

# عوامل بالقوهی آلایندهی منابع آب کارست در حوضه کارده (شمال شهرستان مشهد)

« ضرورت مدیریت و حفاظت منابع آب کارست »

دکتر محمدرضا ثروتی  
دانشیار جغرافیا دانشگاه شهید بهشتی

دکتر ابوالفضل عشقی  
استادیار جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

## چکیده

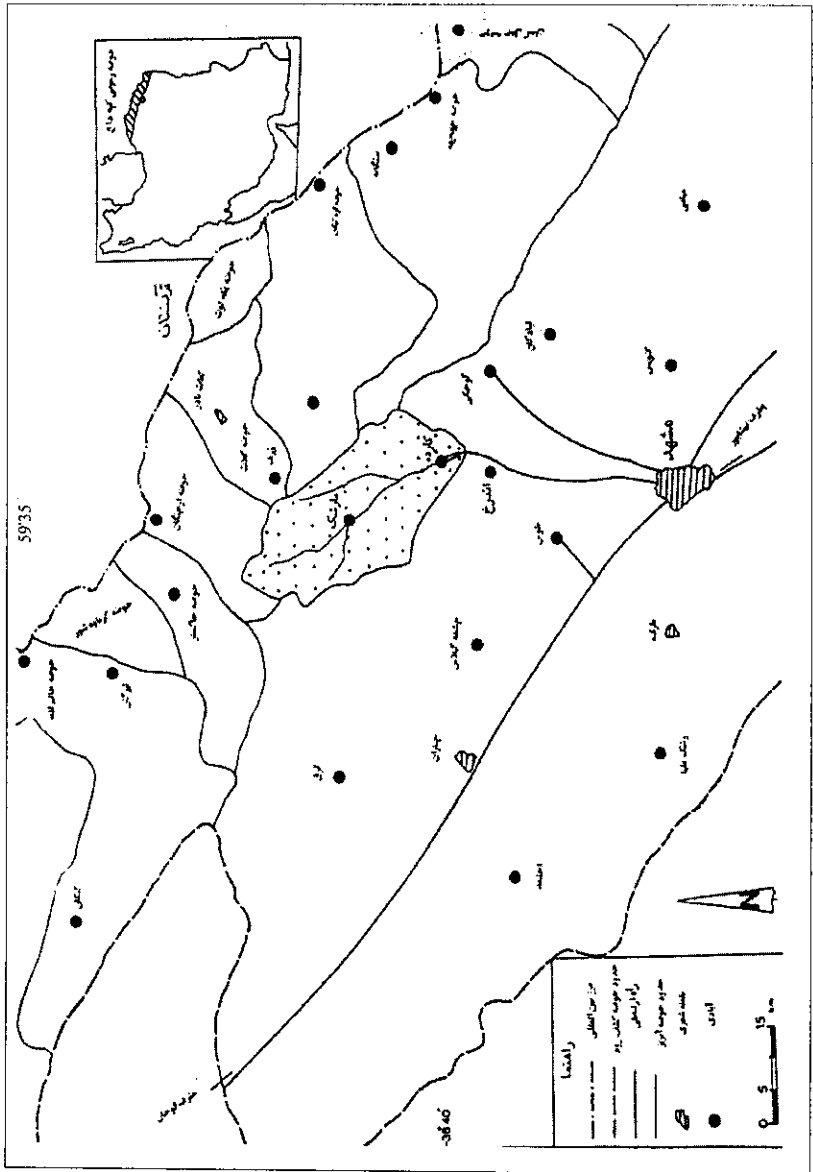
بیش از ۵۰ درصد لیتولوژی حوضه آبریز کارده در شرق زون کبه داغ را سنگهای کریناته آهکی و دولومیتی تشکیل می دهد، که علاوه بر فرمهای کارستی تکامل یافته در آنها، به شدت درز و شکستگی یافته اند. از آنجا که حساسیت سیستم های زهکشی کارست به انتقال یا ورود هرگونه مواد آلاینده زیاد است، وجود هرگونه مواد آلاینده مانند تجمع زباله ها، فضولات دام ها، جریان یافتن فاضلابها و پسابهای سکونت گاهها به رودخانه ها و زباله ریزی توسط گردشگران می تواند از جمله عوامل بالقوه در منابع آب کارست حوضه باشد. علی رغم بهره برداری از آبخان های کارستی در ارتفاعات شمال شهرستان مشهد و نیز استفاده از منابع آبهای سطحی کارست به منظور آب شرب شهر مشهد، هنوز هیچ نوع اقدامات حفاظتی و یا مدیریت منابع آب کارست وجود ندارد. این مسأله یکی از مشکلات عمدهی استفاده از منابع آب کارست در سطح منطقه ای و ملی می باشد و ضرورت یک استراتژی و برنامه ریزی همه جانبه را در کنترل منابع آب کارست می طلبد. هدف اصلی مقاله ی حاضر ویژگی های کارست ژئومورفولوژی حوضه ی کارده در ارتباط با حساسیت سیستم زهکشی و نیز عوامل بالقوه آلایندهای است که به ویژه طی سالهای اخیر شدت یافته اند. این عوامل پس از شناسایی در منطقه طبقه بندی گردیده و موقعیت تمرکز آنها بر روی نقشه ترسیم شده است که می تواند برای مدیران اجرایی و برنامه ریزان حائز اهمیت باشد.

واژگان کلیدی: کارست، آبخانهای آهکی، فیلتراسیون، دولین، شافت کارستی، اون، غاررود، سنگچالها، شیار درز، کاربری زمین، ایبی کارست.

## مقدمه

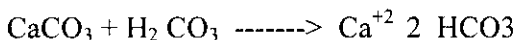
نظر به آن که آب شرب ۲۵ درصد جمعیت جهان از منابع آبی کارست تأمین می‌گردد (Gillieson, 2001: 17) و به‌ویژه در کشور ما آبخان‌های سازندهای سخت کربناته در توده‌های کارستی زاگرس، البرز، کپه داغ و ایران مرکزی و سواحل فارس به لحاظ ذخایر آب شیرین حائز اهمیت هستند، ضروری است که یک مدیریت همه جانبه در زمینه‌ی حفاظت و کنترل منابع آب کارست صورت بگیرد. چنین مدیریتی بدون شناسایی دقیق حوضه‌های کارستی و بررسی ژئومورفولوژیک آن‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود. از طرف دیگر ورود هرگونه مواد آلاینده در پی کارست (کارست سطحی) سریعاً می‌تواند بر سیستم زه‌کشی کارست عمقی مؤثر واقع گردد، (Quinland, 1998: 84) زیرا درز و شکاف‌های ایجاد شده در سنگ آهک به سهولت مواد آلاینده را بدون پالایش طبیعی (فیلتراسیون) به آبخان آهکی انتقال می‌دهند. در زون کپه داغ، پهنه‌های کارستی متعددی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها توده‌ی کارست کارده در حوضه‌ای به همین نام است. این حوضه با مساحت ۵۴۷/۱ کیلومتر مربع (پلانیمتری از عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ حوضه‌ی آبریز) در دامنه‌های جنوبی هزار مسجد و در شمال شهرستان مشهد واقع است (نقشه ۱). منابع آب سطحی و آبخان‌های آهکی آن در تأمین آب شرب غرب شهر مشهد حائز اهمیت بوده و از پنج حلقه چاه حفر شده در آبخان آهکی - دولومیتی جنوب حوضه برای مصارف آب شهرمشهد و روستاهای داخل حوضه بهره برداری می‌شود. آب‌های سطحی نیز توسط دو رودخانه آل و کوشک‌آباد زه‌کشی شده و در محل آبدی کارده به یکدیگر پیوسته و به نام رودخانه کارده وارد دریاچه سدی به همین نام می‌شود. این ذخیره‌ی آبی توسط لوله و کانال‌های انتقال از طریق مسیر اندرخ به شهر مشهد منتقل می‌گردد. از آنجا که منطقه‌ی مورد نظر توریستی بوده و نیز به‌شدت توسط روستاییان و عشایر مورد بهره‌برداری کشاورزی و دامداری واقع شده است. عوامل بالقوه‌ای آلوده‌ساز منابع آب کارست مانند قرار گرفتن دستشویی‌ها بر محل شکاف‌های کارستی، مدفون کردن زباله‌ها در سنگچال‌ها، ریختن فضولات دامی و زباله‌ها در مسیر رودخانه‌ها و چشمه‌های کارستی، می‌تواند بر کیفیت منابع آب مؤثر واقع گردیده و مخاطراتی را به‌دنبال داشته باشد. از طرف دیگر شناسایی زمین شکل‌های کارستی نیز به‌منظور مدیریت بهره‌برداری در قلمروهای کارستی ضرورت داشته لازم است حفاظت و مدیریت زمین در قلمروهای کارستی کپه داغ مورد توجه خاص برنامه‌ریزان قرار گیرد.

