

زمین شناسی مهندسی در کارست

مؤلف:

دکتر پیتر تی. میلانوویچ

ترجم:

شهریار مقدس (رشته زمین شناسی، دانش ژئوتکنیک)

به سرپرستی دکتر سعید محمد



قرآگاه سازند حامی آلاء



شرکت مهندسی سپاسد
SEPASAD ENGINEERING CO.

سرشناسه	: میلانویچ، پیتر تی. Milanovich, Peter T
عنوان و نام پدیدآور	: زمین‌شناسی مهندسی در کارست / مؤلف پیتر میلانویچ؛ مترجم شهریار مقدس؛ به سرپرستی سعید محمد.
مشخصات نشر	: تهران: سپاه پاسداران انقلاب اسلامی. قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء (ص)، ضرب مرکز: مؤسسه مهندسين مشاور سپاسد، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۳۰۴ ص.؛ مصور، جدول، نقشه، نمودار.
فروست	: مؤسسه مهندسين مشاور سپاسد؛ ۱۰.
شابک	: 978-600-6741-17-8
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Geological engineering in karst: dams, reservoirs, grouting ... , c2000
یادداشت	: کتاب حاضر قبلاً با عنوان مهندسی زمین‌شناسی در کارست با ترجمه مهرداد رهنمایی توسط نشر آوند اندیشه در سال ۱۳۸۴ منتشر شده است.
یادداشت	: واژه‌نامه.
عنوان دیگر	: مهندسی زمین‌شناسی در کارست.
موضوع	: آب‌شناسی کارست
موضوع	: بزمین‌شناسی
موضوع	: کارست
شناسه افزوده	: مقدس، شهریار، ۱۳۴۹-، مترجم
شناسه افزوده	: محمد سعید؛ ۱۳۲۷-
شناسه افزوده	: سپاه پاسداران انقلاب اسلامی. قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء (ص). قرب مرکز
شناسه افزوده	: شرکت مهندسی سپاسد
رده‌بندی کنگره	: GBA۴۲۷/۱۰۹ ۱۱
رده‌بندی دیویی	: ۴۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۴۳۳۱۳۵

زمین‌شناسی مهندسی در کارست

مترجم: شهریار مقدس

به سرپرستی دکتر سعید محمد

چاپ نخست: ۱۳۹۳؛ شمارگان: ۱۰۰۰

قیمت: ۱۵۰۰۰۰ ریال

چاپ و نظارت: امید انقلاب

ناظر فنی: ارتباطات و روابط بین الملل سپاسد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۷۴۱-۱۷-۸

دفتر مرکزی شرکت مهندسی سپاسد: میدان ونک، ابتدای خیابان ملاصدرا، نیش خیابان شاد، پلاک ۱۱

تلفن: ۰۴-۸۸۶۴۳۷۵۰ (۰۲۱)؛ نمابر: ۸۸۶۴۳۷۰۰ (۰۲۱)؛ کدپستی: ۱۴۳۵۷۶۳۳۱۱

www.sepasad.ir

Email: info@sepasad.ir

نشانی وبگاه:

يرفع الله الذين آمنوا منكم و الذين اتوا العلم درجات
خداوند مقام اهل ايمان و دانشمندان عالم را در دو جهان رفيع مي گرداند.

سوره مبارکه مجادله آيه ۱۱

حجت‌الاشرف

يکي از راه‌هاي کمال و نزديکي به ذات مقدس الهي کسب علم و دانش است. علمي که به تعبير استاد شهيد - آية الله العظمى - مطهری - زيبايي عقل است؛ علمي که انسان خداجو در آن نشانه‌هاي معبود را مي‌جست و علمي که هر چه فزون‌تر مي‌شود، صاحب آن را به خداوند جان و خرد نزديکتر مي‌کند.

دانش و تجربه سازماني در گروه گرانبها ترين سرمايه‌هاي آنها محسوب مي‌شود. به تبع آن ثبوت، نگهداري، توسعه و به کسب بيري علوم و هدفمند اين دانش امري ضروري است و به همين دليل است که توجه بسياري از مراکز علمي جهان - ويژه فني مهندسي - را معطوف خود ساخته است.

