



هیدرولوژی کارست

(کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی)

دکتر همایون مقیمی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

صفحه	عنوان
ده	پیشگفتار
۱	فصل اول : کارست، تعاریف و تاریخچه آن
۱	مقدمه
۲	۱-۱ اهمیت کارست در محیط زندگی بشر
۲	۲-۱ تعریف کارست و مشخصات آن
۶	۳-۱ تاریخچه مطالعه کارست
۷	۴-۱ مطالعات و پژوهش‌های کارست در ایران
۱۱	۵-۱ وضعیت کارست در ایران
۱۳	۶-۱ توزیع کارست در ایران
۲۲	خود آزمایی فصل اول
۲۳	فصل دوم: طبقه‌بندی سنگ‌های کارستی، کربناتی و فرآیند دیاژنز در این سنگ‌ها
۲۳	مقدمه
۲۴	۱-۲ طبقه‌بندی و مشخصات شیمیایی سنگ‌های کارستی
۲۵	۱-۱-۲ سنگ‌های کربناتی
۲۸	۲-۱-۲ سنگ‌های تبخیری
۳۲	۳-۱-۲ ناخالصی‌های سنگ‌های کربناتی
۳۳	۲-۲ طبقه‌بندی سنگ‌های کربناتی
۳۵	۱-۲-۲ طبقه‌بندی فولک
۳۷	۲-۲-۲ طبقه‌بندی دانه‌ها
۳۸	۳-۲-۲ طبقه‌بندی رایت

- ۴۰ ۳-۲ نحوه تشکیل سازندهای دولومیتی و طبقه‌بندی آن
- ۴۱ ۴-۲ دیاژنز، تبلور مجدد، برگشتگی و نئومورفیسم سنگ‌های کربناتی
- ۴۴ ۵-۲ اثرات ویژگی‌های سنگ شناختی بر توسعه کارست
- ۴۵ ۱-۵-۲ تخلخل
- ۵۶ ۲-۵-۲ نفوذپذیری (تراوایی) و توسعه کارست
- ۵۹ ۳-۵-۲ نقش فرآیندهای زمین‌شناسی و تکتونیک در توسعه کارست
- ۶۳ ۶-۲ رابطه عمق و توسعه کارست
- ۶۴ ۷-۲ دیرینه کارست‌های (پالئوکارست) دگرشیب
- ۶۵ خود آزمایی فصل دوم

فصل سوم : انحلال‌پذیری سنگ‌های کارستی

- ۶۷ مقدمه
- ۶۸ ۱-۳ فرآیند انحلال
- ۷۲ ۲-۳ فرآیندهای مؤثر در ایجاد و انحلال کربنات‌ها
- ۷۵ ۱-۲-۳ مطالعه انحلال کربنات‌ها در سیستم‌های باز و بسته بر اساس میزان CO₂
- ۸۲ ۲-۲-۳ انحلال کربنات در محیط بسته بدون وجود CO₂
- ۸۵ ۳-۳ تکامل شیمیایی آب بارش در سنگ‌های کربناتی
- ۸۷ ۴-۳ تأثیر اختلاط آب‌ها بر انحلال کربنات‌ها
- ۸۸ ۵-۳ انحلال‌پذیری سنگ‌های آهکی
- ۹۶ ۱-۵-۳ اندیس اشباع کلسیت (Sc)
- ۹۷ ۲-۵-۳ اندیس اشباع دولومیت (Sd)
- ۹۸ ۶-۳ تأثیر حرارت آب در حلالیت کربنات‌ها
- ۱۰۱ خود آزمایی فصل سوم

فصل چهارم : ژئومورفولوژی و اشکال مناطق کارستی

- ۱۰۳ مقدمه
- ۱۰۴ ۱-۴ دولین‌ها (فروچاله‌ها یا آب فروچاله، حفره‌های فروکش)
- ۱۰۶ ۱-۱-۴ طبقه‌بندی دولین‌ها بر اساس شکل ظاهری
- ۱۰۶ ۲-۱-۴ طبقه‌بندی دولین‌ها بر اساس نوع تشکیل

- ۱۰۹ ۴-۲ اُوالا
- ۱۰۹ ۴-۳ پولژه‌ها
- ۱۱۱ ۴-۴ آون (پونور یا چاه‌های مکنده یا حفره‌های بلعنده)
- ۱۱۱ ۴-۵ اشکال سطحی کارستی (لایه یا کارن)
- ۱۱۷ ۴-۶ اشکال دیگر کارستی
- ۱۱۹ ۴-۷ استاول‌ها
- ۱۲۰ ۴-۸ دره‌های کارستی
- ۱۲۰ ۴-۸-۱ دره‌های آلوژنیک یا گود
- ۱۲۱ ۴-۸-۲ دره‌های کور (بسته)
- ۱۲۱ ۴-۸-۳ دره‌های حفره‌ای (جیبی)
- ۱۲۲ ۴-۸-۴ دره‌های خشک
- ۱۲۳ ۴-۹ غارها
- ۱۲۴ ۴-۹-۱ عوامل اصلی در تشکیل غار
- ۱۲۵ ۴-۹-۲ خصوصیات پتروگرافی و ساختمان سنگ‌های آهکی تشکیل دهنده غارها
- ۱۲۶ ۴-۹-۳ مقدار و نوع جریان آب‌های جاری
- ۱۲۹ ۴-۹-۴ عوامل فیزیوگرافی و ساختمانی غار
- ۱۳۲ ۴-۱۰ مواد رسوبی تشکیل شده در مناطق کارستی
- ۱۳۳ ۴-۱۱ نهشته‌های درونی غار
- ۱۳۷ خود آزمایی فصل چهارم

