پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۳
صص. ۳۰-۱۶

بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان رود

غلام حسن جعفری- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان
صیاد اصغری سراسکانرود* ـ استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ارومیه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۸/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۰۷

چکیده

نواحی کوهستانی شمال‌غرب ایران که ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ و عرض جغرافیایی بالاتر از ۳۶ درجه شمالی دارند، شرایط مساعدی برای گسترش یخچال‌های کواترنری داشته‌اند؛ بخصوص اینکه در شرایط کنونی هم در اغلب موارد جزء سردترین مناطق کشور شناخته می‌شوند. در ارتباط با یخچال کوهستان‌های با بیش از ۳۰۰۰ متر ارتفاع این منطقه، مثل؛ سبلان و سهند، مطالب زیادی نگاشته شده، ولی در مورد یخچال‌هایی مثل؛ ارتفاعات زنجان، که بلندترین قله-هایش کمتر از ۳۰۰۰ متر ارتفاع دارد، سخن کمتری به میان آمده است. غلبه دشت‌های نسبتاً هموار و وسعت کم مناطق مرتفع بالاتر از ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری این‌گونه مناطق، به فرایند یخچالی، شرایط فرم سازی کمتری داده است. با این وجود، پراکندگی مورن‌های سرگردان و دره‌های U شکل در شمال و جنوب زنجان رود، همراه با پایین بودن متوسط دمای سالانه کنونی این مناطق (ایستگاه زنجان ۱۱/٤ درجه سانتی گراد) حاکی از تسلط فرایند یخچالی کواترنری است. به همین منظور ابتدا با شناسایی آثار سیرکی منعکس‌شده در نقشه-های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه، مبادرت به برآورد ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری به روش رایت گردید. سپس با جمع‌آوری و اصلاح داده‌های آماری ایستگاه‌های اقلیمی منطقه، خطوط همدمای کنونی و گذشته ترسیم گردید. بر اساس خط همدمای پنج درجه سانتی‌گراد گذشته، ارتفاع خط تعادل آب و یخ گذشته برآورد گردید(٦۰۳ متر). کمترین ارتفاع حوضه در نقطه خروجی در حدود ۱۱۰۳ متر است، که بیان‌کننده خارج شدن یخچال‌های کواترنری از حوضه زنجان رود و وارد شدن به قزل‌اوزن است، در صورتی که شواهد ژئومورفولوژیکی منعکس کننده چنین وضعیتی نیست. به همین منظور در یک مطالعه قدم به قدم میدانی به بررسی شواهد ژئومورفیک ناشی از یخچال‌های کواترنری منطقه مبادرت گردید. نتایج حاکی از آن است که خط تعادل آب و یخ در ارتفاعی بالاتر از ارتفاع خط همدمای پنج درجه و منطبق با خط همدمای ۲/۱٦ درجه سانتی‌گرادی گذشته در ارتفاع ۱۵۵۰ متری بوده است.

واژگان کلیدی: برف مرز، ژئوفورمیک، سیرک، یخچال، مورن سرگردان، زنجان

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۰۴۰۲۰۲۵۱
E-mail: Sayyad.sasghari21@gmail.com

مقدمه

شروع دوره کواترنر به اتفاق همه زمین شناسان و ژئومورفولوژیست‌ها و دیگر متخصصین علوم زمین، همراه با تغییرات اقلیمی و به عبارتی بهتر گسترش یخچال‌ها در عرض‌های بالای جغرافیایی و نواحی مرتفع زمین بوده‌است (قنبرزاده و بهنیافر، ۱۳۸۶: ۶۶). در تحولات و تکامل ناهمواری‌ها، یخچال‌ها و حاکمیت دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، نقش مهمی در پردازش و تکامل ناهمواری‌ها داشته‌اند. در طول دوره‌های یخچالی، انباشت مقادیر فراوان برف و یخ روی دامنه‌ها و سپس در طول دوره‌های بین یخچالی، ذوب این توده‌های یخی، نقش قابل توجهی در پرداخت دامنه‌ها داشته‌است. این تأثیر نه تنها در ایجاد اشکال یخچالی، بلکه در ایجاد یک سری از وقایع بعدی هم خود را نمایان می‌کند(یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳). شواهد یخچالی از مهمترین آثاری هستند که تحولات اقلیمی گذشته و تغییرات آینده را می‌توان براساس آن‌ها پیش بینی کرد (آبراموسکی و همکاران[1]، ۲۰۰۶، ۱۰۸۰) که براساس بررسی حدود گسترش یخچالی و بررسی آثار و شواهد یخچال‌ها مطالعه می‌شود(سولومینا و همکاران[2]، ۲۰۷،۲۰۰۴) با این حال باید توجه کرد همانطوری که محققان نیز تاکید کرده‌اند نباید انتظار داشت که در یک منطقه همه آثار و اشکال یخچالی وجود داشته باشند، بلکه با توجه به ماهیت یخچال‌های مناطق و ویژگی‌های فیزیوگرافیک متفاوت نواحی، طیف متنوعی از آثار و شواهد یخچالی را می‌توان ردیابی کرد که بدیهی است با نواحی دیگر متفاوت خواهند بود(استروان و همکاران[3]، ۲۰۱۳، ۵۱۱). در آغاز قرن بیستم (۱۹۰۸-۱۹۰۱) آلفرد پنگ و بروخنر[4] تناوبی از مراحل یخچالی را که به وسیله بین یخچالی از یکدیگر جدا می‌شده‌اند گزارش داده و برای اولین بار رابطه این تحولات را با کجی محور زمین تشریح کردند. نامبردگان انعکاس بروز تغییرات اقلیمی روی فرم اراضی رودخانه دانوب را بازشناسی کرده و به همین بهانه نام دوره‌های یخچالی (گونز، میندل، ریس، روم) را از نام شعب رودخانه‌های دانوب که مؤید چنین رخدادهایی بود، اخذ نمودند (حریریان، ۱۳۶۹: ۱۳۵). اکثر مطالعات اولیه یخچال‌شناسی ایران توسط محققین خارجی انجام می‌شد(یمانی و همکاران،۱۳۸۶: ۲۱۰). سابقه بررسی آثار و شواهد یخچال‌های کواترنری ایران در دو دهه اخیر با توجه به موقعیت آن‌ها به شرح جدول (۱) است.

حداکثر گسترش زبانه‌های یخچالی کواترنری، یعنی؛ جایی که به خاطر درجه حرارت یخچال دیگر قادر به پیشروی به ارتفاعات پایین دست نبوده را به عنوان خط تعادل آب و یخ معرفی کرده‌اند (رامشت و شاهزیدی، ۱۳۹۰: ۲۰۲). نکته حائز اهمیت این است که ارتفاع خط تعادل آب و یخ پایین تر از ارتفاع برف مرز دائمی است به عبارتی یخچال‌های کوهستانی که به خوبی تغذیه شده توانسته‌اند صدها متر پایین تر از محل تشکیل، جریان یابند و بالاخره در ارتفاع خاصی بواسطه افزایش نسبی دما و ذوب یخ دیگر قادر به پیشروی نبوده و از آن به بعد آب ذوبان جانشین یخچال شده‌است(محمودی، ۱۳۷۸: ۲۳۵، مهرشاهی و بقایی نیا، ۱۳۹۱: ۷۲). در گسترش زبانه‌های یخچالی کواترنری، شواهدی که، بیش از همه، ذهن ژئومورفولوژیست را به خود معطوف می‌دارد، چگونگی گسترش سنگ‌های سرگردان در محیط است که علاوه بر ویژگی‌های یخچالی دوران گذشته، به شدت تحت تأثیر جنس سنگ‌های محیط یخچالی نیز قرار دارد. بیشترین سنگ‌های سرگردان باقی مانده در محیط‌های یخچالی کواترنری ایران، بر اساس مشاهدات نگارندگان و گزارش‌های مربوطه، در درجه اول به آذرین‌ها و بخصوص گرانیت‌ها و سینیت‌ها و در درجه بعد به دولومیت‌ها و آهک‌ها تعلق دارد. نحوه خرد شدن سنگ‌های آهکی با توجه به تنوع به نوع سنگ بر می‌گردد. چنانچه سنگ‌های آهکی مرجانی به قطعات بزرگ می‌شکنند (ماکروژلیواسیون یا شکافته

[1] Abramowski et al
[2] Solomina et al
[3] Stroeven et al
[4] A. Penck Bruckner

شدن سنگ به قطعات بزرگ). عمل تدریجی یخبندان در سنگ‌های آهکی منجر به قطعه قطعه شدن سنگ می‌شود (معتمد، ۱۳۸۲: ۱۰۵). آهک‌ها معمولا با تحمل یخبندان ذرات متفاوت درشت و ریز تشکیل می‌دهند. گرانیت‌ها با تخریب در امتداد درزهای خود قطعاتی درشت ولی یکدست ایجاد می‌کنند و با تجزیه شیمیایی میکاها و فلدسپات‌ها، کوارتز یا ارن بر جا می‌گذارد. یا سنگ‌های گل سفید به طور کامل به لیمون و رس تبدیل می‌شوند(دریو، ۱۳۷۰، ۲۶۳). معتمد اشاره می‌کند رسوبات درشت دانه یخچالی عهد حاضر، فقط در نقاطی یافت می‌شوند منشأ سنگ‌ها از نوع گرانیت یا سینیت باشد(معتمد، ۱۳۸۲: ۷۰). مطالعات نگارندگان این گونه رسوبات را در سنگ‌های دولومیتی زنجان تأیید می‌کند، منتهی ابعاد این گونه قطعات کوچک تر از نمونه‌های یافت شده در سنگ‌های آندزیتی همین منطقه است.

