

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۶

A. Seif, Ph.D
M. R. Sarvati, Ph.D
M. Rahdan Mofrad

عبدالله سیف، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

محمد رضا ثروتی، دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی

محمد راهدان مفرّد، دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان

E-mail: rahdangeo7@yahoo.com

شماره مقاله: ۱۰۰۹ صص: ۱۹۳-۲۰۸

وصول: ۹۲/۱۲/۱۰ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۲

بازسازی برف مرزهای کواترنر پایانی در محدوده سایت ریگ

چکیده

قلمروهای یخچالی سایت ریگ در جنوب استان چهارمحال بختیاری با هدف ردیابی شواهد فعالیت‌های یخچالی، تعیین برف مرزها، بازسازی شرایط رطوبتی و دمایی گذشته، تعیین خط تعادل آب و یخ کواترنر پایانی و بررسی وجود رابطه میان پراکندگی سیرک‌ها با جهات ناهمواری‌ها مطالعه شد. از روش‌های درون‌یابی در بازسازی داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیک و نیز از روش مطالعه کف سیرک پورتر و روش رایت در تعیین برف مرز گذشته استفاده شد. نتایج به دست آمده از روش پورتر، ارتفاع ۲۸۱۲ و همچنین، روش رایت، ارتفاع ۲۸۳۶ متری را به عنوان برف مرز گذشته نشان می‌دهد. همچنین، خط تعادل آب و یخ به دست آمده در ارتفاع ۲۱۰۹ متری قرار دارد. نتایج نشان دهنده شکل‌گیری حدود ۳۲/۸۹ درصد از سیرک‌ها در دامنه‌های رو به قطب و ۲۵/۶۶ درصد دیگر در دامنه‌های رو به استواست. **واژه‌های کلیدی:** یخچال، خط برف دائمی، خط تعادل آب و یخ، کواترنر پایانی، ریگ.

مقدمه

ماهیت اکثر اشکال سطحی زمین را به شرایط آب و هوایی؛ به ویژه تحولات شدید و متناوب اقلیمی در دوره کواترنر ارتباط می‌دهند. کواترنر آخرین دوره از تاریخ طولانی زمین است که به دو دوره پلئوسن و هلوسن تقسیم می‌شود (ابطحی و همکاران، ۲۰۱۲: ۹۳). با وجود کوتاهی این دوره، تحولات زیادی در این مرحله از عمر زمین رخ داده است که شرایط جغرافیایی کنونی نتیجه و پیامد آن است (موسوی و تقی زاده، ۱۳۸۹: ۳۰). تلاش زمین ریخت‌شناسان^۱ بیشتر بر تأثیراتی است که تغییرات اقلیمی بر سیستم‌های فرسایشی و فرم‌اراضی داشته است (المدرسی و رامشت، ۱۳۸۶: ۳). زمین ریخت‌شناسان زیادی در زمینه تحولات اقلیمی کواترنر؛ به ویژه تأثیرات ظاهری این تحولات بر سطوح زمین در آخرین دوره یخبندان بررسی‌هایی را انجام داده‌اند. اولین مطالعات مکتوب درباره یخچال‌ها توسط ونتز^۲ ارائه شد. اگرچه نظریه ونتز به وسیله افراد متعددی بحث و نقادی شده است و مخالفان آن بیشتر از افراد مدافع بوده‌اند؛ اما بدون تردید

1- Geomorphologists
2- Ventz

باید گفت آگازیس^۱ (۱۸۰۸-۱۸۷۳ م.) کسی است که بیشترین تلاش را در توسعه و مدلل کردن این نظریه به عمل آورده است. نام وی که اصول فرم شناسی یخچال‌های دیرینه را بنیان نهاد، در تبیین دوره‌ها و مطالعات یخچالی مقدم بر هر کس دیگری است (نعمت‌اللهی و رامشت، ۱۳۸۴: ۱۴۶). او بر این نکته تأکید داشت که قبلاً یخچال‌ها گسترده‌تر از امروز بوده‌اند و این دوره را عصر حاکمیت بزرگ یخبندان نامید. با پایان قرن ۱۹ تئوری جدیدی که به تئوری جابه-جایی یخ شهرت داشت، قوت گرفت. اساس این تئوری بر پایه تغییرات اقلیمی استوار بود (رامشت، ۱۳۸۱: ۱۱).

در آغاز قرن بیستم (۱۹۰۸-۱۹۰۱) آلفرد پنگ و بروخنر، تناوبی از مراحل یخچالی را که به وسیله مراحل بین یخچالی از یکدیگر جدا می‌شده‌اند، گزارش داده و انعکاس بروز تغییرات اقلیمی روی فرم اراضی رودخانه دانوب را باز شناسی کردند و به همین بهانه نام دوره های یخچالی (گونز-میندل-ریس-وورم) را از نام شعب رودخانه های دانوب که مؤید چنین رخدادهایی بود، اخذ نمودند (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۳). مطالعات مربوط به یخبندان های کواترنر در ایران حداقل به اواخر قرن ۱۹ برمی گردد؛ درست در همان زمانی که ژاک دومرگان^۲ در سال ۱۸۹۰ با مطالعه وضع طبیعی استان لرستان و ذکر سیرک‌های یخچالی قدیمی در اشترانکوه در ارتفاع ۳۸۰۰ متری و قلیان کوه در ارتفاع ۲۴۴۰ متری، اولین اظهار نظر کلی را درباره آثار مورفولوژیک یخبندان های کواترنر ایران ارائه نمود. مطالعه جدی درباره آثار مستقیم یخبندان کواترنر در کوه‌های ایران با کارهای هانس بوبک^۳ در البرز و ارتفاعات کردستان (۱۹۳۳) و دزیو^۴ (۱۹۳۴) در زردکوه شروع شده است (جداری عیوضی، ۱۳۸۶: ۷۳). بوبک (۱۹۵۵) با بررسی مورن‌های رشته کوه البرز و زاگرس، آن را شواهدی از یخبندان قبل از وورم در این ارتفاعات معرفی کرد. این اطلاعات او را بر آن داشت که در سال ۱۹۵۵ اولین اظهار نظر کلی درباره اقلیم ایران در کواترنر را منتشر سازد. وی معتقد بود که در طول دوره یخچالی، اقلیمی سرد و خشک‌تر از امروز بر آن حاکم بوده است (نعمت‌اللهی و رامشت، ۱۳۸۴: ۱۴۷). دزیو نیز در منطقه زردکوه از وجود چندین یخچال کوچک فعلی خبر می‌دهد؛ به ویژه به یخبندان های گسترده زمان گذشته نیز اشاره می‌کند. کریستف پروی^۵ نیز در سال ۱۹۸۰ به مطالعه آثار یخچالی این منطقه پرداخته و حد پایین‌ترین زبانه یخچالی را در زردکوه در حداکثر گسترش خودشان در ارتفاع ۳۲۰۰ متری از سطح دریا برآورد کرده است (ثروتی، ۱۳۶۹: ۶۶).

