

Spatial Distribution of Macro-karst Landforms in the Zagros of Iran with Emphasis on Temperature and Precipitation

Gholam Hassan Jafari^{1*}, Frozen Naseri²

1- Associate Professor of Geography, Department of Geography, Faculty of Humanities,
University of Zanjan, Iran

(*Corresponding Author Email: jafarihas@yahoo.com)

2- MSc, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Iran.
foruzan.naseri@gmail.com

Abstract

Natural evidence suggests that past climatic conditions have changed dramatically. Most land formations are not justified by current processes and their origin is attributed to climatic processes other than the current climate. The climate change has always been associated with the rise and fall of glaciers. Climate change and the displacement of permanent snowflakes have certainly led to changes in shaping systems, including the karstification system. With reference to documentary sources (geological and topographic maps, digital elevation model, temperature and precipitation information of Esfzari databases, and satellite images), the purpose of the present study is to investigate the changes in the geometric properties of karst landforms (Dolin, Strait, Canyon, Calcareous region, Home, caves, and springs) in relation to the Quaternary climate (temperature and precipitation), altitude and fault. Examining the density and dispersion of these forms and considering the factors affecting karsts (climate, altitude, and tectonics) suggest that although changes in karst landforms follow the same vector as altitude, taking into account temperature changes, glacial, abscission, and landslides that occur in the highlands, changes in some karst landforms cannot be definitively attributed to favorable or unfavorable dissolution conditions. The interpretation of such landforms must take into account the palimpsest (multi-painting) paradigm. In the evolution of karst landforms, processes have often operated in the same way and mathematical logic cannot be used to change the karstification boundaries of the Quaternary.

Keywords: Climate, Altitude, Carbonate, Karstification, Zagros.



برنامه‌ریزی فضایی

سال یازدهم، شماره دوم، (پیاپی ۴۱)، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ وصول: ۹۹/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۹

صص: ۹۱-۱۲۲

مقاله پژوهشی

توزیع فضایی لندفرم‌های ماکروکارست زاگرس ایران

با تأکید بر وضعیت دما و بارش

غلام حسن جعفری^{*}، فروزان ناصری^۲

۱-دانشیار جغرافیا، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران jafarihas@yahoo.com

۲- کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران foruzan.naseri@gmail.com

چکیده

آثار و شواهد طبیعی نشان‌دهنده تغییرات شدید شرایط اقلیمی کواترنری است. بیشتر فرم سطوح ارضی با فرایندهای کنونی توجیه‌پذیر نیست و منشأ آنها به فرایندهای اقلیمی جز اقلیم کنونی نسبت داده می‌شود. تغییرات اقلیمی همواره با پیشروی و پس‌روی یخچال‌ها همراه بوده است. تغییرات اقلیمی و جابه‌جایی ارتفاع برف‌مرز دائمی، قطعاً تغییراتی را در سیستم‌های شکل‌زا از جمله سیستم کارستی- فیکاسیون به همراه داشته است. با استناد به منابع اسنادی (نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، مدل رقمی ارتفاع، اطلاعات دما و بارش پایگاه داده‌های اسفزاری و تصاویر ماهواره‌ای)، هدف این مقاله، بررسی تغییرات ویژگی‌های هندسی لندفرم‌های کارستی (دولین، تنگ، کانیون، دشت آهکی یا پولیه، هوم، غار و چشمه) در ارتباط با اقلیم کواترنری (دما و بارش)، ارتفاع و گسل است.

بررسی تراکم و پراکندگی این اشکال با توجه به عوامل اثرگذار بر کارست (اقلیم، ارتفاع و تکتونیک) نشان داد هرچند تغییرات لندفرم‌های کارستی از برداری همانند ارتفاع به صورت بسیار تدریجی پیروی می‌کند، با در نظر گرفتن تغییرات دمایی، یخبندان، ریزش‌ها و لغزش‌هایی که در مناطق مرتفع روی می‌دهد، نمی‌توان تغییرات بعضی از لندفرم‌های کارستی را به‌طور قطع به شرایط مطلوب یا نامطلوب انحلال نسبت داد. در تفسیر چنین لندفرم‌هایی باید پارادایم پالمسیست (چندننگاری) مدنظر قرار گیرد. در تحول لندفرم‌های کارستی، فرایندها غالباً به صورت هم‌سو عمل کرده‌اند و نمی‌توان برای تغییر مرزهای کارستی- فیکاسیون کواترنری از منطق ریاضی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، ارتفاع، کربنات، کارستی- فیکاسیون، زاگرس.



مقدمه

کارست حاصل فرایندهای متعددی است که در پهنه‌های آهکی و در شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی گوناگون پدید می‌آید و آثار آن به شکل‌های مختلف از قبیل گودال‌ها و غارها در سطح و زیرزمین وجود دارد. پدیده کارستی-فیکاسیون با فعالیت شیمیایی و انحلال توده‌سنگ شروع می‌شود که در امتداد بازشدگی‌هاست و با انتقال کربنات حل شده ادامه می‌یابد (مقیم، ۱۳۹۱: ۷-۶۳). وجود آب، مهم‌ترین عامل اقلیمی در توسعه کارست است. این عامل، اصلی‌ترین متغیر کنترل‌کننده انحلال و فرسایش است (چورلی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰۰). انحلال سنگ آهک در دمای کم و در آب‌وهوای سرد سرعت بیشتری دارد. پدیده یخبندان با کاهش درجه‌حرارت محیط و مقدار تبخیر، عاملی برای افزایش میزان نفوذ آب در زمین و انحلال بیشتر سنگ‌های آهکی محسوب می‌شود (زنگنه اسدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۹۰). با تغییر ارتفاع، دما و بارش و متأثر از آنها، فرایندهای فرسایشی و پیرو آن‌ها در زمین و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی نیز تغییر می‌یابند (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۲). در مناطق مرتفع‌تر آب دریافتی با بارش بیشتر می‌شود و در اراضی پست و گود و زمین‌های مسطح چون آب حاصل از بارندگی یا ذوب‌شدن برف‌ها در اثر جریان‌های سطحی از منطقه خارج نمی‌شود، در سطح زمین جمع می‌شود و میزان آب نفوذیافته افزایش می‌یابد و به درون سیستم کارست نفوذ می‌کند (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴: ۲۸) و به انحلال آهک می‌انجامد؛ البته کارستی شدن سنگ‌های انحلال‌پذیر ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها مانند تخلخل، درز و شکاف، شکستگی‌ها و گسل‌ها دارد (علیزاده، ۱۳۹۳: ۳۴۹؛ قبادی، ۱۳۸۸: ۳۴-۴۸). درجه توسعه کارست در نواحی مختلف ناشی از تغییر عواملی همچون وضعیت مناسب سنگ‌شناسی و ضخامت لایه‌های کربناته، ارتفاع (پستی و بلندی)، اقلیم (شامل فشار CO_2 ، دما و بارش) و تکتونیک (گسل‌ها، درز و شکاف‌ها) است و هرچه تأثیر این عوامل در ناحیه‌ای بیشتر باشد، کارست توسعه بیشتری می‌یابد (علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۸۹: ۳۱۵؛ White, 1988: 34).

اقلیم یک منطقه در صورت وجود سنگ‌های قابل انحلال، کلید اصلی کارستی فیکاسیون است؛ اقلیم کنونی ایران بر اثر تفاوت در عرض جغرافیایی و ارتفاع تنوع زیادی دارد (فرج‌زاده و احمدآبادی، ۱۳۸۸: ۴۰) و براساس آثار و شواهد موجود، شرایط اقلیمی گذشته با امروز متفاوت بوده است (ولایتی، ۱۳۹۴: ۱۲؛ جعفری‌گل و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۳). این تغییرات به تنوع و جابه‌جایی اشکال وابسته منجر شده است؛ به طوری که در گستره یک نوع سنگ با ساختمان زمین‌شناسی یکنواخت، این تفاوت‌ها به چشم می‌خورد و علت مجموعه این ناهماهنگی‌ها چیزی جز تأثیر اقلیم در ارتباط با ساختمان زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی نیست (محمودی، ۱۳۸۷: ۴).

سنگ‌های کربناتی موجود در زاگرس متأثر از عوامل تکتونیکی، اقلیم سرد و بارش‌های طولانی باعث بلوغ و تکامل کارست شده است (مقیم، ۱۳۹۱: ۱۴). علایی‌طالقانی (۱۳۹۱) معتقد است در دوره‌های سرد پلیستوسن در نیمه شمال غربی زاگرس فرایند یخچالی، مجاور یخچالی و فرایند رودخانه‌ای و در نیمه جنوب شرقی آن، فرایند رودخانه‌ای دست‌اندرکار تغییر چهره ناهمواری بوده است؛ ولی در حال حاضر در نیمه شمال غربی زاگرس از نظر آب‌وهوایی ویژگی عمومی ناحیه کوهستانی را دارد؛ به همین دلیل فرایند مجاور یخچالی در سطح میاناب‌ها و

فرایند رودخانه‌ای از عناصر اصلی شکل‌زایی محسوب می‌شوند. براساس تغییرات اقلیمی دوره کواترنری، ارتفاع برف‌مرز دائمی همواره جابه‌جا می‌شده است. اشکال و مواریث یخچالی به‌جامانده از گذشته در نواحی مرتفع ایران، گواهی بر تسلط شرایط مطلوب فرایند انحلال و توسعه اشکال کارستی در دوره‌های سرد کواترنری است. در طول دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، این احتمال می‌رود که مرز سیستم کارستی - فیکاسیون همانند مرز ارتفاع برف‌مرز دائمی جابه‌جا می‌شده است؛ این مقاله قصد دارد این مرز را نه براساس منطق ریاضی، بلکه به‌صورت فازی برای مناطق مختلف سنگ‌های کربناته زاگرس شناسایی و نقش تغییرات اقلیمی کواترنری را در سیستم کارست زاگرس بررسی کند.

پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه کارست در خارج و داخل ایران انجام شده است که به نمونه‌هایی از آنها اشاره می‌شود.

فورد و ویلیامز^۱ (۱۹۸۹) معتقدند پدیده‌های کارستی بر اثر عمل انحلال در مسیرهایی ایجاد می‌شوند که با ساختارها کنترل می‌شوند.

بریاک و فدوسیو^۲ (۲۰۱۱) مکانیسم تشکیل فروچاله‌های روسیه را در منطقه پرم مطالعه کردند و مدلی در ارتباط با اندازه‌گیری تغییرپذیری سنگ‌های کارستی شده و ریزش در غارها ارائه دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که یکنواختی اشکال به‌وجودآمده در غارها، شرایط اولیه برای مدل‌سازی ریزش طبقات سنگ در بالای سنگ‌های کارستی شده است.

ویل و همکاران^۳ (۲۰۱۱) ژئومورفولوژی و مخاطرات طبیعی مناطق کارستی را به‌طور توصیفی بررسی و آثار مخاطره‌آمیز فعالیت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسان را بر مناطق کارستی توصیف کردند.

رومی و همکاران^۴ (۲۰۱۴) سیستم کارستی اصلی یک دشت آبرفتی واقع در محیط کربناتی (کاسیس، پروانس و فرانسه) را با استفاده از روش چندگانه (برش‌نگاری، مقاومت الکتریکی، گرانش و بررسی لرزه‌ای غیرفعال) همراه با روش‌های ژئومورفولوژیکی، مشاهده، حفاری و بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که انحلال به ایجاد حفره‌های بزرگ منجر شده که بعداً با یخرفت‌های ناشی از یخبندان پوشیده شده است.

ژو و همکاران^۵ (۲۰۱۴) با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS و روش AHP، منطقه گوانجی را براساس خطر فروپاشی کارست در چهار طبقه با خطر زیاد، متوسط، کم و بی‌خطر پهنه‌بندی کردند.

¹ Ford and Willams

² Baryakh and Fedoseev

³ Waele et al.

⁴ Romey et al.

⁵ Zhou et al.

چن و همکاران^۱ (۲۰۱۵) در منطقه‌ای در چین، انواع ژئومورفولوژیکی کارست را بررسی کردند. آنها در این مطالعه به‌طور سیستماتیک و جامع لندفرم‌های کارستی را براساس تجزیه‌وتحلیل داده‌های جغرافیایی و زمین‌شناسی به هشت طبقه تقسیم کردند که بیشتر تفاوت این مناطق در ژئومورفولوژی و آب‌وهواست.

زبره و همکاران^۲ (۲۰۱۶) یک پولیه کارستی متأثر از یخبندان را در منطقه کوهپایه‌ای گومنس در شمال کوه‌های آلپ دیناریک با استفاده از کربن رادیواکتیو بررسی کردند.

در ایران، نخستین مطالعات شناسایی کارست به سال ۱۳۵۰ در حوضه کارستی زاگرس با حفر تعدادی چاه برمی‌گردد. مطالعات جامع کارست از سال ۱۳۶۹ آغاز شده است (مقیمی، ۱۳۹۱: ۷).

قربانی و همکاران (۱۳۸۹) نقش تغییرات اقلیمی کوتاه‌تری را در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی ناهمواری‌های شاهو در غرب ایران بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که وجود فروچاله‌های کارستی از ارتفاع مشخصی به بالا حاکی از شواهد فرایند یخچالی و مجاور یخچالی است که شرایط را برای توسعه انحلالی فروچاله‌های کارستی فراهم کرده‌اند و دولین‌ها نقش دوگانه سیرک-دولین داشته‌اند.

