



# ردیابی آثار یخچالی کوتاه‌تر در حوضه آبی رودخانه بوانات

صمد عبدی

کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)

دکتر محمد حسین رامشت

استاد ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

## چکیده

با توجه به اینکه تحولات اقلیم بخصوص تحولات اقلیمی دوران چهارم همواره چهره زمین را دستخوش تغییر کرده است شناسایی و ردیابی آثار این تحولات مقوله‌ای مهم برای ژئومورفولوژیست‌ها محسوب می‌شود. یکی از مهمترین شواهد تغییرات و تحولات اقلیمی دوران چهارم وجود آثار یخچال‌های طبیعی باقی مانده از این دوره می‌باشد.

در این مقاله به شناسایی و ردیابی آثار یخچالی در حوضه آبریز رودخانه بوانات پرداخته شده و ضمن شناسایی و معرفی آثار یخچالی عهد چهارم در این منطقه با روش‌های معمول ژئومورفولوژی به بازسازی شرایط محیطی در سردترین فاز یخچالی پرداخته و رابطه تعادل آب و یخ گذشته منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. براین اساس در حوضه مورد مطالعه میزان دمای متوسط سالیانه حدود ۹/۶ درجه سانتیگراد سردتر از امروز بوده و میزان بارش از ۱/۲ برابر در ارتفاعات تا ۱/۸ برابر در مناطق کم ارتفاعتر حوضه بیشتر بوده که این شرایط زمینه را برای فعالیت یخچال‌ها فراهم می‌کرده است. همچنین با توجه به شواهد ژئومرفیک در منطقه مانند سیرک‌های یخچالی، دره‌های یخچالی<sup>۲</sup> و دره‌های معلق<sup>۱</sup> وجود آثار یخچالی در این حوضه به اثبات رسیده است.

نتایج این پژوهش به اثبات آثار یخچالی در حوضه منجر شده که این امر زمینه را برای مطالعات آب و خاک و همچنین آمایش سرزمین در آینده فراهم می‌کند. واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، خط مرز برف دائمی، سیرک یخچالی، دره یخچالی، دره معلق.

## مقدمه

تغییرات اقلیمی برای بسیاری از علوم به عنوان یک موضوع جذاب شناخته می‌شود. در این میان ژئومورفولوژی با دیدگاه معرفت‌شناسی خاصی به این پدیده می‌اندیشد.

در ژئومورفولوژی، از یک طرف واحدها و فرم‌ها مانند کوه و جلگه، دشت و ساحل،... مورد بررسی قرار می‌گیرد و از طرفی دیگر فرایندهایی که سبب تشکیل چنین فرم‌هایی می‌شوند، مورد تحلیل واقع می‌گردند.

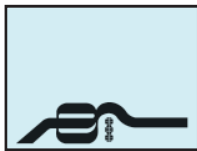
ماهیت فرایندهای شکل‌زای بیرونی، وابسته به شرایط اقلیمی حاکم بر هر زمان می‌باشد. تحولات اقلیمی همواره چهره زمین را دستخوش تغییر نموده است که در این میان تحولات اقلیمی دوران چهارم دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. چرا که در کوتاه‌ترین و کوتاه‌ترین دوره زمین‌شناسی می‌باشد، اقلیم کره زمین چندین بار دچار دگرگونی گشته و در نتیجه چهره زمین را دستخوش تغییر کرده است.

به طور کلی ریخت‌شناسان سعی بر آن دارند که تاثیر تغییرات اقلیمی را بر سیستم‌های فرسایشی مورد شناسایی قرار دهند. زیرا این تغییرات فرم‌هایی را در مدتی کوتاه یا در زمانی طولانی بر چهره زمین تحمیل کرده‌اند که بررسی آنها می‌تواند در بازسازی و درک محیط‌های اقلیمی گذشته محققین را یاری دهد.

نوسان‌های اقلیمی آنجا از اهمیت بالاتری برخوردار می‌گردند که بررسی محققین حکایت از آب و هوایی سردتر با شرایط یخچالی در گذشته در مکان‌هایی دارد که امروزه دارای اقلیمی معتدل یا گرم‌اند که این خود، بررسی و تحقیق بیشتر را در مکان‌های بررسی نشده طلب می‌کند. تحولات اقلیمی در دوران چهارم برای اولین بار از روی آثار ژئومورفیک یخچالی به دست آمده در اروپا شناخته شد. پس از آن مطالعات مربوط به دیرینه شناسی اقلیمی سراسر نقاط زمین را در برگرفت که ایران نیز از این امر مستثنی نبود. در ایران نیز مانند تمام نقاط خشک و نیمه خشک دنیا دوران کوتاه‌تر میراث خویش را در تمام زوایای پوسته زمین بر جای نهاده است.

در مورد تغییرات اقلیمی ایران در دوران‌های گذشته بخصوص دوران چهارم نیز دانشمندان زیادی چه در خارج چه در داخل اظهار نظر کردند. اما به طور کلی تاکنون تردیدهای زیادی در مورد تغییرات و تحولات در ایران از نظر اقلیمی وجود داشته و دارد که نتیجه آن نظریات و اعتقادات کم و بیش متفاوت و گاهی متناقض در این زمینه بوده است. مطالعات یخچال‌شناسی و بررسی یخبندان‌های دوران چهارم در ایران از اواخر قرن نوزدهم آغاز شد و اولین کسی که در مورد این پدیده در ایران به مطالعه پرداخت ژاک دومرگان فرانسوی در سال ۱۸۹۰ بود. وی سیرک‌های یخچالی قدیمی را در اشتران کوه (در ارتفاعی معادل ۳۸۰۰ متر) و در قلیان کوه (در ارتفاعی معادل ۲۴۴۰ متری) مطالعه کرد. اما آن چه با نام مطالعات تدوین شده و دقیق در ایران در مورد آثار مرفیک یخبندان‌های دوران چهارم در دست است، مدیون تلاش‌ها و مطالعات جدی هانس بویک در رشته کوه‌های البرز و در ارتفاعات کردستان (۱۹۳۳) و دزیو (۱۹۳۴) در زردکوه بختیاری است (جداری عیوضی - ۱۳۷۸). تدوین این گزارشات و یافته‌ها و نظریات بیان شده را در گزارش (۱۹۸۲) م. پدرا می‌توان ملاحظه کرد.

