

# زمین شناسی



## « بسم الله الرحمن الرحيم »

زمین و کهکشان راه شیری

زمین بخشی از منظومه شمسی است که از خورشید، سیارات و اقمار و سیاره مانند ها و ستاره های ثناله دار تشکیل شده است.

خورشید یکی از ستارگان کهکشان ماست. یکی از  $10^{11}$  ستاره ای که در این کهکشان وجود دارد. این کهکشان قطری معادل ۷۰۰۰۰ سال نوری دارد.

سن جهان

با توجه مطالعاتی که تا کنون صورت گرفته سن جهان در حدود ۱۶ میلیارد سال می باشد.

منظومه شمسی

سیاره های موجود در منظومه شمسی به دو دسته سیارات خاکی عطارد، زهره، زمین و مریخ و سیارات غیر خاکی مشتری، زحل، اورانوس و نپتون و پلوتو تقسیم می شوند.

بر اساس فرضیات موجود و استفاده از سن یابی رادیو اکتیو سن منظومه شمسی حدود ۴.۶ میلیارد سال تخمین شده شده است.

از مهمترین نظریه های تشکیل زمین می توان به نظریه ستاره های دوتایی اشاره کرد. که با انفجار یکی از ستاره ها (انفجار سوپر نوا) سیارات تشکیل شده اند.

بین سیارات از عطارد تا منظومه شمسی نظمی برقرار است . این نظم که به قانون باد معروف است فاصله نسبی سیارات از خورشید را نشان می دهد.

	عطارد	زهره	زمین	مریخ	فضای خالی	مشتری	زحل	اورانوس	نپتون	پلوتو
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	3	6	12	24	48	96	192		384
مقدار محاسبات	4	7	10	16	28	52	100	196		388
فاصله واقعی	3.8	7.2	10	15.2		52	95	192	301	395

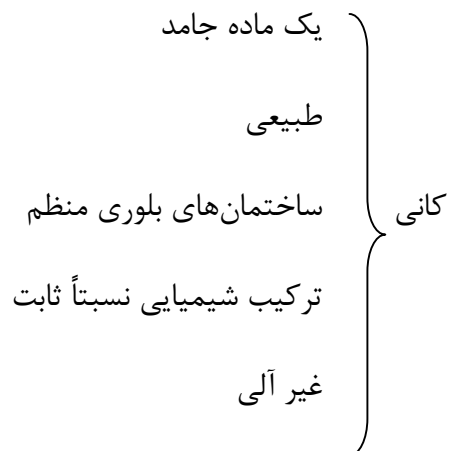
کانی شناسی :



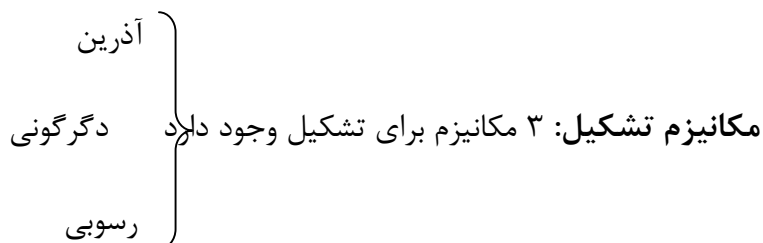
کانی یا مینرال واحد اصلی تشکیل دهنده سنگ هاست.

Mina ماینا یک واژه یونانی است به معنای کندن و ریشه کلمه Mineral از همین کلمه گرفته شده است.

کانی را در تعریف میتوانیم اینگونه معرفی کنیم:



سنگ ها ممکن است از یک یای چند کانی مختلف تشکیل شده باشند. برای مثال سنگ آهک از کانی کلسیت با فرمول شیمیایی  $\text{CaCO}_3$  تشکیل شده است و سنگی مانند گرانیات از چند کانی مختلف (کوارتز، مسکویت، ارتوز و ...) تشکیل شده است.



### تشکیل کانی به روش آذرین :

در این روش کانی‌ها از ماده‌ی مذاب جدا شده و ته‌نشین می‌شوند ترتیب تشکیل کانی‌ها در این روش به نقطه ذوب آنها بستگی دارد و از قانون بوون تبعیت می‌کند. به این ترتیب که ابتدا کانی‌هایی تشکیل می‌شوند که نقطه‌ی ذوب بالاتری دارند و با کاهش دمای مذاب کانی‌هایی با نقطه‌ی ذوب پایین‌تر تشکیل می‌شوند کانی‌های دمای بالا عمده‌تاً حاوی عناصر آهن ، منیزیم و کلسیم بوده (مانند اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز) و با کاهش دما شاهد حضور و



افزایش عناصر آلومینیوم . Na و k و Si در ترکیب کانی‌ها هستند و کانی‌هایی همانند مسکویت، کوارتز و آلبیت تشکیل می‌شوند.

نکته :

کانی‌هایی که در دما و فشار بالاتر تشکیل می‌شوند زمانی که به سطح زمین می‌رسد و زودتر تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش قرار می‌گیرند به دلیل اختلاف دمای نقطه‌ی تشکیل کانی‌ها با دمای سطح زمین است و همین‌طور کانی‌هایی که در دما و فشار پایین‌تر تشکیل می‌شوند در سطح زمین پایداری بیشتری دارند. این قانون به اصل گلدیش معروف است.

#### سری بوون

			۱۶۰۰°C
		اولیوین (mg ، Fe)	
	کاهش	پیروکسن	کاهش دما
افزایش		آمفیبول	۵۰۰°C
Si, AL,k ,Na	Mg , fe	مسکویت $AL.Na.SiO_2 =$	
در ترکیب کانی‌ها	در ترکیب	کوارتز $SiO_2$	
	کانی‌ها		
تشکیل کانی‌های رسوبی:			

این کانی‌ها حاصل اشباح یک سری از عناصر در حوزه‌ی رسوبی و ته‌نشینی آنها می‌باشد مانند آهک و نمک و گچ (کانی‌های رسوبی شیمیایی)

#### تشکیل کانی‌های دگرگونی:

در این روش کانی‌ها قبلی که حاصل فرآیند آذرین ، دگرگونی یا رسوبی هستند زمانی که تحت تأثیر عوامل دگرگونی قرار می‌گیرند ( دما ، فشار، سیالات ) با تغییر ترکیب و یا ساختمان بلوری کانی جدیدی شکل می‌گیرد. به این فرآیند اصطلاحاً دگرگون شدن گفته می‌شود.



بیش از ۹۰٪ کانی ها از ۸ عنصر زیر تشکیل شده اند:

اکسیژن، سیلیسیم، آلومینیوم، سدیم، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، آهن

## روش شناسایی کانی ها :

### ۱- رنگ

با توجه به عناصر تشکیل دهنده هر کانی رنگ آن هم می تواند متغیر باشد.

### ۲- ترکیب شیمیایی

هرکانی ترکیب شیمیایی تقریبا ثابتی دارد. مثلا گچ با ترکیب  $\text{CaSO}_4$ ، کلسیت با ترکیب  $\text{CaSO}_4$  و ... .

کانی ها را از نظر ترکیب شیمیایی به رده های مختلفی تقسیم بندی می کنند. ترکیب شیمیایی کانی: ترکیب اصلی اکثر کانی ها سیکیلات می باشد یعنی دارای بنیان  $\text{SiO}_2$  هستند، مانند اکثر کانی های آذرین.

در کنار سیلیکات ها رده های کربنات با بنیان  $\text{CO}_3$ ، سولفید  $\text{SO}_4$ ، نیتрат  $\text{NO}_3$  و ... وجود دارد.

### ۳- ساختمان بلوری

تمام کانی ها در یکی از ۷ شبکه ی بلوری ممکن تشکیل می شوند و در تمام مدت ساختمان بلوری کانی ثابت می ماند .





۴ بو

۵ جلاء

جلا حاصل برخورد نور به سطح کانی و بازتاب آن است. دو دسته اصلی انواع جلا را می توان فلزی و غیر فلزی نامید. جلا ی غیر فلزی خود به انواع صمغی و ابریشمی و ... تقسیم می شود.

۶ رنگ خاکه

زمانی که کانی را روی چینی بدون لعاب می کشیم از خود رنگی بر جای می گذارد که به آن رنگ خاکه گفته می شود.

۷ سختی

ویژگی مهم کانی ها سختی آنهاست.

برای سختی کانی ها معیار مووس ارائه می شود که سختی کانی ها به ۱۰ رده ی اصلی تقسیم می شود .

۱ تالک

۲ ژیپس ( گچ )

۳ کلیست ( آهک )

۴ فلوریت

۵ آپاتیت ( تیغه چاقو )

۶ اوتوز = شیشه

۷ کوارتز

۸ قوپاز

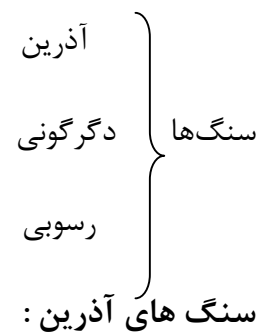


۹ کروندم

۱۰ الماس

## سنگ‌ها

سنگ‌ها سنگ‌ها را از نظر تشکیل می‌توان به ۳ دسته اصلی تقسیم کرد.



از سرد شدن مذاب درون زمین یا بر روی سطح زمین ، بیرونی – آتشفشان‌ها ایجاد می‌شوند . سنگ‌های آذرین درونی از متبلور شدن ماگما در درون زمین ایجاد می‌شوند و سنگ‌های آذرین بیرونی از متبلور شدن ماده مذاب در روی سطح زمین ایجاد می‌شوند.



بلورهای ریز دانه	بیرونی	ریولیت	اندزیت	بازالت
بلورهای درشت در حد سانتی متر	درونی	گرانیت	دیوریت	گابرو
نوع سنگ		اسیدی	حد واسط	بازیک
میزان سیلیس		$< 60\%$	$45-60\%$	$> 45\%$
عناصر اصلی		Si-Al-K-Na		Ca, Mg, Fe
رنگ		رنگ روشن	خاکستری تا سبز روشن	تیره و سیاه و سبز

توف:

توف ها خاکسترهای آتشفشانی هستند که عمدتاً حاصل آتشفشانهای اسیدی هستند که عمدتاً حالت انفجاری دارند و مواد مذاب به صورت خاکستر به هوا پرتاب می شوند. این مواد مذاب پس از ته نشینی روی زمین با یکدیگر جوش خورده و توف ها را تشکیل می دهند. توف های سبز کرج نمونه ای از این نوع است.

پوکه معدنی: پومیس (سنگ پا):

پوکه های معدنی سنگ های آتشفشانی سبکی هستند که به علت خروج گاز از درون ماده مذاب در هنگام تبدیل به سنگ ، حفره های زیادی در آن ایجاد شده است و به همین دلیل چگالی آن بسیار پایین است. اگر ماده مذاب ترکیب بازیک داشته باشد سنگ تشکیل شده را اسکوری و در صورتی که ترکیب مذاب اسیدی باشد آن را پامیس می نامند.

سنگ های رسوبی :

این سنگ ها به دو دسته اصلی تقسیم می شوند:

۱- سنگ های رسوبی تخریبی

۲- سنگ های رسوبی تبخیری

سنگ های رسوبی تخریبی :



حاصل هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها قبلی می‌باشند. هر سنگی می‌تواند تحت تاثیر عوامل فرسایش (مانند تغییرات دما، آب، اسیدها و برخورد و ...) قرار گیرد و اصطلاحاً هوازده شود. مواد هوازده توسط عوامل فرسایش (آب، باد) به سمت حوزه‌های رسوبی حمل می‌شوند و پس از طی کردن مراحل سنگ‌شدگی به سنگ‌های رسوبی تبدیل می‌شوند.

سنگ‌های رسوبی تخریبی از تبدیل رسوبات به سنگ ایجاد می‌شوند. نامگذاری این سنگ‌ها بر اساس اندازه و شکل رسوبات تشکیل دهنده آنهاست. بر این اساس در اینجا ابتدا انواع مهم رسوبات و مشخصات آنها را معرفی می‌کنیم.

سه دسته اصلی رسوبات عبارتند از:

۱- شن ۲- ماسه ۳- رس و سیلیت

رس‌ها و سیلیت به رسوباتی گفته می‌شود که اندازه آن‌ها کوچکتر از  $1/16$  mm است.

ماسه‌ها ذراتی هستند که اندازه‌ی آن‌ها بین ۲ تا  $1/16$  میلی‌متر است.

شن‌ها ذراتی هستند که اندازه‌ی آن‌ها بزرگتر از ۲mm است.

سنگ‌های رسوبی تخریبی برای تشکیل شدن می‌بایست فرآیند سنگ‌شدگی (دیازنز) را طی کند در این فرآیند دو مرحله‌ی متراکم شدن و سیمان شدن طی می‌شود.

**متراکم شدن:** حاصل قرار گرفتن رسوبات روی یکدیگر و فشار آوردن توسط لایه‌های فوقانی بر روی لایه‌های زیرین است.

**سیمانی شدن:** در این مرحله یونهای اشباع در محیط رسوبی یا ذرات ریز رسوبات مانند رس‌ها فضاها را خالی بین ذرات را پر کرده و باعث چسباندن ذرات رسوبی به یکدیگر می‌شوند. سیمانی که بین ذرات رسوبی را طی می‌کند می‌تواند از جنس (سیلیس - آهک - رسوب و یا ترکیبات دیگر) باشد. در این بین سیمان سیلیسی دارای بیشترین مقاومت و سیمان رسی و کمترین مقاومت را دارند.

**دسته بندی سنگ‌های رسوبی تخریبی :**

چنانچه گفته شد سنگ‌های رسوبی تخریبی را بر اساس اندازه رسوبات تشکیل دهنده آنها به ۳ دسته اصلی تقسیم بندی می‌کنند:



اگر رسوب تشکیل دهنده سنگ غالباً از نوع شن باشد نام سنگ **کنگلومرا** خواهد بود.

اگر رسوب تشکیل دهنده سنگ غالباً از نوع **ماسه** باشد نام سنگ **ماسه سنگ** خواهد بود.

اگر رسوب تشکیل دهنده سنگ غالباً از نوع **رس** باشد نام سنگ **رس سنگ** خواهد بود. به انواع سنگ های رسی که دارای لایه بندی ظریفی هستند **شیل** گفته می شود.

### سنگ های رسوبی تبخیری :

این سنگ ها که در حقیقت همان کانی های تبخیری هستند که در کنار یکدیگر قرار گرفته و سنگ ها را به وجود آورده اند، یعنی حاصل ته نشینی از یک محلول اشباع در یک حوزه ی رسوبی هستند (گچ و نمک و آهک)

### مهمترین انواع سنگ های رسوبی تبخیری یا شیمیایی:

آهک  $\text{CaCO}_3$  اگر آهک در چشمه های آب سرد تشکیل شود به آن تراورتن و اگر در چشمه های آب گرم تشکیل شود به آن آراگونیت گفته می شود.

دولومیت  $\text{Ca,Mg (CO}_3)_2$

گچ  $\text{CaSO}_4$

نمک  $\text{NaCl}$

### سنگ های دگر گونی

پیش از این گفته شد که سنگ های دگرگونی از دگر گون شدن سایر سنگ ها به وجود می آیند. مهمترین انواع سنگ های دگر گونی بر اساس نوع سنگ مادر آنها عبارتند از:

نام سنگ دگر گونی	سنگ مادر(سنگ اولیه)
گنیس	گرانیت
کوارتزیت	ماسه سنگ
مرمر	آهک
اسلیت، فیلیت و شیست	رس سنگ (شیل)



## خصوصیات مهندسی سنگ ها

خصوصیات سنگ ها را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

- ۱- خصوصیات فیزیکی مانند دانسیته، تخلخل، جذب آب و ...
- ۲- خصوصیات مکانیکی مثل مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ...
- خصوصیات فیزیکی:

**دانسیته:** به وزن واحد حجم سنگ گفته می شود و آن را با  $\gamma$  نشان می دهند. برای تعیین دانسیته یک نمونه سنگ وزن را به کمک ترازو بدست آورده و حجم آب را هم از میزان آب خارج شده از ظرف پر از آب که نمونه سنگ را در آن قرار دادیم بدست می آید.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

**تخلخل:** به نسبت حجم فضاهای خالی یک نمونه به حجم کل نمونه تخلخل گفته می شود و معمولاً آن را با  $n$  نشان می دهند.

$$n = \frac{v_v}{v} \times 100$$

**درصد جذب آب:** به میزان آب جذب شده توسط نمونه سنگ گفته می شود.

### • خصوصیات مکانیکی

برای اینکه خصوصیات مکانیکی سنگ ها را بررسی کنیم ابتدا با سنگ بکر آشنا می شویم. سنگ بکر به نمونه سنگی که در آزمایشگاه بررسی می شود و البته دیگر در آن خبری از اشکال ساختمانی بزرگ نیست.

**تعیین مقاومت فشاری سنگ (مقاومت تک محوری)**



برای تعیین مقاومت فشاری سنگ باید از استاندارد های موجود مانند ASTM استفاده کرد. استاندارد ها معمولا شرایطی را برای انجام آزمایش ها در نظر می گیرند تا در نهایت نتیجه بدست آمده از آزمایش قابل استناد و استفاده باشد.

نمونه سنگی که برای آزمایش به کار می رود باید استوانه ای باشد که نسبت طول به قطر آن باید ۳ تا ۲ برابر باشد. اگر نمونه ای تحت فشار تک محوری قرار گیرد در جهت اعمال بار کاهش طول  $\Delta L$  ( ) و در جهت عمود بر اعمال بار افزایش طول خواهیم داشت ( $\Delta D$ ).

نکته شایان ذکر این است که در

تنش: نیرو بر واحد سطح

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

اگر تغییر طولها را به طول اولیه کل تقسیم کنیم کرنش به دست می آید.

در این آزمایش میزان کرنش محوری و جانبی اندازه گیری می شود.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

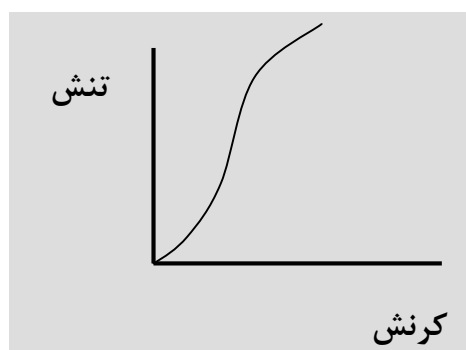
- کرنش محوری

$$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D_0}$$

- کرنش جانبی

اگر نمودار مربوط به تنش و کرنش را رسم کنیم نموداری بدست می آید که شیب مدول الاستیسیته می گویند.

قسمت خطی آن را



$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}$$



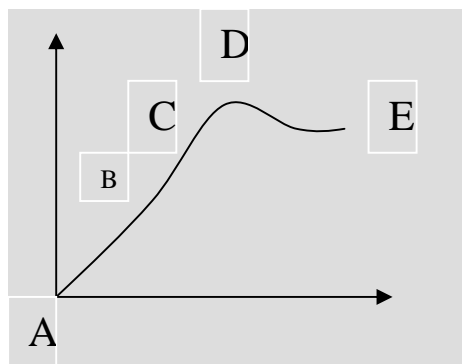
انواع مدول الاستیسیته عبارتند از:

مدول‌ها برای محاسبه به سه صورت تقسیم بندی می‌شوند.

روش اول: در نقطه ۵۰٪ خطی مماس و شیب آنرا محاسبه می‌کنیم.