شرکت مهندسي سپاسد نيز در راستاي رسالت خود در امر خدمت به جامعه علمي و انتشار دانش کسب شده، و با فصل الخطاب قراردادن فرمايش مقام معظم رهبري در خصوص ثبوت دانش، که مي‌فرمايند: "همچنان که شاهد بوديم، بعضي از بخش‌ها بر رست فني را کتاب مي‌کنند و نگه مي‌دارند، اين دانش بايستي نهادينه و ثبت گردد و براي اينکه علوم بماند"، تهيه و تدوين تجارب خود را در دستور کار قرار داده‌اند. اين شرکت مهندسي با دليل از دو دهه تجربه گران سنگ در زمينه اجرائ پروژه‌هاي عظيم ملي بر آن شده است تا تجربيات و دانش متخصصان خود را در اختيار مجمع‌هاي علمي، استادان دانشگاهي و پژوهشگران علاقه‌مند به ثبت قرار دهد. بديهي است که در اين ارتباط شکاف ميان مباحث تنوري آکادميک و مباحث علمي و کارگامي کمتر مي‌شود.

در پايان با سپاس از زحمات دست‌اندرکاران و همکاران محترم در تحقق اين مهم، اميد است مجموعه تلاش‌هاي صورت گرفته مورد رضاي خداوند متعال - صاحب لوح و قلم - و امام عصر (عج) و استادان محترم علم و فن قرار گيرد.

پیشگفتار

مناطق کارستی دنیا در صد کوچکی از کل پوسته قاره‌ای زمین و نواحی ساحلی را به خود اختصاص می‌دهند. با وجود این از نقطه نظر توسعه حفظ منابع طبیعی، کنترل و حفظ منابع آب کارستی همینطور محیط مهندسی زمین‌شناسی، مناطق کارستی پیچیده‌ترین شرایط را برای کار و مهندسی بالاترین درصد خطر را ارائه داده و ممکن است به ناکامی چه به صورت جزئی و چه کلی در نيل به اهداف مطرح شده در تمام تشکيلات زمین‌شناسی منجر شود.

با نگاهی گذرا به گونه‌ی کسب تخصص مهندسان زمین‌شناسی کارست که ناشی از ممارست و تجربه است، یادگیری متوجه می‌شویم که این دستاورد با کار بر روی مشکلات ناشی از وجود کارست حاصل شده است. این متخصص چه یک زمین‌شناس، ژئوفیزیکست، هیدروژئولوژیست، مهندس سازه، جغرافیدان، شیمیدان، زیست‌شناس، حقوقدان مسائل آب و چه مهندس مکانیک باشد که مجبور بوده است در ارتباط با کارست کار کند. اساساً کتاب‌های با موضوع کارست این توان به سه گروه تقسیم کرد:

نظری، کاربردی و یا ترکیبی از این دو دیدگاه. کتاب‌های عمومی که مناسب دانشمندان و پژوهشگران باشند معمولاً با نظریه و توصیف در صفحات زمین و اساساً با تأثیر حرکت آنها بر روی تشکيلات سنگ‌های کربناتی شروع می‌شود. کتاب‌های تخصصی مهندسی زمین‌شناسی در کارست، بیشتر با جمع‌آوری و پردازش داده‌ها در دو موضوع تشکيلات سنگ‌هایی که در معرض کارستی شدن قرار گرفته و آنالیز موارد عملی انجام شده بر روی پروژه‌های کارستی متمرکز است.