مطالعات دیگری را فیشر (۱۹۶۸) در کوه‌های البرز و قله علم کوه انجام داد. وی سیرک‌های یخچالی، طول و عرض و ارتفاع این سیرک‌ها، همچنین مسیر حرکت زبان‌های یخی آن‌ها را مورد مطالعه قرار داد. ژان درش نیز مطالعاتی را در روی یخچال علم کوه و تخت سلیمان انجام داده است. بویک با بررسی مورن‌های وورم در رشته کوه البرز و زاگرس آن را



شناخته شده یخچالی در ایران بر اساس مطالعات خود روی یخرفت‌های وورم اخیر (Late wurm) مرز برف دائمی را در دوره مذکور بازسازی کرده است. نظر وی با دانشمندان دیگر در پاره‌ای از موارد متفاوت است. استناد او در تعیین مرز برف استناد او در تعیین مرز برف دائمی به یخرفت‌هایی است که از یخبندان دوره وورم بر جای مانده است. احتمال دارد که مرز تعیین شده در همه جا با واقعیت تطبیق نکند ولی توجه به شواهد نشان می‌دهد که مرزهای تعیین شده توسط این محقق به حقیقت نزدیک‌تر است. به نوشته او بهترین منطقه برای مشاهده یخرفت‌های دوره وورم اطراف بانه است. وی همچنین به پائین آمدن یخرفت‌های دره ماسوله در جنوب غرب رشت که از آن وورم اخیر بوده و تا ارتفاع ۴۰۰ متری دریا پائین آمده اشاره دارد. پدرامی (۱۹۸۲) به آثار یخچالی در دره‌ای در جنوب کاشان اشاره دارد که یخرفت‌های جانبی آن به خوبی حفظ شده است.

دکتر محمد حسین رامشت نیز از دیگر محققینی است که طی تحقیقاتی که اخیراً (۱۳۸۱) در زمینه یخچال‌شناسی ایران مرکزی انجام داده است، یافته‌های دانشمندانی چون هاگه درن - کوهله را مورد تأیید قرار داده و با تکیه بر شواهد ژئومورفیک و آثار فرسایشی، یخچال‌ها را تا ارتفاع ۱۶۰۰ متری در چندین نقطه از ایران مرکزی از جمله زفره - شیرکوه و... مطالعه نموده و به پایین آمدن زبانه‌های یخی تا زمین‌های دشتی تأکید کرده است. تحقیقات این محقق علاوه بر یخچال‌های ایران در مورد یخسارهای (حرکت غیر متمرکز یخ) ایران مرکزی هنوز ادامه دارد.

فرج الله محمودی، حسن احمدی، جداری عیوضی، خیام، باباخانی از جمله دانشمندان و محققین دیگر ایرانی هستند که با مطالعه یخچال‌شناسی در ایران و تجزیه و تحلیل تحولات و وقایع دوران چهارم در ایران و استفاده از این پدیده‌ها تلاش‌های شایانی کرده‌اند (رامشت ۱۳۸۱).

دانشمندان خارجی دیگری نیز چون بروکس<sup>۱</sup>، سوگرن<sup>۲</sup>، دیدون<sup>۳</sup> و ژرمن لوم<sup>۴</sup> بر یخچال‌های زاگرس و البرز مطالعات شایان توجهی را ارائه کرده‌اند. در سالهای اخیر محققین جوان نیز اطلاعات جدیدی را در مورد یخچال‌های ایران انتشار داده‌اند و از آن جمله می‌توان کارهای مغیث (۱۳۷۹) رواقی (۱۳۷۹) طالبی (۱۳۸۰) و دلال اوغلی (۱۳۸۱) و... اشاره نمود.

### ترمینولوژی و متدولوژی

حرکت یخ در سطح زمین به دو صورت متمرکز (زبانه‌های یخی) و غیرمتمرکز (ورقه‌ای) عمل کرده است و برحسب این حرکات پدیده‌های متعددی به وجود آورده است. از جمله مهم‌ترین آثار یخچالی در کوهستان‌های ایران آثار سیرک‌های یخچالی است که از جمله آثار ژئومورفیک ایجاد شده در اثر حرکات متمرکز یخ است. همچنین زمین‌های نقشینه‌دار (تپه ماهوری) آثار دیگری هستند که به واسطه حرکت ورقه‌ای یخ یا عبور یخ به صورت غیر متمرکز در ایران نمود دارد. این دو حرکت کلی یخ، آثار ژئومورفیک خاص خویش را در سرزمین ایران برای محققین به وضوح نمایان ساخته و بارز است که این حرکات همه حکایت از تغییرات عظیم اقلیمی در سرزمین ایران دارد. به محض شکل‌گیری یخ واکنش آن کاملاً به درجه حرارت یخ بستگی خواهد داشت. در این حالت دو وضعیت کاملاً مشخص پدید می‌آید: یکی اینکه

