

بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگانرود در کواترنر

علیرضا انتظاری، استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه حکیم سبزواری
ابوالقاسم امیراحمدی، دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری
امان محمد قرن‌جیک، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی
علی جهانفر*، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری
علی اکبر شایان یگانه، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۲

چکیده

در این تحقیق سعی شده با استفاده از روش‌های معمول ژئومورفولوژی، تحولات اقلیمی دوران چهارم در حوضه آبریز گرگانرود (تا گنبد کاووس) بررسی شود. بدین منظور، ابتدا با تعمق بر فرم‌های ژئومورفیکی در منطقه مانند تپه‌های لسی، سیرک‌های یخچالی و پدیده‌های کارستی تغییرات محیطی بررسی شد. سپس، با اتکا به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی، سیرک‌های یخچالی منطقه مشخص و با روش رایست خط برف‌مرز دائمی در آخرین دوره یخبندان به دست آمد. با بررسی گرادیان دمایی (دما- ارتفاع) منطقه، نقشه هم‌دمای زمان حاضر و با استفاده از رابطه مزبور و ارتفاع برف‌مرز دائمی منطقه در کواترنر، نقشه هم‌دمای دوران چهارم ترسیم شد. نتایج به دست آمده و مقایسه دو نقشه حاکی از اختلاف دمای ۹/۴ درجه سانتی‌گرادی زمان حاضر با دوره کواترنر است. بررسی اشکال ژئومورفیکی کنونی نیز حاکی از استیلای آب‌وهوای سرد و مرطوب در دوران چهارم است که نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: اشکال ژئومورفیکی، تغییرات اقلیمی، سیرک‌های یخچالی، کواترنر، گرگانرود.

مقدمه

مطالعه سیستم فرسایش یخچالی از دو نظر قابل توجه است. اول، از نظر اینکه در روزگار ما هنوز مناطق یخ‌زده وجود دارد. در ثانی چون در دوره‌های یخچالی دوران چهارم یخچال‌ها خیلی بیشتر از امروز در سطح زمین گسترش داشته، در حال حاضر می‌توان علایم و نشانه‌های فراوانی از این یخچال‌ها در سرزمین‌های آزادشده مشاهده کرد (دریو، ۱۳۷۰: ۱۸۷). در واقع، منشأ شکل امروزی زمین به تحولات دو میلیون سال اخیر مربوط می‌شود؛ یعنی، دوره‌ای که دانشمندان علوم زمین آن را کواترنر نامیده‌اند. ویژگی اصلی این دوره، تغییرات اقلیمی در بخش‌های وسیعی از سطح زمین است (معمد، ۱۳۸۲). بیشتر محققان برای مدلل ساختن تغییرات اقلیمی کواترنری در ایران از شواهد یخچالی و خط برف‌مرز، شواهد بیولوژیکی و آثار دریاچه‌ها و کویرها استفاده کرده‌اند.

تا قبل از سال ۱۹۳۰، مطالعه‌ای در خصوص یخچال‌ها به طور جدی و متمرکز، در ایران انجام نشده بود. باسک اولین فردی بود که کوهستان‌های ایران را بررسی و حضور یخچال‌ها را در البرز گزارش کرد. مطالعه جدی درباره آثار مستقیم یخبندان کواترنر در کوه‌های ایران با کارهای بوبک (۱۹۶۳) در البرز و ارتفاعات کردستان و دریو (۱۹۶۱) در زردکوه شروع و پس از آن محققان زیادی اعم از خارجی و ایرانی در این مورد کار کردند (جداری‌عیوضی، ۱۳۸۶: ۷۳).

در مورد برف‌مرز^۱ دائمی در دوره سرد پلیستوسن که منطقه یخچالی را از منطقه مجاور یخچالی جدا می‌کند، به‌ویژه در کوه‌های البرز، اختلاف نظر زیادی وجود دارد. بوبک و شواتیتر^۲ برای دوره وورم^۳ این مرز را در البرز ۳۴۰۰ متر

برآورد کرده‌اند و نیز محمودی، مرز زبرین سولی فلوکسیون را در دامنه شمالی البرز (ناحیه خزر) در ارتفاع ۲۲۰۰ متری دانسته است (جداری عیوضی، ۱۳۸۶: ۹۷). پدramی (۱۹۸۲) بر اساس مطالعات خود روی یخرفت‌های وورم اخیر برف مرزهای دائمی را در دوره مذکور بازسازی کرده است. وی خط برف مرز دائمی حوضه آبریز گرگانرود را ۱۸۰۰ متر تعیین کرده است (جداری عیوضی، ۱۳۸۶). یمانی و همکاران (۱۳۹۰: ۳۶) برف مرزهای حوضه جاجرود را بررسی و ارتفاع ۳۷۲۰ متر را پیشنهاد کردند. اونق پنجاه سیرک یخچالی را در ارتفاعات گرگان شناسایی کرده است (علایی طالقانی، ۱۳۸۸: ۱۳۴).

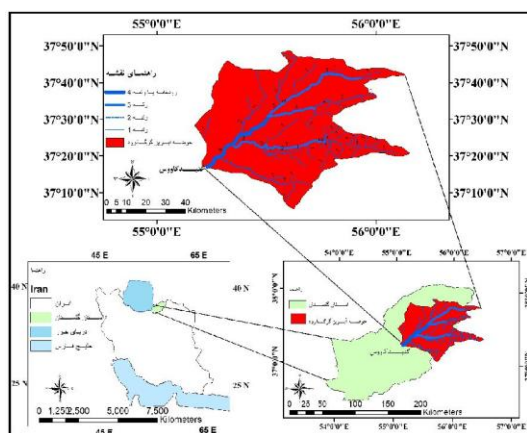
بلافاصله در زیر قلمرو یخچال‌های کوهستانی، محدوده حاکمیت فرسایش مجاور یخچالی آغاز می‌شود. حد فوقانی در آذربایجان شرقی، البرز و خراسان بین ۳۴۰۰ تا ۳۶۰۰ متر، در کردستان و آذربایجان غربی حدود ۱۸۰۰ متر و در ایران مرکزی حدود ۳۷۰۰ متر برآورد شده است (محمودی، ۱۳۶۷: ۱۵). رامشت (۱۳۸۰) نیز به این نتیجه رسید که یخچال‌ها به دلیل تأمین آب انسان‌ها عامل تجمع جمعیت در مکان شده است. رامشت و همکاران (۱۳۹۰) به ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی در حوضه تیگرانی ماهان در غرب شهر ماهان پرداختند و بر این باورند می‌توان شرایط اقلیمی گذشته را بازسازی کرد. قربانی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۵) نیز در بررسی نقش تغییرات اقلیمی کواترنر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی در شاهو در غرب ایران به این نتیجه رسیدند که در دوره سرد پلیستوسن از ارتفاع ۱۸۰۰ متر (مرز برف دائمی) به بالا، شرایط برای توسعه انحلالی فروچاله‌های کارستی فراهم بوده است. در بررسی آثار یخچالی کواترنر و تأثیر آن بر عدم شکل‌گیری مدنیت شهری در دشت آسپاس شهرستان اقلید نیز امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۰: ۲۰) عدم توسعه مدنیت و سکونتگاه‌های مهم شهری در این منطقه را به برودت هوا و حرکت غیرمتمرکز یخ در گذشته نسبت دادند که موجب عدم شکل‌گیری منابع آب زیرزمینی قابل توجه شده است. رایت (۱۹۸۳) روی ارتفاعات زاگرس در امتداد مرز ایران و عراق کار کرد و خط دائمی برف در دوره وورم را در ارتفاع ۱۸۰۰ متری ردیابی کرد. بر اساس این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که متوسط دمای سالانه این منطقه در وورم نسبت به زمان حال ۱۲ درجه سانتی‌گراد کمتر بوده است.

