

روند یخچال زایی کواترنری در البرز غربی، مرکزی و شرقی

عبدالله سیف^۱، رسول شریفی^۲

^۱ دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

^۲ کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی گرایش آمایش محیط دانشگاه اصفهان

چکیده

یکی از قلمروهای مهم یخچال زایی در کواترنری ایران ارتفاعات البرز می‌باشد قله و حوضه‌های یخچالی متعددی در اقصی نقاط البرز غربی مرکزی و شرقی در دوران کواترنری یخچال زایی داشته‌اند. در این پژوهش در پنج حوضه‌یخچالی منتخب واقع در البرز غربی، مرکزی و شرقی به نام‌های حوضه‌یخچالی دره‌ی پلرود، حوضه‌یخچالی دره‌ی چالک رود، حوضه‌یخچالی دره‌ی الیکا، حوضه‌ی یخچالی دره‌ی یالرود و حوضه‌یخچالی لاسم، ابتدا به شناسایی آثار ژئومورفیک یخچالی از جمله سیرک‌های یخچالی، مورن‌های انتهایی، دره‌های یخچالی و یخرفت‌های واقع در دره‌ها مبادرت گردید. در این در این پنج حوضه‌یخچالی ۴۵ سیرک یخچالی کوچک و بزرگ شناسایی و ترسیم گردید سپس مبادرت به تهیه لایه‌های مکمل از جمله مدل رقومی ارتفاعی، لایه سه تیغ‌ها، لایه‌ی قله‌ها، لایه‌ی آبراهه‌ها، لایه‌ی سیرک‌های یخچالی، لایه‌ی مورن‌ها و لایه‌یخرفت‌های انتهایی گردید و در محیط نرم‌افزاری نقشه‌های ژئومورفولوژی یخچالی پنج حوضه تهیه گردید آنگاه با به‌کارگیری متدهای کف سیرک، هوفر و لوئیز به محاسبات مرز برف‌های گذشته مبادرت نمودیم که نتایج محاسبه با متد کف سیرک برای پنج حوضه به دست آمده به این شرح می‌باشد: در حوضه‌یخچالی دره‌ی پلرود ۳۳۴۴ متر در حوضه‌یخچالی دره‌ی چالک رود ارتفاع میانگین کف سیرک ۳۴۷۵، در حوضه‌یخچالی الیکا ارتفاع میانگین کف سیرک ۳۸۳۳ متر در حوضه‌ی یخچالی یالرود ارتفاع میانگین کف سیرک ۳۷۲۹ مترو در حوضه‌ی یخچالی لاسم ارتفاع میانگین کف سیرک ۳۷۵۳ متر. همچنین در حوضه‌ی پلرود واقع در البرز غربی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۰۰ و ۲۹۲۰ متر، در حوضه‌ی یخچالی چالک رود واقع در البرز غربی ارتفاع مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۸۷۷ و ۲۹۹۰ متر، در حوضه‌ی الیکا واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۸۴ و ۳۰۷۲ متر، در حوضه‌ی یالرود واقع در البرز شرقی ارتفاع مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۵۰ و ۳۱۲۱ متر، و سرانجام در حوضه‌ی لاسم واقع در البرز شرقی ارتفاع مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۲۳ و ۳۱۳۸ متر می‌باشد. در شرقی‌ترین حوضه‌ی یخچالی که در البرز شرقی واقع گردیده است (حوضه‌ی لاسم) رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی ۳۰۳۲ برآورد گردیده است این در حالیست که ELA محاسباتی در غربی‌ترین واحد مطالعاتی متعلق به حوضه‌ی یخچالی پلرود می‌باشد که مرز برف گذشته‌ی آن با متد هوفر ۲۹۰۰ متر برآورد شده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در حوضه‌های یخچالی منتخب در این پژوهش از غرب به شرق یخچال زایی داشته‌ایم ولی رقوم مرز برف‌های محاسباتی در شرق البرز نسبت به غرب در ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد.

کلیدواژه: البرز، کواترنر پایانی، بازسازی مرز برف‌ها، روش هوفر، روش لوئیز، روش کف سیرک

مقدمه

تغییر در عناصر اقلیمی مانند بارش و دما، تاثیر قابل توجهی بر توسعه یا عقب نشینی یخچال ها دارد. یخچال ها خود نیز به عنوان یک عامل مهم و تاثیر گذار، در شکل گیری لند فرم ها (فرسایشی و تراکمی) در نواحی کوهستانی و نواحی که در گذشته و دوره های سرد تحت حاکمیت یخچال ها بوده اند بسیا مورد توجه هستند. با توجه به این موضوع، شناخت کامل و بررسی دقیق لندفرم های یخچالی به جای مانده از دوران یخچالی می تواند کمک زیادی در باز سازی یخچال ها در گذشته و حال حاضر کرده و سپس به تبع آن اقلیم گذشته را نیز بازسازی کرد. در اکشور ما نیز از قرن نوزدهم محققین خارجی و داخلی، مطالعات زیادی در زمینه ی یخچال ها و بازسازی اقلیم با توجه به همین آثار به جای مانده از یخچال ها انجام داده اند؛ که یکی از اشکالاتی که می توان به این مطالعات وارد دانست، این است که مطالعه روی سیرک های یخچالی بسیار بیشتر از مطالع بر روی دیگر آثار به جای مانده نظیر مورن ها می باشد. این پژوهش در نظر دارد تا با شناسایی لندفرم های یخچالی به جای مانده از دوران کواترنر پایانی در منطقه ی البرز و مطالعه دقیق و همه جانبه این اشکال نظیر سیرک های یخچالی، دره های یخچالی، مورن های انتهایی کف در ها، دریاچه های یخچالی، مورن های سرگردان و... استفاده از مدل های بازسازی مرزبرف ها ی گذشته و مدل تخمین ارتفاع کف سیرک یخچال های قدیمی در مناطق غربی، مرکزی و شرقی البرز، ضمن شناسایی و معرفی این لندفرم ها و بازسازی اقلیم گذشته ی این مناطق و مقایسه مرز برف های گذشته و حال حاضر این نواحی روند یخچال زایی کواترنری در رشته کوه های البرز را از غرب به شرق را با یکدیگر مقایسه کرده ومورد تجزیه و تحلیل قرار داده است.

امروزه اشکال یخچالی در ارتباط با دوره کواترنری، مهمترین پارامتر مشخص کردن آب و هوای گذشته گذشته و مقایسه آن با عصر کنونی می باشد. شناخت و پیگیری نوسان خط تعادل یخ در دوره ی کواترنر پایانی و بررسی شرایط حال حاضر این شاخص، موضوعی است که از با بررسی اشکال یخچالی و با استفاده از روش های گوناگون برآورد خط تعادل یخچالی امکان ممکن می باشد. نکته مهم در بکارگیری این روش ها اطمینان از یخچالی بودن آثار فرمی و لندفرم های بررسی شده می باشد. این تحقیق علاوه بر بررسی داده های سنجش از دور و بازدیدهای صحرائی، تحلیل های مورفومتریکی به منظور طبقه بندی و حصول اطمینان از یخچالی بودن این آثار به کار گرفته خواهد شد. نتیجه چنین تحلیل هایی، تفکیک لندفرم ها و اشکال فرمی شبیه یخچالی از انواع یخچالی بوده و این امکان را فراهم میسازد تا با دانش کافی در خصوص درجه تحول لندفرم های به کار گرفته شده در ارزیابی خط تعادل یخچالی دیرینه، این پارامتر با دقت بیشتر در منطقه کرکس برآورد گردد.

مبانی نظری

چگونگی تشکیل یخچال های طبیعی

یخچال طبیعی، به حجم بزرگی از یخ و برف گفته می شود که مقداری انباشته شده و در نتیجه ی سنگینی خود تغییر شکل و فرم داده وشروع به حرکت کند البته در بعضی از مناطق یخچال ها ممکن است هیچ حرکتی نکنند که در این صورت به آن مخزن یخچالی می گویند؛ اما امروزه یخچال ها، خاص مناطق بسیار مرتفع هستند و گسترش آنها ارتباط بسیار نزدیکی با اقلیم محل دارد (شایان ۱۳۸۴، صفحه ۱۵۲).

یخچال های ناحیه ای یا قاره ای

یخچال های قاره ای یا اینلندسیس واقع در قطب جنوب و گرینلند نمونه ای از یخچال های قاره ای میباشند که حدود ۹۶ درصد یخچال های جهان را تشکیل داده اند. ضخامت یخچال ها در قطب جنوب ۲/۲ کیلومتر و در گرینلند حدود ۱/۶ کیلومتر است (جباری ۱۳۹۶- صفحه ۲۴۱). این یخچال ها حالت گنبدی دارند و نیمرخ توپوگرافی آنها کوژ و ملایم است و توپوگرافی سطح این یخچال ها از ناهمواری های بستر آنها تبعیت نمی کند.

یخ یخچالی

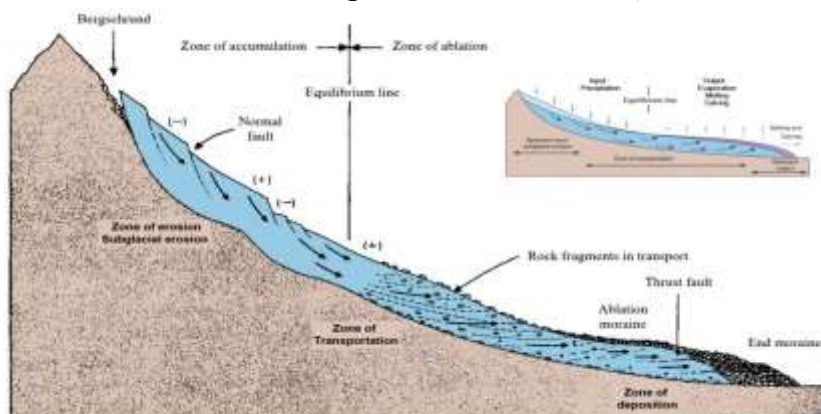
یخچال توده ای بزرگ و ضخیم از یخ است که در اثر انباشته شدن برف و فشرده شدن آنها و تبدیل شدنشان به یخ شکل گرفته است. مهمترین ویژگی یخچال ها توانایی حرکت آنها ست پس به توده های یخی که توانایی حرکت

نداشته باشند نمی توان لفظ یخچال را اطلاق کرد پس با توجه به این ویژگی مهم به سه مورد اشاره شده در زیر نمیتوان یخچال گفت:

الف) توده های یخی در سطح زمین که بر اثر یخ زدگی آبهای زیرزمینی در سرزمین های سرد و یخ زده در عرض های بالا پدید آمده اند.

الف) یخ هایی که در سطح آب دریا ها به علت سرمای شدید به ویژه در نواحی قطبی و جنب قطبی شکل گرفته اند.

پ) پهنه های وسیع برف در زمین های پست و هموار که این برف و یخ ها امکان حرکت ندارند.



شکل (۱) نیمرخ طولی نشان دهنده حرکت یخ در طول یک یخچال. جریان داخلی یخ یخچالی با علامت فلش نمایش داده شده است. در زون انباشت، حرکت یخ به سمت پایین است. در نزدیکی مرز برف دائمی راستای حرکت به موازات سطح یخچال و در نزدیکی پایانه یخچال راستای حرکت رو به بالاست. علائم + و - به ترتیب معرف مناطق تحت تنش فشارشی و تنش کششی است (بلوم ۱۹۸۸).

هر یخچال از دوناحیه یا زون اصلی به نام های ناحیه یا زون انباشت و ناحیه یا زون برداشت تشکیل شده است. زون انباشت محل تغذیه یخچال است و زون برداشت محل تخلیه یخچال از طریق حرکت و ذوب برف ها می باشد. (شکل ۱). مرز میان این منطقه را خط تعادل آب و یخ می نامند. در منطقه ی انباشت برف بعد از انباشته شدن روی هم و فشرده شدن و تخلیه هوای موجود در بین ذرات برف و تبدیل شدن آن به نوه و سپس تغییر شکل به یخ بلوری و یخچال و زمانی که ضخامت آن به حدی میرسد که امکان جابجایی پیدا میکند لازم به ذکر است در برخی از منابع به این نکته اشاره شده است که زمانی که قطر این یخ به محدوده ی ۶۰ متر می رسد یخ به فاز جریان پلاستیک وارد شده و با تاثیر گذاشتن به روی وزن طبقه های بالایی حرکت را آغاز می کند.