- ۱۳۹ فصل پنجم : طبقه‌بندی مناطق کارستی
- ۱۳۹ مقدمه
- ۱۴۰ ۵-۱ طبقه‌بندی سیویک
- ۱۴۰ ۵-۱-۱ هولو کارست (کارست کامل)
- ۱۴۰ ۵-۱-۲ مرو کاست (کارست ناکامل یا ناقص)
- ۱۴۱ ۵-۱-۳ کارست‌های انتقالی
- ۱۴۱ ۵-۱-۴ طبقه‌بندی هیدروژئولوژیکی
- ۱۴۳ ۵-۲ انواع طبقه‌بندی‌های دیگر
- ۱۴۷ ۵-۳ اشکال اصلی مناطق کارستی
- ۱۴۸ ۵-۳-۱ کارست واقعی (هولو کارست)

۱۴۸	۲-۳-۵ کارست‌های فلوویال
۱۴۹	۳-۳-۵ کارست‌های یخچالی و برفی
۱۴۹	۴-۳-۵ کارست‌های استوایی
۱۵۰	۱-۴-۳-۵ تپه‌های قیفی شکل
۱۵۱	۲-۴-۳-۵ کارست‌های برجی
۱۵۴	۵-۳-۵ کارست‌های لخت (بدون پوشش) و پوشیده
۱۵۵	۶-۳-۵ کارست‌های فسیل یا باقی‌مانده (قدیمی)
۱۵۵	۷-۳-۵ کارست‌های سین ژنتیک
۱۵۶	۸-۳-۵ کارست‌های دروغین یا کاذب
۱۵۶	۴-۵ مراحل تکامل مناطق کارستی
۱۵۹	خود آزمایی فصل پنجم
۱۶۱	فصل ششم : مطالعات هیدروژئولوژیکی مناطق کارستی (آبخوان‌های کارستی)
۱۶۱	مقدمه
۱۶۲	۱-۶ جریان آب در سازندهای کارستی
۱۶۶	۲-۶ نظریه‌های حرکت آب در مناطق کارستی
۱۷۰	۳-۶ بخش‌های مختلف مناطق کارستی
۱۷۲	۴-۶ مطالعات هیدروژئولوژیکی
۱۷۳	۱-۴-۶ افق‌های هیدروژئولوژیکی
۱۷۴	۲-۴-۶ آبخوان کارستی
۱۷۷	۳-۴-۶ آبخوان‌های ساحلی مناطق کارستی
۱۸۲	۴-۴-۶ استفاده از ردیاب‌ها در مناطق کارستی
۱۸۴	۵-۶ چشمه‌های کارستی
۱۸۶	۱-۵-۶ خصوصیات هیدرودینامیکی چشمه‌های کارستی در دوره‌های خشک و بی‌بارش
۱۸۷	۲-۵-۶ مطالعه منحنی تخلیه چشمه‌ها در دوره‌های خشک
۱۹۱	۳-۵-۶ محاسبه ضریب تخلیه در چشمه‌های کارستی
۱۹۴	۴-۵-۶ مطالعه ضرایب تخلیه
۱۹۶	۵-۵-۶ مقادیر حجم آب باقی‌مانده در سنگ مخزن و آب تخلیه شده از چشمه‌ها
۱۹۷	۶-۵-۶ طبقه‌بندی چشمه‌ها بر اساس دبی و ضریب تخلیه
۱۹۸	۶-۶ بیان هیدروژئولوژیکی مناطق کارستی
۲۰۲	خود آزمایی فصل ششم

۲۰۵	فصل هفتم : جریان هوا و شرایط اقلیمی در فضاهای خالی کارستی
۲۰۵	مقدمه
۲۰۶	۱-۷ جریان هوا در فضاهای خالی کارستی
۲۰۸	۲-۷ اختلاف تراکم در ستون هوا و جریان هوا در غارها و کانال‌های مناطق کارستی
۲۱۲	۳-۷ تأثیر حرارتی جریان هوا
۲۱۴	۴-۷ تأثیرات حرارتی آب‌های زیرزمینی
۲۱۵	۵-۷ اثرات شیمیایی و آب‌های متراکم در فضاهای خالی کارستی
۲۱۶	۶-۷ شرایط حیات در غارها
۲۱۸	خود آزمایی فصل هفتم
۲۱۹	فصل هشتم : مدیریت منابع آب (کارستی و غیرکارستی)
۲۱۹	مقدمه
۲۲۱	۱-۸ مدیریت منابع آب
۲۲۲	۲-۸ نقش آب در توسعه پایدار و وضعیت آب در ایران
۲۲۵	۳-۸ مدیریت و حفاظت منابع آب کارست
۲۲۶	۱-۳-۸ بهره‌برداری از منابع آب کارست
۲۲۷	۲-۳-۸ کیفیت منابع آب کارست
۲۲۹	۱-۲-۳-۸ انواع آلوده کننده‌ها
۲۳۰	۲-۲-۳-۸ کنترل کیفیت منابع آب کارست
۲۳۲	۴-۸ مسائل مهندسی کارست
۲۳۵	خود آزمایی فصل هشتم
۲۳۶	پاسخنامه
۲۴۳	واژگان
۲۴۹	منابع فارسی
۲۵۰	منابع خارجی

پیشگفتار

کتاب هیدرولوژی کارست که در پیش رو دارید مقدمه‌ای است کلی بر مطالعات پدیده کارست. در این کتاب سعی شده عوارض ژئومورفولوژیکی سازندهای کربناتی و مخصوصاً سنگ‌های آهکی در سطح زمین و منابع آب موجود در آنها، روابط و قوانین حاکم در شکل‌گیری و جریان آب در این نوع سنگ‌ها مورد بحث قرار گیرد. در این مباحث نمونه و مثال‌های از جهان و ایران ارائه شده است.