قربانی و اونق (۱۳۹۱) فروچاله‌های کارستی و نقش تغییرات آب‌وهوایی کوتاه‌تری را در توسعه این اشکال در ناهمواری‌های شاهو مطالعه کردند. براساس یافته‌های آنها، وجود فروچاله‌های کارستی از ارتفاع ۱۹۰۰ متر به بالا نشان‌دهنده این مسئله است که در دوره‌های سرد پلئستوسن از ارتفاع ۱۸۰۰ متر به بالا (مرزبرف دائمی)، شرایط برای توسعه انحلال فروچاله‌های کارستی فراهم بوده است.

خدری و همکاران (۱۳۹۲) توسعه کارست را در طاق‌دیس پیون در جنوب غرب ایران با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر در توسعه کارست شامل لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی، تراکم گسل‌ها، فاصله از گسل‌ها، تراکم خطواره، بارش و دما، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی زوجی (AHP) بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که ۵۹ درصد از مساحت این طاق‌دیس در محدوده با پتانسیل زیاد کارست‌شدگی، ۵/۳ درصد در محدوده با پتانسیل متوسط و ۳۵/۷ درصد در محدوده با پتانسیل خیلی کم یا فاقد پتانسیل کارست‌شدگی قرار گرفته است.

چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۵) خصوصیات ژئومورفولوژی کارست زاگرس و مناطق آهکی ایران مرکزی را در چند طاق‌دیس با هم مقایسه و بررسی کردند. مطالعات آنها در طاق‌دیس کینو به‌مثابه معرف زاگرس، بسیاری از سیمای کارستی مانند پولیه، فروچاله، کارن و... را نشان می‌دهد و ویژگی‌های آنها بیان می‌دارد در گذشته بسیاری از کنترل‌کننده‌های پرمافرست احتمالاً در اینجا وجود داشته است؛ زیرا با بعضی از مناظر شمالی کانادا شباهت دارد؛ اما در کوه‌های شتری در ایران مرکزی، هیچ‌گونه پیشرفت کارست مورفولوژیکی مانند پولیه‌ها و فروچاله‌ها وجود نداشته و دیگر سیمای معمولی کارست با سیمای لانه‌زنبوری، کارن میکرواسپیتز و سیمای مشابه جایگزین شده و خلوص آهک در کوه‌های شتری مشابه زاگرس است؛ از همین رو دلیل اصلی برای تفاوت‌های مورفولوژیکی نوع و مقدار بارش، میان‌لایه‌های سنگی غیرکربناته و ضخامت طبقات کربناته است.

¹ Chen et al.

² Žebre et al.

خضری و همکاران (۱۳۹۶) تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با روش AHP ارزیابی و پهنه‌بندی کردند. آنها نقشه پهنه‌بندی منطقه را رسم و آن را به چهار طبقه توسعه‌نیافته، کمتر توسعه‌یافته، متوسط و توسعه‌یافته طبقه‌بندی و لیتولوژی را مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در توسعه کارست منطقه اعلام کردند.

ملکی و همکاران (۱۳۹۷) توسعه کارست را با استفاده از ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در آبخوان‌های شاهو و اسلام‌آباد در استان کرمانشاه بررسی کردند. آنها دریافتند سیستم کارستی آبخوان شاهو نسبت به آبخوان اسلام‌آباد توسعه‌یافته‌تر است.

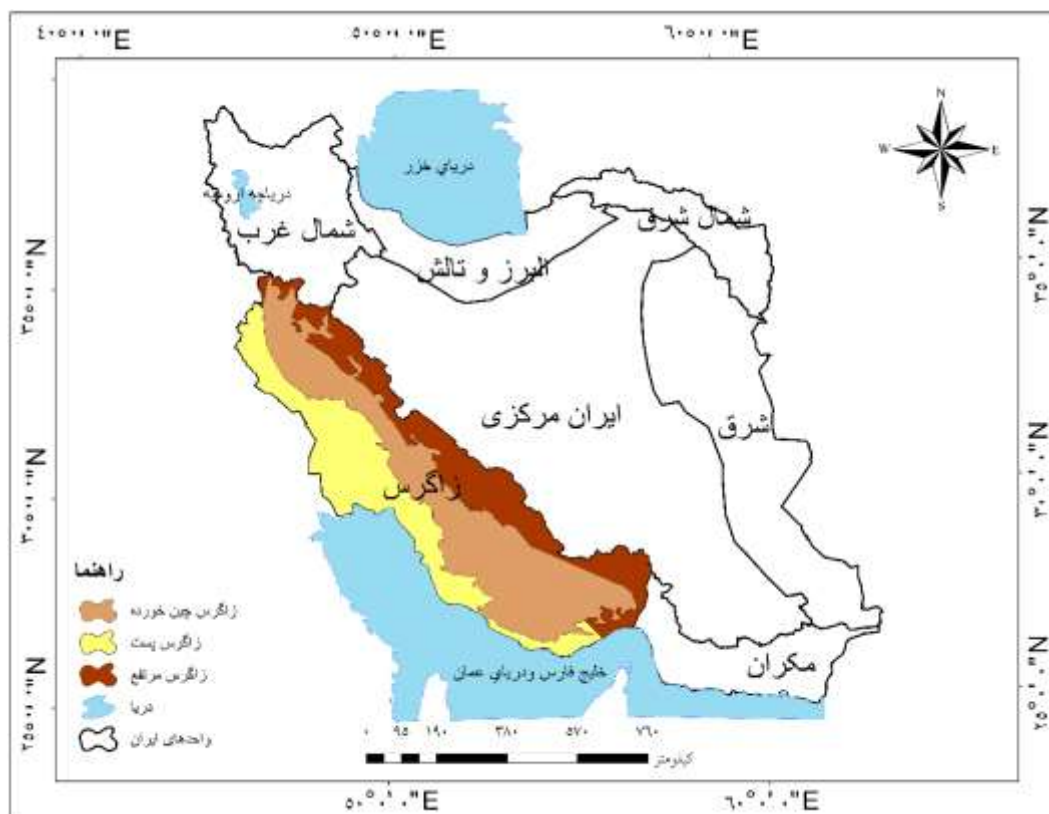
رضایی عارفی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی وضعیت کارست منطقه کوهستانی کلات در شمال شرق ایران با استفاده از مدل‌های سوییچیک، والتهام، کماتینا و هراک به این نتیجه رسیدند که اشکال کارستی حوضه کلات براساس طبقه‌بندی سوییچیک در ردیف کارست‌های انتقالی، براساس طبقه‌بندی والتهام و فوکس در ردیف کارست‌های جوان، براساس طبقه‌بندی کماتینا در ردیف کارست‌های ناودیدی و براساس طبقه‌بندی هراک در ردیف کارست‌های کوه‌زایی قرار می‌گیرد. ویسی و همکاران (۱۳۹۸) در ارزیابی توسعه‌یافتگی آبخوان‌های کارستی در ارتباط با ژئومورفولوژی دولین‌ها و ویژگی‌های هیدرودینامیکی توده کارستی شاهو به این نتیجه رسیدند که سیستم کارستی در این آبخوان‌ها توسعه‌یافته است؛ به گونه‌ای که رفتار هیدرودینامیکی چندگانه و اینرسی کم دارند؛ توسعه ژئومورفولوژی کارست سطحی و وجود دولین‌ها، عامل اصلی رفتار هیدرودینامیکی چندگانه در آبخوان‌های روانسر و هولی است.

منطقه پژوهش

سرزمینی از ایران که در غرب راندگی اصلی زاگرس قرار دارد، «زون زاگرس» نام دارد که در سمت مشرق به گسل میناب (گسل زندان) محدود می‌شود؛ ولی در سمت مغرب ویژگی‌های این زون در کشورهای هم‌جوار عربی (به‌ویژه عراق، عربستان و سواحل جنوبی خلیج فارس) نیز دیده می‌شود (درویش‌زاده، ۱۳۷۰: ۲۰۳). سیستم اصلی آن از مشرق مدیترانه شروع می‌شود، تمام جنوب ترکیه را طی می‌کند و کوه‌های توروس و آنتی‌توروس را دربرمی‌گیرد و سپس وارد عراق می‌شود. این سیستم در ترکیه جهت غربی-شرقی دارد. با ورود به خاک عراق، روند شمال غربی- جنوب شرقی و با همین روند نیز در بخش غربی ایران امتداد می‌یابد (قاسمی‌فر و ناصرپور، ۱۳۹۰: ۵۴).

زاگرس چین‌خورده (زاگرس خارجی) با پهنایی حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر در منتهی‌الیه حاشیه غربی ایران و به‌موازات راندگی اصلی زاگرس قرار دارد. نوار چین‌خورده زاگرس به‌تدریج در سمت شمال شرق به یک منطقه رورانده منتهی می‌شود (راندگی اصلی زاگرس) و در نتیجه زونی به‌شدت خردشده و گسل‌خورده پدید می‌آید که به‌صورت نوار باریک و طویلی (۱۰ تا ۷۰ کیلومتر) بین زون سندج-سیرجان و زاگرس چین‌خورده و به‌موازات آنها قرار می‌گیرد. این بخش از زاگرس را به این دلیل «زاگرس داخلی» می‌نامند که داخلی‌ترین بخش زاگرس را

تشکیل می‌دهد و چون مرتفع‌ترین قسمت کوههای زاگرس را دربرمی‌گیرد، آن را «زاگرس مرتفع» نیز می‌نامند (مطیعی، ۱۳۷۲: ۲۶۳)؛ (شکل ۱).



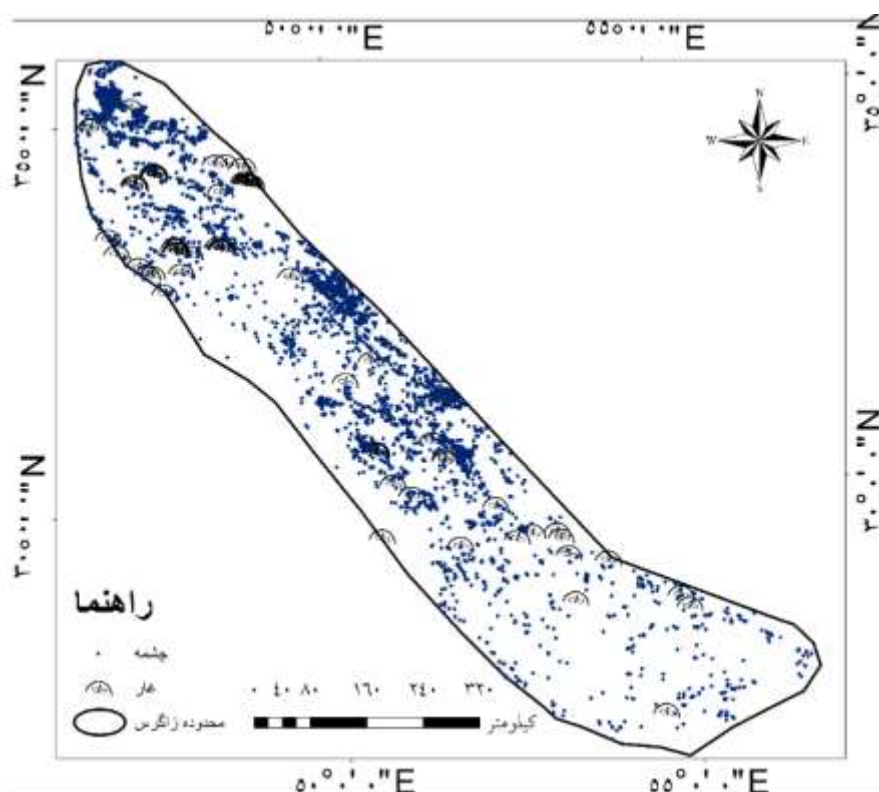
شکل - ۱: موقعیت مکانی زاگرس و واحدهای فرعی آن (نگارندگان، ۱۳۹۹)

روش‌شناسی پژوهش

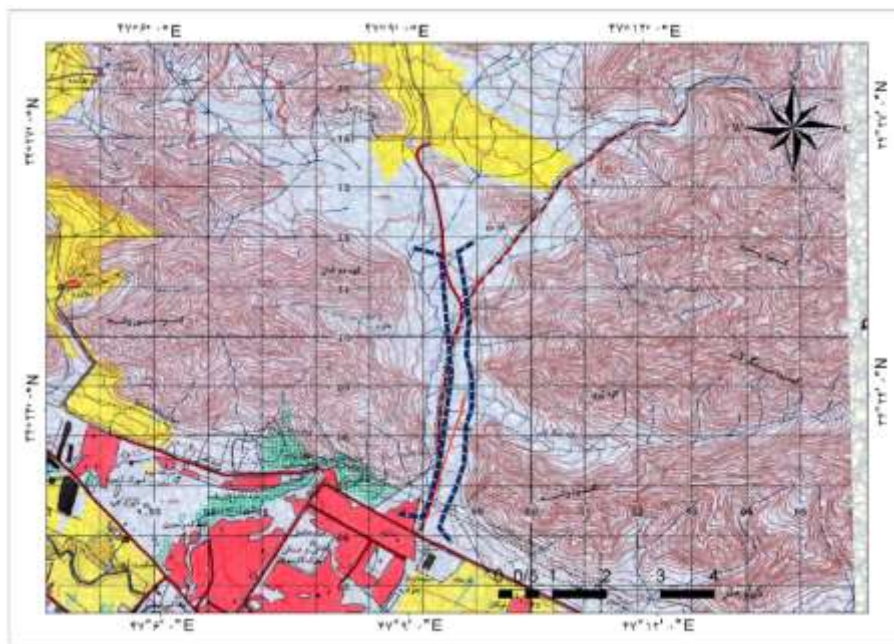
این مقاله با توجه به هدف از نوع بنیادی است؛ به این منظور نخست خطوط منحنی میزان محدوده زاگرس از لایه مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۳۰ متر از ماهواره SRTM از سایت <http://earthexplorer.usgs.gov> استخراج شد. لیتولوژی دولومیت و آهک از لایه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ در نرم‌افزار ArcGIS در محیط ArcMap تفکیک شد؛ سپس اشکال کارستی با استفاده از خطوط منحنی میزان، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزارهای ArcGIS و Global Mapper شناسایی و مشخص شد؛ در ادامه در نرم‌افزار Google Earth برای اطمینان از شناسایی دقیق عوارض، موقعیت آنها بازمینی و بررسی و سپس در نرم‌افزار Excel و MATLAB تجزیه و تحلیل شد.