شاهدی مشخص بر یخبندان قبل از وورم یاد می‌کند و افت آهنگ درجه حرارت ۴ تا ۵ درجه کمتر از زمان حاضر را بیان نموده است. (رامشت - ۱۳۷۹) مطالعات او در سال ۱۹۵۵ وی را بر آن داشت که اظهار نظر کلی را در مورد اقلیم و تحولات اقلیمی در کشور ایران منتشر سازد. وی اقلیمی سرد و خشک‌تر از امروز را برای ایران حاکم دانست. مطالعات محققان بعدی غالباً نتایجی برخلاف آنچه وی گفته بود ارائه داد؛ از آن جمله شارلاو بود. او اقلیمی سرد و مرطوب‌تر از امروز را در حاکمیت یخچال‌ها در ایران قلمداد کرد (جداری عیوضی - ۱۳۷۸). سال‌ها بعد در سال ۱۹۸۰ اهلرز دو نظریه فوق را در تضاد با هم ندانست. وی بر اساس نتایج و شواهد خویش اعلام کرد که در طول زمان تناوبی از این دو نظریه در ایران حاکم بوده است. پس از بوبک و دزیو در مورد ارتفاعات یخچالی همچنین مشخص کردن مرز برف دائمی در ایران دانشمندان زیادی نظریاتی ارائه داده‌اند از جمله رایت در کوه‌های کردستان مطالعاتی انجام داده است. وی پایین آمدن خط برف را در دوره‌های سرد تا ارتفاع (۱۸۰۰) متر از سطح دریا برآورد کرده است و بر اساس این نظریه در ایران در زمان حاکمیت یخچال‌ها خط برف خیلی پائین تر از میزانی است که بوبک و موافقین نظر وی اظهار کرده‌اند. وی در جنوب غرب ازنا در اشتران کوه سیرک یخچالی جبهه شمالی را در ۳۰۰۰ متر و یخرفت‌ها را در دره‌های کوچک تا ارتفاع ۲۶۰۰ متر مشاهده کرده است. وی گرادیان دمای ۰/۶۸ سانتیگراد را به ازاء هر ۱۰۰ متر ارتفاع برای این منطقه پیشنهاد کرده است. بر این اساس اگر کاهش ارتفاع مرز برف دائمی به علت کاهش دما بوده است، می‌توان نتیجه گرفت که متوسط دمای سالانه این منطقه در وورم نسبت به زمان حال ۱۲ درجه سانتی‌گراد کمتر بوده است (رامشت - ۱۳۷۹). در کوه‌های سبلان با توجه به بزرگی یخچال و سیرک‌های متعدد و وسعت آن مطالعات زیادی توسط دانشمندان انجام گرفته است. از مطالعات دقیقی که در مورد ارتفاعات سبلان انجام گرفته است، تحقیقات شوایتزر (۱۹۷۰) است که به ۷ یخچال و چندین قطعه برف دائمی در آن اشاره کرده است. وی در شمال شرقی قله سلطان و شمال قله حرم مرز پائینی یخچال‌ها را به ترتیب در ۳۹۸۰ و ۳۹۶۰ متر ارائه داده است. جالب‌ترین یخچال‌ها که از نظر اقلیم کواترنر ایران اهمیت دارد، آنهایی است که در ارتفاعات منطقه خشک داخلی شناسایی شده‌اند. هاگه درن<sup>۵</sup> در ۱۹۴۷ و کوهله<sup>۶</sup> در سال ۱۹۷۶ از جمله دانشمندان خارجی‌اند که در ایران مرکزی مطالعاتی داشته‌اند. اعتقاد آنها بر این مسأله استوار بوده است که در ایران مرکزی در هر کجا که زبانه‌های یخی نواحی کوهستانی مرکز ایران خوب تغذیه می‌شده‌اند توانایی آن را داشته‌اند که تا پایکوه‌ها و سرحد دشت‌ها پائین بیایند و تا تمام دره مشرف به دشت‌های خویش نفوذ کنند. آن‌ها اعتقاد داشتند که زبانه‌های یخچالی آن قدر پائین آمده‌اند که حتی قسمت قابل توجهی از دشت تا ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر در بر می‌گرفته‌اند. کوهله در کوه جوپار واقع در جنوب کرمان آثار یخبندان دوران چهارم را بررسی کرده و دو دوره را برای آن‌ها اعلام کرده است. (ثروتی - ۱۳۶۹) محققین ایرانی نیز در مورد یخچال‌شناسی در ایران مطالعات دقیق انجام داده‌اند؛ بخصوص در زمینه مرز برف دائمی نتایج مطالعات زیادی را ارائه کرده‌اند. از آن جمله مرحوم منوچهر پدرامی است. وی در یک گزارش ضمن توصیف آثار



سپس با استفاده از شواهد اقلیمی موجود نسبت به بازسازی اقلیم گذشته منطقه اقدام شده و نتیجه لازم به عمل آمد.

## ردیابی آثار یخچالی بر پایه شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه

در اولین گام با استفاده از نقشه ۱/۵۰۰۰۰ به بررسی شاخص‌های مورفیک و فرم‌شناسی در این نقشه‌ها مبادرت شد. نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ به وضوح شرایط توپوگرافی، عوارض و ناهمواری‌ها را به صورت خطوطی به نام منحنی میزان (contour line) نشان می‌دهد.

علاوه بر نمایش ارتفاع نقاط مختلف از سطح آب‌های آزاد خطوط منحنی میزان دارای قابلیت ارائه شاخص‌های مورفیک هستند. بدین صورت که بر اساس آن‌ها می‌توان پدیده‌های مورفیک را از یکدیگر باز شناخت؛ حتی با استفاده از شبکه آبراه‌ها، نحوه توزیع قله و خطوط منحنی میزان در کنار یکدیگر علاوه بر بازشناسی پدیده‌های ژئومورفیک یک منطقه، جنس و فرایندی را که باعث پیدایش و بروز چنین پدیده‌ها و اشکالی شده‌اند را می‌توان در نقشه‌ها مورد تفکیک قرار داد. یعنی با توجه به سه اصل نقطه، خط و سطح می‌توان به اثبات فرم و فرایند مبادرت کرد. این مسئله از روی اشکال مختلفی که خطوط با توجه به جنس و فرایند در یک منطقه از خود نشان می‌دهند مشخص می‌گردد. خطوط منحنی میزان اشکال مختلفی از خود نشان می‌دهند و از این لحاظ به چند دسته تقسیم می‌شوند، مانند: منحنی‌های ساده، منحنی‌های سینوسی، پالسی، موجدار، پنجه‌ای و ... که هر کدام نشانگر شرایط خاصی از اقلیم یا ژئومورفیک منطقه است، البته این در صورتی است که مسائل ژئومورفیکی چون تکنونیک را حذف کنیم (انتشاری ۱۳۸۲).

با اینکه بعضی از آن‌ها در ارتفاع یکسانی قرار دارند اما دارای فرم‌های خاص و متفاوتی‌اند که علت خاصی را در بطن خود به اثبات می‌رسانند. این تغییر فرم‌ها ناشی از دو علت اصلی‌اند:

الف: تغییر در جنس زمین

ب: اختلاف در فرایندی که در منطقه مورد نظر حاکمیت دارد.

این دو علت اساسی باعث می‌گردند که ژئومورفولوژی دو منطقه که از لحاظ ارتفاعی یا شاخص‌های مختلف دیگر با هم یکسانند دارای منحنی‌های میزان متفاوت از یکدیگر و در نتیجه ژئومورفولوژی متضاد باشند.

فرم‌های آبراه‌ها نیز دارای الگوهای زهکشی متفاوتی‌اند که خود می‌توانند نشان‌دهنده ویژگی‌های ژئومورفیک خاص یک منطقه باشند. این الگوها می‌توانند به صورت واگرا، هم‌گرا، شعاعی، نقطه‌ای، داربستی و ... تقسیم گردند. قله نیز از اصول سه‌گانه شناخت و بازیابی نقشه‌های مسطحاتی هستند که علاوه بر ارتفاع وحدت یا کثرت آنها نیز سبب ژئومورفولوژی‌های متضادی در سطح مناطق خواهند شد.

آب و یخ و باد از جمله مهم‌ترین سیستم‌های شکل‌زا هستند که فرم‌های ویژه‌ای در صحنه طبیعت ایجاد می‌کنند و چون چنین فرم‌هایی در نقشه‌های توپوگرافی منعکس می‌شوند لذا شناسایی آنها با کمی دقت امکان‌پذیر است. با توجه به این اصول و بررسی‌های مقدماتی بر روی نقشه‌های منطقه با توجه به فرم آبراه‌ها، شرایط ارتفاعی قله و ویژگی‌ها و اشکال خطوط منحنی میزان وجود آثار یخچالی به اثبات رسید.

