جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال دهم، شماره ۳۴، پاییز ۱۳۹۱

بررسی تغییرات احتمالی دما و بارش کواترنر پایانی در دامنه‌های شمالی شیرکوه با استفاده از شواهد یخچالی: حوضه آبریز فخرآباد (مهریز، یزد)

داریوش مهرشاهی،[۱] و علیرضا بقایی‌نیا[۲]

چکیده

مطالعاتی هر چند محدود بر روی پدیده‌های یخچالی ایران مرکزی توسط محققین خارجی و ایرانی انجام شده است که همه آن‌ها به تغییرات آب و هوایی در کواترنر دلالت دارند. با این وجود در مورد شدت این تغییرات و شرایط دما و بارش در ایران مرکزی در طول دوره‌های سرد کواترنر مطالب متفاوتی اظهار شده است. اگرچه همه این مطالعات به شرایط سردتری در این دوره‌ها اشاره کرده‌اند ولی میزان شدت سرما مورد اختلاف بوده است. برخی از این پژوهشگران در مورد نواحی مختلف ایران، به تغییرات دمایی منفی ۳ تا ۶ درجه اشاره داشته‌اند و برخی حتی افت دمایی را تا بیش از ۱۲ درجه دانسته‌اند. از سوی دیگر برخی از این پژوهشگران شرایط اقلیمی را در طول دوره‌های سرد خشک‌تر از امروز تا بدون تغییر، اگر چه با موازنه مثبت؛ و برخی دیگر، به ویژه پژوهشگران ایرانی، مرطوب‌تر از میانگین امروزی دانسته‌اند. در این تحقیق تلاش شده با تشخیص شواهد یخچالی گذشته از قبیل سیرک‌ها و دره‌های یخچالی، مورن‌ها و موقعیت ارتفاعی آن‌ها و برآوردهای آماری تا تغییرات دمایی و بارشی همزمان با پیشروی یخچال‌ها مورد بررسی قرار گیرد. برای یافتن تغییرات بارش و دمای گذشته، با استفاده از آمار امروزی خطوط همدما و همبارش و با توجه به خطوط میزان افت یا افزایش بارش و دما و با به دست آوردن خط برفمرز (صفردرجه) وورم، اقدام به تعیین معادله همبستگی خطی با روش کمترین مربعات گردید. با این روش تغییر میزان بارش و دمای آخرین دوره سرد کواترنر (وورم) برای حوضه مورد نظر به صورت خطوط میزان منحنی مربوطه به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که دمای میانگین در دوره سرد تا بیش از ده درجه کمتر از میانگین امروز و بارش متوسط در مقاطع ارتفاعی متفاوت بین ۱.۸ تا ۳ برابر افزون تر از میانگین امروزی در منطقه مورد مطالعه بوده است.

کلیدواژگان: تغییرات اقلیمی، شرایط کواترنر، شواهد یخچالی، شیرکوه، یزد.

---

۱. دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه یزد و نویسندهٔ مسئول
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

آثار مورفولوژیکی یخبندان‌های کواترنر در ایران حداقل از اواخر قرن ۱۹ شناخته شده بود [۱،ص۷۳]. همه مطالعاتی که بر روی شواهد یخچالی در ایران مرکزی انجام شده است، به تغییرات آب و هوایی در کواترنر توجه کرده‌اند. با این وجود در مورد شدت این تغییرات و تأثیر آن بر دما و بارش در مناطق مختلف ایران مرکزی که از لحاظ توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی تفاوت‌های مشخصی بین آن‌ها وجود دارد، اختلاف نظرهای چشمگیری دیده می‌شود. همه این مطالعات به شرایط سردتری، به ویژه در ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر (از سطح دریا)، اشاره دارند، ولی میزان شدت سرما مورد اختلاف بوده است. برخی از این پژوهشگران، به تغییرات دمایی منفی تا ۶ درجه سانتی گراد [2,3,4] اشاره داشته‌اند و برخی حتی افت دمایی را تا بیش از ۱۲ درجه دانسته‌اند [5]. مشکل دیگر در مورد کاهش یا افزایش میزان رطوبت در طول دوره‌های سرد همزمان با پیشروی یخچالی نیمکره شمالی است. برخی، شرایط اقلیمی را در طول دوره‌های سرد خشک‌تر از امروز تا بدون تغییر، اگر چه با موازنه مثبت [3,4,6] دانسته‌اند و گروهی دیگر، به ویژه پژوهشگران ایرانی، شرایط را به مراتب مرطوب‌تر از میانگین امروزی دانسته‌اند [1,7,8].

جالب‌ترین یخچال‌ها که از نظر بررسی تغییرات اقلیمی کواترنر ایران اهمیت دارد، آنهائی است که در ارتفاعات منطقه خشک داخلی شناسایی شده‌اند. به عنوان مثال، مطالعات‌هاگه دورن[1] و همکارانش [9] در شیرکوه یزد، شواهدی از توپوگرافی یخچالی قدیمی را نشان داد. یخرفتهای مشخصی در شیرکوه، نخستین بار توسط‌هاگه دورن و همکاران [۹ص۱۳] در ارتفاع مابین ۱۹۲۵ تا ۲۲۴۰ متر از سطح دریا تشخیص داده شد که حاکی از وجود فرآیندهای یخچالی در این منطقه است. ارتفاعات حوضه آبریز فخرآباد در استان یزد مانند سایر مناطق کوهستانی ایران مرکزی، فرآیندهای یخچالی دره‌ای را تحمل کرده است که پدیده‌های ناشی از آن، نظیر سیرک‌ها، دیواره‌های بلند، مورن‌های یخچالی و تورهای یخچالی برجای مانده‌اند [۱۰ص۱۲۵].

به این ترتیب با استفاده از برخی شواهد وابسته به مراحل پیدایش و پیشروی یخچال‌های سیرکی و دره‌ای می‌توان به شرایط اقلیمی گذشته پی برد و آن را با شرایط موجود مقایسه

