

Spatial Distribution of Quaternary ELA in Iran Geomorphic Units

Gholam Hassan Jafari^{1*}, Nasrin Hazrati²

1- Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract

Interodaction

Geomorphologic evidence and existing landforms, such as glacial cirques, glacial valleys, glacial erratic, and tiles, indicate the performance of glacial processes and the dominance of glacial systems. Among the basic issues in glacial studies are the ELA and the water and ice equilibrium line (Ramesht et al. 2011). Although the current situation in Iran and the domination of dry and semi-arid conditions have led to doubt about the existence of glacial rule in this country, but the glaciers geomorphologic evidence in the different regions of Iran shows the performance of glaciers. Iran, with an area of 1648195 square kilometers, is located between 25 to 40 degrees north latitude and 44 to 63 degrees east longitude. It is geometrically similar to a diamond that has a large diameter along the northwest - southeast and its small diameter is along the northeast - southwest. The average length and width of Iran along the meridian of 54 degrees east and 32 degrees north is about 1225 kilometers. The political range of Iran in arid areas is more consistent with local geographic complications, the most important of which is the Thalweg along the watercourse, which is divided into 6 geomorphic units (i.e. Zagros, Northern, Central Iran, and Eastern, Northeastern, and Northwestern units).

Material and methodes

Study of Equilibrium-Line-Altitude (ELA) in Iran, as an independent unit, is not flawless since it is expanded 15 degrees latitude and 19 degrees longitude. To do this, an Iranian DEM with 30*30 meter resolution was first prepared from the USGS site and merged in the ARC GIS software, and the related DEM was cut for each unit. Merged topographic maps of Iran with a scale of 1: 50000 were also extracted for each unit. Based on documents in topographic maps, 20-meter equilibrium lines and the reflection of landforms in SRTM satellite images, cirques of each peak were identified. Topographic maps deal with virtual displays of terrains, and the four elements of the form of contour line, the arrangement of peaks and the network of streams, and single elevation points make this identification easier. The form of contour lines can be used to determine the areas dominated by icy zones on the map and satellite imagery. In the next step, the data of the cirques identified alluvial sediments that have not undergone diageneses or erosion-sensitive sediments such as marl and clay was extracted from the cirques data. Then, according to the method of Terminus-to-Head Altitude Ratio the identified cirque that were not concave with a longitudinal profile design were considered as pseudo-cirques and were discarded in the estimation of the ELA. ELA was calculated using Wright and cirque-floor altitude methods. The overall direction of the identified cirques was determined according to the continuity of terrains, so that the main ridge of each basin determined the direction of the formation of the cirque. In addition, according to the slope direction maps and sampling from cirques points, the direction of the cirques was identified.

Results and discussion

The result of the ELA of the 13th highest peak of Iran is as follows: Boll 2946m, Alvand 2700m, Tochal 2691m, Hezar 2936m, Binalud 2529m, Damavand 2832m, Sardasht 2719m, Boghrudagh 2026m, Shaho 1997m, Sabalan 2872m, Belgheis 2621m, Shirkouh 2959m and Zardkuh 2862m.

The difference in ELA of Zagros unit, which is more extended in latitude, was estimated to be 842 m. ELA of northeast slopes was estimated to be 685 m above ELA of the southwest slopes. In the central geomorphic unit of Iran, as the most arid units under the influence of glacial processes during the quaternary, cirque-floor altitude method and THAR (Wright) are the most suitable methods for estimating ELA. In this geomorphic unit, estimated ELA varies between 2772 m and 2915 m (143 m altitude difference). The quaternary ELA of this unit is 2902 m, which is the highest ELA among the geomorphic units of Iran. In terms of direction in this geomorphic unit, altitude difference of north-northeast and south-southwest slopes was 143.5 m. The estimated ELA of Al-Madrasi and Ramesht (2007) in the Sakhvid sub-basin (3300-3100 m), Jafarbeiglo et al. (2014), and Zahab Nazouri et al. (2016) in Bidkhan sub-basin of Kerman (3166 m) on south-southwest slope, and Parizi et al. (2013) in Tangoeye Sirjan (2719 m) in south-southeast slope of the mountains of the Central Iran unit are in line with the findings of this research.

Conclusion

Quaternary climatic changes and the displacement of ELA in the mountainous regions of Iran are inevitable and obvious. Accordingly, the effects of the Quaternary glaciers are identified in the second grade basins of Iran. The ELA is estimated by Wright, cirque-floor altitude, THAR (of Wright and Porter), and altitude ratios's methods. Cirques' landforms are usually identified with the help of contour lines and satellite imagery. Due to the fact that landforms in loose lithology cannot remain unchanged for a long time, the data of those landforms that were considered as cirques in loose sediments and those that have not undergone diagenesis were removed. Removing information of these cirques suggests that these semi-cirques landforms are located at lower altitudes in most of the basins. With respect to the effect of land surfaces' slope direction of the formation of cirque landforms in temperate regions, the estimated ELA cannot be trusted without regard to the direction of land slope. Accordingly, in addition to Wright's method, cirque-floor altitude, THAR method (of Wright and Porter), and altitude ratios are used for estimating ELA in different geographical directions. In most of Iran basins, ELA estimated by Wright's method was 200 m higher than the rest of the methods. Porter (2001) believes that the difference in ELA with different methods is because of different methodologies, but the great difference between Wright's method and other methods suggests that the method is not consistent with them. As a result, it can be said that the ELA estimated by Wright method cannot be trusted in all parts of Iran.

Key Words: Cirque, Glacier, Geomorphic unit, Iran, Quaternary.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)
سال هشتم، شماره دوم، (پیاپی ۲۹)، تابستان ۱۳۹۷
تاریخ وصول: ۹۶/۱۱/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۳
صص: ۱۰۴-۸۱

توزیع فضایی ارتفاع برف مرز کواترنری واحدهای ژئومورفیک ایران

غلام حسن جعفری^{۱*}، نسرين حضرتی^۲

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

موقعیت کنونی ایران و تسلط شرایط خشک و نیمه‌خشک، وجود حاکمیت یخچال‌ها را در این کشور با تردید همراه کرده است؛ با این حال وجود شواهد و آثار ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها در مناطق مختلف ایران، عملکرد یخچال‌ها را نشان می‌دهد. برای بررسی ارتفاع برف مرز کواترنری در ابتدای کار بیش از ۱۷۴ قله بالای ۳۰۰۰ متر در ایران شناسایی و سپس مرتفع‌ترین قله هر واحد ژئومورفیک برای برآورد ارتفاع برف مرز انتخاب شد. پس از آن DEM ایران در نرم‌افزار ARC GIS برای هر واحد ژئومورفیک و حوضه‌های آبریز متأثر از قله‌های شناسایی شده برش زده شد. براساس نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای SRTM سیرک‌های هر واحد شناسایی و ارتفاع برف مرز به روش‌های راییت، ارتفاع کف سیرک، نسبت‌های ارتفاعی، پنجه به دیواره (رایت و پورتر) محاسبه و سیرک‌های شناسایی شده از نظر جهت در دامنه‌های نگار و نثار با توجه به امتداد ناهمواری‌ها تفکیک و بررسی شد. فرایند یخچالی در تحول ناهمواری‌های کوهستانی ۶ واحد ژئومورفیک نقش اساسی داشته است. ارتفاع برف مرز ۱۳ قله مرتفع ایران به این شرح است: بل ۲۹۴۶ متر، الوند ۲۷۰۰ متر، توچال ۲۶۹۱ متر، هزار ۲۹۳۶ متر، بینالود ۲۵۲۹ متر، دماوند ۲۸۳۲ متر، سردشت ۲۷۱۹ متر، بغروداغ ۲۰۲۶ متر، شاهو ۱۹۹۷ متر، سبلان ۲۸۷۲ متر، بلقیس ۲۶۲۱ متر، شیرکوه ۲۹۵۹ متر و زردکوه ۲۸۶۲ متر.

واژه‌های کلیدی: ایران، سیرک، کواترنری، واحد ژئومورفیک، یخچال.

مقدمه

منشأ اشکال امروزی زمین، تحولات دو میلیون سال اخیر است که دانشمندان علوم زمین آن را کواترنری نامیده‌اند. ویژگی اصلی این دوره، تغییرات اقلیمی در بخش‌های وسیعی از سطح زمین است. پژوهشگران برای مستدل کردن تغییرات اقلیمی از شواهد یخچالی، شواهد بیولوژیکی و آثار دریاچه‌ها و کویرها بهره‌برده‌اند (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۶۹). مطالعه تاریخچه عصر یخبندان در درک ما از میراث‌های این دوره و حفاظت و استفاده پایدار از آن و نیز حساسیت زمین مهم است (لی، ۲۰۱۱: ۲۷۴). به دلیل مرتفع‌تر بودن کوهستان‌های ایران از برف مرز و همچنین شرایط مناسب اقلیمی و توپوگرافی مانند درجه حرارت، جهت باد، میزان بارندگی و جهت دامنه‌ها، یخچال‌های متعدد وجود داشته‌اند (قهرودی‌تالی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲). لندفرم‌های یخچالی در ابعاد و اشکال مختلف در کوهستان‌های مرتفع (دریاچه، سیرک و ...) کشور جای گرفته‌اند (صمدزاده، ۱۳۸۶: ۲۰). از بین اشکال یخچالی، سیرک‌ها به دلیل قابلیت تبدیل به داده‌های کمی اهمیت فراوانی دارند. سیرک، بازتابی از عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، نوع و مدت اثر یخچال‌هاست (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۲).

تاکنون در پژوهش‌های متعدد ارتفاع برف مرز قسمت‌های مختلفی از ایران برآورد شده است؛ اما در زمینه تفاوت این ارتفاع در عرض‌های جغرافیایی و جهات مختلف ناهمواری‌ها، پژوهش‌های انگشت‌شماری انجام شده است. با توجه به شرایط توپوگرافی متنوع، در ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری واحدهای ژئومورفیک و قله مرتفع ایران تفاوت زیادی وجود داشته است. این پژوهش با شناسایی سیرک‌های یخچالی در قله مرتفع واحدهای ژئومورفیک مختلف قصد دارد ضمن معرفی روش مناسب برآورد ارتفاع برف مرز در مناطق مختلف، تفاوت ارتفاع برف مرز را در واحدهای مختلف مورفولوژیک ایران و در جهات مختلف جغرافیایی برآورد کند.

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیتی که یخچال‌های کواترنری در ایجاد لندفرم‌های کنونی در بخش‌های مختلف کره زمین داشته‌اند، این موضوع همواره یکی از بحث‌برانگیزترین موضوعات محافل ژئومورفولوژیکی است. کورتر و سانگور (۱۹۸۰) نقش یخچال‌های فعلی ترکیه را در لندفرم‌های موجود بررسی کردند. ایوانز (۲۰۰۶) با آلومتری سیرک‌های یخچالی در منطقه ولز انگلستان، لندفرم‌های سیرکی را از شبه‌سیرک تشخیص داد. ناپیرالسکی و همکاران (۲۰۰۷) مطالعات وسیعی را درباره لندفرم‌های یخچالی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند و روند گسترش و عقب‌نشینی یخچال را بررسی کردند. پتراس^۱ (۲۰۱۰) منشأ دشت‌های یخساری^۲ ایلی نويز را یخچال‌های بزرگی می‌داند که ۱۶۰۰۰ تا ۲۰۸۰۰ سال پیش در منطقه بوده‌اند.

سریکایا و همکاران (۲۰۱۱) پژوهش‌هایی در زمینه زمین‌شناسی یخچالی ترکیه انجام دادند و اطلاعات مهمی درباره میزان و زمان‌بندی یخچال‌های کواترنری پایانی به دست آوردند.

