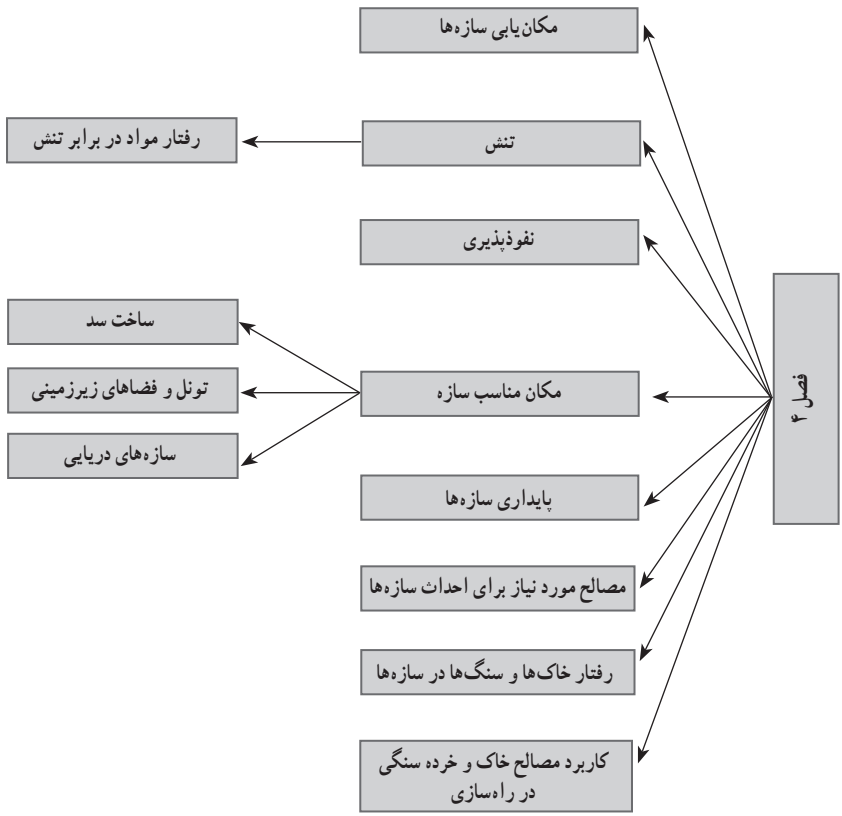
فصل ۴

زمین‌شناسی و سازه‌های مهندسی

نقشهٔ مفهومی


فصل ۴
مکان‌یابی سازه‌ها
تنش
رفتار مواد در برابر تنش
نفوذپذیری
مکان مناسب سازه
ساخت سد
تونل و فضاهای زیرزمینی
سازه‌های دریایی
پایداری سازه‌ها
مصالح مورد نیاز برای احداث سازه‌ها
رفتار خاک‌ها و سنگ‌ها در سازه‌ها
کاربرد مصالح خاک و خرده سنگی در راه‌سازی

پیامدها و انتظارهای آموزشی (بخشی) از آموزش فعال این فصل

■ **پیامد کلی**

شناخت نقش زمین‌شناسی در احداث سازه‌های مهندسی

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با یادگیری این درس و انجام فعالیت‌های آن بتوانند :

با رشته زمین شناسی مهندسی آشنا شوند.

با مکان‌یابی برای ساخت سازه در موقعیت مکانی مناسب و حذف هزینه‌های مازاد و... آشنا شوند.

مصالح حاصل از منابع زمین و چگونگی به‌کارگیری آنها را برای احداث سازه‌های مقاوم بشناسند.

پیامدها و انتظارهای عملکردی

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل می‌توانند :

■ مکان‌های مختلف اطراف خود را از نظر اهمیت پدیده‌های زمین شناسی و یا اهمیت منابع معدنی شناسایی کنند.

■ مکان‌هایی را تشخیص دهند که احداث سازه‌ها مناسب با پی سنگ بوده است.

■ چند نمونه بی‌توجهی به مطالعات زمین شناسی در مکان‌یابی سازه‌هایی مانند سد، تونل و... در کشورمان و خسارت‌های ناشی از آن را جمع‌آوری کند.

■ با تهیه ماکتی پایدارسازی تپه‌ها و دامنه‌های شیب‌دار را نمایش دهد.

توصیه‌ها و پیشنهادهای آموزشی

توصیه می‌شود در آموزش این فصل از ابزارهای آموزشی مناسب مانند موارد زیر استفاده شود :

■ استفاده از نقشه‌ایران، کره جغرافیایی، پوستر، مدل سازه‌ها و پدیده‌ها، نرم‌افزارهای تعاملی، فیلم، پویانمایی، ماکت سد و تونل (برای نشان‌دادن نقش شیب و امتداد)

بودجه‌بندی : چهار جلسه

■ **پیش‌دانسته‌ها** : کتاب علوم در پایهٔ نهم

دانستنی‌های معلم

درک بشر از وجود تنشِ درون مواد، به دوران باستان باز می‌گردد. آشنایی با این مفهوم تا قرن هفدهم میلادی، بیشتر به‌صورت بصری و به واسطهٔ علوم تجربی بود. با وجود این، همین درک و آشنایی محدود با مفهوم تنش، به‌طور شگفت‌انگیزی به‌ایجاد فناوری‌های پیچیده‌ای از قبیل شیشه‌گری و کمان کامپوزیت انجامید.

یکی از پل‌های ساخته شده در عصر امپراتوری رم ــ سوئیس

معماران و سازندگان طی چندین هزار سال یاد گرفتند که چگونه وسایل ابتکاری مانند سَر ستون، قوس، گنبد، خرپا و پشت‌بندهای معلق، بلوک‌های سنگی و تیرهای چوبی (با شکل‌های متفاوت) را در کنار یکدیگر قرار دهند تا تحمل، انتقال و توزیع تنش به بهترین شکل ممکن صورت گیرد.