کوهله (۱۹۷۶) و هاگه‌دورن (۱۹۷۴) مطالعاتی در مورد ایران مرکزی داشته‌اند (جداری عیوضی، ۱۳۸۶: ۷۷). همچنین، فیشر (۱۹۶۸) در ارتفاعات البرز و قله علم کوه سه اشکوب یخچالی چین‌نخورده توجال، شمال تهران و ابعلی را معرفی کرد. از وضعیت یخچال‌های طبیعی با توجه به تصاویر ماهواره‌ای فریگنو و ویلیامز (۱۹۹۸) از مناطق گوناگون دنیا، ایران ۲۰ کیلومترمربع یخچال طبیعی دارد که همه از نوع یخچال‌های کوهستانی است. یمانی (۱۳۸۱) ضمن تفسیر و تحلیل اشکال مورفولوژی یخچالی در ارتفاعات علم کوه، حدود گسترش زبانه‌های یخچالی را در حال حاضر و در آخرین دوره یخچالی تعیین کرد. یمانی (۱۳۸۶) همچنین، به بررسی اشکال ژئومورفی یخچال‌ها و حدود گسترش آن‌ها در زردکوه پرداخت. زمانی (۱۳۸۸) با مطالعه حوضه‌های جاجرود و کرج در دامنه جنوبی و حوضه‌های نور و هزار در دامنه شمالی البرز مرکزی، ارتفاع برف مرز گذشته را با استفاده از روش رایت ۲۷۲۰ متر و با روش ارتفاع کف سیرک ۲۷۴۹ متر پیشنهاد می‌دهد و البته برای حوضه آبریز جاجرود نیز ارتفاع برف مرز را ۲۷۸۰ متر و میانگین ارتفاع سیرک‌های یخچالی را نیز ۲۹۱۶ متر می‌داند.

تحقیق حاضر در نظر دارد تا با استفاده از روش‌های معمول ژئومورفولوژی، تحولات اقلیمی دوران چهارم را در حوضه آبریز گرگانرود (تا گنبد کاووس) بررسی کند.

موقعیت جغرافیایی حوضه

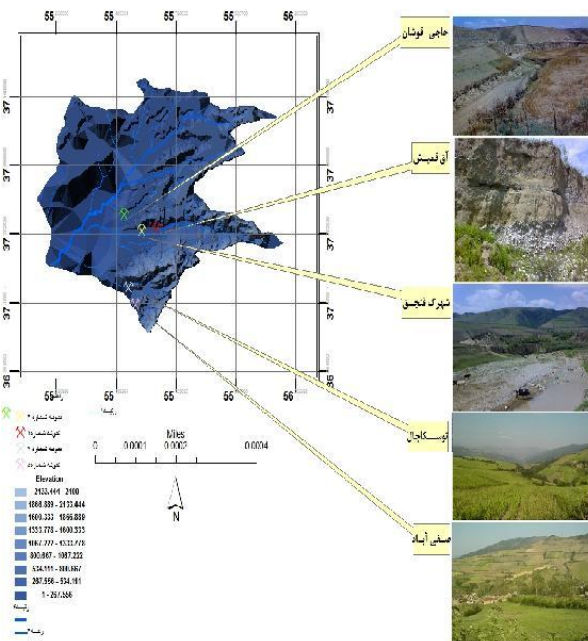
در این تحقیق، سرزمین واقع بین ۵۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۰۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی بررسی شده است که از طرف شمال به صحرای ترکمنستان، از جنوب به رشته‌کوه‌های البرز، از سمت غرب به جلگه وسیع گرگان و دریای خزر، و از جانب مشرق به رشته‌کوه‌های کپه‌داغ در خراسان شمالی محدود می‌شود (شرکت آب و منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۶۹) (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعات آب‌وهواشناسی منطقه از آمار سالانه هفت ایستگاه گنبد کاووس، گرگان، مزرعه، چهل دختر، مینودشت، کلاله و دشت گلستان استفاده و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ و نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی استخراج شد (شکل ۲).



شکل ۲. تصویر و مشخصات نقاط نمونه‌برداری

چشم‌اندازهای سه‌بعدی تصاویر Google earth و نرم‌افزار Global mapper تهیه شد. آزمایش و بررسی گرانولومتری، مورفوسکوپی و کلسی‌متری با توجه به اشکال عمده ژئومورفولوژی حوضه و با توجه به وسعت حوضه مورد مطالعه به منظور توزیع مناسب در نمونه‌گیری روی پنج نمونه رسوب بررسی شد. جدول ۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

