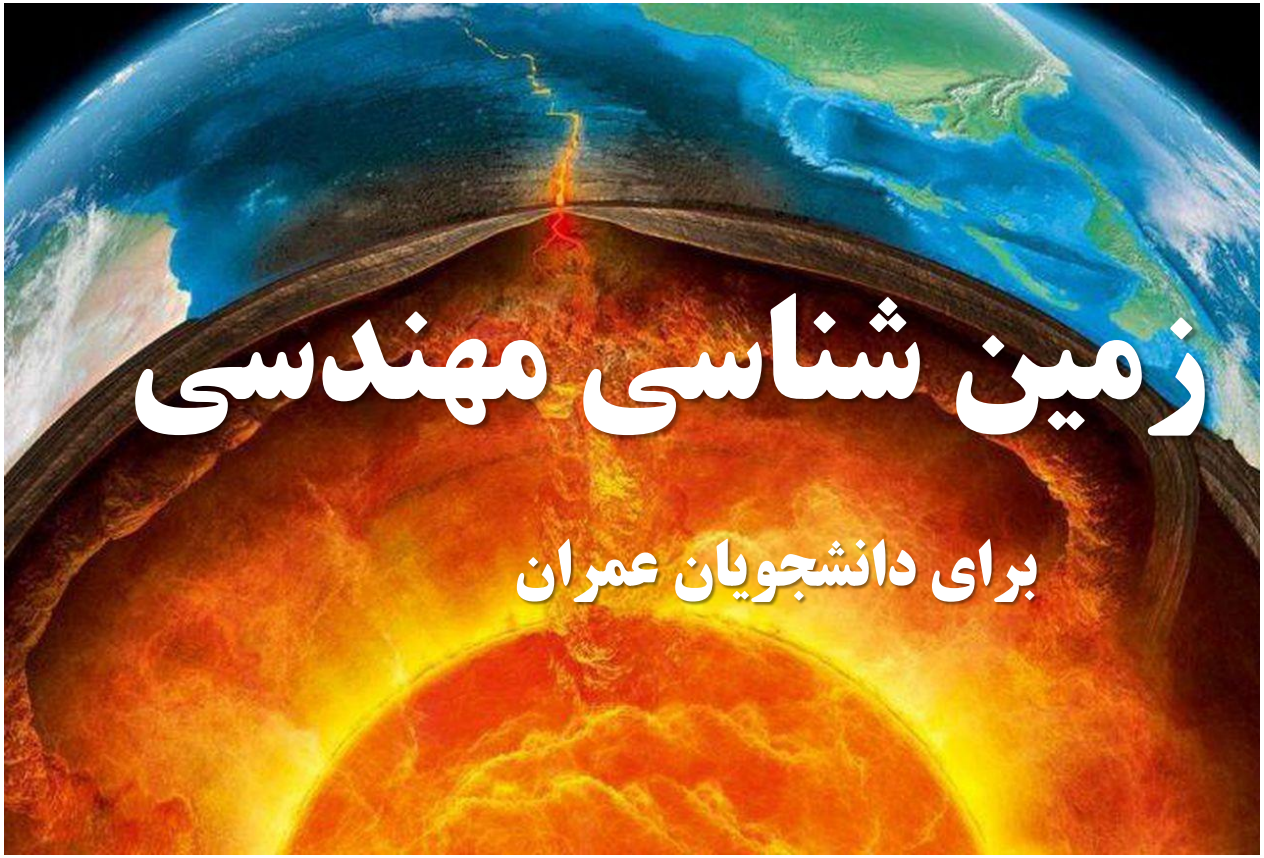
دانشگاه سمنان



زمین شناسی مهندسی

برای دانشجویان عمران

طبقه بندی مهندسی سنگ ها

مواد جامد طبیعی تشکیل‌دهنده سطح زمین به دو گروه اصلی سنگ و خاک تقسیم می‌شوند. این دسته از مواد از دیدگاه‌های مختلف، تعاریف منحصر به خود را دارند و ارائه تعریف جامعی از آنها به دلیل برداشت‌های مختلف از نقطه نظر زمین‌شناسی و مهندسی امکان‌پذیر نیست. در زمین‌شناسی، سنگ‌ها بر مبنای نحوه تشکیل به سه گروه اصلی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی طبقه‌بندی می‌شوند. امّا این طبقه‌بندی برای مقاصد مهندسی کاربرد محدودی دارد. ویژگی‌های سنگ‌های گوناگون در اثر پدیده‌های مختلف تغییر می‌نماید. بنابراین مهندسین به طبقه‌بندی سنگ‌ها بر مبنای ویژگی‌های مهندسی آنها نیازمند هستند، به‌عنوان‌مثال؛ یکی از ویژگی‌های سنگ‌ها، در زمین‌شناسی مهندسی مقاومت آنها در مقابل نیروهای وارده می‌باشد.

مقاومت سنگ

به‌طورکلی، مقاومت سنگ، حداکثر نیرو یا
ترکیبی از نیروها در واحد سطح است که سنگ می‌تواند تحمّل کند، بدون آنکه شکسته شود.

مقاومت سنگ‌ها بسته به نوع تنش اعمالی به آنها شامل مقاومت فشاری، کششی یا برشی می‌باشد. به‌طورکلی، مقاومت کششی سنگ‌ها بسیار کمتر از مقاومت فشاری آنهاست.

از نظر زمین شناسی مهندسی، سنگ‌ها به دو نوع **سنگ بکر**[1] و **توده سنگ**[2] تقسیم می‌شوند.

سنگ بکر

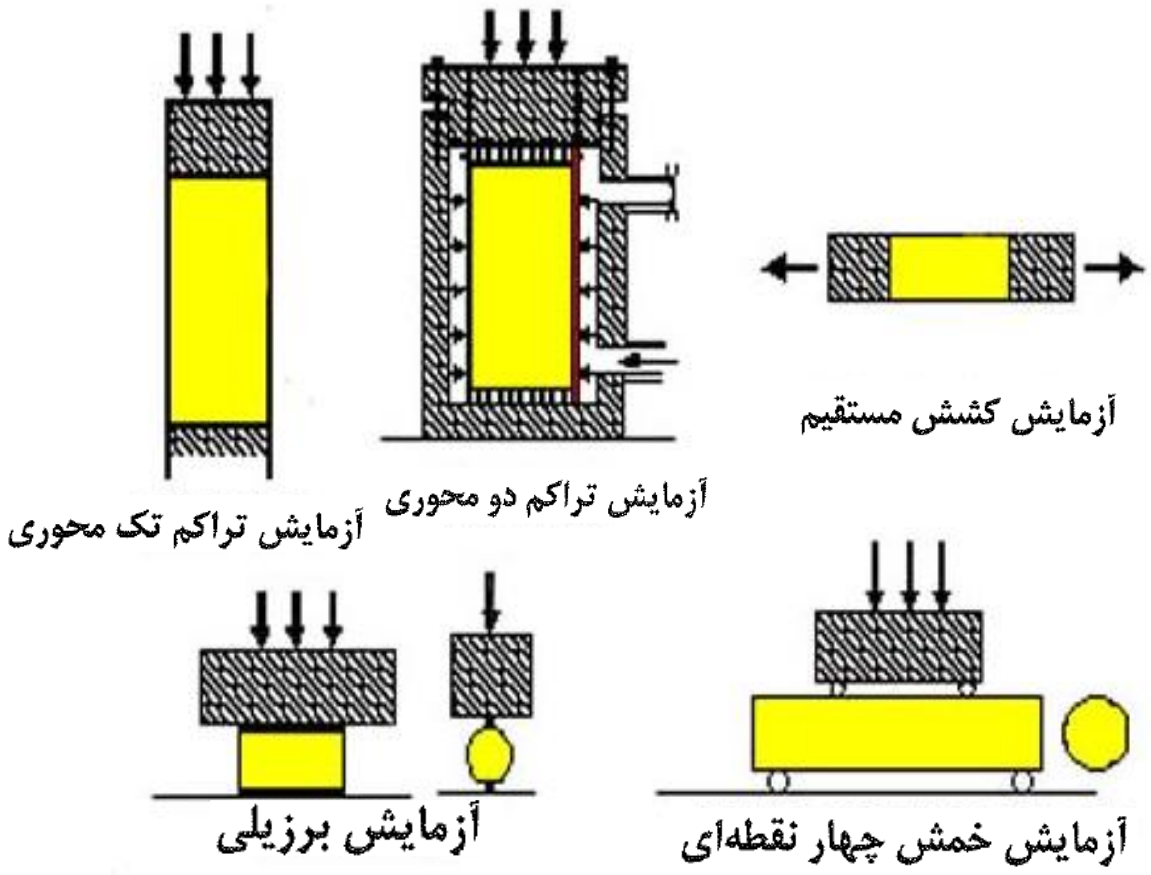
فاقد ناپیوستگی و درزه و شکاف بوده و خصوصیات مکانیکی آن تابع ویژگی‌های ذاتی سنگ شامل چسبندگی و اصطکاک بین ذرّات تشکیل‌دهنده آن می‌باشد.

توده سنگ

دارای ناپیوستگی‌ها، درزه و شکاف و گسل‌خوردگی می‌باشد و ویژگی‌های مکانیکی آن متأثر از این موارد خواهد بود.

پروژه‌های عمرانی، ویژگی‌های مکانیکی توده سنگ مهم بوده و در نتیجه آزمایش‌های مربوطه برای تعیین ویژگی‌های آن، می‌بایست در محل و بر روی توده سنگ صورت گیرد و در برخی موارد ممکن است، ویژگی‌های مکانیکی سنگ بکر مهم باشد.

آزمایش‌های تعیین مقاومت سنگ‌ها را به‌صورت شماتیک



طبقه‌بندی مهندسی سنگ بکر

سنگ‌ها، از لحاظ مقاومت فشاری یک محوری به پنج رده تقسیم می‌شوند

رده‌بندی مهندسی سنگ‌ها براساس مقاومت فشاری یک محوری

(Deere and Miller, 1966)

نشانه رده	شرح مقاومت	مقاومت فشاری یک محوری	
		پوندبراینچ مربع (Psi)	کیلوگرم برسانتی‌مترمربع kg/cm2
A	خیلی بالا	>۳۲۰۰۰	>۲۲۰۰
B	بالا	۱۶۰۰۰–۳۲۰۰۰	۱۱۰۰ –۲۱۰۰
C	متوسط	۸۰۰۰–۱۶۰۰۰	۵۵۰ –۱۱۰۰
D	پائین	۴۰۰۰–۸۰۰۰	۲۷۵–۵۵۰
E	خیلی پائین	<۴۰۰۰	<۲۷۵

در رده A که بالاترین مقاومت را در این طبقه بندی داراست، تعداد کمی از سنگ‌ها مانند کوارتزیت، دیاباز و بازالت‌های متراکم قرار دارند. رده B اکثر سنگ‌های آذرین، دگرگونی مقاوم و ماسه سنگ‌های خوب سیمانی شده و شیل‌های سخت و بیشتر سنگ‌های آهکی و دولومیت را شامل است. بسیاری از شیل‌ها، ماسه سنگ‌های متخلخل و سنگ آهک‌ها و انواع سنگ‌های شیستی مانند کلریت شیست، تالک شیست و میکاشیست در رده C قرار می‌گیرند. رده E و D را سنگ‌های متخلخل یا دارای وزن حجمی پائین از قبیل ماسه سنگ‌های خرد شده، توف‌های متخلخل، شیل‌های رسی، سنگ نمک و سایر سنگ‌های هوازده تشکیل می‌دهد.

دومین ویژگی مهم سنگ‌ها که در این رده بندی مورد بحث قرار می‌گیرد، نسبت مدولی آنهاست. نسبت مدولی عبارت از نسبت مدول یانگ به مقاومت فشاری یک محوری است. طبق تعریف، **مدول یانگ** عبارت از نسبت تنش وارده به یک جسم به تغییر شکل ایجاد شده در آن می‌باشد یعنی $E=\sigma/\varepsilon$.

رده‌بندی مهندسی سنگ‌ها براساس نسبت مدولی (Deere and Miller, 1966)

نسبت مدولی	شرح نسبت مدولی	نشانه رده
>۵۰۰ :۱	بالا	H
۱: ۵۰۰-۱: ۲۰۰	متوسط	M
<۲۰۰ :۱	پائین	L

طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ

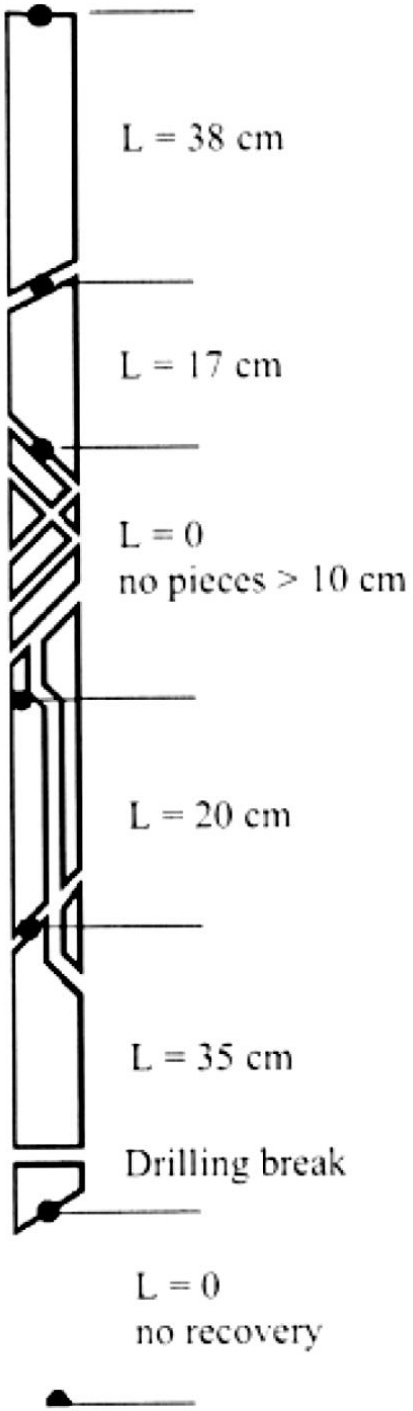
یکی از تقسیم‌بندی‌هایی که برای توده سنگ استفاده می‌شود،کاربرد **شاخص کیفی توده سنگ**، R.Q.D[1] است که عبارت است از:

$$R.Q.D = \frac{\text{مجموع طول مغزه‌هایی با طول بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر}}{\text{طول کل حفاری}} \times ۱۰۰$$

-Rock quality designation

شاخص کیفیت در سنگ‌های سخت و متراکم بالاست و هرچه شکستگی و هوازدگی در توده سنگ بیشتر باشد، مقدار آن کاهش می‌یابد.

RS&H
Project Freeway – FR 247 Overpass
Rogersville, Missouri
Boring # 247-2
Date: 2-25-15
Box 1 Of 2 Boxes
Run 1 :Depth 35' 9" TO 37'6" REC: 100 % RQD 81 %
Run 2 :Depth 37'6" TO 42'6" REC: 100 % RQD 88 %
Run 3 :Depth 42'6" TO 47'6" REC: 100 % RQD 58 %



Total length of core run = 200 cms

$$RQD = \frac{\Sigma \text{ Length of core pieces} > 10 \text{ cm length}}{\text{Total length of core run}} \times 100$$

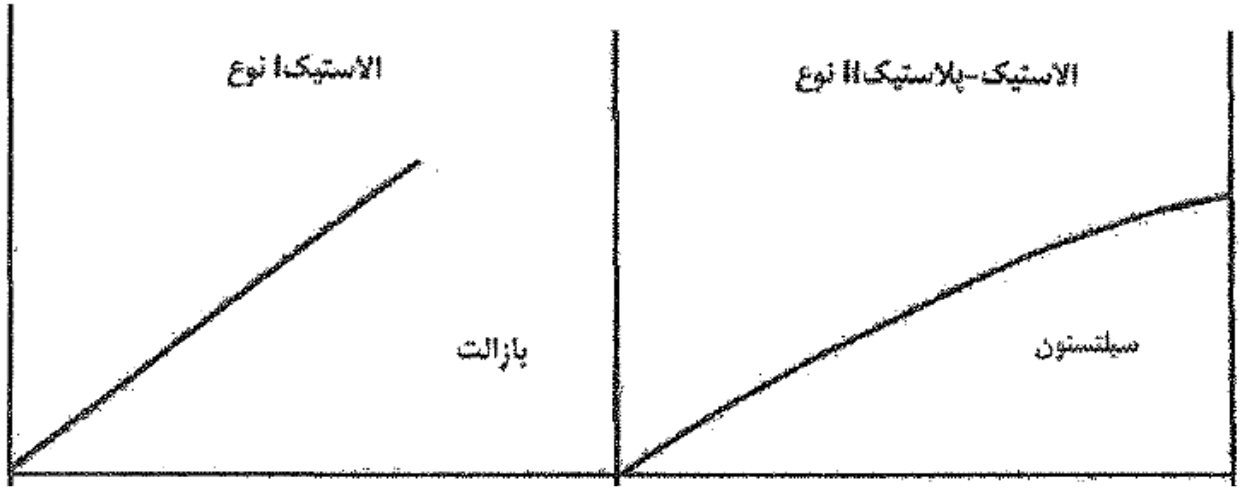
$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + 35}{200} \times 100 = 55\ \%$$

رفتار سنگ‌ها در مقابل فشار

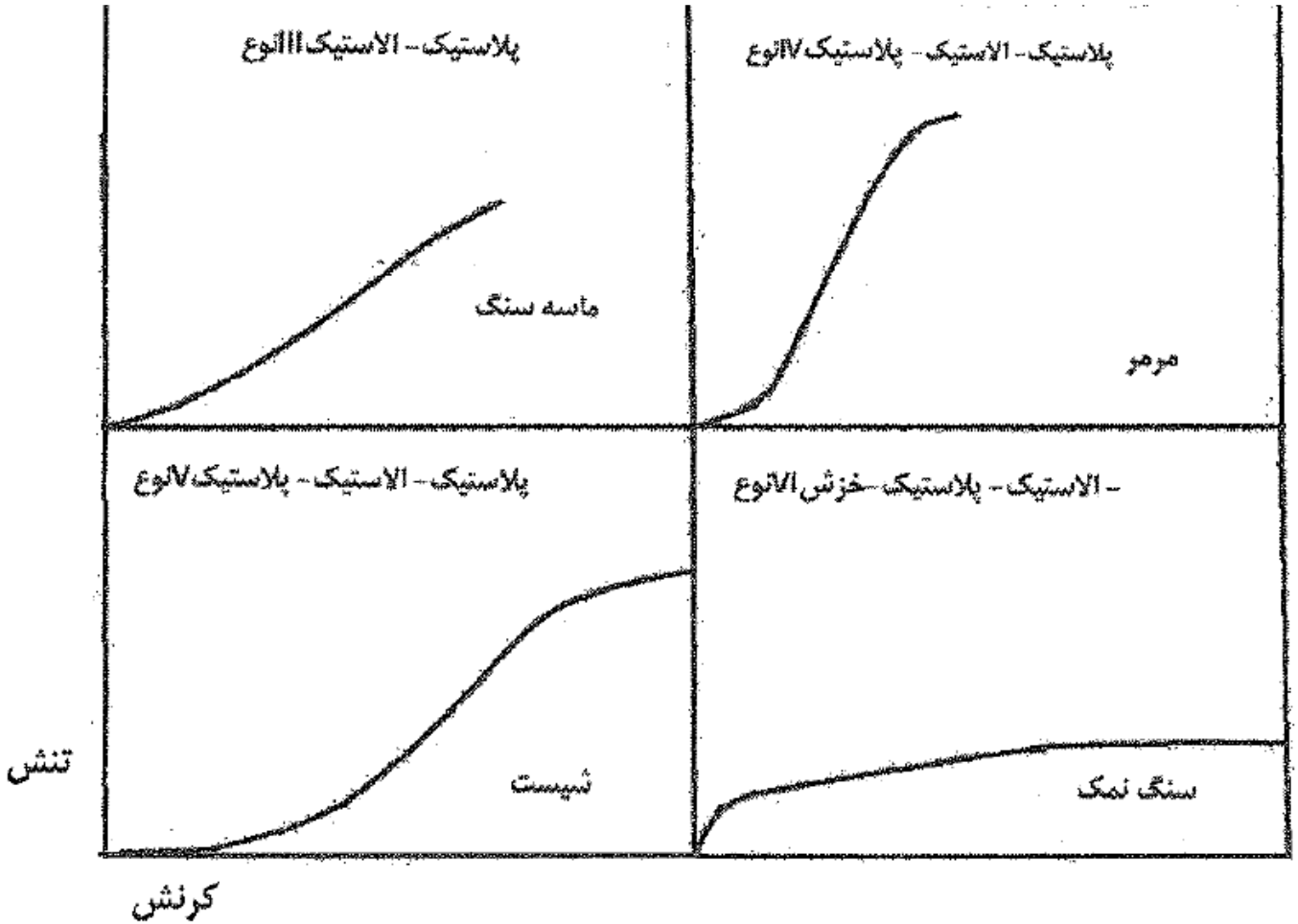
سنگ‌ها در برابر تنش‌های مختلف، رفتار و مقاومت‌های متفاوتی را نشان می‌دهند.

متداول‌ترین روش برای مطالعه رفتار سنگ‌ها، بررسی
فشار یک محوری نمونه‌ای استوانه‌ای شکل از سنگ سالم است که طول آن دو تا سه برابر قطر آن باشد.

منحنی تنش- کرنش را برای ۶ نوع سنگ در آزمون تک محوری



منحنی تنش- کرنش را برای ۶ نوع سنگ در آزمون تک محوری



گروه اول سنگ‌هایی هستند که منحنی تنش-کرنش آنها خطی است و الاستیک نامیده می‌شوند. این رفتار خاص سنگ‌های مقاوم و متراکم مانند بازالت، کوارتزیت، دولومیت و سنگ آهک‌های مقاوم است

گروه دوم سنگ‌هایی هستند که رفتار الاستیک- پلاستیک نشان می‌دهند. یعنی قبل از اینکه سنگ بشکند، رفتار سنگ از الاستیک به پلاستیک تغییر می‌کند. این نوع رفتار، شاخص سنگ آهک‌های سست‌تر، گِلْ‌سنگ و توف می‌باشد

گروه سوم سنگ‌هایی هستند که رفتار پلاستیک- الاستیک نشان می‌دهند، این رفتار مخصوص ماسه سنگ‌های متخلخل، شیست‌های نمونه‌گیری شده به موازات سطح تورق و بعضی از گرانیت‌ها است

گروه چهارم شامل سنگ‌های دگرگونی مثل مرمر و گنیس است که رفتار پلاستیک- الاستیک- پلاستیک دارند

گروه پنجم شیست‌های مغزه‌گیری شده عمود بر سطوح تورق را در بر می‌گیرد که در آن میزان تغییر شکل زیاد بوده و تحدب منحنی به سمت بالا است

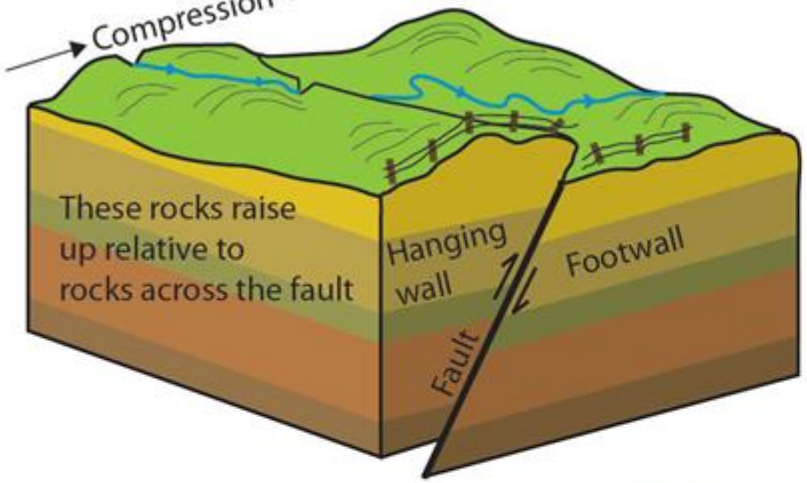
گروه ششم مشخصه سنگ‌های نمک و سایر سنگ‌های تبخیری می‌باشد. رفتاری که این نوع سنگ‌ها نشان می‌دهد **خزش**[۲] می‌باشد. در این نوع رفتار، تغییر شکل مداوم و تدریجی و آهسته تحت بار ثابت و طولانی در سنگ به وجود می‌آید

انواع شکستگی در سنگ‌ها

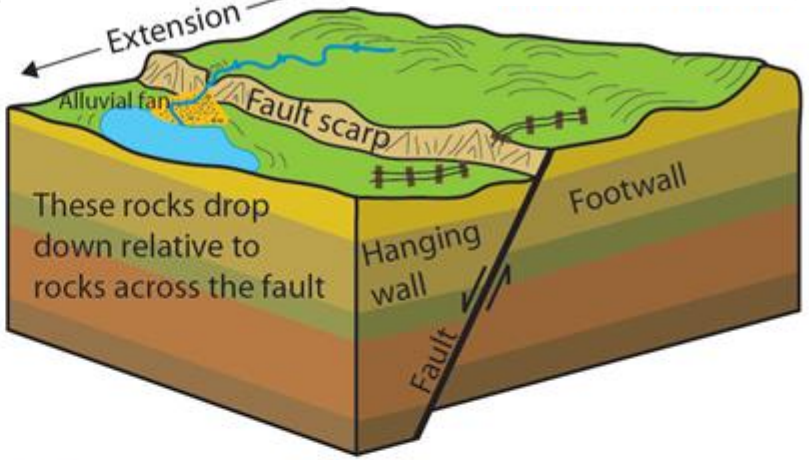
در تعیین مقاومت فشاری تک محوری، به سنگ آن قدر نیرو وارد می‌شود تا شکستگی در آن ایجاد شود. در این حالت حداکثر نیروی وارده به نمونه، مقاومت آن را نشان می‌دهد. در اثر اعمال این نیرو شکستگی‌های مختلفی در سنگ ایجاد می‌شود. اگر سنگ کاملاً شکننده باشد، ترک خوردگی طولی در نمونه به وجود می‌آید که علّت آن هنوز مشخص نیست. در مواردی که فشار محصورکننده در حد متوسط باشد، صفحه شکستگی به میزان کمتر از ۴۵ درجه نسبت به نیروی فشاری یا امتداد تنش اصلی بزرگ ($\sigma\tau$) تمایل دارد. این شکستگی به علت خاصیت پلاستیکی کم نمونه سنگ در نتیجه اعمال فشار محصورکننده است. با افزایش فشار محصورکننده تا حدی‌که سنگ به‌صورت کامل شکل‌پذیر گردد، شبکه‌ای از شکستگی‌های مورب (برشی) توام با تغییر شکل‌های پلاستیک در آن ظاهر می‌شود

دانشگاه سمنان

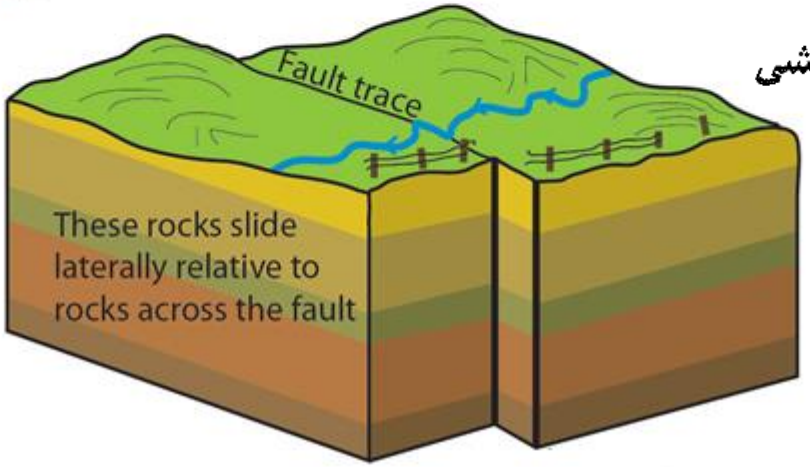
مکانیسم تنشی گسل خوردگی معکوس



مکانیسم تنشی گسل خوردگی نرمال



مکانیسم تنشی گسل خوردگی چرخشی



انواع شکستگی در سنگ‌ها بر اساس جهت محورهای تنش

عوامل موثر در رفتار مکانیکی سنگها و تراکم تک محوری

وضعیت طبیعی سنگ

- ترکیب کانی شناسی
- وزن مخصوص
- تخلخل
- شکل و اندازه دانه ها
- میزان هوازدگی و دگرسانی
- ریزشکست ها

عوامل محیطی و خارجی

- جهت اعمال نیرو
- رطوبت
- دما
- نسبت طول به قطر نمونه
- مدت زمان اعمال تنش
- فشارهای محصورکننده

سختی سنگ‌ها

مطالعه‌های انجام شده نشان می‌دهند که سختی سنگ‌ها رابطه مشخصی با مقاومت تراکمی یک محوری و مدول ارتجاعی یا الاستیک آنها دارد. سختی سنگ‌ها با استفاده از روش‌ها و وسایل مختلفی قابل اندازه‌گیری است که از آن جمله می‌توان به چکش جهشی اشمیت اشاره کرد. از نتایج مطالعه‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت تراکمی یک محوری سنگ‌ها با حاصل ضرب عدد سختی اشمیت،که بین ۱ تا ۶۰ متغیر می‌باشد، و وزن حجمی خشک سنگ‌ها ارتباط دارد.

دانشگاه سمنان

تراکم پذیری توده سنگ

برای تعیین تراکم پذیری سنگ از پارامتری بنام مدول ارتجاعی $E = \frac{\sigma}{\in}$ استفاده می‌شود که عبارت از شیب منحنی تنش-کرنش است. طبق این رابطه، هرچه تراکم‌پذیری سنگ بیشتر باشد، مقدار مدول ارتجاعی آن کمتر خواهد بود. ویژگی‌های توده سنگ با سنگ بکر متفاوت است و عواملی از جمله توالی ناپیوستگی‌ها و میزان بسته بودن ناپیوستگی‌ها آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که هرچه تعداد ناپیوستگی‌ها در واحد طول بیشتر باشد، تراکم پذیری توده سنگ بیشتر شده و هرچه ناپیوستگی‌ها بسته‌تر باشند، تراکم‌پذیری توده سنگ کمتر می‌گردد. تراکم‌پذیری سنگ بکر با مدول ارتجاعی یا الاستیک آن نشان داده می‌شود. ولی چون توده سنگ تحت تاثیر ناپیوستگی‌هاست، اصطلاح مدول ارتجاعی برای آن صحیح نبوده و به‌جای آن از **مدول دگرشکلی**[1] استفاده می‌شود.

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌ها

ویژگی‌ها و رفتارهای مهندسی سنگ‌ها تحت تأثیر عامل‌های گوناگونی مانند منشاء تشکیل، ترکیب کانی‌شناسی، ساخت و اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده سنگ است. همان‌طورکه اشاره شد سنگ‌ها از نظر منشاء تشکیل به سه دسته کلی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند.

سنگ‌های آذرین در گروه‌های سنگ‌های آذرین درونی، نیمه عمیق و بیرونی رده‌بندی می‌شوند. این دسته از سنگ‌ها، از نظر ترکیب شیمیایی، در گروه سنگ‌های آذرین اسیدی، حد واسط، قلیایی و فوق قلیایی قرار می‌گیرند. سنگ‌های رسوبی به سه گروه سنگ‌های تخریبی، شیمیایی و بیوشیمیایی تقسیم می‌گردند. سنگ‌های آذرآواری نیز، به دلیل منشاء دوگانه در گروه سنگ‌های آذرین یا رسوبی قرار می‌گیرند. سنگ‌های دگرگونی، ممکن است توده‌ای یا دارای برگوارگی باشند.

سنگ‌ها از نظر دانه‌های تشکیل‌دهنده به سه گروه عمده سنگ‌های دانه درشت، با قطر دانه‌های بیش از ۲ میلیمتر، سنگ‌های دانه متوسط، با قطر ذرّه‌های بین ۲ میلیمتر تا ۶۰ میکرون و سنگ‌های دانه ریز، با قطرکوچکتر از ۶۰ میکرون تقسیم می‌شوند.

از نظر ساختار، سنگ‌ها به گروه سنگ‌های لایه‌ای، سنگ‌های دارای برگوارگی و سنگ‌های توده‌ای تقسیم می‌گردند.

نوع سنگ	دانسیته خشک t/m^3	تخلخل %	میانگین UCS خشک MPa	میانگین UCS خشک MPa	UCS شباع MPa	مدول الاستیک GPa	مقاومت کششی MPa	مقاومت برشی MPa	زاویه اصطکاک θ_0
گرانیت	۲/۷	۱	۲۰۰	۵۰–۳۵۰		۷۵	۱۵	۳۵	۵۵
بازالت	۲/۹	۲	۲۵۰	۱۰۰–۳۵۰		۹۰	۱۵	۴۰	۵۰
گریواک	۲/۶	۳	۱۸۰	۱۰۰–۲۰۰	۱۶۰	۶۰	۱۵	۳۰	۴۵
ماسه سنگ–کربونیفر	۲/۲	۱۲	۷۰	۴۰–۱۰۰	۵۰	۳۰	۵	۱۵	۴۵
سنگ آهک– کربونیفر	۲/۶	۳	۱۰۰	۵۰–۱۵۰	۹۰	۶۰	۱۰	۳۰	۳۵
گچ	۱/۸	۳۰	۱۵	۵–۳۰	۵	۶	۰/۳	۳	۲۵
گل سنگ	۲/۳	۱۰	۴۰	۱۰–۵۰	۲۰	۱۰	۱		۳۰
شیل	۲/۳	۱۵	۲۰	۵–۳۰	۵	۲	۰/۵		۲۵
رس	۱/۸	۳۰	۲	۱–۴		۰/۲	۲	۰/۷	۲۰
زغال	۱/۴	۱۰	۳۰	۲–۱۰۰		۱۰	۲		
ژیپس	۲/۲	۵	۲۵	۲۰–۳۰		۲۰	۱		۳۰
نمک	۲/۱	۵	۱۲	۵–۲۰		۵			
هورنفلس	۲/۷	۱	۲۵۰	۲۰۰–۳۵۰		۸۰			۴۰
مرمر	۲/۶	۱	۱۰۰	۶۰–۲۰۰		۶۰	۱۰	۳۲	۳۵
گنیس	۲/۷	۱	۱۵۰	۵۰–۲۰۰		۴۵	۱۰	۳۰	۳۰
شیست	۲/۷	۳	۶۰	۲۰–۱۰۰		۲۰	۲		۲۵
اسلیت	۲/۷	۱	۹۰	۲۰–۲۵۰		۳۰	۱۰		۲۵

ویژگی‌های مهندسی نهشته‌ها و سنگ‌های رسوبی

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های رسوبی تابع عامل‌های گوناگونی مانند شرایط تشکیل سنگ، اندازه دانه‌های تشکیل دهنده سنگ، نوع کانی‌های تشکیل دهنده، نوع سیمان و میزان سیمان شدگی می‌باشند. این سنگ‌ها را می‌توان در دو گروه کلی، سنگ‌های انحلال پذیر، مانند سنگ آهک، دولومیت، تبخیری‌ها، و سنگ‌های حل نشدنی، مانند ماسه سنگ‌ها و شیل‌ها قرار داد. از نظر اندازه، دانه‌های تشکیل دهنده سنگ‌های رسوبی تخریبی به رس، سیلت، ماسه و گراول تقسیم می‌شوند. ذرّه‌های در حد رس از کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند. در صورتی‌که سیلت و ماسه اغلب از جنس کانی‌های سیلیکاته یا کربناته است. ذرات درشت‌تر به‌طور عمده از قطعه‌های سنگی به وجود آمده‌اند. ذرّات رسی بسیار ریز می‌باشند و به دلیل وضعیت ساختاری شکل آنها در موقع رسوب در آب، بیشترین مقدار تخلخل را در بین رسوب‌ها دارند. ذرّه‌های در حد سیلت نیز به دلیل کوچک بودن اندازه و وزن کم، تخلخل قابل ملاحظه‌ای دارند. این رسوب‌ها تحت تأثیر عواملی مانند لرزش ممکن است متراکم‌تر شوند.

ویژگی‌های مهندسی نهشته‌ها و سنگ‌های رسوبی

لُس نهشته‌هایی در حد سیلت است که به وسیله باد بر جای گذاشته می‌شود. لُس در برخی از منطقه‌ها به ویژه در ناحیه‌های شمالی کشور یافت می‌گردد. این رسوب‌ها در حضور آب مقاومت خود را از دست داده و بسیار سست و ناپایدار می‌شوند و ممکن است سبب نشست ناگهانی سطح زمین شوند.

ویژگی‌های مهندسی نهشته‌ها و سنگ‌های رسوبی

ویژگی‌های مهندسی رس‌ها و سیلت‌ها بیشتر تابع نیروهای بین دانه‌های آنها است. از آنجائی‌که کانی‌های رسی، افزون بر سنگ‌های رسی، در اغلب سنگ‌های رسوبی وجود دارند، لذا این مواد به علت رفتار ویژه خود مشکلاتی را در اجرای پروژه‌های مهندسی به بار می‌آورند. کانی‌های رسی در فصل سوم توصیف شده‌اند.

جنس ذرّه‌های در حد ماسه اغلب کوارتز است، اما کلسیت، فلدسپات‌ها و صدف‌ها نیز ممکن است از نظر اندازه در حد ماسه باشند. بنابراین، در مورد ماسه، جنس ذرّه‌ها مطرح نیست، بلکه اندازه آنها مورد نظر می‌باشد.

ویژگی‌های مهندسی نهشته‌ها و سنگ‌های رسوبی

ذرّه‌هایی مانند رس، سیلت، ماسه به وسیله عامل‌های گوناگون و شرایط متفاوت به محیط‌های رسوبی حمل و ته‌نشین می‌شوند. نهشته‌های تخریبی تحت عمل دیاژنز به سنگ تبدیل می‌شوند. در اثر افزایش وزن رسوب‌ها، آب از بین دانه‌ها خارج شده و در نتیجه رسوب‌ها متراکم می‌شوند و آنچه که تحت عنوان تحکیم معرفی می‌شود، صورت می‌گیرد. در رسوب‌های غیر اشباع، در اثر تراکم، فضای خالی رسوب‌ها کم می‌شود و تخلخل کاهش می‌یابد. در زمین شناسی مهندسی، فرآیند سخت شدگی، که شامل تراکم و تحکیم می‌باشد را عمل تراکم می‌نامند.

ویژگی‌های مهندسی لای سنگ‌ها و رس سنگ‌ها

در اثر افزایش وزن رسوب‌ها، که در نتیجه افزایش ضخامت نهشته‌ها ایجاد می‌شود، رسوب‌های دانه‌ای متراکم شده و ذرّه‌ها در وضعیت جدید و نزدیک به هم قرار می‌گیرند. در این صورت سطح تماس ذرّه‌ها افزایش، و فضای بین آنها کاهش می‌یابد. با افزایش سطح تماس و پر شدن فضای بین آنها با سیمان، فرآیند دیاژنز یا سنگ شدگی صورت می‌گیرد. با دوام‌ترین و مقاوم‌ترین سیمان‌ها، سیلیس است که از تجزیه سیلیکات‌ها ناشی می‌شود. سیمان سیلیسی در ماسه سنگ‌های کوارتزی به‌طور مسلم بادوام‌تر از ماسه سنگ‌های با سایر سیمان‌ها می‌باشد. اکسیدآهن نیز جزء سیمان‌های بادوام است. کلسیت نیز از فراوان‌ترین سیمان‌ها است و در مرحله بعد دولومیت و ژیپس نیز ممکن است به‌صورت سیمان فضای بین دانه‌های سنگ‌ها را پرکنند. در اغلب سنگ‌های تخریبی دانه درشت، که در ظاهر مقاوم و متراکم به نظر می‌رسند، عمل سیمان شدگی کامل نمی‌باشد و در این سنگ‌ها کانی‌های رسی در بین دانه‌های درشت‌تر وجود دارد. این سنگ‌ها در حالت خشک مقاوم و متراکم به نظر می‌رسند. امّا در حالت مرطوب ممکن است نامقاوم باشند و چنانچه در معرض تغییرات جوّی قرار گیرند، ممکن است به سرعت تخریب شوند. در نتیجه حفاری، که سنگ‌ها دست خورده شده و در حالت سست قرار می‌گیرند، این وضعیت تشدید می‌شود.

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های سیلتی و رسی

سنگ‌های تخریبی دانه ریز، که بیشتر از رس و سیلت تشکیل شده‌اند، با توجه به مقدار سیمان آنها، از حالت مقاوم و بادوام تا غیر متراکم و خاک مانند متغیر می‌باشند.

