



دانشگاه ساه نور
په

زمين شناسي مهندسي

(رشته زمين شناسي)

بهروز توکلي

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

یازده	مقدمه
۱	فصل اول. کاربرد زمین‌شناسی در مسائل مهندسی
۱	۱-۱ کلیات
۲	۲-۱ همکاری مهندسین زمین‌شناسی با سایر مهندسین
۵	۳-۱ مطالعات زمین‌شناسی مهندسی
۸	۴-۱ نقشه‌های زمین‌شناسی
۹	۵-۱ نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی
۱۱	۶-۱ مقطع‌های زمین‌شناسی مهندسی
۱۱	۱-۶-۱ روش تهیه مقطع‌های زمین‌شناسی مهندسی
۱۳	۲-۶-۱ کاربرد عملی مقطع‌های زمین‌شناسی مهندسی
۲۱	۷-۱ شمای کلی از بررسی زمین‌شناسی مهندسی یک ساختگاه
۲۳	فصل دوم. تحلیل تنش و تنجش در مواد پوسته زمین
۲۳	۱-۲ کلیات
۲۷	۲-۲ مفهوم تنش در یک جسم
۳۰	۳-۲ تحلیل تنش در مقاطع مختلف جسم
۳۱	۱-۳-۲ تنش یک‌محوری
۳۵	۲-۳-۲ تنش دو‌محوری
۴۱	فصل سوم. کاربرد تنش و تنجش در زمین‌شناسی مهندسی
۴۱	۱-۳ کلیات
۴۲	۲-۳ مقاومت و گسیختگی اجسام
۴۲	۱-۲-۳ مقاومت کششی
۴۴	۲-۲-۳ مقاومت فشاری و برشی
۴۸	۳-۳ قانون کولمب
۵۳	۴-۳ پخش تنش در خاک

- ۵۷ ۳-۴-۱ نمایش توزیع عمودی در خاک
 ۶۴ ۳-۵-۵ تنش ناشی از وزن خاک
 ۶۶ ۳-۵-۱ تنش عمودی خاک
 ۶۷ ۳-۵-۲ تنش‌های جانبی خاک
 ۷۹ ۳-۶-۶ تنش‌های تکتونیکی

فصل چهارم. تحلیل رده‌بندی مهندسی سنگ‌ها

- ۸۱ ۴-۱-۱ کلیات
 ۸۱ ۴-۲-۲ رده‌بندی مهندسی سنگ‌ها
 ۸۲ ۴-۲-۱ مطالعات صحرایی توده سنگ در سطح زمین
 ۸۵ ۴-۲-۲ مطالعات حفاری و ژئوفیزیکی توده سنگ در زیر سطح زمین
 ۸۸ ۴-۳-۳ سنگ‌های آذرین در رده‌بندی زمین‌شناسی مهندسی
 ۹۱ ۴-۴-۴ سنگ‌های رسوبی در رده‌بندی زمین‌شناسی مهندسی
 ۹۵ ۴-۵-۵ سنگ‌های دگرگونی در رده‌بندی زمین‌شناسی مهندسی
 ۹۸ ۴-۶-۶ مقاومت فشاری و کششی یک‌محوری سنگ‌ها
 ۱۰۵ ۴-۷-۷ سختی سنگ‌ها
 ۱۰۷ ۴-۸-۸ رفتار سنگ‌ها در مقابل فشار یک‌محوری
 ۱۰۸ ۴-۹-۹ انواع شکستگی در سنگ‌ها
 ۱۱۲ ۴-۱۰-۱۰ ویژگی‌های زمین‌شناسی سنگ‌ها با مقاومت فشاری یک‌محوری
 ۱۱۳ ۴-۱۰-۱-۱ ترکیب کانی‌شناسی
 ۱۱۴ ۴-۱۰-۲ اندازه‌های دانه‌ها و حفره‌ها
 ۱۱۵ ۴-۱۰-۳ هوازدگی

فصل پنجم. تحلیلی رده‌بندی مهندسی خاک‌ها

- ۱۱۷ ۵-۱-۱ کلیات
 ۱۱۷ ۵-۲-۲ تجزیه مکانیکی خاک با استفاده از یک سری الک استاندارد
 ۱۱۸ ۵-۲-۱ منحنی دانه‌بندی
 ۱۲۱ ۵-۲-۲ شیب منحنی دانه‌بندی
 ۱۲۲ ۵-۳-۳ تجزیه هیدرومتری با استفاده از سرعت رسوب ذرات در آب
 ۱۲۴ ۵-۴-۴ خواص خاک‌های ریزدانه
 ۱۲۵ ۵-۴-۱ حد روانی
 ۱۲۶ ۵-۴-۲ حد خمیری
 ۱۲۸ ۵-۴-۳ حد انقباض
 ۱۲۸ ۵-۵-۵ شاخص‌های حاصل از حدهای آتربرگ
 ۱۳۲ ۵-۵-۱ شاخص خمیری
 ۱۳۲ ۵-۵-۲ شاخص روانی
 ۱۳۳ ۵-۶-۶ رده‌بندی مهندسی خاک‌ها
 ۱۳۸ ۵-۶-۱ سیستم AASHTO
 ۱۳۸ ۵-۶-۲ سیستم USC (یونیفاید)
 ۱۴۴ ۵-۷-۷ کاربرد رده‌بندی خاک در زمین‌شناسی مهندسی
 ۱۵۰ ۵-۷-۱ بتن
 ۱۵۰ ۵-۷-۲ روسازی راه‌ها