مطالب عنوان شده در این کتاب بر اساس مصوبات شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فن‌آوری برای دانشجویان دوره کارشناسی ارشد زمین‌شناسی به صورت دو واحد درسی به گونه‌ای تنظیم شده است که دانشجویان و علاقه‌مندان به مطالعات کارست، به راحتی بتوانند از آن استفاده کنند. قبل از مطالعه این کتاب لازم است پیش زمینه‌ای از علوم زمین‌شناسی و به طور اخص رسوب‌شناسی؛ سنگ‌شناسی رسوبی و آذرین، آب‌های زیرزمینی و قوانین حاکم بر آن؛ هیدروژئوشیمی و زمین‌شناسی ساختمانی داشته باشند.

هدف از تهیه و تدوین کتاب هیدرولوژی کارست، کمبود این گونه کتاب‌ها در رشته زمین‌شناسی و مخصوصاً در گرایش آب می‌باشد. این مسأله باعث شد، در این زمینه تا حد امکان کتابی خودآموز تهیه گردد. به همین منظور مطالب عنوان شده در هر فصل تا حد زیادی پیش‌نیاز فصل‌های بعدی است و مطالب هر فصل بر مبنای هدف‌های کلی و رفتاری تهیه شده است. هدف‌های کلی و رفتاری ارائه شده معیاری در افزایش دانسته‌ها و مهارت‌های خواننده پس از مطالعه متن کتاب می‌باشد. به همین دلیل اینجانب انتظار دارم دانشجویان با مطالعه این کتاب به اهداف مورد نظر برسند.

در ابتدای هر فصل مفاهیم جدیدی که برای اولین بار مطرح می‌شوند و به عنوان "**مفاهیم جدید**" فهرست شده‌اند که با دقت به آنها می‌توان تا حد زیادی به اهداف مورد نظر نزدیک‌تر شد و یادگیری آن بسیار ضروری می‌باشد. در آخر هر فصل نیز تعدادی سوال به عنوان خودآزمایی ارائه شده که بر اساس اهداف هر فصل به صورت تستی و تشریحی مطرح شده‌اند که در واقع نظیر سؤالات پایان ترم خواهد بود.

برای یادگیری هرچه بهتر قبل از هر چیز لازم است هدف‌های کلی و رفتاری هر فصل با توجه به نکات مورد تأکید به دقت از نظر محتوا و مفاهیم مطالعه گردد. در این کتاب تصاویر متعددی از عوارض کارست از نقاط مختلف جهان ارائه شده است که در یادگیری مطالب کمک خواهد کرد. همین‌طور روابط و فرمول‌های زیادی ارائه شده است که به خاطر سپردن همه آنها ضروری نیست، ولی روابط اصلی که در حل مسایل کمک می‌کند را باید به

خاطر داشته باشید. همان‌گونه که گفته شد در آخر هر فصل مسایلی داده شده است که پس از مطالعه همان فصل باید بتوانید حداقل به ۷۰ الی ۸۰ درصد سوالات پاسخ صحیح بدهید، در غیر این صورت لازم است فصل مورد نظر به خصوص بخش‌هایی را که نتوانسته‌اید پاسخ صحیح بدهید دوباره مطالعه کنید تا مطالب به خوبی در ذهن شما به صورت اصولی جای بگیرد.

در تدوین این کتاب قبل از هر چیز لازم است از آقایان دکتر حاجی کریمی و ارزانی در ارزیابی و ویراستاری تشکر و قدردانی نمایم.

این کتاب را به روان شاد پدر و مادر عزیزم که مرا در رسیدن به اهدافم از خود گذشتگی کرده‌اند اهدا می‌نمایم. به علاوه از دختر و همسرم در رابطه با مساعدت‌های لازم در حل مسایل کامپیوتری و ایجاد فضای مناسب در تهیه این نوشتار تشکر و قدردانی می‌نمایم. در ضمن در صورت مشاهده هرگونه اشتباه و خطا می‌توانید به گروه تدوین یا گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور و یا به پست الکترونیکی moghimii1193@gmail.com ارسال فرمایید.

دکتر همایون مقیمی

فصل اول

کارست، تعاریف و تاریخچه آن

اهداف

- در پایان این فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود؛
۱. اهمیت کارست و خطرات آن در محیط زندگی انسان را بیان کند.
 ۲. مفهوم کارست را درک کرده و توضیح دهد.
 ۳. تاریخچه تکامل مطالعات کارست را فرا بگیرد.
 ۴. تاریخچه، نحوه مطالعات و بررسی سازندهای کارستی در ایران را تشریح نماید.
 ۵. اهمیت مطالعات کارست از لحاظ منابع آب، نفت و گاز را درک کند.

مقدمه

بشر، سال‌ها قبل از سروکار داشتن با واژه "کارست" مخصوصاً از طریق گسترش غارها آشنا بوده است. در زمان‌های ما قبل تاریخ، غارها محل زندگی بشر، ذخیره آب و حفاظت او بوده است. در دوره پارینه سنگی تکامل بشر شامل نقاشی‌هایی بود که قدرت اعجاب‌آور بشر اولیه را در رسم تصاویر حیوانات و فعالیت‌های شکار نشان می‌داد. بشر اولیه این غارها را به عنوان نواحی زندگی انتخاب کرد و پیش رفتن آن‌ها به اعماق زمین وی را به منابع آب زیرزمینی هدایت نمود. این اولین تلاش بشر برای کشف و درک کارست و استفاده از این پدیده طبیعی برای بهبود شرایط زندگی و ایمنی خود بوده است.