وجود شرایط زهکشی درلایه‌های رسی و سیلتی و همچنین افزایش سن آنها، شرایط مناسب سخت شدگی را برای این سنگ‌ها فراهم می‌کند. وجود فضای خالی در رسوب‌های فوق، مقاومت آنها را کاهش می‌دهد. در اینجا منظور از مقاومت، **مقاومت تراکمی تک محوری**[1] است. این مقاومت همچنین تابع عمق دفن شدگی لایه‌ها نیز می‌باشد. هر قدر وزن طبقه‌های فوقانی لایه‌های رسی و سیلتی افزایش یابد، سخت شدگی آنها نیز بیشتر می‌شود و مقاومت آنها افزایش می‌یابد. علت افزایش مقاومت لایه‌های دفن شده، میزان تراکم آنها می‌باشد. بنابراین، مقاومت و تراکم سنگ‌ها متناسب با سن و عمق قرارگیری اولیه آنها است. رفتار تراکمی **گِل‌سنگ‌ها**[2] با میزان تخلخل بیش از ۳۰٪، رفتاری شبیه سنگ‌های نرم یا خاک‌های سفت دارد. البته تأثیر میزان تخلخل در رفتار ماسه سنگ‌ها و گِل‌سنگ‌ها بیان کننده این حقیقت است که با کاهش تخلخل، تا میزان کمتر از ۱۰٪ در هر دو نوع سنگ، سیمان نه تنها در بین دانه‌ها، بلکه در فضای خالی آنها نیز یافت می‌شود و به این دلیل مواد تشکیل دهنده سنگ به‌صورت سنگ واقعی در می‌آید و رفتار سنگ‌ها از حد **شکننده**[3] تا **شکل پذیر**[4] تغییر می‌کند. عمق لازم برای دستیابی به تخلخل مناسب متفاوت است. به عنوان مثال؛ عمق قرارگیری برای رسیدن به تخلخل ۲۰ تا ۳۰ درصد در ژاپن به ترتیب ۱۷۰۰ و ۳۰۰۰ متر می‌باشد. (Hoshino,1981)

سیلت سنگ

شیل

کنگلومرا

برش

ماسه سنگ

ویژگی‌های مهندسی ماسه سنگ‌ها و کنگلومراها

اطلاع از وضعیت نفوذپذیری و هدایت آب در مناطقی که سنگ‌ها از نوع ماسه سنگ یا کنگلومرا می‌باشند، برای انجام فعالیت‌های مهندسی بسیار ضروری است. این مسئله با وضعیت شکستگی‌ها و تخلخل سنگ‌ها و نیز پیوستگی یا عدم پیوستگی شکستگی‌ها و فضاهای خالی آنها ارتباط دارد. در بهسازی این نوع زمین‌ها تزریق دوغاب بسیار حائز اهمیت است. در این حالت مخلوطی از سیمان پرتلند، ماسه و آب یا مواد شیمیایی دیگر به داخل توده سنگ تزریق می‌شود تا مانع عبور آب زیرزمینی شود. در سنگ‌های ریزدانه رسی یا سنگ‌هایی که بخشی از شبکه شکستگی‌های آنها توسط مواد دانه‌ریز پر شده‌اند، عمل تزریق دوغاب، مشکل است. در بررسی ساختگاه‌های ماسه سنگی، افزون بر شناخت وضعیت نفوذپذیری، لازم است که مرفولوژی یا شکل توده‌های ماسه سنگی و کنگلومرایی نیز مشخص شود.

همچنین باید درجه سیمانی شدن و پایداری و دوام‌پذیری سنگ ارزیابی شود. تعیین مقاومت ماسه سنگ‌ها اغلب در صحرا، که سنگ رطوبت طبیعی خود را دارد، انجام می‌گیرد. سنگ‌های با تراکم ضعیف، بیانگر درصد رطوبت بالا می‌باشند. سنگ‌های با تراکم مناسب و خوب، درصد رطوبت نسبتاً کمی دارند.

سختی موضعی در برخی از نواحی نیز ممکن است سبب اشتباه در مورد ویژگی‌های ماسه سنگ‌ها گردد. در منطقه‌های خشک با میزان بارندگی سالیانه کمتر از ۲۵ سانتیمتر، آب باران پس از نفوذ به داخل زمین، دوباره به سطح بر می‌گردد و در اثر تبخیر، قشری از نمک را بر جای می‌گذارد. رسوب نمک می‌تواند قشر یا پوسته سخت شده‌ای را ایجاد کند. این قشر نازک ممکن است سبب اشتباه درارزیابی سختی و دوام‌پذیری سنگ شود. اگر این قشر شکسته شود، بخش داخلی سنگ نمایان می‌گردد.

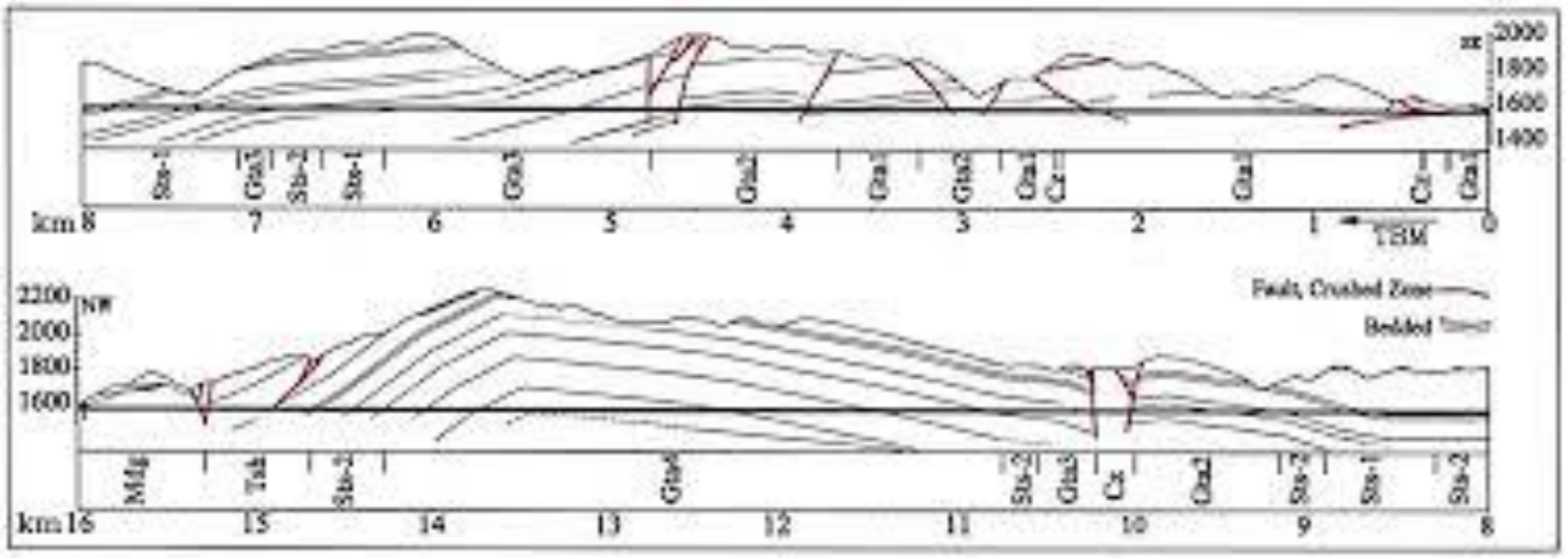
از دیگر اشتباهاتی که در مورد لایه‌بندی ماسه سنگ‌ها و کنگلومراها رخ می‌دهد ساخت **چینه‌بندی مورب**[۲] در آنها است. جهت و موقعیت فضایی این ساخت ممکن است سبب اشتباه در تشخیص سطح لایه‌بندی اصلی سنگ شود.

خطر لغزش در ماسه سنگ‌ها و کنگلومراها

گرچه پدیده لغزش در ماسه سنگ و کنگلومرا به‌طور معمول رخ نمی‌دهد، امّا در منطقه‌هائی که این سنگ‌ها روی سنگ‌های سست قرار دارند، احتمال وقوع لغزش وجود دارد. در ماسه سنگ‌های توده‌ای باید وضعیت درزه‌ها و آبراهه‌ها بررسی شود.

حفاری در ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها

در حفر ترانشه در توده‌های ماسه‌سنگی و کنگلومراها احتمال ریزش دیواره‌ها و فرو افتادن سنگ‌ها وجود دارد. همچنین در توده‌های سست، در اثر نفوذ آب، امکان فرسایش و ایجاد گالی‌های فرسایشی وجود دارد. در این حالت ممکن است، توده‌های فوقانی ریزش نموده و در نتیجه، ساختگاه تخریب شود. برای طراحی حفاری سطحی در ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها نیاز به اطلاعات کامل از وضعیت این سنگ‌ها می‌باشد. سخت شدگی و استحکام سنگ، وضعیت لایه‌بندی، درزه و شکستگی‌های موجود در سنگ، از عامل‌هایی هستند که در طرح و روش حفاری باید مدنظر قرارگیرند. برای ارزیابی اولیه در حفاری می‌توان از سرعت موج‌های طولی استفاده نمود.


NW
2200
2000
1800
1600
Fault, Crushed Zone
Bedded
km 16
15
14
13
12
11
10
9
8
km 8
7
6
5
4
3
2
1
0
TBM

در مورد حفر تونل و حفاری زیرزمینی، ترکیب کانی‌شناسی و وضعیت درزه و شکستگی‌های موجود در ماسه‌سنگ‌ها بسیار مهم است. در سنگ‌های سست یا با سیمان کم، حفاری راحت‌تر صورت می‌گیرد؛ امّا در این سنگ‌ها، ممکن است آبخانه‌های زیرزمینی و سفره‌های آب تحت فشار وجود داشته باشد و ممکن است سبب مشکل‌هایی در حین انجام کار شود. با شناسایی این حفره‌ها، مجاری و غارهای زیرزمینی می‌توان از بروز مشکلات در حین حفاری جلوگیری نمود. در زمین‌های سخت و یا سنگ‌های متراکم، مانند کوارتز آرنایت، حفاری به سختی صورت می‌گیرد و نیاز به دستگاه‌های پیشرفته و مجهز می‌باشد. در صورتی‌که حفاری به‌صورت غیر مکانیزه و دستی انجام شود، نیاز به حفر تعداد زیادی گمانه برای انفجار می‌باشد، که در این صورت هزینه حفاری افزایش می‌یابد.

پی‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی

ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها پی‌های مناسب برای سازه‌ها هستند. مقاومت و بارپذیری آنها در شرایط عادی بسیار خوب است. لازم به ذکر است که دوام پذیری این سنگ‌ها را باید براساس عمر طرح تعیین نمود. در صورتی‌که امکان تخریب، کاهش مقاومت و دوام پذیری در طول عمر طرح وجود داشته باشد، باید در حد امکان از هوازدگی آنها جلوگیری نمود.

کاربرد ماسه‌سنگ به عنوان منبع قرضه

استفاده از ماسه سنگ به‌عنوان مصالح ساختمانی و خردکردن آن به‌عنوان سنگدانه و پرکننده‌های سنگی، به خاطر سختی آن، محدود است.

از دیگر کاربردهای این سنگ‌ها استفاده ازآنها به‌عنوان سنگ ساختمانی و سنگ نما می‌باشد. در این موارد نیز باید مقاومت سائیدگی و دوام‌پذیری آنها، تحت تاثیر عامل‌های جوی و آلودگی‌های محیطی مورد توجه قرار گیرد.

ویژگی‌های مهندسی شیل‌ها و سیلتستون‌ها

شیل‌ها و سیلتستون‌ها در پی بیشتر ساختمان‌ها و سازه‌ها وجود دارند و مواجه شدن کارشناسان با آنها اجتناب‌ناپذیر است. اغلب سدها، تونل‌ها و ترانشه‌ها بر روی این نوع سنگ‌ها احداث شده‌اند. از نظر مهندسی این سنگ‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند.

گروه اول سنگ‌های شیلی هستند که بیش از دیگر سنگ‌ها شکل‌پذیر می‌باشند. این سنگ‌ها در مقابل فرسایش مقاومت بیشتری دارند، مگر اینکه به مدّت طولانی در معرض فرآیندهای جوی قرار گیرند. سیمان این سنگ‌ها سیلیسی،کربناته و یا سایر موادی است که در اثر عملکرد دیاژنز تشکیل می‌شوند. این سنگ‌ها را **شیل‌های سیمانی** شده نیز می‌نامند. گروه دوم سنگ‌های شیلی رسی هستند که رفتاری شبیه خاک دارند و **شیل‌های متراکم** نامیده می‌شوند. شیل‌های متراکم در معرض عوامل جوّی، نامقاوم هستند و تخریب می‌شوند. این سنگ‌ها نیز تراکم‌پذیر و شکل‌پذیر می‌باشند. شیل‌های متراکم در محیط مرطوب خردشده و مقاومت آنها کاهش می‌یابد. هنگامی که به حالت اشباع در آیند، دارای درصد رطوبت طبیعی به نسبت زیاد می‌باشند. افزون بر آن، رفتار این سنگ‌ها را براساس مقدار رطوبت طبیعی تخمین می‌زنند. این سنگ‌ها به‌طورکلی غیرقابل نفوذ هستند و آب نمی‌تواند از آنها عبورکند. اگر آب در این سنگ‌ها وجود داشته باشد، دلیل بر وجود شبکه‌ای از شکستگی‌ها و شکاف‌ها است که امکان جریان یافتن آب را فراهم نموده‌اند. شیل‌ها و سیلتستون‌ها به‌راحتی شکسته و خرد می‌شوند. این ویژگی مشکل‌هایی را در حفاری به وجود می‌آورد.

خطر لغزش در شیل‌ها و سیلتستون‌ها

رانش زمین به‌طور معمول در این‌گونه سنگ‌ها رخ می‌دهد و مشکل‌های جدی را برای فعالیت‌های عمرانی ایجاد می‌کند. جلوگیری از لغزش‌های بزرگ ممکن است هزینه‌های زیادی را در بر داشته باشد. از این‌رو، در صورت امکان بهتر است که محل ساختگاه عوض شود. نوع رانش و لغزش با توجه به نوع سنگ متفاوت است. در پای دامنه‌های شیلی و سیلتستونی، واریزه‌هایی از این مواد وجود دارند.

حفاری و احداث سازه روی شیل‌ها و سیلتستون‌ها

برداشت‌های سطحی و حفر ترانشه در شیل‌ها ممکن است منجر به لغزش بلوک‌های سنگی گردد. این موضوع در مواردی‌که شیب لایه‌ها در جهت شیب ترانشه باشد، اهمیت بیشتری دارد. زیرا ممکن است یک بلوک بزرگی از سنگ که در سطح لایه‌بندی یا درزه‌ها و یا شکستگی‌های جدید ناشی از انفجار به وجود آمده است، لغزش کند.

این سنگ‌ها برای ابنیه‌های فنی، مانند سد و تونل، می‌توانند مشکل‌های زیادی را ببارآورند. به عنوان مثال؛ تورم شیل‌ها ممکن است سبب از بین بردن نگهدارنده‌ها در تونل‌ها یا ریزش آنها شود. همچنین نباید روی شیل‌ها سد احداث شود زیرا ممکن است سبب بروز مشکل‌ها و مسئله‌های گوناگونی شود.

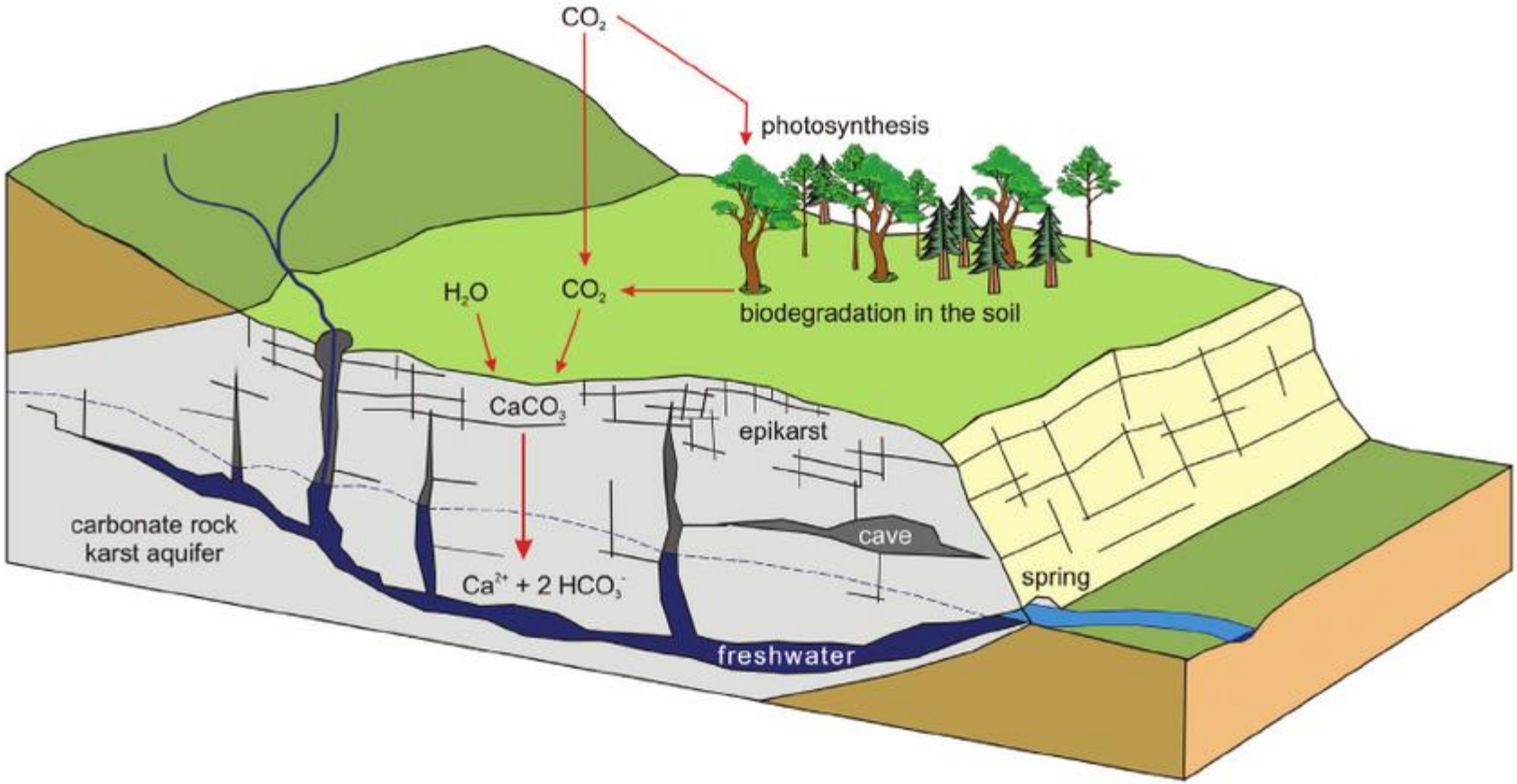
اگر از شیل‌ها به عنوان مصالح و منابع قرضه در ساخت بندهای خاکی استفاده شود، با توجه به امکان خرد شدگی این‌گونه سنگ‌ها، امکان نشست مداوم سازه وجود دارد. همچنین با توجه به کاهش مقاومت برشی در شیل‌های حاوی رس‌های منبسط شونده، احتمال وقوع لغزش در دامنه‌های خاکی می‌باشد. در منطقه‌هائی که تناوبی از ماسه‌سنگ و شیل وجود دارد، رفتار متفاوت این دو نوع سنگ و رفتار ترکیبی آنها به مراتب بدتر از رفتار هر کدام به تنهایی در روی ساختگاه می‌باشد. رفتار تورم‌پذیری شیل و نفوذپذیری و هدایت آب در ماسه‌سنگ‌ها نمونه‌ای از این مشکل‌ها است.

در صورتی که پی ساختمان‌ها و ابنیه‌های فنی روی این نوع سنگ‌ها گذارده شود، ممکن است نشست ناهمگن و ناهمسان رخ دهد. نشست ناهمگن به خاطر تغییر شکل متفاوت این سنگ‌ها می‌باشد. این موضوع در مورد سازه‌هایی مانند سدها و تونل‌ها و نیروگاه‌های هسته‌ای اهمیت پیدا می‌کند. همچنین ساخت بنا روی سنگ‌های تخریبی ریزدانه ممکن است سبب تورم این سنگ‌ها شود و در نتیجه سازه تخریب گردد.

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های آهکی و تبخیری

از بارزترین ویژگی‌های سنگ‌های آهکی، کارستی شدن آنها است، از راه مجاری کارست مقدار زیادی آب می‌تواند در زمین نفوذ کند. در نتیجه، اغلب با افزایش مقدار آب در منطقه‌های مستعد لغزش، زمین لغزش رخ می‌دهد.

وضعیت رسوب‌ها و سنگ‌های تبخیری، مانند گچ و نمک و خطر ناشی از آنها نیز باید مشخص شود. این کار با استفاده از حفاری و تهیه لاگ چاه‌ها می‌تواند انجام شود. مشکل عمده در مورد گچ، پیشرفت عمق انیدریتی شدن است. با توجه به این‌که انیدریت امکان تورم‌پذیری زیاد دارد، تشخیص و شناسایی منطقه‌هایی که احتمال وجود انیدریت در آنها می‌باشد، ضروری است.


CO_2
photosynthesis
H_2O
CO_2
biodegradation in the soil
$CaCO_3$
epikarst
carbonate rock
karst aquifer
cave
$Ca^{2+} + 2\ HCO_3^-$
spring
freshwater

در حفاری‌های سطحی وضعیت ریزش‌ها و لغزش‌ها و نیز نشست‌های ناشی از وجود کارست باید مورد توجه قرارگیرد. وجود رس می‌تواند مشکل‌های جدی را در مورد پایداری سقف و فضاهای زیرزمینی ایجاد نماید. از دیگر مشکل‌های این سنگ‌ها مسئله هدایت آب در آنها است. هدایت مقدار زیادی از آب‌های سطحی و زیرزمینی به سمت فضاهای حفاری شده، می‌توانند مشکل ساز باشد، در این صورت با پمپاژ باید آب را تخلیه نمود.

مشکل دیگر در مورد این سنگ‌ها احداث سازه‌های بزرگ مهندسی روی آنها است. اولین خطر جدی، وجود غارها و فضاهای زیرزمینی در زیر پی سازه‌هایی نظیر سدها یا ساختمان‌های بزرگ است. ممکن است پس از ساخت سازه، سقف غار فرور ریخته و نشست و فروریزش صورت گیرد. در این مناطق باید قبل از ساخت به منظور شناسایی حفره‌های زیرزمینی، حفاری صورت گیرد. در صورتی‌که مته حفاری فاصله‌ای را به‌صورت سقوط آزاد طی کند و یا این‌که به ناحیه‌های سست و ناپایدار برخورد نماید، بیانگر وجود فضای خالی زیرزمینی است.

کاربرد سنگ‌های کربناته و تبخیری به عنوان منبع قرضه

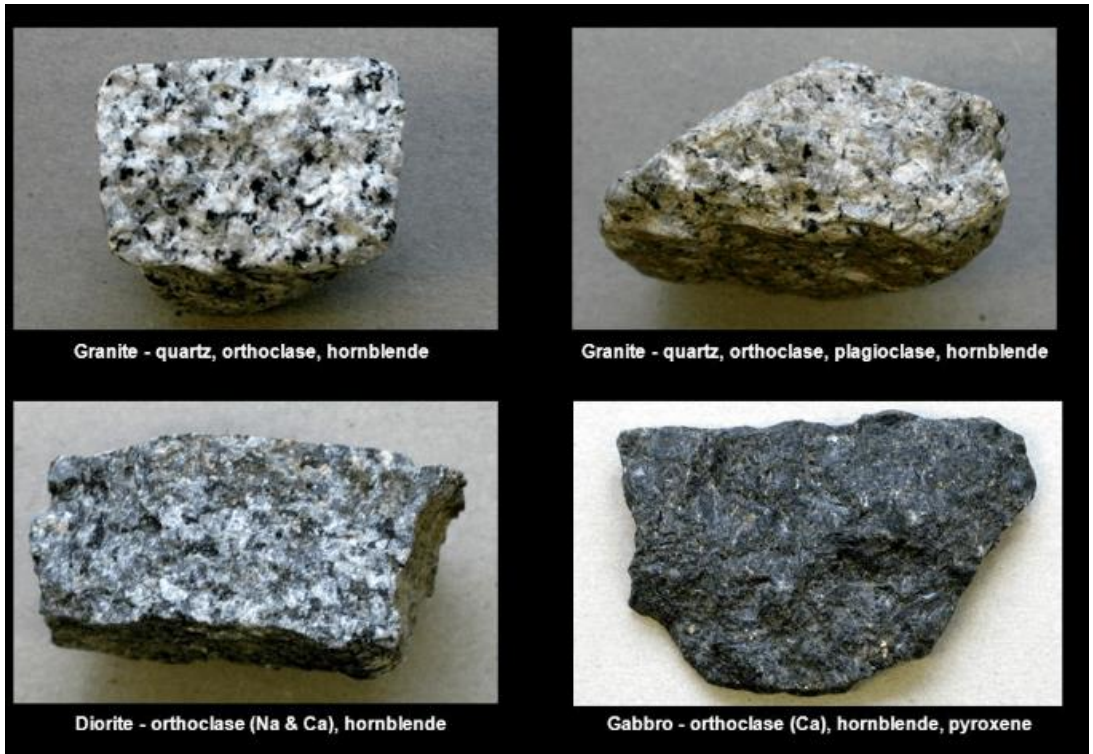
سنگ آهک و دولومیت یکی از مواد عمده و اصلی سنگدانه‌ها هستند. همچنین سنگ آهک در تهیه سیمان مصرف دارد. وجود بیش از ۱۵٪ مواد رسی در ترکیب سنگدانه، کیفیت سنگدانه را کاهش می‌دهد.

همچنین چرت که به‌طور معمول در سنگ‌های آهکی و دولومیتی دیده می‌شود، در صورت وجود، با قلیائی‌های موجود در سیمان ترکیب می‌شود و سیلیکات سدیم را می‌سازد که با انبساط خود و ایجاد ترک‌ها، سبب تخریب بتن می‌گردد. وجود ژیپس در سنگدانه‌های مورد مصرف در بتن مضر می‌باشد. زیرا عمل گیرش و سخت شدن بتن را به تعویق می‌اندازد. آب‌های زیرزمینی که از سنگ-های تبخیری می‌گذرند، به‌طور معمول اشباع از سولفات‌ها می‌شوند. این نوع آب‌ها نباید در ساخت بتن مصرف شوند و در صورت مصرف خطرهای جدی را برای بتن فراهم می‌نمایند. سنگ‌های دولومیتی برای ساخت دیواره لوله‌های فاضلاب پیشنهاد می‌شوند. زیرا این سنگ‌ها، خاصیت ضد خورندگی دارند و سیستم فاضلاب را از خورندگی محفوظ می‌دارند.

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های آذرین

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های آذرین درونی

معروف‌ترین این سنگ‌ها گرانیت، دیوریت، گابرو و پریدوتیت می‌باشند. از گرانیت به عنوان یک سنگ مقاوم و خوب در فعالیت‌های مهندسی نام برده می‌شود، امّا اگر این سنگ دچار هوازدگی شود، ماهیت آن تغییر می‌کند و تا حد زیادی مقاومت و پایداری خود را از دست می‌دهد. از این‌رو، بررسی تأثیر هوازدگی بر روی این سنگ‌ها ضروری است.



هوازدگی سنگ‌های آذرین درونی

از هوازدگی سنگ‌های گرانیتی، مخلوطی از رس، سیلت و ماسه تولید می‌شود. این مواد، منبع قرضه خوبی برای خاکریزها هستند. چون اندازه مواد در منطقه هوازده بسیار متغیر است، لذا باید ویژگی و نوع مواد به دست آمده از هوازدگی را دانست. تمام سنگ‌ها تحت تأثیر هوازدگی فیزیکی ناشی از گرم و سرد شدن متوالی، تر و خشک شدن و نیز تأثیر گیاهان و جانوران و غیره قرار می‌گیرند. در سنگ‌های آذرین درونی، درزه‌ها و شکستگی‌ها، در اثر از بین رفتن سنگ‌های فوقانی ناشی از فرسایش گسترش می‌یابند و در نتیجه امکان ورود و پراکندگی آب باران به درون توده سنگ، که به خاطر وجود CO_2 اسیدی می‌باشد، فراهم می‌گردد. آب اسیدی با تأثیرگذاری بر کانی‌های سیلیکاته و جایگزینی Na^+، K^+، Ca^{2+} با H^+ سبب می‌شود که ساختار مولکولی سیلیکات‌ها در هم شکسته شده و کانی‌های ثانوی به وجود آیند. به‌عنوان‌مثال؛ فلدسپات نوع ارتوز به رس نوع کائولینیت، سیلیس و کربنات پتاسیم محلول تبدیل می‌شود. در اثر هوازدگی بیوتیت، کائولینیت و لیمونیت همراه با سیلیکات و بی‌کربنات پتاسیم و منیزیم محلول به وجود می‌آید. فرآیند هوازدگی در محیط غیرزهکشی ممکن است سبب ترکیب یون‌های Mg و Fe و یا هر دو با کانی‌های رسی باقیمانده شوند و به‌جای کائولینیت، کلریت یا مونت موریونیت به دست آید.

در واقع کانی‌هایی که شرایط قرارگیری آنها در عمق کمتر است و ماده مذاب دمای پائینتری دارد، نسبت به شرایط جوی پایدارترند. سنگ‌های بازیک و فوق بازیک که از کانی‌های با دمای بالا تشکیل شده‌اند، در مقایسه با سنگ‌های اسیدی مانند گرانیت‌ها بسیار سریعتر هوازده می‌شوند. زیرا این سنگ‌ها غنی از کانی‌های آهن و منیزیم هستند و از تجزیه این کانی‌ها، کانی‌های رسی از نوع مونت موریونیت تولید می‌شود. در حالی‌که از سنگ‌های گرانیتی، کائولینیت، که از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی مشکل‌های کمتری را سبب می‌شود، به وجود می‌آید.

در اثر هوازدگی میزان تخلخل و فضای خالی سنگ افزایش می‌یابد. در این صورت میزان جذب آب آن نیز افزایش خواهد یافت. نتیجه این عمل سست شدن کانی‌های آن، ایجاد شکاف بین بلورها و نرم شدن آنها و سرانجام خرد شدن سنگ با فشار دست می‌باشد.

اولین علامت هوازدگی در سنگ‌های گرانیتی تغییر رنگ سنگ است. در این صورت حاشیه بلورهای بیوتیت تجزیه می‌شود و به رنگ قهوه‌ای در می‌آید. در خاک‌های برجای حاصل از هوازدگی گرانیت، کوارتز و موسکویت باقی می‌مانند و از محیط خارج نمی‌شوند. در این خاک‌ها، بلورهای کوارتز ریز و گرد می‌باشند.

خطر لغزش در سنگ‌های آذرین درونی

در سنگ‌های سخت و سالم گرانیتی، در صورت جدا شدن قطعه‌های بزرگ در اثر زلزله و یخبندان، امکان خطر لغزش و ریزش وجود دارد. در منطقه‌هائی که فرآیند هوازدگی سریع است، جدا شدن قطعه‌ها سریع‌تر و امکان خطر لغزش و ریزش بیشتر است. برای جلوگیری از خطر لغزش و ریزش، روش‌های گوناگونی وجود دارد. از جمله این روش‌ها انفجار تخته سنگ‌های ناپایدار و فرو ریختن آنها، ساختمان‌های حایل و نگه دارنده برای انبار شدن واریزه‌ها و افزایش مقاومت سنگ‌ها با تعبیه میخ‌سنگ‌ها، زهکش و شاتکریت می‌باشد. البته بهتر است از ساخت بناها و ساختمان‌ها در دامنه‌های سنگ‌های گرانیتی پرهیز شود.

احداث سد در سنگ‌های آذرین درونی

سدهای خاکی و سنگی را می‌توان روی منطقه‌های هوازده بنا نمود. این عمل بستگی به تخلخل، نفوذپذیری و به ویژه فرسایش پذیری مواد هوازده دارد. سدهای بتنی باید روی سنگ‌های سخت احداث شوند. چنانچه سنگ کف دارای درزه‌های توسعه یافته و بزرگ باشد و یا این درزه‌ها از مواد ثانوی فرسایش‌پذیر پر شده باشد، باید درزه‌ها تمیز شده و با بتن پر شوند. در غیر این صورت امکان نفوذ آب از شکاف‌ها وجود دارد. اگر امکان تزریق سیمان نباشد، باید تا رسیدن به سنگ مناسب و غیر هوازده حفاری صورت گیرد.

حفاری زیرزمینی در سنگ‌های آذرین درونی

مشکلات ناشی از وجود هوازدگی و درزه‌ها در سنگ‌های آذرین درونی می‌تواند تا عمق ۶۰ متری سطح زمین وجود داشته باشد. سنگ‌های آذرین عمیق‌تر برای فعالیت‌های زیرزمینی مناسب می‌باشند و می‌توان کیلومترها تونل در سنگ‌های گرانیتی عمیق، بدون کاربرد تکیه‌گاه، حفر نمود. ولی در مناطقی که درزه‌ها خیلی نزدیک به هم بوده یا ناحیه‌های گسل خورده و یا منطقه‌هایی که تحت تأثیر دگرسانی هیدروترمال قرارگرفته‌اند، باید از تکیه‌گاه استفاده نمود. در سنگ‌هایی که تحت تنش زیاد هستند، ممکن است شکاف‌هایی ایجاد شود و تراشه‌های سنگی به وجود آید. ایجاد تراشه، یا تخته‌های سنگی در دیواره تونل‌ها به خاطر ایجاد شکاف ناشی از آزاد شدن تنش، موازی با دیواره‌ها می‌باشد. حفاری در این‌گونه سنگ‌ها مشکل خاصی ندارد. گاهی ممکن است، به خاطر تنش‌ها، سنگ‌های دیواره به حالت انفجاری لاشه لاشه شوند. در این حالت با روش مناسب پایدارسازی می‌توان کار حفاری را ادامه داد.

دانشگاه سمنان

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های آذرین بیرونی

در اثر خروج مواد مذاب از دهانه آتشفشان و سرد شدن آن در سطح زمین، سنگ‌های آذرین بیرونی تشکیل می‌شوند. مهمترین این سنگ‌ها ریولیت، تراکیت، آندزیت و بازالت می‌باشند. ممکن است مواد مذاب از دهانه آتشفشان به‌صورت مواد پیروکلاستیک خارج شود و سنگ‌های آذرآواری مانند توف، آگلومرا، ایگنیمبریت و غیره را به‌وجود آورد.

مسائل و مشکلات مهندسی ناشی از فعالیت آتشفشان‌ها و سنگ‌های آتشفشانی

به علت خطرهای ناشی از فوران آتشفشان‌ها، زمین شناسان و کارشناس‌ها باید تدابیری را اتخاذ نمایند تا ساختمان‌ها از این پدیده مصون بمانند. یکی از مشکل‌ها، ریزش خاکسترهای آتشفشانی در منطقه می‌باشد. ریزش خاکستر ممکن است سبب آلودگی سفره‌های آب، تخریب و انهدام ساختمان‌ها و مسدود شدن مسیر آب‌ها شود.

بررسی ساختگاه در سنگ‌های آذرین بیرونی

سنگ‌های آذرین بیرونی نیز ممکن است در انتخاب ساختگاه‌ها مشکل‌هایی را به وجود آورند. در انتخاب ساختگاه باید نوع سنگ‌ها و منطقه‌هایی‌که مقاومت پائین و نفوذپذیری بالا دارند، بررسی شود. سنگ‌های حاوی درزه‌های ستونی، نفوذپذیرترین سنگ‌ها هستند. مقاومت برشی پائین و تراکم‌پذیری زیاد بِرِش‌های پیروکلاستیک با سیمان ضعیف و سست و نیز خاکسترهای آتشفشانی در طراحی پی‌های ساختمانی باید مد نظر قرار گیرد. قابلیت تورم‌پذیری مواد هوازده می‌تواند برای پی ساختمان‌های سبک ایجاد خطر نماید.

حفاری و پایداری شیب‌ها در سنگ‌های آتشفشانی

سنگ‌های آتشفشانی به ظاهر سنگ‌های سختی می‌باشند و به نظر می‌رسد که به عنوان سنگ کف دارای پایداری لازم باشند. آب‌های سطحی ممکن است از طریق درزه‌ها در آندزیت‌ها و بازالت‌ها نفوذ کنند و در آنجا ذخیره شوند. ذخیره آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های آذرین سبب نرمی و سست شدن سنگ‌ها می‌شود و فشار آب موجود در درزه‌ها سبب کاهش مقاومت در مقابل لغزش، در سطح درزه‌ها، می‌گردد. جدا شدن درزه‌های ستونی و لغزش در طول سطح‌های سست، سبب می‌شود که سنگ‌ها به صورت بلوک‌هایی درآیند. همچنین باز شدگی درزه‌ها، سبب جدا شدن و متلاشی شدن بلوک‌های بازالتی و فرو ریختن آنها می‌شوند. اغلب بازشدگی درزه‌های ستونی در دیواره دره‌ها سبب واژگونی سنگ‌ها می‌گردد. در صورتی‌که سنگ‌های بازالتی دارای میان لایه‌های توفی سست باشند، سبب بروز زمین لغزش می‌شوند.

حفاری زیرزمینی در سنگ‌های آذرین بیرونی

حفاری در سنگ‌های آتشفشانی درزه‌دار اغلب با امکان برخورد به جریان آب مواجه است. زیرا آب‌های زیرزمینی می‌توانند آزادانه از داخل شکستگی‌های سنگ عبور کنند. امّا درمناطقی که میان لایه‌هایی از توف بین سنگ‌های آتشفشانی وجود داشته باشد، جریان آب‌های زیرزمینی محدود می‌شود. در منطقه‌های چین خورده ممکن است سفره‌های آب وجود داشته باشند که در موقع حفاری به صورت چشمه به بیرون راه یابند.

در مناطق آتشفشانی عصر حاضر، تونلزنی مشکل و خطرناک می‌باشد، زیرا در این‌گونه مناطق امکان جریان آب داغ و سمی و نیز متصاعد شدن گازهای سمی وجود دارد. همچنین ممکن است به دلیل سخت نشدن لایه‌های پیروکلاستیک، مانند خاکسترهای آتشفشانی، این مواد همراه با جریان آب به داخل تونل راه یابند.

احداث سد و کانال در سنگ‌های آتشفشانی

طراحان سد در مناطقی که سنگ‌های آتشفشانی گسترش دارند، ممکن است با مشکل مواجه شوند. وجود درزه‌های ستونی باز می‌توانند سبب فرار آب از زیر سد و یا اطراف آن شود که در این حالت برای پر کردن درزه‌های باز تزریق سیمان ضروری است. جریان آب در این سنگ‌ها ممکن است سبب تشدید پدیده فرسایش و ایجاد حفره‌ها در سنگ‌ها شود. از این‌رو، کارشناسان باید از ساخت خاکریزها در این‌گونه منطقه‌ها پرهیز نمایند. همچنین در صورت انتخاب این منطقه‌ها برای حفاری تونل یا احداث سد، باید به تراکم‌پذیری زیاد و مقاومت بُرشی پائین سنگ‌های آذرآواری بین لایه‌ای موجود در این سنگ‌ها نیز توجه داشت.

دانشگاه سمنان

کاربرد سنگ‌های آتشفشانی به عنوان منبع قرضه

سنگ‌های آتشفشانی، به عنوان مصالح مهندسی کاربرد نسبتاً قابل ملاحظه‌ای دارند. به‌عنوان مثال؛ از مصرف سنگدانه‌ها در بتن و آسفالت، پرکننده‌های سنگی برای سدها و آب‌بندها، سنگدانه‌های زیر ریل راه‌آهن، بستر بزرگراه‌ها می‌توان نام برد. این سنگ‌ها به جز انواع حفره‌دار و یا سنگ‌هایی که حاوی میان لایه‌هایی از سنگ‌های آذرآواری هستند، رفتار بسیار خوبی در کاربردهای مهندسی دارند.

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های دگرگونی

فرآیند هوازدگی در سنگ‌های دگرگونی

نحوه هوازدگی در سنگ‌های دگرگونی، به دلیل تنوع در ترکیب شیمیایی و بافت این سنگ‌ها، بسیار متفاوت و متغیر می‌باشد. در اثر هوازدگی سنگ‌هایی مانند گنیس، گرانولیت و دیگر سنگ‌های دگرگونی کوارتزدار، خاک ماسه‌دار حاوی قطعه‌های سنگی تشکیل می‌شود. از سنگ‌هایی مانند اسلیت و فیلیت در نتیجه هوازدگی، خاک‌های سیلتی میکادار به‌وجود می‌آید. مرمر ناخالص در اثر هوازدگی ممکن است به رس قرمز، حاوی قطعه‌های ریز و درشت مرمر، تبدیل شود.