- ۱۵۱ ۳-۷-۵ زیرسازی راه‌ها
 ۱۵۱ ۴-۷-۵ سیستم فیلتر مناسب
 ۱۵۲ ۵-۷-۵ خاک‌های منبسط‌شونده

- ۱۵۵ فصل ششم. خصوصیات فیزیکی و تحلیل روابط حجمی و وزنی در خاک و سنگ
 ۱۵۵ ۱-۶ کلیات
 ۱۵۷ ۲-۶ سیستم فیزیکی
 ۱۵۸ ۳-۶ تحلیل روابط وزنی و حجمی

- ۱۷۳ فصل هفتم. آزمایش‌های معمول برای تعیین مقاومت‌های سنگ و خاک
 ۱۷۳ ۱-۷ کلیات
 ۱۷۴ ۲-۷ آزمایش برش مستقیم
 ۱۷۷ ۳-۷ آزمایش سه‌محوری
 ۱۸۱ ۴-۷ آزمایش یک‌محوری
 ۱۸۲ ۵-۷ آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
 ۱۸۳ ۵-۷ تراکم نسبی خاک‌های اصطکاکی
 ۱۸۵ ۲-۵-۷ مقاومت فشاری یک محوری خاک‌ها
 ۱۸۶ ۳-۵-۷ زاویه اصطکاک داخلی خاک ϕ
 ۱۸۶ ۶-۷ آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)
 ۱۸۸ ۷-۷ آزمایش بارگذاری

- ۱۸۹ فصل هشتم. تحلیل حرکت آب در سنگ و خاک
 ۱۸۹ ۱-۸ کلیات
 ۱۹۱ ۲-۸ فشار استاتیک آب در یک نقطه
 ۱۹۲ ۳-۸ تعیین فشار آب
 ۱۹۴ ۴-۸ جریان آب در خاک
 ۱۹۸ ۵-۸ شبکه جریان
 ۱۹۹ ۱-۵-۸ خطوط جریان
 ۱۹۹ ۲-۵-۸ خطوط هم‌پتانسیل
 ۱۹۹ ۶-۸ محاسبه مقدار جریان در محیط متخلخل (مقدار تلفات آب)
 ۲۰۴ ۷-۸ طرز ترسیم شبکه جریان
 ۲۱۲ ۸-۸ روش‌های مختلف تعیین ضریب نفوذپذیری K
 ۲۱۲ ۱-۸-۸ روش‌های آزمایشگاهی
 ۲۱۵ ۲-۸-۸ روش‌های صحرایی
 ۲۲۴ ۳-۸-۸ مقادیر عددی نفوذپذیری
 ۲۲۷ ۹-۸ ضریب نفوذپذیری معادل خاک چندلایه‌ای
 ۲۲۷ ۱-۹-۸ حالت اول، جریان عمود بر لایه‌های خاک
 ۲۲۹ ۲-۹-۸ حالت دوم، جریان در جهت موازی با لایه‌های خاک

- ۲۳۵ فصل نهم. تحلیل حرکت توده خاک و سنگ
 ۲۳۵ ۱-۹ کلیات

۲۳۶	۲-۹ طبقه‌بندی حرکت توده خاک و سنگ
۲۳۶	۱-۲-۹ سقوط
۲۳۷	۲-۲-۹ واژگونی
۲۳۸	۳-۲-۹ جاری شدن
۲۳۸	۴-۲-۹ لغزش‌ها
۲۴۳	۵-۲-۹ مختلط
۲۴۳	۳-۹ پایداری حرکت‌های توده خاک و سنگ
۲۴۴	۱-۳-۹ بررسی‌های صحرایی
۲۴۵	۲-۳-۹ بررسی‌های استاتیکی
۲۴۷	۴-۹ اصول محاسبه ضریب اطمینان
۲۴۷	۱-۴-۹ ضریب اطمینان یک قطعه سنگ در امتداد یک صفحه مستوی
۲۴۹	۲-۴-۹ ضریب اطمینان یک توده سنگ در یک امتداد یک صفحه مستوی
۲۵۷	۵-۹ عوامل مؤثر در ایجاد لغزش
۲۵۸	۶-۹ پیشگیری و نگهداری لغزش‌ها
۲۵۸	۱-۶-۹ رویش گیاهان
۲۵۹	۲-۶-۹ برداشتن بخشی از خاکریز و کاهش بار از آن
۲۶۰	۳-۶-۹ بارگذاری روی پنجه
۲۶۰	۴-۶-۹ دیوارهای سنگی
۲۶۰	۵-۶-۹ دیوارهای مسلح
۲۶۱	۶-۶-۹ زهکشی

۲۶۳	فصل دهم. روش‌های ژئوفیزیکی در زمین‌شناسی مهندسی
۲۶۳	۱-۱۰ کلیات
۲۶۴	۲-۱۰ پی‌جویی لرزه‌ای
۲۶۶	۱-۲-۱۰ روش لرزه‌ای انکساری
۲۶۹	۳-۱۰ بررسی‌های ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریکی
۲۷۲	۱-۳-۱۰ آرایش شولومبرژه
۲۷۴	۲-۳-۱۰ آرایش ونر
۲۷۴	۴-۱۰ کاربرد روش لرزه‌ای در زمین‌شناسی مهندسی
۲۷۶	۵-۱۰ کاربرد روش الکتریکی در زمین‌شناسی مهندسی

