فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی ـ پژوهشی)، دورهٔ ٤، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۷
ص ۲۱۵-۲۳۳

ارزیابی آنومالی‌های حرارتی و برودتی بین زمان حال و دورهٔ سرد یخچالی پلیوـ پلئیستوسن با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (نمونهٔ موردی: حوضهٔ آبریز کذابـ یزد)

محمد شریفی پیچون*؛ دکتری ژئومورفولوژی، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد
فاطمه زارع؛ کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد
کاظم طاهری‌نژاد؛ کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۲

چکیده

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند در پلئیستوسن آب‌وهوای کرهٔ زمین دستخوش تغییرات متوالی شده؛ به گونه‌ای که گاه با کاهش دما و احتمالاً افزایش بارش‌ها یخچال‌ها پیش‌رَوی و با افزایش دما یا کاهش بارش‌ها یخچال‌ها پس‌رَوی کرده‌اند. در این پژوهش، با استفاده از آمار دما در ایستگاه‌های کنونی و نقشهٔ رقومی ارتفاعی، نقشهٔ هم‌دمای حال حاضر تهیه شد. در ادامه، بر پایهٔ آثار ژئومورفیک یخچال‌ها، مانند آثار سیرک‌ها و دره‌های یخچالی و مورن‌های برجای‌مانده، با دو روش رایت و پورتر، برف‌مرزهای دائمی پلئیستوسن بازسازی و بر مبنای آن و همچنین همبستگی بین دما و ارتفاع نقشهٔ هم‌دمای زمان گذشته ترسیم شد. یافته‌ها حاکی از کاهش درجهٔ حرارت در گذشته در منطقه به مقدار ۱۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد است. میانگین سالیانهٔ حداقل دما در ارتفاعات ٤٫٤- درجه برآورد شد. با کاهش دما عمدهٔ بارش‌ها به شکل برف بوده و زبانه‌های یخی بزرگی شکل گرفته که تا ارتفاع حدود ۱۷۵۰ متر، یعنی خط هم‌دمای ۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد، پایین می‌آمده است. تفاوت‌های دمایی همچنین افزایش گرادیان دمایی، بیش از ۰٫۸ درجهٔ سانتی‌گراد، در آن دوره را نشان می‌دهد. حجم و ارتفاع بالای شیرکوه و جهت دامنه‌ها در محل استقرار و پایین آمدن خطوط برف‌مرز و تعادل آب و یخ اثر داشته است.

کلیدواژگان: تغییر دما، تغییر رطوبت، حوضهٔ آبریز کذاب، یخچال‌های پلئیستوسن.

مقدمه

تغییرات محیطی و به‌ویژه تغییرات اقلیمی از موضوعات مورد توجه محققان در بسیاری از علوم در نیم قرن اخیر است. ژئومورفولوژی از علومی است که این‌گونه تغییرات را بر مبنای آثار برجای‌مانده روی ژئوفرم‌ها دنبال می‌کند. آثار باقی‌ماندهٔ لندفرم‌های گذشته نشان می‌دهد شرایط آب‌وهوایی بارها دستخوش تغییر و تحول شده و به دنبال آن شرایط جغرافیایی و از جمله ژئومورفیک نیز تغییر یافته است (پدرامی ۱۳۶۷). با توجه به اینکه تحولات اقلیم، به‌خصوص تحولات اقلیمی دوران چهارم، چهرهٔ زمین را به طور جدّی دستخوش تغییر کرده است، شناسایی و ردیابی آثار این تحولات برای ژئومورفولوژیست‌ها مهم است. یکی از شواهد مهم تغییر و تحول اقلیمی دوران چهارم آثار یخچال‌های طبیعی باقی‌مانده از

* رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: mscharifi@yahoo.com

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

این دوره است (عبدی و رامشت ۱۳۹۱: ۶۵). مطالعهٔ یخچال‌ها راهنمایی مناسب برای پی بردن به تغییرات اقلیمی گذشته و پیش‌بینی آینده است. ازین‌رو، اگرچه تغییرات آب‌وهوایی پدیده‌ای جهانی است، روند و آثار این پدیده در مقیاس‌های محلی متفاوت است و باید به بررسی این تغییرات در مقیاس محلی بیشتر توجه شود (شارما و شاکیا ۲۰۰۶: ۳۲۲). در واقع، امروزه با رخداد گرم شدن زمین این‌گونه مطالعات اهمیتی ویژه پیدا کرده‌اند و آثار ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی یکی از ابزارهای بارز پژوهش در زمینهٔ تغییرات اقلیم گذشته است و نتایج این پژوهش‌ها می‌تواند در بررسی روند تغییرات اقلیمی در آینده نیز مورد توجه قرار گیرد (بروک[1] و همکاران ۲۰۰۸: ۲۴). به سخن دیگر، تحولات اقلیمی دوران چهارم اولین بار از روی آثار مورفولوژیکی یخچال‌ها در اروپا شناخته شد و بعدها شواهد مربوط به این پدیده و نتایج دیگر آن در نقاط دیگر کرهٔ زمین بررسی شد (المدرسی ۱۳۸۴: ۳۰). ازین‌رو، مطالعات گسترده‌ای در سطح جهان در این زمینه، به‌ویژه در چند دههٔ اخیر، انجام گرفت که مهم‌ترین آن‌ها در ادامه می‌آید.

بنتلی[2] و همکاران (۲۰۰۷: ۶۴۵) در بررسی زمین‌ریخت‌شناسی و یخچال‌های جنوب شرق گرجستان نشان دادند گسترش یخچال‌ها، به دلیل تغییرات تدریجی و آرام آب‌وهوا، کاهش یافته و مرزهای یخچالی جابه‌جا شده‌اند. ناپیرالسکی و همکاران[3] (۲۰۰۷) مطالعات وسیعی در زمینهٔ لندفرم‌های یخچالی، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، انجام دادند و روند گسترش و عقب‌نشینی یخچال‌ها را بررسی کردند. خیانگ[4] و همکاران (۲۰۱۳: ۹۲) در پژوهشی به بررسی اقلیم گذشته و آثار یخچال‌ها در درهٔ تاشکورگان[5] در شمال غرب فلات تبت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در مقایسه با امروز درجهٔ حرارت در این دره ۵ تا ۸ درجه کمتر و بارش حدود ۳۰ تا ۷۰ درصد کمتر بوده است و از این نظر فلات تبت اقلیمی سرد و خشک داشته است. برندا[6] و همکاران (۲۰۱۳: ۵۰) در مطالعاتی که روی آثار یخچال‌های طبیعی کلریدا داروین در امریکای جنوبی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افت یخچال‌های طبیعی در جنوب امریکای جنوبی سریع صورت گرفته و این عقب‌نشینی هم‌زمان با افت یخ‌ها در جنوب امریکا و نیوزیلند بوده که دلایل آن می‌تواند نوسان‌های سطح دریای شیلی و افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفر باشد. خیانگ و همکاران (۲۰۱۴: ۱۹) مطالعاتی روی درهٔ یین‌پو[7] در فلات تبت شرقی انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که حجم یخ در درهٔ یین‌پو در سه مرحلهٔ متوالی یخچالی، با ارتفاع خط تعادل (ELA) ۱٫۶۵ و ۱٫۰۳ و ۰٫۲۹ کیلومتر مکعب، کاهش یافته و مقدار آن به ترتیب به ۵۰۰ و ۴۱۰ و ۱۵۰ متر رسیده است. همچنین با ارزیابی و بازسازی‌های اقلیم گذشته دریافتند دما در حدود ۵٫۹–۴، ۳٫۷–۳٫۴، ۰٫۶–۰٫۳ و مقدار بارش به ترتیب ۸۰–۴۰، ۱۰۰–۸۰، ۱۱۰–۱۰۰ درصد کاهش یافته است. اقلیم در سه مرحلهٔ گسترش و پیش‌روی یخچالی تخمین زده شده است که به طور کلی در توافق با سایر گزارش‌های به‌دست‌آمده از نتایج مدل‌سازی فلات تبت و گردش اتمسفری است. هندریکس[8] و همکاران (۲۰۱۵: ۱۵۷) در کوه‌های شمالی اتیوپی مطالعاتی انجام دادند و به این

1. Brook
2. Bentleya
3. Napieralski
4. Xiangke
5. Tashkurgan
6. Brenda
7. Yinpu
8. Hendrickx

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

نتیجه رسیدند که کمربند یخچالی و جنب یخچالی حدود ۶۰۰ متر نسبت به زمان حال پایین‌تر بوده است. همچنین، در آخرین دورهٔ سرد درجهٔ حرارت در حدود ۶ درجهٔ سانتی‌گراد کمتر از زمان حال بوده است.

