

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۴ - تابستان ۱۳۸۸

وصول مقاله: ۱۳۸۶/۳/۵

تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۳/۱۳

صفحات: ۱۴۰ - ۱۲۱

ویژگی‌های ژئومورفیک توده‌ی کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود

دکتر هادی قنبرزاده^۲

استادیار جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

دکتر ابوالفضل بهنیا^۱

استادیار جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

عباسعلی فرزانه

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی

چکیده

حوضه‌ی آبریز اخلمد که در سازندهای آهکی کارستی شونده‌ی مزدوران و چمن‌بید واقع شده است متعلق به دوران مزوزوئیک بوده و در اثر عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی و لیتولوژیکی پدیده‌ها و مناظر کارستی بسیار جالبی در آن به وجود آمده است. وجود پدیده‌های متنوع اپی کارست^۳ و کارست عمقی در این پهنه‌ی آهکی باعث گردیده که این ناحیه به عنوان یکی از نواحی گردشگری مهم در سطح استان خراسان رضوی قلمداد شود. در این ناحیه ذخایر آب زیرزمینی به صورت آبخوان‌های کارستی که برای مصرف شرب شهرمشهد در نظر گرفته شده است، ضرورت انجام تحقیقات ژئومورفولوژی کارست و مدیریت آب کارست را می‌طلبد، در حال حاضر ۲۵٪ جمعیت جهان از منابع آب کارست برای شرب استفاده می‌کنند (گیلیسون، ۲۰۰۶: ۲۳) هدف اصلی از این تحقیق شناسایی و طبقه‌بندی اشکال کارستی در مقیاس ماکروژئومورفولوژی و میکروژئومورفولوژی در حوضه‌ی اخلمد بوده است، از آنجا که پهنه‌های کارستی در بینالود شمالی بسیار گسترده هستند و از منابع آب سطحی و عمقی این آبخوان‌های آهکی به منظور آب شرب برای جوامع شهری و روستایی استفاده می‌شود، ضرورت مطالعات ژئومورفولوژی کارست و طبقه‌بندی اشکال مورفولوژیکی در این پهنه‌های کارستی می‌تواند مدیران سرزمین را در کنترل آلاینده‌های آب کارست از طریق اشکال ژئومورفولوژیک کمک نماید.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی کارست، دولین، غار کارست، آبخوان کارست، لاپیه (کارن)^۴، کارست‌زایی^۵، آون^۶ و سنگچال^۷.

1- a.Behniafar@yahoo.com

2- h.Qanbarzadeh631@yahoo.com

3- Epi- karst

4- Lapiaze (karren)

5- karstification

6- Aven

7- Sing hole

مقدمه

کارست حاصل فرآیندهای متعددی است که در سنگ‌های قابل انحلال مانند آهک و دولومیت تحت شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی گوناگون به وجود می‌آید (عطارزاده، ۱۳۶۳: ۱۳۷). مناظر و پدیده‌های کارستی که در سنگ‌های آهکی و دولومیتی به وجود می‌آیند از جاذبه‌های زیادی در زمینه‌ی توریست برخوردار بوده و به ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک توده‌های کارستی اهمیت زیادی از نظر ذخایر آبی دارند. بسیاری از غارهای شگفت‌انگیز زیبای جهان فقط در توده‌های کارست تشکیل شده و یافت می‌شوند.

منطقه‌ی کارستی عموماً توسط فرورفتگی‌های بسته، زهکشی زیرزمینی توسعه‌یافته و غاررودهای ویژه در آن مشخص می‌شود. کارست‌های زاگرس، البرز و کپه‌داغ و همچنین کارست‌های حاشیه‌ی بیابان مرکزی ایران از جمله نواحی است که جذابیت توریستی دارد و از نظر منابع آبی به منظور تأمین آب شرب اهمیت زیادی دارند. تلفیق نقشه‌های ریخت‌سنجی کپه‌داغ و بینالود نشان می‌دهد که شاخص‌های گرادیان شیب رود و هیپسومتری در منطقه‌ی کارستی این ارتفاعات حاکی از وجود آبخوان آهکی می‌باشد (حق‌پور، ۱۳۸۶: ۷۴).

غار کرم شب‌تاب در نیوزیلند که در یک توده‌ی کارستی نسبتاً بزرگ تشکیل شده است، سالانه یک میلیون نفر بازدیدکننده دارد و توریست‌ها برای مشاهده‌ی کرم‌های شب‌تاب در داخل غار و دیگر اشکال کارستی مانند استالاگمیت‌ها و استالاگمیت‌ها به این منطقه روی می‌آورند (ولایتی و بهنیا، ۱۳۸۶: ۷۶).

پراکندگی توده‌های کارستی در سطح کشور ما به‌ویژه کارست‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث گردیده که اشکال ژئومورفولوژی متنوعی در آنها ایجاد شود و از طرفی وجود چشمه‌های آهکی با دبی بالا در تأمین منابع آب روستاها و شهرهای حاشیه‌ی توده‌های کارستی اهمیت زیادی دارد. در حال حاضر هیچ برنامه‌ی اجرایی و مدون شده‌ای به منظور مدیریت توده‌های کارست در کشور وجود ندارد. هم‌چنین طبقه‌بندی اشکال ژئومورفولوژیک کارست‌ها عمدتاً به‌صورت ناحیه‌ای و محلی صورت گرفته است. طویل‌ترین و عمیق‌ترین غارهای جهان که یکی از اشکال کارستی محسوب می‌شود در توده‌های کارست تشکیل شده‌اند، در حال حاضر ۲۰ غار از عمیق‌ترین غارهای جهان در توده‌های کارستی فرانسه، اسپانیا، ازبکستان و گرجستان واقع شده است (باکالوویچ و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۰۳).

کارست‌های حاشیه‌ی شهر مشهد به‌ویژه در زون کپه‌داغ و بینالود که عمدتاً مربوط به ژوراسیک و کرتاسه هستند، در تأمین آب شرب مشهد نقش محلی ایفا می‌کند. از این نظر هر گونه مطالعات ژئومورفولوژی کارست در این سازندهای آهکی- دولومیتی می‌تواند برای برنامه‌ریزان قابل توجه باشد.