کتاب دکتر میلانوویچ بیشتر به گروه دوم تعلق دارد تا نویسنده کتاب‌های با موضوع کارست. در این کتاب یک مجموعه غنی از اطلاعات در مورد پروژه‌های درگیر در کارست جمع‌آوری و ارائه شده است. این وظیفه به خوبی انجام شده است با در نظر داشتن به حقیقت که دکتر میلانوویچ با بسیاری از آنها در نقش هیدروژئولوژیست مطالعات و طراحی سازه‌ها و کوه‌ها داشته و اغلب به عنوان مشاور عالی در پروژه‌های کارست همکاری داشته است. یک نتیجه خوب و با ارزش این کتاب شرح ناکامی‌ها در پروژه‌های کارست است. با فرض اینکه شش درصد بیشتر از شکست‌ها در کارست یاد بگیرد تا از موفقیت‌ها.

Dr. Vujica Yevjevich

پروفسور بازنشسته مهندسی منابع آب دانشگاه ایالتی کلرادو

مقدمه

واژه کارست علاوه بر معنی زمین‌شناسی آن، معمولاً به صورت مترادفی برای مناطق سنگی بایر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که مناطق زمین‌شناسی غیرکارستی در امر ساخت پروژه‌های بزرگ برقابی از جمله سدها و مخازن، تأمین آب و پروژه‌های آبیاری به طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مقابل باید گفت که مناطق کارستی به عنوان محل‌هایی نامناسب برای توسعه پروژه‌های مشابه در نظر گرفته می‌شوند. این امر به دلیل ساختارهای پیچیده و مشخصات خاص افراد هیدرولوژیک بوده که تقریباً تنها به تشکیلات سنگی کارستی که عمدتاً دربرگیرنده آهک، دولومیت، گچ و هالیت هستند محدود می‌شود. قابلیت انحلال این سنگ‌ها نقش مهمی در شکل‌گیری معنی‌داری با مشخصات هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی پیچیده ایفا می‌کند.

به هر حال تقاضای روز به روز برای آب شرب، احیای اراضی و انرژی به تدریج گرایش مهندسان را به سمت استفاده از مناطق کارستی سوق داده است. در ده سال اخیر تعداد زیادی از پروژه‌های منابع آب در گرجیه و ترکیه، اسپانیا، یونان، آمریکا، اسپانیا، یونان، ترکیه، چین، فرانسه و ایران بوسنی و هرزگوین، کرواسی، آلمان، اتریش، روسیه، آمریکا، اسپانیا، یونان، ترکیه، چین، فرانسه و ایران با موفقیت به اجرا درآمده‌اند. به هر حال باید گفت که راه برای آن دسته از موفقیت‌ها، اغلب به دلیل عبرت‌آموزی از شکست‌ها و مشکلاتی که همراه شده به عنوان مثال، بسیاری از مخازن ساخته دست انسان در نواحی کارستی نمی‌توانستند به اندازه در احجام کافی برای تولید محصول در خود نگه دارند. مسائل عمده دیگری که مهندسان این‌را با آن سروکار داشتند پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و نفوذ آب به درون حفره‌ها در طول ساخت سدها بود. به همان میزان هم تلاش‌هایی با مشقت بسیار به نتیجه رسید. آنها تجربه بسیار گران‌قیمتی را از مواجهه با چالش‌های پیش روی فعالیت‌های ساختمانی در مناطق کارستی به دست آوردند. از آنجایی که زحمات همچنین در پیشرفت توسعه روش‌های مطالعاتی که پیش از این در دیگر محیط‌های زمین‌شناسی آزمایش شده بودند کمک گرفته شد. بعضی از این روش‌های آزمایش شده در مناطق کارستی به دست توانستند به کار برده شوند. ناگزیر باید اصلاح می‌شدند و در بسیاری موارد منجر به توسعه یک روش مطالعاتی کاملاً جدید می‌شد.

به کارگیری روش‌های مطالعاتی و اندازه‌گیری‌های پیشگیرانه در انتظامات انرژی نظیر؛ زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی، هیدرولوژی، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک توسعه پیدا کرده که در نیل به یک راه‌حل بهینه جهت رویارویی با مشکلات مورد مواجهه در توسعه پروژه‌های موفق در مناطق کارستی از اهمیت عمده‌ای برخوردار بود. به عنوان مثال، توسعه مخازن ساخت دست انسان، خود درک گسترده‌ای از طراحی و ساخت پدیده‌هایی به ویژه در نواحی کارستی دورتادور دنیا را ارائه

کرده است. این کتاب سعی دارد تا تشکیلات مناطق کارستی به همراه مشخصات مورد نیاز برای فهم طراحی و رفتار سازه‌ها در کارست را توانمند معرفی کند.