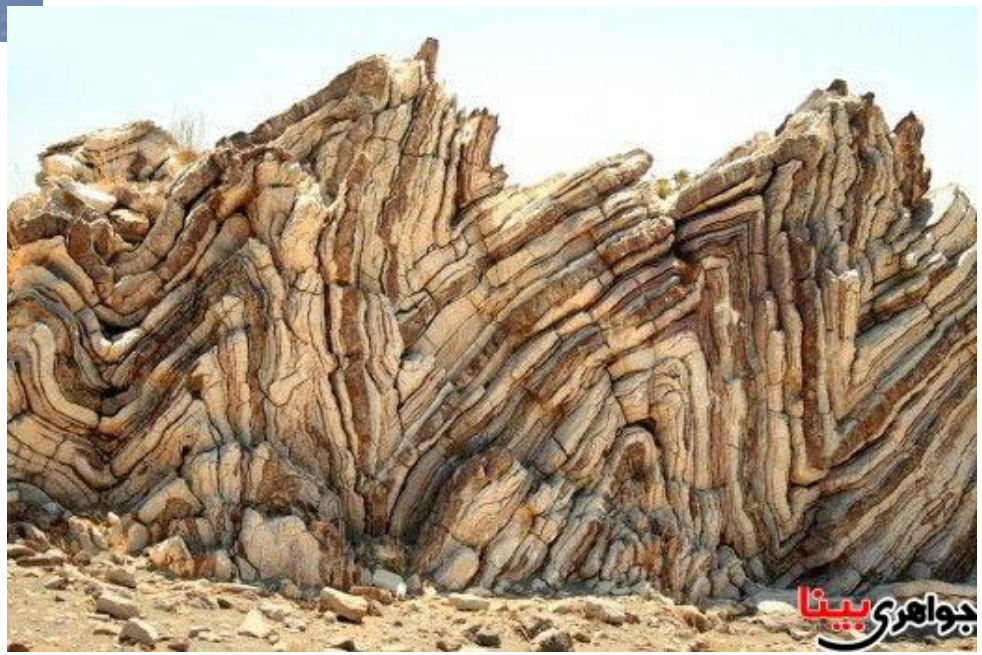
وجود دسته درزه‌های نسبتاً زیاد در سنگ‌های دگرگونی ممکن است در کارهای مهندسی، به ویژه حفاری‌های زیرزمینی و خاکبرداری‌ها مشکل‌هایی را سبب شود. این درزه‌ها ممکن است موازی با جهت اصلی لایه‌بندی در توده سنگ و یا موازی با جهت تورق سنگ باشد. وجود این درزه‌ها و سطوح تورق سبب تشکیل بلوک‌های ناپایدار در سنگ می‌شوند و در موقع حفاری امکان ریزش آنها وجود دارد. علاوه برآن، در سنگ‌های دگرگونی متورق، اغلب زون‌های بُرِشی موازی با سطوح تورق وجود دارند که این موضوع سبب ناپایداری توده سنگ می‌گردد.

دانشگاه سمنان

فعالیت‌های مهندسی در سنگ‌های دگرگونی

در سنگ‌های دگرگونی حاوی شیستوزیته و سطوح تورق، در منطقه‌های مرتفع و کوهستانی ممکن است پدیده‌هایی مانند خزش، واژگونی و لغزش رخ دهد. در این‌گونه مناطق، اگرسطوح سست سنگ‌ها هم جهت با شیب دامنه باشد، ممکن است پدیده خزش رخ دهد و در اثر حرکت مداوم خزش، ممکن است لغزش یا واژگونی توده‌های سنگ نیز به وقوع پیوندد. در شیست‌ها امکان وقوع لغزش در سطوح شیستوزیته وجود دارد. در سطوح شیستوزیته کانی‌هایی مانند میکاها، تالک و گرافیت امکان لغزش را در شرایطی که شیب شیستوزیته حتی حدود ۱۰ درجه باشد، فراهم می‌کنند.

در حفاری‌های سطحی، وجود درزه، شیستوزیته و سطوح تورّق مشکل‌هایی را سبب می‌شود. پایداری دیواره‌ها در حفاری‌های سطحی یا معدن‌های روباز تابع شیب دامنه و شیستوزیته می‌باشد.


جواهری بینا

پی در سنگ‌های دگرگونی

در منطقه‌هایی که پی باید در عمق قرار گیرد، اگر سنگ سخت و محکم باشد، حفاری برای احداث ستون‌ها و شمع‌ها و غیره به سختی انجام می‌گیرد. در صورتی‌که عمق هوازدگی زیاد باشد، برای احداث پی سازه‌های بزرگ و نیز احداث شمع‌ها و ستون‌ها، بهتر است حفاری تا رسیدن به سنگ سالم ادامه یابد. در هنگام حفاری در ساپرولیت غنی ازکوارتز، باید از خشک شدن سنگ‌ها جلوگیری نمود. در غیر این صورت سنگ سست خواهد شد. از این‌رو، در منطقه‌های گرم و خشک، بعد از حفاری، تا زمان بتن‌ریزی، باید این سنگ‌ها را با پوششی از سیمان در برابر هوا محافظت نمود.

دانشگاه سمنان

حفاری در سنگ‌های دگرگونی

معمولا حفاری‌های عمیق، مانند حفر تونل‌ها و فضاهای بزرگ زیرزمینی، برای هدف‌های متفاوت در سنگ‌های دگرگونی، به راحتی امکان‌پذیر است. امّا در صورتی که این سنگ‌ها دارای تورّق و شیستوزیته باشند، مسئله پایداری این سازه‌ها مهم خواهد بود. در سنگ‌های سخت و متراکم مانند کوارتزیت‌ها حفاری مشکل است و هزینه زیادی را در بردارد و چه بسا در این سنگ‌ها حفاری با TBM امکان‌پذیر نباشد. همچنین وجود میان لایه‌های سخت در سنگ‌های شیستی ادامه کار حفاری را دچار مشکل می‌کند و در برنامه‌ریزی کار حفاری از نظر وسایل و ماشین آلات و نیز زمان و روش حفاری اختلال ایجاد می‌نماید.

کاربرد سنگ‌های دگرگونی به عنوان منابع قرضه

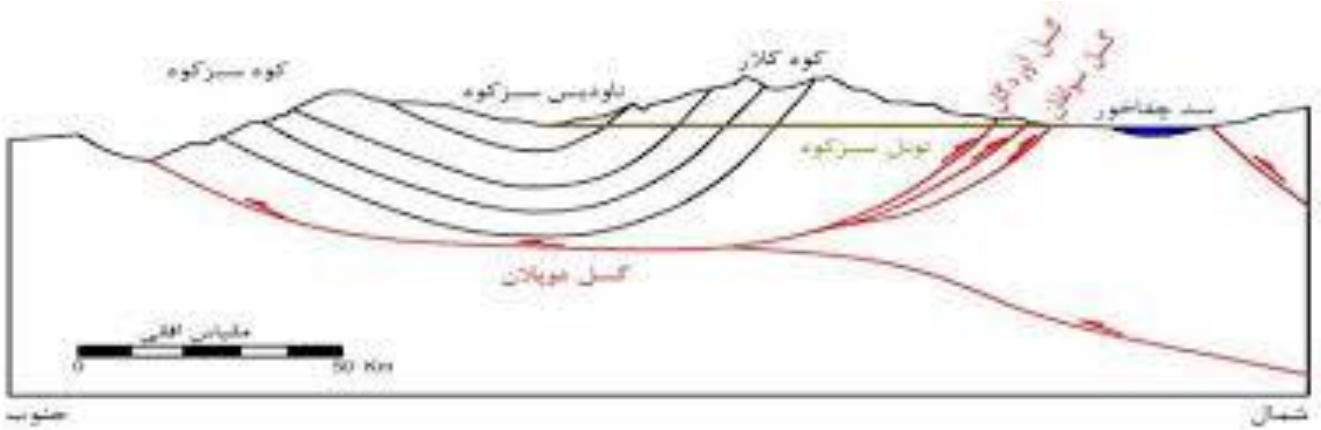
سنگ‌های دگرگونی متورّق به عنوان سنگدانه مناسب نیستند. زیرا این سنگ‌ها از نظر سختی، سستی و خردشدگی متفاوت عمل می‌کنند. علّت اصلی این تفاوت به خاطرکنترل شکل بلوک‌های سنگی به وسیله شیستوزینه می‌باشد. کاربرد این سنگ‌ها به عنوان پرکننده چندان مناسب نیست.

ویژگی‌های مهندسی توده‌های سنگی چین خورده و گسل‌دار

منطقه‌های چین خورده و گسل‌خورده، مشکل‌های زیادی را در پایداری پی‌ها و شیب‌ها سبب می‌شوند. سطح لغزشی لایه‌ها و سطح گسل‌ها، مقاومت بُرشی سنگ‌ها را کاهش می‌دهند.

شناسایی منطقه‌های گسل‌خورده به ویژه در ساختگاه سدها بسیار مهم است.

جابجایی گسل‌ها ممکن است سبب لغزش و حرکت سنگ‌ها گردد.



هوازدگی و فرآیندهای تشکیل خاک

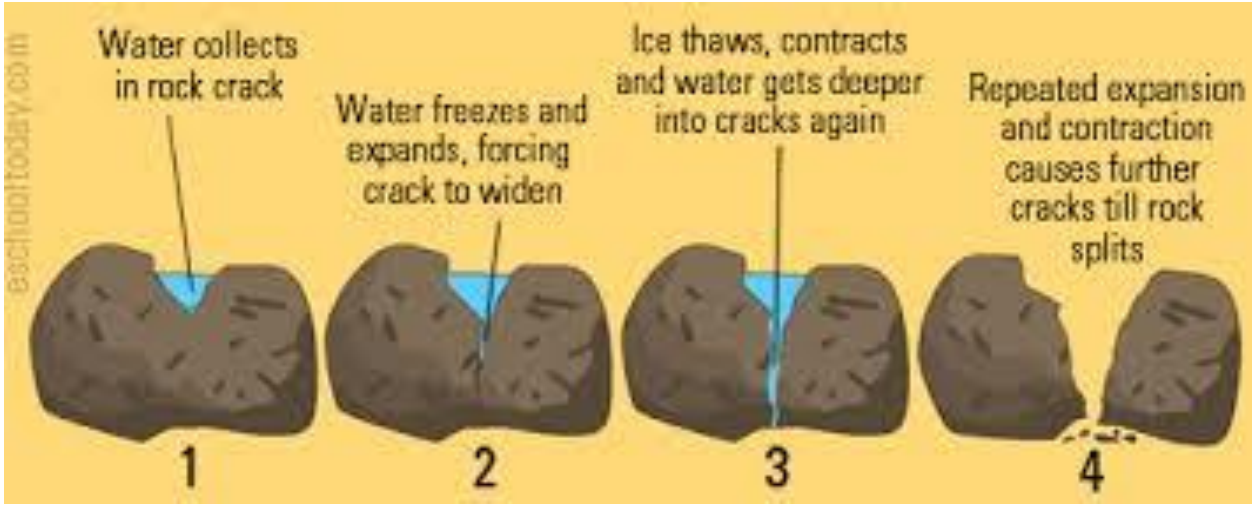
شرایط تشکیل بیشتر سنگ‌های پوسته زمین، به‌ویژه سنگ‌های آذرین و دگرگونی، با شرایطی که در سطح زمین وجود دارد متفاوت بوده و در نتیجه قرارگرفتن سنگ‌ها در شرایط سطحی زمین و تأثیر عوامل طبیعی محیطی مثل تغییر درجه حرارت، رطوبت و فعالیت موجودات زنده تجزیه و تخریب می‌گردند و در نهایت به خردشدن و تغییر شکل آنها می‌انجامد. این فرآیندها در دراز مدّت و به آهستگی صورت می‌گیرند. فرآیند تدریجی که موجب خردشدن و تجزیه شیمیایی سنگ‌ها می‌گردد، **هوازدگی** نامیده می‌شود که با توجه به نوع و نحوه عملکرد طبقه‌بندی می‌شوند.

هوازدگی[1] و انواع آن Weathering

هوازدگی فیزیکی[2] یا مکانیکی	هوازدگی شیمیایی
پدیده یخ‌زدگی	آبگیری
حذف بارهای وارده	هیدرولیز
رشد بلورهای نمک	انحلال
انقباض و انبساط متوالی	اکسایش
پوسته پوسته شدن	

- پدیده یخ‌زدگی

با کاهش دما و رسیدن آن به صفر درجه سانتیگراد آب یخ می‌زند و با یخ زدن آب ۹٪ افزایش حجم به‌وجود می‌آید. این افزایش حجم سبب ایجاد فشار یا به عبارتی تولید نیروهای فشاری به نسبت زیاد می‌گردد. در ناحیه‌های کوهستانی و مرتفع با آب و هوای سرد، در نتیجه یخ زدن آب موجود در شکاف سنگ‌ها، سنگ‌ها شکسته و خرد می‌شوند.

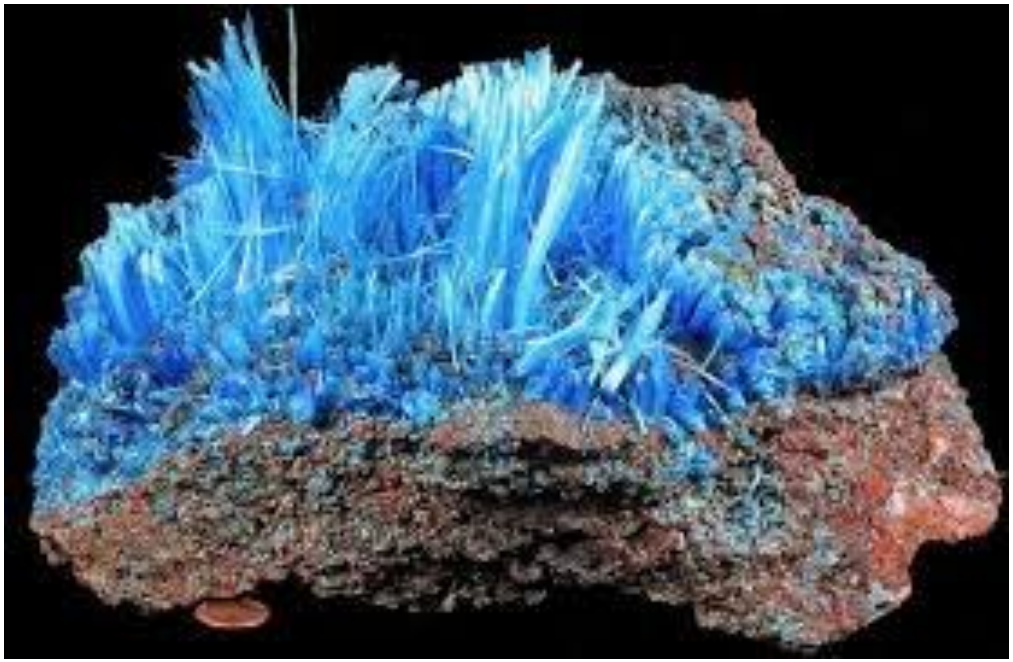


– حذف بارهای وارده

در اثر کاهش بارهای وارد بر سنگ‌ها، که ناشی از پدیده فرسایش می‌باشد، سنگ‌های تحت فشار منبسط می‌شوند. در طول زمان زمین شناسی در اثر آزاد شدن تنش‌های لیتوستاتیکی، تغییر شکل نسبی ناشی از آن به مرور ظاهر می‌شود و بنابراین امکان گسترش درزه‌های بزرگ و نیز پدیده ورقه ورقه شدن به‌وجود می‌آید. این درزه‌ها که به موازات شیب سطح زمین تشکیل می‌شوند، سبب پوسته پوسته شدن سنگ‌ها در سطح زمین می‌گردند. به‌عنوان‌مثال؛ یک توده گرانیتی در اثر هوازدگی می‌تواند به راحتی مانند لایه‌های پیاز از هم باز و جدا شود.

- رشد بلورهای نمک

مواد محلول در آب ممکن است، در داخل ترک‌ها و شکاف‌ها، سبب تبلور نمک‌ها شود و تنش‌هایی در سنگ‌ها ایجاد کند. این عمل می‌تواند سنگ‌ها را به‌صورت فیزیکی قطعه قطعه نماید. در رسوب‌های تبخیری مانند نمک‌ها، جذب و یا از دست دادن آب نیز می‌تواند سبب تخریب سنگ‌ها شود.



- انقباض و انبساط متوالی

از دیگر عامل های موثر در فرآیند هوازدگی فیزیکی، تغییر دما است. در اثر افزایش دما، سنگ‌ها منبسط می‌گردند. در نواحی بیابانی این تغییر دما تا حدود ۶۰ درجه سانتیگراد نیز می‌رسد. لذا تغییر دما در شب و روز می‌تواند ایجاد شکستگی و خرد شدگی نماید. یک سنگ ممکن است حاوی کانی‌های روشن و تیره باشد. کانی‌های تیره سریعتر از کانی‌های روشن گرما را جذب می‌نمایند و در نتیجه، بیشتر از کانی‌های روشن منبسط می‌شوند. این پدیده در حضور آب بسیار سریعتر و فعّالتر اثر می‌کند.

- **پوسته پوسته شدن**[1]

فرآیندی است که سطوح خمیده سنگ از توده سنگی بزرگ جدا می‌شود. البته مکانیسم این فرآیند مشخص نیست ولی احتمالاً مربوط به باربرداری از روی زمین است. همچنین نقش امواج دریا، نیروهای ناشی از رشد ریشه درخت‌ها و گیاه‌ها را نباید در بروز پدیده هوازدگی فیزیکی نادیده گرفت.

هوازدگی شیمیایی

این نوع هوازدگی عبارت از تجزیه سنگ‌ها با استفاده از عامل‌های شیمیایی است. مهمترین عامل در این نوع هوازدگی، آبی است که حاوی اسیدکربنیک است.

تغییر ماهیت کلی سنگ در اثر هوازدگی

- **آبگیری**[1]: آبگیری، فرآیندی است که در اثر آن یک کانی با آب ترکیب می‌شود و در نتیجه یک کانی آبدار پدید می‌آید. به‌عنوان‌مثال؛ فرآیند آبگیری آنیدریت و تبدیل آن به ژیپس به‌صورت زیر است:

$$CaSO_4 . 2H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

- **هیدرولیز**[۲]: واکنش یک کانی با آب را، که طی آن یک یا چند کانی جدید پدید می‌آید، هیدرولیز می‌نامند. به‌طورمثال؛ هوازدگی فلدسپات به وسیله آب و ایجاد رس و برخی مواد قابل انحلال یک نوع هیدرولیز است.

$$2KAlSi_3O_8 + 2H^+ + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4SiO_2$$

اُرتوز **کائولینیت**

طی فرآیند هیدرولیز، فلدسپات‌های موجود در سنگ انبساط می‌یابند و حجم سنگ افزایش می‌یابد و سنگ‌های آذرین دانه درشت مانند گرانیت‌ها تخریب می‌شوند.

- **انحلال**[۳]: برخی از کانی‌ها، مانند نمک طعام، در آب محلول می‌باشند، امّا اغلب کانی‌ها در آب خالص نامحلولند. برخی از کانی‌ها مانند کلسیت، که یکی از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ های آهکی و مرمرها است، در آب‌های اسیدی محلول می‌باشند. بنابراین، سنگ آهک در نتیجه واکنش با آب‌های نفوذی حاوی دی‌اکسیدکربن (CO_2) حل می‌شود.

- **اکسایش:** این پدیده به ترکیب یونی یک عنصر با اکسیژن گفته می‌شود که در این صورت سبب تشکیل اکسید و در صورت وجود آب، دی اکسید می‌گردد. به عنوان مثال؛ آهن دو ظرفیتی در اثر از دست دادن الکترون تبدیل به آهن سه ظرفیتی می‌شود. بنابراین در اثر هوازدگی، کانی‌های آهن مانند پیریت به لیمونیت، و سیدریت به هماتیت تبدیل می‌شوند.

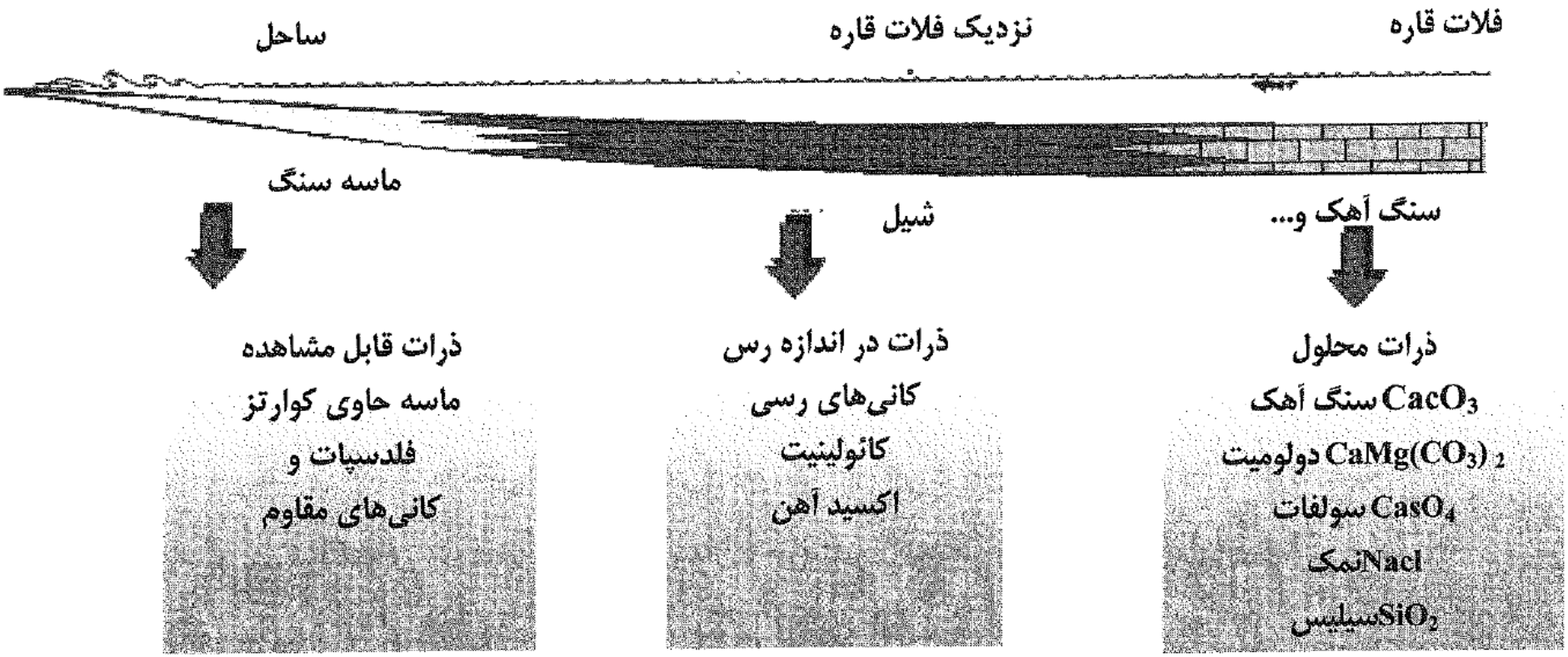
شدت هوازدگی

کانی‌هایی‌که در دماهای بالا به‌وجود می‌آیند، در برابر پدیده هوازدگی، بسیار ناپایدار و سست می‌باشند. براساس سری واکنشی **بوون** اولین کانی‌هایی که هوازده می‌شوند، اُلیوین و سپس پیروکسن می‌باشند. بنابراین، کوارتز که در دمای پایین تبلور می‌یابد، مقاومترین کانی در برابر هوازدگی است.

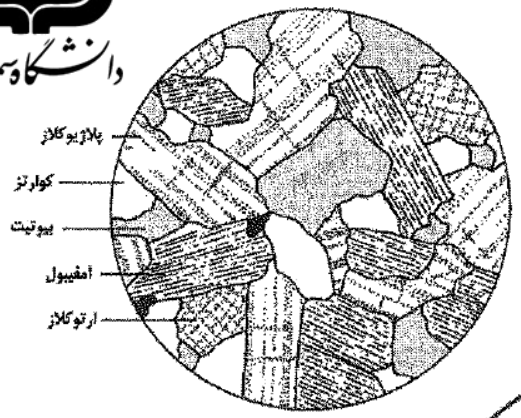
سرعت و شدت واکنش‌های شیمیایی تابع شرایط آب و هوایی نیز می‌باشد. به‌طورمثال؛ سنگ آهک در ناحیه‌های مرطوب به سرعت هوازده می‌شود و شکاف‌های عمیقی در آن پدید می‌آید. امّا در ناحیه‌های خشک، سنگ آهک بسیار مقاوم می‌باشد و اغلب صخره و ستیغ کوه‌ها را تشکیل می‌دهد. برخی از کانی‌ها، مانند هالیت و ژیپس در آب محلولند. احداث پی، به ویژه احداث سد، بر روی سنگ‌های قابل حل ممکن است منجر به فرار آب از سد، تغییر کیفیت شیمیایی آب و تخریب سد گردد.

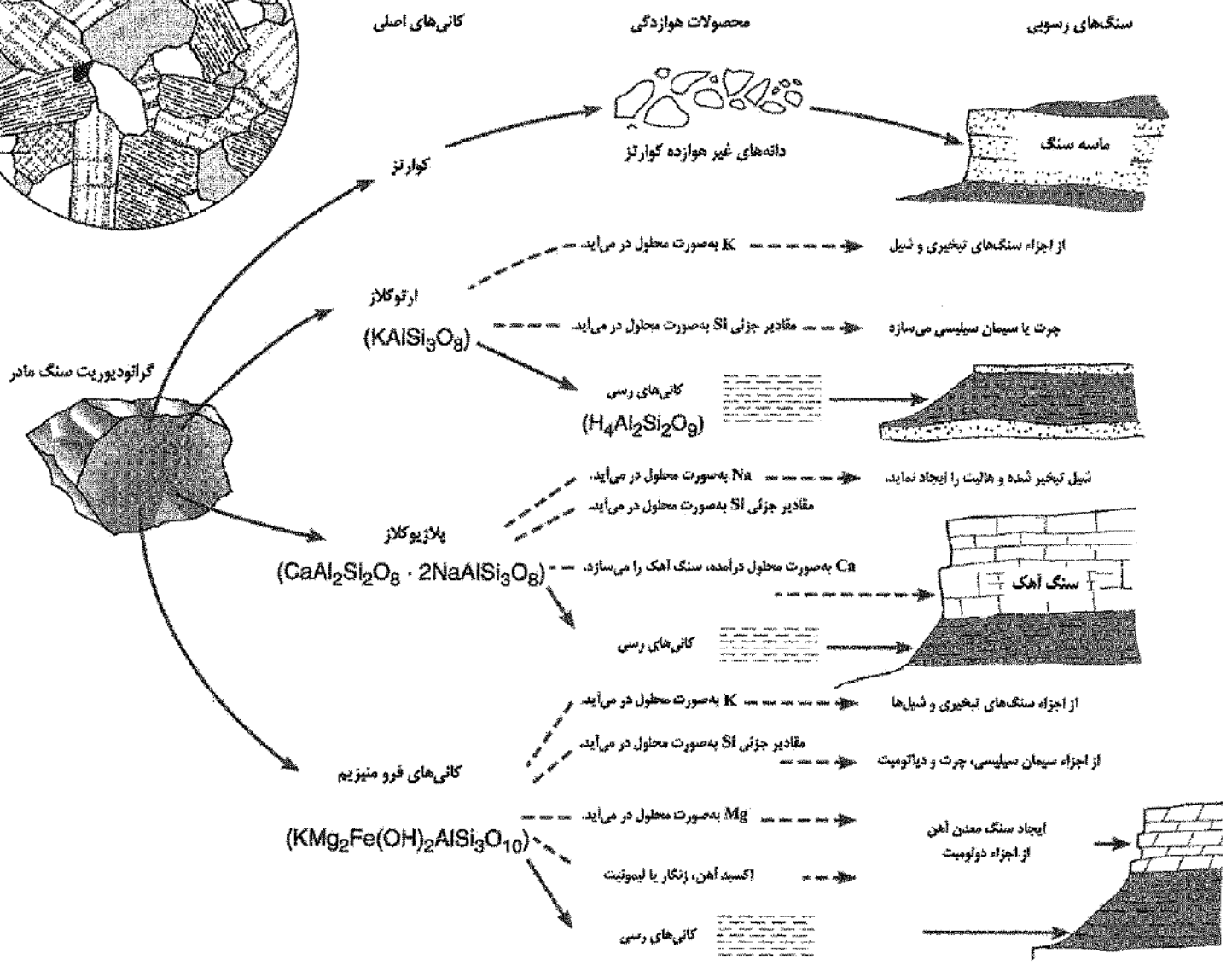
هوازدگی سنگ‌های رسوبی

محصول هوازدگی سنگ‌های رسوبی وابسته به ترکیب شیمیایی سنگ مادر است.



هوازدگی سنگ‌های آذرین





به‌طورکلی شیوه هوازدگی کانی‌ها در سنگ‌های آذرین تا حدودی عکس تبلور آنها از ماده مذاب است. به‌طورمثال؛ الیوین، اولین کانی است که از سرد شدن مواد مذاب شکل می‌گیرد و در طبیعت نیز به سرعت تجزیه می‌شود. در مرحله بعد پیروکسن، سپس آمفیبول‌ها و در آخر بیوتیت تحت تاثیر تجزیه قرار می‌گیرند. لذا سنگ‌های بازیک و فوق بازیک که از کانی‌هایی با دمای بالا تشکیل یافته-اند، در مقایسه با سنگ‌های اسیدی سریعتر هوازده می‌شوند. چون این سنگ‌ها غنی از کانی‌های آهن و منیزیم هستند، از تجزیه شدن آنها مونت موریونیت تولید می‌شود. در حالی‌که، از تجزیه سنگ‌های گرانیتی، کائولینیت به وجود می‌آید. وقتی که سنگ هوازده می‌شود، میزان تخلخل و فضاهای خالی آن افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان جذب آب آن نیز زیاد می‌شود. نتیجه این عمل سست شدن کانی در آن، ایجاد فاصله بین بلورها، نرم شدن و سرانجام خردشدن آنها می‌باشد.

اهمیت مطالعه هوازدگی

به دلیل اینکه سنگ‌ها در
تامین سنگدانه‌های بتن نقش اصلی را دارند، بررسی پدیده هوازدگی سنگ بسیار مهم است. زیرا افزون بر هوازدگی، سختی سنگ را کاهش می‌دهد، به خاطر شکاف‌های ریز در سنگ‌ها، نفوذپذیری آن را افزایش می‌دهد. لذا سنگ‌دانه‌های دارای تخلخل زیاد، سبب می‌شود درزه‌های سطحی در بتن به‌وجود آید.

خاک و انواع آن

از دیدگاه مهندسی، خاک به مواد خرد شده کوچکتر از قلوه سنگ، که امکان حفاری بدون انفجار در آنها وجود دارد، گفته می‌شود. از دیدگاه خاک‌شناسان، خاک، قشر فوقانی سطح زمین می‌باشد، که گیاهان در آن رشد می‌کنند. از نظر زمین‌شناسی، سنگ بستر، بخش جامدی است که در زیر خاک یا دیگر مواد سطحی سست و منفصل قرار می‌گیرد. به‌طورکلی تعریف‌های متعددی را برای خاک و سنگ ارائه نموده‌اند. این تعریف‌ها به نوع کاربرد و تخصصی بستگی دارد که از این مواد استفاده می‌کنند.

خاک‌هایی که خود از تجزیه و هوازدگی سنگ‌ها به‌وجود می‌آیند را **خاک‌های برجا**[1] می‌نامند. ممکن است این مواد در اثر عامل‌هایی مانند آب یا باد حمل شوند و در مناطق دورتری رسوب کنند. این نوع خاک‌ها را **خاک‌های انتقالی**[2] یا حمل شده یا **نابرجا** می‌نامند. نوع خاک برجا به جنس سنگی که از آن مشتق شده وابسته است، به‌طور کلی عامل‌هایی که در تشکیل خاک‌ها دخالت دارند شامل آب و هوا، توپوگرافی، جنس سنگ بستر و زمان هستند.

خاک‌های برجا

خاک‌های ناشی از سنگ‌های آذرین

در اثر عملکرد فرآیندهای هوازدگی شیمیایی و فیزیکی در سنگ‌های آذرین توده‌ای، مانند گرانیت‌ها، توده سنگ به مرور زمان از هم پاشیده می‌شود. وجود بیوتیت در این سنگ‌ها و انبساط این کانی در مجاورت با آب‌های زیرزمینی، موجب ایجاد شکاف‌های ریز در سنگ می‌شوند که به تدریج سنگ اصلی را خرد می‌نماید

اندازه مواد تولید شده از تجزیه سنگ گرانیت، گاهی در حد ماسه درشت دانه است. عمق هوازدگی در گرانیت‌ها به نسبت زیاد می‌باشد و ممکن است تا اعماق ۱۰ تا ۲۵ متر نیز هوازدگی اثر نماید.

از نظر زمین‌شناسی مهندسی، مشکل اصلی در مورد خاک‌های برجای مانده از سنگ‌های آذرین، شناسایی دقیق مرز خاک و سنگ از نظر احداث پی می‌باشد. زیرا مرز سنگ و خاک در این‌گونه موارد تدریجی می‌باشد و شناسایی این دو از یکدیگر مشکل است. گاهی وجود سنگ‌های سالم در خاک‌های برجا، مشکلات بیشتری را در احداث پی‌سازه‌ها ایجاد می‌کنند.

خاک‌های ناشی از سنگ‌های کربناته

برخلاف سنگ‌های أذرین، مرز خاک و سنگ بستر در ناحیه‌های متشکل از سنگ‌های کربناته به‌طور کامل مشخص می‌باشد. به‌طور معمول، در اثر هوازدگی سنگ‌های کربناته **خاک رس قرمز رنگ**[1] به‌وجود می‌آید. در این منطقه‌ها ضخامت خاک بسیار متغیر است.

از دیگر مشکل‌های عمده در این منطقه‌ها، امکان فروریزش زمین و خاک‌های برجا به داخل حفرات انحلالی و تخریب سازه‌های بنا شده بر روی این خاک‌ها است.

خاک‌های ناشی از شیل‌ها (خاک‌های متورم شونده)

شیل‌ها و اسلیت‌ها در اثر هوازدگی تبدیل به رس می‌شوند. از نظر مهندسی، اسلیت یا شیل هوازده ویژگی‌هایی شبیه به رس دارند. مشکل‌های مهندسی که در شیل یا خاک‌های رسی وجود دارد، به علّت مقاومت پایین آنها می‌باشد. انبساط و انقباض خاک‌های رسی که در نتیجه تغییرات درصد رطوبت خاک صورت می‌گیرد، مشکل‌آفرین و خطرساز است. میزان انبساط و انقباض خاک‌های رسی بستگی به نوع کانی رسی دارد.

خاک‌های ناشی از ماسه‌سنگ‌ها

ماسه‌سنگ‌ها در هر آب و هوایی به آرامی هوازده می‌شوند و صخره‌ساز هستند. میزان هوازدگی این سنگ‌ها به مقدار زیاد تابع نوع سیمان سنگ می‌باشد. ماسه‌سنگ با سیمان آهکی به طور نسبی سریعتر از ماسه‌سنگ‌های با سیمان سیلیسی هوازده شده می‌شود و نهشته‌های ماسه‌ای را تشکیل می‌دهد.

خاک‌های نابرجا (انتقال یافته)

نهشته‌های سطحی که در اثر فرسایش خاک‌ها و سنگ‌های هوازده برجا به‌وجود می‌آیند، ممکن است حمل و نقل یابند و در محیط رسوبی برجا گذاشته شوند و خاک‌های نابرجا را به‌وجود آورند.

واریزه[1]

در اثر نیـروی ثقل، مواد هوازده به سمـت پائین دامنه حرکت می‌کننـد وخاک‌هایی به نام واریزه را به‌وجـود می‌آورند.

مهمترین مشکل مهندسی این نهشته‌ها ناپایداری انها است. حرکت این نوع نهشته‌ها ممکن است سبب زمین لغزش شود. امّا پدیده لغزش در واریزه‌ها سرعت بسیار کمتری نسبت به حرکت دیگر نهشته‌ها دارد.

آبرُفت[2]

آبرُفت به رسوب‌هایی که به وسیله جریان آب بر جای گذاشته می‌شود، گفته می‌شود.

پادگانه‌های آبرفتی[1]

پادگانه‌های آبرفتی دشت‌های سیلابی قدیمی هستند

یخرُفت‌ها[2]

واژه یخرُفت به رسوب‌های ناشی از فرآیندهای یخچالی گفته می‌شود.

رسوب‌های دریاچه‌ای و دریایی

این نوع رسوب‌ها به‌طورکلی ریزدانه هستند

بادرُفت[1]

این نوع رسوب‌ها که در اثر عمل باد به وجود می‌آیند، شامل ماسه بادی، سیلت بادی و لُس می‌باشند. ماسه‌های بادی اغلب متحرکند، از این‌رو برای احداث سازه‌های مهندسی نامناسب می‌باشند. انسان با از بین بردن پوشش گیاهی تلماسه‌های غیرفعّال، سبب فعّال شدن این رسوب‌ها شده و بنابراین آنها را ناپایدار می‌سازد.

لُس‌ها که گسترش زیادتری نسبت به ماسه‌های بادی و سیلت‌های بادی دارند از ذرّه‌های بسیار ریز تشکیل شده‌اند. از ویژگی‌های مهندسی آنها قابلیت پایداری در برش‌های قائم است. علت اصلی استحکام آنها وجود رس به عنوان سیمان در آنها می‌باشد.

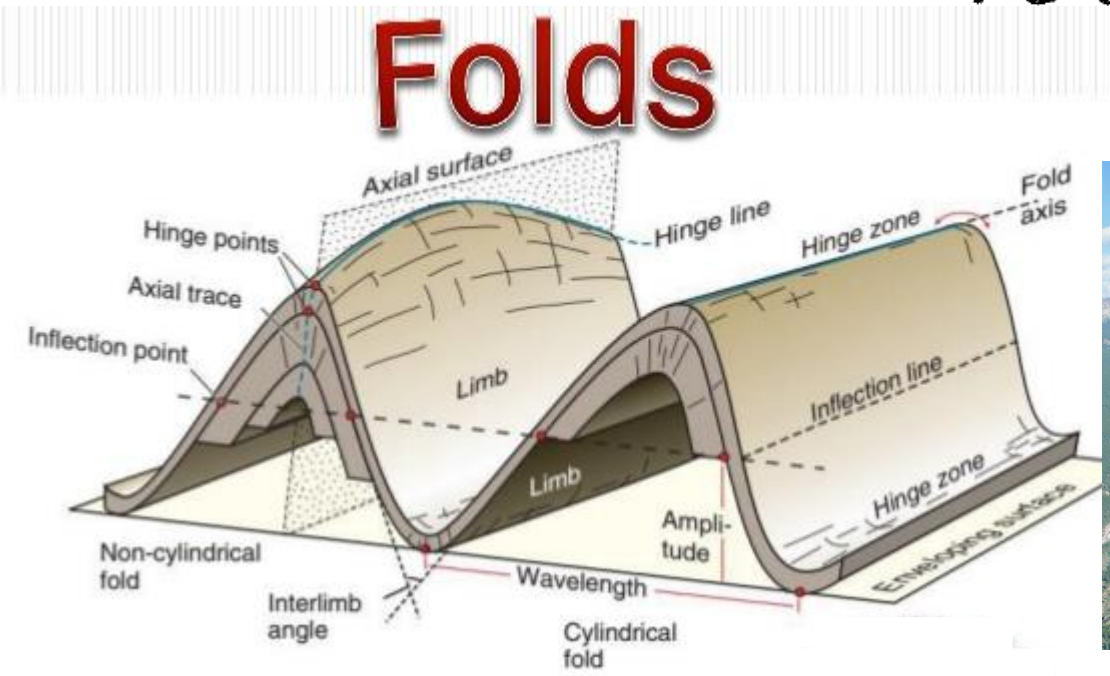
دانشگاه سمنان

زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک

در زمین‌شناسی مهندسی مطالعه وضعیت ساختمانی و تکتونیکی یک منطقه اهمیت زیادی دارد. به‌عنوان‌مثال؛ شناسایی درزه‌ها و گسل‌ها در منطقه مورد نظر برای احداث سد، حفر تونل و احداث سازه‌های دیگر باید در مرحله مقدماتی صورت گیرد. وضعیت ساختاری و تکتونیکی تحت عنوان ساخت‌های زمین شناسی بیان می‌شود.

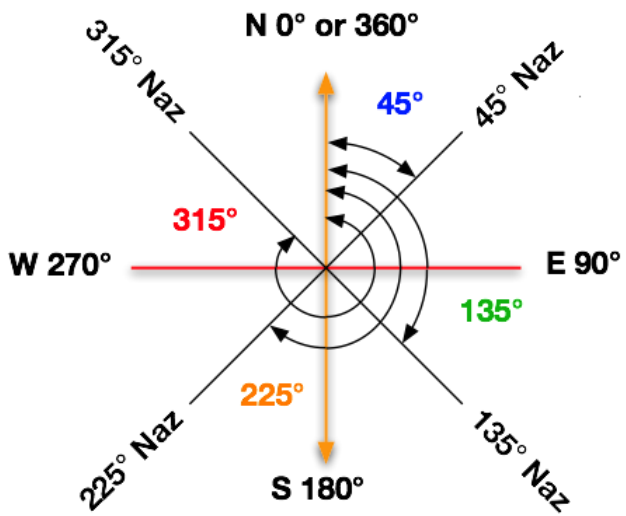
چین‌ها Folds

نیروهای افقی جهت‌دار به‌طور معمول به کندی بر سنگ‌ها اثر می‌کنند و سبب می‌شوند که سنگ‌ها به حالت پلاستیک عمل کنند و لایه‌ها از حالت افقی خارج شوند و چین‌خوردگی در آنها ایجاد شود. چین‌خوردگی‌ها به‌طور معمول در اعماق پوسته رخ می‌دهند. زیرا در بخش‌های سطحی سنگ‌ها ترد و شکننده هستند و اغلب شکسته می‌شوند و گسل‌ها و درزه‌ها در آنها نمایان می‌شود. وضعیت هر لایه با امتداد و شیب معرفی می‌شود.

