

ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی

(مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان)

محمدحسین رامشت: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
محمود لاجوردی: استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
حسن لشکری: دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
طیبه محمودی محمدآبادی دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*

چکیده

ماهیت اکثر اشکال و فرایندهای بیرونی زمین، اساساً تابع شرایط اقلیمی حاکم بر یک منطقه در طی زمان می‌باشد. لذا آثار و شواهد تغییرات اقلیمی دوران چهارم که مهمترین آنها وجود آثار یخچالی باقی مانده از این دوره است توانسته پدیده‌های متنوع ژئومورفولوژی را در سطح خارجی پوسته زمین بر جای بگذارد و با توجه به این آثار و شواهد می‌توان شرایط اقلیمی گذشته را بازسازی نمود. در همین راستا، در این پژوهش اقدام به بررسی آثار یخچالی در منطقه ماهان کرمان پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که خط مرز برف دائمی در منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۲۹۰۰ متری و خط تعادل آب و یخ در ارتفاع ۱۹۰۰ متری بوده است. نقشه‌های رسم شده نشان می‌دهد که اختلاف دمای حال و دمای گذشته ۸/۵ درجه سانتی‌گراد و اختلاف بارش فعلی و گذشته در حدود ۳۰۰ میلی‌متر است. همچنین، بر اساس رابطه مانینگ حجم یخ عبوری از دره یخچالی در منطقه مورد مطالعه با سرعتی معادل ۳ متر در سال برابر ۱۳۰۵ متر مکعب برابر ۲/۴ لیتر در ثانیه محاسبه شد. نتایج حاصل از بررسی‌های مورفوسکوپی که بر روی دانه‌های بسیار ریز انجام می‌گیرد نیز می‌تواند بیانگر منشأ رسوبات یک منطقه باشد که بر این اساس ۶۶/۶ درصد از رسوبات منطقه مطالعاتی را رسوبات زاویه دار تشکیل می‌دهد که رسوبات یخچالی بوده است و رسوبات آبی ۳۳/۴ درصد را در بر می‌گیرد. واژه‌های کلیدی: تیگرانی، ژئومورفولوژی، مرز برف، مورن، یخچال

مقدمه

فعالیت مستمر فرایندهای حاکم در آن مناطق است و شکل تکامل یافته، شکلی است که بر اثر پاسخ‌گویی مستمر به فرآیند حاصل می‌شود. به طور کلی، فرایندهای بیرونی زمین و اشکال ناشی از آنها اصولاً تابع شرایط اقلیمی حاکم بر هر منطقه در بستر زمان است. آثار و شواهد تغییرات اقلیمی دوره کواترنری، که مهمترین آنها آثار یخچالی است، پدیده‌های گوناگون

در مطالعات ژئومورفولوژی شکل‌های سطح زمین منعکس‌کننده فرایندها و ساختار سیستم‌هایی است که در حال فعالیت هستند. بررسی ساختار و عملکرد این سیستم‌ها، امکان دستیابی به گذشته آنها و ترسیم روند تحول آینده آنها را هموار می‌سازد. بر همین اساس است که شکل زایی در مناطق مختلف حاصل

ژئومورفولوژیک را در سطح خارجی پوسته زمین بر جای گذاشته اند که با توجه به آنها می توان شرایط اقلیمی گذشته را بازسازی کرد (رامشت و کاظمی، ۱۳۸۶: ۱). بررسی آثار یخچالی و حدود گسترش آنها در نواحی کوهستانی ایران، بهترین کلید برای مرزبندی های مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک به شمار می رود (رامشت، ۱۳۸۱: ۷). هر چند موقعیت کنونی سرزمین ایران و تسلط شرایط خشک و نیمه خشک وجود حاکمیت یخچالها را در این سرزمین با شک و تردید همراه ساخته است، اما وجود شواهد و آثار ژئومورفولوژیکی یخچالها در مناطق مختلف ایران، حاکی از عملکرد یخچالها در این مناطق است از طرفی دیگر، دماوند، علم کوه، سبلان، اشتران کوه و زرد کوه از مرتفع ترین قله کوهستانی ایران به شمار می روند که در حال حاضر، دارای یخچال فعال میباشند (وزیری، ۱۳۸۲: ۳۸). مطالعات انجام گرفته درباره یخچالهای کواترنری در ایران زیاد نیست اندک مطالعات صورت گرفته نیز مربوط به یک سده اخیر است (راب^۱، ۱۹۸۱، ۵۲). آنچه مسلم است، یخ و یخچال در ایران با آنچه در اروپا و آمریکا اتفاق افتاده است، از نظر وسعت و ابعاد قابل مقایسه نیست و همین امر سبب شده است که محققان کمتر به این موضوع بپردازند و یا در جستجوهای خود با ذهنیتی که از عملکرد یخ در اروپا و یا دیگر مناطق سرد دنیا داشته اند، به چهره زمین در این مناطق بنگرند. همین پیش زمینه ذهنی سبب شده است که راز آثار یخ و

یخچال از دید آنها پنهان ماند و یا نتوانند با اطمینان نسبت به آن مکتوبه یا سخنی به زبان آورند (رامشت، ۱۳۸۱: ۵). از جمله موارد اساسی در مطالعات یخچالی شناخت خط مرز برف دائمی و خط تعادل آب و یخ می باشد. خط تعادل آب و یخ خطی است بین حد نهایی گسترش زبانه یخچالی و سطح روانابی ناشی از ذوب یخ (محمودی، ۱۳۶۸)، اما مرز برف دائمی عبارت است از مرزی در سطح افقی که بالاتر از آن پوشش برف در تمام طول سال پابرجا می ماند (بلر و پومروی، ۱۳۶۹). به طور کلی، شواهد ژئومورفولوژیکی و لند فرم های موجود مانند سیرک های یخچالی، دره های یخچالی، سنگهای سرگردان، مورن ها و تیلها در مناطق مختلف ایران و در منطقه مورد مطالعه حاکی از عملکرد فرایند های یخچالی و حاکمیت سیستم های یخچالی است که شناسایی این ژئوفورمها علاوه بر اثبات تغییرات اقلیمی در گذشته می تواند در برای کشف روند حاکم بر لند فورمها و همچنین شناخت محدودیت ها و پتانسیل های محیطی در برنامه ریزی و مدیریت محیط موثر واقع شود. به طور کلی، مدل سازی به عنوان ابزاری برای درک ارتباطات ژئومورفولوژیکی پیچیده که در سیر تکامل ناهمواری حاکم است، می تواند در مدیریت تغییرات محیطی یا انسانی در سیستم های مناطق خشک و نیمه خشک مؤثر واقع شود. برخی از این کاربردها می تواند در ارزیابی آثار تغییرات اقلیمی (آنتونسن و همکاران^۲، ۱۹۹۶؛ هگن هولنز و

^۱. Anthonsen et al

^۱. Rob

در این دوره به وسیله یخچال‌های کوهستانی و دریاچه‌ها پوشش داده می‌شده است، اما آنچه 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 بوبک در رشته کوه‌های البرز و در ارتفاعات کردستان (۱۹۳۳) و دزیو (۱۹۳۴) در زردکوه بختیاری است (جداری عیوضی، ۱۳۷۸: ۳۴).

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 زبانه‌های یخی آن‌ها را مطالعه نمود. ژان درش نیز مطالعاتی را در روی یخچال علم کوه و تخت سلیمان انجام داده است. بوبک با بررسی مورن‌های وورم در رشته کوه البرز و زاگرس آن را 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، ۱۳۸۰: ۴). پس از بوبک و دزیو در مورد ارتفاعات یخچالی، همچنین مشخص کردن مرز برف دایمی در ایران، دانشمندان زیادی نظریاتی ارائه دادند، از جمله رایت که در کوه‌های کردستان پایین آمدن خط برف را در دوره‌های سرد تا ارتفاع ۱۸۰۰ متر از سطح دریا بر آورد کرده است. 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 ازای هر

ولف^۱؛ مارین و همکاران^۲ ۲۰۰۵؛ توماس و همکاران^۳ (۲۰۰۵) و احیای شرایط ایجاد برای تشکیل و پایداری سیستم‌های متاثر از آن باشد (فرمن و همکاران، ۲۰۰۱^۴، فرمن و پیرسون، ۲۰۰۳^۵)؛ هرچند بازسازی شرایط اقلیمی از روی اشکال ژئومورفیک و شناخت سیستم‌های ژئومورفیک حاکم بر مناطق مختلف در گذشته از طریق بررسی لندفرم‌های موجود کمتر صورت گرفته است. این پژوهش می‌کوشد با استفاده از ژئوفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه شرایط اقلیمی گذشته حاکم بر منطقه را بازسازی کند تا بتواند روند حاکم بر لندفرم‌های امروزی را برای برنامه‌ریزی هرچه بهتر و اصولی برای مدیریت کارآمد بر منابع ارائه نماید.

