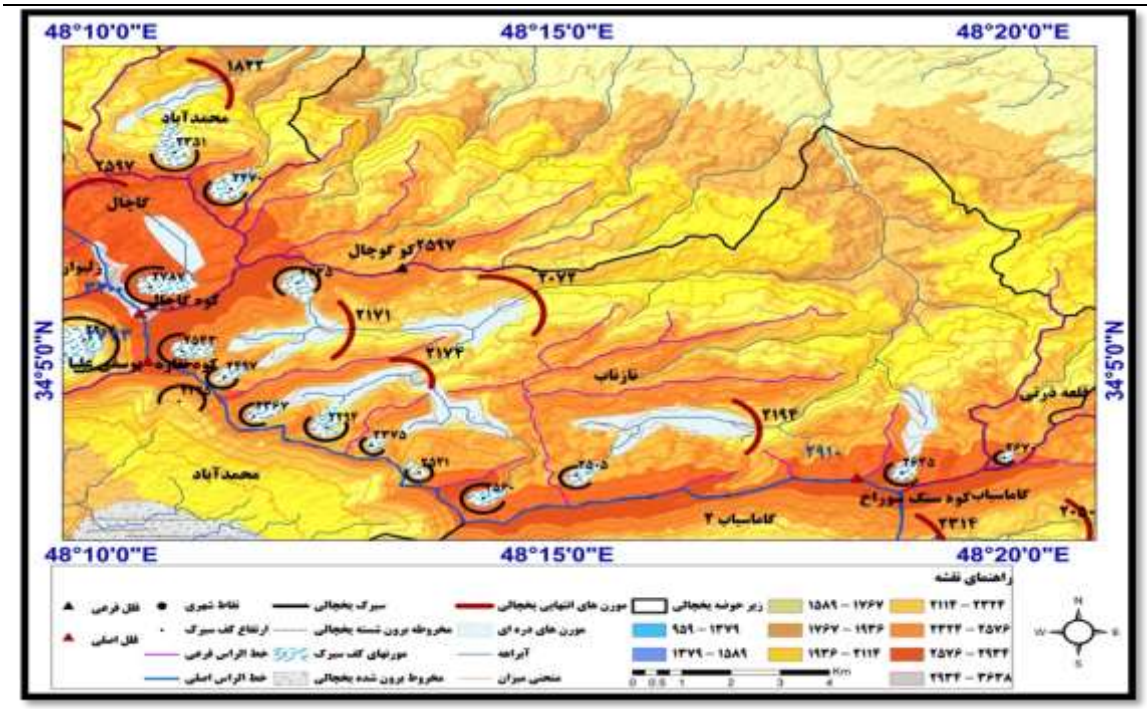
بازسازی ELA در واحد کوهستانی گرین با استفاده از شواهد ژئومورفیک: با توجه به شرایط توپوگرافی و رفتار آبراهه، ارتفاعات گرین به ۳۸ زیر حوضه یخچالی تقسیم شده است. جهت محاسبات بازسازی ۹ حوضه یخچالی، که ۶ حوضه آن در دامنه‌های شمالی، به نام‌های گاچال، تازناب، گاماسیاب، سهران، کولیدر و حوضه ونایی و ۳ زیر حوضه یخچالی در دامنه‌های جنوبی به نام‌های آبسرده، ورخاش و حوضه کهمان تفکیک و تعیین موقعیت گردید و با توجه به شواهد ژئومورفیک یخچالی، ELA در این زیر حوضه‌ها بازسازی و برآورد گردید. در بخش میانی و بالادست زیر حوضه-های یخچالی ارتفاعات گرین شامل؛ گاماسیاب، سهران، کولیدر، ونایی، ورخاش، کهمان، تازناب، گاچال، آب سرده شواهد ژئومورفیک یخچالی شامل مورن‌های پایانی وجود دارد. در زیر حوضه‌های دیگر شواهد یخرفتی – آبرفتی و شبه مورن به ویژه در قسمت‌های پایین دست دره‌ها قابل مشاهده است. چون اساس کار برای باسازی ELA شواهد یخچالی است پس از مورن‌های یخچالی در زیر حوضه‌های نامبرده بالا استفاده شده است. بر مبنای شواهد موجود میزان ELA را با روش-های لویز، هوفر و پورتر و میانگین کف سیرک بازسازی شده است (جدول ۲) (شکل ۵).

بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی گاچال: در زیر حوضه یخچالی گاچال واقع در شمال غربی ارتفاعات گرین تعداد ۶ سیرک یخچالی و ۳ عدد مورن پایانی شناسایی و تعیین موقعییت گردید. یکی از این مورن‌ها یخرفتی – آبرفتی است و دو تا از مورن‌ها یخچالی است. با توجه به ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در دره گاچال و بر اساس نتایج محاسبات لویز، کمترین ELA برابر با ۲۷۰۰ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۲۸۹۸ متر قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در ارتفاع ۲۶۱۰ متر و بالاترین آن در ارتفاع ۲۸۰۸ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۲۱۵۳ متری قرار دارد. بر اساس روش پورتر ELA در ارتفاعات گرین در ارتفاع ۲۷۸۰ متری قرار دارد. یخچال-های کواترنری و عملکرد سیستم فلویال فرسایش ناشی از این یخچال‌ها مورن‌ها را در امتداد بسیاری از دره‌ها از جمله دره گاچال جابجا کرده است و توانسته است که مورن های پایانی را تا ارتفاع ۲۲۰۰ متری در داخل دره اصلی این زیر حوضه به سمت پایین دره جابجا کند (جدول ۲) (شکل ۵).



