

پژوهشهای جغرافیائی - شماره ۴۲، بهار ۱۳۸۱  
صص ۸۷-۱۰۱

## چشم‌اندازهای کارستی حوضهٔ اخلمد و مدیریت محیطی آن

محمد علی زنگنه‌اسدی\*، دکتر حسنعلی غیور، دکتر محمدحسین رامشت، دکتر سعدالله ولایتی  
دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، استاد و دانشیاران گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان و دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۸۱/۴/۱۶

### چکیده

ژئومرفولوژی کارست به مطالعهٔ سیمای خاص مرفولوژیکی و هیدرولوژیکی در سنگهای قابل انحلال (بیشتر کربنات) می‌پردازد. اشکال کارستی، محصول عملکرد متقابل پدیده‌ها و عناصر اقلیمی و شرایط زمین‌شناسی در پهنه‌های آهکی است. کارست سیستم پیچیده‌ای است، چراکه توسعهٔ آن بوسیلهٔ شبکه‌ای مرکب از حلقه‌های پس‌خوراند صورت می‌گیرد. موتوری که به فرایندهای طبیعی کارست نیرو می‌دهد، چرخهٔ آب‌شناسی و برودت است. در این مقاله سعی شده تا با بررسی عوامل موثر در پیدایش اشکال کارست و سیستم‌های شکل‌زائی حاکم بر منطقه، به تحلیل پدیده‌های حاصل از فرسایش کارستی و جایگاه آن در چرخهٔ کارست مبادرت گردد. بدین ترتیب، حوضهٔ آبریز اخلمد<sup>(۱)</sup> از نقطه نظر تحولات ژئومرفولوژیکی و مورفودینامیکهای طبیعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و فرایندهای غالب در آن تعیین می‌گردد. سرانجام به رابطهٔ مناظر مرفولوژیکی - هیدرولوژیکی فرسایش کارستی با مدیریت محیط می‌پردازد و هوشیاری و دقت بسیار زیاد برنامه‌ریزان، تصمیم‌گیران و مدیران محیط را که به نحوی از انحاء با توسعه و عمران حوضه‌های کارستی سروکار دارند، یادآوری و گوشزد می‌نماید.

واژگان کلیدی: حوضهٔ اخلمد، فرسایش کارستی، ژئومرفولوژی، چرخهٔ کارست، مدیریت محیط، کارن، دولین

### مقدمه

فرسایش کارستی از جمله فرایندهایی است که به صورت مختلف، منابع خاک، آب و فعالیتهای اقتصادی سرزمینهای آهکی را شدیداً تهدید می‌کند. هر چند این یک پدیدهٔ طبیعی است و جلوگیری از آن امکان‌پذیر نمی‌باشد، ولی کاهش نرخ آن امری است ممکن؛ منتها این مراد حاصل نخواهد شد، مگر با شناخت فنی این فرایندها و برخورد کمی با آن. تنوع

\* Maasadi2002@yahoo.com

۱- حوضهٔ آبریز اخلمد در دامنهٔ شمالی رشته‌کوه بینالود در استان خراسان بین ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض جغرافیائی شمالی بین ۵۸ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۲ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول جغرافیائی شرقی واقع شده است. این منطقه بخشی از حوضهٔ آبریز کشف رود و قسمتی از بخش مرکزی شهرستان چناران محسوب می‌شود.

چشم‌اندازهای کارستی در حوضه آبخیز اخلمد حاصل دخالت مشترک فرایندهای مورفودینامیک درونی و بیرونی در طی زمان است. در زمره مهم‌ترین عوامل درونی مؤثر در شکل‌زائی پدیده‌های کارستی، ساختار زمین‌شناسی اعم از ساختمان، تکنیک شکننده و لیتولوژی عمومی است که موجب پیدایش اشکال اولیه سطح حوضه مورد مطالعه گشته‌اند. موثرترین عوامل بیرونی در شکل‌زائی کارست، اقلیم، پوشش گیاهی، ارتفاع، عرض جغرافیائی و زمان است. فرایندهای هوازدگی به عنوان فرایندهای آغازین فرسایش، سنگهای آهکی رخنمون دار را تحت تأثیر قرار داده و با اعمال متفاوت تخریب مکانیکی و تجزیه شیمیائی، زمینه پیدایش فرسایش کارستی، توسعه ناهمواریها و مناظر کارست را فراهم می‌نمایند. سیستم‌های فرسایشی مختلف در طول دورانهای سوم و چهارم زمین‌شناسی در ساخت و پرداخت لندفرمهای منطقه مورد مطالعه مشارکت داشته‌اند. تبیین کامل شکل زمین باید متضمن توصیف ویژگیها و فهم فرایندهای مرتبط با تشکیل آن و نیز توسعه آن در طول زمان باشد، به این ترتیب، اجزاء مورفولوژیک می‌تواند با اجزاء جریان سریع انرژی که در برگیرنده جریان انرژی و مواد است، در سیستم ژئومرفیک فرایند - پاسخ ارتباط داشته باشد (چورلی، ۱۳۷۵، صص ۱۵ - ۱۴).

در دوره‌های یخچالی پلیستوسن، عمده‌ترین پروسه فعال شکل‌زا در آن سوی خط تراز ۱۹۰۰ متر حوضه آبریز اخلمد، سیستم فرسایش جنب یخچالی بوده است (محمودی، ۱۳۶۷، صص ۴۳ - ۵). در این مقاطع زمانی کوتاه‌تر، فرسایش کارستی بیش از سایر زمانها در منطقه مورد مطالعه حاکم بوده است. بنابراین سیستم‌های مورفولوژیک، ویژگیهای هندسی مرتبط به همه اشکال زمین را در برمی‌گیرد که در کل، سیستم‌های ژئومرفیک را تشکیل می‌دهند. چرخه کارست، اشکال حاصل از فرسایش کارستی را از دو جنبه مشاهدات تاریخی و تجربی با مقیاسهای مختلف زمانی و مکانی مورد بررسی قرار می‌دهد که حوضه کارستی اخلمد حاوی همه مراحل چرخه کارست است.