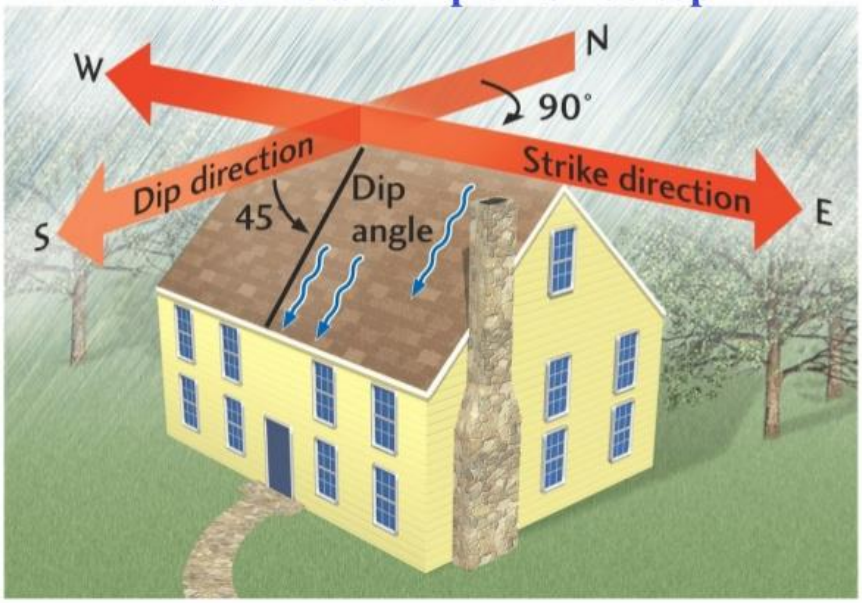


امتداد Strike

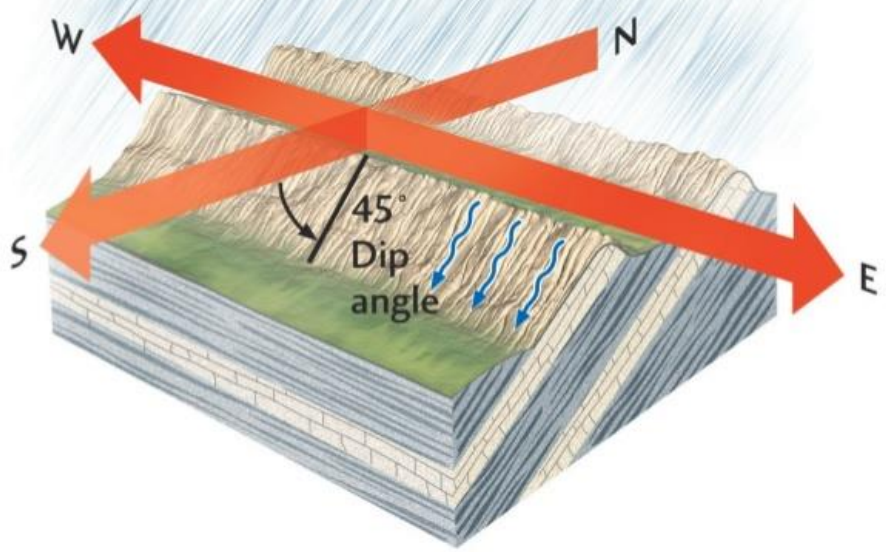
امتداد[1] عبارت از فصل مشترک سطح لایه با سطح افق می‌باشد. به عبارت دیگر هر خط افقی در سطح لایه، امتداد لایه است. زاویه‌ای که این خط با شمال تشکیل می‌دهد را با قطب نمای زمین‌شناسی (کمپاس) به روش **آزیموت**[2] یا **بیرینگ**[3] اندازه می‌گیرند. آزیموت عبارت از زاویه‌ای است که امتداد لایه نسبت به شمال در جهت عقربه‌های ساعت می‌سازد. بیرینگ زاویه‌ای است که امتداد لایه نسبت به شمال یا جنوب در جهت عقربه‌های ساعت و یا خلاف آن می‌سازد. از این‌رو، بین صفر تا ۹۰ درجه است، درحالی‌که مقدار آزیموت بین صفر تا ۳۶۰ درجه قرائت می‌شود. به‌عنوان مثال؛ لایه‌ای که راستای شمال غرب – جنوب شرق دارد، آزیموت آن ۱۳۵ یا ۳۱۵ درجه و بیرینگ آن $N\,45^{\circ}\,W$ یا $S\,45^{\circ}\,E$ می‌باشد

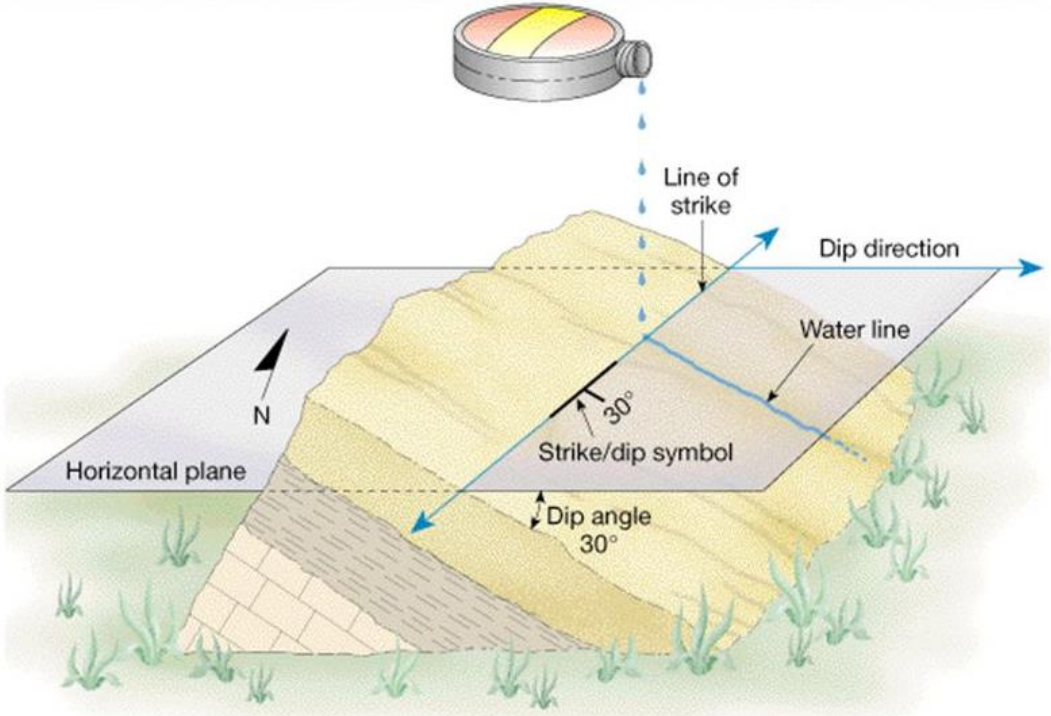


Strike and Dip on a Rooftop



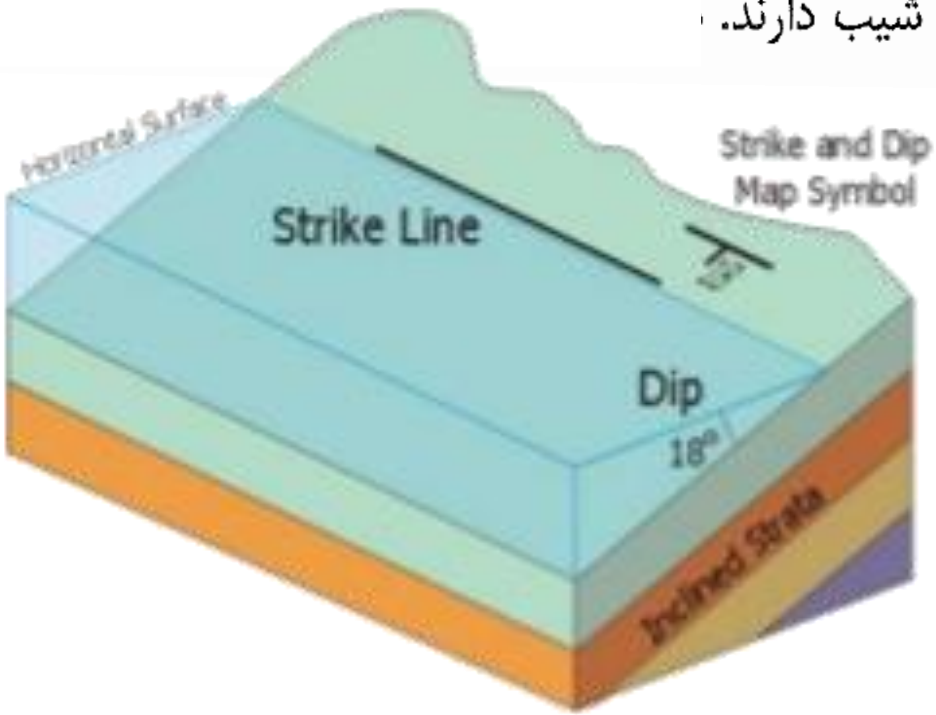
Strike and Dip in a Rock Structure



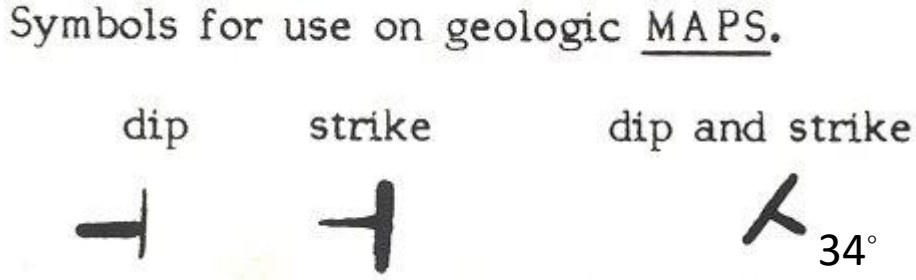


شیب Dip

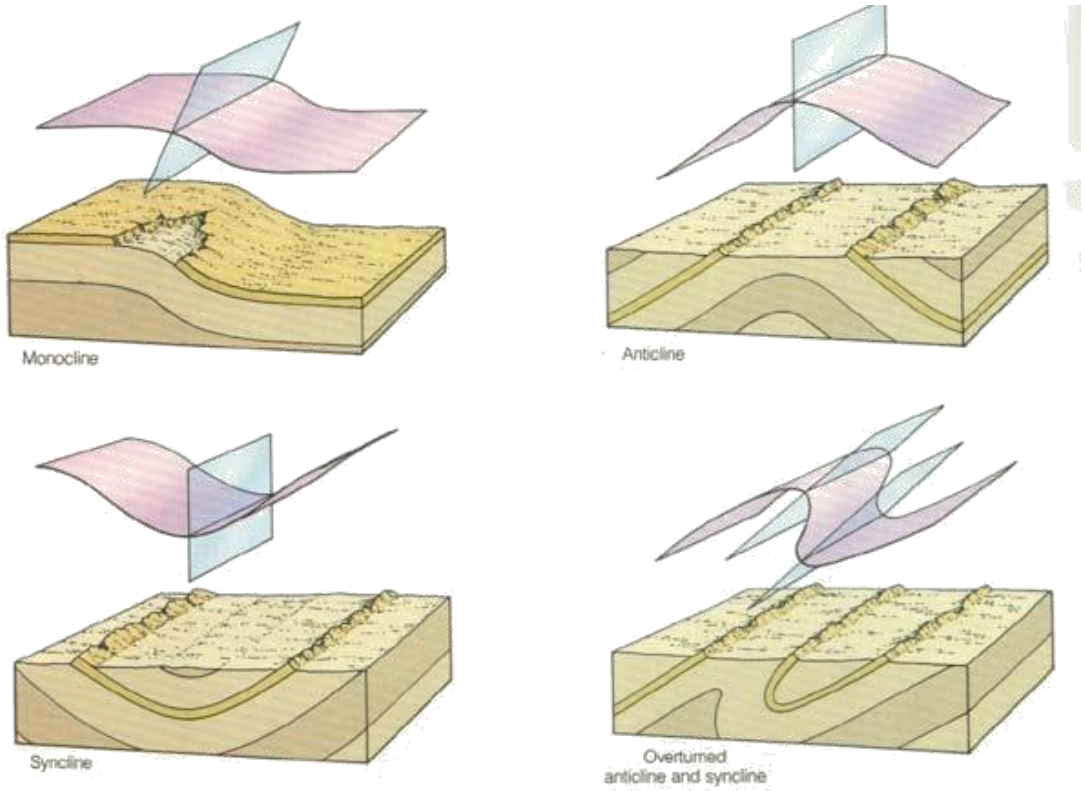
شیب[۴] لایه عبارت است از زاویه‌ای که سطح لایه با سطح افق در حالت عمود بر امتداد می‌سازد. این شیب را شیب حقیقی نیز می‌گویند. درصورتی‌که اندازه‌گیری عمود بر امتداد نباشد، به آن شیب ظاهری گفته می‌شود. اندازه‌گیری شیب با شیب سنجی که در کمپاس نصب شده است، صورت می‌گیرد. شیب لایه‌های افقی صفر است. لایه‌های قائم شیب ۹۰ درجه دارند. لایه‌های مایل با توجه به وضعیت آن بین صفر تا ۹۰ درجه شیب دارند.



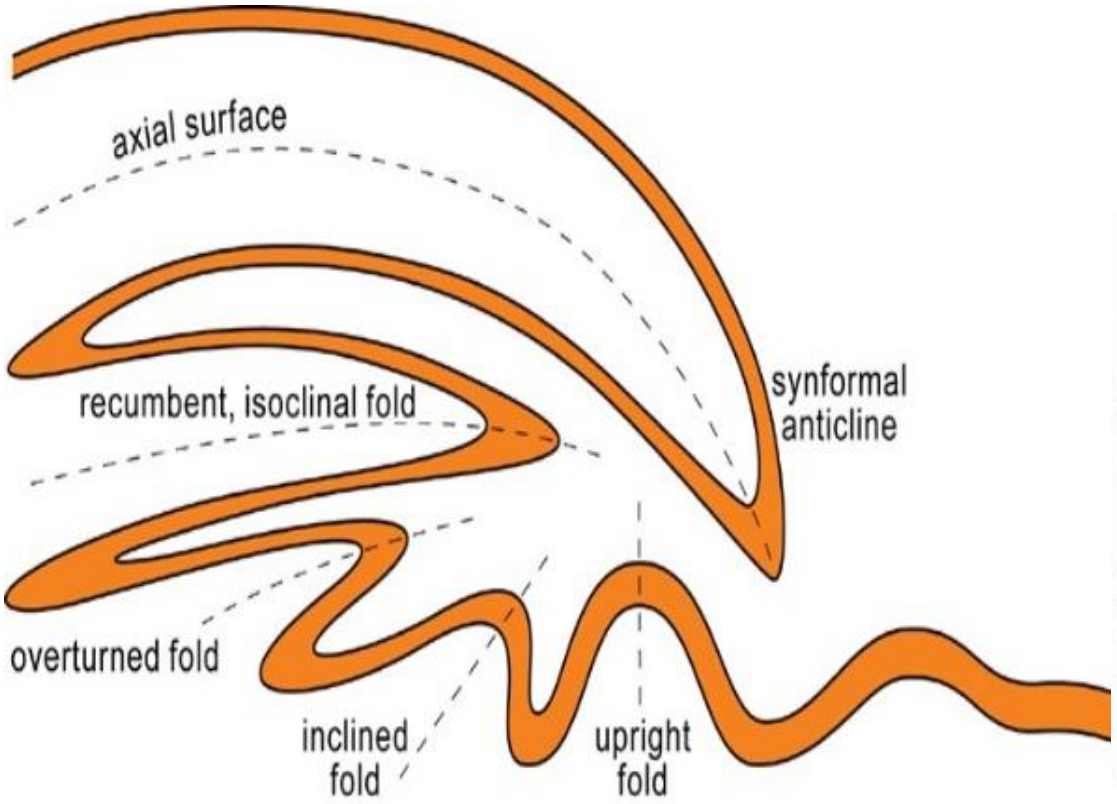
برای نمایش امتداد و شیب در روی نقشه، خطی به طول حدود ۱/۵ تا ۲ سانتیمتر به گونه‌ای رسم می‌شود که راستای آن در جهت امتداد باشد. یک خط کوتاه عمود بر امتداد و در وسط آن ترسیم می‌شود که نماینده جهت شیب است و مقدار شیب نیز در کنار آن نوشته می‌شود

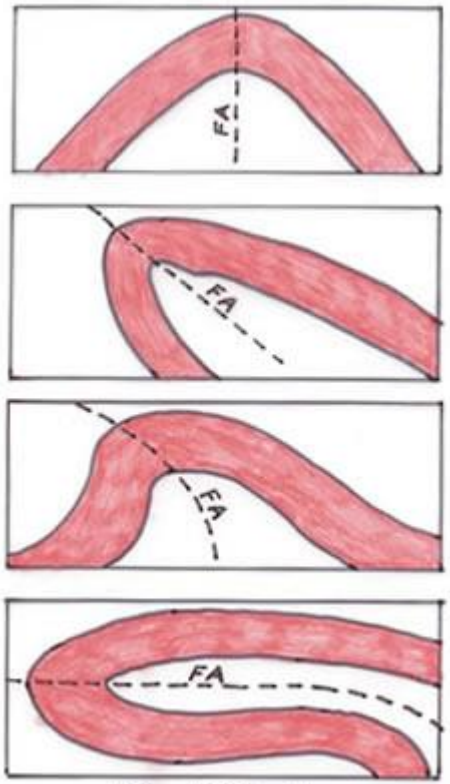


چین‌ها به‌صورت **تک‌شیب**[1]، **تاقدیس**[2] **یا ناودیس**[3] هستند. تک شیب یا مونوکلین یک چین ساده است که یک طرف آن شیب دارد و طرف دیگر آن افقی است. یک تاقدیس چینی است که دو پهلوی آن در خلاف یکدیگر شیب دارند و لایه‌های داخلی قدیمی‌تر می‌باشند. در حالی‌که در ناودیس شیب پهلوهای چین به سمت یکدیگر می‌باشد و لایه‌های داخلی جدیدتر می‌باشند. یک چین به‌طورکلی با وضعیت محور و سطح محوری معرفی می‌شود.



سطح محوری، سطحی است که محورها را در برمی‌گیرد. در چین‌هایی که شیب دو پهلوی آن مشابه است، سطح محوری قائم می‌باشد و چین را متقارن گویند. در صورتی‌که شیب دو پهلو متفاوت باشد، سطح محوری مایل و چین نامتقارن خواهد بود. اگر شیب دو پهلوی چین هم جهت باشد، چین برگشته است. در مواردی که سطح محوری، افقی یا تقریباً افقی باشد، چین خوابیده می‌باشد. محور چین نیز ممکن است افقی یا مایل باشد. در صورتی‌که محور چین مایل باشد چین را **پلانج‌دار** گویند.





چین متقارن

چین نامتقارن

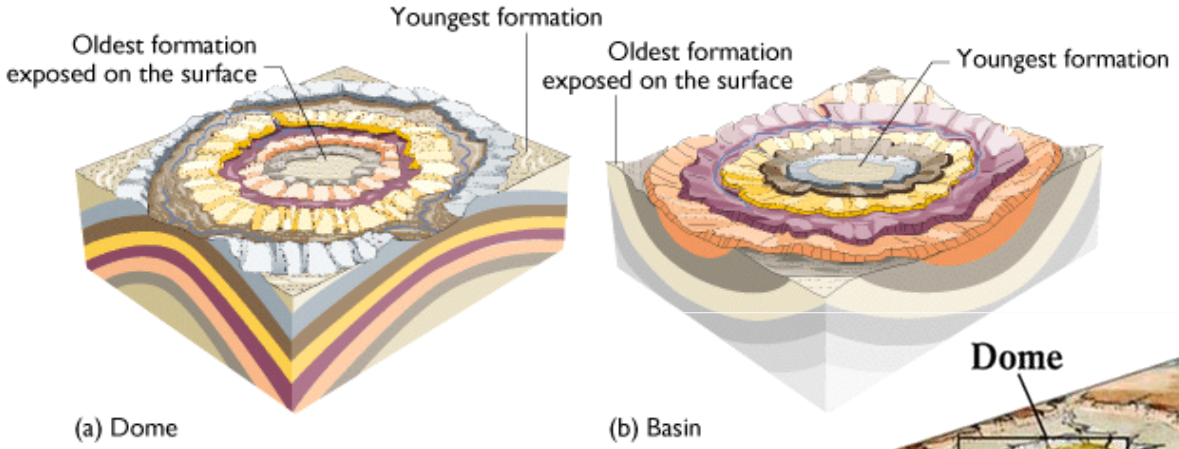
چین پلانج دار

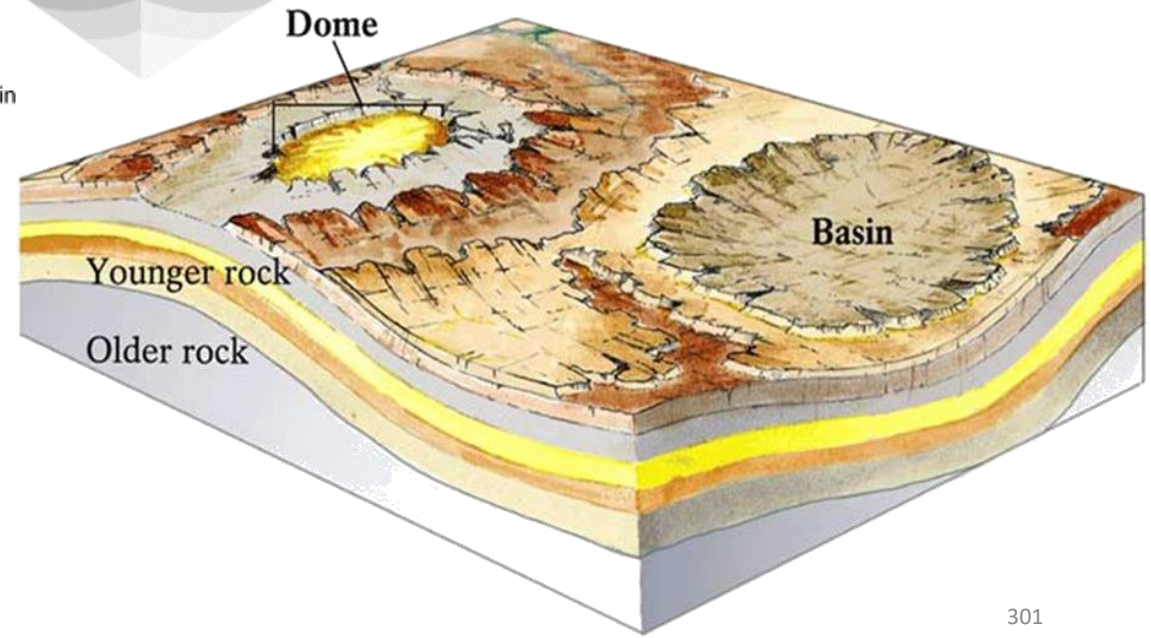
چین خوابیده

گاهی وضعیت چین‌خوردگی به گونه‌ای است که امتداد محور مشخص نیست و در سطح زمین لایه‌ها به‌صورت دایره‌ای دیده می‌شوند. در این صورت اگر چین به‌صورت تاقدیس باشد به آن **گنبد**[1] و در صورتی‌که ناودیس باشد به آن **حوضه**[2] گویند.

Dome

Basin

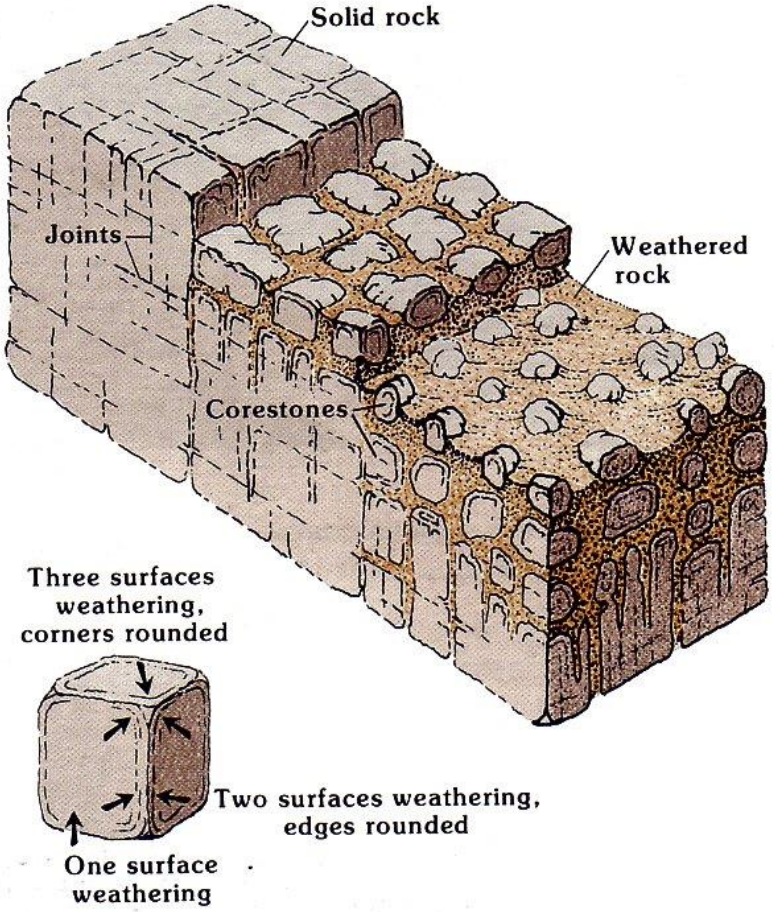




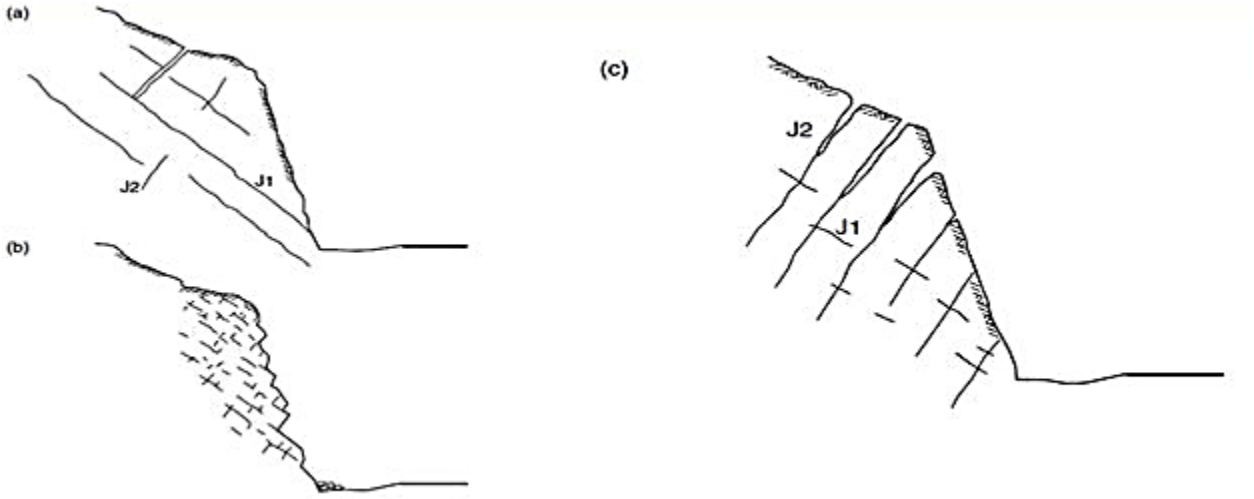
درزه‌ها

یکی از معمولی‌ترین ساختارهای ثانوی که در سنگ‌ها دیده می‌شود، درزه می‌باشد. درزه‌ها شکستگی‌هایی هستند که جابجایی در دو طرف آنها رخ نمی‌دهد. اگر جابجایی صورت گیرد به آن **گسل** می‌گویند. این ساختار در سطح و در سنگ‌های ترد و شکننده به‌وجود می‌آید. اندازه درزه‌ها بسیار متغیّر است و ممکن است بسیار کوچک و در حد میکروسکوپی و یا بسیار بزرگ باشد. اغلب درزه‌ها به‌صورت دسته‌های موازی یا تا حدودی موازی می‌باشند. وضعیت آنها به‌طور معمول به وضیعت ساختارهایی چون گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها بستگی دارد. امّا ممکن است به صورت‌های دیگری نیز دیده شوند. مانند سیستم درزه‌هایی که در گدازه‌ها دیده می‌شود و سبب می‌گردد که گدازه‌ها به‌صورت منشورهای شش‌وجهی دیده شود. در گرانیت‌ها، که بر اثر فرسایش و هوازدگی در سطح زمین ظاهر می‌شوند؛ درزه‌های صفحه‌ای به موازات سطح و به‌صورت پوست پیازی ایجاد می‌گردد.

JOINTS
PRESENTED BY
GOKULAKRISHNAN G

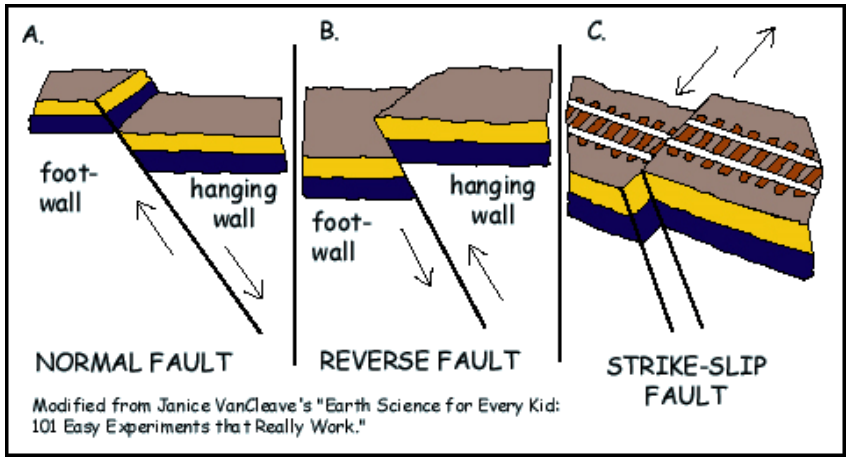

Solid rock
Joints
Weathered rock
Corestones
Three surfaces weathering, corners rounded
Two surfaces weathering, edges rounded
One surface weathering

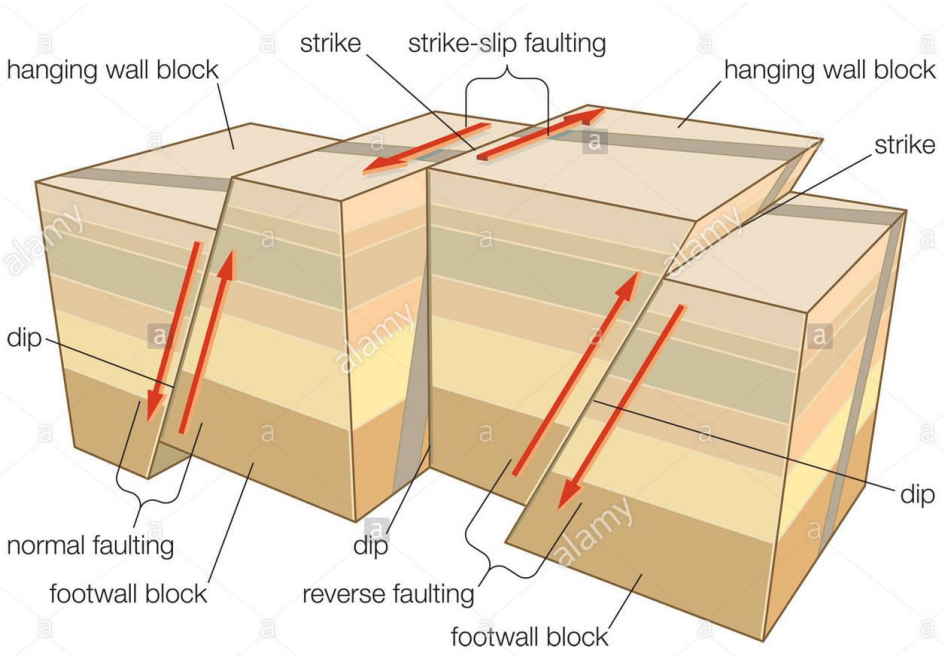
شناسایی درزه‌ها و نوع آنها در زمین شناسی مهندسی بسیار با اهمیت است زیرا، وجود یا عدم وجود و نوع آن در استحکام و پایداری سنگ‌ها نقش عمده دارد. در کارهای عمرانی قبل از احداث سازه‌هایی مانند سد و تونل باید وضعیت درزه‌ها را به دقّت بررسی نمود. با شناسایی درزه‌ها و با به‌کار بردن روش‌های ویژه می‌توان از خطر لغزش، ریزش و خطرهای دیگری که در رابطه با شکستگی‌ها ممکن است رخ دهد، جلوگیری نمود.



Faults گسل‌ها

گسل‌ها یا گسله‌ها شکستگی‌هایی هستند که سنگ‌های دو طرف سطح شکستگی، که آن را سطح گسل می‌نامند، حرکت کرده‌اند. دو طرف سطح گسل کمر بالا یا **فرادیواره**[۲] (Hanging wall) و کمر پائین یا **فرودیواره**[۲] (Foot wall) نامیده می‌شود. فرادیواره روی سطح گسل واقع است. در حالی‌که، فرودیواره در زیر سطح گسل قرار دارد. این دو بخش در تمام گسل‌ها، به جز گسل‌هایی که سطح گسل قائم است، قابل تشخیص می‌باشد.

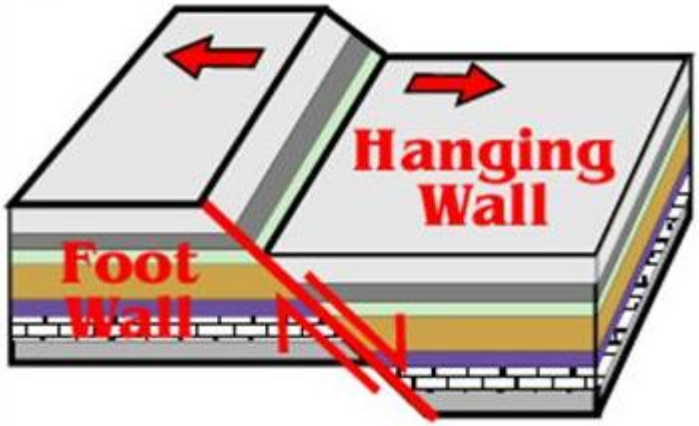




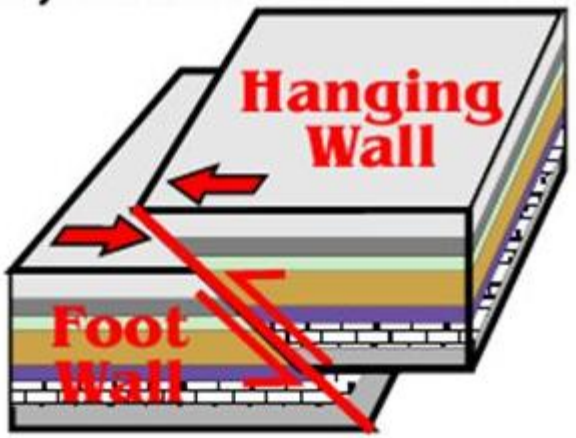
حرکت دو بخش گسل ممکن است نسبت به هم در جهت امتداد یا شیب و یا فرآیند آنها باشد، که به آنها به ترتیب **گسل‌های امتدادلغز**[۱]، **گسل‌های شیب‌لغز**[۲] و **مورب‌لغز**[۳] گفته می‌شود.

گسل‌های شیب‌لغز: در گسل‌های شیب‌لغز حرکت در جهت شیب سطح گسل صورت می‌گیرد. با توجه به حرکت فرادیواره و فرودیواره در جهت شیب، دو نوع حرکت نسبی ملاحظه می‌گردد. اگر حرکت فرادیواره نسبت به فرودیواره به ظاهر به سمت پائین باشد، به آن **گسل عادی یا نرمال**[۴] گفته می‌شود. در صورتی‌که، فرادیواره نسبت به فرودیواره به ظاهر به سمت بالا حرکت داشته باشد به آن **گسل معکوس**[۵] می‌گویند. اگر شیب سطح گسل معکوس کمتر از ۴۵ درجه باشد به آن، **گسل رانده**[۶] نیز گفته می‌شود

a) Normal Fault

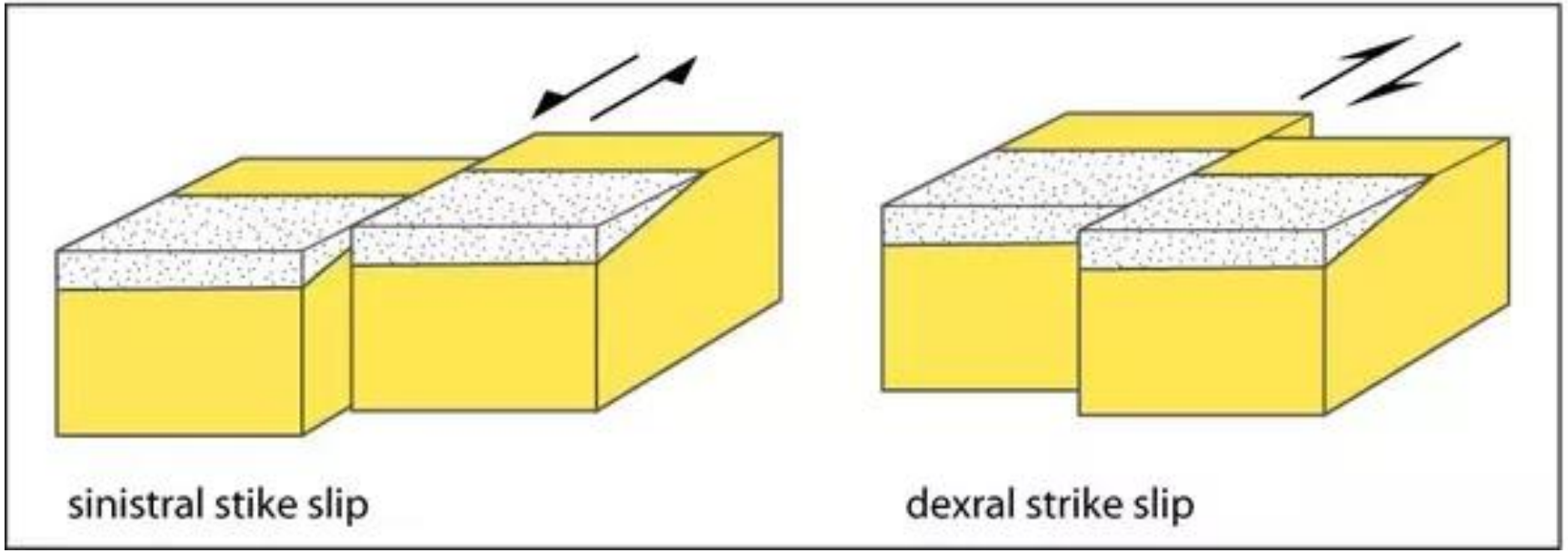


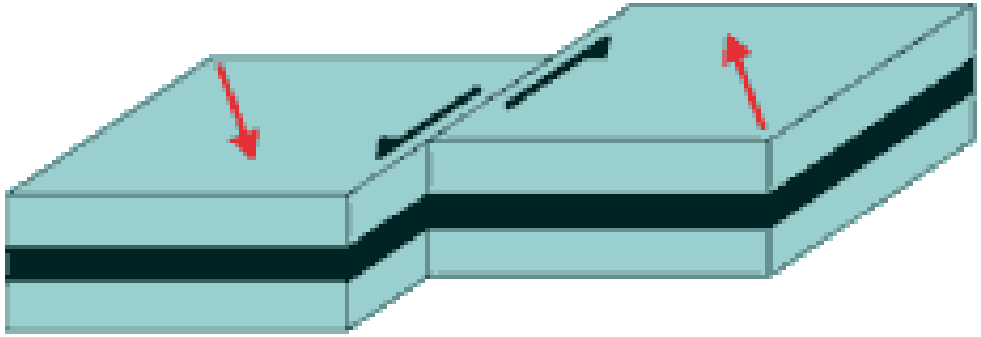
b) Reverse Fault



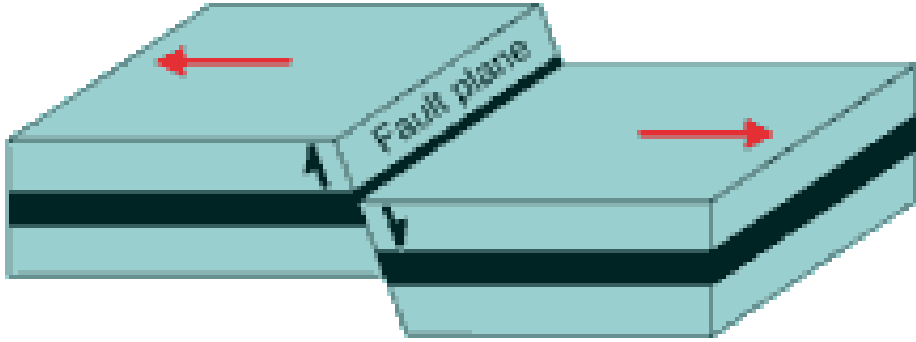
Low-angle reverse fault is called a *thrust fault*

گسل‌های امتدادلغز: در این نوع از گسل‌ها، لایه‌ها در راستای امتداد سطح گسل جابجا می‌شوند. نیرویی که سبب این جابجایی می‌شود، از نوع نیروهای بُرشی می‌باشد. گسل‌های امتدادلغز با توجه به وضعیت لایه‌ها ممکن است راست‌گرد یا چپ‌گرد باشند.