روش دوم: شیب خط مماس بر بخش صاف منحنی را تعیین می‌کنیم.

روش سوم: شیب خطی که ابتدای منحنی را به نقطه شکست متصل می‌کند را محاسبه می‌کنیم.



اگر منحنی را به ۴ قسمت تقسیم کنیم:

در AB : منحنی تقعر رو به بالا دارد (الاستیک)

در BC : نمودار خطی است (الاستیک)

در C : به آن نقطه تسلیم گویند (الاستیک پلاستیک)

در CD : تحدب منحنی رو به بالا (پلاستیک)

در D : نقطه شکست که مقدار تنش در این نقطه برابر مقاومت فشاری تک محوری است.

در DE : رفتار منحنی بعد از گسیختگی را نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی مهندسی سنگ‌ها:

- طبقه‌بندی سنگ بکر

۴ طبقه‌بندی مهندسی دیر و میلر: ← مقاومت برشی  
← نسبت مدولی



بر این اساس سنگ‌ها به پنج گروه ، ، ، و تقسیم شده‌اند.

نشانه گروه	شرح	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/in <sup>2</sup>
A	مقاومت خیلی بالا	> ۲۲۵۰	> ۳۲۰۰۰
B	مقاومت بالا	۱۱۲۵ - ۴۲۵۰	۱۶۰۰۰ - ۴۲۰۰۰
C	مقاومت متوسط	۵۶۲ - ۱۱۲۵	۸۰۰۰ - ۱۶۰۰۰
D	پایین	۲۸۱ - ۵۶۲	۴۰۰۰ - ۸۰۰۰
E	مقاومت خیلی پایین	< ۲۸۱	< ۴۰۰۰

#### گروه A:

دارای مقاومت خیلی بالایی هستند سنگ‌های کوارتزیت، بازالت‌های متراکم و دیاباز در این گروه سنگ‌ها قرار می‌گیرند.

#### گروه B:

دارای مقاومت بالایی است که اکثر سنگ‌های آذرین در این گروه هستند و سنگ‌های دگرگونی‌های مقاوم، ماسه سنگ‌های خوب سیمانی شده، شیل‌های بسیار سخت و اکثر آهک دولومیت‌ها می‌توانند در این گروه باشند.

#### گروه C:

شیل‌ها، ماسه سنگ‌های متخلخل و سنگ آهک‌ها و شیست‌ها

#### گروه D و E:

سنگ‌های خرد شده و هوازده مثل شیل‌های رسی، نمک‌ها و توف‌های متخلخل در این گروه جای می‌گیرند.

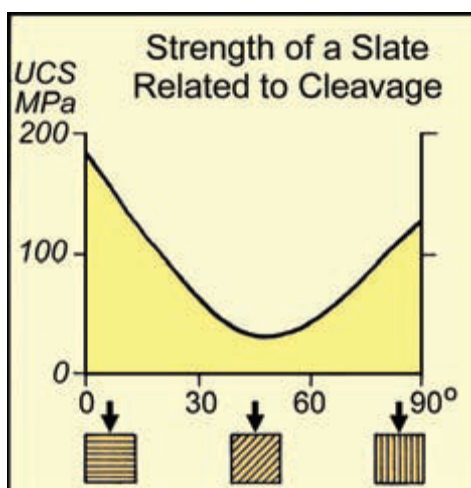
نکته:



در بین سنگ های مختلف برخی از سنگ ها دارای مقاومت کاملا متغیر می باشند که از جمله آنها می توان به شیست ها و آهک ها اشاره کرد.

### شیست

علت مقاومت متفاوت در شیست ها روش آزمایش است. به طوری که اگر محور بارگذاری عمود بر لایه بندی یا در راستای لایه بندی باشد، مقاومت سنگ بیشتر خواهد بود و اگر محور بارگذاری با لایه بندی حدود ۴۵ درجه زاویه داشته باشد کمترین مقاومت حاصل می شود. علت این موضوع سطح ضعف یا همان لایه بندی است که در برابر فشار تحکک بسیار کمی داشته و به راحتی می لغزند. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.



### آهک

علت اصلی تفاوت در مقاومت انواع آهک ها تفاوت در میزان تخلخل آنهاست. هر چه میزان تخلخل نمونه بیشتر باشد، مقاومت آن کاهش می یابد.

### طبقه بندی بر اساس نسبت مدولی:

به نسبت مدول الاستیسیته به مقاومت سنگ نسبت مدولی گفته می شود. بر اساس این نسبت سنگ ها به سه دسته اصلی تقسیم می شوند.

نسبت مدولی	توضیحات	علامت
------------	---------	-------



A	مدول بالا	$500 <$
B	مدول متوسط	$500 \sim 400$
C	مدول پایین	$200 >$

در نهایت نام سنگ به صورت دو حرفی بیان می شود. برای مثال سنگ گرانیته که مقاومت ۱۵۰ مگاپاسکال دارد و نسبت مدولی آن ۲۱۰ است را با نام BM معرفی می کنیم.

**تاثیر نوع سنگ و شرایط طبیعی آن بر مقاومت سنگ:**

۱. ترکیب کانی شناسی

۲. وزن مخصوص و وزن واحد جرمی

۳. تخلخل

۴. شکل و اندازه دانه ها

۵. هوازدگی

۶. میزان شکستگی های خیلی ریز سنگ

بطور کلی میتوان گفت بالاترین مقاومت متعلق به کوارتز است در حالی که مقاومت تراکمی فلدسپارها، پیروکس، اوزیت، هورنبلاند و سایر کانی های فرومنیزین کمتر است.

در سنگ هایی که دارای سیمان باشند، تاثیر سیمان بیشتر از تاثیر ویژگی ذرات است. تاثیر سیمان در مقاومت چشمگیرتر می باشد.

بطور کلی مقاومت سنگ هایی که دارای کانی های سست مثل کلسیت و ژپس باشد کم است و مقاومت سنگ حاوی کوارتز بالا هست.



هر چه مقاومت بالاتر می رود وزن مخصوص هم بیشتر می شود.

با افزایش تخلخل هم مقاومت سنگ و هم مدول الاستیسیته کاهش پیدا می کند.

هر چه سنگ ریزتر باشد سنگ مقاومتر است و سطح تماس ذرات افزایش می یابد چون اتصال ذرات بیشتر می شود.

هر قدر هوازدگی بیشتر باشد تاثیر منفی بیشتر بر رفتار مهندسی سنگ دارد.

عوامل بیرونی موثر در خواص مهندسی و مقاومتی سنگ شامل رطوبت و حرارت است.

عملاً هر قدر میزان رطوبت در سنگ بیشتر باشد باعث کاهش مقاومت می شود و تاثیر منفی بر ویژگی های مهندسی سنگ دارد.

## خاک

خاکها که حاصل هوازدگی سنگ ها هستند، مخلوط سمنته نشده ای از مواد جامد (کانی ها) می باشد که فضای بین آنها توسط آب یا هوا پر شده است. به این مجموعه باید مواد آلی (مانند ریشه گیاهان) را هم اضافه کنیم. کلیه خصوصیات مهندسی خاک تحت تاثیر این سه فاز می باشد.

## دانه بندی خاک ها

به منظور شناخت خصوصیات مختلف خاک ها به ناچار باید آنها را دانه بندی کرد. منظور از دانه بندی، طبقه بندی خاک ها بر اساس اندازه دانه ها و برخی خصوصیات آنها می باشد.

روش های مختلفی برای طبقه بندی خاک ها صورت می گیرد که از مهمترین آنها می توان به طبقه بندی یونیفاید و آشتو اشاره کرد که یونیفاید بیشتر در کارهای مهندسی و آشتو بیشتر در راه سازی کاربرد دارد. در تمام طبقه بندی های مهندسی، خاک را به دو دسته اصلی خاک ریز دانه (یا چسبنده) و درشت دانه (یا غیر چسبنده) تقسیم بندی می کنند.

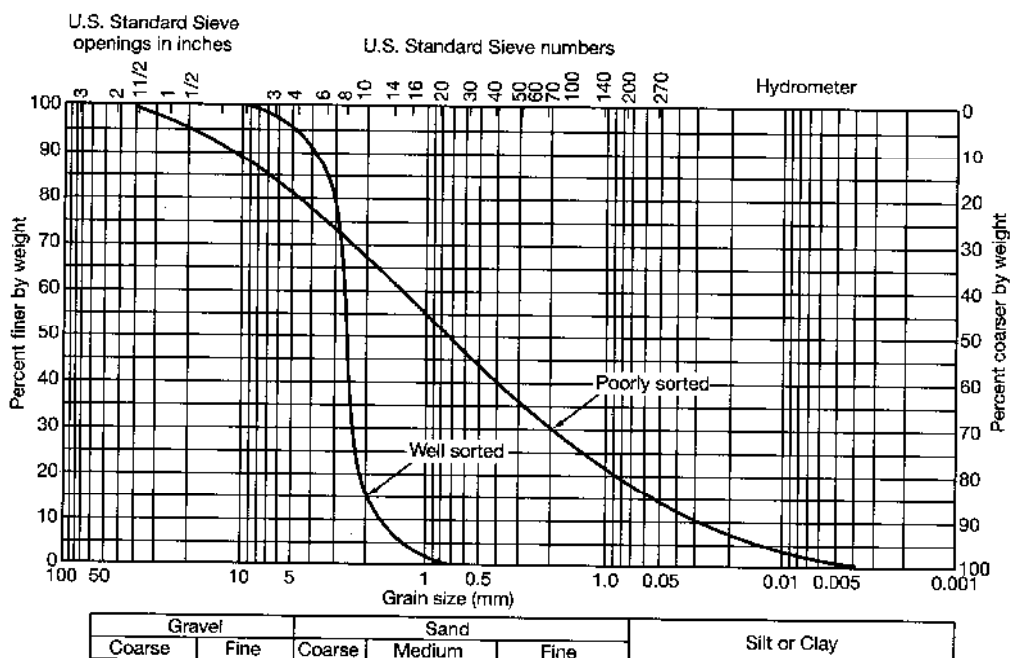
## روش دانه بندی



دانه بندی خاک توسط الک کردن صورت می گیرد. دستگاه آزمایش از یک سری الک استاندارد تشکیل شده که روی یکدیگر قرار گرفته اند. (شکل زیر)



دانه بندی در حقیقت به نحوه توزیع دانه های با اندازه مختلف در نمونه خاک گفته می شود. برای تعیین دانه بندی معمولاً از یک سری الک استاندارد که روی هم قرار گرفته اند و به سمت پائین ریز تر می شود استفاده می شود. در صورتی که درصد وزنی گذشته از هر الک را بر حسب اندازه قطر دانه ها رسم کنیم منحنی دانه بندی بدست می آید. در شکل زیر یک منحنی دانه بندی نشان داده شده است.





برای نام گذاری خاک ها از این روش استفاده می کنند.

۱ حد ۰.۷۵ میلی متر را برای جدا کردن خاک ریز دانه از درشت دانه در نظر می گیرند.

۲ حد ۴.۷۵ میلی متر را برای جدا کردن شن از ماسه به کار می برند

به عبارتی ذرات ریز دانه (سیلت و رس) ریز تر از ۰.۰۷۵ میلی متر هستند، شن بزرگتر از ۴.۷۵ میلی متر و ماسه بین ۰.۰۷۵ تا ۴.۷۵ میلی متر قطر دارد.

۳ هر خاک را با یک حرف می شناسند.

شن (Gravel): حرف G

ماسه (Sand) حرف S

رس (Clay) حرف C

ابتدا درصد خاک در هر رده را تعیین می کنند. اگر درصد وزنی ذرات عبور کرده از الک ۰.۰۷۵ بیشتر از درصد وزنی ذراتی بود که روی آن الک قرار گرفته اند آن خاک ریز دانه است و اگر خلاف این موضوع باشد خاک ریز دانه خواهد بود. در صورتی که خاک درشت دانه باشد یا شن است یا ماسه. برای تشخیص این موضوع از درصد ذرات با قطر ۰.۰۷۵ تا ۴.۷۵ میلی متر (یعنی ماسه) را با درصد وزنی ذرات با قطر بزرگتر از ۴.۷۵ میلی متر (یعنی شن) را با یکدیگر مقایسه می کنیم. هر یک بیشتر بود خاک همان نام را به خود می گیرد.

مثال

نام اصلی خاک	درصد وزنی شن	درصد وزنی ماسه	درصد وزنی ذرات درشت دانه	درصد وزنی ذرات ریز دانه
S	۲۵	۳۰	۵۵	۴۵
C	۲۰	۲۹	۴۹	۵۱



۱۰	۹۰	۲۰	۷۰	G
----	----	----	----	---

اطلاع از نوع خاک یک منطقه به ما کمک می کند تا خصوصیات آنها را بیشتر بشناسیم. برای پی بردن به این موضوع ابتدا به چند خصوصیت مهندسی خاک اشاره می کنیم و سپس راجع به مشکلات خاک ها و راهکار های مقابله با آن اشاره خواهیم کرد.

### خصوصیات مهندسی خاکها

رفتار خاک های مختلف تحت تاثیر خصوصیات مهندسی آنها می باشد. مقاومت و نفوذپذیری از مهمترین خصوصیات خاک ها به شمار می آیند که تاثیر قابل توجهی در رفتار خاک دارند.

مقاومت تحت تاثیر دو پارمتر اصلی می باشد: زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی اگر بخواهیم این موضوع را خیلی ساده بیان کنیم میتوانیم به اصطکاک قابل توجهی که بین ذرات درشت دانه وجود دارد و چسبندگی که بین ذرات ریز دانه مثل رس ها وجود دارد اشاره کنیم. برای مثال خاک رس در ترکیب با آب خاصیت چسبندگی از خود نشان می دهد در صورتی که ماسه های ساحلی هیچ گاه چنین خصوصیتی را از خود نشان نمی دهند.

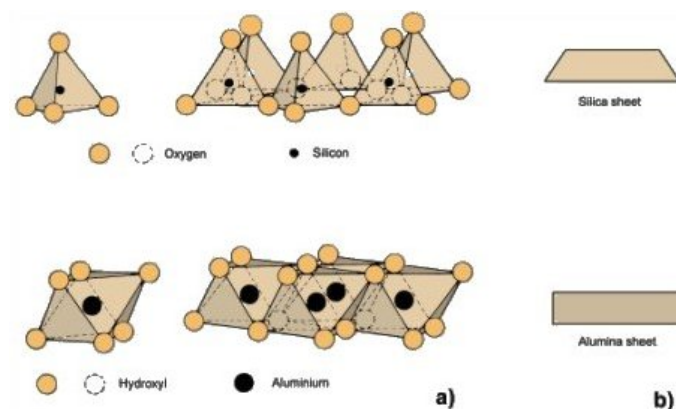
نفوذپذیری به توانایی خاک در عبور آب گفته می شود. خاک های درشت دانه نفوذپذیری بالایی دارند در صورتی که رس ها به سختی آب را از خود عبور می دهند به نحوی که آنها را خاک های نفوذ ناپذیر می نامند. میزان نرخ نفوذپذیری خاک های ریز دانه کمتر از  $1 \times 10^{-7} \text{ Cm/s}$  می باشد.

در مقام مقایسه خاک های درشت دانه مقاومتری به مراتب بیشتر از خاک های ریز دانه دارند و مشکلات مهندسی آنها نیز بسیار کمتر است. به همین دلیل ابتدا به بررسی ساختمان خاک های رسی می پردازیم و سپس مشکلات این خاک ها و راه کار های برخورد با این خاک ها را بیان می کنیم.

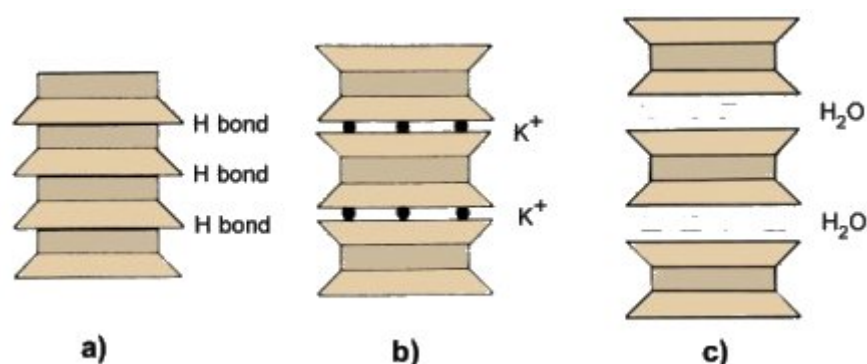
### خاک های رسی

خاک های رسی از کانی های رسی تشکیل شده اند و آنها را به سه دسته اصلی: کائولینیت، ایلیت و مونت موریونیت تقسیم بندی می کنند. تمام کانی های رسی از ورقه های سیلیکا و آلومینا تشکیل شده اند. این دونوع ورقه در شکل زیر نشان داده شده است.





تفاوت سه کانی رسی که گفته شد تنها در نحوه اتصال این ورقه ها است. کائولینیت ها از تکرار این ورقه ها روی یکدیگر تشکیل می شوند (شکل a)، در ایلیت ها، یون های پتاسیم هر دو ورقه آلومینا سیلیکا را به یکدیگر وصل می کند (شکل b) و در مونت مورینیت مولکول های آب این کار را انجام می دهد (شکل c).



به علت باردار بودن سطح کانی های رسی، مولکول های آب توسط آنها جذب می شوند. به علت خاصیت دو قطبی مولکول های آب این خاصیت تشدید می گردد. هر چه از سطح کانی رسی دورتر شویم شدت جذب آب توسط کانی کاهش می یابد.

این خاصیت جذب آب توسط کانی های رسی باعث ایجاد خصوصیات مهندسی رس ها می شود که این خصوصیات عبارتند از:

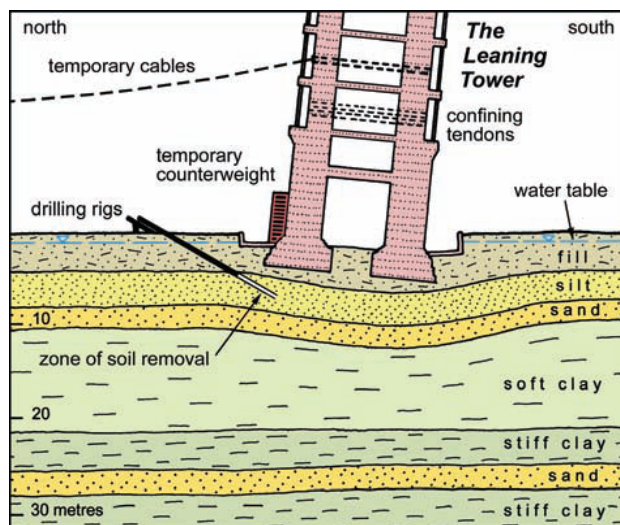
#### ۴- حالت خمیری

همانطور که بارها دیده اید با مخلوط کردن رسها با آب گلی شکل پذیر و البته چسبنده ایجاد می شود. این موضوع در خاک های رسی از نوع مونت مورینیت اثری دو چندان دارد.



#### ۴ تورم و نشست

خاک های رسی زمانی که در معرض آب قرار می گیرند، آب را به خود جذب می کنند و متورم می شوند و زمانی که آب را از دست می دهند منقبض شده و نشست رخ می دهد. هنگامی که یک سازه بر روی یک خاک رسی قرار می گیرد باید به این موضوع دقت شود زیرا تغییرات سطح آب زیر زمینی در طول زمان، چرخه نشست و تورم خاک رسی را به همراه دارد. بارز ترین نمونه نشست نامتقارن زیر یک سازه مهم برج پیزا است.