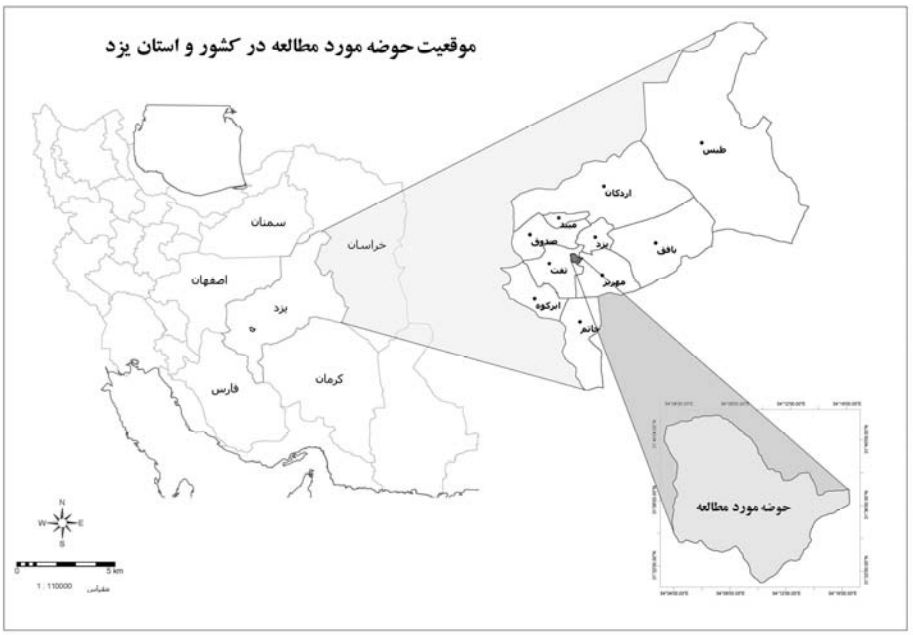
1. Hagedorn

www.SID.ir

کرد. هدف این مقاله بررسی این شواهد و به دست آوردن شرایط دمایی و بارشی دامنه‌های شیرکوه در دوره سرد اواخر کواترنر و مقایسه آن با شرایط حاضر است.

ویژگی‌های جغرافیایی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی عمومی

حوضه آبریز فخرآباد در استان یزد مابین دو شهرستان تفت و مهریز واقع شده است. این حوضه بین طول‌های جغرافیایی ´۰۲-°۵۴ تا ´۱۶ -°۵۴ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیای ´۳۱-°۳۱ تا ´۴۱-°۳۱ درجه شمالی با مساحتی بالغ بر km^2 ۳۴ /۲۱۲ کیلومترمربع واقع شده است (نقشه شماره یک).



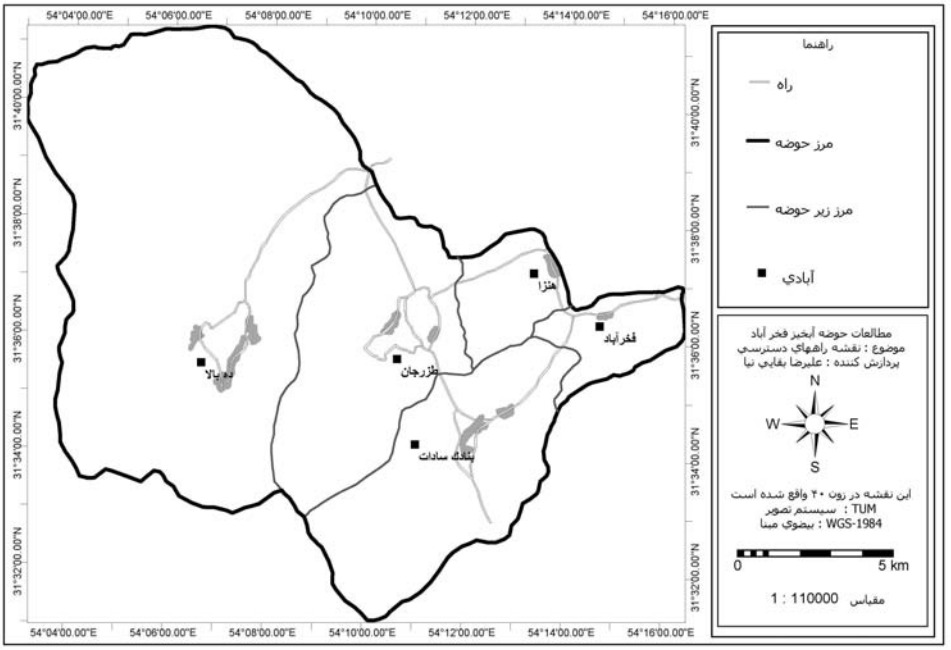
نقشه۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز فخرآباد در استان یزد.

این حوضه در جنوب شرقی یزد و غرب مهریز واقع شده است. فاصلهٔ قسمت خروجی دره انتهایی آن تا مرکز استان حدود ۵۰ کیلومتر و تا مهریز حدود ۲۵ کیلومتر است. حوضه مذکور در بخش میانکوه در دامنه‌های شیرکوه واقع گردیده و تقریبا یک حوضهٔ مرتفع و کوهستانی محسوب می‌گردد. ارتفاعات شیرکوه در حاشیه جنوبی تا بخش غربی حوضه مذکور، با جهت شمال‌غرب –

www.SID.ir

جنوب‌شرقی مانند دیواری آن را از حوضه آبریز کویر ابرکوه جدا ساخته است. نقشه شماره دو موقعیت ایستگاه‌ها و راه‌های دسترسی را به منطقه نشان می‌دهد.

حوضه آبریز فخرآباد در سوی شرقی و شمالی رشته شیرکوه واقع گردیده است و ارتفاع آن از حداکثر ۴۰۷۵ متر از سطح دریا (در قله اصلی شیرکوه) تا ارتفاع حداقل ۱۶۰۰متری در روستای فخرآباد تغییر می‌کند. ارتفاع متوسط حوضه در حدود ۲۸۳۷ متر از سطح دریاست. شیب متوسط کل حوضه ۵۴/۸۲ درصد و شیب متوسط وزنی رودخانه اصلی آن ۳۶/۲۵ در صد و محیط کل حوضه۷۰/۱ کیلومتر است. خروجی این حوضه به سمت مهریز، در ابتدای دشت ابراهیم‌آباد قرار دارد و آب ناشی از ذوب برف و یخ توسط رودخانه‌های فصلی به آن وارد می‌شود، که مهمترین این رودخانه‌ها، رودخانه فخرآباد، خود از سه رودخانه ده بالا، طزرجان و بنادک سادات تغذیه می‌گردد (نقشه شماره دو).



نقشه۲: راه‌های دسترسی و ایستگاه‌های آب و هواشناسی نام برده شده در متن

محدوده مورد مطالعه از نظر سنگ‌شناسی از تنوع کمی بر خوردار است. کل مساحت این حوضه (تا دهانه خروجی دره اصلی) حدود ۲۰۵ کیلومترمربع است که از آن ۲۷ کیلومترمربع از واریزه،

www.SID.ir

دامنه‌های سولیفلوکسیونی، آبرفت و خاک پوشیده شده است. ۸۸ کیلومترمربع سطح منطقه را سنگ‌های آهکی و حدود ۹۰ کیلومترمربع آن را نیز سنگ‌های گرانیت و گرانودیوریتی می‌پوشاند. در عمل قسمت‌های عمده محدوده ده بالا، طزرجان و بنادک سادات از گرانیت شیرکوه پوشیده و آهک کرتاسه عمدتاً محدوده شمالی منطقه و بلندترین قسمت‌ها را تشکیل می‌دهند [۱۱ص ۵۶]. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه، گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌های به سن ژوراسیک هستند و سن سنگ‌های آهکی به کرتاسه می‌رسد، در حالی که شدیدترین کوهزایی منطقه در سیکل لارامین (انتهای دوران دوم واوایل دوران سوم زمین‌شناسی) روی داده است. آهک‌های شیلی و مارن‌های منطقه نیز به کرتاسه مربوط می‌شوند [12]. وجود آهک‌های ماسیف و سخت در قبال طبقات شیلی، مارنی و توده گرانیتی تضاد چشم‌انداز را در منطقه سبب شده است. این تضاد از طریق نحوه گسترش و تراکم آبراهه‌ها و نیز تفاوت در نوع و میزان پیشروی پدیده‌های کارستی به نمایش در می‌آید (نقشه شماره ۳).