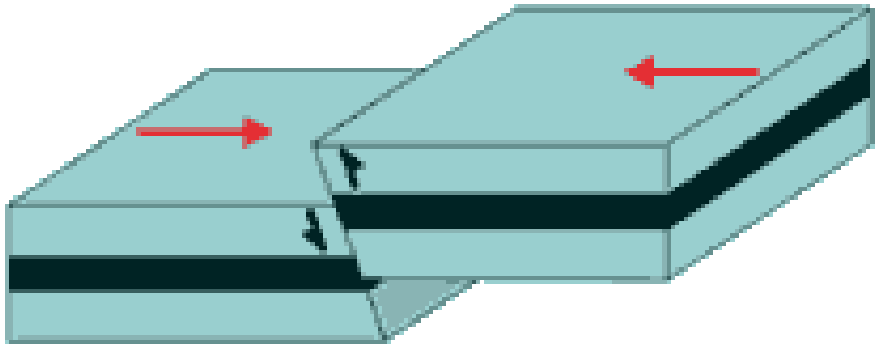


Strike-slip fault

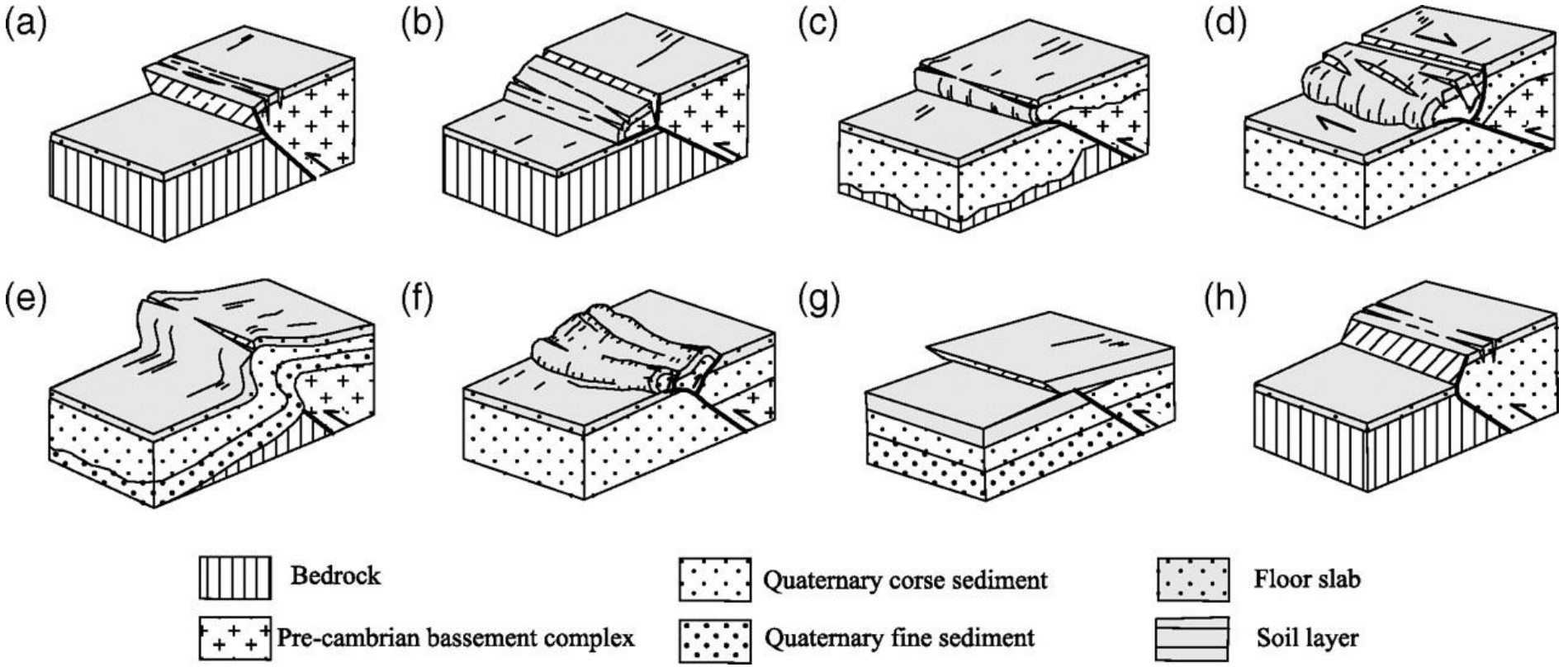


Normal fault

Thrust fault

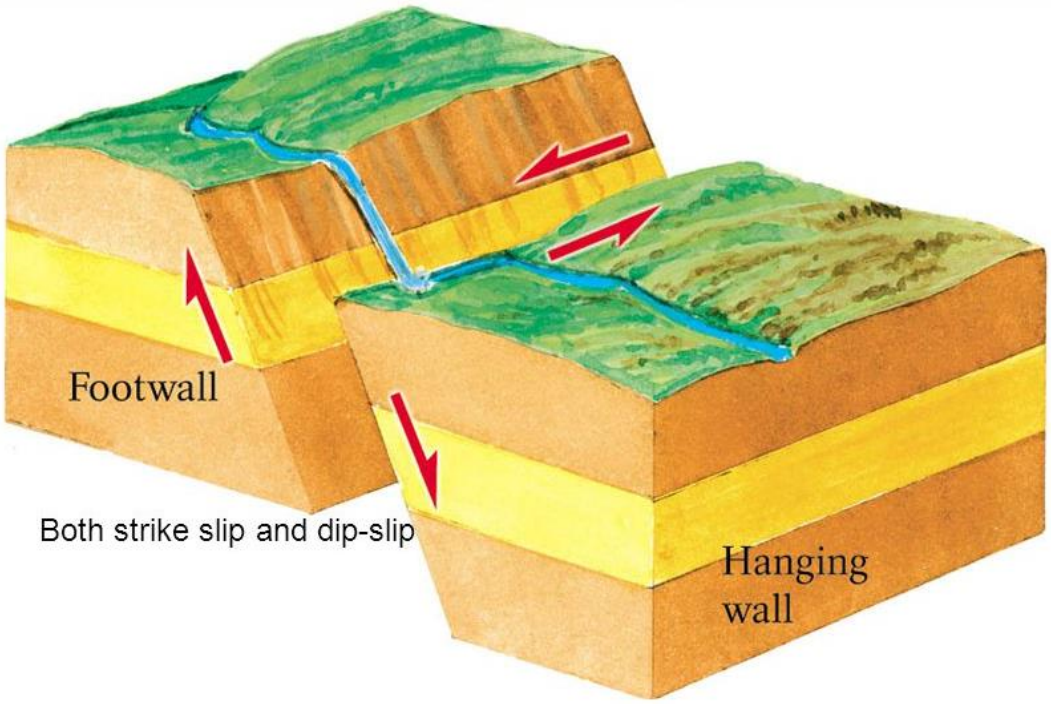


Reverse fault


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
(g)
(h)
Bedrock
Pre-cambrian bassement complex
Quaternary corse sediment
Quaternary fine sediment
Floor slab
Soil layer

گسل‌های مورب‌لغز: در این نوع گسل، لغزش کلی در جهت برآیند امتداد و شیب سطح گسل است و بنابراین، در راستای هر دو یعنی هم در جهت شیب و هم امتداد حرکت صورت می‌گیرد

وضعیت گسل‌ها و جابجایی طرفین آن به گونه‌ای که توصیف شد، به‌ندرت در سطح زمین قابل مشاهده است. معمولاً گسل‌ها را از روی نشانه‌هایی مانند قطع شدن ناگهانی لایه‌ها و ساختارهای زمین شناسی، تکرار لایه‌ها و یا حذف آنها، ایجاد پرتگاه، وجود آینه گسل، وجود بِرِش گسل یا میلونیت، تغییر رنگ در دو طرف خط گسل، تغییر ناگهانی در مسیر رودخانه‌ها و ایجاد چشمه‌ها در مسیر گسل‌ها می‌توان شناسایی کرد.



Both strike slip and dip-slip

ناپیوستگی‌ها Unconformity

همواره در بخشی از سطح زمین فرسایش و در بخشی دیگر رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد. عمل رسوب‌گذاری معمولاً دائمی نیست و اغلب، مرحله‌ای می‌رسد که رسوب‌ها و یا سنگ‌ها از آب خارج می‌شوند و تحت عمل فرسایش قرار می‌گیرند. وقتی که لایه‌ها از آب خارج می‌شوند، به‌طور قطع در آن زمان عمل رسوب‌گذاری در آن منطقه صورت نمی‌گیرد.

در تاریخ زمین شناسی در هیچ نقطه‌ای رسوب‌ها به‌طور پیوسته دیده نشده است و همواره در همه منطقه‌ها در دوره‌هایی نبود رسوب‌گذاری وجود داشته است. زمان نبود رسوب‌گذاری ممکن است کوتاه و یا بسیار طولانی باشد. سطحی که در امتداد آن رسوب‌گذاری برای مدّت معینی قطع شده است، سطح ناپیوستگی نامیده می‌شود. این سطح یک سطح فرسایشی است که ممکن است افقی یا مایل باشد.

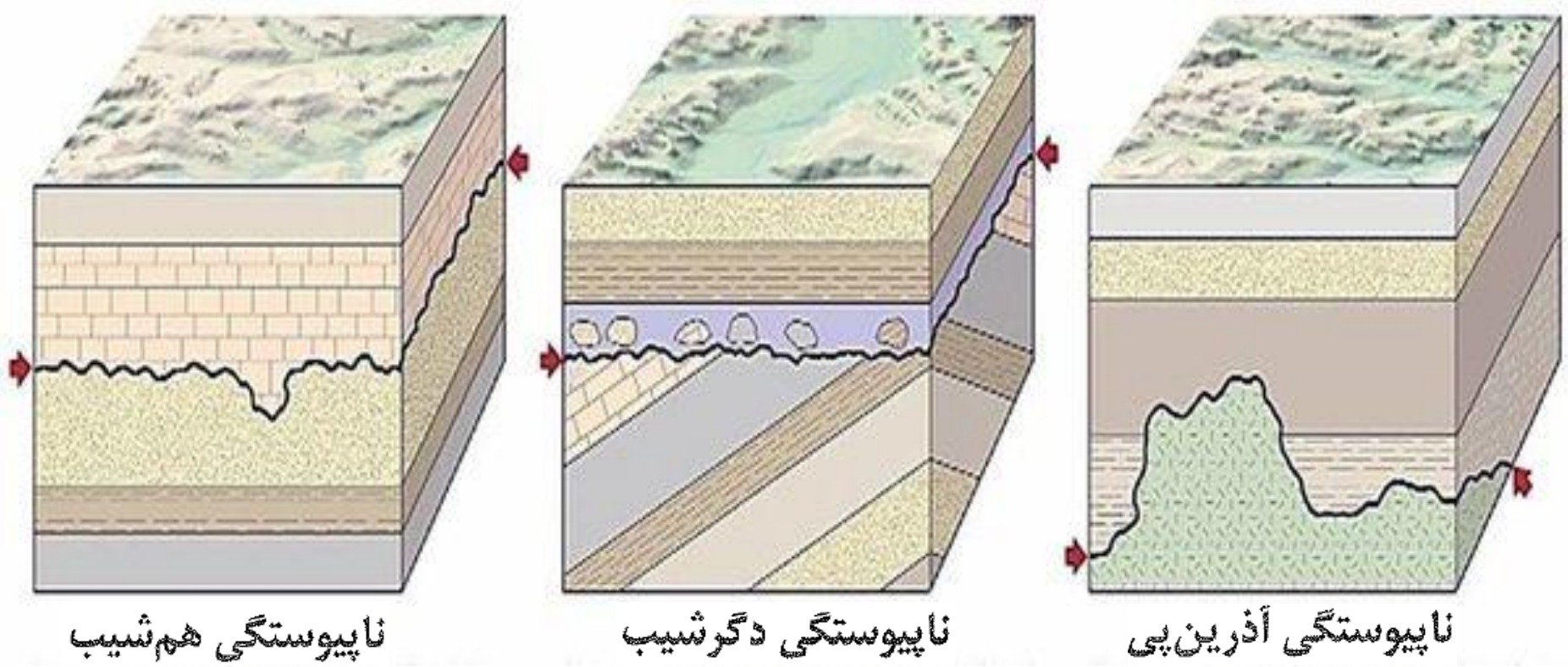
سه نوع ناپیوستگی معمولاً قابل تشخیص می‌باشد.

ناپیوستگی همشیب[۲]: نوعی ناپیوستگی است که طبقه‌های جوانتر از سطح فرسایشی با طبقه‌های قدیمی‌تر موازی است. تشخیص این نوع ناپیوستگی نسبتاً مشکل است

ناپیوستگی دگرشیب[۳]: نوعی ناپیوستگی است که طبقه‌های بالا و زیرین سطح فرسایشی، که به‌طور معمول ناهموار است، نسبت به هم زاویه دارند

ناپیوستگی آذرین‌پی[۴]: نوعی ناپیوستگی است که سطح فرسایشی روی سنگ‌های آذرین یا دگرگونی می‌باشد و روی سطح فرسایشی سنگ‌های رسوبی قرار دارند

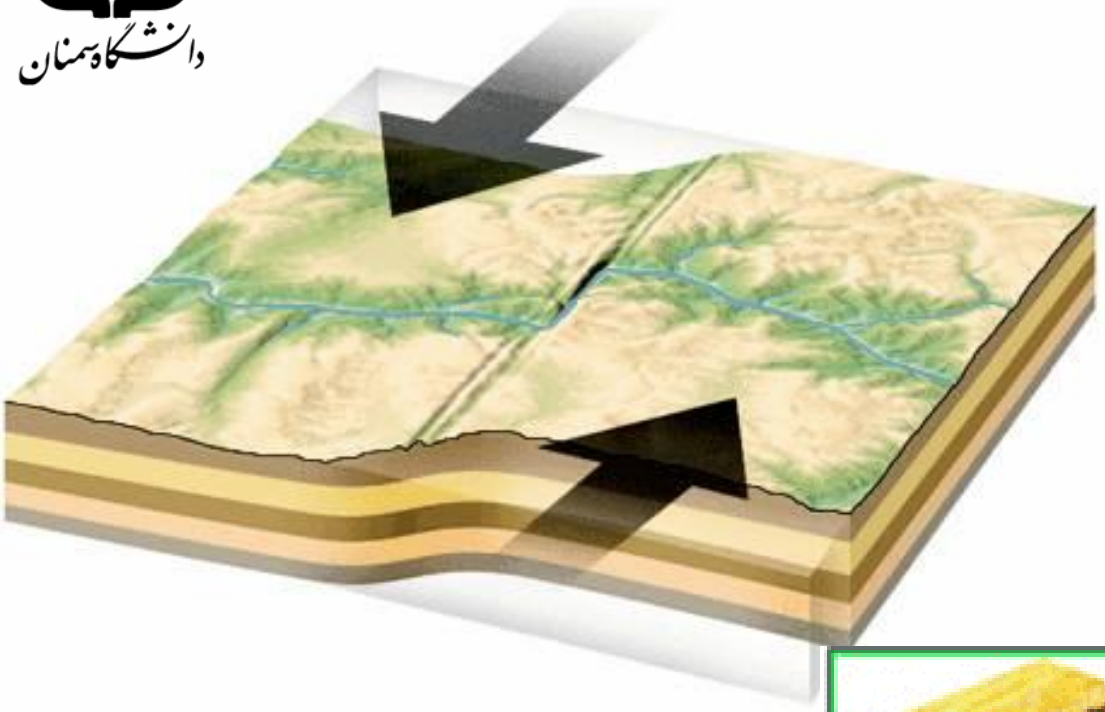
دانشگاه سمنان



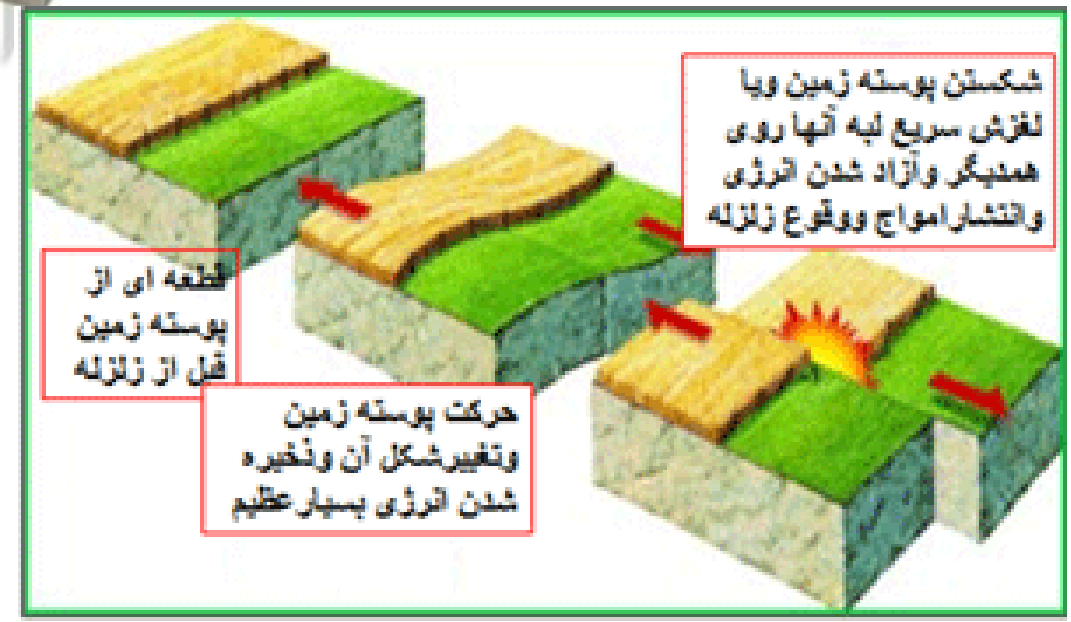
زلزله و تأثیر آن بر ساختار زمین

زلزله به عنوان یکی از مهمترین فرآیندهای دینامیکی درون زمین، سبب تغییرهای عمده‌ای در این کره می‌شود. به‌طورکلی زلزله بیانگر آزاد شدن انرژی ذخیره شده در پوسته زمین است. زلزله در طول گسل‌ها یا گسله‌ها و در سطح شکستگی‌های صفحه‌ای در سنگ اتفاق می‌افتد. در اثر این پدیده، جابجایی در یک طرف این صفحه‌ها نسبت به طرف دیگر آنها دیده می‌شود. تنش‌های آزاد شده، سبب لغزش و جابجایی در طول گسله‌های قدیمی و نیز ایجاد گسله و شکستگی‌های جدید می‌گردد.

در اثر حرکت‌های پوسته زمین، انرژی ذخیره شده در پوسته افزایش می‌یابد و این افزایش انرژی یا تنش سبب تغییر شکل سنگ در پوسته می‌گردد. در اصل، اصطکاک بین سطح‌های ضعیف طبیعی موجود در سنگ‌ها و نیز ویژگی رفتار الاستیکی آنها در حین افزایش تنش، مانع از گسیختگی و شکسته شدن سنگ‌ها می‌شود. در نتیجه، تغییر شکل الاستیک یا برگشت‌پذیر در سنگ ایجاد می‌شود، یا این‌که در اثر بسته شدن شکاف‌ها و سطح شکستگی‌های موجود، تغییر شکل ماندگار در سنگ به‌وجود می‌آید. این تغییر شکل‌های ایجاد شده، تغییر شکل‌های قبل از گسیختگی هستند. اگر تنش‌های ایجاد شده ادامه پیدا کند، تغییر شکل‌های بیشتری در پوسته زمین رخ می‌دهد. در صورتی‌که انرژی ذخیره شده در سنگ از حد مقاومت مجاز سنگ تجاوز نماید، سنگ به‌طور ناگهانی شکسته می‌شود و در نتیجه، انرژی آزاد شده به‌صورت موج‌های لرزه‌ای در پوسته زمین منتشر می‌شود و سبب می‌شود که پوسته زمین شروع به ارتعاش نماید. این ارتعاش را زلزله می‌نامند. البته با آزاد شدن انرژی و وقوع زلزله، سنگ‌های پوسته به وضعیت قبل از ذخیره شدن انرژی بر می‌گردد و یا به اصطلاح به حالت پایدار می‌رسد



گسیخته شدن سنگ‌ها در اثر
تمرکز تنش و برگشت الاستیکی آنها بعد از
وقوع زلزله

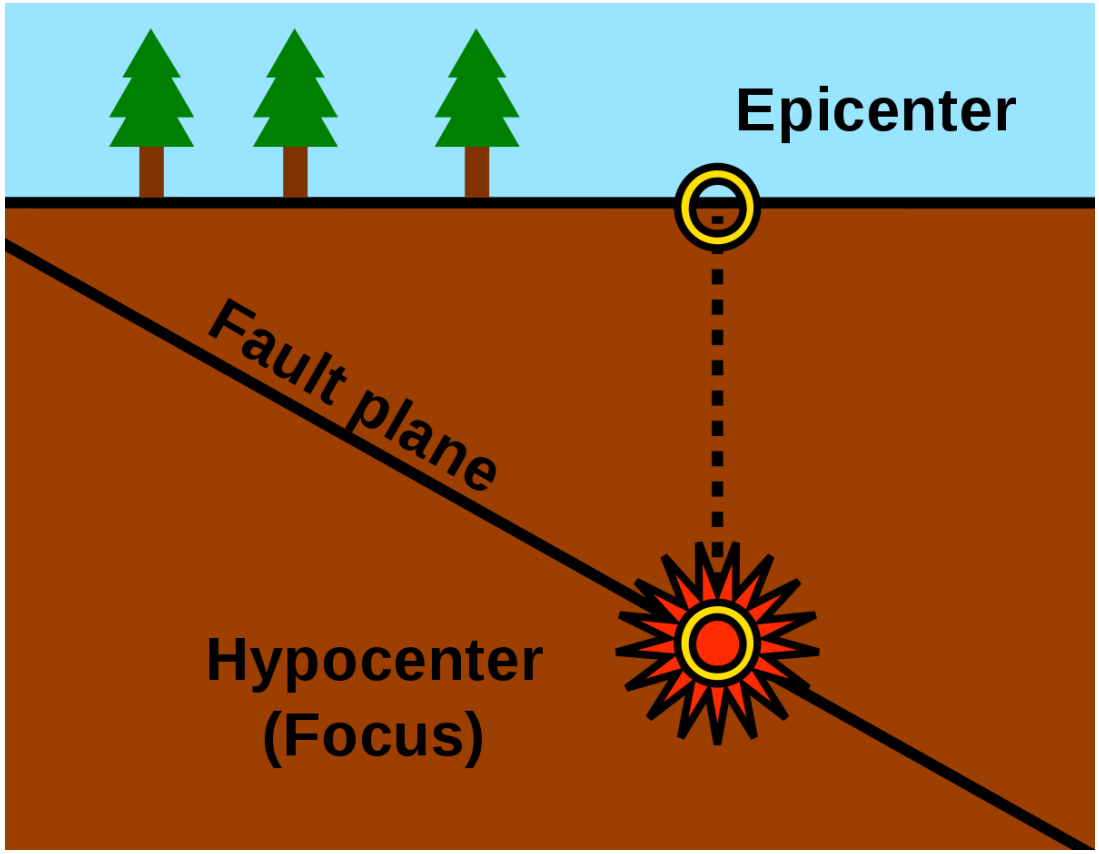


زمین لرزه‌ها دارای بزرگی‌های گوناگون از بسیار کوچک تا بسیار بزرگ می‌باشند. همچنین زلزله‌ها می‌توانند به صورت دسته‌ای از لرزه‌های کوچک بروز نمایند که بعضی از آنها ممکن است حتی احساس نشوند. میزان خسارت‌های ناشی از زلزله تابعی از مقدار انرژی آزاد شده در اثر وقوع زلزله است. تاکنون خسارت‌های جانی و مالی بسیار سنگین در اثر وقوع زلزله در نقاط گوناگون دنیا به وجود آمده است و هر ساله این خسارت‌ها در اثر وقوع زلزله‌های بزرگ وارد می‌شود.

ویژگی‌های زلزله

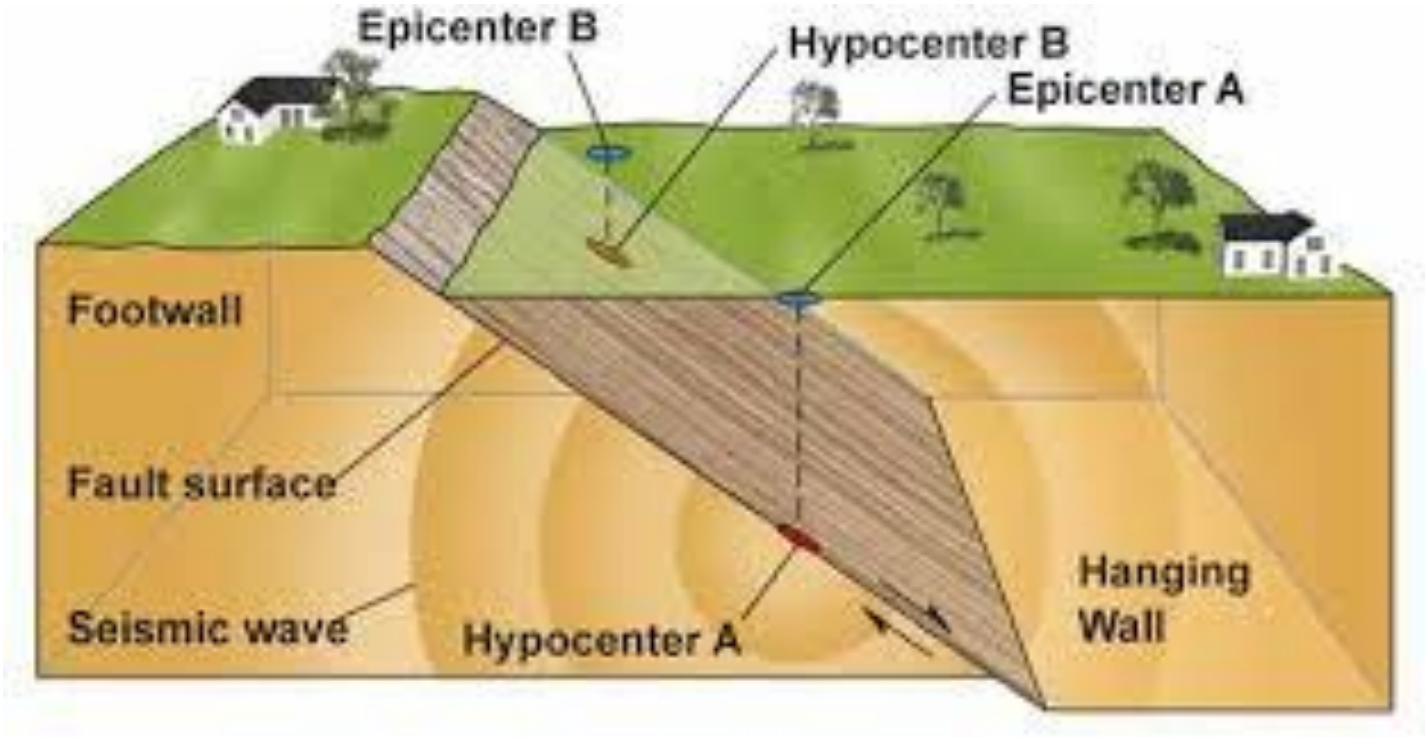
هر زلزله با پارامترهایی مانند کانون، عمق و مرکز زلزله تعریف می‌شود. نقطه‌ای در روی سطح گسل، که اولین حرکت یا شکست در اثر یک زلزله در آن شروع می‌شود، **کانون زلزله**[1] یا **هیپوسنتر**[2] نامیده می‌شود ——— اگرچه، در زلزله‌های خیلی بزرگ طول گسیختگی یا گسلش ممکن است به چندین کیلومتر نیز برسد، ولی نقطه شروع زلزله یا شکستگی به عنوان کانون زلزله در نظر گرفته می‌شود.

نقطه‌ای در روی سطح زمین که به‌طور مستقیم در بالای کانون زلزله قرار دارد را **مرکز سطحی زلزله** یا **اپی‌سنتر**[1] می‌نامند. در گزارش وقوع زلزله، محل وقوع زلزله را با نقطه مرکز سطحی آن معرفی می‌کنند. عمق زلزله فاصله بین مرکز سطحی و کانون زلزله است.



براساس عمق وقوع، زلزله‌ها به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

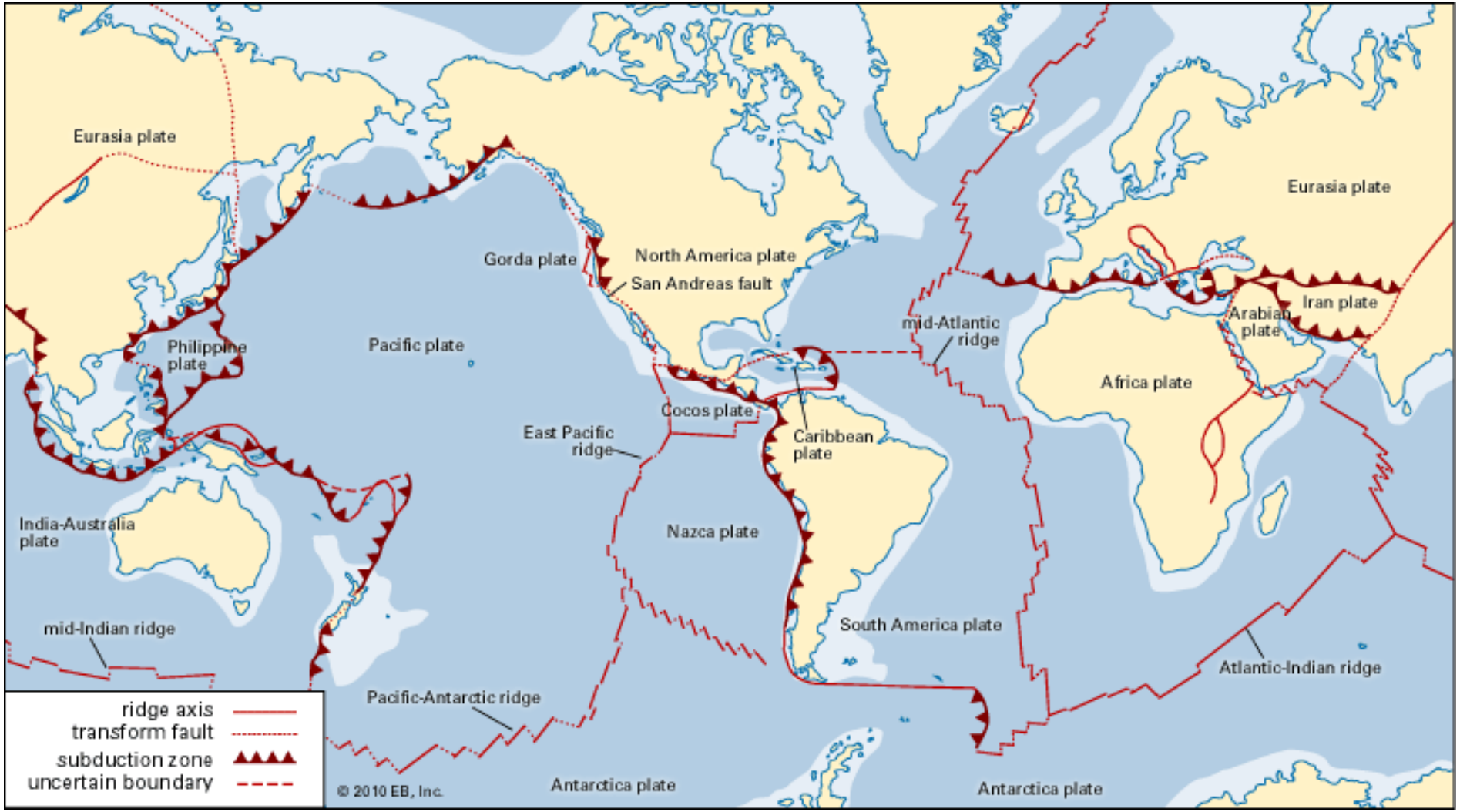
- **زلزله‌های کم عمق:** زلزله‌هایی هستند که عمق وقوع آنها کمتر از ۶۰ کیلومتر است.
- **زلزله‌های با عمق متوسط:** زلزله‌هایی هستند که در اعماق ۶۰ تا ۳۰۰ کیلومتری از سطح زمین اتفاق می‌افتند.
- **زلزله‌های عمیق:** زلزله‌هایی هستند که عمق وقوع آنها بیش از ۳۰۰ کیلومتر است.



منطقه‌های زلزله‌خیز

بررسی‌های صورت گرفته در مورد چگونگی توزیع محل‌های وقوع زلزله در جهان بیانگر این مطلب است که اکثر زلزله‌ها روی **کمربندهای خطی**[۲] متمرکز شده‌اند. این کمربندها در ارتباط با مرز صفحه‌ها هستند. اکثر زلزله‌ها در مرز صفحه‌های همگرا که محل فرورانش یا برخورد صفحه‌ها با یکدیگر هستند، به وقوع می‌پیوندد. این منطقه‌ها محل تمرکز انرژی در سنگ‌ها می‌باشند. در مرزهای واگرا و محل گسل‌های تبدیلی، زلزله‌های با عمق کم رخ می‌دهد. شکل توزیع زلزله‌ها را در دنیا نشان می‌دهد. این نقطه‌ها بیانگر **محل‌های فرورانش**[۱] هستند.

Subduction zones


Eurasia plate
Gorda plate
North America plate
San Andreas fault
Philippine plate
Pacific plate
Cocos plate
East Pacific ridge
Caribbean plate
India-Australia plate
Nazca plate
mid-Indian ridge
South America plate
Pacific-Antarctic ridge
Antarctica plate
Eurasia plate
mid-Atlantic ridge
Arabian plate
Iran plate
Africa plate
Atlantic-Indian ridge
Antarctica plate
ridge axis
transform fault
subduction zone
uncertain boundary
© 2010 EB, Inc.

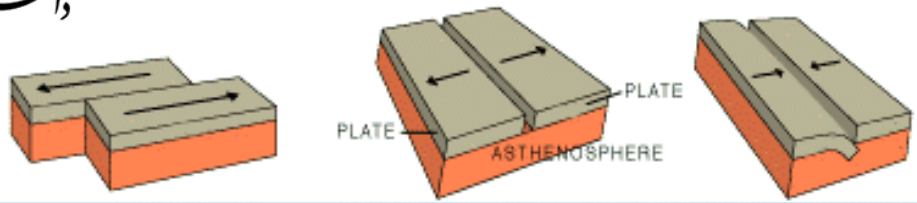
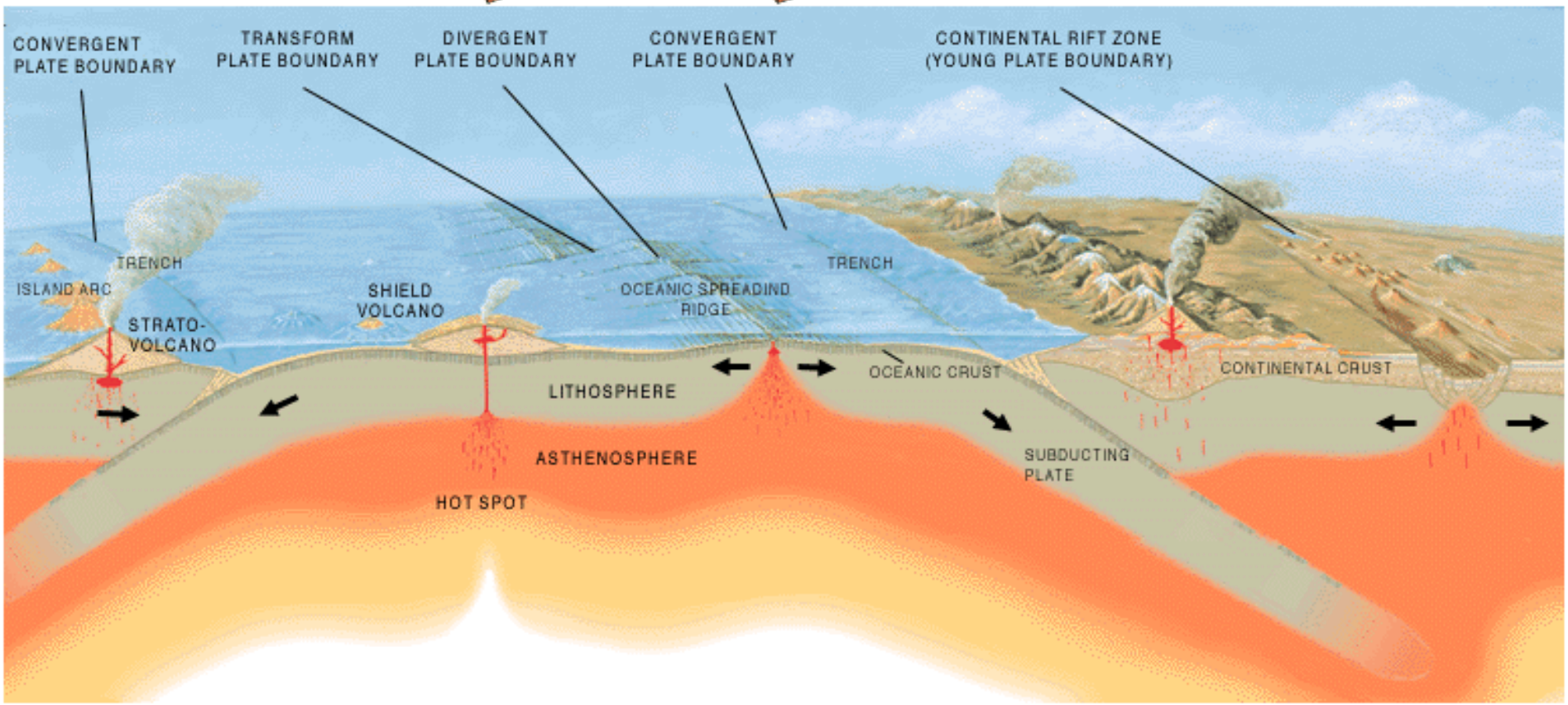


PLATE
PLATE
ASTHENOSPHERE


CONVERGENT PLATE BOUNDARY
TRANSFORM PLATE BOUNDARY
DIVERGENT PLATE BOUNDARY
CONVERGENT PLATE BOUNDARY
CONTINENTAL RIFT ZONE (YOUNG PLATE BOUNDARY)
TRENCH
ISLAND ARC
STRATO-VOLCANO
SHIELD VOLCANO
OCEANIC SPREADIND RIDGE
TRENCH
OCEANIC CRUST
CONTINENTAL CRUST
LITHOSPHERE
ASTHENOSPHERE
HOT SPOT
SUBDUCTING PLATE

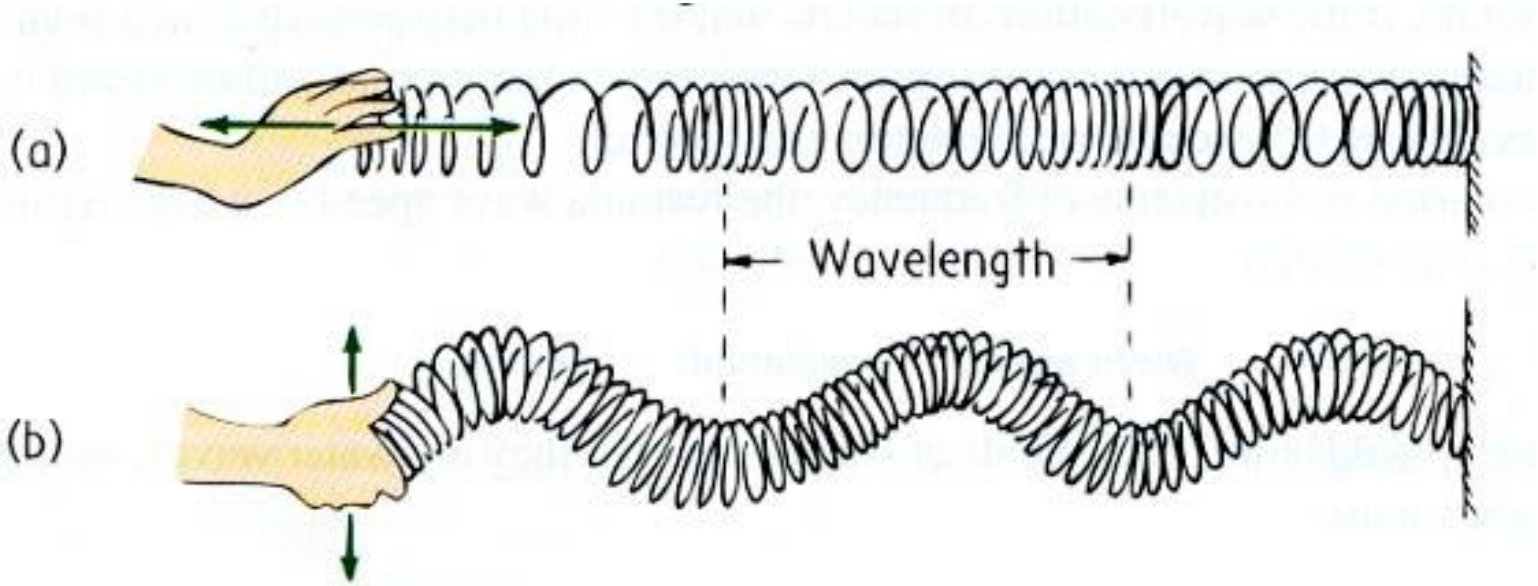
موج‌های لرزه‌ای

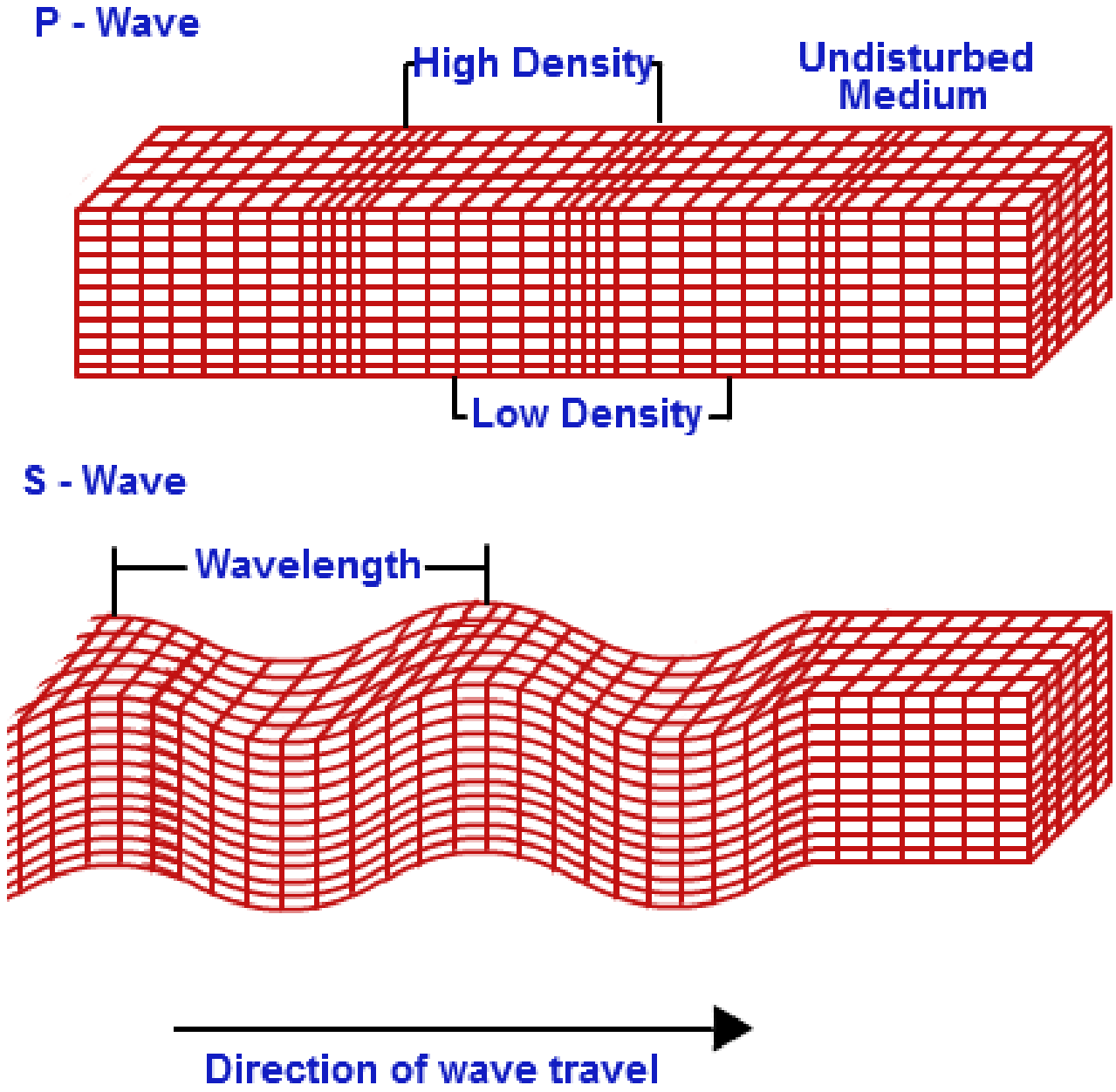
در اثر وقوع زلزله، انرژی ذخیره شده در مواد تشکیل دهنده زمین آزاد شده و به‌صورت موج‌های لرزه‌ای از محل کانون منتشر می‌شوند. انتشار این موج‌ها به صورت شعاعی (کروی) می‌باشند و در تمام جهت‌ها در درون زمین منتشر می‌شوند. موج‌های لرزه‌ای شامل دو دسته موج‌های سطحی و پیکری می‌باشند.