پل اینکا : یکی از پل‌های ساخته شده در دوران امپراتوری اینکا ــ رودآمپوریماک در کشورپرو

معماران دوران باستان و قرون وسطا، چندین روش هندسی و فرمول ساده را برای محاسبه ابعاد مناسب ستون و تیرهای مورد استفاده در سازه‌ها توسعه دادند. اما، درک مفهوم تنش به‌صورت علمی، پس از اختراع ابزارهای مورد نیاز در قرن‌های ۱۷ و ۱۸ میلادی میسر شد. روش آزمایش دقیق «گالیلئو گالیله» (Galileo Galilei)، هندسه تحلیلی و دستگاه مختصات «رنه دکارت» (René Descartes) و حساب دیفرانسیل و قوانین حرکتی «آیزاک نیوتون» (Isaac Newton) از مواردی هستند که زمینه آشنایی علمی‌با مفهوم تنش را فراهم کردند. «آگوستین لویی کوشی» (Augustin ــ Louis Cauchy)، ریاضی‌دان، مهندس و فیزیک‌دان فرانسوی، اولین مدل ریاضی دقیق و عمومی‌برای تنش در یک محیط همگن را با بهره‌گیری از ابزارهای اشاره شده ارائه کرد.

در کشور ما، نیز از این قبیل سازه‌ها وجود دارد. مانند سازه آبی شوشتر.

سازه سد و آسیاب شوشتر

تعریف تنش

هرگاه به جسمی‌چنان نیرو وارد کنیم که به جای حرکت، تغییر شکل دهد درتمام سطوح مقاطع داخلی آن به نسبت‌های یکسان یا مختلف، تنش به‌وجود می‌آید که در برابر نیروی وارده مقاومت می‌کند. در واقع تنش فشار درونی یک جسم است و عامل اصلی تغییر شکل به‌شمار می‌رود.

تنش، فشاری است که درون جسم بر واحد سطح توزیع می‌شود، مفهوم تنش در درون خود هم مفهوم نیرو و شدت آن را دارد و هم اینکه شکل ظاهری جسم و یا سنگ را در محاسبات لحاظ می‌کند.

بنابراین مقدار تنش از تقسیم **نیرو** در یک محدوده کوچک بر تمام جهات محدوده بر **واحد سطح** در داخل جسم تعریف می‌شود.

$$\text{تنش} = \frac{\text{F نیرو (N)}}{\text{A سطح (m}^2\text{)}}$$

از آنجایی که تنش از تقسیم یک کمیت اصلی فیزیکی (نیرو) بر یک کمیت کاملاً هندسی (مساحت) به‌دست می‌آید، می‌توان آن را مانند سرعت، گشتاور و انرژی به عنوان یک **کمیت اصلی** در نظر گرفت. کمیت‌های اصلی، بدون در نظر گرفتن ماهیت مواد و علائم فیزیکی‌شان مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

واحد تنش

در تحلیل ابعادی، بُعد کمیت‌های **تنش و فشار** مشابه یکدیگر است و معمولاً اندازه‌گیری مؤلفه‌های تنش براساس واحدهای فشار صورت می‌گیرد. به‌این منظور، در «**سیستم بین‌المللی یکاها**» (**International System of Units** یا اصطلاحاً «**SI**»)، از واحد **پاسکال** (**Pa**) یا **نیوتون بر متر مربع** (N/m^2) و در «**سیستم یکاهای انگلیسی**» (**Imperial Units**)، از واحد **پوند بر اینچ مربع** (**psi**) برای بیان مقدار تنش استفاده می‌شود. تنش‌های مکانیکی معمولاً مقداری بزرگ‌تر از **یک میلیون پاسکال** (**MPa**) دارند. به همین علت، متداول‌ترین واحد برای بیان مقدار تنش، **مگا پاسکال** (**MPa**) است.

انواع تنش

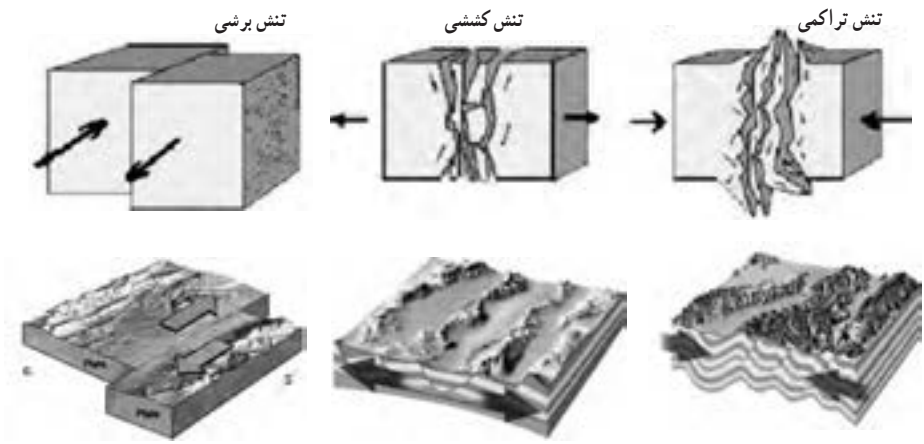
تنش کششی (**tension stress**) : هرگاه جهت نیروی وارده، عمود بر واحد سطح مورد نظر و به سمت خارج قطعه باشد، تنش ایجاد شده تنش کششی است. یکی از عوامل مهم در محاسبهٔ استحکام مواد، توانایی آنها تحت تنش کششی است.

تنش فشاری (**compression stress**) : هرگاه جهت نیروی وارده، عمود بر واحد سطح مورد نظر و به سمت داخل قطعه باشد، تنش ایجاد شده تنش فشاری نامیده می‌شود. معمولاً تحمل قطعات تحت تنش فشاری، بیش از تنش کششی است.

تنش برشی (**shear stress**) : هرگاه جهت نیروی وارده، موازی با واحد سطح مورد نظر و یا به عبارت دیگر، عمود بر بردار نرمال آن سطح باشد، تنش برشی در جسم ایجاد می‌شود. علامت تنش برشی در معادلات مکانیک، تائو "τ" (از حروف یونانی) است.

نیروهای خارجی که به سمت هم عمل کنند، داخل سنگ، تنش فشاری به وجود می‌آورند. در جایی که نیروهای خارجی از هم دور شوند، باعث ایجاد تنش کششی می‌شوند. وقتی جسمی تحت تأثیر نیروهای برشی قرار می‌گیرد، مشابه حرکت لبه‌های قیچی، در مقاطع آن تنش‌های برشی به وجود می‌آید.

در نیروهای کششی و تراکمی، نیرو بر سطح جسم عمود است و در مورد برشی، نیرو با سطح جسم (سطح



بریده شده) موازی است. مثلاً سطوح ابر حمام (اسفنج) تحت تنش‌های برشی هستند، زیرا وقتی آن را بر تن خود می‌مالید، نیروهای اصطکاک در امتداد آن سطوح وارد می‌شوند.