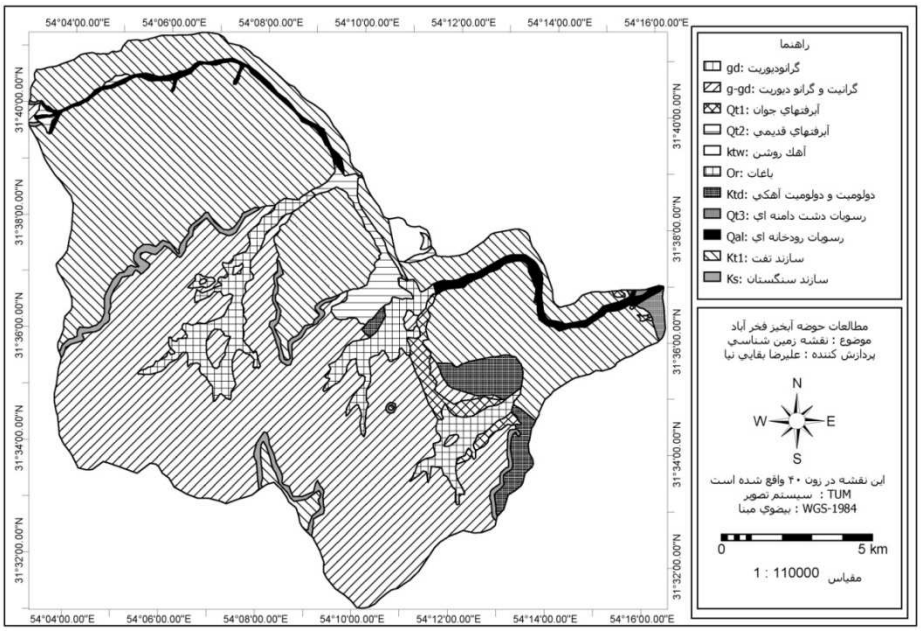
از لحاظ تکتونیک این منطقه ساختار تاقدیسی نامتقارن را دارد که یک شیب تند به سمت غرب- جنوب غرب و یک شیب ملایم (با زاویه حدود ۱۵ درجه) به سمت شرق-جنوب شرق دارد. گسل‌هایی با روند موازی با روند تاقدیس یا کمی مایل نسبت به آن این منطقه را قطع کرده‌اند. نقش این گسل‌ها در متمرکز نمودن آب و آبراهه‌ها و نیز گسترش دره‌های اصلی و فرعی اهمیت داشته‌اند. ادامه یا تحول برخی از دره‌ها (مانند دره هنزا و تفت) تحت تأثیر این گسل‌ها صورت گرفته است [13].

دره فخرآباد، قسمت انتهایی سیستمی از دره‌هاست که شامل چهار دره اصلی: ده بالا، طزرجان، بنادک سادات و هنزا می‌شود که از طریق فخرآباد به درون دشت ابراهیم‌آباد مهریز هدایت می‌شوند و یا به عبارتی مجموعه رسوبات حمل شده این دره‌ها توسط دره فخرآباد به دشت مذکور هدایت می‌شود. شیب ساختمانی طبقات آهکی به سمت شمال شرقی است که باعث شده است تا تمام دره‌های اصلی به این سوی، یعنی به سمت چاله (دشت) ابراهیم‌آباد توجیه شوند. عملکرد گسل هنزا (توضیح بخش قبلی) سبب شده تا دره‌ای عمود بر ده بالا و طزرجان تشکیل شده و ضمن جمع‌آوری آب‌ها و رسوبات حمل شده این دره‌ها، به سمت دره بنادک سادات ادامه یابد و سپس با تغییر مسیر و پیوستن به دره اصلی، جهت جنوب غربی- شمال شرقی عمومی را دوباره پیدا نماید. در اینجاست که دره فخرآباد

Archive of SID

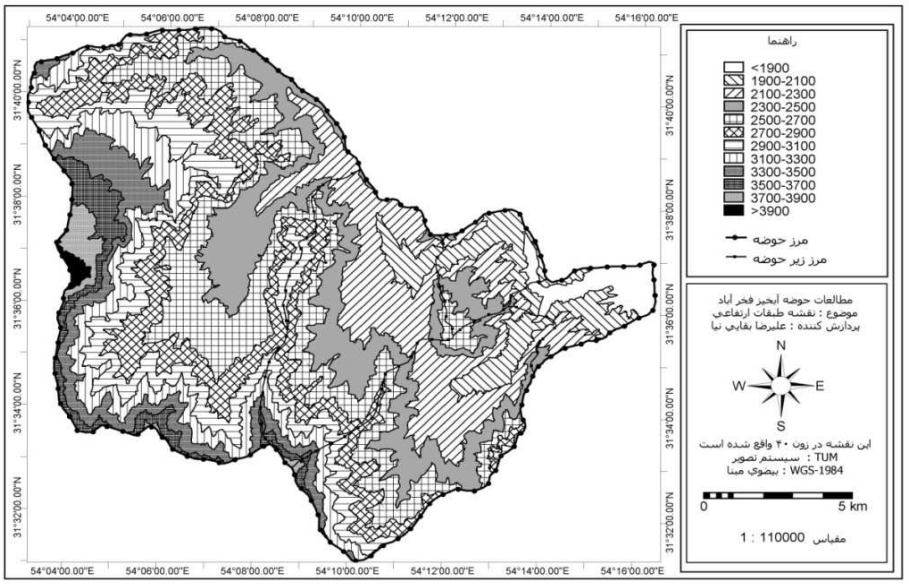
www.SID.ir

شکل می‌گیرد و واحد خروجی مجموعه دره‌ها را می‌سازد. به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که مهمترین شواهد رسوبگذاری یخچالی، بین یخچالی و سیلابی مربوط به دوره کواترنر را بتوان در این سیستم دره‌ای که ما از آن به نام حوضه فخرآباد یاد می‌کنیم، مشاهده نمود. این شواهد شامل سیرک‌های بزرگ و کوچک (اصلی و فرعی)، مورن‌های میانی، کناری و انتهایی، سنگ‌های سرگردان گرانیتی و آهکی، آرنی شدن دامنه‌های گرانیتی و تشکیل تور و ایجاد دامنه‌های سولیفلوکسیون می‌شوند (نقشه شماره ۴).