سه عنصر اصلی سطح، خط و نقطه در تفسیر فرم ارضی اهمیت فراوانی دارند. شناخت ویژگی‌های هر یک از این عناصر و نمایش آنها از جمله اهداف ژئومورفولوژیست‌ها در تحلیل فرم‌های ارضی است. با تشریح هر یک از عناصر اصلی، زمینه تفسیر مجازی فرم‌ها فراهم می‌شود (رامشت، ۱۳۹۲: ۱۱).

غارها و چشمه‌ها از جمله اشکال نقطه‌ای شناسایی شده در زاگرس هستند؛ به کمک نقشه‌های توپوگرافی در نرم‌افزار GIS از چشمه‌ها لایه نقطه‌ای تهیه شد. اطلاعات مکانی غارها نیز با استفاده از منابع اسنادی و کتابخانه‌ای استخراج و لایه آن تهیه شد (شکل ۲). دره‌هایی که در مناطق آهکی در اثر انحلال با آب شکل گرفته‌اند، اگر از دو طرف باز بوده، یک طاقدیس را قطع و دو ناودیس را به هم متصل کرده باشند، به مثابه تنگ و اگر یک طرف آنها باز و طرف دیگر آنها به کوه ختم بوده، به مثابه کانیون در نظر گرفته و در گروه لندفرم‌های خطی بررسی شده‌اند (شکل ۳). با توجه به شکل انعکاس این لندفرم‌ها در نقشه‌های توپوگرافی و لایه خطوط منحنی، میزان مستخرج از DEM زاگرس در Arc GIS شناسایی و به صورت خطی از آنها خروجی گرفته و تجزیه و تحلیل شد.

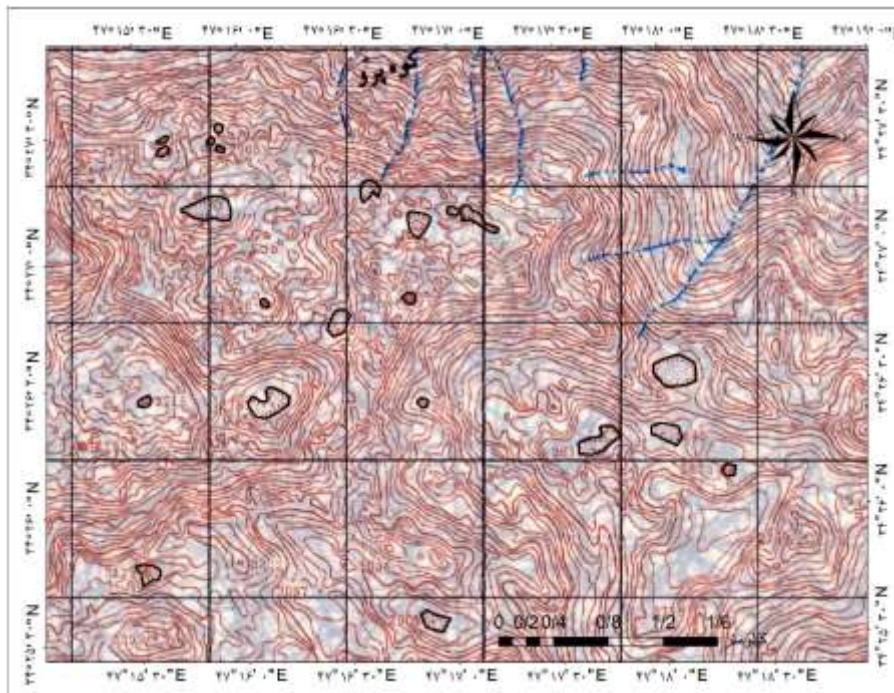


شکل - ۲: غارها و چشمه‌های شناسایی شده در زاگرس (نگارندگان، ۱۳۹۹)

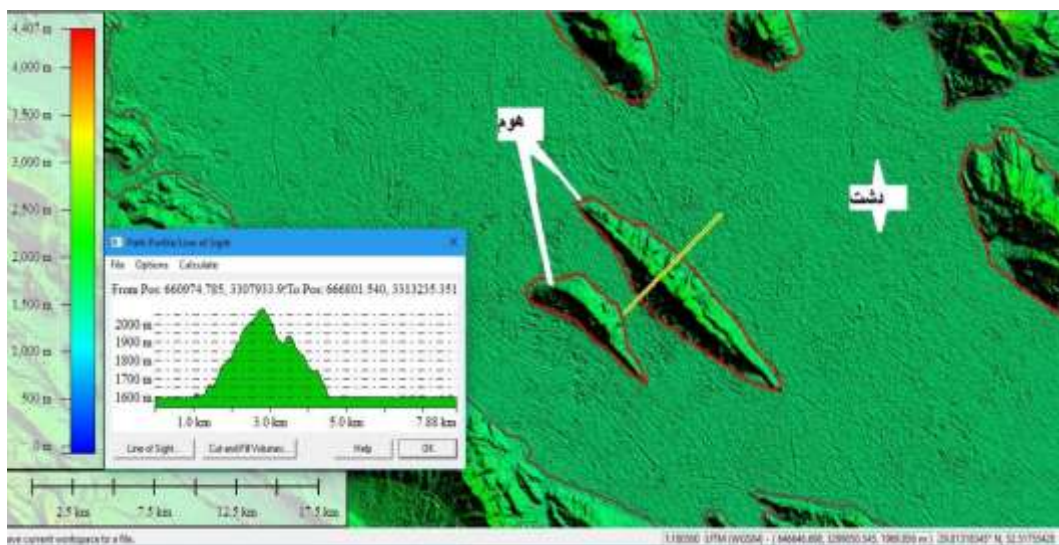


شکل - ۳: نمایی از تنگ کنشت در نقشه توپوگرافی در شهر کرمانشاه

دولین، هوم و دشت در گروه اشکال سطحی بررسی شده‌اند. فروافتادگی‌های نواحی کارستی در محدوده زاگرس که به صورت منحنی میزان‌های بسته و با زهکش داخلی گود هستند و مرکز آنها نسبت به اطراف ارتفاع بیشتری دارد، با عنوان دولین شناسایی شدند (شکل ۴). «پولیه» در مناطق کارستی به اراضی فرورفته‌ای اطلاق می‌شود که کف آن تقریباً مسطح است. آنها ممکن است با کوههایی احاطه شده باشند که در این صورت به آنها «پولیه بسته» می‌گویند و اگر محلی برای خروج آب داشته باشد، به «پولیه‌های باز» معروف هستند. «هوم» به اشکال برجسته در دشت‌های آهکی اطلاق می‌شود که به صورت دیوار برجی یا مخروطی شکل باشند (شکل ۵). با توجه به وضعیت انعکاس این لندفرم‌ها در نقشه‌های توپوگرافی از آنها لایه سطحی تهیه شد؛ داده‌های مورد نیاز مانند وسعت، عمق، ارتفاع و دیگر خصوصیات مورفومتری از DEM زاگرس جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شد (شکل ۶). در نهایت پس از شناسایی لندفرم‌های کارستی، تراکم و پراکندگی هر کدام با توجه به عامل ارتفاع، اقلیم و گسل تجزیه و تحلیل شد.



شکل - ۴: نمایی از دولین‌های مشخص شده در نرم‌افزار Arc Gis (منبع: نقشهٔ ۱:۵۰۰۰۰، ۵۴۵۸، II)



شکل - ۵: نمایی از هوم و پولیه و نیمرخ آنها در نرم‌افزار Global Mapper (نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل - ۶: نمونه‌ای از اشکال کارستی زاگرس؛ الف. ورودی غار دنگزلی، ب. تنگ کمه، ج. تنگ کنشت کرمانشاه، د. پولیه کافت (نگارندگان، ۱۳۹۹)

اشکال سطحی: پس از شناسایی و مشخص کردن دولین‌ها در نرم‌افزار Arc Gis، لایه شیب فایل دولین به محیط نرم‌افزاری Global Mapper وارد و نیمرخ طولی و عرضی دولین‌ها از DEM استخراج شد؛ به طوری که با استفاده از نیمرخ توپوگرافی آنها، گودشدگی نمایان باشد و چاله‌ها پارگی یا خروجی نداشته باشند. شکل و پارامترهایی مانند محیط، مساحت، طول، عرض، عمق و ارتفاع آنها اندازه‌گیری شدند. پس از به‌دست آوردن پارامترها، دو شاخص فشردگی و نسبت دایره‌ای برای آنها محاسبه شد (رابطه ۱) و (رابطه ۲).

$$C_c = P / 2\sqrt{\pi A} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$R_c = 4 \times \pi \times A / p^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

C_c : فشردگی، $\pi=3.14$ ، R_c : نسبت دایره‌ای، p : محیط حوضه و A : مساحت حوضه ضریب فشردگی؛ این ضریب نشان‌دهنده نسبت محیط واقعی حوضه (p) به محیط دایره‌ای با مساحت یکسان (P') است و زمانی که شکل حوضه دایره کامل است، برابر با واحد است و در شرایطی که شکل حوضه مربع است، این ضریب به $1/1.28$

می‌رسد. ممکن است میزان فشردگی برای حوضه‌های کشیده از ۳ نیز بیشتر شود (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۱۳۹۳: ۵۵).

نسبت دایره‌ای: نسبت دایره‌ای حوضه (RC) عبارت است از نسبت مساحت حوضه (A) به مساحت دایره‌ای (A^o) که محیط آن مساوی محیط حوضه (P) باشد (علیزاده، ۱۳۹۳: ۴۹۹).

یکی از پارامترهای دیگری که بر ضریب فشردگی و نسبت دایره‌ای دولین‌ها اثر می‌گذارد، وضعیت قرارگیری دولین‌ها نسبت به گسل‌هاست. غالباً محور بلند (طول) حفره‌های فروکش در امتداد طویل‌ترین گسل ظاهر می‌شود (مقیمی، ۱۳۹۱: ۱۰۵). در همین زمینه، لایه‌های گسل و دولین در نرم‌افزار Arc GIS با هم تلفیق و بررسی شد.

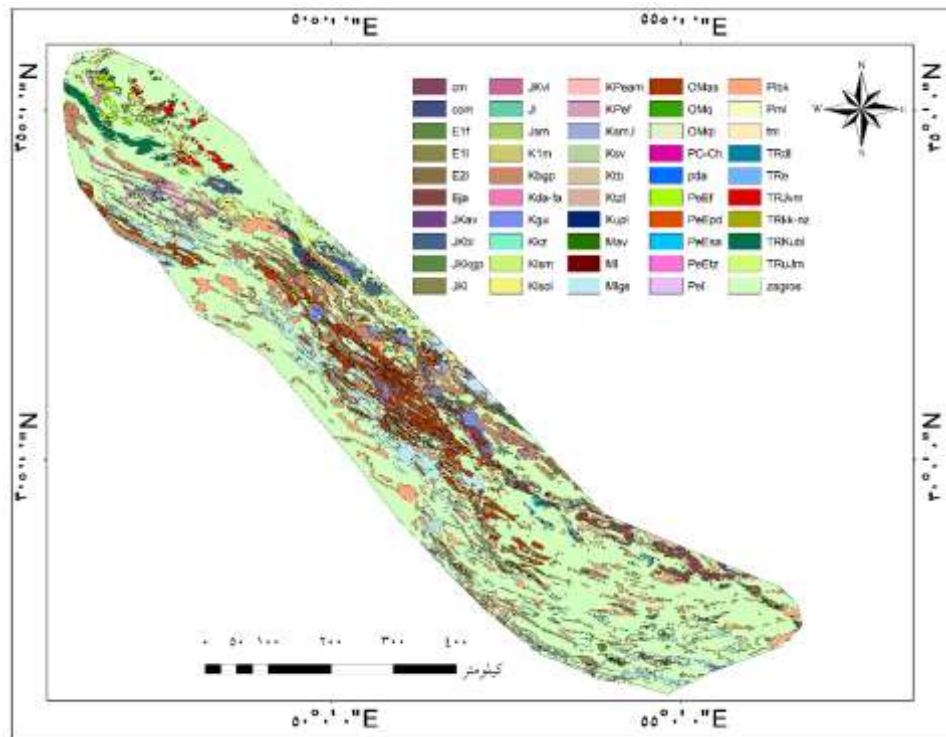
برای تجزیه و تحلیل آثار عناصر اقلیمی (دما و بارش) بر انحلال نواحی کارستی از داده‌های ۴۹ ساله پایگاه اسفزاری در نرم‌افزار MATLAB استفاده و در محیط Arc GIS با استفاده از روش میان‌یابی (Inverse Distance Weighting) نقشه هم‌دما و هم‌بارش و سپس با تلفیق دو لایه دما و بارش، نقشه اقلیمی زاگرس ترسیم و تجزیه و تحلیل شد. برای بازسازی دما و بارش دوره‌های سرد کواترنری، رابطه رگرسیونی میان ارتفاع و دما برای زاگرس برآورد شد. در رابطه به دست آمده ارتفاع برف‌مرز کواترنری زاگرس جایگزین X و دمای کنونی آن مشخص شد. با در نظر گرفتن دمای صفر درجه آن در دوره‌های سرد کواترنری، دمای گذشته بازسازی و نقشه آن با استفاده از رابطه ۳ ترسیم شد. با برآورد رابطه رگرسیونی بین دما و بارش کنونی و جایگزین کردن دمای گذشته به جای دمای کنونی، بارش گذشته بازسازی و نقشه آن نیز ترسیم و تجزیه و تحلیل شد. y، دما و x، ارتفاع است.

$$y = -0.063(x) + 25.918 \quad \text{رابطه (۳)}$$

یافته‌های پژوهش

- تراکم اشکال کارستی با توجه به لیتولوژی

مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل ایجاد کارست، وجود توده قابل انحلال کربناتی است؛ بنابراین ابتدا مناطق آهکی در سطح زاگرس شناسایی و مشخص شد. به طور کلی میزان آهک در زاگرس تقریباً ۴۳ درصد معادل ۱۲۱۲۷۰/۸ کیلومترمربع است که بیشترین مقدار آن در زاگرس میانی است (شکل ۷). عواملی همچون لیتولوژی مناسب، تکتونیزه‌بودن، وجود درزها و شکاف‌ها و اقلیم سبب تشکیل اشکال مختلف کارستی در طول زمان در منطقه شده است. بررسی‌های صورت گرفته بر این امر دلالت دارد که پراکندگی این اشکال در تمامی زاگرس یکسان نبوده و تراکم آنها در مناطق مختلف با توجه به موقعیت و ویژگی‌های مکانی متفاوت است (جدول ۱).