یافته‌های پژوهش

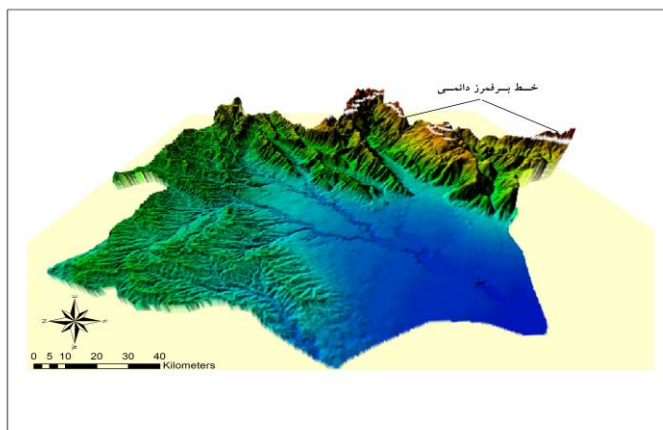
تعیین خط برف‌مرز دائمی

یکی از روش‌هایی که می‌توان با آن برف‌مرز دائمی را در دوره‌های سرد کوتاه‌تر تعیین کرد، روش رایت است. در این

جدول ۱. موقعیت نقاط نمونه برداری رسوبات

ردیف	محل برداشت نمونه‌ها	محدوده جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۱	تپه‌های لسی	حاجی قوشان	۵۵°۲۲'۵۳"	۳۷°۲۶'۵۵"	۱۵۸/۱
۲	تراس قدیمی رودخانه	آق قمیش	۵۵°۳۶'۴۸"	۳۷°۲۱'۱۳"	۲۸۲/۶
۳	تراس قدیمی رودخانه	شهرک قنچق	۵۵°۳۳'۵۱"	۳۷°۲۱'۳۷"	۲۱۹/۷
۴	دامنه ارتفاعات	روستای صفی آباد	۵۵°۳۳'۱۸"	۳۷°۰۹'۴۴"	۱۰۶۶
۵	دامنه ارتفاعات	توسکاچال	۳۷°۱۳'۲۸"	۳۷°۱۳'۲۸"	۷۳۶

روش با تعیین مکان سیرک‌های کوچک و گذراندن خط ۶۰ درصد از آن‌ها، برف‌مرز دائمی تعیین می‌شود (نعمت‌اللهی و رامشت، ۱۳۸۴: ۱۴۳). در ارتفاعاتی که سیرک‌های یخچالی بزرگ است، معمولاً از روش بررسی کف سیرک‌ها استفاده می‌شود (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰). با استفاده از محیط نرم‌افزاری Global mapper 14 خط برف‌مرز دائمی ترسیم شد. این خط ارتفاع ۱۷۴۰ متری را در منطقه نشان داد (شکل ۳).



شکل ۳. خط برف‌مرز دائمی دوره کواترنر

تهیه نقشه هم‌دمای زمان حاضر و دوره کواترنر

به منظور ترسیم نقشه هم‌دمای حوضه با در نظر گرفتن دو پارامتر (ارتفاع و دما) در ایستگاه‌های منطقه (جدول ۲)، ابتدا میزان همبستگی، سپس معادلات رگرسیون ارتفاع-دما محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۲. متوسط دمای ماهانه به سانتی‌گراد و ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا

نام ایستگاه	ارتفاع	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
گرگان	۱۵۶٫۵	۷٫۱۶	۷٫۶	۱۰٫۷	۱۵٫۶۴	۲۰٫۴۷	۲۵٫۰۷	۲۷٫۳۳	۲۷٫۱۸	۲۳٫۹۳	۱۸٫۵۵	۱۳٫۳۱	۸٫۷۷	۱۷٫۰۹
گنبد	۳۷٫۵	۷٫۲۵	۷٫۷۳	۱۰٫۱	۱۵٫۷۶	۲۱	۲۵٫۸۵	۲۸٫۷۱	۲۸٫۸۲	۲۵٫۲۲	۱۹٫۵۴	۱۴٫۱۷	۹٫۱۹	۱۷٫۷۸
مینودشت	۱۹۰	۸	۸/۸	۱۰	۱۶/۲	۲۰/۸	۲۵/۹	۲۷/۹	۲۷/۸	۲۴/۴	۱۹/۱	۱۴/۶	۱۰/۳	۱۷٫۸
کالاله	۱۵۷	۶/۸	۷/۹	۱۰/۲	۱۴/۶	۲۱/۵	۲۶/۹	۲۹	۲۸/۷	۲۵	۱۹/۴	۱۳/۷	۹/۱	۱۷٫۸۸
دشت گل	۱۰۰۰	۱	۲/۲	۵/۱	۱۱/۲	۱۵/۶	۲۰/۱	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۸/۸	۱۲/۸	۶/۹	۲/۶	۱۱/۷۷
چهل دختر	۱۵۲۰	۱	۱٫۴۴	۵٫۸۹	۱۲٫۵۲	۱۶٫۹۳	۲۱٫۲۱	۲۳٫۳۷	۲۳٫۳۴	۲۰	۱۴	۸	۲٫۲	۱۲٫۴۹
مزرعه	۱۰	۶٫۸۶	۷٫۶۲	۱۰٫۲۸	۱۶٫۵۳	۲۱٫۲۷	۲۶	۲۸٫۴۱	۲۸٫۴۴	۲۴٫۹۲	۱۹٫۰۷	۱۳٫۲۶	۸٫۷	۱۷٫۶۱

جدول ۳. معادلات رگرسیون و ضرایب همبستگی ارتفاع و دمای ماهانه در حوضه

ماه	معادله	ضریب همبستگی
ژانویه	$T = 7.6073 - .0049 \times H$	-۰/۹۴۵
فوریه	$T = 8.3535 - .0049 \times H$	-۰/۹۵۸
مارس	$T = 8.5667 - .0024 \times H$	-۰/۳۸۷
آوریل	$T = 15.9502 - .0030 \times H$	-۰/۸۶۵
می	$T = 21.02557 - .0037 \times H$	-۰/۹۰۲
ژوئن	$T = 26.23 - .0041 \times H$	-۰/۹۰۲
ژوئیه	$T = 28.5910 - .0042 \times H$	-۰/۹۲۰
اگوست	$T = 28.5148 - .0042 \times H$	-۰/۹۲۴
سپتامبر	$T = 24.9983 - .0041 \times H$	-۰/۹۱۷
اکتبر	$T = 19.4512 - .0045 \times H$	-۰/۹۲۰
نوامبر	$T = 14.1517 - .0049 \times H$	-۰/۹۱۳
دسامبر	$T = 9.6583 - .0055 \times H$	-۰/۹۴۷
سالانه	$T = 17.9560 - .0043 \times H$	-۰/۹۳۴

در معادلات جدول ۳، T متوسط دما و H ارتفاع بر حسب متر است. ضریب همبستگی (دما-ارتفاع) از نوع ناقص معکوس است (جدول ۲)، به این معنا که متناسب با ارتفاع دما کاهش می‌یابد. پس از به‌دست آوردن رابطه مزبور، با استفاده از نقشه توپوگرافی حوضه نسبت به ترسیم نقشه هم‌دمای سالانه حوضه اقدام شد (شکل ۴). همچنین، با استفاده از روابط خطی دمای ماهانه با ارتفاع جدول ۲، خط هم‌دمای صفر درجه برای هر ماه محاسبه شد (جدول ۴). همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود خط هم‌دمای صفر درجه در ماه‌های ژوئیه و فوریه به ترتیب در بیشترین و کمترین ارتفاع قرار می‌گیرد.