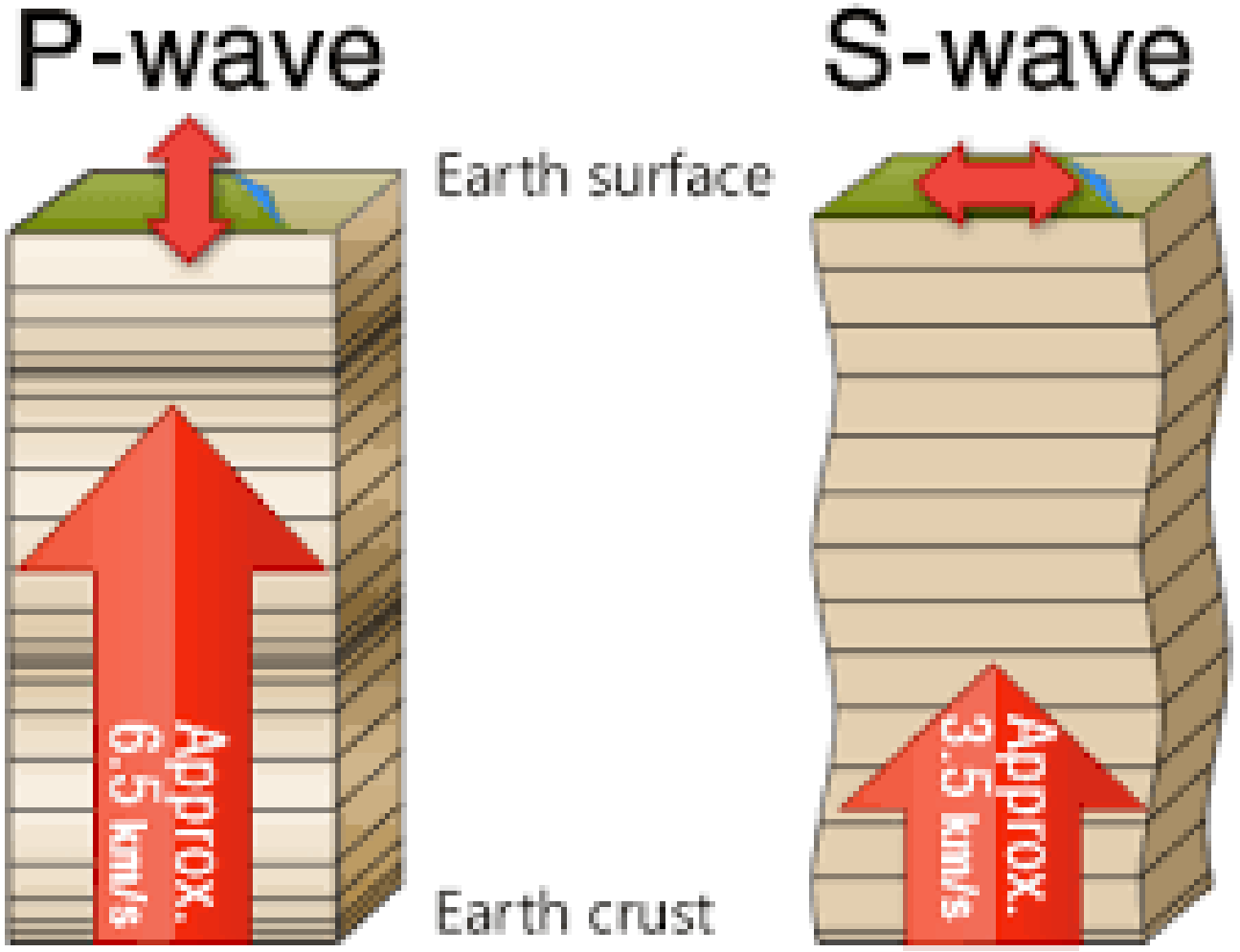
موج‌های پیکری

این موج‌ها خود شامل دو موج P و S می‌باشند. این موج‌ها در قسمت‌های درونی کره زمین حرکت می‌نمایند. موج‌های P از نوع موج‌های تراکمی هستند. هنگامی‌که موج‌های P از یک جسم عبور می‌کنند، جسم فشرده و سپس منبسط می‌شود. موج‌های P از درون زمین عبور می‌کنند و مانند موج‌های صوتی از هوا نیز می‌گذرند. این موج‌ها دارای سرعت بیشتری نسبت به دیگر انواع موج‌ها هستند و درنتیجه، زودتر از موج‌های دیگر به دستگاه ثبت کننده می‌رسند. از این‌رو، این موج‌ها را موج‌های طولی و یا موج‌های اولیه نیز می‌نامند. از نظر ماهیت حرکت، جهت انتشار این موج‌ها در راستای جهت ارتعاش آنها است.

موج‌های S یا موج‌های عرضی که آنها را موج‌های ثانویه نیز می‌نامند، گروه دیگری از موج‌های پیکری هستند که در درون زمین حرکت می‌کنند. نحوه حرکت این موج‌ها به گونه‌ای است که جهت انتشار آنها عمود بر جهت ارتعاش آنها می‌باشد. این موج‌ها فقط از مواد جامد عبور می‌نمایند و قادر به عبور از محیط‌های سیّال و هوا نیستند.

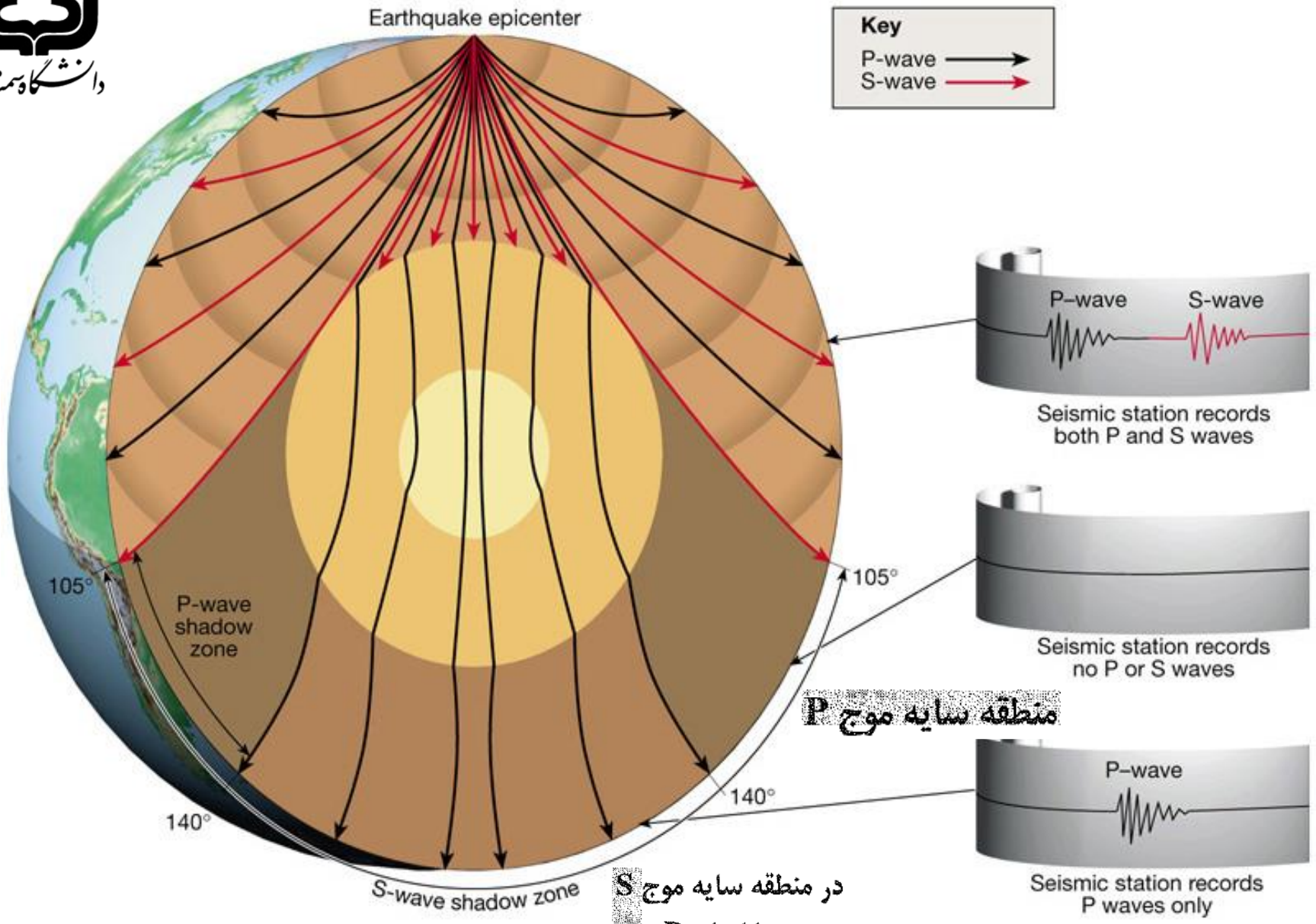



P - Wave
High Density
Undisturbed Medium
Low Density
S - Wave
Wavelength
Direction of wave travel



P-wave and S-wave of seismic waves

شکل نحوه حرکت و انتشار موج‌های پیکری را در درون زمیـن نشان می‌دهد. همان‌گونه‌که از شکل پیداست، موج‌های طولی قادر به حرکت و انتشار در هسته درونی زمین می‌باشند. در صورتی‌که موج‌های عرضی نمی‌توانند از محیط سیّال گونه، مانند هسته درونی زمین عبور نمایند. این تفاوت در ماهیت انتشار موج‌های لرزه‌ای، زمین شناسان را قادر می‌سازد تا ساختار درون زمین را مورد مطالعه و بررسی قرار دهند.

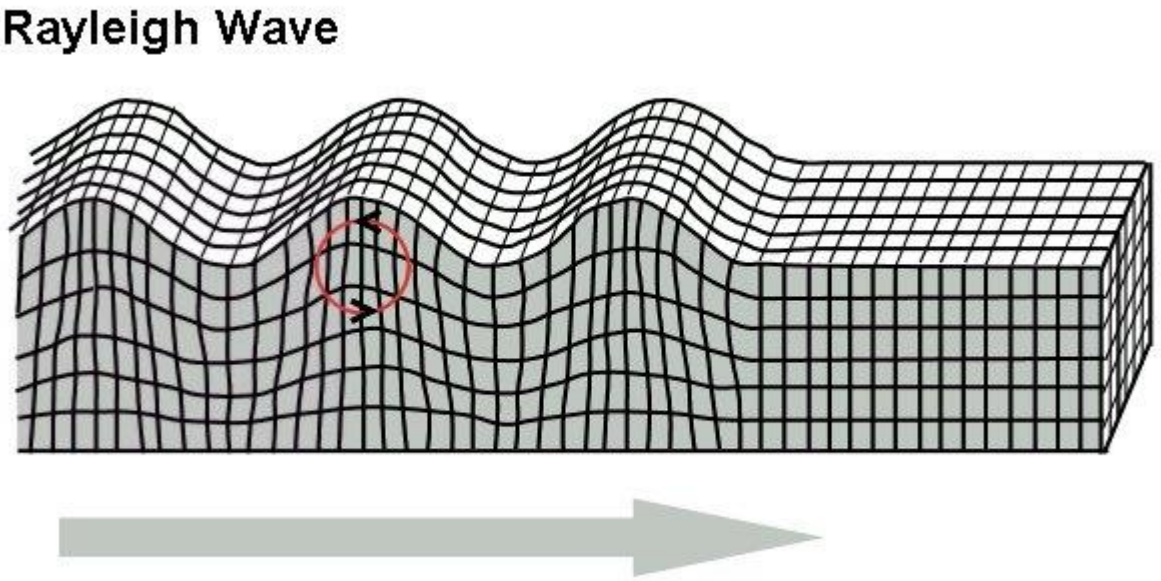


در منطقه سایه موج S
تنها امواج P
دریافت می‌شود

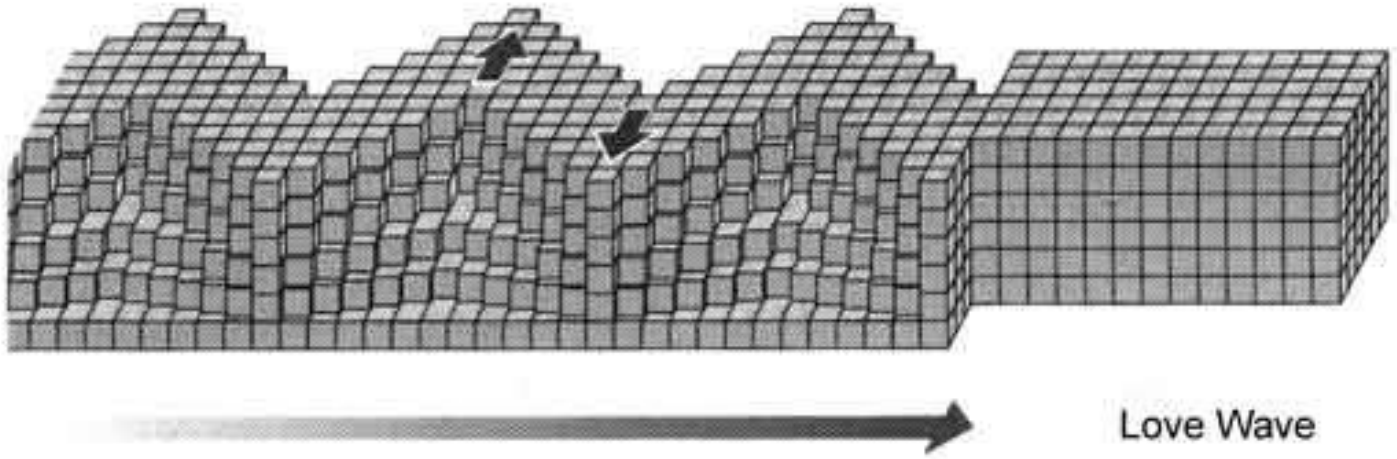
نحوه انتشار موج‌های پیکری در درون زمین

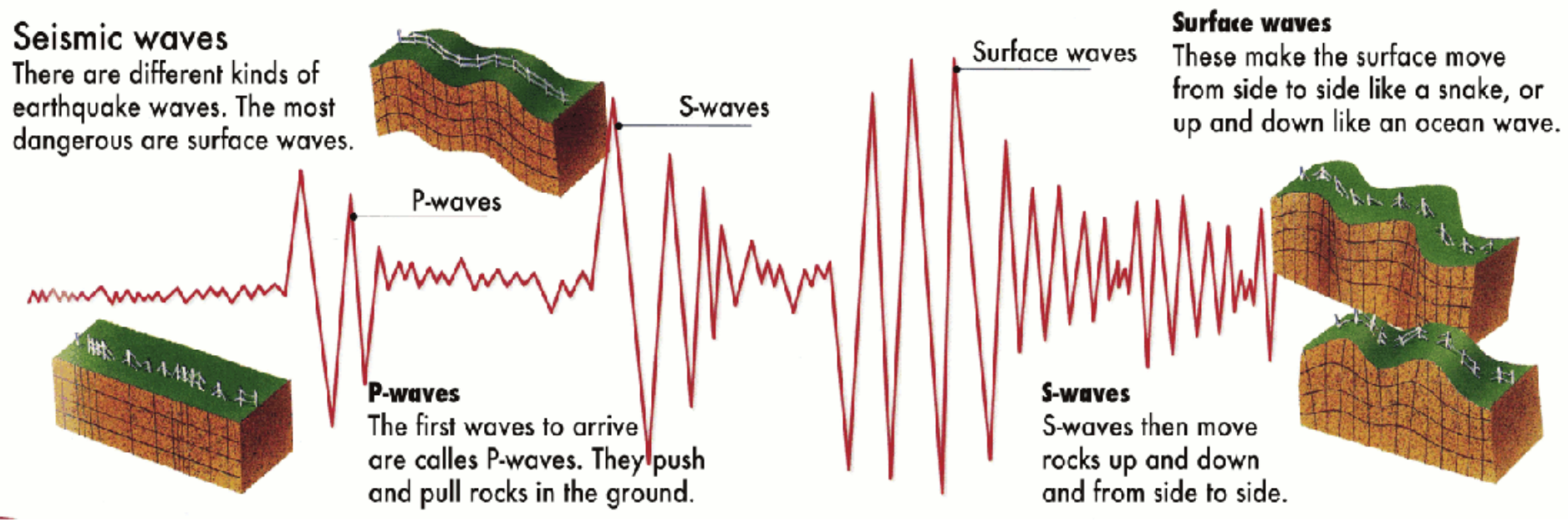
موج‌های سطحی

موج‌های سطحی لرزه‌ای، همان‌گونه‌که از نامشان مشخص است، موج‌هایی هستند که در سطح زمین حرکت می‌کنند و انتشار می‌یابند. درست مانند موج‌هایی‌که از سطح یک مایع عبور می‌نمایند. این موج‌ها خود به دو دسته **موج‌های رایلی**[۲] و **لاو**[۳] تقسیم می‌شوند. موج‌های رایلی (LR) از تداخل موج‌های طولی و عرضی در سطح زمین به وجود می‌آیند و در نتیجه دارای حرکت بیضوی پسگرا در سطح عمود بر امتداد انتشار موج می‌باشند. سرعت این موج‌ها از موج‌های پیکری کمتر است.

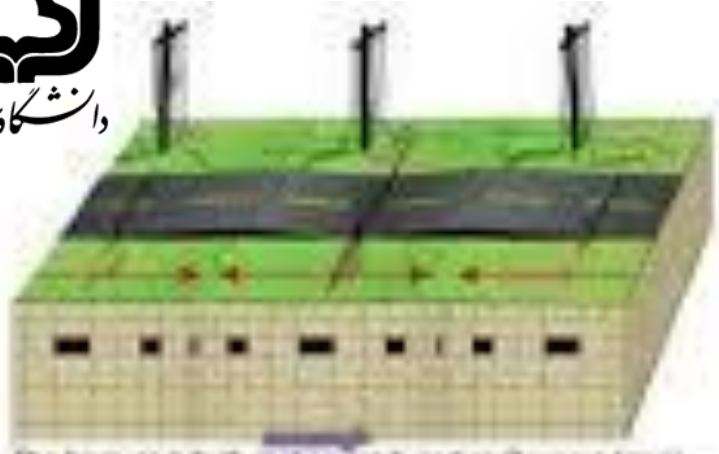


نوع دیگر موج‌های سطحی، موج‌های لاو هستند که آنها را با LQ نشان می‌دهند. این موج‌ها از تداخل موج‌های برشی افقی ایجاد می‌شوند و نحوه انتشار آنها همان‌گونه که در شکل نشان داده شده، به صورت افقی در سطح زمین است. این نوع موج‌های سطحی نسبت به نوع رایلی دارای سرعت بیشتر بوده ولی نسبت به موج‌های پیکری دارای سرعت کمتر می‌باشند. موج‌های سطحی با توجه به ماهیت انتشار آنها سبب وارد شدن خسارت‌های زیادی در حین وقوع زلزله می‌شوند.

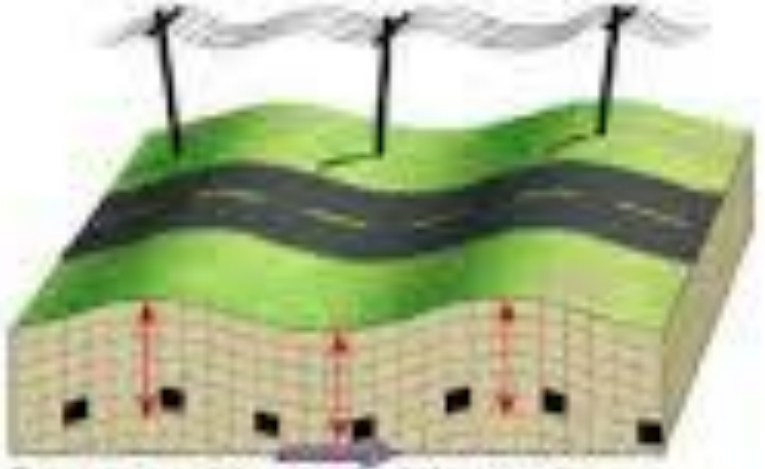



Seismic waves
There are different kinds of earthquake waves. The most dangerous are surface waves.
P-waves
S-waves
Surface waves
Surface waves
These make the surface move from side to side like a snake, or up and down like an ocean wave.
P-waves
The first waves to arrive are calles P-waves. They push and pull rocks in the ground.
S-waves
S-waves then move rocks up and down and from side to side.

دانشگاه سمنان



The back-and-forth motion produced as P waves travel along the surface can cause the ground to buckle and fracture.



S waves cause the ground to shake up-and-down and sideways.

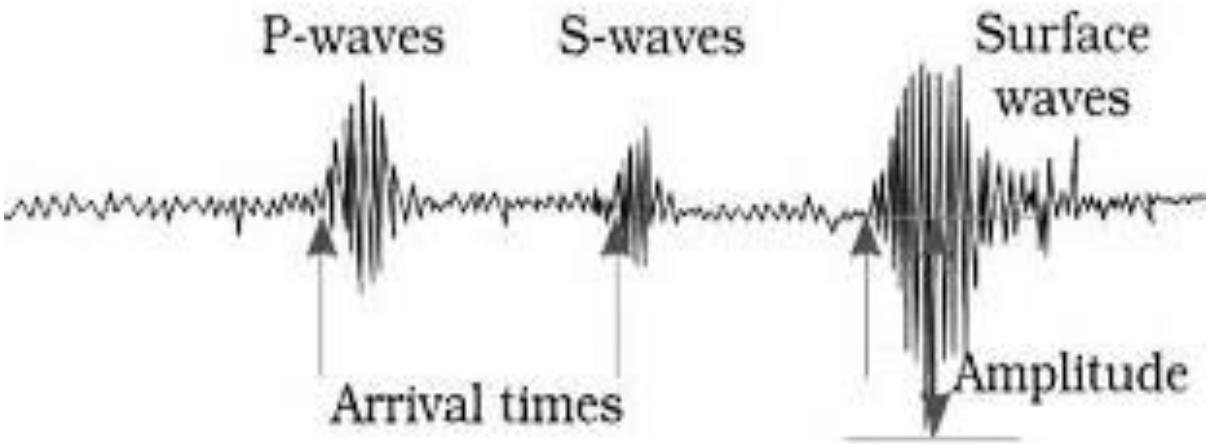
One type of surface wave moves the ground from side to side and can damage the foundations of buildings.

Another type of surface wave travels along Earth's surface much like rolling ocean waves. The arrows show the movement of rock as the wave passes. The motion follows the shape of an ellipse.

21

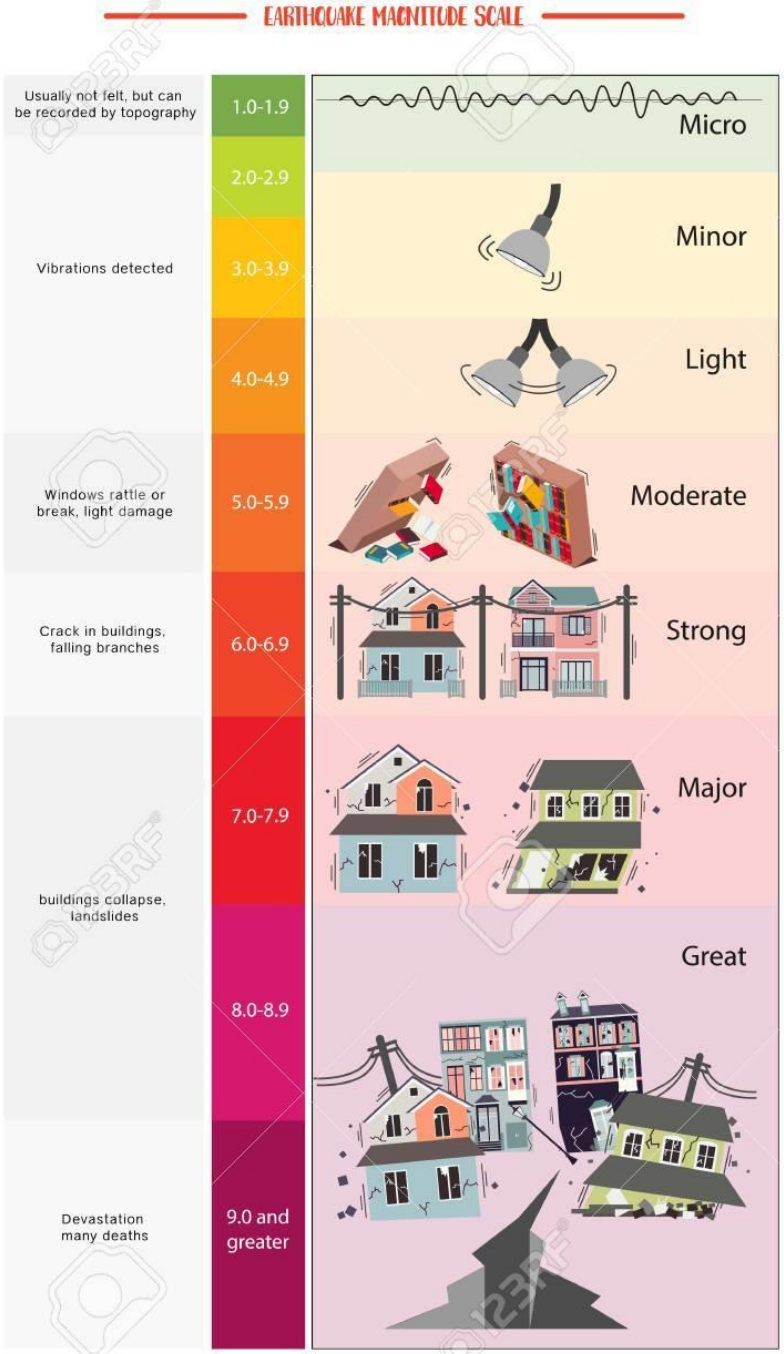
تعیین مرکز زلزله

محل وقوع زلزله را می‌توان با استفاده از موج‌های لرزه‌ای پیکری مشخص و معین نمود. هر دو نوع موج پیکری سبب حرکت زمین می‌شوند. این‌گونه حرکت‌ها را می‌توان به وسیله لرزه‌نگاشت ثبت نمود. با توجه به این‌که موج‌های P دارای سرعت بیشتری نسبت به موج‌های S می‌باشند، زودتر به دستگاه رسیده و ثبت می‌شوند. لذا اولین دریافت موج‌ها مربوط به موج‌های P می‌باشد و دریافت‌های بعدی مربوط به موج‌های S است. تفاوت زمانی مربوط به دریافت موج‌های P و S تابعی از فاصله ایستگاه تا مرکز زلزله می‌باشد.



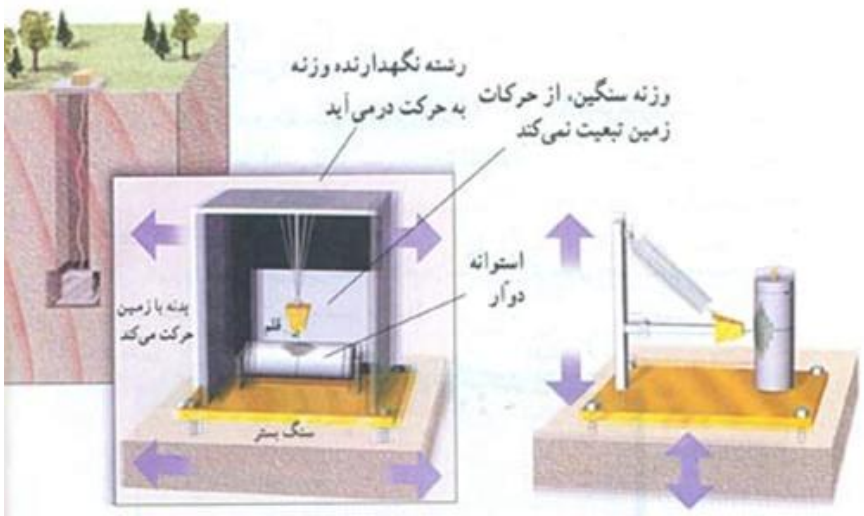
بزرگی زلزله

تمام موج‌های لرزه‌ای نشان دهنده آزاد شدن انرژی و انتشار آن هستند. این موج‌ها سبب لرزش زمین می‌شوند که از آن به عنوان زلزله نام برده می‌شود. بیشتر خسارت‌های وارد شده به ساختمان‌ها در نتیجه عملکرد موج‌های سطحی زلزله است. میزان لرزش زمین یا به عبارتی حرکت قائم زمین به پارامتری به نام **بزرگی زلزله**[1] بستگی دارد. بزرگی زلزله بر اساس **مقیاس ریشتر**[2] بیان می‌شود. مقیاس ریشتر یک مقیاس کمی برای بیان میزان انرژی آزاد شده به وسیله زلزله می‌باشد که بر اساس اطلاعات دستگاهی محاسبه می‌گردد.



Richter Magnitude	Earthquake effects
0-2	Not felt by people
2-3	Felt little by people
3-4	Ceiling lights swing
4-5	Walls crack
5-6	Furniture moves
6-7	Some buildings collapse
7-8	Many buildings destroyed
8-Up	Total destruction of buildings, bridges and roads

عدد بزرگی زلزله براساس مقدار جابجایی یا مقدار لرزش ایجاد شده به وسیله آن زلزله می‌باشد. مقدار جابجایی زمین به وسیله یک لرزه‌نگاشت اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اینکه لرزش زمین با افزایش فاصله از محل وقوع زلزله کاهش می‌یابد، قرائت‌ها برای فاصله ایستگاه اندازه‌گیری از مرکز سطحی زلزله تطبیق داده می‌شود. بنابراین، اندازه‌گیری‌های گوناگون ایستگاه‌ها در نقطه‌های متفاوت، مقادیر مشابهی برای بزرگی را خواهند داد. مقیاس ریشتر یک مقیاس لگاریتمی است به این معنی که، در یک زلزله با بزرگی ۴ ریشتر حرکت زمین به میزان ۱۰ برابر بیشتر از یک زلزله با بزرگی ۳ ریشتر و صد برابر بیشتر نسبت به یک زلزله با بزرگی ۲ ریشتر خواهد بود.



شدت زلزله

روش دیگر برای بیان قدرت و اندازه زلزله، شدت زلزله است. شدت زلزله اندازه‌گیری تأثیر زلزله بر روی انسان و ویژگی‌های سطحی زمین است. میزان احساس انسان‌ها از زلزله متفاوت است. همچنین میزان تأثیر یک زلزله تابع عامل‌هایی مانند شرایط محلی زمین شناسی، کیفیت ساخت و فاصله از مرکز سطحی زلزله است. به این ترتیب یک زلزله با بزرگی مشخص می‌تواند اثرات بسیار متنوع را در محل‌های متفاوت ایجاد کند. نرخ شدت زلزله به‌طور مستقیم به وسیله مشاهده افراد بیان می‌شود.

شدت زلزله براساس مقیاس مرکالی

شدت	توصیف
I	بدون احساس
II	فقط به وسیله افرادی که در طبقه‌های بالای ساختمان در حال استراحت هستند احساس می‌شود.
III	در فضای باز احساس می‌شود و مانند ارتعاش ناشی از عبور یک کامیون سبک است.
IV	ارتعاش مانند عبور کامیون‌های سنگین است. اتومبیل‌های پارک شده، پنجره‌ها و درها صدای تق‌تق می‌دهند. دیوارهای چوبی یا چهارچوب‌ها ممکن است ترک بردارند.
VI	ارتعاش زمین به وسیله همه افراد قابل حس است، بسیاری وحشت‌زده می‌شوند، افراد در حال حرکت نامتعادل می‌شوند. شیشه‌ها، پنجره‌ها و حباب‌ها شکسته، وسیله‌های داخل قفسه‌ها به صدا در می‌آیند. قاب عکس‌های روی دیوار ترک برمی‌دارد. زنگ‌های کوچک به صدا درمی‌آیند. درخت‌ها و بوته‌ها می‌شکنند.
VII	ایستادن مشکل است. به ساختمان‌های سست مانند خانه‌های خشتی خسارت وارد می‌شود. شکاف در بتون ایجاد می‌شود. پوشش دیوارها فرو می‌یریزد. دیوارهای آجری و خشتی کج و خراب می‌شوند، در روی آب استخرها موج ایجاد می‌شود، آب گل‌آلود می‌شود. لغزش‌های کوچک در طول خاکریزهای شن و ماسه‌ای ایجاد می‌شوند و زنگ‌های بزرگ به صدا درمی‌آیند. ساختمان‌ها خسارت‌های کلی می‌بینند.

شدت زلزله براساس مقیاس مرکالی

VIII	رانندگی با اتومبیل مشکل می‌شود، به ساختمان‌های سست آسیب و خسارت‌های جدی وارد می‌شود و یا اینکه فرو می‌ریزند، دودکش‌ها و پرچم‌ها فرو می‌ریزند، قاب ساختمان‌ها روی پی جابجا می‌شود (اگر مهار نشده باشد). در سطح آب چاه‌ها و چشمه‌ها تغییر ایجاد می‌شود.
VX	وحشت عمومی، اسکلت ساختمان‌ها کج می‌شوند (اگر مهار نشده باشد). قاب ساختمان‌ها ترک برمی‌دارند، خسارت-هایی ممکن است به ساختمان‌های معمولی تقویت شده وارد شود، لوله‌های مدفون شکسته می‌شوند، ترک در زمین پدیدار می‌شود.
X	بیشتر ساختمان‌های معمولی و اسکلتی همراه با پی آنها تخریب می‌شوند، خسارت‌های اساسی به سدها و بندها وارد می‌شود، زمین لغزش‌های بزرگ اتفاق می‌افتند. در ریل‌های راه‌آهن انحناء به وجود می‌آید.
XI	ریل‌های راه‌آهن زیاد خم می‌شوند، خط لوله‌های مدفون به طور کامل از بین می‌رود و غیرقابل استفاده می‌شوند، ساختمان‌ها در هم می‌ریزند.
XII	خسارت بسیار زیاد است، توده‌های سنگی بزرگ جابجا می‌شوند، اشیاء به هوا پرتاب می‌گردند.

خطرهای ناشی از زلزله

افزون بر خسارت‌های وارد شده به ساختمان‌ها و دیگر تأسیسات به وسیله زلزله، خطرهایی مانند حرکت زمین، آتش سوزی، گسیختگی زمین، سونامی و سیلاب‌های ساحلی قابل توجه هستند.

حرکت زمین

اولین عارضه زلزله حرکت افقی و قائم زمین می‌باشد که در زلزله‌های بزرگ قابل توجه است. گرچه عامل‌هایی مانند جنس زمین و ژئومرفولوژی نقش اصلی را در میزان خسارت‌ها دارند، امّا حرکت قابل توجه زمین در دو سمت گسل می‌تواند خطوط لوله‌های آب، گاز، نفت و غیره را از بین ببرد. برای جلوگیری از خسارت‌ها، در حد امکان نباید در محدوده گسل‌ها ساخت و ساز صورت گیرد و خطوط شریان‌های حیاتی خط گسل را قطع نماید. ساختمان‌ها باید ضد زلزله طراحی و ساخته شوند و به‌عبارتی در مقابل زلزله مقاوم باشند.