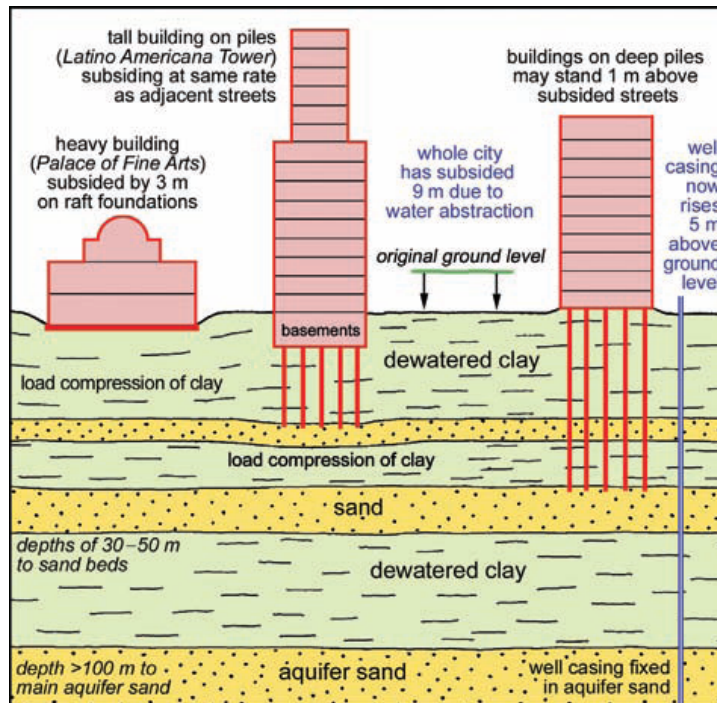
بهترین راه کار برای برخورد با چنین خاکهایی

۱ برداشت آنها در صورتی که ضخامت کمی داشته باشند

۲ استفاده از پی های عریض و گسترده

۳ استفاده از شمع تا وزن کل سازه به لایه ای سنگی یا مقاوم منتقل شود.





خاک های مسئله دار

چنانچه گفته شد خاک ها به دلایل مختلف ممکن است مشکلاتی را در پروژه های عمرانی ایجاد کنند. در این جا به چند نوع از این خاک ها اشاره می شود.

خاک های خورنده

خاک های خورنده عمدتاً بر روی فلزات اثر گذاشته و با خوردگی آنها را از بین می برند. این خاک ها خاکهایی قلیایی هستند که اسیدیته بالایی دارند. علت این موضوع درصد بالای املاح کلرور و سولفات در این خاکها می باشد. در صورتی که خطوط انتقال آب ، گاز یا نفت از روی این خاک ها عبور کند باید:

۱- خاک را تعویض کنیم یا

۲- از عایق برای لوله ها استفاده کنیم (مثل قیر)

۳- لوله های غیر فلزی به کار ببریم

۴- لوله ها را بالاتر از سطح زمین قرار دهیم.



## خاک های انحلال پذیر

خاکهایی هستند که در آنها کانی های انحلال پذیر کربناته (آهک)، سولفات (گچ) یا کلروره (نمک) وجود دارد. انحلال این خاک ها باعث شسته شدن خاک می شود. در ساخت به خصوص سد ها باید دقت شود که این خاک ها در ساختمان سد به کار نرود و درصد آنها در پی سد حداقل ممکن باشد.

## خاک های رمبنده

خاک هایی با اندازه ماسه ریز (لس) که به رنگ قهوه ای دیده می شود. به علت اینکه ذرات این خاک ها توسط سیمان کربناته به یکدیگر متصل شده اند، به مخض اینکه در معرض آب قرار گیرند به راحتی فرو می ریزند.

## خاک های واگرا

خاک های ریزدانه ای که درصد بالایی سدیم در ساختمان آنها وجود دارد را خاک های واگرا می نامند. این خاک ها در تماس با آب به راحتی شسته می شوند. آب عبوری روی این خاک ها خیلی زود گل آلود می شود و آبراهه هایی را در بخش هایی از خاک به وجود می آورد. در صورتی که این خاک ها در بستر کانال ها وجود داشته باشد باید آنها را تعویض کرد.

## زمین شناسی ساختمانی

ساختمان های زمین شناسی از جمله چین، گسل و شکستگی ها از مهمترین عواملی هستند که تاثیر قابل توجهی در رفتار سازه های مختلف مهندسی دارند. به همین مناسبت در احداث سازه های مختلف باید این ساختمان ها به دقت مورد بررسی قرار گیرند و از اثرات مخرب آنها جلوگیری کرد.

## نظریه تکتونیک صفحه ای: Plate Tectonic Theory

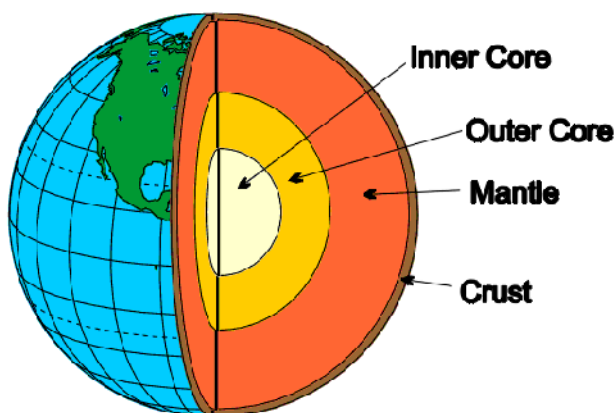


علت اصلی تشکیل ساختمان های زمین در تئوری تکتونیک صفحه ای توضیح داده شده است. اگر بخواهیم این نظریه را به طور ساده بیان کنیم می بایست به ساختمان درونی زمین توجه کنیم. کره زمین از سه بخش اصلی:

۱- پوسته ای (Crust) به ضخامت متوسط حدود ۱۰۰ کیلومتر در بخش بیرونی که بخش تقریباً جامد زمین بوده و از سیلیکات های مختلف تشکیل شده است.

۲- گوشته (Mantle) بخش نیمه مذاب با ضخامت ۲۸۰۰ کیلومتر

۳- هسته (Core) با ضخامت ۳۵۰۰ کیلومتر که بخش مرکزی آن غیر مذاب و بخش بیرونی آن به صورت مذاب است. نکته (علت اینکه بخش مرکزی زمین مذاب نمی باشد، فشار بسیار بالا و وجود فلزاتی چون آهن در مرکز زمین می باشد).

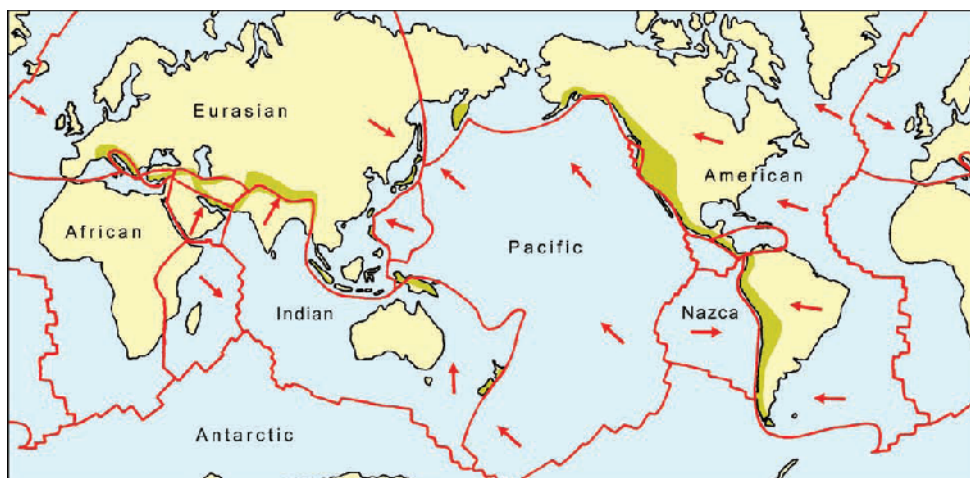


پوسته زمین به دو دسته اصلی قاره ای و اقیانوسی تقسیم بندی می شوند که تفاوت آنها در ضخامت و چگالی آنهاست.

۱- پوسته قاره ای ضخامت بیشتری دارد (حدود ۷۰ کیلومتر) و چون از سیلیکات های آلومینیوم تشکیل شده، چگالی کمی دارد (حدود ۲.۷)

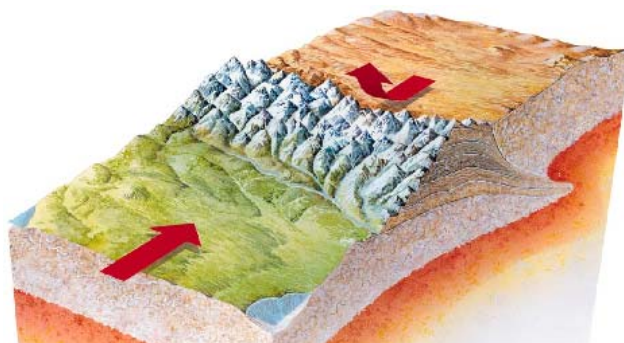
۲- پوسته اقیانوسی ضخامتی حدود ۱۰ کیلومتر دارد و به علت وجود یونهای آهن و منیزیم زیاد (کانی های بازیک) عمدتاً چگالی بیشتری نسبت به پوسته قاره ای دارد. در شکل زیر صفحات اصلی کره زمین نشان داده شده است.





نظریه تکتونیک صفحه ای بر این فرض استوار است که گرما از مرکز زمین به سوی بخش بیرونی حرکت می کند و رسیدن این گرما به پوسته جامد باعث ایجاد یک حرکت کنوکسیونی در بخش بالایی گوشته می شود و این موضوع سبب می شود که پوسته جامد بر روی گوشته نیمه مذاب تا مذاب حرکت کند. صفحات مختلف به همین ترتیب حرکت می کنند و در محل برخورد به یکدیگر ۲ حالت رخ می دهد.

۱- یا اینکه دو پوسته قاره ای به یکدیگر برخورد می کنند که در این صورت به علت ضخامت قابل توجه پوسته های قاره ای، کوه های مرتفعی در محل برخورد دو قاره تشکیل می شود. نمونه بارز این گونه برخورد ها، برخورد صفحه قاره ای هند به صفحه قاره ای آسیا می باشد که باعث تشکیل ارتفاعات تبت و رشته کوه های هیمالیا شده است.

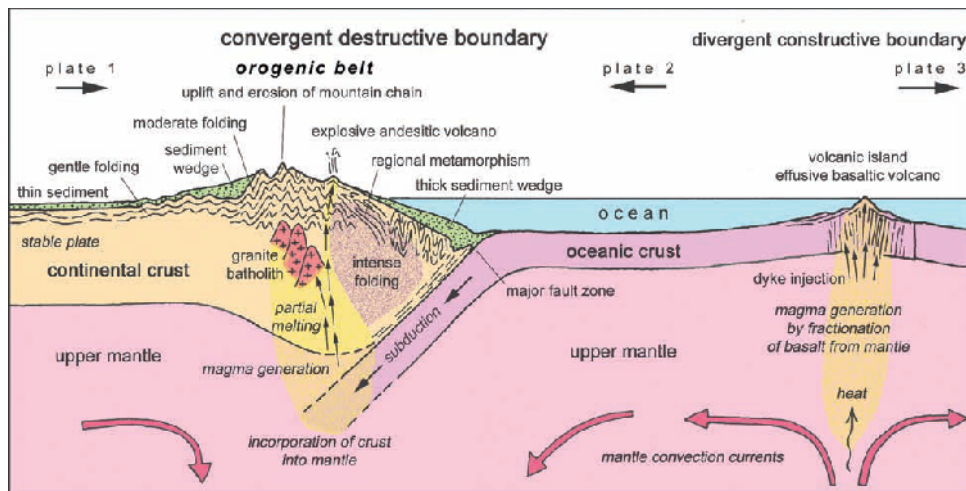


این اتفاق در کشور ایران نیز رخ داده و حاصل آن ایجاد زون زاگرس بوده است.

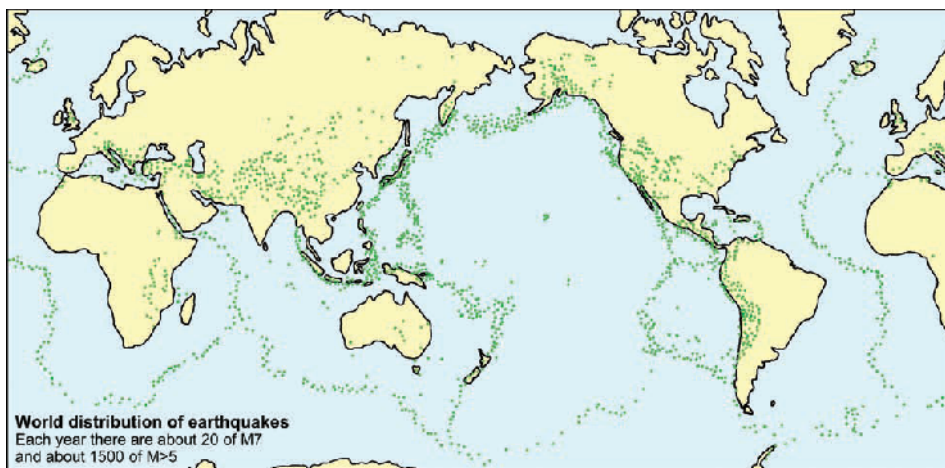
۲- یک پوسته قاره ای به پوسته اقیانوسی برخورد می کنید. در این حالت به دلیل ضخامت کمتر و چگالی بالاتر پوسته اقیانوسی، این پوسته به زیر صفحه قاره ای فرو می رود که در این صورت به آن فرو رانش گفته می



شود. هم اکنون اقیانوس آرام در حال فرورانش به زیر قاره آمریکا و آسیا است. مکانیسم و نحوه فرورانش در شکل زیر نشان داده شده است.



در محل این نوع برخورد ها معمولا آتشفشان های زیادی رخ می دهد که علت آن ذوب شدن سنگها و رسوبات در محل برخورد دو صفحه است. علاوه بر این در محل مرز صفحات مختلف به علت زلزله های متعددی رخ می دهد که در شکل زیر موقعیت مرکز سطحی زمین لرزه های کره زمین نشان داده شده است. همانطور کی مبینید اکثر این زمین لرزه ها با مرز صفحات تطابق دارد. علت این موضوع تنش های کششی و فشارشی زیادی است که در مرز صفحات مختلف وجود دارد.



سنگ های سطح زمین زمانی که تحت تاثیر فشار های تکتونیکی قرار گیرند دو نوع رفتار از خود نشان می دهند:



۱ رفتار شکل پذیر (چین ها)

۴ رفتار شکننده (شکستگی ها و گسل ها)

قبل از اینکه راجه به این ساختار ها صحبت کنیم، نیاز داریم با دو اصطلاح شیب و امتداد آشنا شویم. برای معرفی هر صفحه ای در فضا از این دو اصطلاح استفاده می کنیم.

### امتداد:

امتداد خطی است که حاصل برخورد یک صفحه افقی با هر سطح شیبدار ایجاد می شود. برای معرفی امتداد هر صفحه (لایه سنگی، یال چین، صفحه گسل و...) از زاویه ای که این خط با شمال مغناطیسی میسازد استفاده می کنیم. برای معرفی امتداد (که توسط ابزاری به نام کمپاس یا قطب نما اندازه گیری می شود) از دو روش استفاده می کنیم:

۱ زاویه آن خط را نسبت به شمال جغرافیایی در راستای ساعت گرد محاسبه می کنیم و با ۳ عدد معرفی می کنیم. برای مثال ۰۱۵، ۰۸۵، ۱۲۴، ۳۴۵

۴ روش دوم این است که زاویه آن خط را نسبت به شمال یا جنوب جغرافیایی (یا مغناطیسی) به سمت شرق یا غرب بیان کنیم. برای مثال اگر بخواهیم زاویه ۰۱۵ در روش قبل را معرفی کنیم آن را به صورت N 15E معرفی می کنیم زیرا آن خط از شمال ۱۵ درجه به سمت شرق حرکت کرده است. همچنین ۱۲۴ را به صورت S56E و ۱۸۵ را با S05W معرفی می کنیم. در این روش با توجه به چهار جهت اصلی حداکثر عددی که میتواند بیان شود ۹۰ درجه است.

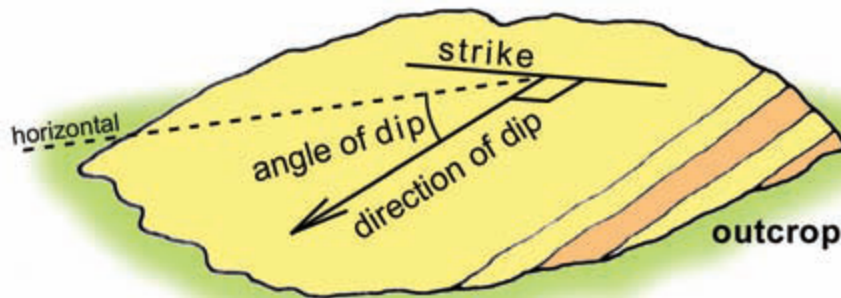
### شیب:

همانطور که میدانیم شیب زاویه ای است که صفحه مورد نظر با سطح افق می سازد.

### جهت شیب

برای معرفی هر صفحه باید جهت شیب را هم مشخص کنیم. منظور از جهت شیب، جهت جغرافیایی است که شیب در آن راستا است. در شکل زیر امتداد، شیب و جهت شیب یک صفحه نشان داده شده است.

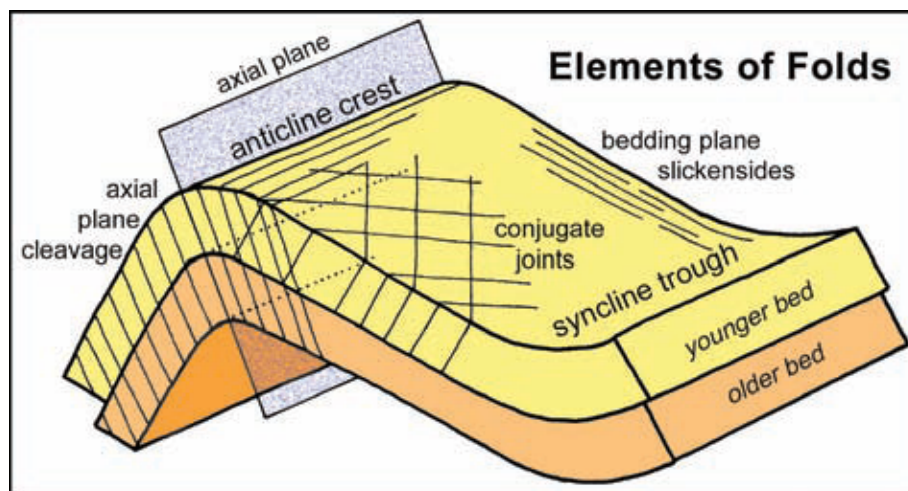




ساختمان های شکل پذیر (چین ها):

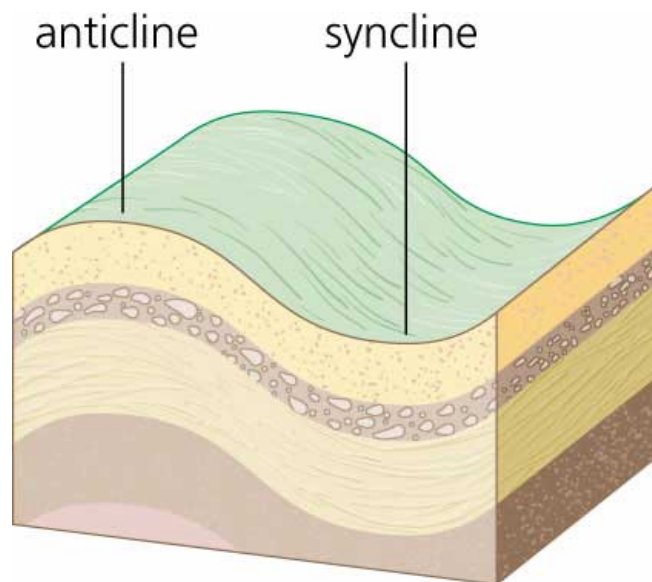
در نتیجه نیروهای فشارشی موجود در پوسته زمین، رسوبات کف حوضه های رسوبی از حالت افقی خارج شده و چین می خورند. سنگهایی که چین می خورند مقاومت زیادی در برابر نیروهای وارده دارند و پیش از شکسته شدن تا حد امکان توسط چین خوردگی در برابر تنش های وارده مقاومت می کنند.