انتظار می‌رود که مواد مورد بحث در این کتاب، به ویژه تعدادی از مثال‌های فصل‌های سوم، پنجم، ششم، هفتم، و هشتم به همان ترتیب فنون مطالعاتی معرفی‌شده در فصل‌های دهم و یازدهم برای تمام زمین‌شناسان، مهندسان سازه و دیگر حرفه‌ای‌های درگیر با ساخت سدها، حفر تونل، استحصال آب و مدیریت منابع آب در سنگ‌های کارستی به اندازه کافی مفید باشد.

دلیل مشکلات زیربنایی در پیوند با سایت‌های کارستی یعنی جاهایی که حفرات حاصل از تونل‌ها و گنج وجود دارند، در این کتاب به طور ویژه مورد بحث قرار نمی‌گیرند. از سوی دیگر یک نگاه گسترده مهندسی از معیار پدیده‌های کارستی برای طراحی و ساخت زیربنای سدها، تونل‌ها و عملکرد آنها، تدریجاً ارائه می‌شود. تعدادی از فنون برای تعیین راه‌حل‌های عملی و نشان دادن سازه‌ای که درگیر با این پروژه‌ها باشد در دسترس هستند. این فناوری‌ها همچنین برای نشان دادن مشکلات اساسی و مرتبط با پیچیده‌ترین مشکلات اساسی در نواحی کارستی مناسب‌اند.

این کتاب در حد بالاتر از پیش‌مهندسات پروفیسور Dr. V. Yevjevich و A. Bozovic، شخصی که من از ایشان بسیار سپاسگزارم، برپا شده و بر اوان برده است. همچنین با سپاس از پروفیسور M. Markovic و پروفیسور D. M.ijatovic، که نقطه نظرات سودمند، و در نسخه خطی ایشان و همین‌طور از Arandelovic، مهندس ژئوفیزیک برای اثبات فصل ژئوفیزیک، قدردانی می‌شود.

فهرست

۱۳	فصل اول: معرفی کلی کارست
۱۵	۱-۱ ریشه و معنای واژه کارست (Origin & meaning of Karst)
۱۶	۲-۱ انواع کارست (Types of Karst)
۱۹	۳-۱ فرایند کارستی شدن (Karstification Process)
۲۰	۴-۱ نقش تکتونیک در فرایند کارست (Role Of Tectonics In Process Of Karstification)
۲۳	۵-۱ عمق کارستی شدن (Depth Of Karstification)
۲۶	۶-۱ تخلخل کارستی (Karst Porosity)
۲۸	۷-۱ ریزه‌ریزی مورفولوژیکی اصلی (Basic Geomorphological Features)
۳۶	۸-۱ چشمه‌های کارستی (karst Springs)
۳۸	۹-۱ پونورها (Swallow Holes)
۴۰	۱۰-۱ استاولها (Stalves)
۴۲	۱۱-۱ چشمه‌های دریایی (Submarine Springs)
۴۳	۱۲-۱ فرونشست و فروریزش (Subsidence & Collapse)
۴۷	فصل دوم: آب‌های زیرزمینی در کارست
۴۹	۱-۲ نظریه‌های پایه درباره گردش آب زیرزمینی کارستی (Basic Theories On Karst Groundwater Circulation)
۵۱	۲-۲ آبخانه کارستی
۵۳	۳-۲ تکامل آبخانه‌های کارستی (Evolution of Karst Aquifer)
۵۵	۴-۲ نوسانات سفره آب (Fluctuation Of Water Table)
۵۸	۵-۲ سرعت متوسط جریان آب در کارست (Average Velocity Of Water Flow In Karst)
۵۹	فصل سوم: تخلیه آب‌های زیرزمینی
۶۱	۱-۳ رویکرد کلی (General Approach)
۶۲	۲-۳ مثال‌ها (Examples)
۶۲	۱-۲-۳ چشمه Lez در فرانسه
۶۳	۲-۲-۳ چشمه Oko - هرزگوین
۶۵	۳-۲-۳ سازه آبگیر Zvir - کروواسی
۶۵	۴-۲-۳ چشمه Jergaly - اسلواکی
۶۵	۵-۲-۳ نمونه‌های اسپانیایی
۶۶	۶-۲-۳ سازه تخلیه آب Brestovica - اسلونی
۶۶	۷-۲-۳ چشمه Rijana - اسلونی
۶۷	۸-۲-۳ چشمه Palata مالی زاتون - کروواسی
۶۸	۹-۲-۳ سد دریایی Kiveri - یونان
۶۸	۱۰-۲-۳ چشمه Jama - هرزگوین
۷۰	۱۱-۲-۳ چشمه Opacika - یوگسلاوی
۷۱	۱۲-۲-۳ چشمه Almiros-Iraklion جزیره کرت یونان
۷۲	۱۳-۲-۳ چشمه خلیج Kotor - یوگسلاوی
۷۴	۱۴-۲-۳ چاه‌های عمیق در کازرون - ایران
۷۵	۱۵-۲-۳ چشمه Mrljisi - یوگسلاوی