۲۷۹	فصل یازدهم. زمین‌شناسی مهندسی ابنیه و ساختمان‌های فنی
۲۷۹	۱-۱۱ کلیات
۲۸۰	۲-۱۱ دیوارهای حائل
۲۸۷	۳-۱۱ تونل‌ها
۲۸۷	۱-۳-۱۱ لایه‌بندی زمین
۲۸۸	۲-۳-۱۱ چین‌خوردگی زمین
۲۸۹	۳-۳-۱۱ شیب‌های تند زمین
۲۹۱	۴-۳-۱۱ منطقه‌های گسلیده
۲۹۲	۵-۳-۱۱ سطح آب زیرزمینی
۲۹۳	۴-۱۱ سدها
۲۹۳	۱-۴-۱۱ سدهای مخزنی که به منظور ذخیره آب ساخته می‌شوند

- ۲۹۵ ۲-۴-۱۱ سدهای انحرافی که به منظور منحرف کردن مسیر آب ساخته می‌شوند
- ۲۹۵ ۳-۴-۱۱ مشخصات فنی یک سد مخزنی
- ۲۹۵ ۴-۴-۱۱ شرایط طبیعی برای سدهای مخزنی
- ۲۹۶ ۵-۴-۱۱ نفوذپذیری مواد زمین در اطراف سدها
- ۲۹۹ ۶-۴-۱۱ پی در سدهای مخزنی
- ۳۰۲ ۷-۴-۱۱ آهک‌های کارستی در اطراف سدها

۳۰۵

فهرست منابع مورد استفاده

مقدمه

زمین‌شناسی مهندسی علمی است که ضمن تحلیل کیفی زمین، به موضوع کمیت رفتاری آن جهت کاربردهای مهندسی می‌پردازد. در حال حاضر زمین‌شناسی مهندسی عمدتاً به‌عنوان یک علم بین رشته‌ای است که پیوند بین دو رشته زمین‌شناسی و مهندسی عمران را برقرار می‌کند. در این گرایش ضمن بررسی و تحلیل گذشته زمین به تشریح وضعیت فعلی زمین پرداخته و اندرکنش رفتار زمین و سازه مورد نظر را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. اصطلاح زمین‌شناسی مهندسی بعضی اوقات از سوی بعضی متخصصین، مترادف با ژئوتکنیک تداعی می‌شود هر چند به لحاظ ماهیت و زمینه‌های مطالعاتی متفاوت هستند.

به‌طورکلی در این گرایش رفتار سازه‌هایی نظیر سدها و آسمان‌خراش‌ها که بر روی پوسته زمین اجرا می‌شود یا سازه‌های زیرزمینی نظیر تونل‌ها و مغارها که در درون زمین احداث می‌شود مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این ارتباط لازم است خصوصیات رفتاری پوسته زمین شامل سنگ‌ها و خاک‌ها و حرکت آب در زمین مورد ارزیابی قرار گرفته و وضعیت تنش‌ها و کرنش‌ها در اطراف سازه‌های فوق‌الذکر بررسی و تحلیل شود تا بتوان در خصوص موضوع پایداری و سلامت آن‌ها اظهارنظر نمود.

در این کتاب سعی شده است با توجه به اصول زمین‌شناسی به کاربردهای مهندسی آن اشاره شود و بصورت محدود با تعدیل کتاب اولیه که توسط آقای مهندس توکلی نگارش شده است مجموعه حاضر قابل استفاده جهت دانشجویان زمین‌شناسی قرار گیرد.

فصول مختلف کتاب شامل مباحثی نظیر تحلیل تنش-کرنش، خصوصیات مهندسی و رفتار خاکها و سنگها و رده بندی مهندسی آنها، موضوع آب در زمین، تحلیل پایداری شیبهای سنگی، کاربرد ژئوفیزیک در کارهای مهندسی و نهایتاً بررسی موضوع ابنیه‌های فنی نظیر سدها، تونل‌ها و دیوارهای حائل می‌باشد. در هر فصل به مقتضای آن تعدادی مثال حل شده ارائه گردیده و در انتهای بعضی فصول تعدادی مسائل حل نشده به عنوان خودآزمایی آورده شده که لازم است نسبت به حل آنها اهتمام ورزیده شود.

در خاتمه پیشنهاد می‌شود دانشجویان عزیز ضمن حضور در کلاس، مباحث مختلف کتاب را به خوبی مطالعه و مورد مذاقه و تفکر قرار دهند و حتی الامکان از حفظ کردن صرف پرهیز نموده تا لذت فهمیدن زمین‌شناسی و کاربردی بودن آن را درک نمایند. امید است نظرات پیشنهادی در خصوص کتاب حاضر به اینجانب ارائه گردیده، تا بتوان در چاپ بعدی، آن را با کیفیت مناسب‌تری تدوین نمود.

رسول اجل لوئیان

دانشیار گروه زمین‌شناسی - دانشگاه اصفهان

تابستان ۱۳۹۰

فصل اول

کاربرد زمین‌شناسی در مسائل مهندسی

۱-۱ کلیات

زمین‌شناسی علمی است که در تاریخ زمین، شکل، ابعاد و سنگ‌های تشکیل‌دهنده آن و تغییراتی که در آن‌ها ایجاد می‌شود را در گستره بسیار وسیعی نشان می‌دهد. از طرف دیگر مهندسی علمی است که تمام اطلاعات علمی را می‌تواند در عمل به‌طور اقتصادی به‌کار گیرد. به عبارت دیگر مهندس کسی است که می‌تواند کاری را که هر فرد عادی با صرف وقت و هزینه‌های گزاف انجام می‌دهد با وقت و هزینه کمتری به انجام برساند.