روش تحقیق

روش شناسی تحقیقی در پژوهش در برگیرنده ی جست وجوهای کتابخانه ای و اسنادی، مشاهده میدانی در منطقه مورد پژوهش، آنالیز و پردازش داده ها و در نهایت ساختن مدل و نتیجه گیری می باشد.

اطلاعات عمومی و اولیه درباره ی موضوع مورد بحث، زمینه های نظری تحقیق، ادبیات پژوهش و دیگر تحقیقات مرتبطی که به وسیله سایر پژوهشگران انجام گرفته است و همینطور اطلاعات و داده هایی که توسط سازمان هایی مثل هواشناسی و زمین شناسی و سازمان نقشه برداری که به عنوان زیر بنای کار محسوب می گردد از طریق مطالعه منابع کتابخانه ای و کاوش در اینترنت و فضای مجازی حاصل می شود.

بخش قابل توجهی از منابع، داده ها و اطلاعاتی که برای پژوهش به آن احتیاج داریم به وسیله مشاهده ی مستقیم در محیط مورد پژوهش و عملیات آزمایشگاهی در این محیط ها حاصل می شود. همچنین قسمت دیگری از این اطلاعات به وسیله ی مشاهده ی غیرمستقیم و واکاوی نقشه های توپوگرافی منطقه ی پژوهش، DEM ها، نقشه ی زمین شناسی و تعکس ها و

تصاویر هوایی و ماهواره ای و مقایسه بین اطلاعات حاصل از این منابع به وسیله ی نرم افزارهای موجود که به همین منظور طراحی و تولید شده اند قابل دستیابی است.

بخش دیگری از تحقیق شامل بررسی داده های بدست آمده از منابع مختلف و مقایسه و تطبیق نتایج است. در این بخش اطلاعات بدست آمده از مراحل قبل و همچنین داده های آزمایشگاهی با کمک نرم افزارهای مختلف، بر نقشه های پایه منطبق و مورد ارزیابی و مقایسه قرار میگیرند.

استفاده از روابط، فرمول ها و مدل سازی و ارزیابی نتایج حاصل از مدلها با داده های حقیقی و تحلیل نتایج مدلسازی و مقایسه نتایج با دیگر بررسی های مشابه در سطح بین المللی، بخش دیگری از روش شناسی این تحقیق را شامل می گردد.

پایگاه اطلاعات جغرافیایی در محدوده ی پژوهش

مهمترین اطلاعاتی که در این تحقیق استفاده شده است به شرح ذیل می باشد: نقشه های توپوگرافی به عنوان نقشه های پایه برای ثبت داده های میدانی و توضیح قرارگیری پدیده های یخچالی به کار گرفته شده اند... نقشه ی ناهمواری ها در این تحقیق قالب فرمت شیپ فایل هایی که با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به وسیله ی سازمان نقشه برداری آماده و در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است، به کار گرفته شده اند... نقشه های زمین شناسی به عنوان نقشه های پایه جهت بررسی لیتولوژی و ساختارهای قالب مناطق مطالعاتی و بررسی لندفرم های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته اند. نقشه های مورد استفاده در این تحقیق در مقیاس های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ توسط سازمان زمین شناسی کشور تهیه شده اند. عکس های ماهواره ای که از نرم افزار گوگل ارث تهیه شده است و مایکروسافت، جهت بررسی موقعیت اشکال یخچالی و مشاهده غیر مستقیم این عوارض، ساخت مدل های سه بعدی و همینطور تشخیص دیگر خصوصیت های مناطق یخچالی بهره برداری شده است. DEM ها از دیگر وسایل مورد استفاده در این پژوهش می باشند. در این پژوهش DEM هایی که از ماهواره ی ASTER (GDEM, 2009; GDEM2, 2011) با دقت تفکیک مکانی ۳۰ متر، مدل رقومی SRTM با تفکیک مکانی ۹۰ متر و DEM تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور با تفکیک مکانی ۱۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است.

اهداف تحقیق

۱- دریابی آثار ولندفرمهای مهم یخچالی در محدوده مطالعاتی با تاکید بر پنج حوضه ی، حوضه های یخچالی پلرود و چالک رود در البرز غربی، حوضه های یخچالی الیکا و یالرود در البرز مرکزی و حوضه ی یخچالی لاسم در البرز شرقی

۲- بازسازی و برآورد برف مرزهای گذشته محدوده مورد نظر در این پژوهش وزیر حوضه های یخچالی با متدهای هوفر، لوییز و کف سیرک

۳- مقایسه نتایج تحقیق با سایر نتایج محققان در ارتفاعات البرز از نظر ELA و مرز برف های کواترنری

پرسش ها و فرضیات تحقیق

۱- روند یخچال زایی در ارتفاعات البرز از غرب به شرق آیا کاهش می یابد؟

۲- ارتفاع برف مرز در کواترنری پایانی در محدوده های مطالعاتی این تحقیق چه رقومی بوده است؟

تعادل یخچالی و ارتفاع خط تعادل یخچال

ارتفاع خط تعادل یعنی ارتفاع موقعیتی در سطح یخچال که در آن میزان انباشت یخ با میزان برداشت یخ مساوی هستند. ارتفاع خط تعادل پارامتری فیزیکی می باشد که در رابطه با تغییرات مربوط به آب و هوا بوده و به عنوان یک شاخص آب و هوایی می تواند مورد استفاده قرار بگیرد. ای خط در مواقع بسیار کمی بگوییم به شکل یک خط با ارتفاع ثابت در تمام عرض یک یخچال مشاهده می شود علت این شرایط را می توان در تائیراتی که آب و هوا و ناهمواری های یک منطقه بر چگونگی قرار گرفتن این خط دانست

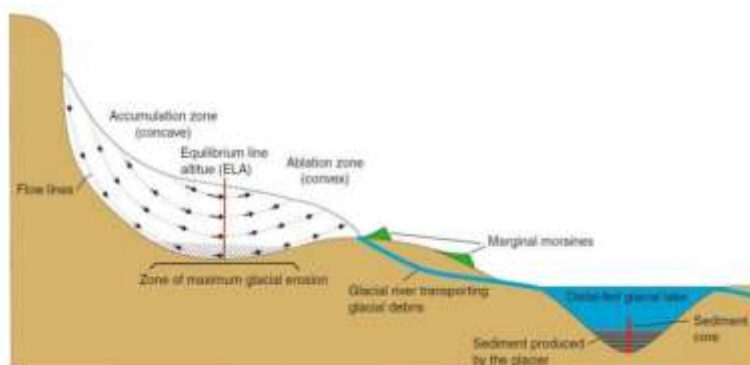
محیط‌های یخچالی

سه محیط پریگلشیال، پروگلشیال و پاراگلشیال به عنوان محیط‌های بسیار مهم در ارتباط با نواحی یخچالی هستند. مهمترین شاخص‌ها برای شناسایی و جداسازی این محیط‌ها بر اساس تعریف اسلای میکر^۱ اینگونه است:

۱- **محیط‌های پریگلشیال:** طبق تعریف این ناحیه شامل نواحی اطراف ورقه‌های یخی است (لوزینسکی^۲ ۱۹۱۲، فرنچ^۳ ۲۰۰۰). حاکمیت شرایط پرمافروست یخ زدگی از شرایط ضروری بای این نواحی است (فرنچ ۲۰۰۷). رابطه مستحکمی بین سیر تحول معمول این محیط با اشکال یخچالی وجود دارد.

۲- **محیط‌های پروگلشیال:** محیط‌هایی که در مجاورت لبه یخ هستند احتمالاً مهمترین تعریف برای این محیط‌ها می‌تواند باشد، (امبلتون و هامان ۲۰۰۴). مکان‌های چسبیده به دماغه‌ی یخچال‌ها، کلاهِک‌ها یخی و ورقه‌های یخی تحت عنوانی به نام محیط پروگلشیال معرفی می‌شوند. در واقع مجاورت و نزدیکی با یخ شرط اصلی برای محیط پروگلشیال می‌باشد. کارکرد این محیط‌ها تنظیم دبی رودخانه‌ها، روند‌های دریاچه‌ای و دریایی که جنب و چسبیده به یخ شکل می‌گیرند، است. به وقوع پیوستن سیلاب‌های متوسط در این محیط‌ها، امری طبیعی به شمار می‌رود هرچند ممکن است سیلاب‌های بزرگ نیز در این نواحی مشاهده شود. یکی از پدیده‌های مرتبط با این محیط‌ها وجود دریاچه‌هایی به نام دریاچه‌های پروگلشیال می‌باشد که بلافاصله بعد از دماغه یخچال‌ها پدید می‌آیند. بیشتر این دریاچه‌ها در اثر اینکه مورن‌ها جلوی جریان آب را می‌گیرند پدید می‌آیند.

۳- **محیط‌های پاراگلشیال:** منظور از این محیط‌ها جا یا منطقه‌ای که دارای موقعیت مکانی خاصی باشد و یا اینکه در جای و موقعیت خاصی قرار گرفته باشد نیست بلکه به وسیله‌ی مسیر انتقال از محیط پروگلشیال به محیط‌های غیر یخچالی اطلاق می‌شود.



شکل (۲) رابطه بین دریاچه‌های پروگلشیال با یخچال. در محیط‌های یخچالی فرسایش در زیر یخچال تولید آرد سنگی می‌کند که در پایین‌دست در دریاچه‌های پروگلشیال رسوب می‌کند.

روش مبتنی بر فاکتورهای هندسی و توپوگرافیک یخچال

تحقیقات اخیر نشان داده است که موقعیت قرارگیری مورن‌های انتهایی به وضعیت توپوگرافیک بستگی زیادی دارد (بار و لاول ۲۰۱۴). در روش‌های پیشنهادی کوهله ۱۹۸۸ توجه ویژه‌ای به وضعیت توپوگرافی یخچال‌ها شده است. همانطور که ملاحظه شد در روش‌های مبتنی بر نسبت ارتفاع مورن انتهایی و ارتفاع دیواره بالایی یخچال نظر قطعی بر میزان ضریب THAR و همینطور مبنای دقیقی برای ارتفاع خط الراس کوهستان وجود ندارد. کاسر و اوسماستون همینطور بن به طور جداگانه پیشنهاد داده‌اند که بهترین راه برای برآورد دقیق ضریب THAR بررسی آماری این ضریب در یخچال‌های عهد حاضر است (کاسر و اوسماستون ۲۰۰۲، بن ۲۰۰۵). بر

اساس نظر کوهله در محاسبه ELAs باید یخچال های طبیعی را سیستم های پویا در نظر گرفت که متغیر های آن یعنی توپوگرافی و اقلیم یخچال مرتبط با یکدیگر و در تعامل با بازخورد های هستند. وی معتقد است برای تعیین مقدار وابستگی ELA به عوامل هندسی و توپوگرافیک یخچال باید روشی را طراحی کرد که در آن اولاً یک شاخص ریاضی و هندسی خاص یخچال ها با دقت مشابه برای یخچال های قدیم و جدید تعریف کرد. ثانیاً هندسه یخچال با عناصر اصلی آن به تصویر کشیده شود و ثالثاً ارتباط بین شاخص های هندسی، ریاضی و ELA بر اساس آنالیزهای آماری مناسب فراهم گردد. به این منظور وی سطح پایه و شاخص های مختلف ریاضی و هندسی را برای یک یخچال تعریف کرده است (کوهله ۱۹۸۸).

کوهله بر اساس مقادیر ELA تعداد ۲۲۳ یخچال و میزان شاخص ریاضی محاسبه شده برای هر یک، شاخصی به نام شاخص هندسی را معرفی نمود. بر اساس روش پیشنهادی وی، مقدار مرز برف دائمی بر اساس این دو شاخص محاسبه می گردد.

مزایا و معایب روشهای مورد بحث

هرکدام از این روش هایی که در مورد آنها بحث شده است نکات مثبت و منفی دارند دارند که در ادامه به آنها اشاره میکنیم:

در روش کف سیرک، ارتباط معنی دار کمی بین ارتفاع کف سیرک و ELA یخچال ایجاد کننده سیرک می باشد (بن و لهم کوهل ۲۰۰۰). در صورتی که این روش برای یخچال هایی که پایانه آنها در درون سیرک می باشد نتایج مناسبی ارائه می دهد. در تعداد زیادی از یخچال های واقع در عرض های میانی، یخچال ها تا رقوم پایین تر از کف سیرک ها (به فرم یخچال دره ای) شکل گرفته اند. با این اوصاف ELA آنها بسیار پایین تر از ارتفاع کف سیرک می باشد. در این وضعیت بازسازی مرز برف دائمی بر اساس ارتفاع کف سیرک می تواند منجر به تخمین بالادستی ELA گردد. در این شرایط سیرک ها حاصل عملکرد دوره های مختلف یخچالی هستند و نمی توان آن را به دوره یخچالی خاصی نسبت داد. در برخی شرایط سیرک ها تحت تاثیر یک یخچالی شکل نگرفته اند و ممکن است نتیجه عملکرد چندین فاز یخچالی و حتی ورقه های یخی کوچک باشند (شکل ۲-۶). کوهله معتقد است که برخی سیرک های یخچالی بر اثر فعالیت های یخچالی پسین شکل گرفته اند چرا که در طول وورم و قبل از آن ارتفاع مرز برف دائمی بسیار پایین بوده و لذا امکان توسعه سیرک در ارتفاعات بالای کوهستانی وجود نداشته است (کوهله ۲۰۰۷).