پیشینه تحقیق

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 و ضمن کشف پاره‌ای ادوات سنگی در رسوبات پلیوستوسن در حوضه خزر، اظهار می‌دارد که ایران

². Hugenholtz and Wolfe

³. Marín et al

⁴. Thomas et al

⁵. Forman et al

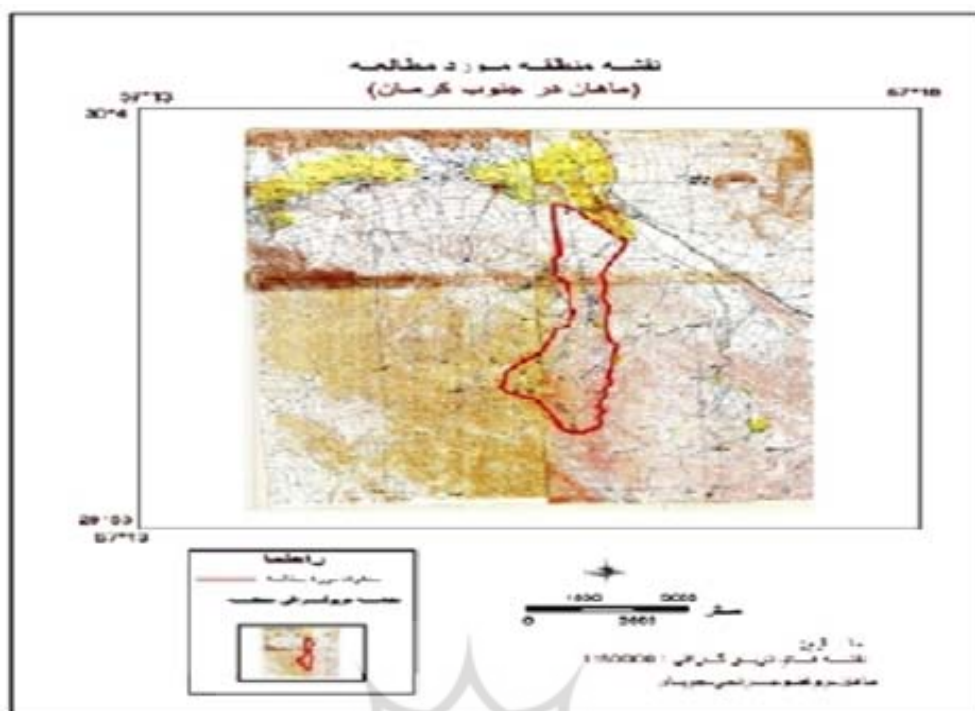
⁶. Forman and Pierson

دشتی تأکید کرده است. یمانی (۱۳۸۵: ۸) به بررسی اشکال ژئومورفیک یخچالها و حدود گسترش آنها در منطقه زرد کوه پرداخته است وی بیان کرد در دامنه های شمال غربی این رشته کوه و پیرامون قله اصلی آن که بالای ۴۰۰۰ متر ارتفاع دارند، بیش از ۱۵ سیرک و زبانه یخچالی وجود دارد. به اعتقاد وی، حداکثر گسترش زبانه های یخچالی تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر و محدود به بستر رودخانه کوه‌رنگ است و مرز تشکیل سیرکهای یخچالی حداقل تا ارتفاع ۳۴۰۰ متر بوده است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه موسوم به حوضه رودخانه تیگرانی در غرب شهر ماهان و در فاصله حدود ۳۵ کیلومتری شهر کرمان واقع شده است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۵۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت این حوضه ۵۹/۶۳ کیلومتر مربع است. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۹۲۰ متر است که در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارد و کمترین ارتفاع ۱۹۰۰ متر مربوط به شمال منطقه مورد مطالعه است. در غرب منطقه کوه جوپار قرار دارد که نقش اساسی در تعدیل آب و هوای منطقه و ژئومورفولوژی آن دارد.

۱۰۰ متر ارتفاع برای این منطقه پیشنهاد کرده است. بر این اساس، اگر کاهش ارتفاع مرز برف دائمی به علت کاهش دما بوده است، می توان نتیجه گرفت که متوسط دمای سالانه این منطقه در وورم نسبت به زمان حال ۱۲ درجه سانتی گراد کمتر بوده است (رامشت، ۱۳۸۰: ۱۲). از مطالعات دقیقی که در مورد ارتفاعات سبلان انجام گرفته است، تحقیقات شواپتزر (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 پایینی یخچال ها را به ترتیب در ۳۹۸۰ و ۳۹۶۰ متر ارائه داده است. کریستف پروی (۱۹۸۰) حد پایین ترین زبانه یخچالی را در زردکوه در حداکثر گسترش خودشان در ارتفاع ۳۲۰۰ متر برآورد کرده است (زمردیان، ۱۳۸۱: ۳۶). به نوشته پدرامی، بهترین منطقه برای مشاهده یخرفت های دوره وورم اطراف بانه است. وی همچنین به پایین آمدن یخرفت های دره ماسوله در جنوب غرب رشت، که از آن وورم اخیر بوده و تا ارتفاع ۴۰۰ متری دریا پایین آمده، اشاره دارد. رامشت (۱۳۸۱) نیز یافته های دانشمندانی چون هاگه درن، کوهله را تأیید کرده و با تکیه بر شواهد ژئومورفیک و آثار فرسایشی، یخچال ها را تا ارتفاع ۱۶۰۰ متری در چندین نقطه از ایران مرکزی، از جمله زفره - شیرکوه و ... مطالعه نموده و به پایین آمدن زبانه های یخی تا زمین های



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق و مراحل آن

این تحقیق بیشتر متکی بر فعالیتهای میدانی بوده که سعی شده است با استفاده از شواهد و قراین ژئومورفولوژیک و مواریت اقلیمی گذشته و بررسی های آزمایشگاهی و با اتکا به روش راییت به اثبات موضوع پرداخته شود. بدین منظور، ابتدا از روی نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و عکسهای هوایی محدوده مورد مطالعه مشخص شد و سپس از روی فرم منحنی های میزان در نقشه ۱/۵۰۰۰۰ و مشاهدات میدانی سیرکهای یخچالی مشخص گردید. برای ترسیم نقشه همدمای حال، ابتدا همبستگی بین ارتفاع و متوسط دمای سالیانه ایستگاههای ابارق، کرمان، سیرجان، بافت، زرنده، زیارتگاه، سکنج، عرب آباد، دودران و بردسیر برقرار شد و رابطه خطی $T=26.9-0.0067h$ به دست آمد. برای تهیه نقشه همبارش

زمان حال، ابتدا رابطه خطی $P=31.2*2.78$ از همبستگی بین ارتفاع و متوسط بارش سالیانه ایستگاه ها به دست آمد. سپس با استفاده از ارتفاع به دست آمده از Dem منطقه مورد مطالعه و روابط مذکور در نرم افزار Surfer نقشه همبارش و همدمای زمان حال منطقه ترسیم گردید؛ در مرحله بعد برای ترسیم نقشه های همدمای و همبارش زمان گذشته، ابتدا خط مرز برف دائمی به روش راییت محاسبه گردید. بدین صورت که اختلاف ارتفاع سیرکها محاسبه و با ضرب آن در ۶۰ درصد سیرکها و کم کردن حاصل از بالاترین ارتفاع مرز برف تعیین گردید. سپس از همبستگی بین ارتفاع و دما رابطه $T=26.9-0.0067h$ به دست آمد که در این رابطه یک بار به جای h ارتفاع ۱۰۰۰ متر و یک بار ارتفاع ۲۰۰۰ متر را قرار داده، سپس با کم کردن این دو عدد افت آدیاباتیک دما

گردید و به تحلیل داده های جمع آوری شده و در پایان به تلفیق اطلاعات به دست آمده پرداخته شد.