مواد و روش تحقیق

بدیهی است که کارست‌زایی از مدل کاتاکلیسم یا مدل فرآیندی تبعیت می‌کند، به‌طوری که نتیجه‌ی عملکردگروهی از عوامل مختلف است (رامشت و همکاران، ۱۳۸۶: ۳۷). با توجه به آن که موضوع تحقیق در ارتباط با شناسایی و طبقه‌بندی اشکال کارستیک و ژئومورفولوژی پهنه‌ی آهکی اخلمد در زون بینالود بوده است، به منظور رسیدن به اهداف تحقیق از روش استقراء یعنی از مطالعات جزئی و آنالیزهای میدانی به سوی نتیجه‌گیری و قوانین کلی استفاده شده است.

در روش تحقیق واقعیت‌های علمی، تشخیص پدیده‌های غالب از طریق بررسی محیط و ساختن قوانین و مقایسه آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش توسط گاستون با شلار^۱ فیلسوف فرانسوی که یکی از دانشمندان روش علمی محسوب می‌شود، مورد تأکید قرار گرفته است (آسایش و مشیری، ۱۳۸۵: ۳۳).

به این ترتیب ویژگی‌های یک روش علمی باید مبتنی بر التزام علمی و عقلایی بودن یا منطقی بودن قوانین به‌دست آمده باشد. در این تحقیق با استفاده از ابزارهایی همچون تصاویر هوایی حوضه به مقیاس ۱:۴۰/۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰/۰۰۰، ژئومتری برخی از اشکال کارست سطحی از طریق عملیات صحرائی مانند اندازه‌گیری قطر و عمق دولین‌ها^۲، سنجش شکل هندسی مداخل غارها، اندازه‌گیری عرض شکاف‌های آهکی و سنجش دهانه‌ی آن‌ها به‌وسیله‌ی ابزارهای فیزیکی آزمایشگاهی صورت گرفته است.

نقشه‌های پایه مانند نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، اقلیم (همباران و همدم) و غیره به‌منظور تهیه‌ی نقشه ژئومورفولوژی منطقه و طبقه‌بندی اشکال کارستیک تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است.

1- Gaston Bashlar

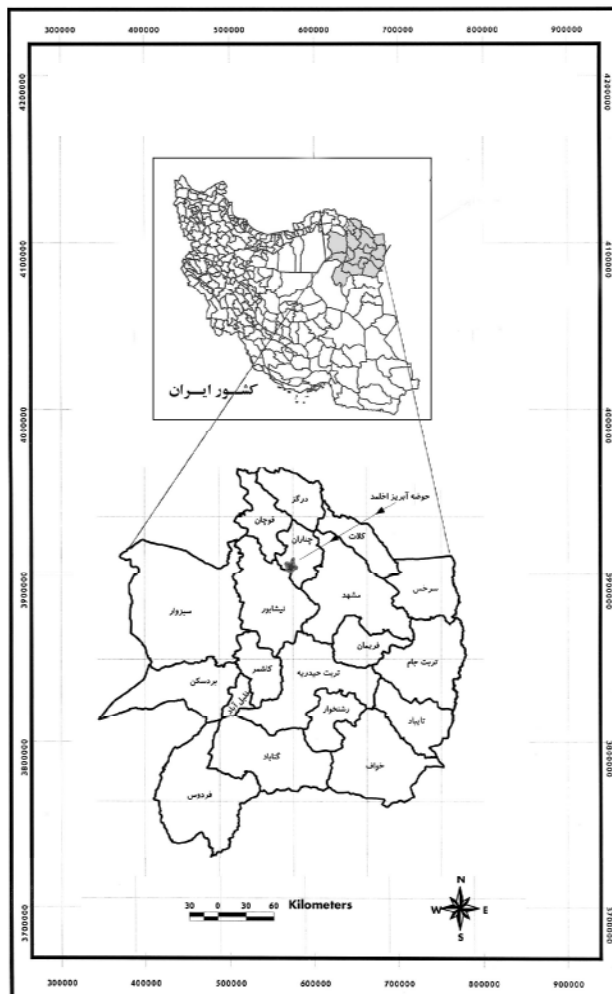
2- Dolines

از آنجا که تشخیص اشکال میکروژئومورفولوژیک مانند کارن‌های خطی، تافونی‌های^۱ صخره‌های آهکی و سیستم‌های درزو شکست از طریق تصاویر هوایی امکان‌پذیر نبوده است، حوضه‌ی آبریز اخلمد به سه قسمت پایینی، میانی و فوقانی تقسیم گردید و مطالعات صحرایی در سنگ‌های آهکی توده‌ای که اشکال کارست در آن تکامل یافته‌تر بودند، صورت گرفت. این مطالعات از ارتفاع ۱۴۰۰ متری در خروجی حوضه‌ی کارستی تا ۲۵۰۰ متری در خط‌الرأس حوضه‌ی فوقانی طی چهار مرحله انجام گرفت، کلیه‌ی مراحل تحقیق در محدوده‌ی حوضه‌ی آبریز اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود صورت گرفته است.

موقعیت جغرافیایی منطقه

پهنه‌ی کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود و در شمال غرب شهر مشهد (۴۵ کیلومتری مشهد) واقع شده است (شکل ۱). از نظر تقسیمات حوضه‌ای، اخلمد یکی از زیر حوضه‌های حوضه‌ی آبریز کشف‌رود محسوب می‌شود. از شرق به حوضه‌ی رودخانه فریزی، از غرب به حوضه‌ی رودخانه بازه سرحصار و از جنوب به ارتفاعات مرغزار و کلاته درگاه محدود می‌شود. از نظر موقع ریاضی بین ۳۰°-۳۶° تا ۴۰°-۳۶° عرض شمالی و ۵۰°-۵۸° تا ۵۹°-۰۲° طول شرقی واقع شده است. نام حوضه از روستای اخلمد در بالادست این حوضه‌ی آبریز گرفته شده است.