۷۶	۳-۳ گالری‌های تخلیه آب (Tapping Galleries)
۷۹	۴-۳ استخراج آب ورودی تحت فشار (Tapping Of Water Intrusion Under Pressure)
۸۱	فصل چهارم: خطرپذیری ذاتی
۸۳	۱-۴ مقدمه
۸۶	۲-۴ پیش‌زمینه زمین‌شناسی برای خطرپذیری (Geological Predisposition To Risk)
۸۸	۳-۴ انواع خطرپذیری (Risk Types)
۸۹	۴-۴ زمان به عنوان مؤلفه خطرپذیری (Time As Risk Component)
۹۰	۵-۴ خطرپذیری‌های زیست‌محیطی (Risks Of Ecological Nature)
۹۱	۶-۴ لرزه‌های القایی (Induced Siesmities)
۹۱	۷-۴ راه کاهش خطرپذیری (Sterategy of Risk Reduction)
۹۳	۸-۴ ارزش‌میت خطرپذیری (Acceptance Of Risk Reality)
۹۵	فصل پنجم: تزریق در کارست
۹۷	۱-۵ داده‌های مورد نیاز برای طراحی پرده تزریق (Data Needed For Grout Curtain Design)
۹۹	۲-۵ آزمایش فشار آب-آزمایش لوژن (Water Pressure Test-Lugeon Test)
۱۰۱	۳-۵ رابطه بین Q و U (مانایی هیدرولیکی) (K)
۱۰۲	۴-۵ موقعیت پرده تزریق (Grout Curtain Position)
۱۰۳	۵-۴ ضوابط تزریق (Grouting Criteria)
۱۰۵	۵-۵ عمق تزریق (Grouting Depth)
۱۰۶	۶-۵ فشار تزریق (Grouting Pressure)
۱۰۹	۷-۵ شکست هیدرولیکی (Hydolic Fracturing)
۱۱۱	۸-۵ روش تزریق (Grouting Procedure)
۱۱۱	۹-۵ روش‌های اجرای عملی (Grouting Procedures)
۱۱۲	۱۰-۵ مصرف دوغاب (Grout Mass Consumption)
۱۱۵	۱۱-۵ اصول GIN
۱۱۶	۱۲-۵ برون‌شویی سنگ کارستی برای تزریق (Karstified Rock Flushing For Grouting)
۱۱۸	۱۳-۵ نفوذناپذیرسازی نشت متمرکز (Concentrated Leakage Impermeabilization)
۱۱۸	۱۴-۵ آییندسازی از سطح منطقه (Impermeabilization at the Surface Of the Terrain)
۱۲۶	۱۵-۵ پلاگ کانال کارستی (Karst Channel Plugging)
۱۳۶	۱۶-۵ مطالعات موردی (Case Studies)
۱۳۶	۱-۱۱-۵ سد Douglas - آمریکا
۱۳۷	۲-۱۱-۵ سد Hales Bar - آمریکا
۱۳۷	۳-۱۱-۵ مخزن Great Falls - آمریکا
۱۳۸	۴-۱۱-۵ سد Lar - ایران
۱۴۲	۵-۱۱-۵ سد Keban - ترکیه
۱۴۳	۶-۱۱-۵ سد Sklope - کروواسی
۱۴۶	۷-۱۱-۵ سد Canelles - اسپانیا
۱۴۷	۸-۱۱-۵ سد Spiljie - مقدونیه
۱۵۰	۹-۱۱-۵ سد Khao Laem - تایلند
۱۵۱	۱۰-۱۱-۵ سد karoun ۱ - ایران
۱۵۳	۱۱-۱۱-۵ سد Camarasa - اسپانیا
۱۵۴	۱۲-۱۱-۵ سد Wolf Greek - آمریکا