شکل ۵. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه گاچال
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

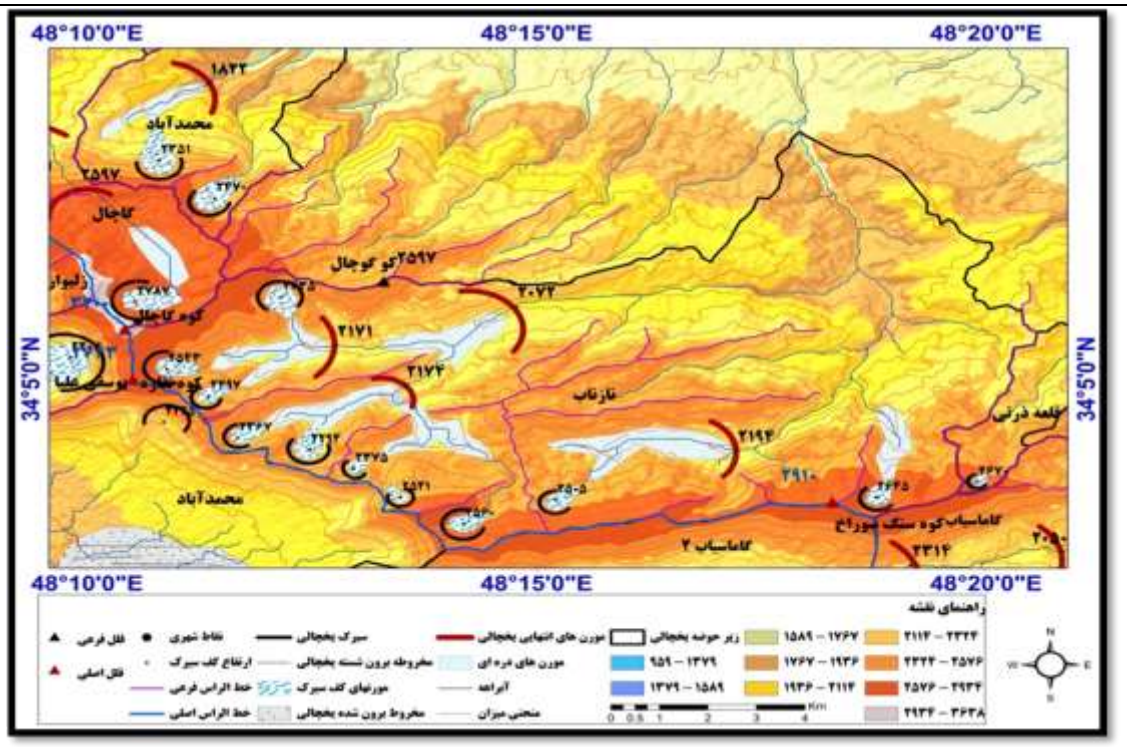
بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی تازناب: زیر حوضه یخچالی تازناب با تعداد ۱۰ سیرک یخچالی و ۳ عدد مورن پایانی در قسمت شمال غربی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در دره تازناب و بر اساس روش لویز کمترین ELA برابر با ۲۶۳۶ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۲۶۸۷ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در ارتفاع ۲۵۱۱ متر و بالاترین آن در ارتفاع ۲۵۶۲ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۲۲۰۷ متری قرار دارد. مورن‌های پایانی را تا ارتفاع ۲۷۸۸ متری در داخل دره اصلی این زیر حوضه به سمت پایین دره حمل شده‌اند (جدول ۲) (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه تازناب
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی گاماسیاب

زیر حوضه یخچالی گاماسیاب واقع در قسمت شمال ارتفاعات گرین تعداد ۷ سیرک یخچالی و ۴ عدد مورن پایانی شناسایی و تعیین موقعیت گردید. با توجه به ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در حوضه یخچالی گاماسیاب و بر اساس روش لویز کمترین ELA برابر با ۲۷۵۲ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۲۸۸۴ متر قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در ارتفاع ۲۶۷۳ متر و بالاترین آن در ارتفاع ۲۸۰۶ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۳۳۶۳ متری قرار دارد. بر اساس روش پورتر ELA در ارتفاعات گرین در ارتفاع ۲۷۸۰ متری قرار دارد. یخچال-های کواترنری و فرسایش ناشی از این یخچال‌ها مورن‌ها را در امتداد دره گاماسیاب جابجا کرده است و توانسته است که مورن‌های پایانی را تا ارتفاع ۲۰۵۰ متری و حتی پایینتر در داخل دره اصلی این زیر حوضه به سمت پایین دره هدایت کند (جدول ۲) (شکل ۷).

