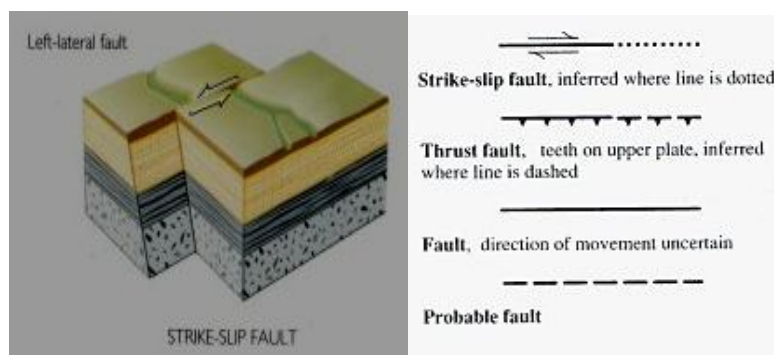
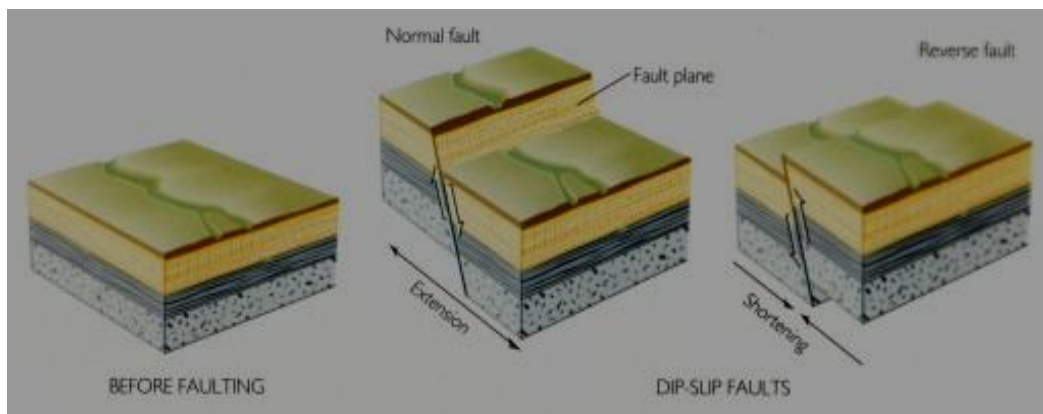


- گسل های امتداد لغز (Strike - Slip)

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

گسل ها در نقشه های زمین شناسی توسط **خطوط قرمز** نشان داده می شود. در شکل نماد گسل های امتداد لغز، معکوس، عادی و گسل احتمالی نشان داده شده است.



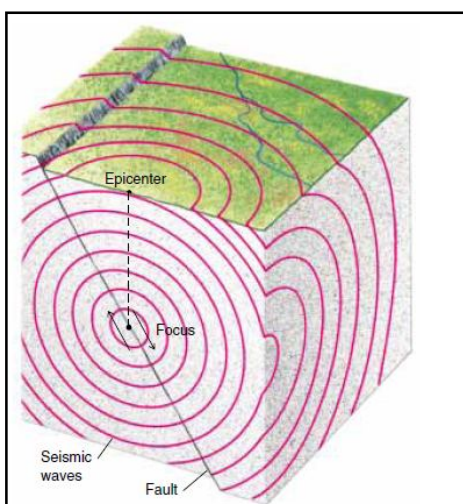
فصل هفتم

زمین لرزه



زمین لرزه سال 1995، اوزاکا - ژاپن

7- زمین لرزه



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

پخش می شوند. در حقیقت کانون زمین لرزه نقطه ای درون زمین است که انرژی زمین لرزه از آنجا نشأت می گیرد.

1-7- اصطلاحات

- کانون زمین لرزه

کانون (focus) زمین لرزه نقطه ای درون زمین است که امواج از آن نقطه منتر می شوند

- مرکز سطحی زمین لرزه

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

- عمق زمین لرزه

فاصله مرکز زلزله تا کانون زمین لرزه را عمق زلزله می گویند. زلزله ها بر اساس عمق به سه دسته کم عمق (با عمق کانون کمتر از 60 کیلومتر)، عمق متوسط (با عمق کانون بین 60 تا 300 کیلومتر) و عمیق (با عمق کانون بیشتر از 300 کیلومتر) تقسیم می کنند.

- پیش لرزه

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

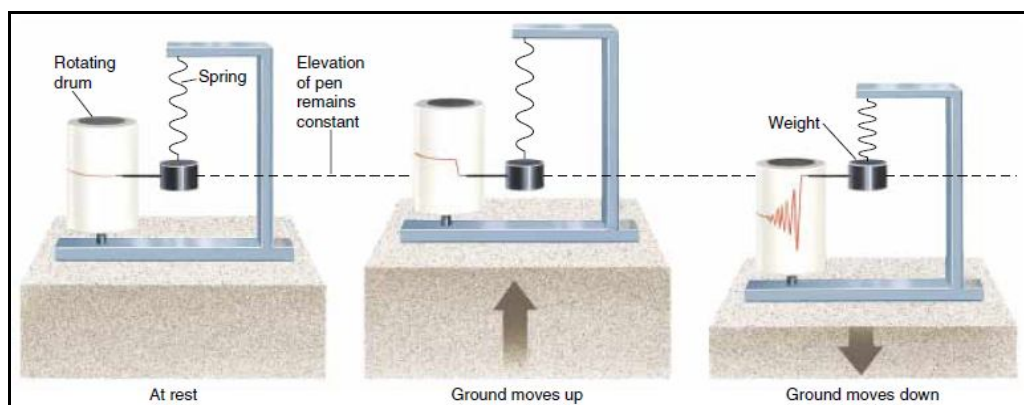
- پس لرزه

زلزله های کوچکی که پس از زمین لرزه اصلی رخ می دهند. هر چه از زمان زمین لرزه اصلی دورتر می شویم، بزرگی این لرزه ها کمتر و فواصل زمانی بین آنها بیشتر می شود.

