دو فصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۱۰، شمارهٔ ۲ و ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳

ص۱ تا ۲۰

بررسی عوامل زمین شناختی پیدایش چشمه کانی بِل پاوه در زاگرس چین خورده

فریبا فروغی*؛ استادیار دانشکده زمین شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مسلم یزدانی؛ دانش آموخته دکتری علوم زمین، دانشگاه اشفورد، امریکا

سامان درویش بسطامی؛ دانشجوی کارشناسی دانشکده زمین شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۸/ ۰۱ /۱۴۰۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹**

چکیده

چشمه «کانی بِل» پاوه، یکی از پدیده های زمین شناختی شاخص کواترنری زاگرس چین خورده در کرمانشاه ایران بوده و از منابع آبی کارستی قابل توجه در این منطقه، محسوب می شود. این چشمه در چینه‌های سازند داریان و تا حدودی تناوب‌های شیلی-آهکی سازند گدوان، توسعه یافته است. عوامل موثر بر پیدایش این مخزن کارستی، در ابتدا، حرکات کوهزایی متاخر و سپس عوامل ناشی از تکتونیک و گسلش‌های عمده و متعدد در این ناحیه با دو روند شرقی-غربی و شمالشرق – جنوب غرب است که منجر به جابجایی و حرکت لایه‌های آهکی شده و روند توسعه کارست را تسریع کرده است. گسلهای این ناحیه از نوع شیب لغز بوده و موجب جابجایی لایه‌های سنگ آهک در مجاورت هم شده که موقعیت را برای تشکیل یک رژیم فرسایشی شدید و توسعه یک آبخوان کارستی، فراهم کرده است. خوردگی و انحلال سنگ های کربناته، عامل تشکیل شبکه‌های کارستی پیچیده‌ای در زاگرس بوده و این پدیده، سبب تکامل و تکوین یکی از مهم‌ترین منابع آبی در این منطقه از زاگرس شده است.

واژه های کلیدی: سازند داریان، سازند گدوان، زمین ریخت شناسی، کانی بِل، مخزن کارستی .

*رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: f.foroughi@ut.ac.ir

مقدمه

چشمه‌ی بِل یکی از پدیده ها و عوامل زمین شناختی کواترنری شاخص زاگرس چین خورده و از منابع آبی کارستی حائز اهمیت در کرمانشاه و زاگرس محسوب می شود. در حدود ۱۰/۵ درصد از مساحت ایران را سازندهای کربناته تشکیل می‌دهند (حمیدی زاده و همکاران، ۱۳۹۱) و در بیش‌تر این سازندها، آبخوان‌های کارستی حضور دارند (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴). آب چشمه های کارستی، غالبا پس از طی مراحل پیچیده و تحت تاثیر فشار هیدرولیکی، از لایه‌های مختلف زمین عبور کرده و از منظر چشمه به بیرون جریان می‌یابد. این مسئله لزوم بررسی ویژگی‌های زمین شناختی چشمه‌ها را برای پی بردن به ویژگی‌های درونی کارست روشن می‌سازد. عوامل موثر بر توسعه‌ی کارست شامل سه دسته ۱- عوامل اقلیمی نظیر دما، فشار دی اکسید کربن و بارشهای جوی، ۲- عوامل زمین شناختی نظیر توپوگرافی و آبراهه‌ها و ۳- عوامل زمین شناسی مثل گسل، درزه، سنگ‌شناسی و غیره می‌شود (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴).

یکی از عمده مناطق آب دار دوره کواترنری ایران در زون زاگرس متمرکز است که در غرب و جنوب غربی کشور واقع شده و به علت گسترش زیاد سازندهای آهکی، دارای منابع آبی کارستی فراوانی می باشد. منابع فراوانی از آب‌های زیرزمینی به صورت آبخوان های کارستی در زاگرس مرتفع و چین خورده، وجود دارد. خوردگی و انحلال سنگ‌های کربناته، عامل تشکیل شبکه‌های کارستی پیچیده‌ای در زاگرس بوده و این پدیده سبب تکامل و تکوین یکی از مهم ترین منابع آبی زون زاگرس شده‌است. مراحل کارستی شدن در زاگرس چین خورده به علت وجود سازندهای آهکی و حجم بالای آب‌های جوی، شدت بیش‌تری دارد، تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با زمین آب شناسی و زمین ریخت شناسی کارست صورت گرفته است. در تحقیق جامعی، کریمی وردنجانی (۱۳۸۹) به مطالعه‌ی ساختار، زمین شناختی و چگونگی توسعه‌ی کارست در ۱۵ تاقدیس آهکی جنوب غرب ایران پرداخته است. نتایج حاصل تحقیقات وی نشان داد که سیستم‌های کارستی منطقه عمدتا از نوع مجرائی- افشان هستند. برای بررسی نقش تکتونیک در کارست‌زایی حوضه‌ی آبریز کارده، ولایتی و خانعلی زاده (۱۳۹۰)، درزه‌ها و گسل‌های موجود در منطقه‌ی مزبور را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که جهت درزه‌ها و گسل‌ها با یکدیگر در یک راستا بوده و اشکال کارستی موجود در این منطقه نیز، با آن‌ها در یک راستای جغرافیایی قرار دارند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که تکتونیک نقش مهمی در منشاء چشمه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه داشته است. بوسلیک و همکاران (۱۳۹۱) نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌های کارستی منطقه‌ی ایذه را با استفاده از سنجش از دور و GIS بررسی کرده‌اند. آن‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و بررسی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از عناصر تکتونیکی منطقه‌ی مورد نظر لایه‌های اطلاعاتی تهیه نموده که نتایج آن ارتباط نزدیکی بین عناصر تکتونیکی و فراوانی چشمه‌ها را نشان داد. رخنمون بسیاری از منابع آبی مجاور چین خوردگی‌ها، ناشی از هدایت جریان آب به سمت سازندهای مجاور به علت شیب یال‌های ساختارهای چین خورده است. حمیدی زاده و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی ویژگی-های هیدرولوژیکی و ساختاری چشمه‌ی دره اناری در منطقه‌ی شیرین بهار، نشان دادند آبدهی خوب این چشمه ناشی از توسعه‌ی فرایندهای تکتونیکی در ناحیه‌ی مزبور و شکستگی‌های موجود در غرب چشمه‌ی دره اناری و سازند آسماری است. همچنین غفورپور عنبران و حسینایی (۱۳۹۴) به نقش عوامل ساختاری در ظهور و آبدهی چشمه‌های کارستی پرداخته اند. آن ها ساختارهایی نظیر گسل، درزه و چین خوردگی را مورد مطالعه قرار داده و نقش حرکت از این ساختارها در ایجاد و توسعه‌ی کارست را تشریح کرده‌اند. خوشرفتار و همکاران (۱۳۹۷) موقعیت مکانی چشمه‌ها، گسل‌ها و چاله‌های بسته‌ی منطقه‌ی کوهستانی پراوبیستون واقع در کرمانشاه را تهیه کرده و با ترسیم نمودارهای گل سرخی و استفاده از روش شواهد وزنی ارتباط میان ساختارهای گسلی و چشمه‌های کارستی را بررسی نموده‌اند. نتایج حاصل از آن‌ها نشان داد که گسل‌ها

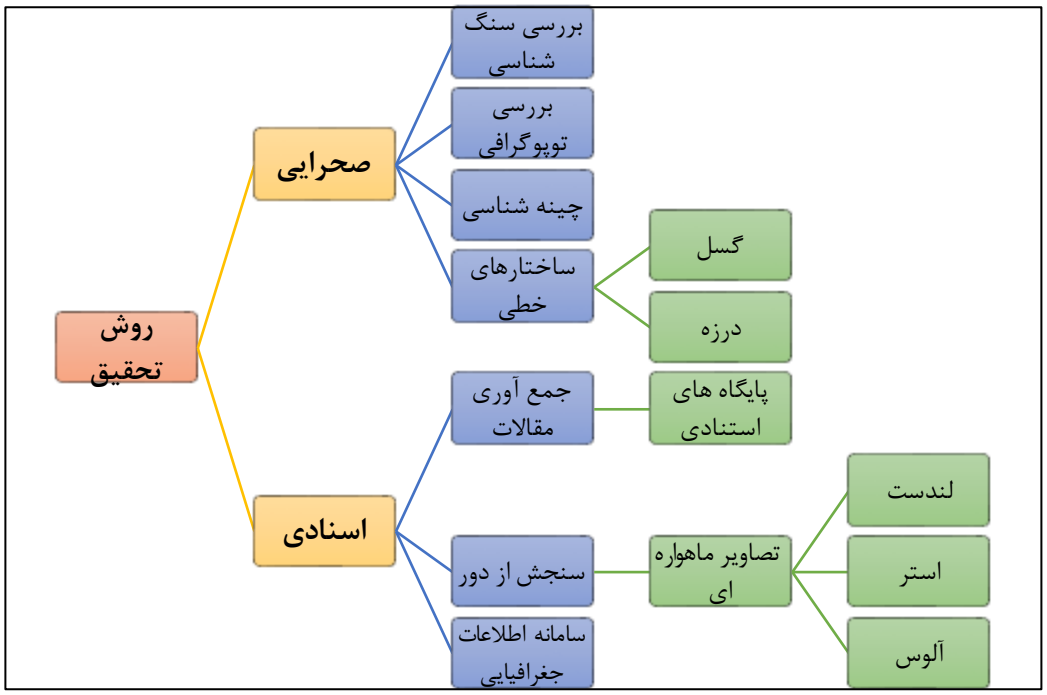
تاثیر مستقیمی در پیدایش و جهت‌گیری چشمه‌ها داشته‌اند. پتانسیل کارست زایی در سنگ‌های کربناته را فتح اللهی و همکاران (۱۳۹۸) مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آزمایش آن‌ها حاکی از آن است بین کاهش دما و افزایش میزان انحلال سنگ‌های کربناته رابطه‌ی مستقیم و بین افزایش میزان بارندگی و اندازه‌ی اولیه‌ی دهانه‌ی درزه رابطه‌ی غیرمستقیم وجود دارد. واعظی هیر و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی فرایند تشکیل غارها و هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی در استان کردستان پرداختند. آن‌ها ضمن بررسی زمین‌شناسی منطقه، به بررسی امتداد تمامی گسل‌های موجود در ناحیه‌ی مزبور پرداختند و نشان دادند تمامی غارهای منطقه بر روی واحدهای کارستی قرار گرفته و عوامل تکتونیکی نقش مهمی در توسعه و کنترل آن‌ها داشته‌است. مطالعات آن‌ها بیانگر این است که غالب چشمه‌های منطقه‌ی فوق در اثر درز و شکستگی‌های تکتونیکی ایجاد شده‌اند. در تحقیقی چرچی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی نقش تکتونیک در توسعه‌ی آبخوان کارستی لیلی- کینو در شمال شرق خوزستان پرداختند. آن‌ها نشان دادند مسیر گسل‌ها و سیستم شکستگی‌ها در توسعه‌ی کارست‌های این منطقه نقش دارند. همچنین مسیر هیدرولیکی ایجاد شده ناشی از دو سازند لیلی— کینو و پابده – گورپی منجر به ایجاد چشمه‌ی سوسن به عنوان بزرگ‌ترین چشمه‌ی ایران شده است.