پدرامی (۱۹۸۲) در گزارشی، ضمن توصیف آثار شناخته شده یخچالی کواترنر در ایران، مرز برف دائمی را در دوره مذکور بازسازی کرده است. بهادری (۱۳۸۴) با اتکا به آثار و شواهد ژئومرفیک باقی مانده از یخسارهای دوران چهارم، منطقه سمیرم را مطالعه می‌کند و برای اولین بار وجود آثار یخساری در منطقه سمیرم را اثبات کرده، حاصلخیزی این منطقه را به نهشته‌های به جا مانده از پهنه های عظیم یخی ارتباط می‌دهد. همچنین، رامشت و کاظمی (۱۳۸۶) به اثبات وجود آثار یخچالی در حوضه اقلید در زاگرس فارس می‌پردازند و از یک سیرک یخچالی مرکب به عنوان چشمگیرترین پدیده ژئومورفیک این حوضه نام می‌برند. جعفری (۱۳۸۸) با مطالعه ارتفاع خط تعادل آب و یخ در کل

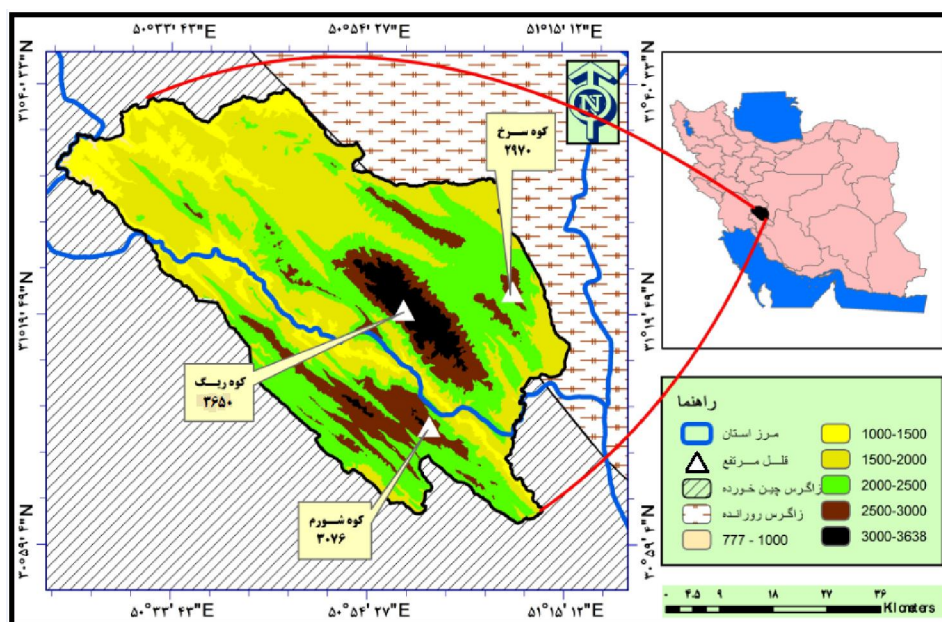
1- Agassiz
2- Jak De Morgan
3- H. Bobek
4- Max Desio
5- Christoph Preu

کشور، بیشترین تأثیر جهت شیب سطوح ارضی بر تفاوت ارتفاعی خط تعادل آب و یخ را در دامنه‌هایی معرفی می‌کند که امتداد کوهستانی آن‌ها، غربی- شرقی باشد. یمانی و زمانی (۱۳۸۶) یخچال‌های زردکوه بختیاری را به عنوان وسیع‌ترین و گسترده‌ترین یخچال‌های موجود در منطقه زاگرس بختیاری معرفی کرده، با بررسی اشکال ژئومورفیک یخچال‌های زردکوه، حداکثر گسترش زبانه‌های یخچالی را تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر و ارتفاع مرز تشکیل سیرک‌ها را حداقل تا ۳۴۰۰ متر دانسته و شرایط تشکیل یخچال در ارتفاعات زردکوه را در حال حاضر منتفی می‌دانند. با این حال، موسوی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی یخچال‌های طبیعی کنونی در کشور به وسیله تصاویر ماهواره‌ای، پنج منطقه مهم یخچالی ایران؛ از جمله زردکوه را معرفی می‌کنند و اذعان می‌دارند که این رشته کوه دارای یخچال طبیعی است و علت توجه کمتر به این یخچال‌ها را به ساختار زمین شناسی آن‌ها که از جنس آهک است، ارتباط می‌دهند و بیان می‌کنند که این عامل باعث کاهش سترای یخ یخچال‌های طبیعی و عدم شکاف‌ها و یخرفت‌ها بر سطح یخچال‌ها و در نتیجه توجه کمتر به آن‌ها شده است.

شناسایی و ردیابی شواهدی از فعالیت‌های یخچالی و بازسازی برف مرزها، یافتن اختلاف ارتفاع برف مرزها در دامنه‌های شمالی و جنوبی، بازسازی شرایط رطوبتی و دمایی گذشته، مشخص کردن ارتفاع حداکثر گسترش زبانه‌های یخچالی یا به عبارتی، تعیین خط تعادل آب و یخ کواترنر پایانی و بررسی رابطه میان جهات ناهمواری‌ها و گسترش سیرک‌ها از جمله اهداف مورد مطالعه در این پژوهش هستند.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

سایت مطالعاتی مورد نظر با ۳۱۵۵ کیلومتر مربع مساحت در حد فاصل ۳۱ درجه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. از لحاظ موقعیت سیاسی حدود ۷۱/۳ درصد از آن در استان چهارمحال و بختیاری و ۲۸/۷ دیگر در استان کهگیلویه و بویراحمد قرار گرفته است. از نظر موقعیت زمین شناسی حدود ۸۶/۷ درصد از سایت ریگ در زاگرس چین خورده و ۱۳/۳ درصد دیگر در زاگرس رورانده واقع شده است. از مهم‌ترین قله‌های این سایت می‌توان به ارتفاعاتی، همچون: ریگ، شورم، سرخ و لیرآب اشاره کرد. کمترین ارتفاع منطقه با ۷۷۷ متر در شمال غرب و حداکثر آن با ۳۶۵۰ متر در قله کوه ریگ قرار دارد که به همین علت، محدوده مورد نظر به عنوان سایت ریگ نام‌گذاری شده است (شکل ۱).



