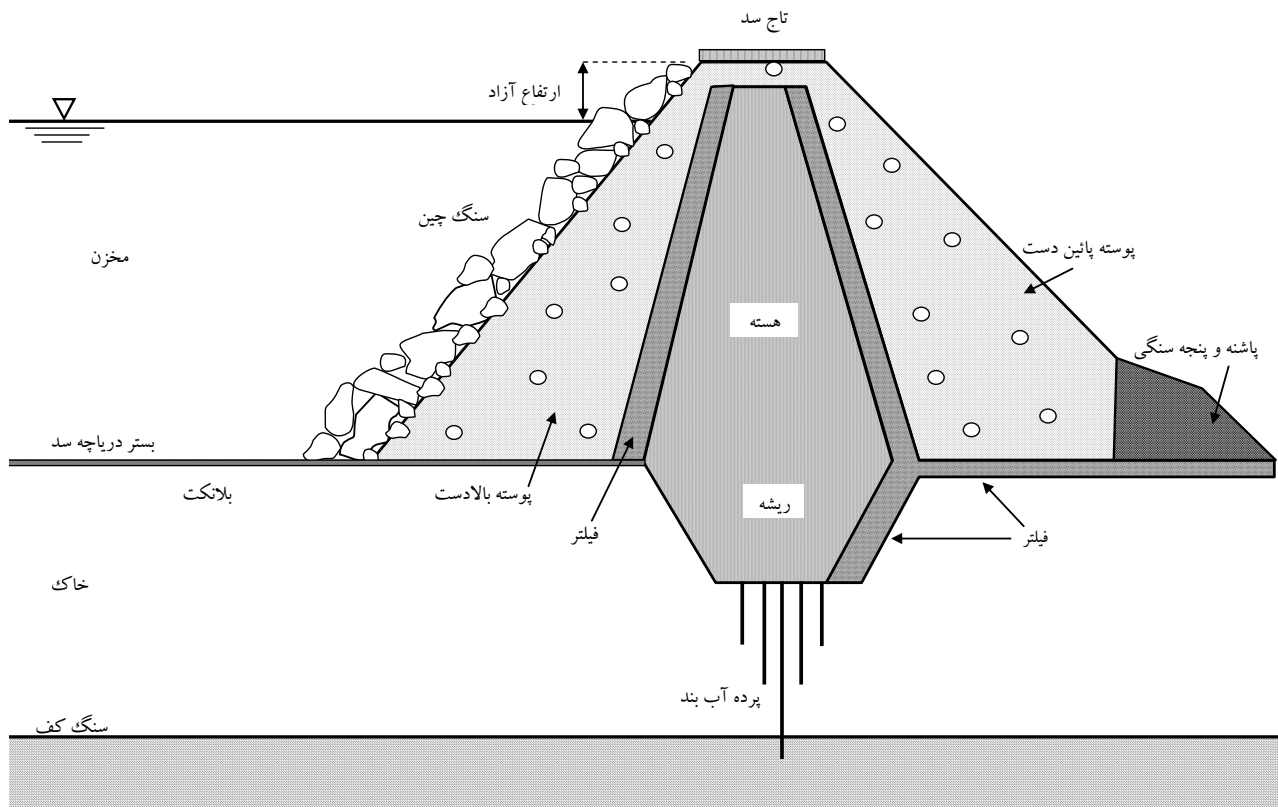




زمین شناسی برای مهندسی عمران



تالیف

دکتر حامد رضایی

۱۳۹۲

فصل اول

معرفی زمین شناسی مهندسی

۱. مقدمه

زمین شناسی علمی است که در بیش از پانزده گرایش و تخصص به بررسی ترکیب عناصر تشکیل دهنده زمین و اجزای آن و تاریخچه شکل گیری زمین و کلیه فرآیندهای سطح زمین، بحث می کند. از طرف دیگر مهندسی علمی است که تمام اطلاعات علمی را می تواند در عمل با اقتصادی ترین و ایمن ترین شکل به کار گیرد. به عبارت دیگر مهندس کسی است که می تواند کاری را که هر فرد عادی با صرف وقت و هزینه های گزاف انجام دهد با وقت و هزینه کمتری ولی با اطمینان بیشتری به انجام برساند. از ترکیب این دو علم با یکدیگر، علم زمین شناسی مهندسی یا مهندسی زمین-شناسی به وجود می آید. زمین شناسی مهندسی بین آزمایشات تجربی و روابط ریاضی ارتباط برقرار نموده و با تلفیق نتایج این دو بهترین نتیجه را به منظور کاهش هزینه ها و بالا بردن کیفیت کار ارائه می دهد. زمین شناس مهندسی، یک زمین شناسی است که با علوم و فنون مهندسی آشنایی پیدا می کند ولی مهندس زمین شناسی، یک مهندسی است که علم زمین شناسی را می آموزد. مهندس می تواند دارای تخصص عمران، آب، معدن و یا حتی کشاورزی باشد. اخیراً رشته هایی مثل کامپیوتر، GIS، IT، مکانیک و آمار به خدمت رشته های زمین شناسی در آمدند که رشته های نوینی را مثل ژئو انفورماتیک، ژئوماتیک، ژئومکانیک، ژئودینامیک و زمین آمار را بوجود می آورند.

۲. تاریخچه زمین شناسی مهندسی

زمین شناسی از قرن هجدهم وارد عرصه مهندسی شد. در ابتدا، در بین مهندسان عمران و معدن رواج داشت. این مهندسان در گودبرداری های خاک و سنگ، برای اجرای ساختمان های بزرگ مهندسی با مشاهدات و اکتشافات خود به تشابه برخی از ویژگی های مواد زمین در نقاط مختلف برخوردند. این ایده ها و تئوری ها مبنای کارهای عملی در کارهای زیر سطحی شد و زمین شناسی به عنوان یک علم توسعه یافت.

مهندسانی همچون لوئیس اونس^۱ (۱۷۵۶-۱۷۰۰) در آمریکا، ویلیام اسمیت^۲ (۱۸۳۹-۱۷۶۹) در انگلستان و پیر کودیر^۳ (۱۸۶۲-۱۷۷۷) در فرانسه و بسیاری دیگر از جمله دانشمندان ایران، همانند ابن سینا، کرجی و ابوریحان بیرونی پدران علم زمین شناسی اند. با گسترش فعالیت های عمرانی نیاز به علم زمین شناسی افزون شد و مهندسان در کار خود مسائل مهندسی را با دانش و درک شرایط زمین تکمیل کردند. در اواخر قرن هجدهم علم زمین شناسی و حرفه مهندسی توسعه یافت و زمین شناسی کم و بیش در برخی از کشورها جزو سرفصل آموزشی دانشجویان مهندسی قرار گرفت. اما دانش زمین شناسی در کرسی های مهندسی دچار چالش می شد، چون آنان با مبانی علم زمین شناسی آشنا نبودند. تا اینکه

¹ Lewis Evans

² William Smith

³ Pierre Cordier

زمین شناسانی همانند جیمز دانا^۱ (۱۸۹۵-۱۸۱۳) در آمریکا، آلبرت هایم^۲ (۱۹۳۷-۱۸۴۹) در سوئیس و سرگایکی^۳ (۱۹۲۴-۱۸۳۵) در انگلستان کرسی های علم زمین شناسی را در دانشکده های فنی بر عهده گرفتند. در سال ۱۹۵۷ اولین دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی مهندسی برای زمین شناسان و مهندسان تحت راهنمایی جان نیل^۴ در کالج شاهنشاهی لندن راه اندازی گردید. پس از آن این دوره در اروپا، آمریکا، کانادا توسعه یافت و در حال حاضر در دانشگاه های بسیاری از کشورها این رشته دایر است. در قرن نوزدهم و بیستم علم مکانیک خاک توسط مهندسانی چون چالرز کلمب^۵ و ماکرن رانکین^۶ متولد شد و روش های محاسبه تنش خاک در کارهای مهندسی توسعه یافت. سرانجام کارل ترزاقی^۷ (۱۹۶۳-۱۸۸۳) پایه گذار علم مکانیک خاک مدرن شد و توانست مسائل عدیده مکانیک خاک را بررسی و راه حل های آن را بیابد و تحولی شگرف در این علم راه انداخت. ترزاقی اولین زمین شناس مهندسی است که توانست زمین شناسی را بصورت کاربردی به مهندسان بفهماند. در حال حاضر مبانی نظری ترزاقی است که در ژئوتکنیک کاربرد دارد.

در سال ۱۹۶۳ اولین انجمن زمین شناسی مهندسی (AEG)^۸ ثبت گردید و در سال ۱۹۶۷ انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی (IAEG)^۹ شکل گرفت (پرایس^{۱۰}، ۲۰۰۹) و بعد از آن انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی همدریف با انجمن های بین المللی مکانیک خاک، مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک سنگ قرار گرفت. در ایران، رشته زمین شناسی مهندسی در سطوح کارشناسی ارشد و دکتری تدریس می شود. در سال ۱۳۶۰ این رشته در سطح کارشناسی ارشد و در سال ۱۳۶۹ در مقطع دکتری در دانشگاه تربیت مدرس تهران راه اندازی شده است. در حال حاضر در بسیاری از دانشگاهها این رشته دایر و دانشجو تربیت می کنند.

۳. مطالعات زمین شناسی مهندسی

بطور کلی پروژه های مهندسی را از لحاظ گسترش زمینی به بخش های زیر می توان تقسیم نمود.

- ۱- پروژه های خطی همانند راهسازی، تونل، گالری، خطوط انتقال نیرو
- ۲- پروژه های متمرکز همانند ساختمان سد، مخازن، ساختمان، پل
- ۳- پروژه های گسترده: همانند سدسازی، شهرسازی، بررسی های منطقه ای

در پروژه های خطی گستردگی مطالعات معمولاً کم است (شکل ۱-۵) ولی تنوع واحدهای زمین شناسی زیاد است و ممکن است یک و یا چند سازند زمین شناسی را در بر گیرد. پروفیل های طولی آن متنوع و نیمرخ های عرضی نسبتاً ثابتی دارند. در پروژه های نقطه ای گستردگی مطالعات کم بوده و محدود به یک یا چند لایه زمین شناسی است. معمولاً از نتایج یک یا چند گمانه ژئوتکنیکی برای تحلیل استفاده می شود و نتایج آن را نمی توان برای نقاط دیگر یا گستره

¹ James Dana

² Albert Heim

³ Sir Geikie

⁴ John Knil

⁵ Charles Coulomb

⁶ Macquorn Rankine

⁷ Karl Terzaghi

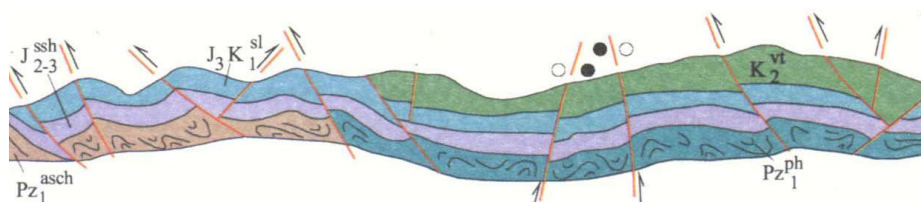
^۸ Association of Engineering Geology

^۹ International Association of Engineering Geology

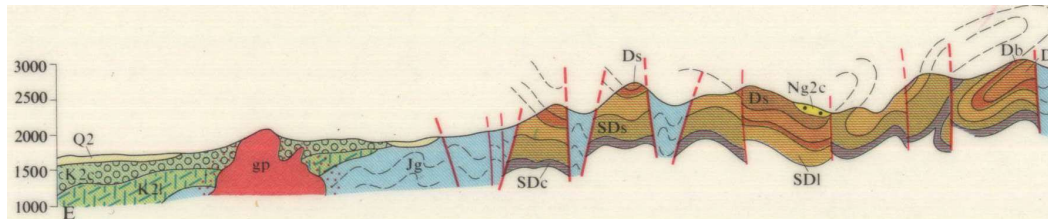
^{۱۰} Price

وسیع تر استفاده کرد. اما در پروژه های گسترده سطح گسترش مطالعات زیاد و تنوع واحدهای زمین شناسی بالاست و ممکن است چندین سازند زمین شناسی و ایالت زمین ساختی و یا حوضه رسوبی را در بر گیرد. پروفیل های طولی و عرضی و تغییرات عمقی در کل گستره مطالعاتی بسیار متنوع است (شکل ۱-۶).

شکل ۱-۵. نمایش تنوع مطالعات زمین شناسی مهندسی در پروژه های مختلف



الف



ب

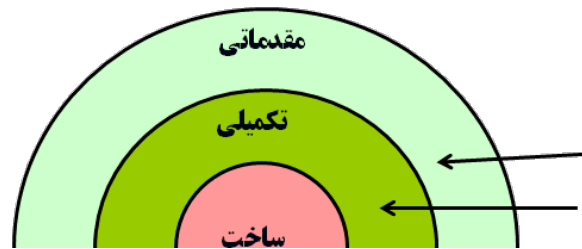
شکل ۱-۶. تنوع زمین شناسی در پروفیل های طولی (الف. تنوع کم، ب. تنوع زیاد)

عموماً مطالعات زمین شناسی مهندسی شامل سه مرحله بررسی مقدماتی، بررسی تکمیلی و بررسی در مرحله ساخت می باشد (جدول ۱-۲). در مرحله مقدماتی امکانسنجی احداث پروژه انجام می شود و ممکن است مطالعات متوقف و یا ادامه پیدا کند (مراحل بعدی انجام شود). مطالعات زمین شناسی در این مرحله گسترده و کلی است. مبنای شرح مطالعات مراحل بعدی نیز می باشد. در مرحله تکمیلی با در اختیار گرفتن ابزارهای نمونه برداری و آزمایش تحلیل محیط زمین کمی می شود. در این مرحله هزینه مطالعات ژئوتکنیکی بالاست. در مرحله سوم نتایج و تحلیل های مراحل قبلی کنترل می گردد و با نصب ابزار دقیق محیط زمین بصورت مستمر رصد می شود تا اثر فرآیندهای زمین بر سازه مهندسی اندازه گیری و تحلیل شود.

جدول ۱-۲. مراحل مطالعات زمین شناسی مهندسی

نام مرحله	فاز بررسی	عملیات	هدف	بررسی ها	خصوصیات	نتیجه
مقدماتی	اول	شناسایی	شناخت	- چینه شناسی - تکنونیک - مخاطرات - مصالح	- گستره بررسی وسیع - کارمیدانی کم - بررسی جنبه توصیفی - بررسی سوابق مطالعات	ارائه فرضیه
تکمیلی	دوم	آزمون	تحلیل	- نقشه برداری - حفاری - نمونه برداری - تحلیل	- گستره بررسی محدود - کارمیدانی نسبتاً زیاد - تحلیل عددی - بررسی نتایج آزمایشات	اثبات فرضیه پیشنهاد طرح بودجه بندی
ساخت	سوم	نظارت	کنترل	- صحت سنجی - بهسازی - راهکار - تمهیدات	- آزمون و خطا - کنترل دائمی - حصول نتیجه	ساخت پروژه

گسترده‌گی مطالعات زمین شناسی مهندسی در مرحله مقدماتی زیاد ولی در مرحله ساخت کم می باشد (شکل ۱-۷). برای نمونه در مطالعات زمین شناسی مهندسی سد در هر مرحله از مطالعات واحدهای زمین شناسی و هیدرولوژی خاصی مدنظر قرار می گیرد (شکل ۱-۸).



شکل ۱-۷. گسترش بررسی در مطالعات زمین شناسی مهندسی



شکل ۱-۸. مطالعات زمین شناسی مهندسی در سدسازی

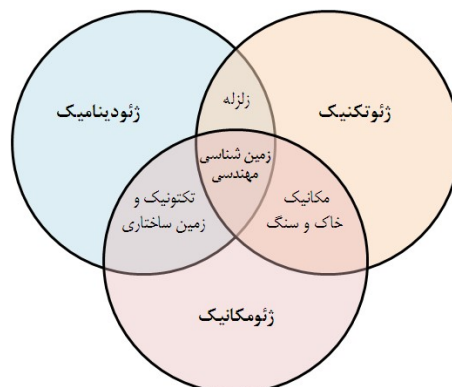
۴. حوزه فعالیت زمین شناسی مهندسی

زمین شناسی مهندسی (Geology Engineering)، یک گرایش بین رشته ای است. همانند یک مفسر و مترجمی است که اطلاعات و دانسته های زمین شناسی و واقعیت های علمی را به زبان کاربردی و قابل فهم برای مهندسان، طراحان و برنامه ریزان فراهم می کند. یک زمین شناس مهندس از یک سو به شناسایی، اندازه گیری و ارزیابی ویژگی های مواد زمین (سنگ، خاک و آب) و فرآیندهای تغییر دهنده آنها می پردازد و از سوی دیگر زمین را برای یک پی و تکیه گاه و همچنین مصالح ساختمانی معرفی می نماید (شکل ۱-۱).



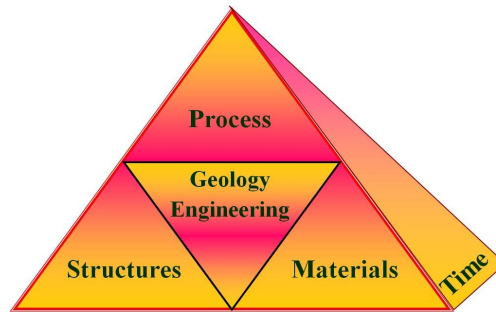
شکل ۱-۱. نگرش زمین شناسی مهندسی

حوزه فعالیت زمین شناسی مهندسی بسیار گسترده است در عمل به سه بخش اصلی ژئومکانیک، ژئودینامیک و ژئوتکنیک تقسیم می شود و بین آنها گرایش های بین رشته ای مثل مکانیک خاک، مکانیک سنگ، زلزله و تکتونیک متولد شده است. ژئومکانیک شامل مطالعه رفتار مکانیکی سنگ ها و خاک ها و ارزیابی خصوصیات مهندسی آنها از طریق انجام آزمایشات است و دارای دو گرایش مکانیک خاک و سنگ است. در ژئودینامیک به مطالعه و ارزیابی فرآیندهای فعال زمین می پردازد که باعث ایجاد تغییر در سطح زمین و ویژگی های مواد زمین می شود. فرآیندهای فعال زمین مثل لرزه خیزی، حرکات دامنه ای، پدیده های فرسایش و هوازدگی، سیلاب ها، روانگرایی، فرونشست ها و فرو چاله ها پدیده های رایج در زمین شناسی اند که ممکن است در طول عمر مفید سازه مهندسی مورد نظر روی دهند. در حوزه عمل ژئوتکنیک، یک زمین شناس مهندس باید بتواند رفتار مهندسی مواد زمین را معرفی و راهکارهای مناسب را برای مقابله و یا بهسازی زمین ارائه کند.



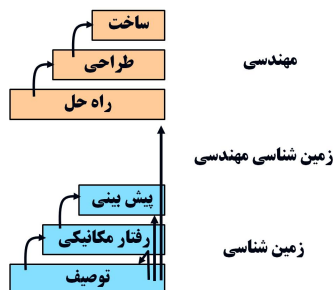
شکل ۱-۲. حوزه های فعالیت زمین شناسی مهندسی

امروزه در ادبیات مهندسی، رشته مهندسی ژئوتکنیک از تلفیق سه رشته اصلی زمین شناسی مهندسی، مکانیک خاک و مکانیک سنگ تشکیل شده است (شکل ۱-۳). در مهندسی ژئوتکنیک فنون و ابزارهای شناسایی، کنترل و بهسازی زمین بکار گرفته می شود تا سازه های ایمن و با هزینه اقتصادی کمتر روی آنها بنا شده و یا مصالح مرغوب و با کیفیت مطلوب در پروژه های عمرانی استفاده گردد. اصولاً مکانیک سنگ و خاک به بررسی ویژگی ها، رفتار و طبقه بندی مهندسی مواد زمین (سنگ و خاک) می پردازند و شرایط زمین را در حالت موجود بررسی می کنند و به فرآیندهای تابع زمان و تغییر پارامترهای آن توجهی نمی شود اما در زمین شناسی مهندسی علاوه شناسایی ویژگی ها و رفتار مواد زمین به فرآیندهای تغییر دهنده سطح آن وابسته به زمان نیز توجه می شود (شکل ۱-۳). ضمن اینکه مقیاس بررسی در زمین شناسی مهندسی و مکانیک سنگ و خاک متفاوت است. بطوریکه در بررسی های زمین شناسی مهندسی سطح وسیعی از زمین پیرامون یک پروژه مد نظر قرار می گیرد ولی در مکانیک سنگ و خاک به ویژگی های نقطه ای مواد می پردازند که معمولاً حاصل اکتشاف گمانه های حفاری است.



شکل ۱-۳. نقش زمین شناسی مهندسی

یک زمین شناس در اجرای مناسب پروژه های مهندسی مسئول بررسی و ارزیابی سه مرحله توصیف، مکانیک و پیش بینی مواد زمین است. مواد زمین (سنگ، خاک و آب) را به شکل واقعی و آنچه که هست توصیف می نماید. رفتارهای مکانیکی آنها را در برابر اعمال و یا تغییر تنش های محیطی مورد ارزیابی قرار می دهد و سپس مخاطرات و رفتارهای مهندسی آنها را پیش بینی خواهد نمود (شکل ۱-۴). ولی یک مهندس در مواجهه با هر کار عملی، به راه حل، طراحی و ساخت خواهد پرداخت (جدول ۱-۱). ارتباط منطقی و قابل فهم و کاربردی از اطلاعات یکی و نیازهای دیگری وظیفه زمین شناس مهندسی است (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴. مدل مفهومی از نقش زمین شناسی مهندسی در پروژه ها

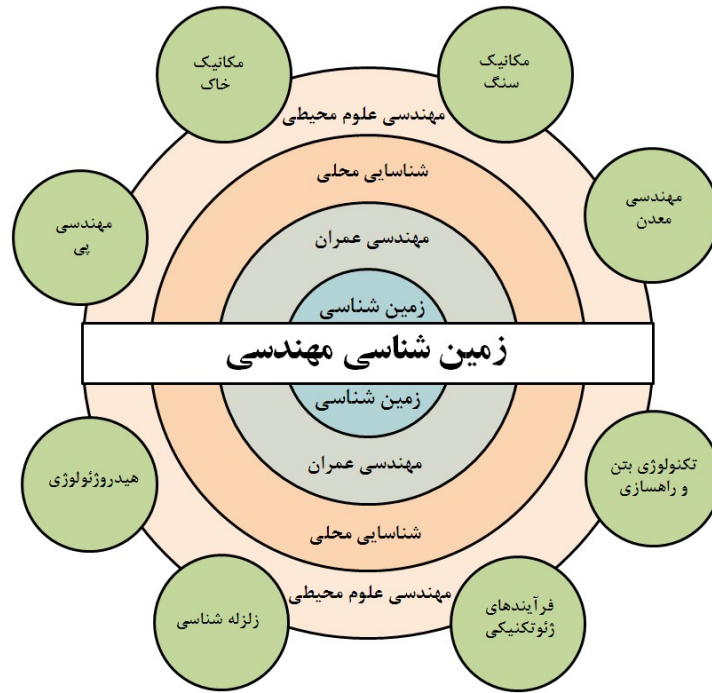
جدول ۱-۱. مقایسه حوزه های تخصصی زمین شناسی مهندسی و مهندسی عمران

مهندسی عمران	مهندسی
برنامه ریزی منطقه ای، طراحی مقدماتی، بررسی اقتصادی	بینی
آزمون، تحلیل و ارزیابی و بهسازی	

۵. ارتباط زمین شناسی مهندسی با علوم و فنون

شاخه های مهم علوم که مطالعات زمین شناسی در آن نقش اساسی دارد، شامل چهار رشته زمین شناسی، عمران، کشاورزی و معدن است (شکل ۱-۹). زمین شناسی علم مطالعه و بررسی مکانیزم تشکیل مواد زمین و فرآیندهای آن می باشد. اما رشته های دیگر بر حسب نیاز از نتایج این مطالعات بهره می برند. در این میان رشته ای که بتواند مفسر خوبی باشد تا توصیف زمین شناسی را به تحلیل عددی تبدیل نماید، رشته زمین شناسی مهندسی است و عموماً به بررسی های زیر می پردازد.

۱. ارزیابی خواص مهندسی مواد زمین (خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ، خاک و آب)
۲. شناسایی و پهنه بندی مخاطرات زمین (شناسایی چشمه های لرزه زا، مسیر موج و شتاب و طیف و اثرات آن بر سازه ها، زمین لغزش، فرونشست، سیل، رمبندگی، واگرایی، روانگرایی و...)
۳. بهسازی زمین (پیشنهاد بهترین روش بهسازی بر حسب شرایط زمین و ویژگی مواد با لحاظ نمودن هزینه آن)
۴. مصالح ساختمانی (ارائه برنامه اکتشاف و عملیات ژئوتکنیکی، شناسایی و اکتشاف مصالح مورد نیاز پروژه ها، ارزیابی ژئوتکنیکی مصالح و بررسی مرغوبیت آنها)
۵. برنامه ریزی منطقه ای (در احداث شهرهای جدید، شهرکها، جابجایی روستاها و احداث شهرکها و نیروگاهها مطالعات زمین شناسی مهندسی در مراحل مقدماتی و تکمیلی انجام می شود)
۶. مسائل زیست محیطی (مسائل زیست محیط بین سازه های مهندسی با مواد زمین، زمین های دفن زباله، نخاله های ساختمانی، باطله های معدنی، رسوبات بستر سدها و تخلیه و دفع آنها، مهندسی رودخانه، عوارض برداشت و استخراج منابع معدنی، مهندسی رودخانه و ساحل و نظایر آن)
۷. آب زیرزمینی (اثر استخراج آب و مسائل ژئوتکنیک، شناسایی آبخوانها در محل احداث سازه های مهندسی و بررسی اثر متقابل)
۸. زمین شناسی مهندسی و ابنیه های مهندسی (سدسازی و سازه های آبی، فضاها و زیرزمینی و تونل، راه و جاده سازی، خطوط انتقال نیرو، پی سازی، پل)



شکل ۱-۹. جایگاه زمین شناسی مهندسی در علوم مهندسی

فصل دوم

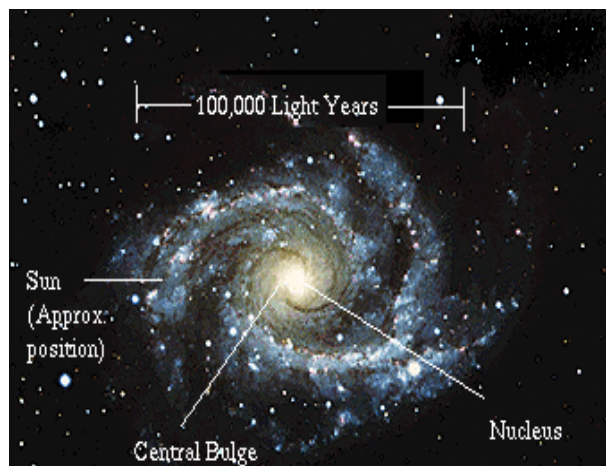
ساختمان و ترکیب زمین

۱-۲ مقدمه

سیاره زمین زیستگاه انسان و دیگر موجودات است. سطح آن از دو بخش خشکی و آب تشکیل شده است. بیش از دوسوم سطح زمین را آب فرا گرفته است. سطح خشکی از چند قاره مجزا تشکیل شده است. سطح کره زمین و اجزای درونی آن دائم در حال تغییر و تحول اند(فرآیندهای زمین). بطوریکه می توان کره زمین را همانند یک موجود زنده بحساب آورد.

۲-۲ منشاء زمین

زمین جزء کوچکی از منظومه شمسی در کهکشان راه شیری واقع در گیتی است. گیتی(عالم) یک توده دیسکی شکل به قطر ۱۰۰ هزار سال نوری است که در یک فضای نامتناهی قرار دارد(شکل ۱-۲). این توده دارای یک هسته و چندین کهکشان می باشد که یکی از آنها کهکشان راه شیری است. این کهکشان از میلیاردها منظومه تشکیل شده است که منظومه شمسی یکی از آنهاست.

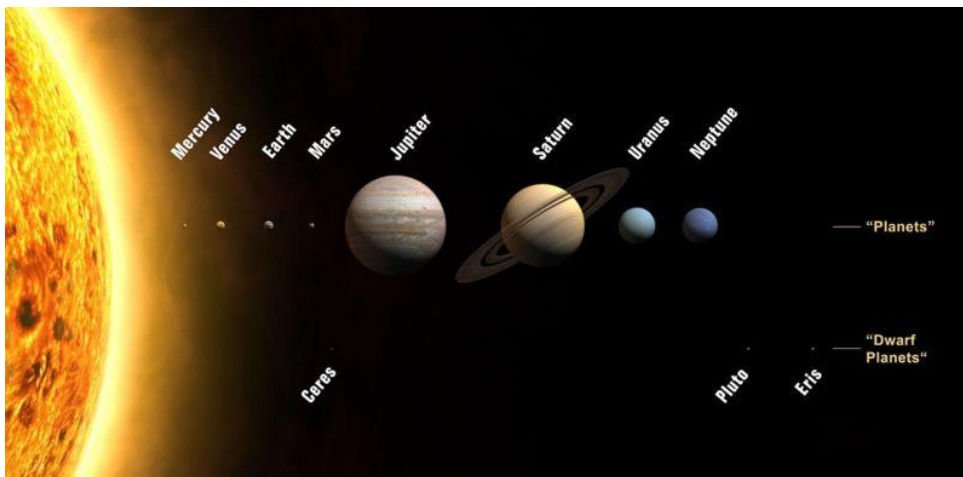


شکل ۱-۲. گیتی

تاکنون نظریات زیادی در مورد منشاء منظومه شمسی و زمین ارائه شده است، در میان آنها، دو نظر اساسی وجود دارد. اولی فرضیه برخورد نزدیک نام گرفته است. بر پایه آن سیاره‌ها، مواد جدا شده از خورشیداند. بر طبق آن، کشش گرانشی یک ستاره یا دنباله‌دار به حدی بوده است که هنگام عبور از کنار خورشید مقداری از ماده آن را بیرون کشیده است. زمین ما عضوی از خانواده خورشید است. منظومه شمسی شامل نه سیاره اصلی، تعداد زیادی قمر طبیعی (اقمار)، تعداد زیادی سیارکها، تعداد نامعلومی ستاره‌های دنباله‌دار به همراه شهاب‌ها و شهاب سنگها هستند که به دور خورشید در حال گسترش هستند(شکل ۲-۲).

طبق نظر کانت، منظومه شمسی از یک ابر گاز و غبار در حال چرخش، شکل گرفته است. نظر کانت بوسیله ریاضیدان فرانسوی به نام پیردولاپلاس بسط داده شد. فرضیه کانت - لاپلاس، یک ابر بسیار بزرگ از گازهای داغ را ترسیم می کند که به دور محور خود می چرخد. کانت و لاپلاس، این ابر بزرگ را سحابی نامیده اند. سرد شدن گاز سحابی، باعث انقباض آن می شود. با انقباض جرم اصلی، حلقه هایی از گاز در اطراف آن باقی می ماند. این جرم اصلی همان خورشید است. حلقه ها، در اثر نیروی گریز از مرکز (نیروی است که اجسام در حال چرخش را به طرف بیرون از مرکز چرخش می راند) از مرکز دور می شوند. بنابراین فرضیه، حلقه های جدا از هم، منقبض شده و سیاره ها را بوجود آورده اند. لذا برآورد می شود که سیستم منظومه شمسی، ۶/۹ بیلیون سال قبل از مجموعه سحابی (گردو غبار) شکل گرفته است. این فرضیه دارای چهار مرحله زیر است:

۱. سرد شدن گازها و غبارهای پراکنده
۲. متراکم شدن مواد و تشکیل خورشید
۳. ایجاد سیارات در فواصل مختلف بر اساس وزن مخصوص خود
۴. ایجاد اقمار و تشکیل مدارهای گردش و تکوین منظومه شمسی



شکل ۲-۲. منظومه شمسی

۲-۳ تکوین زمین

پس از شکل گیری اولیه زمین مواد تشکیل دهنده آن بر اساس وزن مخصوص خود از هم جدا شده و مواد سنگین تر به مرکز هدایت شده (آهن و نیکل) و موادی با وزن مخصوص سبک تر در قسمت های بیرونی و پوسته متمرکز شدند (سیلیکات ها). پیرامون کره زمین از بخارات آب و انواع گازها تشکیل شده است و بطوریکه با دور شدن از سطح آن رقیق تر می شوند. در یک تقسیم بندی کلی کره زمین شامل سه بخش زیر است.