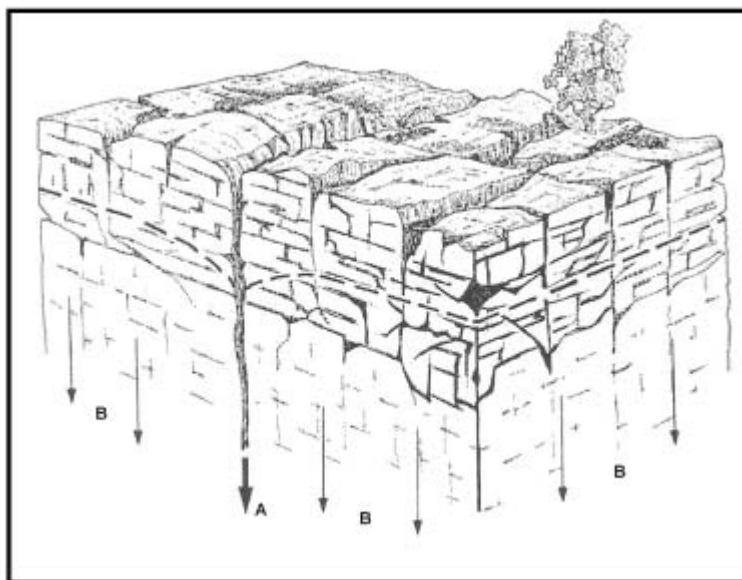
۱-۱ اهمیت کارست در محیط زندگی بشر

محیط زندگی انسان‌ها به گونه‌ای بسیار پیچیده با سنگ‌های کربناتی در هم آمیخته شده است. تقریباً کمی کمتر از یک پنجم سطح زمین را سنگ‌های کربناتی با خصوصیات فیزیکی پیچیده پوشانده که به خاطر هوازدگی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی مختلف، پستی و بلندی‌های متنوع از خود بروز می‌دهد. به طور مثال در یوگسلاوی سابق (صربستان، کرواسی و بوسنی هرزگوین) تقریباً در حدود ۳۳٪ سطح زمین کارستی است (میلانوویچ، ۱۹۸۱). در شوروی سابق ۴۰٪ زمین شامل کربنات‌ها و دیگر سنگ‌های قابل انحلال است و در آمریکا ۲۵٪ زمین‌ها روی سنگ‌های کربناتی قرار دارند. ایران بعد از کشورهای آمریکا، چین و ترکیه بالاترین درصد کارست را دارد و بیش از ۱۱٪ سطح کشورمان را سازندهای کارستی می‌پوشاند (افراسیابیان، ۱۳۷۷). در بعضی از نقاط، زیر دشت‌های آبرفتی نواحی کربناتی قرار دارند، حال آن که در مناطق بدون پوشش، به صورت صخره‌هایی با شیب تند و تیز، دره‌ها و گودال‌های عمیق می‌باشد. سنگ‌های کربناتی از منابع مهم مخازن آب، کانی، نفت و گاز هستند. همچنین مسایل زیادی در ارتباط با گسترش کافی مخازن آب، زهکشی صحیح و جلوگیری از عوامل جدی آلودگی وجود دارد. به علت پیچیدگی در نوع حرکت آب‌های زیرزمینی در کارست، روش‌های اکتشاف و توسعه آب، عملیات هندسی، ایمنی در سازه‌ها و ضرورت حفظ محیط زیست، نمی‌توان بر اساس قوانین یکنواخت مورد مطالعه قرار داد. تأثیر آسیب‌های ایجاد شده در نواحی کارستی بر روی زندگی بشر زیاد بوده و در صورتی که چاره‌اندیشی نشود می‌تواند هم از نظر زیست محیطی و هم از نظر مالی ضررهای غیرقابل جبرانی به وجود آورد.

۱-۲ تعریف کارست و مشخصات آن

پدیده کارست و ژئومورفولوژی آن نتیجه عملکرد آب بر سنگ‌های آهکی و سایر سنگ‌های قابل انحلال است. واژه کارست از نام جغرافیایی ناحیه شمال غرب یوگسلاوی سابق (اسلونی، صربستان و سواحل دریای آدریاتیک) نزدیک مرز ایتالیا منشاء می‌گیرد. واژه اسلاوی Krs یا Kras که به معنی سنگ است، کلمه هندی-اروپایی Kar که به معنای تخته سنگ و کلمه ایتالیایی Karso که به معنی سنگی

لم یزرع می‌باشد و مجموعه این واژه‌ها در واژه آلمانی کارست تبلور یافته است (میلانوویچ، ۱۹۸۱). نواحی کارستی دارای خصوصیات ویژه و اشکال زمین ریختی به‌خصوص در سطح و زیر سطح زمین هستند و مسیرهایی که در امتداد آن‌ها آب جریان می‌یابد باعث ایجاد این اشکال شده که عمدتاً در اثر توسعه تخلخل ثانویه ایجاد می‌گردند. نشانه‌ها و عوارض کارستی معمولاً به صورت عوارض سطحی، زیرسطحی و عمقی یا درونی رده‌بندی می‌شوند (شکل ۱-۱).