^۱ Petras

^۲ Ice shet

وانگ و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی یخچال‌های کواترنری کوهستان کنگور در شرق فلات پامیر چین دریافتند لندفرم‌های متعلق به شش دوره پیشروی و عقب‌نشینی یخچال در دامنه‌های شمالی شرایط گسترش بهتری داشته‌اند. ژاو و همکاران (۲۰۱۲ & ۲۰۱۳) در بررسی یخچال‌های کواترنری دره رودخانه کاناس در کوه‌های آلتایی چین با استناد به چهار ترمینال یخرفت یخچالی، چهار دوره پیشروی و عقب‌نشینی زبانه‌های یخچالی را در کواترنری تأیید کردند.

سررانو و همکاران (۲۰۱۳) بیشترین گسترش یخچال‌های کواترنری را در کوه‌های کانتابریان شمال اسپانیا با روش نسبت‌های ارتفاعی بازسازی کردند.

میندراسکو و ایوانز (۲۰۱۴) سیرک‌ها و توسعه آنها را در کشور رومانی بررسی کردند. دلماس و همکاران (۲۰۱۵) رشد آلومتریکی سیرک‌ها را در کوه‌های آلپ مطالعه و براساس روش‌های آماری آنها را تجزیه و تحلیل کردند.

بار و اسپاگنولو (۲۰۱۵) با بررسی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی و ارتفاع آنها به تعامل بین یخچال با زمین‌شناسی و آب‌وهوا پی بردند.

چن و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی چهار دوره یخچال‌های کواترنری نواحی کوهستانی کارلیک در شرق تیان‌شان، چهار دوره پیشروی و عقب‌نشینی یخچال را بازسازی کردند و معتقد بودند با کاهش دما میزان بارش نیز کاهش می‌یافته است.

هنریکس و همکاران (۲۰۱۵) ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی را در اتیوپی بررسی کردند. آگوستینوس و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی شرایط محیطی دشت بوکو در غرب تاسمانی طی کواترنری دریافتند رسوبات این منطقه در محیط‌های یخچالی، رودخانه‌ای، باتلاقی و ساحلی ته‌نشین شده‌اند.

دهمس و همکاران (۲۰۱۸) تعداد دوره‌های یخچالی کواترنری کوه تیبیل، دریاچه بول و مورن‌های حاشیه اسکاگوا‌آی کانیون سینک وایومینگ ایالات متحده آمریکا را در پلیوستوسن پنج دوره و در هولوسن چهار دوره کوچک مقیاس برآورد کرده‌اند.

دومورگان نخستین کسی است که در سال ۱۸۹۰ سیرک‌های یخچالی قدیمی ایران را مطالعه کرد (زمردیان، ۱۳۹۱: ۳۶). پس از وی، دانشمندان غربی پژوهش‌های جدی‌تری درباره یخچال‌های ایران انجام دادند؛ از جمله بوبک (۱۹۳۳)، دزیو (۱۹۳۴)، هایبروک (۱۹۴۰)، فالکن (۱۹۴۶)، هاردینگ (۱۹۵۷)، پگی (۱۹۵۸)، بوت (۱۹۶۱)، رایت (۱۹۶۲)، مک میلان (۱۹۶۹)، شوایتزر (۱۹۷۰)، هوروارت (۱۹۷۵)، گرونرت (۱۹۷۸)، پروی (۱۹۸۰) و فریگنو (۱۹۸۸) (یمانی و زمانی، ۱۳۸۶: ۱۰۲-۱۰۱).

پدرامی (۱۹۸۲) در ارتفاعات منطقه مریوان، موسوی و همکاران (۲۰۰۹) در زردکوه، معیری و همکاران (۲۰۱۱) در ایران و سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) در زردکوه، آثار یخچالی را بررسی کردند.

طاحونی (۱۳۸۳) در ارتفاعات تالش، یمانی (۱۳۸۶) در زردکوه بختیاری، رامشت و کاظمی (۱۳۸۶) در اقلید فارس، جعفری (۱۳۸۸) در ایران، قهرودی‌تالی و همکاران (۱۳۹۲) در حوضه آبریز رودخانه زاب، سرور و مجتهدی

(۱۳۹۰) در البرز غربی (کوه خشچال)، پاریزی و همکاران (۱۳۹۲) در تنگوییۀ سیرجان، جعفریگلو و همکاران (۱۳۹۳) در کوهستان بیدخوان کرمان، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) در ارتفاعات قلاجه، سیف و همکاران (۱۳۹۴) در سایت ریگ، جعفری (۱۳۹۵) در الوند همدان، قهرودی تالی و حسنی قارنایی (۱۳۹۴) در کوه دالامپر و بزسینا، قربانی شورستانی و همکاران (۱۳۹۵) در کوه بینالود، خوش‌رفتار و همکاران (۱۳۹۵) در کوه شاه البرز، یمانی و زمانی (۱۳۹۵) در حوضه هراز، جعفری و آوجی (۱۳۹۵) در قروه، شریفی و همکاران (۱۳۹۶) در دشت ابراهیم‌آباد یزد و ملکی و همکاران (۱۳۹۷) در کوههای چهل چشمه و سارال در کردستان، آثار و شواهد یخچالی، ارتفاع برف مرز و گاه خط تعادل آب‌ویخ را بررسی کردند.

روش پژوهش

در ابتدای کار بیش از ۱۷۴ قله بالای ۳۰۰۰ متر در ایران شناسایی و سپس مرتفع‌ترین قله هر واحد برای برآورد ارتفاع برف مرز انتخاب شد؛ یعنی ۱۳ قله مرتفع ایران (ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر) در واحدهای ژئومورفیک مختلف برای برآورد ارتفاع برف مرز در نظر گرفته شد. پس از آن DEM^۱ ایران با رزولوشن ۳۰*۳۰ متر از سایت USGS در ۳۰ حوضه آبریز استخراج و در نرم‌افزار Arc GIS مرج و برای هر واحد ژئومورفیک و حوضه‌های آبریز متأثر از قله‌های شناسایی شده، DEM مربوطه برش زده شد. از نقشه‌های مرج شده توپوگرافی ایران به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نیز برای واحدها و حوضه‌های مدنظر استخراج و براساس اسناد موجود در نقشه‌های توپوگرافی، خطوط تراز ۲۰ متری و بازتاب لندفرم‌ها در تصاویر ماهواره‌ای SRTM، سیرک‌های حوضه‌های اطراف هر قله شناسایی شد؛ به این شکل که حوضه‌های آبریز منشعب شده از قله‌های مدنظر با توجه به سینوزیته کوهستان تعیین حدود و تمامی لندفرم‌های سیرکی داخل حوضه‌ها شناسایی گردید. نقشه‌های توپوگرافی به صورت مجازی ناهمواری‌ها را نمایش می‌دهند. از جمله مناطقی که به کمک فرم منحنی‌های میزان در نقشه‌های توپوگرافی تشخیص داده می‌شود، نواحی زیر سلطه پهنه‌های یخی است. نواحی یخچالی بر روی نقشه‌های توپوگرافی به صورت سینوس‌های بلند و پنجه‌ای با طول موج بزرگ بر روی منحنی میزان‌ها نمایش داده می‌شوند. سیرک‌های یخچالی معمولاً به شکل U و W است و الگوی شبکه آبراهه‌ها در این مناطق به صورت گرهی است (رامشت، ۱۳۹۳: ۴۱).

در ادامه اطلاعات سیرک‌های شناسایی شده در رسوبات دیاژنزشده آبرفتی یا رسوبات حساس به فرسایش مثل مارن و رس، از داده‌های سیرکی شناسایی شده کنار گذاشته شد؛ همچنین با توجه به روش نسبت پنجه به دیواره، از اطلاعات آن دسته از سیرک‌هایی که با ترسیم نیمرخ طولی حالت تقعر نداشتند، به‌عنوان شبه‌سیرک در برآورد ارتفاع برف مرز دائمی استفاده نشد؛ بر این اساس مشخص شد از مجموع واحدهای ژئومورفیک ایران، فرایند یخچالی دوره‌های سرد کواترنری در شش واحد نقش اساسی در تحول ناهمواری‌های کوهستانی داشته است. ارتفاع برف مرز به روش‌های رایج، ارتفاع کف سیرک، نسبت‌های ارتفاعی و پنجه به دیواره (رایت و پورتر) محاسبه شد. روش پنجه به دیواره در اصل همان روش پورتر است؛ ولی در این پژوهش علاوه بر استفاده از میانه ارتفاعی، روش رایج

^۱ Digital Elevation Model

نیز به کار رفته است که مبتنی بر ۶۰ درصد ارتفاع سیرک‌هاست. سیرک‌های شناسایی شده از نظر جهت در دامنه‌های نگار و نثار با توجه به امتداد ناهمواری‌ها تفکیک و بررسی گردید؛ به این صورت که امتداد خط‌الرأس اصلی، تعیین‌کننده جهت تشکیل سیرک در نظر گرفته شد؛ برای نمونه اگر خط‌الرأس امتدادی شمال غرب - جنوب شرق داشت (واحد زاگرس)، جهت سیرک شمال شرقی یا جنوب غربی در نظر گرفته شد، یا امتداد شمالی - جنوبی (واحد تالش) باعث شکل‌گیری سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی یا غربی می‌شود. در دامنه‌های نثار شیب به سمت شمال، شمال شرق، شرق و شمال غربی است و هرچه شیب به سمت شمال تمایل بیشتری داشته باشد، زاویه ارتفاع خورشید مایل‌تر است و انرژی کمتری دریافت می‌کند. در دامنه‌های نگار شیب به سمت جنوب، جنوب غرب، غرب و جنوب شرق است و زاویه ارتفاع خورشید عمودتر است و انرژی بیشتری دریافت می‌شود (جعفری و آوجی، ۱۳۹۵: ۳۸۰).

روش رایت: ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری در روش رایت با تعیین ارتفاع سیرک‌ها و گذراندن خط ۶۰ درصد از آنها برآورد می‌شود (رامشت و نعمت‌اللهی، ۱۳۸۴: ۱۳)؛ به این صورت که سیرک‌های شناسایی شده هر زیرحوضه براساس ارتفاع رتبه‌بندی نزولی می‌شود؛ به گونه‌ای که رتبه‌ای که رتبه‌ای یک به سیرکی تعلق می‌گیرد که بیشترین ارتفاع را دارد؛ سپس تعداد سیرک (n) در ۰/۶ یا ۶۰٪ ضرب می‌شود و عدد به‌دست‌آمده را در رتبه سیرک‌هایی پیدا می‌کنیم که به صورت نزولی مرتب شده‌اند و ارتفاع سیرک آن، ارتفاع برف مرز در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱).

$$R = n \times 0.6 \quad (1)$$

یا از طریق تفاوت ارتفاع برف مرز دائمی با ارتفاع پایین‌ترین سیرک شناسایی شده (X) استفاده می‌شود (رابطه ۲).

$$X = (H_{\max} - H_{\min}) / 100 * 60 \quad R = H_{\min} + X \quad (2)$$

Hmax بالاترین ارتفاع سیرک، Hmin پایین‌ترین ارتفاع سیرک و R ارتفاع برف مرز است (قهرودی تالی و حسنی قارنایی، ۱۳۹۴: ۳۲۷).

روش ارتفاع کف سیرک پورتر: از نظر پورتر (۲۰۰۱) زمانی که یخچال فقط سیرک را پر می‌کند، ارتفاع ELA آن بسیار بیشتر از میانگین ارتفاع کف سیرک نیست؛ این روش برای به‌دست‌آوردن ارتفاع خط تعادل‌های گذشته در مناطق معتدل مناسب است و برای محاسبه آن از نما یا مد استفاده می‌شود (رابطه ۳).