از ترکیب این دو علم با یکدیگر، علم زمین‌شناسی مهندسی به وجود می‌آید. متخصص این علم را مهندس زمین‌شناس نامند. او کسی است که مهندسين را در شناخت فرایندهای طبیعی زمین، مشخصه‌های مواد تشکیل‌دهنده آن و تأثیرشان بر سازه‌های مهندسی یاری می‌کند. بدون این همکاری، ممکن است پیامدهای زیان‌باری در طول عمر مفید سازه‌هایی همچون سدها، تونل‌ها، شهرها، مجتمع‌های صنعتی و معادن بزرگ که در تعادل طبیعی زمین اخلال ایجاد می‌کنند، به بار آید. با شکست پروژه‌های بزرگی که پاره‌ای از آن‌ها علاوه بر خسارات مالی فراوان، تلفات جانی زیادی نیز دربر داشت، توجه مسئولان اجرایی به شرایط زمین‌شناسی حاکم بر محیط اجرای طرح جلب شد و به تدریج به این نکته پی بردند که همکاری مهندس زمین‌شناسی یکی از نیازهای اجتناب‌ناپذیر طراحی دقیق و اجرای سازه‌های مهندسی است. از آن پس مطالعات زمین‌شناسی مهندسی قبل از طراحی سازه رایج و در چند دهه اخیر اجباری شد. در این فصل ابتدا با نقش مهندس زمین‌شناسی در کارهای مهندسی آشنا می‌شویم

و سپس به مراحل مطالعاتی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی که مورد توجه مهندسين طراح است، می‌پردازیم.

۱-۲ همکاری مهندسين زمین‌شناسی با سایر مهندسين

در یک اقتصاد برنامه‌ریزی شده در مورد تمام برنامه‌های کاری، از پیش با جزئیات کامل بررسی و تصمیم‌گیری می‌شود. بنابراین شرط اصلی برای یک برنامه‌ریزی خوب، آگاهی جامع از مسئله و آماده کردن موضوعات مورد نیاز با در نظر گرفتن تمام پارامترهای موجود در آن است.

تمام پروژه‌های مهندسی باید با در نظر گرفتن ساختارهای زمین‌شناسی منطقه ارزیابی شود. برای طراحی یک پروژه مهندسی، عدم آگاهی از نوع خاک زیر محل بنا به همان اندازه غیرقابل قبول خواهد بود که در مورد طراحی یک سازه از خصوصیات مصالح اطلاع نداشته باشیم. بنابراین آگاهی از شرایط طبیعی محیط لازم بوده و شرط اساسی در تمام برنامه‌ریزی‌هاست. یک برنامه‌ریزی اقتصادی خوب برای اجرای پروژه‌های مهندسی خیلی بزرگ مانند سدسازی، تونل‌سازی، راه‌سازی و ... باید با هدف کاهش هزینه و رعایت ایمنی صورت گیرد، حتی یک اشتباه کوچک در برنامه‌ریزی باعث صرف مخارج بیهوده و یا حتی شکست نهایی و خسارت جانی در کار می‌شود. برای نیل به این هدف طراحان باید مسائل زمین‌شناسی منطقه را در نظر بگیرند.

بنابراین اولین مرحله یک پروژه مهندسی، بررسی دقیق منطقه عملیات است. این همان جایی است که مهندس زمین‌شناس در بین مهندس و طبیعت قرار می‌گیرد و ساختارهای زمین‌شناختی و زمین‌ساختی منطقه، خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها و خاک‌ها را برحسب نوع نیاز طراحی به‌صورت کاربردی به یک مهندس طراح می‌دهد. هرچند مهندس زمین‌شناس باید نتایج بررسی‌های خود را به شکل قابل فهم به مهندس طراح سازه ارائه دهد، ولی همکاری با مهندس طراح زمانی مفید خواهد بود که او نیز حداقل آگاهی اصولی از زمین‌شناسی داشته باشد. تنها در این حالت است که مهندس طراح می‌تواند گزارش‌های زمین‌شناسی و تفسیر آن‌ها را به درستی درک کند و با کمک این بررسی‌ها مسائلی را که باید در یک پروژه بررسی شود، به درستی تعریف

نماید. به دنبال همین امر یک دوره عمومی در زمین‌شناسی تحت عنوان «زمین‌شناسی برای مهندسين» باید برای دانشجویان مهندسی عمران و معماری ارائه شود. از طرفی زمین‌شناسان نیز حداقل نیاز به یک سری آگاهی اصولی از مسائل مهندسی دارند تا بتوانند مسائل و الگوهای زمین‌شناسی خود را به زبانی بیان کنند تا در محاسبات و طراحی سازه‌هایی که به نحوی با زمین سر و کار دارند، به‌کار گرفته شود. به دنبال همین امر یک دوره عمومی در مهندسی تحت عنوان «زمین‌شناسی مهندسی» باید برای دانشجویان زمین‌شناسی ارائه شود.