یخ در زیر نقطه فشار ذوب قرار دارد که بعنوان یخ سرد یا یخ قطبی شناخته می‌شود. دیگر اینکه یخ به اندازه کافی به نقطه فشار ذوب نزدیک و دارای مقداری آب است که به آن یخ گرم گفته می‌شود (معمد، ۱۳۷۹).

## یخ سرد

یخ سرد در دو حالت عمده تشکیل می‌شود: در حالت اول، فرین (یخ برفی) در محیط‌هایی که آب و هوای بسیار سردی دارند، انباشته می‌شود و این نوع یخ را ایجاد می‌کند. در آب و هوای این محیط‌ها، حتی در تابستان هم ذوب سطحی رخ نمی‌دهد. چنین وضعی در پهنه یخی قاره قطب جنوب، قسمت شمالی پهنه یخی گرینلند و نقاط مرتفع آلپ اروپا دیده می‌شود. در حالت دوم، ایجاد یخ سرد بر اثر سرمای زمستانی موجود در لایه‌های سطحی یخچال است. این نوع یخ سرد در سطح تمامی یخچال‌های زمستانی وجود دارد. در مواقع بخصوص در منطقه ساییش، ضخامت زیادی از توده یخ، در زمستان سرد شده، ولی در تابستان کاملاً گرم نمی‌شود و به همین دلیل لایه سرد یخ در قسمت زیرین فشرده و متراکم می‌شود که در فرایندهای فرسایشی و رسوبگذاری تأثیر بسزایی دارد.

## یخ گرم

یخ گرم وقتی ایجاد می‌شود که حرارت کافی برای بالا بردن دمای یخ نسبت به درجه حرارت ذوب فشاری وجود داشته باشد. این عمل معمولاً در بخش سطحی یخ، هنگامی رخ می‌دهد که فرین ذوب تابستانی را می‌گذراند. در چنین حالتی، بر اثر ذوب چاهک‌هایی ایجاد می‌شود، اگر آب این چاهک‌ها در تماس با برف یا یخ باشد دوباره یخ می‌زند. در جایی که فرین در معرض ذوب عمده تابستانی قرار گیرد، گرمای آب ناشی از ذوب دمای یخ را بالا می‌برد و حرارت کافی برای حمل فرین و یخ فراهم می‌شود. یخ گرم ممکن است در قاعده یخچال‌هایی که دارای لایه‌های سطحی سردند یافت شود. عمده‌ترین تفاوت یخ سرد با یخ گرم در دمای آنهاست. بنابراین در اینجا لازم است به چند نکته در این خصوص اشاره شود:

یخ گرم قدرت فرم‌زایی چندانی بر روی سنگها و صخره‌های بستر خود ندارد و به جای خط انداختن بر روی سنگها نوعی انعطاف از خود نشان می‌دهد. در واقع می‌توان گفت سطح زیرین یخ گرم از توپوگرافی بستر خود تبعیت می‌کند. یخ گرم، آنچنانکه در اغلب یخچال‌های ایران مشاهده می‌شود، دارای مورن نیست. زیرا یخ گرم بدلیل شرایط دمایی ویژه‌ای که دارد از تشکیل مورن عاجز است. در مناطق عملکرد یخ گرم، خط تعادل آب و یخ اختلاف ارتفاع کمی با نقطه تغذیه یخ دارد. برعکس یخ سرد که ممکن است زبانه یخ تا ارتفاع زیادی از محل تغذیه پیشروی و فعالیت کند.

## ردیابی آثار یخچالی در منطقه

چون اثبات آثار یخچالی هدف اصلی تحقیق است بدین منظور برای اینکه بتوانیم آثار یخچالی کوآترن را در حوضه مورد مطالعه ردیابی نماییم شواهد و آثار موجود را در دو قسمت مشخص مورد بررسی قرار دادیم. بر این اساس ابتدا شاخص‌های ژئومورفیک منطقه مورد بررسی قرار گرفت و



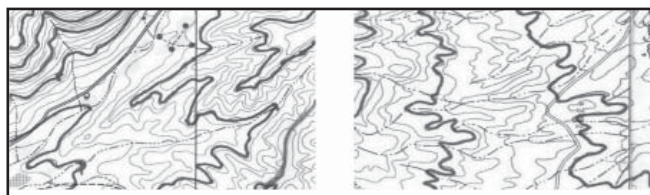
### بررسی و تعیین موقعیت و تعداد سیرک‌های یخچالی

در حوضه مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ موجود و بررسی آن‌ها موقعیت و تعداد سیرک‌ها از روی شواهد مورد شناسایی و شمارش و به طور مجموع سیرک‌های کل منطقه که پراکندگی آن‌ها در کوه‌های سفید دزدان لای تاریک آقاحسینی سرفسید خالشت زرخیز قبله ... بود مورد شناسایی قرار گرفت. تعداد سیرک‌های مورد بررسی در منطقه در حدود ۶۰ سیرک کوچک و بزرگ می‌باشد که در ارتفاعی بین ۲۵۰۰ تا ۳۱۰۰ متری قرار گرفته‌اند. نحوه قرارگرفتن سیرک‌ها در جدول (۱) و نگاره‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

جدول (۱): ارتفاع و تعداد سیرک‌های یخچالی حوضه

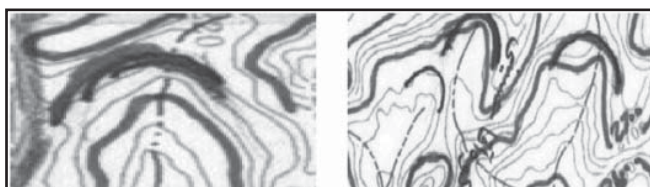
درصد	تجمعی	فراوانی	ارتفاع
۸/۳%	۵	۵	۳۰۰۰ تا ۳۱۶۰
۳/۳%	۷	۲	۲۹۰۰ تا ۳۰۰۰
۱۶/۶%	۱۷	۱۰	۲۸۰۰ تا ۲۹۰۰
۳۵%	۳۸	۲۱	۲۷۰۰ تا ۲۸۰۰
۱۰%	۴۴	۶	۲۶۰۰ تا ۲۷۰۰
۲۳%	۵۷	۱۳	۲۵۰۰ تا ۲۶۰۰
۶/۶%	۶۰	۳	۲۴۰۰ تا ۲۵۰۰

فرم منحنی‌های میزان در نقشه‌های مورد بررسی منطقه به شکل سینوس‌های بلند و در هم با قله متعدد و به صورت زمین‌هایی تپه ماهوری در محل اتصال دشت و کوهستان، حاکی از وجود یخچال‌ها و زمین‌های جنب یخچالی در این منطقه بود. هم چنین فرم خطوط منحنی میزان نشان داد که این آثار نمی‌تواند حاصل عملکرد آب‌های روان به صورت پهنه‌ای یا متمرکز باشد چرا که آب‌های روان چنان که نگاره (۱) نشان می‌دهد نمی‌تواند چنین اراضی با اشکال خاص منحنی میزان را ایجاد کند.