۱. سنگ کره (لیتوسفر)^۱
۲. آب کره (هیدروسفر)^۲
۳. هوا کره (آتمسفر)^۳

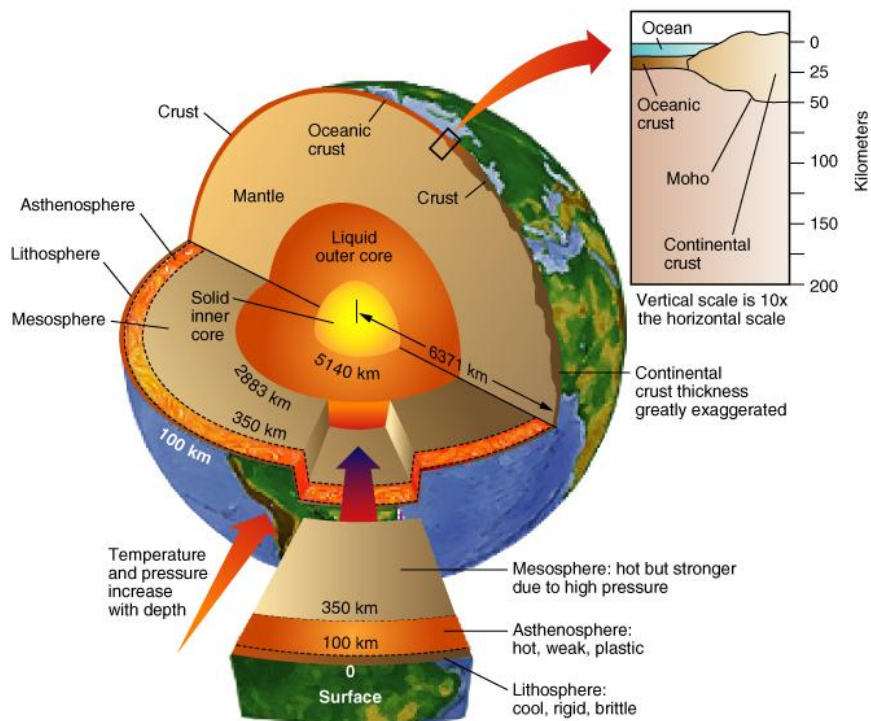
۲-۴ اجزای سنگ کره

^۱ Lithosphere

^۲ Hydrosphere

^۳ Atmosphere

۱. هسته داخلی به شعاع حدود ۱۲۰۰ کیلومتر و به حالت جامد و از آهن و نیکل تشکیل شده است (شکل ۲-۳).
۲. هسته خارجی به شعاع حدود ۲۲۷۰ کیلومتر و به حالت مایع و از آهن و نیکل و منیزیم تشکیل شده است.
۳. گوشته به دو بخش بالایی (لیتوسفر) و پایینی (استینوسفر) تقسیم می شود. ضخامتی حدود ۲۹۰۰ کیلومتر دارد. گوشته ۸۲٪ حجمی و ۶۸٪ وزنی کره زمین را تشکیل می دهد. دانسیته آن بین ۳/۲ تا ۵ گرم بر سانتی متر مکعب است. ترکیب آن عمدتاً سیلیکات همراه با آهن و منیزیم است.
۴. پوسته از دو نوع قاره ای و اقیانوسی است. پوسته قاره ای با ضخامت حداکثر ۷۵ کیلومتر، دانسیته آن بطور متوسط 2.7 gr/cm^3 است. پوسته اقیانوسی بطور متوسط دارای ضخامت ۸ کیلومتری بوده و دانسیته آن حدود ۳ گرم بر سانتی متر مکعب است.



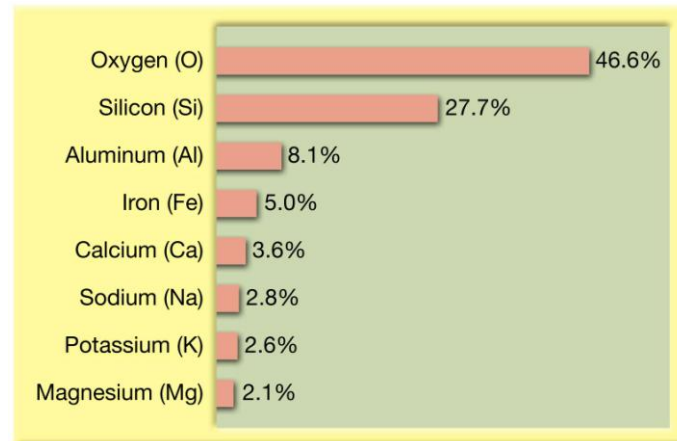
شکل ۲-۳. اجزای سنگ کره

پوسته زمین از چندین قطعه تشکیل شده است و قطعات قاره ها از جمله آنهاست. این قطعات در کنار هم به سه صورت زیر حرکت می کنند (شکل ۲-۴):

۱. مرزهای همگرا^۱ به هم نزدیک شده و برخورد کرده و یا در زیر یکدیگر می روند. مثل برخورد صفحه ایران به صفحه توران (شوری سابق) که در برخورد به هم، باعث بوجود آمدن البرز شده است. رشته کوه زاگرس در اثر فرورفتن صفحه عربستان به زیر صفحه ایران بوجود آمد و بین آنها گودال بزرگ خلیج فارس ایجاد شد.
۲. مرزهای واگرا^۲ از هم دور می شوند و بین آنها شکاف ایجاد می شود. مثل دریای سرخ.

^۱ Convergent Boundaries

^۲ Divergent Boundaries

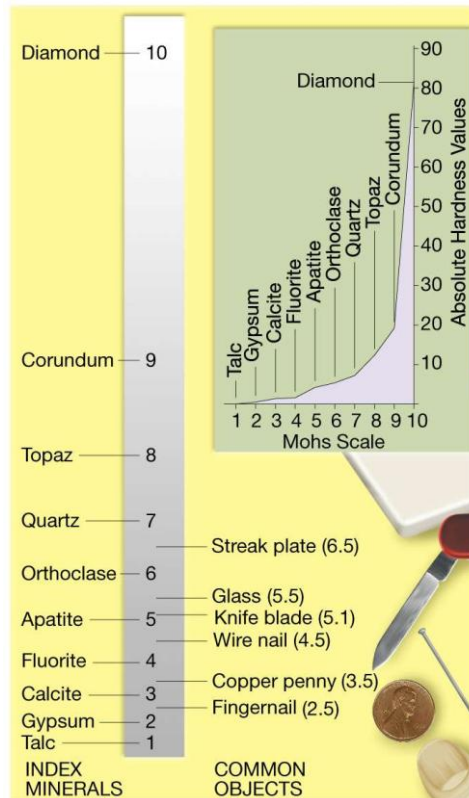


شکل ۲-۶. فراوانی عناصر در پوسته زمین

کانی ها براساس ویژگی های فیزیکی شناخته می شوند و از هم تفکیک می شوند. این ویژگی ها عبارتند از:

- رنگ Color
- جلا Luster
- سختی Hardness
- شکل بلوری Crystal shape
- رخ Cleavage
- وزن مخصوص Specific gravity
- سایر Others

هر چه تنوع رنگ بیشتر باشد، شناسایی کانی ها، گمراه کننده تر است. تفاوت رنگ ها ممکن است نتیجه ناخالصی ها باشد. جلا معرف انعکاس نور سطح کانی است و به دو دسته جلای فلزی و جلای غیر فلزی تقسیم می شوند. سختی سهولت خراش یک کانی توسط ابزارهای مختلف مثل چاقو و یا ناخن است. مبنای کمی (عددی) سختی جدول مقیاس موس (*Mohs Scale*) می باشد (جدول ۱-۲). براساس این جدول کمترین سختی (نرم ترین کانی) مربوط به کانی تالک (*Talc*) و سختترین کانی در طبیعت الماس (*Diamond*) است. برای مقایسه ناخ دارای سختی ۲/۵، سکه مسی دارای سختی ۳/۵، میخ دارای سختی ۴/۵ و شیشه سختی ۵/۵ است.



جدول ۲-۱. جدول مقیاس سختی موس

شکل بلوری، قیافه بیرونی ساختمان اتمی یک کانی است و بدو صورت متقارن و نامتقارن دیده می شود. انواع سیستم های شکل بلوری کانی ها عبارتند از: مکعبی، تتراگونال، هگزاگونال، ارتورمبیک، مونوکلین و تریکلین و تری گونال. رخ سهولت شکستگی در جهات مختلف است و تابع ساختمان بلوری کانی هاست (شکل ۲-۷).









رخ یک جهت مثل کانی میکا




Number of Cleavage Directions	Sketch	Illustration of cleavage directions	Example
2 at 90°			
2 not at 90°			

رخ دو جهت مثل ارتوکلاز و آمفی بول

شکل ۲-۷. انواع رخ کانی ها

Number of Cleavage Directions	Sketch	Illustration of cleavage directions	Example
3 at 90°			
3 not at 90°			

رخ سه جهته مثل نمک(هالیت) و کلسیت

Number of Cleavage Directions	Sketch	Illustration of cleavage directions	Example
4			

رخ چهار جهته مثل فلوریت

ادامه شکل ۲-۷. انواع رخ کانی ها

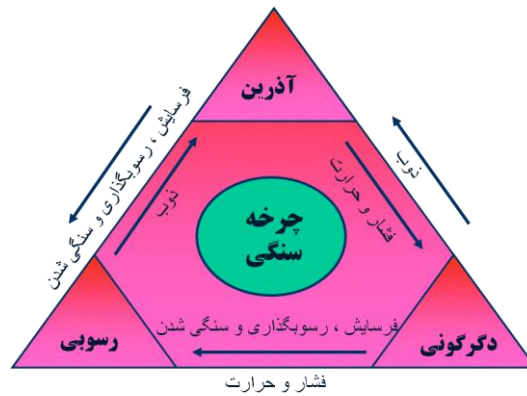
کانی هایی که رخ مشخصی ندارند، دارای سطح شکست هستند. وزن مخصوص از نسبت جرم به حجم مواد جامد کانی بدست می آید و مقدار آن تابع شعاع اتمی بلورهای تشکیل دهنده آنست. کانی های فلزی دارای وزن مخصوص بالاتری از کانی های غیر فلزی اند. انواع اصلی کانی ها مطابق جدول ۲-۲ می باشند.

جدول ۲-۲. انواع اصلی کانی ها

گروه	کانی های شاخص گروه
سیلیکاتها	کوارتز، میکا، فلدسپات و اولیوین
اکسیدها	هماتیت، مگنتیت و لیمونیت
کربناتها	کلسیت و دولومیت
سولفورها	پیریت، گالن و اسفالریت
سولفاتها	گچ و آنهیدریت
کلورها	هالیت(نمک) و سیلویت

۲-۶ سنگها

سنگ ها مواد متصلی هستند که از یک یا چند کانی تشکیل می شوند. سنگ های تشکیل دهنده پوسته زمین به سه دسته آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم بندی می شوند(شکل ۲-۸). در اثر فرآیندهای سطح و درون زمین همواره در تبدیل شدن به یکدیگر هستند. خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ ها توسط سه ویژگی ترکیب، بافت و ساخت کنترل می شود. این سه ویژگی مبنای طبقه بندی و ارزیابی خواص مهندسی است.



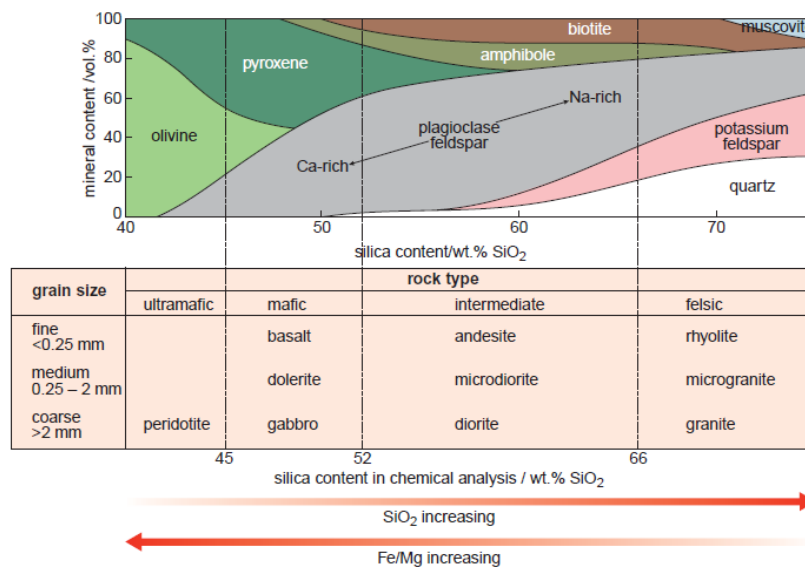
شکل ۲-۸ انواع اصلی سنگ ها و نحوه تبدیل به یکدیگر (چرخه سنگی)

سنگهای آذرین در نتیجه سرد شدن مواد مذاب بوجود می آید. بر حسب اینکه در درون و بیرون سطح زمین این مواد سرد شوند، به دو دسته اصلی سنگهای آذرین درونی (*Intrusive*) و بیرونی (*Extrusive*) تشکیل می شوند. همچنین به سنگ های آذرین درونی، سنگ های پلوتونیک (*Plutonic*) و به سنگ های آذرین بیرونی، سنگ های آتشفشانی یا ولکانیکی (*Volcanic*) گفته می شود. این دو نوع از سنگ های آذرین برحسب ترکیب شیمیایی به انواع مختلف تقسیم می شود (جدول ۲-۳). ترکیب یک سنگ، مجموعه کانی های تشکیل دهنده آن است. سنگ های آذرین برحسب کانی های اصلی تشکیل دهنده و اندازه دانه ها (بافت) نیز طبقه بندی می شوند (جدول ۲-۴). بافت یک سنگ اندازه و آرایش کانی های متشکله است و در سنگ های آذرین درونی و بیرونی بافت های آن متفاوت است (جدول ۲-۵).

جدول ۲-۳. طبقه بندی سنگهای آذرین

نوع سنگ	ترکیب		
	اسیدی	متوسط	بازیک
درونی	گرانیت	دیوریت	گابرو
بیرونی	ریولیت	آندزیت	بازالت

جدول ۲-۴. کانی های اصلی تشکیل دهنده سنگ های آذرین



جدول ۲-۵. بافت سنگهای آذرین

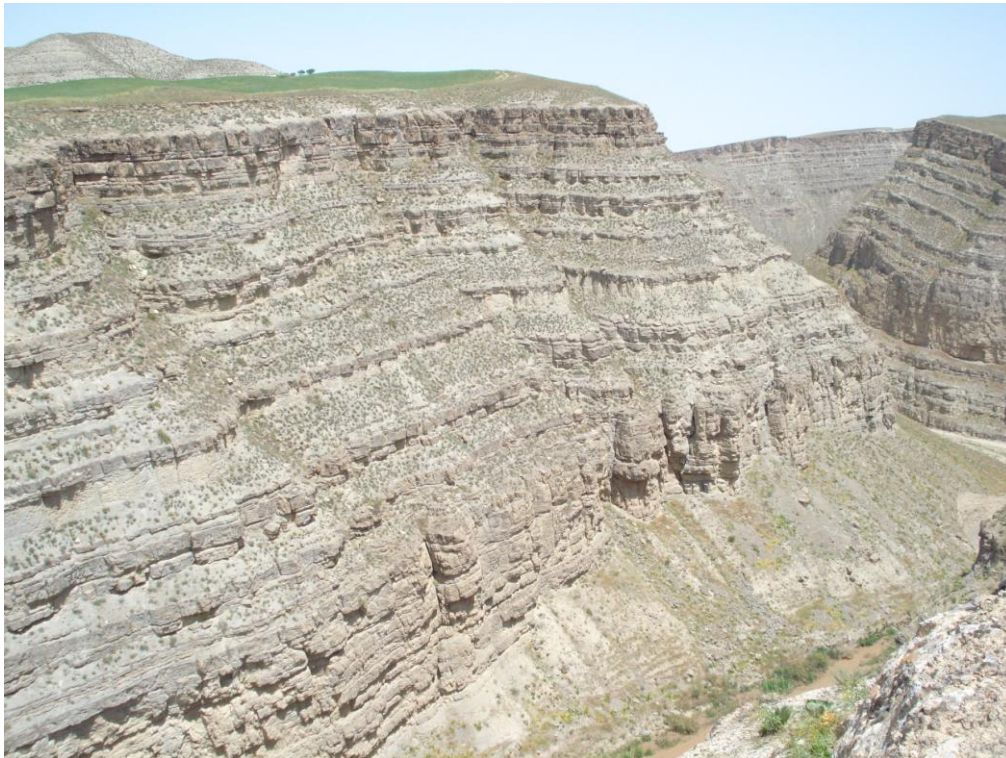
نوع بافت	مثال
درشت دانه	Phaneritic
ریزدانه	Aphanitic
شیشه ای	Glassy
حفره ای	Vesicular
پورفیری	Porphyry

سنگ های آذرین بیرونی آتشفشانی (ولکانیکی) از لحاظ اندازه به انواع مختلف تقسیم می شوند (جدول ۲-۶).

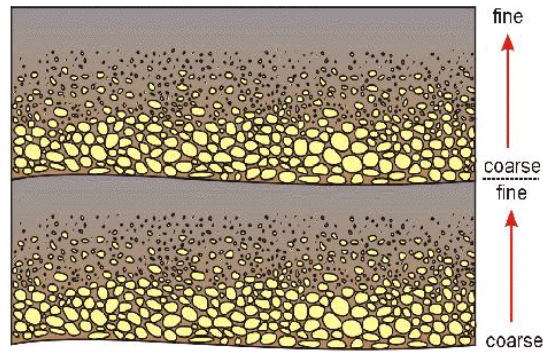
جدول ۲-۶. تقسیم بندی سنگ های آتشفشانی

کوچکتر از ۲ میلی متر	بین ۲ تا ۶۴ میلی متر	بزرگتر از ۶۴ میلی متر	
		مواد مذاب	قطعات پرتابی
توف	لاپیلی	بلوک	بمب آتشفشانی

مراحل تشکیل سنگ های رسوبی شامل هوازدگی، انتقال ذرات، نهشته شدن و سنگی شدن می باشد. در فرآیند سنگی شدن عمل تراکم، تشکیل سیمان و سخت شدن رسوبات اتفاق می افتد و به این فرآیند دیاژنز گفته می شود. ساختارهای لایه بندی (شکل ۲-۹) و دانه بندی تدریجی (شکل ۲-۱۰) و لایه بندی مورب (شکل ۲-۱۱) در انواع سنگ های رسوبی بیشتر دیده می شود.



شکل ۲-۹. نمایش لایه بندی در سنگهای رسوبی

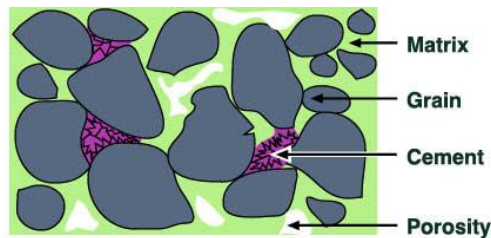


شکل ۲-۱۰. لایه بندی تدریجی در رسوبات



شکل ۲-۱۱. لایه بندی مورب در رسوبات بادی شمال گرگان

سنگ های رسوبی از چهار جزء دانه، سیمان، زمینه (*Matrix*) و تخلخل تشکیل شده است (شکل ۲-۱۲). بسیاری از ویژگی های این سنگ ها را متاثر از خود می سازند. دانه ها به دو صورت گرد گوشه و تیز گوشه با سطح صاف و ناهموار تشکیل می شوند. سیمان معمولاً از جنس کربنات کلسیم و یا سیلیس است. زمینه شامل ذرات ریزتر دانه هاست. تخلخل به دو صورت متصل به هم و حفره ای دیده می شوند.



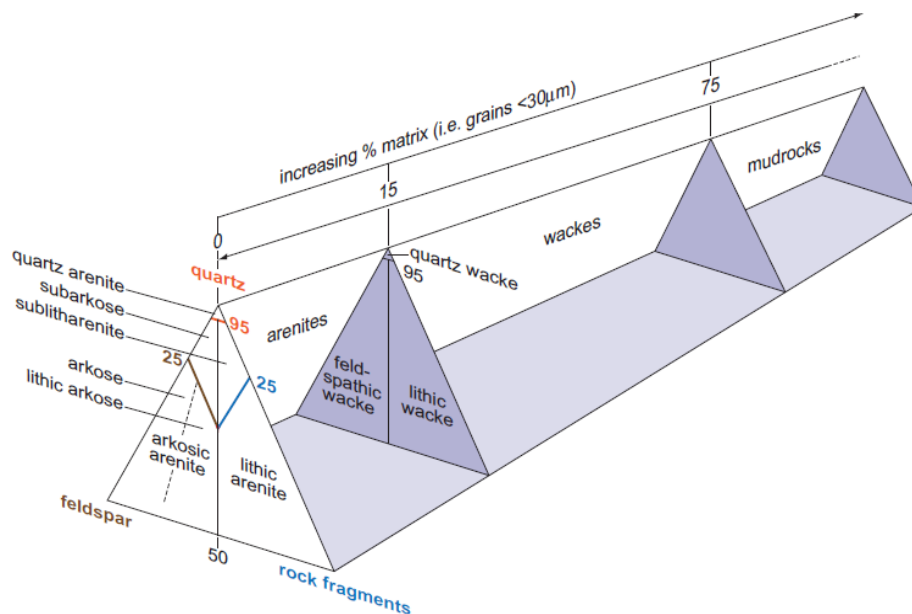
شکل ۲-۱۲. اجزای تشکیل دهنده سنگهای رسوبی

سنگ های رسوبی برحسب ترکیب شیمیایی و بافت به دو گروه تخریبی (*Clastic*) یا آواری (*Detrital*) و شیمیایی و بیوشیمیایی (*Chemical and Biochemical*) تقسیم می شوند. اندازه دانه های سنگ یکی از فاکتورهای اصلی در تقسیم بندی سنگ های رسوبی آواری است. بر حسب نام رسوبات، سنگ های رسوبی آواری را می توان تقسیم بندی نمود (جدول ۲-۷). بعنوان مثال اگر دانه ها در اندازه ماسه باشند، سنگی که از آن تشکیل می شود، ماسه سنگ نام دارد.

جدول ۲-۷. تقسیم بندی سنگ های رسوبی براساس اندازه دانه ها

Grain size (mm)	Clast types		Sedimentary rocks	Special types
	16	Cobble		
2	Gravel	Pebble	Conglomerate	Breccia
		Granule		
1/16	Sand		Sandstone	
1/256	Mud			Mudrock
		Silt	Mudstone (Shale)	
		Clay		Claystone

ماسه سنگ ها یکی از انواع مهم سنگ های رسوبی آواری است که در بسیاری از توالی ها وجود دارد و در سطح زمین در مناطق مختلف گسترش دارد. ترکیب اصلی آنها چهار جزء کانی کوارتز، فلدسپار، خرده سنگ و زمینه (*Matrix*) است و به ۸ گروه تقسیم می شوند (جدول ۲-۸). برای مثال ماسه سنگ آرنایتی دارای زمینه بین ۰ تا ۱۵ درصد است. براساس درصد زمینه ماسه سنگها به سه گروه آرنایت ها (۰-۱۵٪)، وکها (۱۵-۷۵٪) و گل سنگها (<۷۵٪) تقسیم می شوند (جدول ۲-۸).



جدول ۲-۸. تقسیم بندی ماسه سنگ ها (پتی جان، ۱۹۷۳)

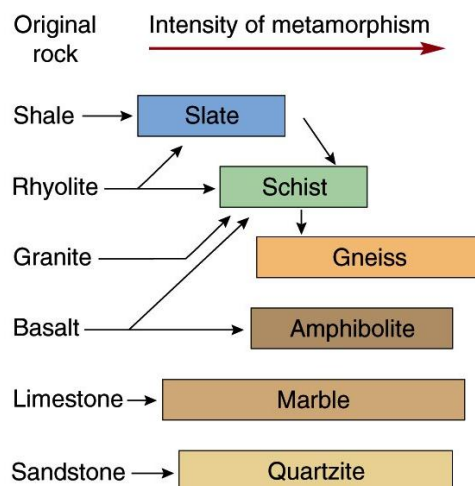
سنگ های شیمیایی، محصول مواد محلول دریاچه ها و دریاها هستند. سنگ های بیوشیمیایی نتیجه تراکم و سنگی شدن قطعات موجودات زنده است. انواع مهم این دسته از سنگ ها شامل سنگ آهک (*Limestone*)، دولومیت (*Dolomite*)، تراورتن (*Travertine*)، چرت (*Chert*) است. سنگ آهک از فراوان ترین سنگ ها است. بیشتر آنها دارای فسیل هستند ولی سنگ های آهکی بدون فسیل و یاریز دانه هم وجود دارد. سنگ هایی که اغلب از قطعات

موجودات دریایی و صدف دو کفه ای ها تشکیل شده باشد به کوکینا (*Coquina*) نام دارد (شکل ۲-۱۳). این سنگ ها در قسمت های وسیعی از شمال استان گلستان با عنوان تجاری صدف کوهی بیرون زدگی دارند و معادن متعددی وجود دارد و چندین کارخانه فرآوری در شهرستان گنبد راه اندازی شده است.

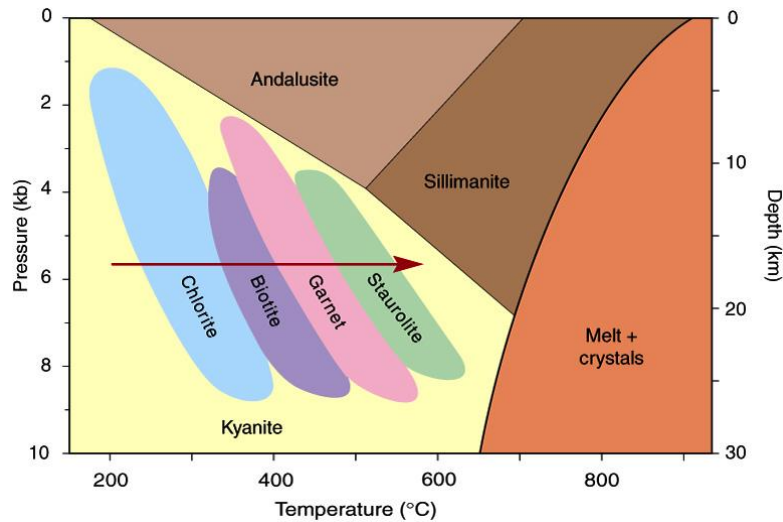


شکل ۲-۱۳. سنگ کوکینا - شمال گنبد در استان گلستان

اگر سنگ های آذرین، رسوبی تحت فشار و حرارت غیر متعارف در پوسته زمین قرار گیرند به سنگ های دگرگونی تبدیل می شوند (شکل ۲-۱۴). برای مثال سنگ رسوبی شیل به سنگ دگرگونی درجه پایین اسلیت و در درجات بالاتر به شیست و گنیس می تواند تبدیل شود. در سنگ های دگرگونی علاوه بر تغییر در بافت و ساخت، ترکیب شیمیایی آن ممکن است تغییر یابد. در اثر فرآیند دگرگونی ممکن است کانی های جدید هم بوجود آید (شکل ۲-۱۵). کانی های کیانیت، آندالوزیت، سیلیمانیت، کلریت و استارولیت نمونه های مهم فرآیند دگرگونی است.



شکل ۲-۱۴. انواع اصلی و مهم سنگهای دگرگونی

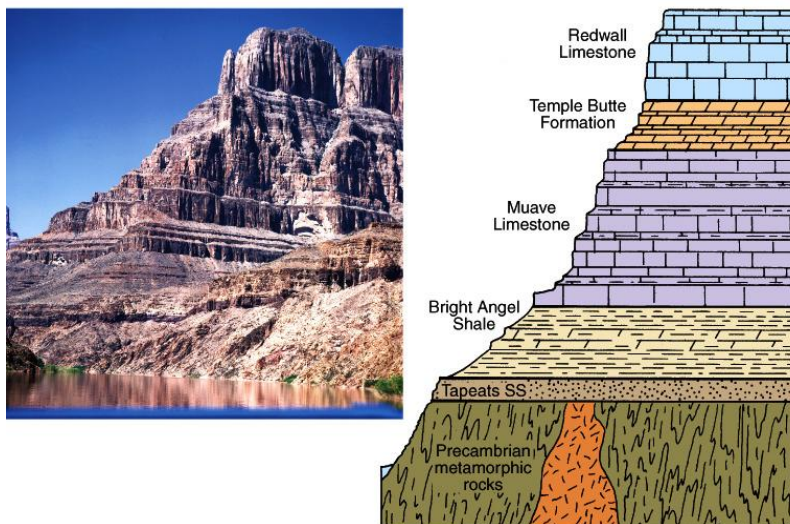


شکل ۲-۱۵. تشکیل کانی ها در فرآیند دگرگونی

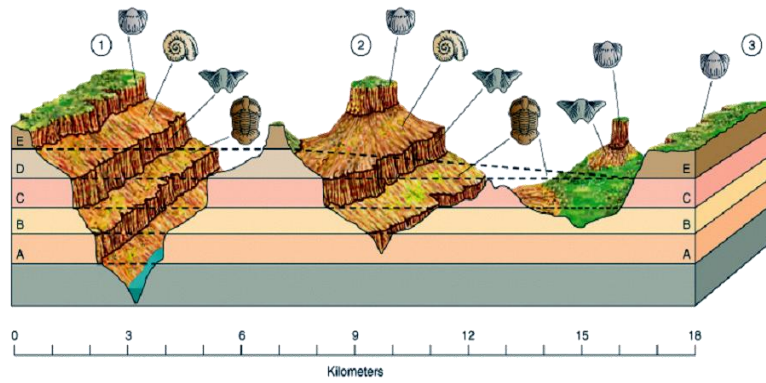
۲-۷ زمان در زمین شناسی

دانشمندان عمر زمین ۴/۶ میلیارد سال برآورد کردند. زمین از زمان شکل گیری تا کنون شاهد تغییرات گوناگونی در سطح و درون خود بوده است برای بررسی فرآیندهای تابع زمان، باید سن هر رویداد را برآورد نمود. از دو روش تعیین سن نسبی و مطلق سن رویدادها بدست می آید. برای تعیین سن نسبی از چهار اصل زیر استفاده می شود.

۱. اصل افقی بودن و تداوم لایه ها (شکل ۲-۱۶)
۲. اصل روی هم قرار گرفتن لایه ها (شکل ۲-۱۶)
۳. اصل تشابه لایه ها از نظر زمین شناسی (شکل ۲-۱۷)
۴. اصل تغییرات بعدی (فرآیندها) (شکل ۲-۱۸)

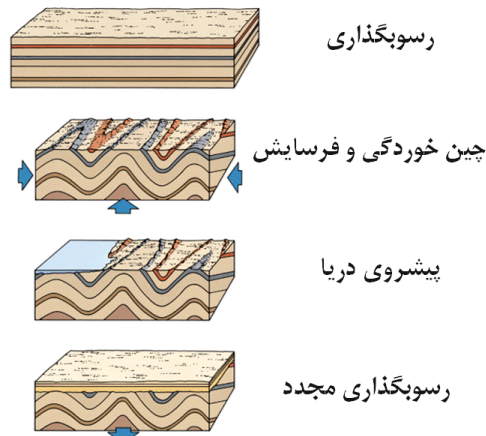


شکل ۲-۱۶. اصل افقی بودن لایه ها و روی هم قرار گرفتن لایه ها



شکل ۲-۱۷. اصل تشابه لایه ها

تغییر در فرآیند رسوب گذاری باعث ایجاد یک ناپیوستگی می شود که دگر شیبی نام دارد. دگر شیبی بدو صورت زاویه دار و هم شیب تقسیم می شود.



شکل ۲-۱۸. فرآیند ایجاد دگر شیبی

در تعیین سن مطلق از مواد رادیواکتیو و آلی استفاده می شود. مواد رادیو اکتیو شامل پرتوهای آلفا، بتا و گاما از عناصر اورانیوم، رادیوم و پتاسیم است. مواد آلی مثل کربن ۱۴ است (جدول ۲-۹). این مواد دارای نیمه عمر هستند. نیم عمر مدت زمان نصف شدن اتم های اولیه است که از چند ثانیه تا چند میلیاردسال طول می کشد.

جدول ۲-۹. نیم عمر مواد

عنصر اولیه	نیم عمر	عنصر ثانویه
اورانیوم ۲۳۵	۰,۷ میلیاردسال	سرب ۲۰۷
اورانیوم ۲۳۸	۴,۵ میلیاردسال	سرب ۲۰۶
رادیوم ۸۷	۴۷ میلیاردسال	استرنسیوم ۸۷
پتاسیم ۴۰	۱,۳ میلیاردسال	آرگون ۴۰
کربن ۱۴	۵۶۰۰ سال	کربن ۱۲

زمان در زمین شناسی به چهار دوران پرکامبرین، پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک تقسیم می شود (جدول ۲-۱۰). به دوران قدیمی تر از ۵۴۳ میلیون سال قبل چون اطلاعات دقیق زمین شناسی در سطح زمین در دسترس نیست، به پرکامبرین (قبل از دوره کامبرین) شهرت دارد و تقسیم بندی جزئی تر از آن انجام نشده است. هر یک به دوره های مختلف تفکیک می شوند و براساس آنها سن هر یک از رویدادها را برآورد می کنند. برای مثال دوران مزوزوئیک به دوره های تریاس، ژوراسیک و کرتاسه تقسیم می شود.