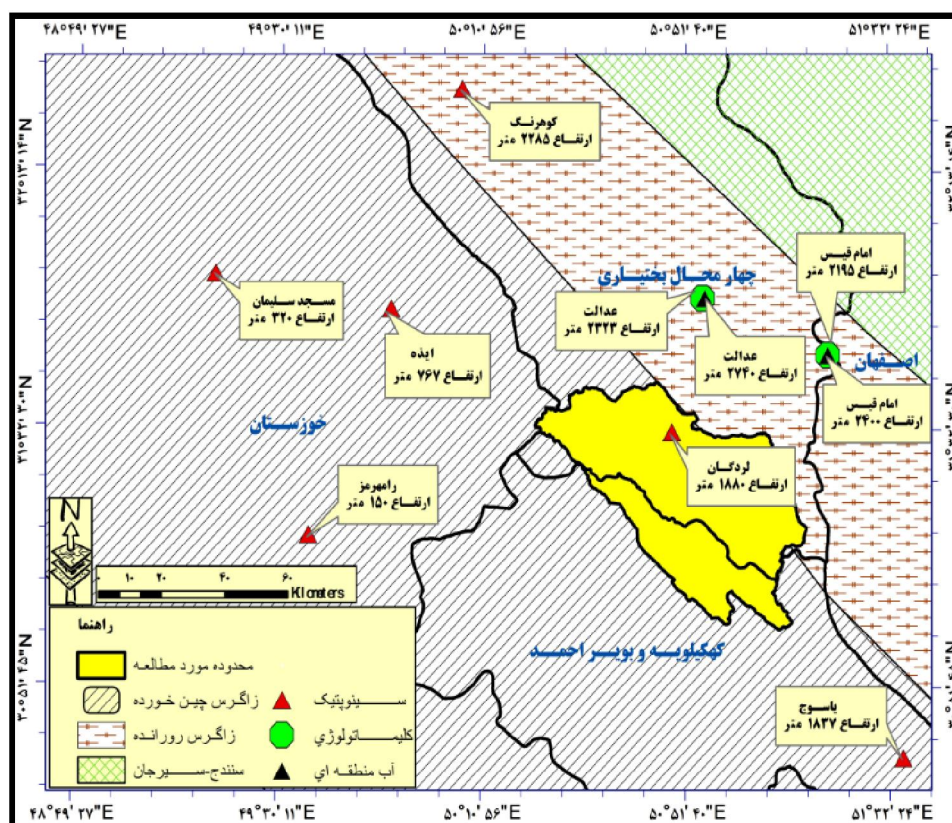
شکل (۱) موقعیت سایت ریگ

روش کار

در این تحقیق در مرحله اول از طریق نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ داده‌های ارتفاعی استخراج و بر اساس آن مدل رقومی ارتفاعی ایجاد شد. سپس ارتفاعات مستعد برای آثار بر جای مانده از یخچال‌های گذشته بررسی شد و سیرک-های منطقه از روی فرم منحنی‌های میزان نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ استخراج گردید. در ادامه، ابتدا از روش رایت که مبتنی بر خط ۶۰٪ سیرک‌هاست و سپس از میان روش‌های پنجگانه پورتر، با توجه به آشکاربودن شواهد سیرک‌ها، از روش مطالعه کف سیرک برای محاسبه خط برف مرز گذشته استفاده شد. در ادامه، با ثبت جهت هر کدام از سیرک-های منطقه، ارتباط بین آنها با جهت ناهمواری‌ها بررسی شد. سپس با توجه به طول و عرض جغرافیایی و میانگین سالانه دما و بارش در ایستگاه‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۱۵ ساله (۱۹۹۱-۲۰۰۵) در وهله اول اقدام به درونیابی به روش عکس فاصله وزنی^۱ و کریجینگ شد و در ادامه، نقشه همبارش و همدمای کنونی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس با هدف تهیه نقشه همبارش گذشته با توجه به داده‌های مربوط به ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه و میزان بارش سالانه آنها و نیز ایجاد رابطه خطی بین این دو عامل، رابطه $(P = 0.225X + 245.07)$ به دست آمد و در مرحله بعد نقشه مورد نظر تهیه شد. در ادامه، برای تهیه نقشه همدمای گذشته، بین پارامترهای دمای سالانه و ارتفاع ایستگاه‌های رگرسون گرفته شد و معادله $(P = 0.068X + 26.912)$ به دست آمد. سپس از طریق رابطه فوق و مدل رقومی ارتفاعی منطقه و نیز خط برف مرز به دست آمده نقشه مورد نظر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، تهیه گردید. سپس با هدف دستیابی به خط تعادل آب و یخ منطقه مورد مطالعه به واسطه معادله $(P = 0.068X + 26.912)$ که بیان کننده کاهش دمای تقریبی ۰/۷ درجه‌ای به ازای هر ۱۰۰ متر است و نیز با عنایت به خط برف مرز دائمی به دست آمده (خط صفر

1 – Inverse Distance Weighted

درجه سانتیگراد) که منحنی میزان ۲۸۲۴ متری را نشان می‌دهد، خط تعادل آب و یخ مورد نظر (+۵ درجه)، محاسبه گردید.

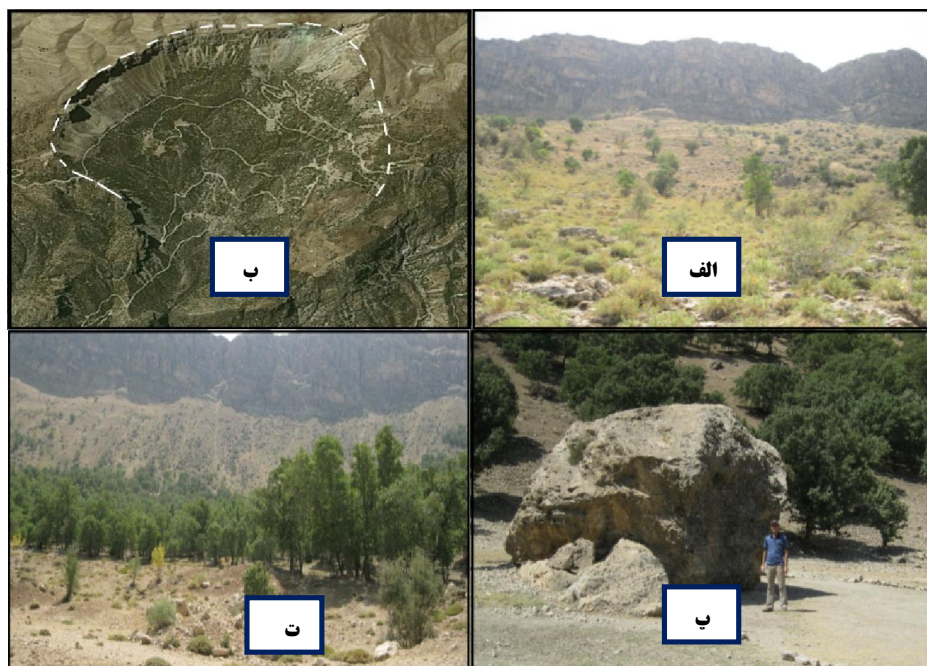


شکل ۲) نقشه پراکندگی ایستگاه‌های اقلیمی محدوده مورد مطالعه

یافته‌های پژوهش

- شواهد یخچالی محدوده سایت ریگ

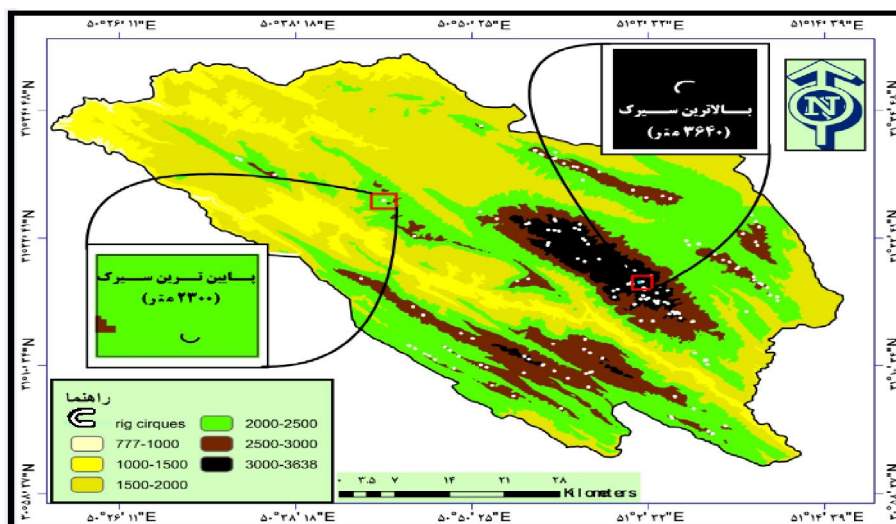
از آنجایی که بررسی‌های مربوط به ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی آخرین دوره یخچالی در کشور ما از طریق اطلاعات و نقشه‌های پایه‌ای مانند نقشه‌های توپوگرافی انجام می‌گیرد، بررسی‌های میدانی به ویژه در راستای تأیید اطلاعات استخراجی لازم و ضروری است. سیرک‌های یخچالی و سنگ‌های سرگردان از جمله آثار ژئومورفیک یخچالی هستند که در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲) شواهد یخچالی سایت ریگ: (الف) نمونه ای از یک سیرک بزرگ؛ پراشکفت در جنوب سایت ریگ (تصاویر گوگل ارث)؛ (ب) قسمتی از دیواره مسلط به سیرک؛ (پ) نمایی از کف سیرک؛ (ت) سنگ سرگردان موجود در پایین دست سیرک

- توزیع سیرک‌ها و جهت ناهمواری‌ها

تعداد ۱۵۲ سیرک در سایت ریگ شناسایی شد که از این میان، پایین‌ترین سیرک در ارتفاع ۲۳۰۰ متری و در جهت شمال و بالاترین آن‌ها در ارتفاع ۳۶۴۰ متری و در جهت جنوب شرقی قرار دارد (شکل ۳). از این تعداد سیرک، حدود ۲۲/۳۷ درصد از آن‌ها در جهت شمال قرار داشته و سیرک‌های با جهت شمال غرب با ۷/۲۴ درصد کمترین میزان را دارا هستند (شکل ۴). از بین سیرک‌های شناسایی شده در این سایت حدود ۳۲/۸۹ درصد از آن‌ها سیرک‌های رو به قطب و ۲۵/۶۶ درصد نیز سیرک‌های رو به استوا را تشکیل می‌دهند (جدول ۱).