اهمیت زمین‌شناسی مهندسی برای بسیاری از صنایع و شاخه‌های مختلف مهندسی به‌طور گسترده شناخته شده است. امروزه بررسی‌های زمین‌شناسی در تحقیق و ارزیابی محل سازه‌ها الزامی است. کاربرد اصولی زمین‌شناسی مهندسی تنها در چند دهه اخیر جای خود را در صنعت ساختمان باز کرده که عمدتاً بنا به سه دلیل زیر است: الف) نیازهای شدید مهندسين به آگاهی کامل از شرایط زمین‌شناسی در جایی که سازه‌های مهم و بزرگ مانند: سدها، پل‌ها، تونل‌ها ساخته می‌شود.

ب) توانایی زمین‌شناسان در انطباق روش فکر کردن و تفسیر یافته‌هایشان با عمل. ج) شکست پروژه‌هایی که در آن از نظریات یک مهندس زمین‌شناس با تجربه استفاده نشده است. در نتیجه همکاری پیوسته مهندسين زمین‌شناس با مهندسين طراح در برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، عملیات و نگهداری سازه‌های مهندسی از اهمیت خاصی برخوردار است.

امروزه مسئولیت و دانش مهندسين زمین‌شناس حائز اهمیت است. آن‌ها باید اساساً زمین‌شناسان لایقی باشند تا بتوانند گزارش‌های زمین‌شناسی را برای یک پروژه مهندسی طوری آماده سازند که مهندس طراح و دیگر همکاران به راحتی بتوانند از آن استفاده کنند. به همین دلیل یک مهندس زمین‌شناس با تجربه کسی است که علاوه بر داشتن اطلاعات جامع از علوم زمین به‌ویژه زمین‌ساخت، سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی صحرایی، آگاهی لازم در رشته‌های مهندسی مخصوصاً مهندسی عمران را نیز داشته باشد. همچنین بررسی زمین‌شناسی مهندسی استفاده از مکانیک خاک و سنگ، ژئوفیزیک، کانی‌شناسی رس‌ها و رشته‌های دیگر را می‌طلبد. با توجه به وسعت این

شاخه‌های علوم، برای یک مهندس زمین‌شناس غیرممکن است که در همه آن‌ها تسلط کامل پیدا کند، اما باید بداند که در چه زمانی مراجعه به یک متخصص ضروری است. وضعیت زمین‌شناختی اغلب خیلی پیچیده است، به‌طوری‌که اجازه نمی‌دهد بررسی‌ها به‌صورت یک کار عادی و روزمره درآید. به‌عنوان مثال چندین گمانه نمی‌تواند حتی جایگزین مطالعه جزئی منطقه توسط یک مهندس زمین‌شناس متخصص شود. در زمان بررسی منطقه، مهندس زمین‌شناس باید تلاش در درک ساختار عمومی زمین‌شناسی منطقه و فرایندهای زمین‌شناختی کند که منجر به شکل‌های ریخت‌شناسی و گسترش آن‌ها شده است. او باید در پیش چشم خود اثرهای ناشی از انجام پروژه، مانند تخلیه آب‌های زیرزمینی، خاک‌برداری و یا خاک‌ریزی و ... را بر روی محیط زیست طبیعی پیش‌بینی کند. به دنبال این، مهندس زمین‌شناس باید آگاهی و تجربه کافی در تشخیص مشکلاتی که در ارتباط با کار پروژه است، داشته باشد. بنابراین او باید با پروژه آشنا شود تا بتواند به‌طور صحیح پارامترهای مورد نظر خود را ارزیابی کند. این امر به ارتباط نزدیک بین مهندس طراح و مهندس زمین‌شناس نیاز دارد.

به‌طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که بررسی‌های زمین‌شناسی در مهندسی و برنامه‌ریزی اقتصادی، به بهبود ایمنی و اقتصاد بسیاری از پروژه‌های مهندسی کمک می‌کند. همکاری مهندسین زمین‌شناس در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و ساخت مهم است، اما ضروری است که آنان از موقعیت و جایگاه خود آگاه باشند.

در اینجا چند مسئله عملی که یک مهندس زمین‌شناس باید از آن اطلاع کامل داشته باشد، بیان می‌شود:

- تحلیل فیزیکی و مکانیکی مصالح زمین (خاک و سنگ) برای اهداف پروژه ساختمانی
- تحلیل و گسترش آب‌های زیرزمینی
- تحلیل خطرات طبیعی زمین مانند زمین‌لغزش‌ها، زمین‌لرزه‌ها، سیل و ...
- تحلیل شرایط زمین‌شناختی و زمین‌ساختی در طول تونل‌ها، خطوط لوله، جاده‌ها و ...
- تحلیل پی‌ها برای هر نوع سازه مانند سدها، پل‌ها، ساختمان‌های بلند و مسکونی

۱-۳ مطالعات زمین‌شناسی مهندسی

مطالعات زمین‌شناسی مهندسی بسته به نوع پروژه مهندسی فرق می‌کند. براساس اهمیت کار پروژه، پیچیدگی ساختار زمین‌شناسی منطقه، دقت مورد نیاز و نوع سازه می‌توان سه مرحله کلی را در یک مطالعه یک پروژه عنوان کرد که عبارت‌اند از:

الف) بررسی‌های مقدماتی که به‌منظور مطالعه اولیه پروژه انجام می‌گیرد.
ب) بررسی‌های تکمیلی که برای گسترش پروژه، طراحی، بودجه و برنامه کاری انجام می‌گیرد.

ج) بررسی‌های مرحله ساخت که به‌منظور تأیید نتیجه‌های بررسی‌های اولیه و تکمیلی انجام می‌گیرد.