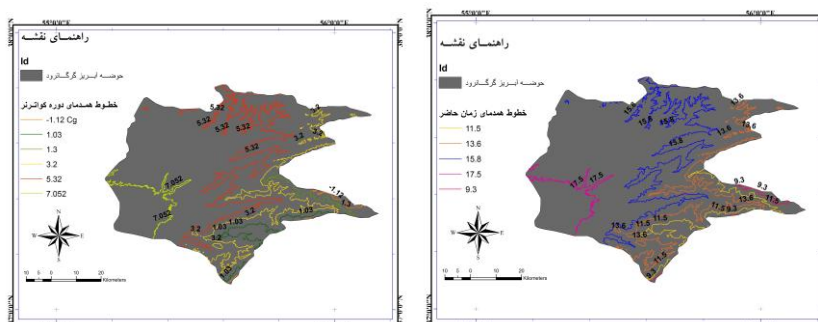
جدول ۴. ارتفاع هم‌دمای صفر درجه حوضه در ماه‌های مختلف سال

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ارتفاع از دریا	۱۵۵۲٫۵	۱۷۰۴٫۸	۳۵۶۹٫۴	۵۳۱۶٫۷	۵۶۸۲٫۶	۶۳۹۷٫۶	۶۸۰۷٫۴	۶۷۸۹٫۲	۶۰۹۷٫۱	۴۳۲۲٫۵	۲۸۸۸٫۱	۱۹۳۱٫۷

با استفاده از رابطه ارتفاع-دمای سالانه، نقشه هم‌دمای زمان حاضر ترسیم شد (شکل ۴ سمت راست).

بررسی شرایط دمایی منطقه در گذشته

با استفاده از معادله خطی متوسط دمای سالانه با ارتفاع (جدول ۳)، نقشه هم‌دمای دوران چهارم ترسیم شد (شکل ۴ سمت چپ).



شکل ۴. نقشه هم‌دمای حوضه در زمان حاضر (سمت راست)، نقشه هم‌دمای دوران کواترنر (سمت چپ)

اختلاف دمای زمان حاضر و دوره کواترنر

برای بررسی تفاوت دمایی زمان حال و دوران حاکمیت یخچال‌ها در منطقه، نقشه هم‌دمای زمان حاضر و دوره کواترنر مقایسه و حاصل در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. تفاوت دمایی زمان حاضر و دوره کواترنر

ارتفاع خطوط هم‌دمای دوران حاکمیت یخچال‌ها به درجه سانتی‌گراد	هم‌دمای دوران حاکمیت یخچال‌ها به درجه سانتی‌گراد	اختلاف دما در دوران حاکمیت یخچال‌ها و زمان حال به درجه سانتی‌گراد	ارتفاع خطوط هم‌دمای دوران حاکمیت یخچال‌ها به درجه سانتی‌گراد
۱۰۰ متری	۷/۰۵۲	۱۷/۵	۱۰/۴۴
۵۰۰ متری	۵/۳۲	۱۵/۸	۱۰/۴۸
۱۰۰۰ متری	۳/۱۸۲	۱۳/۶	۱۰/۴۱
۱۵۰۰ متری	۱/۰۳۲	۱۱/۵	۱۰/۴۷
۲۰۰۰ متری	-۱/۱۲	۹/۳	۱۰/۴۲

میانگین وزنی دما در حال حاضر و در کواترنر

به‌منظور به‌دست‌آوردن متوسط دمایی حوضه از میانگین وزنی استفاده شد. جدول ۶ و ۷ مراحل کار را نشان می‌دهد.

جدول ۶. میانگین وزنی دما در زمان حاضر

ممنحنی‌های میزان به متر	متوسط دما (T)(°C)	مساحت بین ممنحنی‌ها (A) به مترمربع	حاصل ضرب دما در مساحت A.T
۵۷-۵۰۰	۱۶/۷۵	۲۱۰۳/۱۹۰۵	۳۵۲۲۸/۴۴
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۴/۷	۸۲۰/۸۷۵	۱۲۰۶۶/۸۶
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۲/۵۵	۴۴۳/۷۴۷	۵۵۶۹/۰۲
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۰/۴	۱۴۱/۳۱۲۵	۱۴۶۹/۶۵
۲۰۰۰-۲۵۸۸	۸	۲۰/۳۱۲۵	۱۶۲/۵

$$\sum = ۵۴۴۹۶/۴۷$$

جدول ۷. میانگین وزنی دما در کواترنر

ممنحنی‌های میزان	متوسط دما (°C)	مساحت بین ممنحنی‌ها A	حاصل ضرب دما-مساحت
۵۷-۵۰۰	۶/۲۸	۲۱۰۳/۱۹۰۵	۱۳۲۰۸
۵۰۰-۱۰۰۰	۴/۲۵	۸۲۰/۸۷۵	۳۴۸۸/۷۲
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۲/۱	۴۴۳/۷۴۷	۹۳۱/۸۷
۱۵۰۰-۲۰۰۰	-۰/۸۸۰	۱۴۱/۳۱۲۵	-۱۲۴/۳۵۵
۲۰۰۰-۲۵۸۸	-۳/۸۲۶	۲۰/۳۱۲۵	-۷۷/۷۱

با توجه به داده‌های جدول ۵، متوسط دمای حوضه در زمان حاضر $T = \frac{۵۴۴۹۶/۴۷}{۳۹۲۵/۴۳} = ۱۳/۸۸$ و در دوره کواترنر

$$T = \frac{۱۴۴۲۶/۵۲۵}{۳۹۲۵/۴۳۷۵} = ۴/۴۴ \text{ است. بنابراین، اختلاف دمای متوسط حوضه به قرار زیر است.}$$

$$\Delta T = ۱۳/۸۸ - ۴/۴۴ = ۹/۴۴$$

بررسی شرایط ارتفاع برف‌مرز دائمی در زمان حاضر

با استفاده از رابطه دمای سالانه و ارتفاع، ممنحنی هم‌دمای صفر درجه یا همان برف‌مرز دائمی معادل $۴۱۷۵/۸$ به‌دست آمد.