جدول ۲-۱۰. تقسیم بندی زمانی رویدادهای زمین شناسی

CENOZOIC	Quaternary	Holocene	0.01	0.01
		Pleistocene	1.8	1.8
	Tertiary	Pliocene	3.5	5.3
		Miocene	18.5	23.8
		Oligocene	9.9	33.7
		Eocene	21.1	54.8
		Paleocene	10.2	65.0
MESOZOIC	Cretaceous		79	144
	Jurassic		62	206
	Triassic		42	248
	Permian		42	290
PALEOZOIC	Carboniferous	Pennsylvanian	33	323
		Mississippian	31	354
		Devonian	63	417
	Silurian		26	443
	Ordovician		47	490
	Cambrian		53	543
	PRECAMBRIAN			

فصل سوم

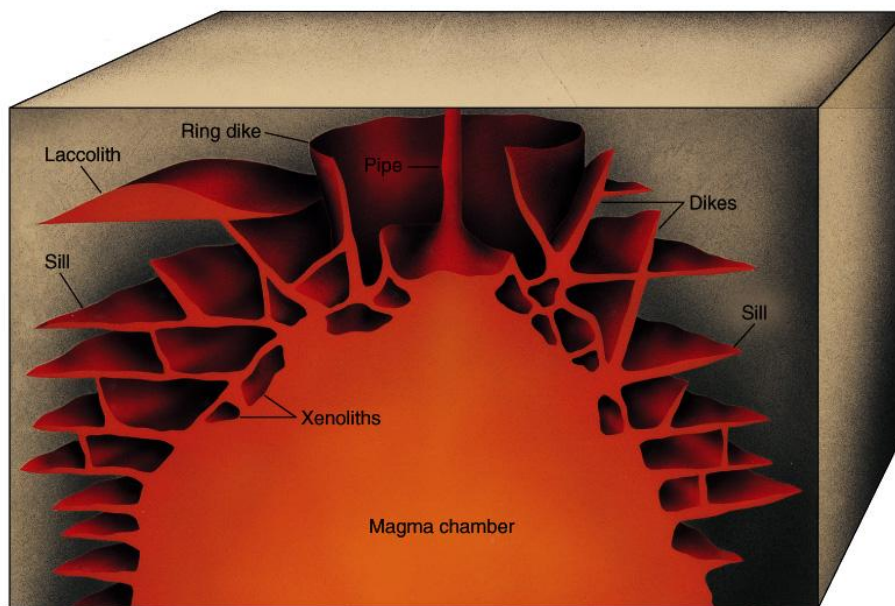
فرآیندهای زمین شناسی

۱-۳ مقدمه

کره زمین پس از شکل گیری دچار تغییرات بعدی در درون پوسته و سطح آن شد. با نفوذ ماگما به درون پوسته سنگهای اطراف تغییر شکل یافته اند و در اثر فعالیت های تکتونیکی سنگها دچار چین خوردگی، گسل خوردگی و تغییر شکل های مختلف شده اند. همچنین سطح زمین، در اثر عملکرد آب و باد فرسایش و هوازدگی باعث تغییر مستمر می شود. همه این پدیده ها بنام فرآیندهای زمین شناسی معروف است.

۲-۳ نفوذی های آذرین

با نفوذ ماگما در درون پوسته زمین اشکال مختلفی از توده های نفوذ سرد شده تشکیل می شود (شکل ۱-۳) و سنگهای آذرین را بوجود می آورد. قطعاتی از سنگهای مجاور که در ماگما بی افتد، زئولیت (Xenoliths) نام دارد. براساس اندازه، سن نسبی و شکل ظاهری به انواع باتولیت، استوک، سیل، دایک و لاکولیت تقسیم می شود (جدول ۱).

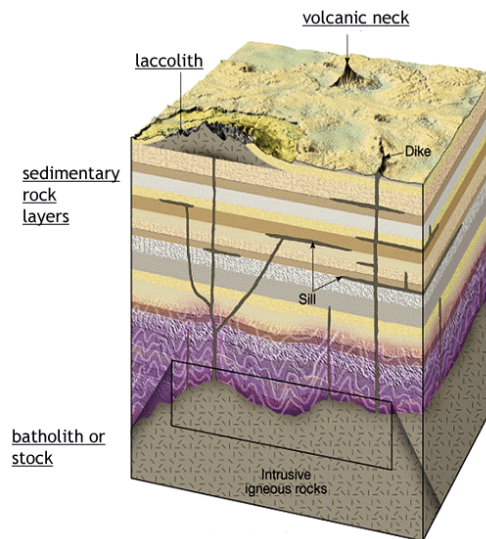


شکل ۱-۳. مشتقات توده های نفوذی ماگما در درون پوسته زمین

جدول ۱. تقسیم بندی توده های نفوذی

نفوذی های کوچک	نفوذی های بزرگ
۱. دایک (Dike)	۱. باتولیت (Batholith)
۲. سیل (Sill)	۲. استوک (Batholith)
۳. لاکولیت (Lacolith)	

دایک ها نفوذی های تقریباً قائم بوده و سنگهای رسوبی پیرامون خود را قطع می کند (شکل ۳-۲). سیل ها در بین لایه ها رسوبی و موازی با امتداد لایه بندی تشکیل می شود (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲. نمایش مدل‌های نفوذ ماگما در پوسته زمین

۳-۳ آتشفشان

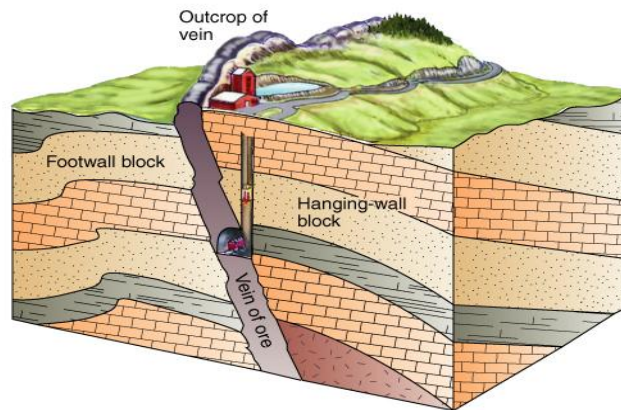
عبور ماگما از ضخامت پوسته و ظاهر شدن در سطح زمین منجر به تولید آتشفشان و یا گدازه و یا بخارات می شود. آتشفشان ها تشکیل کوههای مخروطی تقریباً متقارن را می دهند. ماگما در محل ظهور سطح زمین را شکافته و مواد مذاب به صور مختلف در سطح زمین جاری و یا در هوا پراکنده می شوند. وقتی مواد مذاب در سطح زمین جاری شوند، گدازه (Lava) نام دارد. گدازه به دو صورت آآ (Aa) و پائوو (Pahoehoe) تشکیل می شود (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳. تشکیل آآ (راست) و پائوو (چپ) با سرد شدن مواد مذاب

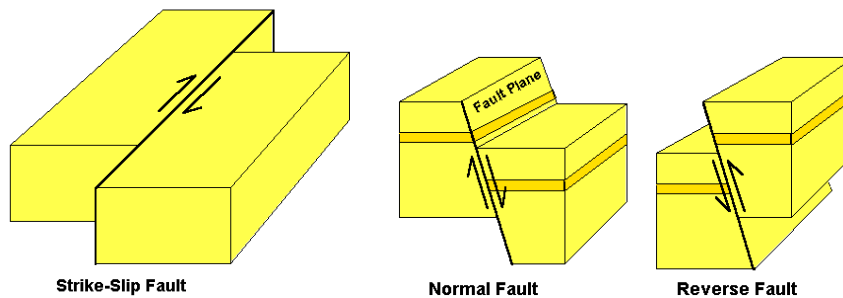
۳-۴ گسل خوردگی

وقتی که تحمل سنگهای ترد و شکننده (Brittle) در برابر تنشهای ایجاد شده از بین برود، شکستگی بوجود می آید و به آنها گسل (Fault) گویند. گسل ها، شکستگی هایی همراه با تغییر مکان نسبی هستند (شکل ۳-۴). گسل ها عامل ایجاد زلزله اند. در سنگهای نرم گسل بوجود نمی آید و رفتار آنها در برابر تنش بوجود آمده شکل پذیر (Ductile) است و چین خوردگی ها در آنها بوجود می آید.



شکل ۳-۴. گسل و پرشدگی ماده معدنی در سطح آن

بعضی از گسل ها فقط چند سانتی متر طول دارند و جابجایی آنها در حدود سانتی متر است، در صورتی که گسل هایی هم با صد ها کیلومتر جابجایی در حدود چند کیلومتر و حتی دهها کیلومتر دیده می شوند. در بعضی موارد، یک گسل به صورت مجزا دیده می شود ولی در پاره ای حالات، چندین گسل موازی و نزدیک به هم دیده می شوند که به نام منطقه گسله نامیده می شوند. گاهی نیز بدون این که یک شکستگی مشخص در سنگها دیده شود، سنگها نسبت به هم تغییر مکان می یابند که منطقه بین آنها، به نام منطقه برش موسوم است. گسل ها براساس موقعیت بلوکهای دو طرف و جهت حرکت و نوع تنش ایجاد شده به سه صورت گسل کششی یا نرمال، گسل فشاری یا معکوس و گسل امتداد لغز تقسیم می شود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵. انواع گسل، معکوس (راست)، نرمال (وسط) و امتداد لغز (چپ)

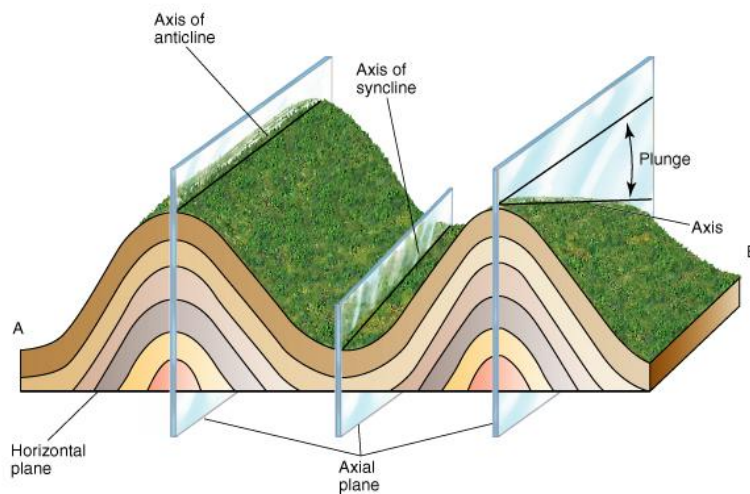
درز (Joint) شکستگی بدون جابجایی و تغییر مکان در سطح شکست است و معمولاً در ابعاد کوچکتر اتفاق می افتد (شکل ۳-۶). این پدیده نیز در سنگهای شکننده بوجود می آید. درزها بصورت تکی و یا چندتایی دیده می شود. به دو دسته منظم و غیر منظم تقسیم می شود. درزها در اثر اعمال فشار بوجود می آید. درزها به سه صورت کششی، فشاری و رهایی است.



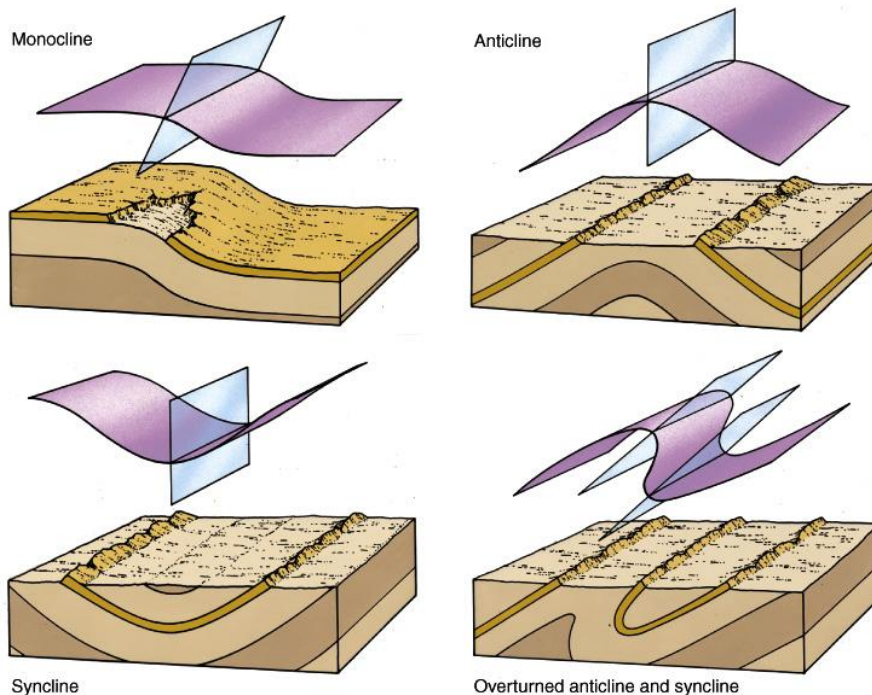
شکل ۳-۶. درز، نامنظم (راست) و منظم (چپ)

۳-۵ چین خوردگی

وقتی اعمال فشارهای جانبی و جهت دار بگونه ای باشد که سنگ بتواند در برابر تنش ایجاد شده درون خود تغییر شکل نشان دهد، چین خوردگی بوجود می آید. فرآیند چین خوردگی به دو عامل ماهیت سنگ و مدت زمان اعمال فشار بستگی دارد. معمولاً در پوسته زمین فشارهای جهت دار در مدت زمان طولانی بر سنگها اعمال می شود و سنگهای شکل پذیر قادر خواهند بود تا در برابر تنشهای بوجود آمده مقاومت کرده و نهایتاً رفتار شکل پذیری مثل چین خوردگی را در خود ایجاد نمایند. فرآیند چین خوردگی لایه ها را به سمت بالا و پائین دچار خمش می کند (شکل ۳-۷). در صورتیکه که این خمیدگی باعث ایجاد تقارن در شیب لایه ها در دو سمت محل خمش شوند، تاقدیس (Anticline) و ناودیس (Syncline) را بوجود می آورند (شکل ۳-۷ و ۳-۸). در حالت نامتقارن چین های مونکلین (Monocline) و خوابیده یا واژگون (Overturned) را بوجود می آورد (شکل ۳-۸). محس، محور چین نامیده می شود. زاویه محور چین با خط افق بنام پلانژ (Plunge) است.

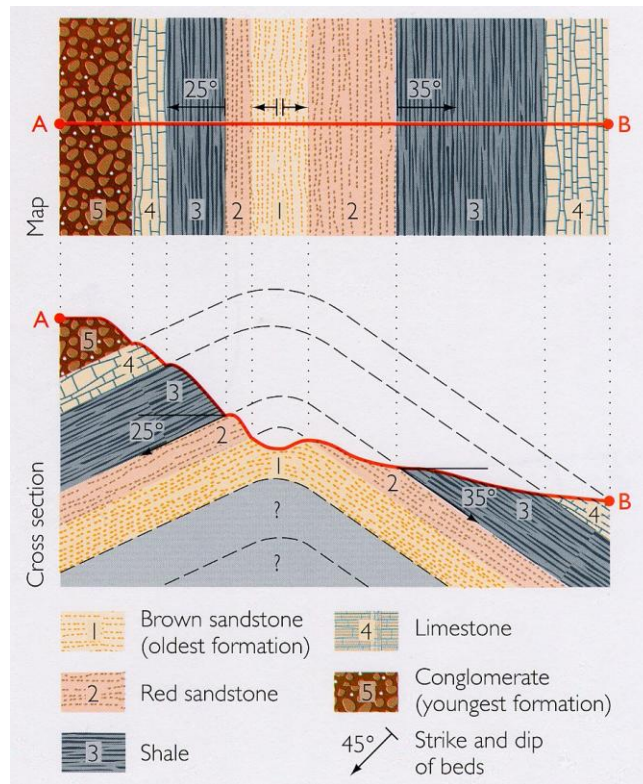


شکل ۳-۷. مدل چین خوردگی لایه ها



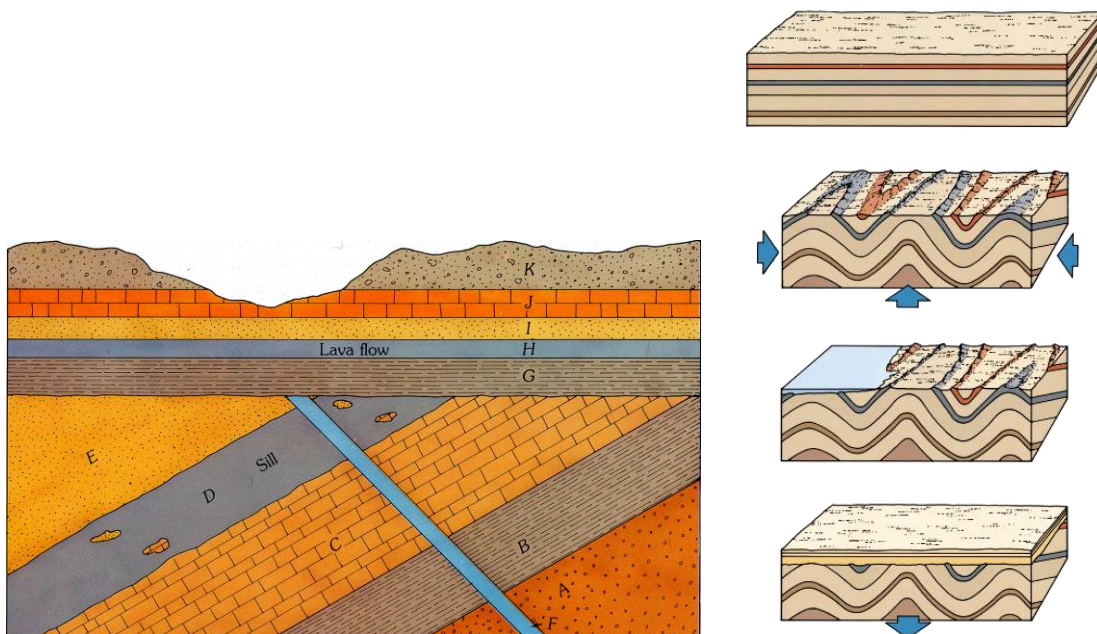
شکل ۳-۸. انواع چین خوردگی

در نقشه های زمین شناسی مناطق چین خورده با تکرار یک لایه، نبود لایه و یا اتصال و خمیدگی لایه دو سمت محور چین دیده می شود (شکل ۳-۹) همانطور که در شکل دیده می شود، ضخامت لایه ۱ دو برابر شده است. لایه های ۲ تا ۵ در دو سمت محور چین تکرار شدند.



شکل ۳-۹. نمایش مناطق چین خورده در نقشه های زمین شناسی

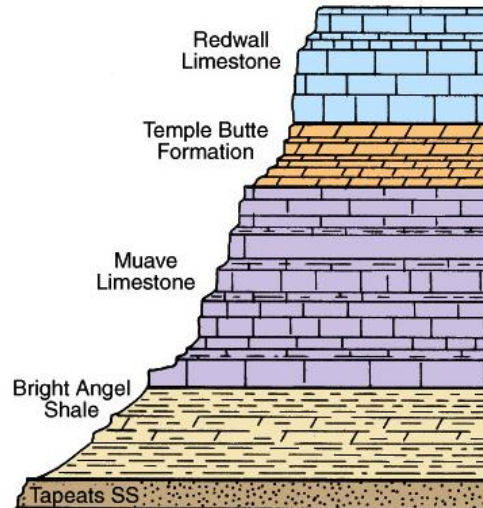
وجود چین در سطح زمین مستلزم ایجاد فرسایش و نمایان شدن (رخمون) لایه های چین خورده است و گرنه در سطح زمین نمی توان چین خوردگی را مشاهده کرد. تغییر در فرآیند رسوبگذاری باعث ایجاد یک ناپوستگی می شود که دگر شیبی نام دارد. دگر شیبی بدو صورت زاویه دار (شکل ۳-۱۰) و ساده تقسیم می شود.



شکل ۳-۱۰. دگر شیبی زاویه دار، مراحل ایجاد دگر شیبی (راست) و مقطع یک دگر شیبی و چین خوردگی لایه ها (چپ)

۳-۶ لایه بندی

رسوبات بعلت تغییر در جنس و زمان تشکیل بصورت لایه لایه دیده می شوند (شکل ۳-۱۱). فرآیند لایه بندی مختص سنگهای رسوبی است ولی در سنگهای دگرگونی ضعیف هم ممکن است لایه بندی دیده شود. در زمان تشکیل لایه ها بصورت افقی ایجاد می شوند اما بعداً در اثر فرآیندهای دیگر دچار تغییر در شیب سطح لایه بندی می شوند. لایه بندی بصورت نازک لایه و ضخیم لایه دیده می شود. ضخامت لایه ها از حدود ۱ سانتی متر تا چند ده متر می رسد.



شکل ۳-۱۱. نمایش لایه بندی در سنگهای رسوبی

۳-۷ هوازدگی

هوازدگی یکی دیگر از فرآیندهای تغییر دهنده سطح زمین است و با توجه به نوع تغییراتی که در سنگ صورت می گیرد به انواع مکانیکی و شیمیایی تقسیم می شوند. در هوازدگی مکانیکی هیچ تغییری در ترکیب شیمیایی سنگ صورت نمی گیرد بلکه سنگ ها تحت تاثیر یک سری از عوامل فیزیکی به قطعات کوچکتر تقسیم می شوند. عوامل موثر بر هوازدگی مکانیکی عبارتند از: یخبندان، انبساط حاصل از برداشته شدن بار فوقانی، انبساط حرارتی و فعالیت موجودات زنده.

فرسایش نوعی هوازدگی مکانیکی است که در اثر جریان آب و یا باد در سنگها و بخصوص خاکها بوجود می آید. در پدیده فرسایش دو عمل انجام می شود: یکی جدا شدن ذرات و دیگری حمل و تغییر مکان آنها. عواملی مانند انجماد و ذوب متناوب، جریان آب و ضربات قطرات باران اثر جدا کنندگی داشته و مواد را جهت شسته شدن آماده می کنند. از بین خواص فیزیکی خاک موثر در میزان فرسایش مهمترین آنها قابلیت نفوذ خاک و ثبات ساختمانی خاک است. قابلیت نفوذ خاک به عواملی مانند ثبات ساختمانی، بافت، نوع رس، عمق خاک و وجود لایه های غیر قابل نفوذ بستگی دارد. ثبات ساختمانی ذرات خاک سبب می شود که علی رغم هرزروی سطحی آب فرسایش زیادی صورت نگیرد. فرسایش به سه نوع فرسایش آبی، بادی و تشدید تقسیم می شود. فرسایش آبی مهمترین آنهاست و به انواع بارانی، شیاری، خندقی و تونلی تقسیم می شود (شکل ۳-۱۲).

در هوازدگی شیمیایی ساختمان داخلی کانیها بر اثر افزایش یا کاهش عناصر تغییر می کند. در واقع در این نوع هوازدگی ترکیب شیمیایی سنگها تغییر می کند. در هوازدگی شیمیایی آب مهمترین عامل به شمار می رود. ولی لازم به ذکر است که آب خالص غیر فعال بوده و نمی تواند هیچ تغییری در سنگها ایجاد کند. افزایش مقدار کمی از مواد محلول می تواند آب را فعال سازد. اکسیژن و دی اکسید کربن محلول در آب باعث ایجاد تغییرات اساسی در سنگها می شوند. عوامل آب و هوایی، بویژه رطوبت اهمیت ویژه ای در سرعت هوازدگی سنگها دارد. بهترین محیط برای هوازدگی شیمیایی آب و هوای گرم و فراوانی رطوبت است. در نواحی قطبی و در عرضهای جغرافیایی بالا چون برودت هوا، رطوبت مورد نیاز برای هوازدگی را به صورت یخ در می آورد لذا هوازدگی شیمیایی در این نواحی بی تاثیر است. در نواحی خشک نیز به علت وجود رطوبت کافی هوازدگی شیمیایی نقش ندارد.



فرسایش شیاری



فرسایش بارانی



فرسایش تونلی



فرسایش خندقی

شکل ۳-۱۲. انواع فرسایش در نهشته های لسی استان گلستان (رضایی، ۱۳۹۲)

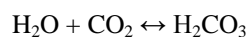
انواع هوازدگی شیمیایی عبارت اند از:

انحلال در آب

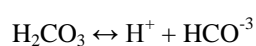
اغلب کانیها به نسبتهای متفاوتی در آب حل می شوند. کلروها، سولفاتها، نیتراتها و کربناتها وقتی در مجاورت آب فراوان قرار بگیرند به تدریج حل می شوند. در این صورت آب را حلال و مجموعه حل شونده را محلول و عمل مزبور را انحلال می نامند. کلرور سدیم (هالیت یا نمک طعام) و سولفات کلسیم (ژپس) به راحتی در آب حل می شوند و آبهای زیرزمینی و جریانهای نفوذی سبب ایجاد حفرات متعددی در سطح و یا در عمق این رسوبات می گردند.

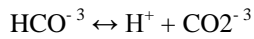
انحلال در اسیدها

مقدار زیادی از آبهای طبیعی در واقع اسید ضعیف هستند و اسیدهای دیگر نیز از مواد ارگانیکی حاصل می شوند. هر اسیدی صرفنظر از قوی و یا ضعیف بودن آن دارای عامل هیدروژن است که با انواع کانیها واکنش شیمیایی دارند. اسید کربنیک یکی از عمده ترین اسیدهای محیط طبیعی سنگها را تشکیل می دهد، زیرا گاز کربنیک موجود در هوا، در آب و بخصوص در آب باران حل شده و اسید کربنیک را می سازد.

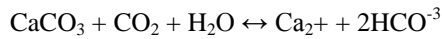


لازم به ذکر است که این اسید هیچ وقت در طبیعت بطور آزاد یافت نمی شود و جزو اسیدهای ضعیف بوده و در آب یونیزه می شود.





هیدروژن حاصل سهولت با اکثر کانیهای که بنیان CO₂-3 دارند مانند کلسیت و دولومیت ترکیب می شود و باعث تجزیه شدن آن سنگ می شود.

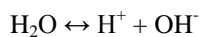


اکسیداسیون

اکسیداسیون عبارت از کاهش الکترون در یک فعل و انفعال شیمیایی است لذا اکسیداسیون نباید الزاماً در ترکیب با اکسیژن تعریف شود، اما به خاطر فراوانی اکسیژن آزاد هوا و همچنین نقش موثر آن در تجزیه سنگها عموماً اکسیداسیون را ترکیب با اکسیژن تعریف می کنند. حضور آب در محیط، عمل اکسیداسیون را تسریع می کند. تاثیر آب در اکسیداسیون وقتی معلوم می شود که سرعت اکسید شدن آهن را در آب و هوای خشک با اکسید شدن آن در آب و هوای مرطوب مقایسه شوند. سرعت اکسید شدن در آب و هوای مرطوب بیشتر می باشد. آهن در طبیعت به مقدار فراوان در کانیهای نظیر الیوین، پیروکسن و ... وجود دارد که در آنها آهن با اکسیژن ترکیب شده و باعث تجزیه شدن کانی می شود.

هیدرولیز

در هیدرولیز یونهای هیدروژن H⁺ و هیدروکسید (OH⁻) با عناصر تشکیل دهنده کانیها ترکیب می گردند مولکولهای آب به مقدار مخصوص همیشه به عوامل H⁺ و OH⁻ تجزیه می شوند.



این یونها می توانند با اکثر سیلیکاتها ترکیب و آنها را به سیلیس و کانیهای رسی و یون فلزی تجزیه نمایند که یونهای فلزی و سیلیس به صورت محلول خارج می شوند. تجزیه فلدسپاتها را می توان به عنوان یک نمونه از این نوع هوازدگی را ذکر کرد.

آبگیری (هیدراتاسیون)

آبگیری نوع دیگری از هوازدگی شیمیایی می باشد که در آن مولکول های آب وارد ترکیب و ساختمان کانی می شود. این عمل معمولاً با افزایش حجم همراه بوده و در نهایت منجر به تشکیل یک کانی جدید می شود. برای نمونه ژپس از آبگیری کانی انهدریت حاصل می شود.

فصل چهارم

منابع آب زیرزمینی

۴-۱ مقدمه

کرجی دانشمند ایرانی، اولین فردی است که آب زیرزمینی را به صورت علمی تعریف و آن را **آب پنهان** نامید. کرجی در قرن چهارم و پنجم هجری قمری در کتابی با عنوان «استخراج آبهای پنهان» درباره منشاء و راههای استخراج آب زیرزمینی نوشته است. ابوریحان بیرونی در اثر خود با عنوان «آثارالباقیه» و ابوحاتم مظفراسفرازی در رساله آثار علوی درباره آب زیرزمینی و منشاء آن و ارتباط بین آبهای سطحی و زیرزمینی نگاشته اند. بزرگترین ابتکار تاریخی بشر در دستیابی به منابع آب زیر زمینی، ساخت قنات (کاریز) می باشد که متعلق به ایرانیان است و قدمت ۳۰۰۰ ساله دارد.

هنری دارسی^۱ اولین کسی بود که بین سالهای ۱۸۰۳ تا ۱۸۵۸ قانون حاکم بر جریان آب در محیط های متخلخل را بیان کرده و گام بزرگی را در مطالعه آبهای زیرزمینی برداشته است. قرن ۱۹ را می توان دوره طلایی هیدرولوژی دانست در این زمان زمین شناسی نیز به عنوان یک علم تکمیل کننده در آب های زیرزمینی وارد گردید. قانون دارسی و فرمول های دو پوئی- تیم^۲ نمونه ای از پیشرفت های آب های زیرزمینی همراه با هیدرولوژی می باشد. در زمینه هیدرولوژی آب های سطحی نیز بخصوص به هیدرومتری توجه فراوانی مبذول گردید. فرمول های فرانسیس در مورد سرریزها، گانگه^۳، کوه^۴ و مانینگ^۵ درباره جریان آب در کانال های روباز از جمله این مواردند. نظریه تیس^۶ در حل مسائل مربوط به هیدرولوژی چاه ها و روش پیشنهادی گامبل^۷ در سال ۱۹۴۱ برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها و روشهای انیشتین^۸ را در مطالعات رسوب رودخانه ها نام برد. و از سال ۱۶۵۰ به بعد روش های نظری در هیدرولوژی بسیار معمولی گردید بطوری که اکثر فرمول ها و روش های تجربی در قالب ریاضی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در اواخر قرن ۱۹ و بخصوص در ۳۰ سال اول قرن ۲۰ صدها فرمول تجربی پیشنهاد گردید و لازم بود تا ضرایب و پارامترهای آنها بر اساس قضاوت و تجربه بدست می آمد و برای حل این مشکل در بسیاری از کشورها، موسسات و مراکز تحقیقاتی در زمینه هیدرولوژی تاسیس گردید. در این دوره دانشمندان زیادی ظهور کردند؛ از جمله می توان در سال ۱۹۳۲ شرمن^۹ نظریه روش هیدروگراف واحد برای تخمین رواناب پیشنهاد کرد.

سهم آب زیرزمینی از کل منابع آب موجود در جهان حدود ۰/۶ درصد است و حجم آن حدود $۴/۲ \times ۱۰^۶$ کیلومتر مکعب می باشد و این مقدار خیلی بیشتر از $۰/۱۲۶ \times ۱۰^۶$ کیلومتر مکعب آب شیرین متعلق به دریاچه ها و رودهاست.

هیدروژئولوژی^{۱۰} یا زمین شناسی آب به مطالعه منابع آب زیرزمینی و ارتباط متقابل آن با زمین می پردازد؛ به همین دلیل به هیدروژئولوژی، آب زیرزمینی هم گفته می شود. در حوزه مهندسی نیز هیدروژئولوژی بعنوان یکی از گرایش های زمین شناسی مهندسی به عملکرد منفی آب و مقابله با آن می پردازد.

¹ Henri Darcy

² Dupuit-Thiem

³ Gangmillet

⁴ kmutter

⁵ Manning

⁶ Thies

⁷ Gamble

⁸ Einstein

⁹ Sherman

¹⁰ Hydrogeology

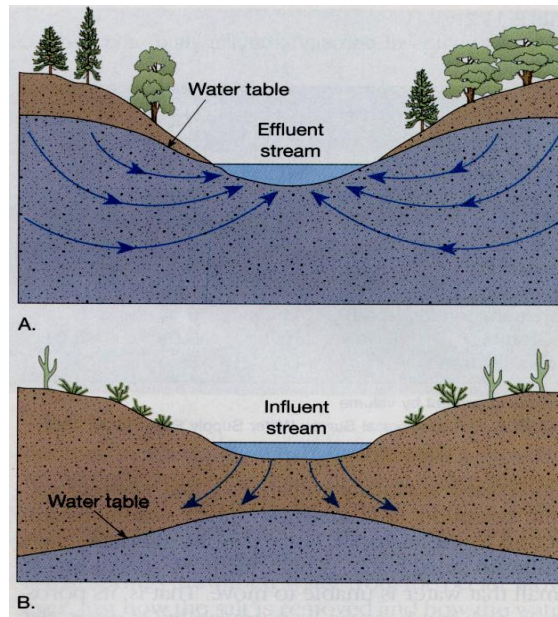
در یک تعریف جامع، آب زیرزمینی جزئی از آب موجود در زیر سطح زمین است که توسط چاه ها، قنات ها یا گالری های زهکشی قابل استحصال است و یا بطور طبیعی از طریق منافذ تراوشی یا چشمه ها در سطح زمین جریان پیدا کند. بنابراین آب زیرزمینی تحت تاثیر نیروی ثقل و یا فشار جهت دار قرار گرفته و جریان می یابد و فشار آن بیشتر از فشار اتمسفر است. رشته های مرتبط با آب و جایگاه هیدروژئولوژی به شرح زیر بیان می شود.

- ✓ هیدرولوژی (hydrology) یا آب شناسی علم مطالعه آب است. هیدرولوژی یا آب شناسی از دو کلمه Hydro به معنی آب و Logos به معنی شناسایی گرفته شده است.
- ✓ هیدرومتئولوژی (Hydrometeorology) یا آب هواشناسی کاربرد هواشناسی در مسائل هیدرولوژی است.
- ✓ ژئوهیدرولوژی (Geohydrology) یا آب شناسی زیرزمینی دانشی از آب شناسی است که از پیدایش و حرکت آبهای زیرزمینی و ذخیره و تخلیه آن بحث می کند.
- ✓ هیدروژئولوژی (Hydrogeology) یا زمین شناسی آب بخشی از علم زمین شناسی است که به تغییرات زمین ناشی از تاثیر آب می پردازد.
- ✓ آب زیرزمینی (Ground water) شاخه ای از علم آب شناسی است که به مسائل ژئوهیدرولوژی و هیدروژئولوژی می پردازد.

شاخه های دیگری از علم آب شناسی مثل یخ شناسی (Cryology)، لیمنولوژی (Limnology)، رودخانه شناسی (Potamology)، هیدروگرافی (Hydrography)، هیدرومتری (Hydrometry) و اقیانوس سنجی (Oceanography) وجود دارند. هیدرولوژی علمی است که با آبهای زمین سر و کار دارد و شامل نحوه تشکیل شان، چرخه و توزیع آن در سیاره، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی شان و اندرکنش با محیط بیولوژیکی و فیزیکی به انضمام واکنش آنها به فعالیت انسانی (یونسکو، ۱۹۶۴).