در شکل زیر اجزای یک چین نشان داده شده است. هر چین دارای دو **یال** یا **پهلوی** می باشد که محل تقاطع آنها **محور چین** نامیده می شود. همچنین به سطحی که از محل محور چین آن را به دو قسمت متقارن تقسیم می کند **سطح محوری (Axial Plane)** گفته می شود.



چین ها طبقه بندی های مختلفی دارند ولی مهمترین طبقه بندی چین ها، بر اساس شکل آنها صورت می گیرد، به این ترتیب که آنها را به دو دسته تاقدیس (Anticline) و ناودیس (syncline) تقسیم بندی می کنند. در شکل زیر این دو نوع چین نشان داده شده است.





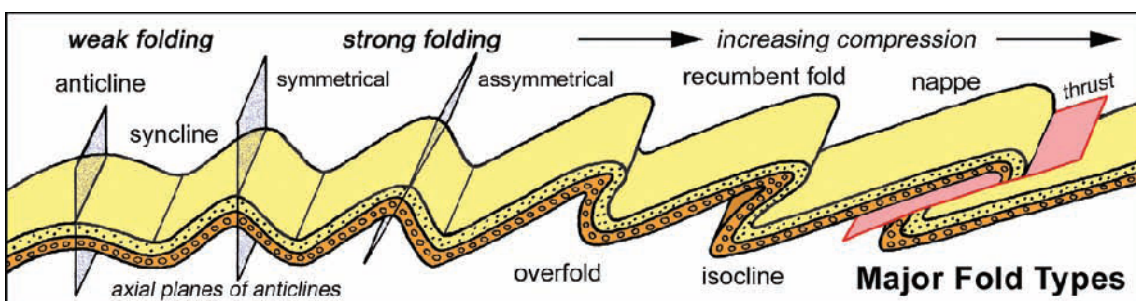
۱- تاقدیس:

تاقدیس ها چین هایی گنبدی شکل هستند که در آن لایه های قدیمی در مرکز چین قرار می گیرد و لایه های جدید در بخش بیرونی چین واقع می شود.

۲- ناودیس:

ناودیس ها بر خلاف تاقدیس ها، چین هایی کاسه ای شکل که در آن لایه های جدید در مرکز چین قرار می گیرند و لایه های قدیمی در بخش بیرونی قرار می گیرند.

در صورتی که تنش وارد به مجموعه سنگ یا رسوبات بیشتر شود، سطح محوری چین کم کم مایل می شود. در ابتدا چین های مایل و با افقی شدن سطح محوری چین ها، چین های خوابیده ایجاد می شود.



ساختار های شکننده (گسل و شکستگی ها):



در صورتی که سنگ ها تحت فشار قرار گیرند و رفتار شکل پذیر از خود نشان ندهند به دو صورت گسل یا شکستگی تغییر شکل می یابند. تفاوت اصلی شکستگی با گسل در این است که در شکستگی ها، سنگ های دو طرف شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت نمی کنند در صورتی که در گسل ها، سنگ های دو طرف شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت می کنند.

نکته: درزه ها همان شکستگی ها با مقیاس کوچک هستند که در طبقه بندی مهندسی سنگ ها بیشتر راجع به آنها صحبت می شود.

## گسل

گسل ها در حقیقت عامل زلزله هستند. پیدایش گسل ها با حرکت بخش هایی از پوسته زمین همراه است. علت حرکت زمین و تشکیل گسل، فشار های تکتونیکی وارد شده به آن بخش می باشد و با توجه به اینکه آن بخش از پوسته، توانایی تحمل فشار وارده را نداشته در نهایت در امتداد یک صفحه ضعیف گسیخته می شود و گسل ایجاد می شود. حرکت سنگها در امتداد صفحه گسل با آزاد شدن انرژی ذخیره شده در سنگ (زمین لرزه) همراه است.

## مشخصات گسل ها

گسل ها را عموماً با واژه هایی چون امتداد و شیب گسل، فرادیواره و فرودیواره معرفی می کنند. راجع به شیب و امتداد پیش از این صحبت شد.

فرادیواره: طبقات بالایی که روی صفحه گسل قرار می گیرند را فرادیواره یا کمر بالا می نامند.

فرودیواره: طبقات زیری صفحه گسل را فرودیواره یا کمر پائین می نامند.

## انواع گسل

۴- گسل نرمال یا عادی یا کششی (Normal)

گسل های عادی گسل هایی هستند که فرادیواره نسبت به فرودیواره به طرف پائین حرکت می کند. این گسل ها معمولاً در اثر کشش به وجود می آیند.

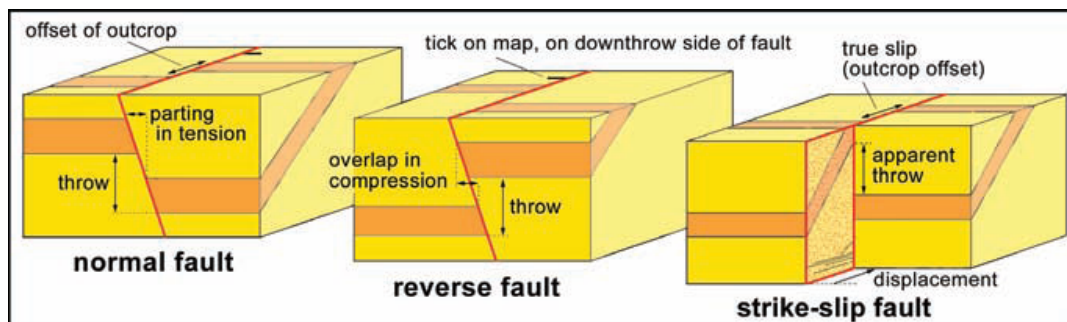
۵- گسل معکوس یا فشارشی یا رانده (Reverse)



این گسل ها همانطور که از نامشان پیداست در اثر نیروهای فشاری به وجود می آیند و در آن فرادیواره نسبت به فرودیواره به طرف بالا حرکت می کند.

#### ۴ گسل های امتداد لغز (Strike - Slip)

گسل هایی که حرکت فرادیواره و فرودیواره در راستای امتداد صفحه گسل صورت می گیرد. در شکل زیر سه نوع گسل نشان داده شده است.



گسل ها در نقشه های زمین شناسی توسط خطوط قرمز نشان داده می شود.

#### زمین لرزه

زمین لرزه ها نوعی جابجایی نوسانی پوسته زمین هستند که با آزاد شدن انرژی ایجاد می شوند. این انرژی معمولاً توسط یک جابجایی ناگهانی در امتداد یک گسل ایجاد می شود. زمانی که سنگ های قرار گرفته در امتداد یک گسل در معرض تنش های تکتونیکی قرار گیرند، با از دست دادن مقاومت خود، ناگهان شکسته می شوند و انرژی ذخیره شده در خود را آزاد می کنند.

با رخداد زمین لرزه، امواج لرزه ای از محل زمین لرزه درون زمین (یعنی کانون زمین لرزه) به تمام جهات پخش می شوند. در حقیقت کانون زمین لرزه نقطه ای درون زمین است که انرژی زمین لرزه از آنجا نشات می گیرد.

#### مرکز سطحی زمین لرزه

مرکز زمین لرزه محلی در سطح زمین است که نزدیک ترین فاصله را با کانون زلزله دارد.

#### عمق زمین لرزه



فاصله مرکز زلزله تا کانون زمین لرزه را عمق زلزله می گویند. زلزله ها بر اساس عمق به سه دسته کم عمق (با عمق کانون کمتر از ۶۰ کیلومتر)، عمق متوسط (با عمق کانون بین ۶۰ تا ۳۰۰ کیلومتر) و عمیق (با عمق کانون بیشتر از ۳۰۰ کیلومتر) تقسیم می کنند.

### پیش لرزه:

زلزله های کوچکی که قبل از یک زلزله بزرگ اتفاق می افتد. هر چه به زمان زمین لرزه اصلی نزدیک می شویم، شدت لرزه ها بیشتر و فواصل بین آنها کاهش می یابد.

### پس لرزه:

زلزله های کوچکی که پس از زمین لرزه اصلی رخ می دهند و بعد از زمین لرزه اصلی فاصله بین آنها افزایش می یابد.

### لرزه نگار

با انتشار امواج دستگاه هایی به نام لرزه نگار آنها را ثبت می کنند. لرزه نگار ها (Seismogram) می توانند لرزه نگاشت یک زمین لرزه را ثبت کنند. مکانسیم لرزه نگار ها یک وزنه سنگین و آویخته است که اینرسی آن باعث می شود که تا زمانی که زمین بدون حرکت است، ساکن بماند ولی با حرکت زمین می تواند حرکت های افقی و قائم را ثبت کند.

### امواج لرزه ای:

در اثر ارتعاش زمین دو نوع موج ایجاد می شود : A امواج سطحی ۴ امواج درونی

- امواج درونی

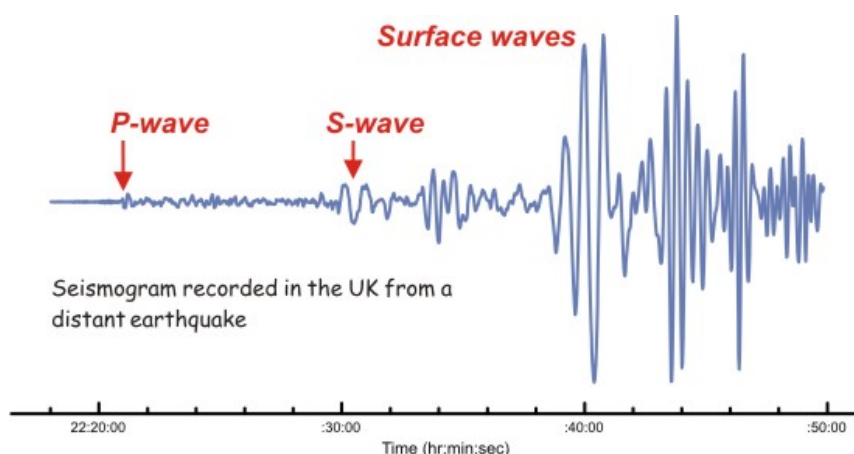
این امواج به دو دسته فشاری P و برشی S تقسیم بندی می شوند. امواج فشاری سرعت زیادی دارند ( km/h ۳۰۰۰ ) و به دلیل اینکه اولین امواجی هستند که به لرزه نگار ها می رسند به آنها امواج اولیه گفته می شود. این امواج توانایی این را دارد که از تمام بخش های کره زمین عبور کند. امواج برشی یا ثانویه با سرعت km/h ۱۴۰۰۰ حرکت می کنند. این امواج توانایی عبور از هسته خارجی زمین (که به صورت مذاب است) را ندارند.



## - امواج سطحی:

این امواج در سطح زمین حرکت می کنند و به دو نوع لاو و ریلی تقسیم بندی می شوند. امواج لاو قدرتمندترین ارتعاشات لرزه ای است که بیشترین خسارات را در هنگام زمین لرزه ایجاد می کند.

در شکل زیر یک لرزه نگاشت نشان داده شده است. شروع امواج اولیه و ثانویه به خوبی در این شکل دیده می شود.



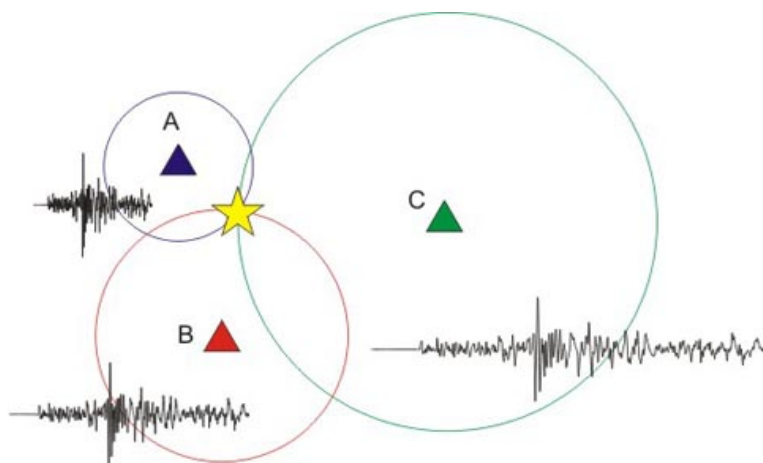
## تعیین مرکز سطحی زمین لرزه

با توجه به اختلاف زمان رسید امواج P و S و مشخص بودن سرعت این امواج می توان فاصله مرکز سطحی را با محل لرزه نگاشت تعیین کرد که نقطه ای بر روی دایره ای با شعاع فاصله تعیین شده واقع شده است. بنابراین با در اختیار داشتن حداقل سه لرزه نگاشت و ترسیم ۳ دایره محل دقیق مرکز سطحی تعیین می شود. برای تعیین فاصله کانون تا محل لرزه نکار می توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$D = \frac{V_p \cdot V_s}{V_p - V_s} (t_p - t_s)$$

و روش تعیین محل کانون نیز در این شکل نشان داده شده است.





### شدت زمین لرزه Intensity

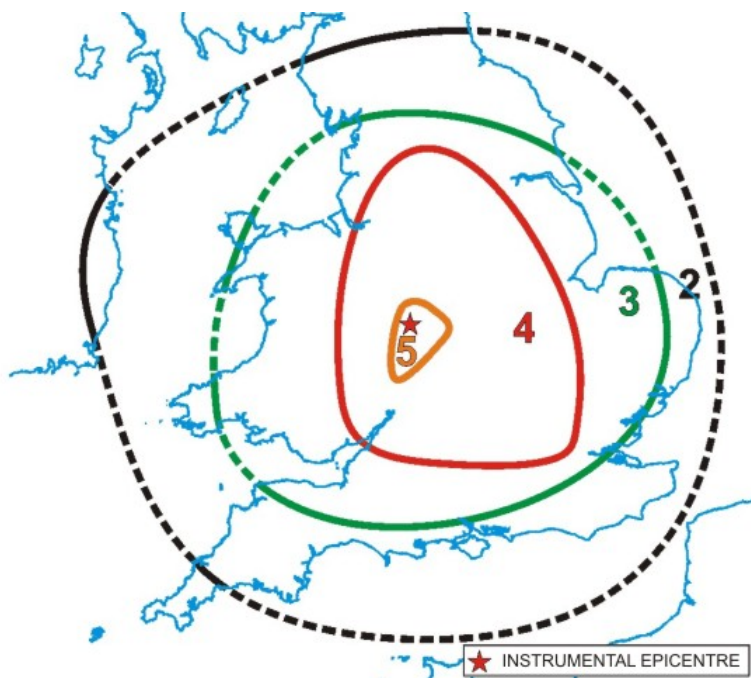
شدت زمین لرزه با مقیاس مرکالی معرفی می شود، در حقیقت یک مقیاس نسبی است که در آن اثرات وقوع زمین لرزه در یک موقعیت خاص را نشان می دهد. در جدول زیر مقیاس مرکالی نشان داده شده است. همانطور که می بینید این مقیاس شدت خرابی ایجاد شده توسط زمین لرزه را به ۱۲ رده تقسیم کرده است. مشخص است که با جمع آوری آمار در ارتباط با شدت زمین لرزه، می توان منحنی های هم شدت را ترسیم و در نهایت به نقطه با بالاترین شدت در مرکز منحنی ها دست یافت.