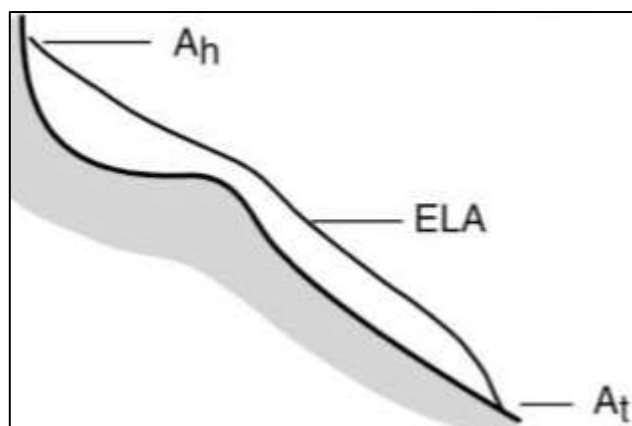
$$M_o = L + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times h \quad (3)$$

Mo ارتفاع کف سیرک، L حد پایین طبقه نمادار (طبقه ارتفاعی که بیشترین تعداد سیرک در آن شناسایی شده است)، d1 تفاضل فراوانی طبقه ماقبل طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار، d2 تفاضل فراوانی طبقه مابعد طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار و h دامنه ارتفاعی طبقه نمادار است (سیف و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۰۰).

روش نسبت‌های ارتفاعی: در این روش، از راه میانگین محدوده ارتفاعی پایانه زبانه یخچالی و بلندترین سستیغ حوضه یا منطقه مدنظر، ارتفاع برف مرز مشخص می‌شود (رابطه ۴).

$$AR = \frac{Ah + At}{2} \quad (4)$$

AR ارتفاع برف مرز، Ah بالاترین ارتفاع سیرک و At پایین‌ترین ارتفاع سیرک است (شریفی و فرح‌بخش، ۱۳۹۴: ۵۹۳). به این صورت که با توجه به وضعیت تراکم خطوط منحنی میزان در امتداد کف سیرک، نیم‌رخ‌ی در Global mapper ترسیم شد که کاسه‌ای یا مقعر بودن سیرک را نیز تأیید می‌کند. در این پلیگون می‌توان ارتفاع بالاترین قسمت سیرک (Ah) و پایین‌ترین قسمت آن را (At) برآورد کرد (شکل ۱) (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۹).



شکل - ۱: قسمت‌های مختلف سیرک در روش نسبت‌های ارتفاعی (پورتر، ۲۰۰۱)

روش نسبت پنجه به دیواره: با بهره‌گیری از روش نسبت پنجه به دیواره ارتفاع خط تعادل (ELA) و نسبت THAR^۱ به دست می‌آید. با روش THAR بهترین نتیجه برای یخچال‌های کوچک و متقارن با توزیع نرمال پهنه‌ها و ارتفاعات به دست می‌آید. نسبت THAR بین ۰ تا ۱ است. برای شناسایی سیرک‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود و اگر نسبت THAR کمتر از ۰/۴۶ یا بیشتر از ۰/۸۶ باشد، شکل شناسایی شده، سیرک محسوب نمی‌شود (رابطه ۵)، (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷).

$$THAR = (ELA - AT) / (AH - AT) \quad (5)$$

ELA ارتفاع خط تعادل، AH ارتفاع سر یخچال و AT ارتفاع پایه یخچال است (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۹۶).

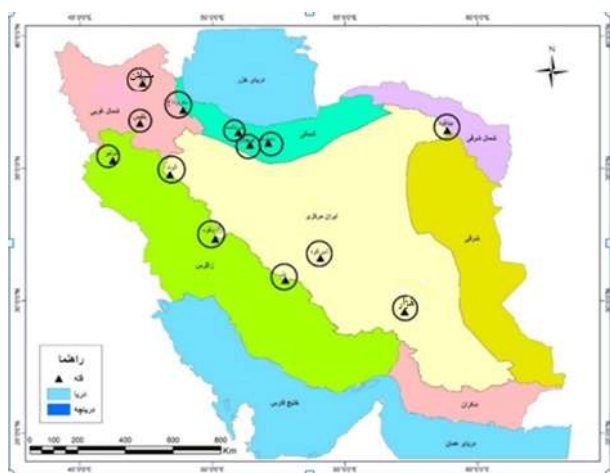
محدوده پژوهش

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این کشور از نظر هندسی شبیه به لوزی است که قطر بزرگ آن در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و قطر کوچک آن در امتداد شمال شرقی - جنوب غربی کشیده شده است (علایی طالقانی، ۱۳۹۱: ۲۱). برای بررسی ارتفاع برف مرز کواترنری ایران، از هر واحد ژئومورفیک بلندترین قله‌ها انتخاب شدند؛ موقعیت جغرافیایی و نسبی قله‌های انتخاب شده برای برآورد ارتفاع برف مرز در جدول (۱) و شکل (۲) آمده است.

¹ Terminus-to-Head altitude ratio

جدول- ۱: موقعیت جغرافیایی و نسبی قله‌های مرتفع ایران

قله	ارتفاع قله	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	استان	واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز درجه ۲	حوضه آبریز درجه ۳
هزار	۴۵۰۰	۵۷° ۱۶' ۱۸"	۲۹° ۳۰' ۴۲"	کرمان	ایران مرکزی	کویر لوت	راین و سردویی
						کویر درانجیر	قریه العرب
بل	۳۹۴۳	۵۰° ۳۰' ۳۶"	۳۰° ۵۶' ۳۸"	فارس	ایران مرکزی	ابرقو	اقلید
					زاگرس	بختگان	نمدان
شیرکوه	۴۰۵۵	۵۴° ۰۴' ۰۶"	۳۱° ۳۶' ۲۱"	یزد	ایران مرکزی	سیاه‌کوه	یزد
						ابرقو	ابرقو
الوند	۳۵۸۰	۴۸° ۲۴' ۰۹"	۳۴° ۴۵' ۴۹"	همدان	ایران مرکزی	دریاچه نمک	همدان
					زاگرس	کرخه	کنگاور
دماوند	۵۶۷۱	۵۲° ۰۶' ۳۶"	۳۵° ۵۷' ۲۰"	مازندران	شمالی	هراز - قره‌قوم سو	بابل
						دریاچه نمک	تهران
سردشت	۴۳۷۸	۵۰° ۵۸' ۵۵"	۳۶° ۲۱' ۳۰"	مازندران	شمالی	سفیدرود - هرز	رامسر
						سفیدرود	طالقان
توچال	۳۹۶۲	۵۱° ۲۵' ۱۱"	۳۵° ۵۳' ۰۳"	تهران	شمالی	دریاچه نمک	لواسانات
						دریاچه نمک	تهران
بغرداغ	۳۱۹۷	۴۸° ۵۳' ۵۷"	۳۷° ۱۲' ۳۱"	گیلان	شمالی	تالش - مرداب انزلی	فومنات
					شمال غربی	سفیدرود	خلخال
زردکوه	۴۲۲۱	۵۰° ۰۶' ۴۰"	۳۲° ۱۹' ۴۷"	چهارمحال و بختیاری	زاگرس	کارون	کوهرنگ
						کارون	بازفت
شاهو	۳۳۹۰	۴۶° ۱۵' ۰۰"	۳۵° ۱۷' ۶۰"	کرمانشاه	زاگرس	مرزی غرب	پاوه
سبلان	۴۸۲۰	۴۷° ۵۰' ۳۴"	۳۸° ۱۶' ۱۲"	اردبیل	شمال غربی	دریاچه ارومیه	مراغه
						سفیدرود	میانه
بلقیس	۳۳۳۲	۴۷° ۱۶' ۱۹"	۳۶° ۴۲' ۰۲"	آذربایجان غربی	شمال غربی	دریاچه ارومیه	تکاب
						سفیدرود	ماه‌نشان
بینالود	۳۲۱۱	۵۸° ۵۰' ۵۷"	۳۶° ۲۵' ۳۵"	خراسان رضوی	شمال شرقی	قره‌قوم	مشهد



شکل - ۲: موقعیت قله‌های برگزیده در واحدهای ژئومورفیک

یافته‌های پژوهش

سیرک‌های یخچالی، لندفرم‌هایی مقعرشکل‌اند که در یخچال‌های کوهستانی شکل گرفته‌اند. سیرک‌ها در پایین دست به صورت مقعر هستند، اما به سمت بالادست با دیواره‌های محدب و بلند محدود می‌شوند (ایوانز، ۲۰۰۶: ۲۴۵). پس از شناسایی آثار سیرکی به کمک نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، آن دسته از سیرک‌هایی که در رسوبات دیاژن‌نشده مثل کنگلومرا و سست (مارن، رس و رسوبات تبخیری) قرار داشتند، از مجموع داده‌های تجزیه و تحلیل شده، خارج شدند. از بین ۱۷۴ قله با ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متری ایران که امکان تأثیرپذیری از فرایند یخچالی کواترنری را داشتند، ۱۳ قله مرتفع‌تر در شش واحد ژئومورفیک برگزیده و جهت‌گیری دامنه‌های آنها و محل دقیق قله‌ها مشخص شد. از میان این قله‌ها، دو قله هزار و شیرکوه به طور کامل در جهات شمال شرق و جنوب غرب در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی قرار دارند؛ در صورتی که قله‌های بل و الوند در مرز واحدهای ژئومورفیک ایران مرکزی و زاگرس واقع شده‌اند که جهت شمال شرقی آنها در ایران مرکزی قرار گرفته است و دامنه جنوب غربی این دو قله در واحد زاگرس قرار دارد. دامنه قله‌های دماوند و سردشت در جهت‌های شمال و جنوب و قله توچال در جهت شمال شرق و جنوب غرب در واحد ژئومورفیک شمالی قرار گرفته‌اند. قله بغروداغ، کم‌ارتفاع‌ترین قله برگزیده در بین سایر قله‌ها، در مرز دو واحد ژئومورفیک شمالی (جهت شرق) و واحد ژئومورفیک شمال غربی (جهت غرب) قرار دارد. زردکوه و شاهو، قله‌های واقع در واحد زاگرس هستند. دامنه‌های شرقی و غربی کوهستان سبلان، شمال شرق و جنوب غرب کوه بلقیس در واحد ژئومورفیک شمال غربی، برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی در نظر گرفته شد. ارتفاع برف مرز واحد شمال شرقی در مرتفع‌ترین قله این واحد ژئومورفیک یعنی بینالود برآورد شد.

فراوانی سیرک‌های شناسایی شده در جدول (۲) به تفکیک قله‌ها بیان شده است. در مجموع از ۲۲۶۶ سیرک شناسایی شده، ۱۴۳۲ سیرک در دامنه‌های نثار و ۸۳۴ سیرک در دامنه‌های نگار قرار داشتند. توزیع سیرک‌ها بیان‌کننده این است که در دامنه‌های نثار بیش از ۱۳ درصد احتمال تشکیل سیرک بیش از دامنه‌های نگار است. برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی روش‌های مختلف به کار رفت.

جدول-۲: فراوانی سیرک در دامنه‌های نثار و نگار قله‌های برگزیده

قله	هزار	بل	شیرکوه	الوند	دماوند	سردشت	توچال	بغروداغ	زردکوه	شاهو	سبلان	بلقیس	بینالود
دامنه نثار	۲۰	۷۱	۱۴۸	۱۱۰	۱۳۱	۹۳	۱۲۰	۳۱۴	۵۷	۱۰۰	۱۲۰	۶۸	۸۰
دامنه نگار	۶	۶۱	۱۰۰	۵۶	۱۰۸	۷۵	۹۷	۱۲۰	۴۸	-	۹۸	۶۵	-

ارتفاع برف مرز به روش رایج: ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری به روش رایج در دو مرحله مختلف برآورد شد:

مرحله اول: در نخستین مرحله از اطلاعات سیرک‌ها، در جهات مختلف جغرافیایی (دامنه‌های نگار و نثار) ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری به روش رایج برآورد شد. به این صورت که تعداد سیرک در هر جهت به تفکیک قله‌ها در ۶۰ درصد ضرب و سیرک‌های شناسایی شده در هر جهت به تفکیک قله‌ها براساس ارتفاع سورت نزولی

شد. عدد حاصل از ضرب، به عنوان شماره ردیفی در نظر گرفته شد که ارتفاع سیرک آن رده، ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری قله را در جهت مربوطه نشان می‌دهد.