۲-۴ رواناب و آب زیرزمینی

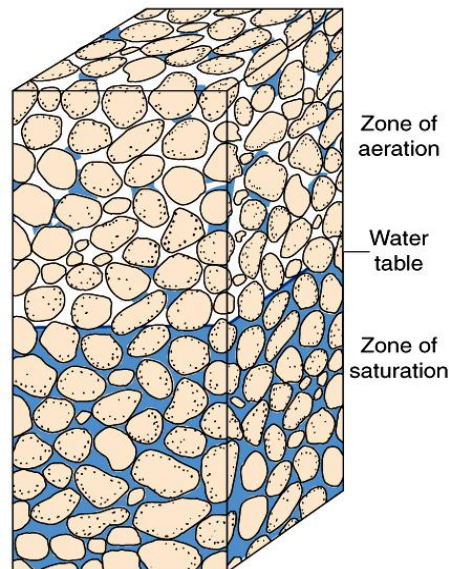
جریان آب زیرزمینی در ارتباط با رواناب از طریق زهکشی و تغذیه رودخانه ها، چشمه ها، قنات ها، دریاچه ها و اقیانوس ها است. رودخانه ها به دو صورت در ارتباط با آب زیرزمینی قرار می گیرند. در صورت بالا بودن سطح ایستابی از سطح آب رودخانه، آب زیرزمینی به سمت رودخانه جریان می یابد و بدین طریق رودخانه سفره را زهکشی می کند و به این حالت رودخانه ی تغذیه شونده (Effluent stream) یا بهره مند (Gaining) نام دارد. در صورتیکه سطح آب زیرزمینی پایین تر از سطح آب رودخانه باشد، آب رودخانه به سمت سفره جریان می یابد و نقش رودخانه تغذیه کننده (Influent stream) یا بهره ده (Losing) خواهد بود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱. رودخانه بهره مند و بهره ده (ارتباط رواناب با آب زیر زمینی)

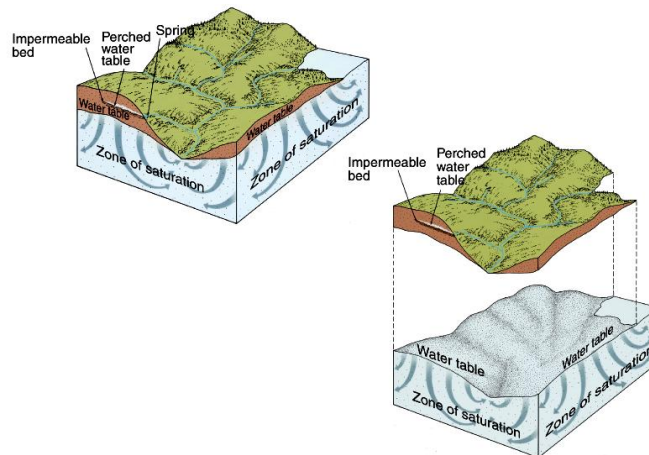
۳-۴ مناطق آبی در چرخه آب

در زیر سطح زمین فضای متخلخل و سطوح شکستگی و ناپیوستگی با درجات مختلفی از رطوبت و آب اشباع می باشند. بطور کلی زمین به دو منطقه اشباع نشده (*unsaturated*) و اشباع شده (*saturated*) تفکیک می شود. مرز بین این دو منطقه سطح آب زیرزمینی (*Groundwater table*) است. به عبارت دیگر مرزی است که تمام فضای متخلخل در زیر آن توسط آب پر شده است (شکل ۴-۲). آبی که در منطقه اشباع ذخیره می شود آب زیرزمینی نامیده می شود. به منطقه اشباع نشده منطقه ی تهویه (*zone of aeration*) یا منطقه ی ودوز (*vadose*) نیز گفته می شود. منطقه ی تهویه (هواپین) شامل آب و هوا است.



شکل ۴-۲. مناطق آبی در زیر زمین

سطح آب زیرزمینی یک سطح صاف واقعی نیست و به صورت ملایم تر مشابه توپوگرافی همان منطقه است (شکل ۲-۹).



شکل ۴-۳. سطح آب زیر زمینی

۴-۴ آب زیر زمینی و مسائل ژئوتکنیکی

در مطالعات و بررسی های ژئوتکنیکی نیاز به شناخت محیط منابع آب زیر زمینی است و آب در فرآیندهای زیر نقش اساسی دارد.

۱. زمین لغزشها: آب باعث کاهش مقاومت برشی و افزایش تنش برشی می شود
۲. نشست آب در سازه های آبی
۳. نشست زمین در اثر پمپاژ آب زیر زمین
۴. رگابی (piping) تحت گرادیان هیدرولیکی بالا
۵. آبگونی (Liquefaction)
۶. واگرایی (Dispersive) یا آبشویی سطحی

۴-۵ انواع آبخوان

بخشی از زیر زمین حاوی آب که اجازه حرکت مقادیر قابل توجهی از آب را در شرایط معمولی صحرایی بدهد آبخوان (Aquifer) نام دارد. در مترادف فارسی از آکیفر به آبخوان، آبخانه، لایه آبدار و یا سفره ترجمه شده است و به نظر می آید که آبخوان یعنی سفره آب مناسب تر است و از این پس از کلمه آبخوان استفاده می گردد.

از دیدگاه اکتشاف؛ آبخوان بخشی از زیر زمین است که بتوان مقادیر کافی آب از نظر اقتصادی از آن برداشت نمود. دره های رسوبی، دشت های ساحلی، تپه های شن، رسوبات یخچالی، زمین های آبرفتی دانه ای، سنگ های متخلخل و سنگ های شکافدار از جمله آبخوان های مهم بشمار می آیند.

مواد زمین از لحاظ شرایط تولید، نگهداری، آبدهی و انتقال آب در زیر زمین به انواع زیر تقسیم می شوند:

۱ - آبخوان (Aquifer): قسمتی از زیر سطح زمین با نفوذپذیری و قابلیت انتقال مناسب و حاوی آب قابل استخراج است. رسوبات دانه ای، آبرفتها، ماسه بادی، سنگ های خرد شده و هوازده، مخروط افکنه ها از جمله آبخوان های مهم بشمار می روند.

۲ - دیرآیند (Aquitard): قسمتی از یک لایه یا سازند دارای آب با نفوذپذیری بسیار کم که انتقال آب از یک آبخوان به آبخوان دیگر را فراهم می کند و به همین دلیل سازند نشستی یا دیرآیند و یا لایه ی کم تراو نیز می نامند. لایه های رسی و سیلتی با نفوذپذیری کم که بصورت بین لایه وجود دارند از این جمله اند.

۳ - **ریز سازند (Aquiclude)**: قسمتی از یک سازند یا لایه که توانایی جذب آب را داشته و می تواند حاوی مقادیر زیادی آب باشد ولی در شرایط معمولی صحرایی قادر به انتقال آب نیست و اساساً نفوذناپذیر است. آکی کلود معمولاً بصورت لایه هایی در بالا و پائین آکیفر قرار دارد. زمین های سیلتی -رسی متراکم از نمونه های بارز اینگونه سازندها می باشند.

۴ - **بسته سازند (Aquifuge)**: قسمتی از یک لایه یا سازند که کاملاً غیر قابل نفوذ بوده و قابلیت انتقال آب را ندارد. سنگهای گرانیتی، آهکهای کریستالین فاقد شکستگی، زمین های رسی با خاصیت خمیری بالا و ضخامت زیاد از این دسته اند.

جدول ۴-۱. مشخصات مواد زمین از لحاظ شرایط آب زیرزمینی

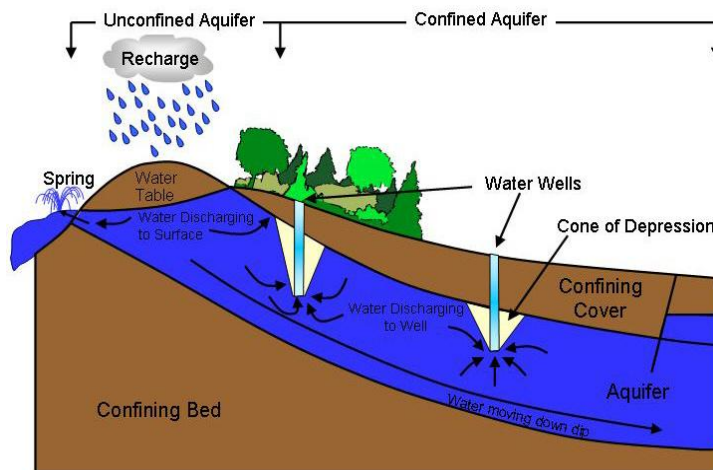
واژه انگلیسی	Aquifer	Aquitard	Aquiclude	Aquifuge
واژه مترادف	آبخوان	دیر آیند	ریز تراوا	بسته سازند
نفوذ پذیری	بالا	بسیار کم	بسیار کم	غیر قابل نفوذ
نگهداری آب	بالا	متوسط	متوسط تا بالا	پایین یا فاقد آب
قابلیت انتقال	خوب	خوب	ضعیف	بد

بطور کلی آبخوان ها از لحاظ فشارآبی در سطح آبخوان به دو دسته آزاد یا نامحدود (unconfined) و تحت فشار یا محدود (confined) تقسیم می شوند. آبخوان آزاد از یک طرف محصور و از طرف دیگر (سمت بالا) نامحصور است و سطح آب با تراز تعادلی آب بوجود می آید و بنام سطح آزاد (سطح فراتیک) خوانده می شود. فشار سطح آزاد با فشار اتمسفر برابر است. آبخوان تحت فشار توسط یک لایه دیر آیند محصور می گردد.

حد بینایی هم در طبیعت ممکن است بوجود آید که آبخوان نیمه محصور (semiconfined) تشکیل می گردد. همچنین یک آبخوان در ناحیه ای محصور و در ناحیه دیگر نامحصور می تواند باشد (شکل ۴-۴).

آبدهی لایه های آبدار تحت فشار عمدتاً نتیجه مکانیسم های زیر است:

۱. تراکم یا فشردگی لایه آبدار و لایه های محصور کننده
۲. نشست از لایه های آبدار دیگر
۳. زهکشی از منافذ لایه آبدار در محل بیرون زدگی خود در سطح زمین

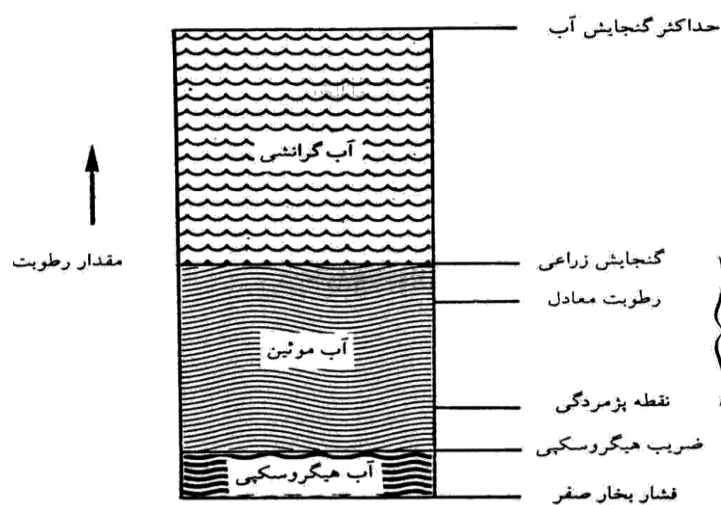


شکل ۴-۴. آبخوان محصور و نامحصور

۴-۶ انواع آب در زیر زمین

عمدتاً آبها در زیر زمین به سه دسته فسیلی، نیمه فسیلی و غیر فسیلی تفکیک می شوند. آب های فسیلی که جزئی آبهای زیرزمینی محسوب نشده و شامل آب محبوس (connate)، ژرفا (junenile) و به دور مانده است که آب محبوس در اثر فرایند دیاژنز بوجود می آید. آب ژرفا یا ژوونیل در اثر تبدیل اکسیژن به هیدروژن و یا سرد شدن ماگما تشکیل می شود. آب نیمه فسیلی همانند آب های موجود در عدسی های ماسه ای که وارد چرخه آب زیرزمینی می گردند و آبهای غیر فسیلی آبهای اندک که جریان داشته و تحت تاثیر نیروی ثقل جابجا می شوند.

آبهای موجود در زون تهویه یا هوا بین شامل آب هیگروسکوپی که قطرات کوچک روی دانه های خاک بوده، آب غشایی بصورت قشر نازک سطح دانه را می پوشاند، آب ثقلی که متأثر از نیروی ثقل قرار می گیرد و به سمت آب زیرزمینی حرکت خواهد داشت و آب موئینگی که تحت تاثیر نیروی کشش موئینه به سمت بالا هدایت می شود، خواهد بود (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵. انواع آب در منطقه تهویه (غیر اشباع)

۴-۷ ویژگی های آبخوان

به منظور ارزیابی وضعیت آبدهی آبخوان لازم است ویژگی های اصلی فیزیکی و هیدرولوژیکی آبخوان تعریف و روش های اندازه گیری آن تشریح گردد. ویژگی های فیزیکی شامل تخلخل، درصد اشباع شدگی، دانه بندی، درصد رطوبت، نگهداشت ویژه (مخصوص) می باشد. ویژگی های هیدروژئولوژیکی آن شامل آبدهی ویژه (مخصوص)، ضریب ذخیره، آبدهی مجاز، نفوذپذیری (K)، بار آبی، دبی یا گذر حجمی جریان، ضریب آبگذری یا قابلیت انتقال، سطح استاتیک، افت سطح آب، سطح دینامیک، مخروط افت خواهند بود.

۱. تخلخل (porosity) - n

تخلخل عبارتست از درصد حجم فضاهای خالی (V_v) به حجم کل (V) مواد زمین (سنگ و خاک)

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

عوامل موثر بر تخلخل در خاک ها و سنگ ها در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲. عوامل موثر بر تخلخل مواد زمین

در سنگ ها	در خاک ها
فراوانی شکستگی ها	درجه جور شدگی
هوازدگی	شکل دانه ها
انحلال	آرایش دانه ها
بافت سنگ	توزیع اندازه دانه ها

تقسیم بندی تخلخل بر مبنای زمان تشکیل

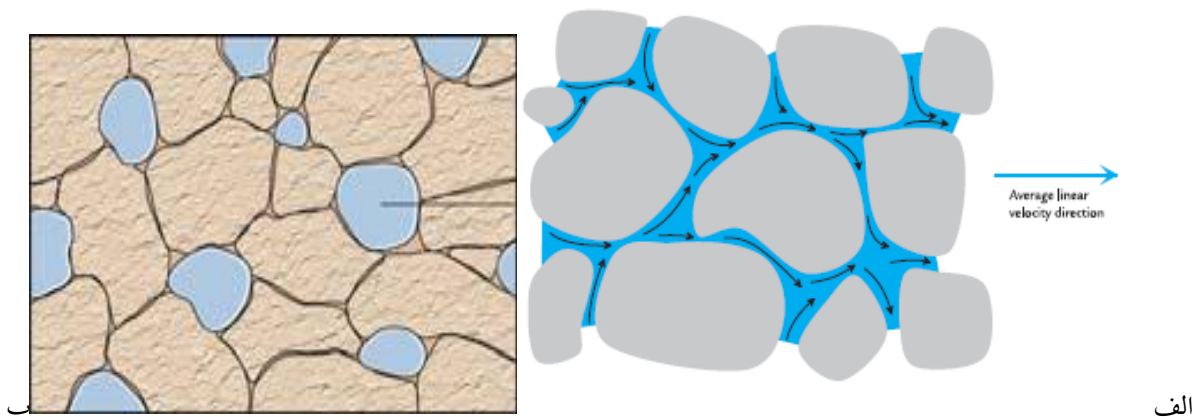
الف-تخلخل اولیه: منافذی است که در زمان تشکیل مواد زمین بوجود می آید.

ب-تخلخل ثانویه: منافذی است که در نتیجه فرایندهای زمین شناسی مختلف پس از نهشته شدن مواد در آنها بوجود می آید.

تقسیم بندی تخلخل بر مبنای جریان آب

الف-تخلخل موثر(مفید) یا آبدهی ویژه: منافذ به هم مرتبط بوده و امکان حرکت آب را در آن فراهم می سازد.

ب-تخلخل غیر موثر(غیر مفید) یا نگهداشت ویژه: منافذ فاقد اتصال بهم بوده و امکان حرکت آب وجود ندارد(شکل ۴-۶).



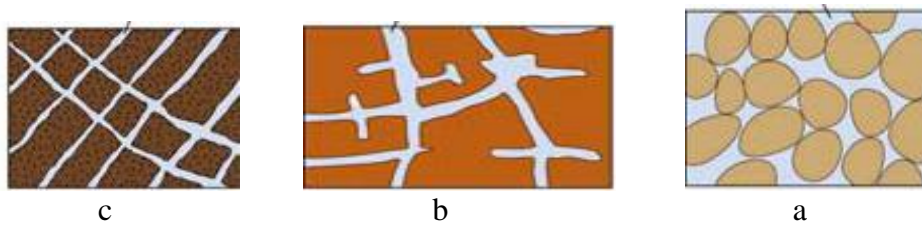
شکل ۴-۶. تخلخل غیر موثر یا غیر مفید یا نگهداشت ویژه (الف) و تخلخل موثر(مفید) یا آبدهی ویژه (ب)

تقسیم بندی تخلخل بر مبنای بافت و ساخت مواد

الف-تخلخل حفره ای: فضای متخلخل در بین دانه های تشکیل دهنده سنگ یا خاک وجود دارد. این تخلخل بستگی به میزان تراکم، سیمان شدگی بین دانه ها و اندازه دانه ها دارد.

ب-تخلخل درزه ای: فضای متخلخل در بین سطوح درزه ها و ترکها بوجود می آید. این نوع تخلخل در سنگهای ترد و شکننده در مناطق تکتونیزه بیشتر یافت می شود. این تخلخل بستگی به میزان بازشدگی، پرشدگی و تراکم درزه ها در واحد سطح دارد.

ج-تخلخل انحلالی: فضای متخلخل مربوط به نواحی حل شده و حفرات درون سنگ است که در اثر انحلال بوجود آمده است. در سنگهای آهکی این نوع تخلخل بیشتر یافت می شود. توسعه انحلال در این نوع سنگها منجر به تولید پدیده کارست می شود(شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷. (a) تخلخل حفره ای و (b) تخلخل انحلالی و (c) تخلخل در امتداد شکستگی ها

در یک نتیجه گیری کلی می توان گفت :

۱. خاک جور شده دارای تخلخل بیشتر است.
 ۲. فابریک بر میزان تخلخل موثر است.
 ۳. توزیع اندازه دانه بر تخلخل موثر است.
 ۴. ضریب یکنواختی با تخلخل نسبت مستقیم دارد.
- در سنگ ها، تخلخل موثر به ویژگی های سطوح شکستگی، شدت هوازدگی و مناطق انحلالی بستگی دارد.

۲. درصد اشباع شدگی (S_r)

مقدار آبی (V_w) که فضاهای خالی (V_v) را پر نموده به درصد اشباع شدگی معروف است. مقدار آن بین ۰ تا ۱۰۰ در تغییر است.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

در زیر سطح استابی یا سطح پیژومتريک درجه اشباع شدگی حدود ۱ است و در منطقه تهویه (هوايي) درصد اشباع شدگی بین صفر تا نزدیک ۹۰ تغییر می کند. درجه اشباع شدگی بر هدایت هیدرولیکی آبخوان موثر است.

ج. دانه بندی

دانه بندی توزیع اندازه دانه های تشکیل دهنده را نشان می دهد و در رسوبات و سنگهایی که دارای تخلخل حفره ای اند، داشتن دانه بندی کمک زیادی در تحلیل آبخوان خواهد نمود و کاربردهای دانه بندی در مطالعات آبهای زیرزمینی به شرح زیر است:

۱. در تهیه ستون زمین شناسی چاه ها (لاگ چاه)
۲. در انتخاب لوله های مشبک مناسب (اندازه شیارهای اسکرین)
۳. در تعیین مواد مناسب برای صافی شنی (*Gravel Packing*)
۴. در برآورد نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی (k) مواد تشکیل دهنده آبخوان $k = cd^2$ که در آن d قطر موثر (D_{10}) و c ضریب ثابت می باشد.
۵. برای محاسبه عدد رینولد جهت تعیین نوع جریان (از d_{50} استفاده می شود).
۶. در بررسی مسائل زمین شناسی مهندسی (مثلاً در تحلیل نشست زمین)

۳. درصد رطوبت (W)

رطوبت از نسبت وزنی میزان آب موجود (W_w) در خاک به وزن خشک (W_s) بدست می آید و بر حسب درصد وزنی بیان

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

می شود.

میزان رطوبت، شاخصی است که در محاسبه پارامترهای فیزیکی مواد کاربرد دارد. رطوبت، درجه اشباع شدگی خاک را تعیین می کند و با افزایش آن نرخ نفوذ (I) کاهش می یابد.

۴. نگهداشت ویژه (مخصوص) (S_r)

حجم آبی است که بصورت هیگروسکپی در مواد نگهداری می شود. نگهداشت مخصوص با اندازه دانه ها رابطه عکس دارد و تغییرات آن بصورت نمایی منفی است (شکل زیر).

$$S_r = \frac{V_r}{V_T}$$

که در آن V_r حجم آبی است که در مقابل نیروی ثقل نگهداری می شود و از آبخوان خارج نمی گردد.

V_T حجم کل نمونه

V_T درصدی از درجه اشباع شدگی منافذ است.

۵. آبدهی ویژه (مخصوص) (Specific yield) (S_y)

مقدار آبی است که می تواند تحت تاثیر نیروی ثقل زهکشی شود و از آبخوان خارج گردد و عبارتست از درصد حجم آبی که می توان از یک نمونه اشباع از آب بر اثر نیروی ثقل خارج شود (S_y) به حجم کل نمونه (V_T).

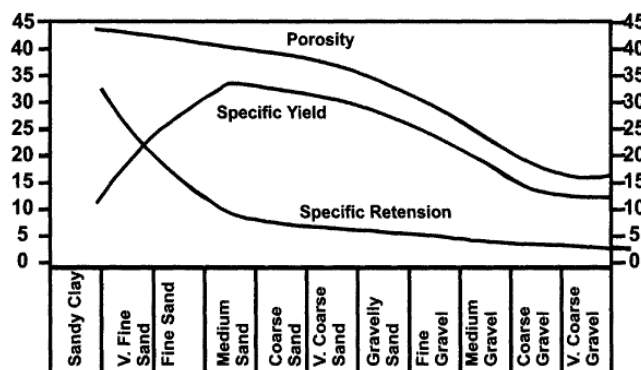
$$S_y = \frac{V_y}{V_t} \times 100 \quad \text{یا} \quad V_y = V_v - V_r$$

تخلخل کل شامل نگهداشت ویژه و آبدهی ویژه است. یعنی:

$$n = S_y + S_r$$

به همین دلیل به آبدهی ویژه تخلخل موثر نیز گفته می شود و در رسوبات عوامل موثر بر آبدهی ویژه در یک لایه رسوبی عبارتست از اندازه دانه ها، شکل و توزیع منافذ و تراکم و میزان سیمان شدگی (جدول ۴-۳).

چنانچه تخلخل و آبدهی ویژه و نگهداشت ویژه مواد دانه ای (رسوبات) را باهم مقایسه شود، با بزرگتر شدن اندازه دانه ها نگهداشت ویژه کاهش می یابد. زیرا سطح جانبی با اندازه دانه ها نسبت عکس دارد. در نتیجه ذرات درشتتر آب کمتری را می توانند به علت کشش سطحی نگهدارند، لذا با درشت تر شدن ذرات آبدهی ویژه بیشتر می شود؛ اما در رسوبات خیلی درشت مثل ماسه های درشت دانه و شن این روند معکوس است و آبدهی ویژه کاهش می یابد و تابع تخلخل خاک می شود (شکل ۴-۸). عوامل مؤثر بر آبدهی ویژه در یک لایه رسوبی شامل اندازه دانه ها، شکل و توزیع منافذ، تراکم لایه ها و طرز قرار گرفتن دانه ها (بافت) است.



شکل ۴-۸ مقایسه تخلخل، آبدهی ویژه و نگهداشت مخصوص مواد

۶. ضریب ذخیره (S)

حجم آبی است که از واحد سطح افقی آبخوان به ازای افت واحد سطح ایستابی یا سطح پیزومتریک می تواند آزاد کند. ضریب ذخیره همان آبدهی ویژه S_y یا تخلخل موثر در آبخوان است. در واقع ضریب ذخیره ظرفیت آبدهی آبخوان است. این ضریب بدون بعد است ولی ضریب ذخیره ویژه از تقسیم ضریب ذخیره به عرض سفره (b) بدست می آید و دیمانسیون آن L^{-1} است.

$$S_y = \frac{V_y}{V_t} \times 100$$

ضریب ذخیره به تخلخل، تراکم و عمق آبخوان موثر است. در سفره تحت فشار ضریب ذخیره بین ۰,۰۱ تا ۰,۰۰۰۵ است.

۷. آبدهی مجاز

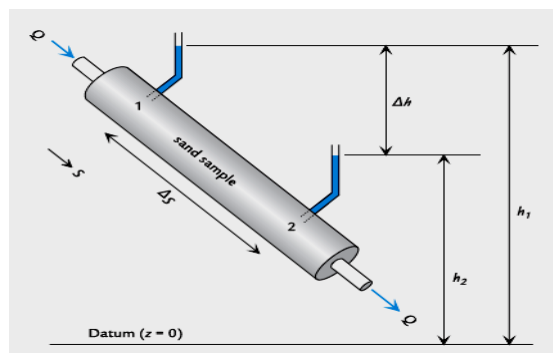
مقدار آبی است که می توان از یک آبخوان سالانه برداشت نمود بدون آنکه نتیجه نامطلوبی بر آبخوان به بار آورد، به آن آبدهی مجاز یا قابل اطمینان گفته می شود. همچنین در برخی از موارد آبدهی مجاز آبدهی قابل برداشت با توجه اقتصادی تعریف می شود. آثار نامطلوبی که ممکن است در اثر آبدهی غیر مجاز بوجود آید شامل موارد زیر است: افت غیر قابل جبران سطح آب زیرزمینی، نفوذ آب شور دریا، فرونشست سطح زمین، ترک خوردن خاک و سازه های روی آن، نفوذ آب از مناطق و آبخوان های مجاور و خالی شدن آبخوان از آب.

۸. نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی (K)

نفوذپذیری توانایی یک محیط متخلخل را برای عبور دادن سیال نشان می دهد. مقدار ضریب نفوذپذیری در رسوبات و سنگ ها به اندازه و تعداد فضاهای خالی و نحوه ارتباط آنها با هم بستگی دارد. اما هدایت هیدرولیکی سرعت حرکت آب در یک محیط متخلخل است از آنجا که در اعماق پایین آب گرم و شور می شود و غلظت آن بالا می رود و یا اینکه با نفت و گاز ترکیب می شود و دیگر گرانی ثابتی ندارد.

۹. بار آبی

طبق معادله برنولی کل بار وارد بر یک نقطه از یک سیال برابر با بار فشار (h/γ_w)، بار سرعت ($V^2/2g$) و بار ارتفاع (Z) می باشد. با توجه به اینکه سرعت آب در محیطهای متخلخل پایین است، نسبت بار سرعت عدد بسیار کوچکی بوده و اگر از آن صرف نظر نماییم؛ مجموع بار فشار (h) و ارتفاع (Z) در یک نقطه معین از یک آبخوان را بار کل یا بار هیدرولیک (H) می گویند ($H=h+Z$). بار فشار در یک نقطه معین از سیستم جریان عبارت است از ارتفاع آب در پیژومتری که تا آن نقطه فرورفته باشد. بار ارتفاع یک نقطه معین، فاصله قائم بین آن نقطه و یک سطح مبنای افقی دلخواه است (نقطه ۱ در شکل ۴-۹). در سفره های تحت فشار (محصور) بار هیدرولیک در هر نقطه از ضخامت آن برابر است ولی در سفره های آزاد متغیر می باشد.



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

شکل ۴-۹ گرایان هیدرولیکی

۱۰. دبی یا گذر حجمی جریان

حجم آبی که در واحد زمان با سرعت معین (V) از یک سطح مقطع (A) عمود بر جریان می گذرد. $Q=V \times A$

۱۱. ضریب آبدگری یا قابلیت انتقال (T)

پارامتری است که قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آبدار نشان می دهد در آزمون پمپاژ برگشتی مقدار آن بدست می

$$T=KD$$

آید.

T: ضریب آبگذری K: ضریب نفوذپذیری D: ضخامت سفره و واحد سنجش (دیمانسیون) T برحسب مربع طول به زمان است (L^2/sec).

ضریب نفوذپذیری K، ضریب آبگذری یا قابلیت انتقال T و ضریب ذخیره یا آبدهی ویژه S مشخص کننده خصوصیات هیدرولیکی لایه های آبدار است. این ضرایب را ضرایب هیدرودینامیک می نامند.

۱۲. سطح استاتیک (سطح ایستایی)

سطح آب اولیه در چاه را، قبل از زهکشی و خارج از حوزه تاثیر چاه های مجاور که در حال آبکشی است سطح استاتیک می گویند.

۱۳. افت سطح آب

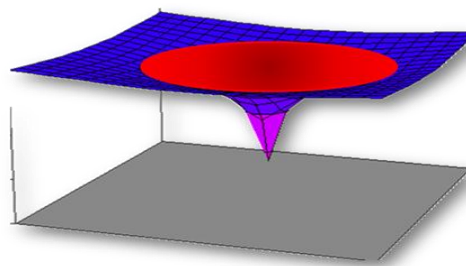
وقتی از یک چاه آبکشی می کنیم، مقدار پایین افتادن سطح ایستایی یا سطح پیزومتریک را در هر نقطه نسبت به حالت اولیه (افت) افت سطح آب میگویند. در چاه های پمپاژ به سطح ایجاد شده در اثر افت، سطح تراوش (Seepage face) گفته می شود. بطور کلی سطح تراوش، مساحت بین سطح ایستایی با سطح آزاد آب می باشد.

۱۴. سطح دینامیک

پس از مدتی از شروع پمپاژ سطح آب درون چاه ثابت می ماند به عبارت دیگر افت با دبی به حالت تعادل می رسد. در این حالت سطح آب داخل چاه را سطح دینامیک می نامند.

۱۵. مخروط افت

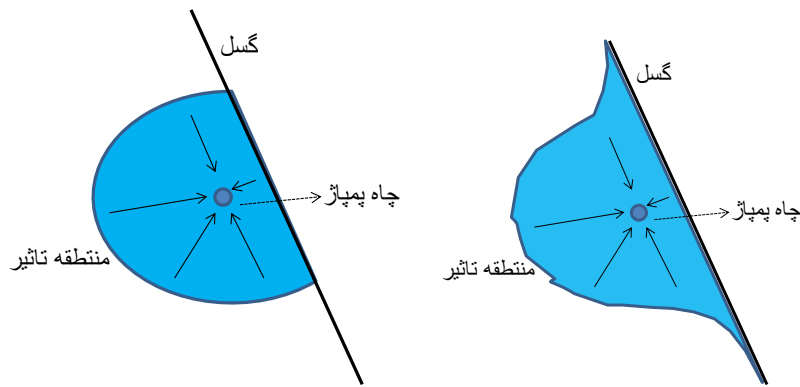
هنگام آبکشی از چاه سطح ایستایی یا پیزومتریک به صورت یک فرورفتگی مخروطی شکل است که راس آن در چاه و قائمه آن در سطح ایستایی یا پیزومتریک اولیه واقع است. این فرورفتگی را اصطلاحاً مخروط افت می گویند (شکل ۴-۱۰). در آبخوان ها همگن و ایزوتروپ مخروط افت متقارن و قاعده آن تقریباً نزدیک به دایره است. ساختارهای زمین شناسی مثل گسل، چین خوردگی، گسترش لایه های نفوذناپذیر بر هندسه مخروط افت تاثیر خواهند گذاشت (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۰ مخروط افت در آبخوان

۱۶. منطقه تاثیر

منطقه ای را که سطح مخروط افت با سطح ایستایی یا پیزومتریک اولیه مماس باشد منطقه تاثیر یا دایره تاثیر و شعاع آن را شعاع تاثیر می گویند. مخروط افت در اطراف یک چاه زمانی شکل متقارن نسبت به محور چاه دارد که لایه آبدار همگن و ایزوتروپ باشد. هر چه ضریب آبگذری کمتر باشد افت در چاه بیشتر و شیب مخروط افت نیز بیشتر خواهد بود. به عکس هر چه ضریب آبگذری بیشتر باشد شعاع تاثیر بیشتر و عمق مخروط کمتر خواهد شد. شعاع تاثیر با قابلیت انتقال آبخوان نسبت مستقیم دارد. در آبخوان های تحت فشار شعاع تاثیر بیشتری ایجاد می شود. بطوریکه در سفره های آزاد بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر ولی در سفره های تحت فشار به بیش از ۳۰۰۰ متر می رسد.



شکل ۴-۱۱ اثر گسل بر منطقه تاثیر آبخوان (گسل موثر- سمت راست و گسل غیر موثر- سمت چپ)

۴-۸ اکتشاف آب زیرزمینی و چاه نگاری

عملیات اکتشاف آب زیرزمینی طی دو مرحله انجام می شود. ابتدا با روش های مستقیم و غیر مستقیم به وجود و یا عدم وجود آبخوان پرداخته می شود و سپس با حفر چاه های پیزومتر (مشاهده ای) و پمپاژ مشخصات فیزیکی و هیدرودینامیکی آبخوان تعیین می گردد. مطالعات جامع و دقیق زمین شناسی و آب شناسی در هر ناحیه عملیات اکتشاف را به موفقیت نزدیک می سازد. استفاده از نقشه های زمین شناسی، روشهای ژئوفیزیکی، حفاری و چاه نگاری و عملیات پمپاژ مراحل اصلی برنامه اکتشاف آب زیرزمینی است. در عملیات اکتشاف به کیفیت آب زیرزمینی هم توجه می شود.