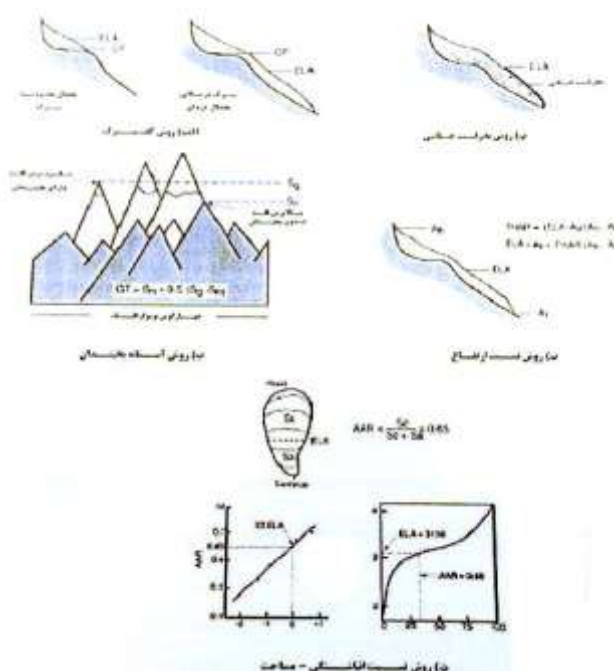
مبنای تئوریک درمتد حداکثر ارتفاع یخرفت های کناری در این است که یخرفت های کناری تنها در ناحیه برداشت ایجاد شده (زیر ELA). ویژگی مثبت و مهم این روش در این است که تخمین ELA و بازسازی مرز برف بر اساس داده های مشاهده شده ی واقعی صورت می پذیرد.

روش آستانه یخندان نتایج مناسبی که مورد رضایت محقق باشد بدست نداده و شرایط استفاده از این روش برای قله های منفرد مانند قله های آتشفشانی فراهم نیست؛ اما شاید در رشته کوهها یک بازسازی و تخمین کلی و منطقه ای از مرز برف دائمی به محقق بدهد...

در روش AAR با فرض اینکه شرایط یخچال پایدار بوده، گسترش یخچال توجه به ویژگی های زمین شناسی، یخرفت های انتهایی، جانبی و سنگ های سرگردان و خطوطی که نشان دهنده ی فعالیت یخچال ها بوده اند، اثرات یخچالبر دیواره ها محاسبه و بررسی می شود. یکی از مهمترین خطاهایی که در این روش رخ می دهد محاسبه ی ضخامت یخ و بازسازی ناهمواری سطح یخچال دچار مشکل شده و اشتباه محاسبه می شود. است.

در کوه های آلپ اروپایی گراس و همکارانش پی بردند که متد لوئیز یا TSAM می تواند منجر به تخمین و بازسازی ELA تا حدود صد متر بیشتر از مقدار واقعی شود. (گراف ۱۹۷۶). در روش توسعه یافته توسط کوهله ضمن توجه به شرایط اشکال یخچالی به ویژگی های توپوگرافی یخچال ها توجه شده و اهمیت داده می شود. در

این روش به شرایط ناهمواری ها و سطحی که واریزه ها در سیرکها و درهها اشکال یخچالی را پوشش داده ان نیز توجه شده و میزان ELA محاسباتی را مورد محاسبه قرار می دهد.



شکل (۳) روش های تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در گذشته (اقتباس از پورتر، ۲۰۰۱، صفحه ۱۰۶۹).

افت خط تعادل یخچالی

یکی از مفاهیم مهم در یخچال شناسی دیرینه، مفهوم افت خط تعادل یخچالی است. بر اساس تعریف، این پارامتر عبارت است از اختلاف ELA دیرینه و ELA عهد حاضر. به عنوان مثال اختلاف میان ELA بازسازی شده دوره وورم و میزان ELA عهد حاضر با عنوان افت خط تعادل یخچال دوره وورم شناخته می شود. این مفهوم برای تخمین سن دوره یخچالی دیرینه ای که ELA آن محاسبه شده می تواند مفید باشد.

سیرک های یخچالی و خصوصیات مورفومتریک آنها

سیرک گودافتادگی (شبیه به آمفی تئاتر) در بالای دره های کوهستانی است که آثار سایش کردن توسط جریان های یخچالی روی سنگ بستر آن مشاهده می گردد. کف سیرکها محل دریافت جریان یخ از دیواره های مختلف آن سیرک بوده و در انواع توسعه یافته به دلیل فرسایش کف، عمیق شده است. این عمیق شدگی به حدی است که در انواع سیرک پیشرفته، کف سیرک از محل خروجی سیرک پایین تر قرار می گیرد. سیرک های یکی از پذیرفته شده ترین اشکال یخچال در نواحی کوهستانی به شمار می آیند. بر طبق تعریف گروه تحقیقات ژئومورفولوژیک بریتانیا (که یک تعریف ریخت شناسی صرف نظر از نحوه و مکانیزم تشکیل آنهاست)، سیرک یک گودافتادگی است که در بالا دست با تیغه صخره ای پرشیب (دیواره بالا دست) احاطه شده است و پایین دست آن باز است. این گودافتادگی در پلان به فرم یک تیغه کمائی دور یک محدوده با شیب ملایم (کف سیرک) دیده می شود.

یک سیرک یخچالی توسعه یافته در عکس های هوایی به فرم نیم دایره هایی که یک محدوده گود افتاده را احاطه کرده اند در میان کوهستان دیده می شوند. سیرکها در مقطع طولی نیز به فرم اشکال گودافتاده نیم دایره ای و مقطع عرضی یو شکل هستند.

مورفومتری سیرک‌ها

طول (L)، عرض (W)، دامنه (AMP)، محدوده ارتفاعی (H)، اندازه و نسبت طول به عرض (L/W) مهمترین پارامترهای مورفومتریک سیرک‌ها در رابطه با شکل و بزرگی م باشند براساس تعریف، طول بلندترین خط است که سیرک را به دو بخش مساوی تقسیم می‌کند. بر اساس تعریف ایوانز، طول عبارت است از فاصله افقی از بالا تا پایین سیرک در امتداد خط میانه که سیرک را به دو بخش مساوی (چپ و راست) تقسیم کرده و لذا بر اساس این تعریف طول احتمال دارد از کوچکتر از عرض باشد (ایوانز ۲۰۰۹). عرض سیرک عبارت است از طولانی ترین خط عمود بر محور طول سیرک یا بیشتری فاصله لبه تا لبه سیرک در راستای عمود بر محور طولی سیرک.

افت عمودی از بالا تا پایین ترین نقطه در امتداد محور میانه، دامنه ی سیرک گفته می شود و اختلاف میان حداکثر ارتفاع در ستیغ و حداقل ارتفاع در پایین ترین نقطه یک سیرک، محدوده ارتفاعی می گویند. انداز بر اساس مقادیر طول و عرض و دامنه ارتفاعی یک سیرک محاسبه می شود (گراف ۱۹۷۶). طبق تعریف ایوانز، اندازه یعنی اینکه از ریشه سوم حاصلضرب سه پارامتر طول، عرض و ارتفاع سیرک. نسبت طول به عرض دیگر پارامتر درشناخت سیرکها به حساب می آید. سیرک‌هایی که مقدار L/W آنها بالاست معمولاً سیرک‌های طویل و باریک هستند در حالی که نسبت پایین این ضریب نشان دهنده ی سیرک‌های کوتاه و داری عرض زیاد می‌باشد.

دره‌های یخچالی و پدیده های ژئومورفیک آنها

این نوع دره‌ها را در کوهستان هایی می توان یافت که بر اثر فرآیند یک زبانه یخچالی باشد. شکل این دره‌ها به نحوی می‌باشد است که عمیق هستند و دارای دیواره های پرشیب و کف مسطح هستند. به همین منظور به آنها دره اوژ (آخر شکل) و یا دره U شکل نیز میگویند.

کلیه دره‌های یخچالی دارای ویژگی های یکسان هستند، یعنی دیواره های آنها پرشیب و به علاوه کف آنها مسطح است. دلیل مسطح بودن کف این نوع دره‌ها، اغلب ناشی از آن است که یک دریاچه قدیمی توسط آبهای جاری در آن تشکیل شده است و از آب پر شده است. است. چنانچه کف دره یخچالی بوسیله دریاچه ای پوشیده نشود، نیمرخ دره مانند گهواره ای می‌باشد که کف آن سنگ های پشت گوسفندی فرش شده است.

بعضی مناطق دره یخچالی کاملاً به شکل U نمی باشند، چون در کف چنین دره‌هایی جریان آب زیریخچالی که از ذوب یخ ها پدید می آید، بستر آن را V شکل می‌کند... پس باید بدانیم که تمام دره‌های یخچالی به شکل U نیستند و ضمناً کلیه دره‌های U شکل هم لزوماً یخچالی نیستند. هر زمان جنس سنگ های تشکیل دهنده دره بسیار سخت و مقاوم در برابر فرسایش بوده باشد دره U شکل می شود در هر صورت دره یخچالی هم از طریق شکل شناسایی می شود و هم بر اثر وجود رسوبات مورنی در آن نسبت به دیگر دره‌ها لازم به ذکر استو این عامل سبب نامنظم شدن شکل نیمرخ طولی و عرضی دره یخچالی می شود (خیام، ۱۳۵۲، صفحات ۲۶۵ تا ۲۶۶).

۱- نیمرخ طولی دره یخچالی

نیمرخ طولی در دره‌های یخچالی بی نظم است و از علل این بی نظمی بسیار آشکار آن است که لایه‌های یخرفت ها ناپیوسته قرار گرفته اند.

اما باید دانست که اساس شکل ب نیمرخ طولیدر دره‌های یخچالی نه فقط تراکم مواد است بلکه عامل فرسایش نیز موثر است؛ یعنی که عمل فرسایش زیاد در یک قسمت دره، موجب پیدایش یک ضد شیب در قسمت پایینی دره می شود و بدین ترتیب نیمرخ طولی دره را تغییر می دهد. برای مثال دره‌های یخچالی دارای یک سری گودال پلکانی متوالی در طول دره هستند که به این گودال ها اومبلیک (یعنی نواحی تنگ و عمیق) می گویند. به

علاوه برآمدگی هایی نیز در طول دره در انتهای هر اومبیلیک ایجاد شده که به آنها نیز وروگویند به طوری که وروو ها سبب مسدود شدن دره نیز می شوند...

۲- نیمرخ عرضی دره یخچالی

نیمرخ عرضی دره یخچالی مانند نیمرخ طولی نامنظم است. علت این بی نظمی به بخرفت های اتفاقی (مانند رسوبات یخرفتی عمقی و ستیغ های یخرفتی طویل حاشیه ای) و وجود شانه هایی است که غالباً در حاشیه دره نسبت به عمق دره دارای ارتفاع چندصدمتری هستند وروستا اغلب روی این شانه ها بنا می شوند. شانه ها یا به صورت ساده و یا به صورت مرکب می باشند همچنین باید گفت کف بسیاری از اشکل های نامنظم نیمرخ عرضی در ارتباط با ساخت های زمین شناسی می باشد، در این شرایط سختی سنگ ها نقش مهمی را بر عهده دارند چون عوامل فرسایش قدرت از بین بردن آنها را به صورت یکنواخت ندارد و حتی گاهی بر روی آید که علت تشکیل این ایوان ها تا اندازه ای دارای ابهام می باشد...