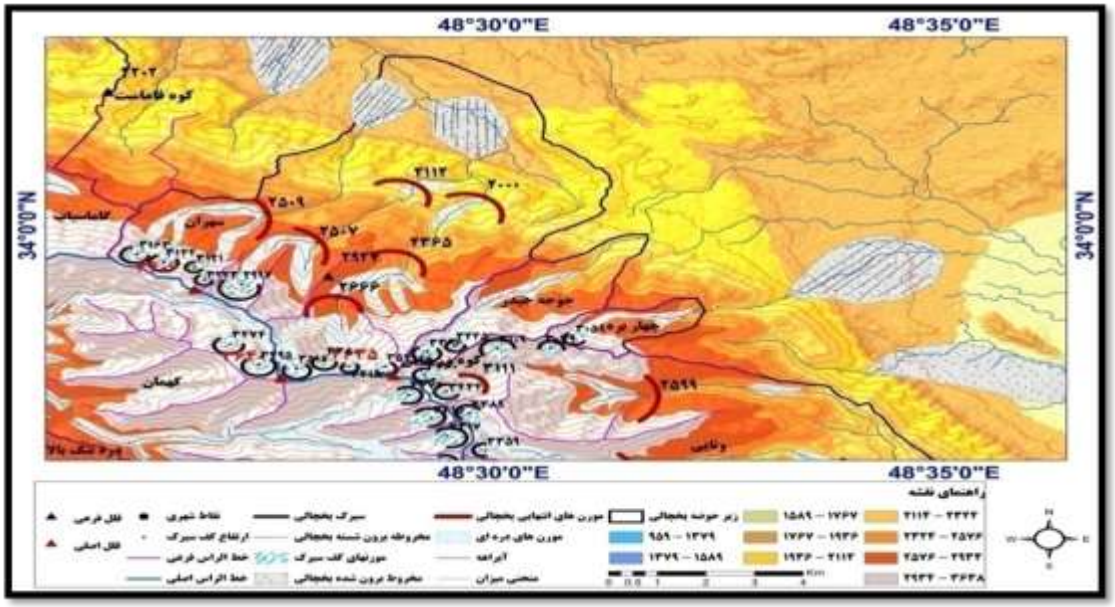


شکل ۷. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه گاماسیاب
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

شکل ۸. تصویر دورنمای دامنه‌های شمالی گرین در نهاوند، زیرحوضه یخچالی گاماسیاب (دره حیدر) و مورن‌ها با منشاءیخرفتی-آبرفتی در بخش انتهایی
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۲)

بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی سهران: زیر حوضه یخچالی سهران با تعداد ۹ سیرک یخچالی و ۶ عدد مورن پایانی در دامنه شمالی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به شواهد ژئومورفیک و ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در زیر حوضه یخچالی سهران و بر اساس روش لویز بالاترین ELA در این زیر حوضه در ارتفاع ۳۱۵۳ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر ELA در ارتفاع ۳۰۹۷ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۳۲۲۱ متری قرار دارد. یخچال زایی در این حوضه خوب عمل کرده و با توجه به ساختار زمین شناسی و جنس مواد تشکیل دهنده ارتفاعات گرین در این زیر حوضه که از آهک‌های ضخیم، دولومیت و ماسه سنگ تشکیل شده است و این

مواد فرسایش پذیر هستند، یخچال‌ها باعث فرسایش این مواد و پایین آوردن مورن‌ها تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری در امتداد دره سهران شده‌اند (جدول ۲) (شکل ۹).



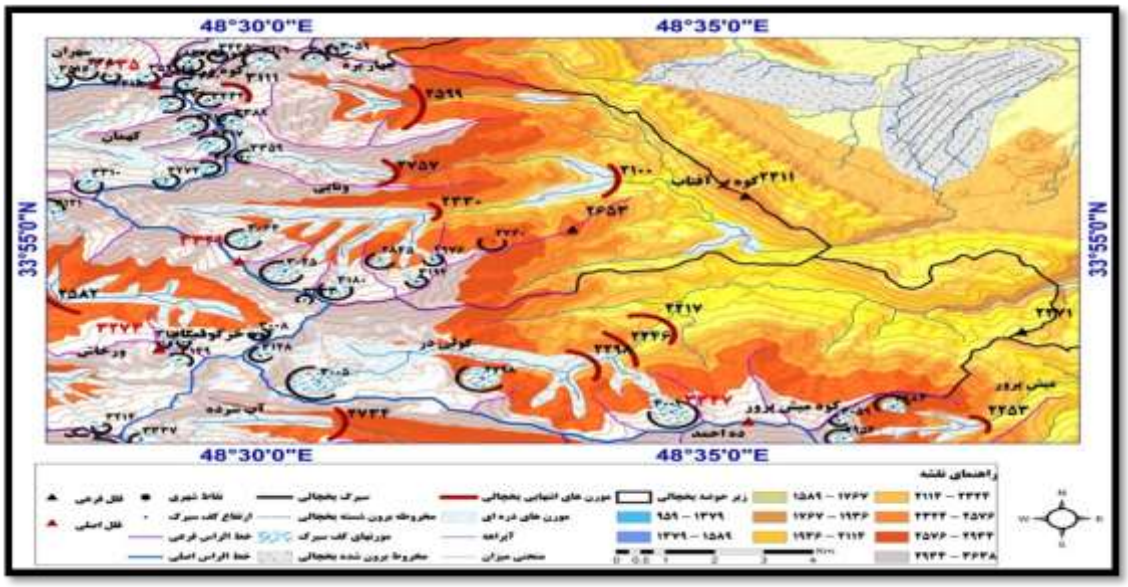
شکل ۹. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه سهران
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

شکل ۱۰. دورنمای دامنه‌های شمالی گرین، زیرحوضه یخچالی سهران
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۲)

بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی ونایی: زیر حوضه ونایی با تعداد ۱۱ سیرک یخچالی و ۴ عدد مورن پایانی در دامنه شمال شرقی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به شواهد ژئومورفیک و ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در زیر حوضه یخچالی ونایی و بر اساس روش لویز کمترین ELA در این زیر حوضه برابر با ۲۸۷۶ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۳۱۹۶ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در این زیر حوضه در ارتفاع ۲۷۹۱ متر و بالاترین آن در ارتفاع ۳۱۱۹ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۳۱۹۰ متری قرار دارد. جنس رسوبات در محل سیرک‌های زیر حوضه یخچالی ونایی آهک، آهک سفید و آهک و شیل است. فرسایش یخچالی باعث فرسایش این مواد کم مقاوم شده است و تعداد مورن‌های پایانی در این حوضه زیاد است. همچنین فرسایش یخچالی باعث حمل مورن‌ها تا ارتفاع ۲۱۰۰ متری در امتداد دره ونایی شده است (جدول ۲) (شکل ۱۲و ۱۱).