۴-۹ استخراج آب زیرزمینی

آب زیرزمینی به سه طریق چاه، چشمه و قنات استخراج می شود. در استخراج آب از چاه و قنات با صرف هزینه قابل ملاحظه و عملیات اجرایی می توان به آب دست یافت ولی در بهره برداری از چشمه معمولاً نیاز به هزینه زیاد نخواهد بود. قدیمی ترین چاه آب، چاه یوسف (حضرت یوسف (ع) است که در سازند سخت در قاهره مصر و تا عمق ۹۰ متری حفر شده است (پرایس، ۱۹۹۲). در ایران بیش از ۴۵۰۰۰۰ حلقه چاه عمیق وجود دارد که سالانه بیش از ۳۴ میلیارد متر مکعب آب زیرزمینی استخراج می شود. از حدود ۳۰۰۰ سال پیش استخراج آب زیرزمینی به شکل قنات مرسوم بوده است که ایرانیان از پیشگامان حفر قنات هستند و در ایران بیش از ۳۰۰۰۰ رشته قنات قابل استفاده وجود دارد که سالانه حدود ۸ میلیارد متر مکعب آب توسط آنها استخراج می شود.

۱. چاه

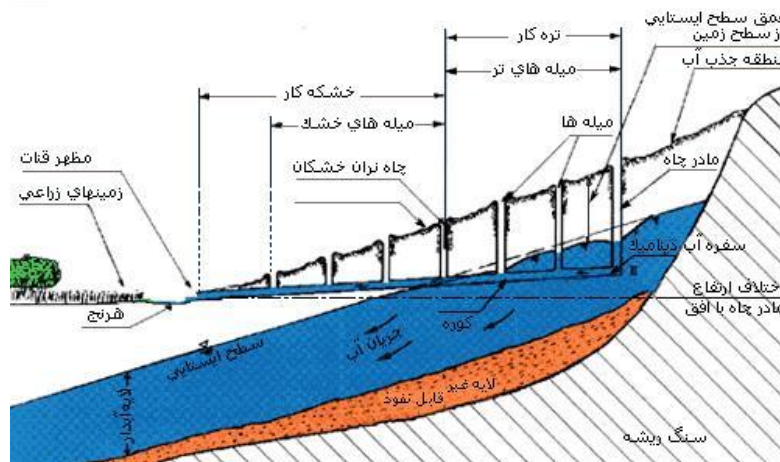
چاه یک سوراخ استوانه ای شکل عمودی است که در زمین کنده می شود و عمیق ترین چاه حفر شده تا کنون ۱۶ کیلومتر عمق دارد. چاه ها بر حسب عمق، روش کنده شدن و کاربرد به انواع مختلف تقسیم می شود (جدول ۴-۳). حفر چاه به تنهایی نمی تواند برای استخراج آب زیرزمینی کافی باشد بلکه وجود موتور پمپ های قوی و مناسب و بالا آوردن آب به سطح زمین از اقدامات اساسی در فرآیند استخراج آب است.

جدول ۴-۳. انواع چاه ها

عمق حفاری	نوع حفاری	کاربری چاه
چاه سطحی	چاه دستی	چاه اکتشافی
چاه نیمه عمیق	چاه ماشینی	چاه پیزو متری
چاه عمیق		چاه گمانه ای
چاه کامل (تا سنگ کف)	چاه آرتزین (تحت فشار)	چاه مشاهده ای
چاه ناکامل	چاه نیمه آرتزین (نیمه تحت فشار)	

۲. قنات (کاریز)

کاریز یک زهکش زیرزمینی است که شامل مجموعه ای از چندمین میله و یک کوره با شیب کمتر از شیب سطح زمین است و آب موجود در آبخوان را به مناطق پائین تر به سطح زمین منتقل می کند (شکل ۴-۱۲). نقطه خروج آب قنات (دهانه قنات) نامیده می شود. قسمت انتهایی قنات پیشکار نام دارد که توسط مادر چاه به بیرون راه دارد. طول مسیر زهکش قنات به دو قسمت خشکه کار و تره کار تقسیم می شود. قسمت تره کار محیط اشباع از آب بوده و در درون آبخوان قرار دارد.



شکل ۴-۱۲. مقطع طولی قنات

طولانی ترین کاریز جهان و عمیق ترین ماده چاه مربوط به کاریز قصبه از شهرستان گناباد می باشد که طول کوره آن ۷۰ کیلومتر و عمق مادر چاه آن ۳۵۰ متر است. تاریخ کندن این قنات به دوره هخامنشی و یا قبل آن می رسد. ابزار و وسایل جهت حفر قنات شامل چرخ چاه، طناب، دلو، کلنگ و بیلچه، چراغ می باشد که از جمله ابزارهای ساده در حفاری محسوب می شود. قنات همانند یک چاه پمپاژ باعث افت سطح ایستایی آبخوان می گردد و این اختلاف ارتفاع در سطح آب آبخوان و کوره قنات باعث حرکت آب به سمت قنات می شود. شیب هیدرولیکی در اطراف قنات معمولاً کمتر از یک چاه پمپاژ است. عوامل تخریب قنات و کاهنده دبی آن عمدتاً عبارتند از:

۱- افت سطح ایستایی بعلت بهره برداری بی رویه چاه های عمیق اطراف قنات

۲- ریزش بدنه قنات در کوره و میله ها و مادر چاه

۳- گرفتگی یا پرشدگی قنات توسط سیلاب

۴- گرفتگی مجرای قنات در اثر رسوبات معلق در آب

۵- زیان های ناشی از زلزله و جابجایی گسل ها

۳. چشمه (Spring)

یک چشمه نقطه ای در سطح زمین است که آب زیرزمینی بطور طبیعی از آن تخلیه می شود. در یک چشمه سطح آب زیرزمینی با سطح زمین تلاقی پیدا می کند (شکل ۴-۱۳). چشمه ها معمولاً در پای دامنه ها بوجود می آیند. ارزان ترین روش استحصال آب زیرزمینی استفاده از چشمه است. هر چشمه دارای یک حوضه آبریز سطحی و یک حوضه آبریز زیرزمینی است. حوضه آبریز سطحی مساحتی از زمین است که آب چشمه بطور ثقلی قادر به حرکت در آن می باشد. حوضه آبریز زیرزمینی محدوده ای است که آب زیرزمینی از آن محدوده به سمت محل ظهور آب یا دهانه چشمه حرکت می کند.

فصل پنجم

زمین شناسی ابنیه

۵-۱ مقدمه

مهندس زمین شناسی ضمن شناخت نوع طرح، برنامه مطالعاتی و بررسی و تحلیل‌های ژئوتکنیکی را تهیه و به اجرا می‌گذارد. بعنوان نمونه، در احداث جاده بین دو شهر زمین شناس مهندس ضمن شناسایی سازندها و نهشته های زمین شناسی منطقه، مسائل مخاطره آمیز و شرایط حاد زمین شناسی (گسل خوردگی، زمین لغزش، نشست و ...) را شناسایی نماید و راهکار های اجرایی لازم را ارائه نماید و همچنین مصالح مورد نیاز (منابع قرضه) را با توجه به مسائل فنی و مهندسی معرفی نماید. طرحهای مهندسی را به انواع مهم زیر می توان تقسیم نمود.

۱- سدسازی ۲- راهسازی ۳- پی سازی ۴- بهسازی زمین

۵-۲ طرحهای سدسازی

بنا به تعریف هر شیئی که در معرض یک جریان قرار گیرد، سد نامیده می شود. از دیدگاه هیدرولیکی سدها در مسیر جریان آب ایجاد می شوند.

۱. انواع سدها:

الف - از دیدگاه منشاء:

۱- سدهای طبیعی ۲- سدهای مصنوعی

ب- از دیدگاه ابعاد:

۱- سدهای بزرگ (dam) ۲- سدهای کوچک (barrier)

ج - از دیدگاه کاربری:

۱- سد تک منظوره ۲- سد چند منظوره

د- از دیدگاه مصالح ساختمانی:

۱- سدهای خاکی ۲- سدهای بتنی ۳- سدهای بادکنکی

سدهای طبیعی در اثر عملکرد فرآیندهای طبیعی زمین شناسی چون زمین لغزش، مواد مذاب آتشفشانی و زلزله در مسیر جریان آب بوجود می آیند. مثل دریاچه ولشت در جاده چالوس، امامزاده علی در جاده هراز، دریاچه لاسم، دریاچه تار. سدهای مصنوعی توسط انسان و بوسیله یک سری ماشین آلات و نیروی کار احداث می گردد.

براساس طبقه بندی کمیته ملی سدسازی ایران (IICOLD) مشخصات سدهای بزرگ عبارت انداز:

- ارتفاع سد بیش از ۱۵ متر

- حجم مخزن بیش از یک میلیون مترمکعب

- میزان آبدهی سد بیش از ۱۰ متر مکعب در ثانیه

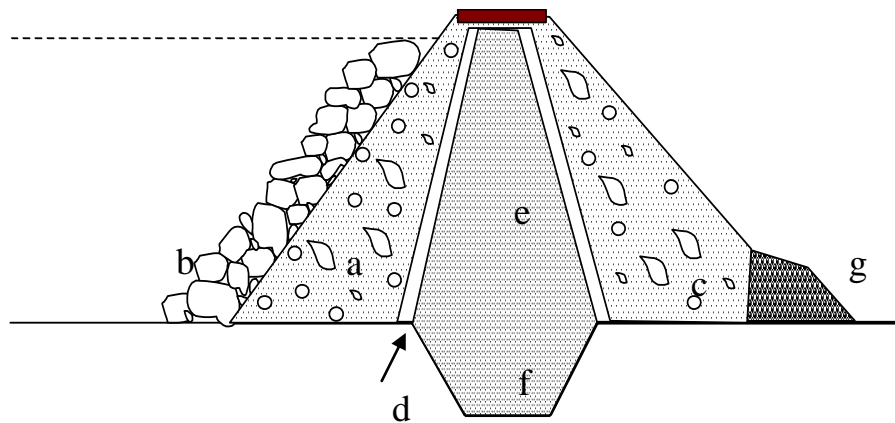
سدهای تک منظوره سدهایی هستند که برای تامین یک هدف خاصی ساخته می شوند. سدهای مخزنی، نیروگاهی، تنظیمی و حفاظتی از این دسته اند. در مقابل سدهای چند منظوره به جهت برآورد چندین هدف خاص ساخته می شود. مثل سد کرج این سد یا ذخیره ۲۴۰ میلیون متر مکعب و تولید ۹۰ مگاوات ساعت برق جهت تامین و تنظیم آب شرب تهران و زمینهای کشاورزی پایین دست و همچنین به منظور مهار سیلابهای فصلی ساخته شده است

در سدهای خاکی قسمت اعظم مصالح مصرفی از نوع مصالح طبیعی زمین بوده که بطور محلی تامین می گردد. مصالح مصرفی شامل خرده سنگ، قلوه سنگ، شن، ماسه، سیلت و رس می باشد. با توجه به نوع مصالح مصرفی سدهای خاکی بدو گروه سدهای خاکریزه ای (*Earth-fill dam*) و سدهای سنگریزه ای (*Rock-fill dam*) تفکیک می شوند. سدهای بتنی با توجه به ساختمان بدنه شان به سه دسته وزنی (*Gravity*) پایه دار (*Buttress*) و قوسی (*Arch*) تقسیم می شوند.

۲. ساختمان سدها

ساختمان سدهای خاکی :

در حالت کلی سدهای خاکی به دو قسمت پوسته و هسته می باشد. پوسته سد عامل پایداری سد را تضمین می کند و هسته عمل نفوذ ناپذیری آنرا. با این حال سدهای خاکی با توجه به شرایط محل و نوع طراحی دارای قسمتهای مختلفی است (شکل ۱-۵) که در ذیل به آنها اشاره خواهد شد.



شکل ۱-۵- اجزای سد خاکی

b-سنگ چین

d-فیلتر

f-کاتاف

a-پوسته بالا دست

c-پوسته پائین دست

e-هسته

g-پنجه سنگی و زهکش

a- پوسته بالادست : در قسمت متصل به مخزن قرار داشته و معمولاً از جنس مصالح درشت دانه تشکیل شده است. وظیفه پوسته ایجاد اسکلت سد می باشد. پوسته بالادست معمولاً نفوذپذیر است. پارامتر نفوذپذیری حائز اهمیت است.

b- سنگ چین (Rip rap): خارجی ترین قسمت بالا دست و یا پایین دست سد است که از قطعات سنگی تشکیل شده است. وظیفه آن نگهداری و محافظت بدنه سد در برابر نیروهای بالابرنده آب و امواج و همچنین جلوگیری در مقابل فرسایش و آبشویی در برابر نوسانات سطح آب مخزن است.

c- پوسته پایین دست: در قسمت پایاب سد قرار داشته و جنس آن معمولاً از مصالح درشت دانه می باشد. پوسته بالا دست عامل استحکام و پایداری سد را تضمین میکند. نفوذ پذیری چندان اهمیت ندارد.

d- فیلتر: در سدهایی که دارای دو قسمت از مصالح درشت و ریزدانه کنار هم هستند از یک لایه با دانه بندی حد واسط بنام فیلتر استفاده می کنند. فیلتر معمولاً دو نقش اساسی ایفا می کند اول اینکه باعث عبور آب از دو محیط خاک بدون ایجاد نیروی زه و دوم اینکه مانع خروج ذرات ریز می شود. لایه های فیلتر در هر جا که اختلاف شدید در اندازه دانه های خاک وجود داشته باشد قرار می گیرد.

e- هسته: قسمت مرکزی سد که نقش آب بندی سد را بر عهده دارد، هسته نام دارد. هسته از جنس مصالح ریز دانه تشکیل شده است.

f- کاتاف (cutoff): در سدهایی که مصالح پی نفوذ پذیر هستند از یک قسمت ریشه که ادامه هسته سد می باشد استفاده میگردد که کاتاف نام دارد.

g- پنجه سنگی و زهکش: در پائین ترین قسمتی از سد که محل خروجی آب نشی است. از لایه زهکش و در روی آن قطعات سنگی استفاده می گردد. وظیفه آن جلوگیری از ایجاد نیروی زه می باشد.

مصالح مصرفی در سدهای خاکی:

الف- مصالح پوسته: این مصالح تا حد امکان باید دارای مقاومت برشی زیادی باشند تا بتوان وجوه بالادست و پایین دست را تندتر انتخاب کرد و بدین ترتیب در مصرف مصالح صرفه جویی نمود. به عبارت دیگر با افزایش اندازه دانه های مصالح مصرفی قاعده سد کوچکتر و شیب پوسته در بالادست و پایین دست بیشتر می شود.

علاوه بر این ترجیحاً مصالح باید دارای نفوذپذیری نسبتاً زیادی باشند تا فشار آب حفره ای به راحتی زایل گردد. طیف وسیعی از مصالح درشت دانه تیز گوش (لاشه سنگ) تا مصالح ریزدانه که اختلاف کمی با مصالح هسته دارند، می توانند برای این منظور انتخاب گردند.

عمدتاً از مصالح SM, GW و قطعات سنگی می توان بعنوان پوسته استفاده نمود.

ب- مصالح هسته:

مصالح هسته باید دارای نفوذپذیری پایین و خاصیت متوسط تا زیاد باشد تا خود را با تغییر شکلهای مختلف بدون ایجاد هرگونه ترک وفق دهد. لازم نیست (حتی عیب است) که مقاومت برشی آن زیاد باشد. مناسبترین مصالح خاکهایی هستند که مقدار رس آنها بیش از ۲۵ درصد باشد. بنابراین از مصالحی مانند CL, MH, GC, SC می توان استفاده نمود.

ج- مصالح فیلتر:

این مصالح باید تمیز و یکنواخت باشد و باید به دو معیار زیر توجه نمود.

- ۱ - اندازه حفرات مصالح فیلتر باید بقدر کافی ریز باشد تا از شسته شدن خاک مورد حفاظت به داخل آن جلوگیری شود.
- ۲ - مصالح فیلتر باید دارای نفوذپذیری بالا باشند تا از به وجود آمدن نیروهای نشست زیاد و فشار هیدرو استاتیک در مصالح فیلتر جلوگیری شود.

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} \leq 5$$

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} \geq 5$$

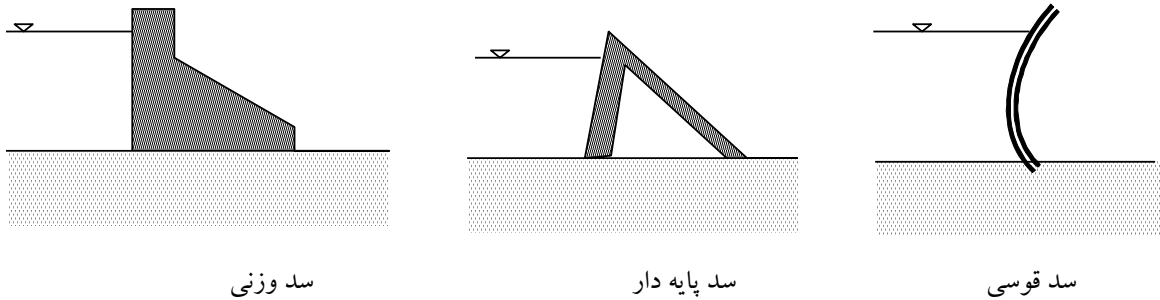
برای اقتناع شرط دوم

برای اقتناع شرط اول

ساختمان سدهای بتنی:

سدهای بتنی به یکی از سه صورت وزنی (ثقلی)، پایه دار (پشت بند دار) و قوسی ساخته می شوند (شکل ۲-۵). یک سد وزنی توده یکپارچه و غیر قابل نفوذ از بتن با مقطع تقریباً مثلثی است. ابعاد سد وزنی به گونه ای انتخاب می شود تا وزن سد بتواند بارهای ناشی از آب مخزن را تحمل نماید. سدهای پایه دار بطور معمول متشکل از ورقه های غیر قائم و نفوذ ناپذیر از بتن است که توسط تعدادی حایل (پشت بند) محافظت می شود. این سدها سبکتر از سدهای وزنی اند و نیاز به مقادیر کمتری مصالح خرده سنگی و سیمان دارند. سد قوسی عبارتست از پوسته ای نفوذ ناپذیر از بتن که در سطح افق تصویری کمانی دارد. این سدها ممکن است هم در جهت افقی و هم در جهت قائم قوس دار باشند (شبه پوسته تخم مرغ). سدهای قوسی نازک اند و به کمترین مقدار مصالح ساختمانی (بتن، ماسه و سیمان) احتیاج دارند.

در برخی موارد شکل دره و شرایط زمین شناسی پی و مصالح در دسترس باعث می شود که سد طراحی شده بصورت ترکیبی از انواع سدهای بتنی یا بخشی از آن بتنی و بخش خاکی باشد، این سدها را سد مرکب گویند.



شکل ۲-۵- مقاطع انواع عمومی سدهای بتنی

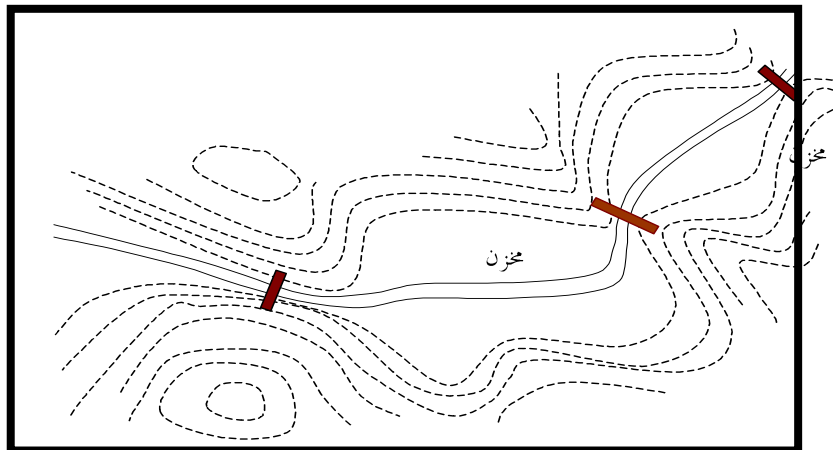
۴. عوامل زمین شناسی موثر در طراحی سدها

برای اینکه یک سد بتواند به تمام هدفهای از پیش تعیین شده خود برسد، لازم است که موفقیت آن تضمین گردد. بنابراین باید از دیدگاه های مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. مطالعات زمین شناسی مهندسی در طرحهای سدسازی بسیار گسترده و متنوع است. بطور کلی عوامل موثر زمین شناسی به دو دسته زیر تقسیم بندی می شوند

۵. عوامل موثر در انتخاب ساختگاه سد

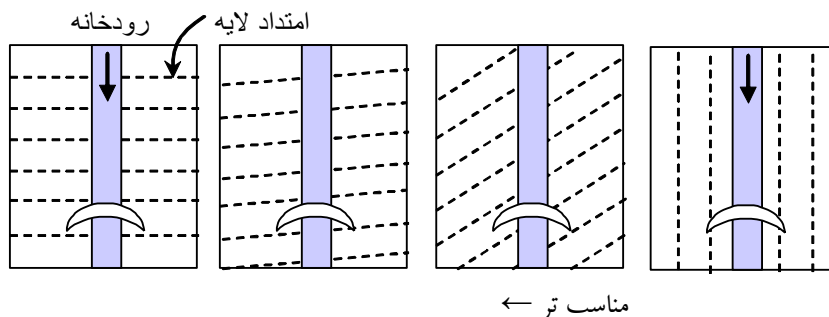
این عوامل شامل شرایط توپوگرافی، ساختارهای زمین شناسی و وضعیت حوضه آبریز می باشند. از دیدگاه شرایط توپوگرافی بهترین موقعیت احداث سد جایی است که یک دره تنگ بوسیله یک دره باز در بالادست دنبال شود. دره تنگ معرف استقامت

زیاد سنگ است که توانسته در مقابل جریان آب رودخانه مقاومت بیشتری را نشان داده و لذا محل مناسبی برای احداث سد می باشد.



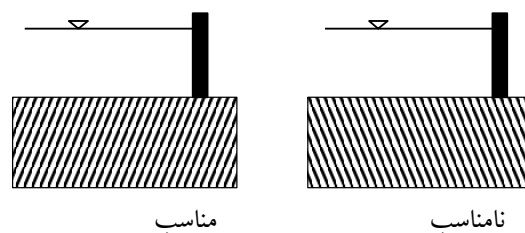
شکل ۳-۵- تاثیر شرایط توپوگرافی در انتخاب محل سد

ساختار زمین شناسی یک محل بوسیله عواملی چون امتداد و شیب لایه ها، ساختمانهای چین خورده، گسلها و درزه ها کنترل می گردد. در محلهایی که لایه بندی مشخص باشد، بهتر است محل احداث جایی باشد که محور سد موازی با امتداد لایه ها باشد. بطور کلی هرچه امتداد لایه ها زاویه کمتری با محور سد بسازند انتخاب این محل برای احداث سد مناسب تر است (شکل ۴-۵) علت اینست که اولاً بدنه سد روی یک لایه قرار دارد و ثانیاً نشست آب به حداقل ممکن می رسد.



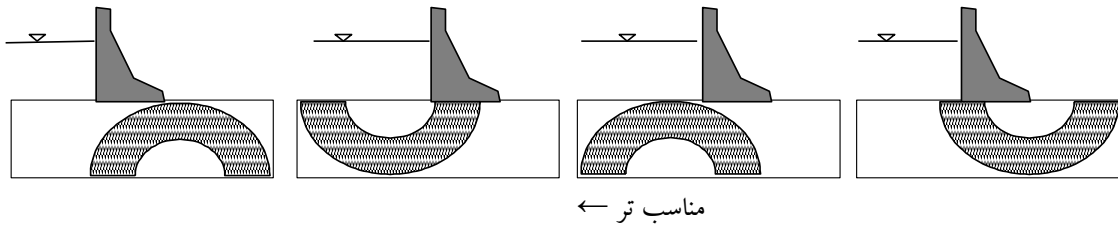
شکل ۴-۵- تاثیر امتداد لایه ها در انتخاب محل سد

همچنین مناسبتر خواهد بود محل سد جایی انتخاب شود که جهت شیب لایه ها (یا سطوح ناپیوستگی) به سمت بالادست باشد (جهت شیب لایه ها عکس جریان آب باشد). (شکل ۵-۵) علت آنست که اولاً جلوی نشست آب از سطوح ناپیوستگی گرفته می شود. ثانیاً حضور آب در بین سطوح ناپیوستگی باعث ایجاد نیروی بالادستی زیاد در پی سد می شود و ثالثاً در اثر نشست بالا عمل انحلال و نهایتاً تخریب ساختمان پی سنگ را منجر می شود.

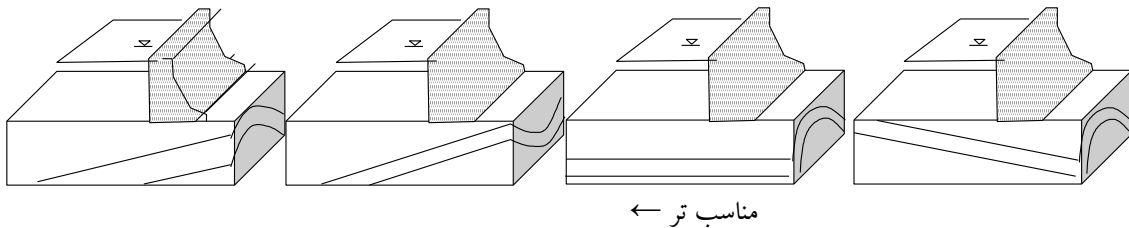


شکل ۵-۵- اثر جهت شیب در انتخاب محل سد

بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با محور چین باشد و ساختار چین خورده از نوع تاقدیس باشد. به عبارت دیگر برای نمونه های مناسب محور تاقدیس در پائین دست سد و محور ناودیس در بالادست سد قرار گیرد (شکل ۵-۶). در صورتیکه محور سد عمود بر محور تاقدیس یا ناودیس باشد لازمست که جهت شیب لایه ها در محل احداث سد در نظر گرفته شود. در این حالت مناسب تر خواهد بود اگر پلانچ (زاویه میل) به سمت بالادست (مخزن سد) باشد (شکل ۵-۷).

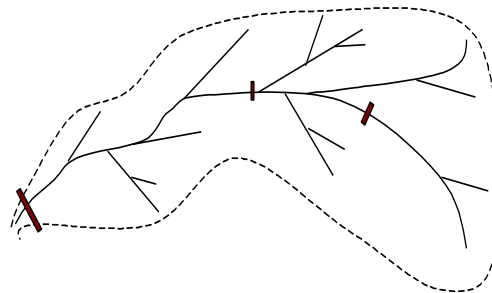


شکل ۵-۶- انتخاب محل سد در راستای محور چین



شکل ۵-۷- انتخاب محل سد عمود بر محور چین

از نظر وضعیت حوضه آبریز باید گفت که محل احداث سد معمولاً در قسمت انتهایی یک حوضه آبریز انتخاب می شوند. در رودخانه های فصلی محل سد در محل خروجی تعیین می شود (شکل ۵-۸) برای رودخانه های دائمی با توجه به دبی رودخانه هر جا که در حوضه مناسب بود، سد احداث می شود.



شکل ۵-۸- محل احداث سد از دیدگاه وضعیت حوضه آبریز در رودخانه فصلی

عوامل موثر در انتخاب نوع سد:

از دیدگاه زمین شناسی مهندسی سه عامل اصلی زیر نوع سد را تعیین می کنند.

۱- شکل دره (Valley forme)

۲- استقامت زمین (Land strength)

۳- مصالح ساختمانی (Constraction materials)

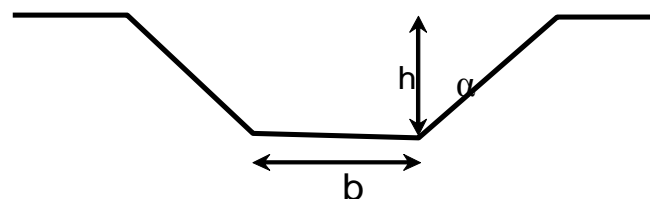
از دیدگاه مهندسی سد، یک دره بوسیله دو مشخصه پهنای دره (B) و عمق دره (H) در محل احداث سد معرفی می شود و با توجه به شاخص های فوق سه نوع دره به شرح جدول ۵-۱ معرفی می شود.

نوع دره		معیار	نوع سد
دره عمیق	Gorge valley	$3 < B/H$	بتنی قوسی
دره تنگ	Narrow valley	$3 < B/H < 6$	بتنی پایه دار- وزنی
دره باز	Wide valley	$B/H < 6$	خاکی و سنگی

در یک تقسیم بندی دیگر می توان مطابق جدول نوع سد را مشخص نمود.

شکل دره		مشخصات	نوع سد
شکل V	باز	$35 < \alpha$	بتنی قوسی مضاعف دیواره نازک
	بسته	$35 > \alpha$	بتنی قوسی مضاعف دیواره ضخیم
شکل U		$b < h, \alpha < 15$	بتنی قوسی ساده
مرکب		$b < 2h, \alpha > 15$	بتنی پایه دار و بتنی وزنی
گسترده		$b > 2h, \alpha > 35$	سد خاکی

جدول ۵-۱- تعیین نوع سد براساس ابعاد دره



شکل ۵-۹- مشخصات محل احداث سد

استقامت زمین معمولاً با در نظر گرفتن خواص مهندسی سنگها و خاکهای محل احداث سد مورد ارزیابی قرار میگیرد. ظرفیت باربری مجاز یکی از مهمترین شاخصهای تعیین استقامت زمین است. فرانکلین (franklin) و دوسوئی (1991-dusseait) با در نظر گرفتن ظرفیت باربری مجاز زمین، نوع سر مناسب برای آن محل را مطابق جدول زیر پیشنهاد کرده اند.

ظرفیت باربری مجاز Mpa	>1	2-1	3-2	5-3	<5
نوع سد پیشنهادی	خاکی	بتنی وزنی	بتنی پایه دار	بتنی قوسی ساده	بتنی قوسی مضاعف

جدول ۵-۲- تعیین نوع سد بر اساس ظرفیت باربری پی

انتخاب نوع سد می تواند تابعی از فراوانی مصالح ساختمانی در منطقه مورد مطالعه باشد. گاهی اوقات دسترسی و یا عدم دسترسی مصالح می تواند به تنهایی نوع سد را تعیین نماید. در سدهای خاکی مصالح مصرفی عمدتاً از نوع طبیعی می باشند و حجم زیادی از آن مورد نیاز است، بنابراین فاصله و حجم مصالح مورد نیاز مهمترین عوامل در انتخاب نوع سد و ارزیابیهای فنی و اقتصادی طرح می باشند

موقعیت جغرافیایی محل احداث سد نیز می تواند تا حدی در تنوع و فراوانی مصالح ساختمانی و در نتیجه نوع سد نقش داشته باشد. در مناطق با آب و هوای مرطوب و پوشش گیاهی فراوان امکان دسترسی به مصالح ساختمانی برای احداث سد خاکی کمتر است و بهتر است که از سدهای بتنی استفاده شود.

در عوض در مناطق خشک با پوشش گیاهی کمتر مصالح خاکی مورد نیاز در احداث سدهای خاکی فراوان و از این لحاظ احداث سد خاکی ارجحیت دارد.

۵. نیروهای وارد بر سد

در طراحی سدها، تعادل میان کيله نیروهای وارده بر سد بررسی می گردد. در حد تعادل آستانه پایداری سد تضمین میگردد، لیکن برای بالا بردن ایمنی از یک ضریب اطمینان استفاده می گردد تا براساس آن همواره نیروهای پایدار کننده سد بیش از نیروهای مخرب سد باشند، مطابق شکل ۱۰-۴ دو دسته نیرو بر سد اثر می گذارند.

الف- نیروهایی که در جهت پایداری سد عمل می کنند.

۱- الف- نیروی ناشی از وزن سد (W)

ابعاد سد (حجم) \times دانسیته متوسط سد $= W$

۲- الف- نیروهای فشار قائم آب (F_2, F_4)

$$F_2 = 0.5 \gamma h^2 \tan\theta$$

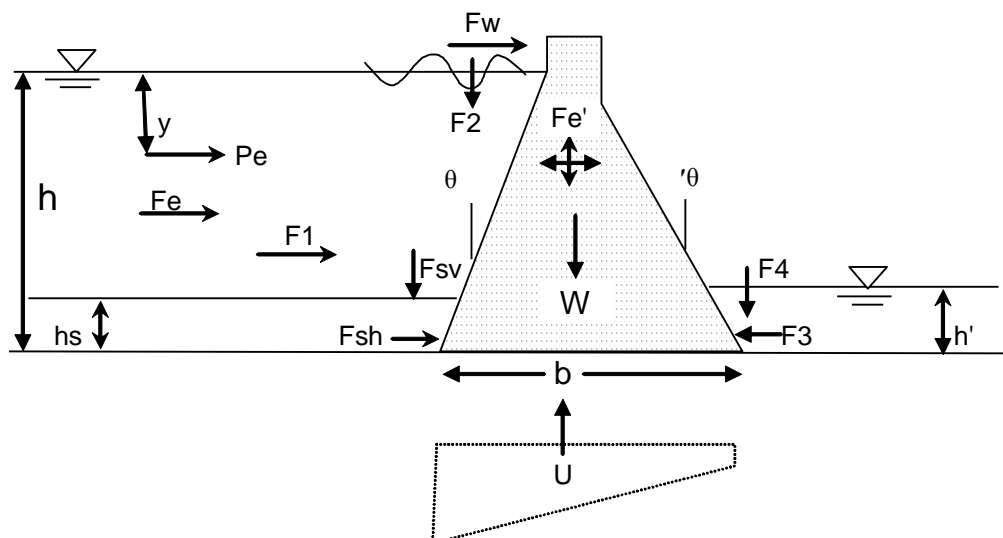
$$F_4 = 0.5 \gamma h'^2 \tan\theta'$$

۳- الف- نیروی فشار افقی آب در پائین دست سد (F_3)

$$F_3 = 0.5 \gamma h'^2$$

۴- الف- مولفه عمودی نیروی ناشی از وزن رسوبات (F_{sv})

$$F_{sv} = 0.5 \gamma_{sub} h_s^2 \tan\theta$$



شکل ۱۰-۵- نیروهای وارد بر سد

ب- نیروهایی که در جهت ناپایداری سد عمل می کنند .