PHOTO: BILL RAY/TIME LIFE PICTURES/GETTY IMAGES

آتش‌سوزی در اثر زلزله

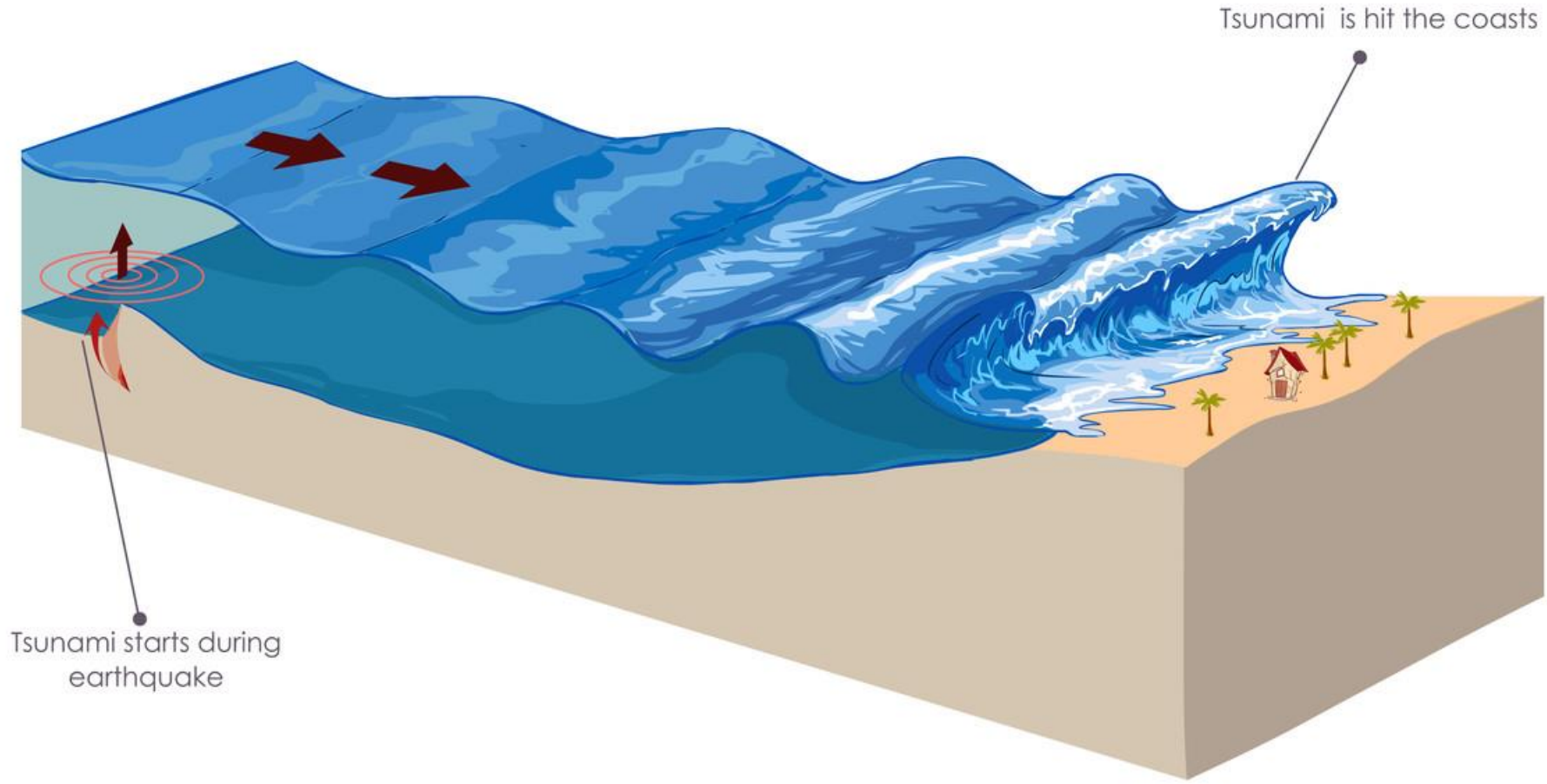
خطر بعدی زلزله در شهرها، آتش سوزی است که ممکن است بسیار مخرب‌تر از حرکت‌های زمین باشد. به‌طورمثال؛ در زلزله سال ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو ۷۰٪ از خسارت‌های وارد شده ناشی از آتش‌سوزی بوده است. همچنین آتش‌سوزی ناشی از زلزله ۱۹۹۵ کوبه-ژاپن[1] نمونه‌ای دیگر از خطر ناشی از زلزله می‌باشد. بیشتر آتش‌سوزی‌ها ناشی از خسارت‌های وارد شده به خطوط برق، گاز، نفت و نیز ترکیدن تانک‌ها، کپسول‌های گاز و غیره می‌باشد. از آن‌جائی‌که خطوط انتقال آب نیز در اثر زلزله خسارت می‌بینند، امکان مهار آتش‌سوزی به وسیله آب امکان‌پذیر نمی‌باشد و لذا دامنه آتش سوزی می‌تواند به‌طور وحشتناکی گسترش یابد.

گسیختگی‌های زمین در اثر زلزله

انواع گوناگون گسیختگی‌ها در زمین می‌تواند در اثر زلزله ایجاد شود. یکی از معمول‌ترین آنها زمین لغزش است که در منطقه‌های کوهستانی به وقوع می‌پیوندد. زلزله در اصل به عنوان عامل محرک برای وقوع زمین لغزش می‌باشد. در اثر وقوع زمین لغزش افزون بر خسارت‌های وارد شده به جاده‌ها، خطوط انتقال برق، آب، گاز، نفت و غیره، زمین‌های کشاورزی و منطقه‌های مسکونی نیز ممکن است خسارت‌های کلی ببینند.

سونامی در اثر زلزله

در اثر وقوع زلزله در دریاها و اقیانوس‌ها و یا ناحیه‌های ساحلی موج‌های بلندی ایجاد می‌شود که به **سونامی**[1] معروفند. این موج‌ها که می‌توانند ارتفاع بسیار بلندی داشته باشند، منطقه‌های وسیعی از سواحل را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. این موج‌های بلند می‌توانند منطقه‌های ساحلی را تخریب نمایند و در هنگام عقب‌نشینی آب، مواد تخریب شده را به دریا حمل کنند.

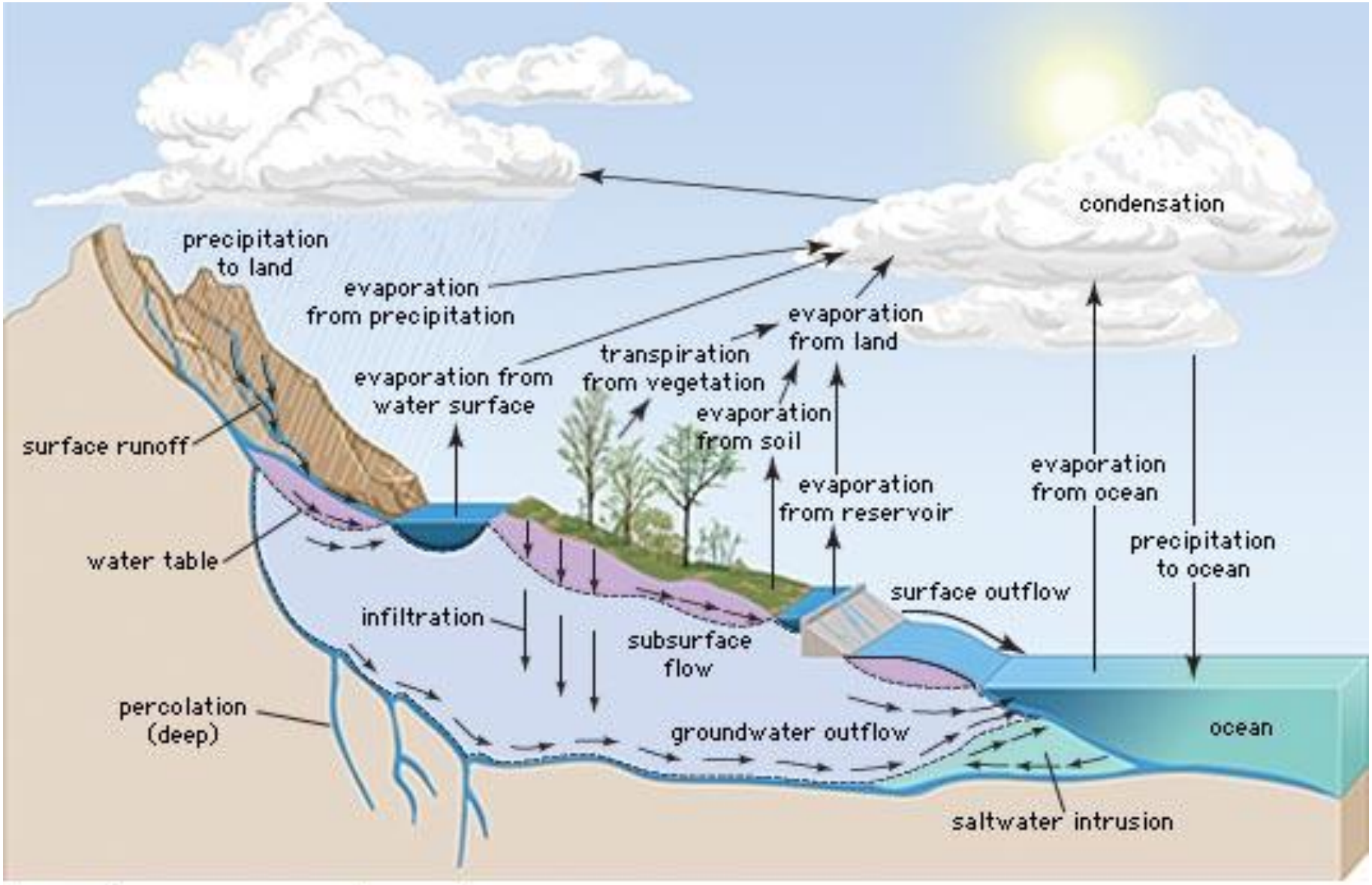

Tsunami is hit the coasts
Tsunami starts during earthquake

آب در زمین

آب از فراوان‌ترین و مهمترین منابع تجدید پذیر روی زمین محسوب می‌شود. امّا یک منبع ناهمگن است که به صورت‌های گوناگون مایع، جامد و بخار یافت می‌شود. تجدید این ماده با توجه به مکان‌های گوناگون، متفاوت و ممکن است از چند روز تا چند هزار سال به‌طول انجامد. همه منابع آبی روی زمین برای استفاده انسان مناسب نبوده و فقط یک درصد مقدار کل آب زمین قابل استفاده است. منابع آب شیرین در سراسر دنیا به‌صورت نامتعادل توزیع شده است و کمبود آب، اختلالاتی را در جوامع بشری به‌وجود آورده است. این امر استفاده از آب‌های زیرزمینی را افزون نموده و بر میزان ذخایر آب تاثیر فراوان داشته و سبب کاهش منابع گردیده است. همچنین آب یکی از مهمترین عامل‌های موثر بر سازه‌های مهندسی است و آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان‌مثال؛ جریان‌های سطحی یا سیلاب می‌تواند سازه‌های گوناگون مهندسی مانند پل‌ها، راه‌های ارتباطی و دیگر ساختمان‌ها را مورد تهدید و تخریب قرار دهد. آب‌های زیرزمینی تأثیر زیادی بر سازه‌های مهندسی دارند. لذا حرکت آب و قوانین حاکم بر این جریان‌ها در زمین‌شناسی مهندسی و مهندسی عمران باید به دقّت مورد بررسی قرار گیرد.

گردش آب در طبیعت

ریزش‌های جوّی شامل برف و باران می‌باشند که بر سطح زمین می‌بارند. بخشی از این نزول‌ها تحت تأثیر عامل‌های گوناگون به‌صورت بخار به بالا صعود می‌نمایند و ابرها را تشکیل می‌دهند. قسمتی نیز در زمین نفوذ می‌کند و تشکیل سفره‌ها یا مخزن‌های آب‌های زیرزمینی را می‌دهند. بخشی نیز در سطح زمین جاری می‌شود و آب‌های جاری را تشکیل می‌دهند. آب‌های تبخیر شده نیز دوباره به‌صورت نزول‌های جوّی به زمین برمی‌گردند. به همین ترتیب آب‌های جوّی، آب‌های زیرزمینی و سطحی به‌طور دائم با یکدیگر در ارتباط هستند و به‌صورت یک چرخه بسته عمل می‌نمایند. این چرخه آب را گردش آب در طبیعت می‌نامند.



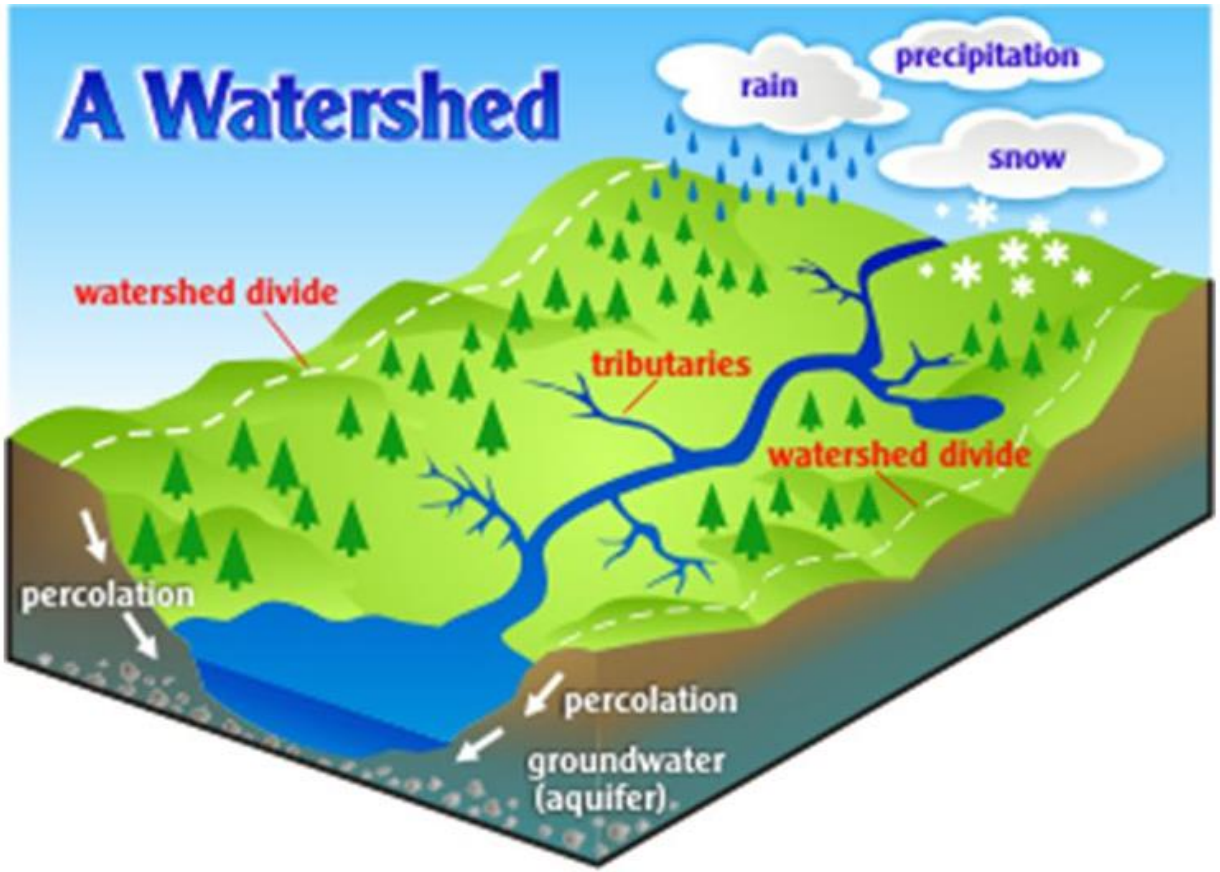
© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

آب‌های جاری

آب‌های جاری محصول ریزش و بارش برف، باران و تگرگ در سطح زمین می‌باشند. در اثر جاری شدن آب ناشی از بارش باران و ذوب برف‌ها، آب‌های جاری به صورت رودخانه‌های دائمی یا فصلی شکل می‌گیرند. نقش و عملکرد آب‌های جاری در زمین شناسی مهندسی و مهندسی عمران اهمّیت زیادی دارد. زیرا اغلب شهرها در حاشیه رودخانه‌ها ساخته شده‌اند و احداث سد و پل، در مسیر رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. به همین دلیل، در این بخش رودخانه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

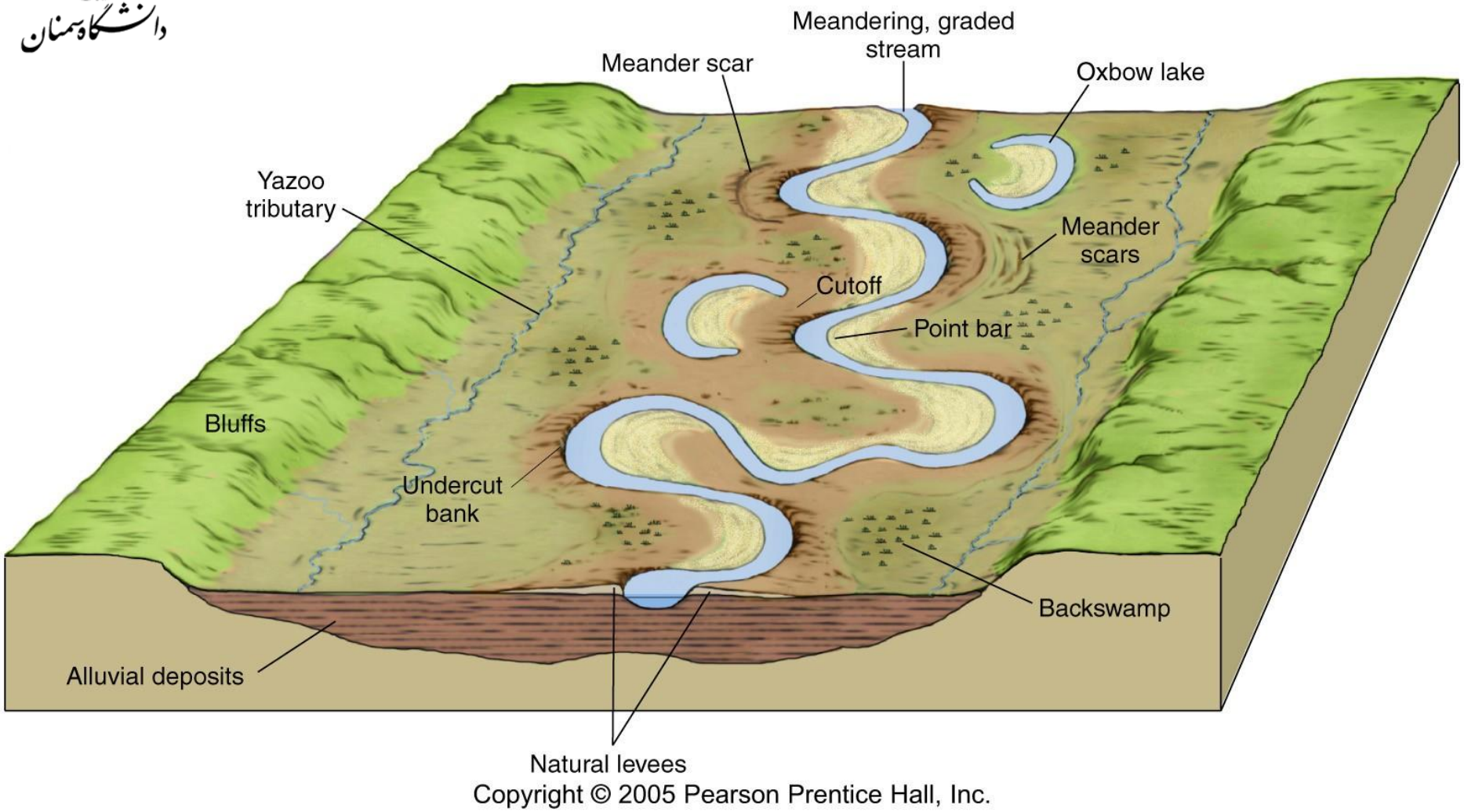
ویژگی‌های رودخانه

یک رودخانه از یک منطقه مرتفع شکل می‌گیرد. منطقه‌ای که آب یک رود را تشکیل می‌دهد، حوضه آبریز گویند. پس از شکل‌گیری، رودخانه در مسیری جریان می‌یابد. مسیر جریان ممکن است مستقیم، مئاندری (مآندری) یا شاخه شاخه باشد.



رودخانه‌های مآندری برخلاف

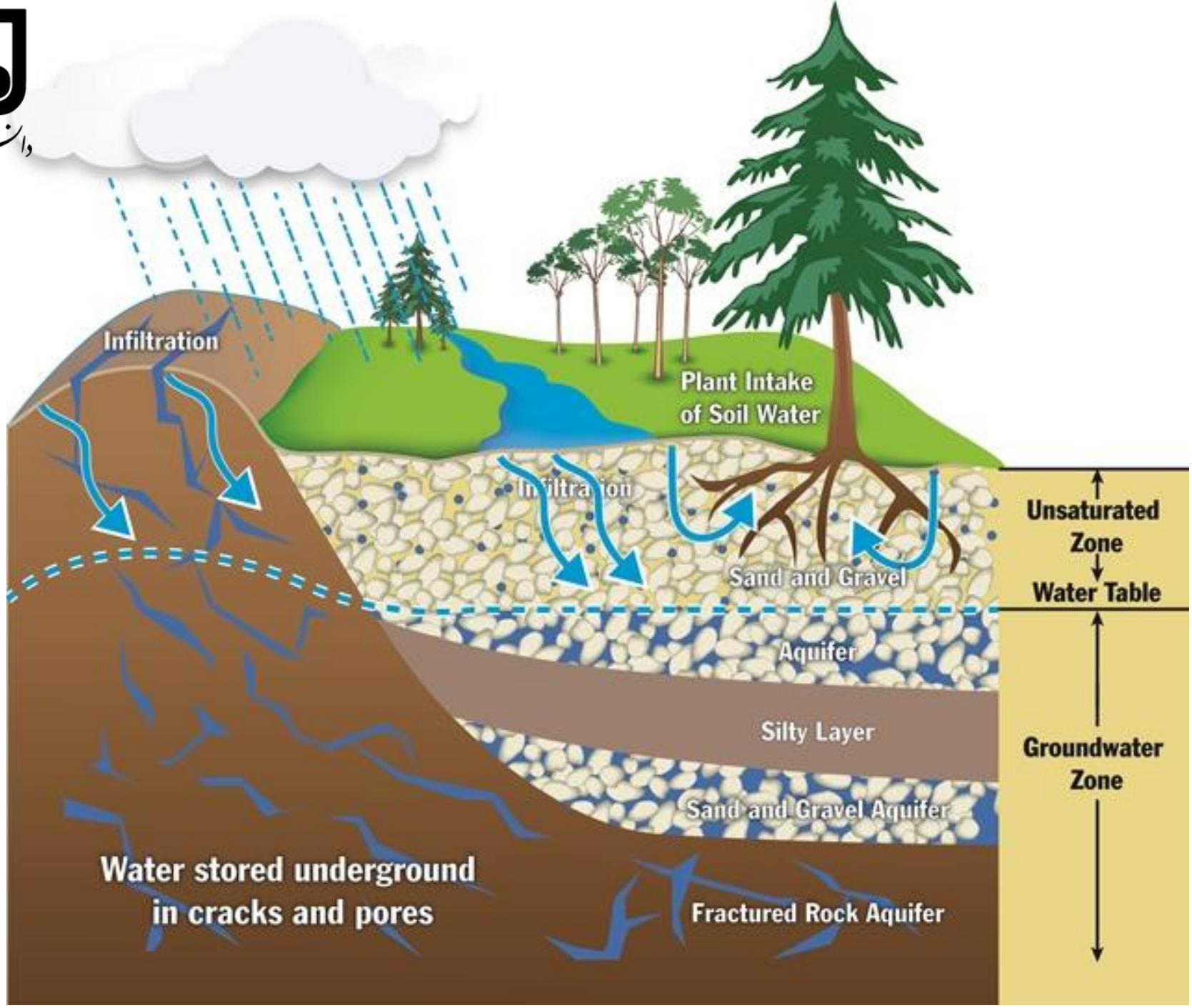
رودخانه‌های شاخه شاخه در یک کانال جریان می‌یابند. در دشت‌ها مسیر جریان به‌صورت مارپیچی می‌باشد. در این نوع کانال‌ها نسبت عرض رودخانه به عمق آن، در مقایسه با رودخانه‌های شاخه شاخه، کمتر است. مسیر رودخانه‌های مئاندری به میزان آب و پوشش گیاهی اطراف مسیر بستگی دارد. مسیر یک رودخانه مئاندری در دشت‌های سیلابی، به علت فرسایش مواد از دیواره مقعر و رسوب‌گذاری در دیواره محدب، جابجا می‌شود. گاهی در اثر تغییر مسیر و بسته‌شدن بخشی از مسیر بر اثر رسوب‌گذاری، دریاچه مآندری در حاشیه مسیر رودخانه به‌وجود می‌آید.

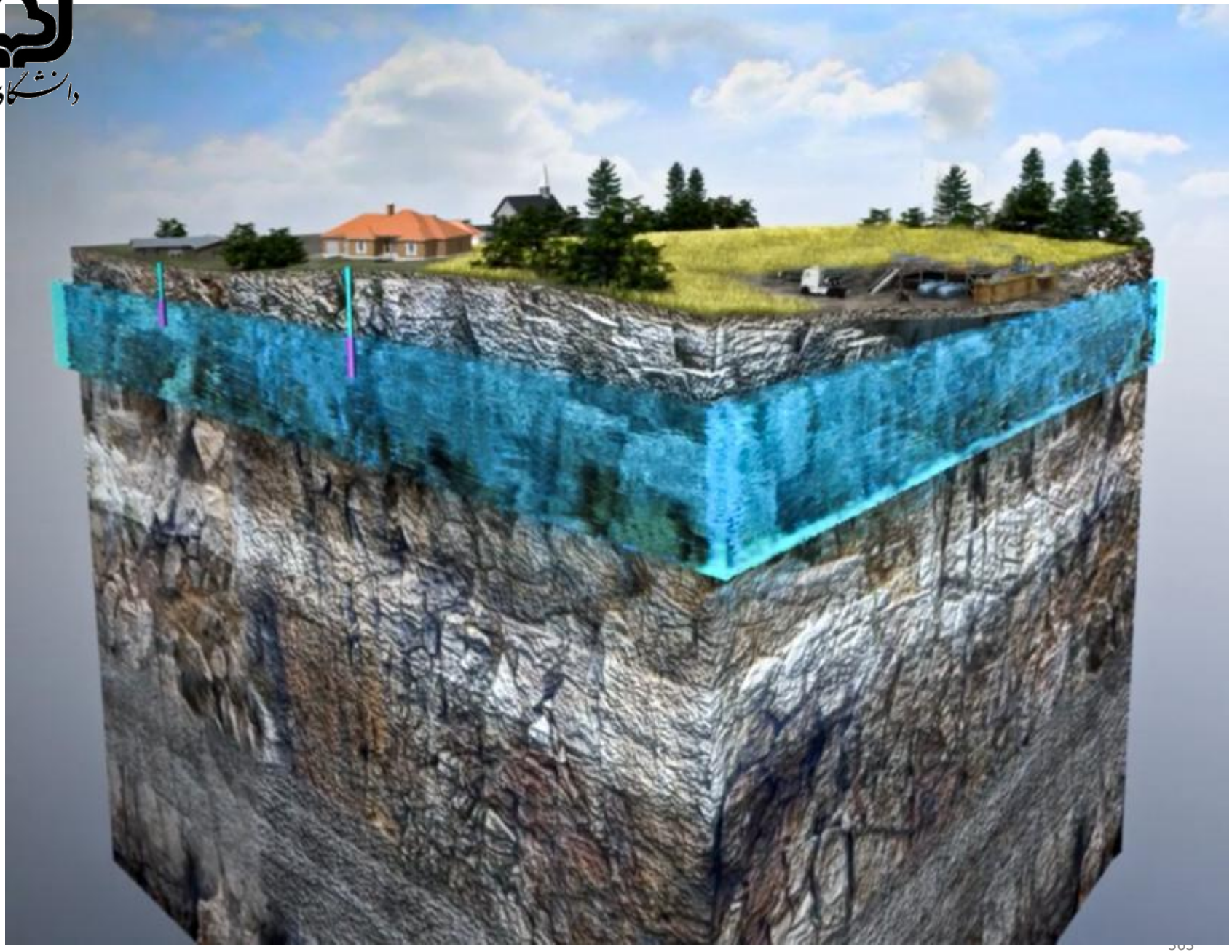

Meandering, graded stream
Meander scar
Oxbow lake
Yazoo tributary
Meander scars
Cutoff
Point bar
Bluffs
Undercut bank
Backswamp
Alluvial deposits
Natural levees
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

آب‌های زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی نیز از ریزش‌های جوّی و جریان‌های سطحی سرچشمه می‌گیرند. آب از منافذ و فضاهای خالی زمین عبور می‌کند و در صورتی که به یک لایه غیر قابل نفوذ برخورد کند، تشکیل سفره‌های آبدار را می‌دهد. در سفره آبدار که منطقه اشباع شده از آب است، فضاهای خالی زمین از آب پر می‌شود، امّا تمام آب آن قابل برداشت نمی‌باشد. تنها بخشی از آب‌های زیرزمینی که می‌توانند آزادانه در داخل زمین جریان یابند، قابل برداشت و بهره‌برداری هستند. برداشت آب از داخل زمین به روش‌های گوناگون مانند استفاده از قنات‌ها، چشمه‌ها و یا چاه‌ها صورت می‌گیرد. مقدار آب ذخیره شده در داخل زمین یا سفره‌های آب زیرزمینی، تابع ویژگی‌های زمین‌شناسی، مانند ویژگی‌های فیزیکی و سنگ‌شناسی مواد تشکیل‌دهنده منطقه است. از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی، فضای خالی یا منفذهای موجود در مواد تشکیل دهنده زمین است

دانشگاه سمنان

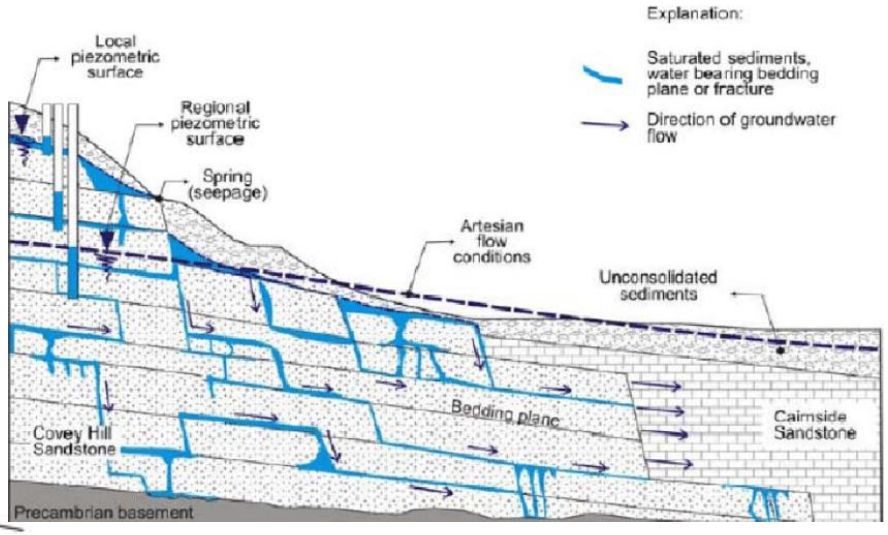


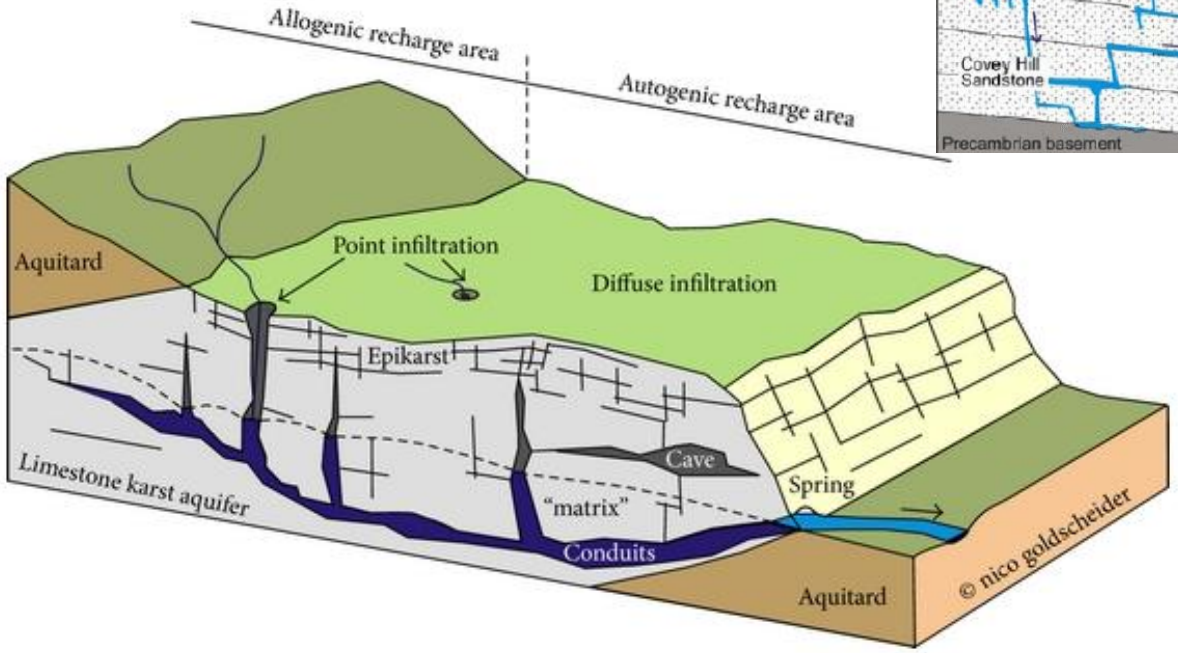


ویژگی‌های زمین شناسی لایه‌های آبدار

ویژگی‌های زمین‌شناسی مواد تشکیل دهنده زمین، تأثیر زیادی بر لایه‌های آبدار دارند. مواد نامتراکم درشت دانه، مانند شن، ماسه و قلوه سنگ‌ها، نیز برای تشکیل سفره‌های آبدار بسیار مناسب هستند. این مواد ممکن است به صورت رسوبات بادی و یخچالی در بستر رودخانه‌های قدیمی و درّه‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی آبرفتی، تلماسه‌های ساحلی و نهشته‌های یخچالی باشند. بستر رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی و نیز مخروط افکنه‌ها، که از رسوب‌های درشت دانه تشکیل شده‌اند، پتانسیل نفوذپذیری بالایی دارند. ماسه‌های ساحلی نیز که اغلب از ماسه‌های جور شده تشکیل شده‌اند، نفوذپذیری بالایی دارند و با نفوذ آب باران، تشکیل سفره‌های آب شیرین را، در منطقه‌های ساحلی، می‌دهند.

افزون بر رسوب‌های سست و غیر متراکم، سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آذرین نیز دارای قابلیت‌های متفاوتی از نظر تشکیل سفره‌های آبدار می‌باشند.

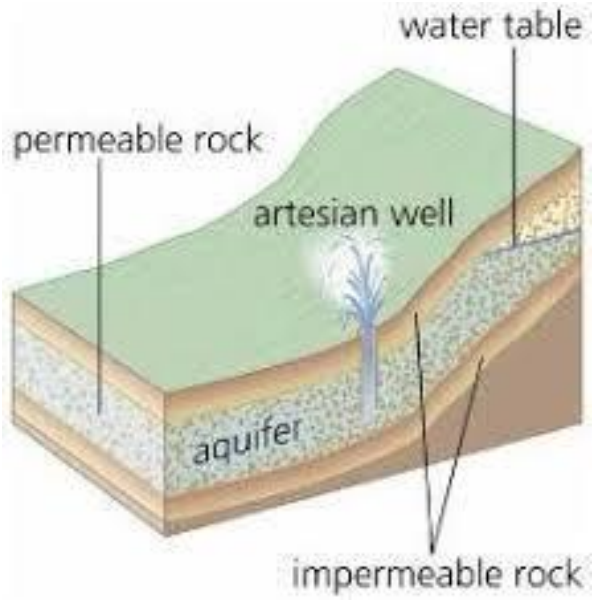


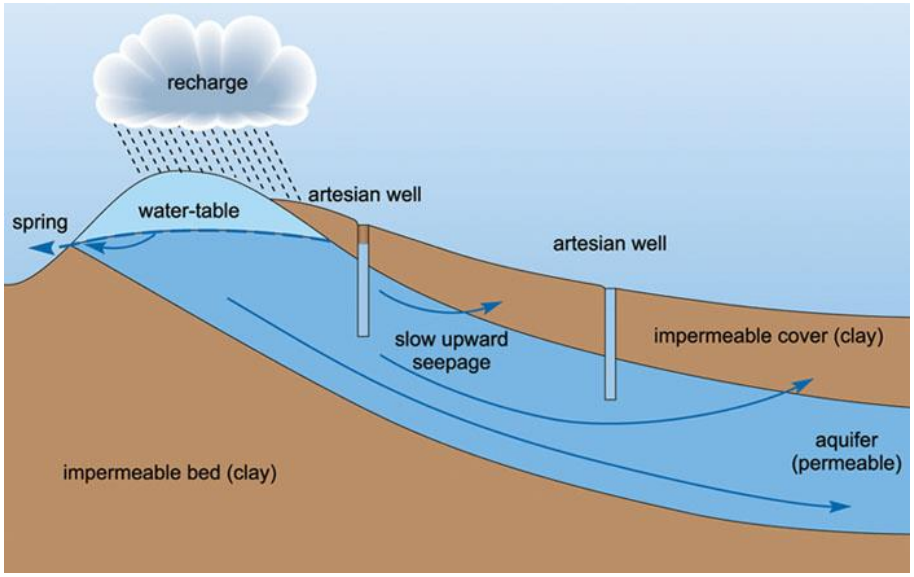


انواع سفره‌های آبدار

به‌طورکلی، لایه‌های آبدار به دو نوع لایه‌های آبدار آزاد و لایه‌های آبدار تحت فشار، تقسیم می‌شوند. لایه‌های آبدار آزاد، از پایین به یک لایه نفوذناپذیر و از بالا به سطح ایستایی محدود می‌باشند. به عبارت دیگر سطح فوقانی لایه‌های آبدار آزاد را مواد نفوذپذیر تشکیل می‌دهند. این نوع سفره‌های آبدار در رسوب‌های آبرفتی، ماسه‌های بادی و یا نهشته‌های یخچالی تشکیل می‌شوند. سطح ایستایی یا سطح آب زیرزمینی در سفره‌های آبدار آزاد نوسان دارد.

لایه‌های آبدار تحت فشار از بالا و پایین توسط لایه‌های نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری خیلی کم محصور می‌شوند. این لایه‌ها دارای سطح ایستایی نمی‌باشند زیرا در صورت حفر چاه، سطح آب در چاه بالاتر می‌آید و ارتفاع آن تابع فشار آب داخل سفره می‌باشد. این سطح به نام **سطح پیزومتری**[1] نامیده می‌شود، برای تعیین ارتفاع و فشار آب، چاهی به قطر ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر حفر می‌شود و در آن لوله‌ای به قطر ۵ تا ۱۵ سانتیمتر نصب می‌کنند. به این نوع چاه‌ها **پیزومتر** گویند. ارتفاع آب در پیزومتر نشان دهنده فشار آب در سفره می‌باشد. در صورتی که سطح پیزومتری بالاتر از سطح زمین قرار گیرد، آب داخل سفره می‌تواند به سطح زمین فوران نماید، به این نوع چاه‌ها **آرتزین**[2] گویند.

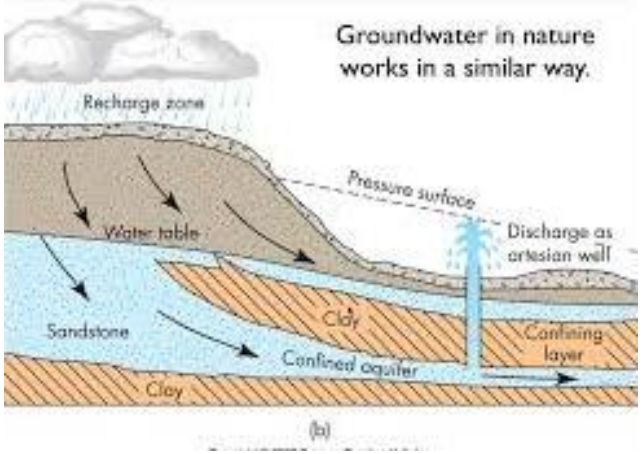




تغذیه سفره‌های آبدار آزاد به‌طور مستقیم از طریق بارش و نفوذ آب به داخل زمین صورت می‌گیرد؛ امّا در سفره‌های تحت فشار، نفوذ آب ممکن است از طریق نشت آب از سفره‌های دیگر صورت گیرد.