مقیاس مرکالی	رویدادهای اتفاقی ممکن
۱	احساس نمی‌شود
۲	توسط شخص در حال استراحت یا در طبقات بالای ساختمان احساس می‌شود
۳	در داخل ساختمان احساس می‌شود. اشیاء آویزان تکان می‌خورند ارتعاشی مثل گذر کامیونهای سبک دارند. مدت لرزش قابل برآورد است. ممکن است زلزله به حساب نیاید
۴	اشیاء آویزان تاب می‌خورند. ارتعاشی مثل گذر کامیونهای سنگین یا احساس ضربتی مثل برخورد یک توپ سنگین به دیوار دارد. ماشینهای پارک شده تکان می‌خورند. پنجره‌ها، بشقابها و درها به صدا در می‌آیند. شیشه‌ها به صدا در می‌آیند. ظروف سفالی به هم می‌خورند. در حد فوقانی iv دیوارهای چوبی و قابها ترک بر می‌دارند
۵	در خارج ساختمان احساس می‌شود. جهت آن قابل برآورد است. افراد خواب بیدار می‌شوند. مایعات به حرکت در می‌آیند و برخی از آنها به خارج ظرف خود می‌ریزند. اشیاء ناپایدار کوچک جا به جا یا واژگون می‌شوند. درها تکان می‌خورند و باز و بسته می‌شوند. ساعت‌های آونگی متوقف شده، به حرکت آمده یا سرعتشان تغییر می‌کند
۶	توسط همه احساس می‌شود. بسیاری متوحش شده و از ساختمانها خارج می‌شوند. اشخاص به طور نامتعادلی حرکت می‌کنند. پنجره‌ها، بشقابها و ظروف شیشه‌ای می‌شکنند. اشیاء، کتابها و چیزهای دیگر از قفسه‌ها به خارج می‌ریزند. عکسها از دیوارها فرو می‌افتند. مبلها جا به جا شده یا واژگون می‌شوند. گچهای ضعیف یا ساختمانهای نوع d ترک بر می‌دارند. زنگهای کوچک کلیساها و مدارس به صدا در می‌آیند. درختان و بوته‌ها تکان می‌خورند
۷	آیستادن مشکل می‌شود. توسط رانندگان وسایل نقلیه احساس می‌شود. اشیاء آویزان شدیداً نوسان می‌کنند. مبلها و وسایل چوبی می‌شکنند. بناهای نوع d صدمه می‌بینند و ترک بر می‌دارند. دودکشهای ضعیف در محل اتصالشان به سقف می‌شکنند. قطعات گچ، آجرهای سست، سنگ و کاشی سقوط می‌کنند، برخی از بناهای نوع c ترک بر می‌دارند. امواج آب در سطح حوضها و آبگیرها گل آلود می‌شود. لغزشها و حفرات کوچکی در سواحل شنی و ماسه‌ای ایجاد می‌شود. زنگهای بزرگ کلیساها به صدا در می‌آیند. نه‌رهای آبیاری صدمه می‌بینند
۸	هدایت وسایل نقلیه مشکل می‌شود. بناهای نوع c صدمه می‌بینند و بخشی از آنها فرو می‌ریزند. به بناهای نوع b کمی صدمه وارد می‌آید بناهای نوع a بدون صدمه باقی می‌مانند. گچ کاریها و برخی از دیوارها فرو می‌ریزند. دودکشها و بناهای یادبود، برجها و مخازن مرتفع می‌چرخند و فرو می‌ریزند. دیوارهای جداکننده‌ای که محکم نباشد از محل خود خارج می‌شوند. شمعهای فرسوده شده می‌شکنند. شاخه‌های درختان می‌شکنند. میزان دما و جریان آب چشمه‌ها و چاهها تغییر می‌کند. در زمینهای مرطوب و دامنه‌های پرشیب ترک‌هایی ایجاد می‌شود
۹	عموم مردم احساس وحشت می‌کنند. بناهای نوع d کاملاً تخریب می‌شوند، بناهای نوع c به شدت صدمه می‌بینند و گاه کاملاً فرو می‌ریزند، بناهای نوع b به طور جدی صدمه می‌بینند. ساختمانهای پیش ساخته، اگر خوب به هم متصل نشده باشند، از محل پی جا به جا می‌شوند مخازن شدیداً صدمه می‌بینند. لوله‌های زیرزمینی می‌برند. ترکهای آشکاری در زمین ایجاد می‌شود. در زمینهای آبرفتی، ماسه و گل به خارج فوران می‌کنند
۱۰	پی اغلب بناهای معمولی و پیش ساخته تخریب می‌شود. برخی از سازه‌های چوبی خوب ساخته شده و پلها تخریب می‌شوند. سدها و خاکریزها صدمه جدی می‌بینند. زمین لغزه‌های بزرگ به وقوع می‌پیوندد. آب از ساحل کانالها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و غیره به خارج می‌ریزند. ماسه و گل در سواحل و زمینهای هموار به طور افقی جا به جا می‌شوند. ریلهای راه آهن کمی خم می‌شوند
۱۱	ریلها به شدت خم می‌شوند. خطوط لوله زیرزمینی کاملاً از سرویس خارج می‌شوند
۱۲	خسارت تقریباً به طور کامل است. توده‌های سنگی بزرگ جا به جا می‌شوند. اشیاء به هوا پرتاب می‌شوند

در شکل زیر یک نقشه هم شدت زمین لرزه نشان داده شده است.

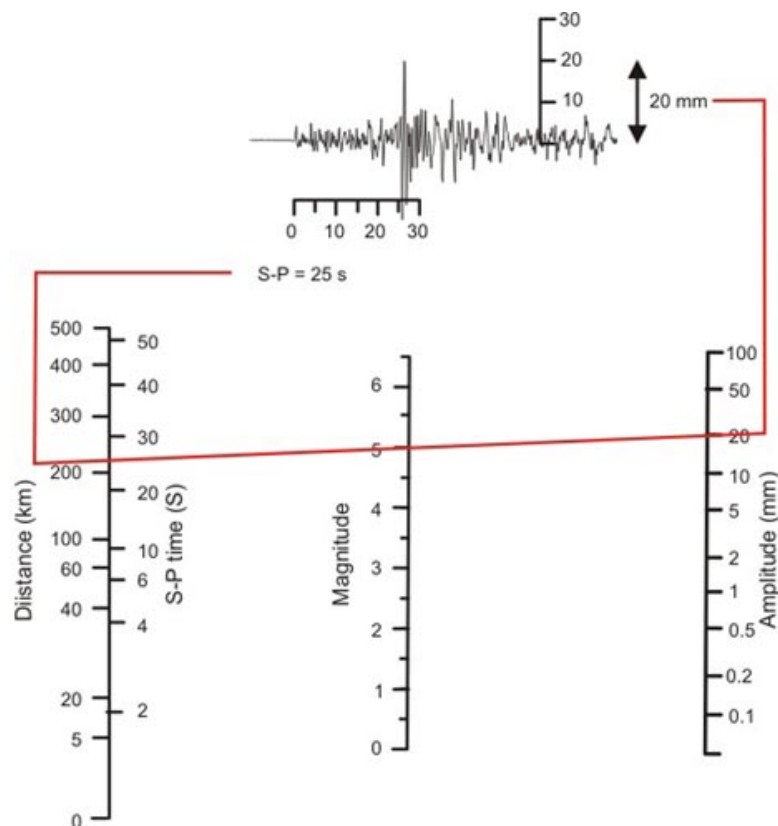




### بزرگی زمین لرزه: Magnitude

بزرگی زمین لرزه توسط آقای ریشتر در سال ۱۹۳۵ ابداع شد و پارامتری است که به طور کمی توسط یک لرزه نگاشت ثبت می شود. بنا به تعریف بزرگی  $M$  به صورت لگاریتم دامنه بزرگترین موجی که در یک لرزه نگاشت (بر حسب میکرون) استاندارد در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از مرکز سطحی زمین لرزه قرار گرفته است، بیان می شود. با توجه به اینکه لرزه نگاشت ممکن است در فاصله ای کمتر یا بیشتر از ۱۰۰ کیلومتری مرکز سطحی قرار گرفته باشد برای بدست آوردن بزرگی از نوموگرام استفاده می شود.





در شکل فوق مشخص است که با در اختیار داشتن بزرگترین دامنه موج (۲۰ میلی متر) و اختلاف زمان رسید امواج P و S بزرگی ۵ ریشتر برای زمینلرزه بدست آمده است.

### انرژی زمین لرزه:

میزان انرژی آزاد شده در زمین لرزه بر حسب ارگ، از رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{Log}E = 11.4 + 1.5M$$

برای مقایسه میزان انرژی آزاد شده در زمین لرزه با انفجار تی ان تی در جدول زیر آورده شده است. میزان انرژی هر زمین لرزه با افزایش هر ریشتر ۳۰ برابر می شود. برای مثال میزان انرژی آزاد شده در زمین لرزه های ۵، ۶ و ۷ ریشتری به ترتیب ۳۰، ۹۰۰، ۲۷۰۰۰ برابر انرژی آزاد شده در زمین لرزه ۴ ریشتری است.



Magnitude	TNT Equivalent	Example
1.0	30 lb	Construction site blast
2.0	1 ton	Large quarry or mine blast
3.0	29 ton	
4.0	1 kiloton	Small atomic bomb
5.0	32 kiloton	Nagasaki atomic bomb
6.0	1 megaton	Double Spring Flat, NV Quake, 1994
7.0	32 megaton	Largest thermonuclear weapon
8.0	1 gigaton	San Francisco, CA Quake, 1906
9.0	32 gigaton	Indian Ocean Quake 2004

### زمان بازگشت زمین لرزه ها

منظور از زمان بازگشت، مدت زمانی است که یک گسل برای فعالیت مجدد به آن نیاز دارد. مدت زمان فعالیت معمولاً به فاکتورهای مختلفی از جمله نوع گسل بستگی دارد ولی به طور کلی می توان گفت که دوره بازگشت زمین لرزه برای گسل های فشاری بیشتر از گسل های کششی و دوره بازگشت گسل های کششی بیشتر از گسل های امتداد لغز می باشد.

### تقسیم بندی گسل ها از نظر فعالیت

گسل ها را از نقطه نظر فعالیت به سه دسته اصلی تقسیم بندی می کنند: گسل های فعال، گسل های با توان فعالیت و گسل های غیر فعال

### گسل های فعال

گسل های فعال به گسل هایی گفته می شود که یکی از ویژگی های زیر را داشته باشد:

- رسوبات کواترنر را بریده باشد (یک فعالیت در ۳۵۰۰۰ سال گذشته، یا دو فعالیت در ۵۰۰۰۰۰ سال گذشته)
- در منطقه زمین لرزه های تاریخی رخ داده باشد.

### گسل های با توان فعالیت



- نشانه ای از زمین لرزه های تاریخی دیده نمی شود.
- گسل لایه ای از کواترنر (رسوبات جدید) را قطع کرده است.
- گسل غیر فعال** نیز گسلی است که نه رسوبات کواترنر را قطع کرده و نه هیچ فعالیت تاریخی داشته است.

### آب های زیرزمینی

آبهایی که در زیر زمین وجود دارد و تمام خلل و فرج بین ذرات را پر کرده است را آب زیرزمینی می نامند.

### منشا آبهای زیرزمینی



منشاء آبهای زیرزمینی به دو دسته اصلی تقسیم می شود:

- ۱ آبهای جوان: این آبها مثل آبهای محبوس بین رسوبات (در هنگام رسوبگذاری، آبهای ماگمایی) هستند که درصد ناچیزی از آبهای زیرزمینی را تشکیل می دهند.
- ۲ آبهای جوی: آبهای ناشی از بارندگی که در زمین نفوذ می کند و به آبهای زیرزمینی می پیوندد را گویند.

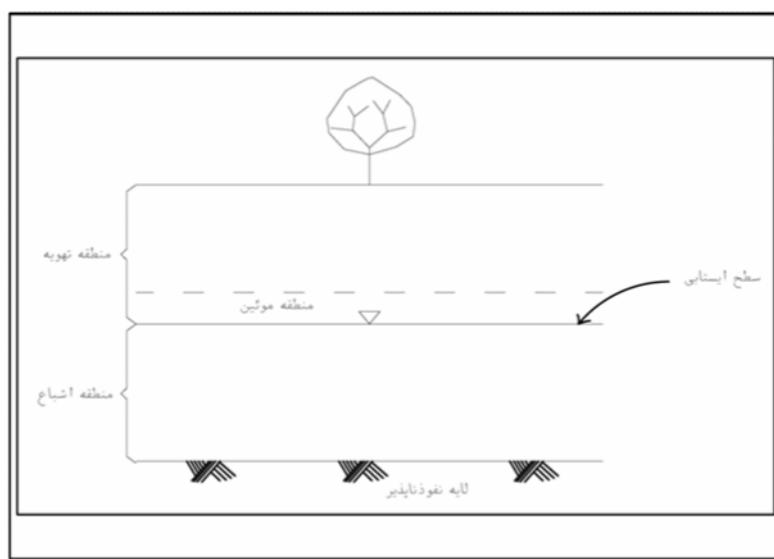
### منطقه بندی

از سطح زمین که به سمت پائین حرکت می کنیم از نظر هیدروژئولوژی دو لایه اصلی دیده می شود.

۱ منطقه تهویه

۲ منطقه اشباع

با فرو رفتن آب در زمین در نهایت به لایه نفوذناپذیری می رسد که نمی تواند به آن نفوذ کند. پس از آن شروع به پر کردن فضاهای خالی می کند تا اینکه یک زون اشباع (Saturation Zone) را بوجود می آورد. به سطح بالایی این زون، سطح ایستایی گویند. در این سطح آب تحت تاثیر نیروی موئینه به سمت بالا حرکت می کند و منطقه موئین را تشکیل می دهد. به فاصله بین سطح ایستایی تا سطح زمین را منطقه تهویه می گویند.



نمایی از مدل ساده آب زیرزمینی



## اشکال مختلف آب در خاک

آب در خاک به ۳ صورت اصلی وجود دارد:

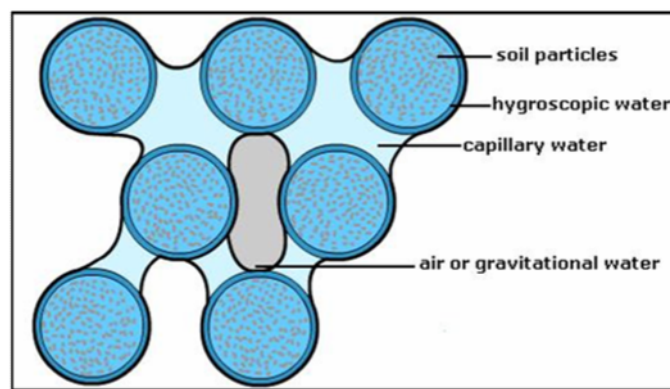
۱- آب جذبی که جذب سطح بلور و کانی های خاک می شود و خود به دو صورت دیده می شود

۱-۱ آب نمی: تضاریس بسیار ریز سطح خاک توسط این آب آغشته می شود

۱-۲ آب غشایی: این آب آب نمی و سطوح ذرات را می پوشاند و اگر چه ضخامت بسیار متفاوتی دارد

ولی هیچ گاه از ۰.۱ میکرون تجاوز نمی کند. این آب که آب هیگروسکوپیک نامیده می شود در اثر نیروی ثقل جابجا نمی شود.

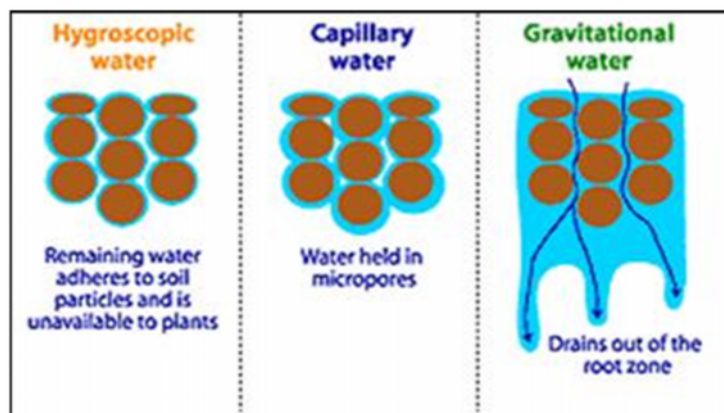
۲- آب موئین: هرگاه رطوبت خاک از حد هیگروسکوپیک بیشتر شد، آب در داخل لوله هایی که بین ذرات خاک تشکیل می شود (تحت اثر نیروی کاپیلاریته) بالا می آید ولی نیروی ثقل نمی تواند آن را جابجا کند.



آبهای موئین و هیگروسکوپیک

۳- آب آزاد (ثقلی): این آب که آب اشباعی نامیده می شود، میزان آبی است که خلل و فرج غیر موئین خاک را پر کرده و تحت تاثیر نیروی ثقل در خاک حرکت می کند.





انواع آب در خاک (به ترتیب از چپ به راست: آب هیگروسکوپیک، موئین، آزاد)

### لایه آبدار (آبخوان یا سفره آب زیرزمینی)

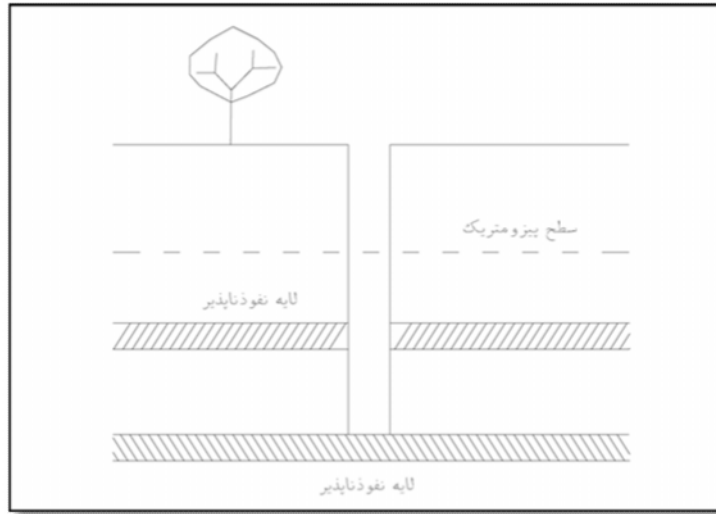
آبخوان (Aquifer)، یک لایه اشباع شده در زمین است که می توان آن را منبع آب به حساب آورد. اگر آبخوان آب را از خود عبور ندهد و در خود جمع نکند به آن سازند بسته (اکوفیوژ) می گویند و در صورتی که آب را در خود جمع کند ولی به سختی عبور دهد به آن سازند ریز (اکوکلود) گویند.

لایه های آبدار را همچنین به دو دسته آزاد و بسته نیز تقسیم بندی می کنند.

### لایه آبدار آزاد: لایه آبداری که سطح ایستابی، سطح بالای آن را تشکیل دهد (شکل)

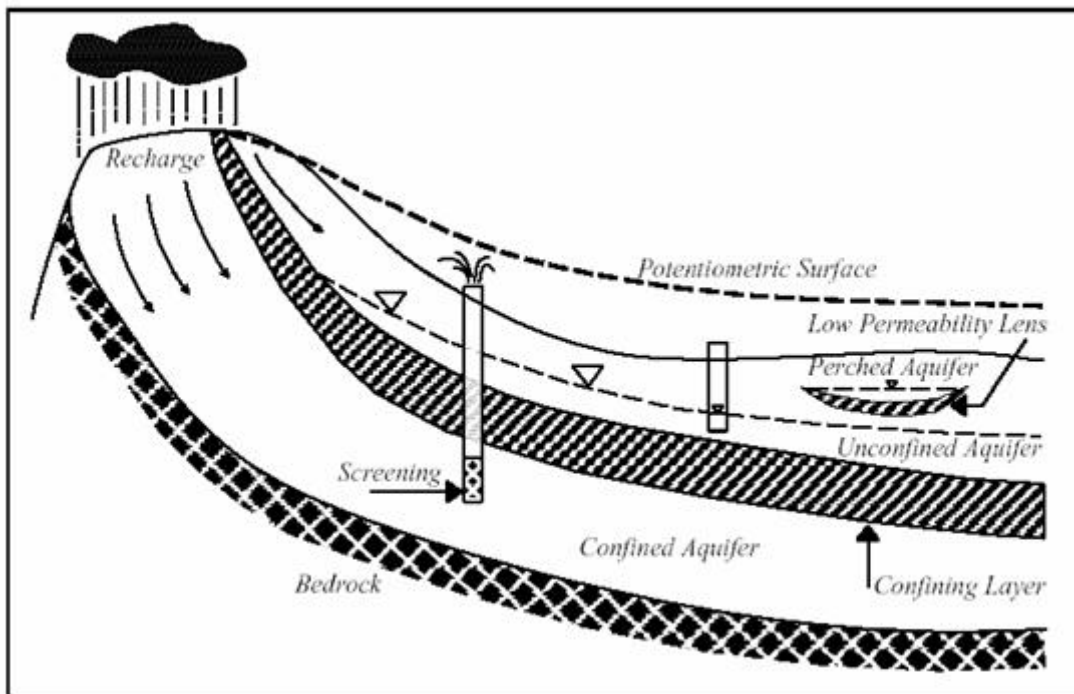
لایه آبدار بسته: لایه آبداری است که سطح بالای آن مشخص نیست و آب بین دو لایه نفوذناپذیر تحت فشار قرار دارد. در این حالت اگر چاهی در آن حفر شود سطح آب بالاتر از لایه اشباع قرار می گیرد که در این حالت به آن سطح پیزومتریک گفته می شود. این سطح پیزومتریک ممکن است بالاتر از سطح زمین باشد که در صورت حفر چاه در این آبخوان ها آب به صورت آرتزین خارج خواهد شد. (شکل)





آبخوان تحت فشار

در شکل زیر این دو نوع آبخوان نشان داده شده است.