1- Taffoni



شکل ۱: موقعیت حوزه‌ی آبریز اخلمد در استان خراسان رضوی
 مأخذ: استانداری خراسان رضوی

مشخصات فیزیوگرافی منطقه

مساحت حوضه ۱۲۸/۹۲ کیلومتر مربع بوده که دارای ۲ آبادی اخلمد علیا و اخلمد سفلی می‌باشد. رود اصلی آن دارای جریان پایه بوده که از چشمه‌های کارستی در بالادست حوضه تغذیه می‌شود. دبی متوسط رودخانه در محل خروجی حوضه ۱۱۰ لیتر بر ثانیه گزارش شده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

جمعیت ساکن در حوضه‌ی آبریز بر اساس آمار سال ۱۳۸۵، بالغ بر ۱۳۲۲ نفر بوده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۵: ۱۲۷). محیط حوضه آبریز اخلمد ۶۰ کیلومتر و طول آبراهه‌ی اصلی آن ۲۰ کیلومتر می‌باشد. منشاء اصلی رودخانه اخلمد چشمه کارستی اخلمد علیا بوده که دبی آن ۲۰۰ لیتر در ثانیه می‌باشد و از کوه منیژه جوشش می‌کند. آب چشمه از ارتفاع ۴۵ متری به‌صورت آبشار به کف دره می‌ریزد و با شعبات فرعی دیگری که از کوه‌های پیش‌داغ و شیرمرغ سرچشمه می‌گیرند تشکیل رودخانه اخلمد را می‌دهد. زیبایی چشم‌انداز این چشمه و آبشار آن سبب شده است که اخلمد را لقب بهشت خراسان بدهند (اصغری‌مقدم، ۱۳۸۳: ۷۱). در جدول (۱) ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه کارستی اخلمد آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیوگرافی حوضه کارستی اخلمد

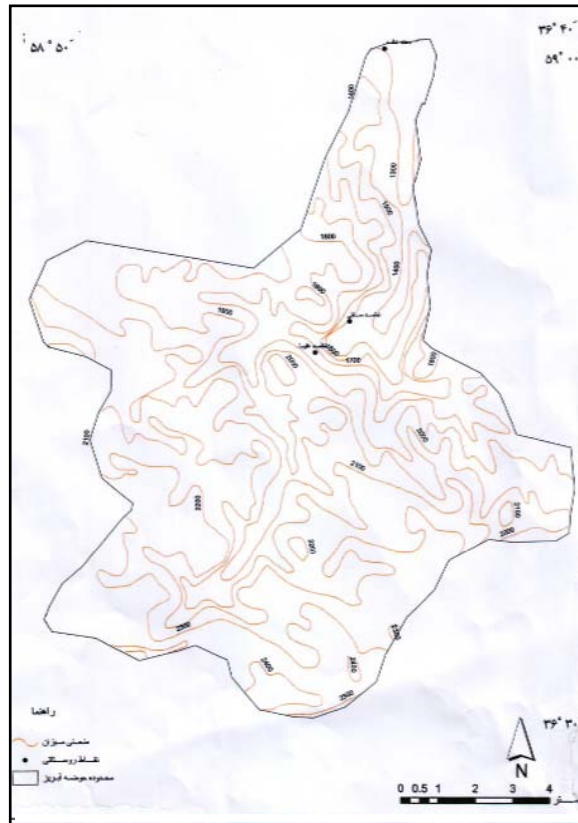
ردیف	ویژگی	تعداد و واحد سنجش
۱	مساحت حوضه	۱۲۸/۹۲ Km
۲	محیط حوضه	۶۰ Km
۳	طول آبراهه اصلی	۲۰ Km
۴	ضریب شکل (روش هورتون)	۰/۵۸ نزدیک به دایره
۵	ضریب فشردگی (گراویلیوس)	$C = ۱/۴۸$
۶	زمان تمرکز در حوضه	۲ ساعت
۷	هدایت الکتریکی	۴۴۰ میکرومپوس
۸	رتبه آبراهه اصلی	۴
۹	نسب انشعاب (روش استرالر)	۴/۵
۱۰	تعداد شاخه‌های رده اول	۱۱۴

مأخذ: تحقیقات میدانی و تصاویر هوایی و نقشه‌های توپوگرافی منطقه

با توجه به آنکه حوضه‌ی زهکشی از نوع کارستی شونده است و سیستم‌های هیدرولوژیکی زیرزمینی در آن نسبتاً تکامل یافته می‌باشد بنابراین جریان‌های سطحی در حوضه‌ی آبریز اخلمد فقیر و کم هستند. به‌طوری که آخرین رتبه‌ی رودخانه علی‌رغم وسعت زیاد حوضه از روش استرالر^۱ برابر $U=۴$ محاسبه شده است. شکل (۲)

توپوگرافی حوضه‌ی کارستی اخلمد را نشان می‌دهد.

1- Strahler

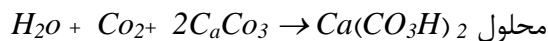


شکل ۲: توپوگرافی حوضه‌ی آبریز اخلمد

تهیه و تنظیم: نگارندگان

اختصاصات زمین‌شناسی و اقلیمی

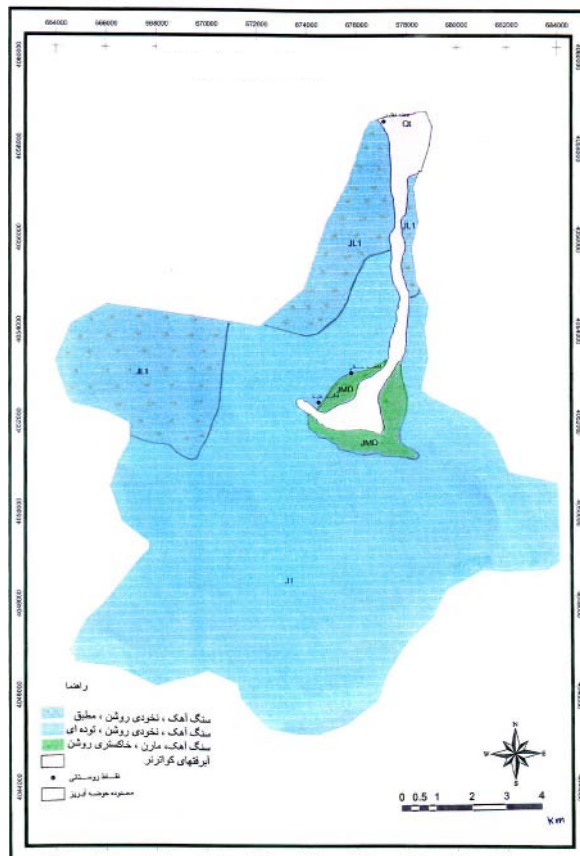
در فرآیند کارست‌زایی، شرایط اقلیمی، لیتولوژیکی و تکتونیکی منطقه نقش مهمتری نسبت به خصوصیات پدولوژیکی، پوشش گیاهی و عوامل دیگر دارد. به‌طوری که میلانوویچ^۱ معتقد است خردشدگی توده‌های سنگی در اثر نیروهای تکتونیکی عامل مهمی در کارست‌شدگی است (میلانوویچ، ۱۹۸۸: ۲۷). هنگامی که میزان کلسیت سنگ آهک بالا بوده و سیستم‌های درز و شکست در آن توسعه‌یافته باشد وجودنزولات جوی عملکرد کارست‌شدگی را در توده‌ی سنگ تشدید می‌کند. فرآیند کارستی شدن در سنگ آهک طبق رابطه‌ی زیر به وجود می‌آید:



1- Millanovich

از نظر زمین‌شناسی سازندهای آهکی مزدوران (۱) و مزدوران (۲) از سنگ آهک نخودی روشن و به‌صورت توده‌ای و نیز سنگ‌آهک مارنی‌سازند چمن‌بید که متعلق به دوره‌ی ژوراسیک می‌باشد گسترش زیادی در سطح حوضه داشته و بیشتر اشکال کارستی در سنگ آهک توده‌ای مزدوران تشکیل شده‌اند. (شکل ۳- زمین‌شناسی حوضه‌ی کارستی اخلمد). وجود رخدادهای تکتونیکی به ویژه چین‌خوردگی‌ها در این منطقه باعث ایجاد درز و شکاف‌های زیاد در سنگ آهک گردیده و تخلخل ثانویه را در سنگ گسترش داده است. بنابراین قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته افزایش یافته و فرآیند کارست‌زایی را توسعه داده است.

درزه‌های چینه‌بندی در سازند چمن‌بید و درز و شکاف‌های عمودی در سازند مزدوران موجب نفوذ آب‌های سطحی و باران به داخل توده‌ی سنگ شده است. میانگین درجه حرارت سالانه (۲۵ ساله) در اخلمد علیا ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. در حالی که متوسط بارندگی سالانه طی همین دوره‌ی آماری ۲۷۴/۵ میلیمتر بوده است (قنبرزاده و بهنیا، ۱۳۸۶: ۵۴). به این ترتیب توده‌ی کارست اخلمد جزو کارست‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. از نظر وسعت سازندهای زمین‌شناسی بیش از ۷۰٪ سطح حوضه‌ی آبریز اخلمد از سنگ آهک توده‌ای مزدوران (۲) تشکیل شده است. سازند آهکی چمن‌بید در اخلمد علیا و عمدتاً در حاشیه‌ی رودخانه رخنمون دارد و کمترین مساحت حوضه را دارا است. سازند چمن‌بید به‌دلیل لایه‌ای بودن سنگ آهک و وجود میان لایه‌های مارنی شرایط مساعدی برای تشکیل اشکال کارستی نداشته و عمدتاً اشکال کارستی در این سازند از انواع انحلالی- فرو ریزشی هستند. رخدادهای کوهزایی سیمیرین پسین تغییرات شدیدی در ساختار سنگ‌های آهکی ژوراسیک فوقانی در این حوضه ایجاد کرده است و انواع مختلفی از تاقدیس‌ها، ناودیس‌ها، و شکستگی‌های فراوان در سنگ آهک به وجود آمده است (ولایتی و اسدی‌زنگنه، ۱۳۸۲: ۱۲۳). در جدول (۲) توزیع سازندهای کربناته و غیرکربناته در سطح حوضه‌ی آبریز اخلمد آورده شده است.

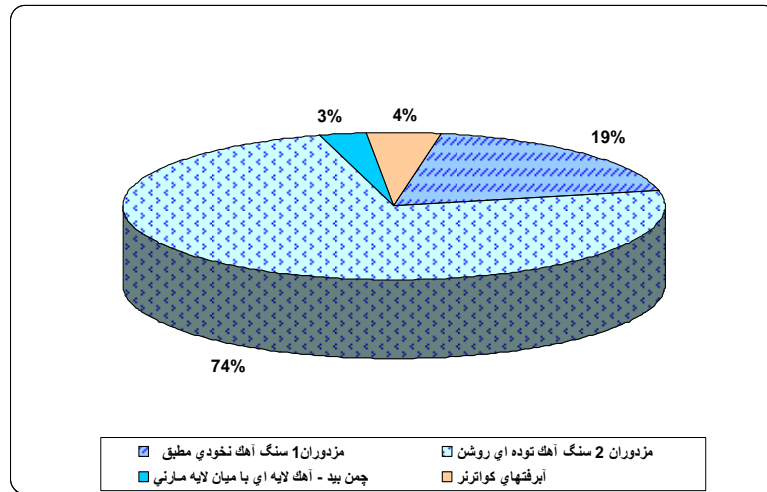


شکل ۳: زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز اخلمد
مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: توزیع سازندهای حوضه‌ی کارستی اخلمد

درصد	مساحت (km ²)	نام سازند	ردیف
۱۹/۱۷	۲۴/۷۲	مزدوران (۱)؛ سنگ آهک نخودی مطبق	۱
۷۳/۴۴	۹۶/۶۸	مزدوران (۲)؛ سنگ آهک توده‌ای روشن	۲
۲/۸۳	۳/۶۶	چمن بید؛ آهک لایه‌ای با میان لایه‌ی مارنی	۳
۴/۵۴	۵/۸۶	آبرفت‌های کوتاه‌تر	۴
۱۰۰	۱۲۸/۹۲	جمع	۵

مأخذ: تصاویر هوایی و عملیات میدانی



شکل ۴: توزیع سازندهای حوضه‌ی کارستی اخلمد

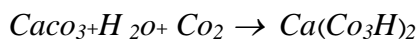
طبقه‌بندی اشکال و ناهمواری‌های کارستی

ناهمواری‌های کارستی اخلمد در زون بینالود حاصل چند عامل مهم زیر است:

۱- وجود سازندهای آهکی کربناته و دولومیت‌ه که مربوط به دوره‌ی ژوراسیک از دوران مزوزوئیک می‌باشد. این شرایط مساعد لیتولوژیکی بستر مناسبی را برای کارست‌زایی به وجود آورده است. سنگ آهک عمدتاً به صورت توده‌ای و بلوک بوده و تنها در سازند چمن‌بید آهک‌ها به صورت مطبق با چینه‌بندی کم ضخامت تشکیل شده‌اند. به طوری که بیش از ۷۳/۴۴ درصد سطح حوضه از آهک‌های توده‌ای مزدوران تشکیل شده است.