۱-ب- نیروی فشار افقی آب در بالادست (F_1)

$$F_1 = 0.5 \gamma h^2$$

۲-ب- نیروی ناشی از امواج در مخزن سد (F_w)

$$F_w = 2 \gamma h_w^2$$

۳-ب- نیروی ناشی از رسوبات در جهت افقی (F_{sh})

$$F_{sh} = \frac{\gamma_{sub} h_s^2}{2} \left[\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right]$$

۴-ب- نیروی بالازدگی (U)

$$U \approx 0.5 \gamma_b (h + h')$$

۵-ب- نیروی ناشی از زلزله در بدنه سد (F_e')

$$F_e' = a W$$

a شتاب افقی زلزله است

۶-ب- نیروی ناشی از زلزله در مخزن سد (F_e)

$$F_e = 0.726 P_e y$$

P_e فشار هیدرودینامیکی ناشی از زلزله در ارتفاع y از سطح آب است .

۶. طرحهای راهسازی

طرحهای راهسازی از جمله طرحهای خطی بشمار می رود که مطالعات زمین شناسی مهندسی در تمام مراحل مختلف طراحی ، اجرا و بهره برداری انجام خواهد شد . این مطالعات را می توان در چهار مجموعه زیر در نظر گرفت .

۱ - انتخاب مسیر راه

۲ - تعیین موقعیت ابنیه فنی شامل پل ، تونل ، دیوار حائل ، زهکشها و نظایر آن می باشند .

۳ - ارزیابی عملیات خاکی (earth works) شامل تسطیح و هموار سازی ، گود برداری ، خاکریزی

۴ - انتخاب و بکارگیری بدنه راه شامل بدنه انعطاف پذیر و صلب

۱-انتخاب مسیر راه :

عوامل متعددی در انتخاب مسیر راه دخالت دارند . یکی از این عوامل خصوصیات و شرایط زمین شناسی موثر در انتخاب مسیر راه است . این عوامل عبارت انداز :

الف- خصوصیات زمین شناسی بستر راه

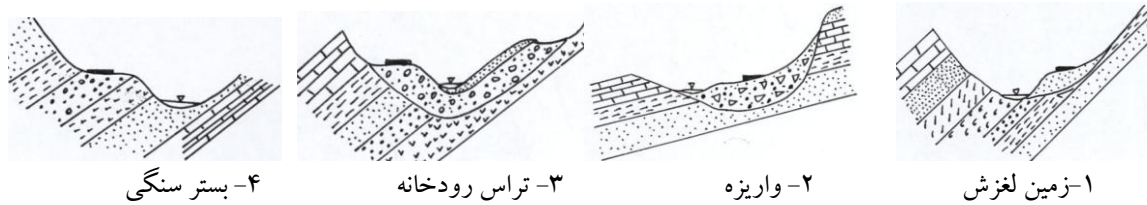
ب- پایداری دامنه ها

ج- اثر آبهای زیر زمینی

د- تاثیر شرایط اقلیمی در مسیر راه

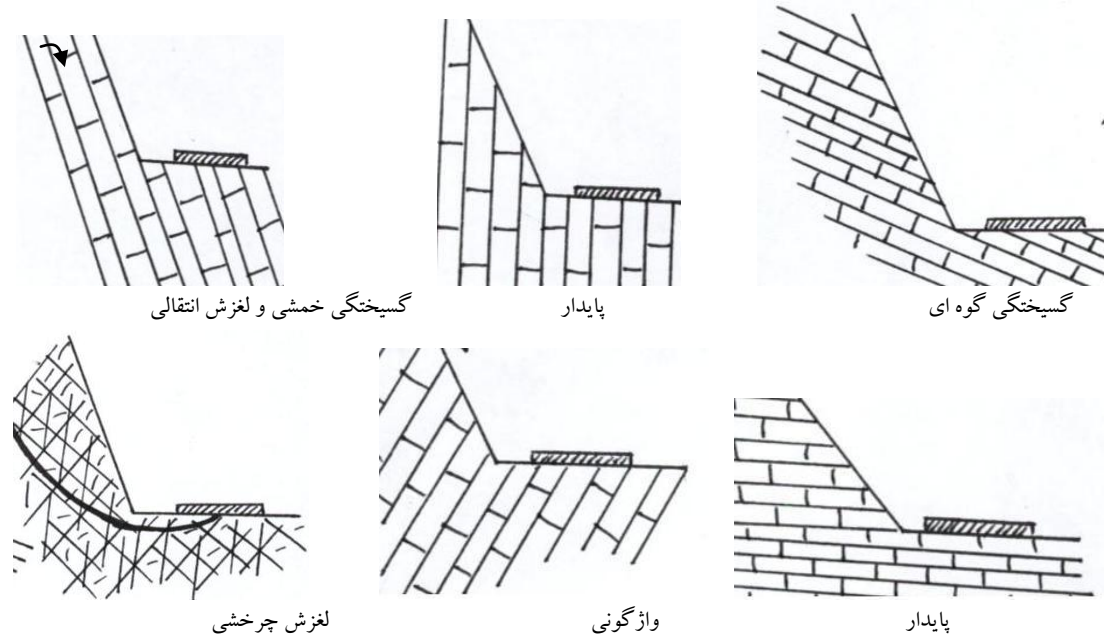
بستر راه جایی است که بار راه و ترافیک از طریق آن به زمین منتقل می شود . بنابراین بستر راه باید استقامت کافی برای تحمل نیرو ها داشته باشد . بستر راه در زمینهای مختلف شرایط متفاوتی دارد و کلاً می توان شرایط زمین را به دو مجموعه زمینهای هموار و ناهموار تقسیم بندی نمود .

در زمینهای هموار مسیر راه کوتاهترین فاصله را بین نقاط مبداء و مقصد طی می کند. در زمینهای ناهموار و مناطق کوهستانی مسیر راه معمولاً به موازات مسیر رودخانه ها انتخاب می شود و مسیر رودخانه ها دارای شرایط مختلفی هستند (شکل ۱۱-۵). مطابق شکل کیفیت راه از حالت ۱ تا ۴ بهتر خواهد شد. در شکل ۱ امکان لغزش مجدد، حرکت بطئی و نشست نامتقارن وجود دارد. در شکل ۲ امکان ایجاد نشست و تداوم واریزه وجود دارد. در شکل ۳ در رسوبات نرم نشست ممکن است روی دهد. در حالت ۴ معمولاً بستر پایدار می باشد.

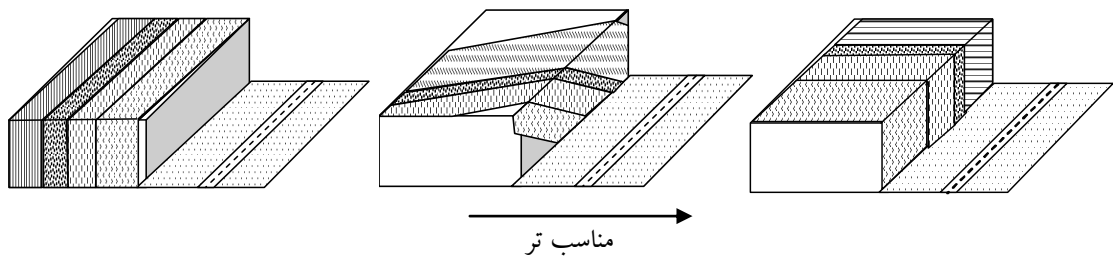


شکل ۱۱-۵ - حالت های مختلف بستر ناهموار کوهستانی

دومین عامل موثر در انتخاب مسیر راه، پایداری دامنه هاست. پایداری دامنه ها تابع سه پارامتر تاثیر زاویه شیب و جهت لایه ها، امتداد ساختاری و ساختمان های چین خورده می باشد. در شکل ۱۲-۵ عامل زاویه شیب لایه ها و جهت آن در دامنه های سنگی نشان داده شده است. بهتر است مسیر راه جایی انتخاب شود که امتداد لایه ها عمود بر امتداد محور راه باشد. هر چه زاویه بین محور راه و امتداد لایه ها بیشتر باشد شرایط مناسب تری برای پایداری راه بوجود می آید (شکل ۱۳-۵). مناسب تر خواهد بود اگر مسیر راه عمود بر محور ساختمانهای چین خورده باشد. در غیر اینصورت بهتر است در امتداد محور تاقدیس ها باشد تا ناودیس (شکل ۱۴-۵)



شکل ۱۲-۵ - عامل زاویه شیب لایه ها و جهت آن در پایداری دامنه های سنگی

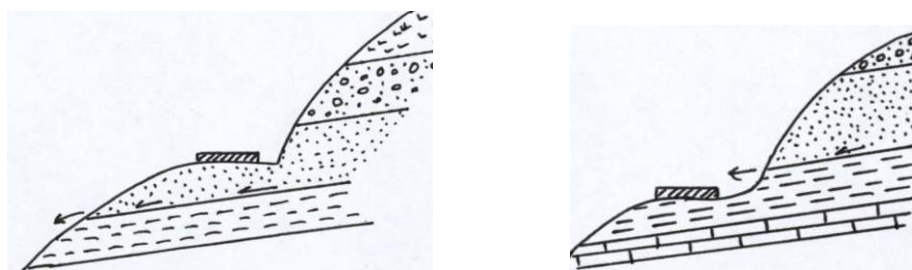


شکل ۱۳-۵- عامل امتداد لایه ها در پایداری دامنه های سنگی



شکل ۱۴-۵- عامل چین خوردگی در پایداری دامنه های سنگی

از نظر وضعیت آبهای زیر زمین در انتخاب مسیر راه مطابق شکل‌های ۱۵-۵ شرایط مناسب و نا مناسب نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می گردد در حالت الف جریان آب زیر زمینی از حد فاصل بین دو لایه نفوذپذیر و نفوذناپذیر به سمت بیرون هدایت می شود ولی در حالت ب بعلا جریانی در چنین سطحی احتمال لغزش توده واقع بر آن و در نهایت تخریب مسیر راه وجود دارد بنابراین حالت الف مناسب تر از وضعیت ب است. چهارمین عاملی که در انتخاب مسیر راه نقش خواهد داشت، شرایط اقلیمی است. اقلیم توسط چهار فاکتور میزان بارش، میزان تبخیر، شرایط انجماد و جهت تابش خورشید کنترل می گردد.

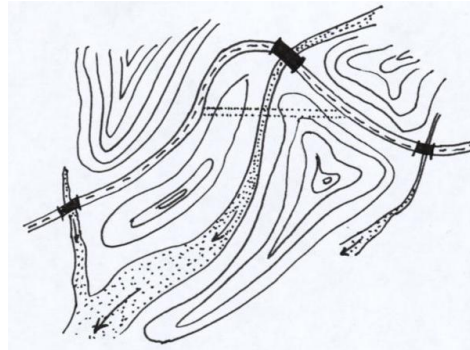


شکل ۱۵-۵- اثر جریان آب زیر زمینی بر پایداری راه

۲- تعیین موقعیت ابنیه فنی در مسیر راه:

ابنیه های فنی مسیر راه ممکن است شامل انواع پلها، تونل، زهکشها، دیوارهای حائل و سازه های محافظ سطحی و نظایر آن باشند. در مسیر راه ها دو نوع پل وجود دارد. یکی پلهای اصلی و دیگری پلهای فرعی. پلهای اصلی که معمولاً ابعاد آنها بزرگ می باشد بعنوان نقاط اجباری درجه یک در مسیر راه بشمار می رود و لذا موقعیت آنها مسیر راه را تحت تاثیر خود قرار می دهد و بعبارت دیگر راه تابع آن خواهد بود. اما پلهای فرعی که به تعداد بیشتری در مسیر راه قرار می گیرند. موقعیت آنها تابعی از مسیر اصلی راه می باشد (شکل ۱۶-۵) عوامل زمین شناسی موثر در انتخاب موقعیت پلهای اصلی:

- ۱- شرط عمود بودن پل بر مسیر جریان
- ۲- شرایط توپوگرافی
- ۳- ساختمانهای زمین

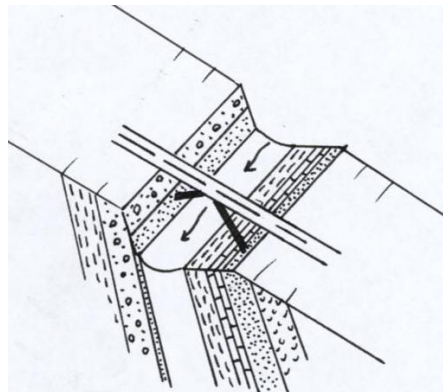


شکل ۱۶-۵- نمایش پل اصلی و فرعی در مسیر راه

همواره باید سعی شود که محور پل عمود بر مسیر جریان آب باشد در غیر اینصورت بعثت ایجاد جریان هیدرولیکی مغشوش در زیر پایه های پل، به مرور زمان آبشستگی در پایه های پل ایجاد شده و تخریب زود رس پل را در بر خواهد داشت. از طرف دیگر در صورتیکه محور پل بر جریان عمود نباشد علاوه بر اینکه سطح پل بزرگتر انتخاب می شود حجم مصالح مصرفی زیاد تر و بار اعمالی بر زمین بیشتر است.

از نقطه نظر شرایط توپوگرافی همواره سعی می شود که پل ها در دره های تنگ احداث شوند.

بهتر است محل احداث پل جایی باشد که محور پل عمود بر امتداد لایه ها یا سطوح ناپیوستگی باشد. همچنین پایه های پل باید سعی شود که بر روی تشکیلات هم جنس قرار گیرد و این بعثت آنست که اولاً طراحی راحت تر و ثانیاً تغییر شکلها همگن تر خواهد بود (۱۷-۵).

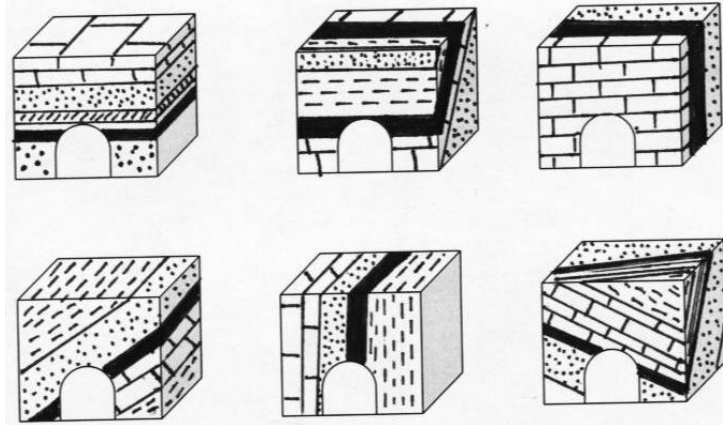


شکل ۱۷-۵- انتخاب مسیر پل بر اساس امتداد لایه

تونلها نیز بعنوان نقاط اجباری درجه یک در مسیر راه معرفی می شوند و مسیر راه با توجه به موقعیت آنها انتخاب می شود. با یک حساب سرانگشتی اگر ارتفاع خاکبرداری بیش از ۱۲ متر باشد، احداث تونل با صرفه تر است. عوامل زمین شناسی مؤثر در انتخاب مسیر تونلها شامل تأثیر ساختارهای زمین شناسی، اثر جنس زمین و شرایط آبهای زیر زمینی است.

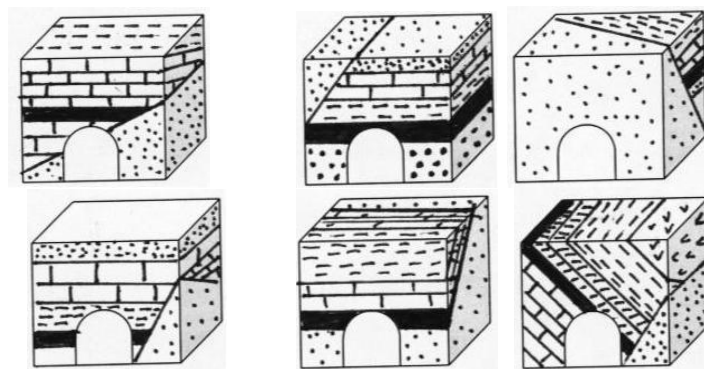
مناسب تر خواهد بود اگر محور تونل عمود بر امتداد لایه ها یا ناپیوستگی باشد. در این حالت هر چه زاویه شیب لایه ها بیشتر باشد پایداری تونل نیز بیشتر خواهد شد. در شکل ۱۸-۵ حالت C مناسب تر از B و حالت B مناسب تر از A است. در وضعیت C هر لایه بصورت تیری در پایداری سقف تونل مؤثر است و این بهترین حالت خواهد بود. حالت های D, E, F شرایط ناپایداری را برای تونل ایجاد خواهند کرد. در وضعیت D توزیع تنش پیرامون تونل متفاوت و احتمال فرو ریختن بلوکها در سمت چپ و

لغزش و یا تراش آب در سمت راست وجود دارد. در حالت E یک لایه ضعیف (لایه سیاه رنگ) در کل مسیر تونل وجود داشته و سقف تونل همواره در معرض خطر واقع است. در حالت F نیز توزیع تنش در دو طرف متغیر است. بطور کلی در حالتی که شیب لایه ها بین صفر تا ۲۰ درجه باشد، شرایط نامساعدی را برای پایداری ایجاد می کند.



شکل ۵-۱۸- اثر امتداد و شیب لایه ها بر پایداری تونل

زمانی که محور تونل در امتداد سطوح ناپیوستگی باشد، در وضعیت شیب مابین ۴۵ تا ۹۰ درجه (شیب سطوح ناپیوستگی) حاد ترین حالت ایجاد خواهد شد. در این وضعیت تنش های برشی در سطح ناپیوستگی فعال و باعث گسیختگی و لغزش خواهد شد.



شکل ۵-۱۹- اثر امتداد سطح ناپیوستگی بر پایداری تونل

تنشهای بوجود آمده در اطراف تونل حاصل نیروهای سربار و نیروهای جانبی است. در سنگهای مقاوم و فاقد ناپیوستگی تنشهای ایجاد شده تاثیر زیادی بر ناپایداری تونل نخواهند داشت ولی در سنگهای کاملاً خرد شده و یا توده های خاکی پایداری تونل بطور مستقیم در ارتباط با نحوه توزیع تنش در توده های واقع بر اطراف تونل خواهد بود. به منظور تعیین نیروی لازم جهت نگهداری تونل در سنگها با انجام طبقه بندی مهندسی سنگ (بارسنگ ترزاقی)، (RMR, Q) و تعیین پارامترهای فیزیکی می توان اقدام نمود.

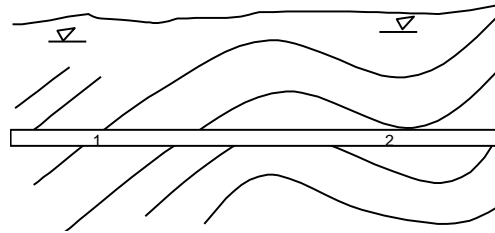
$$P = (100 - RMR)\gamma_n \cdot B$$

P = نیروی لازم جهت نگهداری تونل RMR = شاخص طبقه بندی مهندسی سنگ γ_n = وزن واحد حجم طبیعی مصالح در

برگیرنده تونل B = پهناى تونل

در خاکها نیز با اندازه های تنش های موثر و کل و تعیین پارامترهای فیزیکی خاک می توان نیروی لازم جهت نگهداری تونل را برآورد نمود.

آب همواره نقش منفی در پایداری تونلها خواهد داشت علاوه بر آن هزینه های اجرایی را افزایش می دهد در مناطقی که تونل در زیر سطح آب زیر زمینی حفاری شده رژیم هیدرولیکی سفره آب تغییر خواهد کرد و نقش زهکشی را ایفا می کند. در این حالت ممکن است انحلال پذیری و فرسایش لایه های بالای تونل در اثر جریان شدید آب افزایش یابد. در شکل ۲۰-۵ نقاط ۱ و ۲ دارای شرایط حادثتری هستند. در زیر محور تاقدیس نیز احتمال ریزش گوه مانند سنگی وجود دارد.



شکل ۲۰-۵- اثر آب برنای پایداری تونل

۳- عملیات خاکی (earth works):

عملیات خاکی در طرحهای راهسازی شامل مجموعه عملیاتی می شود که طی آن بستر مناسب برای راهها بوجود می آید، شامل تسطیح (هموار سازی)، خاکبرداری و خاکریزی است.

در عملیات تسطیح مسیر راه از وجود هر گونه مانع پاکسازی می شود و بستر راه برای تحمل بار ترافیک بهسازی می گردد. در عملیات خاکبرداری (Excavation) برداشت خاک به منظور کاهش قوسهای طولی و عرضی و ایجاد دید بیشتر در مسیر راه انجام می شود.

عملیات خاکبرداری (گود برداری) متناسب با جنس و استقامت زمین انجام می شود و در حالت عمومی ممکن است به سه شکل گود برداری دو طرفه، یک طرفه و نیم تونل انجام شود (شکل ۲۱-۵).

خاک برداری نیم تونل در مناطقی انجام می شود که شیب دامنه بیش از ۸۰ درجه باشد و استقامت زمین نسبتاً بالا باشد. لذا معمولاً این روش بیشتر در سنگها کاربرد دارد. در قسمت باز این روش ممکن است از پایه های سنگی یا بتونی استفاده شود.

زمین شناس مهندس پس از تعیین ویژگیهای مواد زمین با توجه به نوع طرح و ملاحظات فنی و اقتصادی روش خاک برداری را تعیین می نماید. تعیین میزان شیب خاکبرداریها همواره تابع پارامترهای برشی مواد زمین.

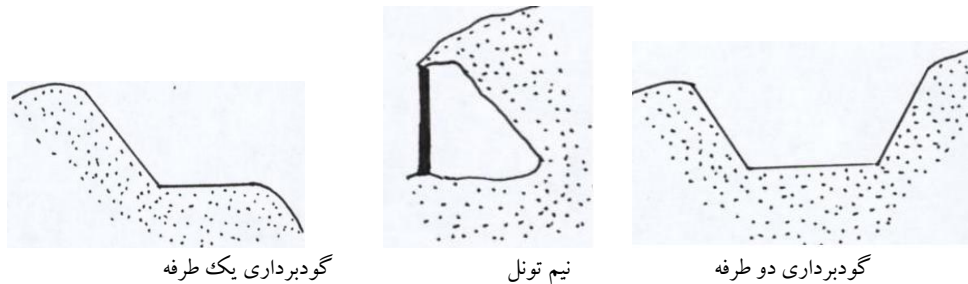
عملیات خاکریزی نیز برای کاهش قوسهای طولی و عرضی راه انجام می شود. مصالح مورد استفاده در ساختمان خاکریزها معمولاً باید از نوع درشت دانه باشد و خصوصیات عمومی آن باید شامل:

۱- ضریب نفوذ پذیری بیش از 10^{-2} سانتیمتر بر ثانیه باشد.

۲- زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) باید بین ۳۸ تا ۴۵ درجه باشد.

۳- قابلیت تراکم پذیری بالایی داشته باشند.

۴- خاکهای تیپ GW، SW مناسب ترند.



شکل ۲۱-۵- روش های خاکبرداری

۴-انتخاب و بکار گیری بدنه راه :

جسم یا بدنه راه آن قسمت از اسکلت راه است که وظیفه انتقال بارهای ترافیک را به زمین بر عهده دارد و عمدتاً از شن و ماسه ساخته می شود. بطور کلی راه از دو قسمت زیرسازی و روسازی (Surfacing) تشکیل شده است (شکل ۲۲-۵).

بدنه راه	اجزای راه	ویژگیهای بارز
روسازی	رویه Topeca	با دوام، غیر قابل نفوذ، مقاوم در برابر ضربه، سایش و صیقلی شدن باشد.
	آستر Binder	قدرت چسبندگی باقی‌بالاتر باشد، مقاوم در برابر ضربه و با دوام باشد.
زیرسازی	اساس Base	تراکم پذیری بالا، نفوذپذیری خوب
	زیراساس Subbase	کاملاً زهکش

شکل ۲۲-۵- اجزای بدنه راه

زمین شناس مهندس دو نقش اساسی در انتخاب و بکار گیری بدنه راه دارد. یکی پی جویی منابع قرضه مناسب و دیگری ارزیابی کیفی آنهاست.

ویژگیهای عمومی مصالح مصرفی جسم راه شامل موارد زیر است.

حداکثر اندازه دانه برای لایه های زیر سازی ۳۸ میلی متر و برای لایه های روسازی ۲۵ میلی متر است. حداقل اندازه دانه ها ۰/۰۷۴ میلی متر است. دانه بندی مناسب مصالح براساس نوع روسازی، ضخامت لایه و اندازه درشت ترین دانه تعیین می شود. برای لایه های زیرسازی دانه ها باید گرد گوشه و دارای سطوح هموار باشند ولی برای روسازی به منظور بالا بردن قدرت پیوند با قیر سطح دانه ها ناهموار و گوشه دار باشند، مناسب تر است.

برای مصالح زیراساس (Subbase)، منحنی دانه بندی مصالح باید در محدوده (پوش دانه بندی) تعریف شده توسط استاندارد ایران قرار گیرد. نسبت عبوری از الک ۲۰۰ نباید بیش از دوسوم نسبت عبوری از الک ۴۰ باشد. حد روانی (LL) کمتر از ۲۵، نشانه خمیری (PI) کمتر از ۶ و ارزش ماسه ای (SE) حداقل ۲۵ باشد همچنین درصد سایش با ماشین لوس آنجلس باید کمتر از ۵۰ باشد. باتوجه به اینکه وظیفه اصلی لایه زیراساس زهکشی است. مصالح مصرفی باید کاملاً نفوذپذیر باشند.

برای مصالح اساس (Base) دانه بندی مصالح پیوسته و از شن و ماسه طبیعی و یا سنگ شکسته با توزیع دانه بندی مشخص طبق استاندارد ایران باید باشد. CBR مصالح حداقل برابر ۵۰ تا ۷۰ باشد. ارزش ماسه ای آن حداقل برابر ۵۰ است. ۵۰ درصد مصالح روی الک ۴۰ باید حداقل در یک جبهه شکسته شده باشند. ضریب سایش لوس آنجلس از ۵۰ درصد نباید بیشتر باشد. خاصیت خمیری مصالح باید صفر باشد.

روسازی راه یک مخلوطی از دانه های سنگی و قیر بنام آسفالت است. مصالح آسفالت به سه دسته درشت، ریز و فیلر (Filler) تقسیم می شود. ویژگیهای مصالح مصرفی در جدول ۳-۵ آمده است.

<p>- اندازه دانه ها درشت تر از ۲ میلی متر باشد.</p> <p>- عاری از سیلت و رس باشد.</p> <p>- درصد سایش لوس آنجلس برای رویه نباید بیش از ۳۰ و برای آستر نباید بیش از ۴۰ باشد.</p> <p>- ۶۰ درصد وزنی مصالح در دو جبهه شکسته باشند.</p> <p>- مقاومت در برابر سولفات سدیم نباید از ۸ درصد بیشتر باشد.</p>	<p>مصالح درشت دانه</p> <p>Coars grain</p>
<p>- اندازه دانه ها بین ۲ تا ۰/۰۷۴ میلی متر باشد.</p> <p>- مصالح سخت، گوشه دار، تمیز و با دوام باشند.</p> <p>- مقاومت در برابر سولفات سدیم کمتر از ۸ درصد باشد.</p> <p>- ارزش ماسه ای آن نباید از ۵۰ کمتر باشد.</p>	<p>مصالح ریزدانه</p> <p>Fine grain</p>
<p>- ذرات ریزتر از ۰/۰۷۴ میلی متر اند.</p> <p>- عاری از مواد آلی و رس باشند.</p> <p>- فاقد خاصیت خمیری است.</p> <p>- فیلر از گردسنگ آهک، آهک شکفته و سیمان پرتلند ساخته می شود.</p>	<p>فیلر</p> <p>Filler</p>

جدول ۳-۵- ویژگی های مصالح سنگی روسازی

۷. پی سازی

پی (*Foundation*) مجموعه بخشهایی از سازه و خاک در تماس با آن است که انتقال بار بین سازه و زمین، از طریق آن انجام می شود. به پائین ترین قسمت یک ساختمان، شالوده گفته می شود و به خاک زیر آن خاک پی گویند. پس پی به مجموعه شالوده و خاک زیر پیرامون آن اطلاق می شود.

۱-۳-۴- انواع پی :

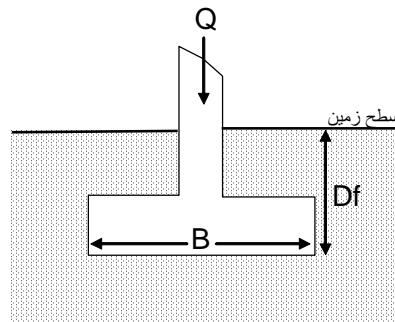
براساس عمق استقرار (D_f)، پی به انواع زیر طبقه بندی می شود.

۱- پی های سطحی (*Shallow foundation*)

۲- پی های عمیق (*Deep foundation*)

۳- پی های نیمه عمیق (*Pier foundation*)

۴- پی های ویژه (*Special foundation*)



شکل ۲۳-۵- مقطع پی

۱- پی سطحی :

پی های سطحی به شالوده نیز خوانده می شود. آندسته از پی ها هستند که در عمق کم و نزدیک و یا در سطح زمین اجرا می شوند. در پی های سطحی نسبت عمق استقرار پی (D_f) به کوچکترین بعد آن (B) کمتر و مساوی ۴ است. یعنی :

$$\frac{D_f}{B} \leq 4$$

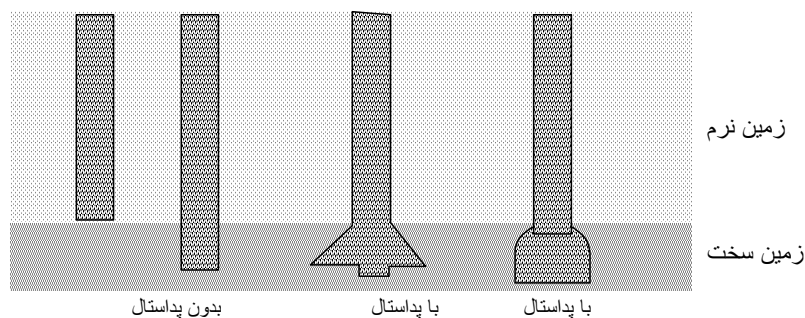
پی اکثر ساختمانهای مسکونی ، پلها ، خطوط انتقال نیرو از نوع سطحی اند. در صورتیکه ظرفیت باربری پی های سطحی پائین باشد و توان باربری را نداشته باشد از انواع دیگر پی ها استفاده می گردد.

۲- پی های عمیق :

وقتی که نسبت عمق استقرار به عرض پی بیش از ۱۰ باشد ، پی از نوع عمیق خواهد بود. پی های عمیق به پی های شمعی نیز معروف است. شمعهایی از جنس فولاد ، بتن ، بتن مسلح و چوب می باشند که در صورت مناسب نبودن ظرفیت باربری زمین برای استفاده از شالوده های سطحی از آنها استفاده می شود.

۳- پی های نیمه عمیق:

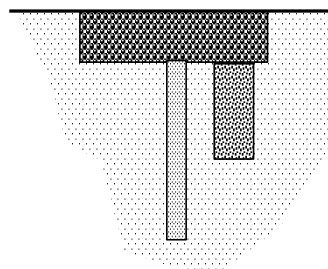
وقتی که نسبت عمق استقرار پی به عرض آن بین ۴ تا ۱۰ باشد ، پی نیمه عمیق فرض می شود. کاربردها آنها مواقعی است که پی سطحی ضعیف باشد و امکان ایجاد پی عمیق از لحاظ شرایط زمین شناسی ، اجرایی و یا اقتصادی فراهم نباشد. به پی های نیمه عمیق ، پی های پایه ای عمیق و یا شالوده های صندوقه ای (Pier) نیز می نامند. این پی ها از نوع بتنی درجاریز هستند که قطر آنها بزرگتر از حدود ۷۵۰ میلی متر است و می توانند مسلح یا غیر مسلح ، با پداسنال (کوره) و یا بدون آن باشند.



شکل ۲۴-۵- انواع پایه های عمیق

۴- پی های ویژه :

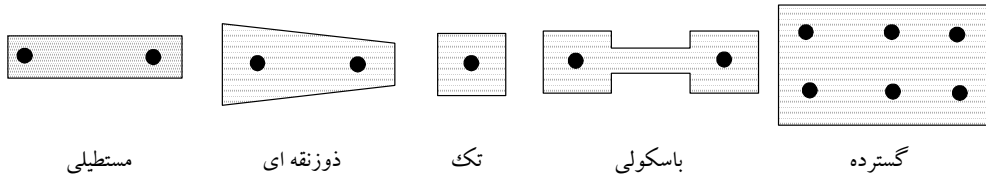
این نوع پی ها با توجه به نوع سازه و شرایط زمین طراحی می شود. هندسه طراحی و مصالح مصرفی آن متفاوت و متنوع می باشد.