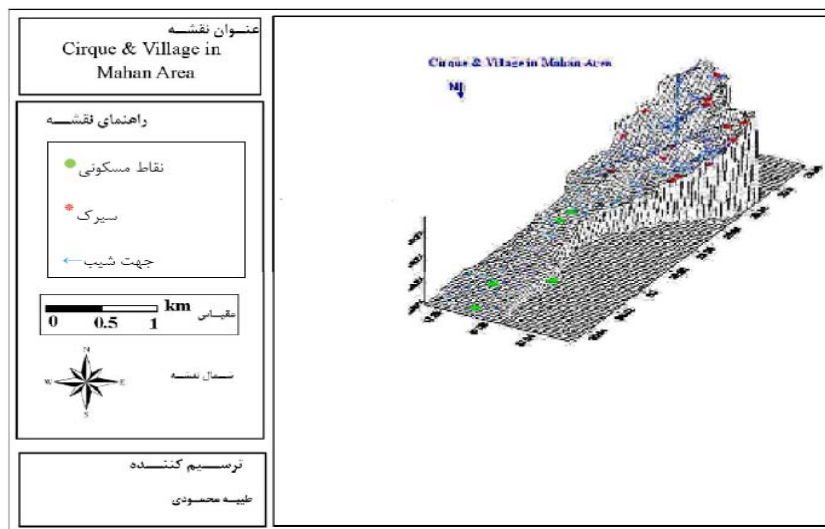
نتایج و یافته های تحقیق

با توجه به نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و مشاهدات میدانی بالغ بر ۱۴ سیرک بزرگ و کوچک در منطقه مطالعاتی شناسایی شد که بین ارتفاع ۲۵۴۰ تا ۳۴۸۰ متری توزیع شده اند. چنانکه در جدول (۱) بیان شده، تراکم سیرک ها در ارتفاع ۲۶۰۰ تا ۲۷۰۰ متر بیشتر از بقیه ارتفاعات است؛ به طوری که بیش از ۲۱ درصد آنها در این ارتفاع تمرکز یافته‌اند (شکل ۲).

محاسبه شد. با استفاده از ارتفاع خط مرز برف دائمی و میزان افت آدیاباتیک دما نقشه همدمای زمان گذشته ترسیم گردید. در مرحله بعد با همپوشانی نقشه های همدمای و همبارش زمان حال همبستگی نقطه‌ای بین دما و بارش زمان حال محاسبه و از طریق فرمول به دست آمده در نقشه همبارش زمان گذشته نیز ترسیم گردید. در مرحله بعد از چندین مکان در عملیات صحرائی، نمونه هایی از رسوبات برداشت شد و نمونه های برداشت شده از منطقه در آزمایشگاه ژئومورفولوژی بررسی و تجزیه و تحلیل شد و عملیات دانه سنجی و مورفوسکوپی و ... در روی نمونه ها انجام و نتایج استنتاج شد. در پایان، نقشه های کامل منطقه (از نظر اهداف کلی تحقیق) ترسیم

جدول ۱- چگونگی توزیع سیرک های یخچالی در منطقه

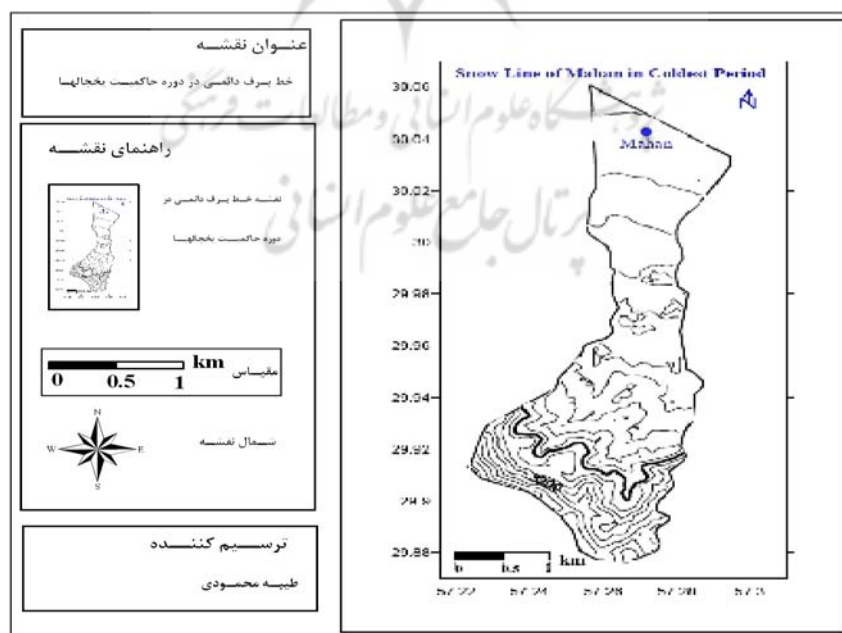
ارتفاع	تعداد سیرک ها	درصد سیرک ها
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۱	۷/۱۱
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۳	۲۱/۴۱
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۱	۷/۱۱
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۲	۱۴/۲۲
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۰	۰
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۱	۷/۱۱
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۰	۰
۳۲۰۰-۳۳۰۰	۲	۱۴/۲۲
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۲	۱۴/۲۲
۳۵۰۰-۳۶۰۰	۲	۱۴/۲۲



شکل ۲- موقعیت سیرک های یخچالی و روستاها در منطقه مطالعاتی

این ارتفاع معادل صفر درجه سانتی گراد بوده است. سپس طبق مشاهدات میدانی، با توجه به حد نهایی دره های کور یخچالی و پراکنش سکونتگاه‌ها در منطقه مطالعاتی ارتفاع ۱۹۰۰ متری برای پایین آمدن زبان‌های یخچالی مشخص گردید.

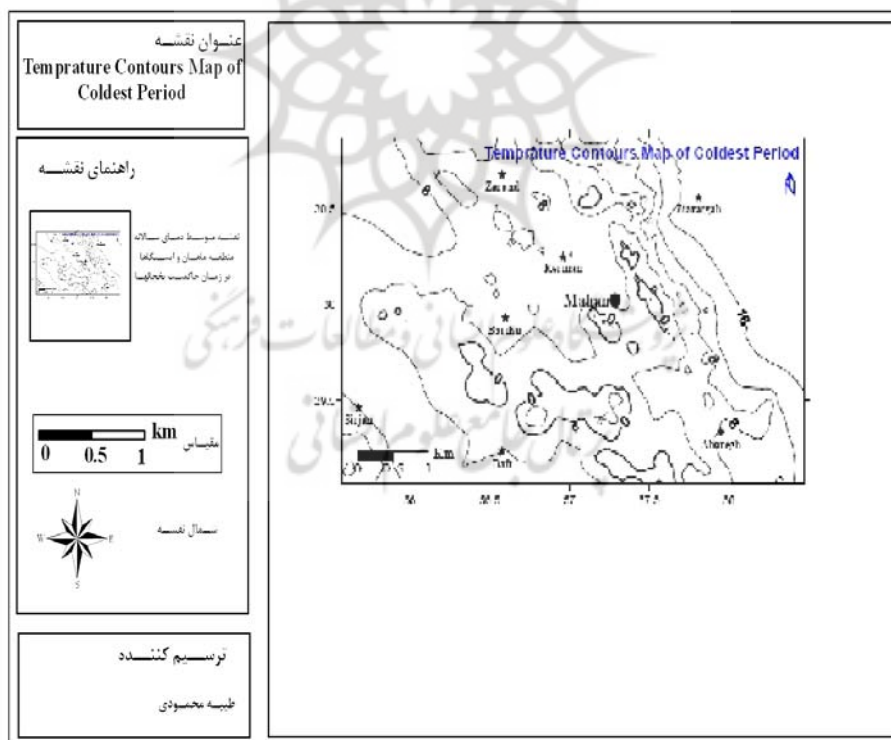
با توجه به اختلاف ارتفاع بین سیرک‌ها و به روش رایت، خط مرز برف دائمی در منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۲۹۰۰ متری مشخص گردید (شکل ۳)؛ بدین معنی که در سردترین دوره حاکم منطقه از این ارتفاع به بالا برف به صورت دائمی در تمام طول سال وجود داشته است؛ یا به عبارتی دیگر، متوسط دما بر روی