خوردگی‌های کربناته یک واکنش شیمیایی برگشتی است که در سازندهای کربناته و دولومیت‌ه با بیش از ۹۰٪ خلوص صورت می‌گیرد و در طول زمان زمین‌شناسی تشکیل پدیده‌های متنوع کارستی را می‌دهد (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۳: ۱۲۹).

این واکنش دو طرفه به صورت زیر انجام می‌پذیرد:



خوردگی‌های سازندهای سیلیکاتی و یا خوردگی‌های ژپسی و نمکی که تشکیل

ناهمواری‌های شبه کارست را می‌دهد (ولایتی، ۱۳۷۴: ۲۲۸) در این حوضه وجود ندارد.

۲- وجود تخلخل ثانویه یا فضاهای خالی به صورت درزو شکاف در سنگ‌های آهکی سازندهای مزدوران (۱)م مزدوران (۲) و وجود لرزه‌های بین چینه‌ای در سازند چمن بید منجر به نفوذ آب در این سیستم‌های درز و شکاف شده و پدیده‌ی انحلال را تشدید کرده است. سیستم‌های درزه‌بندی سنگ در فرآیند کارست‌زایی و تکامل یافتگی اشکال کارستی نقش مهمی دارد. هم‌چنین مورفولوژی اشکال کارست با سیستم‌های درزه‌بندی مرتبط است. برای مثال از شش غار تشکیل شده در سازند لایه‌ای چمن بید، پنج غار به‌صورت طولی و در مسیر درزه‌بندی بین چینه‌ای تشکیل شده‌اند. غار ششم نیز در اثر عملکرد فروریزی در مسیر سطوح چینه‌بندی لایه‌ها تشکیل شده است. غارهای آهکی عمدتاً تحت تأثیر فرآیند انحلال و سیستم‌های درز و شکست در سنگ به وجود می‌آید.

۳- شرایط اقلیمی و نوع آب و هوا؛ اگرچه اشکال تکامل‌یافته‌ی کارست در نواحی مرطوب به‌وجود می‌آیند، ولی طبق تحقیقات انجام شده وجود دوره‌های متناوب خشک و مرطوب عمل کارست‌زایی را تشدید می‌کند (احمدی، ۱۳۸۳: ۹۲). وجود اقلیم نیمه‌خشک سرد در حوضه‌ی آبریز اخلمد باعث گردیده که دوره‌های خشک و مرطوب در این رژیم اقلیمی به وجود آیند و بارش‌های محتوی گاز کربنیک موجب تشکیل کارست شود. اگرچه چورلی معتقد است در مناطقی که میزان بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد اشکال کارست به وجود نمی‌آیند (معمد، ۱۳۸۲: ۲۰۰)، علیرغم این نظر در حوضه‌ی اخلمد با بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر (۲۷۴/۵ میلی‌متر در حوضه) اشکال کارست نسبتاً تکامل یافته به وجود آمده‌اند.

۴- تشکیل یک سیستم زهکشی زیرزمینی از طریق درز و شکاف‌های توده سنگ که منجر به ایجاد گردش هیدرولوژیک آب در توده سنگ کربناته شده است. طبق نظر بوگلی کارست‌شناس معروف آلمانی گردش هیدرولوژیک آب یکی از فرآیندهای مهم کارستی فیکاسیون محسوب می‌شود و در ایجاد غاررودها و مجاری کارستی نقش مهمی دارد (بوگلی، ۱۹۷۵: ۲۲۰). با توجه به شرایط فوق اشکال و ناهموری‌های کارستی را در حوضه اخلمد می‌توان طبق جدول (۳) طبقه‌بندی کرد. منشاء این طبقه‌بندی صرفاً براساس ویژگی‌های مورفولوژی و زمین ریخت‌شناسی مناظر کارست بوده است.

جدول ۳: طبقه‌بندی اشکال کارستیک در حوضه‌ی آبریز اخلمد

ردیف	شکل	دامنه ارتفاعی (m)	نوع سازند
۱	کارن‌های خطی (لاپیه‌ها)	۱۷۰۰-۲۵۰۰	مزدوران (۱) و (۲)
۲	کارن‌های کندویی	۲۰۰۰-۲۷۰۰	مزدوران (۱) و (۲)
۳	پن‌ها ^۱	۱۸۰۰-۲۵۰۰	آهک توده‌ای مزدوران (۲)
۴	دولین‌های انحلالی - فروریزی	۲۰۰۰-۲۷۰۰	مزدوران (۱) و (۲)
۵	آون‌ها و سنگچال‌های قیفی	۲۵۰۰-۲۷۰۰	مزدوران (۲)
۶	شافت کارستی ^۲	۱۸۰۰-۲۲۰۰	آهک توده‌ای مزدوران (۲)
۷	پلیگون‌های کارستی ^۳	۱۵۰۰-۱۹۰۰	مزدوران (۱)
۸	غاررودها و غارها	۱۸۰۰-۲۴۰۰	مزدوران و چمن‌بید
۹	چشمه‌های کارستی	۱۶۰۰-۲۳۰۰	مزدوران (۲)
۱۰	کانیون کارستی ^۴	۱۷۰۰-۲۵۰۰	مزدوران (۱) و (۲) و چمن‌بید

مأخذ: عملیات صحرایی و تصاویر هوایی

کارن‌ها انواع متعددی داشته و از اشکال میکروکارن‌ها تا کارن‌های بزرگ در دامنه‌های روبه شمال حوضه‌ی اخلمد مشاهده می‌شود. کارن‌های خطی، کارن‌های سینوسی، کارن‌های کندویی یا حفره‌ای (با قطر ۵ تا ۵۰ سانتی‌متر) در سنگ‌های کربناته این منطقه شناسایی شدند. این اشکال کارستی در سازندهای مزدوران (۱) و (۲) با سن ژوراسیک فراوانی بیشتری دارد (شکل ۵).