نقشه‌ی ۱: موقعیت حوضه آبریز کارده



## توزیع سازندهای کربناته و کارست ساز در منطقه

عوامل مساعد فرایندهای کارست ساز از جمله وجود سنگ آهک، بارندگی و رطوبت نسبتاً مساعد و سیستم‌های درز و شکستگی (تخلخل ثانویه سنگ) وسیع، منجر به ایجاد چشم‌اندازهای کارستی در حوضه گردیده است. فرآیند کلی انحلال کلسیت به صورت زیر انجام می‌پذیرد (Ford, 1989: 51).



به لحاظ زمین‌شناسی سه سازند کارست ساز در حوضه کارده وجود دارد که به ترتیب اولویت عبارتند از:

الف- سازند آهک توده‌ای (ماسیو) مزدوران (۲) با علامت *JMZ* که ۳۲/۸ درصد از کل سازندهای زمین‌شناسی حوضه را تشکیل می‌دهد (عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ حوضه) (نقشه ۲).

ب- سازند آهک ضخیم لایه مزدوران (۱) با علامت *JMZ1* با ۲۱/۷۲ درصد از کل سازندهای زمین‌شناسی حوضه.

ج- سازند آهکی لایه‌ای چمن بید با علامت *Jch* که دارای میان لایه‌های مارنی بوده و ۲۶/۵۱ درصد از مساحت حوضه را در بر گرفته است. اشکال کارستی تکامل یافته عمدتاً در دو سازند مزدوران (۱) و مزدوران (۲) تشکیل شده‌اند و بدین ترتیب مجموعاً ۵۴/۵۲٪ مساحت حوضه را این دو سازند کارست ساز عمده در بر گرفته‌اند (جدول ۱). سن سازندهای آهکی و دولومیتی مزدوران (۱) و مزدوران (۲) مربوط به ژوراسیک میانی تا فوقانی بوده و از نظر ساختمانی دارای ساخت آنتی‌کلین-سنگ کلین هستند. تأثیر فازهای تکتونیک و گسل‌خوردگی‌ها در این دو سازند منجر به تکامل یافتگی سیستم تخلخل ثانویه در سنگ گردیده و گردش آب را در درون توده سنگ کارست تشدید کرده است.

جدول ۱: توزیع سازندهای کارست ساز (آهکی - دولومیتی) منطقه مورد مطالعه \*

ردیف	نام سازند	علامت	درصد از کل
۱	آهک و دولومیت توده‌ای مزدوران (۲)	JMZ	۳۲/۸
۲	آهک ضخیم لایه مزدوران (۱)	JMZ1	۲۱/۷۲
۳	آهک لایه‌ای با میان لایه‌های مارنی چمن بید	Jch	۲۶/۵۱
۴	مجموع	-	۸۱/۰۳

\* نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰

تعداد زیادی غار در این دو سازند زمین شناسی تشکیل شده اند که عمدتاً مرتبط با ساختار سنگ و سیستم درز و شکست بوده و بر طاق‌دیس‌ها منطبق‌اند. مساحت سازند کربناته - دولومیت‌ه مزدوران (۲) معادل ۱۷۹۳۳ هکتار می باشد که بیشترین سطح را از نظر نوع سازند به‌خود اختصاص داده است (بدیعی نامقی، ۱۳۷۳: ۱۴۲).

سازند چمن بید از آهک‌های با لایه‌بندی کم ضخامت تشکیل شده و مربوط به ژوراسیک میانی است. وجود دیاکلازها و سیستم‌های درزه بندی سنگ موقعیت مناسبی را برای نفوذ رطوبت و گردش آب در سنگ کربناته فراهم آورده‌اند. توزیع سازندهای کارستی شونده در نقشه (۲) نشان داده شده است.

مهم‌ترین فرآیندهای کارستی فیکاسیون<sup>۱</sup> در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: وجود سنگ‌های کربناته و دولومیت‌ه، بارندگی مناسب به‌ویژه در ارتفاعات، وجود سیستم‌های درز و شکستگی (تخلخل ثانویه) توسعه یافته در سنگ آهک و عملکرد انحلال در سنگ کربناته. تخلخل ثانویه نیز در برگیرنده درز و ترک‌های کوچک تا شکاف‌های بزرگ در درون توده سنگ است. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۳۶۱/۲ میلی متر محاسبه شده است ولی در نواحی کوهستانی شمال حوضه به ۴۰۰ میلیمتر افزایش می‌یابد.

رابطه‌ی گرادیان بارندگی حوضه ( $P=146/7 \text{ } \pm 0.98H$ ) بوده است. بخش عمده‌ای از نزولات جوی به‌صورت برف نازل شده و پس از ذوب شدن به درون درز و شکاف‌ها و حفرات انتقال یافته، گردش آب را در توده سنگ به وجود می‌آورند.