ارتفاع برف مرز در قله‌های (هزار، بل، شیرکوه و الوند) در جهت شمال شرق به ترتیب ۲۶۱۵، ۲۸۰۶، ۲۷۹۶ و ۲۶۳۸ متر و در جهت جنوب غرب به ترتیب ۳۱۱۲، ۲۷۷۱، ۲۸۳۷ و ۲۶۴۸ متر است.

این ارتفاع در قله دماوند و سردشت در جهت شمال ۲۹۷۹ و ۲۶۶۰ متر و در جهت جنوب ۲۷۰۴ و ۲۶۹۷ متر برآورد شد و ارتفاع برف مرز در قله توچال در جهت شمال شرق ۲۵۵۳ و در جهت جنوب غرب ۲۵۴۲ متر است.

خط الرأس کوه بغروداغ به صورت شمالی - جنوبی است و سیرک‌ها بیشتر در جهت شرق و غرب شکل گرفته‌اند. ارتفاع برف مرز در جهت شرق ۱۸۴۲ و در جهت غرب ۱۹۹۰ متر برآورد شد.

ارتفاع برف مرز زردکوه در جهت شمال شرق ۲۷۲۴ و در جهت جنوب غرب ۲۹۵۳ متر است و ارتفاع برف مرز کوهستان شاهو ۱۸۷۸ متر در جهت شمال شرق برآورد شد.

ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در دو جهت شرق و غرب به ترتیب ۲۴۹۱ و ۲۸۶۱ متر است و این ارتفاع در کوه بلقیس در جهت شمال شرق ۲۵۶۵ و در جهت جنوب غرب ۲۶۶۱ متر برآورد شد.

در کوه بینالود ارتفاع برف مرز ۲۵۰۰ متر برآورد شد. بیشترین و کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در جهت شمال شرق به جنوب غرب به ترتیب متعلق به هزار و الوند ۴۹۷ و ۱۰ متر است. این اختلاف در واحد ژئومورفیک شمالی در جهت شرق به غرب بغروداغ ۱۴۸ متر و در جهت شمال شرق به جنوب غرب قله توچال ۲۹ متر است.

تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات شمال شرق به جنوب غرب زردکوه در واحد زاگرس ۲۲۹ متر و قله شاهو بدون اختلاف است.

در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در جهت شرق به غرب ۳۷۰ متر و کوه بلقیس در جهت شمال شرق - جنوب غرب ۹۶ متر است (جدول ۴).

مرحله دوم: در این مرحله، پس از مرتب کردن ارتفاع سیرک‌ها به صورت نزولی، براساس رابطه ۲ بیشترین ارتفاع از کمترین ارتفاع کسر و سپس بر عدد ۱۰۰ تقسیم و در عدد ۶۰ ضرب شد. از جمع عدد به دست آمده از این رابطه با کمترین ارتفاع سیرک شناسایی شده، ارتفاع برف مرز برای هر قله در واحدهای ژئومورفیک محاسبه شد.

ارتفاع برف مرز ۴ قله هزار، بل، شیرکوه و الوند در جهت شمال شرق به ترتیب ۲۵۴۰، ۲۷۸۶، ۲۶۲۲ و ۲۵۲۵ متر و در جهت جنوب غرب ۳۳۵۴، ۲۹۴۹، ۳۰۱۵ و ۲۴۱۴ متر است.

این ارتفاع در قله‌های دماوند و سردشت در جهت شمال ۲۵۷۴ و ۲۳۹۰ متر و در جهت جنوب ۳۰۳۴ و ۲۸۳۳ متر برآورد شد و ارتفاع برف مرز در قله توچال در جهت شمال شرق و جنوب غرب ۲۶۷۵ و ۲۷۰۴ متر است.

ارتفاع برف مرز در بغروداغ در جهت شرق ۱۶۹۱ و در جهت غرب ۱۸۸۱ متر برآورد شد. ارتفاع برف مرز زردکوه در جهت شمال شرق ۲۶۲۲ و در جهت جنوب غرب ۲۶۶۸ متر و در قله شاهو

۱۹۴۰ متر است.

ارتفاع برف مرز در کوهستان سبلان در جهت شرق و غرب ۲۶۸۱ و ۲۹۰۷ متر و در کوه بلقیس در جهت شمال شرق ۲۷۰۱ و در جهت جنوب غرب ۲۶۸۱ متر برآورد شد.

ارتفاع برف مرز در کوه بینالود، تنها قله مرتفع واحد ژئومورفیک شمال شرقی، ۲۴۷۴ متر است. بیشترین و کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در جهت شمال شرق به جنوب غرب به ترتیب متعلق به هزار و الوند با ۸۱۴ و ۱۱۱ متر است. این اختلاف در واحد ژئومورفیک شمالی در جهت شمال به جنوب سردشت ۴۴۳ متر و در جهت شمال شرق به جنوب غرب قله توچال ۱۱- متر است.

تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات شمال شرق به جنوب غرب زردکوه در واحد زاگرس ۴۶ متر و قله شاهو بدون اختلاف است.

در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در جهت شرق به غرب ۴۶ متر و کوه بلقیس در جهت شمال شرق به جنوب غرب ۲۰- متر است (جدول ۴).

روش ارتفاع کف سیرک: در روش ارتفاع کف سیرک، نیمرخ طولی سیرک در دو شکل مختلف ترسیم شد: یکی پروفیل طولی از بالاترین ستیغ حوضه تا نقطه خروجی سیرک و دیگری پروفیلی از بالاترین ستیغ حوضه تا نخستین مورن‌های میانی باقی مانده در محیط (محل تلاقی دوزبانه یخچالی). در این دو پروفیل، ارتفاع بیشترین و کمترین پروفیل و ارتفاع کف سیرک برآورد شد. در ترسیم پروفیل‌ها نهایت دقت به کار رفت تا پروفیل‌ها از کف سیرک عبور کنند و حالت تقعر را بتوانند نشان دهند. سپس سیرک‌ها از نظر ارتفاعی با فاصله ۱۰۰ متر طبقه‌بندی و فراوانی نسبی سیرک در هرکدام از طبقات مشخص شد. ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری در این روش در طبقه‌ای قرار دارد که سیرک‌ها بیشترین فراوانی را داشته باشد. با مشخص کردن طبقه نمادار، براساس رابطه ۳ عمل شد؛ برای نمونه توزیع طبقاتی سیرک‌های مورد تأیید این روش برای کوه دماوند در جدول (۳) آمده است. با توجه به پایین‌ترین و بالاترین سیرک شناسایی شده، طبقات ارتفاعی از ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر با فاصله ۱۰۰ طبقه‌بندی شدند. طبقه نمادار دامنه نثار با فراوانی ۲۰ سیرک در طبقه ارتفاعی ۲۷۰۰-۲۸۰۰ متر و در دامنه نگار با ۱۷ سیرک در طبقه ارتفاعی ۲۹۰۰-۳۰۰۰ متر قرار دارد. پس از آن فراوانی طبقه نمادار از فراوانی طبقه ماقبل کسر و تقسیم بر مجموع فراوانی طبقه ماقبل و مابعد و سپس در اختلاف ارتفاع طبقه نمادار ضرب شد. در نهایت از جمع عدد به دست آمده بارده ارتفاعی پایین طبقه نمادار، ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری برآورد شد. بدین طریق ارتفاع برف مرز در جهت شمال (دامنه نثار) ۲۷۳۱ متر و در جهت جنوب (دامنه نگار) ۲۹۳۵ متر برای کوه دماوند برآورد شد. ارتفاع برف مرز کواترنری سایر قله‌ها در این روش به همین شکل برآورد شد.

ارتفاع برف مرز چهار قله هزار، بل، شیرکوه و الوند در جهت شمال شرق به ترتیب ۲۷۶۶، ۲۹۶۷، ۲۶۶۶ و ۲۵۲۸ متر و در جهت جنوب غرب ۳۰۷۰، ۲۹۷۵، ۲۹۳۳ و ۲۶۵۷ متر است.

ارتفاع برف مرز قله سردشت در جهت شمال ۲۷۸۷ متر و در جهت جنوب ۳۱۴۴ متر و قله توچال در جهت شمال شرق و جنوب غرب ۲۶۵۰ و ۲۹۴۳ متر است.

این ارتفاع در بغروداغ در جهت شرق ۱۸۱۰ متر و در جهت غرب ۲۵۶۰ متر برآورد شد. ارتفاع برف مرز زردکوه در جهت شمال شرق ۲۶۶۶ متر و در جهت جنوب غرب ۲۹۳۳ متر و کوهستان شاهو ۱۹۸۰ متر است.

در کوهستان سبلان ارتفاع برف مرز در جهت شرق و غرب ۲۷۷۵ و ۳۰۴۳ متر است. این ارتفاع در کوه بلقیس در جهت شمال شرق ۲۵۶۰ و در جهت جنوب غرب ۲۷۶۷ متر برآورد شد. ارتفاع برف مرز در کوه بینالود در واحد ژئومورفیک شمال شرقی ۲۵۳۳ متر برآورد شد. کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در جهت شمال شرق به جنوب غرب به ترتیب متعلق به شیرکوه و هزار ۶۲۹- و ۳۰۴ متر است. این اختلاف در واحد ژئومورفیک شمالی در جهت شرق به غرب بغروداغ ۷۵۰ متر و در جهت شمال به جنوب قلّه دماوند ۱۷۶ متر است.

تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات شمال شرق به جنوب غرب زردکوه در واحد زاگرس ۲۶۷ متر و قلّه شاهو بدون اختلاف است. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در جهت شرق به غرب ۲۶۸ متر و کوه بلقیس در جهت شمال شرق به جنوب غرب ۲۰۷ متر است (جدول ۴).

جدول-۳: طبقات ارتفاعی و فراوانی سیرک در قلّه دماوند

فراوانی سیرک		طبقات ارتفاعی	فراوانی سیرک		طبقات ارتفاعی
دامنه ننگار	دامنه نثار		دامنه ننگار	دامنه نثار	
۴	۳	۳۰۰۰-۳۱۰۰	-	۱	۲۰۰۰-۲۱۰۰
۱۴	۳	۳۱۰۰-۳۲۰۰	-	۳	۲۱۰۰-۲۲۰۰
۱۵	۷	۳۲۰۰-۳۳۰۰	۲	۳	۲۲۰۰-۲۳۰۰
۸	۱	۳۳۰۰-۳۴۰۰	۵	۱۴	۲۳۰۰-۲۴۰۰
۵	۶	۳۴۰۰-۳۵۰۰	۷	۱۶	۲۴۰۰-۲۵۰۰
۳	-	۳۵۰۰-۳۶۰۰	۲	۱۸	۲۵۰۰-۲۶۰۰
۲	۲	۳۶۰۰-۳۷۰۰	۸	۱۶	۲۶۰۰-۲۷۰۰
۲	۱	۳۷۰۰-۳۸۰۰	۳	۲۰	۲۷۰۰-۲۸۰۰
۱	-	۳۸۰۰-۳۹۰۰	۱۰	۱۱	۲۸۰۰-۲۹۰۰
-	۲	۳۹۰۰-۴۰۰۰	۱۷	۴	۲۹۰۰-۳۰۰۰

روش نسبت‌های ارتفاعی: در این مرحله کمترین ارتفاع با بیشترین ارتفاع پروفیل ترسیمی جمع و بر ۲ تقسیم شد. برای به‌دست‌آوردن برف مرز از میانگین و مد استفاده شد. مراحل برآورد ارتفاع برف مرز به کمک جدول توزیع فراوانی سیرک در طبقات ارتفاعی مختلف همانند برآورد ارتفاع برف مرز در کوه دماوند است که در روش قبل توضیح داده شد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی ارتفاع برف مرز چهار قلّه هزار، بل، شیرکوه و الوند در جهت شمال شرق به ترتیب ۲۹۱۵، ۳۰۲۹، ۳۲۱۷ و ۲۷۳۵ متر و در جهت جنوب غرب ۳۱۱۰، ۳۰۸۳، ۳۱۳۲ و ۲۹۳۴ متر است.

ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک شمالی در قله‌های دماوند و سردشت در جهت شمال ۲۶۲۳ و ۲۸۳۶ متر و در جهت جنوب ۲۹۲۳ و ۲۶۸۵ متر برآورد شد.

این ارتفاع در قله توچال در جهت شمال شرق ۲۸۱۵ و جنوب غرب ۲۵۹۶ متر است.

ارتفاع برف مرز در بغروداغ ۲۱۸۲ متر در جهت شرق و ۲۲۷۳ متر در جهت غرب برآورد شد.

در زردکوه ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق ۳۲۱۷ متر و در جهت جنوب غرب ۳۱۳۲ متر برآورد شد و

ارتفاع برف مرز کوهستان شاهو ۲۱۰۸ متر است.

در واحد ژئومورفیک شمال غربی ارتفاع برف مرز سبلان در جهت شرق و غرب ۲۸۶۳ و ۳۰۳۱ متر و در کوه

بلقیس در جهت شمال شرق ۲۲۸۲ متر و در جهت جنوب غرب ۲۷۴۳ متر برآورد شد.

ارتفاع برف مرز در کوه بینالود، مرتفع‌ترین قله واحد ژئومورفیک شمال شرقی، ۲۵۸۵ متر است.

بیشترین و کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در جهت شمال شرق به جنوب

غرب به ترتیب متعلق به الوند و بل ۱۹۹ و ۵۴ متر است.

این اختلاف در واحد ژئومورفیک شمالی در جهت شمال به جنوب قله دماوند ۳۰۰ متر و در جهت شرق به

غرب بغروداغ ۹۱ متر است.

تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات شمال شرق به جنوب غرب زردکوه در واحد زاگرس ۸۵- متر و قله شاهو

بدون اختلاف است.

در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در جهت شرق به غرب ۱۶۸ متر و

کوه بلقیس در جهت شمال شرق به جنوب غرب ۴۶۱ متر است (جدول ۴).

روش نسبت پنجه به دیواره: ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری در این روش در دو مرحله مختلف برآورد شد:

مرحله اول: در این مرحله از اطلاعات پروفیل‌های تهیه‌شده در مرحله پیش، علاوه بر ارتفاع کف سیرک، ارتفاع

پایین‌ترین و بالاترین قسمت پروفیل نیز استخراج و پس از برداشت اطلاعات لازم، نسبت THAR برای هرکدام از

سیرک‌ها محاسبه شد. به این صورت که ارتفاع پایین‌ترین قسمت پروفیل از ارتفاع کف سیرک کسر و عدد

به‌دست‌آمده بر تفاوت بین حداکثر ارتفاع از حداقل ارتفاع پروفیل تقسیم شد. نسبت به‌دست‌آمده بین ۰ تا ۱ متغیر

است. سیرک‌هایی که نسبت به‌دست‌آمده برای آنها کمتر از ۰/۴۶ یا بیشتر از ۰/۸۶ است، سیرک محسوب نمی‌شوند

و در برآورد ارتفاع برف مرز نباید مدنظر قرار گیرند (پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۹). پس از خارج کردن اطلاعات آنها از

جدول، ارتفاع برف مرز همانند روش رایج برآورد شد. تلفیق روش رایج و پورتر برای نخستین‌بار انجام شد.

منظور از تلفیق این است که پورتر از طبقه‌نمادار برای برآورد ارتفاع برف مرز استفاده می‌کند؛ در صورتی که در

این مرحله با سورت نزولی سیرک‌های تأییدشده و تعیین ارتفاع رده‌ای که ۶۰ درصد از سیرک‌ها بالاتر از آن قرار

می‌گیرند، ارتفاع برف مرز برآورد شد.

در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی ارتفاع برف مرز چهار قله هزار، بل، شیرکوه و الوند در جهت شمال شرق به

ترتیب ۲۶۶۴، ۲۸۵۳، ۲۸۳۷ و ۲۶۵۸ متر و در جهت جنوب غرب به ترتیب ۳۱۱۰، ۲۹۴۱، ۳۰۳۱ و ۳۰۶۲ متر است.

ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک شمالی در قله‌های دماوند و سردشت در جهت شمال ۲۸۱۳ و ۲۶۱۲ متر و در جهت جنوب ۳۰۵۱ و ۲۷۵۰ متر برآورد شد؛ همچنین این ارتفاع در قله توچال در جهت شمال شرق و جنوب غرب ۲۵۵۳ و ۳۰۶۲ متر است.

ارتفاع برف مرز در بغروداغ در جهت شرق ۱۹۹۰ متر و در جهت غرب ۲۱۴۴ متر برآورد شد.

ارتفاع برف مرز زردکوه (واحد ژئومورفیک زاگرس) در جهت شمال شرق ۲۶۹۶ متر و در جهت جنوب غرب ۲۸۴۲ متر و کوهستان شاهو ۱۹۸۰ متر است.

ارتفاع برف مرز برآورد شده برای سبلان در جهت شرق و غرب معادل ۲۷۵۰ و ۲۸۷۴ متر بود.

این ارتفاع در کوه بلقیس در جهت شمال شرق ۲۴۸۹ متر و در جهت جنوب غرب ۲۷۰۰ متر برآورد شد؛ همچنین ارتفاع برف مرز کوه بینالود ۲۵۵۹ متر است.

بیشترین و کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در جهت شمال شرق به جنوب غرب به ترتیب متعلق به هزار و بل ۴۴۶ و ۸۸ متر است.

این اختلاف در واحد ژئومورفیک شمالی در جهت شمال شرق به جنوب غرب قله توچال ۵۰۹ متر و در جهت شمال به جنوب سردشت ۱۳۸ متر است.

تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات شمال شرق به جنوب غرب زردکوه در واحد زاگرس ۱۴۶ متر است.

در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در جهت شرق به غرب ۱۲۴ متر و کوه بلقیس در جهت شمال شرق به جنوب غرب ۲۱۱ متر است (جدول ۴).

جدول ۴- ارتفاع برف مرز به روش‌های مختلف در قله‌های برگزیده و روش‌های نامناسب

قله	واحد ژئومورفیک	ارتفاع قله	جهت	رابطه ۱*	رابطه ۲	رابطه ۳	رابطه ۴	رابطه ۵ (رایت)	رابطه ۵ (پورتر)
هزار	ایران مرکزی	۴۵۰۰	شمال شرق	۲۶۱۵	۲۵۴۰	۲۷۶۶	۲۹۱۵	۲۶۶۴	۲۸۰۰
			جنوب غرب	۳۱۱۲	۳۳۵۴	۳۰۷۰	۳۱۱۰	۳۱۱۰	۳۱۷۸
			Δh (اختلاف ارتفاع)	۴۹۷	۸۱۴	۳۰۴	۱۹۵	۴۴۶	۳۷۸
بل	ایران مرکزی	۳۹۴۳	شمال شرق	۲۸۰۶	۲۷۸۶	۲۹۶۷	۳۰۲۹	۲۸۵۳	۳۰۰۰
			جنوب غرب	۲۷۷۱	۲۹۴۹	۲۹۷۵	۳۰۸۳	۲۹۴۱	۳۲۰۰
			Δh (اختلاف ارتفاع)	-۳۵	۱۶۳	۸	۵۴	۸۸	۲۰۰
شیرکوه	ایران مرکزی	۴۰۵۵	شمال شرق	۲۷۹۶	۲۷۹۹	۲۷۹۹	۳۳۵۰	۲۸۳۷	۲۹۰۴
			جنوب غرب	۲۸۳۷	۳۰۱۵	۲۷۲۱	۳۱۱۰	۳۰۳۱	۳۰۷۵
			Δh (اختلاف ارتفاع)	۴۱	۲۱۶	-۶۲۹	۶۷	۱۹۴	۱۷۱
الوند	ایران مرکزی	۳۵۸۰	شمال شرق	۲۶۳۸	۲۵۲۵	۲۵۲۸	۲۷۳۵	۲۶۵۸	۲۵۸۰
			جنوب غرب	۲۶۴۸	۲۴۱۴	۲۶۵۷	۲۹۳۴	۳۰۶۲	۳۰۲۵
			Δh (اختلاف ارتفاع)	۱۰	۱۱۱-	۱۲۹	۱۹۹	۴۰۴	۴۴۵
دماوند	شمالی	۵۶۷۱	شمال	۲۹۷۹	۲۵۷۴	۲۷۳۱	۲۶۲۳	۲۸۱۳	۲۵۶۶
			جنوب	۲۷۰۴	۳۰۳۴	۲۹۳۵	۲۹۳۳	۳۰۵۱	۳۰۱۸
			Δh (اختلاف ارتفاع)	-۲۷۵	۲۶۷	۲۰۴	۳۰۰	۲۳۸	۴۵۲

۲۵۰۰	۲۶۱۲	۲۸۳۶	۲۷۸۷	۲۳۹۰	۲۶۶۰	شمال	۴۳۷۸	شمالی	سردشت
۲۷۴۰	۲۷۵۰	۲۶۸۵	۳۱۴۴	۲۸۳۳	۲۶۹۷	جنوب			
۲۴۰	۱۳۸	-۱۵۱	۳۵۷	۴۴۳	۳۷	Δh (اختلاف ارتفاع)	۳۹۶۲	شمالی	توچال
۲۵۵۰	۲۵۵۳	۲۸۱۵	۲۶۵۰	۲۵۵۳	۲۶۷۵	شمال شرق			
۲۶۵۵	۳۰۶۲	۲۵۹۶	۲۹۴۳	۲۵۴۲	۲۷۰۴	جنوب غرب	۳۱۹۷	شمالی	بغروداغ
۱۰۵	۵۰۹	-۲۱۹	۲۹۳	-۱۱	۲۹	Δh (اختلاف ارتفاع)			
۲۰۰۰	۱۹۹۰	۲۱۸۲	۱۸۱۰	۱۶۹۱	۱۸۴۲	شرق	۴۲۲۱	زاگرس	زردکوه
۱۹۶۰	۲۱۴۴	۲۲۷۳	۲۵۶۰	۱۸۸۱	۱۹۹۰	غرب			
-۴۰	۱۵۴	۹۱	۷۵۰	۱۹۰	۱۴۸	Δh (اختلاف ارتفاع)	۳۳۹۰	زاگرس	شاهو
۲۶۴۲	۲۶۹۶	۳۲۱۷	۲۶۶۶	۲۶۲۲	۲۷۲۴	شمال شرق			
۳۲۵۸	۲۸۴۲	۳۱۳۲	۲۹۳۳	۲۶۶۸	۲۹۵۳	جنوب غرب	۴۸۲۰	شمال غربی	سبلان
۶۱۶	۱۴۶	-۸۵	۲۶۷	۴۶	۲۲۹	Δh (اختلاف ارتفاع)			
۱۹۸۰	۱۹۸۰	۲۱۰۸	۱۹۸۰	۱۹۴۰	۱۸۷۸	شمال شرق	۳۳۳۲	شمال غربی	بلقیس
۲۹۰۰	۲۷۵۰	۲۸۶۳	۲۷۷۵	۲۸۶۱	۲۴۹۱	شرق			
۳۱۲۰	۲۸۷۴	۳۰۳۱	۳۰۴۳	۲۹۰۷	۲۸۶۱	غرب	۳۲۱۱	شمال شرقی	بینالود
۲۲۰	۱۲۴	۱۶۸	۲۶۸	۴۶	۳۷۰	Δh (اختلاف ارتفاع)			
۲۵۹۰	۲۴۸۹	۲۲۸۲	۲۵۶۰	۲۷۰۱	۲۵۶۵	شمال شرق	۳۲۱۱	شمال شرقی	بینالود
۲۷۲۱	۲۷۰۰	۲۷۴۳	۲۷۶۷	۲۶۸۱	۲۶۶۱	جنوب غرب			
۱۳۱	۲۱۱	۴۶۱	۲۰۷	-۲۰	۹۶	Δh (اختلاف ارتفاع)	۳۲۱۱	شمال شرقی	بینالود
۲۵۲۵	۲۵۵۹	۲۵۸۵	۲۵۳۳	۲۵۰۰	۲۴۷۴	شمال شرق			

* (روابط براساس آنچه در متن آمده است، شماره‌گذاری شده‌اند.)