در تحقیق جامعی آلفارو و والاس (Alfaro & Wallace, 1994) به بررسی منشاء و دسته‌بندی چشمه‌ها پرداخته‌اند. ایشان تاکید می‌کنند یک عامل به تنهایی در تشکیل چشمه‌ها نقش ندارند و عوامل مختلف خصوصیات دمایی، شیمیایی و ساختاری در تشکیل آنها دخیل هستند. مطالعه‌ی آن‌ها بیانگر این است رایج‌ترین عامل در تشکیل چشمه‌ها، کارستی شدن ناشی از انحلال سنگ‌های کربناتی است. اشجاری و رئیسی (Ashjari & Raeisi, 2006) در تحقیقی جامع تاثیر ساختار تاقدیس بر جریان منطقه‌ای در زاگرس را مطالعه کردند. آن‌ها با مطالعه‌ی ۷۲ تاقدیس در منطقه‌ی فوق الذکر، یک مدل مفهومی برای جهت جریان ارائه نمودند. تاقدیس‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس وجود یا عدم وجود اتصال هیدرولیکی به دو دسته تقسیم شدند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها حاکی از آن است سفره‌های زیرزمینی و هندسه‌ی سنگ بستر، دو عامل مهم کنترل‌کننده‌ی جریان در تاقدیس‌ها است. اردستانی (Ardestani, 2010) با مطالعه ژئوفیزیکی به مطالعه‌ی جریان آب زیرزمینی در اطراف چشمه‌ی بل با استفاده از داده‌های ریزگرانشی و عمق یابی مقاومت الکتریکی پرداخته است. وی با مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی و همچنین مطالعات ژئوالکتریکی وجود یک جریان آب زیرزمینی بین دو گسل موجود در اطراف چشمه را پیش‌بینی و از طریق وارونگی، ناهنجاری‌های گرانشی آن را مدل سازی نموده است. مظفری(Mozafari, 2020) در تحقیقی به بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در نشت آب از سدهای کارستی زاگرس پرداخته است. وی با بررسی تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منطقه، شش مدل شماتیک برای مسیر احتمالی نشت از سدها ارائه کرده است. همچنین ورسس (Veress, 2020) به توصیف و بررسی ویژگی‌های اصلی ۸۱ نوع کارست و فرایندهای موثر بر تشکیل آنها پرداخته است. هدف از این تحقیق بررسی نقش عوامل زمین‌شناختی و ریخت زایی در تشکیل چشمه‌ی "کانی بِل" کرمانشاه است.

روش تحقیق

مطالعه‌ی منطقه‌ی مذکور در دو مرحله‌ی صحرایی و کار کتابخانه‌ای صورت گرفته است. در مرحله‌ی صحرایی ضمن حضور میدانی و بازدید از چشمه، مواردی نظیر سنگ‌شناسی منطقه، توپوگرافی و عوارض، عوامل زمین شناختی، چینه‌شناسی و در ادامه ساختارها و عوارض خطی نظیر درزه و گسل مورد ارزیابی و نمودارهای گل سرخی آن ترسیم و مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (شکل ۱). در روش کتابخانه‌ای علاوه بر جمع‌آوری کتب مرجع مرتبط با موضوع تحقیق با

استفاده از کلیدواژه‌هایی نظیر کارست، کانی بل، ژئومورفولوژی و زمین شناختی، تکتونیک در پایگاهای استنادی داخلی و خارجی مقالات مربوطه جمع‌آوری گردید. بخش عمده و کتابخانه ای این مرحله شامل تهیه‌ی لایه‌های اطلاعات مکانی و تحلیل‌های جغرافیایی، مکانی و هیدرولوژیکی نظیر تعیین مرز حوضه‌ی آبریز و تعیین جهت آبراهه‌ها با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه و همچنین استخراج انواع ساختارها و تحلیل‌های زمین‌شناختی با استفاده از سنجش از دور و به کمک داده‌های حاصل از ماهواره‌های لندست ۹ (Landsat 9)، استر (ASTER) و ماهواره‌ی پیشرفته‌ی دیده‌بانی زمین (آلوس: ALOS PALSAR) با دقت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر ، استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱:نموداری از مراحل روش تحقیق

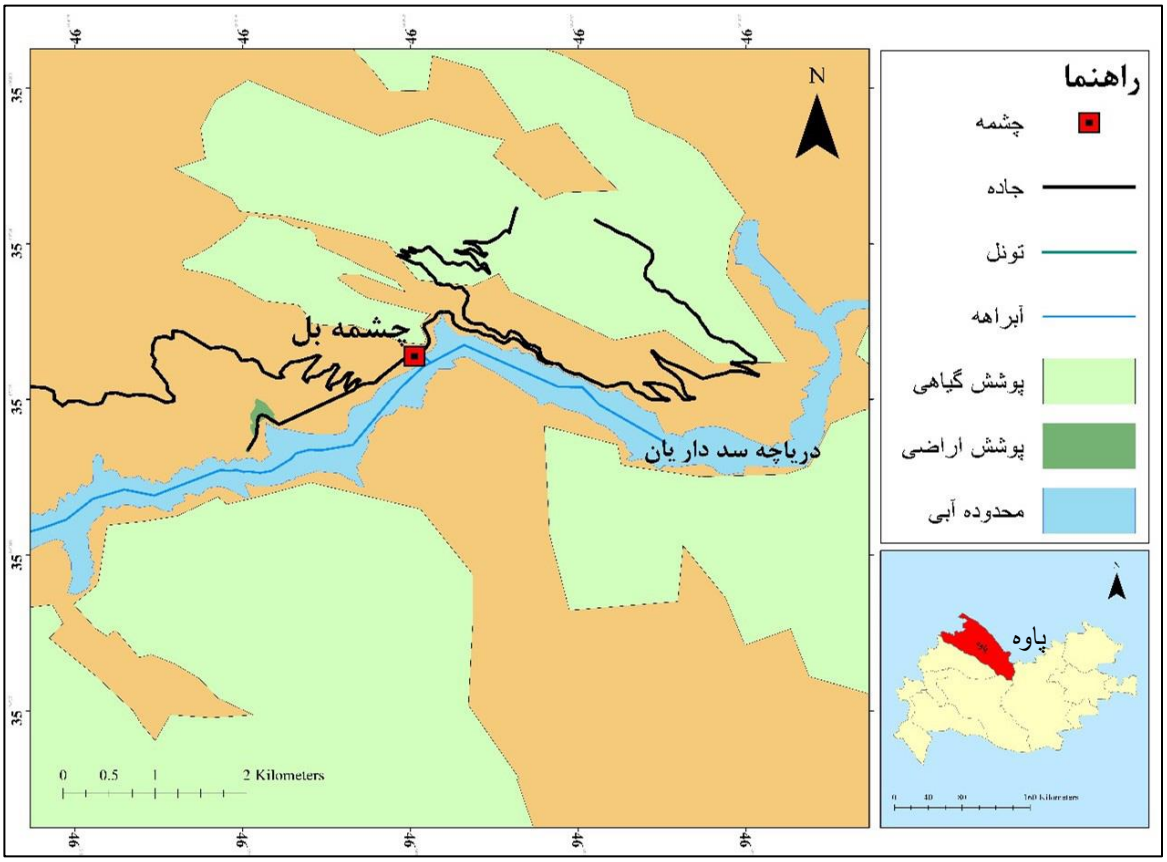
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