آبخوان آزاد، تحت فشار ، چاه آرتزین

تخلخل



تخلخل یک توده سنگ یا خاک، به نسبت حجم فضای خالی به حجم کل توده گفته می شود و بر حسب درصد نشان داده می شود.

$$n\% = \frac{v_v}{v}$$

**آبدهی ویژه (تخلخل موثر)**

آبدهی ویژه (Specific Yield)، یا تخلخل موثر عبارتست از میزان درصد حجم آبی که در اثر نیروی ثقل از یک خاک اشباع شده خارج می شود به کل حجم خاک

$$S_y = 100 \frac{v_y}{v}$$

Sy: آبدهی ویژه

Vy: حجم آبی که در اثر نیروی ثقل خارج می شود

V: حجم کل توده خاک

این نسبت در خاک شنی ۲۵٪، در ماسه ۲۰٪ و در رس ها کمتر از ۳٪ است

**نگهداشت ویژه**

نگهداشت ویژه (Specific)، یا ظرفیت نگهداری مخصوص عبارتست از نسبت حجمی آب نگهداشته شده (آبی که تحت نیروی ثقل از آن خارج نمی شود)، به حجم کل نمونه ک هبه درصد بیان می شود.

$$S_r = 100 \frac{v_r}{v}$$

Sr: نگهداشت ویژه

Vr: حجم آبی که در اثر نیروی ثقل از ذرات جدا نمی شود

V: حجم کل توده خاک

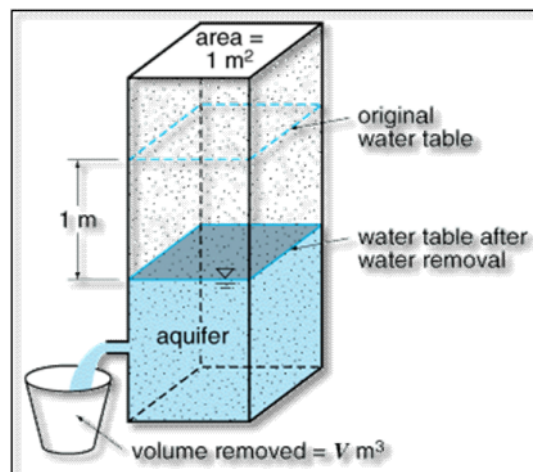


مجموع نگهداشت ویژه و آبدهی ویژه میزان تخلخل خاک را نشان می دهد

$$n = S_r + S_y$$

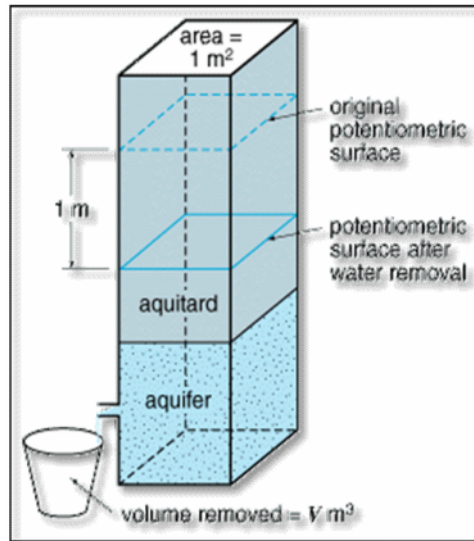
### ضریب ذخیره

ضریب ذخیره (Specific Storage) عبارتست از نسبت حجم آبی که یک منشور قائم آبدار به سطح مقطع واحد به ازای واحد ارتفاع پیزومتری پس می دهد یا ذخیره می کند، به حجم کل منشور. این پارامتر را با  $S$  نشان می دهند. در سفره های آبدار آزاد میزان این ضریب برابر با آبدهی ویژه است ولی در سفره های آبدار تحت فشار با میزان ضریب ذخیره متفاوت است. این میزان در سفره های آبدار آزاد بین  $0.02$  تا  $0.3$  تغییر می کند در حالی که در سفره های تحت فشار بین  $10^{-7}$  تا  $10^{-3}$  تغییر می کند.



ضریب ذخیره در آبخوان آزاد

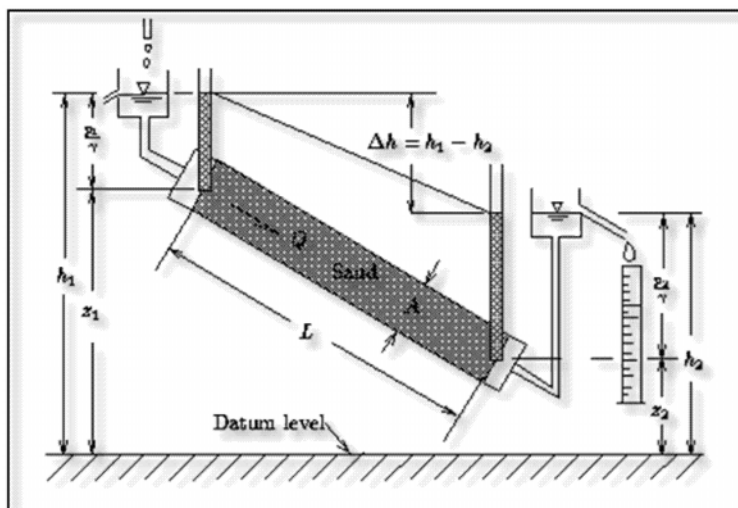




ضریب ذخیره در آبخوان بسته

## حرکت آب های زیرزمینی

حرکت آب های زیرزمینی توسط قانون دارسی بیان می شود. دارسی لوله ای پر شده از شن را مقابل جریان آب قرار داد و سرعت را بدست آورد.



شکل (قانون دارسی)



بر این اساس سرعت جریان آب زیرزمینی از رابطه زیر بدست می آید.

$$V = Ki$$

که در آن:

K: نفوذپذیری (بر حسب متر بر روز)

i: شیب هیدرولیکی سطح آب که خود از رابطه زیر بدست می آید:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

V: سرعت جریان (بر حسب متر بر روز)

و میزان دبی (حجم آب عبوری) نیز به راحتی قابل محاسبه است.

$$Q = KAi$$

که در آن

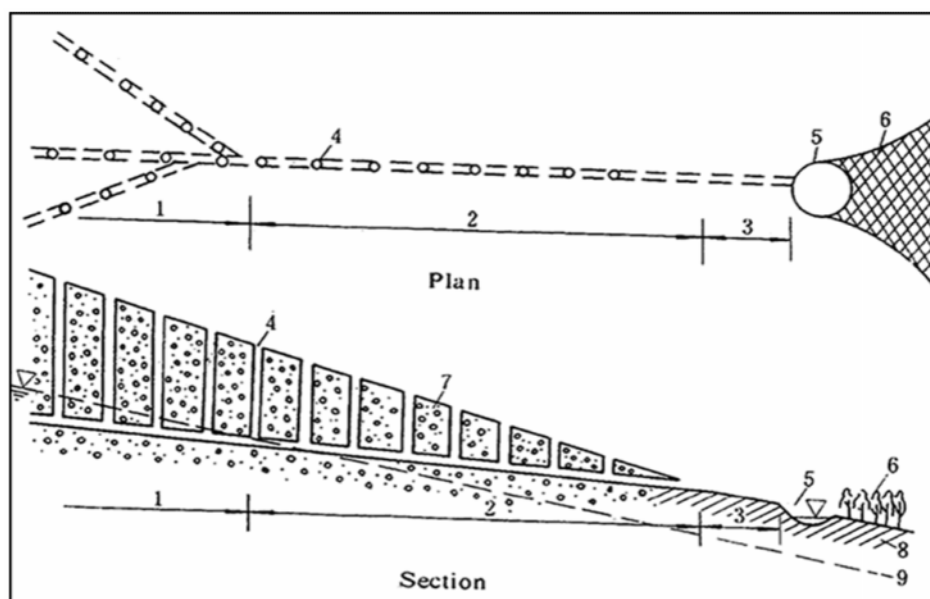
Q: دبی جریان عبوری (بر حسب متر مکعب در روز)

A: سطح مقطع جریان (بر حسب متر مربع) می باشد.

## قنات

قنات ها که اولین بار توسط ایرانی ها ساخته شدند سیستمی کار آمد برای بهره برداری از آب زیرزمینی بدون استفاده از هیچ گونه انرژی بوده است. یک قنات از تونلی افقی با شیب کم ساخته شده است. در طول این تونل افقی چاه های قائمی به نام میله چاه حفر می شود. به اولین و عمیقترین میله مادر چاه گفته می شود. به آن بخش از تونل که پائین تر از سطح آب زیرزمینی قرار می گیرد تره کار و بخشی که بالای سطح آب زیر زمینی قرار می گیرد خشکه کار گفته می شود. همچنین به بخش انتهایی تونل که آب از آن خارج می شود مظهر قنات گفته می شود.





در شکل زیر مجموعه قنات های مهریز نشان داده شده است.

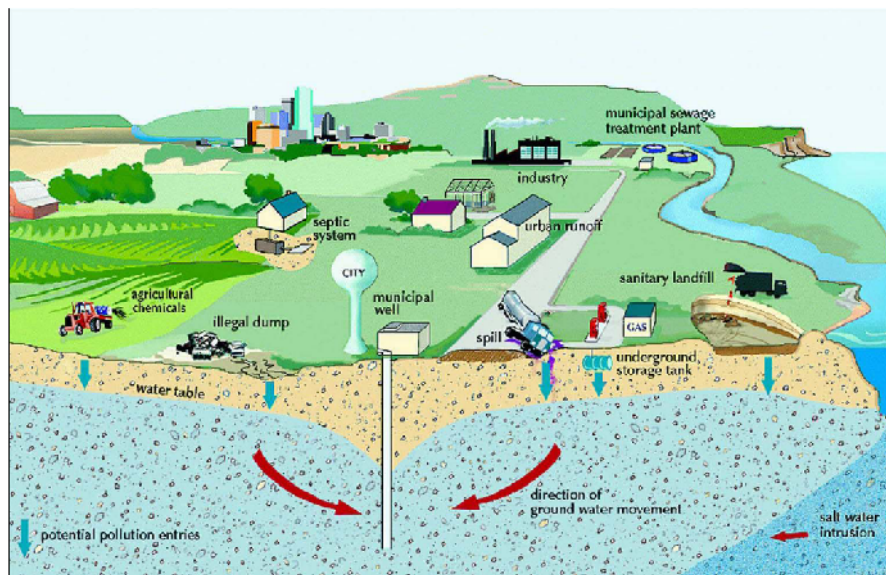


آلودگی آبهای زیرزمینی



با افزایش جمعیت نیاز به آبهای زیرزمینی دو چندان شده است ولی به گسترش صنایع مختلف و پیشرفت تکنولوژی آبهای زیرزمینی همواره در معرض آلودگی قرار دارند. مهمترین روش های آلودگی آبهای زیرزمینی عبارتند از:

- آلودگی توسط کودهای کشاورزی
- چاه های دفع فاضلاب
- آلودگی حاصل از دفن زباله های صنعتی
- مناطق دفن زباله



یکی از روش های نسبتاً جدید برای جلوگیری از آلودگی در مناطق دفن زباله استفاده از لند فیل ها می باشد.

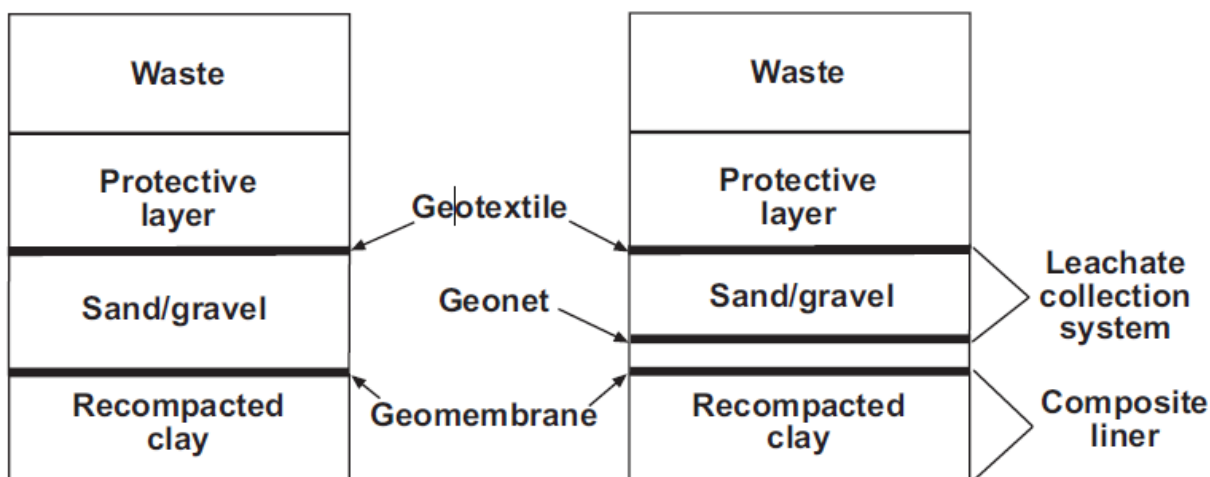
## لندفیل

لندفیل، یک سیستم مهندسی دفع زباله است که در آن پس ماند ها به چند گروه تقسیم بندی می شوند و پس از دفن پوشیده می شوند. مناطق دفن باید خصوصیات زیر را داشته باشد:

- نباید در زمین های مرطوب واقع شود
- از نواحی سیل خیز و گسل های فعال فاصله داشته باشد.

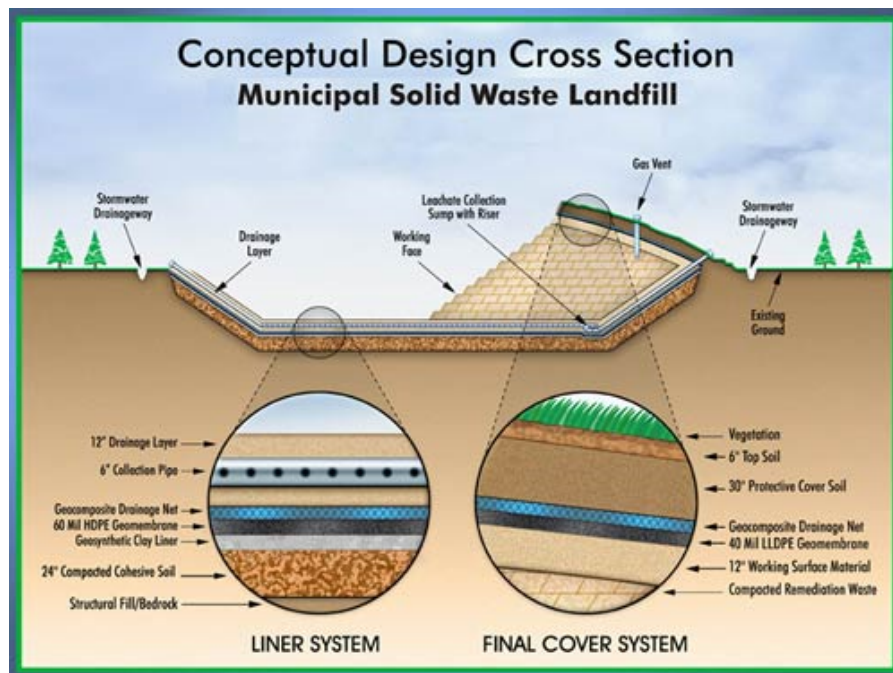
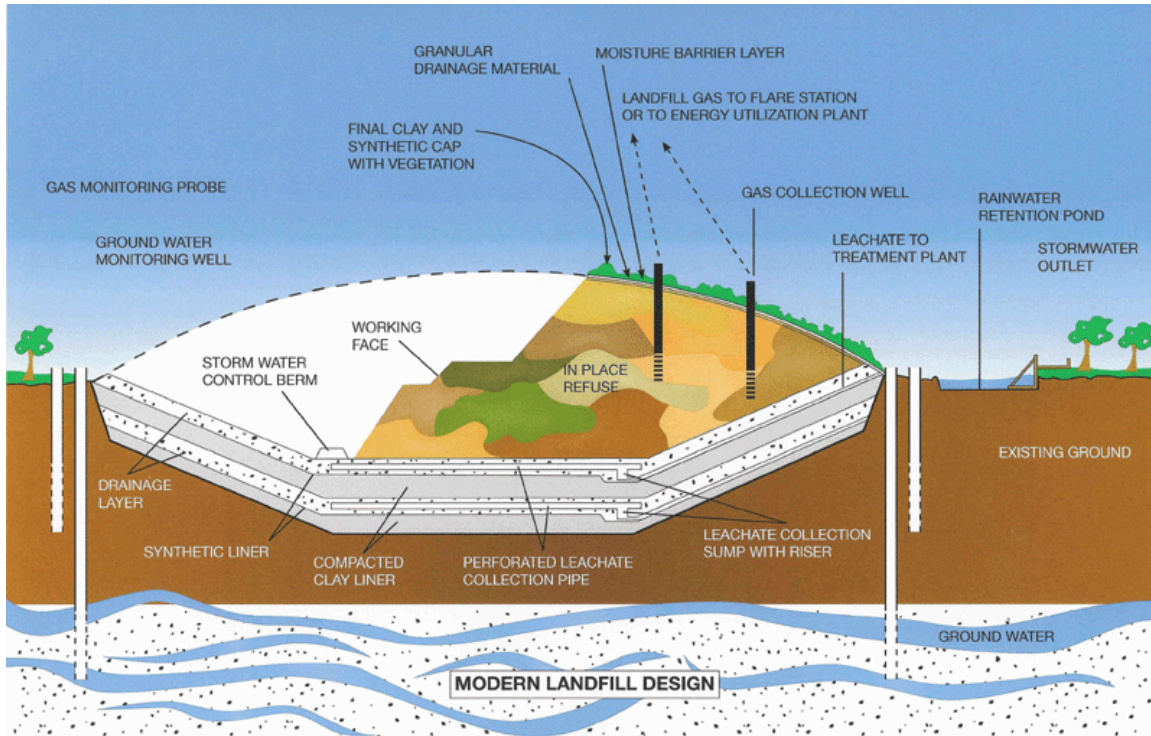


- محل دفن ایده آل برای دفن زباله جایی است که خاکی ضخیم با نفوذپذیری کم داشته باشد. این موضوع سبب می شود که خطر فرار شیرابه زباله به حداقل ممکن برسد.
  - سطح آب زیرزمینی در این مناطق باید تا حد امکان پائین باشد تا در صورت نشت به راحتی وارد آب زیرزمینی نشود.
  - این محل نباید محل تغذیه باشد ، به عبارت دیگر جهت جریان آب زیرزمینی به سمت این نقطه باشد تا در صورت ورود شیرابه به آب زیرزمینی سرعت انتشار آن به حداقل برسد.
- در شکل زیر ساختمان یک لند فیل نشان داده شده است



چنانچه مشاهده می شود، در بخش تحتانی محل خاک رس کاملاً متراکم شده به کار می برند. بر روی این خاک لایه از ژئو ممبراین که یک ژئوکامپوزیت کاملاً نفوذناپذیر است استفاده می شود. پس از آن یک لایه شن و ماسه به عنوان زهکش که لوله های سوراخ شده برای خروج شیرابه در این لایه قرار می گیرد. این لایه توسط یک لایه ژئوتکستایل محافظت می شود و یک لایه خاک رس متراکم روی آن قرار می گیرد و در نهایت زباله ها روی این لایه رسی ریخته می شود. هر بار که زباله ها ریخته شد سطح آن پوشیده می شود و لایه های بعدی روی آن قرار می گیرد. تا در نهایت یک لایه رس پوشش نهایی لند فیل را تشکیل می دهد. در شکل زیر لایه های مختلف یک لند فیل نشان داده شده است.