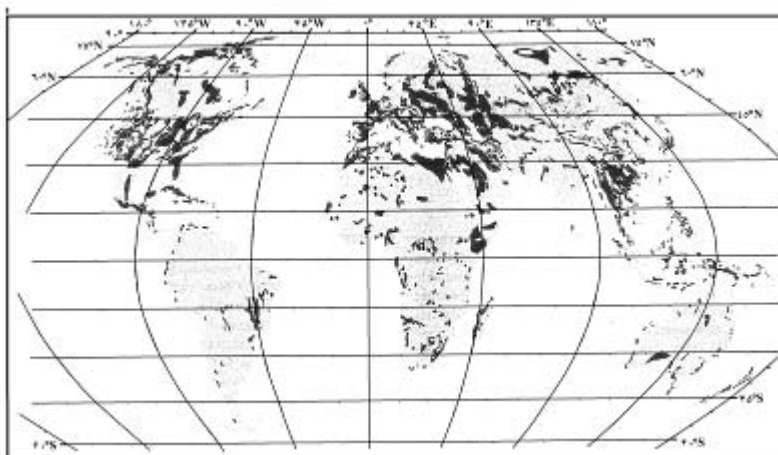
شکل ۱-۱ نمایش اجمالی از منطقه عوارض کارستی زیر سطحی (مانزین، ۱۹۷۵)،
A: تمرکز آب نشتی در جهت عمودی در عوارض کارستی زیر سطحی. بخش دیگر
پراکندگی آب ذخیره شده و تغذیه پخشی را نشان می‌دهد (B).

عوارض سطحی کارست بر روی نقشه‌های ژئومورفولوژیکی قابل مشاهده است ولی عوارض زیر سطحی از بالاترین بخش‌های سنگ‌های کارستی شروع و به سمت اعماق گسترش می‌یابند، در نتیجه به راحتی قابل آشکار شدن نیستند. ضخامت عوارض زیر سطحی از چندین دسی‌متر تا ده‌ها متر در تغییر است. تمرکز جریان و ذخیره آب از مهم‌ترین عملکردهای هیدرولیکی در عوارض کارستی زیر سطحی می‌باشد (کلیم چوک، ۱۹۹۶).

با توجه به اینکه مساحت زیادی از خشکی‌های کره زمین را سنگ‌های آهکی و قابل انحلال پوشانده است و بیشتر جمعیت جهان نیز بر روی این نواحی زندگی می‌کنند. فورد و ویلیامز (۱۹۸۹) تخمین زده‌اند که حدود ۲۵٪ از جمعیت جهان نیازهای آبی خود را از سیستم کارست تأمین می‌نمایند. شکل ۱-۲ نقشه پراکندگی سنگ‌های کارستی را در کره زمین نشان می‌دهد.

نواحی کارستی با داشتن پدیده‌های هیدرولوژیکی زیر از سایر نواحی تمیز داده می‌شوند:

۱. اشکال گوناگون باز شدگی سطحی با اندازه‌های متفاوت که منجر به نفوذ بسیار آب و چرخش سریع آن می‌گردد. در نتیجه نواحی کارستی ممکن است از نظر آب‌های زیرزمینی غنی و از نظر آب‌های سطحی فقیر باشند.
۲. سیستم آبراهه‌های زیرزمینی مانند غارها و رودخانه‌های زیرزمینی در آن‌ها خوب توسعه یافته‌اند و جریان آب در کارست در هر دو جهت افقی و عمودی با سرعت زیاد وجود دارد. به هر حال به‌طور کلی حرکت آب در کارست می‌تواند با سرعت‌های زیاد، متوسط و کم انجام شود.



شکل ۱-۲ پراکندگی جهانی بیرون‌زدگی سنگ‌های کارستی (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی ایران)

۳. اغلب نواحی کارستی جویبارهای سطحی و رودخانه‌های زیرزمینی هم زمان توسعه می‌یابند و جریان سطحی در مقیاس منطقه‌ای می‌تواند از حالت سطحی به حالت

جریان زیرزمینی و برعکس درآید. به علاوه وقتی تبادل جریان سطحی و زیرزمینی اتفاق می‌افتد، همهٔ جریان به داخل حوضه کارستی بازگشت نمی‌کند و مقداری از آن به صورت چشمه ظاهر شده و به حوضه‌های دیگر انتقال می‌یابد (وایت، ۱۹۹۶) و مقداری از آن‌ها ممکن است به داخل دریا جریان یابد و به صورت چشمه‌های زیر دریایی ظاهر شود (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷) و این امر باعث پیچیدگی بیشتر هیدرولوژی کارست می‌شود.

۴. در نواحی کارستی، به دلیل پوشش گیاهی متفرق و کم و رخنمون سنگ‌های بدون پوشش خاک، میزان تبخیر و تعرق نسبتاً زیاد است.

۵. در نواحی کارستی، سطح آب زیرزمینی مشخصی وجود ندارد. همان‌گونه که می‌دانیم در آبخوان‌های آبرفتی هیدرولوژی آب زیرزمینی در یک محیط متخلخل بررسی می‌شود، اما در کارست، اصولاً جریان آب زیرزمینی با آبرفت متفاوت است و نمی‌توان آن را مانند محیط‌های متخلخل آبرفتی بررسی نمود. لذا مفاهیم متداول در مورد آبرفت‌ها مانند ضریب آب‌گذری در کارست آن چنان کاربردی ندارد و یا کاربرد آن خیلی کم است. فورد و ویلیامز (۱۹۸۹) کاربرد قواعد عمومی هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های درز و شکاف‌دار که در اثر انحلال به صورت معابر لوله مانند درآمده‌اند، یعنی محیط کارستی را مورد سوال قرار داده‌اند و لذا کاربرد فرمول داری در این محیط‌ها را مناسب ندانسته‌اند. قانون داری یک رابطه تجربی بین نفوذپذیری (k)، گرایان هیدرولیکی (i) و سطح مقطع جریان (A) آب با حجم آب جریان یافته (q) می‌باشد، که با استفاده از رابطه ۱-۱ محاسبه است:

$$q = k A i \quad (1-1)$$

از رابطه فوق می‌توان سرعت جریان سیال و یا آب (v) را به دست آورد (رابطه ۱-۲):

$$v = k i \quad (2-1)$$

این قانون قطعاً در مورد جریان آرام (غیرمتلاطم که خطوط جریان با هم مخلوط نمی‌شوند) و مستقیم در یک مایع همگن و همروند کاربرد دارد و به وسیله عدد رینولدز مشخص می‌گردد. عدد رینولدز (NR) رابطه مستقیمی با وزن مخصوص سیال (ρ)، سرعت جریان سیال (v) که در اینجا منظور سرعت آب در مناطق کارستی است و قطر مؤثر (D) یا d_{10} به علاوه با لزجت (μ) رابطه عکس دارد (رابطه ۱-۳).

$$N_R = \rho \cdot v \cdot D / \mu \quad (3-1)$$

در این گونه موارد قانون دارسی وقتی معتبر و صادق است که این عدد کمتر یا مساوی یک باشد. اگر عدد رینولدز بیشتر از یک باشد جریان از حالت خطی خارج و آشفته شده و نیاز به استفاده از معادلات پیچیده دیگری می‌باشد.

۳-۱ تاریخچه مطالعه کارست

از مهم‌ترین اشخاصی که در مورد کارست مطالعه کردند دانشمند یوگسلاو یوان سیویک^۱ بود و اطلاعات با ارزشی برای تز دکترای خود به نام "در باب پدیده کارست" فراهم نمود. این اطلاعات در سال ۱۹۰۰ در کتاب پولزهای کارستی غرب بوسنی هرزگوین و در سال ۱۹۲۶ در کتاب "ژئومورفولوژی" آمده است.

از نقاط روشن و بارز در تاریخچه کارست به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- جغرافی‌دان یونانی اسکایلا کس کاریاندا^۲ در ۵۰۰ قبل از میلاد و پوزیدنیوس^۳ (۵۰-۱۳۵ قبل از میلاد) در مورد چشمه‌های تیماوو گزارش‌هایی ارائه و اعلام کردند این رودخانه در یک غار زیرزمینی ناپدید می‌گردد.

- در ۹۷۵ میلادی اعضای اجماع اسلامی برادران طاهر یک دایره‌المعارف دانش جمع‌آوری کردند. در این اسناد دانشمندان اسلامی درباره غارهای درون کوه‌ها و چشمه‌هایی که آب ذخیره شده در غارها را تخلیه می‌کنند، مطالبی نوشته‌اند.

- در مطالعات کارستی، چینی‌ها کتابی در مورد غارهای شمال چین در حدود ۲۲۱ قبل از میلاد نوشته‌اند که شامل توصیف غارها و هیدروگرافی آن بوده است. زوزیاک (در زمان خاندان مینگ)، عملیات صحرایی زیادی را در ناحیه کارستی جنوب چین یعنی گویلین برای مطالعه ژئومورفولوژی غارها انجام داد. وی سیمای کارست گرمسیری را توصیف کرد که شامل فنگلین یا قلل کارستی بود.

- بین سال‌های ۱۷۷۸ تا ۱۷۸۹، هاکوت^۴، در یک مطالعه و تهیه یک کتاب چهار جلدی، بسیاری از پدیده‌های هیدرولوژیک را توضیح داد که شامل انحلال سنگ آهک، سنگ چکه، درزه‌های پر شده، ارتباط بین رودها در یک ناحیه کارستی بود.

1. Civijic
2. Ekilas Carianda
3. Posedniou
4. Hacuit

- در سال ۱۸۳۴ در فرانسه، ویرلت^۱، توسعه بعضی از اشکال و ساختارهای کارستی را زودتر از سیویک مشخص کرد و از چشمه‌های معروف در جنوب فرانسه در وکلوز، واژه وکلوزین را به کارست اضافه کرد. این واژه در مورد تغییرات تخلیه می‌باشد.
- در سال ۱۸۵۶، دانشمندان فرانسوی ابی پارامل^۲ اولین کسی بود که سعی در مطالعه گسترش کارستی شدن عمقی و تشخیص مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی در کارست کرد.
- در ۱۸۷۳، ای تیتز^۳، کارست را در مجاورت تریست (منطقه‌ای در یوگسلاوی سابق) مطالعه کرد و اولین کسی بود که به این نواحی "تشکیلات کارست" اطلاق کرد.
- با شروع قرن بیستم سیویک بررسی سیستماتیک اشکال سطحی کارست و پدیده‌های کارستی را در ناحیه ساحلی آدریاتیک شروع کرد.
- گراند^۴ (۱۹۱۴-۱۹۰۳) یک منطقه اشباع در کارست را انتخاب و مشخص کرد که در ناحیه آدریاتیک، سطح دریا، سطح اساس فرسایش برای یک سیستم هیدرولوژیک کارست است و تغذیه از بارش باعث صعود سطح آب زیرزمینی می‌شود.