سنگ آهک شاید نسبت به هر نوع سنگ دیگری، مشخص‌ترین رشته زمین‌شکلها و مسائل کاربردی را تشکیل دهد (کوک و دورکمپ، ۱۳۷۸، ص ۳۲۰). اگر یک ژئومورفولوژیست در صدد تهیه لیست کوتاهی از چشم‌اندازهای بزرگ و جذاب دنیا باشد، قطعاً مناظر حاصله از فرسایش کارستی در ردیف‌های اول آن خواهد آمد. این مناظر ژئومورفولوژیکی توجه تعداد بی شماری از گردشگران، هنرمندان و دانشمندان دنیا را به خود جلب کرده است (فورد و ویلیام، ۱۹۸۹، صص ۵۴۳ - ۵۴۲).

بنابراین اشکال ژئومورفولوژیک وابسته به کارست، امروزه به دلیل جنبه زیبایی شناختی به عنوان یک مجموعه طبیعی با ارزش قلمداد می‌شود که از جهات گوناگون زیست محیطی، منابع طبیعی، صنعت توریسم و ... مورد توجه خاص قرار می‌گیرد.

### روش تحقیق

تحقیق حاضر از نظر ماهیت، از نوع توصیفی موردی است و از نظر روش، به دو گونه زیر به شناسائی و ارزیابی پدیده‌های ژئومرفیک و پاسخگویی سؤالات تحقیق می‌پردازد:

۱- به کمک روشهای تجربی و بررسیهای میدانی به شناخت وضع موجود اشکال و فرایندهای مسلط ژئومورفولوژی

در منطقه می‌پردازد.

۲- با استفاده از روشهای تاریخی به بازسازی شرایط دیرینه محیط بویژه برای کوتاه‌تر قدیم اقدام می‌کند.

از آنجائیکه اطلاعات مورد نیاز این تحقیق طیف وسیعی از علوم مختلف را در بر می‌گیرد، از روش‌های اسنادی نیز در تحلیل مسئله تحقیق استفاده شده است.

### ویژگی‌های زمین‌شناسی و فرسایش کارستی

حوضه آبریز اخلمد، حداقل از دو ویژگی بارز و تعیین‌کننده زمین‌شناسی برخوردار است که در فرسایش کارستی حائز اهمیت است. ویژگی نخست، اهمیت سازندهای زمین‌شناسی کارستی شونده از نظر ضخامت و نیز گسترش می‌باشد. ضخامت زیاد سنگ آهک سازند لارودلیچای با ضخامت قریب به ۱۰۰۰ متر از سویی و گسترش قابل ملاحظه این سازند کارستی شونده در سطح حوضه مورد مطالعه (حدود ۹۵٪ مساحت کل حوضه) از سوی دیگر، شرایط مطلوبی را برای فرسایش کارستی و توسعه پدیده‌های کارستی فراهم آورده است. مشخصه دیگر، وجود عوامل تکتونیکی و پدیده‌های ساختمانی مانند گسله‌ها، درزها، چین خوردگیها، امتداد و شیب سطوح لایه بندی و ... است که هر یک به گونه‌ای در فرایند ایجاد، توسعه و تغییر کارست مؤثر است. خرد شدن توده‌های سنگی در اثر نیروهای تکتونیکی عامل مهمی در کارست شدگی ناحیه محسوب می‌گردد و پدیده‌های کارستی در اثر فرایند انحلال در مسیرهایی که بوسیله ساختمانهای زمین‌شناسی کنترل می‌شوند، ایجاد گردیده است.

بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که سنگهای آهکی عموماً سخت بوده و آب نمی‌تواند در آنها نفوذ کند و تنها در صورتی که این سنگها دارای درز و شکاف باشد، آب قادر است در آن نفوذ کند. این درز و شکافها در سنگهای آهکی منطقه تحت مطالعه یا در نتیجه تخریب و هوازدگی مکانیکی بوجود آمده است و یا در اثر عملکرد نیروهای تکتونیکی ایجاد شده است. شیب اکثر درزه‌ها در سطح منطقه زیاد است که این خود نشانگر اهمیت درزه‌های تقریباً قائم در تشکیل پدیده‌های کارستی است و این درزه‌ها به سهولت موجب نفوذ روانابها در زمین و انتقال آب به حفره‌های کارستی زیرزمینی می‌گردد. اینگونه درزه‌ها در اثر انحلال، به لایه‌های درزه‌ای یا «گرایک» تبدیل می‌شود که در منطقه مورد مطالعه بوفور یافت می‌شود. این لایه‌ها که در امتداد درز و شکاف سنگها بوجود می‌آید، چند سانتی متر تا قریب نیم متر عمق دارد و مسیر حرکت آب به داخل سنگهای کربناته است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در زون چین و گسل خورده بینالود قرار دارد و در این زون پدیده گسلش و چین خوردگی با هم اتفاق افتاده است؛ بنابراین، مناظر کارستی متعددی از قبیل لایه، دولین، چشمه، غار و دره در سطح منطقه یافت می‌شود. دولین‌ها دارای الگوی پراکندگی منظم بوده و امتداد کلی آنها با امتداد غالب گسله‌ها و محور چین‌ها، با اختلاف ناچیز مطابقت دارد. از اینرو از بررسیها می‌توان نتیجه گرفت که الگوی کلی دولین‌ها و نیز روند محور طویل آنها، تحت کنترل ساختمان زمین‌شناسی منطقه می‌باشد و در حقیقت عوامل ساختمانی در تشکیل آنها نقش عمده داشته است.

### شرایط اقلیمی و کارست زائی منطقه

سنگها و کانیهای کربناته، امروزه در دریا‌های نواحی معتدله و حاره تشکیل می‌شود. آب و هوای دوران مزوزوئیک یکنواخت‌تر و گرم‌تر از آب و هوای امروزی بوده است. درجه حرارت آب دریاها در دوره ژوراسیک (زمان تشکیل سازندهای کربناته حوضه آبریز مورد مطالعه) ۱۰ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای آب دریا‌های معتدله امروزی بوده است و در نتیجه، در آن دمای ۲۵ درجه سانتیگرادی، پلانکتونها، روزنه داران و کوکولیت‌ها که مسئول

پیدایش رشته‌های عظیم کربناته هستند، رشد بسیار زیادی داشته‌اند (معتمد، ۱۳۶۷، صص ۱۵۳ - ۱۵۰) عناصر اقلیمی علاوه بر اینکه در آهک زائی مؤثر است، در ایجاد پدیده‌های کارستی ناشی از عمل انحلال نقش عمده‌ای بر عهده دارد. دما نیز از جمله عوامل مهم در کنترل فرایند انحلال آهک است که به دو صورت دمای اتمسفر و دمای ماده سیال مؤثر می‌باشد.