جدول (۱) خلاصه‌ای از مطالعات یخچال شناسی ایران

موقعیت	کوهستان	ویژگی بررسی شده یخچالی	ارتفاع	رفرنس
شمالغرب	سبلان	خط تعادل یخچالی کنونی	۴۱۲۰–۴۴۲۵	دلال اوغلی ۱۳۸۲: ۱۰
		برف مرز دائمی کواترنر	۳۶۰۰–۳۷۰۰	اسفندیاری درآباد، ۱۳۸۸: ۸۶
		برف مرز دائمی کواترنر	۳۶۰۰	محمودی، ۱۳۶۷: ۱۴
		سیرک	۲۷۰۰–۴۵۴۰	اسفندیاری درآباد، ۱۳۸۸: ۸۸–۹۳
		مورن	۳۱۵۰	
		سنگ سیقلی(دامنه شرقی سبلان	۳۰۰۰–۳۲۱۶	
	سهند	برف مرز دائمی کواترنر	۲۵۰۰	خیام، ۱۳۷۰: ۲۱
		لندفرم دره‌های یخچالی	–	رجبی و بیاتی خطیبی، ۱۰۵:۱۳۸۷–۱۲۱
	طالش	خط تعادل آب و یخ	۱۰۰–۴۰۰	محمودی، ۱۳۸۰: ۵
		برف مرز دائمی	۲۳۶۰	طاحونی، ۱۳۸۳: ۳۱
شمال	شمال و شمال غرب	حد برف مرز دائمی	۳۶۰۰	نگارش و خسروی، ۱۳۷۷: ۱۴۷
	رودبارک	سیرک کوچک یخچالی	۱۷۰۰	میراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۵
مرکز	شیرکوه	یخچال قدیمی	۳۲۰۰	میراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۵
	رودبارک	سیرک یخچالی		میراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۵
زاگرس	زردکوه	یخرفت جبهه شمالی	۲۶۰۰	رامشت و شوشتری‌زاده، ۱۳۸۳: ۱۲۲
		یخچال کوچک فعلی و آثار یخبندان قدیمی	۳۰۰۰	زمردیان،۱۳۸۱: ۴۱
		حدپایین زبانه یخچال‌های قدیمی	۳۲۰۰	یمانی، ۱۳۸۶: ۱۲۷
	قلیان کوه	سیرک یخچالی	۲۴۴۰	جداری عیوضی، ۱۳۷۴، ۷۴
	اشتران کوه	سیرک یخچالی لرستان	۳۸۰۰	جداری عیوضی، ۱۳۷۴، ۷۴
		سیرک یخچالی جنوب غرب ازنا	۳۰۰۰	
	آریابابا	یخچال بروژکن،رشیدچال،بیکوس،آبخورده و کوپر		اصغری مقدم، ۱۳۸۳: ۱۲۵

در بسیاری از موارد خط تعادل آب و یخ گذشته به راحتی توسط فراورده‌های یخچالی قابل بررسی است. فراورده‌های یخچالی در این مورد به دو دسته تقسیم می‌شوند: اول تیل (تیلت)۱ یا رسوب‌های نامنظم یخچالی، این نوع رسوب‌ها از ته نشست مواد یخچالی تولید می‌شوند و متوسط دانه و بدون نظم دانه‌ای اند. همچنین در بین آن‌ها کانی‌های فرسایش نیافته به فراوانی یافت می‌شود. دوم رسوبات درشت دانه که فقط در نقاطی یافت می‌شوند که منشأ سنگ‌ها از نوع گرانیت و سینیت باشد، این قطعات عموماً مخطط و زاویه دارند (معتمد، ۱۳۸۲: ۷۰). بر اساس مطالعات یخچال شناسانی همچون رواقی (۱۳۷۹)، نبی طالبی (۱۳۷۹)، طالبی(۱۳۸۰)، مغیث(۱۳۷۹)، رامشت

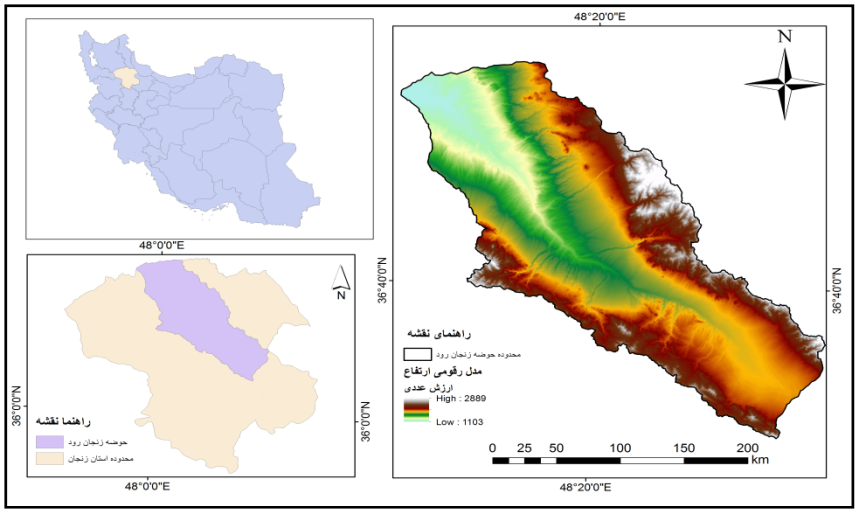
[1] - till (tillite)

(۱۳۸۱)، شوشتری‌زاده(۱۳۸۲)، نعمت الهی (۱۳۸۲) و رامشت و نعمت الهی (۱۳۸۴)، ارتفاع برف مرز دائمی بر خط همدمای صفر درجه و ارتفاع خط تعادل آب و یخ با خط همدمای ۵ درجه سانتی گراد منطبق بوده‌است.

۲. داده‌ها و روش پژوهش

۲-۱. موقعیت منطقه مورد بررسی

برای تأیید و مدلل ساختن هدف اصلی تحقیق، یعنی آثار یخساری حوضه زنجان رود، به بررسی دما، بارش و خط برف دائمی حال حاضر و مقایسه آن با دوره کواترنر پرداخته شده‌است. حوضه زنجان رود بخشی از حوضه آبریز بزرگ رودخانه قزل اوزن و یکی از هفده حوضه آبی استان زنجان می‌باشد. از مهمترین رودخانه ی در حال جریان در آن، زنجانرود می‌باشد که از چمن سلطانیه شروع و در نزدیکی روستای رجعین به رودخانه قز ل اوزن می‌پیوند. حوضه آبخیز زنجانرود حوضه کشیده بعرض ۳۸ کیلومتر و طول ۱۲۰ کیلومتر و مساحت ۴۶۹۳ کیلومتر مربع می‌باشد و محیط حوضه ۳۹۶/۳۶ کیلومتر و طول آبراهه اصلی ۱۵۵/۴۵ کیلومتر و بلند ترین ارتفاع حوضه ۲۸۸۴ متر و پست ترین قسمت حوضه ۱۱۰۳ متر از سطح تراز دریا می‌باشد. امتداد کلی این حوزه جنوب شرقی –شمال غربی است که از شمال به سلسله کوه‌های طارم و از جنوب به ارتفاعات سلطانیه محدود می‌شود(شکل ۱). اقلیم منطقه از نوع نیمه خشک بوده و مقدار بارندگی متوسط سالانه منطقه ۳۱۳ میلیمتر می‌باشد. متوسط دمای سالانه منطقه مورد مطالعه ۱۱ درجه سانتی گراد و متوسط تعداد روزهای یخبندان در طی سال برای ایستگاه سینوپتیکی حوضه (زنجان)، ۱۱۵ روز و متوسط تبخیر و تعریق سالانه ۱۰۲۵ میلیمتر می‌باشد. از نظر مشخصه‌های ریخت شناسی (ژئومورفولوژی) چهار ریخت یا شکل در منطقه قابل مشاهده‌است که شامل: دشت‌های دامنه‌ای که حدود ۷٪ مساحت کل حوزه، فلات ۳۱٪ مساحت کل حوزه، مناطق تپه ماهوری ۳۲٪ و کوه‌ها ۳۰٪ مساحت کل حوزه را شامل می‌شود (عبدی و غیومیان، ۱۳۷۹).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲-۲. مواد