### طبقه‌بندی اشکال و مناظر کارستی منطقه

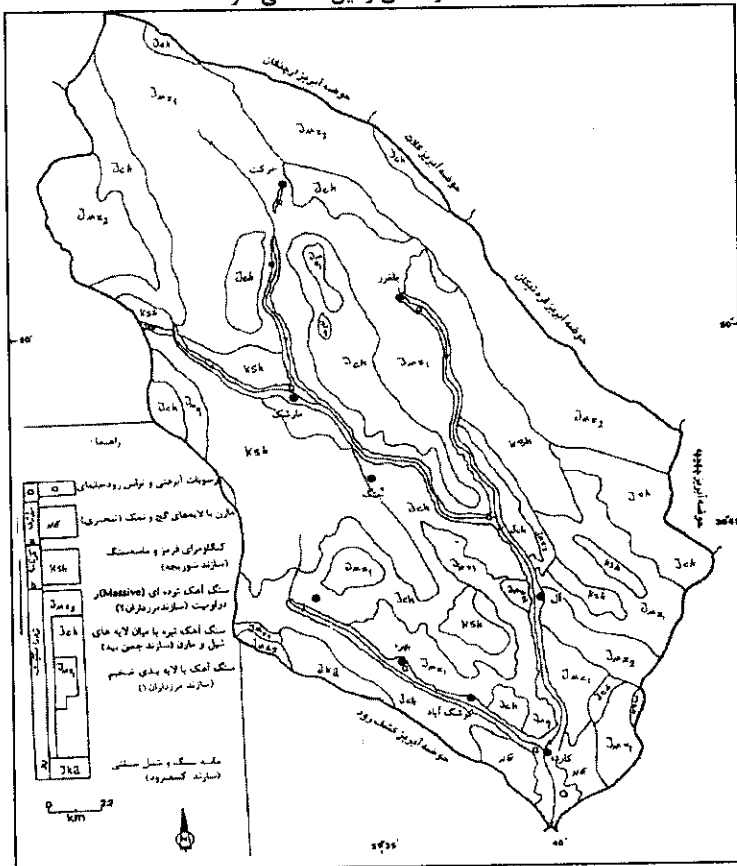
اشکال کارستی مرتبط با نوع سنگ آهک و نیز درصد خلوص کلسیت آن متفاوت بوده عواملی همچون ارتفاع، شیب دامنه، مقدار بارندگی و برف، ضخامت فشر خاک و تخلخل ثانویه سنگ در ایجاد آنها دخالت مستقیم دارند. البته نقش دما را نیز می‌بایست منظور کرد، زیرا در رابطه با درجه حرارت، توده‌های مولکولی متفاوتی وجود دارد و با کاهش درجه حرارت، حجم آب نیز کاسته می‌شود (کلتات، ۱۳۷۸: ۵۸). به‌طور کلی عمده‌ترین اشکال کارستی را در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

1 Karstification

### کارن‌ها و میکرو کارن‌ها<sup>۱</sup>

فراوان‌ترین و متنوع‌ترین اشکال ایجاد شده روی سنگ‌های آهکی و دولومیتی منطقه، کارن‌ها و به‌ویژه میکروکارن‌ها هستند که در زبان فرانسه به آنها لاپیه و میکرولاپیه اطلاق می‌گردد. در جایی که سنگ آهک رخنمون داشته فرآیند انحلال منجر به تشکیل شیارهای انحلالی باریکی به اشکال خطی، سینوسی، هلالی و غیرمنظم گردیده است. بیشتر این شیارها منطبق با محل درزه‌ها و نقشه دیاکلازهای سنگ رخنمون زده می‌باشد. برخی از کارن‌ها در بخش شمالی حوضه به اشکال کندویی و حفره‌ای کوچک نیز تشکیل شده اند. این نوع کارن‌ها را اصطلاحاً لاپیه کندویی می‌نامند (محمودی، ۱۳۶۸: ۸۱).

نقشه ۲: سازندهای زمین شناسی حوضه



1 Karren - micro Karren

### سنگچال‌ها و شبه دولین‌ها

این نوع مناظر کارستی عمدتاً بر روی سطوحی که امکان تجمع آب باران یا برف وجود داشته باشد، تشکیل شده‌اند. سنگچال‌های کارستی که در زبان سرب و کروات دولین نامیده می‌شوند (Bradshaw, 1989: 210) در اثر انحلال سنگ آهک به وجود آمده و عمق آنها از ۰/۵ تا یک متر در منطقه متفاوت بوده است.<sup>۱</sup> شبه دولین‌ها شامل حفرات انحلالی است که عمدتاً منشأ هوازدگی داشته و به ویژه در محل شکست‌های سنگی به وجود آمده‌اند.

### غارهای کارستی

اغلب غارهای منطقه منشا فروریزشی - انحلالی دارند ولی در زیر حوضه‌های آل و حرکت غارهای با منشا انحلالی تشکیل شده‌اند. بیشترین غارهای منطقه در سازندهای آهکی مزدوران (۱) و مزدوران (۲) تشکیل گردیده که مربوط به دوره ژوراسیک می‌باشند. این غارها تکامل یافته‌تر از دیگر غارهای تشکیل شده در سازند چمن بید هستند زیرا سنگ آهک سازند مزدوران (۱) ضخیم لایه بوده و در سازند مزدوران (۲) به صورت توده‌ای است. مورفولوژی غارها عمدتاً از ساختار زمین‌شناسی و تکتونیک تأثیرپذیرفته است. از دیگر مناظر کارستی حوضه می‌توان به آون‌ها، چشمه‌های کارستی و شافت‌های کوچک آهکی اشاره کرد. بعداً توضیح داده خواهد شد که این مناظر کارستی نقش مهمی در سیستم هیدرولوژیکی کارست داشته و می‌توانند هرگونه مواد آلاینده‌ای را مستقیماً به درون توده کارست و یا رودخانه‌های دره کارستی انتقال دهند.

### عوامل بالقوه آلاینده‌گی منابع آب کارست

از آنجا که شبکه درز و شکستگی یا تخلخل ثانویه توسعه یافته و کاربری زمین به صورت سنتی (کشاورزی و دامداری سنتی) انجام می‌شود، از طرفی ورود جهان‌گردان و توریست به این نواحی ییلاقی فشار وارده بر محیط زیست حوضه کارست را بیشتر کرده است، یکسری عوامل ویژه منجر به آن گردیده که خطرات بالقوه آلودگی منابع آبی را به همراه داشته باشد و یا حداقل آن که در آتیه ممکن است احتمال تأثیرگذاری این خطرات بالقوه افزایش یابد. اگر چه هیچ گونه آزمایش ردیابی بدین منظور صورت نگرفته است ولی در بیشتر موارد کاربری غیراصولی در اطراف مناظر کارستی این خطر

۱- زیر حوضه آل - کارده

جدی را به همراه دارد که آب‌های چشمه‌ها یا رودخانه‌های سطحی در منطقه آلوده شده و یا اینکه مواد آلاینده توسط شعبات رودخانه کارده به دریاچه سد وارد شده و در موقع کم آبی خطر آلوده شدن را افزایش دهد. در این بررسی سعی گردیده است با شواهد میدانی و مشاهدات عینی مربوط به هر یک از زیرحوضه‌ها برخی از مهمترین عوامل مخاطره‌آور بالقوه آلاینده‌گی منابع آب کارست را شناسایی و طبقه‌بندی نماییم. قابل ذکر است که ۹۰ درصد آب مصرفی جمعیت روستایی منطقه از چشمه‌ها بوده (جدول ۲) و از آبخان‌های آهکی واقع در جنوب حوضه برای تأمین آب شرب غرب مشهد نیز بهره‌برداری می‌شود (سازمان آب منطقه‌ای، ۱۳۷۵). وجود هرگونه مواد آلاینده در اطراف چشمه‌ها یا حوضه زه‌کشی آن‌ها و به‌طور کلی در محدوده قلمروهای کارستی منطقه این خطر بالقوه را در بر دارد که ممکن است آب‌ها آلوده شوند.