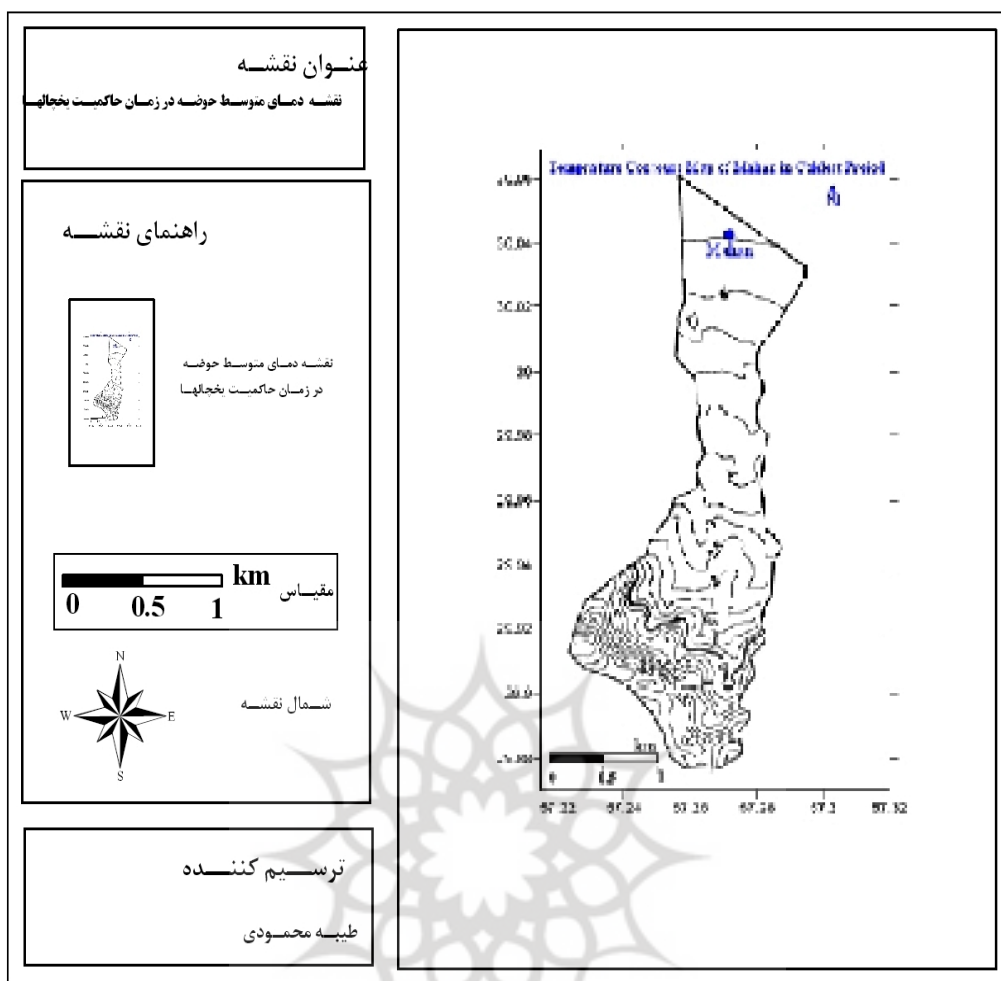
شکل ۳- خط برف دائمی منطقه در دوره حاکمیت یخچال ها

می‌دهد که هشت سلول برودتی در اطراف حوضه مورد مطالعه وجود دارد که قویترین سلول آن ارتفاعات بلند محدوده غرب ایستگاه ابارق با دمای ۷ درجه زیر صفر در قسمت جنوب منطقه مورد مطالعه است. همچنین، یک سلول برودتی نیز جنوب حوضه را در بر می‌گیرد که در ارتفاعات کوههای جوپار با حداقل دمای ۵ درجه زیر صفر مشخص گردیده است. به طرف شمال منطقه دما افزایش یافته؛ به طوری که در حوالی شهر ماهان به ۶ درجه بالای صفر می‌رسد. شکل ۵ دمای گذشته را در حوضه رودخانه تیگرانی نشان می‌دهد.

شواهد اقلیمی، از جمله دلایل مهم برای اثبات یخسارهای دوران چهارم در منطقه است این شواهد تکیه گاه مطمئنی برای بازسازی چشم انداز گذشته منطقه است. برای به دست آوردن دمای محیط در گذشته، معادله $T=26.9-0.0067h$ از همبستگی بین دما و ارتفاع هفت ایستگاه کرمان، سیرجان، بافت، زیارتگاه، ابارق، زرنند، بردسیر به دست آمد و به این طریق افت آدیاباتیک دما به میزان 0.67 درجه سانتی‌گراد به ازای هر ۱۰۰ متر ترفیع مکانی محاسبه شد. سپس با استفاده از معادله مذکور و ارتفاع مرز برف دائمی میزان دمای گذشته در منطقه محاسبه و سپس نقشه آن ترسیم گردید (شکل ۴). نقشه مذکور نشان



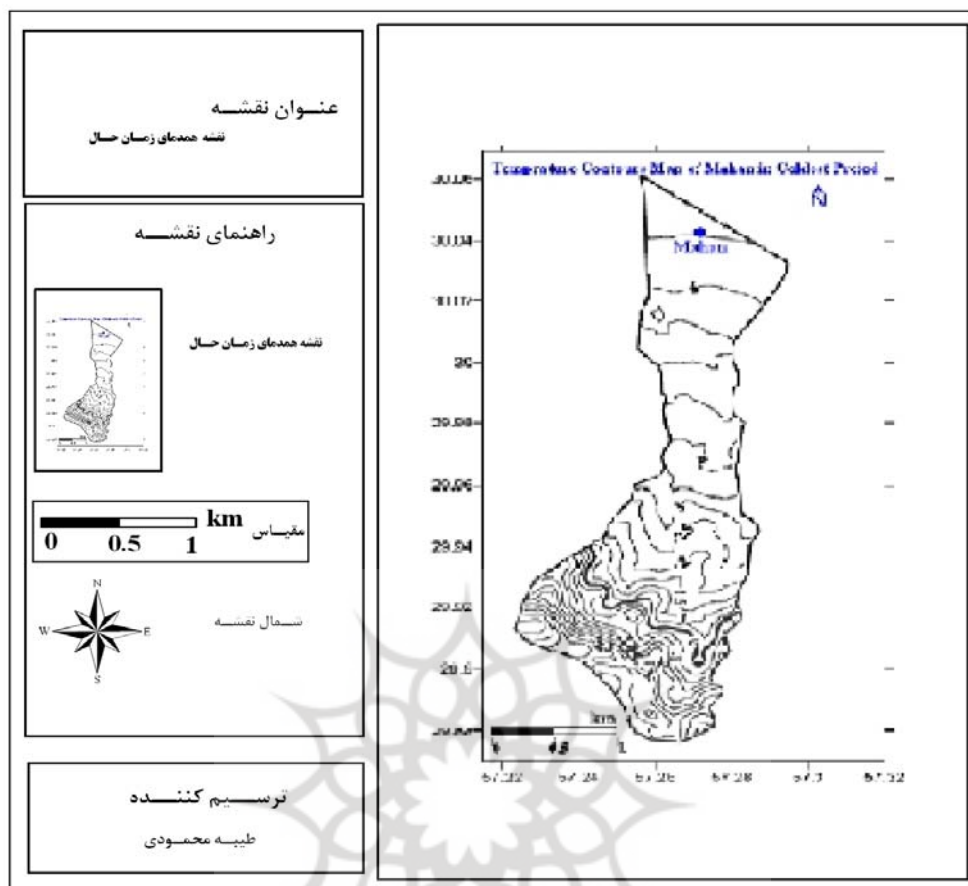
شکل ۴- دمای متوسط سالانه منطقه ماهان و ایستگاه‌های اطراف در دوره حاکمیت یخ



شکل ۵- دمای متوسط سالانه حوضه تیگرانی در زمان حاکمیت یخچال‌ها

بیان آبی گذشته اطلاعاتی در دست نبود، از نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش فعلی منطقه برای بازسازی شرایط رطوبتی در دوران گذشته استفاده شد و با کمک این نقشه‌ها پس از محاسبه میزان رطوبت در زمان گذشته نقشه بارش گذشته منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. برای ترسیم نقشه هم‌دماهای حال، ابتدا معادله $T=26.9-0.0067h$ از همبستگی بین ارتفاع و متوسط دمای سالیانه ایستگاهها به دست آمد. سپس با استفاده از نقاط ارتفاعی به دست آمده از Dem منطقه و رابطه به دست آمده در نرم افزار surfer نقشه هم‌دماهای حال منطقه ترسیم گردید (شکل ۶).