چشمه‌ی بِل با نام محلی "کانی بِل" از جمله چشمه‌های کارستی منطقه‌ی پاوه با آبدهی بالاست (سبزه ای و همکاران، ۱۳۸۸). این چشمه در یکی از روستاهای منطقه اورامانات در استان کرمانشاه واقع در ۳۵ کیلومتری پاوه در ارتفاعات دهکده‌ی بِل در شمال غرب کشور قرار دارد. منطقه مذکور در ناحیه‌ی زاگرس چین خورده در عرض جغرافیایی "35°10'10.6 شمالی و طول جغرافیایی "46°20'55.7 شرقی واقع شده است. این محدوده از دیدگاه زمین ریخت‌شناسی، به پنج زون تقسیم می‌شود (سبزه‌ای و همکاران، ۱۳۸۸):

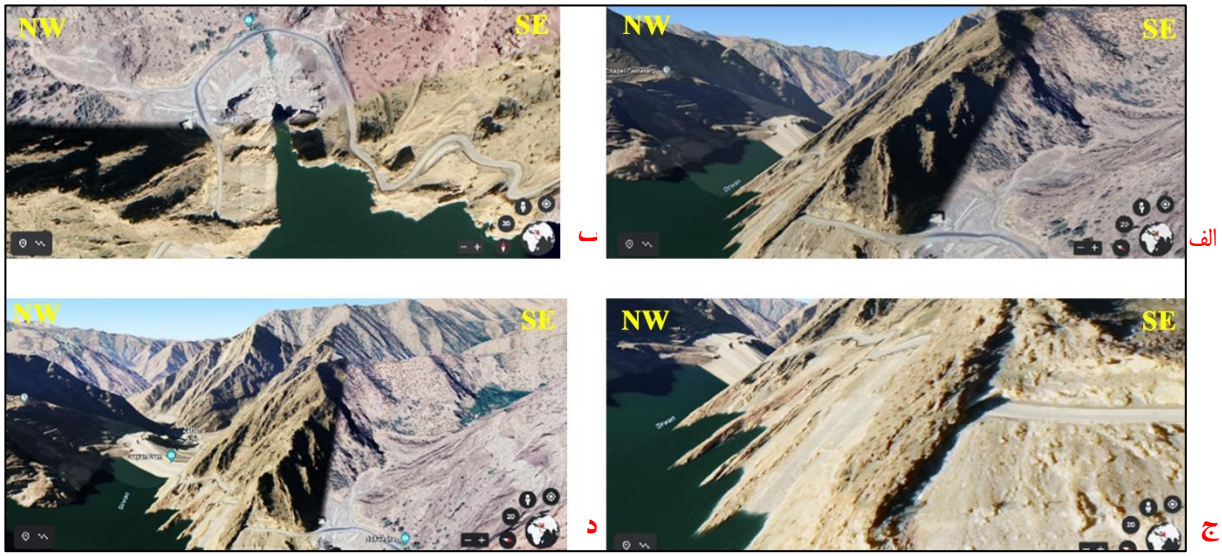
۱- پهنه‌ی افیولیتی کوه پیازه که اغلب متشکل از گدازه‌های بالشی و دایک‌های ورقه‌ای، ۲- شیست‌های آهکی ماموله – دری با ظاهری ستون مانند این شیست‌ها عمدتا در منطقه‌ی کوه سرخ کول رخنمون دارند ۳- زون اسکارن با توپوگرافی یکنواخت و برجسته، ۴- زون روراندگی شامل سرزمین‌های پست. برجستگی‌های این زون را واحدهای آتشفشانی کرتاسه‌ی بالایی تشکیل می‌دهد و ۵- زون پاوه – دزلی، این زون عمدتاً شامل سنگ‌های آهکی و دره‌های تنگ و عمیق است. تعدادی از تصاویر سیمای ظاهری چشمه بِل نیز در شکل ۲ (الف–د) نشان داده شده است.

شکل ۲. سیمای ظاهری چشمه‌ی بِل

مخزن آبی چشمه‌ی بِل عمدتاً در سنگ آهک‌های سازند داریان و تا حدودی تناوب‌های شیلی سازند گدوان توسعه یافته است. سازند گدوان با سن کرتاسه زیرین (نئوکومین بالایی تا آپتین بالایی) بوده و سنگ‌شناسی آن که اغلب از شیل و مارن های خاکستری تا زرد و لایه‌هایی از سنگ آهک رسی خاکستری است (درویش زاده، ۱۳۷۰؛ آقانباتی، ۱۳۸۳). برش الگوی این سازند در انتهای شرقی کوه گدوان واقع است (مطیعی، ۱۳۷۲). در شکل ۳ نقشه منطقه‌ی مورد مطالعه دریاچه پشت سد داریان (چشمه بِل) نیز واقع در ناحیه پاوه در ناحیه غرب ایران ترسیم شده است. در شکل ۴ نیز تصاویری از منطقه مورد مطالعه (الف- د) نشان داده شده است. لازم به ذکر است از چشمه بل نیز بازدید صحرایی انجام گردید و سازندهای گدوان و داریان در منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین شناسی مورد ارزیابی قرارگرفت.

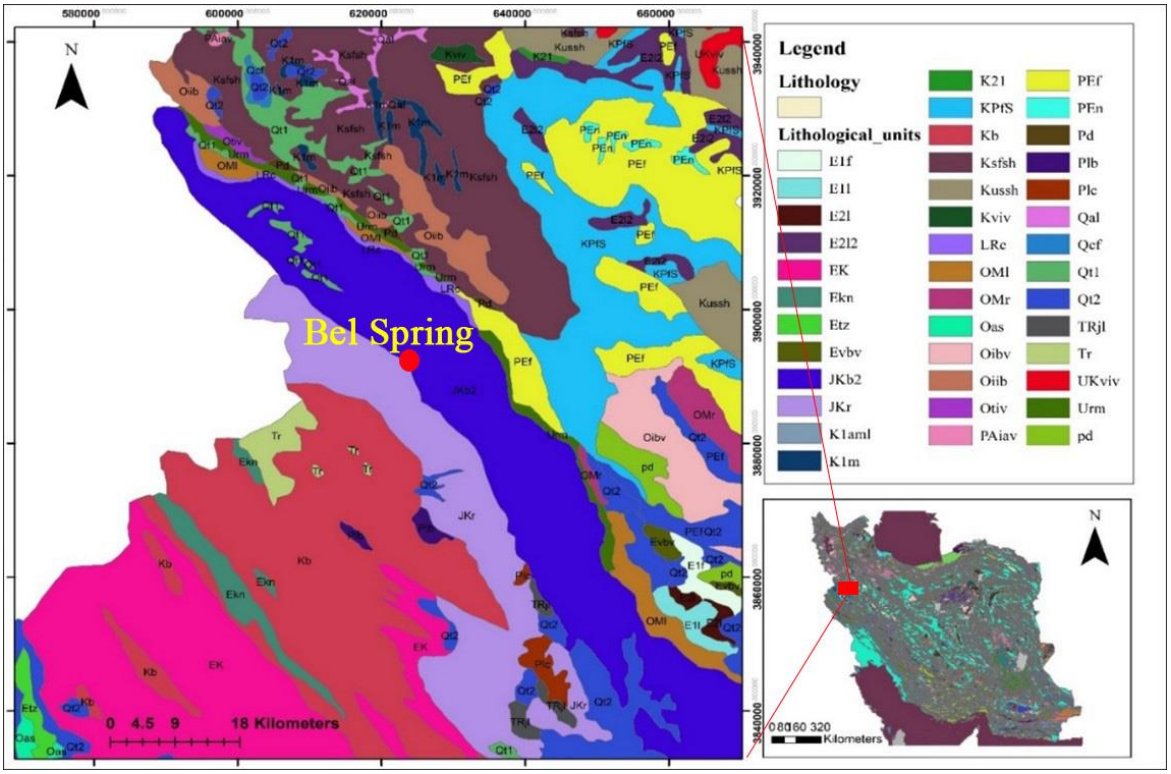


شکل ۳: نقشه‌ی منطقه‌ی دریاچه‌ی پشت سد داریان (چشمه بِل) واقع در منطقه‌ی پاوه



شکل ٤. تصاویر منطقه‌ی مورد مطالعه (الف – د) (اقتباس از داده های Google Earth, 2023)

سازند داریان که به نام‌های آهک اربیتولین‌دار و یا آهک آپتین– آلبین نیز شناخته می‌شود، شامل آهک‌های قهوه‌ای تا خاکستری حاوی فرامینیفرهای بنتیک اربیتولین است. مرز این سازند با سازند گدوان به صورت تدریجی است. در شکل ۵ نقشه زمین شناسی و تفکیک واحدهای سنگی موجود در منطقه دریاچه پشت سد داریان با راستای شمال غرب- جنوب شرق نشان داده شده است.