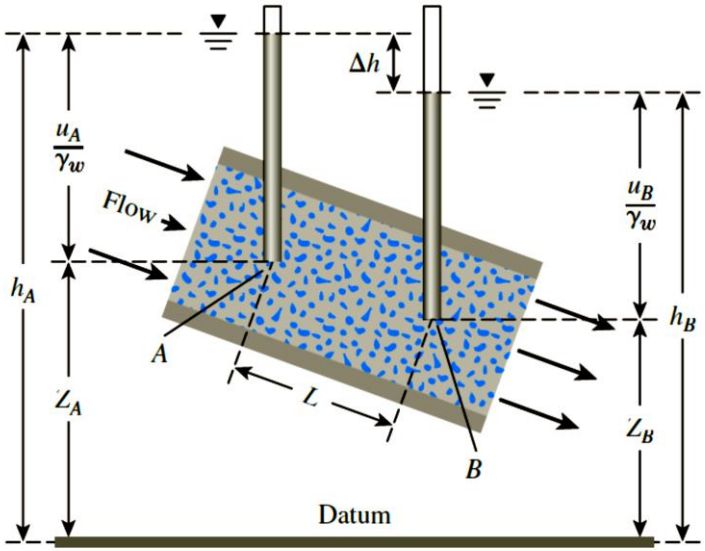
سفره‌های آبدار محصور شده با لایه‌های نیمه نفوذپذیر را سفره‌های نشتی گویند. مقدار آب این سفره‌ها بستگی به فشار آب داخل سفره و یا سفره‌های بالا و پائین خود دارد. از این رو ممکن است آب خود را از دست بدهند و یا اینکه از سفره‌های دیگر تغذیه نمایند.

در ناحیه‌هایی که عدسی‌های رسی در بین رسوبات نفوذپذیر قرار دارند، ممکن است نوعی سفره آبدار به نام سفره‌های آبدار معلّق بوجود آید. در این منطقه‌ها، آب‌های نفوذی در روی این لایه‌های رسی محدود جمع می‌شوند. این سفره‌ها اغلب موقتی هستند و در فصل بارندگی آبدار می‌باشند.



حرکت آب در زیر زمین

به‌طورکلی آب در داخل زمین از نقطه‌های پرانرژی به نقطه‌های کم انرژی حرکت می‌کند. انرژی آب در داخل زمین تابع ارتفاع و فشار آب است. پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل چگونگی جریان آب در زمین یکی از مسئله‌های بسیار مهم در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. گرچه آب در داخل زمین مسیرهای پرپیچ و خمی را طی می‌کند؛ امّا در تجزیه و تحلیل‌ها، مسیر حرکت آب در داخل زمین، یک مسیر مستقیم فرض می‌شود و حرکت آب را با خطهایی به نام خط جریان نشان می‌دهند. نحوه جریان آب در زیرزمین طبق قانون دارسی بیان می‌شود. این قانون توسط هنری دارسی تعریف شده است و نحوه حرکت سیال‌ها در محیط‌های گوناگون را بیان می‌نماید.

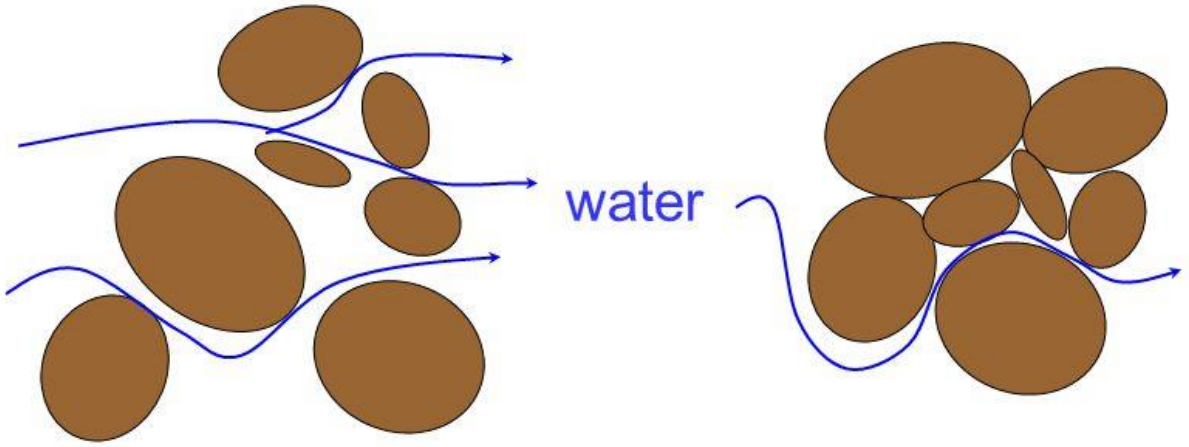


نفوذپذیری

افزون بر تفاوت انرژی، حرکت آب در زمین به ویژگی‌های فیزیکی مواد سازنده زمین نیز بستگی دارد. این عامل را به نام **ضریب تراوایی** یا **ضریب نفوذپذیری** می‌نامند و با علامت K نشان می‌دهند. نفوذپذیری یا ضریب تراوایی، توانایی و قابلیت عبور آب را در یک سازند زمین شناسی بیان می‌کند و مقدار آن به اندازه، مقدار فضاهای خالی و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر بستگی دارد. این ضریب در رسوب‌های سست درشت دانه، حداکثر، و در رسوب‌های رسی ریز دانه، حداقل می‌باشد. ضریب تراوایی در سنگ‌ها و رسوب‌ها سخت به میزان درزه و شکاف و فضاهای خالی آنها و نیز سیمان شدگی رسوب‌ها بستگی دارد. از آنجا که ذرّات تشکیل دهنده خاک و سنگ دارای شکل‌های گوناگون هستند و به‌صورت کروی کامل نمی‌باشند، در موقع ته نشست و شکل‌گیری رسوب و تشکیل سنگ، دارای ساخت ویژه‌ای شده و از حالت همگن و یکنواخت خارج می‌شوند. لذا ضریب نفوذپذیری خاک و سنگ در جهت قائم کمتر از جهت افقی می‌باشد. پدیده آنیزوتروپی لایه‌های خاک وسنگ علاوه بر وضعیت ذرّات تشکیل دهنده خاک و سنگ، ممکن است ناشی از لایه‌بندی رسوبات نیز باشد.

What is Permeability?

- Permeability is the measure of the soil's ability to permit water to flow through its pores or voids



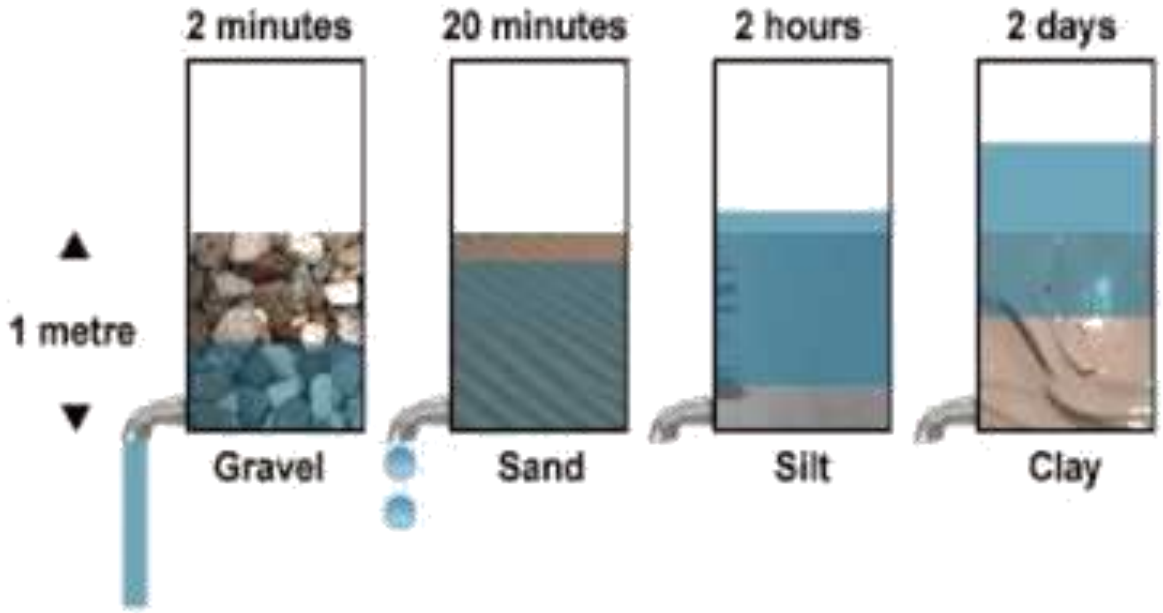
Loose soil

- easy to flow
- **high** permeability

Dense soil

- difficult to flow
- **low** permeability

Permeability



تأثیر آب بر سازه‌های عمرانی

به‌طورکلی وجود آب در زمین و در زیر پی‌سازه‌ها سبب کاهش اصطکاک بین ذرّات وکاهش مقاومت خاک می‌گردد. همچنین با ایجاد فشار منفذی و بالادهنده، سبب کاهش فشار قائم و در نتیجه کاهش پایداری خاک و سنگ می‌شود.

دانشگاه سمنان

کاربرد زمین‌شناسی در طرح‌های عمرانی

مهندس عمران برای اجرای طرح‌های عمرانی باید از وضعیت زمین‌شناسی مکان‌هایی که طرح‌های عمرانی در آنجا اجرا می‌شود آگاهی داشته باشد. برای اجرای دقیق طرح‌های عمرانی از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی باید به موارد زیر توجه نمود.

شرایط ساختارهای زمین‌شناسی و اثرات آن بر طرح‌های عمرانی، شرایط خاک و سنگ محل ساخت و رفتار آن در مقابل ساخت و سازهای انجام شده؛ شرایط آب‌های زیرزمینی و اثر آن بر ساخت و ساز؛ وضعیت حفاری‌ها؛ پرکننده‌ها؛ وضعیت پایداری‌های زمین در برابر خطرهایی مانند زمین لغزش، زلزله و سیل.

احداث تونل Tunnelling

تونل‌ها یکی از ابنیه‌های بسیار مهمی هستند که از دیرباز در طرح‌هایی مانند راه‌سازی و احداث سد مورد استفاده قرارگرفته‌اند. به‌طورکلی تونل‌ها مسیرهایی هستند که در داخل خاک یا سنگ حفر می‌شوند و موارد استفاده گوناگون دارند. با توجه به موارد کاربرد، تونل‌ها به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- تونل‌های ارتباطی.
- تونل‌های آبرسانی.
- سایرتونل‌ها.

تونل‌های ارتباطی: تونل‌هایی هستند که در مسیر راه‌آهن و جاده‌ها حفر می‌شوند و ممکن است از زیرکوه یا دریا رد شوند و ارتباط بین شهرها را برقرار سازند. در شهرهای بزرگ خط‌های ارتباطی از طریق قطارهای زیرزمینی صورت می‌گیرد. تونل‌های عبور و مرور بسیار زیادند.

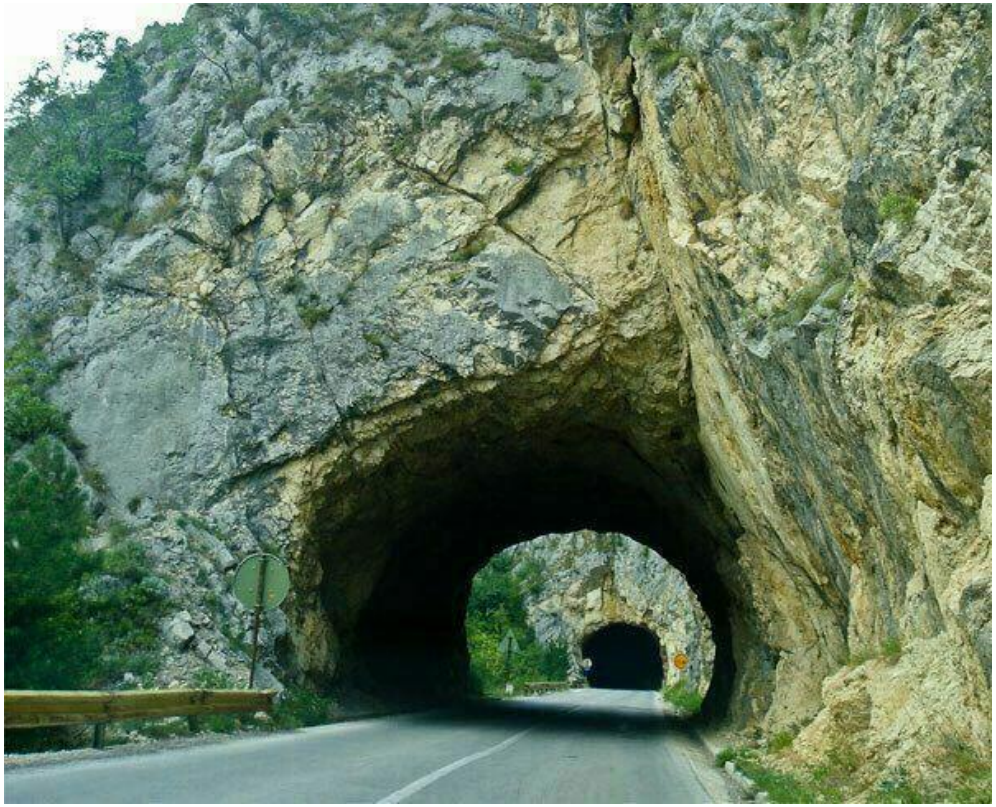
- تونل کندوان یکی از تونل‌های قدیمی ایران است که ۳ کیلومتر طول دارد.
- تونل سیمپلون[۱] سوئیس را به ایتالیا متصل می‌کند و طول آن ۱۹/۷۳ km است.
- تونل هولوریکو[۲] در ژاپن به طول ۱۳/۸۷ km که دو خط قطار در آن احداث شده است.
- تونل مونت بلانک[۳] فرانسه را به ایتالیا متصل می‌کند. این تونل به طول ۱۲/۶ km و به‌صورت شاهراه است.

تونل‌های آبرسانی: تونل‌هایی هستند که در انتقال آب از یک نقطه به نقطه دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تونل‌ها طوری طراحی می‌شوند که در آنها حرکت آب در اثر نیروی ثقل صورت می‌گیرد. تونل شماره ۱ و ۲ کوهرنگ و تونل آب شرب اصفهان از جمله این نوع تونل‌ها هستند. در بیشتر این تونل‌ها چون آب تحت فشار است، به تونل‌های فشاری نیز معروف هستند.

تونل‌های نوع سوم: شامل تونل‌های فاضلاب، برق، تلفن، آب، گاز و غیره می‌باشند.

از نظر زمین‌شناسی مهندسی، تونل‌ها به دو نوع تقسیم می‌شوند:

- تونل‌های حفر شده در زمین‌های سخت و سنگی.
- تونل‌های حفر شده در زمین‌های سست و خاکی.



قبل از حفر تونل باید مطالعه زمین‌شناسی لازم صورت گیرد. در مطالعه زمین‌شناسی مسیر تونل‌ها، موارد زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف) انتخاب مسیر تونل: یکی از عامل‌های تعیین‌کننده در انتخاب مسیر تونل، زمین‌شناسی منطقه است. حفرتونل باید در مسیری انتخاب شود که از نظر زمین‌شناسی مشکلی پیش نیاید.

ب) انتخاب روش حفر تونل: مطالعه‌های سنگ‌شناسی، تکتونیک و آب شناسی منطقه در روش حفاری تونل نقش عمده و مهمی دارند.

ج) انتخاب طرح یا شکل تونل: به‌طور معمول تونل‌هایی‌که حفر می‌شوند، شکل‌های دایره، نیم دایره، نعل اسبی، D شکل و غیره دارند. شکل تونل تابع تنش‌های برجا و مسئله‌های زمین‌ساختی و زمین‌شناسی می‌باشد. به‌عنوان مثال؛ در زمین‌های سخت و سنگی، می‌توان از دو طرح نعل اسبی و D شکل، و در زمین‌های سست از شکل دایره‌ای استفاده نمود.

د) ارزیابی هزینه طرح و پایداری آن: مطالعه دقیق زمین‌شناسی عامل بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در برآورد هزینه اجرای طرح، پایداری و نگهداری آن پس از حفر تونل می‌باشد.

مطالعه و بررسی زمین‌شناسی تونل‌ها

به‌طورکلی برای کسب اطلاعات لازم در طراحی و اجرای تونل، مطالعه و بررسی‌های زمین‌شناسی در سه مرحله صورت می‌گیرد:

- **مرحله مقدماتی:** در این مرحله، مطالعه و بررسی قبل از طراحی تونل انجام می‌پذیرد.
- **مرحله تفصیلی: در** این مرحله، مطالعه و بررسی همزمان با طراحی صورت می‌گیرد.
- **مرحله مطالعه در حین اجرای طرح:** این نوع مطالعه بعد از طراحی و در حین اجرای طرح انجام می‌شود.

بررسی‌های مقدماتی زمین‌شناسی تونل‌ها

این بررسی‌ها، شامل مطالعه زمین‌شناسی عمومی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی می‌باشد و برای به‌دست آوردن اطلاعاتی است که در تهیه طرح تونل می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد در مطالعه مقدماتی موارد زیر باید مشخص شود.

الف) مشخص کردن وضعیت توپوگرافی عمومی منطقه، مانند بلندترین و پست‌ترین نواحی، موقعیت درّه‌ها و فرورفتگی‌ها، شیب دامنه‌ها، منطقه‌های لغزشی، تپه ماهورها و منطقه‌های برفگیر.

ب) مشخص کردن ترکیب، وضع و ضخامت سازندهای گوناگون، اعم از سنگی و خاکی منطقه.

ج) مشخص نمودن وضعیت آب‌های زیرزمینی، نظیر عمق سطح ایستایی و امکان وجود آبخانه‌های تحت فشار.

د) تعیین گسترش و وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی مهم، مانند چین‌خوردگی‌ها، گسله‌ها، ناپیوستگی‌ها و منطقه‌های حساسی مانند محور چین‌ها و ناحیه‌های برشی و غیره.

ه) مشخص نمودن و تعیین منبع‌های قرضه.

مطالعه تفصیلی زمین شناسی تونل‌ها

این مرحله از مطالعه شامل موارد زیر می‌باشد:

حفر چاه‌های مته‌ای:

حفر چاه‌های دستی دهانه گشاد

نمونه برداری و انجام آزمون‌های گوناگون در آزمایشگاه

انجام آزمون‌های محلی و برجا:

حفر تونل اکتشافی به موازات تونل اصلی

مطالعه منطقه به روش لرزه‌نگاری

تهیه نیمرخ زمین‌شناسی مسیر تونل

بررسی‌های زمین شناسی در حین حفر تونل

این بررسی‌ها در مورد تونل‌های بزرگ، انجام می‌شود. زیرا ممکن است وضعیت زمین‌شناسی منطقه در مسیر تونل تغییر کند. برای اطلاع از وضعیت زمین، با توجه به حجم زیاد کار، هزینه بالا و موارد پیش‌بینی نشده در حین اجراء، این نوع مطالعه‌ها باید صورت گیرد. یکی از روش‌ها، برای این نوع بررسی‌ها، حفر گمانه در امتداد تونل در جبهه کار است. در طرح‌های بزرگ، یک تونل با قطر کم در جبهه کار حفر می‌شود و وضعیت سنگ شناسی لایه‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرد و بعد تونل اصلی حفر می‌شود. این بررسی‌ها ممکن است موجب تغییر و یا اصلاح طرح شود.

دانشگاه سمنان

ملاحظات زمین شناسی در احداث تونل

تونل‌زنی در زمین‌های سخت

منظور از زمین سخت، سنگ‌های توده‌ای از نوع آذرین، رسوبی و دگرگونی است. بیشتر تونل‌هایی که از منطقه‌های کوهستانی عبور می‌کنند، در این نوع سنگ‌ها حفر می‌شوند. در این منطقه‌ها باید ویژگی‌های سنگ‌شناسی، وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی و آب‌های زیرزمینی بررسی شود.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی زمین‌های سخت

ویژگی‌های سنگ‌شناسی شامل ترکیب کانی شناسی و بافت سنگ‌هاست که می‌تواند در انتخاب روش حفاری، اندود داخل تونل و پایدار کردن آن مؤثر باشد که در نتیجه بر روی هزینه طرح اثر می‌گذارد.

تونل‌زنی در سنگ‌های آذرین، مانند گرانیت‌ها، دیوریت‌ها، گابروها، بازالت‌ها و نیز ماسه‌سنگ‌های با سیمان سیلیسی، کوارتزیت‌ها و گنیس‌ها، به‌طور معمول مشکل عمده‌ای وجود ندارد. در این سنگ‌ها با روش‌های معمولی حفر چال و انفجار، تونل حفاری می‌شود. مگر در مواردی‌که ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی وجود داشته باشد. در این سنگ‌ها حفاری به کندی صورت می‌گیرد و در نتیجه هزینه حفاری بالا می‌رود و به نیروی انسانی بیشتری نیاز است. همچنین مواد ناریه بیشتری مصرف می‌شود، امّا مشکل ریزش ندارد و در بسیاری موارد می‌توان حتی بدون تکیه‌گاه، تونل را حفر نمود.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی زمین‌های سخت

در سنگ‌هایی مانند سنگ آهک، دولومیت و ماسه‌سنگ‌های آرژیلیتی، شیست‌ها، و **لوح سنگ**[1] هزینه حفاری و انفجار، پایین می‌باشد، امّا امکان ریزش وجود دارد. در نتیجه هزینه پایداری و نگهداری تونل زیاد می‌باشد.

در سنگ‌های دگرگونی دارای شیستوزیته و سنگ‌های لایه‌لایه و یا سنگ‌هایی‌که به‌طورکلی دارای سطوح ناپیوسته هستند، حفر تونل با مشکل روبرو می‌باشد. به‌طور معمول در این نوع سنگ‌ها امکان مواجه شدن با آب وجود دارد و باید تمهیدات زیادی، هم برای تقویت تونل و هم برای زهکشی آن انجام شود.

در رس‌ها، شیل‌ها، آهک‌های‌کارستی و لایه‌های ژیپس‌دار، حفر تونل باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. چون وجود این سنگ‌ها سبب لغزش سنگ از سقف یا دیواره به داخل تونل می‌شود.

وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی

ساختارهای زمین‌شناسی، شامل چین‌خوردگی‌ها، درزه‌ها، گسله‌ها، ساختارهایی که بر اثر نیروهای کششی در داخل زمین به‌وجود آمده‌اند و غیره می‌باشد. از این‌رو باید موارد زیر تحت بررسی قرارگیرد:

الف) شیب و امتداد طبقات:

ب) چین خوردگی:

ج) گسل‌ها:

د) سیستم درزه‌ها:

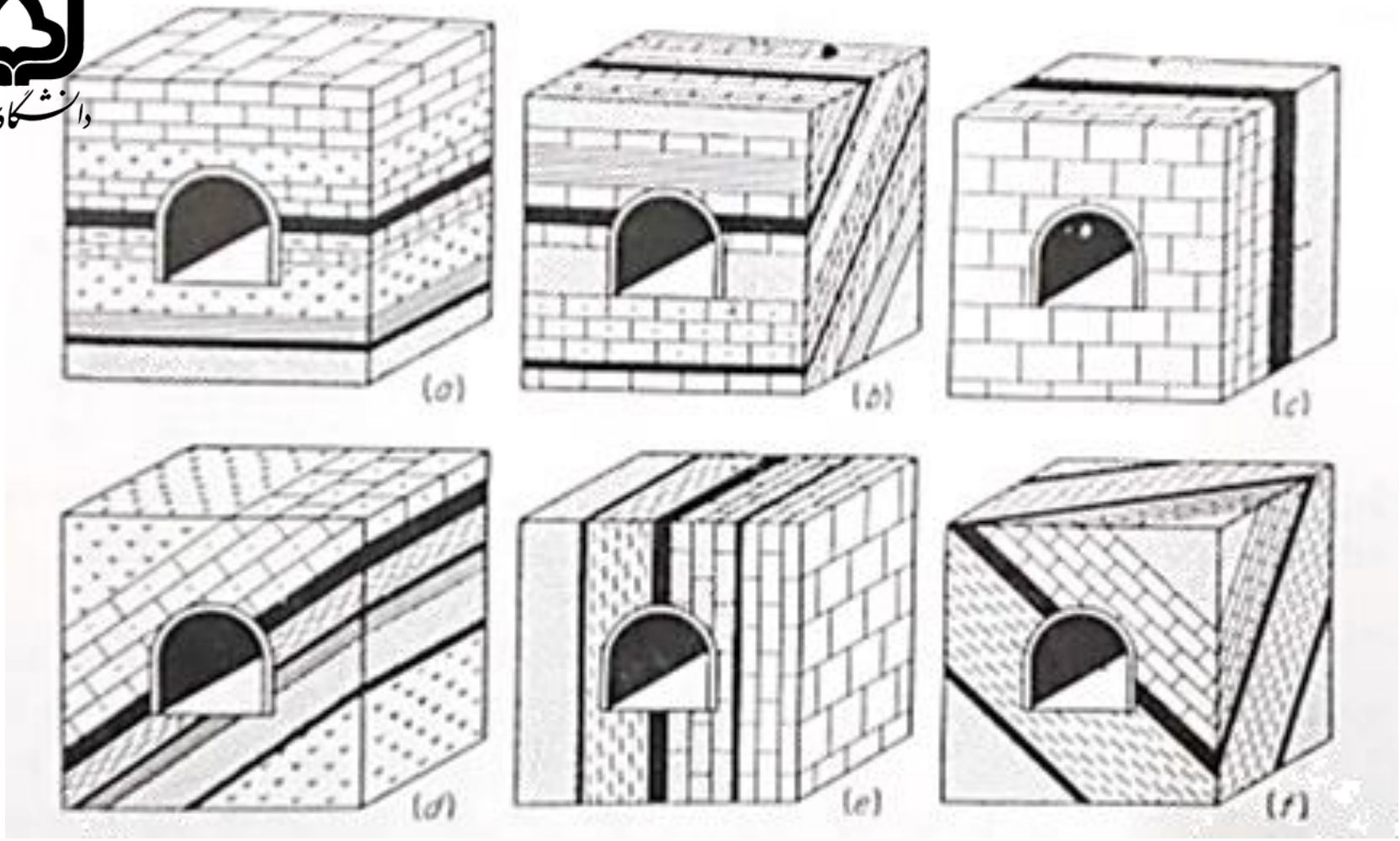
الف) شیب و امتداد طبقات:

برای لایه‌ها سه حالت می‌توان در نظر گرفت.

در لایه‌های افقی، در صورتی‌که ضخیم لایه باشند، می‌توان این لایه‌ها را به‌عنوان سقف تونل انتخاب نمود. امّا اگر ضخامت لایه کافی نباشد، باید سقف تونل را قوس داد تا از ریزش آن، در اثر وزن لایه‌های بالایی، جلوگیری شود. در لایه‌های کم شیب، که شیب لایه کمتر از ۴۵ درجه است، در صورتی‌که تونل در جهت شیب لایه حفر شود، امکان ریزش کم است. امّا اگر تونل در جهت امتداد لایه‌ها حفرگردد، احتمال ریزش زیاد است. در حالتی‌که مسیر تونل در راستای بین امتداد و جهت شیب لایه حفر شود. باید مطالعه و بررسی بیشتری صورت گیرد.

در لایه‌های پر شیب، یعنی لایه‌هایی که دارای شیب بیشتر از ۴۵ درجه هستند، اگر حفر تونل در جهت عمود بر امتداد لایه‌ها، یا به عبارت دیگر، در جهت شیب لایه‌ها صورت گیرد، بهترین حالت است و تونل به‌طورکامل پایدار می‌باشد. در صورتی‌که تونل در راستای امتداد لایه‌ها حفرگردد، غیرمطمئن می‌باشد و امکان ناپایداری تونل زیاد است. در حالت‌های حد واسط، که یک حالت پیچیده‌ای است، مسیر تونل باید بیشتر مورد بررسی قرارگیرد

دانشگاه سمنان

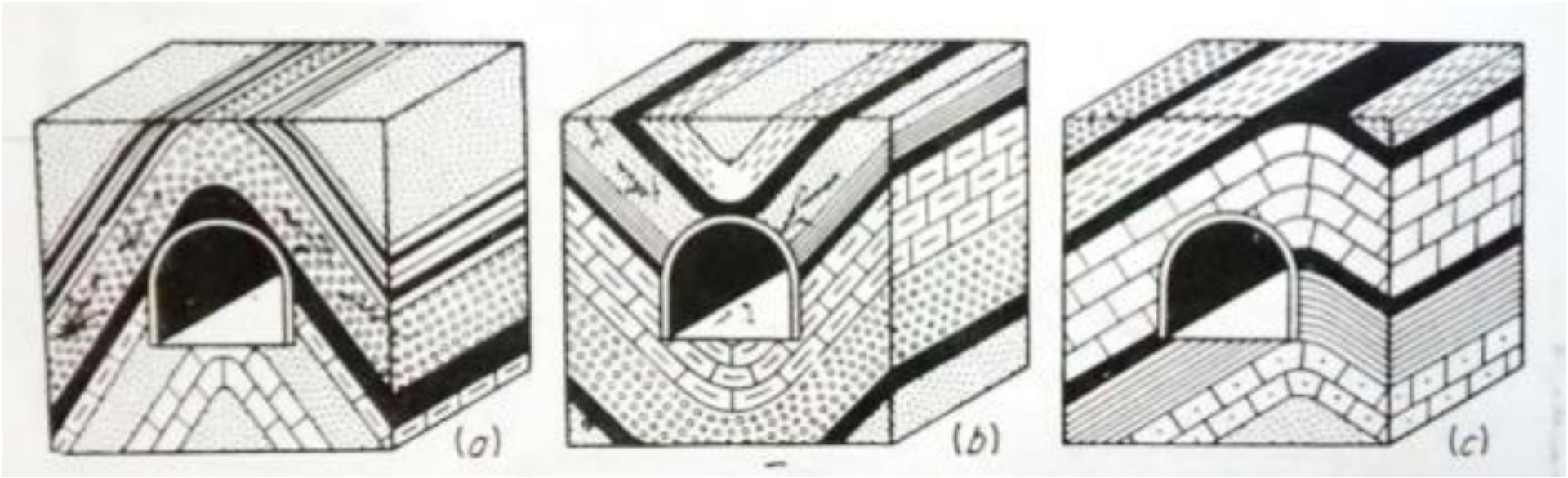


تأثیر وضعیت لایه‌ها بر روی ستون گذاری تونل؛ C,B,A: فشار عمودی کم و بیش یکنواخت بر ستون‌ها وارد می‌شود؛ D,F: در اثر لایه‌بندی مایل فشار وارده زیاد است؛ E: در اثر لایه‌بندی قائم فشار وارده بر سقف تونل زیاد است.

ب) چین خوردگی:

چنانچه در مسیر تونل لایه‌ها چین‌خورده باشند، موارد زیر ممکن است رخ دهد.

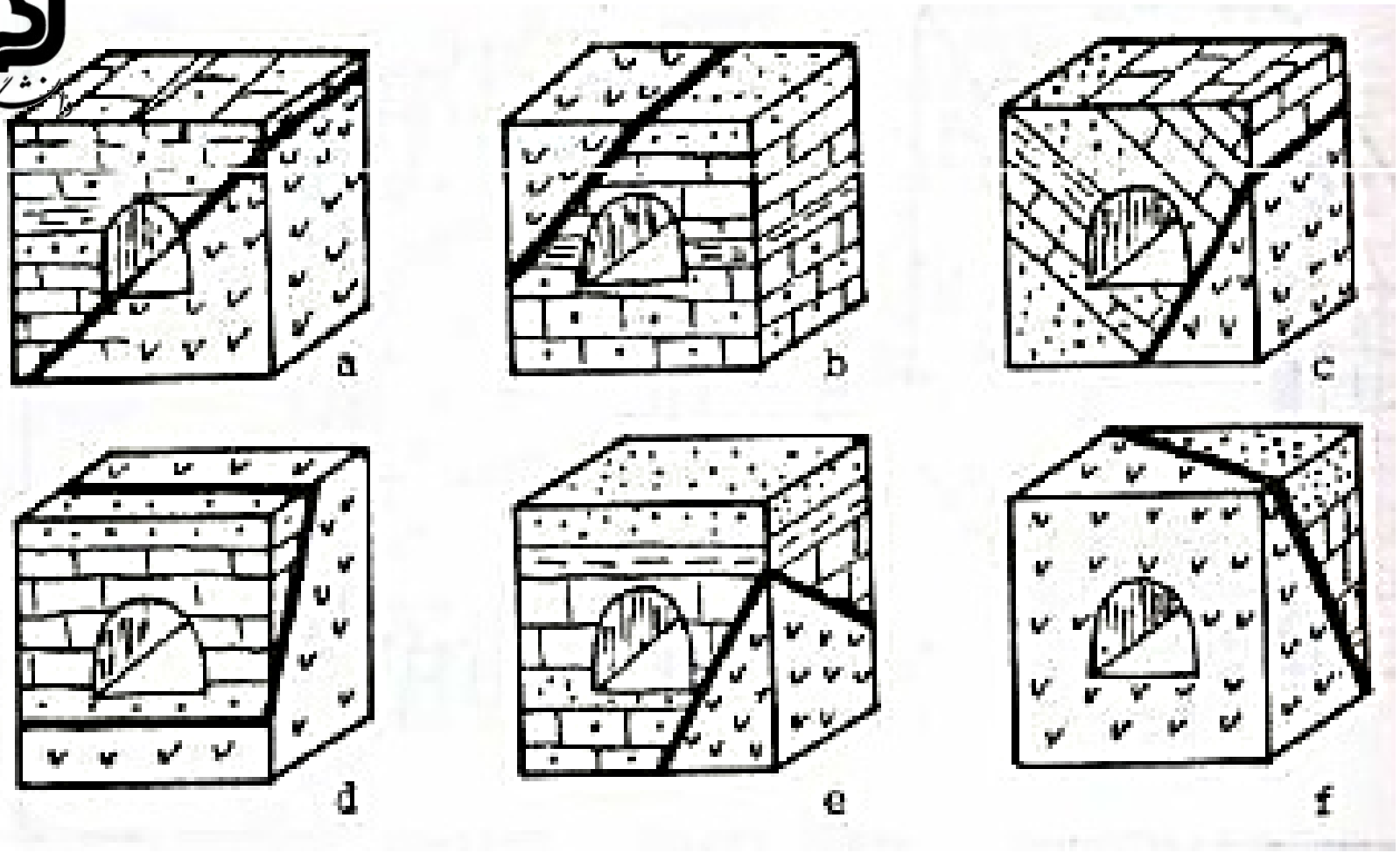
- چین‌خوردگی ممکن است سبب قرارگیری لایه‌های غیرقابل پیش‌بینی در مسیر تونل شود.
- چین‌خوردگی ممکن است سبب اعمال فشارهای گوناگون زمین به تونل شود. اگر تونل از یک تاقدیس عبور کند، در قسمت میانی تاقدیس فشار کمتر و در اطراف فشار بیشتری وجود دارد. در ناودیس برعکس می‌باشد در مرکز ناودیس فشار بیشتر و در کنارها فشار کمتر است.
- موقعی‌که لایه‌ها در حال چین‌خوردگی هستند، مقدار زیادی انرژی کرنشی ممکن است در لایه‌ها ذخیره شود و موقع حفر تونل انرژی ذخیره شده آزاد شده و سبب پرتاب سنگ از دیواره تونل به داخل آن گردد.
- اگر در راستای محور چین تونل حفر شود، چون خردشدگی بیشتر است، احتمال ریزش سنگ زیاد می‌باشد.


(a)
(b)
(c)

ج) گسل‌ها:

گسل‌ها باید در هر منطقه به دقّت مورد مطالعه قرارگیرند، چون در امتداد سطح گسل، در صورت وقوع زلزله، ممکن است جابجایی رخ دهد. همچنین گسل‌ها یک منطقه خرد شده را ایجاد می‌کنند که این منطقه می‌تواند تراوایی بالایی داشته باشد و سبب وارد شدن مقدار زیادی آب به داخل تونل شود. در صورت امکان، تونل باید در محلی حفر شود که از گسل‌های بزرگ و اصلی فاصله داشته باشد. زیرا گسل‌ها ممکن است سبب جابجایی لایه‌ها، و غیریکنواخت شدن دو طرف تونل گردند.

دانشگاه سمنان



موقعیت مختلف یک تونل نسبت به یک گسل؛ A: تونل واقع در منطقه گسلی؛ C,B: قرارگیری تونل در بالا و پایین گسل؛ D: گسل بر محور تونل عمود است؛ E: گسل، محور تونل را به‌صورت مایل قطع می‌کند؛ F: گسل تونل را قطع نمی‌کند.

دانشگاه سمنان

د) سیستم درزه‌ها:

از مسئله‌های بسیار مهم در حفر تونل‌ها، وجود سیستم درزه‌ها است که بیشتر در سنگ‌های اطراف گسل‌ها و چین خوردگی‌ها وجود دارد. در مطالعه‌های زمین‌شناسی تونل‌ها، باید درزه‌ها به دقت مطالعه شوند. در این مطالعه باید موارد زیر برداشت گردد:

۱- شیب و امتداد درزه‌ها
۲- میزان بازشدگی
۳- پیوستگی و ناپیوستگی درزه‌ها
۴- مواد پرکننده درزه، نوع و ویژگی‌های آنها
۵- هوازدگی سطح درزه
۶- زبری، صافی و ناصافی سطح درزه‌ها
۷- فاصله درزه‌ها از یکدیگر
۸- وضعیت آب در درزه‌ها و مقاومت برشی سطح درزه

همچنین با استفاده از تصویرهای استریوگرافی باید وضعیت درزه‌ها تجزیه و تحلیل شود.

وضعیت آب‌های زیرزمینی

یکی از اساسی‌ترین مسئله‌هـایی که در مطـالعه تونل‌زنی باید مورد مطالعه دقیق قرار گـیرد، وجـود آب اسـت که می‌تواند مشکل‌های زیادی را سبب شود. روشن شدن وضعیت آب زیرزمینی در انتخاب روش حفاری موثر است.

آب‌های زیرزمینی تأثیر فیزیکو شیمیایی و فشارهای استاتیکی و دینامیکی روی توده سنگ دارد. تأثیر فیزیکو شیمیایی سبب شستن و حل‌کردن سنگ‌ها می‌شود. آب‌های زیرزمینی با ایجاد فشارهای استاتیکی و دینامیکی روی توده سنگ اثر می‌گذارد.

هنگام حفر تونل از لحاظ آب‌های زیرزمینی سه حالت ممکن است وجود داشته باشد:

الف) محور تونل از سازندهای ناتراوا عبور کند. در این صورت مشکل آب وجود ندارد. در تونل‌های عمیق و طویل این مسئله کمتر وجود دارد.

ب) ممکن است محور تونل بالای سطح ایستایی باشد. در این صورت مشکلی وجود ندارد. در بعضی مناطق ممکن است که مسیر تونل آبخانه‌ها را قطع کند. در این صورت باید آن مناطق شناسایی و تمهیدات لازم برای زهکشی آب انجام شود.

ج) ممکن است تونل‌زنی زیر سطح ایستایی صورت گیرد. این مورد بدترین حالت است، به‌ویژه در زمین‌های آبرفتی و کارستی می‌تواند مشکل‌های زیادی را ایجاد کند.

با توجه به موارد بالا بایستی مطالعه هیدروژئولوژیکی دقیقی در مسیر حفر تونل انجام گیرد و نتیجه‌های به دست آمده در ضریب اطمینانی که برای طراحی در نظر می‌گیرند، دخالت داده شود.

(a)

(b)

(c)

تونل‌زنی در زمین‌های سست و خاکی

تونل‌زنی در این نوع زمین‌ها با توجه به موارد زیر به مراتب مشکلتر از زمین‌های سخت و سنگی است.

الف) ضعیف بودن سیمان نهشته‌ها.

ب) چسبندگی کم و زاویه اصطکاک داخلی پائین اجزاء تشکیل دهنده خاک یا زمین سست.

ج) وجود آب‌های زیرزمینی.

به‌طورمعمول برای تونلی که در زمین‌های سست حفر می‌شود باید **زمان پایداری**[1] تخمین زده شود. زمان ایستادن یا زمان پابرجایی تونل عبارت است از لحظه‌ای که تونل حفر می‌شود، تا لحظه‌ای که تونل ریزش می‌کند. براساس زمان پابرجایی، داخل تونل باید تقویت شود و از ریزش آن جلوگیری گردد. عامل‌هایی که در زمان ایستادن تونل دخالت دارند عبارتند از:

- وضعیت سطح آب زیرزمینی.
- مقاومت بُرشی و کششی مواد سازنده زمین.
- تراوایی زمین.

زمین‌های خاکی از لحاظ تونل‌زنی در ۵ گروه قرار می‌گیرند:

الف) زمین‌های محکم[۲]: زمین‌هایی هستند که بعد از گذشت مدّت زمانی قابل ملاحظه از حفر تونل در آنها، تقریباً ریزشی رخ نمی‌دهد.

ب) زمین‌های آبرفتی دانه درشت با چسبندگی زیاد: در این نوع زمین‌ها، ممکن است تکه‌هایی از سقف تونل کنده شود و فرو ریزد، امّا تونل پایدار و ثابت است.

ج) زمین‌های ریزشی[۳]: زمین‌هایی هستند که خیلی سریع ریزش می‌کنند. مانند زمین‌های شنی، ریگ و ماسه‌ای درشت دانه و سست، که در بالای سطح ایستایی قرار دارند.

د) زمین‌های جریانی[۴]: مانند رس‌هایی که به‌ویژه به خاطر آب‌های زیرزمینی، حالت پلاستیکی دارند.

ه) زمین‌های متورم شونده[۵]: مانند زمین‌های رسی که تحت فشار زیاد قرار دارند، با حفر تونل، این فشار کاهش یافته و در نتیجه رس متّورم می‌شود.