در مورد گسترش و پیش‌رَوی یخچال‌ها و تغییرات اقلیمی کواترنر در ایران نیز مطالعات تقریباً خوبی، به‌ویژه در یک دههٔ گذشته، انجام گرفته است. با وجود این، دیدگاه‌های متفاوتی دربارهٔ اختلاف دما و بارش زمان حال و کواترنر ارائه شده است. برخی تفاوت دمایی ۰ تا ۶ درجه و برخی دیگر افت دمایی ۸ تا ۱۲ درجه را اعلام کرده‌اند (نعمت‌اللهی ۱۳۸۲: ۳۱). رایت (۱۹۶۱: ۱۵۰) در کوه‌های کردستان گرادیان دمایی ۰٫۶۸ درجهٔ سانتی‌گراد را به‌ازای هر ۱۰۰ متر برای این منطقه به دست آورد و بر این اساس ارتفاع برف‌مرزها را در این منطقه ۱۸۰۰ متر تخمین زد و اعلام کرد دما حدود ۱۲ درجه کمتر از زمان حال بوده است. بوبک و شوایتزر ارتفاع برف‌مرز در دوره‌های سرد پلئیستوسن را حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر پایین‌تر از حد امروز می‌دانند (جداری عیوضی ۱۳۷۴: ۷۴ ـ ۷۵). اهلرز مرز برف دائم را در پلئیستوسن ۲۰۰ متر پایین‌تر از آنچه بوبک و شوایتزر اعلام کردند می‌داند (اهلرز ۱۳۷۲: ۱۰۷). بدیهی است در همهٔ نواحی ایران میزان تفاوت یا آنومالی حرارتی نسبت به حال یکسان نبوده است. ولی نکتهٔ مهم آن است که (حداقل در ایران مرکزی) آنومالی‌های حرارتی تابعی از ارتفاع محیطی بوده است (طالبی ۱۳۸۱: ۸۰). پدرامی مرز برف‌های دائمی را در دورهٔ وورم در البرز مرکزی در حدود ۲۲۰۰ متر و یمانی حد گسترش این یخچال‌ها را در دامنه‌های شمالی علم‌کوه و تخت‌سلیمان ۲۸۰۰ متر و در دامنه‌های جنوبی آن ۳۱۰۰ متر برآورد می‌کند (یمانی ۱۳۸۳: ۱۵). کمترین برآورد تفاوت دمای متوسط سالیانه برای ایران در عصر یخچالی بین ۵ تا ۶ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است. بوبک دمای متوسط سالیانهٔ ایران را ۵ تا ۶ درجهٔ سانتی‌گراد کمتر از حد فعلی برآورد کرده است. ولی این اعداد برای برخی مناطق بسیار بیشتر از ارقام برآوردی بوبک است. زیرا بوبک برآوردهای خود را بر نقاطی خاص معطوف کرده است و اگر افت آهنگ دما برای ارتفاعات بیشتر در نظر گرفته شود، استنباط می‌شود که نقاط مرتفع‌تر به طور قطع سردتر از آن بوده‌اند که بوبک برآورد کرده است (نعمت‌اللهی و رامشت ۱۳۸۴). معیری و همکاران (۱۳۸۷: ۱۱۰) در مطالعات خود در محدودهٔ حوضهٔ صفاشهر (استان فارس) نشان داده‌اند که این منطقه نه‌تنها دوبرابر امروز در کواترنر بارش داشته، بلکه دمای آن نیز ۸ درجهٔ سانتی‌گراد کمتر از متوسط فعلی بوده است. رفیعی (۱۳۸۸: ۹۸)، با بررسی آثار یخچال‌ها در ارتفاعات کهک و حوضهٔ آبریز رود بیدهندمی، ارتفاع خط برف‌مرز را به روش رایت ۲۶۷۲ متر برآورد کرده است. با در نظر گرفتن خط تعادل آب و یخ (۱۵۲۰ متر) در عصر حاکمیت یخچال‌ها میزان دمای متوسط سالیانه ۹ درجهٔ سانتی‌گراد سردتر از امروز بوده و میزان بارش نیز ۱٫۵ برابر زمان حال بوده است. رامشت و کاظمی (۱۳۸۶: ۳) با بررسی تغییرات اقلیمی در منطقهٔ اقلید فارس، با فرض افت دمایی ۰٫۸۵ برای هر ۱۰۰ متر ارتفاع، میزان تغییرات دما را ۱۰ درجه و تغییرات رطوبت را حدود ۱٫۵ برابر امروز به دست آوردند.

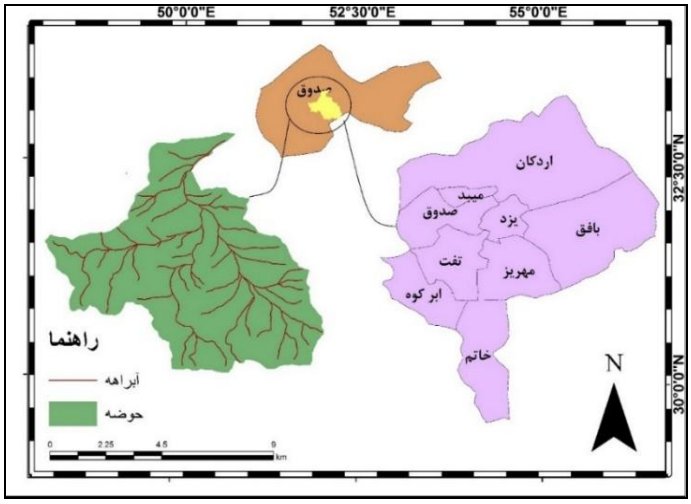
در زمینهٔ تغییرات محیطی و اقلیمی ناحیهٔ یزد تحقیقات محدودی انجام شده است. درحالی‌که، استان یزد، در مرکز فلات مرکزی ایران، دربردارندهٔ بخش مهمی از شواهد اقلیمی ـ محیطی، به‌خصوص در نواحی کوهستانی و دشت‌های مجاور آن‌ها، است (هاگه دورن و همکاران ۱۹۷۸؛ مهرشاهی ۱۹۹۹). المدرسی (۱۳۸۴: ۳۱) در بررسی‌های خود در حوضهٔ سخوید ـ یزد دریافت که از نظر اقلیمی این منطقه ۸ درجه نسبت به گذشته افزایش دما داشته است. از نظر او میزان بارش گذشته حدود ۱٫۴ برابر امروز و خط تعادل آب و یخ منطقه در ارتفاع ۲۳۵۰ متر بوده و محدودهٔ یخچالی از ارتفاع

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

۳۲۲۰ متری آغاز می‌شده است. بقایی‌نیا و مهرشاهی (۱۳۸۷: ۱۹۱) در مطالعات خود در حوضهٔ فخرآباد نشان دادند افت ادیاباتیک دما در این منطقه حدود ۰٫۵۳۹ درجه برای هر ۱۰۰ متر ارتفاع بوده و بر این اساس میانگین دما در دوران سرد حدود ۱۱ درجه سردتر از میانگین دمای کنونی و بارش متوسط در مقاطع ارتفاعی متفاوت بین ۱٫۸ تا ۳ برابر بیشتر از میانگین کنونی بوده است. شریفی و فرح‌بخش (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان «بررسی آنومالی‌های حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک» به این نتیجه دست یافتند که دما در حدود ۱۳ درجه سردتر از اکنون بوده است و مقدار بارش سالیانه نیز در گذشته ۱۷۶٫۵۲ میلی‌متر نسبت به میانگین امروز بیشتر بوده است. به‌علاوه، خط تعادل آب و یخ معادل ۴٫۸ درجه بوده و در ارتفاع ۱۵۶۰ متری واقع شده است. محققان ایرانی در حدود یک دههٔ گذشته مطالعات دیگری در زمینهٔ تغییرات اقلیمی و آثار یخچال‌های گذشته انجام داده‌اند که از آن‌ها می‌توان به پژوهش یمانی و همکاران (۱۳۸۶) در کوه‌های کرکس، افشاری‌آزاد و پورصبا (۱۳۸۸) در دامنه‌های شمالی کوه سیالان، بیگلو و همکاران (۱۳۹۳) در حوضهٔ جاجرود، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) در شمال غربی زاگرس اشاره کرد که همگی تغییرات دمایی و رطوبتی در ایران در عصر پلئیستوسن را تأیید می‌کنند. اما در مقادیر این تغییرات اختلاف گاه چشمگیری دیده می‌شود. این پژوهش نیز با هدف برآورد تغییرات اقلیمی کواترنر در بخشی از ایران مرکزی (حوضهٔ آبریز کذاب در غرب یزد) با استفاده از شواهد و شاخص‌های ژئومورفیک برجای‌مانده از عصر پلئیستوسن و مقایسهٔ آن با مطالعات دیگر در مناطق مختلف ایران انجام گرفته است.

