

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۴ - تابستان ۱۳۸۸

وصول مقاله : ۱۳۸۶/۳/۵

تأیید نهایی : ۱۳۸۷/۳/۱۳

صفحات : ۱۲۱ - ۱۴۰

ویژگی‌های ژئومورفیک توده‌ی کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود

دکتر هادی قنبرزاده^۱

استادیار جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

عباسعلی فرزانه

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی

دکتر ابوالفضل بهنیافر^۲

استادیار جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

چکیده

حوضه‌ی آبریز اخلمد که در سازنده‌های آهکی کارستی شونده مزدوران و چمن‌بید واقع شده است متعلق به دوران مژوزوئیک 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، ۲۰۰۴: ۲۲) هدف اصلی از این تحقیق شناسایی و طبقه‌بندی اشکال کارستی در مقیاس ماکرو ژئومورفولوژی و میکرو ژئومورفولوژی 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، کارست‌زاپی^۵، آون^۶ و سنگچال^۷.

1- a.Behniafar@yahoo.com

2- h.Qanbarzadeh631@yahoo.com

3- Epi- karst

4- Lapiaz (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 (عطل‌زاده، 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 فروفتگی‌های بسته، زهکشی زیرزمینی توسعه یافته 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 ریخت‌سنگی کپه‌داغ و بینالود نشان می‌دهد که شاخص‌های گرادیان شبیب رود و هیپوسومتری در منطقه‌ی کارستی این ارتفاعات حاکی از وجود آبخوان آهکی می‌باشد (حقی‌پور، ۱۳۸۶: ۷۴).

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

پراکندگی توده‌های کارستی در سطح کشورما به‌ویژه کارست‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث گردیده که اشکال ژئومورفولوژی متنوعی در آنها ایجاد شود و از طرفی وجود چشم‌های آهکی با دبی بالا در تأمین منابع آب روستاهای 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. هم چنین طبقه‌بندی اشکال ژئومورفولوژیک کارست‌ها عمدهاً به صورت 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 (پاکالوویچ 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 عملکردگرهی 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 جزیی 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 ۱:۴۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، ژئومتری برخی از اشکال کارست سطحی از طریق عملیات صحرابی مانند اندازه‌گیری قطر و عمق دولین‌ها^۲، سنجش شکل هندسی مداخل غارها، اندازه‌گیری عرض شکاف‌های آهکی و سنجش دهانه‌ی آون‌ها به‌وسیله‌ی ابزارهای فیزیکی آزمایشگاهی صورت گرفته است.

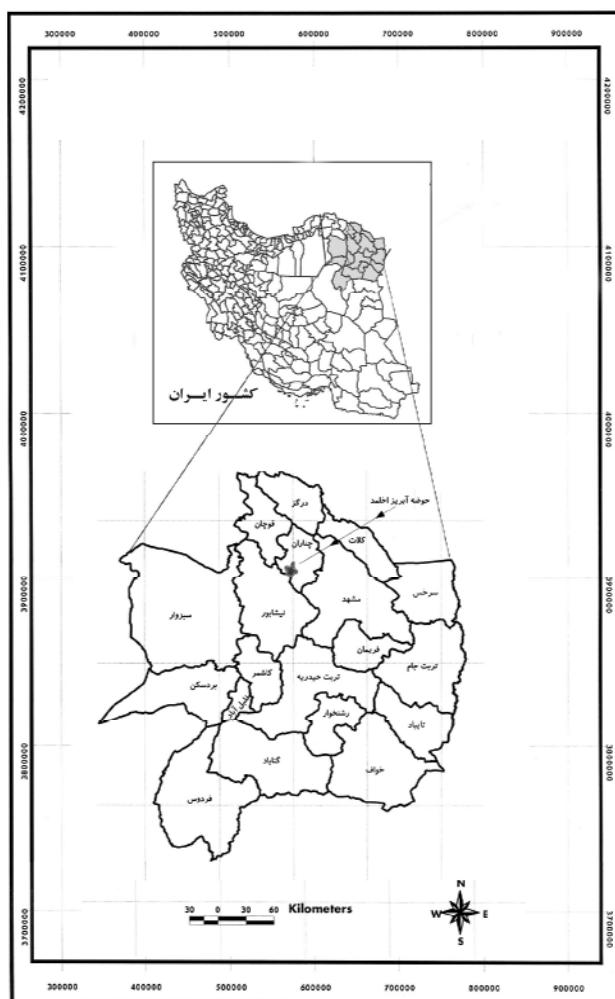
نقشه‌های پایه مانند نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، اقلیم (همباران و همدما) و غیره به‌منظور تهیه نقشه ژئومورفولوژی منطقه و طبقه‌بندی اشکال کارستیک تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است.