۱۵۵	۱۳-۱۱-۵ سد Visgard - بوسنی و هرزگوین
۱۵۷	۱۴-۱۱-۵ سد Grabovica - بوسنی و هرزگوین
۱۵۹	۱۵-۱۱-۵ سد El Cajon - هندوراس
۱۶۳	۱۶-۱۱-۵ سد Oymapinar - ترکیه
۱۶۵	۱۷-۱۱-۵ سد Piva - یوگسلاوی
۱۶۷	۱۸-۱۱-۵ سد Grancarevo - بوسنی و هرزگوین
۱۶۸	۱۹-۱۱-۵ سد Marun - ایران
۱۷۰	۲۰-۱۱-۵ مخزن جیرانی Hotovo - بوسنی و هرزگوین
۱۷۵	۲۱-۱۱-۵ مخزن Busko Blato - بوسنی و هرزگوین
۱۷۶	۲۲-۱۱-۵ مخزن پولژه Niksic - یوگسلاوی
۱۸۱	۲۳-۱۱-۵ مخزن Mornos - یونان
۱۸۲	۲۴-۱۱-۵ مخزن Perdika - یونان
۱۸۲	۲۵-۱۱-۵ مخزن Mavroco - مقدونیه
۱۸۳	۲۶-۱۱-۵ سد Kuyucuk - ترکیه
۱۸۴	۲۷-۱۱-۵ سد A - ترکیه
۱۸۴	۲۸-۱۱-۵ سد C - ترکیه
۱۸۴	۲۹-۱۱-۵ سد Cevizli - ترکیه
۱۸۴	۳۰-۱۱-۵ سد Lone Pine - آمریکا
۱۸۴	۳۱-۱۱-۵ سد Dokan - عراق
۱۸۵	۳۲-۱۱-۵ سد Ataturk - ترکیه
۱۸۸	۳۳-۱۱-۵ سد Salakovac - بوسنی و هرزگوین
۱۸۹	۳۴-۱۱-۵ سد Wujiangdu - چین
۱۹۰	۱۲-۵ ساخت سد و مخزن بر روی کنگلومرا، گچ و شن
۱۹۲	۱-۱۲-۵ سد McMillan - آمریکا
۱۹۲	۲-۱۲-۵ سد Kamskoya - روسیه
۱۹۳	۳-۱۲-۵ سد Mousel - عراق
۱۹۴	۴-۱۲-۵ مخزن Huoshipo - چین
۱۹۵	فصل ششم: سدها و مخازن زیرزمینی
۱۹۷	۱-۶ طبقه‌بندی کلی مخازن زیرزمینی
۱۹۸	۲-۶ ویژگی پایه یک ذخیره زیرزمینی مصنوعی
۱۹۹	۳-۶ ایده‌های ممکن سازه‌های آبند
۱۹۹	۴-۶ مزایا و معایب سدها و مخازن زیرزمینی
۲۰۰	۵-۶ مثال‌ها و پروژه‌ها
۲۰۰	۱-۵-۶ مثال‌هایی در چین
۲۰۳	۲-۵-۶ پروژه Miyako - ژاپن
۲۰۵	۳-۵-۶ مجتمع نیروگاهی Ombla - کروواسی
۲۰۹	۶-۶ بعضی پیامدهای نامطلوب ذخیره زیرزمینی
۲۱۱	۷-۶ ناپایداری سنگ و فعالیت لرزه‌ای موضعی
۲۱۵	فصل هفتم: غرقاب‌شدگی چشمه کارستی
۲۱۷	۱-۷ غرقاب‌شدگی چشمه Trebisnjica
۲۲۰	۲-۷ غرقاب‌شدگی چشمه Dumanli