رفتار مواد در برابر تنش

وقتی که مواد را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم، می‌بینیم گل رس در دستمان نرم است و به آسانی فشرده می‌شود، در حالی که سرب چنین نیست. اگر بخواهیم عصای چوبی را خم کنیم می‌شکند، در حالی که سیم را می‌توانیم خم کنیم و آن را به‌صورت دایره در آوریم. اگر نخ را بکشیم پاره می‌شود، در صورتی که بند لاستیکی اول کش می‌آید و بعد پاره می‌شود.

بیشتر سنگ‌ها در برابر تنش ابتدا واکنش کشسان(الاستیک) از خود نشان می‌دهند. یعنی مایل‌اند در صورت رفع تنش، به حالت اول خود برگردند که البته‌این حالت چندان قابل رؤیت نیست. ولی با ادامهٔ تنش ممکن است واکنش به‌صورت خمیری(پلاستیک، مانند زمانی که سنگ‌ها چین می‌خورند) یا به‌صورت شکننده (مانند وقتی که در سنگ‌ها درز و گسل به‌وجود می‌آید) باشد.

نوع واکنش سنگ‌ها در برابر تنش به عواملی چون فشار همه جانبه، دما، زمان، آب و محلول‌های دیگر بستگی دارد. برای مثال، وجود آب در منافذ سنگ‌ها، با کاهش تنش جانبی و قائم، موجب کاهش مقاومت سنگ می‌شود.

مقاومت انواع سنگ در برابر تنش

در مطالعات آغازین یک پروژه، به‌منظور نمونه‌برداری از خاک یا سنگ پی‌سازه، گُمانه‌هایی (چال‌هایی عمیق و باریک) در نقاط مختلف محل احداث سازه حفر می‌شود آنگاه نمونه سنگ و خاک برداشته شده، به آزمایشگاه تخصصی ارسال می‌شود تا مقدار مقاومت سنگ و خاک در برابر تنش‌های ایجاد شده مورد بررسی قرار گیرد.

حداکثر تنش یا ترکیبی از تنش‌ها که سنگ می‌تواند، بدون شکستن یا خم شدن (تغییر شکل) تحمل کند، مقاومت سنگ گفته می‌شود. بنابراین سنگ‌هایی که درز و شکاف بیشتری داشته باشند، مقاومت کمی دارند و پی‌سازه بر روی آنها ناپایدار است.

حداکثر تنش یا ترکیبی از تنش‌هایی که سنگ می‌تواند تا قبل از شکستن تحمل کند، «مقاومت سنگ» نامیده می‌شود.

اندازه‌گیری تنش در طرح‌ریزی خانه‌ها، پل‌ها، برج‌ها و خودروها به‌کار می‌رود، زیرا اگر تنش به‌دقت محاسبه نشود، ساختمان‌ها و پل‌ها به سبب کشش یا تراکم فوق‌العاده فرو می‌ریزند. بنابراین، اندازه‌گیری تنش سبب می‌شود که مهندس ساختمان از ایمنی آن اطمینان حاصل کند.

مکان‌یابی

مکان‌یابی به‌طورکلی یک موضوع تأثیرگذار بلندمدت است و به صورت طولانی مدت، بر عملکرد مجموعه تأثیر دارد. لذا اگر زمین و مکان خوب مکان‌یابی شود، تأثیرات مثبت و نتیجهٔ خوبی خواهد داشت و برعکس، اگر به خوبی مکان‌یابی نشود، تأثیرات منفی آن زیاد بوده و عملکرد خوبی نخواهد داشت.

از آنجایی که سدهای مخزنی و رسوب گیر در تأمین آب مورد نیاز برای مصارف مختلف نقش تعیین‌کننده‌ای دارند و از طرف دیگر، با توجه به فراگیر شدن احداث سدهای جدید در اغلب نقاط کشور و در نهایت معرفی ایران به عنوان یکی از سه کشور برتر دانش فنی سدسازی جهان و نیز هزینه‌های هنگفت ساخت این سدها، لازم است که مطالعات به‌طور دقیق و جامع انجام شوند تا شاهد نتایج معکوس این پروژه‌ها نباشیم. یکی از مهم‌ترین و ابتدایی‌ترین پارامترهای ساخت سد، مکان‌یابی احداث سازه است که در آن باید تأثیر همهٔ فاکتورهای مؤثر، اعم از توپوگرافی و ظرفیت ذخیره محل، شکل دره، امتداد و شیب لایه‌های زمین شناسی، فاصله با گسل، نفوذپذیری و عدم فرار آب از مخزن، بار رسوبی و... به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد. زیرا در غیر این صورت، علاوه بر هدر رفت هزینه‌ها، چه بسا با شکست سازه، شاهد سیلاب‌های مهیب مصنوعی باشیم و یا احداث سازه در مکان نامناسب، هیچ کاربردی در بحث مهار آب نداشته باشد و فقط به عنوان یک دیواره خاکی یا بتونی عمل کند.

■ در تحقیقات اولیه، عامل‌هایی نظیر موجودیت آب موردنیاز و موجودیت محل مناسب برای احداث سد در نظر گرفته می‌شوند. بعد از تعیین مزیت نسبی، سهولت دسترسی به آنها و موجودیت کافی مصالح ساختمانی برای احداث سد بررسی می‌شود. در تحقیقات نهایی هم به مطالعهٔ دقیق‌تر عامل‌های زیر می‌پردازند :

الف) تحقیقات زمین شناسی

■ امتداد لایه‌ها؛

■ شیب لایه‌ها؛

■ چین خوردگی‌ها؛

■ خصوصیات لرزه زمین ساختی.

ب) تحقیقات هیدرولوژیکی

■ برآورد دقیق الگوی هرزآب در محل سد مورد نظر؛

■ تعیین هیدروگراف بدترین و خطرناک ترین سیلاب؛

■ تعیین هرزآب (که الگوی طرح مشابهی بر اساس یک موجودی متوسط برای آینده می‌تواند باشد).

پس از مطالعهٔ مزیت نسبی چند محل، سرانجام انتخاب نهایی مکان تحت تأثیر عوامل زیر صورت می‌گیرد :

■ توپوگرافی و ظرفیت ذخیرهٔ محل؛

■ فونداسیون طبیعی؛

■ هیدرولوژی؛

■ بار رسوبی؛

■ غوطه‌وری؛

■ فرار نکردن آب از مخزن : در مطالعات زمین‌شناسی سد، وضعیت مخزن، تکیه‌گاه‌ها و پی سد از نظر پایداری و فرار آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای آنکه آب از مخزن سد فرار نکند، باید دیواره‌ها و کف مخزن نفوذناپذیر باشند یا از نفوذپذیری بسیار کمی برخوردار باشند.