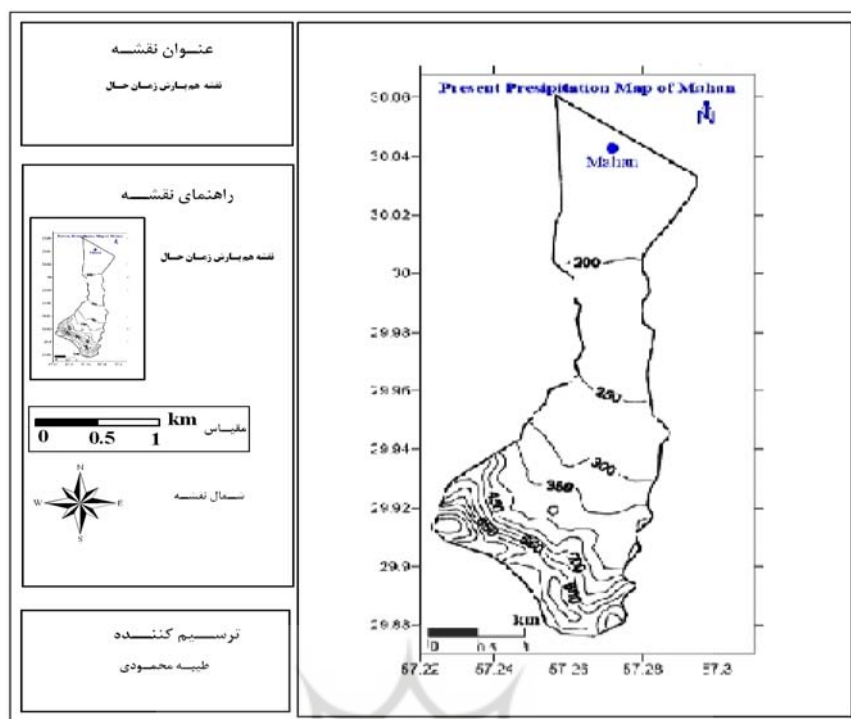
از جمله فاکتورهای مهم اقلیمی دیگر که در بازسازی شرایط آب و هوایی گذشته همچنین فرایندهای مهم فرم‌زایی نقش مؤثری ایفا می‌کند، میزان رطوبت و تغییرات آن است که پارامترهای مهمی، مثل رواناب منطقه، پوشش گیاهی، تغذیه یخ یخچال‌ها و میزان آب دریاچه‌های داخلی را تحت کنترل دارد که اشکال مختلف آن شکل‌های متفاوتی را با فرایندهای متفاوت ایجاد می‌کند. هرچند عامل دما نیز تاثیر بسزایی در نوع فرم‌ها دارد اما رطوبت می‌تواند عامل اصلی در شکل‌زایی قلمداد گردد. برای بازسازی شرایط رطوبتی گذشته، با توجه به این که از



شکل ۶- همدمای حوضه تیگرانی در زمان فعلی

آباد به دست آمد سپس با استفاده از ارتفاع به دست آمده از Dem منطقه مورد مطالعه و رابطه مذکور در نرم افزار Surfer نقشه همبارش زمان حال منطقه ترسیم گردید (شکل ۷).

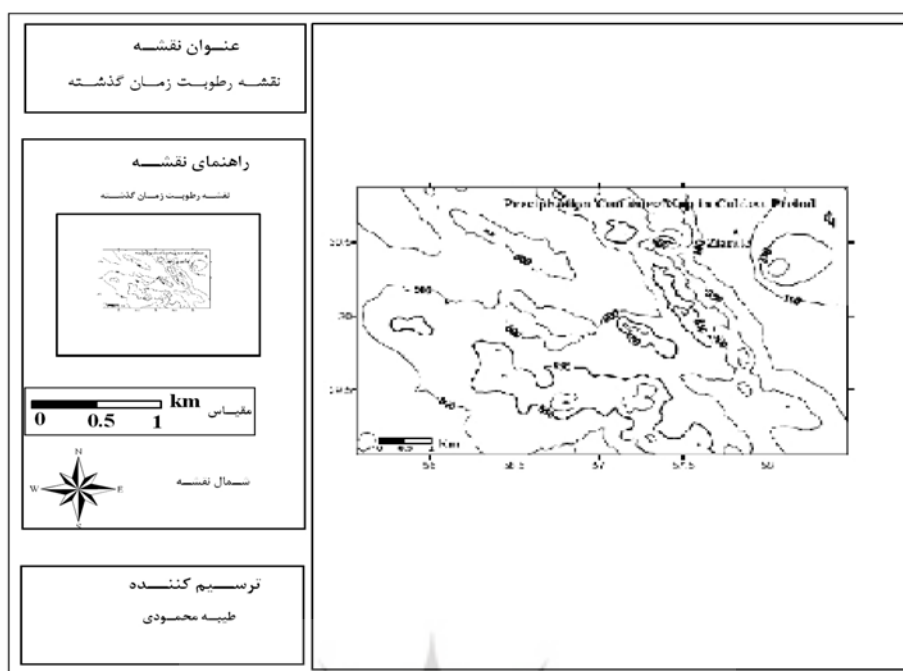
برای تهیه نقشه همبارش زمان حال، منطقه ابتدا رابطه خطی $P=31.2*2.78$ از همبستگی بین ارتفاع و متوسط بارش سالیانه ۹ ایستگاه کرمان، سیرجان، ابارق، زیارتگاه، زرنده، بافت، دودران، سکنج، عرب



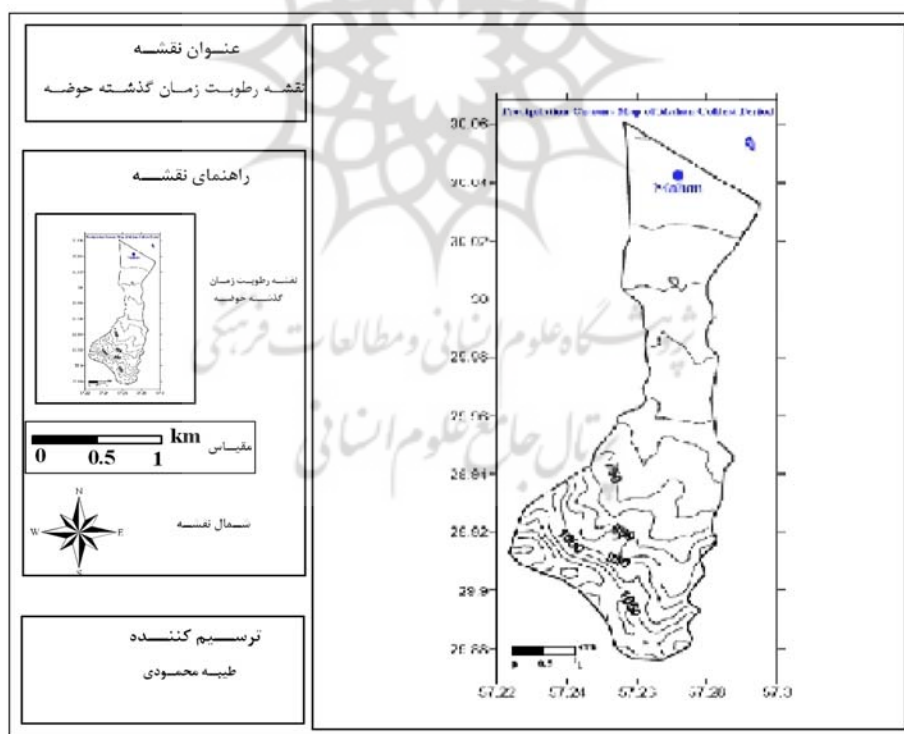
شکل ۷- بارندگی حوضه تیگرانی در زمان فعلی

ایستگاه ابارق) با بارش ۱۴۰۰ میلیمتر موجود بوده است و هر چه به طرف شمال منطقه؛ یعنی شهرستان ماهان پیش می‌رویم، از میزان بارش کاسته شده، به مقدار ۵۰۰ میلی متر می‌رسد (شکل ۸). این در حالی است که همان طور که نقشه همبارش زمان حال نشان می‌دهد، در زمان فعلی بیشترین بارش در همان سلول رطوبتی دودران، ۱۱۰۰ میلی متر است و به طرف شمال شهرستان ماهان به ۱۷۰ میلی متر می‌رسد. همچنین با blank کردن منطقه نقشه بارش زمان گذشته برای منطقه مورد مطالعه نیز رسم گردید (شکل ۹). این نقشه نشان می‌دهد که در خود حوضه بارش در گذشته از ۱۳۰۰ میلی متر در ارتفاعات به ۴۷۵ میلی متر در خود شهر ماهان می‌رسد.