نقشه‌های توپوگرفی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده +ETM با قدرت تفکیک ۳۰ متر و تصاویر SRTM، آمار و اطلاعات اقلیم شناسی مستخرج از سایت اداره هواشناسی استان زنجان و سازمان آب منطقه‌ای زنجان و جهاد کشاورزی به همراه منابع کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی مواد این تحقیق را تشکیل می‌دهند همچنین از نرم افزارهای Global Mapper 13، ۱۰.۱

Arc GIS، Surfer، Excel، جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده‌است. روش کار بر این اساس بوده که ابتدا از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ و تصاویر SRTM منطقه در نرم افزارهای Arc GIS 10.1 و Global Mapper 13 لایه‌های مورد نیاز مثل مدل رقومی ارتفاع[1]، شیب و خطوط منحنی میزان تهیه گردید و براساس آن تحلیل‌های مورد نیاز در مراحل بعدی انجام شد. سپس داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های منطقه جمع آوری و بازسازی گردید. روابط بین دما با ارتفاع و بارش با ارتفاع در نرم افزار SPSS برآورد گردید و بر اساس آن روابط و لایه منحنی میزان منطقه، با استفاده از نرم افزار Surfer 8 خطوط هم بارش و هم دما ترسیم گردید. برای این کار از داده‌های اقلیمی ۱۵ ایستگاه بارشی و ۱۳ ایستگاه دمایی داخل حوضه زنجان رود و اطرف آن با طول دوره ی آماری ۱۱ ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰) استفاده شده‌است (روابط ۱و۲ و جدول ۲).

$$Y=-0.003x+15.75$$ رابطه (۱)

$$34.648-Y=0.1833x$$ رابطه (۲)

جدول (۲) داده‌های اقلیمی بارش و دما حوضه آبی زنجان رود

نام ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارش سالیانه	دمای سالیانه
سلطانیه	۱۸۰۰	۴۸/۸	۳۶/۴۳۳	۳۰۴/۳	**۱۲/۵**
حسین آباد	۱۶۵۰	۴۸/۴۸۳	۳۶/۶۸۳	۲۷۳/۸۴	**۱۰/۸**
تیکمه داش	۱۶۶۳	۴۸/۲۱۷	۳۷/۰۵	۳۱۵/۲۶	**۱۰/٦**
اسد آباد	۱۹۵۰	۴۸/۷۶۷	۳۶/۳۶۷	۳۰۱/۱	---
خیرابادسلطانیه	۱۸۰۰	۴۸/۷۸۳	۳۶/۵۱۷	۲۸۸	**۱۰/۵**
نیماور	۱۷۲۸	۴۸/۶۸۳	۳۶/۵۵	۲۹۴	**۱۰/۷**
ذاکر	۱۹۵۰	۴۸/۷	۳۶/۶۵	۲۹۰/۵۳	**۱۰**
زنجان	۱۶۶۳	۴۸/۴۸۳	۳۶/۶۸۳	۳۱۱	**۱۱**
دولا ناب	۱۳۷۰	۴۸/۱۳۳	۳۶/۸۸۳	۱۹۰	**۱۱/٦**
یامچی	۱۲۵۰	۴۸/۲۱۷	۳۶/۷۸۳	۲۰۱	**۱۱/۹**
اسفناج	۱۱۶۳	۴۸/۱۶۷	۳۶/۸	۱۸۶/۳	**۱۲/۵**
دره لیک	۱۱۹۵	۴۸/۱۶۷	۳۶/۸۴۷	۱۸۰/۵	**۱۲/٦**
نیک پی	۱۳۲۰	۴۸/۱۸۳	۳۶/۸۳۳	۱۸۶/۱۶	**۱۱/۳**

در رابطه(۱) عرض از مبدا ۱۵/۷۵ که مبین نقطه شروع خط رگرسیون روی محور قائم می‌باشد (در صورتی که ارتفاع صفر در نظر گرفته شود) و مقدار شیب خط نیز ۰/۰۰۳- می‌باشد. بنابراین معادله خط به صورت شیب منفی است. معنی معادله رگرسیون فوق آن است که به‌ازای یک متر افزایش ارتفاع ۰/۰۰۳ کاهش دما اتفاق می‌افتد، یا به‌ازای هر صد متر در حدود ۰/۳ درجه سانتی گراد کاهش دما رخ می‌دهد، که از شرایط کلی که در حدود ۰/۶ درجه سانتی گراد به‌ازای هر صد متر ارتفاع است (کاویانی و علیجانی، ۱۳۹۰) فاصله دارد و دلیل آن ناشی از عوامل مختلفی است که تغییر رطوبت نسبی در منطقه بخاطر تفاوت در موقعیت نسبی در ارتباط با منابع رطوبتی، مهم ترین عامل آن است. با وجود ارقام فوق، در تقسیم بندی نواحی حرارتی ایران، زنجان در ردیف سرزمین‌های مرتفع کوهستانی با ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متر قرار گرفته که جهت تفسیر اقلیم اینگونه نواحی، سطوح توپوگرافیک مرتفع همراه با عرض جغرافیایی بالا، مهمترین عوامل تأثیر گذار، شناخته می‌شوند(علیجانی، ۱۳۷۵: ۶۵).

[1] – DEM

با احتساب دمای صفر درجه دوران گذشته برای ارتفاع برف مرز کواترنری، حدود تغییرات دمایی آن زمان از شرایط کنونی برآورد گردید. مقدار تغییر برآورد شده از دمای کنونی هر کدام از ایستگاه کسر شده و رابطه بین ارتفاع و دمای گذشته برآورد (رابطه ۳) و با استفاده از لایه توپوگرافی در نرم افزار سورفر خطوط همدما گذشته نیز ترسیم و تحلیل گردید.

$$y=-0.003x+6.81$$ رابطه (۳)

با توجه به رابطه بین متوسط دمای ایستگاه‌ها و بارش در شرایط کنونی و به تبع آن در گذشته، روابط بین دمای کنونی با بارش محاسبه و با استفاده از دمای برآورد شده کواترنری ایستگاه‌ها، مقدار بارش گذشته آن‌ها تخمین زده شد و همانند نقشه هم‌دما، نقشه هم‌بارش گذشته ترسیم و تحلیل گردید. بر اساس خط همدمای پنج درجه گذشته، ارتفاع خط تعادل آب و یخ گذشته برآورد گردید(۶۰۳ متر). با توجه به اینکه کمترین ارتفاع حوضه در نقطه خروجی، ۱۱۰۳ متر است، این طور به نظر می‌رسد که یخچال‌های کواترنری از حوضه زنجان رود خارج و وارد قزل اوزن می‌شدند، در صورتی که شواهد ژئومورفولوژیکی منعکس کننده چنین وضعیتی نیست. به همین منظور در یک مطالعه قدم به قدم میدانی به بررسی شواهد ژئومورفیک ناشی از یخچال‌های کواترنری منطقه مبادرت گردید و نتایج حاصل از فرایندها فوق تجزیه و تحلیل شد.

روش‌های مختلفی برای ارائه ارتفاع خط برف دائمی وجود دارد. از جمله نصف ارتفاع که در آن میانگین ارتفاع سطح یخچال کنونی حد برفی دائم محسوب می شود (کوروسکی نقل از هوم لوم – ۱۹۸۸) یا روش دیگری با نام روش رایت که در آن خط ٪۶۰ سیرک‌ها مشخص می گردد و خط مرز برف دائمی به کمک آن استنتاج می شود(انتظاری، ۱۳۹۰). روش دیگری نیز وجود دارد که با توجه به سه فاکتور عرض جغرافیایی، مقدار شیب ناهمواری و جهت شیب می‌توان برف مرز را مشخص کرد. از فاکتور طول جغرافیایی، برای مشخص کردن ایستگاه مبدأ محاسبه ی دما در ارتفاعات مختلف ایران زمین به طور غیر مستقیم استفاده می‌شود (جعفری، ۱۳۹۲: ۱۰۵). پیش فرض این روش در نظر گرفتن ۸/۸ درجه سانتی گراد کاهش دمای کواترنر نسبت به دمای کنونی است(جعفری، ۱۳۸۸: ۱۴۴) (جدول ۳). بیشتر محققین جوانی که با استفاده از روش رایت، به تعیین برف مرز دائمی در مناطق مختلف ایران مبادرت ورزیده‌اند و از مطالعات میدانی برای تبیین ارتفاع برف مرز مشخص شده، بهره گرفته‌اند، بین برف مرز و خط تعادل آب و یخ تفاوت قائل شده‌اند.