شکل - ۷: نقشه زمین‌شناسی مناطق کارستی زاگرس (نگارندگان، ۱۳۹۹)

جدول - ۱: تراکم اشکال در مناطق کارستی زاگرس

نوع اشکال	اشکال	تعداد (نقطه‌ای و خطی) مساحت (اشکال سطحی)	تراکم در زاگرس (در هر کیلومترمربع)
نقطه‌ای	چشمه	۴۹۴۴	۰/۰۴۴
	غار	۸۰	۰/۰۰۰۲۹
خطی	تنگ	۲۰۷	۰/۰۰۰۷۴
	کانیون	۶۸۶	۰/۰۰۲۴
سطحی	دولین	۱۷/۹۱	۰/۰۰۰۰۶۴
	دشت آهکی	۴۱۸۲۰/۱۳	۰/۰۱۵
	هوم	۵۸۱/۸۸	۰/۰۰۲۱

- تراکم اشکال کارستی با توجه به عامل ارتفاع

غار: تعداد ۸۰ غار در زاگرس شناسایی شد. با افزایش ارتفاع، تراکم غارها نسبت به مساحت طبقه ارتفاعی افزایش می‌یابد (رابطه ۴) و (جدول ۲). غار به صورت سطحی در زیر زمین گسترش می‌یابد، اما ارزیابی آنها به صورت نقطه‌ای انجام شد. تراکم غارها در هر کیلومترمربع، عدد بسیار ناچیزی است، ولی تغییر آن با افزایش ارتفاع جالب توجه است. با افزایش ارتفاع، تعداد غارها در سطوح ارتفاعی مختلف زاگرس افزایش داشته که این

رویداد خود دلیلی بر مساعدت‌بودن شرایط انحلال و کارستی شدن در سطوح مرتفع‌تر زاگرس نسبت به سطوح کم‌ارتفاع است؛ به طوری که تراکم غارها در سطوح ارتفاع ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، حدود ۳۰ برابر سطوح ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بوده است؛ این در حالی است که در سطوح ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، تراکم غارها به حداقل خود (۰/۰۰۰۱۶) رسیده است. چنین استدلال می‌شود که هرچند با افزایش ارتفاع تعداد غارها بیشتر می‌شود، در اینکه غار از یک کارست مخفی به کارست آشکار تبدیل شود، سایر عوامل نیز نقش دارند.

$$Y=2E-0.6X-0.0019 \quad R2=0.45 \quad \text{رابطه (۴)}$$

جدول-۲: تراکم غارها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

تراکم	مساحت طبقه ارتفاعی	تعداد	طبقه
۰/۰۰۰۲	۵۶۷۰۷/۹۴	۱۳	۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۰۰۰۲	۵۳۸۸۵/۸۶	۱۶	۱۰۰۰-۱۵۰۰
۰/۰۰۰۵	۶۱۹۱۶/۱۸	۳۳	۱۵۰۰-۲۰۰۰
۰/۰۰۰۱	۴۲۹۳۲/۳۵	۷	۲۰۰۰-۲۵۰۰
۰/۰۰۰۵	۱۴۶۹۷/۸۹	۸	۲۵۰۰-۳۰۰۰
۰/۰۰۰۶	۴۳۸/۸۲	۳	۳۰۰۰-۳۵۰۰

چشمه: در زاگرس تعداد ۴۹۴۴ چشمه شناسایی و تعیین موقعیت شد. حضور چشمه‌ها در مناطق مختلف حاکی است سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی بر اثر شیب یا گسل با سطح زمین هم‌ارتفاع شده است؛ اما در مناطق آهکی چشمه نمادی از وجود تشکیلات کارست مخفی دارای آب است که در محل چشمه شرایط آشکار شدن برای آن فراهم شده است؛ به همین دلیل حضور آنها به مثابه یکی از بردارهای مؤثر در مطالعه کارست قلمداد می‌شود. براساس تعداد چشمه‌های موجود در سطوح ارتفاعی مختلف زاگرس چنین برمی‌آید که با افزایش ارتفاع تعداد آنها تفاوت چندانی نداشته، ولی با توجه به کاهش سطوح ارضی در طبقات ارتفاعی بالاتر، تراکم آنها افزایش داشته و این افزایش در سطوح ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بیش از ده برابر تراکم آنها در سطوح ارتفاعی بین ۰ تا ۵۰۰ متر است (رابطه ۵؛ جدول ۳).

$$Y=2E-0.05X-0.0092 \quad R2=0.75 \quad \text{رابطه (۵)}$$

جدول-۳: تراکم چشمه‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

تراکم	تعداد چشمه‌ها	مساحت طبقه ارتفاعی	طبقه
۰/۰۰۶	۲۹۳	۴۷۶۳۳/۸۴	۰-۵۰۰
۰/۰۰۷	۴۵۲	۵۶۷۰۷/۹۴	۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۰۰۸	۴۷۶	۵۳۸۸۵/۸۶	۱۰۰۰-۱۵۰۰
۰/۰۱۵	۹۹۰	۶۱۹۱۶/۱۸	۱۵۰۰-۲۰۰۰
۰/۰۳۹	۱۷۰۶	۴۲۹۳۲/۳۵	۲۰۰۰-۲۵۰۰
۰/۰۶۲	۹۲۰	۱۴۶۹۷/۸۹	۲۵۰۰-۳۰۰۰
۰/۰۴۲	۱۰۷	۲۵۳۸/۰۵۶	۳۰۰-۳۵۰۰

کانیون و تنگ: نتیجه حاصل از رابطه همبستگی رگرسیونی کانیون‌ها، یک رابطه مثبت (صعودی) است که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، نسبت تراکم آنها بیشتر می‌شود؛ ولی تراکم تنگ‌ها برخلاف کانیون‌ها با افزایش ارتفاع کمتر می‌شود. کانیون و تنگ لندفرم خطی هستند؛ ولی باید به این نکته توجه داشت که انحلال در شکل‌گیری کانیون‌ها بیشتر از تنگ‌ها نقش دارد. با توجه به اثری که ارتفاع بر کاهش دما و افزایش بارش می‌گذارد و با توجه به مفهوم کانیون که به دره‌های U شکل و بن‌بست آهکی اطلاق می‌شود (محمودی، ۱۳۹۰: ۱۱۴)، افزایش تراکم کانیون‌ها در هر کیلومتر مربع در طبقات ارتفاعی دال بر انحلال یکی از عوامل مهم در ایجاد آنهاست؛ در صورتی که در شکل‌گیری تنگ‌ها عواملی غیر از انحلال نیز نقش دارد. در شکل‌گیری تنگ‌ها، شرایط حوضه‌های بالادست بسیار مؤثر است. افزایش دبی رودخانه‌ها و موازی‌بودن چین‌خوردگی‌های زاگرس به افزایش تنگ‌ها با کاهش ارتفاع منجر شده است؛ البته بعضی از تنگ‌ها از ادغام کانیون‌ها به وجود آمده‌اند. ضریب تبیین اثرگذاری ارتفاع بر تراکم کانیون‌ها (روابط ۶ و ۷) و تنگ‌ها (جدول ۴ و ۵) در هر دو بیشتر از ۰/۷ (۷۰ درصد)، در دو جهت مخالف هم است.

$$Y=1E-06x+0/0005 \quad R2=0/80$$

رابطه (۶)

جدول-۴: تراکم کانیون‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

تراکم	مساحت طبقه ارتفاعی	تعداد کانیون‌ها	طبقه
۰/۰۰۰۹	۴۷۶۳۳/۸۴	۴۳	۰-۵۰۰
۰/۰۰۲۶	۵۶۷۰۷/۹۴	۱۴۹	۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۰۰۲	۵۳۸۸۵/۸۶	۱۱۱	۱۰۰۰-۱۵۰۰
۰/۰۰۲۸	۶۱۹۱۶/۱۸	۱۷۹	۱۵۰۰-۲۰۰۰
۰/۰۰۳	۴۲۹۳۲/۳۵	۱۳۱	۲۰۰۰-۲۵۰۰
۰/۰۰۴۹	۱۴۶۹۷/۸۹	۷۳	۲۵۰۰-۳۰۰۰

$$Y = -0.0252X + 89.1 \quad R^2 = 0.7$$

رابطه (۷)

جدول- ۵: تراکم تنگ‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

طبقه	تعداد تنگ‌ها	مساحت طبقه ارتفاعی	تراکم
۰-۵۰۰	۲۷	۶۳۳/۸۴	۰/۰۰۰۵
۵۰۰-۱۰۰۰	۶۷	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۰۰۱
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۴۰	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۰۰۰۷
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۵۲	۶۱۹۱۶/۱۸	۰/۰۰۰۸
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۲۱	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۰۰۴

در قدم بعدی بین ارتفاع به‌مثابه متغیر مستقل و طول کانیون‌ها و تنگ‌ها به‌مثابه متغیر وابسته رابطه رگرسیونی برآورد شد. با توجه به موقعیت قرارگیری آنها در طبقات اقلیمی متفاوت، این روابط برای هر واحد از زاگرس به‌صورت جداگانه برآورد و در طبقاتی تجزیه و تحلیل شد که روابط معنادار داشت.

زاگرس پست: روابط بین ارتفاع با طول در تنگ‌ها در دو طبقه اقلیمی یک و سه و برای کانیون‌ها در طبقه اقلیمی دو معکوس است؛ به این صورت که با افزایش ارتفاع طول آنها کم می‌شود؛ منتها شیب تغییرات طول تنگ‌ها بیشتر از کانیون‌هاست؛ یعنی بر اثر افزایش ارتفاع، طول تنگ‌ها بیشتر می‌شود که ناشی از بیشتر شدن عرض چین‌خوردگی‌هایی است که در آنها تنگ به وجود آمده یا ناشی از عمیق‌تر شدن تنگ به دلیل ارتفاع بیشتر کوه است؛ ولی درباره کانیون‌ها چون در یک طرف دامنه کوه ایجاد شده‌اند، افزایش طول آنها با افزایش ارتفاع ممکن است ناشی از اثرگذاری عوامل انحلالی در توسعه کانیون‌ها باشد (جدول ۶).

جدول- ۶: روابط میان ارتفاع و طول تنگ و کانیون در طبقات اقلیمی در زاگرس پست

-	تنگ		کانیون	
	Y	R2	Y	R2
طبقه اقلیمی				
۱	$-0.1661X + 53.72$	۰/۶۴	-	-
۳	$-0.0388X + 10.58/9$	۰/۹۶	$-0.0759X + 68.4/32$	۰/۶۲

زاگرس چین‌خورده: همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، رابطه میان ارتفاع و طول در زاگرس چین‌خورده در تنگ‌ها در طبقه اقلیمی یک مستقیم و در طبقه اقلیمی دو و چهار معکوس است. اینکه در طبقه اقلیمی یک، رابطه مستقیم است به این برمی‌گردد که این طبقه اقلیمی هرچند از نظر ارتفاع متفاوت است، بیشتر

تنگ‌های این طبقه اقلیم در حاشیه زاگرس قرار دارند که معمولاً ارتفاع چین‌ها کم و در نتیجه طول تنگ‌ها کوتاه است و با افزایش ارتفاع طول تنگ بیشتر می‌شود. در طبقات اقلیمی دو و چهار که با افزایش ارتفاع طول تنگ‌ها کم می‌شود، با توجه به افزایش ارتفاع، در واقع ارتفاعی از چین کمتر می‌شود که بر اثر عوامل فرسایشی قطع می‌شود و به صورت تنگ درمی‌آید؛ همین مسئله باعث کمتر شدن طول تنگ می‌شود.