الف) بررسی‌های مقدماتی

در اولین مرحله که به‌طورکلی کار نسبتاً وقت‌گیری است با استفاده از اطلاعات موجود و جمع‌آوری آن‌ها می‌توان در مورد انتخاب محل پروژه تصمیم‌گیری کرد. اما اطلاعات اغلب کامل نیستند و به همین دلیل به بررسی مهندس زمین‌شناس که آگاهی اولیه از شرایط زمین‌شناسی منطقه دارد، نیاز است. مطالعه این اطلاعات راهنمای بسیار سودمندی جهت مراحل بعدی است زیرا با استفاده از آن‌ها، می‌توان به تجربیات و کارهای گذشته دسترسی یافت و از دوباره‌کاری جلوگیری کرد. مسائلی که در بررسی مقدماتی به آن پرداخته می‌شود به قرار زیر است:

الف) نتیجه‌های اولیه بررسی‌های زمین‌شناختی از روی نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، گزارش‌های منتشر شده و نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی. این نقشه‌ها به تنهایی قادرند اطلاعات زیادی در دسترس مهندس زمین‌شناس قرار دهند. به‌همین دلیل در بخش بعد به تشریح این نقشه‌ها می‌پردازیم.

ب) بازدید مقدماتی از منطقه برای آشنایی با پدیده‌های زمین‌شناختی، بررسی و مطالعه تمام رخنمون‌ها، شکل‌های ریخت‌شناسی و تمام پدیده‌هایی که تکیه بر ساختارهای زمین‌شناسی دارند. در این بازدید معمولاً نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی موجود در منطقه به‌همراه برده می‌شود تا تمام نکات مهم زمین‌شناسی در آن پیاده شود.

ج) جمع‌آوری اطلاعات از چاه‌ها، قنات‌ها، معادن و ساختمان‌هایی که در محدوده محل پروژه احداث شده‌اند. مهندس زمین‌شناس با تجربه به کمک این اطلاعات به وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه پروژه پی می‌برد و با توجه به عوامل اقتصادی، فرضیات اولیه را می‌دهد. این فرضیات ممکن است با شرایط واقعی کمی اختلاف داشته باشند ولی به هر حال برای برنامه‌ریزی کارهای آینده و برآورد زمان و هزینه‌های لازم جهت عملیات بسیار سودمند خواهد بود.

د) صحت این فرضیات باید توسط کارهای پی‌جویی ثابت شود. ترانشه‌ها و چاله‌های آزمایشی یکی از این کارهاست. به کمک آن می‌توان عمق لایه‌های هوازده و ضخامت رسوبات سطحی را تعیین کرد. از کارهای ژئوفیزیکی برای تعیین عمق سنگ کف، سطح آب زیرزمینی و خوردگی خاک و از کارهای ژئوشیمیایی به منظور حفاظت پی سازه‌هایی که در تماس با مواد زمین و آب است، می‌توان استفاده کرد. نتیجه‌های حاصل از بررسی‌های مقدماتی نمی‌تواند بعضی از اختلاف‌های بین شرایط زمین‌شناسی فرض شده و واقعی را نشان دهد. به همین دلیل تنها در این مرحله مهندس طراح با اطلاعات عمومی زمین‌شناسی منطقه آشنا می‌شود و موقعیت محل پروژه را شناسایی می‌کند. برای اینکه پروژه با جزئیات دقیق‌تر برنامه‌ریزی و برآورد هزینه و ساخت شود باید مرحله دوم کاری آغاز گردد.

ب) بررسی‌های تکمیلی

با توجه به چارچوب کار پروژه و نتیجه‌های حاصل از مرحله اول، بررسی‌های تکمیلی از موقعیت محل پروژه انجام می‌گیرد. این بررسی‌ها معمولاً شامل نقشه‌برداری، مطالعه زمین‌شناسی مهندسی محل پروژه و اطراف آن و اکتشاف لایه‌های زیرین زمین در محل پروژه با استفاده از روش‌های مناسب حفاری است. برنامه‌ریزی دقیق زمان و هزینه اکتشاف به نوع سازه و رفتار سنگ‌ها و خاک‌ها بستگی دارد.

ظرفیت باربری کف پی سازه باید با استفاده از نمونه‌گیری از سنگ‌های بکر در آزمایشگاه و یا توسط آزمایش بارگذاری مستقیم در محل پروژه انجام گیرد. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد تشکیل‌دهنده پی نیز باید مستقیم تعیین شود. بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی باید توسط مطالعات دقیق‌تر آب‌های زیرزمینی منطقه

تکمیل شود. این بررسی‌ها شامل اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری و میزان تخلخل رسوبات، حرکت آب و آب‌دهی چشمه‌ها و چاه‌هاست. نتیجه این بررسی‌ها، جمع‌آوری شده و توسط مهندس زمین‌شناس، مهندس طراح و دیگر اعضای گروه ارزیابی می‌شود و سپس با نتیجه‌هایی که در مرحله اول به‌دست آمده است، به‌صورت یک گزارش اولیه ارائه می‌گردد. گزارش باید به‌گونه‌ای تهیه شود که مهندسین طراح به آسانی بتوانند آن را مطالعه و مفاد آن را درک کنند.

آگاهی از اهمیت مراحل کسب اطلاعات در هر مقطع زمانی، دقت عمل و سرعت را بیشتر خواهد کرد. تنها به صرف کاهش وقت، واگذاری کسب اطلاعات در مرحله مقدماتی به مرحله دیگر، اشتباه است و امکان دارد که هزینه‌های بیهوده به همراه داشته باشد. در نتیجه ضروری است که در هر مرحله، اطلاعات به‌دست آمده از مرحله قبل مورد توجه قرار گیرد.