رطوبت حوضه در زمان حاضر

پس از جمع‌آوری، کنترل کمی و کیفی داده‌های بارش طی دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۸۳-۲۰۰۳) (جدول ۸)، ضرایب همبستگی خطی و نمایی، بارش و ارتفاع محاسبه شد (جدول ۹).

جدول ۸. میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌ها

نام ایستگاه‌ها	ارتفاع	میانگین بارش سالیانه
گرگان	۱۵۶/۵	۵۳۳/۹۸
گنبد کاووس	۳۷/۵	۵۲۶/۵۳
مینودشت	۱۹۰	۵۷۳
کالاله	۱۵۷	۵۶۴
چهل دختر	۱۵۲۰	۱۱۳/۱۶
مزرعه	۱۰	۳۵۴

جدول ۹. بارش حاصل از معادله خطی

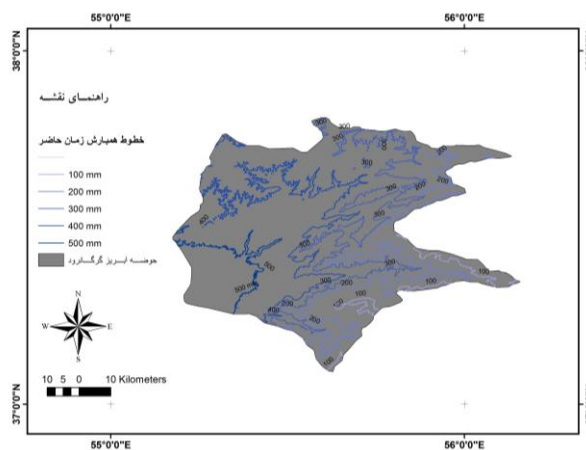
رابطه	R همبستگی	میزان خطا	معادله بارش - ارتفاع
خطی	-۰/۹۳۴	۲۴ درصد	$P = ۵۳۵/۱۶۸ - ۰/۲۶۳۷H$
نمایی	-۰/۸۴۶	۱۳ درصد	$P = ۵۵۱/۵۹e^{-۰/۰۰۱۰۰۷۶۹۰۴۳H}$

هرچند بر اساس محاسبات انجام شده میزان خطای استاندارد در رابطه خطی کمتر از رابطه نمایی بارش - ارتفاع است، اما ساختار اقلیمی منطقه به گونه‌ای است که نتایج حاصل از برآورد بارش در ارتفاعات حوضه بیشتر از توابع نمایی تبعیت می‌کند. برای مثال، چنانچه بیشترین ارتفاع حوضه را در معادلات مزبور قرار دهیم، نتیجه به صورت زیر خواهد بود.

$$P = ۵۳۵/۱۶۸ - ۰/۲۶۳۷H$$

$$P = ۵۵۱/۵۹e^{-۰/۰۰۱۰۰۷۶۹۰۴۳H}$$

مشاهده می‌شود که بارش برآورد شده برای ارتفاع ۲۵۸۸ از طریق رابطه نمایی نسبت به خطی به واقعیت نزدیک‌تر است. با استفاده از معادله نمایی، نقشه هم‌بارش منطقه در زمان حاضر (شکل ۵) ترسیم شد.



شکل ۵. نقشه هم‌بارش زمان حاضر

بررسی شرایط رطوبتی دوره کوتاه‌ترین

اگرچه ضریب همبستگی دما و بارش در زمان حاضر ۰/۸۹ است، کاربرد معادله رگرسیون زمان حاضر برای دوران سرد کوتاه‌ترین که میانگین دما نسبت به زمان حاضر ۹/۴ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر بوده است، اعداد معقولی را با توجه به شواهد مورفولوژیکی منطقه نشان نمی‌دهد. اما آنچه مسلم است این است که با توجه به شرایط دمایی گذشته، میزان تبخیر خیلی کمتر از زمان حاضر است، هرچند که ممکن است نزولات جوی با زمان حاضر تفاوت چشم‌گیری نداشته باشد. بنابراین، بازسازی کمی شرایط رطوبتی دوران کوتاه‌ترین امکان‌پذیر نیست.

شواهد مورفولوژیکی

۱. سیرک یخچالی. سیرک‌های منطقه از نوع غیرتیبیک است. به این معنا که در طول زمان به تدریج تحت تأثیر فرسایش قرار می‌گیرد و امروزه قسمت زیرین آن‌ها از برف آزاد است. تعداد پانزده سیرک یخچالی در ارتفاعات شمال شرق حوضه وجود دارد که طولشان بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است و تمامی آن‌ها روی سازند سخت آهک ایجاد شده است.

۲. تپه‌های لسی. تپه‌های لسی شاخص‌ترین فرم‌های ژئومورفولوژی این دوره کواترن است، زیرا علاوه بر وسعت زیادشان (بالغ بر ۲۳۰۰ کیلومترمربع)، برخی شواهد در آن دیده می‌شود که تحولات اقلیمی دوران چهارم را فاش می‌سازد. این شواهد عبارت‌اند از:

الف) لمی شدن لس. پدیده لمی شدن لس تحت تأثیر آب‌وهوای مرطوب اتفاق می‌افتد. طی این فرایند آهک طبقه فوقانی با آب شستشو و به بخش‌های زیرین منتقل می‌شود و در آنجا عروسک‌های لسی را به وجود می‌آورد که دارای رنگی روشن و بافتی نسبتاً سخت است. در محدوده لس گنبد کاووس این عوارض به وضوح دیده می‌شود.