مرحله دوم: تفاوت این مرحله با مرحله پیشین در این است که در این مرحله همانند روش ارتفاع کف سیرک پورتر، ارتفاع برف مرز برآورد شده است.

ارتفاع برف مرز چهار قلّه هزار، بل، شیرکوه و الوند در جهت شمال شرق به ترتیب ۲۸۰۰، ۳۰۰۰، ۲۹۰۴ و ۲۵۸۰ متر و در جهت جنوب غرب ۳۱۷۸، ۳۲۰۰، ۳۰۷۵ و ۳۰۲۵ متر است.

این ارتفاع در قله‌های دماوند و سردشت در جهت شمال ۲۵۶۶ و ۲۵۰۰ متر و در جهت جنوب ۳۰۱۸ و ۲۷۴۰ متر و همچنین ارتفاع برف در قلّه توچال در جهت شمال شرق و جنوب غرب ۲۵۲۰ و ۲۶۵۵ متر برآورد شد.

ارتفاع برف مرز در دامنه‌های شرقی بغروداغ ۲۰۰۰ و در غرب آن ۱۹۶۰ متر برآورد شد.

در زردکوه ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق به جنوب غرب به ترتیب ۲۶۴۲ و ۳۲۵۸ متر برآورد شد و این ارتفاع در کوه شاهو ۱۹۸۰ متر است.

در کوهستان سبلان ارتفاع برف مرز در دامنه‌های شرقی و غربی ۲۹۰۰ و ۳۱۵۰ متر و در کوه بلقیس در جهت شمال شرق ۲۵۹۰ و در جهت جنوب غرب ۲۷۲۱ متر برآورد شد؛ همچنین ارتفاع برف مرز کوه بینالود ۲۵۲۵ متر برآورد شد.

بیشترین و کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی در جهت شمال شرق به جنوب غرب به ترتیب متعلق به الوند و شیرکوه ۴۴۵ و ۱۷۱ متر است.

این اختلاف در واحد ژئومورفیک شمالی در جهت شمال به جنوب قلّه دماوند ۴۵۲ متر و در جهت شرق به غرب بغروداغ ۴۰- متر است.

تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات شمال شرق به جنوب غرب زردکوه در واحد زاگرس ۶۱۶ متر است. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز کوهستان سبلان در جهت شرق به غرب ۲۲۰ و کوه بلقیس در جهت شمال شرق به جنوب غرب ۱۳۱ متر است (جدول ۴).

انتخاب روش مناسب برآورد ارتفاع برف مرز: از مقایسه ارتفاع برف مرز برآورد شده در روش‌های مختلف چنین برمی‌آید که در راستای یافته‌های پورتر (۲۰۰۱) براساس متفاوت بودن روش‌های مختلف برآورد ارتفاع برف مرز دائمی، متفاوت بودن ارتفاعات برآورد شده برای یک قله در روش‌های مختلف، امر اجتناب‌ناپذیری است؛ ولی بعضی از ارتفاعات برآورد شده نسبت به سایر ارتفاعات در همان قله تفاوت چشمگیری دارند که می‌تواند ناشی از ناکارایی آن روش در برآورد ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری برای آن منطقه باشد؛ علاوه بر این براساس یافته‌های چورلی، شوم و سودن (۱۳۸۵) یخچال‌های کواترنری در دامنه‌های شمال شرقی مناطق معتدل شرایط مناسب‌تری برای گسترش داشته‌اند؛ بنابراین با توجه به موقعیت ایران در منطقه معتدل شمالی، تفاوت ارتفاع برف مرز دائمی در جهات مختلف دامنه‌ها امری بدیهی است؛ از این نظر روشی کارآمد است که علاوه بر برآورد ارتفاع برف مرز معقول‌تر به وسیله آن، اختلاف ارتفاع برف مرز برآوردی در جهات مخالف نیز در آن روش محاسبه شده باشد.

مقایسه ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش‌های مختلف در دامنه‌های نثار قلّه‌های برگزیده حاکی از آن است که روش‌های رایت (رابطه ۲) و نسبت‌های ارتفاعی در قلّه‌های هزار، بل، سردشت، بلقیس و بغروداغ، نسبت‌های ارتفاعی در قلّه‌های توچال، زردکوه و شاهو و رایت (رابطه ۱) در قلّه‌های دماوند، سبلان و بینالود تفاوت زیادی با سایر روش‌ها دارد و همخوانی کمتری بین ارتفاع برآورد شده به وسیله آنها با سایر روش‌ها دیده می‌شود. همه روش‌ها در دامنه شمال شرقی کوه الوند در برآورد ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری همخوانی دارند.

ارتفاع برف مرز برآورد شده در دامنه‌های نگار قلّه‌های بل و سبلان با روش‌های رایت (رابطه ۱) و نسبت پنجه به دیواره در روش پورتر نسبت به بقیه روش‌ها متفاوت بوده است.

روش‌های رایت (رابطه ۲) در قلّه‌های الوند و توچال، زردکوه و همچنین نسبت پنجه به دیواره (رایت و پورتر) با سایر روش‌ها همخوانی ندارد.

ارتفاع برف مرز برآوردی در قلّه بغروداغ در روش‌های رایت (رابطه ۲) و ارتفاع کف سیرک، بالاتر از سایر روش‌ها بوده است.

روش ارتفاع کف سیرک در قلّه‌های شیرکوه و سردشت، روش رایت (رابطه ۲) در قلّه هزار و روش رایت (رابطه ۱) در قلّه دماوند، هماهنگی کمتری با دیگر روش‌ها در همان قلّه‌ها دارند.

وجود اختلاف ارتفاع بین دامنه‌های نثار و نگار امری اثبات شده است و روش‌های برآورد برف مرز نیز باید به گونه‌ای باشند که در جهات مختلف، تفاوت را نشان دهند. در بعضی از روش‌ها تفاوت ارتفاع برآوردی معکوس است؛ به این معنی که ارتفاع برف مرز برآوردی در دامنه نثار بالاتر از دامنه نگار برآورد شده است و از اختلاف

ارتفاع این دو دامنه یک تفاوت منفی به دست آمده است؛ علاوه بر این ممکن است تفاوت ارتفاع برآوردی بعضی از روش‌ها در دامنه‌هایی با جهت مخالف به قدری کم باشد که نتوان آن تفاوت را برای آن مکان با توجه به موقعیت جغرافیایی معقول دانست. با استناد به چنین دلایلی، روش‌هایی که به کمک آنها تفاوت ارتفاعی دامنه‌های مخالف کم یا منفی برآورد شده است، برای برآورد برف مرز مناسب نیستند. براساس جدول (۵) ارتفاع برآوردی به کمک رابطه ۱ در قله‌های بل و دماوند، رابطه ۲ در الوند، توچال و بلقیس، رابطه ۳ در شیرکوه، رابطه ۴ در سردشت، توچال و زردکوه و رابطه ۵ در بغروداغ قابل استناد نیستند. از رابطه ۱ در قله‌های الوند، سردشت، توچال، سبلان و شیرکوه، رابطه ۲ در هزار، بغروداغ، زردکوه و سبلان، رابطه ۳ در بل و رابطه ۴ در شیرکوه به دلیل تفاوت ارتفاعی کم بین دامنه‌ها با جهات مختلف کمتر برای برآورد برف مرز استفاده می‌شود.

جدول- ۵: اختلاف ارتفاع برف مرز از میانگین در روش‌های مختلف

قله	واحد ژئومورفیک	ارتفاع قله	جهت	رابطه ۱	رابطه ۲	رابطه ۳	رابطه ۴	رابطه ۵ (رایت)	رابطه ۵ (پورتر)	میانگین
هزار	ایران مرکزی	۴۵۰۰	شمال شرق	۱۰۱	۱۷۶	۵۰	۱۹۹	۵۲	۸۴	۲۷۱۶
			جنوب غرب	۴۴	۱۹۸	۸۶	۴۶	۴۶	۲۲	۳۱۵۶
بل	ایران مرکزی	۳۹۴۳	شمال شرق	۱۰۰	۱۲۰	۶۱	۱۲۳	۵۳	۹۴	۲۹۱۷
			جنوب غرب	۲۱۵	۳۷	۱۱	۹۷	۴۵	۲۱۴	۳۰۴۳
شیرکوه	ایران مرکزی	۴۰۵۵	شمال شرق	۱۵۸	۱۵۵	۳۹۶	۸۹	۱۱۷	۵۰	۲۸۴۷
			جنوب غرب	۱۲۷	۵۱	۲۴۳	۱۴۶	۶۷	۱۱۱	۳۰۴۰
الوند	ایران مرکزی	۳۵۸۰	شمال شرق	۲۸	۸۵	۸۲	۱۲۵	۴۸	۳۰	۲۶۲۵
			جنوب غرب	۱۴۲	۳۷۶	۱۳۳	۱۴۴	۲۷۲	۲۳۵	۲۹۱۹
دماوند	شمالی	۵۶۷۱	شمال	۲۵۹	۱۴۶	۴۷	۹۷	۹۳	۱۵۴	۲۶۶۱
			جنوب	۲۴۱	۸۹	۲	۲۲	۱۰۶	۷۳	۲۹۹۴
سردشت	شمالی	۴۳۷۸	شمال	۳۰	۲۴۰	۱۵۷	۲۰۶	۱۸	۱۳۰	۲۵۷۲
			جنوب	۱۱۱	۲۵	۳۳۶	۱۲۳	۵۸	۶۸	۲۸۶۷
توچال	شمالی	۳۹۶۲	شمال شرق	۴۳	۷۹	۱۸	۱۸۳	۷۹	۸۲	۲۵۸۴
			جنوب غرب	۴۶	۲۰۸	۱۹۳	۱۵۴	۳۱۲	۹۵	۲۸۸۷
بغروداغ	شمالی	۳۱۹۷	شرق	۷۷	۲۲۸	۱۰۹	۲۶۳	۷۱	۸۱	۱۹۵۶
			غرب	۱۴۴	۲۵۳	۴۲۶	۱۳۹	۱۰	۱۷۴	۲۲۴۲
زردکوه	زاگرس	۴۲۲۱	شمال شرق	۳۷	۱۳۹	۹۵	۴۵۶	۶۵	۱۱۹	۲۶۸۲
			جنوب غرب	۱۱	۲۹۶	۳۱	۱۶۸	۱۲۲	۲۹۴	۲۹۹۶
شاهو	زاگرس	۳۳۹۰	شمال شرق	۹۹	۳۷	۳	۱۳۱	۳	۱۹۷۷	
سبلان	شمال غربی	۴۸۲۰	غرب	۱۱۱	۶۵	۷۱	۵۹	۹۸	۱۴۸	۲۸۲۲
			شرق	۲۸۲	۸۸	۲	۹۰	۲۳	۱۲۷	۳۰۱۷
بلقیس	شمال غربی	۳۳۳۲	جنوب غرب	۵۱	۳۱	۵۵	۳۱	۱۲	۹	۲۴۹۷
			شمال شرق	۳۴	۱۷۰	۲۹	۲۴۹	۴۲	۵۹	۲۷۱۸
بینالود	شمال شرقی	۳۲۱۱	شمال شرق	۵۵	۲۹	۴	۵۶	۳۰	۲۵۲۹	

با توجه به جدول (۵) از بین روش‌های باقی‌مانده، روش‌های مناسب برآورد ارتفاع مرز برای هر قله مشخص شد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی هزار با ارتفاع برف مرز ۲۹۳۶ متر، جنوبی‌ترین و الوند با ۲۷۷۲ متر، شمالی‌ترین قله‌های این واحد هستند که اختلاف ارتفاع برف مرز آنها ۱۶۴ متر است و اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت دامنه‌های نثار این قله‌ها ۹۱ متر و در دامنه‌های نگار ۲۳۷ متر است.