1- Pans
2- karst shaft
3- karst polygon
4- karst Canyon

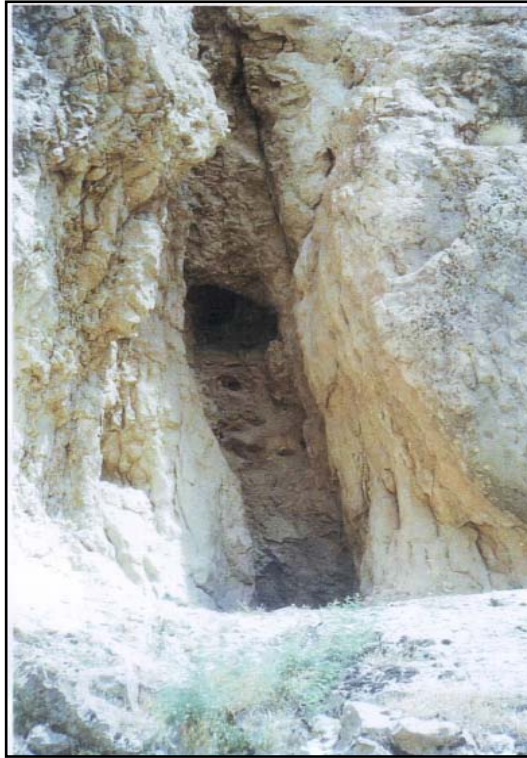


شکل ۵: کارن در توده‌ی کارستی اخلمد
مأخذ: تابستان ۱۳۸۵، نگارندگان

پن‌ها یا حفره‌های انحلالی بزرگتر از کارن‌های کوچک بوده و کف این حفره‌ها عموماً هموار است. مقادیر زیادی از کانی کلسیت همراه با فلدسپات در کف پن‌ها در اثر فرآیند انحلال نهشته شده است. بیش از ۴۵ حفره به صورت پن در سازند توده‌ای مزدوران شناسایی شده است. اگر چه فورد و ویلیامز (۲۰۰۳: ۳۲۱) عنوان کرده‌اند که کف پن‌ها در کارست‌های منطقه ساراواک^۱ پوشیده از گیاهان می‌باشد ولی در تمام پن‌های شناسایی شده در حوضه‌ی اخلمد هیچ‌گونه رشد گیاهی در طول فصل بهار و تابستان مشاهده نشد.

تعداد آون‌ها یا سنگچال‌های قیفی شکل که سطح توده کارستی را به غارها یا غار رودها مرتبط می‌کند، بسیار زیادند. از نظر ژنز بیشتر آون‌ها منطبق بر شکاف‌ها و درزه‌های سنگ آهک بوده که در اثر انحلال توسعه یافته‌اند. تعداد آون‌ها از ۳ کیلومتری بالادست روستای اخلمد سفلی به سوی ارتفاعات افزایش می‌یابد. نهشته‌های فلدسپات با رنگ تیره در اطراف دهانه‌ی آون‌ها حاکی از زهکشی آب از طریق این حفره‌ها به توده‌ی سنگ بوده است. در حال حاضر تحقیقات ناحیه‌ای به منظور ارتباط آون‌ها با آبخوان کارستی از طریق ردیابی توسط نگارندگان در حال انجام است (شکل ۶).

1- Sarawack



شکل ۶: آون‌ها در توده کارستی اخلمد
مأخذ: تابستان ۱۳۸۵، نگارندگان

یکی از جالب‌ترین اشکال کارستی در حوضه‌ی اخلمد، غارها هستند. از نظر تعریف غار یک حفره‌ی طبیعی در سنگ محسوب می‌شود که به‌صورت یک مجرا جریان‌آب را بین نقطه‌ی ورودی و نقطه‌ی خروجی زهکشی می‌کند (وایت، ۱۹۸۴: ۲۳). به این ترتیب غار ممکن است یک مجرا به قطر بین ۵ تا ۱۵ میلیمتر را تا حفره‌های بسیار بزرگ که انسان به درون آن وارد می‌شود شامل شود (بیش از ۳۰ متر قطر). از نظر علمی مجاری که قطر آنها کمتر از ۵ میلیمتر باشد ولی دارای نقطه‌ی ورودی یا خروجی جریان باشند تحت عنوان غار اولیه یا مادر غار نامیده می‌شود. غارهای تشکیل شده در حوضه‌ی اخلمد در سازندهای مزدوران و چمن‌بید از نوع انحلالی-فروریزی هستند و بیشتر در تاقدیس‌های آهکی تشکیل شده‌اند.

ژئومتری چهار غار عمده شناسایی شده در حوضه‌ی اخلمد در جدول (۴) آورده شده است. مورفولوژی مدخل غارها مرتبط با عواملی مانند لایه‌بندی سنگ آهک، نوع

چین‌خوردگی (ساختار سنگ آهک) و عملکرد هوازدگی مکانیکی همراه با فرآیند انحلال است. به‌طوری‌که در سازند چمن‌بید مدخل غارها بیضی نامنظم بوده درحالی‌که در سازند توده‌ای مزدوران مدخل غارها دایره‌ای است (غار گربه در ۳ کیلومتری اخلمد سفلی).

جدول ۴: ژئومتری غارهای عمده‌ی شناسایی شده در حوضه‌ی اخلمد

موقعیت غار	ارتفاع مجرا (متر)	عرض متوسط (متر)	طول غار (متر)	مدخل غار		نام غار	ردیف
				ارتفاع (m)	طول (m)		
۴/۵ کیلومتری (جهت NW-SE) اخلمدسفلی	۳/۳	۱۷/۵	۲۸/۶	۱/۷	۴/۱	غار گربه	۱
۳/۵ کیلومتری (جهت NW-SE) اخلمد علیا	۲/۷	۱/۷	۱۶/۲	۱/۶	۱/۱	غارخفاش	۲
۳ کیلومتری (جهت N-S) اخلمد سفلی	۰/۹	۱/۵	۱۳/۵	۰/۵	۰/۷	غارپلنگ	۳
باغ ستاره (جهت N-S) در حوضه	۳	۵	۳۰	۰/۶	۰/۵	غارباغ‌سنگ	۴