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 خط الرأس 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 سرحدار 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° طول شرقی واقع شده است. نام حوضه از روستای اخلمد در بالادست این حوضه‌ی آبریز گرفته شده است.



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).

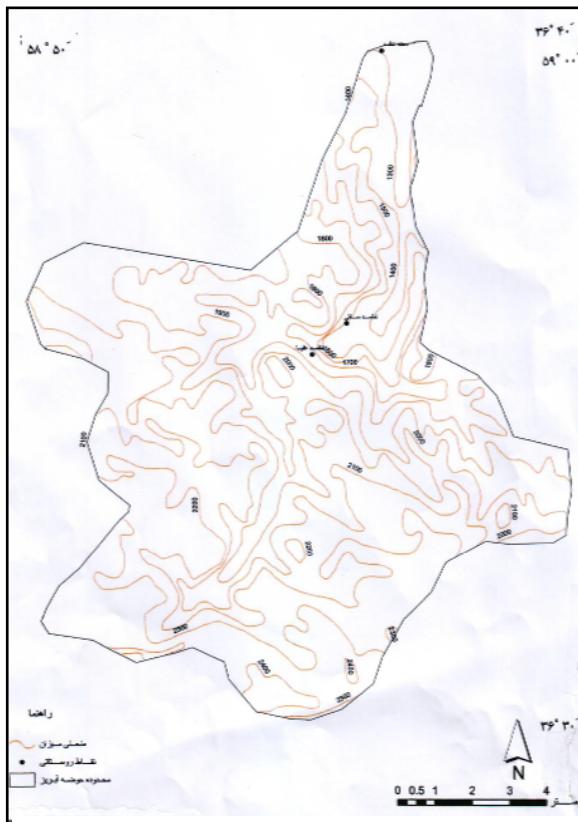
جمعیت ساکن در حوضه‌ی آبریز بر اساس آمار سال ۱۳۸۵، بالغ بر ۱۳۲۲ نفر بوده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۱۵: ۱۲۷). محیط حوضه آبریز اخلمد ۶۰ کیلومتر و طول آبراهه‌ی اصلی آن ۲۰ کیلومتر می‌باشد. منشاء اصلی رودخانه اخلمد چشمۀ کارستی اخلمد علیا بوده که دبی آن ۲۰۰ لیتر در ثانیه می‌باشد و از کوه منیزه جوشش می‌کند. آب چشمۀ از ارتفاع ۴۵ متری به صورت آبشار به کف دره می‌ریزد و با شعبات فرعی دیگری که از کوههای پیش‌داغ و شیرمرغ سرچشمۀ می‌گیرند تشکیل رودخانه اخلمد را می‌دهد. زیبایی چشم‌انداز این چشمۀ و آبشار آن سبب شده است که اخلمد را لقب بهشت خراسان بدنهند (صغری مقدم، ۱۳۱۲: 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)	$C = 1/48$
۶	زمان تمرکز در حوضه	۲ ساعت
۷	هدایت الکتریکی	۴۰ میکرومöhوس
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. به طوری که آخرین رتبه‌ی رودخانه علیرغم وسعت زیاد حوضه از روش استرالر^۱ برابر $U=4$ محاسبه شده است. شکل (۲) توپوگرافی حوضه‌ی کارستی اخلمد را نشان می‌دهد.