نقشه۳: نقشه زمین‌شناسی حوضه مورد مطالعه

www.SID.ir



نقشه۴: نقشه ژئومورفولوژی حوضه فخرآباد

ردیابی شواهد تغییرات اقلیمی و محیطی در منطقه

تعیین خط تعادل آب و یخ

در رابطه با تغییرات اقلیمی گذشته از شواهد متنوع ژئومورفولوژیک که نشان دهنده تغییر و تحول محیطی و مسلط شدن یک فرآیند (و پدیده‌های مربوطه) به جای فرآیندی دیگر (با پدیده‌های ویژه خود) هستند، استفاده نمود. در استان یزد این آثار متنوع از تپه‌های ماسه‌ای بادی و کوهریگ‌های تثبیت شده (غیرفعال) تا رسوبات دریاچه‌ای و کویری ریزدانه از یک طرف، و نهشته‌های یخچالی (مورن‌ها و سنگ‌های سرگردان) و جنب یخچالی (تورها و سولیفلوکسیون) را دربر می‌گیرد [13,14].

یخچال‌های دره‌ای به ویژه در عرض‌های میانی کره زمین، حساسیت زیادی در برابر تغییر عناصر آب و هوایی نشان می‌دهند و اندک تغییری در شرایط محیطی می‌تواند در آنها منعکس شود. از این رو، بسیاری از یخچال‌های دره‌ای شاخص‌های مطلوبی در شناخت تغییرات اندک محیطی به شمار می‌روند و به عبارتی می‌توان گفت خط تعادل طبیعی توسط آنها تعریف می‌شود [15].

این نکته حائز اهمیّت است که خط برف دائمی نسبت به خط تعادل آب و یخ در ارتفاع بالاتری

Archive of SID

www.SID.ir

قرار دارد. به بیان دیگر می‌توان گفت یخبرف در دره‌های یخچالی که از برفخانه‌های بالادست به خوبی تغذیه می‌شده است قادر بوده صدها متر پایین‌تر از خط برف دائمی جریان یابد و بالاخره در ارتفاع خاصی به واسطه افزایش نسبی دما و ذوب زبانه، حرکت یخبرف به پایین‌تر از آن مکان متوقف می‌شده است و از آن نقطه به بعد آبذوبان زبانه یخی شروع می‌شده است. مرز تعادل آب و یخ اگر چه تابع دمای فصلی می باشد ولی به طور کلی در دامنه‌های برآفتاب (رو به آفتاب) بالاتر از دامنه‌های نسار است.

براساس تحقیق طالبی [16] در منطقه پیشکوه‌های زاگرس خط تعادل آب و یخ در دامنه‌های نسار و بر آفتاب در این منطقه بین۵۰۰ تا ۷۰۰ متر تفاوت دارد. بنابراین وجود آثار یخچالی پایین‌تر از خط برف مرز دائمی نباید دور از ذهن تلقی گردد.

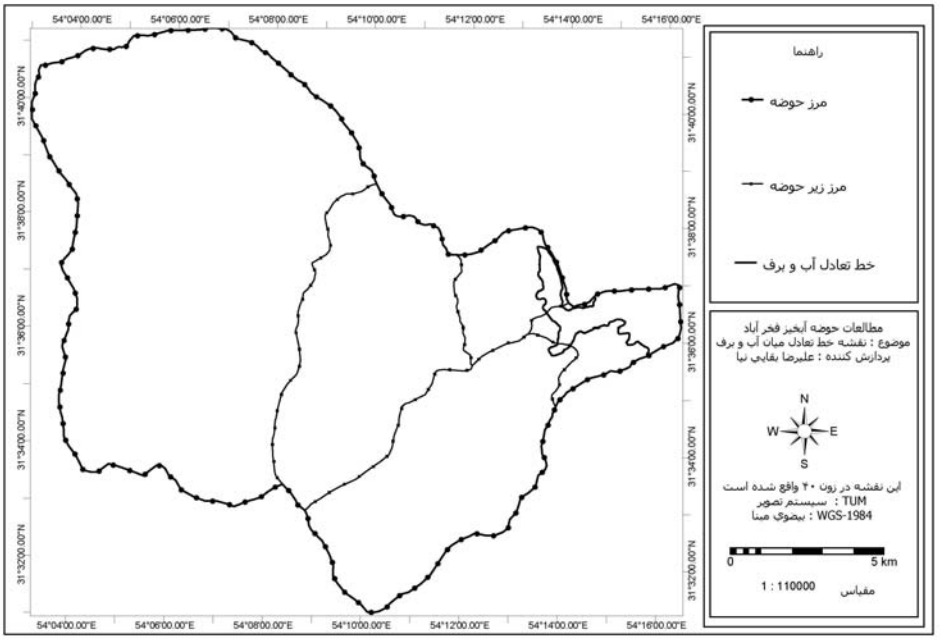
از مطالعات یخچال‌شناسی متعددی که در سال‌های اخیر در ایران مرکزی و زاگرس توسط مغیث [17]، رواقی [18]، نبی طالبی [19]، طالبی [16]، رامشت [15]، شوشتری [20]، نعمت‌الهی [21]، المدرسی [22] و رامشت و نعمت‌اللهی [23] به عمل آمده است چنین بر می‌آید که خط میزان دمای ۵ درجه سانتی‌گراد (متوسط دمای سالانه) می‌تواند به عنوان خط تعادل آب و یخ محسوب شود. این به این معناست که زبانه‌های یخی یخچال‌های کوهستانی قادر بوده‌اند تا محدوده با دمای میانگین ۵ درجه پایین بیایند و از این دما به بعد ذوب می‌شده‌اند.

در منطقه میانکوه یزد اگر چه خط برف دائمی در ارتفاع ۲۹۰۰ متری بر آورد شده، ولی خط تعادل آب و یخ به مراتب پایین‌تر از این حد بوده است. در صورتی که خط همدمای میانگین ۵ درجه سانتی‌گراد را در نظر گیریم و با توجه به نقشه تهیه شده دمای گذشته در حوضه فخرآباد متوجه می‌شویم که این مرز دمایی در این حوضه در ابتدای روستاهای بنادک سادات، هنزا و انتهای فخرآباد قرار داشته که به سمت دشت نزدیک بوده و این نشان دهنده آن است که زبانه‌های یخی زمانی تا این مکان یعنی تا ارتفاع ۱۷۰۰ متری (و حتی کمتر) پیش روی داشته و آثار و شاهد خود را نیز باقی گذارده است. از آنجا که این خط همدما در خارج از ارتفاعات و دامنه‌ها به ابتدای دشت ابراهیم آباد نیز وارد می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که زبانه‌های یخی زمانی حتی به داخل دشت هم وارد می‌شده‌اند. تراکم خطی مشخص انبوهی از قطعه سنگ‌های بسیار بزرگ در مجاورت مسیل امروزی اصلی و مسیل‌های فرعی دیگر شاهدی است بر این

Archive of SID

www.SID.ir

مدعا. نقشه شماره ۵ خط تعادل آب و یخ در حوضه فخرآباد را نشان می‌دهد.