بطور کلی، رژیم حرارتی منطقه تحت مطالعه به دلایل مختلف از جمله کوهستانی بودن و ارتفاع نسبتاً زیاد منطقه، عرض جغرافیائی خاص و زاویه و مدت تابش، بری بودن ناحیه، هجوم توده هوای سرد سیبری در زمستان و تأثیر بادهای گرم و خشک ۱۲۰ روزه سیستان در تابستان، از نوسانات سالانه و فصلی نسبتاً زیادی برخوردار است. بررسیها نشان داده که درجه حرارت‌های پیک (حداقلها و حداکثرها) در فرسایش کارستی از اهمیت زیادی برخوردار نیست؛ لیکن میانگین‌ها نقش تعیین کننده‌ای در این زمینه دارد (جیمز و چوکت، ۱۹۸۹، صص ۶ - ۵). متوسط دمای سالیانه حوضه آبریز اخلمد و بویژه متوسط دمای ژانویه که به ترتیب ۱۰/۸ و ۱/۱- درجه سانتی گراد است. در فرایند کارستی شدن حائز اهمیت است، زیرا مقدار فرسایش کارستی در مناطق سرد و مرطوب به مراتب بیشتر از مناطق گرم و مرطوب است. پدیده یخبندان هم به عنوان یک فرایند ژئومرفیک در ناحیه مورد مطالعه ضمن گسترش فرایندهای هوازدگی و توسعه درزه‌ها و شکافها در سنگهای آهکی با افت حرارت محیط و کاهش مقدار تبخیر همراه است. بدین ترتیب پدیده یخبندان عاملی برای افزایش میزان نفوذ در زمین و در نتیجه، انحلال بیشتر سنگهای آهکی منطقه مورد بحث محسوب می‌گردد. وانگهی با کاهش دمای آب، شدت انحلال آهک افزایش می‌یابد. میزان بارش سالیانه، توسعه کارست را کنترل می‌کند. اشکال شاخص کارست را در مناطقی می‌توان یافت که از بارندگی زیادی برخوردار است و معمولاً فرسایش کارستی در مناطق دارای بارندگی سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر یافت نمی‌شود (چورلی، ۱۳۷۵، صص ۲۰۰). بنابراین در حوضه آبریز اخلمد بر مبنای معادله گرادیان بارندگی، مناطق دارای ارتفاع کمتر از ۱۵۳۰ متر از سطح دریا از شرایط مساعدی برای توسعه ناهمواریهای کارستی برخوردار نیست. بررسی پدیده‌های کارستی در سطح حوضه آبریز اخلمد نشان می‌دهد که یک ارتباط و همبستگی معنی داری بین ارتفاع مناطق و اشکال کارست وجود دارد که دلیل آن را باید در افزایش میزان بارش به ازای ارتفاع دانست.

### اشکال حاصله از فرسایش کارستی در منطقه

عوامل عمده مؤثر در توسعه اشکال کارست در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود (جیمز و چوکت، ۱۹۸۹، صص ۶ - ۵):

۱- عوامل داخلی

۲- عوامل خارجی

لیتولوژی یا شرایط سنگ شناسی از نقطه نظر مقاومت، ضخامت و درجه خلوص سنگ قابل انحلال، ساختمان زمین‌شناسی و میزان تکنونیزه شدن در زمره مهمترین عوامل داخلی مؤثر در فرسایش کارستی بشمار می‌رود. کارآمدترین عوامل خارجی در پیدایش پدیده‌های کارستی، اقلیم، پوشش گیاهی، ارتفاع، عرض جغرافیائی و زمان است. در حوضه آبریز اخلمد ایجاد و توسعه مناظر کارستی با درجه تکنونیزه شدن، میزان خلوص و ضخامت سنگ آهک، برودت هوا و آب، رطوبت و میزان ریزشهای جوی، تراکم پوشش گیاهی، میزان ارتفاع و طول زمان رابطه مستقیم

## Archive of SID

دارد. این عوامل طی دوران سنوزوئیک در قالب سیستم‌های مختلف شکل‌زائی در پیدایش لندفورمهای منطقه تحت مطالعه سهم فعالی به عهده داشته است. برجسته‌ترین سیستم فرسایشی در طی زمان در سطح حوضه آبخیز اخلمد عبارتند از:

۱- سیستم شکل‌زائی هوازدگی

۲- سیستم شکل‌زائی پریگلسیر (مجاور یخچالی)

۳- سیستم فرسایش روان آبهای غیر متمرکز و متمرکز

۴- سیستم فرسایش آبهای راكد.

۵- سیستم فرسایش بادی

با حاکمیت نسبی دوره آرامش در سنوزوئیک، یک فاز شدید فرسایشی بر منطقه حاکم می‌گردد. به گونه‌ای که در اثنای دوره‌های یخچالی پلیستوسن، حوضه آبریز اخلمد عمدتاً تحت تأثیر سیستم فرسایش پریگلسیر قرار می‌گیرد و در سطوح زیر خط تراز ۱۹۰۰ متر، سیستم فرسایش روانابها تسلط می‌یابد (محمدی، ۱۳۶۷، صص ۴۳-۵). توده‌های گلی ملو از سنگ ریزه‌های مختلف سیمای مرفولوژیکی - هیدرولوژیکی، فرسایش کارستی، پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه‌ها از موارث اقلیمی این دوره‌ها است؛ در عوض، در دوره‌های بین یخچالی پلیستوسن شرایط حاکم بر این منطقه کمابیش مشابه شرایط کنونی و متأثر از فرسایش بارانی و روانابها بوده است. فرسایش بادی نیز در قالب این سیستم‌های مرفورنز بجز بیابانی در منطقه وجود داشته است، لیکن نقش فرعی را ایفا کرده است.