شکل ۳) نقشه پراکندگی سیرک‌های سایت ریگ

جدول ۱) توزیع فراوانی سیرک‌های یخچالی در سایت ریگ

درصد	فراوانی	جهات پراکندگی سیرک‌ها
۲۲/۳۷	۳۴	شمال
۱۱/۱۸	۱۷	شمال شرق
۱۱/۱۸	۱۷	شرق
۱۱/۸۴	۱۸	جنوب شرق
۸/۵۵	۱۳	جنوب
۱۳/۸۲	۲۱	جنوب غرب
۱۳/۸۲	۲۱	غرب
۷/۲۴	۱۱	شمال غرب
۱۰۰	۱۵۲	جمع ΣX
-	۸	تعداد n
-	۱۹	میانگین حسابی
۳۲/۸۹	۵۰	دامنه رو به قطب
۲۵/۶۶	۳۹	دامنه رو به استوا

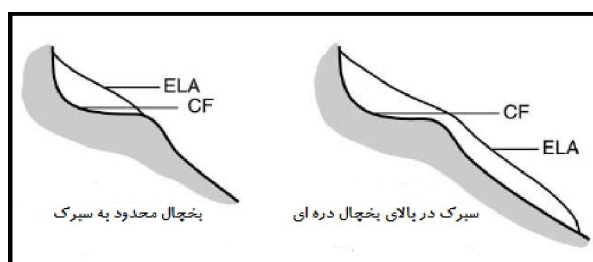
- تعیین خط مرز برف دائمی

- روش ارتفاع کف سیرک

روش ارتفاع کف سیرک، یکی از پنج روشی است که پورتر برای بازسازی ارتفاع خط تعادل (ELA)^۱ در عرض‌های پایین ارائه داده است (شکل ۵). ارتفاع خط تعادل (ELA) مرزی است که در بالاتر از آن فرایندهای تراکم و در پایین‌تر از آن فرایندهای فرسایش تسلط دارند (Mark et al, 2005: 169; Condom et al, 2007: 189) به‌طوری‌که ارتفاع این مرز توسط فرایندهای تراکم و فرسایش کنترل می‌شود (Fountain et al, 1999: 2; Paasche et al, 2007: 390). از میان روش‌های پنج‌گانه پورتر، با توجه به بارز بودن شواهد سیرک‌های یخچالی، روش مطالعه کف سیرک برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است؛ زیرا بر اساس نظر پورتر، هنگامی که یخچالی فقط سیرک را پر می‌کند، ELA دائمی آن خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF) نیست. برای استفاده از این روش، پس از آماده کردن جدول (۲)، از رابطه (۱) به منظور محاسبه نما یا مد استفاده می‌کنیم. نما نقطه‌ای در امتداد محور داده است که دارای بیشترین فراوانی‌هاست (مهدوی و طاهرخانی، ۱۳۹۰: ۹۷).

$$Mo = L + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times h \quad (1)$$

در رابطه مذکور، (L) حد پایین رده نمادار، (d_1) تفاضل فراوانی رده ماقبل رده نمادار از فراوانی رده نمادار، (d_2) تفاضل فراوانی رده مابعد رده نمادار از فراوانی رده نمادار و (h) نیز بیانگر فاصله رده‌ها هستند.



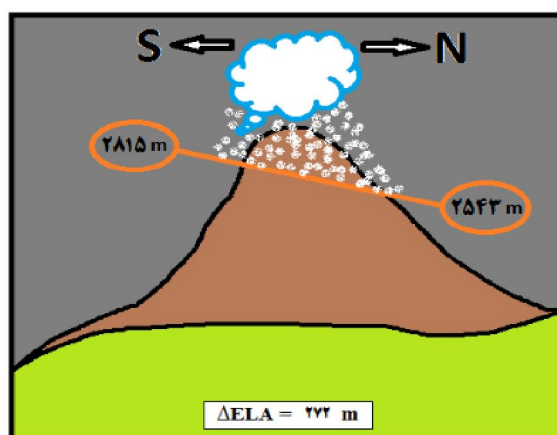
شکل ۵) روش ارتفاع کف سیرک (اقتباس از پورتر، ۲۰۰۱: ۱۰۶۹)

جدول ۲) توزیع فراوانی کف ارتفاع سیرک‌های یخچالی در سایت ریگ

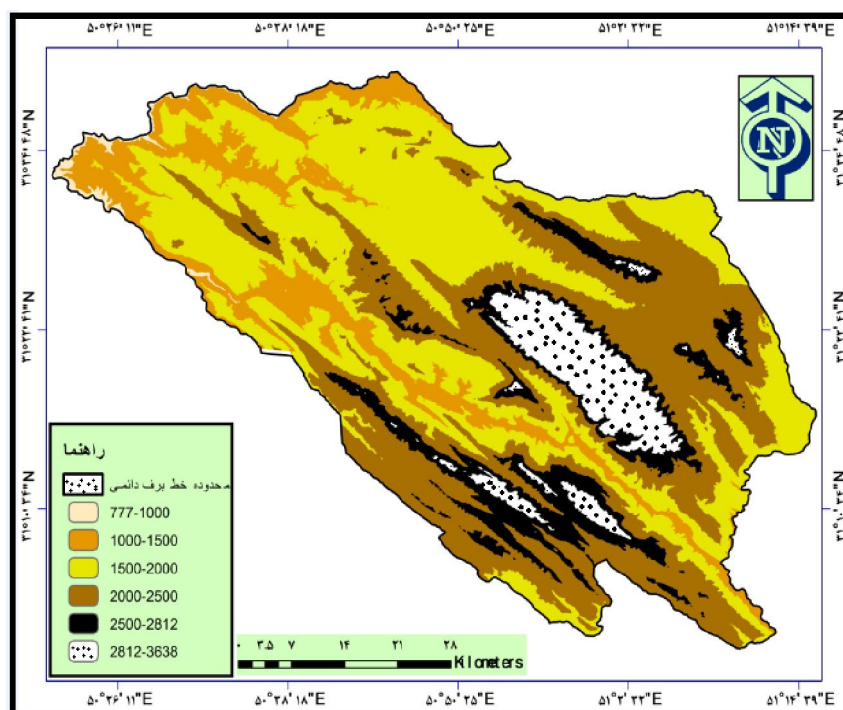
طبقات ارتفاعی	فراوانی سیرک	جهات جغرافیایی								درصد
		شمال	شمال شرقی	شرق	جنوب شرقی	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غربی	
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۱۷	۴	۳	۱	۱	-	۴	۴	-	۱۱/۱۸
۲۴۰۰-۲۵۰۰	۱۳	۳	۲	۱	-	۱	۲	۲	۲	۸/۵۵
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۲۸	۵	۴	۲	۴	۲	۴	۶	۱	۱۸/۴۲
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۱۶	۳	-	۱	۶	-	۲	۳	۱	۱۰/۵۳
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۶	۱	-	-	۱	۲	۲	-	-	۳/۹۵
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۱۱	۲	۱	۲	-	۲	۲	-	۲	۷/۲۴
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۹	۲	۲	۲	۱	۱	۱	-	-	۵/۹۲
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۹	۲	-	۲	۲	-	۲	۱	-	۵/۹۲
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۱۰	۲	۱	۲	-	۱	۱	۲	۱	۶/۵۸
۳۲۰۰-۳۳۰۰	۱۹	۴	۲	۳	۲	۳	۱	۳	۱	۱۲/۵
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۱۰	۵	۱	۲	-	-	-	-	۲	۶/۵۸
۳۴۰۰-۳۵۰۰	۲	۱	۱	-	-	-	-	-	-	۱/۳۲
۳۵۰۰-۳۶۰۰	۱	-	-	-	-	-	-	-	۱	۰/۶۶
۳۶۰۰-۳۷۰۰	۱	-	-	-	۱	-	-	-	-	۰/۶۶
جمع	۱۵۲	۳۴	۱۷	۱۸	۱۸	۱۲	۲۱	۲۱	۱۱	۱۰۰
میانگین ارتفاع (متر)	-	۲۸۷۲	۲۷۶۲	۲۹۳۱	۲۷۹۰	۲۷۷۱	۲۶۸۹	۲۶۷۹	۲۹۰۰	۲۷۹۹
نما (متر)	-	۲۹۳۵	۲۵۳۳	۳۲۵۰	۲۶۳۷	۳۲۴۰	۲۴۵۸	۲۵۵۷	۲۸۸۳	۲۸۱۲
سیرک‌های رو به قطب	مقدار نما									۲۵۴۳
سیرک‌های رو به استوا	مقدار نما									۲۸۱۵
ΔELA	اختلاف در دو دامنه									۲۷۲