منبع: نقشه شماره IV ۶۷۵۰ سوریان و I ۶۷۵۰ شیدان

نگاره (۱): شکل خطوط منحنی میزان در منطقه



منبع: نقشه شماره IV ۶۷۵۰ سوریان و I ۶۷۵۰ شیدان

نگاره (۲): انعکاس آثار سیرک در نقشه‌های توپوگرافی منطقه

پس از بررسی شکل خطوط میزان به بررسی قله و شرایط آن در منطقه مبادرت ورزیده شد که وجود سیرک‌های متعددی در قسمت‌های کوهستانی با توجه به شکل منحنی میزان‌ها که فرم خاصی را در نقشه‌های توپوگرافی تعریف می‌کردند اثبات شد. نگاره (۲)

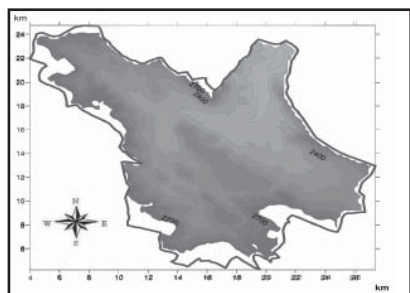


نگاره (۳) و (۴): تصویر دوسیرک بزرگ در حوضه مورد مطالعه

با آگاهی از این مسئله که وجود چنین اشکال منحنی میزان در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر براساس اطلاعات گذشته در مورد یخچال‌های موجود، وجود سیرک‌های یخچالی را در ایران به اثبات می‌رساند، احتمال نسبت دادن این شرایط به فعالیت‌های یخچالی قوی‌تر شد. البته بررسی نقشه‌ها و وجود شواهدی دال بر یخچالی بودن در ارتفاعاتی پائین‌تر از آنچه در اطلاعات گذشته ارائه شده بود، ما را به جمع‌آوری اطلاعات و بررسی‌های عمیق‌تر در منطقه ملزم کرد.

### تعیین مرز برف دائمی به روش رایت

بر اساس سیرک‌های شمارش شده به روش رایت، خط ۶۰٪ برف دائمی منطقه مشخص شد. این خط ارتفاعی را برای ما مشخص می‌کند که ۶۰٪ سیرک‌ها بالاتر از این خط ارتفاعی قرار دارند. بعد از بررسی، این خط ارتفاع ۲۷۰۰ را به ما نشان داد. به این معنی که در سردترین دوره حاکم بر منطقه از این ارتفاع به بالا برف به صورت دائمی در تمام طول سال وجود داشته است و به عبارتی متوسط دما بر روی این خط (ارتفاع) معادل صفر درجه سانتی گراد بوده است. با اینکه اکنون ممکن است این دما بالاتر از صفر را در این ارتفاع نشان دهد نگاره ۵.



نگاره (۵): خط مرز برف دائمی در حوضه

### ردیابی آثار یخچالی بر اساس شواهد اقلیمی

یکی از دلایل مهم که می‌توان بر اساس آن یخچال‌های دوران چهارم و وجود آن‌ها را اثبات کرد شواهد و دلایل اقلیمی است که می‌توان از طریق شواهد حال به شواهد گذشته و شرایط اقلیمی گذشته دست یافت.





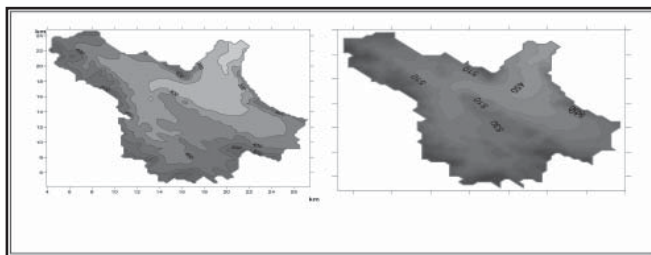
## بررسی شرایط دمایی گذشته

چنانچه مشاهده می شود تفاوت دمای محیطی گذشته با زمان حال معادل ۹/۶ درجه سانتی گراد در کل حوضه می باشد و این تفاوت دمایی تا حدود زیادی بیان کننده شرایط دمایی بسیار سردتر از امروز بوده و می تواند وجود یخچال ها را در منطقه به اثبات رساند.

### تحلیل بارش گذشته

باترسیم نقشه هم بارش منطقه به بررسی شرایط رطوبتی گذشته اقدام کردیم. به این صورت که نقشه هم دما و هم بارش فعلی فراخوان شده، در مرحله بعدی با توجه به نقشه هم دمای فعلی و داشتن طول و عرض و دما و نقشه هم بارش فعلی و برداشت طول و عرض و بارش نقاط در منطقه به ایجاد رابطه مناسب بین دما و بارش زمان فعلی مبادرت گردید. از آنجا که این رابطه در دوره های مختلف دارای نسبتی مشخص و ثابت است، لذا با داشتن دمای گذشته و رابطه دما و بارش فعلی و مشخص شدن ضریب همبستگی ۰/۸۸ به محاسبه میزان بارش گذشته اقدام شد. این رابطه معادله خطی  $p = (-28/04t) + 570/97$  را ارائه داد. با اعمال این رابطه بر ۵۶۰۲ گره ارتفاعی منطقه در نرم افزار Surfer و ایجاد فایل Grd و پردازش داده ها پس از تصحیحات لازم نقشه هم بارش منطقه در دوره حاکمیت یخچال ها ترسیم شد. (نگاره ۸)

با بررسی کامل و تجزیه و تحلیل نقشه به دست آمده میزان بارش در پائین ترین حد دمای محیطی در گذشته مشخص شد که بیشتر رطوبت و بارش گذشته همانند امروز در ارتفاعات حوضه مورد بحث می باشد و هر چه از ارتفاعات به سوی نقطه خروجی حوضه پیش می رویم از میزان بارش کاسته می شود. بیشترین بارش در ارتفاعات ۳۲۰۰ متری حوضه با میزان ۶۸۰ میلیمتر و کمترین بارش در نقطه خروجی حوضه به میزان ۴۱۷ میلیمتر می باشد. بررسی ها نشان دهنده این است که بارش حوضه در گذشته بیشتر بوده است.