در هولوسن ویژگیهای مرفورنتیک منطقه از پریگلسیر به نیمه خشک تغییر نموده است و آب و هوای ناحیه به کوهستانی نیمه خشک تا نیمه مرطوب با زمستانهای سرد و تابستانهای تقریباً خنک گرایش پیدا کرد. از اینرو سیستم هوازدگی فیزیکی از مهمترین فرایندهای آغازین ژئومرفولوژی منطقه محسوب می‌گردد که همراه با سایر فرایندهای شکل‌زا از قبیل آبهای جاری و آبهای نفوذی نقش اساسی را در تغییرات سیمای ژئومرفولوژیکی محیط بر عهده دارد. آبهای جاری در سطح حوضه آبریز اخلمد، پنج حوضه توپوگرافی بزرگ و کوچک نسبتاً مستقل را بوجود آورده است؛ به عبارت دقیق‌تر، روانابها ۱۲۹ دژه و آبراهه به طول ۱۹۵/۶۵ کیلومتر را در سطح ۱۳۰ کیلومتر مربعی حوضه حفر نموده که گویای یک تراکم زهکشی بسیار پائین (۱/۵ کیلومتر در کیلومتر مربع) بافت و چهره کاملاً خشن ناهمواری و مرحله بلوغ - تعادل از نظر چرخه فرسایش حوضه است. آبهای نفوذی در سطح حوضه آبریز اخلمد نیز متأثر از درزه و شکافهای تکتونیک و شرایط خاص لیتولوژی سازندهای منطقه است که اشکال و فرایندهای خاصی را پدید آورده است.

مهمترین این فرایندها عبارتند از:

۱ - فرایند کارستیفیکاسیون (کارستی شدن).<sup>(۱)</sup>

۲ - فرایندها و تحولات دامنه‌ای<sup>(۲)</sup> از قبیل لغزش و ریزش.

۳ - آب بردگی و زهکشی عمقی مواد ریزدانه و محلول.<sup>(۳)</sup>

تغییر حالت فیزیکی آب در نتیجه نوسانات درجه حرارت و انرژی گرمائی منجر به پیدایش فرایندها و پدیده‌های

ژئومرفولوژیکی - هیدرولوژیکی خاصی نظیر کریوکلاستی، هیدروکلاستی، باروکلاستی، اشکال بلوکی و ماکروژلی فراکسیون آهکی ناشی از آن و انحلال ناشی از بخار آب و رطوبت هوا که موجب تشکیل حفره‌های سطحی کارست، تجزیه شیمیائی ناشی از رطوبت هوا به صورت کربناتاسیون و پیدایش گل سنگ بر سطح سنگها (تولید رسوبات ریزدانه) و اکسیداسیون (پیدایش ورنی و زنگار بر سطح سنگها) و امثال آن شده است. از نقطه نظر رابطه سیستم‌های شکل زا و پدیده کارست در منطقه باید اذعان نمود که در طول دوره یخچالی کوآترنر، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سیستم‌های فرسایشی مختلف اعم از جنب یخچالی، هوازدگی، روانابهای متمرکز و غیر متمرکز و آبهای را کد قرار داشته که در کلیه سیستم‌های مزبور فرایند انحلال و کارست زائی متداول و در شرف تکوین بوده است. در دوره‌های بین و بعد یخچالی، سیستم فرسایش روانابها و نیز سیستم فرسایش بادی جایگزین سیستم فرسایش جنب یخچالی گشته و همراه با سیستم هوازدگی و آبهای را کد در تغییر شکل چهره زمین منطقه کارساز واقع شده است؛ لیکن به دلیل کاهش نزولات آسمانی و افزایش نسبی دما، فرسایش انحلالی در مقیاس محدود عمل کرده است.

### چشم‌اندازهای مورفیک کارست در منطقه

بارزترین چشم‌اندازهای مورفیک کارست در منطقه کارستی اخلمد به شرح زیر است:

الف) کارن‌ها (لایپه‌ها):<sup>(۱)</sup> اشکال کوچک و مختلف خوردگی است که عمق آن بین چندین میلی‌متر تا چندین سانتی‌متر متغیر است. این پدیده‌ها که جزو اشکال سطحی کارست محسوب می‌گردد، در آن سوی خط تراز ۱۸۰۰ متر از سطح دریا مشاهده می‌شود. کارن‌های موجود در سطح حوضه آبریز اخلمد را می‌توان بر مبنای شکل و اندازه آنها به سه گروه زیر طبقه بندی کرد:

۱- ریلن کارن:<sup>(۲)</sup> این نوع کارن در نتیجه عمل انحلال سنگ آهک فاقد پوشش، تحت تأثیر باران و هرز آبهای اولیه متقاطع و صفحه‌ای ایجاد شده است. این کارن‌ها بصورت شیارهای تقریباً موازی و با پهنا و عمق یک تا دو سانتی‌متر و طول ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر مشاهده می‌گردد.

۲- کلوفت کارن:<sup>(۳)</sup> این نوع کارن، درزه‌ها و شکستگی‌های تکتونیک است که بوسیله عمل انحلال وسیع شده است. شکل آنها متفاوت بوده و عمق آنها بین چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر و طولشان به یک تا چندین متر می‌رسد. این اشکال اغلب بر سطح سنگفرشهای آهکی دارای درز و شکاف ایجاد می‌گردند و دارای لبه‌های نسبتاً تیزی است. این نوع کارن بیشتر در سطح فلاتهای آهکی بخش علیای حوضه یافت می‌شود.

۳- کارن بارانی:<sup>(۴)</sup> این نوع کارن که جزء کوچکترین اشکال کارستی منطقه محسوب می‌گردد؛ بصورت چاله‌هایی با شکل تقریباً مدور و مقارن و قطری بین چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر است که بر سطح رخنمونهای سنگهای آهکی توده‌ای و در کلیه حوضه‌های توپوگرافی منطقه یافت می‌شود.

ب) دولین‌ها:<sup>(۵)</sup> این اشکال بعد از کارن‌ها، شاخص‌ترین پدیده‌های مرفولوژیکی کارست در حوضه آبریز اخلمد است. دولین‌های یافت شده در سطح منطقه تحت مطالعه از نوع انحلالی است که بوسیله انحلال سنگهای آهکی بوجود

1- Karren (Lapie)

2- Rillenkarrren

3- Kluftkarren

4- Rainpit (Rainkarren)

5- Dolines

آمده است. بدین ترتیب که آب از درزه‌ها و شکافهای سنگ عبور کرده و سبب انحلال آن شده و در نتیجه، متعاقب بزرگ شدن شکافهای سنگ، سطح زمین فرونشست نموده و چاله‌های بسته موسوم به دولین را در سطح پهنه کارستی بوجود آورده است.