۳-۷	غرقاب‌شدگی چشمه Neraidha	۲۲۱
۴-۷	غرقاب‌شدگی چشمه Pivsko Oko	۲۲۲
فصل هشتم: حفر تونل در کارست - مشکلات متداول		
۱-۸	ماهیت مشکل	۲۲۵
۲-۸	ملزومات مطالعات	۲۲۶
۳-۸	نواقص و کارهای اصلاحی	۲۲۶
۴-۸	ماشین‌های حفار تونل در کارست (TBM)	۲۳۲
فصل نهم: معیارهای پیشنهادی برای حفظ زون‌بندی آب زیرزمینی در نواحی کارستی		
۱-۹	مقدمه	۲۳۷
۲-۹	مفهوم زون‌بندی واقعی به کاررفته در نواحی غیرکارستی	۲۳۹
۳-۹	پارامترهای هیدروژئولوژیکی پایه برای ضوابط زون‌بندی در کارست	۲۴۰
۴-۹	معیارهای برای زون‌بندی	۲۴۱
۵-۹	محدودیت‌ها در زون‌بندی	۲۴۳
۶-۹	مشخصات روش‌های زون‌بندی در کارست	۲۴۳
۷-۹	بازدید و کنترل کیفیت	۲۴۴
۸-۹	طراحی حفاظت	۲۴۵
فصل دهم: فنون ردیابی آب‌های زیرزمینی		
۱-۱۰	مقدمه	۲۴۷
۲-۱۰	ردیاب‌های رنگی (Dye Tracers)	۲۴۹
۳-۱۰	نمک معمولی	۲۵۰
۴-۱۰	ایزوتوپ‌های پرتوزا	۲۵۵
۵-۱۰	ایزوتوپ‌های نوع Post-Activated	۲۵۹
۶-۱۰	ردیاب‌های دودی و گازی	۲۶۰
فصل یازدهم: کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در کارست		
۱-۱۱	مقدمه	۲۶۳
۲-۱۱	روش‌های ژئوالکتریکی	۲۶۵
۳-۱۱	لوگ ژئوفیزیکی گمانه‌ها	۲۶۶
۴-۱۱	تأثیر زمین‌گرمایش به عنوان پیامد گردش آب از راه آبگذرهای کارستی	۲۷۴
۱-۴-۱۱	روش مطالعه	۲۷۷
۲-۴-۱۱	چشمه Ombra: اندازه‌گیری‌های حرارتی برای تشخیص جریان زیرزمینی	۲۸۰
۳-۴-۱۱	اندازه‌گیری‌های دما برای تشخیص نقاط فرار آب از مخزن Busko Blato	۲۸۱
۴-۴-۱۱	سدها Maotiaohe - اندازه‌گیری‌های ژئوترمال	۲۸۳
۵-۱۱	روش رادار گمانه‌ای	۲۸۴
۱-۵-۱۱	تکنیک رادار گمانه‌ای	۲۸۵
۲-۵-۱۱	مطالعات با استفاده از رادار - چشمه Ombra	۲۸۵
۶-۱۱	روش VLF الکترومغناطیسی	۲۸۷
۷-۱۱	روش Geo-Bomb	۲۸۸
منابع		
۲۹۵		۲۹۱