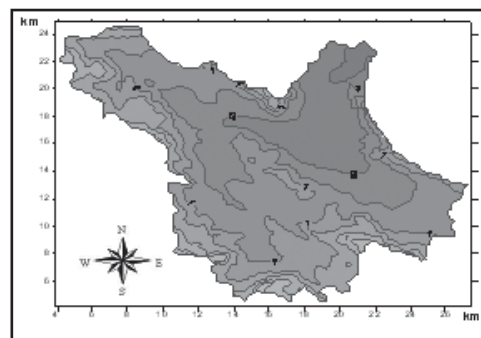


نگاره (۸): مقایسه بارش حال و گذشته در حوضه

### انومالی رطوبتی

مقایسه نقشه های بارش فعلی و گذشته منطقه نشان می دهد که میزان رطوبت محیطی نیز در دوره ای که دمای محیط به میزان سانتی گراد کاهش یافته، با مقدار بارش های فعلی تفاوت چشمگیری را داشته است. با توجه به آمار بارش در می یابیم که میزان بارش در گذشته از ۱/۲ برابر در ارتفاعات حوضه تا ۱/۸ برابر در نزدیکی نقطه خروجی حوضه افزایش داشته است. این مطلب نشان می دهد که شرایط رطوبتی گذشته برای اعمال حاکمیت یخچالی در منطقه بسیار مناسب بوده است. (نگاره ۸)

با تعیین خط برف دائمی در دوره ای که یخها در پایین ترین ارتفاع خود میل نموده و آثاری از خود بر جای گذارده اند، شرایط لازم برای برآورد و تخمین دمای متوسط گذشته منطقه با استفاده از افت آهنگ دما فراهم گردید. بدین منظور برداشت پروفیل هم زمان دما با فرض حاکمیت آدیاباتیک در ساعت ده صبح انجام و رابطه دما و ارتفاع با شش روش همبستگی محاسبه گردید. نتایج حاصله نشان داد که بیشترین همبستگی با رابطه خطی ساده ( $y = a + bx$ ) تطبیق دارد. چون خط مرز برف دائمی ما در حوضه بر اساس روش رایج در ارتفاع ۲۷۰۰ متری به دست آمد و این خط همان خط صفر درجه سانتیگراد در گذشته را نشان می دهد و بر اساس رابطه بدست آمده بین دما و ارتفاع در حوضه ( $T = 0/006336H + 17/11$ ) آهنگ افت دما به ازای هر صد متر ۰/۶۳ درجه بدست آمد. این کار در نرم افزار surfer و با توجه به ۵۶۰۲ نقطه ارتفاعی برداشت شده انجام شد و نقشه هم دمای منطقه در دوره حاکمیت یخچال ها ترسیم شد. (نگاره ۶)

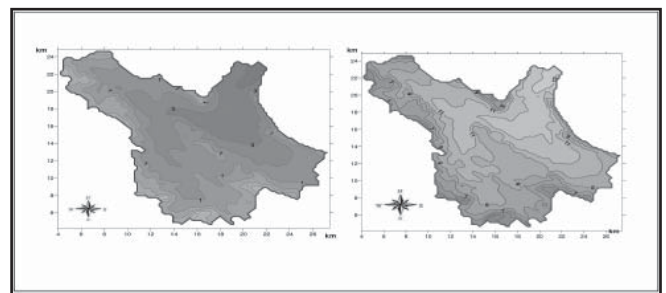


نگاره (۶): نقشه دمای حوضه در دوره حاکمیت یخچال ها

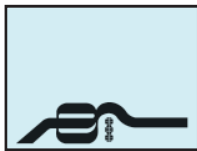
همچنانکه در نقشه فوق (نگاره ۶) مشاهده می شود پایین ترین دما در ارتفاعات ۳۲۵۰ متری حوضه با میانگین ۳/۴- و بالاترین دما در قسمت انتهایی خروجی حوضه به میزان ۴/۷ درجه سانتیگراد مشاهده می شود که این امر نشان دهنده کاهش دما به ازای ترفیع مکانی است.

### مقایسه شرایط دمایی حال و گذشته در منطقه (انومالی حرارتی)

از مقایسه نقشه های دمایی حال و گذشته می توان میزان اختلاف دمای متوسط سالانه حال و گذشته منطقه را دریافت. چنین مقایسه ای بین دو نقشه دمای حال و گذشته کاملاً مشهود است. (نگاره ۷)

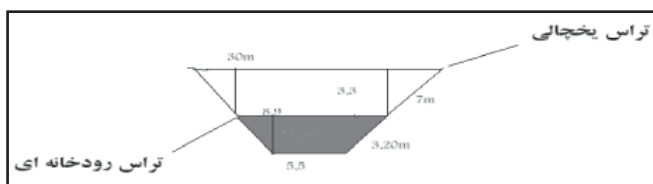


نگاره (۷): نقشه هم دمای حال و گذشته در منطقه



## خط تعادل آب و یخ

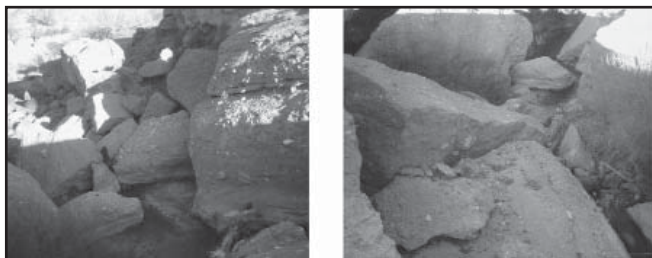
گرفتند. در قسمت‌های بالا دست حوضه به دلیل فعالیت‌های انسانی در حاشیه رودخانه ترکیب تراس‌ها تا حدود زیادی به هم خورده بود اما در نزدیکی نقطه خروجی حوضه ما به تراس‌هایی برخوردیم که نمی‌توانست ناشی از فعالیت آبی باشد. پس از اندازه‌گیری مقطع دره نتایج زیر حاصل شد. در این ارزیابی دو تراس ردیابی شد که تراس پایینی ناشی از فعالیت فرسایش رودخانه‌ای و تراس بالایی نمی‌توانست ناشی از فعالیت رودخانه‌ای باشد چرا که فاصله دو تراس بالایی در ساحل غربی و شرقی رودخانه ۳۰ متر و ارتفاع این دو تراس از کف رودخانه ۵ متر بود. شیب کف دره در مقطع اندازه‌گیری شده ۳ درصد و شیب دیواره حدود ۴۰ درصد بود. عرض کف رودخانه که در حال حاضر آب در آن جاری بود ۵/۳۰ متر بود. اختلاف بسیار زیاد دره‌ای که ناشی از فعالیت رودخانه ایجاد شده بود با دره بالایی نشان می‌دهد که یک انرژی فوق‌العاده لازم بوده تا بتواند چنین دره‌ای را ایجاد کند و با توجه به شواهد اقلیمی حال و گذشته در منطقه وسعت تقریباً کم حوضه چنین آبی وجود نداشته تا بتواند چنین پدیده‌ای را ایجاد کند. نگاره (۱۰)