شکل ۱۱. مقطع مورن‌های یخرفتی- آبرفتی در بخش انتهایی دره ونایی
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۲)

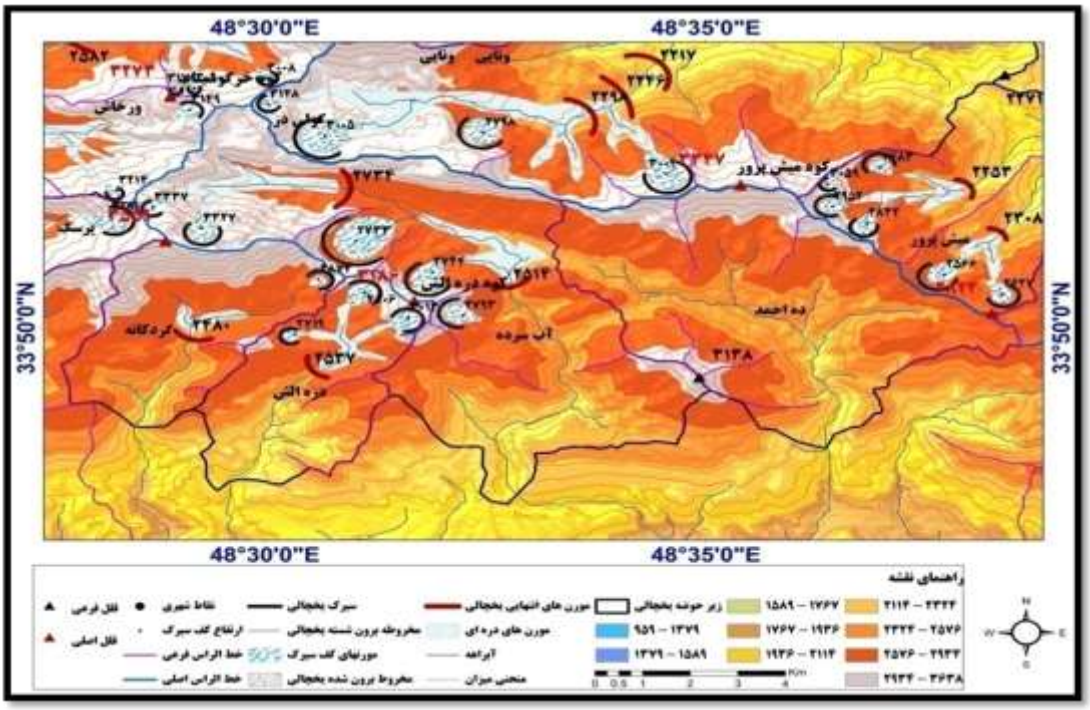
بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی کولیدر: زیر حوضه کولیدر با تعداد ۴ سیرک یخچالی و ۳ عدد مورن پایانی در شمال شرقی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به شواهد ژئومورفیک و ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در زیر حوضه یخچالی کولیدر و بر اساس روش لویز کمترین ELA در این زیر حوضه برابر با ۲۸۱۴ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۲۸۵۴ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در این زیر حوضه در ارتفاع ۲۷۹۸ متر و بالاترین آن در ارتفاع ۲۸۳۸ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۲۹۸۳ متری قرار دارد. فرسایش یخچالی باعث حمل مورن‌ها تا ارتفاع ۲۲۱۷ متری در امتداد دره کولیدر شده است (جدول ۲) (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه یخچالی ونایی و کولیدر
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

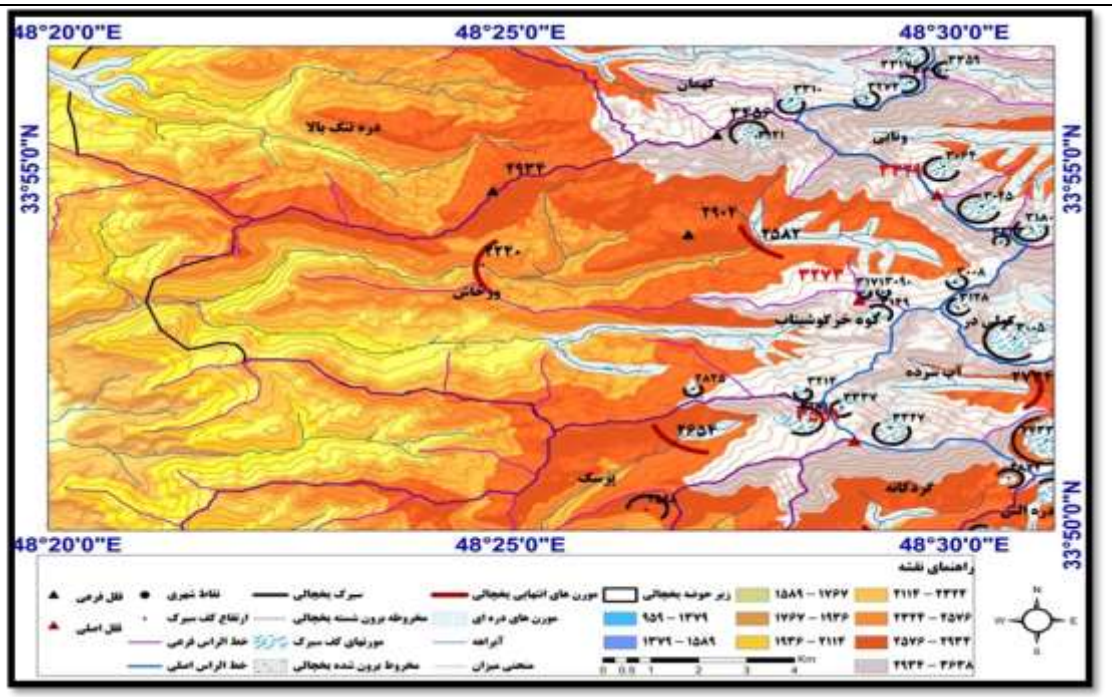
بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی آب سرده: زیر حوضه آب سرده با تعداد ۵ سیرک یخچالی و ۲ عدد مورن پایانی در جنوب شرقی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به شواهد ژئومورفیک و ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در زیر حوضه یخچالی آب سرده و بر اساس روش لویز کمترین ELA در این زیر حوضه برابر با ۳۰۳۶ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۳۱۴۶ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در این زیر حوضه در ارتفاع ۲۹۴۶ متر و بالاترین آن در ارتفاع