برای مشکل شیرابه تولید شده در لند فیل ها معمولا دو راه کار اصلی وجود دارد:

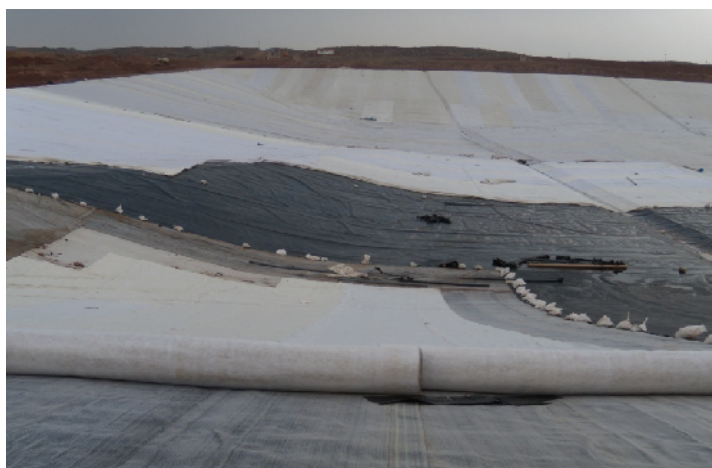
۱- یا اینکه شیرابه به بخش بالایی لند فیل پمپ می شود و این چرخه همیشه ادامه می یابد

۲- شیرابه را خارج و آن را تصفیه و در کشاورزی مورد استفاده قرار می دهند.

پس از اینکه ساختمان لند فیل به اتمام رسید چاه هایی در اطراف لند فیل حفر می کنند تا هم به طور دوره ای کیفیت آب زیرزمینی اطراف را آزمایش کنند تا از خطر شکست لند فیل و آلودگی آب توسط شیرابه ها مطمئن شوند و هم اینکه در صورت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به راحتی با پمپاژ آب سطح آب را پائین ببرند.

در اشکال زیر نیز مراحل ساخت لند فیل کههریزک که محل دفن زباله های شهر تهران است نشان داده شده است.

- لایه ژئوممبراین



- قراردادن لوله های زهکش





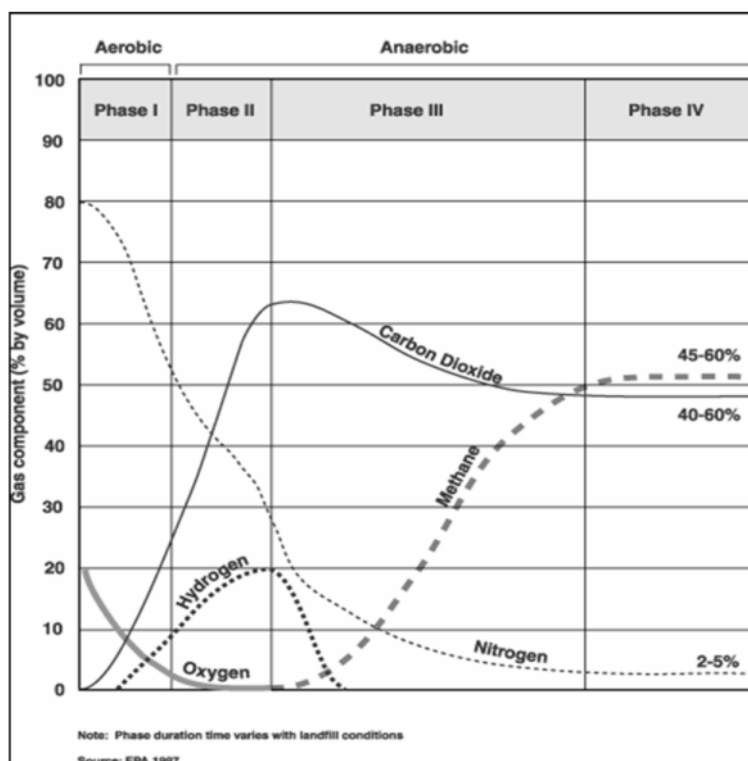
- ریختن لایه شن و ماسه



استفاده اقتصادی از لندفیل

پس از اینکه زباله ها دفن شد، با گذشت زمان زباله شروع به تولید گاز می کنند که در شکل زیر روند تولید این گاز ها نشان داده شده است.





در بسیاری از کشور ها با ایجاد تاسیساتی در مجاورت لند فیل ها گاز متان تولید شده را استخراج و برای مصارف مختلف استفاده می کنند.

### ژئوممبران

ژئوممبران ها ورقه های غشایی سنتتیک با نفوذپذیری بسیار پایین می باشند که به صورت پخش در محل یا پیش ساخته بوسیله غلتک زنی، گرم کردن یا دیگر فرآیندها آماده شده و در محل نصب می گردند. ژئوممبرانها در کارهای مهندسی به عنوان ماده ای برای جلوگیری از جریان سیال در مواردی از قبیل زه های ذخیره آب، کانالهای آبیاری، خاکریزهای دفع زباله شهری، تالاب های فاضلاب مایع، دیواره های آب بند، روکشهای محافظ سد، پوشش نهایی خاکریز های دفع زباله، و امثال آن مورد استفاده قرار می گیرند.

### ژئوتکستایل

ژئوتکستایل پارچه ای از جنس پلی استر یا پلی پروپیلن است که مهمترین خصوصیت آن مقاومت کششی بالا و همچنین سازگاری با انواع خاک و دوام ۵۰ ساله در انواع خاک ها می باشد. کاربرد گسترده آن در رابطه با مسلح



کردن خاک، زهکشی، جداسازی انواع لایه های خاک و فیلتراسیون در جاده ها، راه آهن، فرودگاه، خطوط مترو و خطوط لوله، مخازن نفتی و انواع دریاچه های مصنوعی، موج شکن ساحل دریا و انواع سدها و غیره کاربرد دارد.

#### طبقه بندی مهندسی توده سنگ

پیش از این راجع به طبقه بندی دیر و میلر در مورد سنگ ها صحبت شد ولی کاملاً مشخص است که تنها با یک یا دو پارامتر نمی توان راجه به رفتار توده سنگ صحبت کرد. بنابراین در یک طبقه بندی خوب باید از چندین پارامتر برای پیش بینی رفتار سنگ استفاده کرد. بنیادسکی طبقه بندی RMR (Rock Mass Rating) را به همین منظور ارائه داد.



و در این طبقه بندی تمام عوامل موثر در رفتار توده سنگ را در نظر گرفت و برای طبقه بندی به هر یک از آنها با توجه به اهمیت آن امتیاز داد. مهمترین پارامتر های مورد بررسی در این طبقه بندی عبارتند از:

#### ۴- مقاومت سنگ با امتیاز ۱ تا ۱۵

Intact rock UCS, MPa	Rating	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	1-25	1
----------------------	--------	------	----	---------	----	--------	---	-------	---	------	---

#### ۴- شاخص کیفیت توده سنگ RQD با امتیاز ۳ تا ۲۰

RQD %	Rating	>90	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3
-------	--------	-----	----	-------	----	-------	----	-------	---	-----	---

این شاخص توسط رابطه زیر تعریف می شود و با درصد بیان می شود

طول مغزه های بزرگتر از ۱۰ سانتی متر

کل طول حفاری

شاخص کیفیت توده سنگ را به ۵ رده اصلی تقسیم بندی می کنند.

RQD%	توصیف
۹۰-۱۰۰	عالی
۷۵-۹۰	خوب
۵۰-۷۵	متوسط
۲۵-۵۰	ضعیف
۰-۲۵	خیلی ضعیف

#### عیب های روش تعیین RQD

معیار مغزه های با طول ۱۰ سانتی متر است، به عبارتی اگر یک مغزه سنگی از ۱۰ شکستگی با فاصله ۱۰ سانتی متر یا ۳ شکستگی با فاصله ۳۰ سانتی متر تشکیل شده باشد یا بدون شکستگی باشد، RQD برابر با ۱۰۰ خواهد داشت.

بنابراین در به کار بردن عدد شاخص کیفی توده سنگ در این رده بندی باید دقت لازم را به کار برده و همواره قضاوت مهندسی داشته باشیم.



۳ فاصله شکستگی ها با امتیاز ۵ تا ۲۰

Mean fracture spacing	>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm
Rating	20	15	10	8	5

۴ شرایط شکستگی ها با امتیاز ۰ تا ۳۰

میزان باز شدگی ، پرشدگی، نوع پرشدگی مهمترین عامل در این امتیاز هستند. این خصوصیت بالاترین امتیاز را در رده بندی RMR دارد.

Fracture conditions	rough tight	open <1 mm	weathered	gouge <5 mm	gouge >5 mm
Rating	30	25	20	10	0

۵ آب زیرزمینی با امتیاز ۰ تا ۱۵

Groundwater state	dry	damp	wet	dripping	flowing
Rating	15	10	7	4	0

بالاترین امتیاز مربوط به حالت خشک است و امتیاز صفر مربوط به حالت جریان آب

مجموع این ۵ فاکتور ۱۰۰ امتیاز خواهد داشت که معرف عدد RMR اولیه می باشد. این عدد توسط فاکتور ششم یعنی تصحیح جهت تغییر می کند تا در نهایت به RMR نهایی برسیم.

۶ جهت و امتداد شکستگی

این امتیاز مربوط به جهت شکستگی و جهت حفاری می باشد. بالاترین امتیاز مربوط به حفاری در جهت شیب و لایه های با شیب ۴۵ تا ۹۰ درجه است. بدترین حالت شیب کم و حفاری در خلاف جهت شیب است. این امتیاز از ۰ تا ۲۵ تغییر می کند.

در نهایت عدد RMR بدست می آید و در یکی از ۵ رده زیر قرار می گیرد.

Class	I	II	III	IV	V
Description	very good rock	good rock	fair rock	poor rock	very poor rock
RMR	80-100	60-80	40-60	20-40	<20

و اطلاعات مفیدی همچون زاویه اصطکاک و چسبندگی توده سنگ، زاویه ای که شیب در آن پایدار است، زمان پایداری تونل ها و روش پیشنهادی برای پایدار سازی تونل مشخص می شود.



Class	I	II	III	IV	V
Description	very good rock	good rock	fair rock	poor rock	very poor rock
RMR	80-100	60-80	40-60	20-40	<20
Q Value	>40	10-40	4-10	1-4	<1
Friction angle $\phi$ (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15
Cohesion (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
SBP (MPa)	10	4-6	1-2	0.5	<0.2
Safe cut slope (°)	>70	65	55	45	<40
Tunnel support	none	spot bolts	pattern bolts	bolts + shotcrete	steel ribs
Stand up time for span	20 yr for 15 m	1 yr for 10 m	1 wk for 5 m	12 h for 2 m	30 min for 1 m

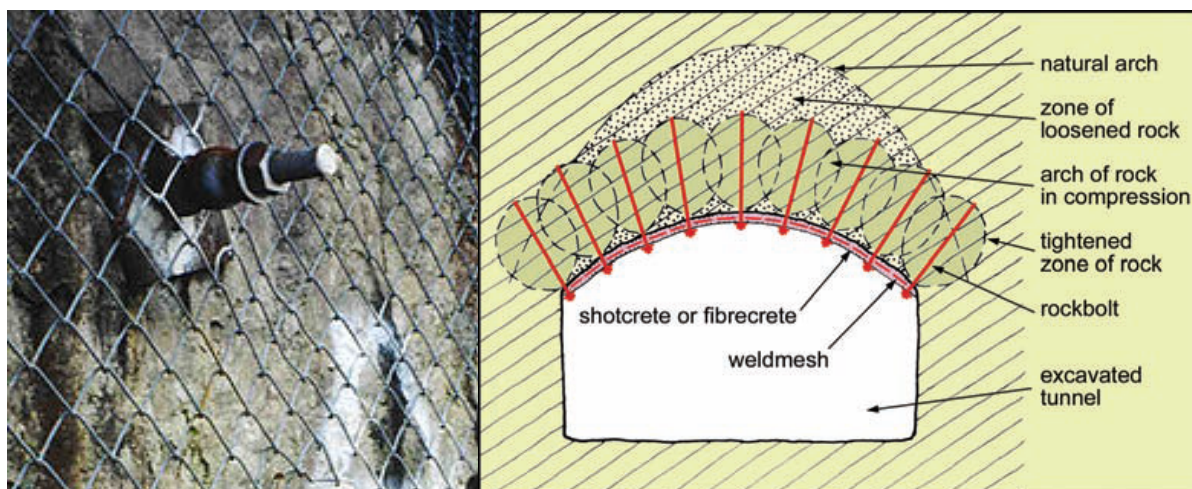
بنابراین چنانچه میبینید RMR بین ۸۰ تا ۱۰۰ زاویه اصطکاک ۴۵ درجه، چسبندگی بیش از ۴۰۰ کیلو پاسکال، شیب پایدار در زاویه شیب بیشتر از ۷۰ درجه داشته و تونل با عرض دهانه ۱۵ متر تا ۲۰ سال پایدار است.

روش های نگهداری تونل ها:

قاب های فلزی: این روش بعد از چوب نسل دوم وسادل نگهداری محسوب می شوند. این قاب ها از مقطع تونل تبعیت می کنند و از سه یا چهار قطعه که در کنار یکدیگر قرار می گیرند تشکیل شده است.

۴ راک بولت با میل مهار

میل مهار عبارت است از داخل کردن یک میل در چال حفاری شده و سپس مستحکم کردن آن از طریق گیر انداختن یا اصطکاک



۳ شاتکریت



شاتکریت بتن یا ملاتی است که توسط هوای فشرده بر روی دیواره پاشیده می شود. ضخامت شاتکریت به وسیله طراح تعیین می شود و معمولاً با تور سیمی و الیاف و ... همراه می شود.



## سد

سدسازی از جمله طرح های مهندسی متمرکز به شمار می آید که در ارتباط مستقیم با زمین ساخته می شوند. مطالعات زمین شناسی مهندسی در تمامی مراحل اجرای یک طرح سد سازی مؤثر می باشند. ناکامی و گسیختگی پیش از یک سوم از سدها در سطح جهان نتیجه ضعف مطالعات زمین شناسی مهندسی محل اجرای آنها بوده است که دلیل روشنی بر اهمیت دیدگاههای زمین شناسی مهندسی در اجرای موفق طرحهای سدسازی می باشد. سدها سازه های هیدرولیکی هستند که عمود بر مسیر جریان آب احداث می شوند. هدفهای متعددی با احداث یک سد برآورده می شوند که می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- تأمین آب آشامیدنی شهرها، آبیاری دشت های کشاورزی و تأمین آب واحدهای صنعتی.

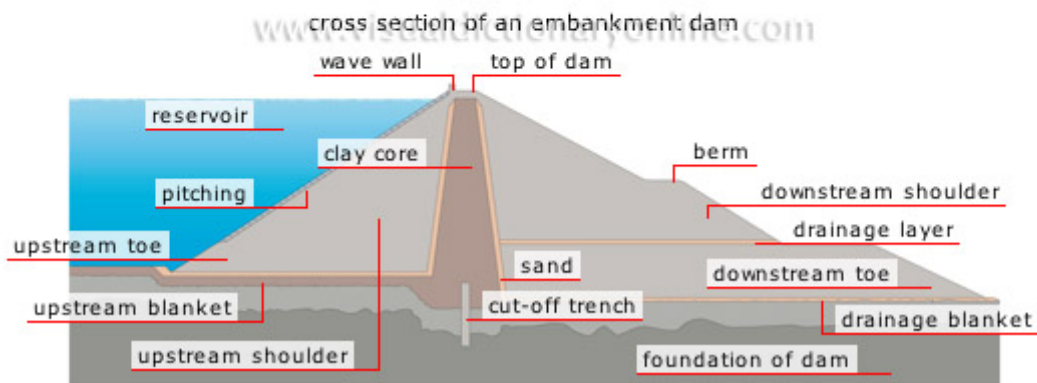


- مهار سیلابهای فصلی و کاهش خطر تخریبی آنها.
- تولید برق با احداث نیروگاههای آبی در محدوده سدها

## انواع سد بر اساس نوع مصالح

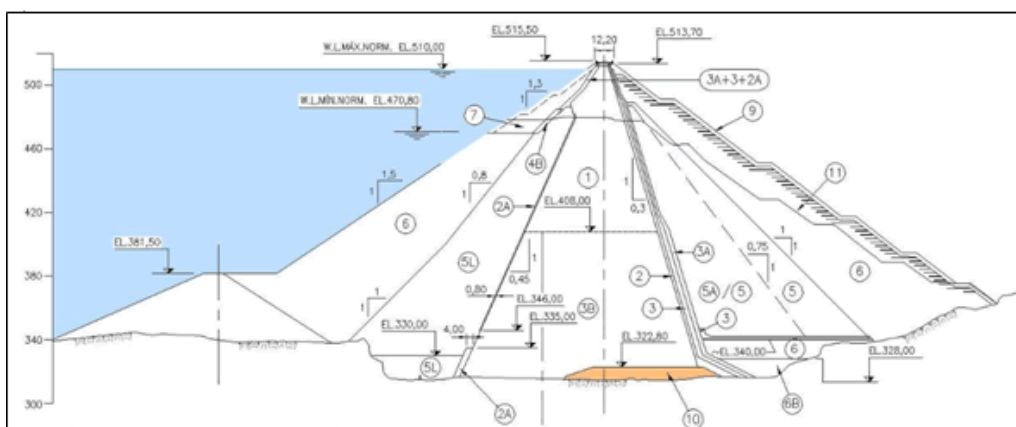
### سدهای خاکی

- ۱- سدهای خاکی با هسته رسی



- ۲- سدهای همگن
- ۳- سدهای سنگریزه ای





- |   |  |
|---|--|
| (1) Clay core                             | (5A) Medium to highly weathered rockfill               |
| (2) Filter (Natural sand)                 | (5L) Random. Highly weathered rock and saprolite       |
| (2A) Filter (Crushed sand) (*)            | (6) Slightly weathered to sound rockfill (*)           |
| (3) Fine transition (*)                   | (7) Protection rockfill (*)                            |
| (3A) Medium transition (*)                | (9) Covering rockfill (*)                              |
| (3B) Clayey gravel                        | (10) Concrete block                                    |
| (4) Coarse transition (*)                 | (11) Rockfill zone raised with dam crest at EL. 475.00 |
| (4B) Fine rockfill ( $\Phi < 0.40$ m) (*) | (*) Non-sulfide rock                                   |
| (5) Slightly to medium weathered rockfill |  |

برای احداث این سد ها نیازی به پی مقاوم نمی باشد. در مناطق با عرض دره زیاد و لرزه خیزی بالا و پی آبرفتی بهترین گزینه می باشند. البته در احداث این سد ها می بایست مصالح خاکی مورد نیاز در نزدیکی محل احداث سد وجود داشته باشد.

این سد ها با توجه به سطح مقطع بزرگی که دارند (شیب دامنه ۱ به ۳) فشار کمی به پی وارد می کنند، بنابراین به راحتی بر روی پی های ضعیف و آبرفتی قرار می گیرند.