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 می‌شود (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۴). همان‌طور که در جدول (۲) دیده می‌شود، مقدار مد یا نما در محدوده مورد مطالعه ۲۸۱۲ متر است که این ارتفاع بیانگر برف مرز آخرین دوره یخچالی است (شکل ۷). البته، این مرز برای سیرک‌های رو به قطب و رو به استوا متفاوت است. در

سیرک‌های رو به قطب این ارتفاع تا ۲۵۴۳ متر کاهش می‌یابد؛ اما در دامنه‌های رو به استوا با افزایش ارتفاع به مقدار ۲۸۱۵ متری از سطح دریا می‌رسد. از این رو، اختلاف ارتفاع برف مرز در دامنه‌های رو به قطب و رو به استوا به ۲۷۲ متر می‌رسد (شکل ۶).



شکل ۶) ارتفاع برف مرز گذشته دامنه‌های شمالی و جنوبی در سایت ریگ



شکل ۷) ارتفاع برف مرز آخرین دوره یخچالی بر اساس روش پورتر در سایت ریگ

- روش رایت

روش رایت به عنوان یکی دیگر از روش‌های تعیین خط برف مرز دائمی، بر شمارش سیرک‌های کوچک و محاسبه ارتفاع مدخل خروجی آن‌ها استوار است. در این روش با توجه به این که مدخل خروجی سیرک‌ها دارای متوسط دمای حداقل صفر درجه سانتیگراد است و با محاسبه افت آهنگ دمایی، به محاسبه دمای مناطق در دوره حاکمیت یخچالی

می‌پردازد (رامشت و پوردهقان، ۱۳۸۷: ۱۳۳). بر طبق این روش، خط ۶۰ درصد سیرک‌ها برف مرز دائمی در گذشته را تعیین می‌کند. در نتیجه، بر طبق روش رایت و با توجه به جدول (۳) خط برف مرز دائمی به صورت زیر به دست می‌آید:

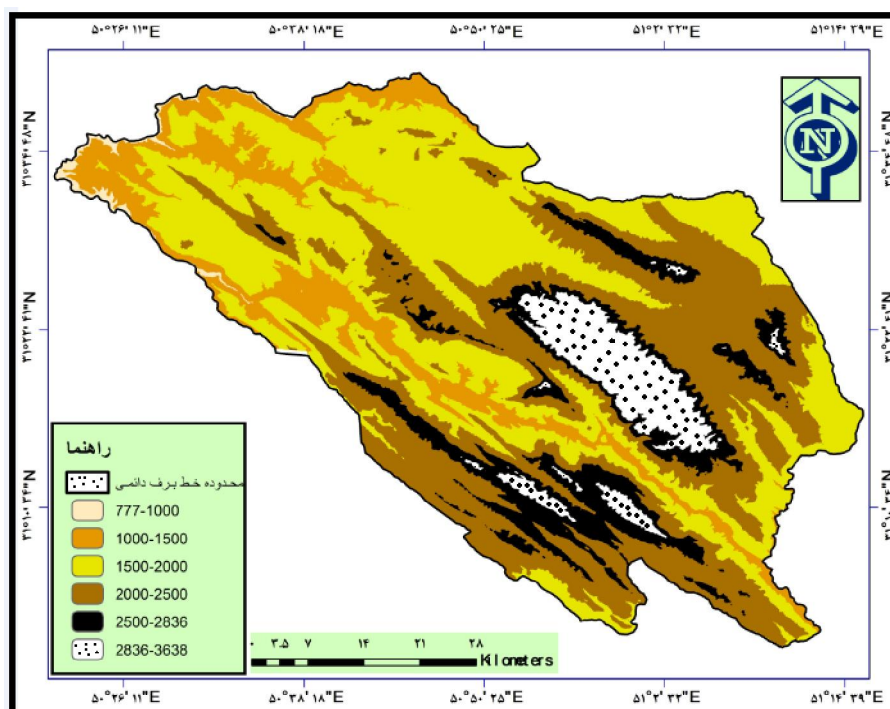
جدول (۳) بالاترین و پایین‌ترین سیرک‌ها در سایت ریگ

وضعیت سیرک	ارتفاع سیرک	جهت جغرافیایی
بالاترین سیرک	۳۶۴۰	شرق
پایین‌ترین سیرک	۲۳۰۰	شمال

$$۳۶۴۰ - ۲۳۰۰ = ۱۳۴۰$$

$$۱۳۴۰ \times ۰.۶ = ۸۰۴$$

$$۳۶۴۰ - ۸۰۴ = ۲۸۳۶$$



شکل (۸) ارتفاع برف مرز آخرین دوره یخچالی بر اساس روش رایت در سایت ریگ

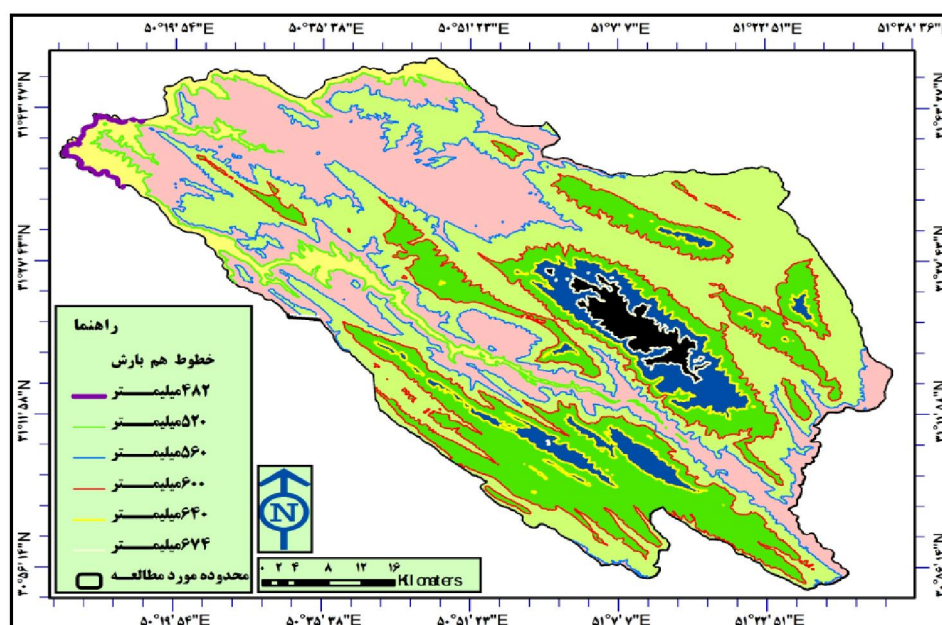
در نتیجه، همان‌طور که ملاحظه می‌شود برف مرز دائمی در محدوده سایت ریگ به روش رایت ارتفاع ۲۸۳۶ متر را نشان می‌دهد (شکل ۸).