- لرزه نگار

با انتشار امواج دستگاه هایی به نام لرزه نگار آنها را ثبت می کنند. لرزه نگار ها (Seismogram) می توانند لرزه نگاشت یک زمین لرزه را ثبت کنند. مکانسیم لرزه نگار ها یک وزنه سنگین و آویخته است که اینرسی آن باعث می

شود که تا زمانی که زمین بدون حرکت است، ساکن بماند ولی با حرکت زمین می تواند حرکت های افقی و قائم را ثبت کند. در نتیجه ثبت امواج ساینموگراف (لرزه نگاشت) بدست می آید. در شکل زیر نحوه کارکرد لرزه نگار و یک لرزه نگاشت نشان داده شده است.



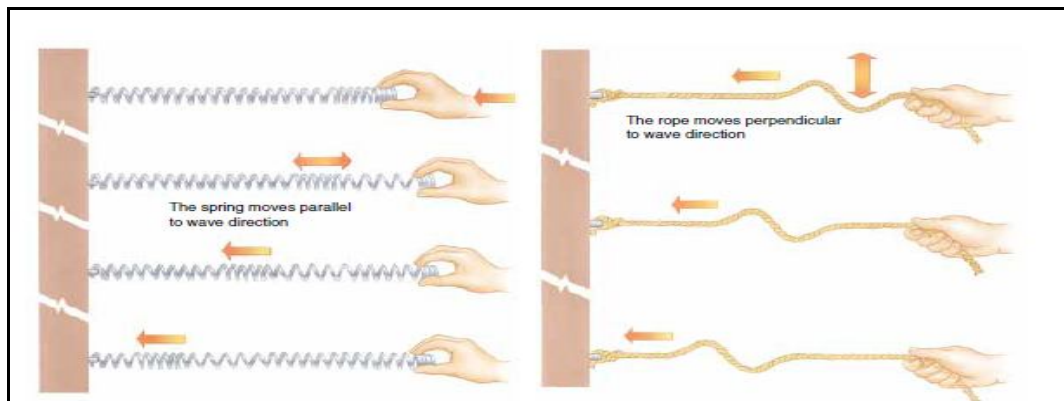
2-7- امواج لرزه ای

در اثر ارتعاش زمین دو نوع موج ایجاد می شود : 1- امواج سطحی 2- امواج درونی

1-2-7- امواج درونی

این امواج به دو دسته فشاری P و برشی S تقسیم بندی می شوند.

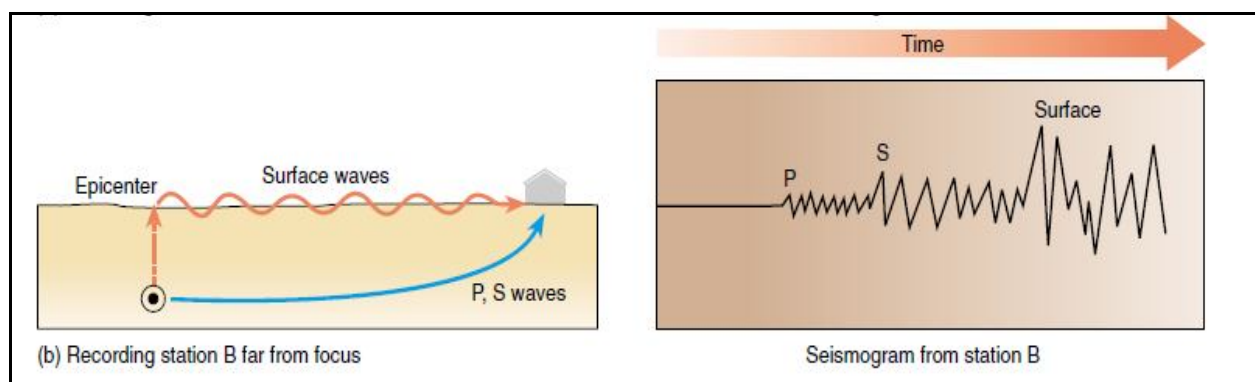
امواج فشاری سرعت زیادی دارند (30000 km/h) و به دلیل اینکه اولین امواجی هستند که به لرزه نگار ها می رسند به آنها امواج اولیه گفته می شود. این امواج توانایی این را دارد که از تمام بخش های کره زمین عبور کند. **امواج برشی** یا ثانویه با سرعت 14000 km/h حرکت می کنند. این امواج توانایی عبور از هسته خارجی زمین (که به صورت مذاب است) را ندارند. این امواج پس از امواج اولیه به لرزه نگار می رسند. این دو نوع موج تفاوت اساسی در نحوه انتشار دارند. نحوه انتشار امواج اولیه در سمت چپ و امواج ثانویه در سمت راست شکل زیر نشان داده شده است.



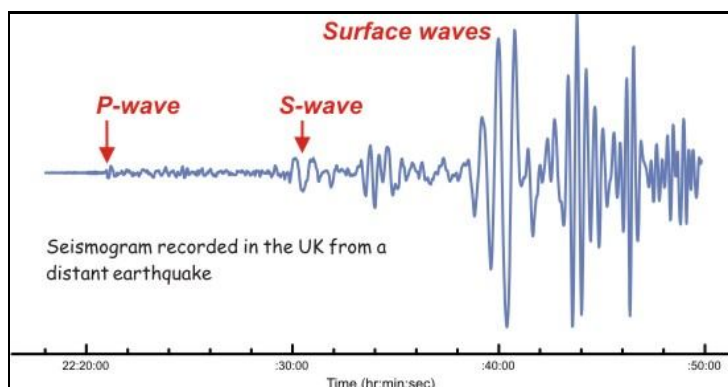
7-2-2- امواج سطحی

این امواج در سطح زمین حرکت می کنند و به دو نوع لاو (Love wave) و ریلی (Rayleigh wave) تقسیم بندی می شوند. ارتعاشات لرزه ای امواج لاو بیشترین خسارات را در هنگام زمین لرزه ایجاد می کند.