جدول-۷: روابط میان ارتفاع و طول تنگ در طبقات اقلیمی در زاگرس چین‌خورده

طبقه اقلیمی	روابط همبستگی Y	R2
۱	$۳۸/۰۶X+۴۹۳/۸۸$	۰/۴۵
۲	$-۰/۰۳۵X+۱۳۴۳/۳$	۰/۴
۴	$-۰/۰۷X+۱۷۰۸/۸$	۰/۴۳

زاگرس مرتفع: در زاگرس مرتفع بین ارتفاع و طول تنگ در طبقه اقلیمی سه، ارتفاع و طول کانیون در طبقه اقلیمی دو، رابطه رگرسیونی مستقیم وجود دارد؛ اما این رابطه در طبقه اقلیمی پنج برای تنگ و کانیون نزولی است و با افزایش ارتفاع، طول آنها کاهش می‌یابد. در زاگرس رورانده نظم توده‌های آهکی و شیب آنها بر هم می‌خورد و در جهات مختلف، شیب توپوگرافی زمین نیز تقارن بسیار کمی دارد و شرایط کارستی-فیکاسیون علاوه بر عوامل اقلیمی از شرایط زمین‌ساخت نیز متأثر می‌شود. ترکیب شرایط مختلف یادشده باعث می‌شود به‌خوبی آثار تغییر اقلیم با افزایش ارتفاع طی دوره‌های مختلف در عوارض کارستی ردیابی نشود؛ بر همین اساس در طبقات اقلیمی دو و سه با افزایش ارتفاع، طول کانیون‌ها و تنگ‌ها افزایش می‌یابد. افزایش آنها ممکن است ناشی از این باشد که در این واحد از زاگرس، طبقات اقلیمی در دو و سه بیشتر حاشیه واحد را در برمی‌گیرند؛ در صورتی که در طبقه اقلیمی پنج که هم‌دما بسیار پایین است و هم‌بارش به حداکثر ممکن می‌رسد، با افزایش ارتفاع، طول تنگ‌ها و کانیون‌ها کاهش می‌یابد؛ کاهش آنها ممکن است ناشی از افزایش شیبی باشد که در مناطق مرتفع زاگرس رورانده نسبت به اطراف خود دارند. آنچه مسلم است براساس طول تنگ یا کانیون نمی‌توان شرایط تغییرات اقلیمی را در اشکال کارستی زاگرس مرتفع ردیابی کرد (جدول ۸).

جدول-۸: روابط همبستگی میان ارتفاع و طول تنگ و کانیون در طبقات اقلیمی در زاگرس مرتفع

-	تنگ		کانیون	
	روابط همبستگی Y	R2	روابط همبستگی Y	R2
۲	-	-	$۰/۰۲۴X+۱۷۲۹/۷$	۰/۴۴
۳	$-۰/۲۱۶X+۱۱۷۰/۸$	۰/۹۱	-	-
۵	$-۰/۰۰۸۶X+۲۳۱۴/۷$	۰/۹۶	$-۰/۰۳۹X+۲۹۰۶/۸$	۰/۳۴

دشت: به‌طور کلی ۴۱۸۲۰/۱۳ مترمربع از زاگرس را دشت‌ها دربرگرفته‌اند. رابطه به‌دست‌آمده با رگرسیون خطی بین ارتفاع و نسبت تراکم در دشت‌ها بر این دلالت دارد که با افزایش ارتفاع، این نسبت کاهش می‌یابد. وسعت دشت‌ها از ارتفاع ۲۵۰۰ به بالا به کمترین حد خود می‌رسد (رابطه ۸). دشت‌ها از عوارض سطحی محسوب می‌شوند که فقط عامل بارش و دما در توسعه آنها دخیل نیست؛ بلکه تجمع رواناب‌ها، یخ‌پوشه‌ها و حتی تشکیل غارهای زیرزمینی و ریزش سقف آنها در توزیع آنها نقش داشته است. براساس یافته‌های کلینسلی^۱ (۱۳۸۸) بسیاری از دشت‌ها در ابتدا از یخ و یخچال‌های طبیعی پوشیده شده بوده‌اند که در اواخر عصر یخبندان با عقب‌نشینی یخ‌ها در اثر تغییرات جهانی دما، دریاچه‌ها را به وجود آورده‌اند و سپس با گرم‌شدن هوا و فزونی میزان تبخیر بر بارش خشک شده‌اند (جدول ۹).

$$Y = -8E - 0.05X + 0.2726 \quad R^2 = 0.71 \quad \text{رابطه (۸)}$$

جدول- ۹: نسبت تراکم دشت‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

نسبت تراکم	مساحت طبقه ارتفاعی	مساحت دشت (کیلومتر مربع)	طبقه
۰/۲۸	۴۷۶۳۳/۸۴	۱۳۲۸۱/۷۷	۰-۵۰۰
۰/۱۰	۵۶۷۰۷/۹۴	۵۶۷۴/۲۱	۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۱۵	۵۳۸۸۵/۸۶	۸۰۷۰/۸۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰
۰/۱۵	۶۱۹۱۶/۱۸	۹۲۲۰/۷۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰
۰/۰۷	۴۲۹۳۲/۳۵	۳۱۱۶/۶۰	۲۰۰۰-۲۵۰۰
۰/۰۰۰۴	۱۴۶۹۷/۸۹	۶/۰۴	۲۵۰۰-۲۷۵۷

دولین: در واحد ژئومورفیک زاگرس تعداد ۲۴۲ دولین شناسایی شد. نسبت تراکم دولین‌ها در هر طبقه، با افزایش طبقه ارتفاعی بیشتر شده است. رابطه بین دولین به‌مثابه متغیر وابسته با ارتفاع به‌مثابه متغیر مستقل به شکل رابطه ۹ است و به‌ازای افزایش ارتفاع با اینکه مساحت طبقه ارتفاعی کمتر می‌شود، نسبت سطحی دولین افزایش یافته است (جدول ۱۰ و ۱۱).

$$Y = 9E - 0.05X - 0.0002 \quad R^2 = 0.7531 \quad \text{رابطه (۹)}$$

¹ Clinsey

جدول - ۱۰: نسبت تراکم دولین‌ها در طبقات ارتفاعی زاگرس با فاصله طبقاتی ۵۰۰ متر

طبقة	مساحت دولین (کیلومتر مربع)	مساحت طبقه ارتفاعی (کیلومتر مربع)	نسبت تراکم
۰-۵۰۰	۰/۹۴	۴۷۶۳۳/۸۴	۰/۰۰۰۰۱
۵۰۰-۱۰۰۰	۵/۱۵	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۰۰۰۰۹
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۱۴	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۰۰۰۰۰۲
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۰/۹۲	۶۱۹۱۶/۱۸	۰/۰۰۰۰۱
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۴/۸۴	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۰۰۰۱
۲۵۰۰-۳۰۰۰	۴/۰۷	۱۴۶۹۷/۸۹	۰/۰۰۰۰۳
۳۰۰۰-۳۵۰۰	۱/۵۲	۲۵۳۸/۰۵	۰/۰۰۰۰۶
۳۵۰۰-۳۶۸۸	۰/۲۷	۴۳۸/۸۲	۰/۰۰۰۰۶

جدول - ۱۱: تراکم دولین‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف با فاصله طبقاتی ۱۰۰ متر

طبقة	تعداد	مساحت طبقه ارتفاع (مترمربع)	مساحت دولین‌ها در این طبقه	نسبت (مساحت دولین به مساحت طبقه)
۵۰۰-۶۰۰	۹	۱۰۹۳۵۸۶۴	۶۹۹۴۴۵/۹۳	۰/۰۶۳
۶۰۰-۷۰۰	۲۵	۱۳۰۲۳۷۵۶	۱۹۰۸۴۷۷	۰/۱۴۶
۷۰۰-۸۰۰	۱۲	۱۳۱۶۸۴۹۴	۴۲۸۷۴/۳	۰/۰۰۳
۸۰۰-۹۰۰	۱۴	۱۳۳۷۸۵۱۴	۷۷۸۰۰۶/۶	۰/۰۰۵۸
۹۰۰-۱۰۰۰	۲	۱۱۲۰۴۲۶۶	۵۰۴۹۰/۱۶	۰/۰۰۴
۱۱۰۰-۱۲۰۰	۳	۱۱۰۸۴۹۰۶	۶۲۹۰۲/۸۳	۰/۰۰۵
۱۳۰۰-۱۴۰۰	۱	۱۲۵۶۰۵۳۱	۲۴۱۹/۷۵	۰/۰۰۱
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۱	۱۱۹۶۲۴۱۱	۲۰۸۰۵/۳۷	۰/۰۰۱
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۲	۱۱۴۲۳۳۵۱	۶۶۳۹۴/۴	۰/۰۰۵۸
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۹	۱۰۶۸۷۱۹۵	۵۴۱۶۰۲۳/۶	۰/۰۰۵۰
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۲۷	۹۳۹۴۷۹۹	۱۵۴۰۱۸۲	۰/۱۶۳
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۲۱	۸۳۴۶۲۲۴	۸۴۸۱۳/۴	۰/۰۱۰
۲۴۰۰-۲۵۰۰	۱۷	۶۸۶۸۴۱۳	۹۵۷۰۳۶/۳	۰/۱۳۹
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۲۳	۵۳۸۷۲۳۰	۱۷۸۵۶۳۴	۰/۳۳۱
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۳۲	۴۱۶۰۳۶۴	۱۱۹۸۲۷	۰/۰۲۸
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۱۹	۲۹۳۵۰۵۴	۵۴۶۹۹۰/۳	۰/۱۸۶
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۹	۲۰۶۷۵۰۲	۳۴۲۰۸۸/۳	۰/۱۶۵
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۷	۱۴۴۴۴۳۷	۲۲۱۳۰۴۱/۵	۱/۵۳
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۱	۹۹۲۶۴۲	۵۸۳۱/۱	۰/۰۰۵
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۱	۶۷۱۹۴۴	۱۷۱۷۵/۲۱	۰/۰۲۵
۳۲۰۰-۳۳۰۰	۱	۴۸۰۹۰۸	۶۲۲۶۲/۷۵	۰/۱۲۹
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۳	۳۵۶۵۵۴	۱۴۰۲۴۳۶	۳/۹۳
۳۶۰۰-۳۷۰۰	۳	۱۳۱۸۴۹	۲۷۷۰۵۴/۵	۲/۱

هوم: رابطه رگرسیون خطی بین مساحت طبقه ارتفاعی و نسبت تراکم در هوم‌ها به صورتی است که با افزایش ارتفاع، نسبت تراکم افزایش یافته است. توزیع هوم‌ها در دشت‌های زاگرس با فاصله ارتفاعی ۵۰۰ متر تجزیه و تحلیل شد. در ارتفاع پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر، تراکم آنها به حداقل خود (۰/۰۰۰۶ کیلومتر مربع در واحد سطح) و در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، به حداکثر خود (۰/۰۰۲ کیلومتر مربع در واحد سطح) رسیده است. در ارتفاع بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر، دوباره نسبت تراکمی آنها کاهش یافته (۰/۰۰۵) و از ارتفاع ۳۰۰۰ متر به بالا نسبت تراکم آنها بیشتر شده است. چنین توزیعی دال بر این است که عوامل دیگری غیر از کاهش دما در پراکندگی هوم‌ها نقش داشته‌اند؛ زیرا هوم‌ها به مثابه سطوح برجسته از انحلال در دشت‌ها مصون مانده‌اند (رابطه ۱۰؛ جدول ۱۲).

$$Y=2E-06x-0/0012 \quad R2=0/55 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

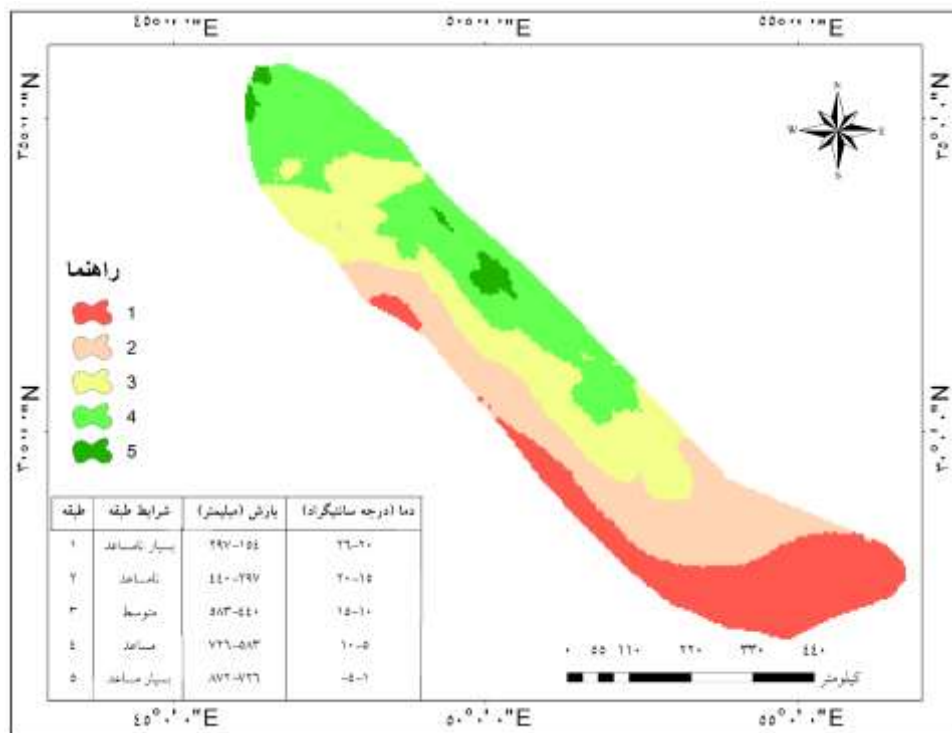
جدول- ۱۲: نسبت تراکمی هوم‌ها در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

طبقه	مساحت هوم (کیلومتر مربع)	مساحت طبقه ارتفاعی	نسبت تراکم
۵۰۰-۱۰۰۰	۳۶/۶۶	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۰۰۰۶
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۹۰/۴۷	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۰۰۲
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۳۱۱/۷۶	۶۱۹۱۵/۱۸	۰/۰۰۵
۲۰۰۰-۲۵۹۸	۱۳۷/۱۷	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۰۳