جدول ۲: تعداد چشمه‌های دائمی و فصلی حوضه به تفکیک آبادی‌ها \*

آبادی	بلغور	بهره	جنگ	خرکت	بسیج	کارده	کریم‌آباد	گوش	کوشک‌آباد	مارشک	آل	پنج‌منه	مجموع
چشمه دائمی	۱۲	۴	۷	۸	۶	۲	۲	۴	۳	۹	۷	۱	۶۵
چشمه فصلی	۱۰	۳	۱۲	۵	۱۳	۴	۵	۹	۲	۱۴	۱۲	۳	۹۲

\* سازمان آب منطقه‌ای، ۱۳۸۱

### - کاربری غیراصولی زمین در قلمروهای کارستی

مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی در حوضه مرتبط با کشاورزی و دامداری سنتی است. شیوه‌ی کاربری ارضی در بخش کشاورزی و باغداری کاملاً سنتی بوده و از این نظر میزان آسیب‌پذیری به قشر خاک روی سنگ کارست شدت یافته است. استفاده از کودهای حیوانی و یا شیمیایی در مزارع و باغات، گسترش سموم دفع آفات در بخش باغداری و افزایش دیم‌زارها از جمله مسائلی است که خطر آلودگی آب‌ها را در درازمدت به‌ویژه در محل رودخانه‌ها افزایش می‌دهد. تراس‌های آبرفتی در حاشیه‌ی رودخانه‌ها به‌شدت تحت کشت واقع گردیده و مورد بهره‌برداری واقع شده‌اند. بدین ترتیب زه آب‌های حاصل از سمپاشی محصولات و کوددهی آن‌ها مستقیماً وارد رودخانه‌ها و درز و شکاف سنگ‌ها می‌شود.

مساحت دیم‌زارهای منطقه بسیار افزایش یافته است و شخم اراضی شیب دار به ارتفاعات بالاتری در قلمروهای کارستی کشیده شده است در نتیجه سنگ کارست



رخنمون یافته و پوشش خاک روی آنها فرسایش یافته است. از آنجا که پوشش خاک روی سنگ کارست عامل مهمی در پالایندگی آب‌ها می باشد با از بین رفتن این پوشش خاک زه‌آب‌های آلوده از روی اراضی زراعی و یا فضولات دامی حل شده در آب قادرند به درون سنگ کارست نفوذ کنند. مدیریت کشاورزی در سطح حوضه بسیار ابتدایی و ضعیف بوده و به‌صورت سنتی است (دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۱) نظام خرده مالکی بر بخش کشاورزی حاکم بوده و از این لحاظ قطعه زمین‌های کوچک و پراکنده و تنوع کشت مشکلات هرز آب‌ها را بیشتر کرده است. بیشترین وسعت دیمزارها در زیر حوضه بلغوریا ۱۴۴۴/۸ هکتار (۳۰/۲۷٪) و کمترین آن در زیرحوضه حرکت با ۵۵۸/۶ هکتار (۱۱/۷۴٪) بوده است (شیرمحمدی، ۱۳۸۱: ۴۲). وسعت کل دیمزارها در سال ۱۳۸۱ در سطح کل حوضه ۹۳۰۷/۱ هکتار بوده است که نسبت به یک دهه قبل ۳۹/۷ درصد افزایش نشان می‌دهد.

#### - انتقال فاضلاب‌های خانگی در مسیر رودخانه‌ها

به دلیل سنگی بودن قلمروهای کارستی، ساکنان روستایی قادر به حفر چاه‌های فاضلاب در سنگ‌های آهکی نبوده و از این نظر برای انتقال فاضلاب‌ها و پساب‌ها، نقاطی را برمی‌گزینند که از نظر شرایط طبیعی برای این کار مساعد باشند مانند شکاف‌های سنگی، سنگچال‌ها و حفرات منطبق بر درزه‌ها که مناسب‌ترین موقعیت را برای تخلیه فاضلاب‌ها دارند.

در محدوده آبادی‌های آل، حرکت و چنگ و بلغور که سنگ‌های کارستی ژوراسیک تکامل یافته‌تر می‌باشند، این‌گونه سنگچال‌ها و شکاف‌های سنگی فراوانی بیشتری دارند و بنابراین هر چند خانوار به‌طور مشترک فاضلاب‌های خود را به یک شکاف سنگی یا حفره‌ی سنگی تخلیه می‌کند و یا از این سنگچال‌ها به‌عنوان چاه توالست استفاده می‌شود. اگر چه در این مورد آزمایشات ردیابی انجام نشده است ولی باید اذعان داشت که یک خطر بالقوه جدی برای منابع آب کارست محسوب می‌شوند. در تمامی آبادی‌های سطح حوضه پساب‌ها و زه‌آب‌های آلوده، به بستر رودخانه‌ها و یا شاخه‌های فرعی آن هدایت و زه‌کشی شده که سرانجام با عبور از سازندهای آهکی در پشت سد کارده تجمع یافته و در زمانی که ارتفاع آب پشت سد به حداقل می‌رسد می‌تواند آلوده‌زا باشد. تجربه نشان داده است که انتقال فاضلاب‌ها به درون سیستم‌های درز و شکاف سازندهای کارستی خطر آلودگی سیستم زه‌کشی کارست را به همراه دارد (Gams, 1993: 179). در هندوستان زه‌کشی فاضلاب‌ها به درون سنگچال‌های

کارستی حومه شهر رایپور منجر به آلودگی بیولوژیکی آب و بیماری‌های ناشی از آن گردید (Bodhankar, 1993: 75). هم‌چنانکه جمعیت روستایی در قلمروهای کارستی منطقه افزایش می‌یابد، میزان تولید فاضلاب‌ها بیشتر شده و در نتیجه این خطر بالقوه افزایش می‌یابد. در مواقع بارندگی به‌ویژه در قسمت‌های بالادست حوضه که تراکم ارتفاعات بیشتر است، انباشت آب باران همراه با فاضلاب‌ها از داخل درز و شکاف‌های سنگی که به‌عنوان چاه نفوذی استفاده می‌شدند، به بیرون سرریز نموده و به‌طرف رودخانه‌ها جاری می‌شوند، به دلیل کم عرض بودن دره‌ها و شیب زیاد دامنه، این فاضلاب‌ها سریعاً به بستر رودخانه رسیده و سرانجام به رودخانه کارده که تغذیه‌کننده‌ی دریاچه‌ی سد می باشد، تخلیه می‌شوند.

#### - انباشت کود و فضولات دامی در اطراف چشمه‌ها و بستر رودها

همچنان‌که ذکر شد منطقه شدیداً مورد بهره برداری کشاورزی و دامداری واقع شده است. دامداران حوضه کارده را به دو گروه می‌توان تفکیک کرد (پاپلی یزدی، ۱۳۷۱: ۲۷۲). دامداران روستایی، عشایر بومی و غیربومی حوضه. به دلیل استفاده از منابع آبی (چشمه‌ها و رودخانه‌ها) برای شرب دام‌ها محل استقرار و تجمع دامداران عشایر و یا دام‌های روستاییان عموماً در اطراف چشمه‌ها، حاشیه رودخانه‌ها و یا حوضه زه‌کشی چشمه‌های کوهستانی است. در نتیجه فضولات دامی به مقادیر قابل توجهی در اطراف این منابع آبی تجمع یافته و در بسیاری از موارد باعث تغییر رنگ آب در مسیر چشمه‌ها می‌شوند. بوی تعفن فضولات دامی در اطراف چشمه‌ها و حاشیه رودخانه‌ها موجب غیربهداشتی شدن هوا و خاک محیط شده است. علاوه بر آن ضمن بارش‌های شدید در منطقه این فضولات با آب باران مخلوط شده و به درون سیستم زه‌کشی کارست نفوذ می‌کند یا وارد آب رودخانه‌ها می‌شوند. به منظور شناسایی نقاط آلوده از نظر تجمع فضولات دامی، مسیرهای ایل راه‌های عشایر و نیز محله‌های استقرار دام‌ها از طریق عملیات میدانی مشخص و در نقشه (۳) ترسیم شده است. همچنین سایر منابع آلاینده بالقوه که می‌توانند در کیفیت آب تاثیرگذار باشند در این نقشه مشخص شده‌اند تا برنامه‌ریزان اجرایی بتوانند یک شناخت نسبتاً کامل از عوامل تاثیرگذار بر منابع آب کارست منطقه داشته باشند.