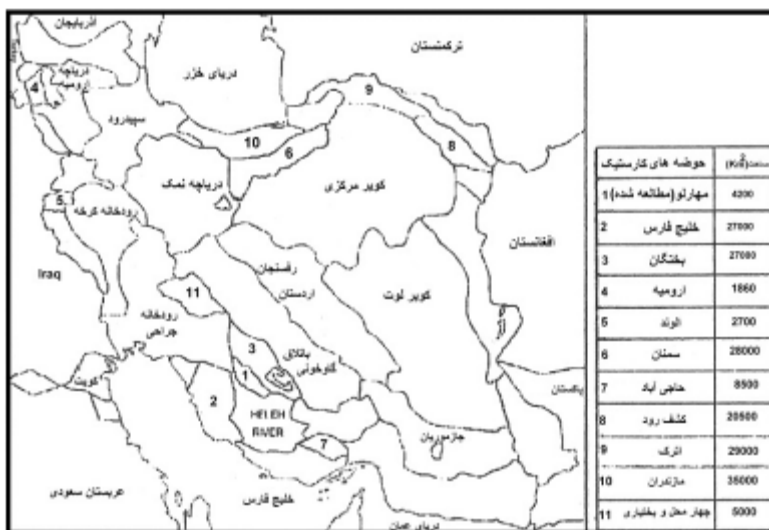
۱-۴ مطالعات و پژوهش‌های کارست در ایران

در کشور ایران که سازندهای کارستی حدود ۱۱ درصد از سطح آن را می‌پوشاند، اکتشاف منابع آب شیرین و حفاظت آن‌ها از منابع آلاینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (افراسیابیان، ۱۳۷۷). مطالعات کارست در ایران به مطالعات شناسایی در سال ۱۳۵۰ برمی‌گردد که عمدتاً در حوضه‌های کارستی زاگرس آغاز و تعداد زیادی چاه در نواحی مختلف آن حفاری گردیده است. اما مطالعات جامع آن از سال ۱۳۶۹ آغاز شده است. بعد از تأسیس مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارست در شیراز، اولین مطالعات جامع کارست در حوضه کارست مهارلو به مساحت ۴۲۰۰ کیلومترمربع انجام گردید و پس از تهیه روش مطالعات جامع، این مطالعات با افزایش شش حوضه کارستی دیگر به مساحت ۱۱۴ هزارکیلومترمربع رسید. با پی گیری این مرکز پیش‌بینی می‌شود با

1. Virlet
2. Ebiparmel
3. A. Tietz
4. Grund

افزایش حوضه‌های کارستی، مساحت مورد مطالعه به ۴۲۰ هزار کیلومتر مربع برسد (شکل ۱-۳).

به طور کلی از بدو تأسیس مرکز ملی مطالعات و تحقیقات سازندهای سخت (کارست) سازمان مدیریت منابع آب (وزارت نیرو)، تاکنون مطالعات موردی با توجه به نیاز آب شرب در مناطق ساوه - قم - خوانسار - طبس - دیلمان - ابرکوه - جهرم - پلدختر - به اتمام رسیده است و هم اکنون نیز مطالعات موردی منطقه کارست ایذه خوزستان و کارست عجب شیر آذربایجان شرقی در دست مطالعه می‌باشد. در هر سال، سالیانه با توجه به نیاز صنعت آب کشور دو تا سه منطقه به صورت موردی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.



شکل ۱-۳ تقسیم‌بندی حوضه‌های کارستی در ایران، حوضه‌های در دست مطالعه و حوضه‌هایی که در طول برنامه‌های توسعه مطالعه خواهند شد (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات سازندهای سخت (کارست)).

لازم به توضیح است که مطالعات منابع آب سازندهای کارستی و سازندهای سخت در مراحل اولیه به صورت شناسایی انجام که پس از بررسی اولیه در صورت نیاز کمبود

آب شرب در منطقه، مطالعات نیمه تفصیلی آن که معمولاً بین دو تا سه سال به طول می‌انجامد، انجام می‌گیرد.

دامنه کاری پژوهشکده مرکز مطالعات و تحقیقات سازندی (کارستی و سخت غیرکارستی)، با هدف تعیین پتانسیل بهره‌برداری و توسعه منابع آب کارستی و سازندی (با توجه به ویژگی‌های خاص آن‌ها از لحاظ جریان آب که از قانون دارسی تبعیت نمی‌کنند) بوده و در زمینه مطالعات شناسایی- نیمه تفصیلی، تفصیلی و موردی حوضه‌های مذکور برنامه‌ریزی می‌کند. با در نظر گرفتن اولویت‌ها و گسترش این سازندها در سطح کشور، مطالعات شناسایی، نیمه تفصیلی و موردی منابع کارستی و سازندی در پنج منطقه ایران انجام می‌شود (جدول ۱-۱).

- حوضه‌های کارستی و سازند سخت منطقه البرز
- حوضه‌های کارستی و سازند سخت منطقه زاگرس
- حوضه‌های کارستی و سازند سخت منطقه ایران - مرکزی
- حوضه‌های کارستی و سازند سخت منطقه کُپه داغ
- حوضه‌های کارستی و سازند سخت منطقه سنجندج سیرجان

در برنامه اول و دوم توسعه کشور تعداد ۴ حوضه کارستی از منطقه زاگرس توسط مرکز براساس متدولوژی مرکز کارست کشور مشخص و مطالعات نیمه تفصیلی انجام گرفته که این مقدار در برنامه سوم به ۱۲ حوضه افزایش داده شده است. تعداد حوضه‌های کارستی که در برنامه‌های چهارم، پنجم، ششم توسعه قرار است مطالعه شوند به ترتیب برابر با ۱۲، ۱۳ و ۱۱ حوضه خواهد بود.