ج) دره‌های کارستی: (۱) یکی از چشم‌اندازهای غالب مرفیک کارستی در منطقه تحت مطالعه دره‌های کارستی است که بر حسب نحوه تشکیل و سیمای مورفولوژیکی به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

۱- دره‌های باریک و عمیق (کانیون‌ها): (۲) این دره‌ها که صرفاً منشأ کارستی دارند و در آهک‌های توده‌ای شکل گرفته‌اند، در واقع دره‌هائی هستند که دارای شکل کامل (U) بوده و بسیار تنگ می‌باشند. دیواره‌های آنها از سنگهای یکپارچه و مقاوم تشکیل یافته و شیب بسیار زیاد (۸۵ تا ۹۰ درجه) و گاه معکوس دارند که معمولاً توسط یک «کنیک» به کف دره و بستر تقریباً افقی رود می‌پیوندند. به این دلیل نیمرخ عرضی این دره‌های سنگی تقریباً ثابت و پایدار است، که تنها شبه تراسهای سنگی باقیمانده از بستر و سقف قدیمی غار و میکروتراسهای بستر فعلی مهمترین عارضه بر هم زنده نیمرخ عرضی آنها بشمار می‌آید.

۲- دره‌های خشک: (۳) این دره‌ها که محصول توسعه منطقه پانوری و فروروی در سیستم‌های درز در معرض فرایند انحلال است، موجب انتقال تدریجی آبهای سطحی ناشی از تخلیه چشمه‌ها در دره‌های کارستی به اعماق زمین می‌گردد. دره‌های خشک اغلب دارای نیمرخ عرضی (V) شکل هستند و بصورت غیرمتقارن در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که علت آن تمایل طبقات آهکی و ساختمانهای تک شیبی همراه با کورنیش‌ها و دیواره‌های پرتگاهی است که شیب آنها بیشتر از شیب لایه‌های آهکی است.

د) جاماها (۴)، غارها (۵)، مغاره‌ها (۶): جاماها مجاری کارستی قائم یا نزدیک به قائمی هستند که به سطح زمین باز می‌شوند. این نوع اشکال کارستی در افق‌های دارای درزهای قائم یا سیستم‌های درزی که توسط فرایند کارست عریض شده‌اند، بچشم می‌خورند. درون برخی از این جاماها که کوچک مقیاس‌اند و بصورت میله‌چاه‌های استوانه‌ای می‌باشند، جریان ریزشی آب، پدیده‌های جالب، استثنائی، زیبا و شگفت‌انگیزی را بوجود آورده است که اغلب مظهر بسیاری از چشمه‌های کارستی را در جداره دره‌های کارستی بوجود آورده‌اند. همچنین در آن دسته از جاماهائی که از ارتباط بیشتری با سطح زمین برخوردارند، امکان ریزش یا سقوط آزاد برف به داخل آنها وجود دارد که می‌تواند برفهای متراکم چندین ساله و بیشتر را ذخیره کند. اهالی و ساکنین روستاهای منطقه به چنین حالتی «بخچال» می‌گویند. غارها و مغاره‌ها از دیگر چشم‌اندازهای کارستی در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌گردند که بصورت شبکه‌هائی از مجاری افقی یا با شیب ملایم هستند که توسط یک یا چند دهانه به سطح زمین ارتباط دارند. این دسته از پدیده‌های کارستی تحت تاثیر گسل‌ها و درز و شکافهائی که لایه‌ها را قطع می‌کنند و یا درزهای بین لایه‌ای قرار گرفته‌اند که موجب توسعه فرایند انحلال می‌گردند. وسعت غارها و مغاره‌های موجود در سطح حوضه آبریز اخلمد چندان قابل توجه نبوده و اشکال شاخص غار نهشته و سنگ چکه‌های کلسیتی در آنها کمتر بچشم می‌خورد. اغلب این غارها و مغاره‌ها تقریباً خشک بوده و گاه دارای برکه‌ای کوچک هستند. بزرگترین غار موجود در سطح حوضه، غار اخلمد به طول ۱۷/۵ متر در مجاورت آبشار اول

اخلمد است.

۵) چشمه‌های کارستی: (۱) چشمه‌های کارستی یا محل‌های طبیعی ظهور و تخلیه آب زیر زمینی در منطقه کارستی اخلمد نسبتاً زیاد (بالغ بر سی دهنه) و پراکنده است. اغلب چشمه‌های بزرگ کارستی در امتداد سطح اساس فرسایش یعنی دره‌های رودخانه‌ای واقع شده‌اند. چشمه‌های دائمی بزرگ حوضه که معمولاً به پائین‌ترین سطح اساس فرسایش (دره‌های اصلی رودخانه‌ای) ارتباط دارند، در منطقه کارستی اخلمد رسوبات فاقد ناتراوای مارنی و شکستگی‌های تکتونیکی در پیدایش چشمه‌های مناطق ساحلی رودخانه اخلمد و شعبات فرعی آن نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. این رسوبات به عنوان مانع محصورکننده‌ای که انحلال را تحدید می‌نماید، عمل می‌کند. ظرفیت بعضی از چشمه‌ها پیچیدگی جریان آب کارست را در حوضه منعکس می‌کند. به عنوان مثال، دو چشمه مجاور هم در زیر حوضه توپوگرافی جنوبغربی وجود دارد که یکی دارای ظرفیت آبدهی بالا و دیگری دارای ظرفیت آبدهی بسیار پائین است. ضریب تراکم چشمه‌های کارستی که موید تعداد چشمه‌ها در واحد سطح است، بطور نسبی و غیر مستقیم بیانگر سیمای هیدرولوژیکی فرسایش کارستی، وضعیت شبکه آب زیرزمینی کارست و درجه تحول و تکامل آن می‌باشد. بنابراین هر قدر این ضریب بالاتر باشد، فضاها و حفره‌های زیرزمینی و کارست شدگی گسترده‌تر را ثابت می‌کند. ضریب تراکم چشمه‌های کارستی برای کل حوضه آبریز اخلمد (۰/۲۴)، برای زیر حوضه‌های جنوبی (۰/۱۴)، جنوبغربی (۱/۲)، غربی (۰/۱۲)، شرقی (۰/۲۱) و شمالی (۰/۱۵) محاسبه گردیده است. بدین ترتیب، حداکثر تراکم چشمه متعلق به زیر حوضه جنوبغربی و حداقل تراکم چشمه متعلق به زیر حوضه غربی است که علت آن را باید به ترتیب در وجود گسله‌های فراوان در مرز زیر حوضه جنوبی و جنوبغربی و نیز تمایل طبقات زیر حوضه غربی به سمت حوضه آبریز مجاور (بازه سر حصار) جستجو کرد. تخلخل اولیه و ثانویه سنگهای آهکی منطقه و نیز اقلیم بسیار مرطوب دوره‌های بارانی منطبق بر ادوار یخچالی پلیستوسن موجب ایجاد مراحل مختلف چرخه ژئومرفیک کارست در بخشهای مختلف حوضه کارستی مورد مطالعه گشته است. مطالعات موردی همه مراحل سیکل کارست را در منطقه اخلمد نشان می‌دهد. مرحله جوانی چرخه ژئومرفیک با انحلال‌های اولیه از قبیل پیدایش انواع متفاوت کارن، تشکیل زهکشی سطحی - داخلی و حفره‌ها و جویبارهای کوچک در روی سنگهای آهکی مشخص می‌گردد. مثالهای این مرحله از چرخه کارست در حوضه اخلمد خیلی فراوان است که اغلب بر سطح مرتفعات نیمه جنوبی حوضه مشاهده می‌شود. دولین‌های پراکنده و چاله‌های نسبتاً عمیق در بخشهای مختلف حوضه کارستی اخلمد مثالهایی از مرحله بلوغ چرخه ژئومرفیک کارست است. از دیگر پدیده‌های کارستی در مرحله بلوغ می‌توان به غارها و مغاره‌های سطح حوضه اخلمد اشاره کرد. اگر چه این غارها و مغاره‌ها در حال حاضر خشک هستند، اما شواهدی مانند سنگ چکه‌ها و آثار دریاچه خشک شده، شواهدی دال بر انحلال آهک در یک محیط مرطوب‌تر است. آخرین مرحله چرخه ژئومرفیک کارست، مرحله پیری است که با پدیده‌هایی از قبیل کانیون و چشمه‌های کارستی از سایر مراحل سیکل کارست قابل تفکیک است. در این مرحله سقف غارها بر اثر توسعه انحلال ریزش نموده است و چشمه‌های کارستی بصورت جویبارهای سطحی ظاهر می‌شود. فروریختن سقف غارها، مغاره‌ها و دیگر مجاری زیرزمینی آب همراه با عوامل دیگری از قبیل خوردگی آب و فرسایش رودخانه‌ای موجب تشکیل کانیونها در سطح حوضه آبریز اخلمد گشته است. دیواره‌های بلند و عمودی این دره‌ها