توپوگرافی البرز



نقشه (۱) توپوگرافی منطقه البرز استخراج شده از نقشه توپوگرافی ایران (موسسه سحاب)

رشته کوه البرز را از نظر طولی به سه بخش تقسیم کرده اند که جزئیات آن در بخش زمین شناسی توضیح داده شد. البرز غربی مرکزی و شرقی؛ اما در مورد توپوگرافی و ریخت شناسی البرز مواردی که در ادامه به آنها اشاره میکنیم از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

در شکل گرفتن ساختار البرز عملکرد گسل های امتداد لغز و راندگی علاوه بر چین خوردگی ها نیز قابل توجه بوده و آنها نیز نقش داشته اند. همچنین باید گفت که چینهایی که در البرز وجود دارند بیشتر از نوع چین های ملایم و ناهماهنگند زیرا چین خوردگی البرز در چند مرحله اتفاق افتاده. در البرز غربی روند چین ها شمال غرب به جنوب شرق، در البرز شرقی نیز روند چین ها شمال شرق به جنوب غربی است که این دو روند در دره حبله رود در البرز مرکزی به یکدیگر می رسند. چون در هر دو دامنه شمالی و جنوبی عمل راندگی اتفاق افتاده این موضوع سبب شده که چین های دامنه شمالی به سمت چاله خزر و چین های دامنه جنوبی به سمت ایران مرکزی پخش شده اند و نتیجه ی این امر چین خوردگی البرز به صورت یک تاقدیس مرکب بادبزی شکل در آمده است. بایر خاطر نشان کرد که ساختمان چین خورده ی البرز در قسمت های مرکزی آن دارای چین های منظم تری هستند که به دلیل انبساط چین ها در این منطقه می باشد و این انبساط در بخش میانی باعث به وجود آمدن بیشترین میزان پهنای البرز در بخش میانی آن است. هرچه از مرکز به سمت غرب و شرق برویم چین ها فشرده تر و دره ها عمیق تر میشوند. شایان ذکر است که بلندترین قله های البرز، در البرز مرکزی است که در اثر تزریق مواد مذاب یا فورن های آتشفشانی، و در قسمت های شرقی و غربی البرز ارتفاع قلل کمتر است. در البرز به علت دخالت گسل های طولی نبود فرود محوری سبب شده که این کوه ها به شکل یک سد بلند کوهستانی به طول چند صد کیلومتر برافراشته شوند ظاهر دیواره ماندنی پیدا کرده اند و تنها از چند شکاف عرضی می توان به این دیوار های عظیم نفوذ کرد. به حال باید گفت که کل ساختمان رشته کوه البرز نامتقارن بوده و مقدار شیب در دامنه جنوبی آن مقداری کمتر از دامنه ی شمالی می باشد که این هم احتمالاً در اثر فرونشینی چاله خزر در امتداد کسل البرز می باشد.

مهم ترین عارضه توپوگرافی در البرز مرکزی، مخروط آتشفشانی دماوند می باشد. این قله در مرکز رشته کوههای البرز، بارزترین فعالیت آتشفشانی کواترنر را نمایان ساخته که روی یک پایه رسوبی ایجاد شده که از سنگهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک (عمدتاً آهک ژوراسیک) تشکیل شده است. این پایه رسوبی حدود ۴۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. در نتیجه، گدازه ها و مواد دیگر آتشفشانی دماوند به طور دگرشیب روی پایه رسوبی قرار گرفته و مخروط آن با ارتفاع نسبی بیش از ۱۶۰۰ متر، از زمینهای مجاور بلندتر است (علایی طالقانی، ۱۳۸۲)

شواهد ژئومورفیک یخچالی در محدوده ی مطالعاتی

مهم ترین عامل تاثیرگذار بیرونی در فایندهای شکلزایی در سطح زمین اقلیم و آب و هوا می باشد. ارتفاعات البرز به عنوان گنجینه ای از این اشکال که ناشی از فرسایش یخچالی در این مناطق می باشد در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است. در دوره ی کواترنر به لحاظ تغییرات اقلیمی گسترده و شرایط یخچالی و بین یخچالی که به تناوب به وقوع پیوسته شواهد ژئومورفیک انکارناپذیری بر جای گذاشته است. این شواهد در مناطق مورد مطالعه این پژوهش نیز به وضوح قابل مشاهده هستند که از این شواهد می توان در تعیین برف مرزها، حدود گسترش یخچال ها و مطالعات مربوط به اقلیم استفاده کرد. با توجه به بازدید میدانی و عکس های هوایی و ماهواره ای مدل رقومی ارتفاعی مهم ترین عوارض شناسایی شده در محدوده ی مورد مطالعه دبه شرح زیر است:

الف) اشکال کاوشی: مهم ترین اشکال کاوشی که در یخچال های کوهستانی در دوره کواترنر در مناطقی که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته اند از خط الراس تا نقاط پایکوهی به ترتیب عبارتند از:

الف-۱) سیرک های یخچالی: سیرک ها ساده ترین لند فرم های یخچالی به شمار می آیند در مناطق مورد مطالع در این پژوهش در حوضه یخچالی پلرود در اطراف قله سماموس ۷ سیرک یخچالی شناسایی شده است که این سیرک ها همه در دامنه شمالی این منطقه و جهت تمام آنها رو به شمال می باشد. در حوضه یخچالی چالک رود در اطراف قله ی خشچال نیز ۶ سیرک شناسایی شده که یکی از آنها در دامنه ی جنوبی و بقیه در دامنه ی شمالی قرار گرفته اند. در حوضه یخچالی الیکا نه سیرک یخچالی وجود دارد که این سیرک ها هم همگی در دامنه شمالی کوه ها واقع شده اند. در حوضه یخچالی یالرود ۱۱ سیرک یخچالی شناسایی شده که ۸ سیرک در دامنه های شمالی و ۳ سیرک در دامنه جنوبی قرار گرفته اند. سیرک های دامنه شمالی دارای جهت شمالی و سیرک هایی که در دامنه جنوبی قرار دارند دوتا آنها جهت شرقی و یک عدد جهت جنوبی دارد؛ و در حوضه یخچالی لاسم تعداد ۱۳ سیرک شناسایی شده است که همگی در دامنه های شمالی کوه های قره داغ قرار دارند و جهت بیشتر آنها شمالی می باشد.

الف-۲) دره های یخچالی: دره های یخچالی توسط خود یخچال ها پدید نمی آیند بلکه زبانه های یخچالی در دره هایی که توسط رودخانه ها و جریان آب حفر شده شروع به حرکت می کند و سبب تغییر شکل و حفر بیشتر آنها می شوند. مهمترین دره های یخچالی در مناطق مورد مطالعه این پژوهش وجود دارند عبارتند از: در حوضه ی یخچالی پلرود دره ی پلرود قرار دارد که در دامنه ی شمالی این حوضه قرار گرفته است. در حوضه ی یخچالی چالک رود مهم ترین دره، دره ی چالک رود می باشد که این دره هم در دامنه های شمالی این منطقه قرار دارد. در حوضه یخچالی الیکا دره الیکا واقع شده و در حوضه ی یال رود دو دره ی یال رود و حطر رود وجود دارد که این دو دره در محلی به نام روستای ورزن به یکدیگر متصل می شوند. و در حوضه ی یخچالی لاسم دره یخچالی لاسم قرار گرفته این دره به موازات رشته کوه های قره داغ کشیده شده است.

ب) اشکال تراکمی: این اشکال در زمان سیطره یخچال ها توسط آنها حمل شده و پس از ذوب آنها در مناطقی نظیر کف سیرک ها و دره های یخچالی باقی مانده اند و یا توسط جریان های آب ناشی از ذوب یخچال ها به مناطق دور دست و خارج از سیطره ی یخچال ها حمل شده اند.

ب-۱) یخرفت ها: یخرفت ها بیشترین میزان فراوانی و عمده ترین اشکال تراکمی حاصل از فرسایش یخچالی هستند که در تمام سیرک ها و دره های یخچالی مناطق مورد مطالعه در این پژوهش از غربی ترین منطقه که سماموس است تا شرقی ترین آن که حوضه ی لاسم نام دارد قابل مشاهده اند. سطح زیادی از یخرفت هایی که در کف سیرک ها وجود داشته به دلیل اینکه پدیده یخندان و ذوب در این منطق غالب است توسط واریزه های حاصل از این فرآیند پوشیده شده اند... در مناطقی که

شیب دره‌ها کاهش می‌یابد حجم عظیمی از یخرفت‌ها روی هم انباشته شده است. در یخرفت‌های مناطق مورد مطالعه نشانه‌های فرسایش یخچالی نظیر تخت‌شدگی جور‌نشده‌گی و خراش قابل مشاهده می‌باشد.

روند یخچال‌زایی سایت‌های منتخب از غرب به شرق

شواهد و آثار ژئومورفیک یخچالی از جمله سیرک‌های یخچالی، مورن‌های انتهایی، دره‌های یخچالی در کلیه حوضه‌های یخچالی منتخب قابل مشاهده و ردیابی است.

مهم‌ترین شواهد ژئومورفیک، سیرک‌های یخچالی می‌باشند که در پنج حوضه‌ی منتخب یخچالی تعداد ۴۵ سیرک یخچالی شناسایی و ترسیم و سپس از روی لایه‌های رقومی ارتفاعی ارتفاع کف سیرک‌ها اندازه‌گیری شده است در ضمن با استفاده از متد کف سیرک میانگین ارتفاع کف سیرک هر حوضه‌ی یخچالی محاسبه گردیده که نتایج آن عبارتند از در حوضه‌ی یخچالی پلرود تعداد سیرک‌های مورد مطالعه ۷ سیرک می‌باشد که میانگین ارتفاع کف سیرک آن ۳۳۴۴ متر است. در حوضه‌ی یخچالی چالک رود تعداد سیرک‌ها برابر با ۶ سیرک است که میانگین کف سیرک عدد ۳۴۷۵ بدست آمده است. در حوضه‌ی یخچالی الیکا تعداد ۹ سیرک شناسایی شده که میانگین کف سیرک در این حوضه برابر با ۳۸۳۳ متر محاسبه شده است. در حوضه‌ی یخچالی یالرود ۱۱ سیرک مورد مطالعه قرار گرفته که میانگین ارتفاع کف سیرک در این حوضه ۳۷۲۹ متر می‌باشد و در حوضه‌ی یخچالی لاسم نیز به عنوان شرقی‌ترین حوضه، ۱۳ سیرک شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته که میانگین ارتفاع کف سیرک در این حوضه ۳۷۵۳ متر به دست آمده است. از شواهد ژئومورفیک مهم دیگر می‌توانیم به مورن‌های انتهایی کف دره‌ها اشاره کنیم که آنها نیز پس از شناسایی تعیین موقعیت و ارتفاع یابی شده‌اند.

یکی از شاخص‌های مهم جهت تحلیل روند یخچال‌زایی، رقوم ارتفاعی بازسازی شده‌ی مرزبرف‌های گذشته با متد هوفر و لوئیز است که به ترتیب در حوضه‌های مطالعاتی این رساله عبارتند از: (۱) حوضه‌ی یخچالی پلرود واقع در البرز غربی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۰۰ و ۲۹۲۰ متر، (۲) حوضه‌ی یخچالی چالک رود واقع در البرز غربی ارتفاع مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۸۷۷ و ۲۹۹۰ متر، (۳) حوضه‌ی الیکا واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۸۴ و ۳۰۷۲ متر، (۴) حوضه‌ی یالرود واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۵۰ و ۳۱۲۱ متر، (۵) حوضه‌ی لاسم واقع در البرز شرقی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۲۳ و ۳۱۳۸ متر می‌باشد. در غربی‌ترین حوضه‌ی یخچالی رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی متعلق به حوضه‌ی ساموس می‌باشد که مرز برف گذشته‌ی آن با متد هوفر ۲۹۰۰ متر برآورد شده است در صورتی که در شرقی‌ترین حوضه‌ی یخچالی که در البرز شرقی واقع شده است (حوضه‌ی لاسم) رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی ۳۰۳۲ برآورد شده است؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که در حوضه‌های یخچالی منتخب و در این پژوهش از غرب به شرق روند یخچال‌زایی وجود داشته است اما رقوم برف مرز محاسباتی در مناطق شرقی نسبت به مناطق غربی ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد پس می‌توان با توجه به یافته‌های این پژوهش گفت که اگرچه در تمام حوضه‌ها مورد مطالعه یخچال‌زایی وجود داشته و شواهد ژئومورفیک یخچالی در همه آنها قابل مشاهده می‌باشد ولی در کل با توجه به نتایج بدست آمده، و مشاهدات میدانی و سایر منابع مانند نقشه‌های ژئومورفولوژی روند یخچال‌زایی در البرز از غرب به شرق تضعیف شده است.