سدسازی از جمله طرح‌های مهندسی متمرکز به شمار می‌آید که در ارتباط مستقیم با زمین ساخته می‌شود. مطالعات زمین‌شناسی در انتخاب محل سد، انتخاب نوع سد، و طراحی پردهٔ آب بند کاربرد دارد. ناکامی و گسیختگی بیش از یک سوم از سدها در سطح جهان نتیجهٔ ضعف مطالعات زمین‌شناسی مهندسی محل اجرای آنها بوده است. موارد اصلی از تحقیقات این بخش که در امر سدسازی مد نظر هستند، به شرح زیرند :

۱ **امتداد لایه‌ها** : در محل‌هایی که لایه‌بندی مشخص باشد، بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها باشد. هر چه امتداد لایه‌ها زاویهٔ کمتری با محور سد بسازد، این محل مناسب‌تر است.

چنانچه محور سد موازی با امتداد لایه‌ها باشد، امکان فرار آب کمتر است، چون لایه‌ها در جهت عمود بر مسیر جریان آب قراردارند و نفوذ پذیری در آن جهت کاهش می‌یابد. به علاوه، سنگ‌هایی با شرایط و خصوصیات یکسان در محدودهٔ تکیه گاه‌ها و پی سد قرار می‌گیرند. بنابراین سنگ‌ها رفتار مشابهی در طول محل بارگذاری خواهند داشت و پایداری سد بیشتر خواهد بود.

۲ **شیب لایه‌ها** : شیب لایه‌ها و جهت‌گیری آنها می‌تواند در انتخاب محل سد مؤثر باشد. به‌طور کلی بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که جهت شیب لایه‌ها به سمت بالادست باشد، یا به عبارت دیگر، جهت شیب لایه‌ها در جهت عکس جریان آب باشد.

۳ **توپوگرافی** : بهترین موقعیت برای احداث سد معمولاً جایی است که یک درهٔ تنگ به‌وسیلهٔ یک درهٔ باز در سمت بالا دست دنبال شود. درهٔ تنگ، معرف استقامت بالای سنگ است که در مقابل جریان آب رود مقاومت بیشتری را نشان داده است و لذا محل مناسب‌تری برای احداث سد محسوب می‌شود. درهٔ باز هم محل مناسبی برای مخزن است که ظرفیت ذخیره‌سازی آب را بالا می‌برد.

۴ **فونداسیون طبیعی** : ماهیت یک فونداسیون عامل بسیار مهمی در انتخاب مکان سد است. یک پی‌خوب معمولاً سه ویژگی اساسی دارد :

- از مقاومت خوبی برخوردار است؛
- تراکم‌پذیری آن بر اثر بارگذاری قابل اغماض است؛
- آبگذری آن ناچیز یا در حد قابل قبول است.

■ در محل سد ترجیحاً باید فونداسیون سنگی عمق‌یابی شود. برای سد «بتونی» (Concrete) یا سنگی (masonry)، سنگ سخت در سطح یا در یک عمق مناسب زیر آن ضروری است. در سازندهای دیگر ارتفاع سد باید به حدود ۱۵ متر محدود شود.

چنانچه به موضوع آبگذری به نحو احسن پرداخته نشود، چه بسا با نشت آب از سد، هیچ‌گاه میزان آبی که در طرح پیش‌بینی شده در مخزن ذخیره نشود.

۵ **هیدرولوژی** : نقش اساسی را در انتخاب مکان سد، به‌ویژه در انتخاب نوع سد، بازی می‌کند. یک تغذیهٔ آب خوب با نوسانات حداقل، مناسب است.

۶ **بار رسوبی** : بار رسوبی در رود حتی‌الامکان باید کم باشد. در غیر این صورت، مقدار زیاد رسوب ته‌نشین شده در یک دورهٔ کوتاه‌تر به کاهش عمر مخزن منجر می‌شود.

۷ **غوطه‌وری** : میزان اموال و اراضی که توسط ساخت سد مورد نظر زیر پوشش آب قرار می‌گیرد، باید در مقایسه با سود پیش‌بینی شده برای سد، کم باشد.

تاریخچهٔ اهمیت مطالعات زمین شناسی برای سازه‌ها

از قرن‌ها پیش معماران و سازندگان بناها بر این نکته معترف بودند که برای جلوگیری از نشست، کج شدن یا فرو ریختن ساختمانشان محتاج آگاهی از شرایط زمین هستند. البته ساختمان‌های قدیمی همواره با توجه به تجربیات سازندهٔ بنا و غالباً به روش آزمون و خطا احداث می‌شدند. در سال ۱۷۷۶ و زمانی که کولن برای اولین بار تئوری‌های مربوط به فشار زمین را ارائه داد، استفاده از روش‌های تحلیلی در بررسی زمین آغاز شد. در سال ۱۸۷۱، اتو مور فرضیه‌ای عمودی برای مقاومت مصالح زمین شناسی در برابر گسیختگی ارائه داد.

علل رایج تخریب برخی سازه‌های مهندسی

الف) سازه‌های سطحی

- برآورد نامناسب تراکم‌پذیری در پی‌های کم عمق (که به نشست ناخواسته می‌انجامد)؛
- تورم زمین ــ خاک نرم مدفون شده؛
- گسیختگی خاک در مخزن‌ها و سیلوها.

ب) خاکریزها

- گسیختگی دامنه‌ای یا گسیختگی پی ــ زمین نرم.

ج) تونل‌ها

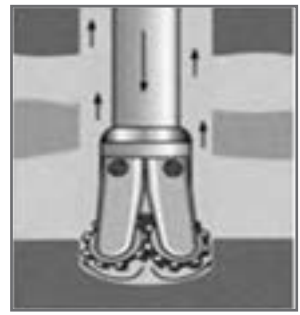
- شرایط زمین‌شناسی پیش‌بینی نشده.