حکایت از تاثیرپذیری آسان سنگ در برابر عوامل فرسایش می‌کند.

### پدیده‌های کارستی و مدیریت محیط

اشکال حاصل از فرسایش کارستی در حوضه آبریز اخلمد، ضمن اینکه یک سری محدودیتها و تنگناهای فیزیکی را برای روستاها، روستائیان و فعالیت اقتصادی آنها فراهم آورده، در کاهش ضریب اطمینان و کارآئی تاسیسات زیر بنائی و روبنائی موثر است. باوجود این، توسعه مناظر مرفولوژیکی - هیدرولوژیکی حاصل از فرسایش کارستی دارای قابلیتها و توانمندیهای طبیعی توسعه و پتانسیل‌های بسیاری نظیر تامین ذخایر آبی، انرژی هیدروالکتریسته، تدارک مصالح ساختمانی، تفریحات سالم و جغرافیای گذران اوقات فراغت، ورزشهای زمستانی (پیست اسکی بر سطح فلاتها و سنگفرشهای آهکی بخش علیای حوضه)، ورزشهای کوهستانی (کوهنوردی، غارنوردی، صخره نوردی و سنگ نوردی) و بالاخره جاذبه‌های توریستی و صنعت گردشگری است که مدیران، برنامه ریزان و سیاست گذاران محیطی باید به آن توجه خاصی داشته باشند و با مد نظر قرار دادن تعادل زیست محیطی برای نیل به توسعه محیطی پایدار تلاش کنند. براساس شواهد و عملکرد فرسایش کارستی در حوضه اخلمد می‌توان مهمترین اشکال مربوط به مرفودینامیکهای آهکی را که در مکان یابی و شناسایی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه حائز اهمیت هستند، به شرح زیر بیان نمود:

۱- کارن‌ها: این پدیده‌ها که عموماً با درز و شکافهای سطوح چینه‌بندی، شکستگی‌های تکتونیک و درزه‌های ناشی از تخریب و هوازگی موجود در منطقه مورد مطالعه در ارتباط هستند، مکانهای مناسبی را برای نفوذ آبهای سطحی به آبخوانها فراهم کرده‌اند.

۲- دولین‌ها: این اشکال با توسعه خویش در سطح حوضه اخلمد موجب تغذیه آبخوانهای کارستی می‌گردند، به ویژه اینکه حوضه آبریز اخلمد از تراکم زهکشی نسبتاً پایینی برخوردار است که حاکی از گستردگی شبکه کارستی زیرزمینی و نفوذپذیری زیاد است.

۳- پدیده‌های هیدرولوژیکی کارست: چشمه‌های موقت دائمی و پانورها<sup>(۱)</sup> جزء پدیده‌های ژئومرفولوژیکی کارست است که بطور ژنتیکی به ویژگیهای هیدرولوژیکی و رژیم‌های هیدرولوژیکی منطقه اخلمد مربوط می‌باشد.

۴- اشکال تراکمی روانابها: این نوع از اشکال تراکمی به دلیل بافت درشت مواد آبرفتی و مجاورت با دامنه‌ها و رودخانه‌ها بخوبی تغذیه شده و به این ترتیب سبب تشکیل منابع عمده آب زیرزمینی در حوضه اخلمد گشته است.

در حوضه اخلمد وجود دره‌های تنگ کارستی، بویژه حضور گلوگاهها و تنگناهای سنگی از نظر ژئومرفولوژیکی شرایط نسبتاً مساعدی را برای احداث سد و مهار آبهای سطحی فراهم آورده است. اما فرایند کارستی شدن، درزه‌ها و شکافهای تکتونیک از جمله عواملی هستند که می‌توانند منجر به فرار آب شود و از اینرو باید مورد ارزیابی دقیق قبل از ساختمان سد و مخزن قرار گیرد و در صورت لزوم اقدام به روشهایی مانند ایجاد پرده تزریق و انجام امور ترمیمی پیشگیری از جمله ملاطزنی سنگ آهک با سیمان و در نتیجه پرکردن منافذ آن، تمیز کردن حفره‌ها و پرکردن مجدد آنها با بتن و یا اندود کردن سنگ قاعده مخزن و غیرقابل نفوذ ساختن نسبی آن نمود.