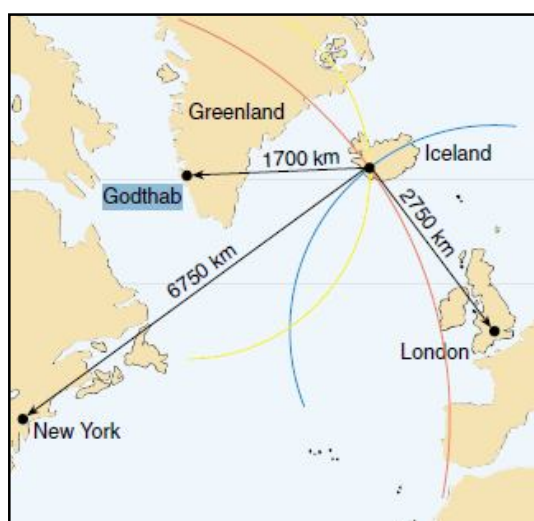
با توجه به سرعت امواج درونی و سطحی، در هنگام زلزله، سه نقطه پیک بر روی لرزه نگاشت ها ثبت می شود که به ترتیب زمانی نشانگر زمان رسید امواج اولیه، ثانویه و سطحی می باشد. به کمک اطلاعات ثبت شده بر روی لرزه نگاشت ها می توان مرکز سطحی و بزرگی زمین لرزه ها را تعیین کرد.



در شکل زیر یک لرزه نگاشت نشان داده شده است. به زمان رسید امواج اولیه و ثانویه و سطحی و ثبت آنها توجه کنید.



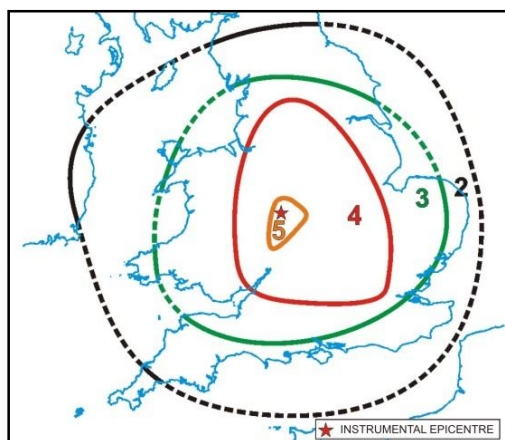
7-3- تعیین مرکز سطحی لرزه



با توجه به اختلاف زمان رسید امواج P و S و مشخص بودن سرعت این امواج می توان فاصله مرکز سطحی را با محل لرزه نگاشت تعیین کرد که نقطه ای بر روی دایره ای با شعاع فاصله تعیین شده واقع شده است. بنابراین با در اختیار داشتن حداقل سه لرزه نگاشت و ترسیم 3 دایره محل دقیق مرکز سطحی تعیین می شود. چنانچه در شکل ملاحظه می شود با لرزه نگار های واقع در گرینلند، امریکا و انگلیس ، مرکز سطحی زمین لرزه ای در ایسلند تعیین شده است. برای تعیین فاصله کانون تا محل لرزه نگار می توان از رابطه زیر استفاده کرد.

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

7-4- شدت زمین لرزه

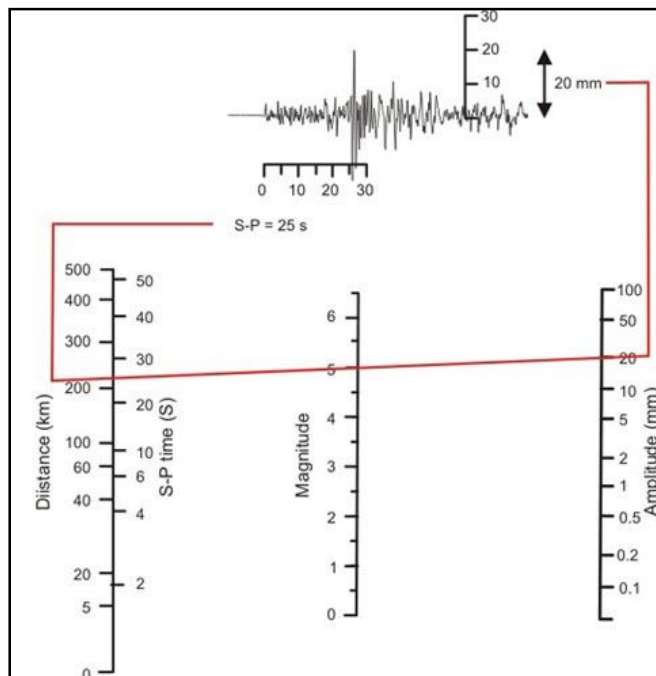


شدت زمین لرزه (Intensity) که با مقیاس مرکالی معرفی می شود، یک مقیاس نسبی است که در آن اثرات وقوع زمین لرزه در یک موقعیت خاص را نشان می دهد. این مقیاس شدت خرابی ایجاد شده توسط زمین لرزه را به 12 رده تقسیم کرده است. مشخص است که

با جمع آوری آمار در ارتباط با شدت زمین لرزه، می توان منحنی های هم شدت را ترسیم و در نهایت به نقطه با بالاترین شدت در مرکز منحنی ها دست یافت. در شکل یک نقشه هم شدت زمین لرزه نشان داده شده است. در جدول زیر مقیاس مرکالی نشان داده شده است.