در نهایت، برای رسم نقشه همبارش گذشته، دو نقشه همدم و همبارش زمان حال در نرم افزار Surfer با یکدیگر تطبیق داده شد. از آنجا که رابطه بین دما و بارش در دوره‌های مختلف دارای نسبتی مشخص و ثابت است (رامشت، ۱۳۸۱: ۵۷) لذا با داشتن دما و بارش زمان حال و با به دست آوردن رابطه همبستگی بین آنها می‌توان میزان بارش گذشته را محاسبه کرد. نقشه همبارش زمان گذشته نشان می‌دهد که بیشترین میزان بارش در پایین‌ترین حد دمای محیطی در گذشته اتفاق افتاده است و شرایط رطوبتی در زمان گذشته همانند امروز در ۸ سلول رطوبتی مشخص می‌گردد و بالاترین بارش در سلول رطوبتی جنوب منطقه در حوالی ایستگاه دودران (غرب



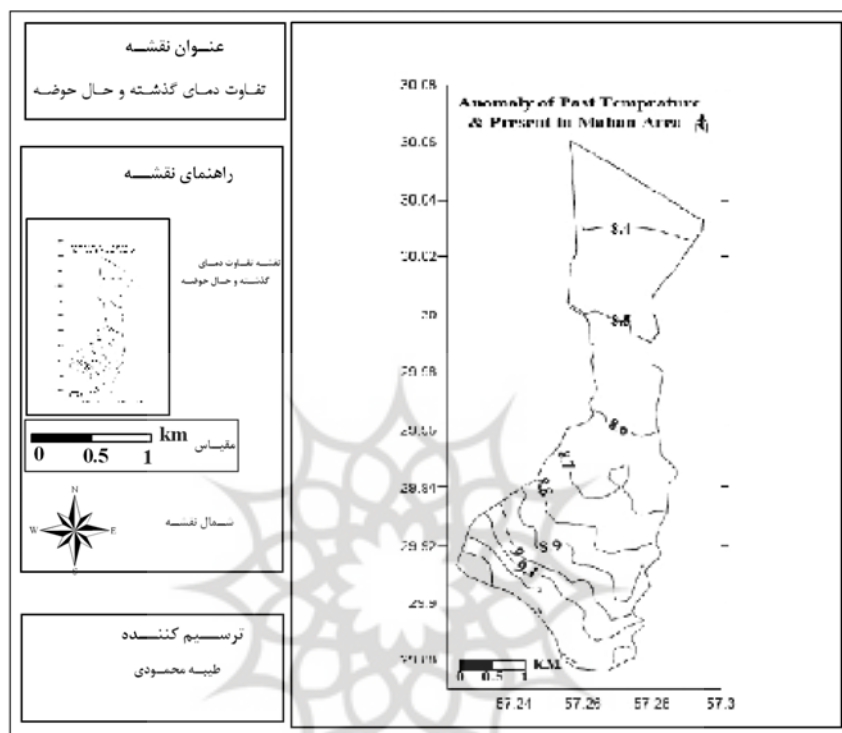
شکل ۸- نقشه رطوبت محیطی منطقه در زمان حاکمیت یخچال‌ها



شکل ۹- نقشه رطوبت محیطی حوضه تیگرانی در زمان حاکمیت یخچال‌ها

درجه سانتی گراد در خروجی حوضه و حدود ۹/۴ درجه سانتی گراد در ارتفاعات است بر این اساس، کمترین تفاوت مربوط به حوالی شهر ماهان و بیشترین تفاوت مربوط به ارتفاعات ۳۸۰۰ متری است.

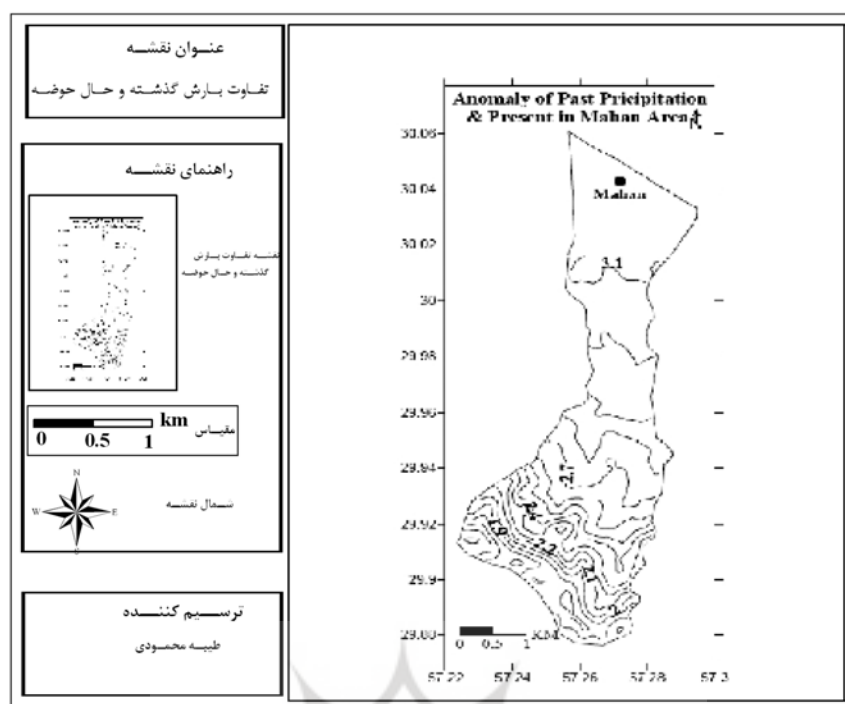
از مقایسه نقشه‌های دمایی (۵) و (۶) می‌توان میزان اختلاف دمای متوسط سالانه منطقه را دریافت. شکل ۱۰ تفاوت دمای نقطه‌ای مناطق را نسبت به زمان حال نشان می‌دهد. میزان تفاوت معادل ۸/۵



شکل ۱۰- نقشه تفاوت‌های نقطه‌ای دما در دوره حاکمیت یخچال‌ها و حال حاضر

شده است. به عبارتی، رطوبت محیطی نزدیک به ۲/۵ برابر شرایط فعلی بوده است و این میزان در دشت ۲/۷ برابر امروزه و در ارتفاعات تقریباً ۱/۴ برابر بیشتر بوده و اختلاف بارش فعلی و گذشته در حدود ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد شکل (۱۱) و این مقدار تغییر در رطوبت و دمای محیطی تغییر اساسی در سیستم‌های شکل زای منطقه به وجود آورده است.

با مقایسه نقشه همبارش گذشته و نقشه همبارش فعلی مشاهده می‌شود که میزان رطوبت محیطی در دوره‌ای که دمای محیط به میزان ۸/۵ درجه سانتی گراد کمتر بوده است. با مقدار بارش‌های فعلی تفاوت چشمگیری داشته است که این میزان تفاوت با نسبت گرفتن میزان بارش در دوره حاکمیت یخچال‌ها و بارش امروز و اعمال آن در دو فایل گرید نشان داده



شکل ۱۱- نسبت بارش در دوره حاکمیت یخچال‌ها و زمان حال

آمده، پس از سیطره زبانه‌های یخی بوده است. بر این اساس، حجم یخ عبوری از دره بر اساس رابطه مانینگ به صورت زیر محاسبه شد:

$$Q = \text{دبی جریان بر حسب لیتر در ثانیه (L/S)}$$

$$Q = S \times V$$

$$S = \text{سطح مقطع جریان (متر مربع } m^2)$$

$$S = 435 m^2$$

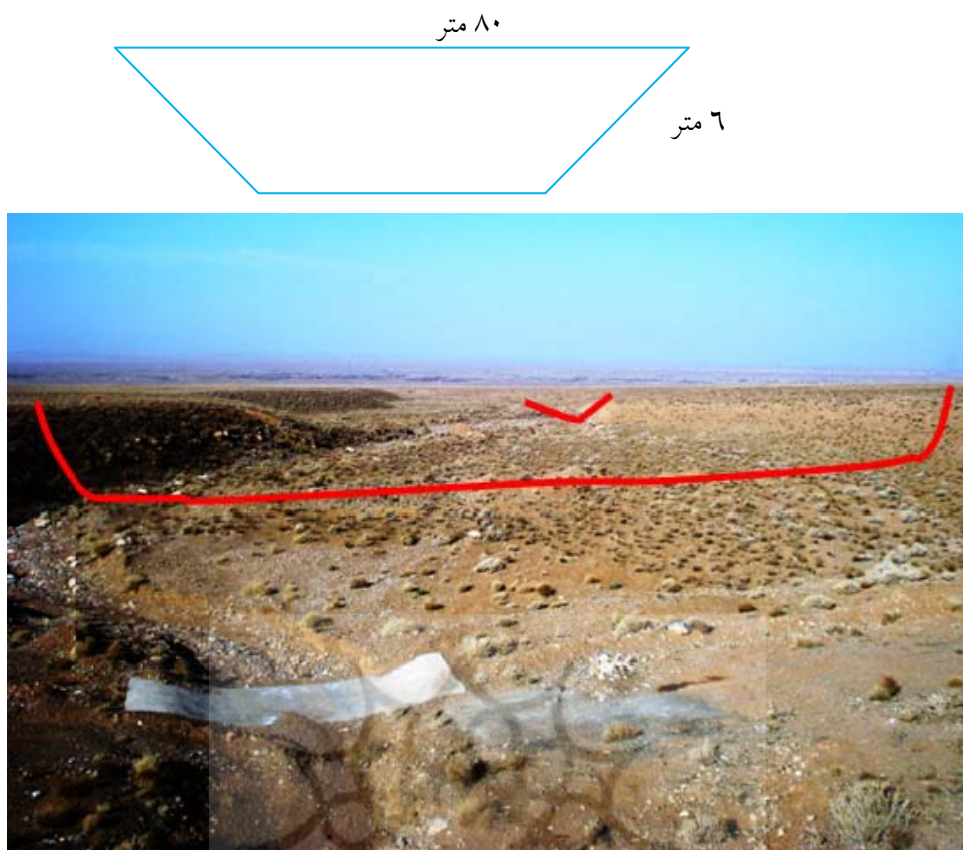
$$V = \text{سرعت متوسط آب به متر در سال (m}^3/\text{annual)}$$