جدول (۳) روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز

ردیف	روش	توضیحات	رفرنس
۱	نصف ارتفاع	در آن میانگین ارتفاع سطح یخچال کنونی حد برفی دائم محسوب می شود	(کوروسکی نقل از هوم لوم، ۱۹۸۸)
۲	رایت	ارتفاع خط ٪۶۰ سیرک‌های شناخته شده در نقشه‌های توپوگرافی	(انتظاری، ۱۳۹۰)
۳	شیب_جهت	با توجه به جهت جغرافیایی شیب و مقدار آن بر حسب درصد، در کل ایران با ۱۶ ایستگاه	(جعفری، ۱۳۹۲)

۳. یافته‌های پژوهش

۱-۳. ردیابی آثار یخساری براساس شاخص‌های ژئومرفیک

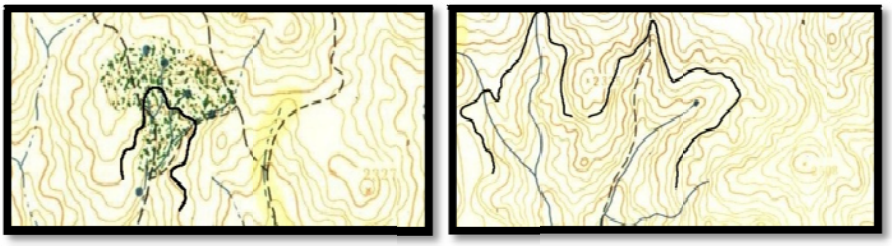
جهت رسیدن به هدف تحقیق در حوضه زنجان رود شواهد و آثار موجود را در سه فاز مشخص طبقه بندی گردیده تا ردیابی و اثبات وجود یخسارها به صورتی سیستماتیک و کامل فراهم گردد. بر این اساس:

ابتدا آثار ژئومورفیک منطقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت پس از آن به بررسی شواهد میدانی فرایند یخچالی گذشته پرداخته شد سپس به بازسازی‌های اقلیمی برای اثبات وجود یخسارهای گذشته منطقه مبادرت گردید.

در اولـین گام با استفـاده از نقشه۱/۵۰۰۰۰ به بـررسـی شاخـص‌های مورفیک و فرم شناسی دراین نقشه‌ها مبادرت شد. نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ به وضوح شرایـط توپوگرافی، عوارض و ناهمواری‌ها را به صورت خطوطی به نام منحنی میزان[1] نشان می دهد. خطوط منحنی میزان علاوه بر نمایش ارتفاع نقاط مختلف از سطح آب‌های آزاد، دارای قابلیت ارائه شاخص‌های مرفیک اند. بدین صورت که بر اساس آن‌ها می توان پدیده‌های مرفیک را از یکدیگر باز شناخت؛ حتی با استفاده از شبکه آبراهه‌ای، نحوه توزیع قلل و خطوط منحنی میزان در کنار یکدیگر علاوه بر بـازشناسی پدیده‌های ژئومورفیک یک منطقه، جنس و فرایندی را که باعث پیدایش و بروز چنین پدیده‌ها و اشکالی شده‌اند در نقشه‌ها مورد تفکیک قرار داد. یعنی با توجه به سه اصل نقطه، خط و سطح می توان به اثبات فرم و فرایند مبادرت کرد.

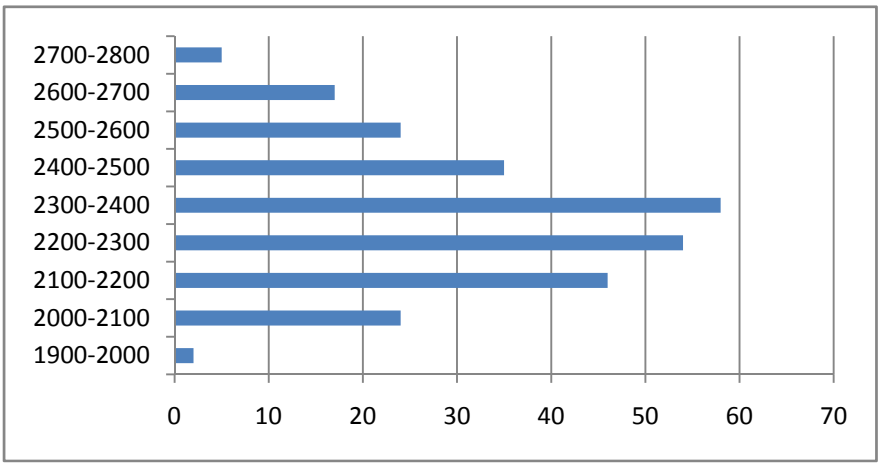
بر اساس آثار سیرکی منعکس شده در نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ زنجان رود تعداد ۲۶۵ اثر سیرک یخچالی شناسایی شد. (اشکال ۲ تا ۴). بیشترین آثار سیرک‌ها در ارتفاع بین ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ شناسایی شد (جمعاً ۱۱۲ سیرک). سپس سیرک‌ها بر اساس مشخصه ارتفاعی به صورت نزولی مرتب سازی گردید و ارتفاعی که بیش از ۶۰٪ از سیرک‌ها بالاتر از آن واقع می‌شوند، برآورد و به عنوان ارتفاع برف مرز دائمی در نظر گرفته شد(روش رایت). این خط بیان کننده ارتفاع همدمای صفر درجه زمان گذشته است که بوسیله آن می‌توان شرایط دمایی گذشته را باز سازی کرد. بررسی آثار یخچالی از روی خطوط منحنی میزان مؤید این نکته بود که؛ برف مرز دائمی در این قسمت از ایران در دوره کواترنری در ارتفاع ۲۲۷۰ متری بوده‌است. به این معنی که در سردترین دوره حاکم بر منطقه، از این ارتفاع به بالا، برف به صورت دائمی در تمام طول سال وجود داشته‌است و به عبارتی دیگر متوسط دما بر روی این خط (ارتفاع) معادل صفر درجه سانتی گراد بوده و ارتفاعات بالاتر دمایی پایین تر از صفر درجه داشته‌اند. با اینکه اکنون دمای بالاتری (۸/۹۴ درجه سانتی گراد) در این ارتفاع وجود دارد.

پراکندگی سیرک‌ها در ارتفاعات شمالی و جنوبی زنجان رود متفاوت است به طوری که از مجموع ۲۶۵ آثار سیرکی شناخته شده، ۲۰۵ اثر در ارتفاعات شمالی که بلند ترین قله آن حدود ۴۴۰ متر از بلند ترین قله ناهمواری‌های جنوبی زنجان رود مرتفع تر است، قرار داشت، ولی شیب اینگونه دامنه‌ها به طرف جنوب است و در مقایسه با دامنه‌های ارتفاعات جنوبی حوضه، متوسط سالانه زاویه ارتفاع خورشیدی آن‌ها تمایل کمتری داشته و به عنوان دامنه‌های نگار شناخته می‌شوند در نتیجه ارتفاع برف مرز آن‌ها ۲۳۱۷ متر برآورد گردید، که از ارتفاع برف مرز کل منطقه، ۴۷ متر بالاتر است. ۶۱ اثر سیرکی باقی مانده در ارتفاعات جنوبی که با توجه به جهت شیب به عنوان دامنه‌های نسار شناخته می‌شوند، واقع شده که هر چند از نظر تعداد نسبت به دامنه‌های شمالی، سیرک کمتری دارد، ولی با وسعت سیرکی‌ها بیشتر و ارتفاع پایین تر کف سیرک، از سیرک‌های ارتفاعات شمالی متمایز می‌شوند، به طوری که با ارتفاع برف مرز کواترنری ۲۱۵۵ متری به روش رایت، برف مرز دائمی آن‌ها ۱۶۲ متر پایین‌تر از دامنه‌های ارتفاعات شمالی و ۱۱۵ متر پایین تر از ارتفاع برآورد شده برای کل حوضه مورد مطالعه بوده‌است.