مقیاس مرکالی	رویدادهای اتفاقی ممکن
1	احساس نمی شود
2	توسط شخص در حال استراحت یا در طبقات بالای ساختمان احساس می شود
3	در داخل ساختمان احساس می شود. اشیاء آویزان تکان می خورند ارتعاشی مثل گذر کامیونهای سبک دارند. مدت لرزش قابل برآورد است. ممکن است زلزله به حساب نیاید
4	اشیاء آویزان تاب می خورند. ارتعاشی مثل گذر کامیونهای سنگین یا احساس ضربتی مثل برخورد یک توپ سنگین به دیوار دارد. ماشینهای پارک شده تکان می خورند. پنجره ها، بشقابها و درها به صدا در می آیند. شیشه ها به صدا در می آیند. ظروف سفالی به هم می خورند. در حد فوقانی iv دیوارهای چوبی و قابها ترک بر می دارند
5	در خارج ساختمان احساس می شود. جهت آن قابل برآورد است. افراد خواب بیدار می شوند. مایعات به حرکت در می آیند و برخی از آنها به خارج ظرف خود می ریزند. اشیاء ناپایدار کوچک جا به جا یا واژگون می شوند. درها تکان می خورند و باز و بسته می شوند. ساعت های آونگی متوقف شده، به حرکت آمده یا سرعشان تغییر می کند
6	توسط همه احساس می شود. بسیاری متوحش شده و از ساختمانها خارج می شوند. اشخاص به طور نامتعادلی حرکت می کنند. پنجره ها، بشقابها و ظروف شیشه ای می شکنند. اشیاء، کتابها و چیزهای دیگر از قفسه ها به خارج می ریزند. عکسها از دیوارها فرو می افتند. مبلها جا به جا شده یا واژگون می شوند. گچهای ضعیف یا ساختمانهای نوع d ترک بر می دارند. زنگهای کوچک کلیساها و مدارس به صدا در می آیند. درختان و بوته ها تکان می خورند
7	ایستادن مشکل می شود. توسط رانندگان وسایل نقلیه احساس می شود. اشیاء آویزان شدیداً نوسان می کنند. مبلها و وسایل چوبی می شکنند بناهای نوع d صدمه می بینند و ترک بر می دارند. دودکشهای ضعیف در محل اتصالشان به سقف می شکنند. قطعات گچ، آجرهای سست، سنگ و کاشی سقوط می کنند، برخی از بناهای نوع c ترک بر می دارند. امواج آب در سطح حوضها و آبگیرها گل آلود می شود. لغزشها و حفرات کوچکی در سواحل شنی و ماسه ای ایجاد می شود. زنگهای بزرگ کلیساها به صدا در می آیند. نهرهای آبیاری صدمه می بینند
8	هدایت وسایل نقلیه مشکل می شود. بناهای نوع c صدمه می بینند و بخشی از آنها فرو می ریزند. به بناهای نوع b کمی صدمه وارد می آید بناهای نوع a بدون صدمه باقی می مانند. گچ کاریها و برخی از دیوارها فرو می ریزند. دودکشها و بناهای یادبود، برجها و مخازن مرتفع می چرخند و فرو می ریزند. دیوارهای جداکننده ای که محکم نباشد از محل خود خارج می شوند. شمعهای فرسوده شده می شکنند. شاخه های درختان می شکنند. میزان دما و جریان آب چشمه ها و چاهها تغییر می کند. در زمینهای مرطوب و دامنه های پرشیب ترکهایی ایجاد می شود
9	عموم مردم احساس وحشت می کنند. بناهای نوع d کاملاً تخریب می شوند، بناهای نوع c به شدت صدمه می بینند و گاه کاملاً فرو می ریزند، بناهای نوع b به طور جدی صدمه می بینند. ساختمانهای پیش ساخته، اگر خوب به هم متصل نشده باشند، از محل پی جا به جا می شوند مخازن شدیداً صدمه می بینند. لوله های زیرزمینی می برند. ترکهای آشکاری در زمین ایجاد می شود. در زمینهای آبرفتی، ماسه و گل به خارج فوران می کنند
10	پی اغلب بناهای معمولی و پیش ساخته تخریب می شود. برخی از سازه های چوبی خوب ساخته شده و پلها تخریب می شوند. سدها و خاکریزها صدمه جدی می بینند. زمین لغزه های بزرگ به وقوع می پیوندد. آب از ساحل کانالها، رودخانه ها، دریاچه ها و غیره به خارج می ریزند. ماسه و گل در سواحل و زمینهای هموار به طور افقی جا به جا می شوند. ریلهای راه آهن کمی خم می شوند
11	ریلها به شدت خم می شوند. خطوط لوله زیرزمینی کاملاً از سرویس خارج می شوند
12	خسارت تقریباً به طور کامل است. توده های سنگی بزرگ جا به جا می شوند. اشیاء به هوا پرتاب می شوند

5-7- بزرگی زمین لرزه



بزرگی زمین لرزه (Magnitude) توسط آقای ریشتر در سال 1935 ابداع شد. بزرگی (M) به لگاریتم دامنه بزرگترین موجی که توسط یک لرزه نگاست (بر حسب میکرون) استاندارد که در فاصله 100 کیلومتری از مرکز سطحی زمین لرزه قرار گرفته ثبت می شود اطلاق می شود. با توجه به اینکه لرزه نگاست ممکن است در فاصله ای کمتر یا بیشتر از 100 کیلومتری مرکز سطحی قرار گرفته باشد برای بدست آوردن بزرگی از **نوموگرام** استفاده می شود. در شکل مشخص است که با در اختیار داشتن بزرگترین دامنه موج (20 میلی متر) و اختلاف زمان رسید امواج P و S (23 ثانیه) بزرگی 5 ریشتر برای زمینلرزه بدست آمده است.

6-7- انرژی زمین لرزه

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

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

برای مقایسه میزان انرژی آزاد شده در زمین لرزه با انفجار TNT در جدول زیر آورده شده است. نکته قابل توجه این است که میزان انرژی هر زمین لرزه با افزایش هر ریشتر 30 برابر می شود. برای مثال میزان انرژی آزاد شده در زمین لرزه های 5، 6 و 7 ریشتری به ترتیب 30، 900، 27000 برابر انرژی آزاد شده در زمین لرزه 4 ریشتری است.