با توجه به نقش منابع آب کارست و تأمین آب شرب کشور و انجام مطالعات موردی حوضه کارست مهارلو و ارائه روش‌های مطالعه از بدو تأسیس مرکز تا پایان سال ۷۹ جمعاً ۷ حوضه کارستی کشور به وسعت ۹۷۰۰۰ کیلومتر مربع زیر پوشش مطالعات نیمه تفصیلی قرار گرفت و پتانسیل بالقوه آنان در مناطق یاد شده تعیین گردید.

جدول ۱-۱ برنامه زمان‌بندی مطالعات نیمه تفصیلی حوضه‌های کارستی کشور در برنامه چهارم (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات سازندهای سخت (کارست))

نام حوضه	وسعت کیلومتر مربع	پتانسیل قابل بهره‌برداری حجم منابع آب کارست		سال مطالعه	مدت زمان مطالعات سال
		حجم آبخوان‌های کارستی میلیون مترمکعب	حجم پتانسیل قابل بهره برداری میلیون مترمکعب		
مهارلو	۴۲۰۰	۳۷۰	۵۸	۱۳۷۰	۳
خلیج فارس	۲۷۰۰۰	۲۶۴	۱۶/۷	۱۳۷۷	۳
بختگان	۲۸۰۰۰	۹۹۶	۲۱/۶	۱۳۷۸	۳
حاجی آباد	۷۳۰۰	۱۷۵/۸	۱۰/۸	۱۳۷۹	۲/۵
ارومیه	۱۰۰۴	۲۴/۲	۱۲/۳	۱۳۷۹	۲/۵
دامغان و سمنان	۲۷۰۰۰	۲۲۴	۱۸	۱۳۷۸	۳
شهرکرد	۳۷۳۳	۲۵۵/۷	۱۱۴/۳	۱۳۸۰	۳

ضمناً علاوه بر اتمام مطالعات مذکور مطالعات حوضه‌های کویر، سیاه کوه یزد و ساری و نکاء جمعاً به وسعت ۳۳۲۰۰ کیلومتر مربع تا پایان سال ۸۰ و مطالعات ۱۰ منطقه دیگر تا پایان برنامه سوم به اتمام رسیده است.

لازم به توضیح است، با اتمام مطالعات مذکور در حوضه‌های یاد شده و شناخت پتانسیل بالقوه منابع سازندی کمک مؤثری به کمبود آب شرب خواهد کرد. اهداف مطالعات جامع کارست را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد:

- محاسبه بیلان و تخمین پتانسیل حوضه کارستی.
 - تهیه مدل‌های هیدرولوژیکی و متدولوژیکی در نواحی مورد بررسی.
 - شناخت پدیده‌های کارستی در حوضه.
- مطالعات هیدروژئولوژی نواحی کارستی همراه با بررسی‌های اکتشافی انجام می‌شود. اما موارد زیر در نواحی کارستی بیشتر مورد توجه مرکز پژوهش‌های کارست قرار دارد:

- مطالعات جامع کارست؛ شامل مطالعات هیدروژئولوژی، ژئوفیزیک، جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها می‌باشد.
- اندازه‌گیری پیوسته و نمونه‌برداری از نقاط آبی کارستی (قنات، چشمه و چاه) به صورت ماهیانه و فصلی.
- اندازه‌گیری نوسانات آب زیرزمینی در چاه‌ها (نصب دستگاه‌های ثبات و لیمنوگراف در نقاط آبی) و بررسی تغییرات این نوسانات نسبت به بارندگی.
- مطالعات زمین‌شناسی به خصوص تکتونیکی در حوضه.
- تعیین ذخایر دینامیک و استاتیک چشمه‌های کارستی.
- تأسیس شبکه‌های مجهز باران سنجی؛ اندازه‌گیری منظم آبدهی رودخانه‌ها، چشمه‌ها و قنات باعث می‌شود؛ رژیم آبخوان‌های کارستی بهتر و دقیق‌تر مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد.
- استفاده از ردیاب‌ها و بررسی‌های ایزوتوپی که انجام بررسی‌های رادیو ایزوتوپی همراه با آنالیزهای آزمایشگاهی شناخت بهتری از حوضه کارستی به دست می‌دهد.

۵-۱ وضعیت کارست در ایران

همان‌گونه که ذکر شد در ایران نیاز فراوانی به استفاده از منابع آب کارستی وجود دارد و هنوز پدیده‌های کارستی ناشناخته زیادی وجود دارد که با مطالعات و همکاری‌های وسیع با مرکز بین‌المللی کارست تا در رفع این نیازها موفقیت حاصل گردد. از طرف دیگر به دلیل مرتفع بودن منابع کارستی در ایران دسترسی انسان‌ها به آن‌ها کمتر است و به همین دلیل تقریباً دور از آلودگی انسانی هستند. به علاوه اهمیت دیگر این منابع در احداث سازه‌هایی است که بر روی آن‌ها انجام می‌شود. مخصوصاً در کشور ما که سدهای زیادی در حال ساخت است. اکثر این سدها در تنگه‌ها و دره‌های کارستی احداث می‌شوند. بنابراین دانش مهندسی کارست دارای اهمیت بسیار زیادی است. از مهم‌ترین ویژگی‌های دیگر کارست می‌توان به قابلیت جذب گردشگر اشاره کرد. در کشور ما آبشارها، حوضچه‌ها و غارهای زیبایی مانند غار علی صدر در همدان و غار کتله خور در جنوب ابهر (استان زنجان) وجود دارد که عامل جذب گردشگر هستند.