$$V = 3 m^3/\text{annual}$$

$$Q = 2/4 L/S$$

$$Q = 435 \times 3 = 1305 m^3/\text{annual}$$

پس از تجزیه و تحلیل و بررسی شرایط موقعیتی و تعددی سیرک‌های منطقه و تعیین مرز برف دائمی در گذشته برای اثبات بهتر وجود یخپوشه‌های فرض شده، به علمیات صحرائی مبادرت نمودیم. در این عملیات صحرائی اولین مورد قابل توجه، وجود بی تعادلی ظاهری در منطقه بود و آن دره U شکل عظیمی بود که بر اساس مطالعات گذشته، نشانه عملکرد یخ بوده، فرض بر آن شد که یخپوشه عظیمی این دره را به وجود آورده است. این دره U شکل در شمال منطقه ماهان نرسیده به سه راهی سیرچ، ماهان، کرمان کشیده شده است و امتدادی در حدود ۱۲ کیلومتر دارا بوده و دره ای V شکلی در داخل آن وجود داشته است که پس از بررسی‌های انجام شده مشخص شد که حاصل عملکرد آب در دوره‌ای نزدیکتر از آنچه دره U شکل به وجود



شکل ۱۲- تصویر دره یخچالی در منطقه مورد مطالعه

عموماً به صورت جامد بوده است، امکان به وجود آمدن رواناب‌های شدید و مستمر فراهم نبوده است و لذا شرایط برای ایجاد چنین دره‌ای با آب‌های روان بطلانی بیش نخواهد بود و فقط یخ پوشه‌ای عظیم قدرت حفر چنین دره‌ای را داشته است.

عملیات آزمایشگاهی

در اثبات وجود آثار یخچالی، تمسک به روش‌های آزمایشگاهی، به ویژه در مطالعه رسوبات، متد مرسوم است. در این تحقیق برای آزمون صحت یافته‌های تحلیلی و فرمیک و برای دستیابی به دلایل

دهانه معبر عبوری ۸۰ متر و کف دره ۶۰ متر بوده، بر این اساس، مساحت مقطع عبور یخ ۴۳۵ مترمربع را شامل می‌شد و بر این اساس، حجم یخ عبور کننده با سرعتی معادل ۳ متر در سال برابر ۱۳۰۵ متر مکعب برابر ۲/۴ لیتر در ثانیه خواهد بود که حجم چشمگیری را شامل می‌شود. اگر سرعت یخ ۵ متر در سال تخمین زده شود مقدار آب عبوری حدود ۲/۶ لیتر در ثانیه و حجمی در حدود ۲۱۷۵ مترمکعب برآورد می‌گردد. شرایط اقلیمی امروزی و وسعت کوه‌های تغذیه کننده منطقه هرگز قادر به ایجاد سیستم شکل زای فرم مزبور نبوده و از طرفی در دوره‌های یخچالی با توجه به ارتفاع خط برف دایمی و میزان بارش که

متقن و تأیید وجود آثار یخساری در منطقه
گرفت. با انجام این دو آزمایش بر روی رسوبات
آزمایش‌های گرانولومتری (جدول ۳ و ۴) و
نمونه برداری شده و تجزیه و تحلیل بر روی داده‌ها
مورفوسکوپی (جدول ۵) بر روی نمونه‌ها صورت
عملکرد یخسارها در منطقه به اثبات رسید.

جدول ۲- موقعیت رسوب نمونه برداری شده

موقعیت جغرافیایی	ارتفاع (M)	موقعیت نمونه برداشت شده در منطقه
۵۷۱۲'E ۳۰°۰۵'N	۱۹۲۰ (m)	تپه بعد از محیی آباد به سمت جوپار

جدول ۳- نمونه برداشت شده از تپه بعد از محیی آباد به سمت جوپار

شماره تامی	وزن به گرم	وزن به درصد	درصد تجمعی	درصد تجمعی معکوس
۲۰۰۰≤	۹۰/۵	۳۰/۱۶	۳۰/۱۶	۱۰۰
۱۸۰۰	۲۹	۹/۶۶	۳۹/۸۲	۶۹/۸۴
۸۵۰	۸/۵	۲/۸۳	۴۲/۶۵	۶۰/۱۸
۶۰۰	۲۳/۵	۷/۸۳	۵۰/۴۸	۵۷/۳۵
۴۲۵	۲۶/۵	۸/۸۳	۵۹/۳۱	۳۲/۸۶
۳۰۰	۲۳/۵	۷/۸۳	۶۷/۱۴	۴۰/۶۹
۲۵۰	۳/۵	۱/۱۶	۶۸/۳	۳۲/۸۶
۱۵۰	۲۴	۸	۷۶/۳	۳۱/۷
۱۲۵	۹	۳	۷۹/۳	۲۳/۷
۹۰	۱۰/۸۳	۳/۶۱	۸۲/۹۱	۲۰/۷
۶۵	۹/۵	۳/۶	۸۶/۰۷	۱۷/۰۹
۶۵≥	۱/۵	۱۳/۹۳	۱۰۰	۱۳/۹۳

جدول ۴- نتایج حاصل از عملیات گرانولومتری

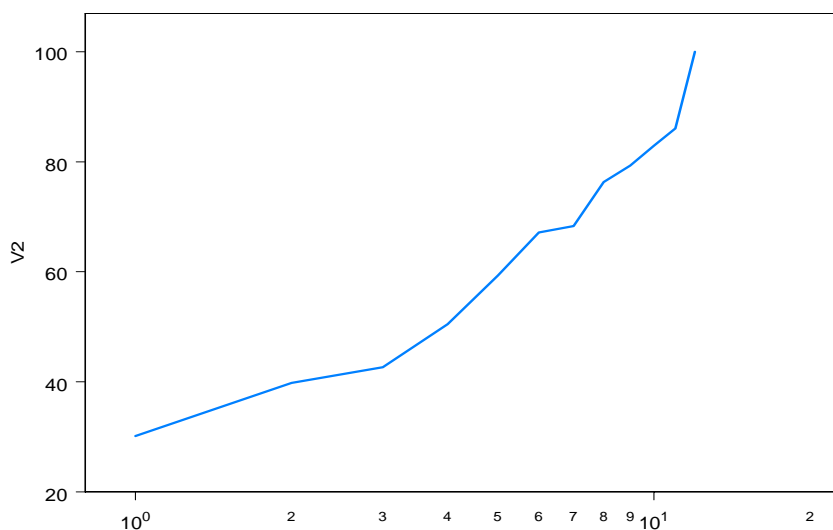
نمونه	d_{10}	Q_1	مدیان M	d_{60}	Q_3	اندیس هازن ^۱	اندیس کودفی ^۲	اندیس تراکس ^۳
تپه بعد از محیی آباد به سمت جوپار	۶۳	۱۲۵	۴۲۵	۸۵	۱۸۰۰	۱۳/۴۹	۸۳۷/۵	۱/۲۴

محور (y) درصد تجمعی محور (x) قطر ذرات به میکرون

$$1- I = d_{60} / d_{10}$$

$$2- Q = (Q_3 - Q_1) / 2$$

$$3- So = (Q_1 \times Q_3) / M^2$$



شکل ۱۳- نمودار گرانولومتری نمونه برداشت شده

رسوبات الک شده، رسوبات ۸۵۰ میکرون را انتخاب و برای عملیات مورفوسکوپی آماده نمودیم. در این بررسی ۶۶/۶ درصد را رسوبات زاویه دار تشکیل می دهند که این دسته از رسوبات یخچالی و ۳۳/۴ درصد از رسوبات آبی بوده اند. بدین ترتیب، با بررسی نمونه های برداشت شده در منطقه، تعداد هر یک از دانه ها در تیپ های فرسایش آبی، بادی و یخچالی تعیین شد و با رسم جدول (۶) پورسانتاژ هر یک محاسبه گردید.