محدوده و قلمرو پژوهش

منطقهٔ کذاب از نظر موقعیت جغرافیایی در محدودهٔ ۵۹ ۵۱ °۳۱ تا ۷ °۳۲ عرض شمالی و ۱۴ ۵۲ °۵۳ تا ۷ ´ °۵۴ طول شرقی با ارتفاع متوسط ۲۳۲۴ متر در جنوب شرق شهرستان میبد و جنوب غرب شهر یزد واقع شده است. کمترین ارتفاع آن ۱۷۳۲ متر در شمال منطقهٔ مورد مطالعه و بیشترین ارتفاع آن ۲۹۱۶ متر در جنوب منطقه قرار دارد. مساحت این حوضه در حدود ۴۷ کیلومتر مربع است (شکل ۱).



شکل ۱. نقشهٔ موقعیت جغرافیایی حوضهٔ کذاب

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بیشتر بر مبنای بررسی‌های میدانی و پیمایش‌های زمینی است و با استفاده از شواهد و آثار ژئومورفولوژیک برجای‌مانده شرایط اقلیمی دوره‌های گذشتهٔ زمین‌شناسی و تغییرات آن نسبت به زمان حال بررسی می‌شود. با وجود این، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، عکس‌های هوایی، نقشهٔ رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۲۰ متر، آمار و داده‌های اقلیمی (دما و بارش حال)، و همچنین نرم‌افزارهای Excel و GIS و سامانهٔ GPS استفاده شد. برای بررسی شرایط اقلیمی موجود منطقه از اطلاعات هشت ایستگاه باران‌سنج، سه ایستگاه کلیماتولوژی، و سه ایستگاه سینوپتیک منطقه کمک گرفته شد (جداول ۱ تا ۳). با استفاده از داده‌های اقلیمی این ایستگاه‌ها، ابتدا نقشهٔ هم‌دمای حال حاضر ترسیم و بر حسب همبستگی بین دما و ارتفاعْ گرادیان حرارتی حوضهٔ مورد مطالعه تعیین شد. سپس، با بررسی آثار سیرک‌های یخچالی گذشته در منطقه و مشخص کردن آن‌ها روی نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، به کنترل آن‌ها روی زمین و تعیین دقیق‌تر موقعیت آن‌ها با استفاده از سامانهٔ GPS اقدام شد. بر حسب مشخصات این سیرک‌ها و دو روش رایت و پورتر خط برف‌مرز دائمی پلئیستوسن مشخص شد. در ادامه، با مطالعات میدانی، خط تعادل آب و یخ، یعنی جایی که زبانه‌های یخچالی گذشته تا آنجا پایین می‌آمده‌اند، بر حسب آثار یخ‌رفت‌های انتهایی، تعیین شد. در نهایت، بر پایهٔ این شاخص‌های ژئومورفیک و نقشه‌های هم‌دمای کنونی، نقشهٔ هم‌دمای گذشته ترسیم شد و بر اساس این نقشه‌ها مقدار تغییرات اقلیمی منطقه به دست آمد. به طور مفصل‌تر مراحل کار را می‌توان در دو بخش الف) محاسبهٔ داده‌های اقلیمی و نحوهٔ تهیه و ترسیم نقشهٔ هم‌دمای حال و گذشته و ب) نحوهٔ به دست آوردن خطوط برف‌مرز و تعادل آب و یخ دسته‌بندی کرد که در ادامه می‌آید.

الف) محاسبهٔ داده‌های اقلیمی و نحوهٔ تهیه و ترسیم نقشهٔ هم‌دمای حال و گذشته

۱. برای ترسیم نقشه‌های هم‌دمای حال، ابتدا از آمار اقلیمی موجود ایستگاه‌های حوضه و ایستگاه‌هایی که در نزدیکی منطقهٔ مورد مطالعه قرار دارند استفاده شد. بدین ترتیب، آمارهای بیست و شش سال (۱۳۷۰ ـ ۱۳۹۶) سه ایستگاه سینوپتیک و سه ایستگاه کلیماتولوژی منطقه، که اطلاعات مشترک داشتند، تحلیل شد (جداول ۲ و ۳). سپس، با ایجاد یک رابطهٔ خطی ساده بین آن‌ها، یعنی (y=a+bx)، رابطهٔ ۱ برای محاسبهٔ دمای کنونی حوضه مشخص شد:

رابطهٔ ۱ $T = -0.00 + 263H + 7$

در رابطهٔ ۱، T دما و H ارتفاع است که با محاسبهٔ آن در اکسل ضریب همبستگی $R = 0/832$ به دست آمد. بر این اساس، با اعمال رابطهٔ ۱ در محیط ArcGIS نقشهٔ هم‌دمای منطقه در زمان حال ترسیم شد (شکل ۵).

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

جدول ۱. ایستگاه باران‌سنجی

باران‌سنج	طول	عرض	ارتفاع	بارندگی
کذاب	۵۳٫۸۸	۳۱٫۸۶	۲۰۶۵	۱۵۰
صدرآباد ندوشن	۵۴٫۰۶	۳۲٫۰۴	۲۰۷۰	۱۱۳٫۲
خمسیان	۵۳٫۲۵	۳۲٫۰۹	۱۸۵۲	۱۰۰
شمسی	۵۴٫۰۶	۳۲٫۰۵	۱۱۴۰	۵۴٫۰۳
سورک ندوشن	۵۳٫۲۵	۳۲٫۰۹	۱۹۸۴	۱۰۵٫۷۶
هامانه	۵۳٫۸۸	۳۱٫۸۵	۱۹۶۰	۱۷۰٫۶
خودسلفی	۵۳٫۷۵	۳۱٫۸۱	۲۵۳۰	۲۱۶٫۲۳
قوام‌آباد	۵۴٫۰۶	۳۱٫۸۱	۱۷۶۰	۱۲۰

جدول ۲. ایستگاه کلیماتولوژی

ایستگاه کلیماتولوژی	طول	عرض	ارتفاع	بارندگی	دما
اشکذر	۲۵٫۵۴	۳۲	۱۱۴۰	۴۷٫۰۵	۲۰٫۰۱
خضرآباد	۵۳٫۵۷	۳۱٫۰۵	۱۶۳۷	۹۷٫۱۸	۱۹٫۹۸
ندوشن	۵۳٫۳۳	۳۲٫۰۲	۱۹۵۰	۸۱٫۰۵	۱۵٫۰۲

جدول ۳. ایستگاه سینوپتیک

ایستگاه سینوپتیک	طول	عرض	ارتفاع	بارندگی	دما
یزد	۵۴٫۲۸	۳۱٫۹	۱۲۳۰	۴۲٫۱۲	۲۱
اردکان	۵۴٫۰۱	۳۲٫۱۹	۱۱۰۴	۵۹٫۰۱	۲۱٫۴۵
میبد	۵۳٫۹۶	۳۲٫۲۱	۱۱۰۹	۴۶	۲۰٫۰۲

۲. پس از بررسی شرایط کنونی دمای منطقه، شرایط دما در گذشته بازسازی شد. در واقع، بر اساس خط برف‌مرز در دورهٔ سرد، که با دو روش رایت و پورتر محاسبه و مشخص شد که در ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متر قرار می‌گرفته، و با بهره‌گیری از رابطهٔ ۲ نقشهٔ میانگین دما در دورهٔ سرد ترسیم شد:

رابطهٔ ۲ $TP=(HS-H)*.65/100$

در رابطهٔ ۲، Tp دمای پلئیستوسن، HS ارتفاع خط برف‌مرز، و H ارتفاع منطقه به متر با ضریب همبستگی ۰٫۸۹ است. بدین ترتیب، از همبستگی ارتفاع و دما رابطه‌ای به دست آمد که این رابطه در سیستم اطلاعات جغرافیایی از ارتفاع خط برف‌مرز دائمی کم شد و نقشهٔ هم‌دمای گذشته ترسیم شد.

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

ب) تعیین خط برف‌مرز به دو روش رایت و پورتر

برای تعیین خط برف‌مرز دائمی در منطقهٔ مورد مطالعه، ابتدا نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر گوگل‌ارث، و نقشهٔ رقومی دیجیتالی بررسی و تحلیل شد و بر اساس این منابع سیرک‌های منطقه مشخص شد. سپس، با استفاده از سامانهٔ GPS موقعیت و ویژگی‌های این سیرک‌ها در روی زمین به شکل دقیق‌تر کنترل شد. در ادامه با استفاده از دو روش رایت و پورتر خط برف‌مرز دائمی مشخص و ترسیم شد.