- شرایط اقلیمی مستعد توسعه کارست و تراکم اشکال کارستی با توجه به اقلیم

بارش و رطوبت در همه کوهستان‌ها یک اندازه نیست؛ حتی در یک کوهستان روی دامنه‌های رو به باد (بادگیر) و پشت به باد (بادپناه) یکسان نیست و تأثیرات اوروگرافیک کوهستان‌ها باعث تغییر در بارش می‌شود (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵: ۱۲۵). با توجه به قرارگیری محدوده مطالعاتی در مسیر جریان‌های مرطوب و سیکلون‌های مدیترانه‌ای و سودانی، دامنه‌های غربی زاگرس نسبت به دامنه‌های شرقی بارش و رطوبت بیشتری دریافت می‌کند (علیجانی، ۱۳۸۲: ۲۳۶)؛ به گونه‌ای که بارش سالانه بین ۲۵۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر و دمای سالانه از ۱- تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد در نوسان است؛ بنابراین انتظار می‌رود اثرگذاری آنها بر مناطق مختلف کارستی متفاوت باشد؛ به همین منظور نقشه‌های دما و بارش کنونی ترسیم و سطوح وابسته به هرکدام به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد. دما از بیشترین به کمترین و بارش بالعکس از کمترین به بیشترین، به ترتیب در طبقات یک تا پنج قرار گرفتند؛ به این صورت که برای طبقه‌بندی دما، مناطقی که بیشترین دما را داشتند، برای تشکیل کارست کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند و مناطقی با دمای پایین که بهترین شرایط را برای توسعه کارست داشتند، بیشترین امتیاز را گرفتند؛ همچنین برای بارش، مناطقی با حداکثر بارش و بهترین وضعیت برای توسعه کارست، بیشترین امتیاز را می‌گیرند. پس از ترسیم نقشه‌های دما، بارش و طبقه‌بندی آنها، طبقات به ترتیب از اول تا پنجم به مثابه بسیار نامساعد (دما ۲۰-۲۶ و

بارش ۲۹۷-۱۵۴)، نامساعد (دما ۲۰-۱۵ و بارش ۴۴۰-۲۹۷)، متوسط (دما ۱۵-۱۰ و بارش ۵۸۳-۴۴۰)، مساعد (دما ۱۰-۵ و بارش ۷۲۶-۵۸۳) و بسیار مساعد (دما ۵-۱ و بارش ۸۷۲-۷۲۶) در نظر گرفته شدند. انتظار می‌رود طبقه بسیار مساعد با کمترین دما و بیشترین بارش، بهترین شرایط را برای توسعه کارست داشته باشد. در طبقه بسیار نامساعد پیش‌بینی می‌شود تراکم و توسعه کارست به حداقل برسد. البته این نکته را باید در نظر داشت که طبقه بسیار مساعد پهنه کمتری نسبت به بقیه طبقات دارد؛ به همین دلیل درصد پراکندگی اشکال کارستی نیز در آن کمتر می‌شود. در نهایت با تلفیق دو لایه دما و بارش، نقشه اقلیمی کنونی منطقه ترسیم شد (شکل ۸).



شکل - ۸: نقشه اقلیمی (بارش و دما) کنونی در زاگرس (نگارندگان، ۱۳۹۹)

به منظور بازسازی دما و بارش گذشته، با جایگزینی ارتفاع برف‌مرز کواترنری برآورد شده توسط جعفری و حضرتی (۱۳۹۷) برای حوضه‌های مختلف زاگرس (جدول ۱۳)، در روابط رگرسیونی به دست آمده برای هر حوضه زاگرس و برآورد اختلاف دمای حال حاضر با گذشته (جدول ۱۴)، دمای گذشته بازسازی و نقشه هم‌دمای کواترنری ترسیم شد؛ سپس با استفاده از روابط به دست آمده بین بارش و دما، اختلاف بارش کنونی با گذشته به دست آمد و بارش گذشته نیز بازسازی و نقشه هم‌بارش آن ترسیم شد. نتایج نشان می‌دهد بارش برای دوران کواترنری در زاگرس بین ۲۷۳ تا ۱۵۱۳ میلی‌متر و دما سالانه از ۹- تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد در نوسان بوده و به‌طور متوسط بارش گذشته تقریباً ۱/۸ برابر بارش کنونی بوده و دما ۸/۸ درجه سانتی‌گراد با دمای کنونی اختلاف داشته است. پس از ترسیم دو نقشه دما و بارش گذشته و تلفیق آنها، پنج طبقه اقلیمی از نظر شکل‌گیری و توسعه کارست

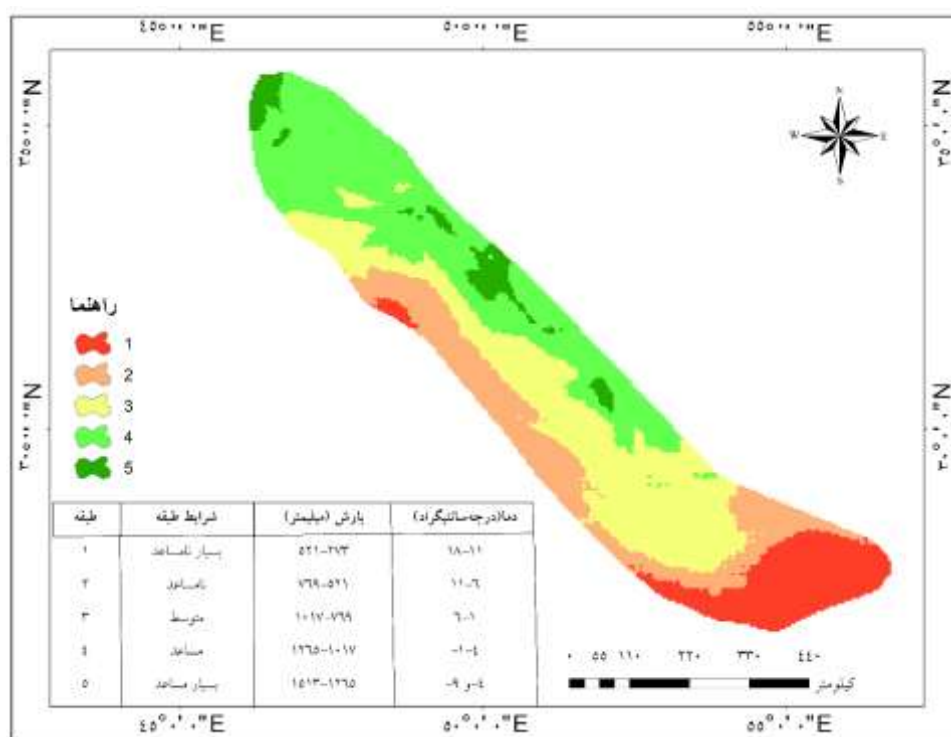
برای دوران کواترنری همانند دوره کنونی مشخص شد؛ به این صورت که مناطق با کمترین دما و بیشترین بارش، بیشترین امتیاز و مناطق با بیشترین دما و کمترین بارش، کمترین امتیاز را برای کارستی شدن به خود اختصاص دادند (شکل ۹).

جدول- ۱۳: ارتفاع برف‌مرز در حوضه‌های زاگرس (جعفری و حضرتی، ۱۳۹۷: ۴۵)

حوضه	مرزی غرب	کرخه	کارون	بختگان	کل زاگرس
ارتفاع برف‌مرز (متر)	۲۳۰۰	۲۴۴۳/۵	۲۹۳۷/۵	۲۹۶۱	۲۷۱۹

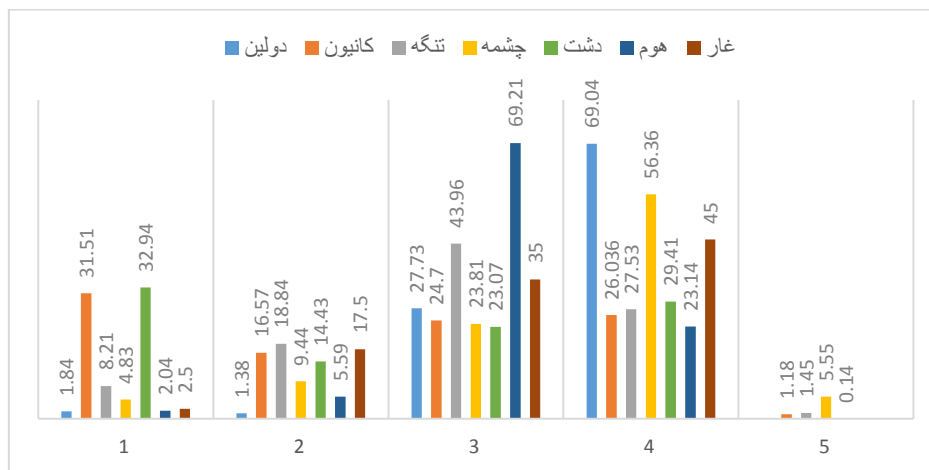
جدول- ۱۴: اختلاف دمای به دست آمده برای هر حوضه

حوضه آبریز	رابطه رگرسیونی ارتفاع و دما Y	اختلاف دما (درجه C)
مرزی غرب	$-۰/۰۰۵۹(۲۳۰۰)+۲۲/۲۶۶$	۸/۷
کرخه	$-۰/۰۰۵۹(۲۴۴۳/۵)+۲۴/۲۱۳$	۹/۸
کارون بزرگ	$-۰/۰۰۵۳(۲۹۳۷/۵)+۲۳/۲۷۷$	۷/۷۱
بختگان- مهارلو	$-۰/۰۰۰۴(۲۹۶۱)+۲۳/۳۸۴$	۱۱/۵۴
کل زاگرس	$-۰/۰۰۶۳(۲۷۱۹)+۲۵/۹۱۸$	۸/۸

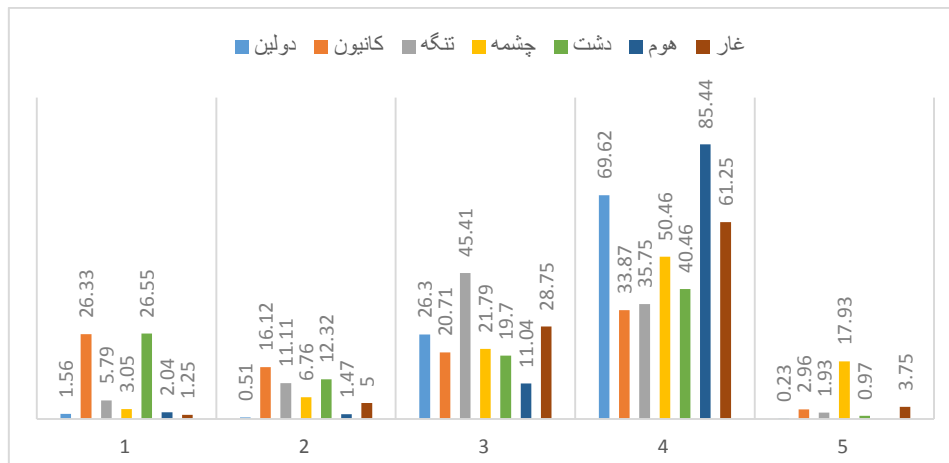


شکل - ۹: نقشه اقلیمی (بارش و دما) دوره کواترنری در زاگرس (نگارندگان، ۱۳۹۹)

براساس طبقه‌بندی اقلیم کنونی از اشکال سطحی بیشترین درصد دولین‌ها در طبقه چهار ۶۹/۰۴٪ و طبقه سه ۲۷/۷۳٪، دشت‌های آهکی در طبقه یک ۳۲/۹۴٪ و سه ۲۹/۴۱٪ و هوم‌ها در طبقه سه ۶۹/۲۱٪ و چهار ۲۳/۱۴٪ قرار گرفته‌اند؛ از اشکال خطی، بیشتر کانیون‌ها در طبقه یک ۳۱/۵۱٪ و چهار ۲۶/۰۳٪ و تنگ‌ها در طبقه سه ۴۳/۹۶٪ و چهار ۲۷/۵۳٪ قرار گرفته‌اند و چشمه‌ها در طبقه چهار ۵۶/۳۶٪ و سه ۲۳/۸۱٪ و غارها در طبقه چهار ۴۵٪ و سه ۳۵٪ بیشترین تراکم را دارند. به‌طور کلی تراکم بیشتر اشکال کارستی به‌جز دشت‌ها به ترتیب در طبقات اقلیمی چهارم و سوم (مساعد و متوسط) بوده است (شکل ۱۰). براساس شکل ۱۱، برمبنای اقلیم کواترنری، بیشترین میزان پراکندگی دولین‌ها در طبقه چهار ۶۹/۶۲٪ و سه ۲۹/۳٪، دشت‌های آهکی در طبقه چهار ۴۰/۴۶٪ و یک ۲۶/۵۵٪ و هوم‌ها در طبقه چهار ۸۵/۴۴٪، کانیون‌ها در طبقه یک ۳۳/۸۷٪ و چهار ۲۶/۳۳٪، تنگ‌ها در طبقه سه ۴۳/۹۶٪ و چهار ۲۷/۵۳٪، چشمه‌ها در طبقه چهار ۵۰/۴۶٪ و سه ۲۱/۷۹٪ و غارها در طبقه چهار ۶۱/۲۵٪ بوده است. با یک مقایسه کلی میان پراکندگی اشکال در دو زمان حال و گذشته می‌توان گفت پراکندگی اشکال کارستی در کواترنری به ترتیب بیشتر در طبقه اقلیمی مساعد و بسیار مساعد بوده است؛ در حالی که در دوره کنونی بیشتر در طبقات اقلیمی مساعد و متوسط هستند. این‌گونه پراکندگی‌ها خود دلیل بر این مطلب است که طی کواترنری با تغییر اقلیم منطقه کارستی - فیکاسیون شدید و ضعیف شده است. قرارگیری بیشتر پدیده‌های کارستی در شرایط مساعد و بسیار مساعد اقلیم کواترنری نشان می‌دهد طی دوره‌های سرد کارست‌ها شکل گرفته‌اند و در شرایط کنونی تکامل می‌یابند (جدول ۱۵ و شکل ۱۲).