۳۰۵۳ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۲۹۸۶ متری قرار دارد. فرسایش یخچالی باعث حمل مورن‌ها تا ارتفاع ۲۵۱۴ متری در امتداد دره آب سرده شده است (جدول ۲) (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه یخچالی آب سرده
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

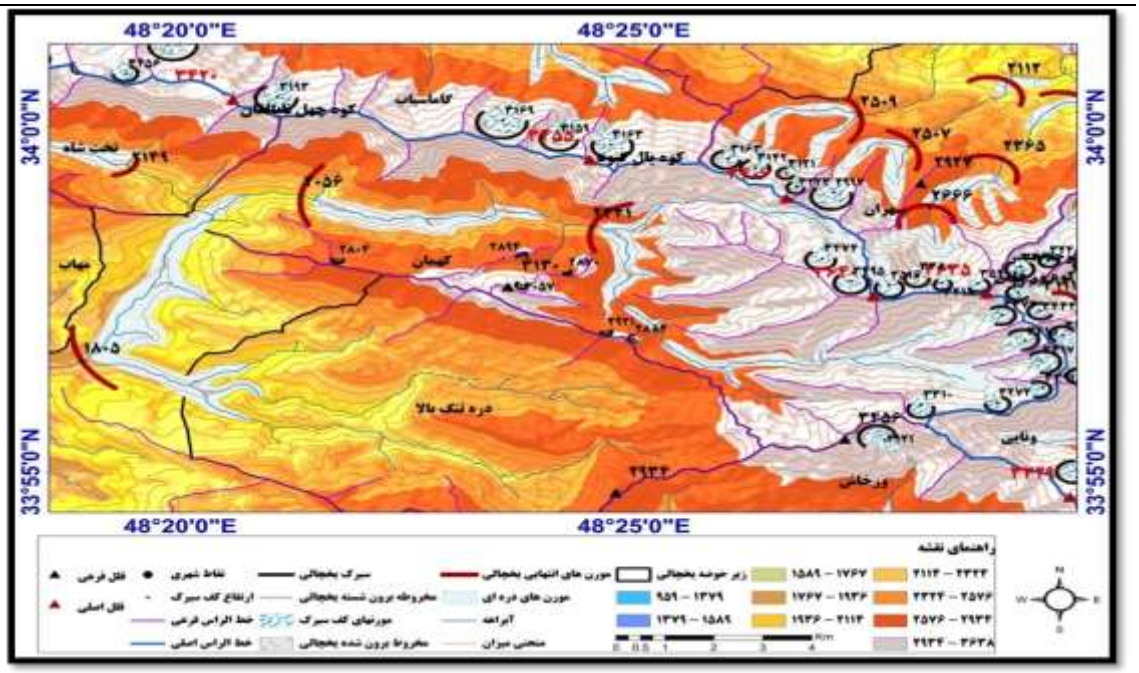
بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی ورخاش: زیر حوضه ورخاش با تعداد ۸ سیرک یخچالی و ۱ عدد مورن پایانی در دامنه جنوبی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به شواهد ژئومورفیک و ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در زیر حوضه یخچالی ورخاش و بر اساس روش لویز بیشترین ELA در این زیر حوضه برابر با ۲۸۱۷ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر بیشترین میزان ELA در این زیر حوضه در ارتفاع ۲۷۸۶ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۳۱۰۱ متری قرار دارد. در این زیر حوضه یخچال‌ها باعث فرسایش مواد و پایین آوردن مورن‌ها تا ارتفاع ۲۲۴۰ متری در امتداد دره ورخاش شده‌اند (جدول ۲) (شکل ۱۴).



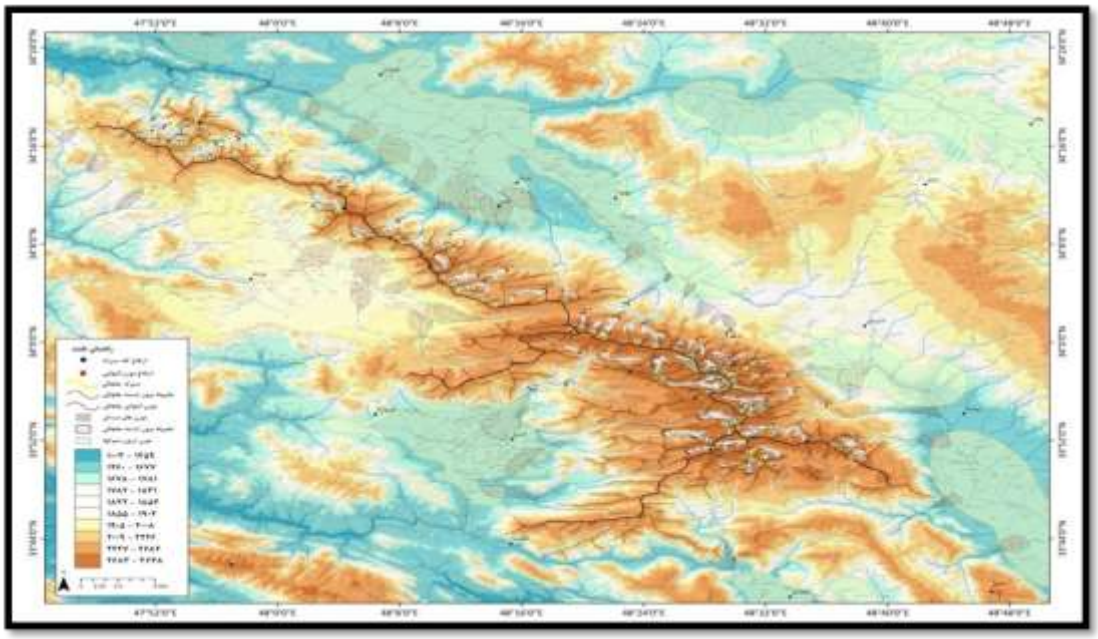
شکل ۱۴. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه یخچالی ورخاش
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