نقشه ۵: نقشه تعادل آب ویخ

چگونگی تعیین خطوط همدمای گذشته و ترسیم نقشه مربوطه

جهت بازسازی شرایط دمای گذشته و ترسیم نقشه خطوط همدمای مربوطه، ابتدا خط برف دائمی گذشته تعیین گردید. این خط در دوره‌ای تثبیت می‌شود که یخ‌ها در پایین‌ترین ارتفاع آثاری از خود برجای گذارده باشد. با تعیین این خط می‌توان به بر آورد دمای متوسط گذشته با استفاده از اصل افت آهنگ دما اقدام نمود. این خط با توجه به ارتفاع میانگین کف تعداد ۶۰ درصد از سیرک‌ها محاسبه شده است که ارتفاع تقریبی ۲۹۰۰ متری به دست آمد. در مرحله بعدی با توجه به نقشه همدمای فعلی که تصویری از دمای نقطه‌ای منطقه را می‌دهد و با استفاده از آمارهای دمای ۹ ساله ایستگاه‌های موجود و با توجه به ارتفاع هر ایستگاه و به کارگیری رابطه همبستگی ساده (y=a+bx) و تطبیق آن همبستگی در این منطقه مابین ارتفاع و دما، یا به عبارتی گرادیان دمایی r=٪۹۹ به دست آمد. با توجه به خط برف دائمی که در تراز منحنی ۲۹۰۰ متری تعیین گردیده و بر اساس محاسبه به عمل آمده به ازاء هر یک صد متر ا فزایش ارتفاع در این منطقه ۰/۵۳۹ درجه

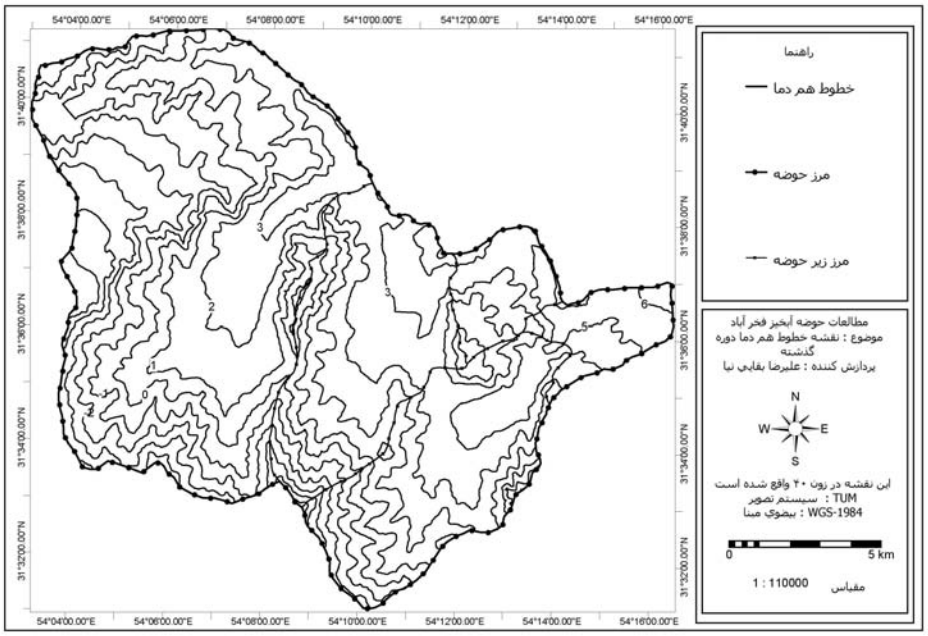
Archive
www.SID.ir

سانتیگراد کاهش دما داریم بنابراین، رابطه دمای گذشته بدین شرح بدست آمد:

$$TK = -۰/۰۰۵۳۹H + ۱۵/۶۳۲$$

با بدست آمدن رابطه مذکور که در آن Tk دمای گذشته و H ارتفاع مورد نظر است و پس از پردازش آن در سیستم اطلاعات جغرافیایی Arc GIS نقشه همدمای گذشته اواخر دوره چهارم(کواترنر انتهایی) بازسازی و ترسیم گردید.

در این نقشه همانگونه که نشان می‌دهد در ارتفاعات شیرکوه یعنی در سمت غرب منطقه سلول‌های برودتی بیش از هر مکان دیگر مشخص است و مقدار آن از کمترین که ۲- درجه سانتیگراد در بالاترین نقاط تا بیشترین در ۴ درجه سانتیگراد می باشد در محل روستای فخرآباد (ابتدای ورودی حوضه به دشت ابراهیم‌آباد) است مشاهده می‌شود (نقشه شماره ۶).



نقشه۶: خطوط میزان همدمای اواخر کواترنر در دوره سرد و خط همدمای پنج درجه

موقعیت سیرک‌های یخچالی منطقه

با توجه به نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه موقعیت و با توجه به شکل ویژه خطوط میزان منحنی [24]، تعداد سیرک‌های احتمالی در ارتفاعات مشرف به دره‌های حوضه فخرآباد

www.SID.ir

مشخص گردید. ارتفاعات این حوضه از این جهت حائز اهمیّت هستند که در جبهه پشت به آفتاب قرار دارند. سیرک‌های شمارش شده بر روی دامنه این ارتفاعات ۷۵ سیرک بزرگ و کوچک است که بین ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۳۸۰۰ متری پراکنده شده‌اند.

چنانچه در جدول شماره یک مشخص شده تراکم سیرک‌ها در ارتفاع ۳۷۰۰ تا ۳۸۰۰ متر و همچنین ارتفاع ۲۹۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بیشتر از سایر ارتفاعات دیگر می‌باشد به طوری که به ترتیب بیش از ۲۲/۶ درصد و ۲۰ درصد یعنی بیش از ۴۰ درصد سیرک‌ها در بین خطوط منحنی میزان این دو منطقه ارتفاعی تمرکز یافته‌اند. نحوه توزیع سیرک‌های موجود در منطقه در نقشه شماره هفت و درصد و تعداد سیرک‌ها در سطوح ارتفاعی متفاوت در جدول شماره یک نمایش داده شده است.