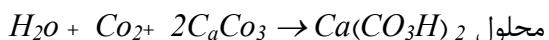


شکل ۲ : توپوگرافی حوضه‌ی آبریز اخلمد

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 خردشدنگی توده‌های سنگی در اثر نیروهای تکتونیکی عامل مهمی در کارست‌شدنگی است (میلانوویچ، ۱۹۸۱: ۲۷). هنگامی که میزان کلسیت سنگ آهک بالا بوده و سیستم‌های درز و شکست در آن توسعه یافته باشد وجود نزولات جوی عملکرد کارست شدنگی را در توده‌ی سنگ تشید 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 به صورت توده‌ای و نیز سنگ آهک مارنی سازند چمن بید 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 چین خوردگی‌ها 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 چمن بید 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 (قنبورزاده و بهنیافر، 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 چمن بید در اخلمد علیا و عمده‌ای در حاشیه‌ی رودخانه رخنمون دارد و کمترین مساحت حوضه را دارد. سازند چمن بید به دلیل لایه‌ای بودن سنگ آهک و وجود میان لایه‌های مارنی شرایط مساعدی برای تشکیل اشکال کارستی نداشته و عمده‌ای اشکال کارستی در این سازند از انواع انحلالی- فرو ریزشی هستند. رخدادهای کوه‌زایی سیمیرین پسین تغییرات شدیدی در ساختار سنگ‌های آهکی ژوراسیک فوکانی در این حوضه ایجاد کرده است و انواع مختلفی از تاقدیس‌ها، ناویدیس‌ها، 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.



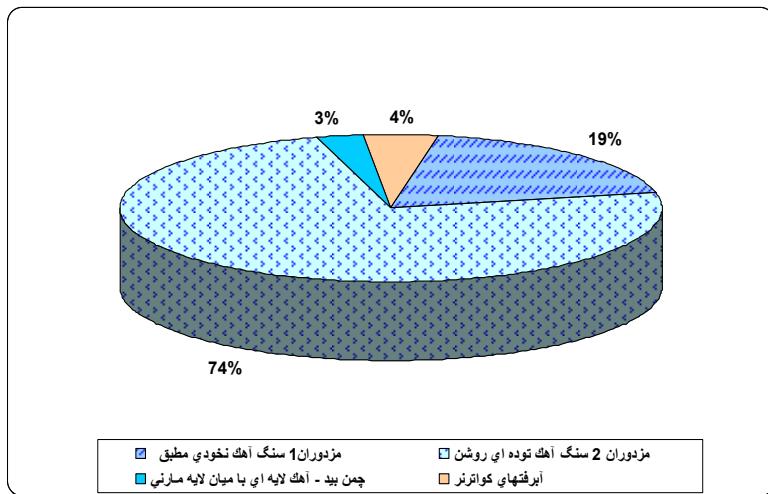
شکل ۳: زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز اخلمد

مأخذ: نگارنده‌گان

جدول ۲: توزیع سازندهای حوضه‌ی کارستی اخلمد

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

مأخذ: تصاویر هوایی و عملیات میدانی



شکل ۴: توزیع سازندهای حوضه‌ی کارستی اخلمد

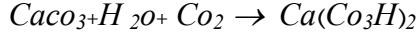
طبقه‌بندی اشکال و ناهمواری‌های کارستی

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 مزوژوئیک می‌باشد. این شرایط مساعد لیتولوژیکی بستر مناسبی را برای کارست‌زاپی به وجود آورده است. سنگ آهک عمدتاً به صورت توده‌ای و بلوك بوده و تنها در سازند چمن‌بید آهک‌ها به صورت مطبق با چینه‌بندی کم ضخامت تشکیل شده‌اند. به‌طوری‌که بیش از $\frac{73}{44}$ درصد سطح حوضه از آهک‌های توده‌ای مژدaran 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 ولیامز، ۲۰۰۳: ۱۲۹).

این واکنش دو طرفه به صورت زیر انجام می‌پذیرد:



خوردگی‌های سازندهای سیلیکاتی و یا خوردگی‌های ژیپسی و نمکی که تشکیل ناهمواری‌های شبه کارست را می‌دهد (ولايتی، ۱۳۷۴: ۲۲۱) 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 چینه‌های در سازند چمن بید منجر به نفوذ آب در این سیستم‌های درز و شکاف شده و پدیده‌ی انحلال را تشديد کرده است. سیستم‌های درزه‌بندی سنگ در فرآیند کارست‌زایی و تکامل یافته‌ی 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 به صورت طولی و در مسیر درزه‌بندی بین چینه‌های تشکیل شده‌اند. غار ششم نیز در اثر عملکرد فروریزشی 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 هوای اگرچه اشکال تکامل یافته‌ی کارست در نواحی مرطوب به وجود می‌آیند، ولی طبق تحقیقات انجام شده وجود دوره‌های متناوب خشک و مرطوب عمل کارست‌زایی را تشديد می‌کند (احمدی، ۹۲: ۱۳۱۳). 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 (معتمد، 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 مجاري 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 زمین‌ریخت‌شناسی مناظر کارست بوده است.