روش رایت

در روش رایت، اختلاف ارتفاع سیرک‌ها محاسبه و با استفاده از رابطهٔ ۳ خط برف‌مرز دائمی تعیین می‌شود (وان‌زایست و رایت ۱۹۶۳):

$$\text{خط برفمرز} = \text{ارتفاع بالا ترین سیرک} - \left(\frac{60 * (\text{ارتفاع پایین ترین سیرک} - \text{ارتفاع بالاترین سیرک})}{100}\right)$$

رابطهٔ ۳

روش پورتر

پورتر (۲۰۰۱) پنج شاخص ژئومورفیک را برای تعیین خط برف‌مرز دائمی پیشنهاد کرده است که بر اساس مطالعات اولیه و تجربه مشخص شد سه روش ایشان برای منطقهٔ مورد مطالعه قابل استفاده و نتایج آن قابل قبول است؛ شامل ۱. روش ارتفاع کف سیرک؛ ۲. روش نسبت ارتفاعی؛ ۳. روش نسبت مساحت تجمعی.

روش ارتفاع کف سیرک[1]

در این روش، برای تعیین برف‌مرز دائمی، پس از آماده‌سازی جدول طبقات ارتفاعی و مشخص کردن سیرک‌ها در محدودهٔ ترازهای ارتفاعی، از رابطهٔ ۴ برای محاسبهٔ نما یا مد استفاده می‌شود:

$$M_o = l + \left(\frac{f1}{f1+f2}\right) * h$$

رابطهٔ ۴

در رابطهٔ ۴، M_o حد پایین طبقهٔ نمادار، F1 تفاضل طبقهٔ ماقبل طبقهٔ نمادار از فراوانی طبقهٔ نمادار، F2 تفاضل طبقهٔ مابعد طبقهٔ نمادار از فراوانی طبقهٔ نمادار، و h ارتفاع دو طبقهٔ ارتفاعی است.

روش نسبت‌های ارتفاعی[2]

در این روش، از راه میانگین محدودهٔ ارتفاعی پایانهٔ زبانهٔ یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقهٔ مورد نظر خط برف‌مرز مشخص می‌شود:

$$\frac{Ah+At}{2}$$

رابطهٔ ۵

1. Cirque-floor method
2. Accumulation-area ratio (AAR)

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

روش نسبت مساحت تجمعی[1]

در این روش، ابتدا برف‌مرز اولیه با استفاده از روش نسبت ارتفاعی مشخص می‌شود. سپس، خطوط منحنی میزان (۱۰۰ متری) سطح یخچالی مشخص و مساحت بین دو منحنی متوالی (به فاصلهٔ ۱۰۰ متری) اندازه‌گیری و برای ایجاد منحنی تجمعی استفاده می‌شود که به شکل گرافیکی مساحت یخچال را به نسبت توزیع ارتفاعی نمایش می‌دهد. با فرض ثابت بودن نسبت مساحت تجمعی ۶۵/۰ از ارتفاعات بالادست، برف‌مرز ممکن است از سطح گرافیکی تعیین شود. سپس، در جدول ۷ مساحت‌های تجمعی ترازهای ارتفاعی به شکل درصد نوشته و نمودار آن ترسیم می‌شود. خطی که حوالی ۰/۶۵ مساحت قلمرو یخچال‌های گذشته را بپوشاند برف‌مرز در نظر گرفته می‌شود.

یافته‌های پژوهش

توزیع سیرک‌های منطقه و تحلیل آن

بر اساس نقشه‌های توپوگرافی 1:50000 و تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات و برداشت‌های میدانی و با استفاده از دستگاه GPS، بیست و هشت سیرک بزرگ و کوچک در منطقهٔ پژوهشی شناسایی شد که بین ارتفاع ۲۰۲۴ تا ۲۶۵۰ متر پراکنده شده‌اند (شکل ۲ و جدول ۴). همان‌طور که از جدول پیداست، اغلب سیرک‌ها در ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متر قرار گرفته‌اند (جدول ۵).

جدول ٤. موقعیت دقیق سیرک‌ها برحسب طول و عرض جغرافیایی

نقاط	جهت	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	شمال غرب	۲۰۲۴	۵۳ ۸۶ ۱۸	۳۱ ۸۵ ۷۳
۲	شمال غرب	۲۲۲۴	۵۳ ۸۶ ۲۲	۳۱ ۸۵ ۰۸
۳	شمال غرب	۲۰۷۲	۵۳ ۸۷ ۲۲	۳۱ ۸۴ ۹۴
۴	غرب	۲۵۰۲	۵۳ ۸۵ ۰۸	۳۱ ۸۴ ۸۵
۵	غرب	۲۶۳۹	۵۳ ۸۲ ۸۹	۳۱ ۸۴ ۱۶
۶	غرب	۲۳۱۵	۵۳ ۸۴ ۲۷	۳۱ ۸۳ ۷۰
۷	غرب	۲۳۵۶	۵۳ ۸۵ ۶۸	۳۱ ۸۳ ۰۱
۸	غرب	۲۶۳۷	۵۳ ۸۳ ۵۶	۳۱ ۸۲ ۶۱
۹	جنوب غرب	۲۶۰۴	۵۳ ۸۴ ۳۹	۳۱ ۸۲ ۳۲
۱۰	جنوب غرب	۲۶۵۰	۵۳ ۸۵ ۵۸	۳۱ ۸۲ ۳۷
۱۱	جنوب	۲۴۰۳	۵۳ ۸۷ ۱۳	۳۱ ۸۱ ۴۴
۱۲	جنوب	۲۴۶۹	۵۳ ۸۷ ۵۱	۳۱ ۸۱ ۲۵
۱۳	جنوب	۲۳۰۰	۵۳ ۸۷ ۷۲	۳۱ ۸۲ ۸۷
۱۴	جنوب	۲۴۴۱	۵۳ ۸۸ ۲۰	۳۱ ۸۲ ۵۸

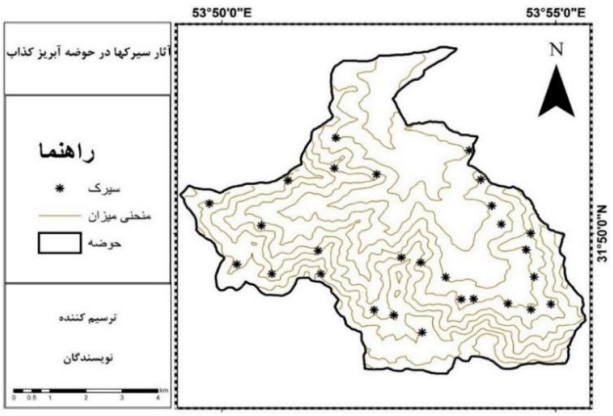
1. altitude ratio method

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

۱۵	جنوب	۲۲۰۱	۵۳ ۸۸ ۸۴	۳۱ ۸۲ ۲۳
۱۶	جنوب	۲۲۲۱	۵۳ ۸۸ ۷۹	۳۱ ۸۲ ۲۵
۱۷	جنوب شرق	۲۳۰۲	۵۳ ۸۹ ۲۰	۳۱ ۸۱ ۷۳
۱۸	جنوب شرق	۲۲۲۷	۵۳ ۸۹ ۶۳	۳۱ ۸۱ ۷۸
۱۹	جنوب شرق	۲۲۶۹	۵۳ ۹۰ ۴۴	۳۱ ۸۱ ۶۱
۲۰	جنوب شرق	۲۲۸۵	۵۳ ۹۱ ۰۱	۳۱ ۸۱ ۴۹
۲۱	جنوب شرق	۲۳۷۸	۵۳ ۹۱ ۴۱	۳۱ ۸۱ ۶۱
۲۲	شرق	۲۳۴۱	۵۳ ۹۱ ۰۸	۳۱ ۸۲ ۳۲
۲۳	شرق	۲۳۴۳	۵۳ ۹۰ ۸۶	۳۱ ۸۳ ۰۱
۲۴	شرق	۲۳۱۳	۵۳ ۹۰ ۹۸	۳۱ ۸۳ ۴۷
۲۵	شرق	۲۱۳۰	۵۳ ۹۰ ۲۲	۳۱ ۸۳ ۷۰
۲۶	شرق	۲۱۳۷	۵۳ ۹۰ ۰۱	۳۱ ۸۴ ۱۸
۲۷	شمال شرق	۲۱۱۵	۵۳ ۸۹ ۷۰	۳۱ ۸۴ ۸۷
۲۸	شمال شرق	۲۰۲۹	۵۳ ۸۹ ۴۸	۳۱ ۸۵ ۶۵

جدول ۵. چگونگی توزیع سیرک‌های یخچالی در حوضهٔ کذاب

درصد فراوانی	تعداد سیرک	ارتفاع بر حسب متر
۱۰,۷	۳	۲۰۰۰–۲۱۰۰
۱۰,۷	۳	۲۱۰۰–۲۲۰۰
۲۱,۴	۶	۲۲۰۰–۲۳۰۰
۲۸,۵	۸	۲۳۰۰–۲۴۰۰
۱۰,۷	۳	۲۴۰۰–۲۵۰۰
۳,۵	۱	۲۵۰۰–۲۶۰۰
۱۴,۲	۴	۲۶۰۰–۲۷۰۰



شکل ۲. موقعیت سیرک‌های یخچالی در منطقهٔ کذاب

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

شکل ۳. دو نمونه از آثار سیرک‌های یخچالی حوضهٔ آبریز کذاب در دامنه‌های شرقی کوه هامانه در ارتفاع ۲۳۰۰ متری

نتایج محاسبات برای تعیین خط برف‌مرز به دو روش مختلف

روش رایت

برحسب روش رایت، خط برف‌مرز در منطقهٔ کذاب در دورهٔ سرد در ارتفاع حدود ۲۲۷۴ متر قرار می‌گرفته است. بنـابراین، در سردترین دورهٔ حاکم در منطقه سطوح بالاتر از ارتفاع ۲۲۷۴ متر احتمالاً از برف پوشیده و داخل سـیرک‌هـا یـخ‌هـایی پرحجم انباشته می‌شده است. زیرا دمای متوسط سالیانهٔ این خط صفر درجهٔ سانتی‌گراد بوده است.