مسیر عبور دام‌ها عمدتاً از طریق حاشیه‌ی رودخانه‌ها و مسیر جریان چشمه‌ها بوده و بدین ترتیب فضولات دامی در اطراف شبکه‌های آبی پراکنده شده و با توجه به

سیلاب‌های شدید (عسقی، ۱۳۷۴: ۴۶) در این منطقه با آب مخلوط شده و به سوی دریاچه‌ی سد کارده انتقال می‌یابند.

#### - زباله ریزی و انباشت آشغال‌ها در شکاف‌ها و سنگچال‌های کارستی

حوضه آبریز کارده به‌خاطر کوهستانی بودن و شرایط مساعد طبیعی یکی از نواحی ییلاقی کلان شهر مشهد در شمال آن محسوب می‌گردد، در این منطقه کوهستانی وجود شکاف‌های بزرگ کارستی و به‌ویژه سنگچال‌ها موقعیت مناسبی را برای مدفون کردن زباله‌ها دارند. بدین ترتیب زباله‌های جمعیت بازدیدکنندگان (توریست‌ها) و نیز ساکنان نواحی روستایی عموماً در این سنگچال‌ها ریخته شده و گاهاً روی آنها پوشیده می‌شوند. علاوه بر آن کوهنوردان و بازدیدکنندگانی که در ایام تعطیلات از دریاچه سد کارده و یا مسیرهای دره‌ای بازدید می‌کنند زباله‌های زیادی را به‌درون رودخانه‌ها، غارها و یا حاشیه دریاچه ریخته و این زباله‌ها پس از تجمع می‌تواند در آلودگی منابع سطحی آب نقش مهمی داشته باشد.

تجمع زباله‌ها در اطراف رودخانه‌هایی مانند جنگ، کارده و مارشک بیشتر از سایر نقاط دیگر حوضه است. در تمام مسیرهای مورد بازدید جهان‌گردان، هیچ نوع مخزن یا ظروف زباله‌ریز وجود نداشته و از آنجا که قلمروهای کارستی منطقه تحت تأثیر تکتونیک شدید، وسیعاً درز و شکاف دار شده اند، این زباله‌ها به‌تدریج تجزیه شده و توسط جریان آب امکان ورود آنها به سیستم زه‌کشی کارست وجود دارد. قابل ذکر است که منابع آبی کارستی ارتفاعات کپه‌داغ و هزارمسجد قابل توجه بوده و شناسایی ناهمواری‌های کارستی به منظور بهره‌برداری صحیح از این منابع نقش بسزایی در توسعه آن دارد (نگارش، ۱۳۷۸: ۱۴۱). شناسایی این عوامل بالقوه آلاینده در حال حاضر می‌تواند زنگ خطری برای مشکل کیفیت منابع آب منطقه در آتیه باشد.

#### - ورود مواد شوینده به آب‌های سطحی قلمروهای کارستی

شستشوی ظروف و لباس در تمام آبادی‌ها و محله‌های عشایری حوضه به دلیل فقدان آب لوله‌کشی به روش سنتی و در مسیر رودخانه‌ها و چشمه‌ها انجام می‌شود. در نتیجه مقادیر قابل توجهی مواد شوینده و ضدعفونی کننده وارد آب‌های رودخانه‌ها و مسیر چشمه‌ها می‌شود. در مسیر آبادی گوش در قسمت غربی حوضه میزان ورود این مواد شوینده به قدری در رودخانه زیاد می‌شود که کیفیت آب (رنگ و بو) تا یک کیلومتری از روستا تغییر می‌کند، به منظور ارزیابی از میزان ورود مواد شوینده و تعیین متوسط مصرف آن در هر خانوار ۳۰ درصد خانوارهای آبادی آل در قلمروهای کارستی

حوضه مورد نمونه‌گیری قرار گرفت و نتایج حاصل از مصرف مواد شوینده برای ظروف و البسه در جدول (۳) آورده شده است.

همچنان‌که ملاحظه می‌گردد به‌طور میانگین هر خانوار روستایی با بعد ۵ نفر، در هر روز، دوبار اقدام به شستشوی ظروف نموده و یک‌بار در هفته اقدام به شستشوی لباس می‌نماید که حاصل آن مصرف ۲ پودر شوینده ۴۵۰ گرمی و یک بطری مایع شوینده یک لیتری در هر ماه و نیز ۱۰۰ گرم جاکستر است که وارد آب‌های رودخانه‌ها یا چشمه‌ها می‌شود.

اگر این مقادیر را باتوجه به جمعیت ۱۳ آبادی حوضه در نظر بگیریم مقادیر نسبتاً بالایی از شوینده‌ها وارد منابع آبی منطقه خواهد شد که خود یک مخاطره بالقوه برای آلودگی آب‌ها محسوب می‌گردد. قابل ذکر است که زه‌آب‌های هر ۱۳ آبادی بالادست حوضه سرانجام از طریق دو رودخانه کارده و کوشک آباد به دریاچه سدرسیده و پس از تجمع در آن خطر نفوذ آلاینده‌ها به سفره‌های کارستی را به‌همراه دارد.

جدول ۳: متوسط استفاده از شوینده‌های شیمیایی در آبادی آل حوضه کارده \*

نوع خانوار	تعداد دفعات شستشو		میزان مصرف شوینده		خاک اره و جاکستر <sup>۲</sup>
	ظروف	لباس	پودرلباسشویی <sup>۱</sup>	مایعات ظروف‌شویی <sup>۲</sup>	
دو نفره	۱ در روز	۱ در هفته	۱ در ماه	۰/۵ بطری در ماه	۱ مشت
سه نفره	۱ در روز	۱ در هفته	۱ در ماه	۰/۵ بطری در ماه	۱ مشت
چهارنفره	۱ در روز	۱ در هفته	۲ در ماه	۰/۵ بطری در ماه	۱ مشت
پنج نفره	۱ در روز	۲ در هفته	۲ در ماه	۱ بطری در ماه	۱ مشت
شش نفره	۲ در روز	۲ در هفته	۲ در ماه	۱ بطری در ماه	۲ مشت
هشت نفره	۲ در روز	۲ در هفته	۲ در ماه	۱ بطری در ماه	۲ مشت
ده نفره	۲ در روز	۳ در هفته	۳ در ماه	۱ بطری در ماه	۲ مشت
X	۱/۴۳	۲/۱۴	۲/۱۴	۰/۷۸	۱/۴۳

\* مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۷۹

مقدار درز و شکستگی و حفرات انحلالی سازنده‌های آهکی و دولومیتی ژوراسیک در اطراف دریاچه سد کارده و کف بستر آن بسیار زیاد بوده و حتی عرض این شکاف‌ها در قسمت‌های پایین (جایی که مقاطع سنگ نمونه‌برداری شده) بیشتر است.