نگاره (۱۰): مشخصات تراس رودخانه‌ای و یخچالی در حوضه

البته باید گفت که چون مقطع دره در ارتفاع ۱۹۵۰ متری اندازه‌گیری شده و خط تعادل آب و یخ در ارتفاع ۱۹۰۰ متری قرار دارد و این مقطع در نزدیکی منطقه آب ذوبان می‌باشد در این محدوده زبانه‌های یخی در حال ذوب شدن بوده و ضخامت چندانی نداشته‌اند تا بتوانند دره عظیم‌تری ایجاد کنند.

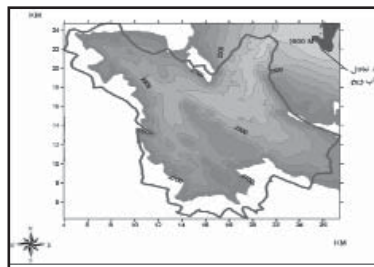
از دیگر شواهد یخچالی بودن حوضه وجود پدیده‌ای دره‌ای به نام (Hanging Valley) یا دره‌های معلق که در نقطه خروجی دیده می‌شود است. این دره‌ها عمدتاً بر اثر فرسایش یخچالی در محل‌هایی که قبلاً تحت تسلط یخچال‌های کوهستانی بوده‌اند به وجود می‌آیند. وجود این دره‌ها در نقطه خروجی حوضه نشان دهنده این است که حجم یخی که از دو معبر مختلف یخی عبور می‌کرده ضخامت یکسانی نداشته است. نگاره (۱۱)



نگاره (۱۱): دره‌های معلق یا Hanging Valley در نقطه خروجی حوضه

نظر به اینکه خط مرز برف دائمی در حوضه مورد مطالعه در ارتفاع ۲۷۰۰ متری برآورد شده است از این ارتفاع تا ارتفاع ۳۲۰۰ متری که بالاترین ارتفاع حوضه محسوب می‌شود مساحتی در حدود ۴۱/۵ کیلومترمربع را در

اگر چه تعیین خط برف دائمی در ارتفاع خاصی برآورد می‌شود ولی به این نکته باید دقت داشت که خط تعادل یخ همواره پائین‌تر از خط برف دائمی است. به عبارت دیگر جریان یخ در دره‌های یخچالی که از برفخانه‌های بالا دست به خوبی تغذیه می‌شده‌اند قادر بوده صدها متر پائین‌تر از خط برف دائمی جریان یابند و بالاخره در ارتفاع خاصی به واسطه گرما و ذوب زبانه، حرکت یخ به پائین متوقف می‌شده است و از آن نقطه به بعد منطقه آبدوبان معبر یا زبانه یخی شروع می‌شده است. این مرز اگر چه تابع دمای فصلی می‌باشد ولی به طور کلی در دامنه‌های برآفتاب بالاتر از دامنه‌های نرسا است و بر اساس گزارش طالبی (۱۳۸۰) در منطقه پیشکوه‌های زاگرس خط تعادل آب و یخ در دامنه نرسا و بر آفتاب در این منطقه بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ متر تفاوت دارد. لذا وجود آثار یخچالی پائین‌تر از خط مرز دائمی نباید دور از ذهن تلقی گردد. از مطالعات یخچال‌شناسی به عمل آمده توسط مغیث (۱۳۷۹)، رواقی (۱۳۷۹)، طالبی (۱۳۸۰) و شوشتری (۱۳۸۲) چنین مستفاد می‌شود که رقوم ۵ درجه سانتی‌گراد متوسط دمای سالانه تقریباً عدد تعادل آب و یخ باید منظور شود، بدین معنی که زبانه‌های یخچال‌های کوهستانی با رقوم ۵ درجه در تعادل گرمایی بوده و قادر بوده‌اند تا محیط‌هایی که چنین دمایی داشته‌اند پائین بیایند. براساس این مطالعات خط تعادل آب و یخ در دامنه‌های بر آفتاب زرفه اصفهان ارتفاع ۲۱۰۰ متری در دامنه نسران ارتفاع ۱۴۰۰ متر در دره هنجن ارتفاع ۱۴۰۰ متر و در منطقه سلفچگان ارتفاع ۱۳۰۰ متر را نشان می‌دهد. بنابراین خط تعادل آب و یخ به مراتب در ارتفاع پایین‌تری نسبت به خط مرز برف دائمی قرار دارد. در حوضه مورد مطالعه در نزدیکی نقطه خروجی حوضه در ارتفاع ۱۹۰۰ متری چون رقم ۵ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود، پس می‌توان گفت خط تعادل آب و یخ در منطقه در بیرون از نقطه خروجی حوضه و در ارتفاعی پایین‌تر از آن قرار دارد (نگاره ۹).



نگاره (۹): خط مرز برف دائمی و خط تعادل آب و یخ در حوضه

از این ارتفاع به پایین منطقه آبدوبان یخچالی می‌باشد به طوری که دره عمیق حفر شده در ارتفاع ۱۹۰۰ متری به پایین و در محدوده خارج از حوضه تا حدود زیادی تأیید کننده این مطلب است. با مطالب گفته شده می‌توان دریافت که تمام حوضه تحت حاکمیت سیستم فرسایش یخچالی بوده است و نوع عملکرد یخ در حوضه مورد مطالعه به صورت متمرکز عمل می‌کرده است.

## شناسایی آثار فرمیک یخچالی از طریق عملیات صحرائی

در مرحله بعد با توجه به اطلاعات بدست آمده به ردیابی شواهد و آثار هر یک از فرم‌های فوق در یک عملیات صحرائی مبادرت گردید. در این عملیات صحرائی دره‌های U شکل که حاصل عملکرد یخ هستند مورد ارزیابی قرار



متعدد یخچالی در حوضه وجود آثار یخچالی را در حوضه به اثبات می‌رساند.