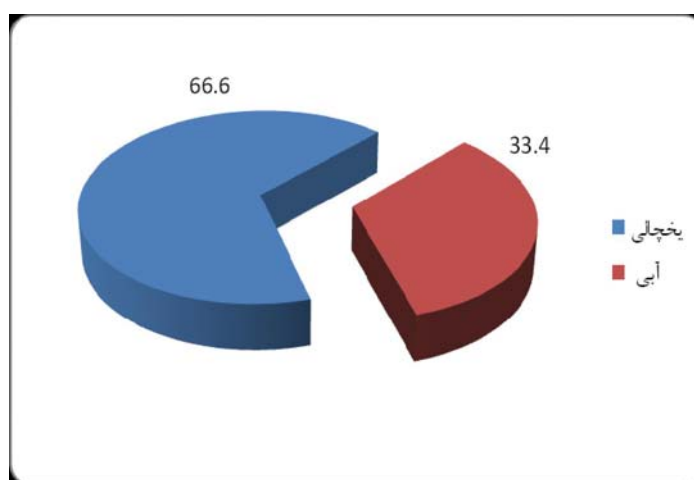
با توجه به شکل (۱۳) و نتایج حاصل از بررسی نمونه در جدول (۳) نمونه گویای یخچالی بودن منطقه بوده، مدیان نمونه گویای درشت بودن رسوب است. نتایج حاصل از بررسی های مورفوسکوپی که بر روی دانه های بسیار ریز انجام می گیرد، نیز می تواند بیانگر منشأ رسوبات یک منطقه باشد، به عبارت دیگر حاکمیت عملکرد آب، باد، یخچال و.. را بر ما معلوم می دارد (رامشت، ۱۳۸۱، ۷۰). بدین منظور، از بین

جدول ۵- نتایج عملیات مورفوسکوپی رسوبات

پورسانتاژ			تعداد دانه های مورد آزمایش	اندازه دانه ها به میکرون	نمونه
بادی EN	آبی EL	یخچالی NU			
-----	۳۳/۴	۶۶/۶	۱۵۰	۸۵۰	تپه بعد از محیی آباد به سمت جوپار

دارای درصد بالایی از ذراتی است که بر اثر عملکرد یخ شکل گرفته اند (شکل ۱۵).

بدین ترتیب، بررسی نمونه برداشت شده که مورد آزمایش قرار گرفته، نشان می دهد که نمونه



شکل ۱۴- نمودار درصد ذرات یخچالی در نمونه برداشت شده از منطقه

بحث و نتیجه‌گیری

گرم شدن آب و هوای کره زمین در سالهای اخیر، موجب اهمیت پیدا کردن این گونه مطالعات شده است، زیرا دست یابی به نتایج تغییرات اقلیمی مستلزم مطالعات دیرینه شناسی است. بدیهی است شواهد ژئومورفولوژیک یکی از شاخصترین ابزارهای دست یابی به این اهداف است (یمانی، ۱۳۸۵: ۲). به همین علت، اغلب محققان برای مدلل ساختن اقلیم کواترنر در ایران به شواهد یخچالی، مانند مرز برف و خط تعادل آب و یخ تمسک جسته اند (پدرامی، ۱۹۸۲: ۱۷). اما باید توجه داشت که در ژئومورفولوژی زمانی تغییر اقلیم محسوب می‌شود که تغییر در سیستم‌های شکل‌زا به وجود آید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، که با توجه به تحلیل‌های آماری و تعیین خط دمای صفر درجه که خط برف دائمی را نشان می‌دهد خط مرز برف دائمی در ارتفاع بالاتری نسبت به خط تعادل آب و یخ قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد که خط مرز برف دائمی در ارتفاع ۲۹۱۶ متر واقع شده است. با توجه به این خط و افت آهنگ دما که مقدار آن ۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد به ازای هر ۱۰۰ متر ترفیع مکانی بر آورد

گردید و نیز تهیه نقشه‌های دمای حال و گذشته، میزان تفاوت دمای فعلی با گذشته در این منطقه معادل ۸/۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید. نتایج مطالعات قبلی نشان می‌داد که خط تعادل آب و یخ معادل ۵ درجه سانتی‌گراد تلقی می‌گردد؛ حال آنکه طی مشاهدات میدانی معلوم گردید که در حوضه رودخانه تیگرانی خط تعادل آب و یخ در ارتفاع ۱۹۰۰ متری که رقوم ۶/۵ درجه سانتی‌گراد را در بر می‌گیرد، واقع شده است. بررسی آثار یخچالی در منطقه نشان می‌دهد که تعدادی سیرک یخچالی در ارتفاعات حوضه مورد مطالعه وجود دارد که آثار این سیرک‌ها، به خصوص در فصل زمستان به خوبی نمایان می‌شود. با توجه به مطالعات انجام گرفته بر روی نقشه‌های توپوگرافی حوضه رودخانه تیگرانی، ۱۴ سیرک بزرگ و کوچک شناسایی شد که این سیرک‌ها در دوران سرد یخچالی به عنوان برفخانه‌هایی که منبع تغذیه کننده بسیار غنی برای پوشش یخی در منطقه بوده‌اند، به شمار می‌رفته‌اند.

همچنین مطالعات آزمایشگاهی بر رود رسوبات موجود در منطقه نشان داد که با توجه به آزمایش‌های

سازمان هواشناسی کشور، اطلاعات و آمار ایستگاه‌ها. محمودی، فرج الله، (۱۳۶۹)، ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک بیرونی، انتشارات دانشگاه تهران.

محمودی، فرج الله، (۱۳۶۸)، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترن، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران، شماره ۲۳.

مقیم، ابراهیم، (۱۳۸۷)، ژئومورفولوژی اقلیمی (قلمرو سرد و یخچالی)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران. وزیر، فریبرز، (۱۳۸۲)، هیدرولوژی کاربردی در ایران، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور.

یمانی، مجتبی، (۱۳۸۵)، ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفیک و حدود گسترش آنها) پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹.

Pedrami, M. (1982), Pleistocene Glaciation's and Paleoclimate in Iran, 1982, Geol. Surv, Iran, Tehran.

Rob. h. & Dott, Ir, Pleistocene Glaciations and the Rise of Man. (1981), Third Edition. Evolution OF the Earth.

Anthonsen KL, Clemmensen LB, Jensen JH. (1996), Evolution of a dune from crescentic to parabolic form in response to short-term climatic changes: Råbjerg Mile, Skagen Odde, Denmark. Geomorphology 17: 63-77.

Hugenholtz CH, Wolfe SA. (2005), a Biogeomorphic model of dunefield activation and stabilization on the northern Great Plains. Geomorphology 70: 53-70.

Marín L, Forman SL, Valdez A, Bunch F. (2005), Twentieth century dune migration at the Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado,

گرانولومتری و مورفوسکوپی عملکرد یخچال‌ها در منطقه به اثبات رسید، به طوری که با توجه به نتایج آزمایش‌ها اکثر رسوب دارای درصد بالایی از ذراتی بود که بر اثر عملکرد یخچال به وجود آمده‌اند

منابع

بلر، بی، پرمروی، ش، (۱۳۶۹)، مبانی زمین‌شناسی، ترجمه فرامرز پور معتمد، علی رویش‌زاده و احمد معتمد، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

پدرامی، منوچهر، (۱۳۷۶)، سن مطلق کواترن، مجله دانشکده علوم، جلد ۱۷ شماره ۳ و ۴.

جداری عیوضی، جمشید، (۱۳۷۸)، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

رامشت، محمد حسین، (۱۳۸۲)، نمادها و مجازها، نشر سمت، تهران.

رامشت، محمد حسین، (۱۳۸۰)، دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۶۰.

رامشت، محمد حسین، کاظمی، محمد مهدی، (۱۳۸۶)، آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس، مجله رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و یکم، شماره ۴، صفحه ۹.

رامشت، محمد حسین، (۱۳۸۱)، آثار یخچالی زفره، طرح پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۸۷ صفحه.

زمردیان، محمد جعفر، (۱۳۸۱)، ژئومورفولوژی ایران (فرایندهای اقلیمی و دینامیک بیرونی)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، جلد دوم.

سازمان نقشه برداری کشور، نقشه‌های توپوگرافی، ۱/۵۰۰۰۰ ماهان، جویبار،

- and climate links. *Global Planetary Change* 29(1-2): 1-29
- Forman SL, Pierson J. (2003), Formation of linear and parabolic dunes on the eastern Snake River Plain, Idaho in the nineteenth century. *Geomorphology* 56: 189-200.
- relation to drought variability. *Geomorphology* 70: 163-183.
- Thomas DSG, Knight M, Wiggs GFS. (2005), Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century globalwarming. *Nature* 435: 1218-1221.
- Forman SL, Oglesby R, Webb RS. (2001), Temporal and spatial patterns of Holocene dune activity on the Great Plains of North America: megadroughts