## مدیریت و حفاظت منابع آب کارست

توزیع جغرافیایی قلمروهای کارستی در کشور، از پراکندگی جغرافیایی سازندهای کربناته، دولومیتی و گاهاً سازندهای تخییری تبعیت می‌کند، حتی در سازندهای کربناته و مرجانی ساحلی جنوب کشورمان نیز قلمروهای کارستی مهمی وجود دارد که از نظر ذخایر آب شیرین بسیار حائز اهمیت می‌باشند.

در ارتفاعات زاگرس، کپه داغ (آدابی، ۱۳۶۹: ۴۷) مکران، ایران مرکزی و البرز نیز پهنه‌های کارستی‌شونده وسیعی وجود دارد که هنوز مطالعه جامع ژئومورفیک و هیدرولوژیک آن‌ها انجام نشده است. وسعت پهنه‌های کارستی در استان خراسان حدود ۲۳۰۰۰ کیلومتر مربع است (ولایتی، ۱۳۷۶: ۲۲۷)، که مربوط به دوران‌های پالئوزویک و عمدتاً مزوزویک هستند. این قلمروهای کارستی تأمین‌کننده بخش نسبتاً قابل توجهی از آب شرب شهرها بوده و حفاظت آن‌ها به لحاظ کنترل بهداشت آب ضروری است. علاوه بر آن قلمروهای کارستی از نظر جاذبه‌های جهانگردی قابل توجه بوده و در بسیاری از مناطق (غار علی‌صدر همدان) منبع درآمد مناسبی به شمار می‌روند.

در نیوزیلند غار کرم شب تاب یکی از پر درآمدترین نقاط کشور به لحاظ جاذبه‌های توریستی است (Wortington, 1991: 157) از این نظر مدیریت و حفاظت قلمروهای کارستی در چنین مناطقی ضروری خواهد بود. در بسیاری از قلمروهای کارستی کشورهای جهان دستورالعمل‌های ویژه ای برای مدیران محیط تدوین شده است و خط‌مشی‌های عملی مدیریت کارست به‌ویژه برای کنترل سیستم زه‌کشی کارست تهیه گردیده‌اند. به‌عنوان مثال ۳۳ درصد از کشور یوگسلاوی سابق و ۳۰ درصد کشور چین را پهنه‌ای کارستی پوشانیده‌اند و یا ۱۷/۵ درصد مساحت آمریکا را قلمروهای کارستی تشکیل می‌دهند (Trudgill, 1989: 203). و بدین ترتیب سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های حفاظت منابع آب در این کشورها صورت گرفته و جنبه عملی به‌خود گرفته است.

در برخی از نواحی تنها منبع آب شیرین، وابسته به سازندهای کارستی شونده در آن ناحیه می‌باشد برای مثال آب آشامیدنی جزایر کیش و قشم وابسته به آبنگ‌های مرجانی و منابع آب کارستی اطراف این جزایر است. در نتیجه هرگونه اقدامات غیراصولی در سرزمین و یا کاربری نادرست می‌تواند سریعاً منجر به آلوده کردن سیستم هیدرولوژیکی کارست و منابع آب آن گردد. اگر چه آزمایشات ردیابی در نواحی کارستی کشور کمتر انجام شده ولی وجود برخی مخاطرات بالقوه آلاینده منابع آب کارست و یا آثار آن در این نواحی وجود دارند که می‌توانند در بحرانی شدن منطقه نقش داشته باشند و از آنجا که پیشگیری مناسب‌تر از درمان یک منطقه یا اکوسیستم

بیمار می‌باشد لذا در ذیل برخی از راه‌کاری مهم مدیریت قلمروهای کارستی از جمله حوضه‌ی مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد.

- مطالعه و پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در قلمروهای کارستی کشور به منظور شناسایی دقیق آن‌ها و بررسی درجه‌ی تکامل یافتگی توده‌های کارستی از جمله در کپه داغ.

- کنترل کاربری اراضی در قلمروهای کارستی که از منابع آب آن‌ها به منظور آب شرب شهرها و یا نواحی روستایی استفاده می‌شود. برای مثال جنگل‌زدایی در پهنه‌های کارستی و تغییر مسیر شبکه‌های آبی، استخراج معادن، زراعت و یا هرگونه تغییر اساسی در ساختار زمین می‌بایست متکی بر اصول مدیریت سرزمین انجام پذیرد.

- جمع‌آوری زباله‌ها و ممنوعیت از مدفون کردن آنها در سنگچال‌ها یا شکاف‌های کارستی، به‌طوری که دفن زباله‌ها در مسیرهای سیستم زه‌کشی کارست به سهولت می‌تواند ضمن تجزیه شدن با آب باران به‌درون آبخان‌ها هدایت گردیده و آن را آلوده سازد، زیرا حساسیت سیستم زه‌کشی کارست بسیار زیاد است (دورکمپ، ۱۳۷۸).

- در مناطقی که شهرها یا تعداد زیادی از آبادی‌ها بر روی قلمروهای کارستی واقع شده‌اند، سیستم فاضلاب نباید نفوذی و به صورت چاه‌های جاذب باشد زیرا تخلخل ثانویه‌ی بالا در کارست منجر به آلودگی منابع آب خواهد شد از این نظر احداث شبکه آگو و یا سیستم‌های ذخیره‌سازی فاضلاب ضروری است. در نواحی روستایی باید از هدایت فاضلاب‌ها به شکاف‌های کارستی یارودخانه و آب‌های سطحی کارست جلوگیری گردد. آموزش‌های لازم در این زمینه به مردم می‌تواند بسیار راهگشا باشد و از جمله اهداف مدیریت منابع آب کارست محسوب می‌گردد.

- برنامه‌ریزی حفاظت برای کارست‌های کوهستانی که در آنها مسیر عبور دام‌های عشایر یا روستایی وجود دارد. استقرار دام‌ها در مسیر چشمه‌ها یا حوضه زه‌کشی آن‌ها و یا مسیر رودخانه‌های مناطق کارستی می‌تواند به‌خاطر تجمع فضولات و کودهای دامی مخاطره آور باشد.