با توجه به تغییر شکل پذیری خاک نسبت به بتن، این سد ها در برابر زلزله مقاومت می کنند و برای مناطق لرزه خیز توصیه می شوند.

## سدهای بتنی

۱- بتنی وزنی

۲- پشت بند دار

۳- قوسی

- تک قوسی



در محل دره های باریک و V شکل بهترین گزینه برای احداث سد، سدهای بتنی است. این سد ها بر خلاف سد های خاکی فشار زیادی را به زمین وارد می کنند.

سد های قوسی فشار زیادی به تکیه گاه های سد وارد می کنند، بنابراین در محل احداث این سد ها می بایست تکیه گاه ها نیز مقاومت قابل توجهی داشته باشند.

### اجزای سد

**تاج سد:** به بالاترین نقطه سد گفته می شود.

**بالادست:** شیبی که در سمت مخزن سد قرار دارد.

**پایین دست:** شیبی که در سمت پائین دست رودخانه قرار دارد.

**سرریز:** بخشی که برای خروج آبهای اضافی مخزن سد ایجاد می شود. سر ریز بر روی بدنه سد یا در کنا رمحور سد قرار می گیرد.

**حوضچه آرامش:** آب پس از خروج از سرریز وارد حوضچه آرامش می شود و پس از آن به رودخانه وارد می شود.

**ارتفاع آزاد:** فاصله بین بالاترین تراز آب در مخزن تا تاج سد را می گویند. با توجه به موج های ایجاد شده در مخزن سد، این ارتفاع به اندازه ای خواهد بود که آب به تاج سد نرسد.

**ریپ رپ:** قطعات سنگی که برای حفاظت زمین از دامنه سد در برابر بارندگی و امواج روی آن چیده می شود.

**هسته:** مرکز سدهای خاکی که مانعی در برای عبود آب ایجاد می کند. هسته عمدتاً از جنس رس است ولی انواع بتنی و آسفالتی آن هم وجود دارد.

**پوسته:** بخشی که در اطراف هسته قرار دارد و وظیفه ان پایداری سد است. پوسته عمدتاً از شن و ماسه تشکیل شده است.



**فیلتر:** بخشی که بین هسته و پوسته قرار می گیرد و دانه بندی آن حد واسط دانه بندی پوسته و هسته بوده و مانع تخریب هسته و فرار ذرات ریز رسی می شود.

## آب بند

آب بندی سد ها به سه صورت انجام می شود

پرده آب بند: گمانه هایی در زیر سد و در دو یا چند ردیف حفر شده و سیمان درون آنها تزریق می شود تا مانعی در برابر خروج آب ایجاد کنند.

ترانشه آب بند: بخش نفوذپذیر زیر هسته برداشته می شود و هسته از عمق بیشتر قرار داده می شود.

پتوی رسی: در داخل مخزن یک لایه رسی با ضخامت متغیر و معین ریخته می شود تا مانع فرار آب شود.

## زمین شناسی سدها

هرچند در پروژه های سدسازی پایه تمام محاسبات بر تضمین موفقیت اجرای سد قرار دارد اما با وجود این مطلب تعدادی از سدها با مشکلاتی در زمان اجرا و بهره برداری مواجه می شوند. در ایران نیز عدم موفقیت برخی از سدها کاملاً مشهود است که بارزترین آنها سد لار (واقع در شمال شرق تهران) می باشد. هرچند ظرفیت مخزن سد تقریباً یک میلیارد متر مکعب می باشد ولی از زمان بهره برداری در سال ۱۳۵۹ تاکنون کمتر از  $\frac{1}{3}$  مخزن پر شده است و روزانه در حدود یک میلیون مترمکعب فرار آب وجود دارد. سدهای دیگر کشور از جمله سد لتیان، ۱۵ خرداد، مارون، جیرفت و سفید رود نیز با مشکلاتی مواجه هستند که مهمترین آنها فرار آب و یا پر شدن مخزن به وسیله رسوبات می باشد.

## عوامل مؤثر در انتخاب ساختگاه سد

موفقیت یک سد در درجه اول به انتخاب صحیح ساختگاه آن بستگی دارد. در انتخاب محل یک سد لازم است که دو شاخص اصلی در نظر گرفته شود،

۴- تأمین پایداری بدنه و مخزن



۴ آب‌بندی محدوده احداث سد.

عوامل متعددی در انتخاب ساختگاه یک سد مؤثر می‌باشند که مهمترین آنها عبارتند از : شرایط توپوگرافی، ساختارهای زمین‌شناسی و وضعیت حوزه آبریز . تأثیر هر کدام از این عوامل در انتخاب ساخت گاه سد به شرح زیر می‌باشد.

### شرایط توپوگرافی

ناهمواری های سطح زمین و مورفولوژی آن معمولاً توسط نقشه‌های توپوگرافی نشان داده می‌شوند. بهترین موقعیت برای احداث سد معمولاً جایی انتخاب می‌شود که یک دره تنگ به وسیله یک دره باز در سمت بالادست دنبال شود. دره تنگ معرف استقامت بالای سنگ می‌باشد که در مقابل جریان آب رودخانه مقاومت بیشتری را نشان داده و دره باز محل مناسبی جهت مخزن می‌باشد که ظرفیت ذخیره‌سازی آب را بالا می‌برد.

### ساختار زمین‌شناسی

ساختار زمین‌شناسی یک محل به وسیله عواملی همچون امتداد و شیب لایه‌ها، ساختمان‌های چین‌خورده، گسلها و درزه‌ها کنترل می‌شود که به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

### امتداد لایه‌ها

در محل هایی که لایه‌بندی سنگ مشخص باشد بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها و یا دارای زاویه کمتری با امتداد لایه‌ها باشد. علت این انتخاب را می‌توان در موارد زیر توجیه کرد:

الف) در صورتی که محور سد دارای زاویه کمتری با امتداد لایه‌ها باشد امکان دور ماندن از نقاط ضعف بیشتر است.

لازم به ذکر است که نقاط ضعف مورد بحث را می‌توان به شرح زیر بیان داشت:

- لایه‌های سنگی سست و ضعیف مانند سنگهای شیلی و مارنی
- لایه‌های سنگی دربر گیرنده حفرات و دیگر پدیده‌های کارستی حاصل از انحلال توده سنگ



- لایه‌های سنگی کاملاً خرد شده و یا کاملاً هوا زده شده.

- گسلها و مناطق گسله که عموماً با خردشدگی و شکستگی های زیاد همراه می‌باشد.

ب) در صورتی که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها باشد سنگهایی با شرایط و خصوصیات یکسان در محدوده تکیه‌گاهها و پی سد قرار می‌گیرند. بنابراین سنگها رفتار مشابهی در طول محل بار گذاری خواهند داشت و پایداری سد بیشتر خواهد بود. در چنین شرایطی طراحی سد نیز ساده‌تر خواهد بود.

ج) در صورتی که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها باشد امکان فرار آب کمتر است. دلیل آن به این صورت است که لایه‌ها در جهت عمود بر مسیر جریان آب قرار داشته و نفوذ پذیری در آن جهت کاهش می‌یابد.

### شیب لایه‌ها

به طور کلی بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که جهت شیب لایه‌ها به سمت بالا دست باشد یا به عبارت دیگر جهت شیب لایه‌ها در جهت عکس جریان آب باشد.

تأثیر جهت شیب لایه‌ها در انتخاب ساخت گاه سد

برای توصیه این انتخاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف از آنجا که معمولاً تراوش آب در جهت سطوح لایه‌بندی صورت می‌گیرد بنابراین در صورتی که جهت شیب سطوح لایه‌بندی به سمت بالا دست باشد امکان فرار آب کمتر است و محل احداث سد از شرایط آب‌بندی بهتری برخوردار می‌باشد.

ب پایداری پی و تکیه‌گاههای سد ببیشتر است زیرا که قسمت اعظم بارهای وارده بر سطوح لایه‌بندی به سمت بالادست منتقل می‌شود.

در صورتی که شیب لایه‌ها به سمت پائین دست باشد امکان فرار آب بیشتر و ناپایداری سطوح لایه‌بندی بیشتر خواهد بود و در نهایت پایداری بدنه سد نیز در معرض خطر قرار می‌گیرد.



## چین خوردگی

نقش ساختمان‌های چین خورده در انتخاب محل احداث یک سد را می‌توان با توجه به موارد زیر بیان داشت.

الف بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با محور چین باشد و ساختمان چین خورده از نوع طاق‌دیس باشد.

ب در صورتی که محور سد عمود بر محور طاق‌دیس و یا ناودیس باشد لازم است که جهت شیب لایه‌ها در محل احداث سد در نظر گرفته شود. در هر دو حالت جهت شیب لایه‌ها به سمت بالادست است. اگر سنگ‌های تشکیل دهنده اینگونه ساختمان‌های چین خورده از شرایط خوبی با توجه به استقامت و آب‌بندی برخوردار باشند می‌توانند ساخت گاه مناسبی برای احداث یک سد در نظر گرفته شوند.

## عوامل مؤثر در انتخاب نوع سد

سدها با توجه به نوع مصالح مورد استفاده و شکل ساختمان آنها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. انتخاب نوع سد معمولاً طوری صورت می‌گیرد که بیشترین سازگاری را با محیط اطراف خود به وجود می‌آورد و در این شرایط است که موفقیت سد تضمین می‌گردد.

دره‌ها معمولاً در اثر عملکرد پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی شکل می‌گیرند. شکل یک دره می‌تواند در انتخاب نوع سد نقش عمده‌ای داشته باشد در طرح‌های مهندسی سد دره‌ها با در نظر گرفتن دو شاخص زیر معرفی می‌شوند:

الف پهنای دره در محل تاج سد (B)

ب عمق دره در محل احداث سد (H)

یکی از روش‌های ساده برای طبقه‌بندی دره‌ها، طبقه‌بندی آنها با توجه به روش توماس  $B/H$  می‌باشد. دره‌ها از نظر شکل به سه مجموعه زیر تقسیم می‌شوند:

۴ دره عمیق Gorge Valley دره‌ای است که در آن  $B/H$  کمتر از ۳ می‌باشد.



۴ دره تنگ Narrow Valley دره‌ای است که در آن  $B/H$  بین ۳ تا ۶ می‌باشد.

۴ دره باز Wide Valley دره‌ای است که در آن  $B/H$  بیش از ۶ می‌باشد.



## تونل

تونل ها و فضا های زیرزمینی معمولاً به منظور مقاصد گوناگونی طراحی و ساخته می شوند که از مهمترین آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تونل های حمل و دسترسی (راه ها، راه آهن، مترو)
- تونل های آب بر (تونل انحراف، آبرسانی شهری و فاضلاب)
- فضاهای زیرزمینی بزرگ (ایستگاه های مترو، انبار های زیرزمینی، معادن و ...)
- تونل و انبار های نظامی

تونل یکی از پروژه های عمرانی است که در آن نقش زمین شناسی بسیار زیاد است. اطلاع یافتن از وضعیت درون زمین بدون دسترسی به آن بر عهده زمین شناس است. زمین های سست و ریزشی، مناطق خرد شده و گسل خورده، زون های هوازده و آبدار بیشترین مشکلات را در حین حفر تونل ها ایجاد می کنند.

البته در برخی شرایط مانند مسیر راه ها ما به اجبار باید از یک مسیر مشخص تونل را عبور دهیم.

نکته ای که ما در مطالعات تونل ها باید مد نظر داشته باشیم این است که بر خلاف سازه های سطحی که مصالح ساخت آن را ما انتخاب می کنیم، در تونل ها باید به گونه ای حفاری را انجام دهیم که کمترین صدمه ممکن به سنگ یا خاک مسیر ایجاد شود تا بتوانیم از آن به عنوان مصالح اصلی ساخت فضای تونل بهره برداری کنیم.

با توجه به شرایط ژئوتکنیکی زمین، تونل ها از اهمیت متفاوتی برخوردار هستند. بر این اساس طبقه بندی تونل ها به شرح زیر خواهد بود:

A: فضاهای موقت زیرزمینی

B: تونل های قائم یا شفت ها که در ساخت سد ها و یا معادن ایجاد می شود

C: فضاهای دائمی معدنی، تونل های انتقال آب و پایلوت ها (پایلوت تونل های اکتشافی برای تونل اصلی هستند)

D: تونل های کوچک راه و راه آهن، انبارهای زیرزمینی، تونل های دسترسی به نیروگاه های برقابی

E: تونل های بزرگ راه و راه آهن، فضاهای بزرگ نیروگاهی، پناهگاه ها



F: ایستگاه های مترو و نیروگاه های اتمی

## بررسی ها و اطلاعات زمین شناسی

### ۴- عکس های هوایی و نقشه های زمین شناسی

با توجه به اهمیت پروژه و نقشه های موجود می توان از عکس ها و نقشه های با مقیاس مختلف استفاده کرد. هر چه اهمیت تونل بیشتر باشد از نقشه های بزرگ مقیاس تر استفاده کرد. برای تونل های کم اهمیت مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ و برای تونل های مهم از نقشه های با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰ استفاده می شود. نکته مهم این است که هر چه مراحل به مرحله اجرا نزدیکتر می شود دقت نقشه ها بالاتر می رود.

(در پروژه های اجرایی معمولاً قبل از اجرای پروژه مطالعات در سه مرحله شناخت، فاز ۱ و فاز ۲ انجام می شود و پس از آن پروژه اجرا خواهد شد. تفاوت این مراحل در هزینه صرف شده و دقت کار انجام شده می باشد. به طوری که در مرحله شناخت تنها به موارد کلی پرداخته می شود و طراحی ها از دقت چندانی برخوردار نمی باشد، در حالی که در مطالعات فاز ۱ و ۲ نقشه های تهیه شده و طرح های ارائه شده دقیق تر بوده و مطالعات صورت گرفته با انجام آزمایش های بیشتر، حفر گمانه ها و ... دقیق تر بوده و پروژه بر اساس نتایج آن قابل اجرا می باشد.)

در این مرحله با رسم پروفیل های زمین شناسی مهندسی در طول مسیر تونل اطلاعات زمین شناسی همچون جنس و ضخامت لایه ها، شیب آن ها، شکستگی، خرد شدگی، نفوذپذیری، سطح آب و ... آورده خواهد شد.

### ۴ گمانه های اکتشافی

با حفر گمانه های اکتشافی در طول مسیر تونل و پیش از حفاری می توان اطلاعات مفیدی در خصوص ضخامت، جنس، شیب لایه ها و عمق سطح آب زیرزمینی و ... دست یافت.

### ۳ مطالعات ژئوفیزیکی

با توجه به پرهزینه بودن حفر گمانه های اکتشافی و اینکه گمانه نمی تواند معرف مسیری طولانی باشد، از مطالعات ژئوفیزیکی و روش لرزه نگاری استفاده می شود.

### ۴ زمین شناسی ساختمانی



با بررسی نقشه های مختلف زمین شناسی و بازدید های میدانی پروفیل های زمین شناسی از مسیر تونل تهیه می شود. در این پروفیل جنس لایه ها، شیب، ضخامت، ارتفاع روباره، رقوم سطح آب زیرزمینی، میزان RMR و RQD تعیین و نشان داده می شود. همچنین گسل ها و زون های خرد شده و چین خوردگی ها در طول مسیر نیز باید به دقت تعیین شود.

در نهایت این اطلاعات به طراح کمک می کند تا بهترین روش را برای حفاری تونل انتخاب کند.

### تأثیر شیب لایه بر جهت حفاری:

چنانچه در طبقه بندی RMR نیز توضیح داده شد بهترین روش حفاری در جهت شیب لایه ها و شیب بین ۴۵ تا ۹۰ درجه است. به همین دلیل در انتخاب محل تونل باید مطالعات کافی در این زمینه صورت گیرد. همچنین در حفاری باید حفاری عمود بر محور چین ها باشد و حتی الامکان از محور تاقدیس و به خصوص ناودیس ها دوری کرد زیرا محور چین بیشترین خرد شدگی را داشته و در ناودیس ها علاوه بر این موضوع، جهت حرکت آب زیرزمینی نیز به سمت تونل می باشد.

### روش های حفاری تونل

امروزه ماشین های تونل زنی متنوعی به وسیله کمپانی های تولید کننده ماشین آلات حفاری وارد بازار می شود. طراحی این ماشین ها به نحوی است که با سرعت زیاد در هر نوع لایه زمین شناسی به راحتی حفاری نماید. برای حفاری تونل ها از روش های گوناگونی استفاده می شود. برخی از این روش ها سنتی و برخی با کمک ماشین آلات پیشرفته صورت می گیرد.

معمول ترین روش های حفاری بر اساس نوع زمین ها می باشد:

۱- حفاری در زمین های سخت

۲- حفاری در زمین های نرم

۳- حفاری در زمین های سخت



زمین های سخت زمین هایی هستند که از سنگ های سخت تشکیل شده اند و به سختی حفاری می شوند. روش های حفاری در این زمین ها به دو دسته روش هاس سنتی و مکانیزه تقسیم بندی می شود.

### روش های حفاری سنتی

حفاری در زمین های سخت به روش سنتی به وسیله ایجاد حفره در سنگ و انفجار مواد منفجره صورت می گیرد. در گذشته از روش های دستی برای حفر گودال ها استفاده می شده است ولی امروزه از روش های چالزنی پیشرفته استفاده می شود.

مراحل مختلف روش حفاری انفجاری شامل چالزنی، خرج گذاری، آتش گذاری، تهویه و کنترل، لق گیری، تخلیه و حمل مصالح می باشد. امروزه سعی شده همزمان با پیشرفت روش های مکانیزه، روش های حفاری انفجاری نیز پیشرفت کرده است.

### روش های حفاری مکانیزه

#### ۴ ماشین آلات جزء مقطع

ابزار برنده این دستگاه ها در مجموعه ای متمرکز هستند که قسمت نسبتا کوچکی از مقطع تونل را در بر می گیرد و حرکت مجموعه این ابزار برنده که روی کله حفار قرار دارد، در محدوده سطح مقطع تونل، مقطع تونل را پوشش می دهد. مهمترین و پر مصرف ترین دستگاه حفاری جزء مقطع دستگاه کله گاوی (Road header) است.

#### ۴ ماشین آلات تمام مقطع TBM

دستگاه TBM از یک سری ابزار برنده تشکیل شده که بر روی کله حفار نصب شده اند و با حرکت تدواری کله دوار، روی دواير متحد المرکزی حرکت می کنند. کله حفار به محور اصلی دستگاه متصل است و نیروی وارده از طرف دستگاه را از طریق ابزار برنده به سنگ اعمال می کند و اعمال نیرو باعث ایجاد ترک و سپس خرد شدن سنگ می شود.

حفاری در زمین های نرم



مرسوم ترین روش حفاری در زمین های نرم روش کند و اکند یا حفر و پوشش (cut & fill) می باشد.

در این روش روباره برداشته می شود و پس از ساخت کف و دیواره ها و سقف، روی آنها پوشیده می شود. دیواره با سپر فولادی و دیوار برلین مهمترین این روش ها هستند.

دیوار با سپر فولادی

در این روش سپر های فولادی به وسیله دستگاه های شمع کوب به داخل زمین فرو برده می شود و پس از ایجاد دیواره محکم ، فضای بین آنها برداشته می شود.

دیوار برلین

در این روش در حاشیه دیواره تونل چاهک هایی حفر می شود و در این چاهک ها ستون هایی بتنی ایجاد می شود. پس از آن حفاری بین آنها صورت می گیرد.