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

7-7- دوره بازگشت زمین لرزه ها

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

7-8- تقسیم بندی گسل ها از نظر فعالیت

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

- گسل های فعال

گسل های فعال به گسل هایی گفته می شود که یا رسوبات کواترنر را بریده باشد (یک فعالیت در 35000 سال گذشته، یا دو فعالیت در 500000 سال گذشته) یا در منطقه زمین لرزه های تاریخی رخ داده باشد.

- گسل های با توان فعالیت

گسل های فعال به گسل هایی گفته می شود که اگر چه نشانه ای از زمین لرزه های تاریخی دیده نمی شود ولی گسل لایه ای از کواترنر (رسوبات جدید) را قطع کرده است.

- گسل غیر فعال

گسل غیر فعال نیز گسلی است که نه رسوبات کواترنر را قطع کرده و نه هیچ فعالیت تاریخی داشته است.

فصل هشتم

آبهای زیرزمینی

8- آبهای زیرزمینی

آبهایی که در زیر زمین وجود دارد و تمام خلل و فرج بین ذرات را پر کرده است را آب زیرزمینی می نامند. منشاء آبهای زیرزمینی به دو دسته اصلی تقسیم می شود:

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

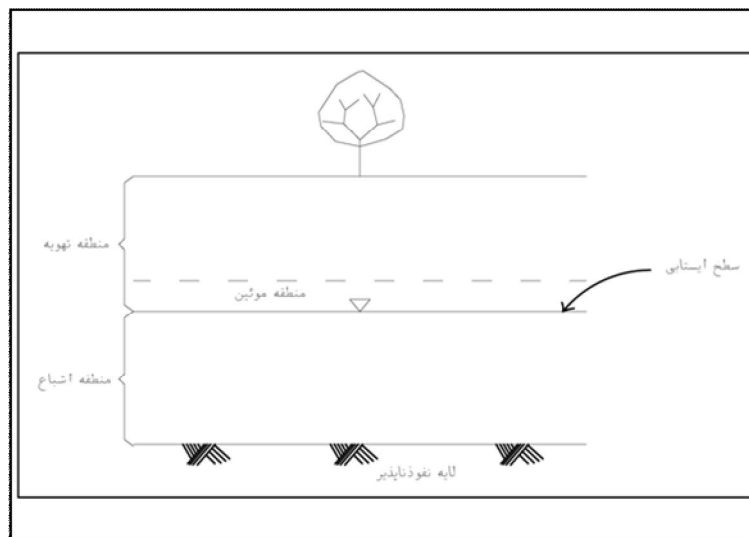
8-1- منطقه بندی

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

1- منطقه تهویه

2- منطقه اشباع

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



نمایی از مدل ساده آب زیرزمینی

2-8- اشکال مختلف آب در خاک

آب در خاک به 3 صورت اصلی وجود دارد:

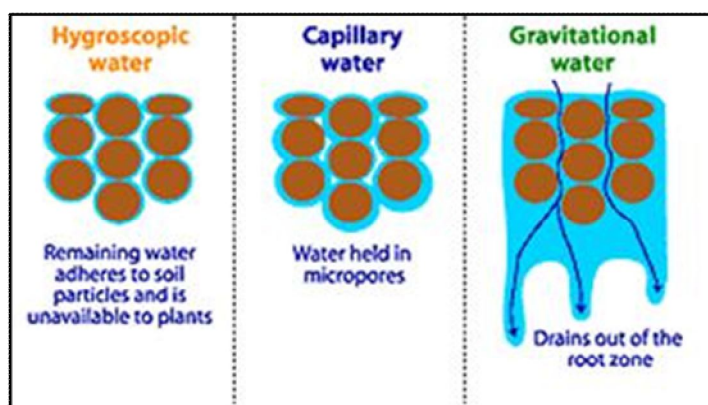
1- آب جذبی که جذب سطح بلور و کانی های خاک می شود و خود به دو صورت دیده می شود

1-1- آب نمی: تضاریس بسیار ریز سطح خاک توسط این آب آغشته می شود

2-1- آب غشایی: این آب، آب نمی و سطوح ذرات را می پوشاند و اگر چه ضخامت بسیار متفاوتی دارد ولی

هیچ گاه از 0.1 میکرون تجاوز نمی کند. این آب که آب هیگروسکوپیک (Hygroscopic Water)

نامیده می شود در اثر نیروی ثقل جابجا نمی شود.



2- آب موئین: هرگاه رطوبت خاک از حد

هیگروسکوپیک بیشتر شد، آب در داخل لوله

هایی که بین ذرات خاک تشکیل می شود (تحت

اثر نیروی کاپیلاریته) بالا می آید ولی نیروی ثقل

نمی تواند آن را جابجا کند. به این آب آب

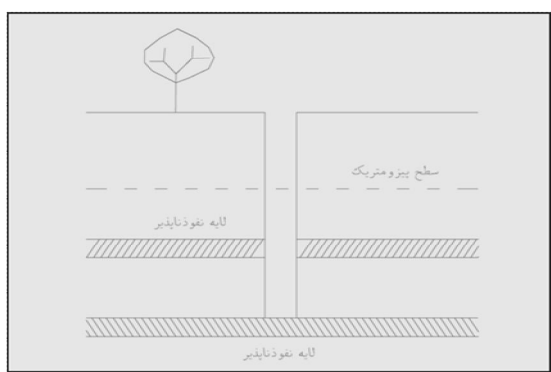
موئین (Capillary Water) گفته می شود.