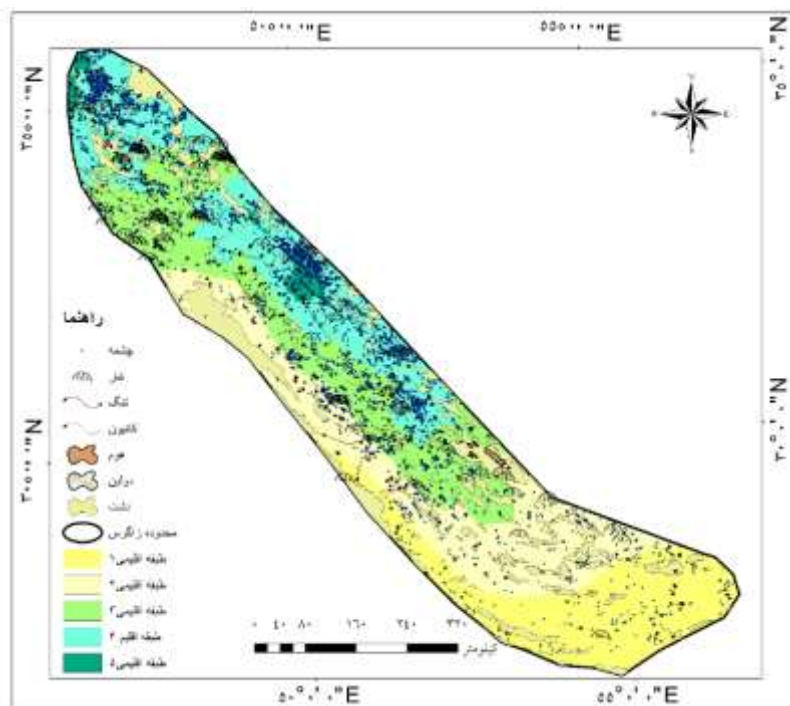
شکل - ۱۰: نمودار پراکندگی عوارض کارستی در طبقات اقلیمی در زمان کنونی



شکل - ۱۱: نمودار پراکندگی عوارض کارستی در طبقات اقلیمی در دوره کوتاترنری

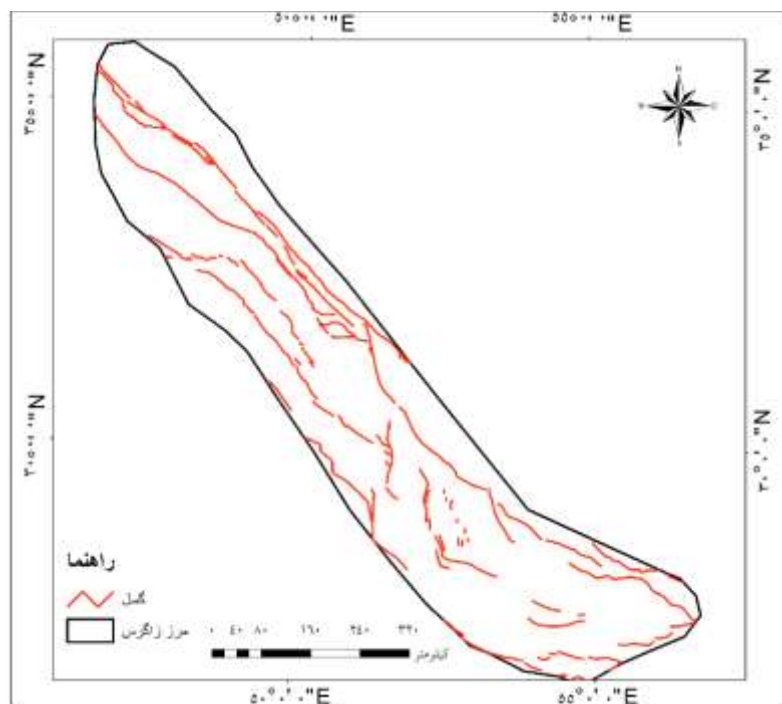
جدول - ۱۵: پراکندگی عوارض کارستی در طبقات اقلیمی در دوره کنونی و دوران کوتاترنری برحسب درصد

دوران کوتاترنری							دوره کنونی				
نوع اشکال	اشکال	بسیار مساعد	مساعد	متوسط	نامساعد	بسیار نامساعد	بسیار مساعد	مساعد	متوسط	نامساعد	بسیار نامساعد
خطی	کانیون	۲/۹۶	۳۳/۸۷	۲۰/۷۱	۱۶/۱۲	۲۶/۳۳	۱/۱۸	۲۶/۰۴	۲۴/۷	۱۶/۵۷	۳۱/۵۱
	تنگ	۱/۹۳	۳۵/۷۵	۴۵/۴۱	۱۱/۱۱	۵/۷۹	۱/۴۵	۲۷/۵۳	۴۳/۹۶	۱۸/۸۴	۸/۲۱
نقطه	چشمه	۱۷/۹۳	۵۰/۴۶	۲۱/۷۹	۶/۷۶	۳/۰۵	۵/۵۵	۵۶/۳۶	۲۳/۸۱	۹/۴۴	۴/۸۳
	غار	۳/۷۵	۶۱/۲۵	۲۸/۷۵	۵	۱/۲۵	-	۴۵	۳۵	۱۷/۵	۲/۵
سطحی	دولین	۰/۲۳	۶۹/۶۲	۲۶/۳	۰/۵۱	۱/۵۶	-	۶۹/۰۴	۲۷/۷۳	۱/۳۸	۱/۸۴
	دشت	۰/۹۷	۴۰/۴۶	۱۹/۷	۱۲/۳۲	۲۶/۵۵	۰/۱۴	۲۹/۴۱	۲۳/۰۷	۱۴/۴۳	۳۲/۹۴
	هوم	-	۸۵/۴۴	۱۱/۰۴	۱/۴۷	۲/۰۴	-	۲۳/۱۴	۶۹/۲۱	۵/۵۹	۲/۰۴



شکل - ۱۲: پراکندگی اشکال کارستی با توجه به طبقات اقلیمی در زاگرس (نگارندگان، ۱۳۹۹)

- تراکم لندفرم‌های کارستی با توجه به تکتونیک
علاوه بر ارتفاع، گسل نیز بر پراکندگی فرم‌های کارستی اثرگذار است. به این منظور نقشه گسل‌های موجود در
زاگرس رقومی شد (شکل ۱۳)؛ سپس پراکندگی اشکال کارستی براساس فاصله از گسل بررسی شد.



شکل - ۱۳: نقشه پراکندگی گسل‌ها در زاگرس (نگارندگان، ۱۳۹۹)

درصد فراوانی از اشکال مطالعه شده به استثنای هوم در فاصله ۲۰ کیلومتری از گسل‌ها قرار دارند (جدول‌های ۱۶ تا ۱۸). هوم‌ها در واقع اشکال برجسته آهکی هستند که به مثابه شواهدی از وجود آهک انحلال یافته در دشت‌ها باقی مانده‌اند. با توجه به اینکه درزها و شکاف‌ها موجب افزایش انحلال در سطح و عمق زمین می‌شوند، فاصله هوم‌ها از این شکستگی‌ها، مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری آنها بوده است؛ زیرا انحلال در عمق در محدوده هوم‌ها، به دلیل نبود درزها و شکاف‌ها و نفوذناپذیری منطقه به حداقل خود رسیده است. فراوانی غارها و دولین‌ها در فاصله نزدیک نشان‌دهنده اثرپذیری کارست از درزها، شکاف‌ها و شکستگی‌ها و تحول آن است؛ به طوری که این فراوانی نفوذپذیری را افزایش می‌دهد و عمل انحلال را سرعت می‌بخشد و به تحول کارست به ویژه کارست عمقی کمک کرده است؛ همچنین وجود درزها و شکاف‌ها موجب نفوذ آب به درون زمین و انباشت آن روی لایه‌های نفوذناپذیر می‌شود که از راه چشمه تخلیه می‌شود و در مناطق کارستی، چشمه‌ها و سراب‌های وکلوزین را شکل می‌دهد. در اینجا نیز فراوانی چشمه‌ها در فاصله نزدیک به گسل دال بر اثرپذیری آنها از درزها و شکاف‌هاست.

جدول- ۱۶: پراکندگی اشکال نقطه‌ای کارستی با توجه به گسل در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

فاصله از گسل	چشمه		غار	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
کمتر از یک کیلومتر	۲۴۶	۵/۰۲	۹	۱۱/۲۵
یک تا ۵ کیلومتر	۱۰۶۸	۲۱/۸	۲	۲/۵
۵-۱۰ کیلومتر	۹۲۸	۱۸/۹۵	۱۰	۱۲/۵
۱۰-۲۰ کیلومتر	۱۳۳۷	۲۷/۳۰	۳۶	۴۵
۲۰-۶۰ کیلومتر	۱۳۱۸	۲۶/۹۱	۲۳	۲۸/۷۵

جدول- ۱۷: پراکندگی اشکال خطی کارستی با توجه به گسل در زاگرس

فاصله از گسل	تنگه		کانیون	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
کمتر از یک کیلومتر	۱۳	۶/۲۸	۳۳	۴/۸۱
یک تا ۵ کیلومتر	۴۰	۱۹/۳۲	۱۱۴	۱۶/۶۱
۵-۱۰ کیلومتر	۴۱	۱۹/۸	۱۵۱	۲۲/۰۱
۱۰-۲۰ کیلومتر	۸۲	۳۹/۶۱	۱۸۵	۲۶/۹۶
۲۰-۶۰ کیلومتر	۳۱	۱۴/۹۷	۲۰۳	۲۹/۵۹

جدول- ۱۸: پراکندگی اشکال سطحی کارستی با توجه به گسل در زاگرس

فاصله از گسل	دولین		دشت		هوم	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
کمتر از یک کیلومتر	۰/۰۴۷	۰/۲۷	۱۳۶۷/۰۵	۳/۲۷	-	-
یک تا ۵ کیلومتر	۲/۲۴	۱۲/۵۵	۵۲۵۵/۱۹	۱۲/۵۶	۲۶/۳	۱/۱۳
۵-۱۰ کیلومتر	۳/۶۹	۲۱/۰۵	۵۷۲۶/۷۴	۱۳/۶۹	۲۷/۱۶	۴/۸۲
۱۰-۲۰ کیلومتر	۱۱/۷۶	۶۳/۶۵	۱۸۶۰/۸/۸	۴۴/۴۹	۱۱۴/۵۵	۲۰/۳۴
۲۰-۶۰ کیلومتر	۰/۴۴	۲/۴۷	۱۰۸۶۲/۲۵	۲۵/۹۷	۴۱۵/۰۴	۷۳/۷۰

نتیجه‌گیری

در ناحیه زاگرس سازندهای کارستی رخنمون فراوان دارند و ۹۰ درصد از ارتفاعات آن را سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌دهد. بررسی‌های اشکال ماکروکارستی که به صورت لندفرم‌های مختلفی همچون غار، پولیه، دولین، هوم، کانیون، تنگ و چشمه منعکس شده‌اند، فهم بهتری را از آثار عوامل دما و بارش و تغییرات آن طی کواترنری، ارتفاع و تکتونیک (فاصله از گسل) برای پژوهشگر ایجاد می‌کند. به این منظور توزیع اشکال کارستی در سه گروه سطحی، خطی و نقطه‌ای با توجه به عوامل یادشده بررسی شد. تراکم درصد زیادی از اشکال کارستی در طبقات مساعد و بسیار مساعد اقلیمی بر این دلالت دارد که اقلیم به‌مثابه یک عامل اثرگذار در شکل‌گیری و توسعه آنها نقش مهمی داشته است و توسعه کارست در مناطق با دمای کم و بارش زیاد را تأیید می‌کند؛ از طرفی پراکندگی درصد کمتر اشکال در طبقه اقلیمی بسیار مساعد نسبت به طبقه اقلیمی مساعد نیز دال بر این ادعاست که دمای بسیار کم و هوای سرد مانع از توسعه کارست شده است؛ بنابراین توزیع آنها در طبقه اقلیمی بسیار مساعد (دمای ۹- تا ۴- درجه سانتی‌گراد و بارش ۱۲۶۵ تا ۱۵۱۳ میلی‌متر) - با اینکه بیشترین بارش را دارد - کمتر است.

نتایج حاصل از پراکندگی اشکال کارستی در طبقات اقلیمی در زمان حال و کواترنری حاکی است بیشتر آنها طی کواترنری در شرایط اقلیمی مساعد و بسیار مساعد به وجود آمده‌اند؛ در دوره کنونی این اشکال بیشتر در شرایط اقلیمی مساعد و متوسط قرار دارند. این گونه پراکندگی نشان می‌دهد تغییرات اقلیم کواترنری، کارستی - فیکاسیون شدید و ضعیف شده و شکل‌گیری اشکال در اقلیم سرد (دمای ۹- تا ۶- درجه و بارش ۱۰۱۷ تا ۱۵۱۳ میلی‌متر) بیشتر روی داده و قرارگیری آنها در طبقات اقلیمی مساعد و متوسط کنونی، تکامل بیشتر آنها را به دنبال داشته است. در مجموع با توجه به اقلیم ایران و متمایل بودن آن به گرما و خشکی، کاهش دما بر اثر افزایش ارتفاع نقش مهمی در پیدایش و گسترش لندفرم‌های کارستی دارد؛ بر این اساس با توجه به تغییر اقلیم کواترنری، بسیاری از اشکال کارستی بر اثر انحلال بیشتر در دوره‌های سرد به وجود آمده و امروزه با توجه به شرایط دمایی و بارشی گسترش یافته‌اند.