به کمک این گزارش‌هاست که مهندس طراح می‌تواند یک برنامه‌ریزی کاری خوبی را ارائه دهد و شروع عملیات ساخت را آغاز کند.

ج) بررسی‌های مرحله ساخت

در تمام سازه‌های مهندسی بزرگ مانند سدها، تونل‌ها و پل‌ها در طول ساخت نیز آزمایش‌های زمین‌شناسی ادامه پیدا می‌کند. مهندس زمین‌شناس باید از تمام حفاری‌ها، گودبرداری‌ها و ... مدارکی را جمع‌آوری کند که بتواند فرضیات و یافته‌های خود را با شرایط واقعی منطبق سازد. او باید در تعیین عمق پی، انتخاب مصالح ساختمانی و آزمایش‌های تزریق نظارت کند. اگر اطلاعات به‌دست آمده با آنچه که در مراحل اولیه پیش‌بینی شده بود مغایرت داشت، طرح باید با شرایط جدید مطابقت داده شود. در طی کار ساخت، مهندس زمین‌شناس باید اطلاعات جمع‌آوری شده را به‌صورت یک گزارش نهایی ارائه دهد تا مهندس پروژه بتواند از آن در طراحی نهایی استفاده کند. در این قسمت مهندس زمین‌شناس پروژه می‌تواند مشکلات پیش‌بینی شده در حین عملیات را به‌صورت نظریات شخصی بیان کند و اگر راه‌حل‌هایی وجود دارد، آن‌ها را ارائه دهد. همچنین این گزارش‌ها باید با نقشه‌های زمین‌شناسی، زمین‌شناسی مهندسی، مقاطع و حفاری‌ها همراه باشد تا مهندس پروژه بتواند به راحتی از آن‌ها در ساخت استفاده کند.

۴-۱ نقشه‌های زمین‌شناسی

نقشه‌های زمین‌شناسی یک منطقه، شرایط زمین‌شناسی و ساختار منطقه را به صورتی که در سطح زمین نمایان است، نشان می‌دهند. این گونه نقشه‌ها عمدتاً حاوی اطلاعاتی در مورد بیرون زدگی سنگ‌ها و خاک‌ها، ویژگی‌های ساختاری مانند چین، گسل و درزه‌ها، نوع و موقعیت محلی کانسارها، مصالح ساختمانی و بالاخره توالی زمانی و سن نسبی بخش‌های مختلف است. این اطلاعات معمولاً از بررسی‌های صحرایی و عکس‌های هوایی گردآوری می‌شود. چنانچه این اطلاعات به روی نقشه توپوگرافی منطقه پیاده شود، نقشه حاصله که هم دارای پستی و بلندی سطح زمین و هم اطلاعات زمین‌شناسی است از کارایی زیادی برخوردار است. از این گونه نقشه‌ها می‌توان اطلاعات زیادی درباره وضعیت لایه‌ها (شیب، محور چین‌ها، برگشتگی‌ها و ...) در سطح و حتی در اعماق زمین به دست آورد.

نقشه‌های زمین‌شناسی برای هدف‌های مختلف، در مقیاس‌های متفاوت تهیه می‌شود. انتخاب مقیاس نقشه یکی از مراحل مهم و دقیق در یک پروژه است، زیرا اشتباه در تعیین مقیاس ممکن است سبب اتلاف هزینه و وقت زیاد بشود. مقیاس یک نقشه با یک عدد کسری به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{مقیاس نقشه} = \frac{\text{طول اندازه‌گیری شده در روی نقشه}}{\text{طول افقی واقعی آن در روی زمین}}$$

نقشه‌های زمین‌شناسی را برحسب مقیاس، می‌توان به سه نوع زیر تقسیم کرد:

الف) نقشه زمین‌شناسی با مقیاس کوچک: ۱:۱۰۰۰۰۰ و کوچک‌تر

ب) نقشه زمین‌شناسی با مقیاس متوسط: کوچک‌تر از ۱:۱۰۰۰۰ و بزرگ‌تر از ۱:۱۰۰۰۰۰

ج) نقشه زمین‌شناسی با مقیاس بزرگ: ۱:۱۰۰۰۰ و بزرگ‌تر

اولین نقشه‌هایی که برای یک منطقه تهیه می‌شود نقشه‌ای کوچک مقیاس است. این گونه نقشه‌ها که محدوده وسیعی از زمین را در خود جای می‌دهند، معمولاً فاقد جزئیات‌اند و بیشتر نمایشگر وضعیت کلی زمین‌شناسی منطقه هستند. پس از تهیه نقشه‌های با مقیاس کوچک، برای هر جای منطقه که موضوعی خاص و جالب توجه وجود داشته باشد، مانند محل احداث یک سد، بسته به محتوی، دقت و هدف به ترتیب

نقشه‌های با مقیاس متوسط و با مقیاس بزرگ تهیه می‌شود. این نقشه‌ها چون محدوده نسبتاً کوچکی را در خود جای می‌دهند از جزئیات بیشتری برخوردارند.