شکل ۵: نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی چشمه بِل و تفکیک واحدهای سنگی با راستای شمال غرب- جنوب شرق (نقشه GIS نویسنده و همکاران، اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ پاوه؛ سبزه ای و همکاران ، ۱۳۸۸)

بحث و یافته ها

نقش چینه شناسی سازندهای آهکی در زاگرس

بررسی چینه نگاری پهنه زاگرس، نشانگر آن است که این بخش از ایران، در فاصله زمانی پرکامبرین- تریاس میانی، بخشی از ابرقاره گندوانا بوده است. از تریاس میانی، با تکوین تتیس جوان، شرایط دریایی ویژه‌ای بر آن حاکم بوده است. از کرتاسه پسین به بعد پس از تشکیل تتیس جوان و برخورد دو پلیت زاگرس و ایران مرکزی، محیط‌های رسوبی هم

زمان با کوهزایی عمل کرده اند اگرچه پیشینه فاز کوهزایی در پلیوسن بوده است، ولی دگرشکلی، همچنان بر زاگرس تحمیل می شده است (O'Brien, 1950) و در زمانهای بعدی در سنوزوئیک سیما و شکل فعلی را به خود گرفته است.
زاگرس چین خورده، با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، ناوه حاشیه ای و کراتونی سپر عربستان است که در مزوزوئیک و سنوزوئیک در حال نشست پیوسته بوده و ترادف‌های ستبر رسوبی در آن، انباشته می شده است. در گستره زاگرس چین خورده، سنگ‌های پرکامبرین پسین تا تریاس میانی، رخساره گنولوانایی و مشابه با دیگر نواحی ایران دارند ولی، توالی های مزوزوئیک و سنوزوئیک آن، با رسوب های هم زمانِ دیگر نواحی ایران، رخساره های سنگی و حتی زیستی متفاوتی دارند و بیشتر، معرف رخساره های جنوب تتیس جوان است. این نکته نشان می دهد که از تریاس میانی به بعد شرایط رسوبی حاکم بر زاگرس چین خورده با دیگر مناطق ایران تفاوت داشته است (Kazmin et al., 1986). سازندهای کربناته در ایران مساحتی در حدود ۱۸۵۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. ۲۳ درصد این مساحت جنوب مرکزی ایران را پوشش می‌دهد و مجموعا ۵۵/۲ درصد آن در زاگرس است (Raeisi & Kowsar, 1997; Mohammadi & Raeisi, 2007).
چینه‌شناسی از عوامل موثر بر میزان کمیت و کیفیت آبدهی چشمه‌هاست. عواملی نظیر تخلخل اولیه و ثانویه، بافت، میزان خلوص سنگ، همگن بودن یا نبودن سنگ‌های سازند در این قضیه دخیل هستند. همچنین میزان انحلال در سنگ‌های ناهمگن و سنگ‌های ریزدانه نسبت به سنگ‌های همگن و درشت‌دانه بیشتر است. ضخامت لایه‌ها و وضعیت قرارگیری آن‌ها نسبت به هم بر وضعیت و توسعه‌ی کارست تاثیرگذار است. توالی چینه‌ها خصوصا در تعیین میزان آبدهی چشمه‌ها اهمیت دارد. در حالت کلی سازندهای ضخیم لایه نسبت به سازندهای نازک لایه انحلال‌پذیری بیشتری دارند (ضیاء و همکاران، ۱۳۹۶). نقش عوامل چینه‌شناسی در توسعه‌ی کارست را می توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱. لایه‌بندی و ضخامت لایه: لایه‌های ضخیم به جهت آنکه دارای شکستگی‌های طولانی هستند میزان انحلال بالایی دارند، در صورتی که در لایه‌های نازک انحلال به صورت پراکنده است. ۲. توالی چینه‌شناسی: توالی چینه‌شناسی هم از منظر اختلاف نفوذپذیری بین دو لایه و هم از جهت رشد شبکه‌ی کارستی در ناپیوستگی‌های موجود بین دو لایه می‌تواند اثر گذار باشد (Begdeli, 2022). برخی از مهم‌ترین سازندهای کارستی زاگرس به شرح زیر است:

سازند سورمه

برش الگوی این سازند در قسمت شمال غربی یال شمالی کوه سورمه واقع است (مطیعی، ۱۳۷۲). برش الگوی این سازند ۷۶۲ متر ضخامت داشته و عمدتا از سنگ‌های کربناتی همگن نظیر سنگ آهک دولومیتی و دولومیت تشکیل شده است. مرز تماس این سازند در بخش زیرین خود با سازند نیریز به صورت تدریجی و همشیب است. سن این سازند ژوراسیک میانی تا بالایی است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

سازند دولومیتی نیریز

از جمله‌ی سازندهای گروه کازرون است که بین دو سازند سورمه (در بالا) و خانه کت در زیر قرار دارد. سازند نیریز از سازندهای موجود در زاگرس متشکل از سیلت، دولومیت و آهک است. این سازند به عنوان یکی از سازندهای گروه کازرون و معرف سنگ‌های آواری خشکی زاد و رسوب‌های مرز میان خشکی زاد –دریایی زمان ژوراسیک پیشین (لیاس) در ناحیه فارس است. این سازند به صورت هم‌شیب بر روی سازند خانه‌کت و به صورت تدریجی بر روی سازند سورمه قرار می‌گیرد. برش الگوی این سازند در تنگ دانه قنبری در مرکز تاقدیس خانه‌کت قرار دارد و ضخامت آن در این محل ۲۹۰ متر است.

سازند فهلیان

سازند فهلیان یکی از سازندهای زمین‌شناسی گروه خامی در زاگرس به سن نئوکومین تا آپتین است. برش الگوی این سازند در کوه دال، نزدیکی روستای فهلیان، در ۹۰ کیلومتری شرق دوگنبدان (گچساران)، شامل ۳۶۰ متر سنگ‌آهک‌های اوولیتی متورق تا توده‌ای و آهک‌های قهوه‌ای تا خاکستری با ریخت شناسی خشن بوده و یکی از سنگ مخزن‌های گروه خامی به‌شمار می‌رود. حد بالایی آن با سازند گدوان و حد پایینی آن با دولومیت‌های تیره سازند سورمه است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

سازند گدوان

یکی از سازندهای زمین‌شناسی گروه خامی در زاگرس با سن آپتین تا آلبین است. برش الگوی این سازند در کوه گدوان در ۴۰ کیلومتری شمال خاوری شیراز (نزدیک شهر داریان) به ضخامت ۱۲۰ متر و شامل تناوبی از شیل‌های خاکستری مایل به زرد یا سبز با میان لایه‌های خاکستری از سنگ‌آهک رسی، حاوی خرده های صدف است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

سازند سروک

سازند سروک از جمله سازندهای گسترده در ایالت رسوبی–ساختاری زاگرس چین‌خورده می‌باشد. رخساره آن بیشتر سنگ آهک و سنگ آهک مارنی است و به صورت بخشی، دارای گرهک های چرتی می‌باشد. لایه های سازند سروک مملو از فسیل های اربیتولینا می‌باشد. این سازند با سن کرتاسه‌ی میانی شامل دو رخساره‌ی کم عمق و عمیق است. رخساره‌ی کم عمق در برش الگو شامل سنگ آهک لایه‌ای مارنی و سنگ آهک‌های گل سفیدی (Chalky limestone) است. ضخامت این سازند در برش الگو ۷۱۰ متر گزارش شده است. رخساره‌ی عمیق آن شامل سنگ آهک‌های مارنی–رسی تیره رنگ حاوی پلانکتونیک است. این سازند به دو قسمت پایینی با سن آلبین – سنومانین و تورونین تقسیم می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۳). سازند سروک استعداد زیادی برای کارستی شدن دارد. چشمه‌ی سوسن سرخاب در زاگرس از این سازند سرچشمه می‌گیرد (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴).