بازسازی ELA در زیر حوضه یخچالی کهمان: زیر حوضه یخچالی کهمان با تعداد ۱۲ سیرک یخچالی و ۳ عدد مورن پایانی در دامنه جنوبی ارتفاعات گرین قرار دارد. با توجه به شواهد ژئومورفیک و ارتفاع مورن‌های پایانی موجود در زیر حوضه یخچالی کهمان و بر اساس روش لویز کمترین ELA در این زیر حوضه برابر با ۲۷۲۲ متر و بیشترین آن در ارتفاع ۳۰۴۰ متری قرار دارد. بر اساس روش هوفر کمترین ELA در این زیر حوضه در ارتفاع ۲۶۵۲ متر و بالاترین آن در ارتفاع ۲۹۷۰ متری قرار دارد. در این زیر حوضه میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۳۳۶۳ متری قرار دارد. با توجه به اینکه این زیر حوضه در دامنه جنوبی و آفتابگیر ارتفاعات گرین قرار دارد ولی یخچال‌زایی خوب عمل کرده است. همچنین ساختار زمین شناسی و جنس مواد تشکیل دهنده ارتفاعات گرین در این زیر حوضه از آهک‌های ضخیم، دولومیت و ماسه سنگ تشکیل شده است و این مواد فرسایش پذیر هستند، یخچال‌ها باعث فرسایش این مواد و پایین آوردن مورن-ها تا ارتفاع ۱۸۰۵ متری در امتداد دره کهمان شده‌اند (جدو۲) (شکل ۱۶).

شکل۱۵. تصویر یخرفت‌های دره یخچالی کهمان واقع در دامنه جنوبی ارتفاعات گرین
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۱۶. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی زیر حوضه یخچالی کهمان
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل۱۷. نقشه ژئومورفولوژی یخچالی ارتفاعات گرین
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۲)

جدول ۲. جدول محاسبه ELA در زیر حوضه‌های یخچالی ارتفاعات گرین به روش هوفر، لویز و پورتر

زیر حوضه‌های یخچالی	تعداد سیرک	کد مورن	ارتفاع مورن	ELA محاسبه به روش هوفر	محاسبه روش ELA لویز	به ELA محاسبه روش ارتفاع کف سیرک به روش پورتر	میانگین ارتفاع کف سیرک های یخچالی
گاوچال	۶	T1	۲۲۰۰	۲۶۱۰	۲۷۰۰	۲۷۸۰	۲۱۵۳
		T 2	۲۵۹۷	۲۸۰۸	۲۸۹۸		
تازناب	۱۰	T 3	۲۰۷۲	۲۵۱۱	۲۶۳۶		۲۷۸۸
		T 4	۲۱۷۱	۲۵۶۰	۲۶۸۵		
		T5	۲۱۷۴	۲۵۶۲	۲۶۸۷		
گاماسیاب	۷	T 6	۲۰۵۰	۲۶۷۳	۲۷۵۲		۳۳۶۳
		T 7	۲۲۲۳	۲۷۶۰	۲۸۳۹		
		T 8	۲۲۶۲	۲۷۷۹	۲۸۵۸		
		T 9	۲۳۱۴	۲۸۰۶	۲۸۸۴		
سهران	۹	T10	۲۰۰۰	۲۷۶۴	۲۸۲۰		۳۲۲۱
		T 11	۲۱۱۲	۲۸۲۰	۲۸۷۶		
		T 12	۲۳۶۵	۲۹۴۶	۳۰۰۲		
		T 13	۲۵۰۷	۳۰۱۷	۳۰۷۳		
		T 14	۲۵۰۹	۳۰۱۸	۳۰۷۴		
		T 15	۲۶۶۶	۳۰۹۷	۳۱۵۳		
ونایی	۱۱	T 16	۲۱۰۰	۲۷۹۱	۲۸۷۶		۳۱۹۰
		T17	۲۳۳۰	۲۹۰۶	۲۹۸۲		
		T 18	۲۵۹۹	۳۰۴۰	۳۱۱۷		
		T 19	۲۷۵۷	۳۱۱۹	۳۱۹۶		
کولیدر	۴	T 20	۲۲۱۷	۲۷۹۸	۲۸۱۴		۲۹۸۳
		T 21	۲۲۴۶	۲۸۱۲	۲۸۲۸		
		T22	۲۲۹۸	۲۸۳۸	۲۸۵۴		
آبسرده	۵	T23	۲۵۱۴	۲۹۴۶	۳۰۳۶		۲۹۸۶
		T24	۲۷۳۴	۳۰۵۳	۳۱۴۶		
ورخاش	۸	T25	۲۲۴۰	۲۷۸۶	۲۸۱۷		۳۱۰۱
کهمان	۱۲	T26	۱۸۰۵	۲۶۵۲	۲۷۲۲		۳۳۶۳
		T27	۲۰۵۶	۲۷۷۸	۲۸۴۸		
		T28	۲۴۴۱	۲۹۷۰	۳۰۴۰		