شکل ۲۵-۵- پی ویژه

پی ها از نظر ابعاد سطح بارگذاری به انواع زیر تقسیم بندی می شوند .

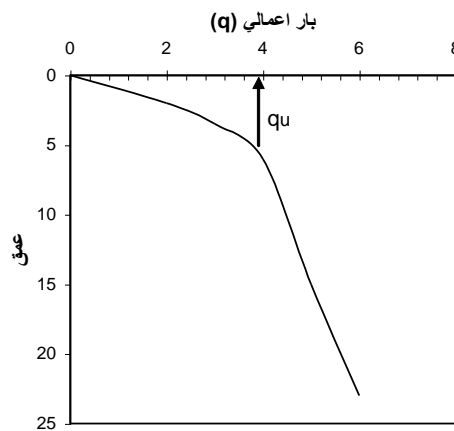
- ۱- پی نواری : نسبت طول به عرض پی نواری بزرگتر از ۵ است .
- ۲- پی مربعی : نسبت طول به عرض آن واحد است .
- ۳- پی دایره ای : سطح بارگذاری بصورت دایره است .
- ۴- پی مرکب : ترکیبی از انواع پی های فوق می باشد . انواع پی های مرکب در شکل ۲۶-۴ نشان داده شده اند .



شکل ۲۶-۵- انواع پی مرکب

۲-۳-۴- ظرفیت باربری پی :

وقتی یک سربار اضافی بر یک نقطه از زمین وارد شود ، تغییرشکلهایی در آن ایجاد می شود . با افزایش بار نشستهای مطابق نمودار شکل ۲۷-۵ ممکن است در پی ایجاد شود . فشار لازم برای ایجاد گسیختگی در پی و یا نشست فراتر از حد مجاز بعنوان ظرفیت باربری نهایی (q_u) خوانده می شود . به عبارت دیگر ظرفیت باربری نهایی حداکثر باری است که پی بدون گسیختگی و نشست غیر مجاز می تواند آنرا تحمل کند .



شکل ۲۷-۵- ظرفیت باربری نهایی

ترزاقی در سال ۱۹۴۳ اولین کسی بود که نظریه ای برای محاسبه ظرفیت باربری نهایی شالوده سطحی ارائه نمود . با استفاده از اصول تعادل ترزاقی ظرفیت باربری نهایی را بصورت زیر پیشنهاد کرد .

$$q_u = aCN_c + qN_q + b\gamma BN_\gamma$$

که در آن C نیروی چسبندگی خاک ، γ وزن مخصوص خاک ، B کوچکترین بعد پی و N_c, N_q, N_γ ضرایب باربری بدون بعد که فقط تابع ϕ زاویه اصطکاک داخلی است و بصورت زیر بدست می آیند .

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{3.14 \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

مقدار $q = \gamma Df$ و a, b ضرایب مربوط به نوع پی می باشند و برای انواع پی ها در جدول ۴-۵ آمده است .

ضریب	پی نواری	پی مربع	پی دایره
a	۱	۱/۳	۱/۳
b	۰/۵	۰/۴	۰/۳

جدول ۴-۵- ضرایب شکل پی

به منظور بالابردن ایمنی سازه ها از عبارت ظرفیت باربری مجاز (qall) استفاده می شود . qall از نسبت ظرفیت باربری نهایی به ضریب ایمنی (Fs) بدست می آید . qall به مقاومت مجاز پی نیز معروف است .

دلایل اعمال ضریب ایمنی عبارتند از:

$$q_{all} = \frac{q_u}{F_s}$$

الف- پیچیدگی رفتار خاک

ب- فقدان کنترل تغییرات محیطی بعد از ساخت

ج- آگاهی ناقص از شرایط زیر سطحی

د- ناتوانی در ایجاد مدل ریاضی مناسب برای محیط خاکی

ه - ضعف در تعیین دقیق پارامترهای خاک

و- متوسط گیری از پارامترهای خاک

به منظور انتخاب ضریب ایمنی مناسب لازم است فاکتورهای زیر مورد توجه قرار گیرد .

الف- بزرگی آسیبها در صورت شکست پی

ب- هزینه نسبی افزایش یا کاهش ضریب ایمنی

ج- تغییر نسبی احتمال شکست در اثر تغییر ضریب ایمنی

د- اعتبار مشخصات خاک

ه - تغییر خصوصیات خاک در نتیجه عملیات ساختمانی و تغییرات بعدی

و- میزان دقت روشهای تحلیلی

در جدول ۴-۵ ضریب ایمنی برای پاره ای از پی ها آمده است .

نوع پروژه	نوع پی	Fs
دیوار حایل	دیوار	۲ - ۱/۵
	سپر فلزی	۱/۶ - ۱/۲
	گودبرداری یا حایل موقت	۱/۲ - ۱/۵
عملیات خاکی	سد ، خاکریز	۱/۶ - ۱/۲
شالوده ها	منفرد	۳ - ۲
	گسترده	۲/۵ - ۱/۷

جدول ۴-۵- ضریب ایمنی برای انواعی از سازه ها

۸. بهسازی زمین

بهسازی یعنی بهبود مشخصات مقاومتی زمین به اندازه دلخواه. در عملیات بهسازی بتوسط ابزار و ماشین آلات فنی، مواد شیمیایی و مصنوعی تلاش در بهتر نمودن پارامترهای مقاومتی مواد زمین می شود.

روشهای عمومی بهسازی عبارتند از:

۸-۱- تراکم به وسیله انواع غلتکها:

انواع معمول غلتکها عبارتند از:

الف: غلتکهای چرخ استوانه ای صاف

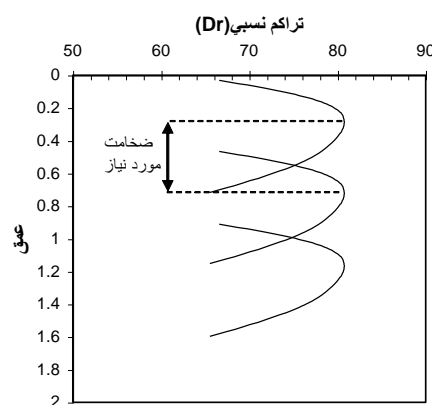
ب: غلتکهای چرخ لاستیکی بادی

ج: غلتکهای پاچه بزی

د: غلتکها ارتعاشی

غلتکهای چرخ استوانه ای برای هموار کردن بستر و اطو کشی خاکریزهای رسی و ماسه ای مناسب هستند. در حین حرکت تولید ارتعاش قائم می نماید و فشار تماس بر سطح خاک ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع است. غلتکهای چرخ لاستیکی بادی از ردیفهای مختلف چرخ تشکیل شده اند و از آنها برای تراکم خاکهای ماسه ای و رسی استفاده می شود. فشار زیر هر یک از چرخها ۶۰۰ تا ۷۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع است. غلتکهای پاچه بزی دارای چرخهای استوانه ای می باشند که در روی آنها برجستگی های زیادی وجود دارد. مساحت هر کدام از این برجستگی ها بین ۲۵ تا ۸۵ سانتیمتر مربع متغیر است. این غلتکها در تراکم کردن خاکهای رسی مؤثرند. فشار تماس بر سطح خاک ۱۵۰۰ تا ۷۵۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع است. تراکم ابتدا در عمق و سپس لایه های سطحی انجام می شود. غلتکهای ارتعاشی در تراکم خاکهای دانه ای مؤثر می باشند. برای تراکم سطوح کوچک (نظیر خاکریز کف ساختمانها و کناره کانالهای آب رسانی) از تخماقهای دستی و موتوری کوچک استفاده می کنند.

با اندازه گیری میزان تراکم نسبی در اعماق مختلف نمودارهای شکل ۲۸-۵ حاصل می گردد. براساس این نمودارها می توان ضخامت لایه خاکریز برای تراکم را تعیین نمود. همانطور که می دانیم میزان تراکم نسبی علاوه بر نیروی تراکم به دانه بندی و مشخصات مکانیکی خاک بستگی دارد.



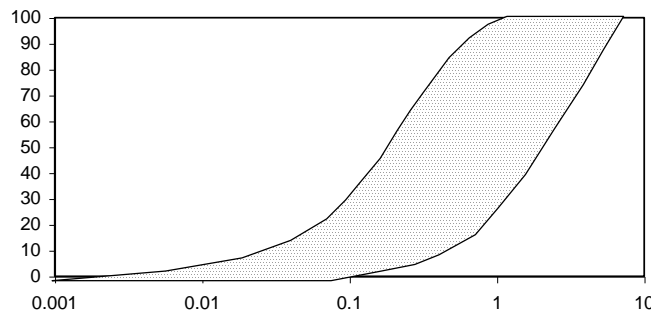
شکل ۲۸-۵- روش تعیین ضخامت لایه خاک جهت تراکم کارگاهی

۲ ۸ تراکم ارتعاشی غوطه ور (Vibroflotation)

تراکم ارتعاشی تکنیکی است برای تراکم در جای لایه های ضخیمی که دارای نهشته های دانه ای شل می باشند. در این روش عامل اصلی تراکم واحد مرتعش کننده (نیستر) می باشد که طول آن حدود ۲ متر است. نیستر به یک وزنه برون محور به وزن ۱/۱۶

کیلونیوتن و طول ۶۱ سانتی متر اتصال دارد و در قسمت عقب به توسط یک لوله دنباله به قطر ۳۰/۵ سانتی متر به دکل تراکم متصل می شود. تراکم در ۴ مرحله انجام می شود. در مرحله ۱ نوک بیشتر در سطح محل مورد نظر قرار داده شده و سپس توسط پمپی با فشار ۶۹۰ تا ۱۰۳۵ کیلونیوتن بر متر مربع جت آب به سمت پائین هدایت می شود. با ایجاد ارتعاش در محیط اشباع ماسه به حالت سریع (quick condition) در می آید در نتیجه خاک متراکم می شود و فضای ایجاد شده توسط مصالح دانه ای پر می شود.

خاک ماسه ای درشت دانه مناسب ترین مصالح برای تراکم به روش ارتعاشی می باشد (شکل ۳۰-۵).



شکل ۲۹-۵- محدوده مناسب برای دانه بندی خاک در تراکم ارتعاشی

دانه بندی مصالح پرکننده نیز از عوامل کنترل کننده سرعت و درجه تراکم است. کمیته بنام عدد تناسب (SN) برای طبقه بندی این مصالح پیشنهاد شده است.

$$S_N = 1.7 \sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}}$$

که در آن D_{10} , D_{20} , D_{50} به ترتیب قطر ذرات در ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰ درصد عبوری برحسب mm می باشد. هرچه SN کوچکتر باشد، کیفیت مصالح بعنوان پرکننده بهتر است.

SN	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	> ۵۰
توصیف	عالی	خوب	متوسط	بد	نامناسب

جدول ۶-۵- طبقه بندی مصالح پرکننده تراکم ارتعاشی

۳ تراکم دینامیکی (Dynamic compaction)

در تراکم دینامیکی وزنه ای سنگین تا ارتفاع قابل توجهی بالا برده شده و از آنجا به محل مورد نظر رها می شود و این عمل به دفعات تکرار می گردد. وزن وزنه در حدود ۳۵۰ کیلو نیوتن و ارتفاع سقوط آن ۷/۵ تا ۳۰ متر است. درجه تراکم کسب شده بستگی به عواملی چون وزن وزنه، ارتفاع سقوط و فواصل نقاطی که وزنه بر روی آنها سقوط می کند دارد. لئونارد، کوته و هولتز (۱۹۸۰) رابطه زیر را برای تعیین عمق موثر نفوذ تراکم ارائه کردند.

$$D = 0.158 \sqrt{W_H \cdot h}$$

که در آن D = عمق موثر تراکم (متر) $= WH$ = وزن وزنه (کیلو نیوتن) $= h$ = ارتفاع سقوط (متر) با توجه به مشخصات وزنه و ارتفاع سقوط عمق موثر بین ۸ تا ۱۶ متر می باشد.

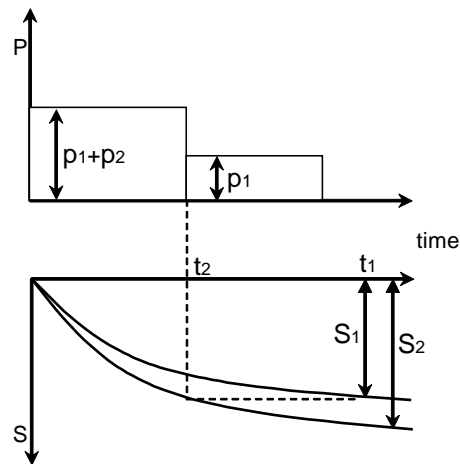
۴-۸- انفجار (Blasting)

تراکم بوسیله انفجار روش دیگری است که اخیراً بطور موفقیت آمیزی برای تراکم مصالح دانه ای در پروژه های متعدد بکار گرفته شده است. در این روش مواد منفجره در عمق مشخص در زیر سطح زمین در خاک اشباع کار گذاشته شده و سپس منفجر می شوند. فواصل جانبی مواد بین ۳ تا ۱۰ متر می باشد. با این روش می توان به تراکمی به میزان ۸۰ درصد تا عمق ۲۰ متر در یک منطقه وسیع دست یافت. مواد منفجره معمولاً در عمقی مساوی دو سوم ضخامت لایه مورد تراکم گذاشته می شوند.

۵-۸- پیش بارگذاری (preloading)

پیش بارگذاری روش دیگری برای تراکم است که برای تحکیم اولیه لایه های رسی نرم قبل احداث ساختمان مورد استفاده قرار میگیرد. در شکل ۳۰-۴ وزن سازه P_1 و اضافه سربار P_2 می باشد. این حالت نشان می دهد که نشست در زمان t_2 به مراتب کمتر از t_1 است. بنابراین اگر قبل از احداث ساختمان اصلی اضافه سرباری به اندازه P_1+P_2 در سطح زمین اعمال شود، در زمان t_2 نشست مورد انتظار S_2 در لایه رسی بوجو می آید.

اگر در این زمان سربار برداشته شده و ساختمان اصلی با سربار دائم P_1 ساخته شود، هیچ نشست قابل توجهی رخ نخواهد داد. سربار کل P_1+P_2 را می توان بوسیله خاکریز موقت ایجاد نمود.



شکل ۳۰-۵- اصول پیش بارگذاری

۶-۸- پایین آوردن سطح آب زیرزمینی (Dewatering)

روش دیگری که می توان در عملیات تراکم خاک در صحرا استفاده نمود پائین آوردن سطح آب زیرزمینی در لایه های خاکی اشباع است. با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی تنش موثر در توده خاک افزایش می یابد که این مسئله باعث تراکم می شود.

۷-۸- زهکشی (Drainage):

زهکشی عبارتست از خارج کردن آب اضافی زمین به منظور قابل استفاده نمودن آن. فوائد زهکشی عبارت از دیدگاه زمین شناسی مهندسی عبارتند از:

- ۱- تثبیت سطح آب زیر زمینی در عمق دلخواه.
- ۲- ممکن ساختن اجرای به موقع عملیاتی که می خواهیم در روی زمین انجام دهیم.
- ۳- جلوگیری از با تلاقی شدن تدریجی ناحیه مورد نظر.
- ۴- خارج کردن یونهای مضر از خاک (یونهای که اثر خوردندگی بر تاسیسات مهندسی دارند).
- ۵- کاستن فرسایش آبی در خاک (رگابی).

- ۶- جلوگیری از ایجاد پدیده آبگونگی (Liquifaction) و فشار آب منفذی.
 ۷- بهسازی زمین و انجام عملیات تراکم خاک.
 ۸- بالا بردن زمان ایستایی (پابرجایی) خاک.
 ۹- جلوگیری از لغزش زمین و پایداری دامنه طبیعی و شیروانی های خاکی.
 ۱۰- جلوگیری از آبهای زیر زمینی.

۱-۷-۸- انواع زهکشها:

بطور کلی سیستم های زهکشی رابه دو دسته زهکشهای سطحی و زیر سطحی تقسیم بندی می کنند. زهکشی سطحی به روابز نیز معروف است که خود به دو دسته زهکشهای روابز عمیق و کم عمق تقسیم می شوند. امروزه اساساً ۴ نوع زهکش سطحی وجود دارد که عبارتند از:

- الف- سیستم پشته بندی (Bedding System)
 ب- سیستم انهار تصادفی (Random ditch System)
 ج- سیستم حائل (Interception System) یا سیستم تراسی
 د- سیستم انهار انحرافی (Diversion ditch System) یا موازی

زهکشهای زیر سطحی :

- الف- زهکشی به وسیله نهر سرپوشیده
 ب- زهکشی بطریقه مول (Mole drain)
 ج- زهکشی به وسیله چاه
 د- زهکشی به وسیله لوله

در زهکشی بوسیله نهر سرپوشیده، پس از ایجاد نهر، با استفاده از شاخه درختان، آجر، سنگ و مواد دیگر روی آن می پوشانند. این روش معمولاً گرانتر از روش زهکشی با لوله تمام می شود ولی با این حال در مناطقی که موارد مورد نیاز زیاد و لوله وجود نداشته باشد، مناسب است.

در روش زهکشی به روش مول بوسیله یک مخروطه کله قندی به طول ۵۰ تا ۷۵ سانتیمتر شیباری در زمین ایجاد می شود و به دنبال آن وزنه ای استوانه یدک کشیده می شود تا مسیر راصاف و متراکم نماید. این روش در خاکهای رسی مناسب است. یکی از مهمترین روشها و شاید مناسب ترین آنها در زهکشی های زیر سطحی استفاده از لوله های زهکشی باشد

مسائل :

۱ - مطلوبست تعیین ظرفیت باربری نهایی یک پی مربعی به عرض ۳ متر که در عمق ۲ متری استقرار یافته است . پارامترهای

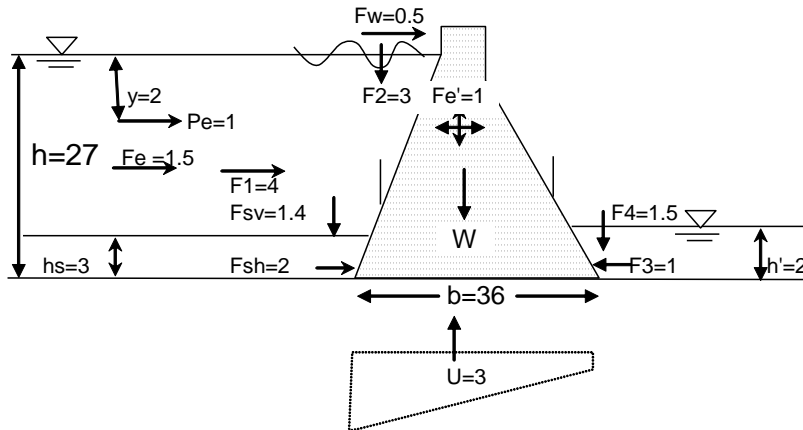
$$C = 0.35 \text{ kg/cm}^2, \phi = 12 \text{ deg.}, \gamma = 1.66 \text{ gr/cm}^3$$

۲ - ظرفیت باربری نهایی یک پی کاملاً دانه ای از نوع نواری با عرض ۱ متر برابر با ۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد .

چنانچه مشخصات خاک پی برابر با $\gamma = 1.67 \text{ gr/cm}^3$, $\phi = 18 \text{ deg.}$ باشد، مناسب ترین عمق استقرار آنرا بدست

آورید .

۳ - سدی بتنی با شیب ۶۳ درجه در دامنه ها به حجم ۳۰ هزار متر مکعب و وزن مخصوص متوسط ۲/۴ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب مفروض است . مطابق شکل زیر چندین نیرو بر آن اثر می گذارند . مطلوبست تحلیل پایداری سد . مقدار شتاب زلزله را برابر ۰/۲ در نظر بگیرید . واحد نیرو بر حسب kg/cm^2 و طول به متر می باشد .



زاویه اصطکاک داخلی رسوبات بستر ۱۲ درجه و دانسیته اشباع آن $1/68$ گرم بر سانتی متر مربع است .

فصل ششم

اکتشافات ژئوتکنیکی

۱-۶ مقدمه

اکتشافات ژئوتکنیکی با شناسایی محلی انجام می شود. شناسایی محلی^۱ در ژئوتکنیک به مفهوم کسب اطلاعات جامع از وضعیت سطحی و زیر سطحی ویژگی های زمین شناسی و توصیف آن با نوع سازه های مهندسی به اقتصادی ترین شیوه می باشد. این شناسایی فقط می تواند شرایط مورد انتظار را برای ارزیابی صحیح داشته های موجود ارایه کند و هدف نهایی آن تعیین مشخصات محل است نه کنترل مناسب محل و به دلایل زیر انجام می شود .

- ۱- تعیین ضخامت و جنس لایه های خاک و عمیق سنگ بستر
- ۲- تشخیص جنس سنگ و لایه بندی آنها
- ۳- شناسایی ساختار توده سنگ و اثر فعالیت های تکتونیکی
- ۴- تعیین عمق سطح آب زیر زمینی و تعیین ترکیب شیمیایی آب زیر زمینی
- ۵- اندازه گیری ویژگی های فیزیکی ، مکانیکی و شیمیایی مواد زمین
- ۶- نمونه برداری برای مطالعات تکمیلی در آزمایشگاه
- ۷- تعیین موقعیت حفرات و قنوات موجود و سایر عوارض طبیعی و مصنوعی

۶ روش های شناسایی محلی

- ۱- حفاری^۲ در زمین با ادوات مکانیکی یا دست
- ۲- نمونه گیری^۳ دست خورده یا دست نخورده از زمین
- ۳- انجام آزمون های برجا^۴
- ۴- کاوش های ژئوفیزیکی^۵
- ۵- دور سنجی^۶

۳-۶ مقاصد شناسایی محلی در پروژه ها

- ۱- انتخاب ساختگاه
- ۲- طراحی پی سازه ها
- ۳- طراحی سازه های موقت
- ۴- مطالعه اثرات زیست محیطی پروژه ها
- ۵- طرح علاج بخشی سازه های آسیب دیده
- ۶- شناسایی عملکرد سازه های موجود

¹ Site investigation

² Drilling

³ Sampling

⁴ In situ testing

⁵ Geophysics exploration

⁶ Remote sensing

۴-۶ مراحل شناسایی محلی**الف - مطالعات دفتری**

- ۱ - الف- پیشینه تحقیق زمین شناسی و ژئوتکنیک
- ۲ - الف- پشتیبانی و تدارکات
- ۳ - الف- برنامه ریزی برای شناسایی صحرائی

ب- شناسایی صحرائی

- ۱ - ب- تفسیر مشاهدات
- ۲ - ب- نمونه برداری
- ۳ - ب- آزمایشات صحرائی

ج- آزمون های آزمایشگاهی

- ۱- ج- خواص فیزیکی
- ۲- ج- خواص مکانیکی
- ۳- ج- خواص شیمیایی

۵ ۶ اقسام دانسته های زمین شناسی

- ۱ - نقطه ای ← مثل رخنمون
- ۲ - تک بعدی ← مثل مغزه
- ۳ - دوبعدی ← مثل مقاطع، عکس های هوایی نقشه ها

۶ ۶ انواع اکتشافات در شناسایی صحرائی**الف - اکتشافات سطحی شامل:**

- ۱-گرد آوری سابقه مطالعات
- ۲-آمایش زمین

الف) پیمایش صحرائی

ب) نقشه های توپوگرافی زمین شناسی، عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره

- ۳-تهیه نقشه زمین شناسی مهندسی مقدماتی
- ۴-عملیات شناسایی صحرائی
- ۵-تهیه برنامه اکتشافات زیر سطحی

ب- اکتشافات زیر سطحی شامل:

۱. روشهای مستقیم

الف. ترانشه

ب. چاله های آزمایشی

ج. تونل

د. چاه

۲. روشهای غیرمستقیم

الف. ژئوالکتریکی (Schlumberger, Dipole-Dipole, Wenner)

ب. لرزه ای (انکساری، انعکاسی و میکروترومورها)

ج. ثقل سنجی

د. رادار نفوذ زمین (GPR)

د. مغناطیس سنجی

ه. هسته ای

اصولی ترین اهداف حفاری عبارتند از

- ۱- حفاری برای شناسایی مناطق قرضه
- ۲- حفاری برای شناسایی ساختار پی سازه ها
- ۳- حفاری برای نصب تجهیزات زهکشی و یا ابزار دقیق
- ۴- حفاری گمانه برای تزریق و یا سایر تکنیک های بهسازی زمین

الف. ترانشه (Trench)

ترانشه نوعی گود برداری در سطح زمین است و دارای عمق حداکثر ۶ متر و عرض یک متر می باشد (شکل ۶-۱). طول ترانشه ها متغیر و معمولاً بین ۲ تا ۴ متر می باشد. ترانشه معمولاً با دست توسط مقنی و یا بیل مکانیکی انجام می شود. پس از حفر ترانشه و نمونه برداری از قسمت های مختلف و یا انجام آزمایشات مورد نظر نیمرخ طولی ترانشه با مقیاس مناسب تهیه می شود. ترانشه عموماً به منظور های زیر انجام می شود:

- ۱- شناسایی ضخامت نهشته های سطحی و میزان گسترش جانبی آنها
- ۲- معرفی افق های مختلف خاک و ارزیابی میزان هوازدگی سنگ ها
- ۳- تعیین وضعیت آبهای زیر زمینی
- ۴- نمونه برداری دست نخورده از خاک ها و سنگ های هوازده
- ۵- انجام آزمایشات صحرایی و اندازه گیری های محلی
- ۶- تخمین کمی و کیفی منابع قرضه و مصالح ساختمانی

ترانشه عموماً در دامنه ها به منظور شناسای افقهای خاک بیشتر کاربرد دارد.



شکل ۶-۱. روش ایجاد ترانشه

محدودیت های حفر ترانشه

- ۱ - عمق شناسایی محدود است .
- ۲ - در صورت بالا بودن سطح آب ، حفاری با مشکل مواجه می شود .
- ۳ - در مناطق ریزشی ایجاد ترانشه مقدر نیست .
- ۴ - پر کردن ترانشه هزینه بردار است .

ب. چاله های آزمایشی (Test pit)

چاله های آزمایشی به عمق ۳ تا ۵ متر و قطر ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی متر به منظور شناسایی لایه سطحی خاک و یا انجام آزمایشات بر جا مثل بارگذاری صفحه ای حفاری می گردد . روش حفاری معمولاً دستی و توسط مقنی صورت می گیرد .

ج. تونل (Tunnel)

در اکتشافات زیر زمینی ، پروژه های سد سازی ، نیروگاهها، ایستگاه های مترو و راه آهن ، حفاری های دفن زباله های اتمی حفاری تونل انجام می شود . روشهای رایج زنی به شرح جدول ۶-۱ می باشد .

جدول ۶-۱. روشهای رایج تونل زنی در خاک و سنگ

نوع مواد	روش تونل زنی	شرح
خاک	قاب و تیرک یا ضخامت پوششی سپر	در خاکها و زمینهای سفت یا متورم شونده برای تونلهای نعل اسبی مناسب است .
	ماشین حفاری TBM	سپر استوانه ای به توسط جک همراه با قسمت حفاری شده به پیش می رود .
	حفاری خودکار با جبهه گل	یک تیغه برنده دوران کننده بصورت دایره ای در خاک فرو می رود .
	سپر موازنه کننده ی فشار خاک EBS	تونل زنی همراه با گل حفاری بتونیت انجام می شود .
	حفر خندق و پوشاندن آن	جبهه پیشروی بر اثر فشار خاک حفاری شده پا بر جا می ماند .
سنگ	چالزنی و انفجار	در مناطق شهری با حفر خندق و پوشاندن آن تونل شکل می گیرد .
	ماشین های حفاری تونل (TBM)	با تکرار چرخه چالزنی ، انفجار و تخلیه و نصب حایل های تونل زنی انجام می شود . توسط یک سر برنده مواد حفر شده از پیشانی تونل بصورت خودکار به عقب رانده می شود .

د. چاه

در مناطقی که شناسایی نیاز به عمق بیشتر باشد از چاه های اکتشافی استفاده می شود . چاه های اکتشافی قطری بیش از ۸۰ سانتی متر دارند و عمق معمول آنها ۳۵ متر می باشد و توسط مقنی حفاری می شود .

چاه اکتشافی در مناطقی حفر می شود که شرایط زیر را دارا باشند :

- ۱- نهشته های سطحی ضخامت زیاد داشته باشند .
 - ۲- در مناطقی که امکان برداشت نمونه های دست نخورده وجود داشته باشد
 - ۳- در نواحی که ضرورت انجام آزمایشات برجا باشد .
 - ۴- مصالح از جنس درشت دانه مانند کنگلومرا، قطعه سنگ و تخته سنگ وجود داشته باشد
- دو ویژگی حفاری چاه عبارتند از :
- ۱ - امکان تهیه نمودار چاه بطور دقیق وجود دارد .
 - ۲ - انجام برخی از آزمایشات برجا نظیر بارگزاری صفحه ای و دانسیته در محل فراهم است

گمانه (Borehole):

گمانه چاهی است با قطر کم توسط وسایل مکانیکی در خاک و سنگ حفر می شود . چهار روش معمول برای حفاری گمانه ها وجود دارد .

- ۱ - حفاری ضربه ای (Percussion Drilling)
- ۲ - حفاری دورانی (Rotary Drilling)
- ۳ - حفاری شستشویی (Wash boring Drilling)
- ۴ - حفاری مارپیچی یا مته ای (Auger Drilling)

انتخاب هر یک از روشهای متناسب با شرایط زیر صورت می گیرد .

- الف - هدف از حفاری (پروژه)
- ب - موقعیت جغرافیایی محل (مکان)
- ج - جنس و شرایط زمین (زمین)
- د- نوع نمونه برداری و انجام آزمایشات (آزمون)
- ه - قطر گمانه و عمق حفاری (هندسه حفاری)
- و- دسترسی به ابزار حفاری (تکنیک حفاری)

عوامل موثر در انتخاب عمق و فاصله گمانه ها و چاه ها :

اگر چه قاعده خاصی در تعیین تعداد ، عمق و فاصله حفاری ها وجود ندارد و عمدتاً تابع شرایط زمین و نوع سازه می باشد لیکن یکی از مهمترین بخشهایی که نقش زمین شناس مهندس در حجم عملیات شناسایی و هزینه های مربوطه تعیین کننده می باشد انتخاب روش حفاری ، عمق و فاصله حفاری ها می باشد که در این بخش بطور مفصل تر به آنها پرداخته می شود .

- ۱ - وسعت گستره مطالعاتی
- ۲ - مرحله فاز مطالعاتی
- ۳ - سطح تنش سازه
- ۴ - پیچیدگی شرایط زمین شناسی ساختگاه
- ۵ - اهمیت و حساسیت پروژه

آرایش گمانه ها و چاه :

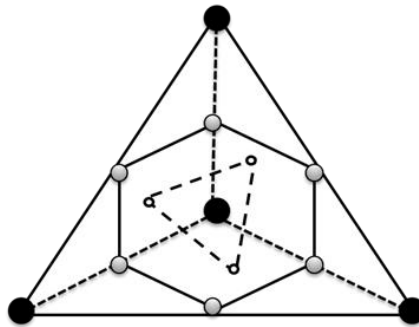
در یک گستره مطالعاتی برای انتخاب محل حفاری قاعده خاصی وجود ندارد . زمین شناسی مهندسی با تجربه با لحاظ نمودن عوامل فوق الذکر می تواند آرایش نقاط حفاری را تغییر نماید . لیکن می توان قاعده زیر را که بر حسب تجربه کسب شده اعمال نمود .

مرحله اول : در رئوس یک مثلث ۳ گمانه انتخاب و حفاری انجام می شود (شکل ۶-۲).

مرحله دوم : در صورت نا همسان بودن و وجود اختلاف در نتایج ۳ گمانه یک گمانه در مرکز مثلث حفر می شود.

مرحله سوم : در صورت نا همسان بودن در نتایج هر یک از ۳ گمانه با گمانه ها مجدداً در وسط هر یک از مثلث های ایجاد شده نقاط جدید حفاری تعیین می گردد .

مرحله چهارم به همین ترتیب تا اقناع مهندس زمین شناسی عملیات حفاری ادامه می یابد .



شکل ۶-۲. آرایش گمانه ها و چاه ها شناسایی محل در خاک

فاصله حفاری ها :

فاصله حفاری ها تابع تنوع در وضعیت زمین شناسی منطقه و پیچیدگی آنست و عمدتاً پس از بررسی های صحرایی با توجه به اهمیت پروژه بر اساس قضاوت های مهندسی تعیین می شود . با این حال از توصیه های جداول زیر می توان برای تعداد و فاصله حفاری ها بهره جست .

جدول ۶-۲ پیشنهادی تعیین فاصله حفاری

نوع طرح	ساختمان سازی	سدسازی	راه سازی	فضای زیر زمینی
فاصله حفاری به متر	۲۰ - ۶۰	۱۰ - ۳۰	۳۰ - ۳۰۰	۵ - ۱۰

جدول ۳-۶ توصیه تعیین فاصله حفاری به متر

نوع طرح	ساختمانهای چند طبقه	سازه های صنعتی و لوله ها	بزرگراهها	شهرکها	سدها و بندها
فاصله حفاری	۱۰-۳۰	۲۰-۶۰	۲۵۰-۵۰۰	۲۵۰-۵۰۰	۴۰-۸۰

تعداد حفاری:

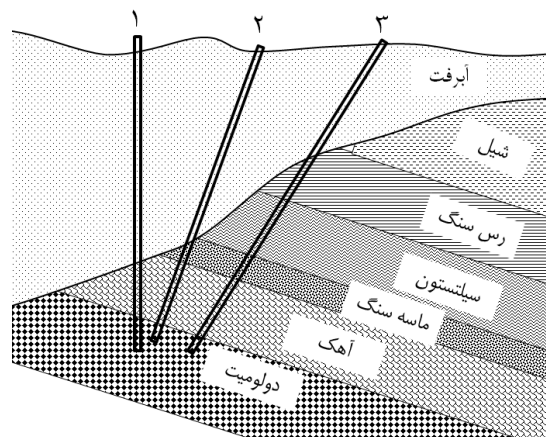
با توجه به نوع طرح که می تواند منفرد، متمرکز و یا ممتد باشد. تعداد حفاری ها مشخص می گردد. در اشکال زیر حداقل تعداد حفاری با توجه به نوع طرح تعیین گردید و یا از طریق جدول ۳-۶ می توان تعداد حفاری را بر آورد نمود.