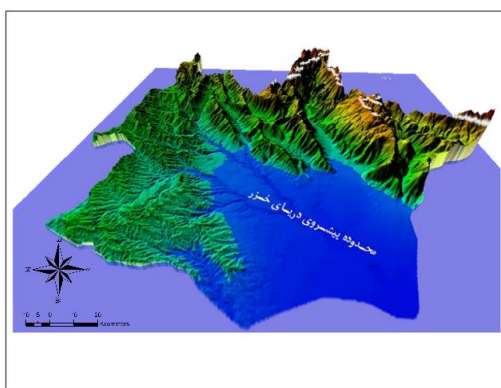
ب) بررسی منشأ لس. آزمایش گرانولومتری و مورفوسکوپی پنج نمونه رسوب حکایت از وجود بادهایی می‌کند که توانسته ذراتی با قطر بیش از ۶۰۸ میکرون را جابه‌جا کند. همچنین، گرانولومتری دو نمونه نشان‌دهنده رسوباتی با منشأ کف دریاچه‌ای است و از پیش‌روی دریای خزر طی دوره کواترن در محدوده مطالعاتی حکایت می‌کند. از طرفی، کلسی‌متری نمونه‌ای از لس درصد قابل توجهی (نزدیک به ۴۰ درصد) آهک را در ترکیبات لس نشان می‌دهد و فرضیه محلی بودن منشأ بخشی از لس منطقه را قوت می‌بخشد (حاکمیت اقلیم مرطوب در کواترن و تجزیه شیمیایی آهک و تشکیل لس). بدین ترتیب، آزمایش‌های بالا شرایط متفاوتی از هم را نشان می‌دهد؛ به این معنا که لس‌های منطقه دارای منشأ بادی و محلی است. احتمالاً در دوره پیش‌روی یخچال‌ها، شرایط آب‌وهوایی سرد باعث تخریب و تجزیه آهک شده و لس‌های محلی به وجود آمده است. در دوره پس‌روی یخچال‌ها اقلیم گرم‌تر باعث حاکمیت شرایط خشک‌تر شده، به طوری که در چنین شرایطی باد توانسته ذراتی با قطر ۶۰۸ میکرون را جابه‌جا کند و رسوبات لسی را در منطقه برجای بگذارد. در مقطع یادگانه ابرفتی در حوالی آق‌قمیش، توالی رسوبات بادی - رودخانه‌ای به چشم می‌خورد که شاهدهی است بر حاکمیت دوره‌های مرطوب و خشک.

۳. پدیده کارستی. مهم‌ترین اشکال کارستی منطقه لایپه است. مساحت منطقه‌ای که لایپه در آن قرار دارد ۲۲۵ کیلومترمربع است. لایپه‌های منطقه حالت مدور دارد و اشکالی مشابه آشیانه پرنندگان را بر سطح سنگ‌های آهکی ایجاد کرده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اوایل دوران چهارم به علت دوره‌های یخبندان یا مرطوب بارانی، گسترش کارست بیشتر بوده است (شکل ۶).

۴. شواهد باستان‌شناسی. پس‌روی دریای خزر که دریاچه‌ای پلیوال است و تغییرات سطح اساس آن تابع شرایط دریاچه‌ای آزاد نیست از شرایط اقلیمی مرطوب و خشک در منطقه طی کواترن حکایت می‌کند. با توجه به ارتفاع متوسط ۲۱۰ متری حوضه مطالعاتی، بخش قابل توجهی از آن (بیش از ۲۵ درصد) حوضه زیر آب دریای خزر بوده است. در چنین شرایطی، طبیعتاً منطقه تحت تأثیر رطوبت دریای خزر قرار گرفته است. شکل ۷ سطح پیش‌روی دریای خزر را در محدوده مطالعاتی طی دوره پلیستوسن نشان می‌دهد. همچنین، طبق نقشه فاصله دریا تا دورترین نقطه حوضه ۴۳ کیلومتر است؛ به این معنا که منطقه در کواترن تحت تأثیر رطوبت دریا بوده است. شواهد باستان‌شناسی نیز پس‌روی خزر را طی ۱۰۰۰۰۰ سال اخیر به وضوح نشان می‌دهد. برای مثال، غار کیارام که مربوط به دوره پارینه‌سنگی میانی است، در ارتفاع ۲۰۰ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد (سازمان میراث فرهنگی و گردشگری گلستان، ۱۳۸۶). با توجه به ارتفاع این غار، دریای خزر حداقل از دوره ریس ترازی کمتر از ۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد داشته است. همچنین، آق‌تپه در ۱۵ کیلومتری شمال شرق گنبد کاووس دارای قدمتی حدود ۷۰۰۰ سال است و در ارتفاع ۵۷ متری قرار دارد (سازمان میراث فرهنگی و گردشگری گلستان، ۱۳۸۶). حدود ۱۰۰۰۰ سال اخیر تراز خزر ۲۸ متر بوده و به این ترتیب