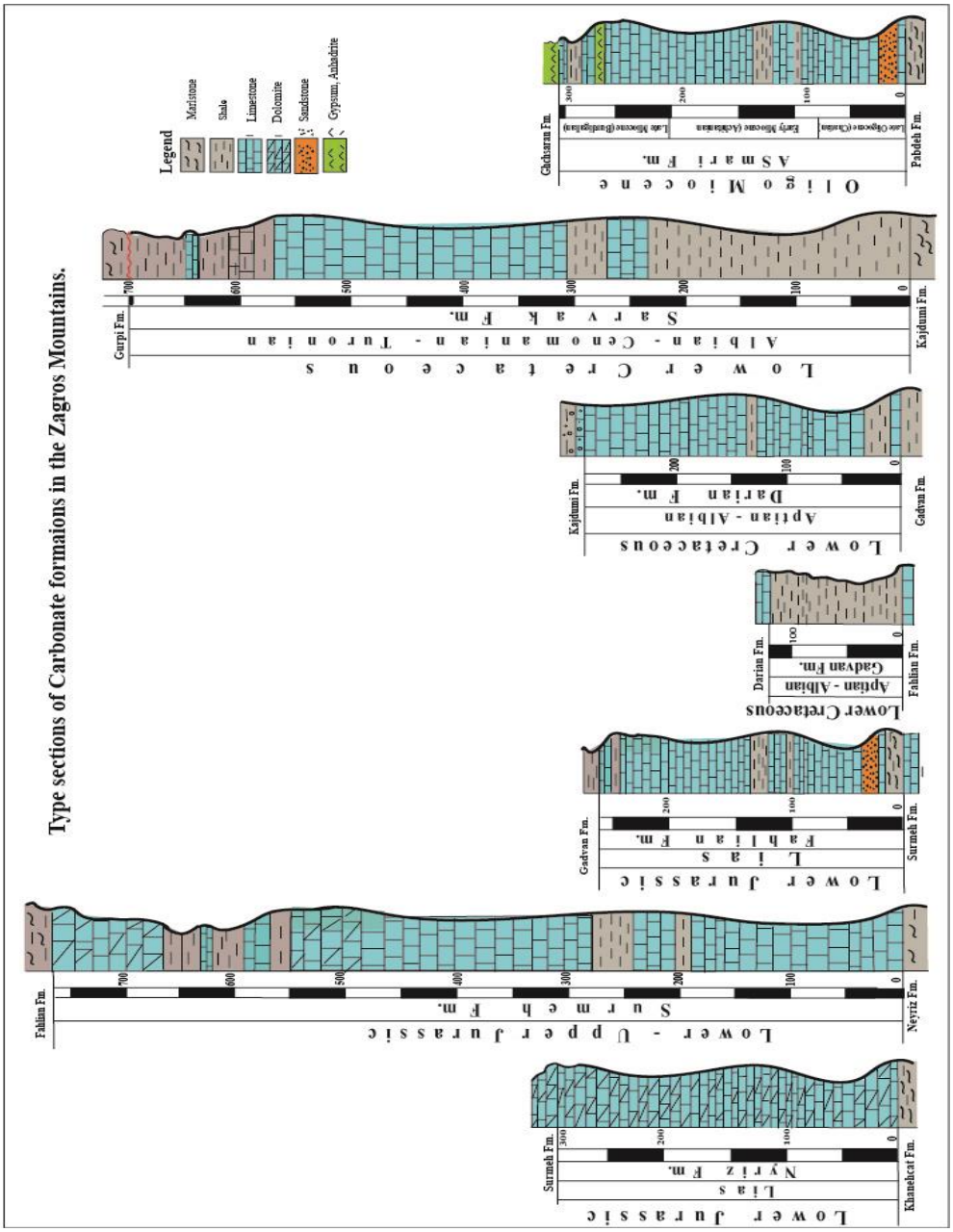
سازند داریان

سازند داریان نیز از سازندهای آهکی زاگرس است. در گذشته به آن سنگ‌آهک‌های اُربیتولین‌دار یا آهک آپتین – آلبین گفته می‌شد. برش الگوی این سازند با ضخامت ۲۸۶ متر در کوه گدوان در شمال شهر داریان در شمال شرقی شیراز، واقع شده و متشکل از سنگ آهک قهوه ای تا خاکستری ستبرلایه تا توده ای خشن و صخره ساز است. به واسطه داشتن اوربیتولین شاخص دارای سن آپتین است. مرز این سازند با سازند گدون تدریجی و در بالا با سازند کژدمی که به شدت فرسایش یافته، می باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳).

سازند آسماری

سازند آسماری را باید مهم‌ترین سازند آهکی (سنگ مخزن) حوضه‌ی زاگرس دانست. این سازند با سن الیگوسن پسین–میوسن پیشین، ضخامت ۳۱۴ متر در برش الگو دارد. سنگ‌شناسی آن شامل سنگ آهک‌های کرم تا قهوه‌ای رنگ با میان لایه‌های شیلی است. نام‌هایی همچون سازند آهکی جریب، سازند آهکی کلهر و سنگ آهک خمیر نیز به آن اطلاق می‌شود. این سازند از شیل و مارن و آهک دو عضو ماسه‌سنگی اهواز و عضو تبخیری کلهر تشکیل شده است. سن سازند سازند آسماری، نشانگر سن الیگوسن پسین (شاتین)، میوسن پیشین (آکیتانین– بوردیگالین) تعیین شده است. از دیدگاه زیست‌چینه‌ای نیز این سازند به سه واحد «آسماری پایینی» به سن الیگوسن، «آسماری میانی» به سن «میوسن پیشین

(آکیتانین)» و «آسماری بالایی» به سن میوسن «پسین (بوردیگالین)» تقسیم می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۲). چشمه‌های مهمی نظیر سبزاب از این سازند نشأت می گیرند (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۱). در شکل ۶ ستون چینه شناسی برش الگوی سازندهای کربناته یاد شده در حوضه زاگرس نشان داده شده است.



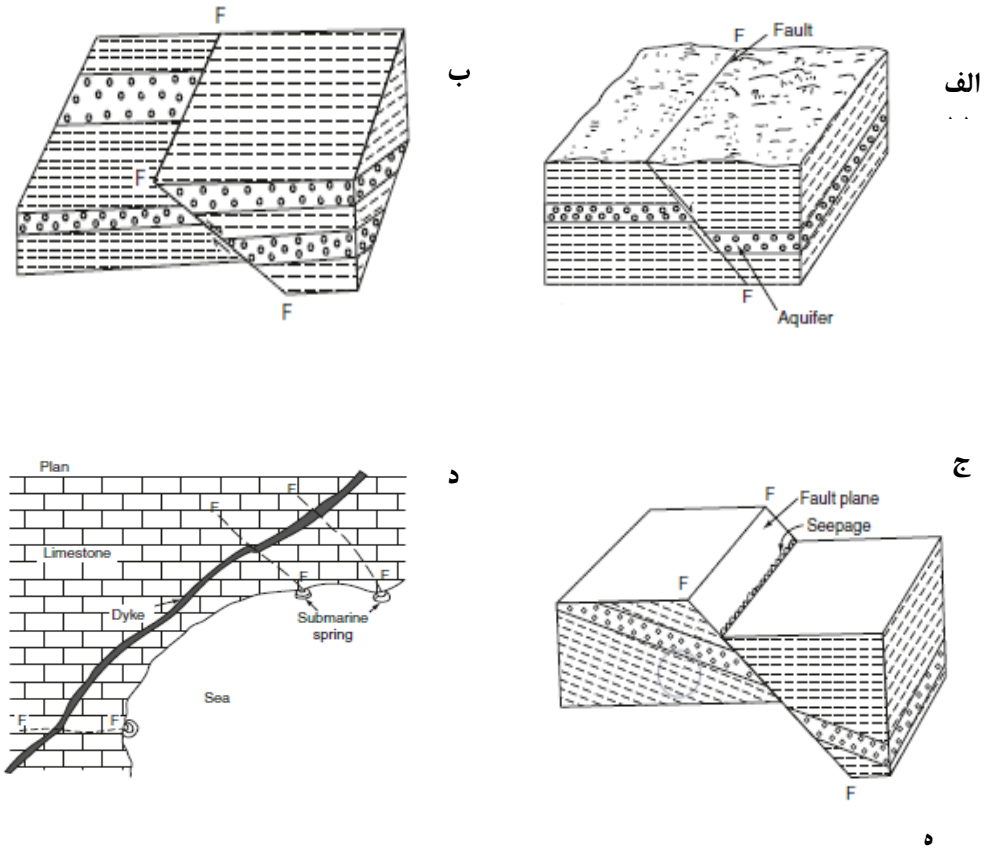
شکل ٦: ستون چینه شناسی برش های الگوی سازندهای آهکی کارستی در زاگرس.

روند تغذیه آبخوان چشمه بِل به علت میانگین بارش مناسب و خالص بودن سنگ آهک‌های سازندهای داریان و گدوان و تشکیل کارست‌ها، در طی دوره های مختلف زمین‌شناسی به طور مستمر انجام می شده تا بتواند منبع ذخیره آبی خوبی در این ناحیه از زاگرس چین خورده فراهم نماید. در این منطقه با توجه به نقش چینه شناسی و سازندهای کارستی در حوضه زاگرس چین خورده مثل داریان و گدوان و وجود داده های رقومی و استخراج برآیند نیروهای تکتونیکی، بنظر می رسد این چشمه تحت فرآیندهای مختلف تکتونیکی و گسلی شیب لغز همزمان با کارستی شدن قرار داشته است، لذا به نقش گسل ها و فرایندهای تکتونیکی آن نیز پرداخته شده است.