- بررسی شرایط رطوبتی منطقه

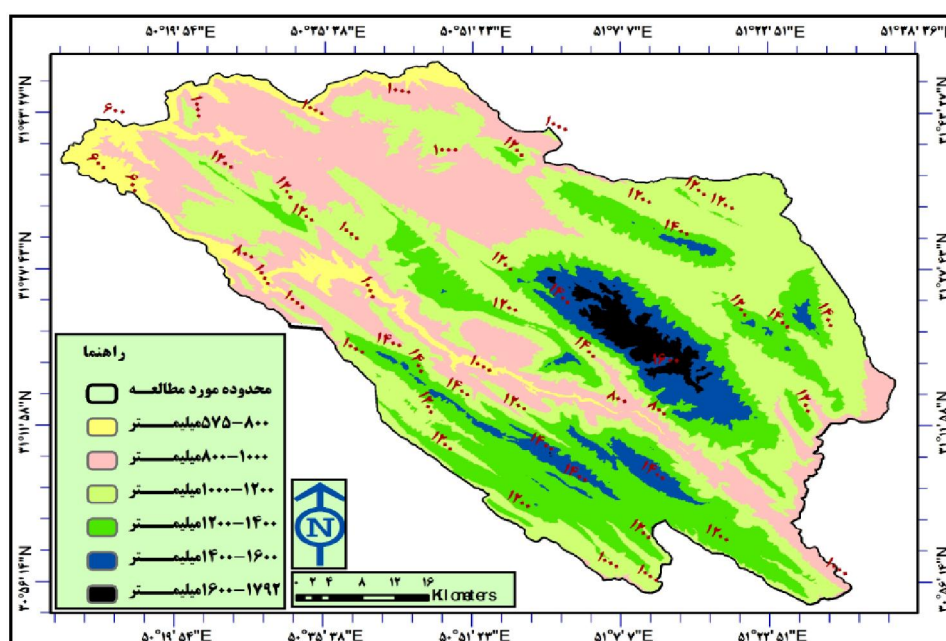
یکی از شاخص‌های اقلیمی تعیین‌کننده شرایط محیطی، میزان رطوبت و تغییرات آن است که در فرم‌سازی محیطی در چندین سیستم شکل‌زا انعکاس می‌یابد. در ارتفاعات بیشتر به صورت سیستم یخچالی، در پایکوه‌ها به صورت پهنه‌های یخی، در منطقه حاشیه به صورت پیشروی زبانه‌های یخی و آبدوبان و در مناطق پایین‌تر به صورت

روان آب و در چاله‌های پایین دست به صورت سیستم شکل‌زای آب‌های راکد ظهور می‌کند. هر یک از این سیستم‌ها دارای شکل‌زایی مخصوص به خود هستند و اشکال ناهمواری ویژه‌ای به وجود می‌آورند؛ لذا اگرچه وسعت، شدت و گسترش هر یک از سیستم‌های فوق به میزان دمای محیطی بستگی دارد؛ ولی به هر حال موتور اصلی سیستم‌های فوق رطوبت محیطی است (باقری صدر، ۱۳۹۰: ۸۶).

پس از ارزیابی اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های موجود در منطقه و نواحی مجاور برای استخراج نقشه حامل خطوط همبارش، با انتقال داده‌های مربوط به طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های مربوطه و عامل بارش به نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی و از طریق دورنمایی به روش کریجینگ نقشه همبارش کنونی محدوده مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۹). نقشه مذکور بیانگر این نکته است که مناطق پربارش با نقاط مرتفع و مناطق کم بارش با مناطق پست مرتبط اند. بیشترین بارش با ۶۷۴ میلی متر مربوط به ارتفاعات جنوبی و کمترین بارش با ۴۸۲ میلی متر با مناطق پست غربی محدوده مورد نظر انطباق دارد. در ادامه، برای ساخت نقشه همبارش گذشته که بیان کننده شرایط رطوبتی گذشته است، با توجه به داده‌های مربوط به ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه و میزان بارش سالانه آن‌ها و نیز ایجاد رابطه خطی بین هر کدام، رابطه $P = 0.225X + 245.07$ به دست آمد. ضریب همبستگی رابطه مذکور برابر با ۰/۶۹ است که بیان کننده میزان ارتباطی است که بین متغیرهای ارتفاع و بارش در این محدوده وجود دارد که می‌توان از آن به عنوان همبستگی متوسطی نام برد. این ضریب بیان می‌دارد که ۶۹٪ از تغییرات بارش در منطقه به تغییرات ارتفاع و مابقی مربوط به سایر عوامل است. در مرحله بعد نقشه مورد نظر تهیه گردید (شکل ۱۱). این نقشه میزان رطوبت و بارش محیط را در زمانی که دمای محیطی به پایین‌ترین حد خود کاهش یافته، نشان می‌دهد (همان: ۸۹). حداکثر بارش با ۱۷۹۲ میلیمتر مربوط به ارتفاعات ریگ و حداقل آن مربوط به نقاط پست محدوده با ۵۷۵ میلی متر بارش است.