بهره‌گیری از نیرو و انرژی پتانسیل آب آبشارها و تندآبهای رودخانه اخلمد و شاخه رودهای متعدد آن، به دلیل

*Archive of SID*

شیب قابل ملاحظه جداره‌ها و بستر، از دیگر توانمندیهای طبیعی موجود در حوضه اخلمد است که به سهولت می‌توان از انرژی سقوطی آب بهره‌برداری نمود و حداقل می‌توان بصورت محلی برق مورد نیاز دره‌ها و آبادیهای موجود در مسیر آنها را تأمین کرد.

مهمترین جاذبه‌های توریستی و گردشگری ناشی از مرفودینامیکهای آهکی دره اخلمد با پوشش گیاهی انبوه و دیواره‌های پرشیب و شگفت‌انگیز، کوهها و میانابهای زیبا، آبشارها و تندآبهای جذاب و تماشایی و غارها و مغاره‌های متعدد در سطح حوضه اخلمد است که ضمیر ناخودآگاه هر بیننده‌ای را به سوی خویش سوق می‌دهد و افراد را به دامن خویش فرا می‌خواند.

یکی دیگر از توانمندیهای ارزشمند حوضه اخلمد و اشکال حاصله از فرسایش کارستی در زمینه ورزشهای کوهستانی است. شرایط مرفولوژیکی حاکم بر منطقه اخلمد تسهیلات لازم را برای استفاده‌های کوهنوردی، صخره‌نوردی و سنگ‌نوردی در طبیعت مصفا فراهم آورده که همه ساله گروههای مختلف ورزشی از سراسر ایران برای اجرای برنامه‌ها و مسابقات سنگ‌نوردی به منطقه عزیمت می‌نمایند.

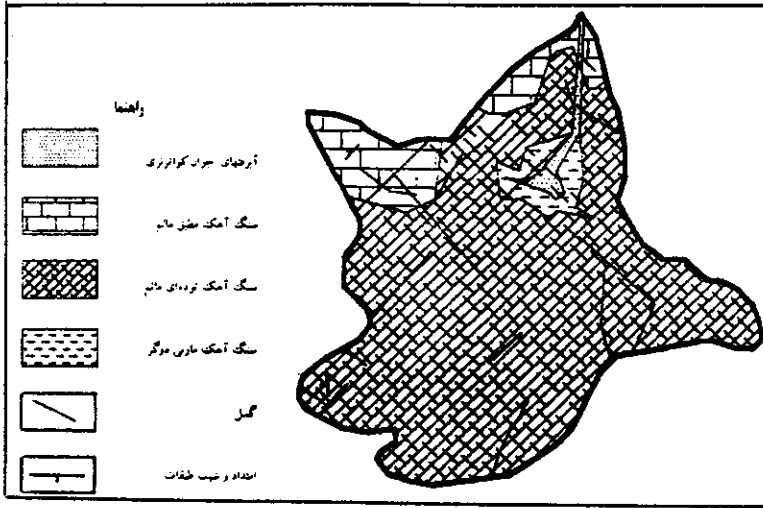
**نتیجه‌گیری**

- منطقه تحت مطالعه از نظر تحولات ژئومرفولوژیکی و مرفودینامیک‌های طبیعی بسیار فعال و ناپایدار است و علت آن را باید در نقشه عوامل مختلف زمین‌شناسی از قبیل ساختمان زمین و لیتولوژی عمومی در فرایند کارستی شدن جستجو کرد.

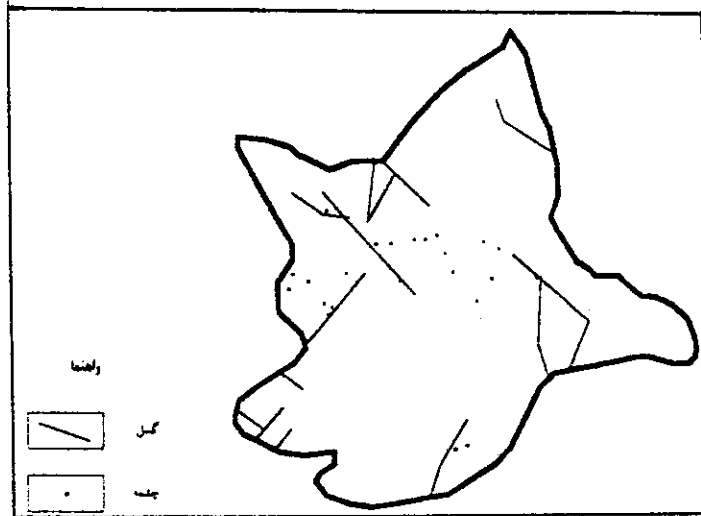
- شکل زائی برتر در منطقه تحت تاثیر فرایندهای اقلیمی و هیدرولوژیکی است؛ زیرا پدیده کارستی شدن در ارتباط تنگاتنگ با آب و عناصر اقلیمی حاکم بر ناحیه بویژه طی کواترنر قدیم (پلیستوسن) است.

- حوضه آبریز اخلمد به دلیل جاذبه‌ها و جنبه‌های زیبا شناختی ناشی از شرایط خاص کوهستانی حاکم بر آن از توان فراغتی، ورزشی و استراحتی فراوان برخوردار است که با ایجاد تمهیدات و سرمایه‌گذاری لازم بخش خصوصی و دولتی می‌توان زمینه استفاده بیشتر از مواهب طبیعی و خدادادی را برای دوستداران طبیعت و زائرین مرقد مطهر امام رضا (ع) فراهم نمود.