مواد و مصالح زمین‌شناسی از دیدگاه مهندسی

مواد جامد و طبیعی تشکیل‌دهنده بخش‌های خارجی زمین را به دو گروه اصلی سنگ و خاک تقسیم می‌کنند :

- **سنگ** : از نقطه نظر زمین‌شناسی، سنگ به موادی از پوسته زمین اطلاق می‌شود که از یک یا چند کانی که با یکدیگر پیوند یافته‌اند، درست شده است.
- **خاک** : خاک توده‌ای از ذرات یا دانه‌های جدا از هم یا دارای پیوند سست است که بر اثر هوازدگی سنگ به‌طور بر جا تشکیل شده‌اند. درجهٔ سخت و سنگ شدگی خاک ناچیز تا صفر است و در بسیاری موارد، مواد آلی دارد و گیاهان می‌توانند در آن رشد کنند.

در شکل زیر یک دستگاه حفاری در حال کار نمایش داده شده است. می‌توانید نتایج حاصل از این عملیات حفاری را در تصویر مشاهده کنید.



نمایش سر مته حفاری و مسیر خروج گل حفاری از آن

برخی از حفریات معدنی عبارت‌اند از : گمانه، ترانشه، چاهک

■ **گمانه** : سوراخ عمیقی است که در زمین حفر می‌شود و با حفر آن مجموعه‌ای از خاک و سنگ به شکل استوانه به نام مغزه از درون زمین به‌دست می‌آید. با استفاده از اطلاعات حاصل از مغزه می‌توان نوع سنگ و خاک و عیار مواد معدنی موجود را تشخیص داد.

■ **ترانشه** : کانالی است که به‌وسیلهٔ دست (بیل و کلنگ) و یا ماشین‌آلات معدنی و راه‌سازی (بیل و...) در مناطقی که دارای بیشترین ظرفیت برای اکتشاف مواد معدنی هستند و عمود بر جهت‌گسترش مادهٔ معدنی حفر می‌شود. به‌طور معمول، ترانشه‌ها حداکثر دارای عرض ۱/۵، عمق ۲ و طول ۴۰ متر هستند. شایان ذکر است، در موارد خاص این ابعاد تغییر می‌کنند. برای مثال، در جاهایی که ترانشه به‌وسیلهٔ نیروی انسانی حفر می‌شود، ترانشه‌های کوچک‌تری حفر می‌کنند.

■ **چاهک** : ساده‌ترین و ارزان‌ترین حفاری اکتشافی سطحی است که به کمک آن می‌توان مادهٔ معدنی را در زمین کم‌عمق شناسایی و نمونه‌گیری کرد. معمولاً حفر چاهک به‌وسیلهٔ کلنگ و با دست انجام می‌گیرد.

سد

از لحاظ مصالح مورد استفاده در سد، آنها را به دو دسته تقسیم می‌کنند : با مصالح چسبنده از قبیل بتن، مصالح بنایی(سدهای قوسی، وزنی و ...) و با مصالح غیر چسبنده از قبیل خاک و سنگریزه باتوجه به‌اینکه، عمدتاً هزینه‌های مربوط به ساخت سدهای خاکی کمتر است و نیاز به پی سنگی و محکم ندارد،از این‌رو تمایل به ساخت این نوع سدها بیشتر می‌باشد در انتخاب نوع سد خاکی، عوامل مختلفی وجود دارند که از جمله آنها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد : کمیت و کیفیت مصالح در دسترس، خصوصیات پی سد، وضعیت اقلیمی‌و شکل و اندازه دره.

مراحل ساخت سد خاکی

هسته رسی یک سد خاکی

از سال ۱۹۵۵ تاکنون تعداد سدهای خاکی بزرگ (یعنی آنهایی که دارای ارتفاع بیشتر از ۱۵ متر می‌باشند) با آهنگی تقریباً برابر با ۲۰۰ سد در سال در سطح دنیا در حال افزایش بوده است. بر طبق آمار ارائه شده توسط ICOLD (کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ) در حال حاضر بلندترین سدهای جهان عبارت‌اند از سد نورک با ارتفاع ۳۰۰ متر که در کشور شوروی سابق احداث گردید و سد روگان با ارتفاع ۳۳۵ متر که این سد نیز در شوروی سابق ساخته شده است. هر دو این سدها از نوع سدهای خاکی می‌باشند.

وظایف یک سد به عنوان یک سازه عبارت‌اند از :

الف) ایجاد حائلی ناتراوا در برابر جریان آب با هدف ذخیره‌سازی آن

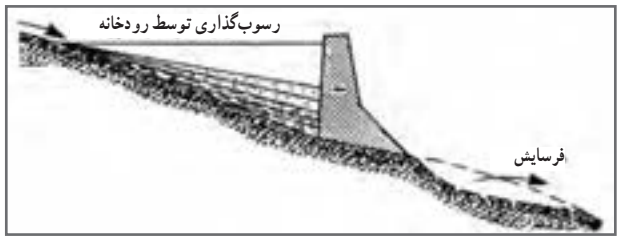
ب) انتقال نیروی آب به فونداسیون با ضریب اطمینان کافی

سد دز برای نمایش اجرای یک سد به‌ویژه تاج و محور

سد و آبخیزداری

در ایران، در سال‌های اخیر سدهای خاکی به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند و ساخته می‌شوند و با توجه به کثرتشان مسئلهٔ شکست آنها نیز بیشتر مطرح خواهد بود، از شکست سدهای خاکی نمونه‌هایی نیز در کشورمان وجود دارد. از جمله آنها می‌توان به شکست سد خاکی قزقلعه در استان خراسان در مردادماه سال ۱۳۸۰ و سد خاکی مته سنگ در استان سیستان و بلوچستان در خردادماه ۱۳۸۶ اشاره کرد.

سدهای خاکی، هسته رسی دارند آب حین عبور از هسته سد به دلیل نفوذپذیری بسیار کم، مقدار زیادی از انرژی پتانسیل خود را بر اثر اصطکاک از دست می‌دهد. در نتیجه مقدار نشت نیز به تناسب کاهش می‌یابد. این نوع سدها را می‌توان با هسته مرکزی قائم یا هسته شیب‌دار (مایل) ساخت که انتخاب هر نوع از این هسته‌ها در یک سدخاکی مزیت‌ها و معایبی را به همراه دارد. سدخاکی با هسته رسی مایل، رفتار دینامیکی پایدارتری نسبت به یک سدخاکی با هسته رسی قائم دارد.