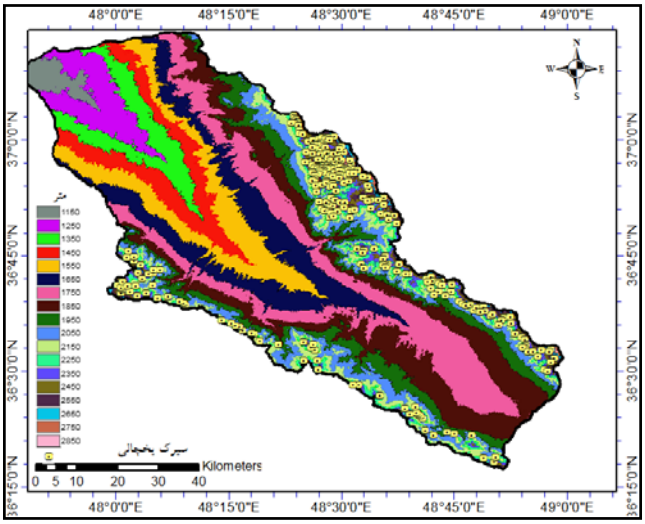


شکل(۲) انعکاس سیرک‌ها در فرم منحنی میزان (منبع:نقشه۱/۵۰۰۰۰ دیزج)

[1]- contour line



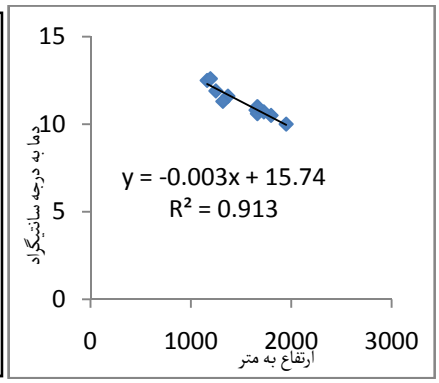
شکل (۳) نمودار هیپسومتریک پراکندگی سیرک‌های کواترنری منطقه در کواترنری



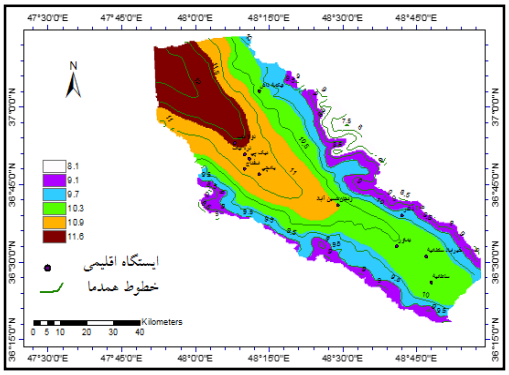
شکل (٤) موقعیت سیرک‌های منطقه مورد مطالعه

۲-۳. ردیابی آثار یخساری براساس شواهد اقلیمی

بررسی و بازسازی شرایط دمایی حال و گذشته: یکی از فاکتورهایی که در فرایندهای ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه اثر زیادی دارد شرایط دمایی منطقه است. با افزایش ارتفاع، دما در مناطق کاهش می‌یابد ولی مقدار کاهش به عوامل مختلفی بستگی دارد که آن عوامل قادرند مقدار همبستگی را بین یک تا نزدیک به صفر و گاهاً منفی نیز تغییر دهند. بررسی آماری ۱۲ ایستگاه اقلیمی که اطلاعات دمایی آن‌ها ثبت شده بود، نشان می‌دهد که افت آهنگ دما در منطقه مورد مطالعه از رابطه خطی (۱) (R^2=۰/۹۱۸) تبعیت کرده (شکل ۵) که پس از انتقال این رابطه به مختصات رقومی و نقشه توپوگرافیک حوضه، حداکثر دمای متوسط سالانه در قسمت خروجی حوضه ۱۲/۴ سانتی گراد و حداقل آن در ارتفاعات هزار مسجد در قسمت شمالی برابر ۷/۲ درجه سانتیگراد می باشد(شکل ۶).



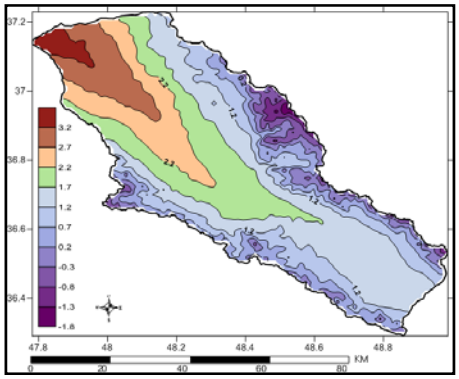
شکل (۵) رابطه بین دما با ارتفاع



شکل (٦) خطوط همدمای حوضه زنجان رود

استخراج ارقام مربوط به میانگین‌های ماهانه دوره سرد سال در ایستگاه موجود نشان می دهد که این حوضه، حداقل در پنج ماه از سال دماهای میانگین کمتر از پنج درجه سانتی گراد را متحمل می شود. از سوی دیگر تأمل در دماهای حداقل مطلق و تعداد روزهای یخبندان فعلی نیز نشان می دهد که ایستگاه‌های منطقه با بیش از ۱۰۰ روز یخبندان را همراه با دماهای حداقل مطلق از صفر تا ۳۰- درجه زیر صفر را که غالبا منطبق بر ماه‌های آذر، دی و بهمن است در آمارهای خود ثبت کرده‌اند. بنابراین با وجود شرایط اخیر همانگونه که امروزه حوضه زنجان رود به نحو مشخصی در قلمرو سطوح برودتی ایران قرار می گیرد، در دوران یخبندان کواترنری که دمای عرض‌های بالا ۸ تا ۱۲ درجه کمتر از حال حاضر بوده‌است (جداری عیوضی، ۱۳۷۴: ۶۹) نیز برودت‌هایی را که قطعا بسیارشدیدتر از حال حاضر بوده را تحمل نموده و در نهایت با وجود دوره‌های سرد طولانی، استعداد کافی برای انباشتگی یخ و برف و ایجاد فرم‌های منتسب به فرایندهای یخچالی در محیط اقلیم دیرینه منطقه، وجود داشته‌است.

برای محاسبه دمای گذشته حوضه مورد مطالعه، می‌توان با استفاده از روش رایت، ارتفاع خط برف دایمی را برمبنای سطحی که ۶۰٪ سیرک‌ها بالاتر از آن قرار گرفته تعیین نمود و بر اساس آن شرایط اقلیمی گذشته باز سازی کرد(نعمت الهی و رامشت، ۱۳۸۲: ۹۵ و کمانه، ۱۳۸۵: ۱۴۳). در نتیجه دمای متوسط هوا در دوره یخبندان در مرزهای بالاتر از آن در زیر صفر قرار داشته‌است. توجه به اختلاف ارتفاع بین پایین ترین سیرک‌ها و بالاترین آن‌ها، خط هم‌دمای صفر درجه، رقم ارتفاعی ۲۲۷۰ متر را در منطقه مشخص می سازد. با توجه به رابطه (۱) دمای کنونی آن ۸/۹۴ درجه سانتیگراد برآورد می‌گردد. و اگر این دما را از دمای ایستگاه‌ها کسر گردد شرایط دمایی گذشته برآورد خواهد شد. رابطه بین دماهای گذشته و ارتفاع ایستگاه‌ها به صورت رابطه (۳) برآورد شد. انتقال این رقم به مختصات رقومی گره‌های استخراج شده ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی نشان می دهد که ۲۹۰ کیلومتر مربع، از مساحت ۴۵۲۱ کیلومتر مربعی منطقه، در آخرین دوره یخ بندان کواترنر تحت استیلای یخ دایم بوده‌است(شکل ۷).