شکل ۹) نقشه همبارش کنونی سایت ریگ



شکل ۱۱) نقشه همبارش آخرین دوره یخچالی سایت ریگ

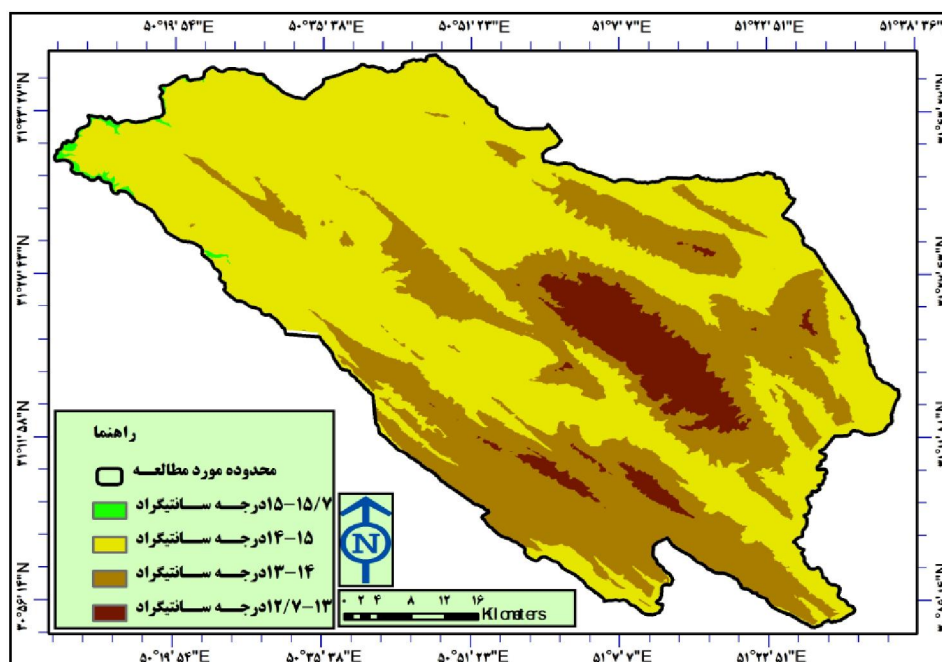
- بررسی شرایط دمایی منطقه

دما یکی از عناصر اساسی در شناخت وضعیت هوای یک منطقه است که برای نشان دادن توزیع افقی آن از خطوطی به نام خطوط همدمای استفاده می‌شود. برای ساخت نقشه‌ای با این گونه خطوطی با ثبت طول و عرض جغرافیایی هر کدام از ایستگاه‌های مربوطه و نیز میانگین سالانه دما، در وهله اول اقدام به درون‌یابی به روش معکوس فاصله وزنی شد و سپس نقشه همدمای کنونی محدوده مورد نظر تهیه شد (شکل ۱۲). نقشه مربوطه نشان دهنده حداقل‌های دمایی در نقاط مرتفع‌تر و حداکثرها در نقاط پست‌تر است. به عبارتی، نقشه مذکور بیانگر وجود ارتباطی است که همواره بین عامل دما و ارتفاع وجود داشته است.

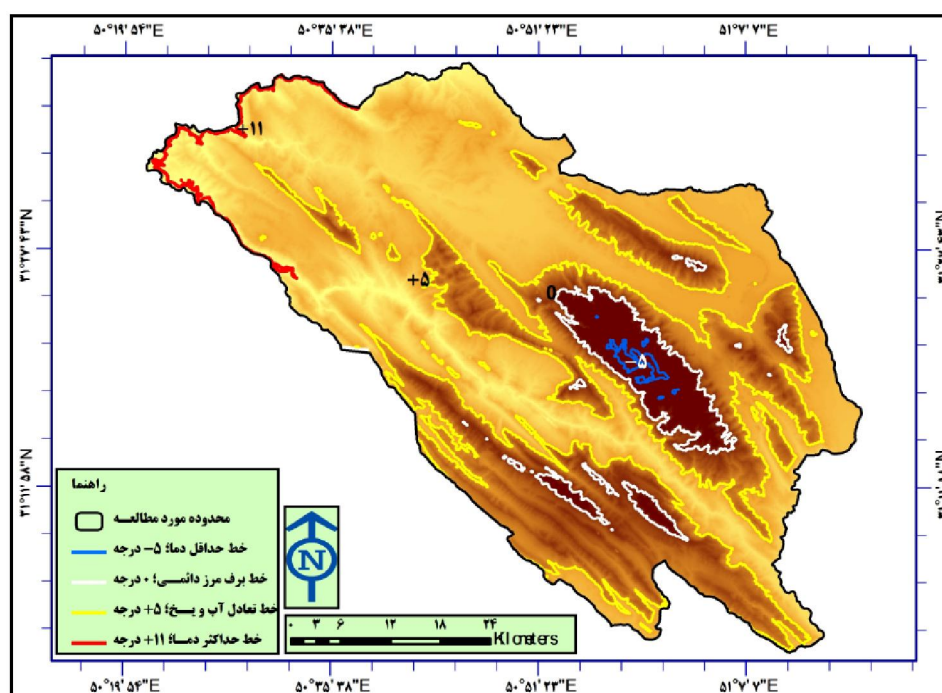
در ادامه، با هدف تهیه نقشه همدمای گذشته محدوده مورد نظر، در نرم افزار اکسل بین پارامترهای دمای سالانه و ارتفاع ایستگاه‌ها رگرسیون گرفته شد و معادله $P = 0.0068X + 26/912$ با ضریب همبستگی ۰/۹۶ به دست آمد که نشان دهنده همبستگی بالایی بین این دو عامل تأثیرگذار در دمای محیطی است. سپس از طریق رابطه فوق و مدل رقومی ارتفاعی منطقه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه مورد نظر تهیه گردید (شکل ۱۴).

نقشه به دست آمده که نشان‌دهنده وضعیت دمای محیطی محدوده مورد مطالعه در عصر حاکمیت یخ‌هاست، نشان دهنده وجود اختلاف دمای ۱۶ درجه‌ای در بین نقاط مرتفع و نقاط پست این محدوده است. کمترین دمای موجود با منفی ۵ درجه سانتیگراد بر منحنی ۳۵۷۷ متری از سطح دریا منطبق است و بیشترین دما با ۱۱ درجه سانتیگراد بالای صفر مربوط به ارتفاع ۵۵۴ متری این محدوده است. همچنین، خط صفر درجه سانتیگراد که همان خط برف مرز دائمی این محدوده در طول دوران یخبندان است، با ارتفاع ۲۸۲۴ متری انطباق دارد. در ادامه، با هدف دستیابی به خط تعادل آب و یخ منطقه مورد مطالعه به واسطه معادله $T = 0.0068X + 26/912$ که بیان‌کننده کاهش دمای تقریبی ۰/۷ درجه‌ای به ازای هر ۱۰۰ متر است و نیز با عنایت به خط برف مرز دائمی به دست آمده که همان خط صفر درجه سانتیگراد است،

خط تعادل آب و یخ مورد نظر محاسبه گردید. این خط، ارتفاع ۲۱۰۹ متری از سطح دریا را نشان می‌دهد که نسبت به ارتفاع خط برف دائمی ۷۱۵ متر پایین‌تر قرار دارد (شکل ۱۴).



شکل ۱۲) نقشه همدمای کنونی سایت ریگ



شکل ۱۴) نقشه همدمای آخرین دوره یخچالی سایت ریگ

نتیجه گیری

با توجه به اینکه بازسازی برف مرز پلئوستوسن از جمله اهداف این پژوهش، محدوده مورد مطالعه از طریق دو روش ارتفاع کف سیرک پورتر و رایت بررسی شد که نتایج به دست آمده از به کارگیری این دو روش نشان می دهد که اختلاف ارتفاع به دست آمده از این دو روش اندک است و تنها به ۲۴ متر می رسد. میانگین کف سیرک های یخچالی در این محدوده، ۲۷۹۹ و مقدار مد یا نما که همان ارتفاع برف مرز گذشته به روش پورتر است، ۲۸۱۲ متر است. البته، این مرز برای سیرک های رو به قطب و رو به استوا متفاوت است. در سیرک های رو به قطب این ارتفاع تا ۲۵۴۳ متر کاهش می یابد؛ اما در دامنه های مخالف یعنی دامنه های رو به استوا با افزایش ارتفاع به مقدار ۲۸۱۵ متری از سطح دریا می رسد. از این رو، اختلاف ارتفاع برف مرز در دامنه های رو به قطب و رو به استوا برابر با ۲۷۲ متر است. نتایج به دست آمده از روش رایت نیز ارتفاع برف مرز منطقه را ۲۸۳۶ متر معرفی می کند. شایان ذکر است که بررسی های انجام شده حاکی از نبود برف مرز یا به عبارتی عدم شرایط تشکیل یخچال برای این محدوده در شرایط کنونی است که این موضوع تأیید کننده نظرات محققان قبلی از جمله شوایتزر است؛ چرا که این محقق طبق نقشه ای که برای ارتفاع برف مرز دائم کنونی کل کشور ترسیم نمود، ارتفاع ۴۳۰۰ متر را برف مرز کنونی محدوده مورد پژوهش معرفی می کند و این در حالی است که حداکثر ارتفاع این محدوده ۳۶۳۸ متر از سطح دریاست.