شکل ۶. تصویر لایه‌های مدور و اشکال مشابه آشیانه پرنده‌گان

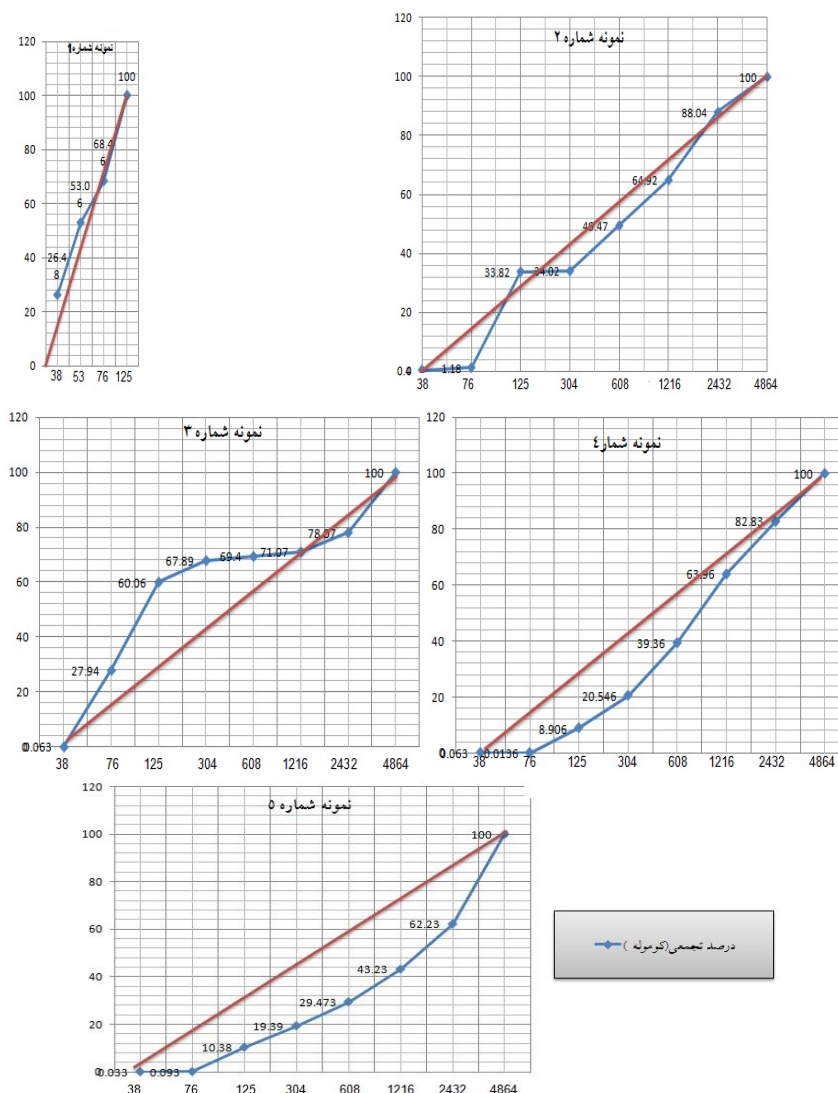


شکل ۷. عکس نقشه محدوده پیش‌روی دریای خزر در حوضه طی دوره کواترنر

زمینه برای سکونت انسان در این مکان فراهم بوده است. با توجه به موارد بالا، از حدود ۱۰۰۰۰۰ سال اخیر متناسب با پس‌روی دریای خزر، زمینه برای سکونت انسان فراهم شده، به‌طوری که به تدریج با پس‌روی دریا در کواترنر، انسان در مناطق کم‌ارتفاع سکنی گزیده است.

۵. شواهد آزمایشگاهی. با توجه به درهم بودن رسوبات، هشت الک به اندازه‌های ۴۸۶۴-۲۴۳۲-۱۲۱۶-۶۰۸-۳۰۴-۱۲۵-۷۶-۳۸ میکرون انتخاب و آزمایش شد. در مورد نمونه لس (تپه‌های لسی شمال روستای حاجی قوشان)، به دلیل ریزدانه بودن رسوبات از تاملی‌های شماره ۳۸-۵۷-۷۶-۱۲۵ استفاده شد و آزمایش کلسی‌متری به عمل آمد. در پایان، با بررسی داده‌ها، چنین استنتاج شد که نمونه‌ها نشان‌دهنده عملکرد یخچال در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۸).

۶. تفسیر منحنی‌ها. بر اساس منحنی کالیک، سه مرحله جریان را می‌توان در ارتباط با روند منحنی تشخیص داد. منحنی‌هایی که خمیدگی‌شان بالاتر از قطر مربع قرار می‌گیرد نشان‌دهنده این است که رسوب در اثر جریانی که قادر به حمل آن نبوده است گذاشته شده، مانند نمونه ۳. منحنی‌هایی که خمیدگی‌شان پایین‌تر از قطر مربع است، نشان‌دهنده جریان‌های شدید رودخانه‌ای است، مانند نمودارهای ۴ و ۵. بالاخره، منحنی‌هایی که حول قطر مربع قرار دارد، نتیجه رسوب در جریان است؛ مانند جریانات رودخانه‌ای، بادی و سواحل دریاها. نمونه ۲ از این نوع است (اسدی زنگنه، ۱۳۸۹). همچنین، عملیات مورفوسکوپی روی دانه‌های با کمتر از ۲ میلی‌متر ضخامت و با استفاده از تاملی‌های



شکل ۸. منحنی‌های کالیک

بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ میکرون انجام شد. با توجه به داده‌های جدول ۱۰ مشخص می‌شود که اکثر نمونه‌ها دارای درصد بالایی از ذراتی است که در اثر عملکرد یخچال شکل گرفته است (۴۶٪). دومین عامل فرسایش در نمونه‌ها آب است با حدود ۱۱۵ مورد یا ۲۸٪ و سومین عامل فرسایش باد است با ۱۰۴ مورد یا ۲۶ درصد. مهم‌ترین عوامل نهشته‌گذاری در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰. نتایج عملیات مورفوسکوپی رسوبات

نمونه	اندازه دانه به میکرون	تعداد دانه‌ها	پورسانتاژ	
			یخچالی NU	آبی EL
بادی EN				
کلاله	-	-	*	-
آق‌قمیش	۶۰.۸	۱۰۰	۵۰	۱۷
قنجدق	۶۰.۸	۱۰۰	۵۸	۲۹
صفی‌آباد	۶۰.۸	۱۰۰	۳۱	۵۷
توسکا	۶۰.۸	۱۰۰	۴۶	۱۱
-	-	-	∑۱۸۵	∑۱۱۴
∑۱۰۱				

بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعات انجام شده بر شواهد ژئومورفیکی ناشی از شرایط آب‌وهوایی در دوره کواترنر و زمان حاضر نشان داد که متوسط دمای سالیانه در زمان حاضر بین ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد در دشت تا ۶/۸ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات متغیر است. همچنین، متوسط دمایی دوره کواترنر پس از بازسازی حدود ۷/۳ درجه سانتی‌گراد در نواحی کم‌ارتفاع و حدود ۳/۷- درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات به دست آمد. بدین ترتیب، با مقایسه شرایط حرارتی زمان حاضر با دوران پلیستوسن، به این نتیجه رسیدیم که اختلاف دمایی معادل ۱۰/۴ درجه سانتی‌گراد در منطقه به وجود آمده است. متوسط وزنی دمای منطقه در زمان گذشته و زمان حاضر به ترتیب معادل ۴/۴ و ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد است. در نتیجه اختلاف دمای میانگین بین زمان حال و دوره کواترنر در کل سطح حوضه معادل ۹/۴ درجه سانتی‌گراد است. در مورد شرایط رطوبتی منطقه در کواترنر به عدد مطمئن در این ارتباط دست نیافتیم، ولی با توجه به شواهد و پدیده‌های مورفولوژیکی منطقه و شرایط اقلیمی لازم برای تشکیل آن‌ها، به این نتیجه رسیدیم که وضعیت رطوبتی منطقه در گذشته قابل ملاحظه بوده است، به طوری که امروزه وجود شواهدی مانند لایه، تناوب لایه‌های لسی و رسوبات رودخانه‌ای در پادگان رودخانه‌ای (آق‌قیش) نهشته‌هایی با منشأ کف دریاچه‌ای، رودخانه‌ای- یخچالی و مورنی تحتانی و محلی بودن بخشی از لس‌های منطقه، این وضعیت آب‌وهوایی را تأیید می‌کند.