متدولوژی بازسازی مرز برف‌های گذشته

۱- روش پورتر: تخمین خط مرز برف دائمی در گذشته به روش پورتر (روش ارتفاع کف سیرک)

محاسبه خط مرز برف دائمی در با استفاده از ارتفاع کف سیرک (روش پورتر)

این روش دربررسی شناخت و مطالعه‌ی نواحی کوهستانی یخچالی در عرض‌های پایین جغرافیایی برای تخمین و بازسازی خط مرز برف دائمی یا خط تعادل (ELA) استفاده می‌شود... طبق عقیده‌ی پورتر، زمانی که یخچالی تنها سیرک را پر می‌کند، ELA دائمی آن زیاد بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF) نبوده است. بعد از آماده کردن جدول زیر، از رابطه زیر به منظور محاسبه نما یا مد استفاده می‌کنیم. در اینجا به منظور مقایسه ارتفاع متوسط سیرک‌های یخچالی و ارتفاعی که

سیرک‌ها بیشترین فراوانی را در آن داشته‌اند، میانگین حسابی و مد (نما) هر یک در زیر آن یادداشت شده است. نما یا مد نقطه ای در امتداد محور داده است که دارای بیشترین فراوانی هاست.

رابطه:

$$Mo = L + \frac{d}{d1 + d2} \times h$$

L = حد پائین رده نمادار

d1 = تفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار از فراوانی رده نمادار

d2 = تفاضل فراوانی رده مابعد رده نمادار از فراوانی رده نمادار

h = فاصله رده ها

L = حد پائین رده نمادار

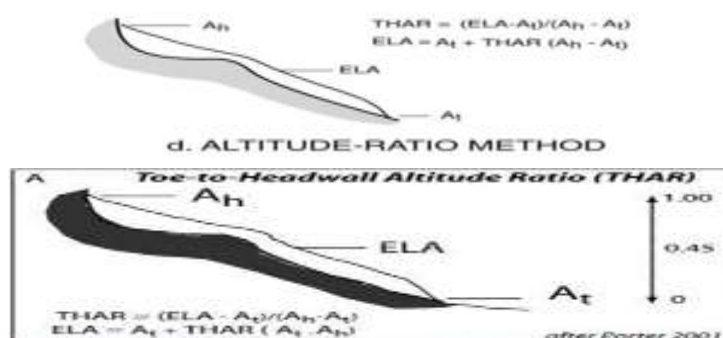
d1 = تفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار از فراوانی رده نمادار

d2 = تفاضل فراوانی رده مابعد رده نمادار از فراوانی رده نمادار

۲- روش لویئز: روش نسبت ارتفاع (Altitude ratios)

استفاده از Median ارتفاعی یخچالهای قدیمی به عنوان تخمینی از ارتفاع برف مرز گذشته، براساس مشاهدات تجربی، این مشاهدات نشان داده که ELA اغلب در میانه راس یک یخچال و بخش انتهایی یخچال است شکل 1 d. (هوفر - ۱۸۷۹) با تغییر در این روش، میانگین حسابی ارتفاع مورنهای انتهایی (Glaciers Terminus) و ارتفاع خط الراس کوهستان در بالای یخچال را بکار گرفت. این روش در صورتی که داده های ارتفاعی کافی در اختیار باشد، یخچال آلپی بطور طبیعی در منطقه گسترش داشته باشد و منحنی ارتفاعی یکنواختی داشته باشد، بکار گرفته می شود. در این روش اگرچه اندازه گیری مرز پایینی براساس مورنهای انتهایی و یا پیشانی Outwash مشخص است اما مرز بالایی یخچالهای قدیمی در نواحی دارای سیرک اغلب اختیاری و سلیقه ای است. سیرکهای با دیواره بالایی پرتیب امکان لحاظ چند ده تا چند صد متر را فراهم می کند. این روش اصولاً بر این فرض استوار است که نسبت دامنه ارتفاع بالای ELA به دامنه ارتفاعی کل (نسبت ارتفاع پاشنه به راس) برابر با ۰/۵ است. (نسبت پاشنه به راس (Toe-to-head- (THAR یا terminus to head altitude ratio

تغییراتی در این روش نیز داده شده است، برای مثال Meierding 1982 گزارش داده است که ELA بدست آمده از این روش (THAR در Front Range) کلرادو حدود ۰/۳۵ تا ۰/۴ مناسب تر بوده است. در این منطقه ELA بدست آمده از این روش ۱۵۰-۱۰۰ متر پایین تر از رقومی است که با لحاظ THAR = 0/5 بدست می آید.



شکل (۴) روش لوییز

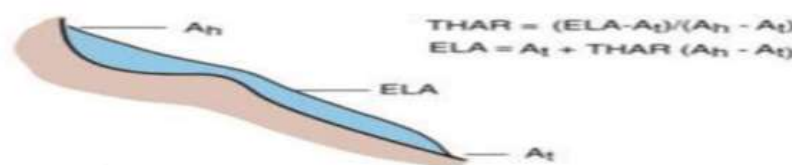
۳- روش هوفر: روش های مبتنی بر نسبت ارتفاع مورن انتهایی و ارتفاع دیواره بالایی یخچال

این روش به دلیل سادگی در بسیاری از مطالعات یخچال شناسی دیرینه استفاده می شود. این روش که با نام نسبت ارتفاع دیواره بالایی به پاشنه یخچال یا THAR نیز شناخته می شود، ارتفاع میانه یخچال را به عنوان ELA در نظر میگیرد؛ به

عبارت دیگر، در این روش فرض بر این است که ELA در میانه راس و پاشنه یک یخچال قرار دارد. در این روش میزان ELA از رابطه ذیل محاسبه میگردد:

$$ELA = At + THAR (Ah - At)$$

در این رابطه، THAR نسبتی است که عموماً برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می شود. مطالعات مختلف، مقادیر مختلفی را برای ضریب THAR نشان داده است. به عنوان مثال کلین نشان داده که میزان این ضریب برای مطالعات یخچال شناسی دیرینه به میزان ۰/۴۵ نتایج خوبی دارد (Klein et al., 1999). میردینگ نشان داده که میزان این ضریب بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۵ برای یخچالهای ناحیه کلرادو نتایج خوبی داشته است (Meierding, 1982). رامیچ میزان این ضریب را برای مطالعات دیرینه ۰/۴۵ پیشنهاد داده است (Ramage et al., 2005). در این روش اگرچه اندازه گیری مرز پایینی براساس مورنهای انتهائی و یا پیشانی آبستگي مشخص میگردد، اما مرز بالائی یخچالهای قدیمی بخصوص در نواحی دارای سیرک اغلب اختیاری و سلیقه ای است (Porter, 2001). هوفر در سال ۱۸۷۹ میزان THAR را برابر ۰/۵ در نظر گرفته و متوسط ارتفاع خط الراس کوهستان در بالای یخچال را به عنوان Ah در نظر گرفته است (Hofer, 1879). لوئیز توصیه کرد که متوسط ریاضی ارتفاع بالاترین قله به مورن انتهائی به عنوان ELA در نظر گرفته شود. بر این اساس، این روش را روش پاشنه به قله نیز نامیده اند (Louis, 1955). مطالعات بیشتر نشان داده است که روش لوئیز منجر به تخمین بالاتر از واقیت ELA میگردد.



شکل (۵)

براساس روش ELA در میانه راس (Ah) و پاشنه (At) یک یخچال قرار دارد. میزان THAR در این حالت برابر با ۰/۵ فرض شده است.

با توجه به روش ها و متد هایی که برای بازسازی مرز برف های گذشته به آن اشاره کردیم در این پژوهش نیز با استفاده از داده های به دست آمده جدول زیر را طراحی کرده که در این جدول برای هر حوضه یخچالی اطلاعاتی همچون ارتفاع آخرین ترمینوس، ارتفاع مرز برف های گذشته با هر سه روش، هوفر، لوئیز و کف سیرک محاسبه شده است.

جدول (۱) بازسازی مرز برف های گذشته در حوضه های یخچالی منتخب با متد هوفر و لوییس و متد کف سیرک پورتر

نام حوضه	نام قله	ارتفاع قله	نام دره	ارتفاع آخرین ترمینوس	ارتفاع خط مرز برف		کف سیرک
					هوفر	لوئیز	
پلرود چالک رود الیکا یالرود لاسم	سماموس	۳۶۲۰	دره پل رود	۲۲۰۰	۲۹۰۰	۲۹۲۰	۳۳۴۴
	خشه چال	۳۹۵۰	دره چالک رود	۲۳۰۰	۲۸۷۷	۲۹۹۰	۳۴۷۵
	سوتک	۳۷۴۳	دره الیکا	۲۲۷۰	۲۹۸۴	۳۰۷۲	۳۵۱۲
	یخ کمر	۴۱۰۵	دره بال رود	۲۱۳۰	۳۰۵۰	۳۱۲۱	۳۷۲۹
	قره داغ	۴۰۷۶	دره لاسم	۲۲۰۰	۳۰۲۳	۳۱۳۸	۳۶۷۴

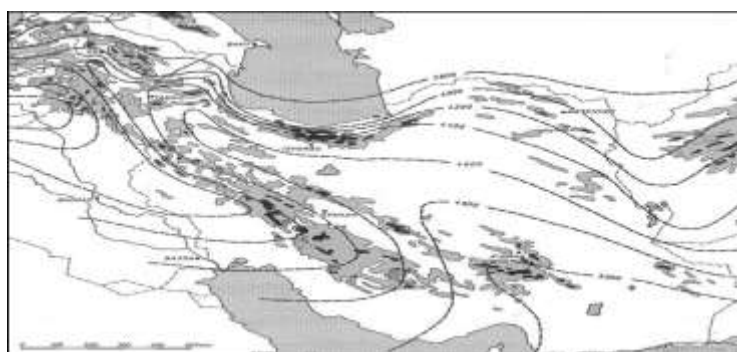
جدول (۲) بازسازی مرزبرف‌های گذشته در حوضه‌های یخچالی منتخب با متد کف سیرک پورتر

نام حوضه	ارتفاع بلندترین قله	تعداد سیرک	میانگین کف سیرک
پلرود	۳۶۲۰	۷ عدد	۳۳۴۴
چالک رود	۳۹۵۰	۶ عدد	۳۴۷۵
الیکا	۳۸۷۴	۹ عدد	۳۸۳۳
یال رود	۴۱۰۵	۱۱ عدد	۳۷۲۹
لاسم	۴۰۷۶	۱۳ عدد	۳۷۵۳

۴-۵ رقوم ارتفاعی مرزبرف‌های حال حاضر در مناطق مطالعاتی (حدود و گسترش یخچال‌های کواترنری در

ارتفاعات البرز بر مبنای نقشه‌های پدramی و شواتزر)

نقشه ارائه شده توسط شواتزردر سال ۱۹۷۲ براساس کارهای دیگران و آنالیز عکس‌های هوایی حدود مرز برف دائمی زمان حاضر را در قالب یک داده است براساس نظر وی حدود مرز برف دائمی عهد حاضر در ارتفاعات البرز بین ۴۰۰۰ تا ۴۲۰۰ متر تعیین گردیده است.



نقشه ی (۲) مرز برف‌های حال حاضر (شواتزر-۱۹۷۲)

پدramی (۱۹۸۲)، براساس کارهای صحرایی، نقشه اولیه در خصوص مرز برف دائمی وورم در ایران را ترسیم کرده است (شکل ۶)؛ که در ارتفاعات البرز مرز برف‌های وورم را بین ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ متر تعیین نموده است.



نقشه (۳) مرز برف‌های وورم اخیر (پدramی-۱۹۸۲)

پدramی ۱۹۸۲ در طی مطالعاتی در در اقصی نقاط ارتفاعات البرز بیان می‌کند که در شمال شرق تهران واقع در دره جاجرود با استناد بر آثار و شواهد یخچالی فراوان از جمله سیرک‌ها، مورن‌های انتهایی و رسوبات ریتمیک مرز برف وورم را پایین تر از ۱۴۰۰ متر معرفی می‌نماید

یخچال دره ای کرج با حدود ۹۰ کیلومتر طول تا مکان شهر فعلی کرج گسترده بوده و در طی دوره وورم تحتانی و پایانی با حدود ۱۵۰ متر ضخامت در طی دو مرحله در طی کواترنر پایانی توانسته آثار و شواهدی از جمله یخرفت ها، تپه های یخچالی، رسوبات لایه لایه را از خود بر جای می گذارد.

پدramی خاطر نشان می سازد که در منطقه تهران تعدادی زیادی از یخچال های وورم اخیر به ویژه در البرز مرکزی وجود داشته و ارتفاع مرز برف وورم را در دامنه های شمالی حدود ۲۱۰۰ متر و دامنه های جنوبی تا ۲۷۰۰ متر را نشان برآورد نموده است.