روش پورتر

برای مشخص کردن خط برف‌مرز در منطقهٔ کذاب، از سه روش پورتر نیز استفاده شد؛ شامل ۱. روش ارتفاع کف سیرک؛ ۲. روش نسبت ارتفاعی؛ ۳. روش نسبت مساحت تجمعی.

روش ارتفاع کف سیرک

بر اساس رابطهٔ ۶، ارتفاع کف سیرک محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۶ می‌آید.

جدول ٦. توزیع فراوانی سیرک‌های یخچالی در طبقات ارتفاعی حوضهٔ کذاب

تعداد سیرک	ارتفاع بر حسب متر
۳	۲۰۰۰–۲۱۰۰
۳	۲۱۰۰–۲۲۰۰
۶	۲۲۰۰–۲۳۰۰
۸	۲۳۰۰–۲۴۰۰
۳	۲۴۰۰–۲۵۰۰
۱	۲۵۰۰–۲۶۰۰
۴	۲۶۰۰–۲۷۰۰

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

رابطهٔ ۶

$$M_{۲۲۰۰-۲۳۰۰} = ۲۲۰۰ + \left(\frac{(۲۲۰۰-۶)}{(۲۲۰۰-۶)+(۲۳۰۰-۶)}\right) * ۱۰۰ = ۲۲٤۸/۸۸$$

$$M_{۲۳۰۰-۲٤۰۰} = ۲۳۰۰ + \left(\frac{(۲۳۰۰-۸)}{(۲۳۰۰-۸)+(۲٤۰۰-۸)}\right) * ۱۰۰ = ۲۳٤۸/۹$$

روش نسبت‌های ارتفاعی

در این روش ابتدا از راه میانگین محدودهٔ ارتفاعی پایانهٔ زبانهٔ یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقهٔ مورد نظر خط برف‌مرز مشخص می‌شود (رابطهٔ ۷).

رابطهٔ ۷ خط برف مرز = $\frac{۲۶۶۰ + ۱۸۲۲}{۲} = ۲۲۴۱$

با توجه به محاسبه‌های انجام‌گرفته، خط برف‌مرز در ارتفاع ۲۲۴۱ متری مشخص شد.

روش نسبت مساحت تجمعی

با توجه به بررسی‌ها و محاسبات انجام‌گرفته، همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در ستونِ درصد تجمعی میزان ۵۷٫۲۱۱ در طبقهٔ ارتفاعی بین ۲۱۰۰ ـ ۲۲۰۰ قرار گرفته است. میانگین بین دو ارتفاع (۲۱۵۰) خط برف‌مرز برآورد شده است.

جدول ۷. مساحت‌های تجمعی بین طبقات ارتفاعی

طبقه‌بندی ارتفاعی	مساحت به کیلومتر	مساحت به درصد	درصد تجمعی n
۲۶۰۰ -۲۷۰۰	۲,۸۷۷	۶,۱۰۴	۶,۱۰۴
۲۵۰۰ – ۲۶۰۰	۳,۶۵۱	۷,۷۴۸	۱۳,۸۵۲
۲۴۰۰ – ۲۵۰۰	۴,۵۷۹	۹,۷۱۷	۲۳,۵۶۹
۲۳۰۰ – ۲۴۰۰	۴,۷۲۲	۱۰,۰۲۱	۳۳,۵۹
۲۲۰۰ – ۲۳۰۰	۵,۱۱۹	۱۰,۸۶۳	۴۴,۴۵۳
۲۱۰۰ – ۲۲۰۰	۶,۰۱۲	۱۲,۷۵۸	۵۷,۲۱۱
۲۰۰۰ – ۲۱۰۰	۶,۳۷۴	۱۳,۵۲۷	۷۰,۷۳۸
۱۹۰۰ – ۲۰۰۰	۶,۵۸۶	۱۳,۹۷۷	۸۴,۷۱۵
۱۸۰۰ – ۱۹۰۰	۷,۲۰۳	۱۵,۲۸۵	۱۰۰

خط تعادل آب و یخ

یکی از راه‌های اصلی مشخص کردن سرد یا خشک بودن آب‌وهوای گذشته در ارتفاعات بازسازی ارتفاع خط تعادل آب و یخ

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

با استفاده از آثار یخچال‌های کوهستانی اواخر پلئیستوسن است (پرنتیس[1] و همکاران ۲۰۰۵). اگرچه خط برف‌مرز دائمی اغلب در ارتفاعات بالا تعیین می‌شود، خط تعادل یخ همواره به پایین‌تر از این خط کشیده می‌شود و جریان یخ داخل دره‌های یخچالی قادر است در برخی موارد صدها متر پایین‌تر از خط برف دائمی حرکت کند و تا نقطه‌ای که زبانهٔ یخی تحت تأثیر دمای بالا ذوب نمی‌شده پایین بیاید. آن نقطه را خط یا نقطهٔ تعادل آب و یخ در نظر می‌گیرند که تحت تأثیر مقدار و رژیم بارش و تغذیهٔ سیرک‌ها در بالادست، جهت دامنه، شیب و ارتفاع حوضه، و فرم درهٔ یخچالی قرار دارد. بنابراین ارتفاع این نقطه در مناطق مختلف متفاوت است. اغلب خط تعادل آب و یخ را بر پایهٔ آثار ژئومورفیک هم کاوشی هم تراکمی مشخص می‌کنند. در روش تراکمی، که روشی مشخص‌تر و رایج‌تر است، منطقه‌ای را که مورن‌های انتهایی یا به‌اصطلاح سنگ‌های سرگردان در آن قابل مشاهده باشد خط تعادل آب و یخ در نظر می‌گیرند. اما در روش کاوشی فرم درهٔ یخچالی مد نظر قرار می‌گیرد؛ یعنی تا نقطه‌ای که دره شکل عریض و حالت Uشکل خود را حفظ کرده است جزء قلمرو یخی گذشته قلمداد می‌کنند و نقطه‌ای را که فرم دره به طور ناگهانی تغییر می‌کند یا دره قطع و رها می‌شود خط تعادل آب و یخ در نظر می‌گیرند. بر این اساس، با پژوهش‌های انجام‌گرفته دربارهٔ منطقهٔ کذاب مشخص شد، بر حسب روش اول، خط تعادل آب و یخ در منطقه در سه ارتفاع حدود ۱۷۵۰ و ۱۸۵۰ و ۲۱۷۰ متری قرار می‌گرفته است (شکل ۴) که معادل دمای ۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد محیطی در گذشته تلقی می‌شود. در واقع، بر اساس نقشهٔ هم‌دمای دوران پلئیستوسن حوضهٔ کذاب می‌توان گفت خط دمای ۳٫۲ درجهٔ متوسط سالیانه در این حوضه در ابتدای کذاب قرار دارد که بالادست دشت یزد ـ اردکان است.