### منابع و مأخذ

- ۱- انتشاری، زهرا، (۱۳۸۲) تحلیل مجازی فرم و فرایند در نقشه‌های توپوگرافی، مجله سپهر، شماره ۴۵.
- ۲- بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۷۶) نقش برفساب در تغییر دامنه‌های شمالی سبلان و قوشه داغ، رشد جغرافیا، شماره ۵۵.
- ۳- پدرامی، منوچهر، (۱۳۸۱) سن مطلق کواترنر، مجله دانشگاه علوم، جلد ۱۷، شماره ۳ و ۴.
- ۴- جداری عیوضی، جمشید، (۱۳۷۲) ژئومورفولوژی ایران، دانشگاه پیام نور
- ۵- دلال اغلی، علی، (۱۳۸۱) پژوهش در سیستم‌های مورفوزن مؤثر در دامنه‌های شمالی سبلان و شکل‌گیری دشت انباشتی مشکین شهر، دانشگاه تبریز.
- ۶- رامشت، م، ح، (۱۳۸۰) دریاچه‌های دوران چهارم بستر مدنیت در ایران، فصلنامه جغرافیا، شماره ۶۰.
- ۷- رواقی، ف. (۱۳۷۹). آثار یخچالی در حوضه آبی طرق، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد.
- ۸- شوشتری، ن، (۱۳۸۲). آثار یخچالی سلفچگان، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد.
- ۹- طالبی، محمدرضا، (۱۳۸۰) آثار یخچالی در زفره اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد.
- ۱۰- علیجانی، بهلول، کاویانی، محمدرضا، (۱۳۷۱) مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ اول.
- ۱۱- معتمد، احمد، (۱۳۷۶)، کواترنر (دوران چهارم زمین شناسی)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۲- محمودی، فرج‌اله، (۱۳۶۷)، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، مجله پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۲۳.
- ۱۳- مغیث، مرضیه، (۱۳۷۹) ردپای آثار یخچالی در دره هنجن، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد.
- ۱۴- معصومی، فاطمه، (۱۳۸۴) هیدروژئومورفولوژی حوضه آبی نسان، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد.
- ۱۵- نعمت الهی، ف، (۱۳۸۲) آثار یخساری در دشت نمدان فارس، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد.

16- Ballantyne, c.k(2002) A general model of paraglacial landscape response. The holocene 12-371-376.

17- Ballantyne, c.k(2002) paraglacial geography. Quaternary science periwws, 21, 1935-2017.

18- Ballantyne, c.k(2002) physical geography in the early 21 st centary. external forcing and internal Response. ceographca Hafniensia. C11,23-32.

19- Berry ,G.E.1990, universe and Earth sciences, Time warner inc.

### پی نوشت

- 1- circus
- 2- glacial valley
- 3- hanging valley
- 4- Hagedorn
- 5- Kuhle
- 6- Broks
- 7- Sugern
- 8- Didon
- 9- J.Homlom

برمی‌گیرد که حدوداً ۱۷/۵٪ مساحت حوضه می‌باشد. پس می‌توان گفت در گذشته در حدود ۱۷/۵ درصد حوضه برف دائمی وجود داشته و در تمام طول سال برف و یخ حاکم بوده است. اگر ما با بدبینانه‌ترین بینش بارش در دوره یخچالی را به اندازه بارش امروزی در نظر بگیریم و طول یک دوره یخچالی را ۱۰۰۰۰۰ سال در نظر بگیریم بنابراین حجم عظیمی از برف و یخ در طول این دوره بر روی هم انباشته می‌شده است. بنابراین جریان یخ در دره‌های یخچالی که از برفخانه‌های بالا دست به خوبی تغذیه می‌شده‌اند قادر بوده صدها متر پائین‌تر از خط برف دائمی جریان یابند و بالاخره در ارتفاع خاصی به واسطه گرما و ذوب زبانه، حرکت یخ به پائین متوقف می‌شده است. و از آن نقطه به بعد منطقه آبدویان معبر یا زبانه یخی شروع می‌شده است. با توجه به اینکه زبانه‌های یخچال‌های کوهستانی با رقوم ۵ درجه در تعادل گرمایی بوده و قادر بوده‌اند تا محیط‌هایی که چنین دمایی داشته‌اند پائین بیابند و این رقم در ارتفاع ۱۹۰۰ متری حوضه مورد مطالعه دیده می‌شود می‌توان گفت برف و یخ تا این ارتفاع پایین می‌آمده و این خط، خط تعادل آب و یخ حوضه محسوب می‌شود. از دیگر شواهد یخچالی در منطقه این است که از این ارتفاع به پایین ما دره عمیقی را مشاهده می‌کنیم که می‌تواند شکل‌گیری آن ناشی از فعالیت آبدویان باشد. نگاره (۱۲)



نگاره (۱۲): دره عمیق در نقطه ۱۹۰۰ متری حوضه ناشی از فعالیت آب ذوبان

از نقطه خروجی حوضه تا ارتفاع ۲۷۰۰ متری یعنی مرز برف دائمی مساحتی در حدود ۱۹۲/۵ کیلومترمربع را در برمی‌گیرد. این محدوده حدود ۸۲/۵ درصد حوضه را در بر می‌گیرد که این نشان دهنده حجم عظیم فعالیت یخچالی در حوضه مورد مطالعه است. پس می‌توان گفت برف و یخی که از برفخانه‌ها به خوبی تغذیه می‌شده به صورت متمرکز در طی سه معبر بزرگ به حرکت در می‌آمده و تا ارتفاع ۱۹۰۰ متری پیش می‌آمده و از این نقطه به بعد محدوده فعالیت آب ذوبان شروع می‌شده است.

دره عمیقی که ناشی از فعالیت آبدویان در پایین دست و در پایین‌تر از نقطه خروجی مورد مطالعه حوضه ایجاد شده تا حدود زیادی مؤید آن است. نظر به اینکه مورن‌های یخچالی در حوضه مورد مطالعه یافت نشد می‌توان نتیجه گرفت که نوع یخی که در منطقه عمل می‌کرده از نوع گرم بوده است.

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های ژئومورفولوژیکی میدانی در منطقه بوانات نشان می‌دهد که این منطقه در حوضه قلمرو یخچال‌های عهد سرد دوران چهارم قرار دارد. بررسی شرایط دمایی و بارش حال و گذشته منطقه همچنین پدیده‌های ژئومورفیک یخچالی مانند دره‌های یخچالی و معلق و وجود سیرک‌های