شکل (۷) خطوط همدمای گذشته حوضه زنجان رود

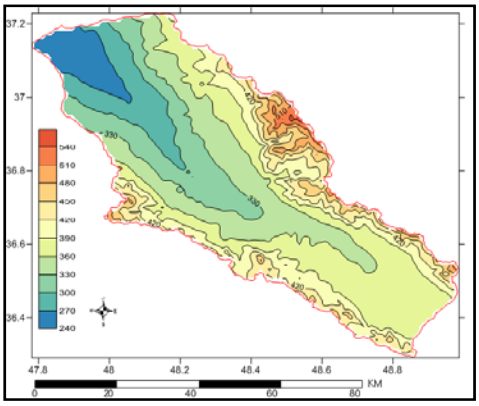
بررسی و بازسازی شرایط بارشی حال و گذشته

جهت شناسایی ویژگی‌های اقلیمی حال حاضر و مقایسه آن با ساختار پالئوکلیماتیک منطقه مورد مطالعه، در ابتدای پژوهش شبکه ایستگاه‌های هواشناسی موجود شناسایی شده و داده‌های دو ایستگاه سینوپتیک شامل زنجان و خیر آباد، یک ایستگاه کلیماتولوژی فیله خاصه و ۱۱ ایستگاه باران سنجی جمع آوری شد. کسری آمار ایستگاه-های باران سنجی یا تبخیر سنجی موجود از طریق روش تفاضل‌ها برای دما و نسبت‌ها با بارش برطرف گردید. پس از ارزیابی اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های موجود در حوضه و نواحی مجاور آن جهت استخراج نقشه حامل خطوط هم بارش ابتدا رابطه سنجی بین ارتفاع و بارش ۱۴ ایستگاه مورد استفاده، انجام شد و رابطه (۲) برآورد گردید(شکل ۸). در این معادله عرض از مبدا ۳۴/۶۴۸- مبین نقطه شروع خط رگرسیون روی محور قائم می‌باشد (در صورتی که ارتفاع صفر باشد) البته باید در کاربرد این معادلات دقت کافی شود که معمولا در مناطقی که ارتفاع آن از ارتفاع ایستگاه‌ها خیلی کمتر یا زیادتر است نباید استفاده کرد و این روابط برای برآورد متغیرها در بازه ارتفاعی داخل حوضه‌های مورد نظر، بکار می‌رود. مقدار شیب خط نیز ۰/۱۸۳۳ می‌باشد لذا معادله خط به صورت شیب مثبت است و معنی معادله رگرسیون فوق آن است که به‌ازای یک متر افزایش ارتفاع ۰/۱۸۳۳ افزایش بارش اتفاق می‌افتد (به‌ازای هر صد متر ۱۸/۳۳ میلیمتر افزایش بارش) در این معادله بارش متغیر وابسته و ارتفاع متغیر مستقل است (R^2=۰/۸۲۸). در این منطقه کوهستان‌های شمالی زنجان ارتفاع بیشتری نسبت به‌ارتفاعات جنوبی دارند (در حدود ۴۰۰ متر) در نتیجه از بارش بیشتری نیز بر خوردارند به همین دلیل از سیرک‌های تیپیک بیشتری هم برخوردار است. پس از انتقال این رابطه به مختصات رقومی و نقشه توپوگرافیک حوضه، حداقل بارش متوسط سالانه در بخش جنوبی (۲۴۰ میلیمتر) حداکثر آن در ارتفاعات هزار مسجد در قسمت شمالی برابر ۵۴۰ میلی متر می باشد (شکل ۹)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-34.648	38.386		-.903	.384
Elevation	.183	.024	.909	7.567	.000

a. Dependent Variable: Tempratuer

شکل (۸) رابطه بارش با ارتفاع



شکل(۹) خطوط هم بارش حوضه زنجانرود

جهت محاسبه بارش عصر سرد نیز ابتدا نقشه‌های هم دما و هم بارش فعلی فراخوانی شده و سپس با توجه به نقشه هم دما و داشتن طول و عرض و دما و نقشه هم بارش فعلی به رابطه سنجی بیش از شصت نقطه اقدام (y = -58.299x + 904.91) و (R^2=۰/۶۸۹) با اعمال این رابطه به مختصات ارتفاعی حوضه، با در نظر گرفتن ثابت

بودن رابطه دما و بارش در حال حاضر و گذشته (معیری و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۱۸) به تهیه نقشه بارش گذشته اقدام شد.

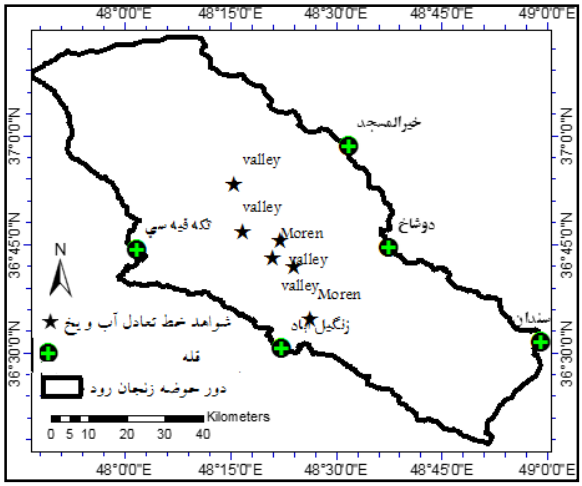
۳-۳. تحلیل شرایط اقلیمی

تجزیه و تحلیل نقشه‌های هم بارش و هم دما نیز نشان می دهد که در عصر یخبندان این منطقه شرایط اقلیمی به مراتب سرد تر و مرطوب تر از عهد حاضر را تحمل کرده‌است. نتایج حاصل از ارزیابی رقومی نقشه دمای متوسط سالانه عصر یخبندان و مقایسه آن با دمای فعلی نیز نشان می دهد که در دوره سرد حدود ۸/۹۵ درجه کمتر از عهد حاضر بوده‌است. تحت تاثیر این شرایط نواحی بالاتر از۲۲۷۰ متر ارتفاعات شمالی و جنوبی حوضه و بلندترین سطوح توپوگرافیک منطقه شامل ارتفاعات خیرالمسجد و سندان و دوشاخ در شمال، زنگیل آباد و گل جیک، درجنوب (شکل ۱۰) در سطحی قرار می گیرد که یخ بندان‌های دایم ویژگی مشخص آن به شمار می رفته‌است. شاخص متوسط دما برای رفیع ترین قلل موجود در ارتفاع نزدیک به ۲۸۸۸ متری برابر با ۳/۸- و در فرو افتاده ترین سطح توپوگرافیک منطقه، در مجاورت خروجی حوضه در رجعین حدود ۳/۴ درجه سانتی گراد بوده‌است. از سوی دیگر ارزیابی‌های رقومی از طریق میان یابی نقشه هم بارش گذشته بر اساس رابطه ($y = 0.1464x + 545.05$) (R^2=۰/۷۹۲) نیز نشان می دهدکه با توجه به ارتفاع متوسط وزنی حوضه (۱۹۳۴ متر) سالانه به طور متوسط ۸۲۸ میلی متر نزولات جوی در سطح این حوضه فرو می ریخته و دامنه تغییرات این ریزش‌ها از ۹۵۰ میلی متر در ارتفاعات شمالی (۲۸۸۸ متر) تا ۷۰۰ میلی متر در فرو افتاده ترین ضلع غربی منطقه در ارتفاع ۱۱۰۳ متری متغیر بوده‌است. بنابراین در فاز سرد با وجود ریزش‌های جوی عمدتاً جامد و دو برابر میزان فعلی به همراه برودت‌های شدیدی که در عصر هولوسن و اواخر پلیستوسن از عوامل عمده کاهش تبخیر و افزایش رطوبت ایران مرکزی (به تبع آن منطقه مورد مطالعه) به شمار می رفته‌است (معتمد، ۱۳۸۲: ۱۳۲). حداقل در مرتفع ترین سطوح کوهستانی منطقه، تمامی شرایط لازم برای انباشتگی مداوم برف، تبدیل آن به نوه یخچالی و در واپسین تحلیل، تدارک مواد اولیه جهت ایجاد فرم‌های منتسب به یخ و یخچال وجود داشته‌است.

٤-۳. شواهد خط تعادل آب و یخ منطقه

نتایج تحقیق حاکی از آن است که دوره یخچالی کواترنری کل منطقه مورد مطالعه، دمایی کمتر از پنج درجه سانتیگراد داشته‌است، ولی دلیلی بر آن نیست که یخچال می‌توانسته تا این مکان جریان داشته باشد. شواهد ژئومورفولوژیکی پیشروی یخچال را تا ارتفاعی بالاتر این مکان نشان می‌دهد. چنین وضعیتی ناشی از این است که مناطق مرتفع تغذیه کننده‌ی یخچال، یا وجود نداشته یا از شرایط مطلوبی برخوردار نبوده‌اند، به همین خاطر به ردیابی آثار یخچالی منطقه با توجه به شواهد ژئومورفولوژیکی همچون؛ مورن‌های سرگردان و دره‌های یخچالی پرداخته شده‌است. با توجه به ارتفاع بیشتر ناهمواری‌های شمالی و لیتولوژیک منطقه که بیشتر از سنگ‌های آندزیت و درونی است(نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان) شواهد مورنی در دامنه‌های این گونه ارتفاعات بیشتر از دامنه‌های جنوبی است، به طوری که در این منطقه مورن‌های سرگردان بخصوص در دره سهرین که از قله خیرالمسجد، مرتفع ترین قله منطقه مورد مطالعه، منشأ می‌گیرد، بیش از سایر جاها مشاهده می‌شود. درهای U شکل در امتداد سه دره اصلی منطقه یعنی؛ سارمساقلو، ارمغانخانه و سهرین ایجاد شده و در ساحل سمت چپ رودخانه در اطراف روستای کوشکن و قسمت خروجی زنجان به تبریز وجود دارد (شکل ۱۰). این دره‌ها که با توجه به شواهد ژئومورفولوژیکی ترکیبی از دره‌های یخچالی- تکتونیکی- و آبی هستند تا ارتفاع ۱۵۵۰ متری امتداد دارند. چنین ارتفاعی بر اساس روابط ارائه شده در شرایط کنونی دمایی معادل ۱۱/۱ درجه سانتی گراد و در شرایط کواترنری دمای ۲/۱۶ درجه سانتی گرادی داشته‌اند. این در حالی است که مورن‌های سرگردان تا ارتفاع ۱۶۷۵ متری منطبق با دمای ۱/۸ گذشته و ۱۰/۷ کنونی، پیش آمده‌اند. شواهد ژئومورفولوژیکی نشان می‌دهد که دره

سهرین با توجه به ویژگی توپوگرافیکی خود شرایط مساعدتری را برای تراکم یخچال و جریان آن در گذشته داشته‌است، به همین دلیل پایین ترین ارتفاع خط تعادل آب و یخ گذشته که بوسیله مورن‌های سرگردان برآورد شده در همین دره بوده‌است. در صورتی که دره سارمساقلو در محل سد کنونی تهم شرایطی را داشته که در بالاتر از سینوزیته جبهه کوهستان توپوگرافی دشتی بر آن مسلط بوده و یخچال فضای مناسبی برای صفحه‌ای شدن و گسترش عرضی داشته، به همین خاطر سنگ‌های سرگردان زیادی از منطقه خارج نشده‌است. علارغم اینکه هر سه دره تا ارتفاع ۱۵۵۰ متری گسترش دارند ولی هیچ کدام نتوانسته‌اند به‌اندازه سهرین به همراه خود شواهد ژئومورفولوژیکی برجا گذارند.