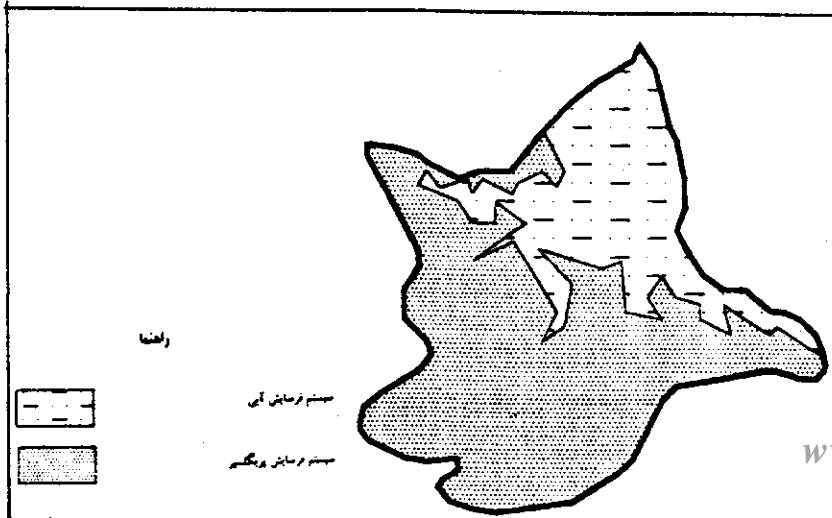
نقشه ۱- زمین شناسی حوضه آبریز اخلمد



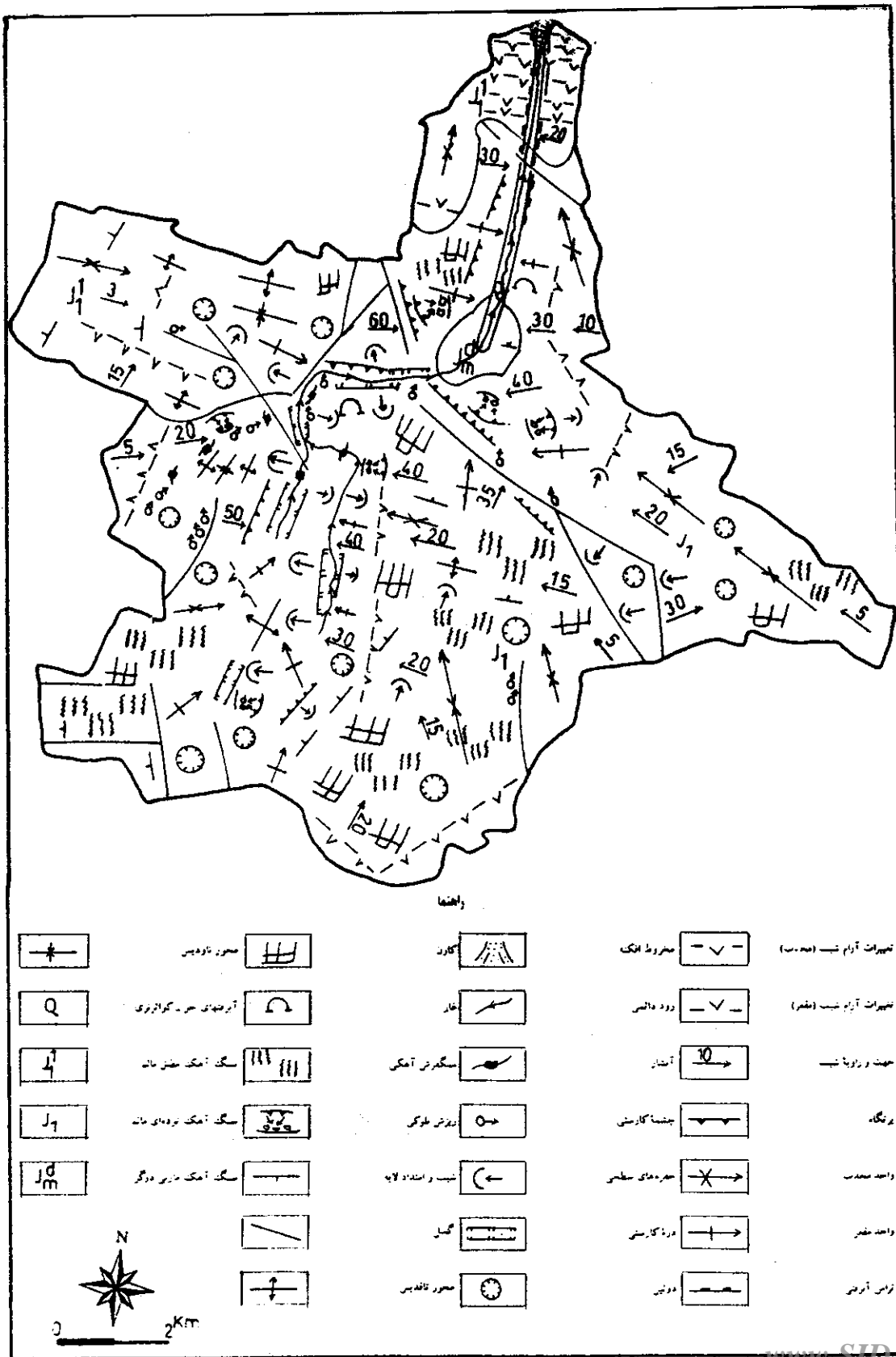
نقشه ۲- خطواره‌های ساختمانی و مظهر چشمه‌ها در حوضه آبریز اخلمد



نقشه ۳- قلمرو سیستم‌های شکل زائی حاکم بر حوضه آبریز اخلمد در دوره‌های یخچالی پلیستوسن



نقشه ۴- ژئومرفولوژی حوضه آبریز اخلمد





تصویر ۱- سفره لایه (کارن) و خطوط راه‌های ساختمانی در حوضه اخلمد

تصویر ۲- دره کارستی و دولین در حوضه اخلمد



منابع و مآخذ

- ۱- چورلی، ریچاردجی. و همکاران، ۱۳۷۵، ژئومرفولوژی جلد اول، ترجمه احمد معتمد، سمت، تهران.
- ۲- چورلی، ریچاردجی. و همکاران، ۱۳۷۷، ژئومرفولوژی جلد دوم، ترجمه احمد معتمد، سمت، تهران.
- ۳- کوک، آر. یو. و دورکمپ. جی. سی.، ۱۳۷۸، ژئومرفولوژی و مدیریت محیط جلد دوم، ترجمه شاپور گودرزی نژاد، انتشارات سمت، تهران.
- ۴- محمودی، فرج‌اله، شهریور ۱۳۶۷، تحول ناهمواریهای ایران در کواترنر، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی موسسه جغرافیا، دانشگاه تهران، شماره ۲۳، سال بیستم.
- ۵- معتمد، احمد، ۱۳۶۷، زمین‌شناسی عمومی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- 6- Ford, D.C.& Williams, P.:1989, Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, London.
- 7- James, N.P.& choouquette, P.W.:1989, Paleokarst. Springer - Verlag, London.