او می نویسد در حدود ۵۰ کیلومتری شرق تهران واقع در پیست اسکی آبدلی آثار و شواهد یخچال های کوچک خط برف اقلیمی را در حدود ۲۵۰۰ متر نشان می دهد و اشاره به آثار و شواهد یخچالی از جمله سولی فلکسیون در ایستگاه هواشناسی آبدلی می نماید.

در ارتفاعات زرین کوه آثار و شواهد یخچالی متعددی از جمله دره تار، مورن های یخچالی، سیرک های تکامل یافته به چشم می خورد. دره تار یا همان یخچال تار که بعداً دریاچه یخچالی با منشاء گلاسیو-تکتونیک در ارتفاع ۳۰۰۰ متری مملو از آثار و شواهد یخچالی می باشد. پدramی به چشم انداز های بسیار زیبای یخچالی در ناحیه زرین کوه به ویژه دامنه های شمالی آن که کاملترین سیرک منطقه تهران را در خود جای داده است اشاره نموده و مرز برف وورم اخیر را با استناد بر شواهد ۲۲۰۰ تا ۲۱۰۰ متری در نظر می گیرد.

پدramی در ناحیه تهران به یک عارضه یخچالی تماشایی به نام اسکر تراورتنی که در روستای آب اسک واقع در ۶۵ کیلومتری شمال شرقی تهران بزرگ راه هراز اشاره می کند و معتقد است که این اسکر متعلق به زمان های یخچالی اخیر هنگامی که یخچال دره هراز ساکن بوده، تشکیل شده است.

پدramی در ناحیه سرداب رود (واقع در غرب چالوس) بر اساس پژوهش های بوبک در سال ۱۹۳۷ معتقد است که یخچال سرداب رود تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری پایین آمده است. پدramی به یک روستا واقع در دره سرداب رود اشاره می کند به نام روستای رودبارک (Rud-barak) که سیرک رودبارک در ارتفاع ۱۷۰۰ متر واقع شده است.

پدramی در ۴۰ کیلومتری شرق دره چالوس گذرگاه کهر (بر روی جاده از علم ده به کجور) خط برف وورم اخیر را از ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ متری در نظر گرفته است.

محمودی ۱۳۶۷ با استناد بر نتایج مطالعات تعدادی از محققین خارجی چنین می نویسد. بنابه عقیده ی این پژوهشگران مرز برف های دائمی در حال حاضر در ارتفاعات البرز از ۴۰۰۰ متر (Schweizer – Bobek) تا ۴۲۰۰ متر (Dresch) و در دوره های سرد از ۳۴۰۰ متر (Bobek) تا ۳۶۰۰ متر (Dresch) متغیر است.

در ایران غربی مرز برف های دائمی در حال حاضر ۴۲۰۰ متر (Schweizer) و در دوره های سرد ۱۸۰۰ متر (wright) تشخیص داده شده و بالاخره در ایران مرکزی مرز برف های دائمی در حال حاضر از ۴۶۰۰ متر (Gruner) تا ۵۰۰۰ متر (Schweizer) و در دوره های سرد از ۳۲۰۰ متر (Kuhle)، ۳۵۰۰ متر (Hagedorn)، ۳۷۰۰ متر (Dresch)، ۳۸۰۰ متر (Gruner)، ۴۰۰۰ متر (Schweizer) متفاوت بوده است.

در مورد مرز پایین سولی فلوکسیون اختلاف زیادی وجود ندارد، بطوری که "هاگه درون" این مرز را در ایران مرکزی در حال حاضر ۳۰۰۰ متر و در دروهای سرد ۱۹۰۰ متر (شوایزر، کوهله) و در ایران شمالی نیز ارقام مشابهی می دانند (هورمن-درش) معمولاً اشکال کلاسیک فرسایش یخچالی در مناطق مرتفعی از کوهستان مشاهده میشوند که قله آنها حداقل ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر بالاتر از حد برف های دائمی در دوره های یخچالی باشند.

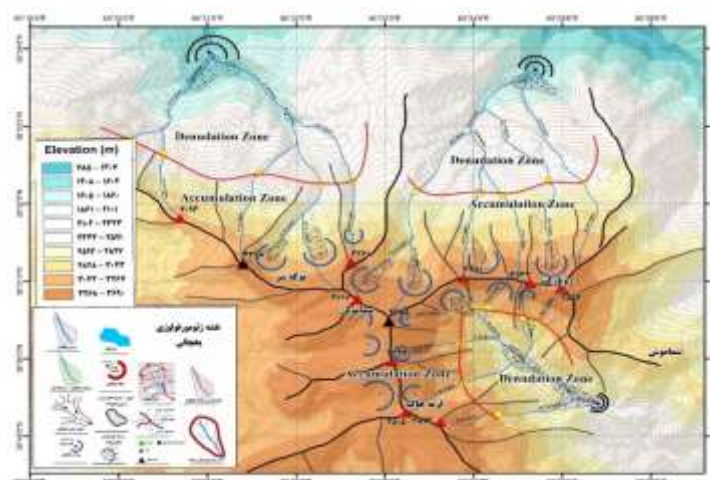
حضور سیرک های یخچالی قدیمی در حال حاضر می توانند ما را در تشخیص ارتفاع مناسب حد برف های دائمی کمک نمایند. به این ترتیب می توان چنین اظهار نظر نمود که مرز برف های دائمی در شمال ایران در حال حاضر در حدود ۴۲۰۰ متر و در دوره های یخچالی در حدود ۳۶۰۰ متر بوده است. (محمودی ۱۳۶۷)

۴-۶ مرز برف‌های البرز در حال حاضر

بر اساس وجود یخچال‌های فعال فعلی علم کوه مرز برف‌های حال حاضر که در ارتفاع ۴۱۰۰ تا ۴۲۰۰ متری قرار می‌گیرد. در این پژوهش نیز مرز برف‌های حال حاضر محدوده‌های مطالعاتی را رقوم ارتفاعی ۴۱۰۰ متر در نظر گرفته شده اگر چه به سمت البرز شرقی این رقوم در ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد.

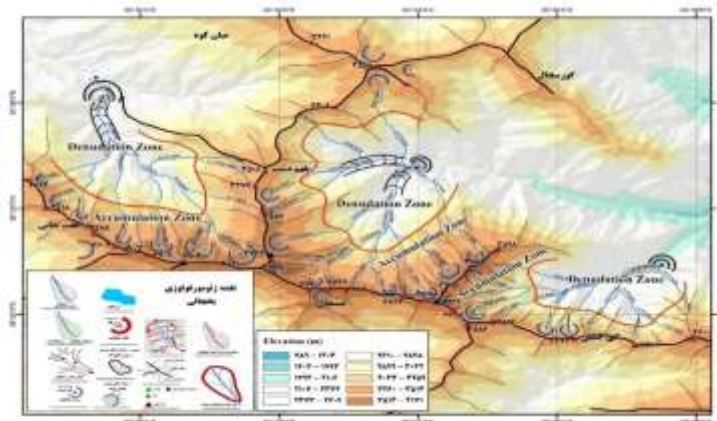
نقشه‌های ژئومورفولوژی یخچالی حوضه‌های منتخب

در این پژوهش پس از مشخص شدن حوضه‌های مطالعاتی و انتخاب ۵ حوضه یخچالی با سفر به این مناطق و شناسایی سیرک‌های یخچالی و تعیین ارتفاع کف سیرک با استفاده از DEM منطقه و همچنین یافتن ترمینوس‌های پایانی (یخرفت‌های انتهایی کف دره) و تعیین ارتفاع آنها و با استفاده از نقشه‌ها و لایه‌های موضوعی نظیر: آبراهه‌ها، سه تیغ‌ها، قله‌ها، سیرک‌ها، ترمینوس‌های پایانی، نقشه‌ی توپوگرافی و ... اقدام به ترسیم و تهیه نقشه ژئومورفولوژی یخچالی برای این پنج حوضه مطابق آنچه در ادامه قابل مشاهده می‌باشد، گردیده است.



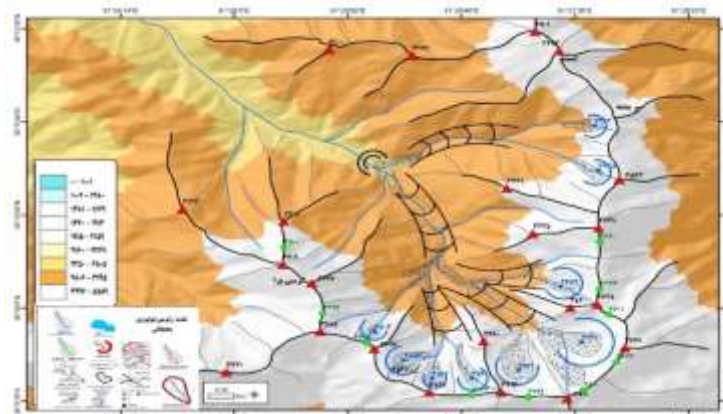
نقشه‌ی (۴) نقشه‌ی ژئومورفولوژی یخچالی دره‌ی پلرود

این حوضه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۴۹ دقیقه تا عرض ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی واقع شده است این حوضه در البرز غربی و حوضه‌ی آبریزدو هزار قرار گرفته است. در اطراف قله سماموس در این حوضه‌ی یخچالی مطابق نقشه دو زیر حوضه در شمال و یک زیر حوضه در جنوب یخچال زایی داشته‌اند که ما در این پژوهش سیرک‌های یخچالی دو زیر حوضه‌ی شمالی را مورد بررسی قرار داده ایم. سیرک‌های شناسایی شده در این دو زیر حوضه ۷ عدد می‌باشد که تمامی این سیرک‌ها دارای جهت شمالی می‌باشند. مرز برف گذشته در این حوضه‌ی یخچالی با متد هوفر ۲۹۰۰ متر و متد لوییز ۲۹۲۰ متر است. همچنین مرز برف گذشته با متد کف سیرک نیز محاسبه شده که برابر با ۳۳۳۴ متر است ارتفاع آخرین ترمینوس نیز ۲۲۰۰ متر بوده است. لازم به ذکر است که کلیه محاسبات بازسازی مرز برف‌های گذشته در دره‌ی پلرود صورت گرفته است. مهمترین قله‌هایی که در این محدوده مطالعاتی قرار دارند سماموس با ارتفاع ۳۶۲۰ متر و بزاکوه با ارتفاع ۳۵۰۰ متر می‌باشند. رودخانه‌ی مهمی که در این حوضه یخچالی جریان دارد پلرود نام دارد که بعد از سپید رود دومین رودخانه‌ی بزرگ استان گیلان محسوب می‌شود و از دو شاخه‌ی اصلی تشکیل شده است. شاخه‌ی اولی از ارتفاعات اشکور سرچشمه گرفته و شاخه‌ی دوم از کوه‌های دیلمان، شاهی جان و لسبو سرچشمه می‌گیرد این دو شاخه در محلی به نام می‌پل به هم ملحق شده و پس از آن رودخانه‌ی پلرود را تشکیل می‌دهند. طول شاخه‌ی اصلی این رودخانه ۶۰ کیلومتر است.