شکل (۱۰) بلندترین قله‌های منطقه و شواهد خط تعادل آب و یخ مجاور آن‌ها

در ارتفاعات جنوبی، مناطق مرتفع بالاتر از برف مرز دائمی گسترش زیادی ندارند به همین دلیل نتوانسته‌اند یخچال‌های مناسب و مطلوبی را تغذیه نمایند به همین علت و همچنین به خاطر غلبه سنگ‌های آهکی، دولومیتی، ماسه سنگ و شیل(نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان) مورن‌های سرگردان زیادی در مناطق دشتی برجا گذاشته نشده‌است. ولی از آنجایی که دامنه این ارتفاعات شیبی به جهت شمال و شمال غربی دارند، در مقایسه با دامنه‌های ارتفاعات شمالی، که شیبی به سمت جنوب و جنوب شرقی دارند، به عنوان دامنه‌های نسار شناخته می‌شوند. به همین دلیل و با توجه به پراکندگی سیرک‌ها در دو دامنه، ارتفاع برف مرز دائمی بر اساس روش رایت در دامنه‌های نسار منطقه در حدود ۱۶۲ متر پایین تر از دامنه‌های نگار است. در این قسمت موجودیت شواهدی ژئومورفیکی که بیش از همه مدیون پیشروی یخچال‌های گذشته است دره‌های U شکلی است که گاه تا رودخانه زنجان رود پیش آمده‌اند. البته مورن‌های سرگردان به صورت مجتمع در اطراف روستای زنگیل آباد در ارتفاع ۱۹۰۰ متری (شکل ۱۱) و به صورت پراکنده در جنوب روستای کوشکن دیده شده‌است. وجود چنین سنگ‌هایی با ابعاد بزرگ و متفاوت آن هم در خارج از بستر رودخانه‌هایی که وسعت حوضه‌های آبی آن‌ها در بالا دست بسیار ناچیز است، تسلط فرایند یخچالی را در گذشته تأیید می‌کند. نکته قابل تأمل در این تحقیق آن است که هر چند جهت ناهمواری‌ها بر خط تعادل آب و یخ اثر گذار است ولی مهمتر از آن وضعیت ارتفاعی مناطقی است که از برف مرز دائمی کواترنری ارتفاع بیشتری دارند. در محدوده مورد مطالعه بلندترین قله‌های دامنه نسار ۴۴۰ متر از بلندترین قله در دامنه نگار کم ارتفاع تر است و از طرفی دره‌های یخچالی مشتق از بلندترین قله نیز با توجه به جهت ناهمواری در این بخش که تقریباً شمالی- جنوبی است، جهت غربی دارند که نسبت به امتداد اصلی ناهمواری‌ها (شمالغرب- جنوب شرق) وضعیت زاویه ارتفاع خورشیدی متمایل تر می‌شود مجموع چنین شرایطی علی رغم بالاتر بودن ارتفاع برف مرز نسبت به دامنه‌های جنوبی شرایط تغذیه و جریان بیشتر یخچال را در ارتفاعات شمالی فراهم ساخته‌است.

شکل (۱۰) مورن‌های سرگردان در اطراف روستای زنگیل آباد

شکل (۱۱) وسعت یکی از زیر حوضه‌های سیرکی

نتیجه گیری

شواهدی همچون سیرک‌های یخچالی، دره‌های U شکل و مورن‌های سرگردان در حوضه زنجان‌رود، با عرض جغرافیایی بیش از ۳۶ درجه و در ارتفاعات بالاتر از ۱۶۰۰ متر، وجود دارد که با توجه به آن‌ها، شرایط پالئوکلیمایی کواترنری بازسازی گردید. شرایط اقلیمی گذشته به همراه فرم شناسی، رسوب شناسی و شرایط هیدرولوژیکی منطقه، مؤید این نکته است که فرایندهای یخچالی کواترنری در ایجاد لندفرم‌ها نقش اساسی داشته‌اند. بازسازی شرایط دمایی و بارشی گذشته با توجه به برف مرز دائمی کواترنری، بیان کننده این نکته است که دمای آن زمان نسبت به امروز در حدود ۸/۹۴ درجه سانتی گراد پایین تر و مقدار بارش حدود دو برابر شرایط کنونی بوده‌است. چنین شرایطی باعث شده که هم ریزش‌های جوی جامد بیشتر و ماندگارتر از امروز باشند، تراکم آن‌ها یخچال‌های سیرکی و جریان آن‌ها دره‌های آبشخور مانند و مورن‌های سرگردان به میراث گذاشته است. از روی آثار سیرکی به جا مانده، ارتفاع برف مرز دائمی و از روی فرم‌ها و رسوبات، ارتفاع خط تعادل آب و یخ گذشته بازسازی گردید. شرایط ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیمایی منطقه حاکی از آن است که هرچند در ناهمواری‌های شمالی حوضه زنجان رود، به خاطر ارتفاع بیشتر خط الرأس (حدود ۴۰۰ متر نسبت به ناهمواری‌های جنوبی) تعداد آثار سیرکی بیشتری شناخته شده، ولی با توجه به جهت شیب دامنه‌ها که به سمت جنوب غرب تمایل دارد، زاویه ارتفاع خورشیدی سالانه از تمایل کمتری نسبت به دامنه‌های جنوبی حوضه (با شیبی به طرف شمال شرقی) برخوردار بوده و همین عامل باعث شده که ارتفاع برف مرز شناسایی شده در آن‌ها ۴۷ متر بالاتر از ارتفاع برف مرز کل منطقه و ۱۶۲ متر بالاتر از ارتفاع برف مرز ناهمواری‌های جنوبی برآورد گردد، برف‌مرز دائمی دوره کواترنری کل منطقه در ارتفاع ۲۲۷۰ متری قرار داشته‌است(جدول ۴). بازسازی خط تعادل آب و یخ کواترنری منطقه حاکی از آن است که هر چند در مطالعات قبلی ارتفاع آن را با خط همدمای ۵ درجه منطق دانسته‌اند ولی ارتفاع آن در این حوضه با توجه به دره‌های آبشخور مانند سهرین، سارمساقلو، ارمغانخانه و غیره ۱۵۵۰ متر، با خط همدمای ۲/۱۶ درجه سانتی گراد گذشته انطباق داشته و بر اساس مورن‌های سرگردان ۱۶۷۵ متر و منطبق با خط همدمای ۱/۸ درجه سانتی گراد گذشته، برآورد گردد. هر چند پست ترین محل منطقه در رجعین با ارتفاعی در حدود ۱۱۰۳ متر در طول دوره کواترنری، دمایی نزدیک به ۳/۲ درجه داشته و بالاتر از ارتفاع خط همدمای پنج درجه (خط تعادل آب و یخ) واقع می‌شده، ولی شرایط ژئومورفولوژیکی منطقه به یخچال‌ها شرایط رسیدن به این ارتفاع را در هیچ زمانی نداده‌است.