شکل ٤. نمایی از یخ‌رفت‌ها در حوضهٔ آبریز کذاب در درهٔ هامانه از ارتفاع ۲۲۵۰ تا ۲۳۲۰ متری

شرایط اقلیمی دورهٔ کواترنر در منطقه

برای بررسی شرایط اقلیمی دوران کواترنر در حوضهٔ آبریز کذاب، از آثار ژئومورفیک برجای‌مانده از گذشته و همچنین داده‌های اقلیمی کنونی استفاده شد. برای این مهم، ابتدا باید مقدار دما و بارش زمان گذشته را بازسازی و سپس تغییرات

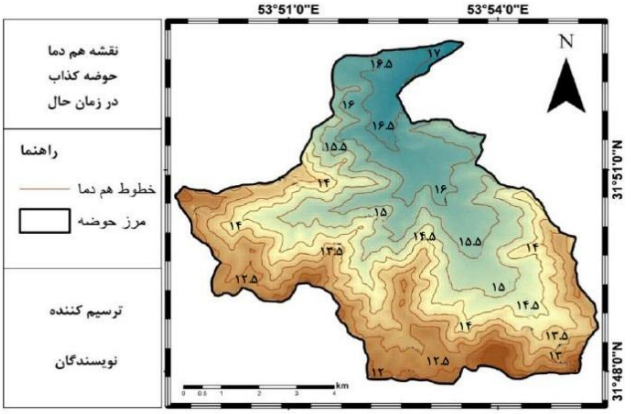
1. Prentice

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

دمایی و بارشی منطقه را بر پایهٔ برف‌مرز در ارتفاعات بالا و یخ‌رفت‌های انتهایی در ارتفاعات پایین و همچنین همبستگی دما و رطوبت با ارتفاع را، چه در حال حاضر چه در گذشته، مشخص کرد که این شرایط و نحوهٔ بازسازی اقلیم گذشته به طور مفصل در ادامه می‌آید.

دمای کنونی محیط منطقه

برای ترسیم نقشه‌های هم‌دمای حال، ابتدا همبستگی بین ارتفاع و متوسط دمای سالیانه بین شش ایستگاه اطراف منطقه، با استفاده از رابطهٔ خطی، گرفته شد. با اعمال این رابطه در محیط ArcGIS، نقشهٔ هم‌دمای منطقه برای حال حاضر ترسیم شد (شکل ۵). بر اساس محاسبه‌های انجام‌گرفته، به‌ازای افزایش ۱۰۰ متر ارتفاع در محدودهٔ پژوهش افت آهنگ دما در حدود ۰٫۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد برآورد شد. این نقشه مقدار متوسط دما را در زمان حال در حوضهٔ کذاب نشان می‌دهد که مقدار آن از ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد در ارتفاعات (جنوب شرق) تا ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد به سمت دشت متغیر است.

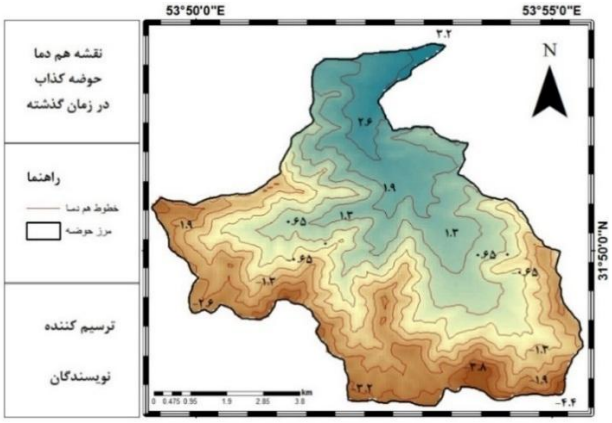


شکل ۵. نقشهٔ هم‌دمای حوضهٔ کذاب در زمان حال، نقشهٔ جدید بر اساس داده‌های اقلیمی جدید

بازسازی شرایط دمای محیط در کواترنر

بر اساس رابطهٔ ۳ و پردازش آن در ArcGIS (با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ) نقشهٔ هم‌دمای گذشته (کواترنر) بازسازی و ترسیم شد (شکل ۶). نتایج ارزیابی نقشهٔ رقومی هم‌دمای متوسط سالیانه در دورهٔ گذشته نشان می‌دهد در ارتفاعات دما به کمترین مقدار خود، یعنی ۴٫۴- درجهٔ سانتی‌گراد، رسیده و در بخش خروجی حوضه، که کم‌ارتفاع‌ترین بخش منطقه است، به ۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد.

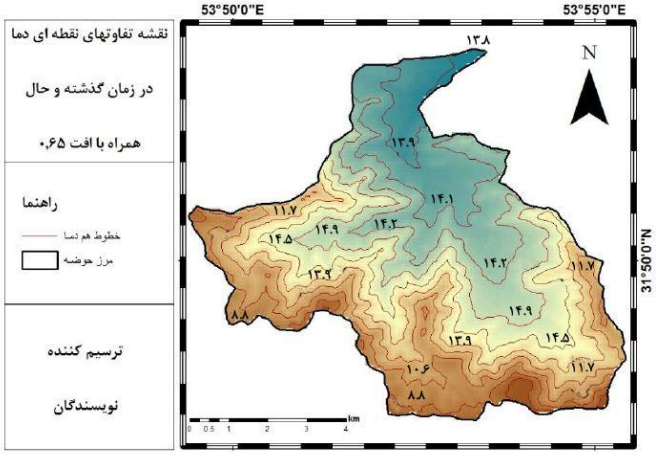
[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]



شکل ٦. نقشهٔ هم‌دمای متوسط سالیانهٔ حوضهٔ کذاب در پلئیستوسن نقشهٔ جدید

مقایسهٔ شرایط دمایی حال و گذشتهٔ منطقه (تغییرات دمایی)

مقایسهٔ دمای گذشته و حال را تغییرات دما در نظر می‌گیرند. با توجه به میانگین دمای متوسط سالیانهٔ شش ایستگاه انتخابی موجود و بر حسب رابطهٔ دمای حال حاضر با ارتفاع و همچنین دمای گذشته با ارتفاع، که رابطهٔ مستقیم و همبستگی معنادار با هم دارند، و با فرض ثابت بودن این رابطه در دوره‌های گذشته، مقدار تغییرات دمایی با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ در سیستم اطلاعات جغرافیایی برآورد شد (شکل ۷). بدین ترتیب، از مقایسهٔ شکل‌های ۴ و ۵ مقدار تغییرات دمایی به نسبت گذشته محاسبه و نقشهٔ آن ترسیم شد (شکل ۷). همان‌طور که از نقشه پیداست، مقدار تغییر دمای حوضه به طور میانگین ۱۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد است و کمترین تفاوت در حوالی شرق و غرب ارتفاعات حوضه و تا حدودی مرکز دره دیده می‌شود. قابل ملاحظه است که در قسمت ابتدای دشت مقدار تغییر ۱۳٫۸ درجهٔ سانتی‌گراد است و در ارتفاعات این مقدار به ۸٫۸ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد.



شکل ۷. نقشهٔ تفاوت نقطهٔ دما در دورهٔ حاکمیت یخچال‌ها و زمان حال (افت دمایی ۰/٦۳ درجهٔ سانتی‌گراد)، نقشهٔ جدید با داده‌های جدید

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

بحث و نتیجه‌گیری

در نیم قرن اخیر، تغییرات محیط و به‌ویژه تغییر اقلیم همواره مورد توجه محققان و اندیشمندان سراسر جهان بوده است. ژئومورفولوژیست‌ها نیز در سراسر جهان در این زمینه پژوهش‌های مختلفی انجام داده و نتایج درخور توجهی به دست آورده‌اند. آن‌ها اغلب بر لندفرم‌های موجود و آثار سیستم‌های اقلیمی گذشته روی آن‌ها و در برخی موارد تغییرات رسوب‌شناسی تمرکز کرده‌اند و بر این اساس به بازسازی شرایط اقلیمی گذشته در مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند. در این تحقیق نیز، بر مبنای آثار لندفرم‌های اقلیم گذشته و فرایندهایی که این لندفرم‌ها را به وجود آورده‌اند، اقلیم گذشته بازسازی شد. از این نظر، در منطقهٔ خشک ایران مرکزی با بارش‌های سالیانهٔ حدود ۱۰۰ میلی‌متر و البته میانگین دمایی حدود ۱۵ تا ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد لندفرم‌هایی شکل گرفته‌اند که از دماهای پایین‌تر و بارش‌های احتمالاً بیشتر حکایت دارند. با بررسی‌های میدانی در حوضهٔ آبریز کذاب آثار لندفرم‌های یخچالی مشاهده شد؛ که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: ۱. سیرک‌ها؛ ۲. دره‌های یخچالی Uشکل؛ ۳. انواع مورن‌ها. بر اساس آثار سیرک‌ها و مورن‌های انتهایی و همچنین روش‌های رایت و پورتر، خط برف‌مرز دائمی و خط تعادل آب و یخ برای دورهٔ پلئیستوسن تعیین شد. بر حسب خطوط به‌دست‌آمده و با محاسبهٔ میزان افت آدیاباتیک دما و گرادیان بارش، برحسب همبستگی بین دما و ارتفاع و همچنین همبستگی بارش و ارتفاع، ابتدا بر اساس داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی منطقه نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش برای حال حاضر ترسیم شد. در ادامه، بر پایهٔ خط برف‌مرز و خط تعادل آب و یخ گذشته و همچنین روش‌های رایت و پورتر و بر پایهٔ مطالعات رامشت و همکاران (۱۳۹۰) و یمانی و همکاران (۱۳۹۳) و سیف و همکاران (۱۳۹۴) و شریفی و فرح‌بخش (۱۳۹۴) و همچنین بر حسب نقشهٔ هم‌دمای حال حاضر، نقشهٔ هم‌دمای پلئیستوسن حوضهٔ مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۶). سپس، میزان تغییرات حرارتی حال حاضر به نسبت پلئیستوسن برآورد شد. بر اساس تحلیل‌های آماری و تعیین خط هم‌دمای صفر درجهٔ گذشته، که خط برف‌مرز دائمی را نشان می‌دهد، مشخص شد خط برف‌مرز دائمی کواترنر نسبت به خط تعادل آب و یخ در ارتفاع بالاتری قرار می‌گرفته است. در واقع، خط مرز برف دائمی در ارتفاع حدوداً ۲۲۰۰ تا ۲۳۰۰ متر واقع می‌شده است؛ درحالی‌که خط تعادل آب و یخ تا ارتفاع حدود ۱۷۵۰ متری پایین می‌آمده است. این نتایج با اکثر مطالعاتی که در ایران مرکزی در زمینهٔ خطوط برف‌مرز و خط تعادل آب و یخ انجام گرفته است ـ مانند المدرسی و همکاران در سخوید یزد، که ارتفاع برف‌مرز را ۳۲۲۰ متر و خط تعادل آب و یخ را ۲۳۵۰ متر برآورد کرده‌اند، و یمانی و همکاران در کرکس، که ارتفاع برف‌مرز را ۳۰۰۰ متر و خط تعادل آب و یخ را ۲۵۰۰ متر محاسبه کردند، و سیف و همکاران، که ارتفاع برف‌مرز را ۲۸۳۶ متر و خط تعادل آب و یخ را ۲۱۰۹ متر برای محدودهٔ سایت ریگ برآورد کرده‌اند ـ تفاوت‌های چشمگیری دارد.