نقشه (۵) نقشه ی ژئومورفولوژی یخچالی دره ی چالک رود

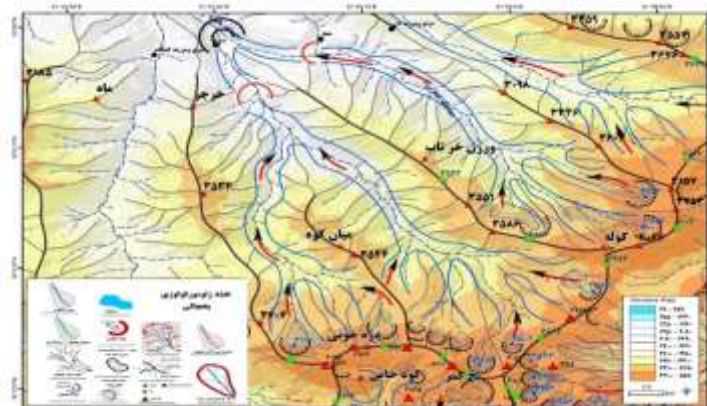
این حوضه ی مطالعاتی در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۰ درجه ۳۸ دقیقه شرقی واقع شده است. این حوضه نیز در البرز غربی و حوضه ی آبریز دوهزار قرار گرفته است. در اطراف قله ی خشچال در این حوضه ی یخچالی ۶ عدد سیرک یخچالی شناسایی شد که میانگین ارتفاع آنها ۳۴۷۵ متر است. ارتفاع خط مرز برف گذشته با استفاده از متد هوفر ۲۸۷۷ متر و با استفاده از متد لوئیز ۲۹۹۰ متر است و با متد کف سیرک ۳۴۷۵ متر به دست آمده است. در ضمن ارتفاع آخرین ترمینوس نیز ۲۳۰۰ متر محاسبه شده است. کلیه محاسبات انجام شده برای این حوضه ی یخچالی در دره چالک رود انجام شده است. مهم ترین قله ی این حوضه خشچال یا خشه چال با ارتفاع ۳۹۵۰ متر نام دارد. این قله در شمال شرقی بخش رودبار الموت شرقی واقع شده است. خشچال از جهت جنوب غربی به وسیله ی گردنه ی سیالان و از جهت شمال غربی به دو قسمت شمالی و غربی تقسیم می شود که یال شمالی آن به وسیله ی قله ی بزاکوه به ساموس و یال غربی آن به وسیله ی گردنه ی گرم کوه به قله ی پارچ کوه متصل است. مهم ترین رودهایی که در این حوضه جریان دارند، رودهای ازگین، سفیدآب و اوان که از شاخه های شاهرود می باشند نام دارند؛ که این رودها از ارتفاعات جنوبی سرچشمه می گیرند. در این حوضه رودخانه ی چالک رود که از ارتفاعات شمالی کوه خشچال سرچشمه میگیرد نیز جریان دارد و مهمترین رودخانه ی این حوضه به شمار میرود.



نقشه (۶) نقشه ی ژئومورفولوژی یخچالی دره ی الیکا

این حوضه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه ی شمال و طول جغرافیایی ۵۱ درجه ۲۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۸ دقیقه ی شرقی واقع شده است. این حوضه در البرز مرکزی و حوضه ی آبریز چالوس قرار دارد. در این حوضه یخچالی ۹ سیرک یخچالی شناسایی و ترسیم شده است. ارتفاع آخرین ترمینوس در این حوضه ۲۲۷۰ متر است. محاسبات بازسازی مرزبرف های گذشته در دره الیکا انجام گرفته است که ارتفاع این مرزبرف ها با متد هوفر ۲۹۸۴ و با متد لوئیز ۳۰۷۲ و با متد کف سیرک ۳۵۱۲ به دست آمده است. لازم به ذکر است که ارتفاع کف تمام سیرک ها در این زیرحوضه بالای ۳۰۰۰ متر می باشد که بالاترین ارتفاع کف سیرک در آن ۳۵۹۴ متر و پایین تر ارتفاع کف سیرک در آن ۳۳۶۳ متر

است. مهمترین قله ی این محدوده مطالعاتی قله ی سوتک با ارتفاع ۳۷۴۳ متر نام دارد. در این حوضه دو رودخانه با نام های الیکا و هریجان جریان دارند که رود هریجان دارای یک آبشار زیبا و جنبه ی گردشگری هم دارد.



نقشه (۷) نقشه ی ژئومورفولوژی یخچالی دره ی یالرود

این حوضه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۲ دقیقه تا ۳۶ درجه ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی واقع شده است. این حوضه در البرز مرکزی و در محدوده حوضه ی آبریز روخانه هراز قرار دارد جهت بازسازی مرز برف های گذشته انتهای دره ی یالرود پس از به هم پیوستن دو انشعاب یخچالی انتخاب و تمام محاسبات در این منطقه صورت گرفته است. آخرین ترمینوس در این حوضه در ارتفاع ۲۱۳۰ متری قرار دارد. نتایج محاسبات نشان دهنده ی این میباشد که ارتفاع مرز برف گذشته در این حوضه یخچالی با متد هوفر ۳۰۵۰ متر و با متد لوئیز ۳۱۲۱ متر است. در این حوضه ۱۱ سیرک یخچالی شناسایی و ترسیم شده است که ارتفاع بلندترین آن ۳۸۶۲ و پایین ترین آنها ۳۶۷۰ متر است. مهمترین قله این حوضه یخ کمر با ارتفاع ۴۱۰۵ متر نام دارد و مهم ترین رودهایی که در این محدوده جریان دارند حطر رود و یالرود نام دارند.



نقشه (۸) نقشه ی ژئومورفولوژی یخچالی دره ی لاسم

این حوضه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۵ درجه ۵۱ دقیق شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه ۸ دقیقه تا ۵۲ درجه ۱۹ دقیقه شرقی واقع شده است که شرقی ترین حوضه، در میان حوضه های مورد این پژوهش می باشد؛ و از زیر حوضه های رودخانه ی هراز است. در این حوضه ۱۳ سیرک شناسایی شده که بیشتر آنها (۱۲ سیرک) آن در جهت شمالی آرایش یافته اند که همه آنها در دامنه های شمالی قره داغ به وجود آمده اند. ارتفاع آخرین ترمینوس در این حوضه ۲۲۰۰ متر است. همچنین در بازسازی ارتفاع مرز برف های گذشته با متد هوفر ارتفاع ۳۰۲۳ متر و با متد لوئیز ارتفاع ۳۱۳۸ و با متد کف سیرک ۳۶۷۴ به دست آمده است. لازم به ذکر است که بالاترین ارتفاع کف سیرک در این حوضه متر ۳۸۱۴ و پایین ترین آن ۳۳۸۵ متر می باشد در این حوضه رشته کوه مهمی به نام قره داغ (دوبرار) وجود دارد که بیشتر قله های آن ارتفاعی

بیش از ۴۰۰۰ متر دارند. مهم ترین قله‌های این حوضه قره داغ با ارتفاع ۴۰۷۶ متر، دوبار شرقی و غربی و سوزچال نام دارند. مهم ترین رودی که در این حوضه جریان دارد رود لاسم است که این رود در مسیر خود به رود هراز می پیوندد و وارد دریای خزر می شوند. لازم به ذکر است که محاسبات مربوط به بازسازی مرز برف‌های گذشته در محدوده ی دره‌های رودخانه لاسم صورت گرفته است.

پاسخ به سوالات اهداف تحقیق:

- ردیابی آثار ولندفرمهای مهم یخچالی در محدوده مطالعاتی با تاکید بر پنج حوضه یخچالی، حوضه‌های پلرود و چالک رود در البرز غربی حوضه ی الیکا و یالرود در البرز مرکزی و حوضه لاسم در البرز شرقی:

در جریان عملیات صحرایی در این پژوهش تعداد ۴۵ سیرک در حوضه‌های منتخب شناسایی شده و علاوه بر سیرک‌ها آثار دیگری از جمله دره‌های یخچالی، یخرفت های پایانی کف دره‌ها، دریاچه‌های یخچالی، یخرفت ها و مورن های سرگردان مشاهده شد و سپس با استفاده از این مشاهدات و مدل های رقومی ارتفاعی و لایه‌های موضوعی و تصاویر گوگل ارث نقشه‌های ژئومورفولوژی یخچالی تهیه شد.

-بازسازی و برآورد برف مرزهای گذشته محدوده مورد نظر در این پژوهش و حوضه‌های یخچالی با متدهای هوفر، لوییز و کف سیرک:

در این پژوهش با توجه به شناسایی سیرک‌های یخچالی و ترمینوس های پایانی و تعیین ارتفاع کف سیرک‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و مشخص کردن ارتفاع آخرین ترمینوس و با متد بازسازی مرز برف هوفر و لوییز و متد کف سیرک پورتر، ارتفاع مرز برف ها در این حوضه ها مشخص و میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی نیز به دست آمد.

مقایسه نتایج تحقیق با سایر نتایج محققان در ارتفاعات البرز از نظر ELA و مرز برف‌های کواترنری:

(قهرودی-۱۳۹۰) در پژوهشی تحت عنوان تخمین و مقایسه برف‌مرزهای دائمی در عصر یخچالی و بین یخچالی به این نتیجه دست یافته که که در آخرین دوره سرد قلمروی برف‌های دائمی تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری در حوضه هراز پائین آمده است و این قلمرو در حال حاضر حدود ۲۳۰۰ متری است و بیانگر آن است که بیش از ۸۰ درصد از مساحت حوضه در دوره های سرد تحت حاکمیت فرسایش یخچالی بوده است. همچنین در پژوهش دیگری (خوش رفتار و همکاران-۱۳۹۵) بیان میدارند ارتفاع خط تعادل برف و یخ در دوره پلیوستوسن با استفاده از میانگین ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی، ۳۶۵۰ متر اما در شرایط حاضر ۴۹۰۰ متر است. با توجه به حداکثر پیش روی زبانه یخچالی تا ارتفاع ۱۸۰۰ متر در دره اصلی شاهرود، قلمرو یخچالی در پلیوستوسن احتمالاً تا ارفاع ۲۰۰۰ متر بوده است. در این پوهش نیز با استفاده از متدهای تعیین برف مرز هوفر و لوییز و روش تخمین ارتفاع کف سیرک پورتر مرز برف‌های گذشته در حوضه هلائی مورد مطالعه به دست آورده شده و نتایج بدست آمده بیانگر این است که در کواترن این مناطق تحت حاکمیت مطلق یخچال ها بوده اند و در نواحی البرز غربی ELA در ارتفاع پایین تری نسبت به البرز شرقی قرار دارد که این نتیجه این مفهوم را میرساند که یخچال زایی کواترنری در البرز غربی نسبت به البرز مرکزی و شرقی قوی تر بوده است.

پاسخ به سوالات و فرضیه های مطرح شده ی پژوهش

۱- روند یخچال زایی در ارتفاعات البرز از غرب به شرق آیا کاهش می یابد؟

در غربی ترین حوضه ی یخچالی رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی متعلق به حوضه ی یخچالی پلرود می باشد که مرز برف گذشته ی آن با متد هوفر ۲۹۰۰ متر برآورد شده است در صورتی که در شرقی ترین حوضه ی یخچالی که در البرز شرقی واقع شده است (حوضه ی لاسم) رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی ۳۰۳۲ برآورد شده است؛ بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که در حوضه‌های یخچالی منتخب و در این پژوهش از غرب به شرق روند یخچال زایی داشته ایم. لیکن رقوم برف مرز محاسباتی در مناطق شرقی نسبت به مناطق غربی ارتفاع بالاتری قرار می گیرد پس می توان با توجه به یافته های این پژوهش گفت که روند یخچال زایی در البرز از غرب به شرق تضعیف شده است.

۲- ارتفاع برف مرز در کواترنری پایانی در محدوده های مطالعاتی این تحقیق چه رقومی بوده است؟

در حوضه‌ی یخچالی پلرود واقع در البرز غربی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۰۰ و ۲۹۲۰ متر، در حوضه‌ی یخچالی چالک رود واقع در البرز غربی ارتفاع مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۸۷۷ و ۲۹۹۰ متر، در حوضه‌ی الیکا واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۸۴ و ۳۰۷۲ متر، در حوضه‌ی یالرود واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۵۰ و ۳۱۲۱ متر، و سرانجام در حوضه‌ی لاسم واقع در البرز شرقی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۲۳ و ۳۱۳۸ متر می‌باشد.

پیشنهادهات

در این پژوهش ما به شناسایی آثار مورفولوژیک یخچالی در پنج حوضه‌ی منتخب در البرز غربی، مرکزی و شرقی پرداختیم و با شناسایی ویژگی‌های آنها نظیر ارتفاع کف سیرک‌ها و ارتفاع ترمینوس‌های پایانی در این حوضه‌ها با استفاده از متدهای مختلف ارتفاع مرز برف را بدست آورده و با مقایسه این نتایج روند یخچال زایی در البرز از غرب به شرق را بررسی کردیم؛ اما این پژوهش و یافته‌های آن می‌تواند به سایر افراد و پژوهشگرانی که قصد دارند در هرکدام از این حوضه‌های یخچالی دست به پژوهش بزنند کمک‌های قابل توجهی کند از جمله:

از نقشه‌های ژئومورفولوژی که برای حوضه‌های منتخب تهیه شده‌اند به دلیل اینکه اطلاعات کاملی نظیر تعداد سیرک‌ها، ترمینوس‌ها، ارتفاع کف سیرک و ارتفاع ترمینوس‌ها، آبراهه‌ها، قله‌های مهم و ... دارند می‌توان در سایر پژوهش‌ها که به صورت موردی هرکدام از این حوضه‌ها را بررسی می‌کند استفاده کرد.

می‌توان با استفاده از داده‌های نقشه‌های ژئومورفولوژی سایر دره‌های این حوضه‌ها را نیز بررسی کرده و ارتفاع برف مرز آن‌ها را محاسبه کرد و مورد تحلیل قرار داد.