پر شدن مخزن توسط رسوب‌گذاری به فرسایش ناشی از خروج آنها از سرریز و دریچه‌های سد توجه کنید

تونل

از نظر اصول مهندسی ساخت تونل، بهتر این است که محور تونل بر امتداد لایه‌ها عمود باشد (ب) چرا که در این حالت هر لایه همچون تیری باعث پایداری سقف تونل شده و پایداری آن را افزایش می‌دهد و همچنین باعث توزیع بار یکسان بر ستون‌های راست و چپ تونل می‌شود اما چنانچه در تمام مسیر لایه‌ای مقاوم و یکنواخت با پهنایی بیشتر از عرض تونل وجود داشته باشد می‌تواند حالت مناسبی برای حفر تونل باشد مانند تونل مانژ.

مکان مناسب برای ساخت تونل و مغار

از میان کلیه فعالیت‌های مهندسی عمران، حفر تونل و به‌طور کلی فضاهای زیرزمینی، بیش از همه نیاز به شناسایی زمین و در نتیجه همکاری زمین شناس خبره دارد. این گونه سازه‌ها باید در زمینی مطمئن و مقاوم ایجاد شوند، ولی شرایط درون زمین بسیار متغیر است و برخلاف سطح زمین، امکان شناسایی و دسترسی به تمام نقاط آن نیز وجود ندارد.

دستگاه پیشرفته حفر تونل

تونل زیر دریایی
امارات متحده عربی تصمیم دارد بندر فجیره امارات را از زیر دریای خلیج فارس با قطار زیردریایی به شهربمبئی در هند متصل کند. هدف از اجرای این پروژه صادرات نفت به هند و واردات آب شیرین به امارات می‌باشد. طول این راه زیرآبی حداقل ۲۰۰۰ کیلومتر می‌باشد.

سازه‌های دریایی

زمین‌های سست و ریزشی، خرد شده و گسل خورده، هوازده و متورم شونده و بالاخره آبدار، بیشترین مشکلات را برای حفر تونل به وجود می‌آورند.(و این در حالی است که در بسیاری موارد انتخاب زمین مناسب با ما نیست. به عنوان مثال، اغلب تونل‌های راه یا راه‌آهن محل‌های گذر اجباری‌اند و نمی‌توان مسیر آنها را برای رسیدن به زمین قابل اطمینان، به مقدار زیاد تغییر داد.)

در چنین شرایطی وظیفه کاوشگر عبارت است از :

مطالعه مسیر موجود و کسب آن‌گونه اطلاعاتی است که با استفاده از آنها بتوان طراحی تونل را به انجام رساند، به نحوی که با به‌کارگیری کمترین پوشش استحکامات داخلی، سازه زیرزمینی پایدار و قابل قبولی در برابر عوامل مخرب داشته باشد.

رکن اصلی بررسی‌های مربوط به فضاهای زیرزمینی و تونل‌ها را حفاری‌های اکتشافی تشکیل می‌دهد. حفر گمانه یا تونل اکتشافی است.

حفر گمانه‌های اکتشافی، مخصوصاً اگر با مغزه‌گیری همراه باشد، بیشترین اطلاعات را در مورد شرایط حکم‌فرما در زیرزمین به‌دست می‌دهد. البته چون حفاری همراه با مغزه‌گیری عملی وقت‌گیر و پرهزینه است، جست‌وجوگر باید با دقت زیاد محل حفر گمانه‌ها و عمق آنها را تعیین نماید. در طول پیشرفت حفاری نیز باید مغزه‌های حفاری به‌طور مرتب مورد بررسی قرار گرفته و در اعماق مناسب، آزمایش‌های ژئوتکنیکی لازم انجام گیرد. مقره‌های حفاری به ترتیب خاص و در جعبه‌های مخصوص برای بررسی‌های بیشتر در آینده یا استفاده احتمالی پیمانکار محفوظ نگه داشته می‌شود.

در زمین‌های نرم و عملیات اکتشافی مسیر تونل‌های زیرآبی، گمانه‌ها را می‌توان بسته به شرایط، به فاصله ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر از یکدیگر حفر نمود. البته در جاهایی که قرار است سازه‌های زیرزمینی قرار گیرد، شبکه حفاری می‌تواند متراکم‌تر باشد. کلیه حفاری‌ها باید تا پایین‌تر از تراز کف تونل مورد نظر ادامه یابد. برای تونلی که قرار است در سنگ حفر شود، مخصوصاً اگر طویل هم باشد، امکان حفاری محدود است و تنها هرجا که لازم و امکان‌پذیر است، انجام می‌شود. در سنگ نیز باید، در کلیه گمانه‌ها سطح آب زیرزمینی و وجود احتمالی هر نوع گاز سمی یا قابل انفجار یادداشت شود.

بالاست (Ballast)

■ بالاست لایه‌ای از مصالح سنگی شکسته مقاوم در برابر هوازدگی با جرم حجمی‌بالا مانند گرانیت یا دگرگون مثل گنیس با قطر متوسط ۲۰ تا ۶۰ میلی‌متر است.

■ بالاست در کف‌سازی پیاده‌روها و محوطه‌سازی، زیر ریل‌ها و... استفاده می‌شود و چند هدف را برآورده می‌سازد.

■ تحمل نیروهای قائم، افقی و جانبی وارد بر تراورس‌ها (چوب‌ها و تخته‌هایی که در راه آهن زیر خطوط آهن در عرض می‌گذارند) و نگه‌داشتن خط در جای خود

■ تأمین بخشی از جهندگی و جذب انرژی خط

■ پخش و انتقال بارها به لایه‌های تحتانی

■ زهکشی آب‌های سطحی

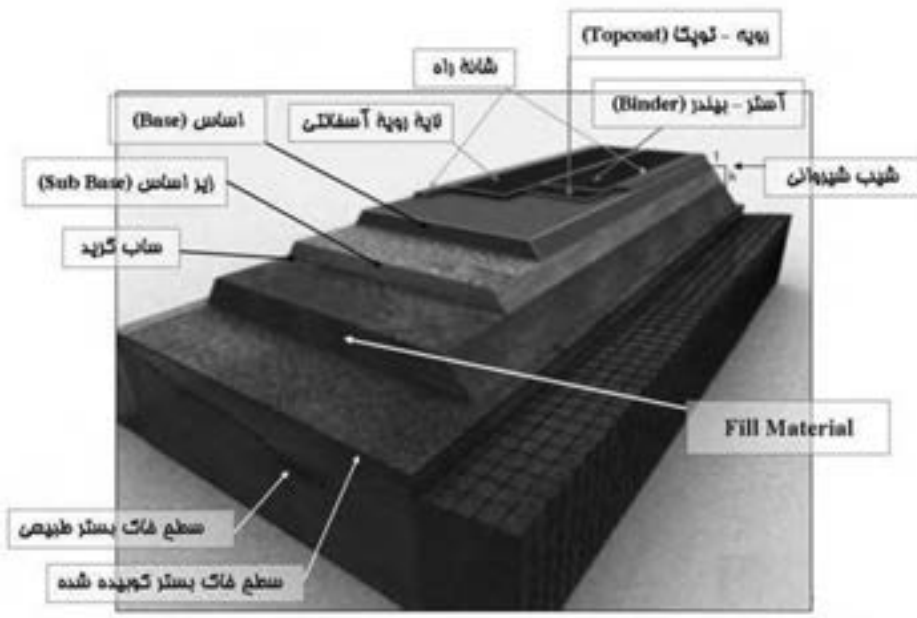
■ تنظیم و ترازنمودن سطح ریل حین ریل‌گذاری و تعمیرات