جدول ۴-۶ توصیه های تعیین تعداد و فاصله حفاری برای شرایط خاص ایران

نوع طرح	ساختمان کوچک	ساختمان مرتفع کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع	ساختمانهای بالای ۱۰۰۰ متر مربع	مجتمع های مسکونی و شهرکهای صنعتی	پروژه خطی	تونل های کوچک
تعداد حفاری	۲	۴-۳	۶-۸	۲۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳-۵

جهت یابی حفاری ها:

مناسب ترین جهت آنست که بتواند اطلاعات جامع و کاملی را از کل لایه های سنگ و خاک حاصل نماید. بدین منظور مناسب تر خواهد بود که جهت حفاری عمود بر لایه ها باشد با این حال بعلت هزینه پایین تر و آسانی کار حفاری قائم متداولتر است.



شکل ۳-۶. نمایش جهت یابی حفاری ها

عمق حفاری ها:

خصوصیات زمین شناسی محل و میزان اثر گذاری سازه بر پی دو عامل اساسی در تعیین عمق حفاری محسوب می شود.

✚ نمونه گیری (Sampling):

نمونه گیری روشی برای شناسایی دقیق تر محیط زمین در آزمایشگاه است و به منظور انجام آزمایشات در آزمایشگاه و یا تشریح جامع تر در شناسایی محلی نمونه اخذ می شود. انواع نمونه ها را بر مبنای کیفیت شان به گروههای زیر می توان طبقه بندی نمود.

۱ - نمونه دست نخورده (Disturbed):

در این نمونه ساخت و فابریک اولیه کاملاً بر هم می خورد. مثل نمونه های شسته شده، تراشه های ناشی از حفاری دورانی

۲ - نمونه دست نخورده (Undisturbed):

نمونه های که تنها ممکن است تغییر شکل اندکی در سطح جانبی آن دیده شود. این نوع نمونه ها توسط محفظه های نمونه گیری یا مغزه گیر یا نمونه گیری قطعه ای (Blok Sampling) حاصل می شود.

۳ - نمونه بارز (Representative):

نمونه ای است که تا حدی تغییر شکل پیدا کرده و مشخصات مهندسی (مقاومت، تراکم، نفوذپذیری) تغییر یافته و ساخت و فابریک اولیه ممکن است هنوز باقی مانده باشد. این نمونه با نمونه گیری SPT یا محفظه دو کفه ای بدست می آید. حجم نمونه ای انتخابی باید نمایانگر شرایط واقعی محل از لحاظ اندازه دانه ها، درز و ترکهای سنگ و بافت و فابریک باشد و نیز برای انجام کلیه آزمایشات مورد نظر کفایت نماید.

مهمترین عوامل موثر بر میزان دست خوردگی نمونه ها به شرح زیر است.

- ۱ - شیوه حفاری
- ۲ - ابزار نمونه برداری
- ۳ - شرایط زمین
- ۴ - حمل و نقل
- ۵ - آماده سازی نمونه

اکتشافات غیر مستقیم (ژئوفیزیکی):

خصوصیاتی چون الاستیسیته، هدایت الکتریکی، هدایت گرمایی، چگالی، خاصیت مغناطیسی و رادیو اکتیویته از جمله پارامترهایی هستند که در اکتشافات ژئوفیزیکی سنجیده می شوند.

روش های ژئوفیزیکی یکی از اقدامات مهم و اساسی در مطالعات منابع آب است. طور کلی در روش های ژئوفیزیکی سه بخش ویژگی های مواد زمین، ساختارهای زمین شناسی و وضعیت آب در زیرزمینی بصورت غیر مستقیم بررسی و شناسایی می شود. روش های ژئوفیزیکی بدو صورت در اکتشاف آب بکار می رود:

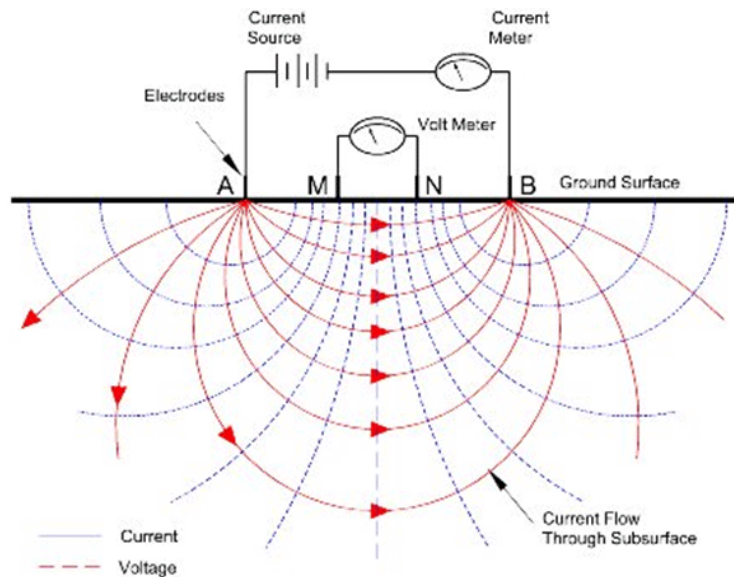
۱. ژئوالکتریک
۲. لرزه نگاری

۱ ژئوالکتریک

با ارسال یک جریان الکتریکی به داخل زمین و اندازه گیری اختلاف پتانسیل بین دو نقطه معین (LC) مقاومت الکتریکی ویژه (Ra) مواد در مسیر جریان بدست می آید (شکل ۶-۴).

$$R = \frac{R_a L_c}{A_c}$$

که در آن R مقاومت الکتریکی اندازه گیری شده میدان الکتریکی به فاصله LC است و A_c سطح مقطع میدان الکتریکی است. دیمانسیون R بر حسب اهم (Ω) و Ra بر حسب اهم متر ($\Omega.m$) بدست می آید.



شکل ۶-۴. الکترودهای ولتاژ جریان در اندازه گیری مقاومت الکتریکی

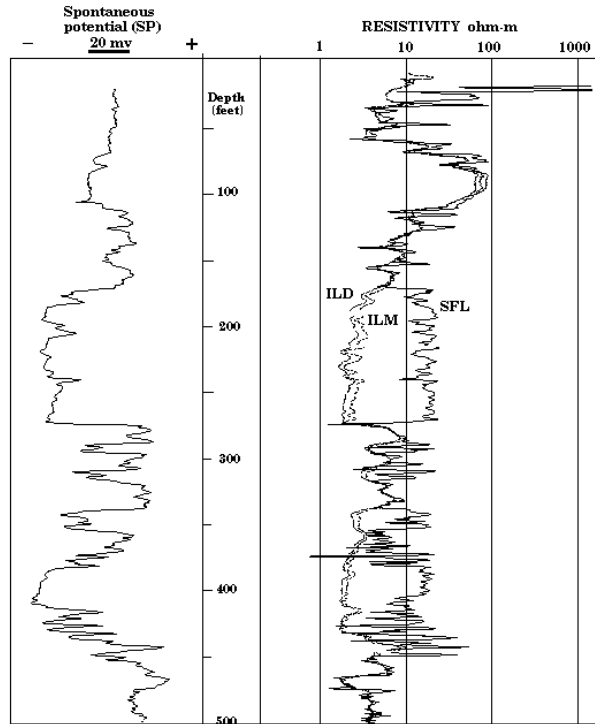
بطور کلی به منظور بررسی مقاومت الکتریکی سازند، یکی از دو دستگاه زیر را می توان بکار برد:

۱. دستگاه های با سیستم الکترودی

۲. دستگاه ها با سیستم القایی (دارای سیم پیچ)

در سیستم الکترودی، از طریق الکترودها (توسط چشمه جریان) جریان به درون سازند ارسال و اختلاف پتانسیل توسط یکسری الکترودهای دیگر اندازه گیری می شود (شکل ۶-۵) و نهایتاً نمودار مقاومت ویژه الکتریکی ثبت می گردد. گل حفاری در این روش باید هادی جریان باشد. برخی از نمودارهای الکتریکی مقاومت ویژه عبارتند از:

- نمودار مقاومت ویژه الکتریکی نرمال یا معمولی (NL) و جانبی (LL)
- نمودار مقاومت ویژه جانبی کوچک (MLL) و نمودار مقاومت ویژه کوچک (ML)
- نمودار تمرکز جریان کروی (SFL)
- نمودار تمرکز جریان کروی کوچک (MSFL)



شکل ۶-۵. نمودارهای مقاومت الکتریکی مواد زمین

دو سیستم ونر و شلوم برگر جهت آرایش الکترودهای ولتاژ بکار می رود و مقاومت ویژه بصورت زیر بدست می آید.

$$Ra = \frac{2}{3} \pi L \frac{V}{I}$$

سیستم ونر

$$Ra = \pi \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}{a} \frac{V}{I}$$

سیستم شلوم برگر

که در آن V اختلاف پتانسیل بین الکترودهای ولتاژ، I جریان کلی از میدان الکتریکی، L فاصله بین الکترودهای جریان (فاصله AB در شکل ۶-۴) و a فاصله بین الکترودهای ولتاژ می باشد.

معمولاً یک رسانا به عنوان ماده ای تعریف می شود که مقاومت ویژه آن کمتر از $5-10 \Omega m$ باشد، درحالیکه نارسانا ماده ای است که مقاومت ویژه آن بزرگتر از $107 \Omega m$ باشد (تلفورد و همکاران، ۱۹۹۰). در میان خواص فیزیکی مختلف سنگ ها و کانی ها، مقاومت ویژه الکتریکی بیشترین تغییرات را از خود نشان می دهد (جدول ۶-۵). مقاومت ویژه کانی های فلزی در حدود $5-10 \Omega m$ است، درحالی که مقاومت ویژه سنگ های خشک و متراکم (مانند گابرو) به $107 \Omega m$ می رسد.

عوامل مؤثر در هدایت الکتریکی یا به عبارت دیگر مقاومت ویژه الکتریکی آنها عبارتند از:

- ۱- حجم خلل و فرج موجود در سنگ و میزان شکستگی ها
- ۲- وضع قرار گرفتن خلل و فرج سنگ و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر
- ۳- حجمی از خلل و فرج سنگ که حاوی آب می باشد
- ۴- قابلیت هدایت الکتریکی آب موجود در سنگ
- ۵- جنس کانی های تشکیل دهنده سنگ

جدول ۶-۵. مقاومت ویژه الکتریکی برخی از انواع مصالح طبیعی زمین

نوع آب یا سنگ	مقاومت ویژه الکتریکی (اهم متر)
آب دریا	۰/۲
آب سفره‌های آبرفتی	۱۰۰-۱۰
آب چشمه طبیعی	۱۰۰-۵۰
شن و ماسه خشک	۱۰۰۰۰-۱۰۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شیرین	۵۰۰-۵۰
شن و ماسه اشباع از آب شور	۰/۵-۵
خاک رس	۲۰-۲
مارن	۱۰۰-۲۰
آهک	۱۰۰۰-۳۰۰
ماسه سنگ آرژیلیتی	۱۰۰-۵۰
ماسه سنگ - کوارتزیت	۱۰۰۰۰-۳۰۰
سینزیت - توفانهای آتش فشان	۱۰۰۰۰-۲۰
لاوا	۱۰۰۰۰-۳۰۰
شیت گرافیتی	۰/۵-۵
شیت آرژیلیتی یا تخریب شده	۳۰۰-۱۰۰
شیت سالم	۳۰۰۰-۳۰۰
گنیس - گرانیت تخریب شده	۱۰۰۰-۱۰۰
گنیس - گرانیت سالم	۱۰۰۰۰-۱۰۰۰

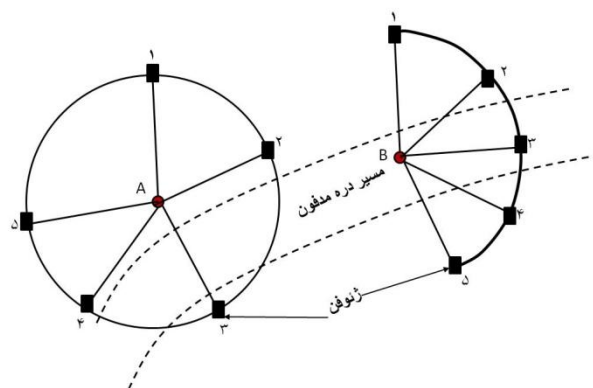
۲ لرزه نگاری

اساس بررسی های لرزه نگاری بر اندازه گیری امواج ضربه ای صوتی استوار است. دو روش لرزه نگاری وجود دارد:

۱. فن شوتینگ: از طریق بررسی های جانبی

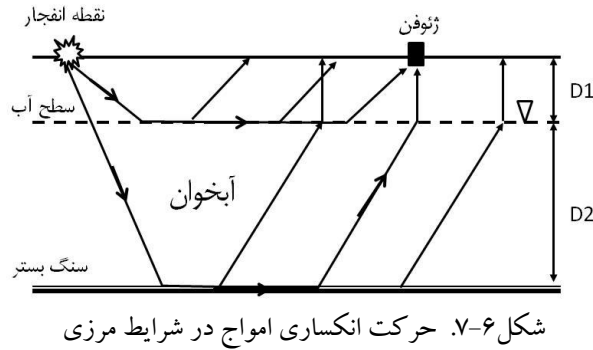
۲. بررسی انکساری: بصورت بررسی های عمودی

در فن شوتینگ ژئوفون ها روی یک دایره در اطراف نقطه انفجار (A,B) قرار می گیرند (شکل ۶-۶) و ویژگی های سرعت مواد زمین را در سطح جستجو می کنند. در شناسایی دره های مدفون و مسیر جریان های زیرزمینی کاربرد دارد.



شکل ۶-۶. نقاط انفجار و ژئوفون ها در بررسی فن شوتینگ

در روش انکساری امواج در شرایط مرزی دچار تغییر مسیر شده و منکسر می شوند (شکل ۶-۷). شرایط مرزی می تواند سطح ایستابی، سنگ بستر، لایه بندی، سطوح گسلی و تغییر چگالی مواد باشد. امواج در برخورد با مرزها با تغییر زاویه انتشار از مرزها عبور کرده و مقداری از آن در امتداد مرزها منتشر و بقیه منعکس می شوند. امواج انکساری در سطوح مرزها بسمت ژئوفون ها منعکس و دریافت می شوند (شکل ۶-۷).

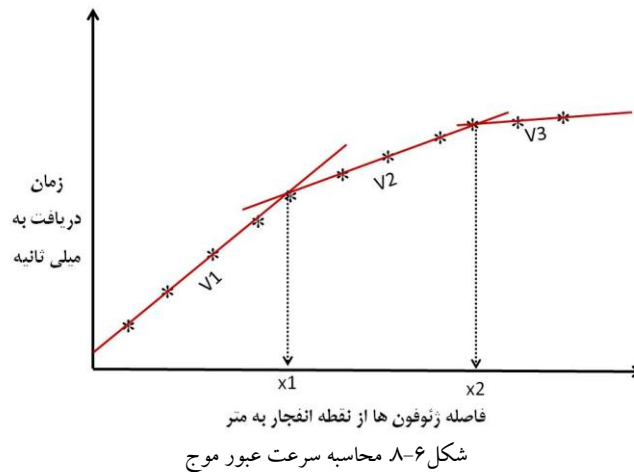


از روابط زیر می توان فاصله بین مرزها را بدست آورد.

$$D_1 = 0.5x_1 \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{0.5}$$

$$D_2 = 0.5x_2 \frac{(V_3 - V_2)^{0.5}}{V_3 + V_2} - \frac{D_1}{6}$$

V_1, V_2, V_3 سرعت موج در D_1 و D_2 و سنگ بستر است. مقادیر X_1 و X_2 به روش ترسیمی و از روی نمودار زمان-فاصله بدست می آید (شکل ۶-۸).



مثال. در عملیات اکتشاف آب زیرزمینی در یک ارایه خطی انکساری ژئوفون ها به فواصل متوالی برابر ۵ متری از یک نقطه انفجار قرار دارند، زمان دریافت موج از ژئوفون اول (نزدیک به نقطه انفجار) تا دورترین ژئوفون به شرح جدول زیر است. براساس اطلاعات زمین شناسی مرز اول سطح ایستابی و مرز انتهایی سنگ بستر است. ضمن تعیین فاصله بین مرزها، پروفیل زمین شناسی آنرا رسم و تفسیر نمایید.

شماره ژئوفون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان میلی ثانیه	۲/۶	۵/۲	۸/۴	۱۳/۳	۱۸/۱	۲۵/۳	۳۲	۴۰/۴

فصل هفتم

نقشه های زمین شناسی مهندسی

۱-۷ مقدمه

اطلاعات و داده های گردآوری شده از بررسی های زمین شناسی و مهندسی و مشاهدات صحرائی، نقشه های زمین شناسی، توپوگرافی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای را می توان در نوع خاصی از نقشه بنام نقشه زمین شناس مهندسی درج نمود. این نقشه نوعی نقشه زمین شناسی می باشد که در آن علاوه بر معرفی خصوصیات زمین شناسی، خواص فیزیکی و مهندسی مواد زمین نشان داده می شود. هدف از تهیه این نقشه ها بکارگیری اطلاعات زمین شناسی مهندسی بطور مستقیم در برنامه های عمرانی و توسعه منطقه ای است.

اطلاعاتی که در نقشه های زمین شناسی مهندسی گردآوری می شود باید به دنبال این باشد که روابط متقابل بین زمین شناسی منطقه و شرایط ساختمانی را با هر سازه مهندسی برقرار نموده و فرآیندهای زمین پویایی (ژئودینامیک) را طی عمر مفید سازه پیش بینی نماید. بطور کلی عوامل اصلی تشکیل دهنده شرایط زمین شناسی مهندسی یک ساختمان معین شامل مواد زمین (خاک و سنگ)، آب زیرزمینی و فرآیندهای زمین پویایی است.

نقشه های توپوگرافی، مبنای نقشه زمین شناسی مهندسی است. نقشه توپوگرافی تداعی کننده عوامل موثر در ایجاد شکل کنونی زمین است و به نوعی نقشه زمین ریخت شناسی است. در نقشه توپوگرافی با توجه به نیاز طرح، اطلاعات زمین شناسی مثل ویژگی های خاک و سنگ، زمین ریخت شناسی، آب شناسی و کنار آن فرآیندهای زمین پویایی مثل زلزله، آتشفشان، زمین لغزش، رمبش و فرونشست به همراه اطلاعات محل ساختمان، عملیات شناسایی و اکتشافات ژئوتکنیکی، منابع قرضه و مصالح ساختمانی و دانسته های جغرافیایی و آبادی ها و راهها درج می شود.

۲-۷ ویژگی نقشه زمین شناسی مهندسی

یک نقشه زمین شناسی مهندسی بهترین تصویر گویا را از پیرامون زمین شناسی هر منطقه بدست می دهد؛ اما این نقشه یک مدل ساده شده از واقعیت هاست و قادر نیست پیچیدگی عوامل گوناگون و فرآیندهای زمین پویایی را بگونه ای کامل نمایش دهد. درجه این ساده سازی به هدف و مقیاس نقشه، اهمیت نسب عوامل زمین شناسی ویژه و روابط آنها، دقت اطلاعات و شیوه نمایش بستگی دارد.

یک نقشه زمین شناسی مهندسی باید بتواند سه ویژگی زیر را داشته باشد.

الف) نقشه باید جامع باشد، یعنی باید کلیه اطلاعات واقعی و قابل مشاهده را که برای ارزیابی ویژگی های زمین شناسی در زمینه برنامه ریزی منطقه ای، گزینش ساختمان و مناسب ترین سازه بکار می رود، فراهم کند و هر نوع شرایطی از زمین که به نوعی سازه و پیرامون آنرا متاثر از خود می سازد، در نقشه منظور شود.

ب) نقشه باید مانع باشد، یعنی اطلاعات غیر ضروری و غیر موثر بر ساختمان را نشان ندهد. درج اطلاعات زیاد و غیر ضرور علاوه بر تحمیل هزینه، باعث پیچیدگی در تفسیر و سردرگمی بهره برداران و مهندسان می شود.

ج) نقشه باید منعطف باشد، یعنی باید پیش بینی تغییراتی را که ممکن است در اثر انجام طرح پیشنهاد شده، در وضعیت زمین شناسی پدید آید و توصیه اقدامات پیشگیرانه لازم را امکانپذیر گرداند.

د) نقشه باید **قابل فهم** باشد، یعنی باید اطلاعات را به گونه ای نمایش دهد که برای بهره برداران غیر زمین شناس قابل فهم باشد. در این راه باید از واژه ها و نشانه های رایج و استاندارد استفاده نماید.

ه) نقشه باید **کارایی** داشته باشد، یعنی تمامی اطلاعات و دانسته های آن به منظور کاربرد خاصی درج شده باشد. بعنوان مثال طبقه بندی مهندسی سنگ و خاک، منحنی های هم مقاومت، منابع قرضه می تواند اطلاعاتی با کاربری خاصی مدنظر باشد که در یک نقشه به نمایش در می آید.

۷-۳ نقشه زمین شناسی مهندسی در مراحل مطالعات

در هر مرحله از مراحل مطالعات زمین شناسی مهندسی نقشه های آن نیز می تواند تهیه شود. بطوریکه نقشه های مقدماتی، نقشه های توجیهی، نقشه های تفصیلی و نقشه های ساخت و تکمیلی تهیه می شوند. در هر مرحله از نقشه ها، اطلاعات جامع تر و تکمیل تر می شود. مقیاس نقشه معرف میزان دقت آنست. هرچه مقیاس بزرگتر باشد، دقت بالا می رود به عبارت دیگر به جزئیات زمین شناسی بیشتر توجه می شود. مثلاً در یک پروژه سد سازی مقیاس نقشه هایی که تهیه می شود در مراحل مختلف مطالعات و نحوه گسترش زمینی متفاوت است (جدول ۱).

جدول ۱. مقیاس نقشه ها در فازهای مطالعاتی پروژه های سدسازی

گسترش زمینی پروژه	مرحله شناسایی	مرحله توجیهی	مرحله تفصیلی	مرحله اجرا
مخزن سد	۱:۵۰۰۰۰ یا ۱:۲۵۰۰۰*	۱:۲۰۰۰۰ یا ۱:۵۰۰۰	۱:۱۰۰۰ یا ۱:۵۰۰	ندارد
ساختگاه سد و سازه ها	۱:۲۵۰۰۰	۱:۲۰۰۰ یا ۱:۱۰۰۰	۱:۱۰۰۰ یا ۱:۱۰۰	۱:۲۰ یا ۱:۱۰۰
کانال انتقال، تونل و راه	۱:۲۵۰۰۰ یا ۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۰۰۰۰ یا ۱:۵۰۰۰	۱:۱۰۰۰ یا ۱:۵۰۰	۱:۲۰ یا ۱:۱۰۰

* شرایط زمین شناسی و پیچیدگی آن تعیین می کند

۷-۴ محتوای نقشه های زمین شناسی مهندسی

بطور کلی پنج گروه ویژگی های مواد زمین، شرایط آبریز زمین شناسی، زمین ریخت شناسی، فرآیندهای زمین پویایی و فعالیت های مهندسی در نقشه های زمین شناسی مهندسی گنجانده می شود (جدول ۲).

جدول ۲. محتوای نقشه های زمین شناسی مهندسی

عنوان محتوا	شرح محتوا
مواد زمین	نحوه گسترش، کیفیت و خواص فیزیکی و مکانیکی مواد تا عمق موثر
آبریز زمین شناسی	نحوه گسترش آبخوان ها، مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان ها، کیفیت آبها، فشارهای هیدرواستاتیکی، خوردگی و انحلال مواد، نوسانات سطح آب زیرزمینی، جریان های آبی و گرا دیان هیدرولیکی
زمین ریخت شناسی	نمایش و توضیح توپوگرافی و عناصر مهم پستی و بلندی، آرایش شیب دامنه ها
زمین پویایی	نمایش روند و شدت فرسایش و رسوبگذاری، فرآیندهای بادی، حرکت دامنه ای، فرونشست، رمبندگی، زلزله، فعالیت های تکتونیکی
فعالیت های مهندسی	عملیات اکتشاف و شناسایی ژئوتکنیکی، معادن، راههای دسترسی، مناطق مسکونی، چاههای آب، چشمه ها

۷-۵ طبقه بندی نقشه های زمین شناسی مهندسی

دو اصل مهم معیار طبقه بندی و مرزبندی پهنه ها باید در طبقه بندی مواد زمین در نقشه های زمین شناسی مهندسی مورد توجه قرار گیرد. دشواری اصلی در تهیه نقشه های زمین شناسی مهندسی، گزینش آندسته از ویژگی های فیزیکی و مکانیکی مواد زمین است که در ارتباط با مقاومت زمین، دوام و نفوذپذیری پیوند خورده باشد، مهمترین این ویژگی عبارت انداز:

الف) ترکیب کانی شناسی که رابطه نزدیکی با وزن مخصوص (γ)، چگالی (G_s)، تخلخل (n)، پوکی (e) و خواص خمیری دارد.

ب) ویژگی های بافتی و ساختی همانند دانه بندی، لایه بندی، تورق و نظایر آن.

ج) میزان رطوبت، اشباع شدگی، هوازگی و دگرسانی

یکی از رایج ترین روش های مرزبندی بین پهنه ها با ویژگی های مختلف استفاده از سیستم های طبقه بندی مهندسی و خاک است. مرز بین پهنه ها به روش درون یابی، عکسهای هوایی و ماهواره ای، نقشه برداری و شبکه سلولی انجام می شود. بنا به پیشنهاد انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی روش طبقه بندی مواد زمین برای محیط های سنگی به شرح زیر است.

۱. گونه زمین شناسی مهندسی (ET^1)

۲. گونه سنگ شناسی (LT^2)

۳. مجموعه سنگ شناسی (LC^3)

۴. رشته سنگ شناسی (LS^4)

۱. گونه زمین شناسی مهندسی

کوچکترین واحد چینه شناسی است و معادل لایه^۵ می باشد (جدول). دارای بالاترین درجه همگنی فیزیکی است. عموماً با ویژگی های سنگ بکر همخوان است. این واحد را بر پایه مقادیر آزمایشات فیزیکی و مکانیکی و کانی شناسی سنگ بکر بدست آورد و از مقادیر میانگین داده ها می توان استفاده نمود. این واحد معمولاً در نقش های بزرگ مقیاس قابل نمایش است. در نقشه های دیگر می توان در تفسیر نقشه و یا بصورت نقطه ای به ویژگی های آن اشاره کرد.

۲. گونه سنگ شناسی

جزیی از بخش^۶ یک سازند زمین شناسی است و دارای ترکیب، ساخت و بافت کاملاً همگن است؛ ولی معمولاً حالت فیزیکی یکنواختی ندارد. از مقادیر میانگین خواص مواد زمین نمی توان استفاده نمود. می توان تصویری کلی از ویژگی های مواد زمین ارائه نمود. این واحد را می توان روی نقشه های متوسط و بزرگ مقیاس نشان داد.

۲. مجموعه سنگ شناسی

این واحد نقشه ای معادل سازند زمین شناسی است. از یک سری از گونه های سنگ شناسی تشکیل می شود که از نظر خاستگاه با هم ارتباط دارند که در یک دوره رسوبگذاری و حوزه رسوبی تشکیل شده و یا تحت شرایط جغرافیایی و تکتونیکی ویژه ای به وجود آمدند. از نظر ویژگی های سنگ شناسی و حالت فیزیکی لزوماً یکنواخت نیستند، لذا نمی توان خواص فیزیکی و

¹ Engineering Geology Type

² Lithological Type

³ Lithological Complex

⁴ Lithological Suit

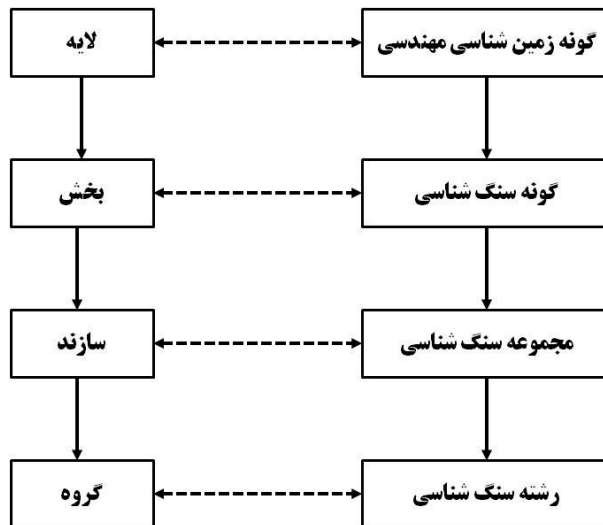
⁵ Bed

⁶ Member

مکانیکی واحدی برای کل مجموعه تعریف کرد. فقط می توان ویژگی های کلی و عمومی از این واحد در نظر گرفت. معمولاً ویژگی های زمین ریخت شناسی (رخساره) یکسانی می توان برای آنها در نظر گرفت. بعنوان واحدهای قابل نمایش در نقشه های متوسط و کوچک مقیاس در نظر گرفته می شوند.

۴. رشته سنگ شناسی

از مجموعه های سنگ شناسی تشکیل شده و از نظر خاستگاه و شرایط جغرافیایی و تکتیکی باهم پیوند دارند. ویژگی های فیزیکی و مکانیکی همگنی ندارند و فقط می توان خواص زمین شناسی مهندسی عمومی را برای آنها تعریف کرد ولی از آنجا که در یک مجموعه جغرافیایی واقع اند می توان یک روش بررسی و شناسایی را اتخاذ کرد. تنها در نقشه های کوچک مقیاس قابل نمایش هستند.



جدول ۳. تقسیم بندی نقشه های زمین شناسی مهندسی بر حسب منظور، محتوا و مقیاس

مقیاس	محتوا	منظور	انواع	مثال
مقیاس	نقشه های کوچک مقیاس	نقشه های چندمنظوره، جامع و میان مقیاس است.	نقشه های بزرگ مقیاس	مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و بزرگتر
			نقشه های میان مقیاس	مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰
			نقشه های کوچک مقیاس	مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و کوچکتر
محتوا	نقشه های تفکیکی	نقشه های چندمنظوره	نقشه های جامع	نقشه ژئوتکنیک خاکهای استان گلستان
			نقشه های کمکی	نقشه های گسل های گرگان و دشت
			نقشه های تکمیلی	نقشه جهت شیب
منظور	نقشه های ویژه	نقشه های چندمنظوره	نقشه های ویژه	نقشه آلودگی خاک
			نقشه های چندمنظوره	نقشه زمین شناسی مهندسی شهر شیراز
			نقشه های تفکیکی	نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش روستای برنجوین مینودشت

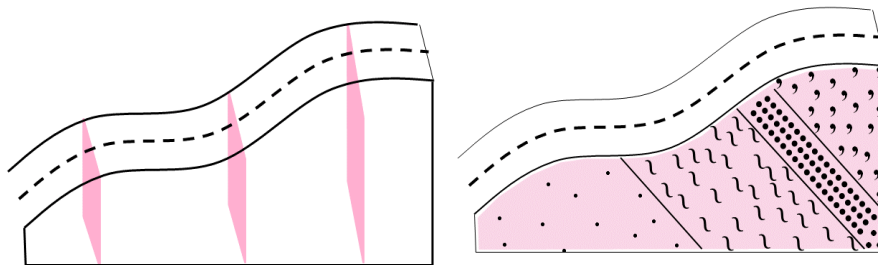
یک نقشه زمین شناسی مهندسی معمولاً شامل هر سه معیار فوق است. مثلاً یک نقشه چندمنظوره تفکیکی بزرگ مقیاس. نقشه زمین شناسی مهندسی تهران یک نقشه چندمنظوره، جامع و میان مقیاس است.

۵-۷ نیمرخ زمین شناسی مهندسی

نقشه ها نمایش دهنده عوارض سطحی زمین در فضای دو بعدی (سطح افق) اند و برای پی بردن به وضعیت ارتفاعی عوارض زمین در اعماق نیاز به اندازه گیری پارامترهای زمین و تهیه نقشه است. این کار به کمک نیمرخ های طولی (پروفیل) و عرضی (مقطع) انجام می شود. نیمرخ ها کاربردهای زیادی در مسیر مطالعه، طراحی و اجرای پروژه های مهندسی نظیر ساختمان های مرتفع، بزرگراهها، سد سازی و فضاهاى زیر زمینی دارند. همچنین در اکتشاف مواد معدنی و استخراج آن از نیمرخ ها استفاده می گردد.

نیمرخ طولی^۱ عبارت از نمایش تصویر بعد ارتفاعی عوارض زمین در امتداد محور یک مسیر است. به عبارت دیگر نیمرخ طولی، برش قائمی از زمین است که در امتداد محور طولی یک عارضه تهیه می شود.

نیمرخ عرضی^۲ عبارت از نمایش تصویر بعد ارتفاعی عوارض زمین عمود بر امتداد محور یک مسیر است. به تعبیر دیگر فصل مشترک سطح خارجی زمین با صفحه قائم عمود بر محور مسیر تشکیل نیمرخ عرضی را می دهد.



شکل ۱. نیمرخهای طولی (راست) و عرضی (چپ)

¹ Profile

² Cross Section