سیرک‌های یخچالی، دره‌های یخچالی و ترمینوس‌های پایانی این حوضه‌ها را (سماموس، خشچال، الیکا، یالرود و لاسم) از نظر شاخص‌های مورفومتریک مورد بررسی قرار دهیم.

مورن‌های یخچالی واقع در دره‌های یخچالی مناطق مورد مطالعه را (حوضه‌ی پلرود، حوضه‌ی چالک رود، حوضه‌ی الیکا، حوضه‌ی یالرود و حوضه‌ی لاسم) می‌تواند مورد بررسی‌های دقیق سن سنجی قرار بگیرد.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه در این پژوهش دو فرضیه و سوال را دنبال شده است و هدف پاسخ به این سوالات بوده است نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر می‌باشد در پاسخ به روند یخچال زایی در البرز غربی، مرکزی و شرقی در کوتاه‌تر می‌توان گفت که: یکی از شاخص‌های مهم جهت تحلیل روند یخچال زایی، رقوم ارتفاعی بازسازی شده‌ی مرز برف‌های گذشته با متد هوفر و لوئیز می‌باشد که به ترتیب در حوضه‌های مطالعاتی این رساله عبارتند از: در حوضه‌ی یخچالی پلرود واقع در البرز غربی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۰۰ و ۲۹۲۰ متر، در حوضه‌ی یخچالی چالک رود واقع در البرز غربی ارتفاع مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۸۷۷ و ۲۹۹۰ متر، در حوضه‌ی الیکا واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۲۹۸۴ و ۳۰۷۲ متر، در حوضه‌ی یالرود واقع در البرز مرکزی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۵۰ و ۳۱۲۱ متر، و سرانجام در حوضه‌ی لاسم واقع در البرز شرقی مرز برف گذشته با متد هوفر و لوئیز به ترتیب ۳۰۲۳ و ۳۱۳۸ متر می‌باشد. در غربی‌ترین حوضه‌ی یخچالی رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی متعلق به حوضه‌ی سماموس می‌باشد که مرز برف گذشته‌ی آن با متد هوفر ۲۹۰۰ متر برآورد شده است در صورتی که در شرقی‌ترین حوضه‌ی یخچالی که در البرز شرقی واقع شده است (حوضه‌ی لاسم) رقوم ارتفاعی ELA محاسباتی ۳۰۳۲ برآورد شده است؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که در حوضه‌های یخچالی منتخب و در این پژوهش از غرب به شرق روند یخچال زایی داشته‌ایم لیکن رقوم برف مرز محاسباتی در مناطق شرقی نسبت به مناطق غربی ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد پس می‌توان با توجه به یافته‌های این پژوهش گفت که اگرچه در تمام حوضه‌ها مورد مطالعه یخچال زایی وجود داشته و شواهد ژئومورفیک یخچالی در همه آنها قابل مشاهده می‌باشد ولی در کل با توجه به نتایج بدست آمده، و مشاهدات میدانی و سایر منابع مانند نقشه‌های ژئومورفولوژی روند یخچال زایی در البرز از غرب به شرق تضعیف شده است.

و در پاسخ به سوال دوم پژوهش که ارتفاع مرزبرف در کواترنر وحال حاضر را خواسته است می توان این چنین پاسخ داد مهم ترین شواهد ژئومورفیک، سیرک های یخچالی می باشند که در پنج حوضه ی منتخب یخچالی تعداد ۴۵ سیرک یخچالی شناسایی و ترسیم و سپس از روی لایه های رقومی ارتفاعی ارتفاع کف سیرک ها اندازه گیری شده است در ضمن با استفاده از متد کف سیرک میانگین ارتفاع کف سیرک هر حوضه ی یخچالی محاسبه گردیده که نتایج آن عبارتند از در حوضه یخچالی پلرود تعداد سیرک های مورد مطالعه ۷ سیرک بوده که میانگین ارتفاع کف سیرک آن ۳۳۴۴ متر می باشد. در حوضه یخچالی چالک رود تعداد سیرک ها برابر با ۶ بوده که میانگین کف سیرک عدد ۳۴۷۵ بدست آمده است. در حوضه یخچالی الیکا تعداد ۹ سیرک شناسایی شده که میانگین کف سیرک در این حوضه ۳۸۳۳ متر به دست آمده است. در حوضه یخچالی یالرود ۱۱ سیرک مورد مطالعه قرار گرفته که میانگین ارتفاع کف سیرک در این حوضه ۳۷۲۹ متر است و در حوضه ی یخچالی لاسم نیز به عنوان شرقی ترین حوضه، ۱۳ سیرک شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته که میانگین ارتفاع کف سیرک در این حوضه ۳۷۵۳ متر به دست آمده است. از شواهد ژئومورفیک مهم دیگر می توان به مورن های انتهایی کف دره ها اشاره کرد که آنها نیز پس از شناسایی تعیین موقعیت و ارتفاع یابی شده اند.

منابع

۱. ابراهیمی، بابک (۱۳۹۴)، ردیابی و بررسی لندفرم های یخچالی کواترنر پایانی در ارتفاعات زاگرس ایران و اثر آنها بر منابع آب، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان.
۲. انتظاری، علی رضا؛ ابوالقاسم امیراحمدی (۱۳۹۴) بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگانرود در کواترنر، فصلنامه کواترنری ایران دوره ۱، شماره ۲، ص ۱۶۹-۱۸۰
۳. جداری عیوضی جمشید (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور
۴. رامشت، محمد حسین؛ فاطمه نعمت الهی (۱۳۸۴) آثار یخساری در ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۹ شماره ۴
۵. سیف، عبدالله (۱۳۹۵). ارتفاع خط تعادل ELA-TP و ELA-TPW در ارتفاعات زاگرس، پژوهشهای دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۸، صفحات ۹۶-۱۱۸
۶. -سیف، عبدالله (۱۳۹۴) رده بندی سیرکهای یخچالی پلیستوسن پسین در ارتفاعات گرین زاگرس، اولین همایش ملی علوم کواترنری در شناخت فرایندهای محیطی، اصفهان
۷. سیف، عبدالله؛ محمد رضا ثروتی ؛ محمد راهدان مفرد (۱۳۹۴)، بازسازی برف مرزهای کواترنر پایانی در محدوده سایت ریگ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، بهار ۱۳۹۴، شماره ۱، (پیاپی ۱۱۶)
۸. سیف، عبدالله ؛ سید مرتضی ابطحی (۱۳۹۲) بررسی تحولات اقلیمی حوضه دریاچه نمک در کواترنر پایانی، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۶، صص ۹۱-۱۱۱
۹. سیف، عبدالله ؛ سید مرتضی ابطحی (۱۳۹۲) بررسی تحولات اقلیمی حوضه دریاچه نمک در کواترنر پایانی، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۶، صص ۹۱-۱۱۱
۱۰. سیف، عبدالله؛ محمد رضا ثروتی و محمد راهدان مفرد (۱۳۹۴)، بازسازی برف مرزهای کواترنر پایانی در محدوده سایت ریگ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱۶، صص: ۲۰۸-۱۹۳.
۱۱. صلحی، سینا ؛ عبدالله سیف (۱۳۹۷) مورفومتری پروفیل دره های طولی سه‌هند، مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم شماره ۴، صص ۵۳-۶۹
۱۲. صلحی، سینا ؛ عبدالله سیف، (۱۳۹۹)، مدلسازی الگوی کرنل در تشخیص لندفرمهای زمین (با تأکید بر لندفرمهای یخچالی و
۱۳. صلحی، سینا ؛ عبدالله سیف، (۱۳۹۷)، برآورد ارتفاع تراز انجماد، ارتفاع خط تعادل، ارتفاع مرز پرمافراست و درصد برف-پوش در ارتفاعات سبلان و اثر آنها بر منابع آب، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۶

۱۴. صلحی، سینا، (۱۳۹۷)، مدلسازی و بازسازی قلمروهای های یخچالی کواترنر پایانی در ارتفاعات شمال و شمال غرب ایران، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، استاد راهنما دکتر عبدالمسیح سیف
۱۵. قربانی، منصور (۱۳۹۳)، زمین شناسی ایران، چاپ آراین زمین، صفحات ۴۸۸.
۱۶. مجاور یخچالی (در محدوده کمر بند کوهستانی البرز، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، دوره ۵۲، شماره ۲، ص ۲۷۱-۲۹۴)
۱۷. محمودی، فرج الله (۱۳۶۷)، تحول ناهمواریهای ایران در کواترنر، مجله پژوهشهای جغرافیایی، دانشگاه تهران، شماره ۲۳.
۱۸. معتمد، احمد، جغرافیای کواترنر، انتشارات سمت، (۱۳۸۲)
17. A. Seif .B. Ebrahimi (2014) Combined use of GIS experimental function for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran. Quaternary International.
18. A. Seif, (2015), Equilibrium- Line Altitude of Late Quaternary Claciers in the Oshtorankuh Mountain, Iran, Quaternary International, 6 April 2015.
19. -Bobek, H., 1934. Reise in Nordwest porsian. In: Z. Gletscherk. 9/10, 359-369
20. -Bobek, H., 1937., Die Roller der Eiszeit in Nordwestiran. In: Z. Gletscherk. 25, 130-183
21. -Evans, I.S., 1997. Process and form in the erosion of glaciated mountain. In Stoddart, D.R., editor Process and form in geomorphology. London: Routledge, 145-74.
22. -Evans, I.S., 2006. Allometric development of glacial cirque form: geological. Relief and regional effects on the cirques of Wales. Geomorphology 80 (3-4): 245-266.
23. -Evans, I.S., 2008. Glacial erosional processes and forms: mountain glaciation and glacier
24. -Evans, I.S., 2011. Geomorphometry and landform mapping: what is a landform? Geomorphology, 03541
25. -Evans, I.S. and Cox, N.J., 1995. The form of glacial Geomorph. N., F 39(2): 175-202
26. Geography, In The History of the Study of landforms or the development of Geomorphology, Vol. 4: Quaternary and Recent Processes and Forms (1890-1960 s) and the Mid-Century Revolutions, Burt TP, Chorly RJ, Brunsden D, Cox NJ, Geological Society: London; 413-494
27. -Ghahroudi. M Abdoli. E, (2013) Geomorphological and Sedimentological evidence of alpine glaciers in the Zagros Mountains, Dinevar, Iran, Journal of Tethys: Vol. 1, No. 1, 85-95
28. Kuhle M., 1988. Topography as a Fundamental Element of Glacial Systems, New Approach to ELA * Calculation and Typological Classification of Paleo- and Recent Glaciations, Geodjournal 17.4 545-568
29. -Kuhle M., 1974. Vorl ufige Ausf hrungen morphologischer Feldarbeitser- gebnisse aus den SE -Iranischen Hochgebirgen am Beispiel des Kuh-i-Jupar - Z. Geomorphol. N. F. 18: 472-483
30. -Kuhle M., 1976. Beitr ge zur Quart rgeomorphologie SE -Iranischen Hochgebirge. Die quart r Vergletscherung des Kuh-i-Jupar - G ttinger, Geograph. Abhandl. 67/I: 1-209.
31. -Kuhle, M. (1976b): Beitr ge zur Quart rgeomorphologie SE-Iranischer Hochgebirgen- Die quart re r Vergletscherung des Kuh-i-Jupar - G ttinger, Geograph. Abhandl. 67/II: 1-105
32. -Kuhle, M. (1987) ber Solifluktion und Strukturb den in SE-Iranischen Hochgebirgen. - Builetyn Periglacialny 27: 117-131

33. -Kuhle, M.,2008.The Pleistocene Glaciation of SE Iranian Mountains Exemplified by the Kuh-i-Jupar,Kuh-i-Lalezar and Kuh-i-Hezar Massifs in the Zagros.,*Polarforschung*77(2-3),71-88,2007.
34. -Pedrami M., 1982 Pleistocene Glaciation's and Paleoclimate in Iran,*Geol.Surv.Iran,Tehran*
35. -Seif,A. Ebrahimi,B. (2016):Equilibrium-Line Altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran. *Geopersia* 6 (2), 2016, PP. 299-322
36. -Seif, A., 2015. Equilibrium-line altitudes of Late Quaternary glaciers in the Oshtorankuh Mountain, Iran, *Quaternary International*, 374, 126-143.
37. Serrano, E., González-Trueba, J. J., Pellitero, R., González-García, M., & Gómez-Lende, M, (2013). Quaternary glacial evolution in the Central Cantabrian Mountains (northern Spain). *Geomorphology*,196, 65-82.