■ میرایی و استهلاک ضربات، ارتعاشات و صداهای حاصل از حرکت وسایل نقلیه ریلی

■ عایق یخبندان برای لایه‌های زیر خود

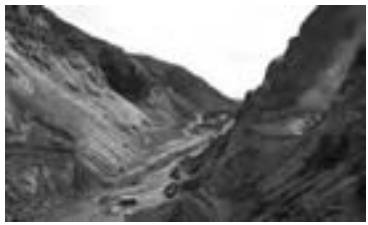
■ جلوگیری از رشد گیاهان در خط

بخش‌های مختلف زیراساس و اساس



پاسخ فعالیت‌ها

بیشتر بیندیشید ص ۶۰



در شکل روبه‌رو، دره Vشکل است آیا احداث پل برروی آن را مناسب می‌دانید؟

پاسخ : دره‌ها به سه شکل U، V و یا ترکیبی از این دو شکل دیده می‌شوند :

درهٔ U شکل : اگر عرض دره نسبت به عمق دره خیلی کوچک‌تر از ۱ باشد :
دره U شکل است. این دره باریک‌تر، عرض بستر آن کمتر، و دیوارهٔ آن مقاومت بیشتری در برابر فرسایش دارد. ضخامت رسوبات کف آن نیز کمتر از دره‌های V شکل است. به آن «تنگ» نیز می‌گویند.

درهٔ V شکل : اگر عرض دره نسبت به عمق دره بزرگ‌تر از ۱ باشد، دره V شکل است. در این نوع دره، دیواره مقاومت کمتری دارد و ضخامت رسوبات کف رودخانه بیشتر است.
(شکل مورد نظر در سؤال از نوع V شکل است)

با توجه به مطالب بالا، درهٔ U شکل برای احداث پل مناسب است، زیرا دره با عرض کمتر و تکیه‌گاه‌های مقاوم‌تری دارد. از طرفی پهنای کمتر دره U شکل نسبت به V شکل، هزینهٔ ساخت کمتری نیز خواهد داشت.

جمع آوری اطلاعات ص ۶۳

در مورد نزدیک‌ترین سد به محل سکونت خود، اطلاعاتی جمع‌آوری کنید و به موارد زیر پاسخ دهید :

۱. هدف از احداث سد
۲. نوع سد
۳. جنس سنگ پی سد

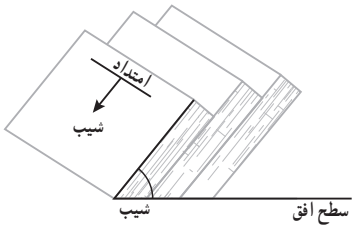
پاسخ : با توجه به‌سدهای استان خود دانش‌آموزان را به سمت جمع‌آوری اطلاعات در مورد علت احداث سد و نوع و جنس آن هدایت کنید.

با هم بیندیشید ص۶۴

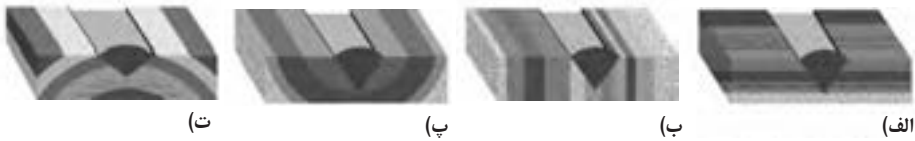
■ برای بررسی موقعیت لایه‌ها از مشخصات امتداد و شیب استفاده می‌شود.

پاسخ : امتداد لایه عبارت است از محل برخورد سطح لایه با سطح افق و با جهت جغرافیایی بیان می‌شود.

شیب لایه، مقدار زاویه‌ای است که سطح لایه با سطح افق می‌سازد.



■ شرایط مختلفی از وضعیت **شیب** و **امتداد** لایه‌های سنگی و موقعیت انتخابی برای ساختگاه سد، در شکل زیر نمایش داده شده است. با در نظر گرفتن فرار آب و پایداری بدنهٔ سد، حالت مطلوب و حالت نامطلوب را برای احداث سد مشخص کنید.



پاسخ :

الف) مطلوب‌ترین و اصولی‌ترین حالت احداث سد است. زیرا هم امتداد لایه‌ها به موازات امتداد محور سد است و هم شیب لایه‌ها به سمت بالادست می‌باشد. از طرفی تکیه‌گاه‌های راست و چپ سد وضعیت مشابه از لحاظ محاسبات پایداری دارند و هم فشار روی بدنه سد به واسطهٔ شیب لایه‌ها به سمت بالادست کاسته می‌شود.

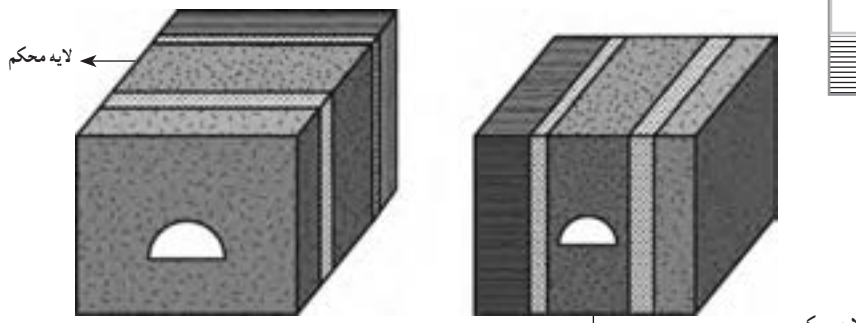
ب) لایهٔ قائم : مطلوب نیست به دلیل نشت آب از سطوح لایه‌بندی و تفاوت سنگ‌ها در تکیه‌گاه‌های راست و چپ و ایجاد عدم پایداری و فشار زیاد بر بدنه.