جدول ۳: طبقه‌بندی اشکال کارستیک در حوضه‌ی آبریز اخلمد

ردیف	شكل	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 - فروریزشی	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	چشم‌های 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 سازنده‌های مزدوران (۱) و (۲) با سن ژوراسیک فراوانی بیشتری دارد (شکل ۵).

1- Pans

2- karst shaft

3- karst polygon

4- karst Canyon

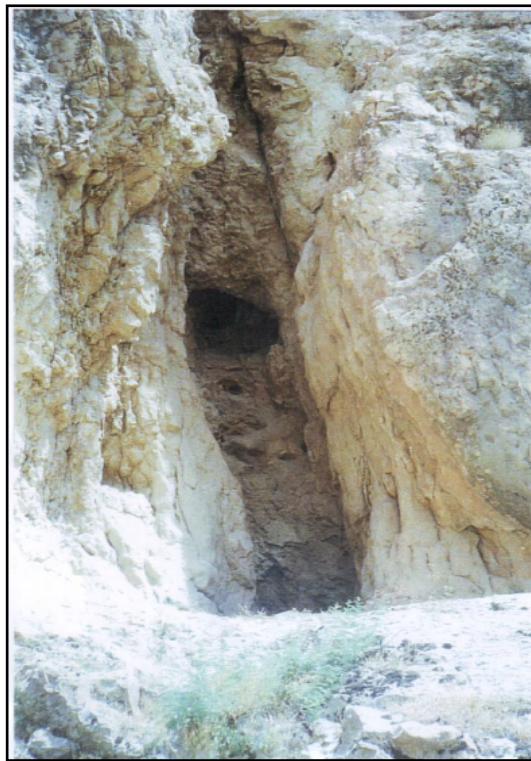


شکل ۵: کارن در توده‌ی کارستی اخلمد

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 درسازند 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 درزهای سنگ آهک بوده که در اثر انحلال توسعه یافته‌اند. تعداد آون‌ها از ۳ کیلومتری بالا دست 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).



شکل ۶: آون‌ها در توده کارستی اخلمد

ماخن: 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 به صورت یک مجرای جریان آب را بین نقطه‌ی ورودی و نقطه‌ی خروجی زهکشی می‌کند (ویت، ۱۹۸۴: ۲۳). به این ترتیب غار ممکن است یک مجرای 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 چمن بید از نوع انحلالی- فروریزشی 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

چین خوردگی (ساختار سنگ آهک) و عملکرد هوازدگی مکانیکی همراه با فرآیند انحلال است. به طوری که در سازند چمن بید مدخل غارها بیضی نامنظم بوده در حالی که 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) اخلمد سفلی	۲/۳	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	غار خفاش	۲
۳ کیلومتری (جهت N-S) اخلمد سفلی	۰/۹	۱/۵	۱۳/۵	۰/۵	۰/۷	غار پلنگ	۳
باغ ستاره (جهت N-S) در حوضه	۳	۵	۳۰	۰/۶	۰/۵	غار باغ سنگ	۴