ابتدایی‌ترین نقشه‌های زمین‌شناسی تنها براساس بازپس‌دهی صحرایی تهیه می‌شدند. بنابراین آن قسمت از سنگ‌هایی که در سطح زمین بیرون‌زدگی نداشته و زیر پوشش سطحی (خاک و مواد هوازده) قرار می‌گرفتند، در نقشه نشان داده نمی‌شد. امروزه در نقشه‌های جدید زمین‌شناسی برای شناسایی و به نقشه در آوردن این قسمت‌ها از کارهای زیرزمینی مانند عملیات ژئوفیزیکی، حفرگمانه، ترانشه، تونل و مانند آن استفاده می‌شود. این کارهای اکتشافی به‌ویژه در مناطقی که ضخامت رسوبات سطحی زیاد است از اهمیت خاصی برخوردارند.

تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی با مطالعه راهنمای نقشه‌ها شروع می‌شود. در راهنمای نقشه‌ها از علائم و رنگ‌هایی برای نمایش سنگ‌های متعلق به زمان‌های مختلف، شیب و امتداد لایه‌ها، گسل‌ها و موارد دیگر استفاده می‌شود. به کمک این علائم و رنگ‌ها می‌توان روابط زمانی و فرایندهای ساختاری زمین در منطقه را به راحتی تفسیر کرد.

با همکاری زمین‌شناسان و مهندسين در ساخت بناهای بزرگ مهندسی مانند: تونل‌ها، سدها و ... نقشه‌های زمین‌شناسی خاصی که برای منظوره‌های گوناگون مهندسی کارایی دارد، تهیه می‌شود. این نقشه‌ها را نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی می‌نامند.

۱-۵ نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی

تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی مشابه با تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی است، زیرا هر دو نوع نقشه اطلاعاتی را درباره شرایط زمین‌شناسی و ساختار زمین ارائه می‌دهند. بنابراین یک نقشه زمین‌شناسی می‌تواند مبنایی برای تهیه نقشه زمین‌شناسی مهندسی باشد. از دیدگاه یک مهندس، یکی از کمبودهای نقشه‌های زمین‌شناسی آن است که در آن‌ها بسیاری از سنگ‌هایی را که خواص مهندسی یکسانی ندارند، تنها به دلیل آن‌که سن و خاستگاه آن‌ها یکسان است، با هم در یک گروه واحد جای می‌دهند. به‌همین دلیل هدف نقشه زمین‌شناسی مهندسی، ارائه تصویر واضحی از شرایط زمین‌شناختی و زمین‌ساختی منطقه، توصیف و برآورد وضعیت خواص مهم فیزیکی و مهندسی سنگ‌ها

و خاک‌های منطقه، ریخت‌شناسی منطقه، شرایط آب‌های زیرزمینی منطقه، شرایط فرسایش و رسوب‌گذاری در منطقه و داده‌هایی درباره پدیده‌های ناشی از زمین‌لرزه، زمین‌لغزش و نظایر آن‌هاست. به یاری چنین نقشه‌هایی می‌توان تأثیر متقابل زمین و سازه‌های مهندسی را پیش‌بینی کرد. برای نمایش تمام این اطلاعات گاهی ممکن است به بیش از یک برگه نقشه نیاز باشد. تجربه نشان داده است که یک نقشه زمین‌شناسی معتبر باید شامل سه برگ باشد. اولین برگ، وضعیت زمین‌شناختی، زمین‌ساختی، توصیف زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها و خاک‌ها، شرایط فرسایش و رسوب‌گذاری و داده‌های حاصل از زمین‌لرزه و زمین‌لغزش را به‌صورت رنگ‌ها و نمادهای مناسب نشان می‌دهد. مشخصات رنگ‌ها و نمادها در راهنمای نقشه داده می‌شود. به‌طور کلی می‌توان در این نقشه‌ها انتظار داشت که مرزهای خواص مهندسی هیچ‌گونه پیوندی با ساختار زمین‌ساختی و یا با مرزهای چینه‌شناسی نداشته باشد، زیرا برای مثال هوازدگی می‌تواند بر خواص مهندسی یک توده سنگ اثر بگذارد.

دومین برگ، نقشه وضعیت آب زمین‌شناسی است. این نقشه اطلاعاتی را از آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه در اختیار مهندسین می‌گذارد. اطلاعات آب‌های سطحی شامل چشمه‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و اطلاعات آب‌های زیرزمینی شامل سطح ایستابی، جریان آب، نفوذپذیری و ویژگی‌های شیمیایی (pH، مقدار دی‌اکسیدکربن و سولفات) به‌عنوان عوامل ایجاد خوردگی در کارهای مهندسی است.

سومین برگ، نقشه سند نامه‌ای است. در این نقشه تمام منابع اطلاعاتی که برای بررسی زمین‌شناسی مهندسی به‌کار رفته است، نشان داده می‌شود. این اطلاعات شامل محل، عمق و نوع هر یک از حفاری‌ها، چاله‌های آزمایشی، چاهک‌ها، عملیات ژئوفیزیکی و گمانه‌هایی است که از آن‌ها نمونه گرفته شده است.

از ترکیب این سه برگ نقشه می‌توان اطلاعات را به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌شناسی مهندسی ارائه داد. این پهنه‌ها مناطقی را در نقشه مشخص می‌کنند که از دیدگاه شرایط زمین‌شناسی مهندسی و هدف ویژه مهندسی تقریباً شرایط یکسانی را دارند. نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی برای نوع ویژه‌ای از کارهای مهندسی مانند: سدها، تونل‌ها یا بزرگراه‌ها معمولاً در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه می‌شود.