پ) نسبتاً مطلوب است زیرا با آنکه محور سد بر امتداد لایه‌ها عمود است، اما شیب لایه‌ها (ناودیس) همگرا و به سمت مخزن می‌باشد، پس حالت مطلوبی است و چنانچه محور چین به سمت مخزن تمایل داشته باشد و فشار از روی بدنه سد کاسته شود بهتر است.

ت) نامطلوب‌ترین محور سد، عمود بر محورچین و شیب لایه‌ها (تاقدیس) واگرا بوده و به سمت خارج است و آب از سطوح لایه‌بندی به خارج از سد فرار می‌کند.

با هم بیندیشید ص۶۵

با توجه به شکل‌های زیر، احداث تونل در کدام مناسب‌تر است؟



ب) محور تونل عمود بر لایه‌بندی

الف) محور تونل موازی با لایه‌بندی

پاسخ :

شکل (الف) مناسب‌تر است، زیرا در لایهٔ محکم احداث شده و محور تونل از ابتدا تا انتهای آن در یک لایه مقاوم واقع شده است. در صورتی که در شکل (ب)، لایه‌ها به تدریج تغییر می‌کنند و نحوهٔ تونل‌زدن در لایه‌های سخت، نرم، نفوذپذیر و... متفاوت است.

به‌طور معمول اصولی‌ترین روش احداث تونل عمود بر امتداد لایه‌هاست زیرا در این صورت هر لایه مانند تیرکی عمل می‌کند و باعث استحکام سقف تونل می‌شود و همچنین بار فشار بر دیواره‌های تونل برابر خواهد بود و چنانچه لایه ضعیفی در مسیر وجود داشته باشد تنها در مسیر کوتاهی درگیر مقاوم‌سازی آن خواهیم بود اما با توجه به شکل کتاب چنانچه یک لایهٔ پهن و مقاوم در تمامی مسیر تونل وجود داشته باشد می‌تواند گزینه مناسبی برای حفر تونل محسوب شود نظیر تونل مانش.

جمع آوری اطلاعات ص۶۵

در مورد علت فرار آب از مخزن سد لار اطلاعات جمع‌آوری کنید.

پاسخ :

در برخی نواحی عمل انحلالی آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های آهکی توسعه زیادی پیدا می‌کند و اشکال خاصی ایجاد می‌کند که به آن «کارست» می‌گویند. در زمین‌های کارستی رودها ناگهان در زمین فرو می‌روند و دوباره در جایی دیگر به‌صورت چشمه‌های بزرگ ظاهر می‌شوند. در این نواحی براثر بزرگ شدن غارها و فرو ریختن سقف آنها، چاله‌های قیفی‌شکل معمولاً مدور تشکیل می‌شوند (سینگچال) که ممکن است عمق آنها به بیش از ۵۰

متر و وسعت آنها به ده‌ها هزار متر برسد. یکی از معروف‌ترین نواحی کارستی در جنوب‌شرقی چین قرار دارد که در آنجا قله‌های برج مانند سنگ آهک به ارتفاع ۲۰۰متر می‌رسد. احداث سد لار برروی سنگ‌های آهکی کارستی انجام شد.

کاوش کنید ص۶۵

دلیل ناپایداری تونل در زیر سطح ایستابی را بررسی کنید.

پاسخ :

در این حالت به دلیل قرارگیری تونل در منطقهٔ اشباع، تراوش دائمی آب روی می‌دهد و سازه ناپایدار می‌شود.

گفت‌وگو کنید ص۶۸

در پایداری دامنه‌ها، پوشش گیاهی، تأثیر مثبت و منفی دارد. در این‌باره توضیح دهید.

پاسخ :

اثرات مثبت و منفی پوشش گیاهی، در پایدارسازی دامنه‌ها چگونه است؟

اثرات مثبت پوشش گیاهی، شامل مسطح شدن خاک و کاهش رطوبت آن، ساقه‌ها می‌توانند موجب مهار لایه‌ها شوند. (ایجاد شمع مهار) و وزن پوشش گیاهی موجب افزایش تنش عمودی بر سطح گسیختگی و در نتیجه پایداری خاک شود.

اثر منفی : وجود وزن ظاهری گیاهان در خاک‌های اشباع از آب است که خطر واژگونی یا ریشه‌کنی آنها را به همراه دارد.

گفت‌وگو کنید ص۶۸

یکی از روش‌های پایدارسازی دامنه‌ها و ترانشه‌ها، میخ‌کوبی است که در شکل زیر نشان داده شده است. در مورد این روش‌ها در کلاس بحث کنید .

تصویر میخ‌کوبی

میخ‌کوبی خاک به معنای محکم‌سازی غیرفعال زمین است که به کمک نصب میله‌های فولادی (میخ‌ها) انجام می‌شود. میخ‌ها باید با زاویه ۱۰ تا ۲۰ درجه نسبت به افق در خاک رانده شوند تا از ظرفیت کششی آنها بیشتر استفاده شود.

مراحل اجرای این روش :

۱ خاک‌برداری

۲ حفر سوراخ میخ‌ها

۳ نصب آرماتور و ملات‌ریزی

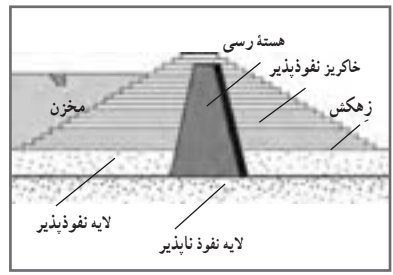
۴ اجرای لایهٔ موقت

۵ اجرای ترازها

۶ اجرای ساخت لایهٔ دائمی

پاسخ دهید
ص۶۹

به چه دلیل از هستهٔ رسی برای ساخت سدهای خاکی استفاده می‌شود؟



هستهٔ رسی یک سد خاکی

سد خاکی

پاسخ :

لایه‌های رسی نفوذناپذیرند یعنی آب از آنها عبور نمی‌کند. بنابراین خاک‌رس با جذب آب در منافذ خالی مانند یک دیوارهٔ نفوذناپذیر عمل کرده و سبب تجمع آب در پشت لایه‌ها می‌شود.