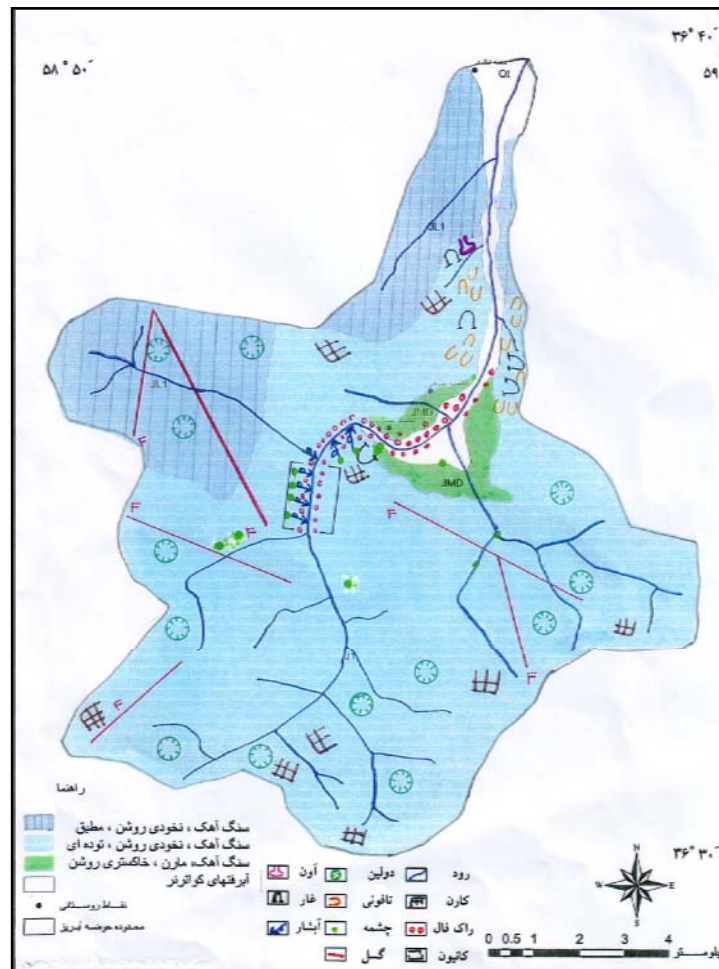
مأخذ: عملیات میدانی در مهر ۱۳۸۵ (نگارندگان)

یکی دیگر از اشکال ژئومورفولوژیک کارستی، کانیون‌ها یا دره‌های عمیق کارستی در حوضه‌ی اخلمد است. مطالعات انجام گرفته در قسمت‌های پایین‌دست و بالادست حوضه‌ی اخلمد آشکار ساخت که شش کانیون اصلی در این حوضه با دیواره‌های پرشیب و صخره‌ای تشکیل شده است. عرض کانیون‌ها از ۵ تا ۲۰ متر و عمق آنها از ۳۰ تا ۱۶۰ متر در نوسان است.

در اغلب موارد هوازدگی مکانیکی در دیواره‌های کانیون به‌ویژه در جایی که سنگ اساس کانیون، آهک‌های لایه‌ای سازند چمن‌بید تشکیل می‌دهد، منجر به ایجاد راکفال‌ها و ریزش‌های تخته‌سنگی شده است. وجود شیار درزهای عمیق و شکاف‌های بزرگ در دیواره‌ی کانیون‌هایی که در سازند مزدوران تشکیل شده‌اند از دیگر ویژگی‌های این دره‌های عمیق است.

ریزش تخته‌سنگی در انتهای کانیون‌ها موجب انسداد دره گردیده است. در بعضی از قسمت‌های این کانیون‌ها عملکرد زیر بری آب و انحلال در توده‌ی سنگ هم چنان

ادامه داشته که به مرور زمان موجب فروریزش سقف این تونل‌های آهکی گردیده و کانیون‌های جدیدی به وجود خواهد آمد. تشکیل چشمه‌های فصلی در دیواره‌ی کانیون‌ها به ویژه در مسیر آبشار اصلی اخلمد (دره پیش باغ) از دیگر ویژگی‌های کانیون‌ها است. کانیون‌ها به دلیل جذابیت زیادی که از نظر صخره‌ای بودن و تنوع اشکال ناهمواری در دیواره‌های خود دارند به ویژه ایجاد آبشارها برای گردشگران از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (شکل ۷- ژئومورفولوژی حوضه‌ی آبریز اخلمد).



شکل ۷: ژئومورفولوژی حوضه‌ی آبریز اخلمد

نتیجه‌گیری

شناخت ویژگی‌های ژئومورفولوژیک توده‌های کارستی نه فقط از نظر بنیادی، بلکه به لحاظ تأمین آب مورد نیاز انسان حائز اهمیت است (ثروتی و اسکانی، ۱۳۸۳: ۱۰). حوضه‌ی کارستی اخلمد در زون بینالود از جمله توده‌های کارستی در قلمروی نیمه خشک است که سن آن به ژوراسیک می‌رسد. وجود اشکال و ناهمواری‌های کارستی از جمله کانیون‌ها، آون‌ها و کارن‌ها به ویژه غارهایی که در اثر عملکرد انحلال و فرو ریزش ایجاد شده‌اند، یکی از نواحی جاذب توریسم در شمال غرب کلان شهر مشهد می‌باشد. به‌طور کلی از معرفی جاذبه‌های دره‌ی اخلمد چنین برمی‌آید که در این منطقه بیشتر از همه مناظر، اشکال و چشم‌اندازهای زیبای ژئومورفولوژیکی و کارستی جاذب گردشگران است (کدیور و سقایی، ۱۳۸۵: ۱۱۸). تنوع اشکال کارستی به ویژه در قسمت‌های مرکزی و بالادست حوضه حاکی از تکامل‌یافتگی این توده‌ی کارستی بوده است. نقش عوامل تکتونیکی مانند گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجب توسعه‌یافتگی تخلخل ثانویه گردیده و در نتیجه آبخوان‌های آهکی غنی را در این توده‌ی کارستی به‌وجود آورده است. از آنجا که سیستم زهکشی کارست حساسیت بالایی به ورود آلاینده‌ها داشته و این ناحیه جزو قلمروهای گردشگری با تراکم بالا محسوب می‌شود، ضرورت دارد که در زمینه‌ی مدیریت زمین‌های کارستی و برنامه‌ریزی مدیریت کنترل آبخوان‌های کارست مطالعات بیشتری صورت گیرد. تا از این طریق بتوان مدیریت کنترل آب را در توده‌های کارستی توسعه بخشید. بنابراین در مراحل مختلف فرآیند برنامه‌ریزی نیاز به مشارکت و مداخله ژئومورفولوژی نیز پیش می‌آید (هوک، ۱۳۷۲: ۲۶۱). عمدتاً در مناطق کارستی توده‌ای به‌ویژه حرکات رو به پایین خاک، رسوب و سنگ صورت می‌گیرد (هرمزی، ۱۳۸۳: ۴۳۷). در قسمت‌های بالادست حوضه‌ی کارستی اخلمد نیز حرکات توده‌ای از نوع ریزش‌ها و لغزش‌های کم ضخامت به دلیل تشدید کاربری گسترش یافته است. علیرغم اهمیتی که توده‌های کارستی در کشور ما دارد متأسفانه تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی کارست انجام نگرفته است. درحالی‌که گسترش سازندهای آهکی مزوزوئیک و پالئوزوئیک در سطح کشور بسیار زیاد بوده و ضرورت دارد که مراکز پژوهشی ویژه‌ای به‌منظور مطالعه برروی ژئومورفولوژی کارست، هیدرولوژی کارست غار و هیدروژئولوژی توده‌های کارستی، توریست کارست- غار و مدیریت زمین‌های آهکی تشکیل گردد.