منبع: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۲)

نتیجه گیری

در ارتفاعات گرین بر اساس رابطه T = 17.39- 0.003799 h که از رابطه بین میانگین دمای سالانه و ارتفاع ایستگاه-های هواشناسی به دست آمده است میزان ELA حال حاضر در ارتفاع ۴۵۷۷ متری بازسازی شده است. از مقایسه ELA گذشته که با استفاده از روش کف سیرک پورتر برای ارتفاعات گرین به دست آمده است و در ارتفاع۲۷۸۰ قرار داشته است به این نتیجه می رسیم که با ELA حال حاضر متوجه می‌شویم که این خط در حال حاضر به علت تغییرات اقلیمی حاکم میزان ELA تغییرات زیادی داشته و به میزان زیادی بالاتر رفته است.

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. به همین علت یخچال‌های کواترنری ضمن حرکت خود در امتداد دره‌های اصلی باعث حمل و جابجایی رسوبات شده است. همچنین مورن‌های یخچالی بیشتری در این قسمت از دامنه‌ها نسبت به دامنه‌های جنوبی این ارتفاعات وجود دارد. در حوضه یخچالی سهران که در دامنه‌های شمالی این ارتفاعات وجود دارد یخچالها توانسته‌اند رسوبات یخچالی را تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری در داخل دره به پایین حمل کنند. همچنین با توجه به این که زیر حوضه کهمان در دامنه جنوبی و آفتابگیر ارتفاعات گرین قرار دارد ولی یخچال‌زایی به دلیل شکل و عمق دره و قلل مرتفع در برگیرنده این حوضه خوب عمل کرده است. در این زیر حوضه ساختار زمین شناسی و جنس مواد تشکیل دهنده ارتفاعات گرین از آهک‌های ضخیم، دولومیت و ماسه سنگ تشکیل شده است و این مواد فرسایش پذیر هستند، یخچال‌ها باعث فرسایش این مواد و پایین آوردن مورن‌ها از نوع یخرفتی- آبرفتی تا سطوح ارتفاعی پایین‌تری در امتداد دره کهمان و سایر دره‌های فرعی در کل پیرامون ارتفاعات گرین گردید. هچنین مورن‌هایی از نوخ کاذب محسوب می‌شوند.

حامی مالی
این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان
نویسندگان در انجام این پژوهش سهم برابر دارند.

تضاد منافع
نویسندگان اعلام می دارند، هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر
نویسندگان از افرادی که در انجام این پژوهش همکاری داشتند، تشکر می کنند.

منابع

۱) ابراهیمی، بابک و سیف، عبداله (۱۳۹۵). ارتفاع خط تعادل (TP-ELA) و (TPW-ELA) در ارتفاعات زاگرس، پژوهش های دانش زمین، (۲۸)۷، ۱۱۸ – ۹۶.

۲) جعفربیگلو، منصور؛ یمانی، مجتبی؛ عباس‌نژاد، احمد؛ زمان‌زاده، سیدمحمد و ذهاب ناظوری، سمیه (۱۳۹۳). بازسازی برف مرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان‌های بیدخوان (استان کرمان)، جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران)، (۴)۱۲، ۱۰۷-۹۳. file:///C:/Users/h/Downloads/40813934005.pdf

۳) جعفری، غلامحسن و آوجی، مینا (۱۳۹۶). بازسازی سیرک‌های یخچالی در کراترهای آتشفشانی کواترنری (مطالعه موردی قروه کردستان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی،(۲)۷، ۱۵- ۱. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-290-fa.html

۴) رجبی، معصومه و بیاتی‌خطیبی، مریم (۱۳۸۶). بررسی لندفرم دره‌های یخچالی مطالعه موردی: دره‌های یخچالی کوهستان سهند، پژوهش‌های جغرافیائی، شماره ۶۴، ۱۲۱- ۱۰۵.

۵) رحیمی، امید؛ اسفندیاری‌درآباد، فریبا و مقصودی، مهران (۱۳۹۷). بازسازی محیط و آب و هوای دیرینه در ارتفاعات چهل چشمه دیواندره کردستان در طول آخرین دوره حداکثر گسترش یخچالی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، (۳)۷، ۲۶۰- ۲۴۵. https://ensani.ir/file/download/article/1567576422-10010-27-15.pdf

۶) سیف، عبداله و ابطحی، سیدمرتضی (۱۳۹۲). بررسی تحولات اقلیمی حوضه دریاچه نمک در کواترنر پایانی، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۶،۹۱-۱۱۱ https://www.sid.ir/paper/203707/fa

۷) سیف، عبداله (۱۳۹۴). سیرک‌های یخچالی پلئیستوسن در ارتفاعات گرین زاگرس، دومین همایش ملی انجمن کواترنری ایران، دانشگاه اصفهان. https://www.sid.ir/paper/830403/fa

۸) سیف، عبدالله و بیرانوند، حجت الله (۱۴۰۰). بازسازی برف‌مرزهای دائمی کواترنر پایانی در ارتفاعات جنوبی ایران مرکزی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، (۳)۱۰، ۱۱۱-۱۳۳. https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.280051.126

۹) شاهزیدی، پری (۱۴۰۲). بازسازی مرز برف‌های کواترنری پایانی در ارتفاعات الوند با متد کف سیرک، لویس و هوفر، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، به راهنمایی عبداله سیف، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان.