با توجه به این خطوط و بر حسب افت آهنگ دما، که مقدار ۰٫۶۳ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع برآورد شد، و نیز نقشه‌های هم‌دمای حال و گذشته میزان متوسط تفاوت دمای فعلی با گذشته در این منطقه ۱۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد برآورد شد. این مقدار تغییر دما نیز تفاوتی چشمگیر با دیگر مطالعات در ایران مرکزی دارد. مثلاً، رامشت و همکاران در حوضهٔ تیگرانی دمای گذشته را ۸٫۵ درجه سردتر برآورد کرده‌اند. ایشان در زفره کاهش ۹ درجه‌ای و در اقلید فارس کاهش ۱۰ درجه‌ای را تخمین زده‌اند. مهرشاهی در حوضهٔ فخرآباد یزد به کاهش ۱۱ درجه‌ای دما در کواترنر رسید.

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

رفیعی در ارتفاعات کهک این مقدار را ۹ درجه برآورد کرد. ابطحی در حوضهٔ دریاچهٔ نمک این مقدار را ۵٫۶ درجه، یمانی برای ارتفاعات کرکس ۱۰ تا ۱۲ درجه، و المدرسی دمای ۸ درجه را برای سخوید یزد تخمین زده‌اند. همچنین، بررسی‌ها نشان داد خط تعادل آب و یخ در منطقهٔ مورد مطالعه معادل خط هم‌دمای ۳٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد در گذشته بوده و در ارتفاع ۱۷۵۰ متری واقع شده است. این مرز نیز با مطالعات دیگران تفاوت‌های قابل توجهی دارد. مثلاً، در اقلید فارس رامشت و همکاران خط تعادل آب و یخ را در ارتفاع ۲۳۵۰ متر در نظر گرفته‌اند، رفیعی ارتفاع ۱۵۲۰ متر را برای ارتفاعات کهک لحاظ کرده است، و المدرسی و همکاران در منطقهٔ سخوید یزد خط تعادل آب و یخ را ۲۳۵۰ متر برآورد کرده‌اند. اما با مطالعهٔ شریفی و فرح‌بخش در حوضهٔ خضرآباد شباهت بیشتری دارد که این خط را در ارتفاع ۱۵۶۰ متر در نظر گرفته‌اند. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که تفاوت‌های عمده‌ای بین این مطالعه با مطالعات دیگران در ایران مرکزی وجود دارد که با فرض درستی روش و نقشه‌ها و داده‌های به‌کاررفته و دقت در اندازه‌گیری‌ها می‌توان آن را با ویژگی‌های ارتفاعی و حجم زیاد شیرکوه ـ که سبب برف‌گیری زیاد در دامنه‌های آن می‌شده است ـ و همچنین جهت دامنهٔ حوضهٔ مورد مطالعه (غرب و شمال غرب شیرکوه) و تفاوت‌های سنگ‌شناسی مرتبط دانست. به‌علاوه، می‌توان احتمال داد ویژگی‌های ارتفاعی شیرکوه پرفشارهای حاکم بر ایران مرکزی را تشدید می‌کرده و در نتیجه دمای پایین‌تری را متحمل می‌شده است.

منابع

المدرسی، سید علی (۱۳۸۴). «هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز سخوید»، پایان نامهٔ کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: محمدحسین مبین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد.

اهلرز، اکارت (۱۳۷۲). *ایران: مبانی کشورشناسی جغرافیایی*، ج ۱، جغرافیای طبیعی، ترجمهٔ محمدتقی رهنمایی، تهران، مؤسسهٔ جغرافیایی و کارتوگرافی سحاب.

ایرانی، جمال (۱۳۷۹). «دریاچهٔ زریوار از نگاهی دیگر»، *رشد و آموزش جغرافیا*، ش ۵۴، صص ۳۸ ـ ۴۴.

افشاری‌آزاد، محمدرضا و آیدا پورصبا (۱۳۸۸). «بررسی اشکال یخچالی و حدود گسترش آن در دامنه‌های شمالی کوه سیالان»، *جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای*، ش ۱۳، صص ۲۸۴ ـ ۳۰۰.

بقایی‌نیا، علی‌رضا (۱۳۸۷). «بازسازی تغییرات اقلیمی دوران چهارم با استفاده از شواهد هیدروژئومورفولوژی در حوضهٔ آبی فخرآباد (شیرکوه یزد)»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: دکتر داریوش مهرشاهی، گروه جغرافیای دانشگاه یزد.

بیگلو، محمدجعفر و مجتبی یمانی، احمد عباس‌نژاد، محمد زمان‌زاده، سمیه زهاب‌ناظوری (۱۳۹۳). «بازسازی برف‌مرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان بیدخوان (استان کرمان)»، فصل‌نامهٔ علمی ـ پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، س ۱۲، ش ۴۰.

پدرامی، منوچهر (۱۳۶۷). «سن مطلق کواترنر»، مجلهٔ دانشکدهٔ علوم، ش ۴ و ۳، ج ۱۷.

جداری عیوضی، جمشید (۱۳۷۴). *ژئومورفولوژی ایران*، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

رامشت، محمدحسین و محمدمهدی کاظمی (۱۳۸۶). «آثار یخچالی در حوضهٔ اقلید فارس»، *رشد آموزش جغرافیا*، د ۲۱، ش ۴، صص ۳ ـ ۱۱.

رفیعی، غلامرضا (۱۳۸۸). «آثار یخچالی طبیعی کهک»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: دکتر محمدحسین رامشت، دانشگاه

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

اصفهان، گروه جغرافیا.

زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۵). *ژئومورفولوژی ایران (فرآیندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی)*، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی، ج ۲.

شریفی، محمد و زهرا فرح‌بخش (۲۰۱۵). «بررسی آنومالی‌های حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک (مورد مطالعه: حوضهٔ خضرآباد ـ یزد)»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷ (۴)، صص ۵۸۳ ـ ۶۰۵.

شریفی پیچون، محمد و زهرا فرح‌بخش (۱۳۹۶). «بررسی مواریث ژئوفرم‌های یخچالی کواترنر و تغییرات سیستم‌های مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک در حوضهٔ خضرآباد ـ یزد»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ش ۲۷، صص ۱۹ ـ ۴۰.

شمسی‌پور، علی‌اکبر و سجاد باقری سیدشکری، مریم جعفری‌اقدم، جبار سلیمی‌منش (۱۳۹۴). «بازسازی برف‌مرزهای آخرین دورهٔ یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (منطقهٔ موردی: تاقدیس قلاجه)»، *جغرافیا و توسعه*، ش ۳۹، صص ۶۱ ـ ۷۴.

طالبی، حمیدرضا (۱۳۸۱). «بررسی آثار یخچالی در زفرهٔ اصفهان»، استاد راهنما: دکتر محمدحسین رامشت، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد، گروه جغرافیا.