منابع و مأخذ

- ۱- آسایش، حسین و مشیری، سیدرحیم (۱۳۸۵). روش‌شناسی و تکنیک‌های تحقیق علمی در علوم انسانی با تأکید بر جغرافیا، تهران. نشر قومس.
- ۲- آسیایی، مهدی و جوانمرد، سهیلا (۱۳۸۳). فرهنگ اصطلاحات ژئومورفولوژی، پژوهشکده امیرکبیر.
- ۳- احمدی، حسن (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی کاربردی. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۴- اصغری‌مقدم، محمدرضا (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی، انتشارات علوی تهران.
- ۵- بانک اطلاعات و خدمات ماشینین (۱۳۸۵). آمار بارندگی و درجه حرارت ایستگاههای منطقه‌ی مورد مطالعه سازمان هواشناسی کشور.
- ۶- ثروتی، محمدرضا و اسکانی، غلامحسین (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی کارست در تاق‌دیس خاویز (شمال‌شرق بهبهان). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال اول. شماره ۳. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- ۷- حقی‌پور، نگار (۱۳۸۶). بررسی ریخت زمین‌ساختی گستره کپه‌داغ- بینالود بر پایه شاخص‌های گرادیان شیب رود و هیپسومتری، فصلنامه علوم زمین. سال ۱۶. شماره ۶۴. وزارت صنایع و معادن. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۸- رامشت، محمدحسین، کمانه، سیدعبدالعلی و فتوحی، صمد (۱۳۸۶). معرفت‌شناسی و مدل‌سازی در ژئومورفولوژی، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. سال ۳۹. شماره ۶۰. دانشگاه تهران.
- ۹- سازمان جغرافیایی وزارت دفاع (۱۳۷۵). نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.
- ۱۰- سازمان جغرافیایی وزارت دفاع (۱۳۸۰). نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.
- ۱۱- سازمان جغرافیایی وزارت دفاع (۱۳۸۵). نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.
- ۱۲- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۵). نقشه زمین‌شناسی مشهد به مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰.
- ۱۳- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی خراسان (۱۳۸۵) گروه نقشه و GIS.
- ۱۴- سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۸۲). عکس‌های هوایی به مقیاس ۱:۴۰/۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.
- ۱۵- عطارزاده (۱۳۶۳). علایم و شکل ظاهری کارست، مجموعه مقالات کنفرانس مطالعات منابع آب در تشکیلات کارستی.

۱۶- قنبرزاده، هادی و بهنیافر، ابوالفضل (۱۳۸۶). پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در دامنه‌های جنوبی بینالود با تأکید بر زمین‌لغزش و سیلاب، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد. معاونت پژوهشی.

۱۷- کدیور، علی‌اصغر و سقایی، مهدی (۱۳۸۵)، ساماندهی گردشگری در تفرجگاههای پیرامون شهری (۱) (مطالعه موردی: دره اخلمد)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۲۱. شماره ۸۳. پژوهشکده امیرکبیر.

۱۸- معتمد، احمد (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی، جلد دوم. تهران. انتشارات سمت.

۱۹- وزارت نیرو (۱۳۸۴). آمار آب‌های سطحی و ایستگاههای هیدرومتری منطقه، مرکز آمار آب‌های سطحی خراسان رضوی .

۲۰- ولایتی، سعدالله؛ اسدی‌زنگنه، محمدعلی (۱۳۸۳). حوضه کارستی اخلمد، نمادی از تکامل ژئومورفیک کارست، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. دانشگاه فردوسی مشهد شماره ۱.

۲۱- ولایتی، سعدالله (۱۳۷۴). جغرافیای آب‌ها و مدیریت منابع آب، انتشارات خراسان .

۲۲- ولایتی، اسداله و بهنیافر، ابوالفضل (۱۳۸۶). غارشناسی (فرآیندها، توسعه و مدیریت)، چاپ اول. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.

۲۳- هرمزی، احمد (۱۳۸۳). زمین‌شناسی زیست‌محیطی، مرکز نشر دانشگاهی تهران .

۲۴- هوک‌ج‌ام (۱۳۷۳) ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی. ترجمه محمدجعفر زمردیان. چاپ اول. ۱۳۷۲. انتشارات سمت .

25- *Bakalovich and et.al (2004) karst and caves, U.S.A .*

26- *Boegli, (1975) Hydrology of karst, London .*

27- *Ford and Williams , (2003): karst geomorphology and hydrolog , London.*

28- *Gillison. D. (2004) caves, processes, development and management, Edvard Arnold. London.*

29- *Millanovic, P.(1988). Karst hydrology WRP, Colorado, U.S.A.*

30- *White (1984). karst geomorphology wiely publish.*