۱۰) شریفی نجف‌آبادی، رسول (۱۳۹۷). شواهد یخچالی و زمین ساختی کواترنر پسین در حوضه چشمه لنگان اصفهان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (۳) ۳۳، ۲۲۴-۲۳۷. Https://doi.org/10.29252/geores.33.2.223

۱۱) قبادی، محمدحسین؛ عبدی‌لر، یاسین و محبی، یزدان (۱۳۹۰). اهمیت شناخت خصوصیات ژئومورفولوژیکی، سنگ شناسی و فیزیکی سنگ‌های کربناته، جهت ارزیابی توسعه کارست در منطقه نهاوند، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، (۴)۷، ۳۱۰- ۲۹۹. file:///C:/Users/h/Downloads/21413900402-1.pdf

۱۲) قهرودی تالی، منیژه (۱۳۹۰). تخمین و مقایسه برف مرزهای دائمی در عصر یخچالی و بین یخچالی (مطالعه موردی: حوضه رود هراز)، مجله جغرافیا و توسعه، (۲۵)۹، ۱۱۰-۹۷. https://gdij.usb.ac.ir/article_511_1016a49a68ca88d8ce25a025877bdf16.pdf

۱۳) محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ خوش اخلاق، فرامرز و رنجبر، فیروز (۱۳۹۴). روند روزهای یخبندان در ایران (۱۹۸۲ – ۲۰۱۲)، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیای ایران)، (۴۶)۱۳، ۱۳۶- ۱۱۹. https://mag.iga.ir/article_701144_9be0839007bb92faca8244350d419a06.pdf

۱۴) یمانی، مجتبی (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفیک و حدود و گسترش آنها)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۵۹، ۱۳۹-۱۲۵.

15) Bobek, H. (1959). Future and Formation of the Grate Kawir and Masileh, Arid Zone Research Center University of Tehran, Vol. 470, pp. 53-66. http://www.briancoad.com/species%20 accounts/ complete_bibl.htm.

16) Bobek, H. (1937). Die Rolle der Eiszeit in Nordwestiran. In: Z. Glestscherk. Vol. 25, pp. 130-183.

17) Desio, A. (1934) . Appunti Goegrafici Sulla Catena dello Zardeh Kuh in Persia, Memorie geologiche e Geographicale, di G. Dainelli, Vol. 4, pp. 141-167. https://books.google.com /advanced_book_search?q=Desio,+A.,+1934a.

18) Ebrahimi, B. & Seif, A. (2016). Equilibrium - Line Altitude of Late Quaternary Claciers in the Zardkuh Mountain, Iran, Geopersia, Vol. 6, No. 2, pp. 299-322. . Doi: 299-322. 10.22059/ jgeo-pe.2016.58674.

19) Ghahroudi, M., Abdoli, E. & Nezammahalleh, M. A. (2013). Geomorphological and Sedimentological evidence of Alpine Glaciers in The Zagros Mountains, Dinevar, Iran, Journal of Tethys, Vol. 1, No. 1, pp. 85-95. https://jtethys. journals.pnu.ac.ir/article 2758 186fb 54a16d465 38c7ef54abcb 108 dbf .pdf.

20) Hendrickx, H., Jacob, M., Frankl, A. & Nyssen, J. (2015). Glacial and Periglacial Geomorphology and its Paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed Geomorphological Map, Geomorphology. Vol. 246, 156-167. https://doi.org/10.1016/ J.Geomorph. 2015.05.005.
21) Gallardo, M., Otto, J. C., Gayo, E. M. & Sitzia, L. (2023). Reconstruction of Glaciers in the Western boundary of the Altiplano (18.5◦-19◦S): Singularities and insights on potential drivers of Quaternary Science Advances, Vol. 13, 100158. https://doi.org/ 10.1016/ j.qsa.2023. 100158.
22) Höfer, H. (1879). Gletscher und Eiszeit-Studien Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch naturwissenschaftliche Klasse, Vol. 79, p. 331 - 367. https://www. zobodat. at/publikation_articles.php?id=146365.
23) Louis, H. (1955). Schneegrenze und Schneegrenzbestimmung, Geographisches Taschenbuch 1954, Vol. 55, 414-418. https://www.tesisenred.net/ bitstream/handle/ 10803/10653/ 9de9. JJGT_bibliografia. pdf.
24) Mark, B., Harrison, S. P., Spessa, A., New, M., Evans, D. G. A. & Helmens, K. F. (2005). Tropical Snowline chnges at the last Glacial maximum: A Global assessment, Quaternary International, Vol. 138-139, 168-201. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.02.012.
25) Seif, A. (2015). Equilibrium-Line Altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran, Quaternary International, 2 (6), 126-143. https://doi.org/10.22059/ jgeope. 2016.58674.
26) Seif, A. & Ali, B. (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 (6), 120-142. https://doi.org/10.4236/gep.2018.66010.
27) Seif, A. & Ebrahimi, B. (2014). Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran. Quaternary International, Vol. 353, pp. 236-249. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.005.
28) Schweizer, G. (1972). Klimatisch bedingte Geomorphologiche und Glazialo- gische Zuge der Hochregion vorderasiatischer Gebirge (Iran and Ostanatolien) [Climatically based geomorphological and glaciolog- ical characteristics of the high- altitude regions of Near Eastern mountains (Iran and Eastern Anatolia)] :Erdwissenschaftliche Forschung, Vol. 4, 221-236. https://books.openedition.org/pub/11207?lang=en.