جدول۱: چگونگی توزیع سیرک‌های یخچالی در منطقه میانکوه یزد

(توضیح: فقط اشکال فراتر از ۲۵۰۰متر به عنوان سیرک واقعی به شمار آمده‌اند)

ارتفاع	تعداد سیرک‌ها	درصد سیرک‌ها
۳۷۰۰-۳۸۰۰	۳	۴
۳۵۰۰-۳۶۰۰	۱۷	۲۲/۶
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۱۴	۱۸/۶
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۸	۱۰/۶
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۱۵	۲۰
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۸	۱۰/۶
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۸	۱۰/۶
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۲	۳
*****	۷۵	۱۰۰

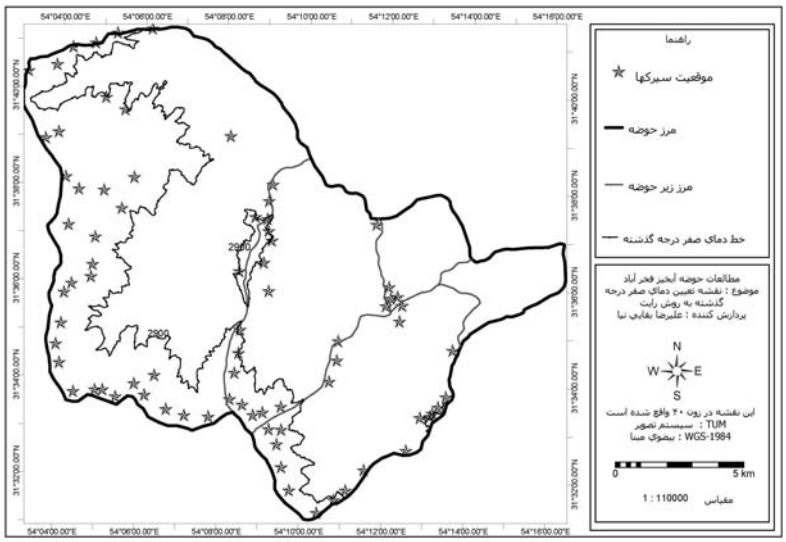
تعیین خط برف دائمی به روش رایت

عوامل متعددی در ارتفاع خط برف دائمی و زبانه‌های یخی مؤثرند از جمله آنها می توان به جهت ناهمواری‌ها، ارتفاع، میزان رطوبت و بارش، آفتاب‌گیری و نسار بودن و پوشش گیاهی را نام برد. برای مشخص نمودن آثار یخچالی سیرک‌ها در منطقه در اولین گام به بررسی فرم‌شناسی بر اساس

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص‌های مورفولوژیک در نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ مبادرت گردید [24]. در پی این اقدام فرم‌های U شکل دره‌ای که حاصل عملکرد برف و یخ هستند در حوضه بدست آمد و با مشخص نمودن محل قرارگیری سیرکها در بین خطوط منحنی میزان بر روی نقشه موردنظر، تعداد ۷۵ سیرک کوچک و بزرگ شناسایی شد. پس از تعیین تعداد سیرک‌ها بر اساس روش رایت یعنی۶۰ به ۴۰ کردن آنها، یا به عبارت دقیق‌تر تعیین۶۰ درصد از تعداد سیرک‌ها که بالاتر از خط منحنی میزان معینی باشند، خط برف دائمی زمان گذشته به دست آمد که به خط صفر درجه نیز معروف است. در این رابطه و در منطقه مورد مطالعه خط منحنی میزان ۲۹۰۰ متری برای برفمرز قدیمی بدست آمد (نقشه شماره ۷). سپس با اسکن کردن نقشه توپوگرافی۱/۵۰۰۰۰ و تعیین وضعیت سیرک‌ها در این نقشه، آن را در محیط Arc GIS وارد نموده و با پردازش آن نسبت به ترسیم نقشه سیرک‌های حوضه به همراه خط منحنی میزان آن و همچنین نقشه‌های سه بعدی تعیین موقعیت سیرکها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه اقدام گردید.



نقشه۷ : موقعیت سیرک‌های منطقه و خط همدمای صفر درجه (خط برفمرز) در دوره سرد

چگونگی محاسبه دما و بارش در دوره سرد

۱. محاسبه گرادیان بارش

برای محاسبه گرادیان بارش از همبستگی خطی به روش کمترین مربعات استفاده کردیم.

www.SID.ir

در این روش فرض بر این است که بارش و ارتفاع از طریق فرمول y=a+bx با هم ارتباط دارند که y بارش و x ارتفاع است که پارامترهای a و b بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌گردند که n تعداد ایستگاهها است:

$$b = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum (x-\bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

برای این محاسبات ضریب همبستگی نیز محاسبه می شود که هرچه به ۱ نزدیکتر باشد نشان‌دهنده دقت بالاتر در برازش خط نسبت به داده‌های موجود است.

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}}$$

جدول۲: داده‌ها و عملیات انجام شده

ردیف	x	y	1	2	3	1*2
	ارتفاع	میانگین بارش	x-X	y-Y	(x-X)2	(x-X)(y-Y)
1	1783	143	-292.2	-71.942	85380.84	-41784.6
2	2606	357	530.8	142.058	281748.64	189495.6
3	2187	201	111.8	-13.942	12499.24	22471.8
4	2110	252.58	34.8	37.638	1211.04	8789.784
5	1690	121.13	-385.2	-93.812	148379.04	-46659.276
جمع	10376	1074.71			529218.8	132313.308

$\bar{x}$ = 2075.2 b = 0.250016265

$\bar{y}$ = 214.942 a = -303.8917541

r = 0.924867168

بنابراین گرادیان بارش از فرمول P15=0.25*H-303.89 محاسبه می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

در خصوص دما هم به روش فوق عمل می‌کنیم:

ردیف	x	y	1	2	3	1*2
	ارتفاع	میانگین دما	x-X	y-Y	(x-X)2	(x-X)(y-Y)
1	2606	12.5	757.4	-4.14	573654.76	-3135.636
2	1630	18	-218.6	1.36	47785.96	-297.296
3	2451	13.4	602.4	-3.24	362885.76	-1951.776
4	1273	19.3	-575.6	2.66	331315.36	-1531.096
5	1283	20	-565.6	3.36	319903.36	-1900.416
جمع	9243	83.2			1635545.2	-8816.22

$\bar{x}$ = 1848.6 b = -0.005390386

$\bar{y}$ = 16.64 a = 26.60466762

r = 0.993121064

بنابراین گرادیان دما از فرمول T9=-0.0053*H+26.604 محاسبه می‌شود.