در واحد ژئومورفیک شمالی بغروداغ، غربی‌ترین و دماوند، شرقی‌ترین قله‌های این واحد هستند. ارتفاع برف مرز دماوند ۲۸۲۷ متر و بغروداغ ۲۰۹۹ متر بوده و تفاوت ارتفاع برف مرز این قله‌ها ۷۲۸ متر و تفاوت دامنه نثار و دامنه نگار این قله‌ها به ترتیب ۷۰۵ و ۷۵۲ متر است.

ارتفاع برف مرز در زردکوه ۲۸۳۹ متر و در شاهو ۱۹۷۷ متر است که ۸۴۲ متر با هم اختلاف دارند. تفاوت برف مرز دامنه‌های نثار این قله‌ها ۶۸۵ متر و دامنه‌های نگار بدون اختلاف است.

در واحد ژئومورفیک شمال غربی، ارتفاع برف مرز سبلان (غربی‌ترین) ۲۹۱۹ متر و بلقیس (شرقی‌ترین) ۲۶۰۷ متر است و تفاوت برف مرز در دامنه‌های نثار ۳۲۵ متر و در دامنه‌های نگار ۲۹۹ متر است.

قله بینالود در واحد شمال شرقی در دامنه‌های مختلف بدون اختلاف بود. کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز مربوط به واحد ایران مرکزی (۱۴۳ متر) و بیشترین مربوط به زاگرس (۸۴۲ متر) است. در دامنه‌های نثار کمترین اختلاف ۱۱۴ متر و بیشترین ۷۰۵ متر و در دامنه‌های نگار ۱۷۳ متر و ۷۵۲ متر است.

متوسط ارتفاع برف مرز برآوردشده در قله‌های بل ۲۹۴۶ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده در اقلید فارس ۲۹۵۰ متر در پژوهش رامشت و کاظمی (۱۳۸۶)، هزار ۲۹۳۶ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده در زیرحوضه بیدخوان کرمان ۳۱۶۶ متر در پژوهش جعفریگلو و همکاران (۱۳۹۳)، الوند ۲۷۰۰ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده در همدان ۲۷۵۰ متر در پژوهش جعفری (۱۳۹۵)، سبلان ۲۸۷۲ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده ۲۵۰۰ متر در پژوهش خیام (۱۳۷۰) و رجبی و خطیبی (۱۳۸۷)، شیرکوه ۲۹۵۹ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده ۲۷۶۶ متر در پژوهش جعفری (۱۳۸۸)، بینالود ۲۵۲۹ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده ۲۵۰۰-۲۳۰۰ متر در پژوهش قربانی شورستانی و همکاران (۱۳۹۵)، شاهو ۱۹۹۷ متر با ارتفاع برف مرز برآوردشده در ارتفاعات شاهو ۱۸۰۰ متر و ارتفاعات کردستان ۲۰۰۰ متر در پژوهش قربانی و همکاران (۱۳۸۹) و یمانی و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد. تفاوت‌های موجود ناشی از این است که در این مقاله ارتفاع کل حوضه‌های اطراف قله اصلی ذکر شده است؛ در صورتی که در بسیاری از مقالات ارتفاع برف مرز دائمی در دامنه‌های نثار برآورد شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

وجود شواهد یخچالی در قله‌ها و واحدهای ژئومورفیک ایران، حاکمیت سیستم شکل‌زایی یخچالی را در واحدهای ژئومورفیک ایران مرکزی، شمالی، زاگرس، شمال غربی و شمال شرقی به اثبات می‌رساند. گسترش ایران در ۱۵ درجه عرض جغرافیایی، ۱۹ درجه طول جغرافیایی و امتداد متفاوت ناهمواری‌ها، منجر به تفاوت ارتفاع برف مرز کواترنری در بخش‌های مختلف شده است. بر این اساس برای بررسی این تفاوت‌ها ۱۳ قله مرتفع در واحدهای

مختلف ژئومورفولوژیکی انتخاب، لندفرم‌های سیرکی آنها شناسایی و به روش‌های مختلف ارتفاع برف مرز کواترنری برآورد شد. بررسی تاریخی فرایندهای یخچالی و وجود بردارهای مختلف در برآورد ارتفاع برف مرز در روش‌های مختلف منجر به تفاوت ارتفاع برف مرز در روش‌های مختلف می‌شود؛ با این حال وجود تفاوت زیاد ارتفاع برآوردی در بعضی از روش‌ها با سایر ارتفاعات برآوردی برای همان قله در سایر روش‌ها، ممکن است دال بر ناکارایی آن روش یا روش‌ها در برآورد ارتفاع برف مرز کواترنری باشد. از مجموع ۲۲۶۶ سیرک شناسایی‌شده، بیش از ۶۳ درصد آنها در دامنه‌هایی هستند که جهت شیب آنها تمایلی به سمت شمال دارد (دامنه‌های نثار). روش برآورد ارتفاع برف مرز لازم است علاوه بر برآورد ارتفاع برف و مرز معقول، این قابلیت را نیز داشته باشد که به کمک آن اختلاف برف مرز جهات مختلف برآورد شود. بر این اساس از ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری برآوردشده ۱۳ قله مرتفع ایران در روش‌های رایب، ارتفاع کف سیرک، نسبت‌های ارتفاعی و نسبت پنجه به دیواره (رایب و پورتر) میانگین‌گیری شد. با مشخص شدن میانگین ارتفاع برف مرز برآوردشده و مقایسه آن با ارتفاع برآوردی روش‌های مختلف در هر قله، روشی که کمترین اختلاف را از میانگین داشت، ارتفاع برف مرز آن قله معرفی شد. بر این اساس در دامنه‌های نثار قله‌های هزار، دماوند، توچال، سبلان، بلقیس و بینالود روش ارتفاع کف سیرک، در قله‌های بل، سردشت و بغروداغ روش پنجه به دیواره (رایب)، در قله‌های الوند و زردکوه روش رایب (رابطه ۱)، در شیرکوه نسبت پنجه به دیواره (پورتر)، در کوهستان شاهو روش‌های رایب (رابطه ۱) و پنجه به دیواره (رایب و پورتر)، در دامنه‌های نگار قله‌های بل، دماوند و الوند روش ارتفاع کف سیرک، در قله‌های توچال و زردکوه روش رایب (رابطه ۱)، در قله‌های سردشت و شیرکوه روش رایب (رابطه ۲)، در قله‌های هزار و بلقیس روش نسبت پنجه به دیواره (پورتر)، در قله سبلان روش نسبت‌های ارتفاعی و در بغروداغ روش نسبت پنجه به دیواره (رایب)، مناسب‌ترین روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری معرفی می‌شوند.

ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری در بل ۲۹۴۶ متر، الوند ۲۷۰۰ متر، توچال ۲۶۹۱ متر، هزار ۲۹۳۶ متر، بینالود ۲۵۲۹ متر، دماوند ۲۸۳۲ متر، سردشت ۲۷۱۹ متر، بغروداغ ۲۰۲۶ متر، شاهو ۱۹۹۷ متر، سبلان ۲۸۷۲ متر، بلقیس ۲۶۲۱ متر، شیرکوه ۲۹۵۹ متر و زردکوه ۲۸۶۲ متر برآورد شد. در بین قله‌های مدنظر شاهو در غربی‌ترین، بینالود در شرقی‌ترین، هزار در جنوبی‌ترین و سبلان در شمالی‌ترین بخش ایران قرار دارند. تفاوت ارتفاع برف مرز بین قله‌های شاهو و بینالود ۵۳۲ - متر و قله‌های هزار و سبلان ۶۴ متر است. تفاوت برف مرز کواترنری در دامنه‌های مختلف ناهمواری‌های ایران، در واقع تفاوت در دریافت انرژی خورشیدی و ذوب یخ یا تبخیر منابع آبی را نشان می‌دهد. شناخت مکان‌هایی که زمان پاسخ بارش یا به عبارتی زمان ماندگاری منابع رطوبتی در آنها طولانی‌تر باشد، در مدیریت منابع آب و خاک کشور ایران، با توجه به واقع شدن بیشتر شهرهای داخلی ایران در دامنه شمال شرقی ارتفاعات (با پایین‌ترین ارتفاع برف مرز برآوردی) واقع شده است.

منابع

- ۱- انتظاری، علیرضا، امیراحمدی، ابوالقاسم، قرنچیک، امان‌محمد، جهانفر، علی و شایان یگانه، علی‌اکبر، (۱۳۹۴)، بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگان‌رود در کواترنر، فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دوره ۱، شماره ۲، انجمن ایرانی کواترنری، ۱۶۹-۱۸۰.
- ۲- پاریزی، اسماعیل، تقیان، علیرضا و رامشت، محمدحسین، (۱۳۹۲)، شواهد یخچال‌های کواترنری پایانی در حوضه تنگویی سیرجان، پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، سال ۲، شماره ۳، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، ۱۱۱-۱۲۸.
- ۳- جعفریگلو، منصور، یمانی، مجتبی، عباس‌نژاد، احمد، زمان‌زاده، سید محمد و ذهاب ناظوری، سمیه، (۱۳۹۳)، بازسازی برف مرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان بیدخوان (استان کرمان)، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، سال ۱۲، شماره ۴۰، دانشگاه تهران، ۹۳-۱۰۷.
- ۴- جعفری، غلامحسن، (۱۳۸۸)، تأثیر جهت ناهمواری‌ها در ارتفاع خط تعادل آب‌ویخ کواترنری ایران، رساله دکتری، استاد راهنما رامشت، محمدحسین، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.
- ۵- جعفری، غلامحسن، (۱۳۹۵)، بررسی لندفرم‌های یخچالی کواترنری توده کوهستانی الوند همدان با تأکید بر قسمت‌های مختلف سیرک، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال ۵، شماره ۱۹، دانشگاه آزاد واحد نجف‌آباد، ۱۳۹-۱۲۹.
- ۶- جعفری، غلامحسن و آوجی، مینا، (۱۳۹۵)، بررسی آثار برف مرز دائمی یخچال‌های کواترنری توده کوهستانی قروه، فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دوره ۲، شماره ۴، دانشگاه هرمزگان، ۳۷۹-۳۹۱.
- ۷- چورلی، ریچارد جی، شوم، استانی ای و سودن، دیوید، (۱۳۸۵)، ترجمه احمد معتمد، جلد ۴، انتشارات سمت، چاپ دوم، تهران، ۲۷۴.
- ۸- خوش‌رفتار، رضا، فرید مجتهدی، نیما، اسعدی اسکویی، ابراهیم و نوروز پورشهر بیجاری، کامبیز، (۱۳۹۵)، شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی پلیستوسن پایانی در کوه شاه‌البرز - البرز غربی، فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دوره ۲، شماره ۲، انجمن ایرانی کواترنری، ۱۵۵-۱۶۵.
- ۹- رامشت، محمدحسین، (۱۳۹۳)، نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، نشر سمت، چاپ هشتم، دانشگاه تهران، ۲۰۰.
- ۱۰- رامشت، محمدحسین و کاظمی، محمدمهدی، (۱۳۸۶)، آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۷۹، وزارت آموزش و پرورش، ۱۱-۳.
- ۱۱- رامشت، محمدحسین و نعمت‌اللهی، فاطمه، (۱۳۸۴)، آثار یخساری در ایران، نشریه دانشکده علوم انسانی تبریز، شماره ۳، دانشگاه تبریز، ۱۳۰-۱۴۹.