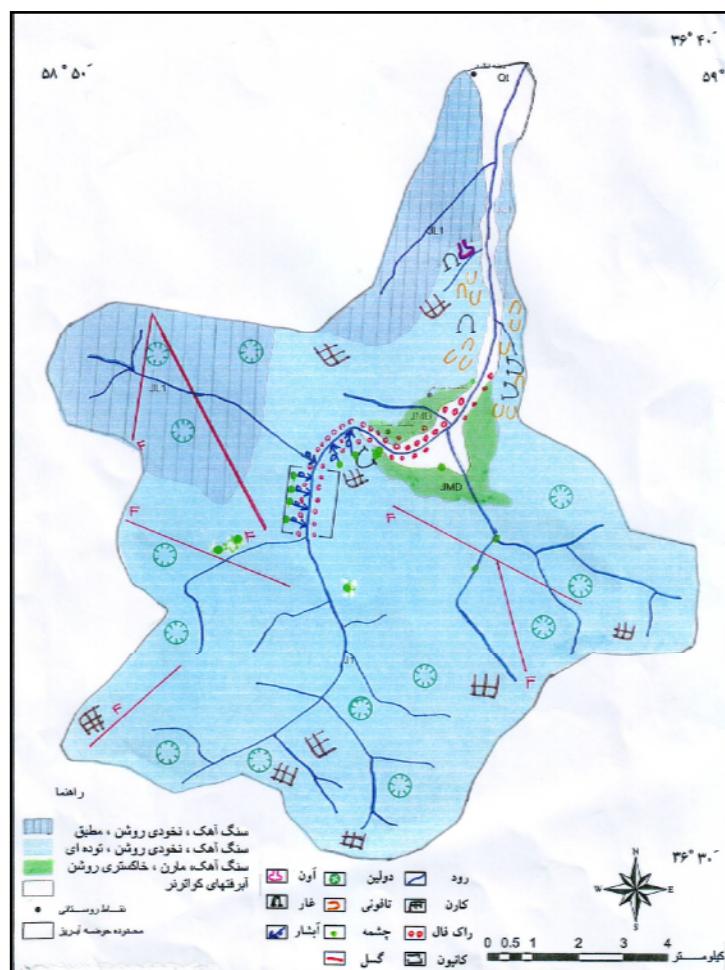
مأخذ: عملیات میدانی در مهر ۱۳۸۵ (نگارنده‌گان)

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 به ویژه در جایی که سنگ اساس کانیون، آهک‌های لایه‌ای سازند چمن بید 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 دیوارهای کانیون‌ها به ویژه در مسیر آبشار اصلی اخلمد (دره پیش باغ) از دیگر ویژگی‌های کانیون‌ها است. کانیون‌ها بهدلیل جذابیت زیادی که از نظر سخره‌ای بودن و تنوع اشکال ناهمواری در دیوارهای 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، ۱۳۱۳: 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. به طورکلی از معرفی جاذبه‌های دره‌ی اخلمد چنین برمنی‌آید که در این منطقه بیشتر از همه مناظر، اشکال و چشم‌اندازهای زیبای ژئومورفولوژیکی و کارستی جاذب گردشگران است (کدیور و سقایی، ۱۳۱۵: ۱۱۱). تنوع اشکال کارستی به ویژه در قسمت‌های مرکزی و بالادست حوضه حاکی از تکامل یافتنی این توده‌ی کارستی بوده است. نقش عوامل تکتونیکی مانند گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجب توسعه یافتنی تخلخل ثانویه گردیده و در نتیجه آبخوان‌های آهکی غنی را در این توده‌ی کارستی به وجود 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 آب را در توده‌های 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 (هوك، ۱۳۷۲: ۲۶۱). عمدتاً در مناطق کارستی توده‌ای به ویژه حرکات رو به پایین خاک، رسوب و سنگ صورت می‌گیرد (هرمزی، ۱۳۱۳: ۴۳۷). در قسمت‌های بالادست حوضه 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 گسترهای در زمینه‌ی کارست انجام نگرفته است. در حالی که گسترش سازندهای آهکی مزوژوئیک و پالئوزوئیک در سطح کشور بسیار زیاد بوده و ضرورت دارد که مراکز بیژوهشی ویژه‌ای به منظور مطالعه برروی ژئومورفولوژی کارست، هیدرولوژی کارست غار و هیدرولوژی 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- اصغری مقدم، محمدرضا (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی، انتشارات علوی تهران.
- ۵- بانک اطلاعات و خدمات ماشینی (۱۳۸۵). آمار بارندگی و درجه حرارت ایستگاه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه سازمان هواشناسی کشور.
- ۶- ژروتی، محمدرضا و اسکانی، غلامحسین (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی کارست در تاقدیس خاویز (شمال شرق 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 شب و هیپسومتری، فصلنامه علوم زمین. سال ۱۶. شماره ۶. وزارت صنایع و معادن. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافاتمعدنی 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- قبرزاده، هادی و بهنیافر، ابوالفضل (۱۳۸۶). پنهانه‌بندی 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 موردنی: 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، اسدالله 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- هوکچ ام (۱۳۷۳) ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی. ترجمه محمد مجعفر زمردان. 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.