3- آب آزاد (ثقلی): این آب (Gravitational

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

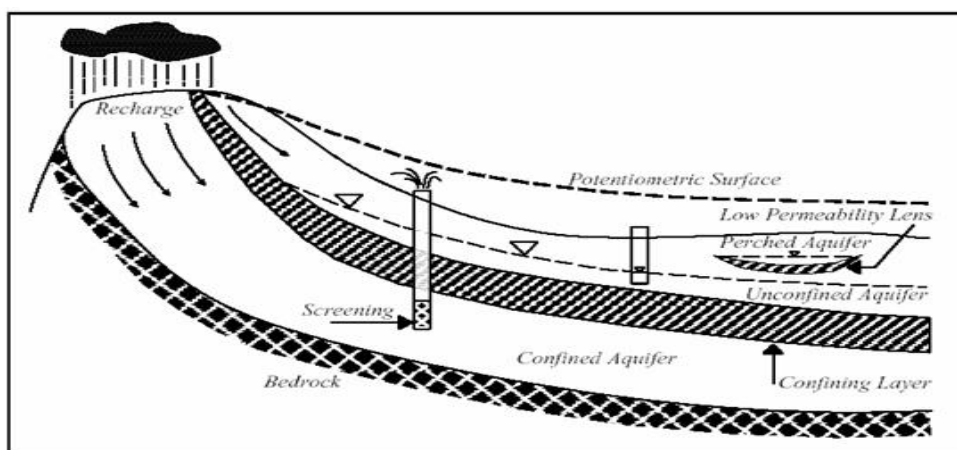
8-3- لایه آبدار (آبخوان یا سفره آب زیرزمینی)

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



لایه های آبدار را همچنین به دو دسته آزاد و بسته نیز تقسیم بندی می کنند. لایه آبدار آزاد به لایه آبداری گفته می شود که سطح ایستابی، سطح بالای آن را تشکیل دهد. لایه آبدار بسته لایه آبداری است که سطح بالای آن مشخص نیست و آب بین دو لایه نفوذناپذیر تحت فشار قرار دارد. در این حالت اگر چاهی در آن حفر شود سطح آب بالاتر از لایه اشباع قرار می گیرد که در این حالت به آن سطح پیزومتریک گفته می شود. این سطح پیزومتریک ممکن است بالاتر از

سطح زمین باشد که در صورت حفر چاه در این آبخوان ها آب به صورت آرتزین خارج خواهد شد. در شکل یک آبخوان تحت فشار و سطح پیزومتری نشان داده شده است. در شکل زیر آبخوان آزاد، تحت فشار، چاه آرتزین نشان داده شده است.



4-8- پارامتر های هیدرودینامیکی آب زیرزمینی

1-4-8- تخلخل

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

$$n\% = \frac{V_v}{V}$$

2-4-8- آبدهی ویژه (تخلخل موثر)

به نسبت حجم آبی که در اثر نیروی ثقل از یک خاک اشباع شده خارج می شود به کل حجم خاک که به درصد بیان می شود، تخلخل موثر یا آبدهی ویژه (Specific Yield) گفته می شود. این نسبت در خاک شنی 25%، در ماسه 20% و در رس ها کمتر از 3% است.

$$S_y = 100 \frac{V_y}{V}$$

Sy: آبدهی ویژه

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

V: حجم کل توده خاک

نگهداشت ویژه

3-4-8- نگهداشت ویژه

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

$$S_r = 100 \frac{V_r}{V}$$

Sr: نگهداشت ویژه

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

V: حجم کل توده خاک

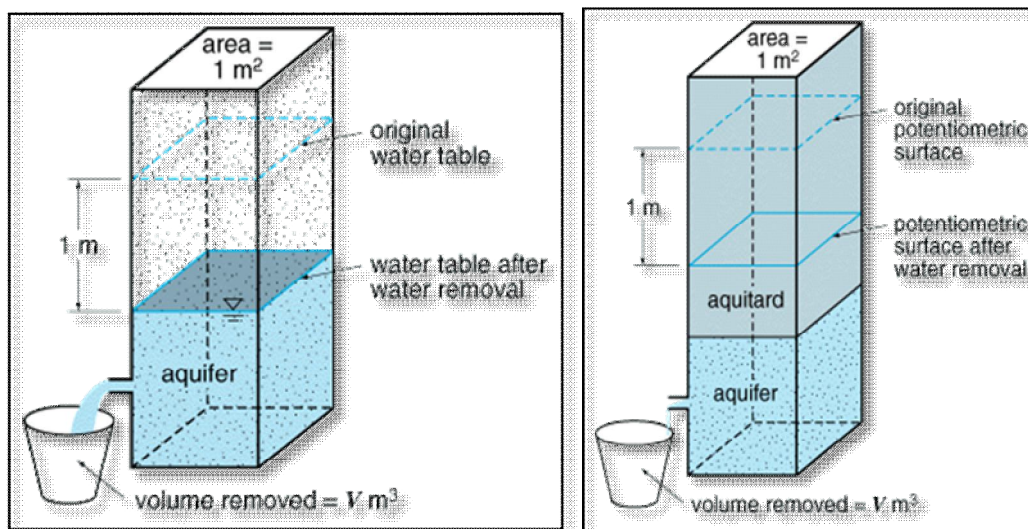
مجموع نگهداشت ویژه و آبدهی ویژه میزان تخلخل خاک را نشان می دهد

$$n = S_r + S_y$$

4-4-8- ضریب ذخیره

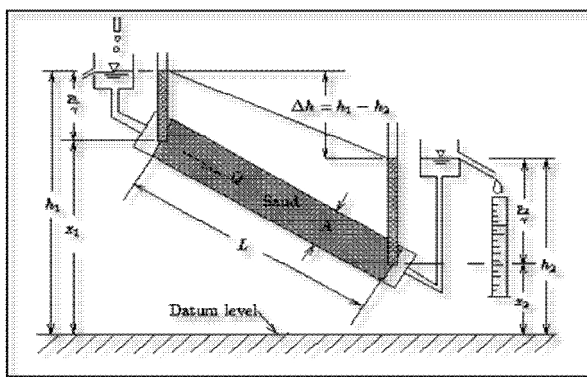
ضریب ذخیره (Specific Storage) عبارتست از نسبت حجم آبی که یک منشور قائم آبدار به سطح مقطع واحد به ازای واحد ارتفاع پیزومتری پس می دهد یا ذخیره می کند، به حجم کل منشور. این پارامتر را با S نشان می دهند.