نقش گسل ها

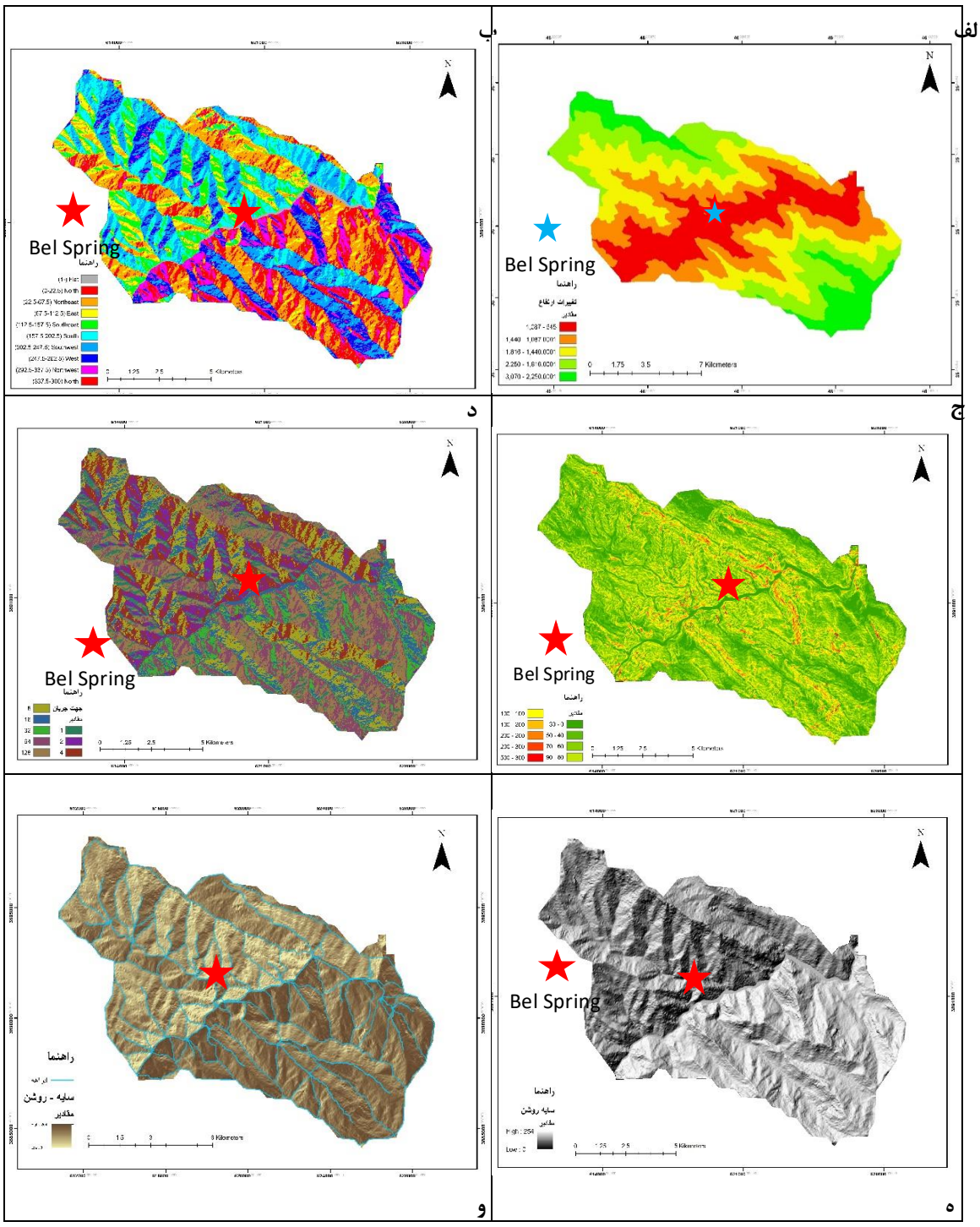
نقش صفحات بستر، گسل‌ها و درزه‌ها به علت میزبانی و هدایت شبکه‌های آب زیرزمینی حائز اهمیت است (Ford & Williams, 2013) . چشمه بِل، بر اساس مکانیزم های پیچیده شامل حرکات تکتونیکی، گلسش های متعدد در دوره های زمانی مختلف، انحلال شیمیایی، تشکیل کارست، تغذیه‌ی آبخوان توسط نفوذ آب های جوی در آهک های ستبر لایه سازند داریان و شیل های سازند گَدوان، تشکیل شده‌است. گسل‌ها ممکن است به چند روش بر جریان آب زیرزمینی اثر بگذارند. تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است (Singhal & Gupta, 2010):

۱. گسل‌ها ممکن است باعث قطع، جابه‌جایی یا تکرار لایه‌ها شوند. این مسئله ممکن است منجر به اتفاقاتی نظیر آن در آبخوان‌ها به صورت محلی شود.، ۲ . گسل ممکن است یک لایه‌ی نفوذ ناپذیر را مقابل یک سفره‌ی آب زیرزمینی قرار دهد. این مسئله بر جهت انتشار آب زیرزمینی می تواند موثر باشد.، ۳. چنانچه یک گسل آبخوانی را قطع کند، این احتمال وجود دارد که به دلیل زهکشی ایجاد شده، در امتداد آن یک چشمه تشکیل شود.، ۴. گسل‌ها می‌توانند در ایجاد پرتگاه‌ها موثر باشند. در این حالت بلوک بالا آمده دچار فرسایش شده و این امر با رسوبگذاری در بلوک پایین افتاده و احتمال تشکیل آبخوان همراه است.، ۵. گسل می‌تواند با جابه‌جایی دایک‌های قائم و رگه‌ها که مانند سدی نفوذناپذیر مانع انتقال آب می‌شوند، منجر به ایجاد کانال‌های آب زیرزمینی در راستای آن‌ها شود.، ۶. گسل‌ها با ایجاد پهنه‌های خطی متخلخل که مانند کانال‌های انتقال آب زیرزمینی هستند، می‌توانند در تغذیه یا تخلیه‌ی آبخوان نقش ایفا کنند.، ۷. آبخوان ممکن است در اثر فعالیت گسل رانده به سطح زمین رسیده و مجددا تغذیه شود. همچنین از دیگر نتایج عملکرد گسل رانده می‌توان به تکرار یک آبخوان در حفاری گمانه‌ها اشاره کرد.، ۸. گسل‌ها ممکن است، باعث ایجاد جریانات زیرسطحی بین حوضه‌ای شوند.، ۹. در صورتی که یک زون گسلی سیلیسی شود، به صورت یک سد نفوذناپذیر در برابر جریان آب زیرزمینی عمل نماید. و ۱۰. گسل ها همچنین ممکن است باعث ایجاد آبشارهای زیرزمینی شوند. همانطور که اشاره شد گسل ها می توانند تاثیرات مختلفی بر روی سنگها و سازندها بگذارند، بطوریکه بر روی رژیم‌های جریانات آبهای زیرزمینی اثر بگذارند. قرارگیری یک لایه نفوذناپذیر در برابر سفره آب زیرزمینی، تراوش و تشکیل چشمه نیز می تواند موجب تاثیرات گسل ها باشد. همچنین قطع شدگی دایک و ایجاد کانال‌ها در امتداد آن ها نیز می تواند به عنوان تاثیرات گسل بر واحدهای چینه ای باشد که تولید منابع آب نماید. این موارد می تواند در ایجاد یک شبکه کارستی در سازندهای مختلف موثر باشد. در شکل ۷ (الف–ه) مکانیسم تاثیرات این موارد و موقعیت چشمه بل در ناحیه زاگرس نشان داده شده است.



شکل ۷. تاثیر گسل بر رژیم‌های جریان آب زیرزمینی، (الف) قطع، جابه‌جایی یا تکرار لایه‌ها، (ب) قرارگیری یک لایه‌ی نفوذ ناپذیر در برابر سفره‌ی آب زیرزمینی، (ج) تراوش و تشکیل چشمه در امتداد گسل، (د) قطع شدگی دایک و رگه و ایجاد کانال در امتداد آن‌ها برگرفته از (Singhal & Gupta, 2010)، (ه) مدل سه بعدی عوارض منطقه، شبکه‌ی آب سطحی و واحدهای هیدرو چینه شناسی چشمه بِل.

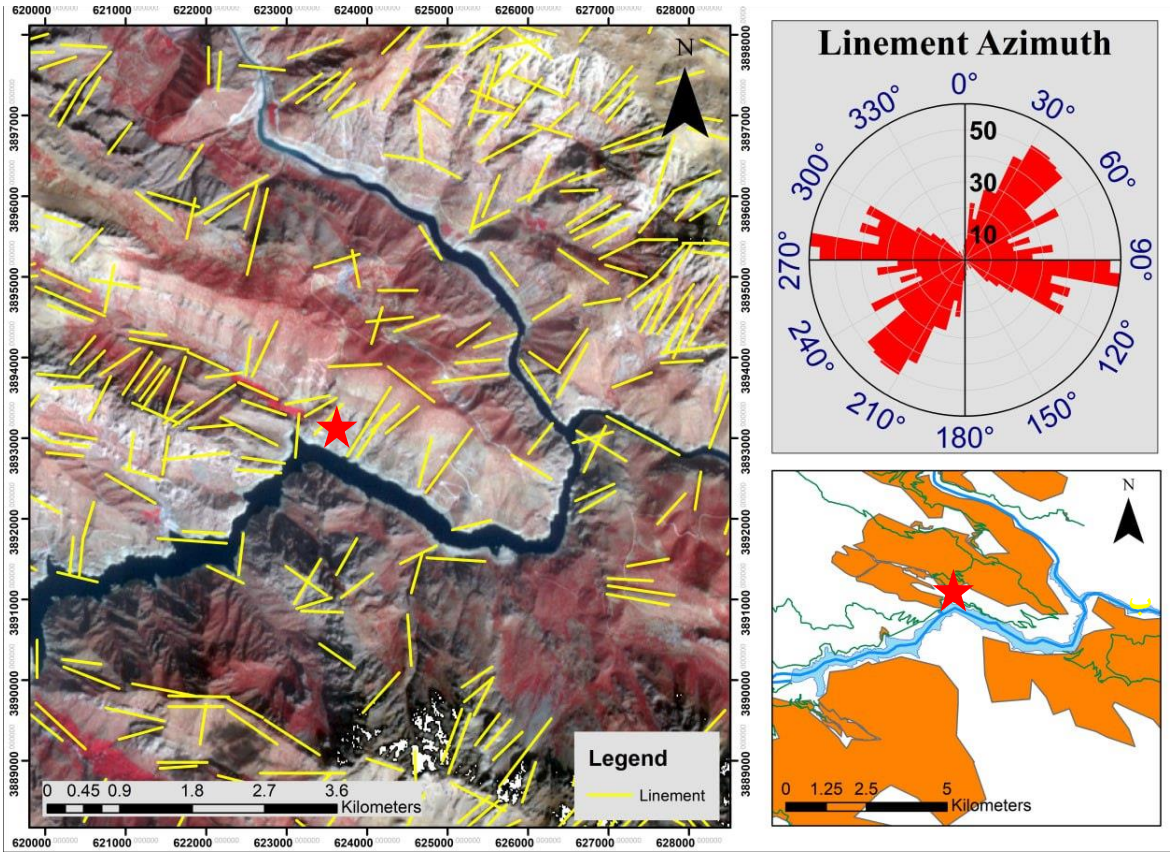
در منطقه مورد مطالعه خوردگی و انحلال سنگ های کربناته، عامل تشکیل شبکه های کارستی پیچیده ای در زاگرس چین خورده بوده و این پدیده، موجب تکامل و تکوین یکی از مهم ترین منابع آبی زون زاگرس شده است. مراحل کارستی شدن در زاگرس چین خورده به علت وجود سازندهای آهکی و حجم بالای آب های جوی، شدت بیشتری هم داشته است. روند تغذیه آبخوان چشمه مورد بررسی نیز به علت میانگین بارش مناسب و خالص بودن سنگ آهک‌های سازند داریان و گدوان و تشکیل کارست‌ها، در طی دوره های مختلف زمین‌شناسی به طور مداوم انجام پذیرفته است. تحلیل آب شناسی منطقه با استفاده از مدل رقومی ماهواره ای آلوس پالسار، که طبقات ارتفاعی حوضه‌ی آبریز، جهت آبراهه‌ها، درصد شیب حوضه، جهت شیب زمین در حوضه‌ی آبریز، مدل سایه – روشن عوارض توپوگرافی حوضه، شبکه‌ی آبراهه‌ای در آن استخراج شده است. برای تعیین جهت توپوگرافی منطقه به کمک تفکیک رنگی نیز نقشه های مربوطه تنظیم و تهیه گردید (شکل ۸ ، از الف تا و).