- ۱۲- رامشت، محمدحسین، لاجوردی، محمود، لشکری، حسن و محمودی محمدآبادی، طیبه، (۱۳۹۰)، **ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی (مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان)**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره ۲، دانشگاه اصفهان، ۵۹-۷۸.
- ۱۳- رجیبی، معصومه و بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۷)، **بررسی لندفرم‌های دره‌های یخچالی (دره‌های یخچالی کوهستان سبلان)**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، دانشگاه تهران، ۱۰۵-۱۲۲.
- ۱۴- زمردیان، محمدجعفر، (۱۳۹۱)، **ژئومورفولوژی ایران**، جلد ۲، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ هفتم، مشهد، ۲۷۲.
- ۱۵- سرور، جلیل‌الدین و فرید مجتهدی، نیما، (۱۳۹۰)، **شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی پلیستوسن در دامنه شمالی کوه خشچال (البرز غربی)**، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ۸، شماره ۳۱، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۵۱ - ۶۷.
- ۱۶- سیف، عبدالله، ثروتی، محمدرضا و راهدان مفرد، محمد، (۱۳۹۴)، **بازسازی برف مرزهای کواترنری پایانی در محدوده سایت ریگ**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱۶، دانشگاه اصفهان، ۲۰۸-۱۹۳.
- ۱۷- شریفی پیچون، محمد، طاهری‌نژاد، کاظم و زارع، فاطمه، (۱۳۹۶)، **شواهد ژئومورفولوژی آثار یخچالی در عصر پلیستوسن (نمونه موردی: حوضه دشت ابراهیم‌آباد-یزد)**، فصلنامه کواترنری ایران، سال ۳، شماره ۹، انجمن ایرانی کواترنری، ۲۸-۱۵.
- ۱۸- شریفی، محمد و فرح‌بخش، زهرا، (۱۳۹۴)، **بررسی آنومالی حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه خضرآباد-یزد)**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، دانشگاه تهران، ۶۰۵-۵۸۳.
- ۱۹- شمسی‌پور، علی‌اکبر، باقری سید لشکری، سجاد، جعفری اقدم، مریم و سلیمی‌منش، جبار، (۱۳۹۴)، **بازسازی برف مرزهای آخرین دوره یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (مطالعه موردی: تاقدیس قلاجه)**، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۶۱ - ۷۴.
- ۲۰- صمدزاده، رسول، (۱۳۸۶)، **بررسی تغییرات آب‌وهوایی کواترنر پسین با استفاده از شواهد ژئومورفولوژیک در حوضه دریاچه نئور**، جغرافیایی سرزمین، سال ۴، شماره ۱۶، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۱۹-۳۷.
- ۲۱- طاحونی، پوران، (۱۳۸۳)، **شواهد ژئومورفولوژیک فرسایش یخچالی پلیستوسن در ارتفاعات طالش**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، دانشگاه تهران، ۳۱ - ۵۵.
- ۲۲- علایی طالقانی، محمود، (۱۳۹۱)، **ژئومورفولوژی ایران**، انتشارت قومس، چاپ هفتم، تهران، ۳۶۰.

- ۲۳- قربانی شورستانی، علی، خسروی، عذرا و نورمحمدی، علی محمد، (۱۳۹۵)، بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته کوه بینالود)، پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، سال ۵، شماره ۱، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، ۱۳-۱.
- ۲۴- قربانی، محمدصدیق، محمودی، فرج‌الله، یمانی، مجتبی و مقیمی، ابراهیم، (۱۳۸۹)، نقش تغییرات اقلیمی در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی (مطالعه موردی: ناهمواری‌های شاهو، غرب ایران)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۷۴، دانشگاه تهران، ۱-۱۶.
- ۲۵- قهرودی تالی، منیژه و حسنی قارنایی، رسول، (۱۳۹۴)، شواهد یخچالی در مناطق کوهستانی مرز ایران، ترکیه، عراق (کوهستان بزسینا و دالامپر)، فصلنامه کواترنری ایران (علمی - پژوهشی)، دوره ۱، شماره ۴، انجمن ایرانی کواترنری، ۳۲۳-۳۳۷.
- ۲۶- قهرودی تالی، منیژه، ثروتی، محمدرضا و حسنی قارنایی، رسول، (۱۳۹۲)، تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه رود زاب کوچک، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۳، شماره ۴۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، ۱-۱۷.
- ۲۷- مقیمی، ابراهیم، یاراحمدی، علی محمد، ثروتی، محمدرضا و کردوانی، پرویز، (۱۳۹۱)، تأثیر مورفولوژی دامنه‌ها در تحول سیرک‌های یخچالی اشترانکوه، مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۹-۱۳۹.
- ۲۸- ملکی، امجد، جبّاری، ایرج و حسینی، هاشم، (۱۳۹۷)، بازسازی قلمروهای مورفودینامیک براساس شواهد ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی (مطالعه موردی: کوه‌های چهل چشمه و سارال در استان کردستان)، فصلنامه کواترنری ایران، سال ۳، شماره ۱۰، انجمن ایرانی کواترنری، ۱۳۰-۱۱۷.
- ۲۹- یمانی، مجتبی، (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی یخچال زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفیک و حدود گسترش آنها)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۲، دانشگاه تهران، ۱۲۵-۱۳۹.
- ۳۰- یمانی، مجتبی و زمانی، حمزه، (۱۳۸۶)، بازیابی حدود مرز برف دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی، جغرافیا (نشریه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران)، دوره جدید، سال ۵، شماره ۱۲ و ۱۳، انجمن جغرافیایی ایران، ۹۹-۱۱۶.
- ۳۱- یمانی، مجتبی و زمانی، حمزه، (۱۳۹۵)، تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در دره هراز در آخرین دوره یخچالی، فصلنامه کواترنری ایران (علمی - پژوهشی)، دوره ۲، شماره ۴، انجمن ایرانی کواترنری، ۳۰۵-۳۱۴.
- ۳۲- یمانی، مجتبی، شمسی‌پور، علی‌اکبر و جعفری اقدم، مریم، (۱۳۹۰)، بازسازی برف مرزهای پلیوستوسن در حوضه جاجرود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، دانشگاه تهران، ۵۰-۳۵.

۳۳- یمانی، مجتبی، مقیمی، ابراهیم، عزیزی، قاسم و باخویشی، کاوه، (۱۳۹۲)، **تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، سال ۴۵، شماره ۴، دانشگاه تهران، ۱-۱۴.**

- 34- Augustinus, P., Fink, D., Fletcher, M. S., and Thomas, I., (2017), **Re-assessment of the mid to late Quaternary glacial and environmental history of the Boco Plain, western Tasmania.** Quaternary Science Reviews, No. 160, United Kingdom, pp. 31-44.
- 35- Barr, I. and Spagnolo, M., (2015), **Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations.** Earth-Science Reviews, No. 151, Netherlands, PP. 48-78.
- 36- Chen, Y., Li, Y., Wang, Y., Zhang, M., Cui, Z., Yi, C. and Liu, G., (2015), **Late Quaternary glacial history of the Karlik Range, easternmost Tian Shan, derived from 10Be surface exposure and optically stimulated luminescence datings.** Quaternary Science Reviews, No. 115, United Kingdom, pp. 17-27.
- 37- Dahms, D., Egli, M., Fabel, D., Harbor, J., Brandová, D., de Castro Portes, R. and Christl, M., (2018), **Revised Quaternary glacial succession and post-LGM recession, southern Wind River Range, Wyoming, USA,** Quaternary Science Reviews, No. 192, United Kingdom, pp. 167-184.
- 38- Delmas, M., Gunnell, Y. and Marc Calvet, M., (2015), **A critical appraisal of allometric growth among alpine cirques based on multivariate statistics and spatial analysis,** Geomorphology, No. 228, France, PP. 637-652.
- 39- Evans, I.S., (2006), **Allometric development of glacial cirque form: Geological, relief and regional effects on the cirques of Wales.** Geomorphology, No. 80, France, PP. 245-266.
- 40- Hendrickx, H., Jacob, M., Frank, A. and Nyssen, J., (2015), **Glacial and periglacial geomorphology and its paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed geomorphological map.** Geomorphology, No.246, France, PP. 156-167.
- 41- Kurter, A. and Sungur, K., (1980), **Present Glaciation In Turkey, In World Glacier Inventory.** Proceeding of the Workshop at Federal, Switzerland, 17-22 Sep. 1987, International Association of Hydrological Science, No.126, Switzerland, PP. 155-160.
- 42- Lee, J. R., (2011), **Cool Britannia: from Milankovich wobbles to ice ages.** Mercian Geologist, No. 17, United Kingdom, pp. 274-279.
- 43- Mindrescu, M. and Evans, I.S., (2014), **Cirque form and development in Romania: Allometry and the buzzsaw hypothesis.** Geomorphology, No.208, France, PP. 117-136.
- 44- Moayeri, M., Ramesht, M.H., Saif, A., Yamani, M. and Jafari, Gh.H., (2011), **The impact of mountainous skirtsdirection of Iran on differences in altitude of wither and ice equilibrium line of quaternary.** Geography and Environmental Planning Journal, Vol. 40, No.4, Isfahan university, PP. 1-12.
- 45- Moussavi, M.S., Valadan, Zoej. M.J., Vaziri, F., Sahebi, M.R. and Rezaei, Y., (2009), **A new glacier inventory of Iran.** Annals of Glaciology, No. 50, United Kingdom, PP.53.
- 46- Napieralski., Jacob., Harbor. and Li Yingkui., (2007), **Glacial geomorphology and Geographicinformation systems,** Earth-Science Reviews, No.85, Netherlands, pp. 1-22.
- 47- Pedrami, M., (1982), **Pleistocene and Paleo Climate in Iran.** Geological Survey of Iran, Tehran. Pp. 34.
- 48- Petras, J., (2010), **Genesis and sedimentation of an ice-walled lake plain in northeastern Illinois.** Unpublished MS thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign. Pp. 175.

- 49- Porter, S. (2001) **Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation**. Quaternary Science, No. 20, United Kingdom, PP. 1067-1091.
- 50- Sarikaya, M.a., Ciner, A. and Zreda, M., (2011), **Quaternary Glaciations of Turkey**. Quaternary Science, No. 15, United Kingdom, PP. 393-403.
- 51- Seif, A. and Ebrahimi, B., (2014), **Combined Use of GIS and Experimental Functions for the Morphometric Study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, IRAN**. Quaternary International, No. 353, United Kingdom, PP. 236-249.
- 52- Serrano, E., González-Trueba, J. J., Pellitero, R., González-García, M. and Gómez-Lende, M., (2013), **Quaternary glacial evolution in the Central Cantabrian Mountains (northern Spain)**. Geomorphology, No. 196, Netherlands, pp. 65-82.
- 53- Wang, J., Zhou, S., Zhao, J., Zheng, J. and Guo, X. (2011) **Quaternary glacial geomorphology and glaciations of Kongur Mountain, eastern Pamir, China**. Science China Earth Sciences, No. 54, China, pp. 591-602.
- 54- Zhao, J., Lai, Z., Liu, S., Song, Y., Li, Z. and Yin, X. (2012) **OSL and ESR dating of glacial deposits and its implications for glacial landform evolution in the Bogeda Peak area, Tianshan range, China**. Quaternary Geochronology, No. 10, Netherlands, pp. 237-243.
- 55- Zhao, J., Yin, X., Harbor, J. M., Lai, Z., Liu, S. and Li, Z. (2013) **Quaternary glacial chronology of the Kanas river valley, Altai mountains, China**. Quaternary International, No. 311, Netherlandspp., 44-53.