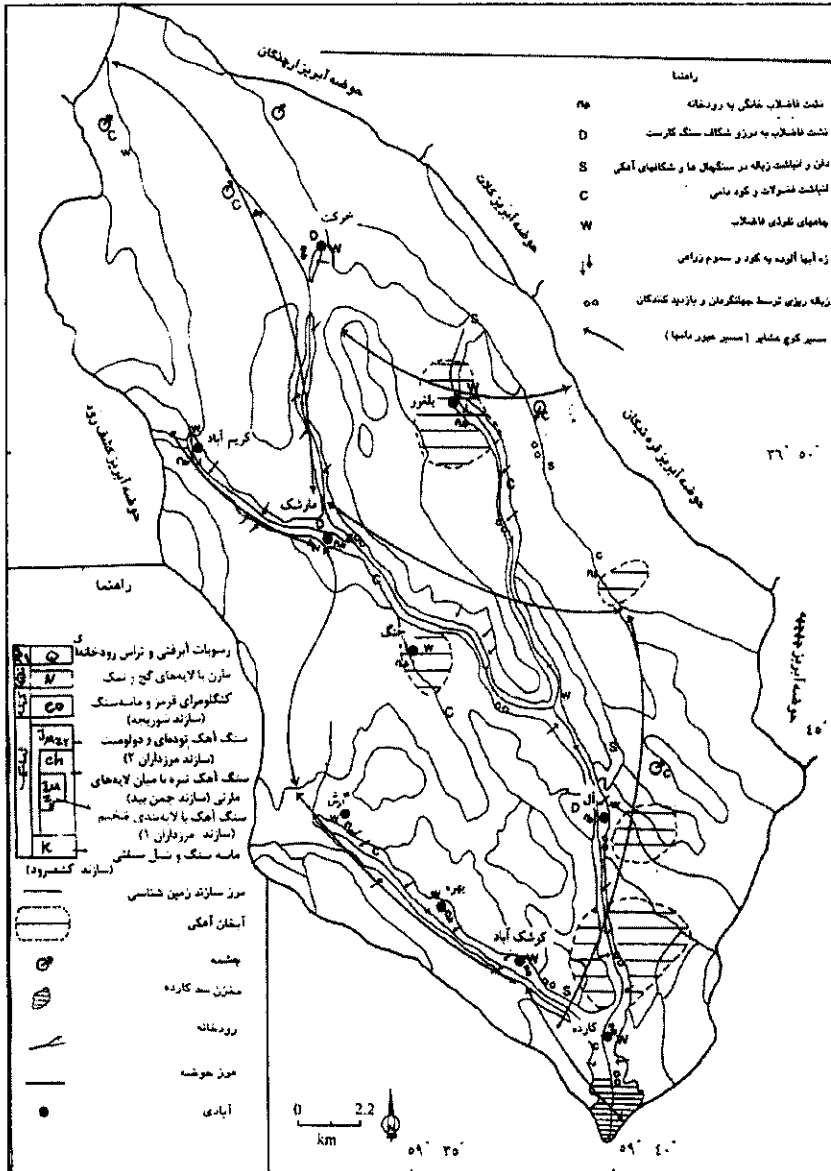
- کنترل زباله‌ریزی و هرگونه مواد آلاینده از طریق بازدیدکنندگان و جهان‌گردان که توسط توره‌های توریستی برای مشاهده قلمروهای کارستی (غارها، کوهستان‌ها، چشمه‌ها و دیگر مناظر کارستی) وارد می‌شوند، از آنجا که اغلب پهنه‌های کارستی کشور از نوع کارست‌های کوهستانی بوده و جزء نواحی بیلاقی و توریستی محسوب می‌شوند، همچنین مناظر کارستی به‌ویژه غارها جاذب توریست هستند، از این نظر هجوم جهان‌گردان به مناطق کارستی همراه با زباله‌ریزی، ورود فاضلاب‌ها و دیگر مواد

آلاینده ناشی از شوینده‌ها بوده و برای منابع آب مخاطره آور است. برای نمونه در پهنه کارستی اخلمد واقع در زون بینالود که جزء کارست‌های نسبتاً تکامل یافته نیز محسوب می‌گردد هر هفته (به‌ویژه روزهای تعطیل) به‌طور متوسط ۳۷ تور داخلی و خارجی وارد این دره می‌شوند و میزان زباله‌ریزی آن‌ها به‌قدری زیاد است که حاشیه‌ی بستر رودخانه اخلمد انباشته از زباله‌ها گردیده، و از طرف دیگر چاه‌های فاضلاب منطقه به‌صورت نفوذی و بر حاشیه‌ی دره روی توده‌ی کارست واقع شده‌اند. بدین ترتیب ضرورت مدیریت سرزمین در قلمروهای کارستی از نظر حفاظت منابع آب سطحی و زیرزمینی از جمله اصولی است که بایستی در سیاست‌گذاری‌های کلان حفاظت آب در کشور مورد توجه قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

قلمروهای کارستی زون کپه داغ عمدتاً از دوران مزوزویک و دوره ژوراسیک بوده و برخی از این توده‌های کارستی تکامل یافته هستند. عملکرد تکتونیکی منجر به توسعه یافتگی تخلخل ثانویه (درز و شکست) سنگ‌ها گردیده و استقرار آبادی‌ها و شهرک‌ها بر روی نواحی کارستی می‌بایست با تکیه بر مدیریت کارست و حفاظت منابع آب کارست همراه باشد. یکی از مسایل مهم در آلودگی منابع آب سطحی و زیر زمینی قلمروهای کارستی موضوع هدایت فاضلاب‌ها و دیگر مواد آلاینده از جمله شوینده‌ها و فضولات دامی به سیستم‌های درز و شکاف و حوضه آبریز چشمه‌های کارستی است. اگر چه آزمایشات ردیابی به‌منظور انتقال آلاینده در مسیرهای مختلف توده کارست انجام نشده است ولی می‌توان این خطر بالقوه را با توجه به تمرکز آلاینده‌ها در مسیر رودخانه‌ها و چشمه‌ها پیش‌بینی کرد. بهره‌برداری از آبخان‌های سازنده‌های سخت کارستی به منظور آب شرب شهر مشهد و دیگر شهرهای کشور این ضرورت را می‌طلبد که سیاست‌گذاری‌های کلان در مدیریت و حفاظت منابع آب کارست چه در سطوح کشوری و یا منطقه‌ای صورت بگیرد.