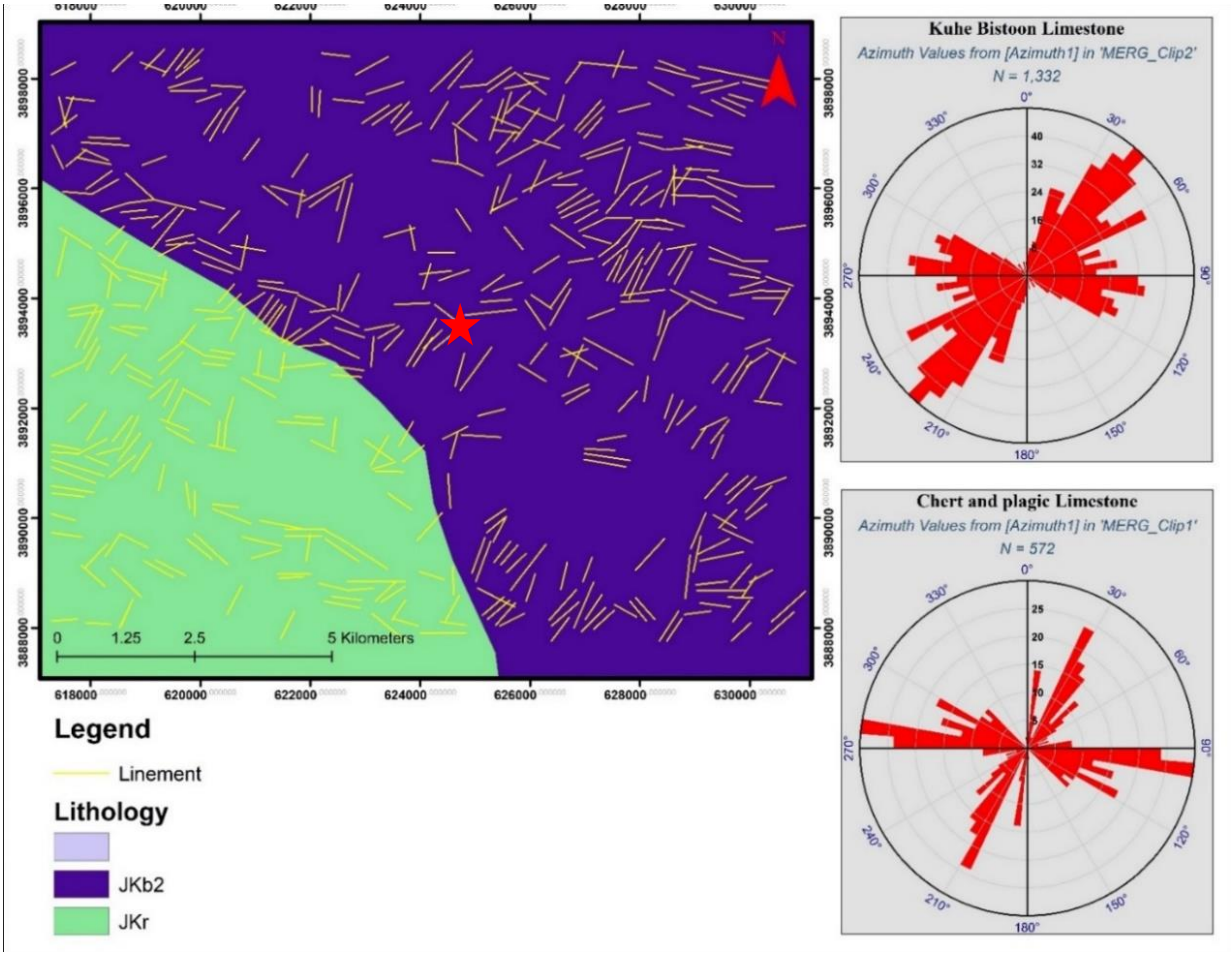
شکل ۸. تحلیل آب‌شناسی منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ماهواره آلوس پالسار الف) طبقات ارتفاعی حوضه‌ی آبریز، ب) جهت آبراهه‌ها، ج) درصد شیب حوضه، د) جهت شیب زمین در حوضه‌ی آبریز، ه) مدل سایه – روشن عوارض توپوگرافی حوضه، و) استخراج شبکه‌ی آبراهه‌ای

نقش چین‌خوردگی‌ها

از دیگر عوامل ساختاری تاثیرگذار بر جهت جریان و کارست چین‌خوردگی‌ها هستند. نقش چین‌خوردگی در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، میزان آبدهی، ساختار و مقدار ذخیره‌ی سفره‌ی آب زیرزمینی قابل توجه است (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴). ارتباط میان لایه‌های نفوذناپذیر و ساختار تاقدیس یا ناودیس می‌تواند اطلاعات خوبی از وضعیت جریان و خروجی آب فراهم کند. در تاقدیس‌ها هنگامی که سطح اساس سازند نفوذناپذیر در زیر سطح آب کارست باشد آب زیرزمینی می‌تواند از یک یال به سمت مناطق مجاور جریان یابد (اشجاری و رئیسی، ۲۰۰۶). مخزن آبی چشمه "کانی بِل" در سنگ آهک های سازند داریان از گروه خامی که بصورت هم‌شیب بر روی سازند گَنوان قرار گرفته و خود در زیر سازند کژدمی با آهکهای حاوی اوولیت و گلاکونیت با سطح فرسایشی، قرار گرفته است. عوامل موثر بر پیدایش این مخزن کارستی، حرکات کوهزایی آلپین و سپس عوامل ناشی از تکتونیک و گسلش های عمده و متعدد در این ناحیه می باشد که منجر به جابجایی و حرکت لایه‌های آهکی شده و روند توسعه کارست را تسریع کرده است. همچنین نقش گسلها و فرایندهای دیگر تکتونیکی از قبیل چین ها و درزه ها در روند شناخت میزان تنش و استرس در این ناحیه موثر بوده و تمامی این موارد بصورت نمودارهای گل سرخی در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. این ساختارهای خطی به کمک سنجش از دور و با استفاده از داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای استر مشخص شده اند. نیروهای استرس و فشار در دو امتداد شرقی–غربی و شمالشرقی جنوب غربی متمرکز بوده و نشان حرکت شیب لغز تکتونیکی با روند مشخصی که در دیاگرام های گل سرخی نشان داده شده، می باشد. لازم به ذکر است در شکل ۹ نیز استخراج خطواره ها (درزه ها) و ترسیم گسل ها و فرآیندهای تکتونیکی به تفکیک سنگ‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز، صورت گرفته است. همچنین برای بعضی از ساختارها فیلدهای میدانی انجام و برای اندازه گیری خطواره ها و گسل ها برای بررسی فشارهای تکتونیکی اندازه گیری انجام شد. در برخی مناطق بدلیل غیر قابل نفوذ بودن و عدم امکان دسترسی برای عمده ساختارهای منطقه، از GIS کمک گرفته شد تا بتوان نمودار گل سرخی در محدوده وسیعتری را ترسیم کرد. عمده‌ی ساختارهای خطی (درزه، گسل)، جهت استرس و فشارهای تکتونیکی در دو امتداد شرقی–غربی و شمال شرقی– جنوب غربی متمرکز هستند که روند فشارهای تکتونیکی را بخوبی نشان می دهند (شکل ۹).



شکل ۹. ساختارهای خطی استخراج شده به کمک سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر در منطقه چشمه بل. ساختارهای خطی (درزه، گسل)، در دو امتداد شرقی-غربی و شمال شرقی- جنوب غربی.