در سفره های آبدار آزاد میزان این ضریب برابر با آبدهی ویژه است ولی در سفره های آبدار تحت فشار با میزان ضریب ذخیره متفاوت است. این میزان در سفره های آبدار آزاد بین 0.02 تا 0.3 تغییر می کند در حالی که در سفره های تحت فشار بین 10^{-7} تا 10^{-2} تغییر می کند. در شکل زیر تفاوت این مفهوم در سفره های آبدار آزاد (شکل سمت راست) و سفره های تحت فشار (شکل سمت چپ) نشان داده شده است.



5-8- حرکت آب های زیرزمینی

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



$$V = Ki$$

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

که در آن:

K : نفوذپذیری (بر حسب متر بر روز)

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

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

V : سرعت جریان (بر حسب متر بر روز)

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

$$Q = Kai$$

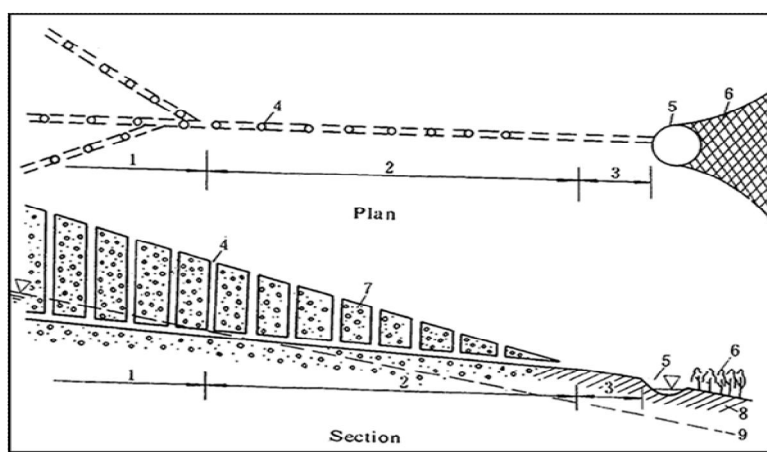
که در آن

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

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

8-6- قنات

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



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



7-8- آلودگی آبهای زیرزمینی

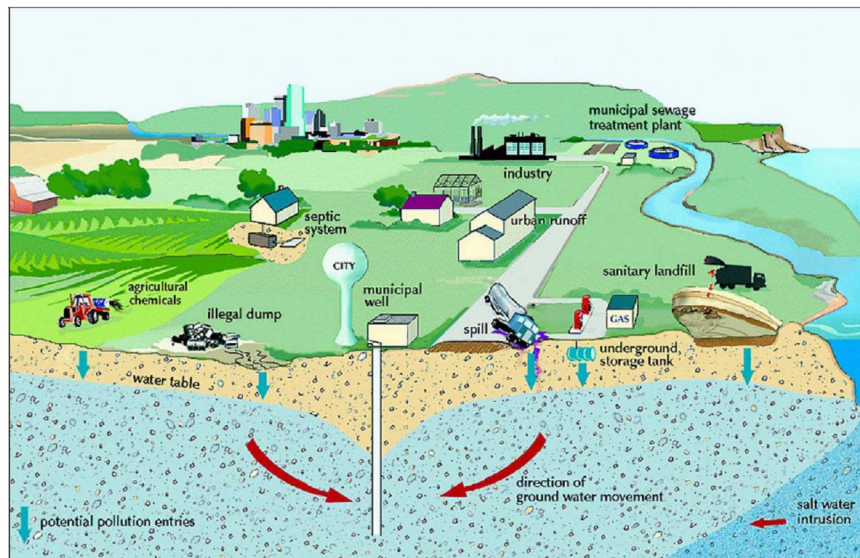
با افزایش جمعیت نیاز به آبهای زیرزمینی دو چندان شده است ولی به گسترش صنایع مختلف و پیشرفت تکنولوژی آبهای زیرزمینی همواره در معرض آلودگی قرار دارند. مهمترین روش های آلودگی آبهای زیرزمینی عبارتند از:

- آلودگی توسط کودهای کشاورزی

- چاه های دفع فاضلاب

- آلودگی حاصل از دفن زباله های صنعتی

- مناطق دفن زباله



1-7-8- لندفیل

یکی از روش های نسبتا جدید برای جلوگیری از آلودگی در مناطق دفن زباله استفاده از لندفیل ها می باشد. لندفیل، یک سیستم مهندسی دفع زباله است که در آن پسماند ها به چند گروه تقسیم بندی می شوند و پس از دفن پوشیده می شوند. مناطق دفن باید خصوصیات زیر را داشته باشد:

- نباید در زمین های مرطوب واقع شود

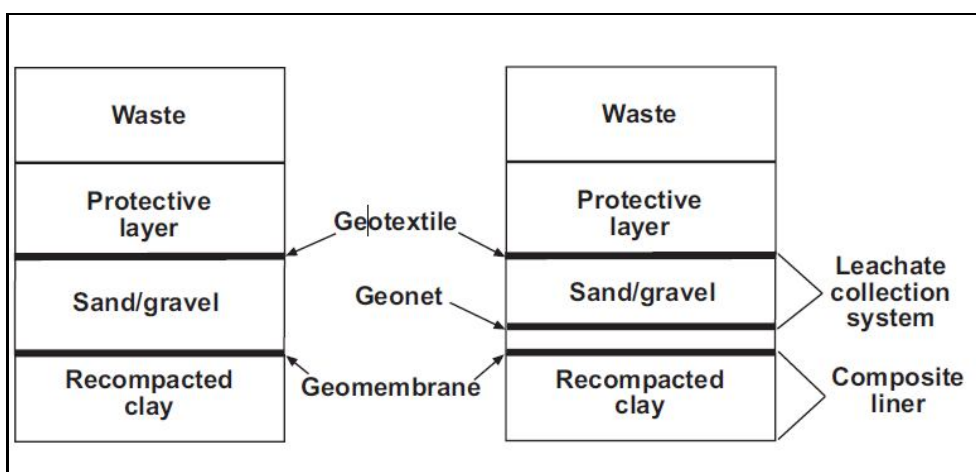
- از نواحی سیل خیز و گسل های فعال فاصله داشته باشد.