پراکندگی اشکال و عوارض کارستی نسبت به ارتفاع نشان می‌دهد تراکم اشکال در سطوح ارتفاعی مختلف، با افزایش ارتفاع برخلاف کاهش مساحت بیشتر شده است و تراکم آنها در طبقات بالاتر نسبت به طبقات پایین گاه به چندین برابر نیز رسیده است؛ برای نمونه تراکم غارها در سطوح ارتفاع ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، حدود ۳۰ برابر سطوح ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بوده است؛ نسبت تراکم در دشت‌ها حاکی است با افزایش ارتفاع این نسبت کاهش می‌یابد. وسعت دشت‌ها از ارتفاع ۲۵۰۰ به بالا به کمترین حد خود می‌رسد. پیدایش و گسترش دشت‌ها فقط از عوامل بیرونی تأثیر نپذیرفته است و فقط عامل بارش و دما در توسعه آنها دخیل نیست؛ بلکه در کنار عوامل درونی (دشت‌های ساختمانی) در شکل‌گیری دشت‌های کوهستانی نواحی آهکی زاگرس، تجمع رواناب‌ها، یخ‌پوشه‌ها و حتی تشکیل غارهای زیرزمینی و ریزش سقف آنها نقش داشته است. در بررسی نقش ارتفاع در ایجاد اشکال خطی باید به وضعیت کانیون‌ها نسبت به تنگ‌ها توجه بیشتری شود؛ زیرا در ایجاد کانیون‌ها نقش انحلال بیشتر از تنگ‌ها محرز است؛ بر این اساس تراکم آنها در نواحی مرتفع نسبت به سطوح کم‌ارتفاع بیشتر است و با ضریب تبیین بیش از ۷۰ درصد با افزایش ارتفاع در واحد سطح بیشتر می‌شود.

نتایج حاصل از پراکندگی اشکال کارستی نسبت به فاصله از گسل در زاگرس نشان می‌دهد همه اشکال کارستی به جز هوم‌ها بدون استثنا بیشترین تراکم را در فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتر از گسل دارند. پراکندگی این اشکال از جمله دولین‌ها و غارها در این فاصله دال بر این است که تحول کارست با توجه به درزها و شکاف‌ها بیشتر می‌شود و فرایند انحلال به‌ویژه در کارست عمقی افزایش می‌یابد. تراکم بیشتر هوم‌ها در فاصله ۴۰ کیلومتری از گسل نیز این امر را تأیید می‌کند؛ زیرا هوم‌ها اشکال برجسته به‌جامانده از فرایند انحلال هستند که به دلیل دوربودن از عوامل نفوذپذیر (درز و شکاف)، انحلال در آنها به حداقل رسیده است و در سطح دشت‌های انحلالی به‌مثابه تپه شاهد باقی مانده‌اند.

در مجموع در تعیین مرز عوارض سطحی نمی‌توان از منطق ریاضی استفاده کرد؛ یخچال معمولاً با خط مبنای صفر درجه تحلیل می‌شود، اما این خط هم‌دمای صفر درجه مبنایی برای تغییرات صورت‌گرفته در کارست نیست. کارست به‌مثابه یک لندفرم در عین پیروی از بردارهای خطی، تغییرات بسیار تدریجی دارد و از منطق فازی پیروی می‌کند؛ از سوی دیگر با توجه به تغییرات دمایی، یخبندان، ریزش‌ها و لغزش‌هایی که در این مناطق روی می‌دهد، نمی‌توان با یقین اظهار داشت که تغییراتی که در کارست با ارتفاع رخ داده، فقط ناشی از شرایط مطلوب‌تر انحلال بوده است؛ در تفسیر کارستی - فیکاسیون، پالمسیست (چندننگارگی) بیشتر از انحلال کاربرد دارد.

منابع

- ۱- جعفربیگللو، منصور، یمانی، مجتبی، عباس‌نژاد، احمد، زمان‌زاده، سید محمد، ناظوری، سمیه، (۱۳۹۳). بازسازی برف‌مرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان بیدخوان (استان کرمان)، فصلنامه علمی پژوهشی بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، شماره ۴۰، تهران، ۱۰۷-۹۳.

- ۲- جعفری، غلام‌حسن، حضرتی، نسرین، (۱۳۹۷). بازسازی برف‌مرز کواترنری واحد ژئومورفیک زاگرس ایران، فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲۸، دانشگاه رازی کرمانشاه، ۳۳-۴۹.
- ۳- چورلی، ریچارد جی، استانلی ای، شوم، دیوید ای، سودن، (۱۳۸۹). ژئومورفولوژی، ترجمه احمد معتمد، ابراهیم مقیمی، انتشارات سمت، جلد دوم، چاپ سوم، تهران، ۱۶۲ صفحه.
- ۴- چیت‌سازان، منوچهر، کریمی وردنجانی، حسین، چرچی، عباس، کریمی، حاجی، (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات ژئومورفولوژی کارست زاگرس و مقایسه آن با مناطق آهکی ایران مرکزی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۹، اهواز، ۸۹-۹۷.
- ۵- حریریان، محمود، (۱۳۶۹). کلیات ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، چاپ ۱، تهران، ۲۲۲ صفحه.
- ۶- خدری، اکبر، رضایی، محسن، اشجاری، جواد، (۱۳۹۲). بررسی پتانسیل توسعه کارست در طاق‌دیس پیون با استفاده از تلفیق اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور همراه با تحلیل سلسله‌مراتب زوجی، شماره ۳، تهران، ۴۶-۳۷.
- ۷- خضری، سعید، شهابی، هیمن، محمدی، سارا، (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه‌بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱، تهران، ۲۱-۳۹.
- ۸- درویش‌زاده، علی، (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران، دانش امروز، چاپ ۳، تهران، ۹۰۲ صفحه.
- ۹- رامشت، محمدحسین، (۱۳۹۲). نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، انتشارات سمت، چاپ ۶، تهران، ۲۰۰ صفحه.
- ۱۰- رضایی عارفی، محسن، زنگنه اسدی، محمدعلی، بهنیافر، ابوالفضل، جوانبخت، محمد، (۱۳۹۸). شناسایی و طبقه‌بندی اشکال کارستی براساس مدل‌های سویچیک، والتهام، کماتینا و هراک؛ مطالعه موردی: حوضه کوهستانی کلات در شمال شرق ایران، فصلنامه علمی پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، دوره ۶۲، شماره ۱۷، تهران، ۱۸۹-۱۷۴.
- ۱۱- زاهدی، مجید، بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۹۳). هیدرولوژی، انتشارات سمت، چاپ ۴، تهران، ۲۰۰ صفحه.

- ۱۲- زنگنه اسدی، محمدعلی، غیور، حسنعلی، رامشت، محمدحسین، ولایتی، سعدالله، (۱۳۸۱). چشم‌اندازهای کارستی حوضه اخلمد و مدیریت محیطی آن، مجله پژوهشی جغرافیایی، شماره ۴۲، تهران، ۱۰۱-۸۷.
- ۱۳- علایی طالقانی، محمود، (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، چاپ ۷، تهران، ۳۶۰ صفحه.
- ۱۴- علایی طالقانی، محمود، رحیم‌زاده، زهرا، (۱۳۸۹). بررسی تحول کارست در منطقه زاگرس، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۳۱۳-۳۲۳.
- ۱۵- علی‌پور، عباس، هاشمی، مصطفی، پروژه، فرشاد، ناصرزاده، محمدحسین، (۱۳۹۶). شناسایی و مقایسه بیابان‌های ایران از جنبه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی؛ مطالعه موردی: بیابان‌های مرکزی و شرق ایران، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره ۲۷، مردشت، ۲۱-۳۴.
- ۱۶- علیجانی، بهلول، (۱۳۸۲). آب‌وهوای ایران، انتشارات پیام نور، چاپ ۵، تهران، ۲۳۰ صفحه.
- ۱۷- عزیززاده، امین، (۱۳۹۳). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ ۳۹، مشهد، ۹۴۲ صفحه.
- ۱۸- غیور، حسنعلی، مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۷۵). بررسی مکانی رابطه بارش با ارتفاع در ایران‌زمین، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۱، تهران، ۱۲۴-۱۴۳.
- ۱۹- فرج‌زاده، منوچهر، احمدآبادی، علی، (۱۳۸۸). ارزیابی و پهنه‌بندی اقلیم گردشگری ایران با استفاده از شاخص اقلیم گردشگری (TCI)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۱، تهران، ۳۱-۴۲.
- ۲۰- قاسمی‌فر، الهام، ناصرپور، سمیه، (۱۳۹۰). پهنه‌بندی اقلیمی ناحیه زاگرس، اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۸۹، تهران، ۶۰-۵۴.
- ۲۱- قبادی، محمدحسین، (۱۳۸۸). زمین‌شناسی مهندسی کارست، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ اول، همدان، ۳۲۰ صفحه.
- ۲۲- قربانی، محمدصدیق، اونق، محمد، (۱۳۹۱). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی کوتاه‌تر بر تحول کارست شاهو شمال غرب کرمانشاه، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۳۱۲-۳۰۰.
- ۲۳- قربانی، محمدصدیق، محمودی، فرج‌الله، یمانی، مجتبی، مقیمی، ابراهیم، (۱۳۸۹). نقش تغییرات اقلیمی کوتاه‌تر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی؛ مطالعه موردی: ناهمواری‌های شاهو، غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، تهران، ۱۶-۱.

۲۴- کریمی وردنجانی، حسین، (۱۳۹۴). هیدرولوژی و ژئومورفولوژی کارست، انتشارات ارم، چاپ اول، شیراز، ۵۳۶ صفحه.

۲۵- کلینسلی، دانیل، (۱۳۸۸). کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشایی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ دوم، تهران، ۳۴۴ صفحه.

۲۶- محمودی، فرج‌الله، (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی اقلیمی، انتشارات پیام نور، چاپ ۱، تهران، ۲۷۲ صفحه.

۲۷- محمودی، فرج‌الله، (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی اقلیمی، انتشارات پیام نور، چاپ ۴، تهران، ۲۷۲ صفحه.

۲۸- مطیعی، همایون، (۱۳۷۲). زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۵۵۶ صفحه.

۲۹- مقیمی، همایون، (۱۳۹۱). هیدرولوژی کارست، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ اول، تهران، ۲۶۸ صفحه.

۳۰- ملکی، امجد، محمدی، سارا، کریمی، حاجی، زینتی‌زاده، علی‌اکبر، (۱۳۹۷). ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در آبخوان‌های شاهو و اسلام‌آباد استان کرمانشاه، مجله ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، تهران، ۱۳۱-۱۴۶.

۳۱- ولایتی، سعدالله، (۱۳۹۴). کارست ژئومورفولوژی. انتشارات صحراشرق، چاپ اول، مشهد، ۲۰۲ صفحه.

۳۲- ویسی، عبدالکریم، مقیمی، ابراهیم، مقصودی، مهران، یمانی، مجتبی، حسینی، سید موسی، (۱۳۹۸). ارزیابی توسعه یافتگی آبخوان‌های کارستی در ارتباط با ژئومورفولوژی دولین‌ها و ویژگی‌های هیدرودینامیکی؛ مطالعه موردی: توده کارستی شاهو، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۹، تبریز، ۱۰۱-۱۲۳.

۳۳- ویلیامز، پاول، (۱۳۹۰). کارست و غارهای میراث جهانی، ترجمه رضا خوش‌رفتار، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول، زنجان، ۱۱۰ صفحه.

34- Baryakh, A.A., Fedoseev, A.K., (2011). Sinkhole formation mechanism, Journal of Mining Science, 47 (4), 404- 412.

35- Chen, W., Zhang, Y., Qin, H., Zhu, D., Wang, X., (2015). The Karst Geomorphologic Regionalization in China, In From Geoheritage to Geoparks (pp. 233- 244). Springer, Cham.

36- Ford, D., Williams, P., (2007). Karst hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd, the Artrium, Southern Gate, Chichaster, west Sussex po198sq, England.

37- Romey, C., Rochette, P., Vella, C., Arfib, B., Andrieu-Ponel, V., Braucher, R., Mattioli, E., (2014). Geophysical and geomorphological investigations of a Quaternary karstic paleolake and

- its underground marine connection in Cassis (Bestouan, Cassis, SE France), *Geomorphology*, 214, 402- 415.
- 38- Žebre, M., Stepišnik, U., Colucci, R.R., Forte, E., Monegato, G., (2016). Evolution of a karst polje influenced by glaciation: the Gomance piedmont polje (northern Dinaric Alps), *Geomorphology*, 257, 143- 154.
- 39- Zhou, G., He, S., Chen, K., Yan, H., (2014, July). Risk evaluation of Karst collapse using GIS and RS. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International* (pp. 3089-3092). IEEE.
- 40- Waele, J.D., Gutierrez, F., Parise, M., Plan, L., (2011). *Geomorphology and Natural Hazards in Karst Areas*. *Journal of Geomorphology*, 134, 1- 8.
- 41- White, W.B, (1988). *Geomorphology and Hydrology of karst* oxford university press, Quinlan, j, 1989 *Groundwater monitoring in karst terrains*, EPA. 600/ x.
- 42- <http://earthexplorer.usgs.gov>. 2019 summer.