با تعیین خط برف دائمی گذشته، می‌توان نحوه توزیع دمای میانگین سالانه آن زمان را برای ارتفاع‌های مختلف با توجه به افت دمایی متوسط در هر صد متر به دست آورد. با داشتن این اطلاعات و با توجه به همبستگی مابین داده‌های دما و بارش در شرایط اقلیمی امروزی منطقه می‌توان با فرض وجود یک چنین همبستگی در گذشته بارش را نیز به طور تقریبی تخمین زد. برای تهیه نقشه خطوط هم دما، همانند تهیه خطوط همبارش اقدام و از آمار اقلیمی ۹ساله ایستگاه‌های موجود استفاده شد. بدین‌تر تیب با استفاده از متوسط دمای سالانه و ارتفاع ایستگاه‌ها و ایجاد یک رابطه خطی بین آنها نقشه همدمای منطقه ترسیم گردید. به عبارتی با برقراری رابطه بین دمای متوسط هر ایستگاه و ارتفاع آن و به دست آوردن بهترین خط رگرسیون، معادله بین ارتفاع و دما را به دست می‌آوریم:

$$T = -0/0054H + 26/605$$

و بدین صورت نقشه همدمای حال حاضر رسم گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

به منظور تهیه خطوط هم بارش منطقه از آمار اقلیمی ۱۵ ساله[۱] ایستگاه‌ها استفاده شد. بدین‌ترتیب که با استفاده از متوسط بارش سالانه و همچنین ارتفاع ایستگاه‌ها و ایجاد یک رابطه خطی بین آنها نقشه خطوط میزان بارش منطقه ترسیم گردید. به عبارتی با برقراری رابطه بین بارش متوسط هر ایستگاه و ارتفاع آن و به دست آوردن بهترین خط رگرسیون معادله بین ارتفاع و بارش به صورت زیر به دست آمد:

$$P = 0/25H - 303/89$$

بر همین مبنا با اعمال رابطه به دست آمده در محیط Arc GIS نسبت به پردازش میانگین بارش و نقاط ارتفاعی ایستگاه‌های مربوطه و بر اساس رابطه به دست آمده فوق نقشه هم بارش منطقه ترسیم گردید.

جهت ترسیم خطوط هم دمای گذشته، با تعیین خط برف دائمی به روش رایت امکان تخمین دمای متوسط گذشته با استفاده از افت آهنگ دما فراهم گردید. بدین‌منظور با استفاده از دمای ۹ ساله ایستگاه‌های موجود و توجه به خط برف دائمی (صفر درجه) که در منحنی تراز ۲۹۰۰ متری قرار دارد نسبت به برآورد دماهای گذشته در ارتفاعات مختلف اقدام شد. از آنجا که بنابر آمار دما در این دوره، به ازاء هر یک صدمتر افزایش ارتفاع در این منطقه ۰/۵۳۹ درجه سانتیگراد کاهش دما وجود دارد، بنابراین در صورتی که همین مقدار افت دمایی برای گذشته نیز صدق کند، معادله زیر مابین دما و ارتفاع حاصل می‌شود:

$$TK = -0/00539H + 15/632$$

و نقشه دمای گذشته بر اساس آن ترسیم شده است.

جهت تهیه و ترسیم خطوط هم بارش گذشته، با توجه به نبود اطلاعات، افت آهنگ رطوبتی فعلی در رابطه با ارتفاع تعیین گردید. به عبارتی میزان همبستگی مابین بارش و ارتفاع مشخص گردید[۲]. در مرحله بعدی با توجه به نقشه بارش فعلی که تصویری از بارش نقطه‌ای منطقه در اختیار ما می‌گذارد یا به عبارتی با توجه به رابطه کلی مابین دما، بارش و ارتفاع که در هر زمان تقریباً ثابت است (یعنی به ازای افزایش یا کاهش ارتفاع، بارش نیز افزایش یا کاهش می‌یابد)

۱. برای بارش آمار ۱۵ ساله موجود بوده است.

۲. این همبستگی در بخشی از این ارتفاعات (قسمت میانی و پایین) خطی است اما برای کل ارتفاعات غیرخطی است. بنابر آمار محدود موجود از ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متر هر چه بالاتر می‌رویم بارش کمتر می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین با استفاده از فرمول:

$$PK = 0/25H + 204/1166$$

رابطه بارش گذشته بر حسب ارتفاع به دست آمد و نسبت به ترسیم نقشه هم بارش گذشته نیز اقدام گردید.

میزان آنومالی بارش

برای مشخص کردن میزان و نحوه تغییر بارش محیطی گذشته نسبت به حال، نسبت میان میزان بارش در دوره حاکمیت یخچال‌ها و بارش امروز (یا به عبارتی روابط بارش گذشته با ارتفاع و همچنین بارش حال با ارتفاع) به دست آمده است و نسبت آنها طبق رابطه زیر تعریف شده است:

$$P = 0/25H - 303/892$$

$$PK = 0/25H + 204/1146$$

$$PK = P + 280/0896$$

که این همان رابطه آنومالی بارش محسوب گردیده ودر نهایت رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{آنومالی بارش} = PK - P = 280/0896$$

یعنی با این رابطه اختلاف بارش گذشته (دوره سرد) با بارش حال حاضر حدود ۲۸۰ میلیمتر به دست آمده و برای نقاط مختلف ارتفاعی با توجه به این موضوع نقشه آنومالی بارش حال و گذشته رسم گردید.

آنومالی دما

تفاوت دمای گذشته و حال را آنومالی دما گویند. با توجه به میانگین دمای متوسط سالانه ۹ساله ایستگاه‌های انتخابی موجود و با در نظر گرفتن رابطه دمای گذشته با ارتفاع و همچنین دمای حال حاضر با ارتفاع که ارتباط مستقیم با هم دارند و با فرض اینکه این رابطه در تمام زمان‌ها ثابت است (افزایش یا کاهش دما با افزایش یا کاهش ارتفاع) بدین ترتیب رابطه زیر به دست آمده است:

$$T = 0/0054H + 26/605$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$TK = 0/00539H + 15/632$$
$$TK = T - 10/979$$

و این همان رابطه آنومالی دما است که به طور خلاصه به شرح زیر است:

$$\text{آنومالی حرارتی} = TK - T = -10/979$$

یعنی با توجه به این رابطه اختلاف دمای گذشته با دمای در حال حاضر حدود ۱۱ درجه سانتیگراد (سردتر) به دست آمده است که برای نقاط مختلف ارتفاعی نقشه آنومالی دمای حال و گذشته رسم گردیده است.