شکل ۱۰: استخراج خطواره‌ها و ترسیم نمودارهای گل سرخی به تفکیک سنگ‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه.

از طریق نمودارهای گسل سرخی می توان برآیند نیروها و فشارهای غالب بر محیط که دارای دو روند شرقی–غربی و شمالشرقی جنوب غربی می باشد را نیز رصد نمود (شکل ۱۰). بدین ترتیب می توان ذکر کرد که برایند نیروهای تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه متاثر از لیتولوژی، حرکات تکتونیکی که در فازهای مختلف با روند شرقی –غربی و شمال شرق–جنوب غربی در زاگرس چین خورده، همراه بوده است. این روندها موجب تاثیر و تشکیل فرایندهای کارستی شده و در همین جهات این فرایند از توسعه خوبی برخوردارند. طوریکه روند تغذیه آبخوان این چشمه نیز به علت میانگین بارش مناسب و خالص بودن سنگ آهک‌های سازند داریان و گدوان و تشکیل کارست‌ها، در طی دوره های مختلف زمین‌شناسی به طور مداوم انجام شده و تشکیل یک ذخیره آبی خوبی را در منطقه داده است.

پوشش گیاهی

پوشش گیاهی از جمله‌ی عوامل موثر بر توسعه‌ی عوارض کارستی است. توسعه‌ی کارست با تراکم پوشش گیاهی منطقه، نسبت مستقیم دارد. نقش پوشش گیاهی از آن جا حائز اهمیت است که می‌تواند با ایجاد یک محیط مرطوب که بستر مناسبی برای فعالیت‌های زیستی مورد استفاده، تولید دی اکسید کربن زیستی را افزایش داده و این دی اکسید کربن، خود

با همراهی آب شرایط انحلالی را در محیط به وجود آورد (رشیدی، ۱۳۹۲). با توجه به تراکم کم پوشش گیاهی در منطقه‌ی دریاچه‌ی پشت سد داریان، به نظر می‌رسد نقش این عامل در توسعه‌ی کارست مذکور کم اهمیت باشد.

نتیجه‌گیری

چشمه «کانی بِل» پاوه، یکی از پدیده های زمین شناختی شاخص زاگرس چین خورده و از منابع آبی کارستی بسیار مهم در این ناحیه محسوب شده که در شمال پاوه در نزدیکی روستای هجیج و رودخانه سیروان و سد داریان واقع شده است. این چشمه بعنوان یکی از ذخایر آبی در زاگرس چین خورده و تحت تاثیر مکانیزم های تکتونیکی و حرکات گسلی از نوع شیب لغز، تشکیل شده که موجب جابجایی لایه های سنگ آهک در مجاورت هم شده که برای تشکیل یک رژیم فرسایشی شدید و توسعه یک آبخوان کارستی را در دو روند شرقی–غربی و شمالشرق– جنوب غرب، در زمانهای متفاوت فراهم کرده است. چشمه «کانی بِل» با شرایط زمین شناختی در سازندهای های داریان و گدوان ایجاد شده و یکی از مناطق آب دار کشور در زون زاگرس می باشد. خوردگی و انحلال سنگ های کربناته، عامل تشکیل شبکه های کارستی پیچیده ای در زاگرس بوده و این پدیده، سبب تکامل و تکوین یکی از مهم ترین منابع آبی زون زاگرس شده است. مراحل کارستی شدن در زاگرس چین خورده به علت وجود سازندهای آهکی و حجم بالای آب های جوی، شدت بیشتری داشته است. روند تغذیه آبخوان این چشمه نیز به علت میانگین بارش مناسب و خالص بودن سنگ آهک‌های سازند داریان و گدوان و تشکیل کارست‌ها، در طی دوره های مختلف زمین‌شناسی به طور مداوم انجام پذیرفته و تشکیل یک ذخیره آبی خوبی را در منطقه داده است.

منابع

آقانباتی، ع. ، (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۳۲۵ صفحه.

بوسلیک، ز.، چرچی، ع.، کشاورزی، م. ر. و احمدنژاد، ز. (۱۳۹۱). بررسی نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌های منطقه کارستی ایذه با استفاده از سنجش از دور و GIS. پژوهشهای دانش زمین، ۳(۲)، ۱۶-۳۲.

چرچی، ع.، کلانتری، ن.، محمدی بهزاد، ح.، و عقدکی، ی. (۱۳۹۹). بررسی نقش تکتونیک در توسعه آبخوان کارستی لیلی- کینو (شمال شرق خوزستان) با تاکید بر تحلیل هیدروتکتونیک. فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۰(۳۷)، ۳۹۱-۴۰۶.

حمیدی زاده، ف.،کلانتری، ن.، کشاورزی، م. ر، و چرچی، ع. (۱۳۹۱). بررسی هیدروژئولوژیکی و زمین ساختاری چشمه دره‌اناری در منطقه کارستی شیرین بهار استان خوزستان. تحقیقات منابع آب ایران، ۸ (۱)، ۳۰-۴۲.

خوشرفتار، ر.، جعفری، غ.ح.، فیض اله پور، آرین تبار، ح.، و مرادی، پ. (۱۳۹۷). ارزیابی ارتباط گسل‌ها با چشمه‌های کارستی در توده کوهستانی پراو بیستون-کرمانشاه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۴)، ۱-۲۲.

درویش زاده، ع. (۱۳۷۰). زمین شناسی ایران. نشر دانش امروز. ۴۲۰ ص.

سبزه ای، گورابجیری و اسلام دوست (۱۳۸۸). نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰پاوه و غرب پاوه. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

ضیاء، ح.، کرمی، غ. ح. و اهری، ع. (۱۳۹۶). نقش چینه شناسی در کمیت و کیفیت آب چشمه های کارستی رشته کوه شتری، غرب طبس. فصلنامه پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، ۳۳(۴).

غفور پور عنبران، ع.، پ. و حسینایی، ن. (۱۳۹۴). بررسی نقش عوامل ساختاری در ظهور و آبدهی چشمه های کارستی. مقاله ارائه شده در همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی.

فتح اللهی، م.، نیکودل، م.ر.، و خامه چیان، م. (۱۳۹۸). پتانسیل کارست زایی در سنگهای کربناته (مورد مطالعاتی سازند آسماری، جنوب غرب ایران). هیدروژئولوژی، ۴(۲)، ۱۳۱-۱۴۴.

کریمی وردنجانی، ح. (۱۳۸۹). درآمدی بر توسعه کارست در منطقه جنوب غرب ایران. کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، (۱).

کریمی وردنجانی، ح. (۱۳۹۴). هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست (ویرایش دوم، ج ۱-۱). انتشارات ارم شیراز.

مطیعی، ه. (۱۳۷۲). زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس. سازمان زمین شناسی کشور. ۲۸۳ ص.

واعظی هیر، ع.، جبرائیلی اندریان، ن. و بختیاری،ش. (۲۰۱۹). بررسی توسعه کارست در استان کردستان؛ مکانیسم تشکیل ژئومورفولوژی غارها و هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی. هیدروژئومورفولوژی، ۶(۲۰)، ۴۱-۵۶.

ولایتی، س. و خانعلی زاده، ف. (۱۳۹۰). بررسی رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی (مطالعه موردی حوضه آبریز کارده). جغرافیا، ۹(۳۱).

Ashjari, J. & Raeisi, E. (2006). Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran. Journal of Cave and Karst Studies, 68(3), 118–129.

Ardestani, V. E. (2010). Delineating and modelling an underground water conduit by scattered micro-gravity data and electrical resistivity sounding. Exploration Geophysics, 41(3), 210-218. https://doi.org/10.1071/EG09043

Begdeli, A., (2022). Study of parameters affecting Karst development using RS and GIS (Case study, Avag area, Qazvin province).

Ford, F. & Williams, P. (2013). Karst Hydrogeology and Geomorphology. Print ISBN:9780470849965 |Online ISBN:9781118684986 |DOI:10.1002/9781118684986

Kazmin, V., Ricou, L. & Sbortshikov, I. M. (1986). Structure and evolution of the passive margin of the eastern Tethys. Tectonophysics, 123(1), 153-179. https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90196-4

Mohammadi, Z . & Raeisi, E. (2007). Hydrogeological uncertainties in delineation of leakage at karst dam sites, the Zagros Region, Iran. Journal of Cave and Karst Studies, 69(3), 305–317.

Mozafari, M. (2022). The role of geological structures on water leakage from the karst dam sites in Zagros Region, Iran. Geopersia, 12 (2).

O'Brien, C. A. (1950). Tectonic Problems of the Oil Field Belt of Southwest Iran. Tectonic Problems of the Oil Field Belt of Southwest Iran, in Proceedings of 18th International Geological Congress, Great Britain, (part 6), 45–58.

Raeisi, E. & Kowsar, N. (1997). Development of Shahpour cave, southern Iran. Cave and Karst Science, 24(1), 27–34. Singhal, B. B. S. & Gupta, R. P. (2010). Applied Hydrogeology of Fractured Rocks: Second Edition. Springer Netherlands.

Singhal, B.B.S., & Gupta, R. P. (2010). Applied Hydrogeology of Fractured Rocks: Second Edition. Springer Netherlands.

Veress, M. (2020). Karst Types and Their Karstification. Journal of Earth Science, 31(3), 621-634. https://doi.org/10.1007/s12583-020-1306-x