عبدی، صمد و محمدحسین رامشت (۱۳۹۱). «ردیابی آثار یخچالی کواترنر در حوضهٔ آبی رودخانهٔ بوانات»، *سپهر*، د ۲۱، ش ۸۲، صص ۶۴ ـ ۷۰.

معیری، مسعود و محمدحسین رامشت، مسعود تقوایی، محمدمهدی تقی‌زاده (۱۳۸۷). «مواریث یخچالی در حوضهٔ صفاشهر استان اصفهان»، مجلهٔ پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، ج ۳۲، ش ۴، صص ۱۰۹ ـ ۱۳۰.

محمودی، فرج‌الله (۱۳۶۷). «تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ش ۲۳، صص ۵ ـ ۴۳.

مهرشاهی، داریوش (۱۳۸۹). «یافته‌های علمی شواهد فعالیت‌های یخچالی در ارتفاعات خارج از محدودهٔ شیرکوه»، *رشد آموزش جغرافیا*، ش ۴، صص ۱۰ ـ ۱۱.

نعمت‌اللهی، فاطمه (۱۳۸۲). «آثار یخساری در ایران»، نشریهٔ دانشکدهٔ علوم انسانی تبریز، ش ۳.

یمانی، مجتبی (۱۳۸۳). «ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، س ۳۴، ش ۴۲، تهران، مؤسسهٔ جغرافیایی دانشگاه تهران، صص ۱ ـ ۱۸.

یمانی، مجتبی و جمشید جداری عیوضی، ابوالقاسم گورابی (۱۳۸۶). «شواهد ژئومورفولوژیکی مرزهای یخچالی در دامنه‌های کرکس»، *مدرس علوم انسانی*، ش ۱۱، پیاپی ۵۰، صص ۲۰۷ ـ ۲۲۸.

Abdi, S. & Ramesht, M. G. (2012). Glacier traces of Quaternary Glaciers in the Boanat Basin, Sepehr, Vol. ۲۱, Issue ۸۲, pp. 64-70.

Afshari Azad, M. & Poursaba, A. (2009). Studding of glaciers morphology and its spreading in the north Slopes of Sabalan mountain, Geography and regional development, No. 13, pp. 284-300.

Almodaresi, A. (2005). Hydrogeomorphology of Sakhvid Basin (Yazd Province) M. S. Thesis, Supervisor: Ramesht, M. H., Najafabad Azad University, Department of Geography.

Baghaiynia, A. (2008). Renovation of Climate Change in the Quaternary using hydrogeomorphology evidence in the Fakhrabad Basin, M. S thesis, Supervisor: Mehrshahi, D., Yazd University, Department of Geography.

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

Bentleya, M. J., D. J. A. Evansa, C. J. Fogwillb, J. D. Hansomc, D. E. Sugdenb & P. W. Kubikd (2007). "Glacial geomorphology and chronology of Deglaciation, South Georgia, sub-Antarctic", Quaternary ScienceReviews, No. 26, pp. 644-677.

Brenda, L. H.; Charles, T., Porter, George, H. D., Thomas, V., Lowell, Gordon, R. M. Bromley (2013). Extensive recession of Cordillera Darwin glaciers in southernmost South America during Heinrich Stadial, Quaternary Science Reviews, Vol. 62, pp. 49-55.

Brook, M., Kirkbride, M., & Brock, B. (2008). Temporal constraints on glacial valley cross profile evolution: Two Thumb Range, central Southern Alps, New Zealand, Geomorphology, Vol. 97, pp. 24-34.

Ehlerz, E. (1993). Iran: the foundation of Geographic Country Studies, vol. 1, Natural geography, translated by Rahnamaiy, M. T., Sahab Publication Tehran.

Farahbakhsh, Z. (2014). Hydrogeomorphology of Khezrabad Basin with emphasizing glacier evidences, M. S. Thesis, Supervisor: Sharifi, M., Yazd University, Department of Geography.

Hagedorn, H., Haars, W., Busche, D., & Grunert, j. (1978). "Some geomorphological observations from the Shirkuh, mountains area", Journal of the Association of Iranin Geographers. Vol. 1, pp. 10-15.

Hendrickx Hanne, Jacob, Miro, Frankl, Amaury, Nyssen Jan. (2015). Glacial and periglacial geomorphology and its paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed geomorphological map, Geomorphology, Vol. 246, pp. 156-167.

Jedari Eyvazi, J. (2004). Iran Geomorphology, Payamnoor University Publication.

Mahmoudi, F. (1988). The evolution of topographic of Iran in Quaternary, Geographical researches, No. 23, pp. 5-39.

Mehrshahi, D. (2010). Finding of evidence of Glaciers activities in the mountain of Shirkuh, Roshd Geography Teaching, No 14, pp. 10-11.

Moayeri, M., Ramesht, M. H., Taghvaiy, M., & Taghizadeh, M. M. (2008). Glacier Traces in the basin of Safashar of Esfahan, Resaerch magazine of Esfahan University, 32, No. 4, pp. 109-130.

Napieralski, J., Harbor, J., & Yingkui, L. (2007). "Glacial geomorphology and geographic information systems", Earth-Science Reviews, No. 85, pp. 1-22.

Napieralski, Jacob, Jon Harbor & Li Yingkui (2007). "Glacial geomorphology and geographic information systems", Earth-Science Reviews, No. 85, pp. 1-22.

Pedrami, M. (1991). Geology of Quaternary and Paleoclimate of Arac Region (Mayghan Playa) Internal report of Iran Geology Organization.

Porter, S. C. (2001). Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation, Quaternary Science Reviews 20, 1067-1091.

Prentice, M., Hope, G., Maryunani, K., & Peterson, J. (2005). An evaluation of snowline data across New Guinea during the last major glaciation, and area-based glacier snowlines in the Mt. Jaya region of Papua, Indonesia, during the Last Glacial Maximum, Quaternary International, Vol. 138-139, pp. 93-117.

Rafiy, Gh. R. (2009). Traces of Kahak Glacier, thesis for M. S., Supervisor: Ramesht, M. H., Esfahan University, Department of Geography.

Ramsht, M. H. & Kazemi, M. H. (2002). Traces of glacier in the Eghlid basin, growth Journal of Geography Education, Vol. 21 closed, Issue 4, pp. 9, Tehran.

Shamsipour, A. A., Sajad Bagheri, S. S., Jafariaghdam, M., & Salimimanesh, J. (2015). Reconstruction of the last glacial snow lines by the evidence of glacial periods in Nort West Zagros (Case study: Anticline Galajeh), Vol. 13, Issue 39, pp. 61-74.

Sharifi, m. & Farahbakhsh, Z. (2016). Investigation about temperature and humidity anomalies between pleistocene and present times; reconstruction of climate condition using geomorphic evidence (case

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]

study: khezrabad-yazd). Physical Geography research Quaterly, Vol. 47, Issue 4, pp. 583-605.

Sharifi, P. M. & Farahbakhsh, Z. (2017). study of Quaternary landform traces of the glacier and changes in morphoclimatic and morphodynamic systems in Khezrabad basin-Yzad, Geography and environmental planning; in press.

Sharma, R. H. & N. Shakya. M. (2006). Hydrological changes and its impact on water resources of Bagmati watershed, Nepal, Journal of Hydrology. Vol. 327, Issues 3-4, pp. 315-322.

Talebi, H. R. (2002). glacial evidence of the Zefreh, M. S thesis, Supervisor: Ramesht, M. H. , Azad University of Najafabad, department of Geography.

Wright, H. E. Jr. (1961). Pleistocene glaciation in Kurdistan, Eiszeitaller und Gegenwart 12, pp. 131-164

Xiangke, X., Gang Hu, Baojin Qiao (2013). Last glacial maximum climate based on cosmogenic 10Be exposure ages and glacier modeling for the head of Tashkurgan Valley, northwest Tibetan Plateau.Original Research Article Quaternary Science Reviews, Volume 80, 15 November 2013, Pages 91-101.

Xiangke, X. (2014). Climates during Late Quaternary glacier advances: glacier-climate modeling in the Yingpu Valley, eastern Tibetan Plateau, Quaternary Science Reviews, Vol. 101, pp. 18-27.

Yamani, M. (2007). The Geomorphological Traces of Glaciers Boundaries in Karkas Mountains, Human science Modares, 11 .No. 1, pp. 207-228.

Yamani, M. (2001). Geomorphology of Alamkoh Glaciers, Geography research Quarterly, No. 42, pp. 1-18.

Zeist, V. W. & Wright, H. E. (1963). Preliminary Pollen Studies at Lake Zeribar, Zagros Mountains, Southwestern Iran, Science, Vol. 140, Issue 3562, pp. 65-67.

[Downloaded from journal.iranqua.ir on 2023-02-22]