نتیجه

مطالعه شواهد باقی‌مانده از فعالیت‌های یخچالی در حوضه فخرآباد که بخش اصلی و مهم دره‌های یخچالی پیشین شیرکوه را در خود داشته است، نشاندهنده تغییرات آب و هوایی چشمگیر، همزمان با دوره‌های یخچالی در این ناحیه است. بررسی تغییرات بارش نشان داد که به طور میانگین بارش دوره سرد (اواخر پلیئستوسن) تا حدود حداکثر ۲۸۰ میلی‌متر نسبت به میانگین امروزی افزایش داشته است. میزان این تغییر در همه ارتفاعات و دشت یکسان نبوده است. از سوی دیگر، تغییر رژیم بارش از باران به برف، به دلیل شدت سرما و طول فصل سرد، باعث شده بود تا این مقدار بارش به صورت یخبرف بر روی دامنه‌ها و در داخل دره‌ها برای هزاران سال باقی‌مانده و منجر به پیدایش و حرکت مورن‌های یخچالی شود.

تعیین خط برفمرز گذشته، با توجه به موقعیت ارتفاعی سیرک‌های یخچالی، و تعیین خط تعادل آب و یخ، امکان محاسبه تغییرات دمایی لازم برای پدید آوردن چنین شرایطی را به ما داد. میزان تفاوت دمایی در اوج دوره سرد نزدیک به ۱۱ درجه برآورد شد که نسبت به ارقام تخمین‌زده شده توسط بوبک [2] و بروکس [25] به مراتب بیشتر است اما با محاسبات روانشاد پدرامی [5] برای سایر نقاط ایران کاملاً همخوانی دارد. به عنوان مثال خط برفمرز معرفی شده در مقاله بروکس [25] برای شیرکوه مابین ۳۳۰۰ تا ۳۴۰۰ متر برآورد شده بود، در حالی که مطالعه حاضر برفمرز قدیمی دوره سرد را در ارتفاع ۲۹۰۰ متری نشان می‌دهد. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که میزان تغییرات دمای دوره سرد، همزمان با عصر یخچالی وورم در اروپا، به مراتب بیشتر از نتایجی بوده

Archive of SID

www.SID.ir

است که در مقالات و کتاب‌های رایج جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی و ژئومورفولوژی ایران مطرح شده است [به عنوان مثال: 1,7,13]. از طرفی نتایج حاصله این پژوهش در مورد تغییر دما به نتایج به‌دست آمده توسط روانشاد پدرامی [5] نزدیک‌تر است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از راهنمایی‌های مفید دکتر محمدحسین رامشت (دانشگاه اصفهان) و دکتر سیدعلی المدرسی (دانشگاه آزاد اسلامی یزد) و نیز از کارکنان محترم اداره هواشناسی استان یزد، آقایان منوچهر فرودی، ناصر هدشی و سیدعلی طباطبایی، جهت استفاده از داده‌های آماری هواشناسی صمیمانه تشکر می‌نماییم.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. المدرسی، سید علی (۱۳۸۴)، هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز سخوید یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

۲. بروکس، یان. ای (۱۳۷۷)، ژئومورفولوژی اقلیمی ایران (قسمت اول: شواهد ژئومورفولوژیک دگرگونی‌های اقلیمی ایران در بیست هزار سال گذشته)، ترجمه خورشیددوست، علی، رشد جغرافیا، شماره ۴۷، ص ۱۰؛

۳. جداری عیوضی، جمشید (۱۳۷۸)، ژئومورفولوژی ایران، چ چهارم، دانشگاه پیام‌نور تهران، ۱۰۶ صفحه؛

۴. حاج ملاعلی، عبدالعظیم و مجیدی‌فرد، محمودرضا (۱۳۷۹)، نقشه یک‌صد هزارم یزد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران؛

۵. رامشت، محمدحسین و نعمت اللهی، فاطمه (۱۳۸۴)، آثار یخساری در ایران، فصلنامه مدرس، دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس تهران؛

۶. رامشت، محمدحسین (۱۳۸۵)، نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، چاپ دوم، انتشارات سمت، تهران، ص ۱۹۰؛

۷. رامشت، محمدحسین (۱۳۸۱)، آثار یخچالی زفره، گزارش نهایی طرح پژوهشی، گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان؛

۸. رامشت، محمدحسین (۱۳۸۲)، دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، جلد پانزدهم، شماره ۱و ۲، صص ۳۸-۱۳؛

۹. رواقی، ف (۱۳۷۹)، آثار یخچالی در حوضه آبی طرق، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

۱۰. شوشتری، ن (۱۳۸۲)، آثار یخچالی سلفچگان، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

۱۱. طالبی، محمدرضا (۱۳۸۰)، آثار یخچالی در زفره اصفهان، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

۱۲. گزارش بررسی و شناسایی هیدرولوژی حوضه معرف فخرآباد یزد، واحد پژوهش سازمان آب و فاضلاب منطقه‌ای یزد، ۱۳۷۰؛

۱۳. محمودی، فرج‌الله (۱۳۶۷)، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۲۳، صص ۳۵-۵؛

۱۴. مغیث، مرضیه (۱۳۸۱)، آثار یخچالی حوضه آبی هنجن، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

Archive of SID

www.SID.ir

۱۵. مهرشاهی، داریوش (۱۳۸۲)، تغییر شرایط طبیعی کویر اردکان یزد، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۸، مشهد، ص ۸۳-۱۰۰؛

۱۶. مهرشاهی، داریوش (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی دشت ابراهیم‌آباد مهریز و ارتفاعات حاشیه آن، نشریه جغرافیا، انجمن جغرافیایی ایران. شماره ۳، صص ۱۲۵-۱۴۵؛

۱۷. نبی‌طالبی، سهراب (۱۳۷۹)، هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز سردخانه خراب، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

۱۸. نعمت‌اللهی، فاطمه (۱۳۸۲)، یخسارهای ایران مرکزی، رساله کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد؛

19. Bobek, H: Die Rolle der Eiszeit in Nordwestiran. Z.F. Gletscherk, 1937, p.130-183 (خلاصه انگلیسی) ;
20. Bobek, H: Nature and Implications of Quaternary Climatic Changes in Iran. Proceeding of the Rome symposium on climate changes (UNESCO and WMO), 1963, p.403-413;
21. Hagedorn, H; Haars, W; Busche, D and Grunert, J: Some geomorphological observations from the Shir Kuh mountains area. Geography (Journal of the Association of Iranian Geographers), 1978, V.1, No.2, P.10-19;
22. Krinsley, D.B: A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran. Air Force Cambridge Research Lab, USA, 1970;
23. Krinsley, D.B: The Paleoclimatic significance of the Iranian playas. In: "E.M. Van Zinderen Bakker (Editor)", Palaeoecology of Africa and Surrounding Islands. 1972, V.6, p.114-121;
24. Pedrami, M: Pleistocene Glaciation and Paleoclimate in Iran. Proceeding of the INQUA Conference. Geological Survey of Iran, 1982, p. 1-70;
25. Van Zeist, W and Wright, H.E: Preliminary pollen studies at Lake Zeribar, Zagros Mountains, Southwestern Iran. Science, 1963, V.140, p.65-67.

Archive of SID

www.SID.ir