جدول (۴) ارقام برآورد شده از آثار یخچالی کواترنر منطقه

مکان	تعداد سیرک	ارتفاع برف مرز	ارتفاع خط تعادل آب و یخ	کاهش‌دمای‌گذشته	دمای‌خط‌تعادل‌آب ویخ
کل منطقه	۲۵۶	۲۲۷۰	۱۶۰۲	۸/۹۴	۱/۹۸
ارتفاعات شمالی	۲۰۱	۲۳۱۷	۱۶۷۵ براساس‌سنگ‌های‌سرگردان	۸/۸	۱/۸
ارتفاعات جنوبی	۶۱	۲۱۵۵	۱۵۵۰بر اساس فرم دره‌ها	۹/۳	۲/۱۶

منابع و مآخذ

- اسفندیاری درآباد، فریبا، (۱۳۸۸) شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات آب و هوایی پلیوستسن فوقانی در دامنه شرقی سبلان، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۳، صص: ۸۳-۹۷.
- اصغری مقدم، محمد رضا (۱۳۸۳) مبانی ژئومورفولوژی ساختمانی اقلیمی، نشر سرا.
- المدرسی، سیدعلی و رامشت، محمد حسین(۱۳۸۶) آثار یخساری و یخچالی شیرکوه یزد در منطقه سخوید، مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۱۹، صص: ۲۹-۱.
- انتظاری، مژگان، (۱۳۹۰)، تأثیرات چاله های حرارتی و برودتی بر زمین لغزش های استان اصفهان، محمد حسین رامشت، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا، گروه ژئومورفولوژی.
- امیر احمدی، ابوالقاسم؛ مقصودی، اکبر؛ احمدی، طیبه (۱۳۹۰) بررسی آثار یخچالی کواترنر و تأثیر آن بر عدم شکل گیری مدنیت و سکونتگاه دائم شهری در دشت آسپاس، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای- سال سوم، شماره ۱۰، پاییز، ۸۰-۶۱.
- پروی، کریستف،(۱۳۶۹) ترجمه ثروتی، محمد رضا، یخبندان کواترنر در قسمت‌های داخلی کوهستان زردکوه در رشته کوه زاگرس، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۶، سال ۲۳، شهریور ماه، صص:۷۷-۳۵.
- جداری عیوضی، جمشیـد(۱۳۷۴) ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ دوم.
- جعفری، غلام حسن (۱۳۸۸) تأثیر جهت ناهمواری‌ها در ارتفاع خط تعادل آب و یخ کواترنری ایران، رساله دکتری دانشگاه اصفهان.
- جعفری، غلام حسن (۱۳۹۲) روش برآورد ارتفاع خط برفمرز دائمی ایران و مقایسه آن با روش رایت، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۳۴، پیاپی ۵۲، شماره ۴ صص: ۹۹-۱۲۱.
- حریریان، محمود(۱۳۸۴) شناخت پیکر زمین، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی تهران.
- رامشت، محمد حسین (۱۳۸۱) آثار یخچالی در زفره اصفهان، طرح پژوهشی شماره ۸۰۰۳۰۵ مصوب ۱۳۸۱/۳/۲۷ شورای پژوهشی دانشگاه اصفهان.
- رامشت، محمد حسین (۱۳۸۵) نقشه‌های ژئومورفولوژی؛ انتشارات سمت.
- رامشت، محمد حسین و شوشتری‌زاده، نجمه(۱۳۸۳) آثار یخساری و یخچالی در سلفچگان قم، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، صص: ۱۳۲-۱۱۹.
- رامشت، محمد حسین و کاظمی، محمد مهدی (۱۳۸۶) آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۷۹، صص:۱۱-۳.
- رامشت، محمد حسین، شاه زیدی، سمیه سادات(۱۳۹۰) کاربرد ژئو مورفولوژی دربرنامه ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی، توریسم، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ دوم.
- رجبی، معصومه و بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۷) بررسی لندفرم دره‌های یخچالی مطالعه موردی: دره‌های یخچالی کوهستان سهند، پژوهش‌های جغراقیایی،شماره ۶۴، صص: ۱۰۵-۱۲۱.
- رواقی، فاطمه (۱۳۷۹) آثار یخچالی در دره طرق، پـایـان نـامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، دانشکده تحصیلات تکمیلی.
- زمردیان، محمدجعفر(۱۳۸۸) ژئومورفولوژی ایران اقلیمی و دینامیک بیرونی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸.
- شوشتری‌زاده، نجمه(۱۳۸۲)یخ‌سارهای ایران مرکزی منطقه سلفچگان،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد.
- طاحونی، پوران (۱۳۸۳) شواهد ژئومورفیک فرسایش یخچالی پلییستوسن در ارتفاعات طالش، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۷، بهار، صص:۵۵-۳۱.
- طالبـی، حمیـد رضـا (۱۳۸۱) بررسی آثار یخچالی در زفره اصفهان، پـایـان نـامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، دانشکده تحصیلات تکمیلی.
- عبدی، پرویز؛ غیومیان، جعفر (۱۳۷۹) تعیین محل‌های مناسب برای پخش سیلاب در دشت زنجان با استفاده از داده‌های ژئو فیزیکی و GIS- دومین همایش استانداردهای ایستگاههای پخش سیلاب ۱۳-۱۵،اسفند ماه ۷۹،مرکز تحقیقات خاک و آبخیز داری.
- علیجانی، بهلول، (۱۳۷۵) آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

- قنبرزاده، ابوالفضل و بهنیافر،هادی(۱۳۸۶) مبانی تغییرات محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
- کاویانی، محمد؛ علیجانی، بهلول(۱۳۹۰) مبانی آب و هواشناسی انتشارات سمت،چاپ شانزدهم.
- کمانه، سید عبدالعلی(۱۳۸۵) نقش تغییرات سطوح اساس محلی و اقلیمی دوره کواترنری بر تحولات ژئومورفولوژیکی(مطالعه موردی: رودخانه کر)، پایان نامه دکترای ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۵.
- محمودی، فرج الله(۱۳۷۸) ژئومورفولوژی اقلیمی؛ انتشارات دانشگاه تهران.
- محمودی، فرج الله(۱۳۸۰) گذری بر ارتفاعات طالش،قلمرو یخچال‌های قدیمی،فصلنامه تحقیقات طالش،شماره ۱،صص: ۱-۵.
- معتمد، احمد (۱۳۸۲) جغرافیای کواترنر، انتشارات سمت.
- معیری، مسعود، رامشت محمد حسین، تقوایی مسعود، تقی زاده، محمد مهدی،(۱۳۸۸) مواریث یخچالی در حوضه صفاشهر- استان فارس مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان علوم انسارنی، جلد ۱، شماره۳۲، سال ۴، صص:۱۳۰-۱۰۹.
- مغیث، مرضیه (۱۳۷۹) ردپای آثار یخچالی در دره هنجن، پـایـان نـامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، دانشکده تحصیلات تکمیلی.
- مهرشاهی، داریوش؛ بقایی نیا، علیرضا(۱۳۹۱) بررسی تغییرات احتمالی دما و بارش کواترنری پایانی در دامنه‌های شمالی شیرکوه با استفاده از شواهد یخچالی (حوضه آبریز فخر آباد یزد)، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی جغرافیا، دوره جدید، سال دهم، شماره ۳۴، پاییز، ۶۵-۸۴.
- نعمت الهی، فاطمه (۱۳۸۲) آثار یخچالی حوضه آبی نمدان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، گروه جغرافیا.
- نعمت الهی، فاطمه؛ رامشت، محمد حسین (۱۳۸۵) آثار یخساری در ایران؛ نشریه دانشکده علوم انسارنی تبریز، شماره ۳، صص:۱۴۳-۱۶۳.
- نگارش، حسین؛ خسروی، محمود(۱۳۷۷) کلیات ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- یمانی، مجتبی (۱۳۸۶) ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه، بررسی اشکال ژئومورفولوژیک و حدود گسترش آن‌ها، پژوهش‌های جغرافیایی –شماره۵۹، بهار، صص:۱۳۹-۱۲۵.
- یمانی، مجتبی؛ جداری عیوضی، جمشید؛ گورابی، ابوالقاسم (۱۳۸۶) شواهد ژئومورفولوژیکی مرزهای یخچال در دامنه‌های کرکس،فصلنامه مدرس علوم انسارنی برنامه ریزی و آمایش فضا، فروردین،سال یازدهم، شماره ۷۰، صص:۲۲۸-۲۰۷.
- یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم؛ عزیزی، قاسم؛ باخویشی، کاوه(۱۳۹۲) تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندهای غرب استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۴، صص ۱۴-۱.
- *Abramowski, U., Bergau, A., Seebach, D., Zech, R., Glaser, B., Sosin, P., Kubik, P.W., and Zech, W., (2006) Pleistocene glaciations of central Asia: results from 10Be surface exposure ages of erratic boulders from the Pamir (Tajikistan), and the Alay-Turkestan range (Kyrgyzstan). Quat. Sci. Rev. 25, Pp: 1080-1096.*
- *Hagedorn, H; Haars, W; Busche, D and Grunert, J., (1978) some geomorphological observations from the Shir Kuh mountains area. Geography (Journal of the Association of Iranian Geographers), V.1, No.2, Pp.10-19.*
- *M. Moayeri, M. H. Ramesht, A. Saif, M. Yamani & Gh. H. Jafari., (2011) the impact of mountainous skirts direction of Iran on differences in altitude of wither and ice equilibrium line of quaternary, geography and environmental planning journal, year 21- vol 40- no 4, winter. Pp 1-12.*
- *Solomina, O., Barry, R., & Bodnya, M. (2004) the retreat of Tien Shan glaciers (Kyrgyzstan) since the little ice age estimated from aerial photographs, lichenometric and historical data. Geografiska Annaler, 86A, 205–215.*
- *Stroevena, A.P., ttestranda, C, Ha. , Jakob Heymana, b., Johan Klemana., Bjorn M. Morena(2013) Glacial geomorphology of the Tian Shan., Journal of Maps,Vol. 9, No. 4, 505–512.*