منابع

- اسدی زنگنه، محمد علی (۱۳۸۹). مدل‌های کمی ارزیابی فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تربیت معلم سبزواری، چاپ اول.
- امیراحمدی، ا.، مقصودی، ا.، احمدی، ط. (۱۳۹۰). بررسی آثار یخچالی کواترنر و تأثیر آن بر عدم شکل‌گیری مدنیت و سکونتگاه‌های مهم شهری در دشت آسپاس، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره دهم، ص ۶۱-۸۰.
- پدرامی، م. (۱۳۶۱). اقلیم پلیو- پلیوستوسن در ایران، ژئو ۱، تهران.
- جداری عیوضی، ج. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات پیام‌نور.
- دریو، م. (۱۳۷۰). ژئومورفولوژی اقلیمی و دینامیک خارجی، ترجمه خیام مقصودی، انتشارات راه روشن، ۴۳۰ ص.
- رامشت، م. ج. (۱۳۸۰). دریاچه‌های دوران چهارم بستر مدنیت در ایران، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ج ۱۵، ش ۱ و ۲.
- رامشت، م. ج.، لاجوردی، م.، لشکری، ح. و محمودی محمدآبادی، ط. (۱۳۹۰). ردیابی آثار یخچالی طبیعی (مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲، ص ۵۹-۷۸.
- زمانی، ح. (۱۳۸۸). شواهد و حدود گسترش یخچال‌های کواترنر در البرز مرکزی، پایان‌نامه دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.
- سازمان میراث فرهنگی و گردشگری (۱۳۸۶). بروشور مربوط به آثار باستانی استان گلستان.
- شرکت آب و منطقه‌ای استان گلستان (۱۳۶۹). طرح پژوهشی بررسی مشخصات عمومی حوضه آبریز گرگانرود.
- علایی طالقانی، م. (۱۳۸۸). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، چاپ سوم.
- قربانی، م. ص.، محمودی، ف.، یمانی، م.، مقیمی، ا. (۱۳۸۹). نقش تغییرات اقلیمی کواترنر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی (مطالعه موردی: ناهمواری شاهو، غرب ایران)، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۱-۱۹.
- نعمت‌اللهی، ف.، رامشت، م. ج. (۱۳۸۴). تأثیرات یخ‌ساری در ایران، علوم انسانی مدرن، حجم ۹، شماره ۴، ص ۱۴۳-۱۶۲.
- محمودی، ف. (۱۳۶۷). تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی، مجله مؤسسه جغرافیا، شماره ۲۲، دانشگاه تهران، ص ۲۰-۱.
- معمد، ا. (۱۳۸۲). جغرافیای کواترنر، انتشارات سمت.
- یمانی، م. (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه، تحقیقات جغرافیای کواترنر، شماره ۴۲، ص ۱-۱۸.
- یمانی، م. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه، تحقیقات جغرافیایی کواترنر، شماره ۵۹، ص ۱۲۵-۱۳۹.
- یمانی، م.، شمسی‌پور، ع. ا.، جعفری‌اقدم، م. (۱۳۹۰). بازسازی برف‌مرزهای پلیوستوسن در حوضه جاجرود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، تابستان، ص ۳۵-۴۴.

- Alaei Taleghani, M. (2008/1388). Geomorphology of Iran, Ghomes publications, Vol. 3.
- Amirahmadi, A., Maghsudi, A., Ahmadi, T. (2011/1390). Effects of Quaternary glacial and its impact on the formation of a lack of civility and the important urban habitats in the plains Aspass, Urban and regional studies and researches, Third year, No. 10, pp 61-80.
- Asadi Zanganeh, M.A (2010/1389). Quantitative Models to Assess Erosion, Sabzevar Tarbiat Moallem University, First Edition.
- Bobek, H. (1963). Nature and implications of Quaternary climatic changes in Iran, In Changes of Climate, Proceedings of symposium on changes of climate with special reference to and zones, Rome, 1961, UNESCO, pp 403-413.

- Derruau, M. (1991/1370). Climatic geomorphology and external dynamic, Translated by Maghsodi, Kh. Rah Roshan Publications, pp. 430.
- Ferrigno, J.G. and Williams, R. (1998). Areal extent of periglacial, day glaciers, U.S geological survey professional paper 1386-a.
- Fisher, W.B. (1968). The land of Iran, the Cambridge History of Iran, Cambridge, Geological Survey, Geological Map Scale 1:100000 East of Tehran, Marzanabad, Baladeh.
- Ghorbani, M.S., Mahmodi, F., Yamani, M. and Moghimi, E. (2009/1389). The role of climate change in the evolution of Quaternary geomorphologic Karst sinkholes (case study: the roughness of Shahu, West of Iran), Journal of Geography, pp 1-19.
- Golestan Regional Water Company (1990/1369). General characteristics Gorganroud catchment project.
- Jedari Eyvazi, J. (2007/1386). Geomorphology of Iran, Payam Noor.
- Mahmodi, F. (1998/1367). Roughness changes of Iran in the Quaternary, Geographical Research, Institute of Geography, Tehran University No. 22, pp. 1-20.
- Motamed, A. (2003/1382). Quaternary geography, Samt.
- Nematollahi, F. and Ramesht, M.H. (2005/1384). The influence of glacier in Iran, the modern human sciences, Vol. 9, Issue 4, pp. 143-162.
- Pedrami, M. (1982). Climate of Plio- Pleistocene in Iran, Geo 1, Tehran.
- Ramesht, M.H. (2001/1380). Quaternary Lakes bed of civilization in Iran, Journal of Isfahan University, Vol. 15, No. 1,2.
- Ramesht, M.H., Lajvardi, M., Lashkari, H. and Mahmodi Mohamad Abadi, T. (2011/1390). Tracing of glacier (Case Study: Glacier Basin Tigrany Mahan), Journal of Geography and Environmental Planning, 22 years, No 42, 2, pp 59-78.
- Wright, H.E. (1983). Late-Pleistocene glaciation and climate around the Junin Plain, Central Peruvian Highlands, Geografiska Annaler 65A, pp. 35-43.
- Yamani, M. (2002/1381). Geomorphology of Alamkooch glaciers, Geography Research of Quaternary, 18-1 (42).
- Yamani, M. (2007/1386). Geomorphology of Alamkooch glaciers, Geography Research of Quaternary, 128-139 (59).
- Yamani, M., Shamsipor A.A. and Jafari Aghdam, M. (2011/1390). Reconstruction of snowline basin Pleistocene in the Jajrood- Physical Geography Research, No. 76, Summer, pp 35-44.
- Zamani, H. (2009/1388). Evidence and extent of Quaternary glaciers in the central Alborz, Geomorphology Ph.D. dissertation, University of Tehran.