نتایج به دست آمده از بازسازی شرایط دمایی و رطوبتی گذشته بیانگر این نکته است که ارتفاعات منطقه که بارش های زیادی را در دوره های یخچالی دریافت می کردند، دارای دماهای پایین تر از صفر درجه سانتیگراد بودند که این مسأله شرایط را برای تشکیل یخچال ها در این ارتفاعات فراهم می کرد. با توجه به معادله به دست آمده از رابطه پارامترهای دما و ارتفاع که بیانگر میزان کاهش دما به ازای افزایش ارتفاع است و یافتن خط صفر درجه سانتیگراد (خط برف مرز دائمی)، شرایط برای یافتن ارتفاع خط تعادل آب و یخ منطقه مورد نظر فراهم گردید. این خط که به نوعی بیانگر دمای +۵ درجه سانتیگراد است، ارتفاع ۲۱۰۹ متری را نشان می دهد که نسبت به ارتفاع برف مرزهای به دست آمده از روش های پورتر و رایت به ترتیب دارای ۷۰۳ و ۷۲۷ متر اختلاف است.

نکته دیگر در ارتباط با پژوهش حاضر این است که جهت اصلی ناهمواری های منطقه مورد مطالعه به تبعیت از جهت کلی رشته کوه زاگرس، شمال غرب- جنوب شرق است که تحت تأثیر این جهت گیری، حدود ۳۲/۸۹ درصد از سیرک ها در دامنه های رو به قطب و ۲۵/۶۶ درصد سیرک ها در دامنه های رو به استوا شکل گرفته اند.

منابع

- ۱- المدرسی، سید علی و رامشت، محمدحسین. (۱۳۸۶). آثار یخساری و یخچالی شیرکوه یزد در منطقه سخوید، فضای جغرافیایی، سال هفتم، ش ۱۹، صص ۱-۳۱.
- ۲- امیر احمدی، ابوالقاسم؛ مقصودی، اکبر و احمدی، طیه. (۱۳۹۰). بررسی آثار یخچالی کواترنر و تأثیر آن بر عدم شکل گیری مدنیت و سکونتگاه مهم شهری در دشت آسپاس، مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای، ش ۱۰، صص ۶۱-۸۰.

- ۳- باقری صدر، فاطمه. (۱۳۹۰). *ردیابی آثار مورفولوژیکی یخچالی لرستان در کواترنر*، استاد راهنما: سیف، عبدالله، رساله کارشناسی ارشد رشته جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان.
- ۴- بهادری، صفرعلی. (۱۳۸۴). *ردیابی آثار ژئومورفولوژیک تغییرات اقلیمی در منطقه سمیرم*، استاد راهنما: رامشت، محمدحسین؛ معیری، مسعود، رساله کارشناسی ارشد رشته جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان.
- ۵- پروی، کریستف. (۱۳۸۰). *یخبندان کواترنر در قسمت‌های داخلی کوهستان زردکوه در رشته زاگرس*، ترجمه ثروتی، محمد رضا، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۲۶، صص ۵۵-۷۰.
- ۶- جداری عیوضی، جمشید. (۱۳۸۶). *ژئومورفولوژی ایران*، انتشارات پیام نور: چاپ هشتم.
- ۷- جعفری اقدم، مریم. (۱۳۸۹). *بررسی تغییرات مرزهای مورفوکلیماتیکی و مورفودینامیکی کواترنری در حوضه جاجرود*، استاد راهنما: یمانی، مجتبی، رساله کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۸- جعفری، غلامحسین. (۱۳۸۸). *تأثیر جهت ناهمواری‌ها در ارتفاع خط تعادل آب یخ کواترنری ایران*، استاد راهنما: معیری، مسعود؛ رامشت، محمدحسین، رساله کارشناسی ارشد رشته جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان.
- ۹- رامشت، محمدحسین. (۱۳۸۱). *آثار یخچال‌های دوران چهارم در حومه اصفهان (زفره)*، طرح پژوهشی، ش ۸۰۰۳۵، دانشگاه اصفهان.
- ۱۰- رامشت، محمد حسین؛ پور دهقان، داوود. (۱۳۸۷). *یخ در آتش: آثار یخچالی در منطقه بم، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ش ۸۹، صص ۱۲۹-۱۴۴.
- ۱۱- رامشت، محمد حسین؛ کاظمی، محمد مهدی. (۱۳۸۶). *آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس*، رشد آموزش جغرافیا، ش ۴، صص ۳-۱۱.
- ۱۲- موسوی، سید حجت و تقی زاده، عبدالحکیم. (۱۳۸۹). *فرم و فرایندهای رودخانه‌ای دشت خوزستان در کواترنر*، رشد آموزش جغرافیا، ش ۴، صص ۳۵-۳۰.
- ۱۳- مهدوی، مسعود؛ طاهر خوانی، مهدی. (۱۳۹۰). *کاربرد آمار در جغرافیا*، تهران: انتشارات قومس.
- ۱۴- نعمت‌اللهی، فاطمه؛ رامشت، محمدحسین. (۱۳۸۴). *آثار یخساری در ایران*، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ش ۴، صص ۱۴۳-۱۶۲.
- ۱۵- یمانی، مجتبی. (۱۳۸۶). *ژئومورفولوژی یخچال‌های زرد کوه (بررسی اشکال ژئومورفیک و حدود گسترش آن‌ها)*، نشریه انجمن جغرافیایی ایران، ش ۱۲ و ۱۳، صص ۱۲۵-۱۳۹.
- ۱۶- یمانی، مجتبی؛ شمسی پور، علی اکبر و جعفری اقدم، مریم. (۱۳۹۰). *بازسازی برف مرزهای پلئوستوسن در حوضه جاجرود*، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۷۶، صص ۳۵-۵۰.
- ۱۷- یمانی، مجتبی؛ محمدی، ابوطالب؛ نگهبان، سعید. (۱۳۸۹). *پهنه بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز تنکابن با استفاده از مدل‌های کمی، جغرافیا و توسعه*، ش ۱۹، صص ۸۳-۹۸.

- 18- Abtahi, M & saif.A & Khosroshahi.M. 2012, Investigation of the last Quaternary climate from the geomorphic evidence in Namak Lake basin Central Iran, *Journal of Geography and Regional Planning*, 5(3), 93-107.
- 19- Condom, Th & Coudrain, A & Sicart, J.E & Thery, S., (2007) , Computation of the space and time evolution of equilibrium-line altitudes on Andean glaciers (10°N–55°S), *Global and Planetary change*, 59, 189-202.
- 20- Foundation, A.G & Lewis, K.J & Doran, P.T., (1999) , Spatial Climatic Variation and its control on glacier equilibrium line altitude in Taylor Valley, Antarctica, *Global and Planetary change*, 22, 1-10.
- 21- Mark, B.G & Harrison, S.P & Spessa, A & New, M & Evans, D.J.A & Helmens, K.F., (2005) , Tropical snowline changes at the last glacial maximum: A global assessment, *Quaternary International*, 138-139, 168-201.
- 22- Moussavi, M.S & Valdan Zoej, M.J & Vaziri, M.R & Rezaei, Y., (2009) , A new glacier inventory of iran, *Annals Of Glaciology*, 50(53), 93-103.
- 23- Paasche, O & Dahl, S.O & Bakke, J & Lovlie, R & Nesje, A., (2007), Cirque glacier activity in arctic Norway during the last deglaciation, *Quaternary Research*, 68, 387-399.
- 24- Pedrami, M., (1982), Pleistocene glaciation and paleoclimate in Iran, *Geol, Survey of Iran*, Tehran.
- 25- Porter, S.C., (2001), Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation, *Quaternary Science Reviews*, 20, 1067-1091.