نقشه ۳: موقعیت آبخیزهای آهکی و عوامل آلاینده منابع آب کارست

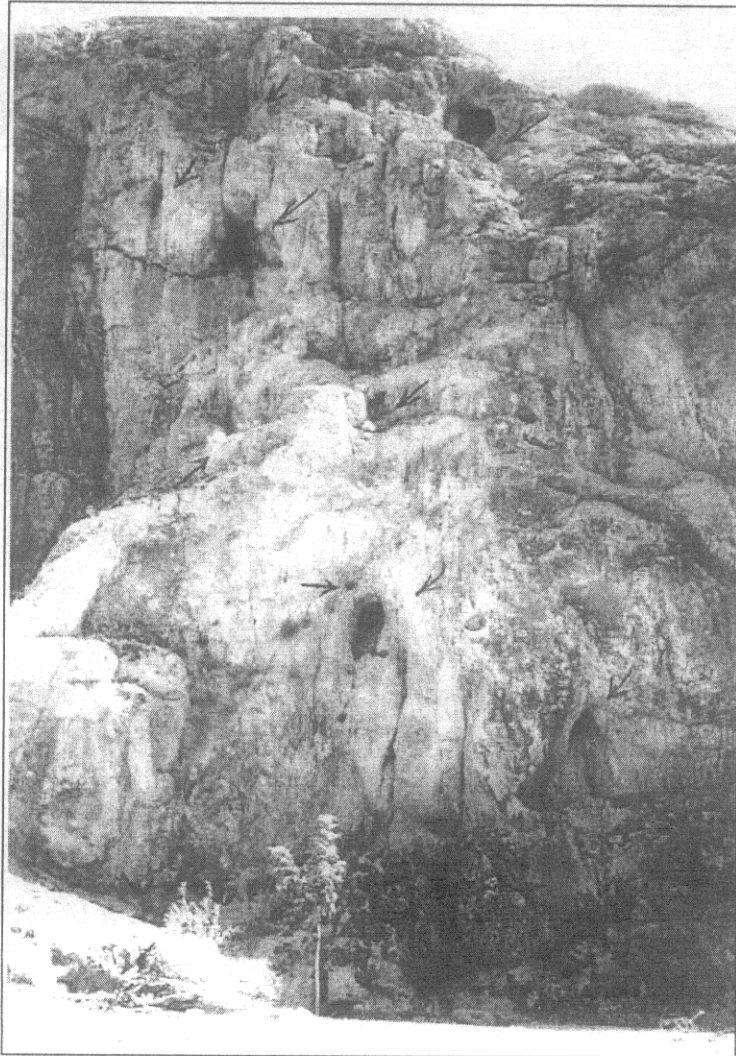




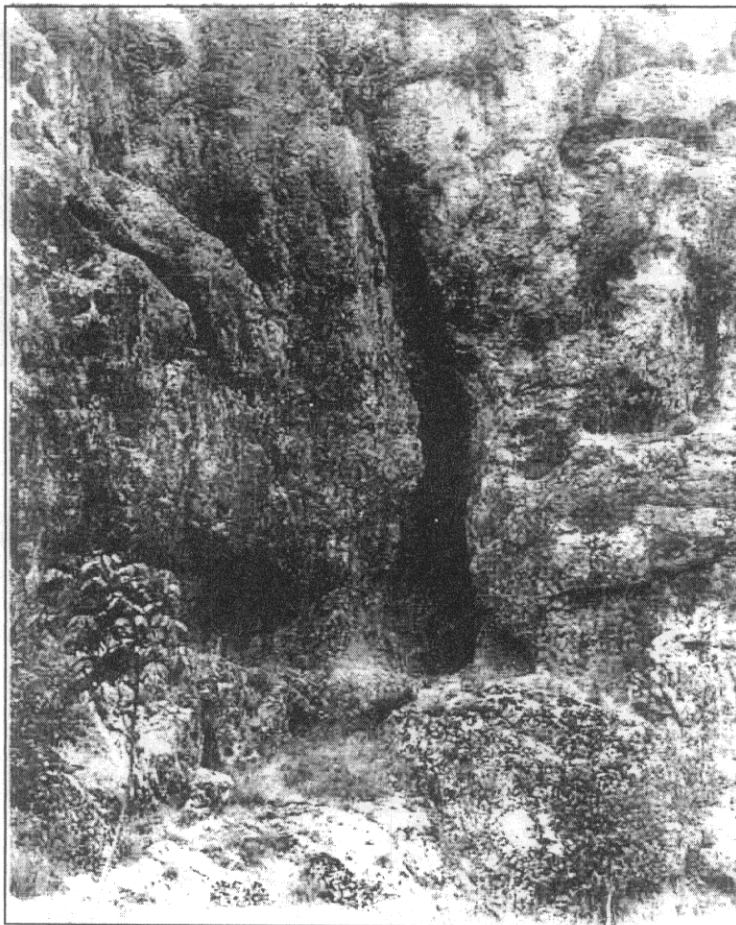
تصویر ۱: موقعیت دریاچه سد کارده و آبادی‌های بالادست آن: شاخه سمت راست دره آل و شاخه سمت چپ دره کوشک آباد می‌باشد که در محل آبادی کارده به هم می‌پیوندند.  
(M = تپه مارنی، S = رسوبات دریاچه سد، L = دریاچه سد، K = قلمرو کارستی)



تصویر ۲: سنگچال‌ها و حفرات کارستی تشکیل شده در سازند مزدوران (۲) که آب‌های نفوذیافته به توده کارست از آنها زهکشی می‌شود



تصویر ۳: شیار درزه‌های انحلالی در سنگ کارست که بعنوان چاه فاضلاب استفاده می‌شود



تصویر ۴: مدخل غار (از نوع فروریزنی - انحلالی) در کنتاکت سازنده مزدوران (۱) و سازند چمن بید (مسیر جنگ) که در آن دفن زباله‌ها صورت می‌گیرد



## منابع و مأخذ

- ۱- آدابی، حسین: ژئومورفولوژی و زمین شناسی دریاچه بزنگان در حوضه‌ی کپه داغ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۸، ۱۳۶۹.
  - ۲- بدیعی نامقی، سیدحمزه: طرح مدیریت منابع طبیعی سد کارده، اداره منابع طبیعی استان خراسان، ۱۳۷۳.
  - ۳- پاپلی یزدی، محمدحسین: کوچ نشینی در شمال خراسان، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۷۱.
  - ۴- دور کمپ . جی. سی و کوک. آریو. یو: ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، ترجمه شاپور گودرزی نژاد، جلد دوم، انتشارات سمت، تهران، ۱۳۷۸.
  - ۵- دانشگاه شهید فردوسی مشهد، طرح توسعه کشاورزی حوضه‌ی کارده مشهد، طرح پژوهشی ۱۳۷۱.
  - ۶- سازمان آب منطقه ای مشهد، گزارش اجتماعی - اقتصادی سد کارده، ۱۳۷۵.
  - ۷- سازمان زمین شناسی شمال شرق، نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شمال خراسان، ۱۳۸۱.
  - ۸- سازمان نقشه برداری شمال شرق، عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ ارتفاعات هزارمسجد، خط پرواز (۱۱ تا ۱)، ۱۳۸۰.
  - ۹- شیرمحمدی، علی: مراتع و دیمزارهای شمال خراسان، اداره منابع طبیعی خراسان، ۱۳۸۱.
  - ۱۰- عشقی، ابوالفضل؛ حسین فرزانه: تخریب پوشش گیاهی و جنگلی (طبیعی) شمال خراسان، مجله رشد آموزش جغرافیا، شماره ۳۷، ۱۳۷۴.
  - ۱۱- کلتات، دیتر: جغرافیای طبیعی دریاها و سواحل، ترجمه محمدرضا ثروتی، انتشارات سمت، ۱۳۷۸.
  - ۱۲- محمودی، فرج الله: ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک بیرونی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۸.
  - ۱۳- نگارش، حسین؛ محمود خسروی: کلیات ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۷۱.
  - ۱۴- ولایتی، سعدالله: آب و جغرافیای آب‌ها و مدیریت منابع آب، انتشارات خراسان، ۱۳۷۶.
- 15-Bradshaw, Michael (1989). [The earth: past, present and future]. Hodder and stoughjon. London.
- 16-Bodhankar, Ninad, and B.chatterjee (1993). [Pollution of limestone aquifer due to urban waste disposal around Raipur, Madhya pradesh]. Indian. Uni, Raipur.

- 17-Ford, D.C, and williams. P.W. (1989). [karst Geomorphology and Hydrology. Department of Geography. Me. Master, uni.
- 18-Gams, I. Nicod, J, sauro, u, julian, E. and Anthony, u. (1993), [Environm entat change and Human impacts on the Mediterranean karst of farnce, Italy and Dinaric].
- 19-Gillieson, David (2001) . [Caves, Processes Development, management]. Blackwell. Pu. Uk.
- 20-Quinland . J. F, and Evers, R. (1998). [Subsurface drainage it the mammoth cave area]. England. Oxford. Uni.
- 21-Trudgill, S.T. (1989) [limestone Geomorphology] London. Longman.
- 22-Williams (ed) karst Terrains.
- 23-Wortington, S.R.H. (1991). [karst Hydrology of the canadian Rocky Mountains]. Ph.D. thesis. MC. Master univ.