- محل دفن ایده آل برای دفن زباله جایی است که خاکی ضخیم با نفوذپذیری کم داشته باشد. این موضوع سبب می شود که خطر فرار شیرابه زباله به حداقل ممکن برسد.

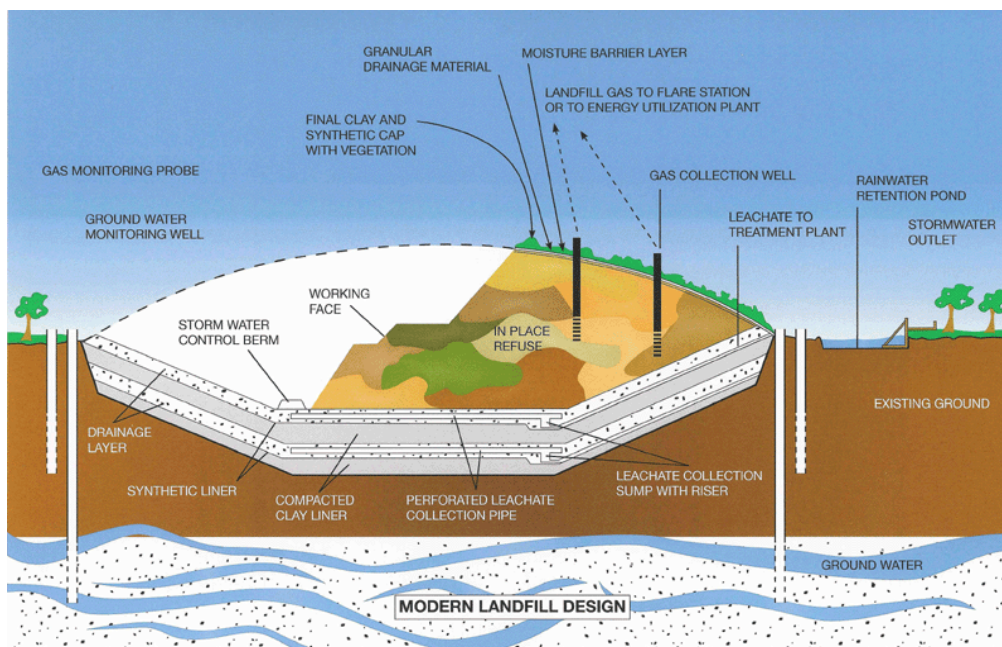
- سطح آب زیرزمینی در این مناطق باید تا حد امکان پائین باشد تا در صورت نشت به راحتی وارد آب زیرزمینی نشود.

- این محل نباید محل تغذیه باشد ، به عبارت دیگر جهت جریان آب زیرزمینی به سمت این نقطه باشد تا در صورت ورود شیرابه به آب زیرزمینی سرعت انتشار آن به حداقل برسد.

در شکل زیر ساختمان یک لند فیل نشان داده شده است



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



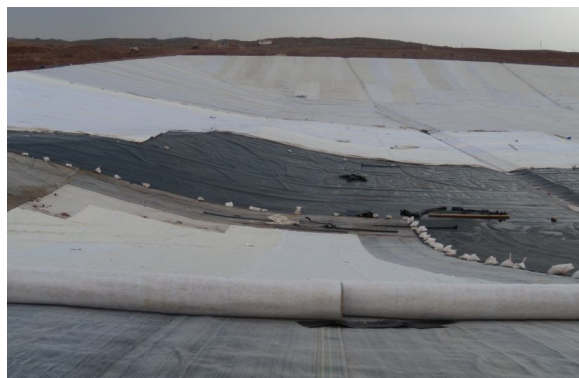
برای مشکل شیرابه تولید شده در لند فیل ها معمولا دو راهکار اصلی وجود دارد:

- 1- یا اینکه شیرابه به بخش بالایی لند فیل پمپ می شود تا دوباره به بخش تحتانی لندفیل برسد و این چرخه ادامه می یابد

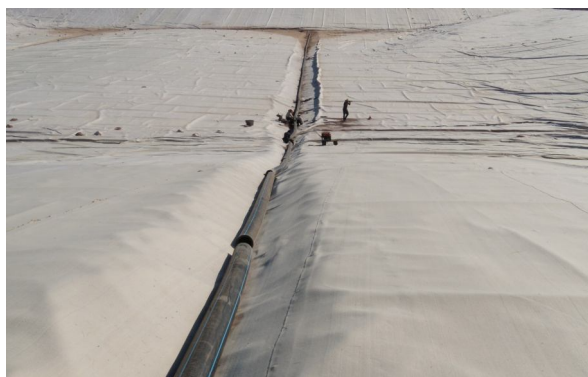
2- شیرابه را خارج و پس از تصفیه در کشاورزی مورد استفاده قرار دهند.

معمولا چاه هایی در اطراف لندفیل حفر می کنند تا هم به طور دوره ای کیفیت آب زیرزمینی اطراف لندفیل را آزمایش کنند (تا از خطر شکست لند فیل و آلودگی آب توسط شیرابه ها مطمئن شوند) و هم اینکه در صورت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به راحتی با پمپاژ آب سطح آب را پائین ببرند. در اشکال زیر نیز مراحل ساخت لندفیل کهریزک که محل دفن بهداشتی پسماند شهر تهران است نشان داده شده است.

- لایه ژئوممبراین



- قراردادن لوله های زهکش

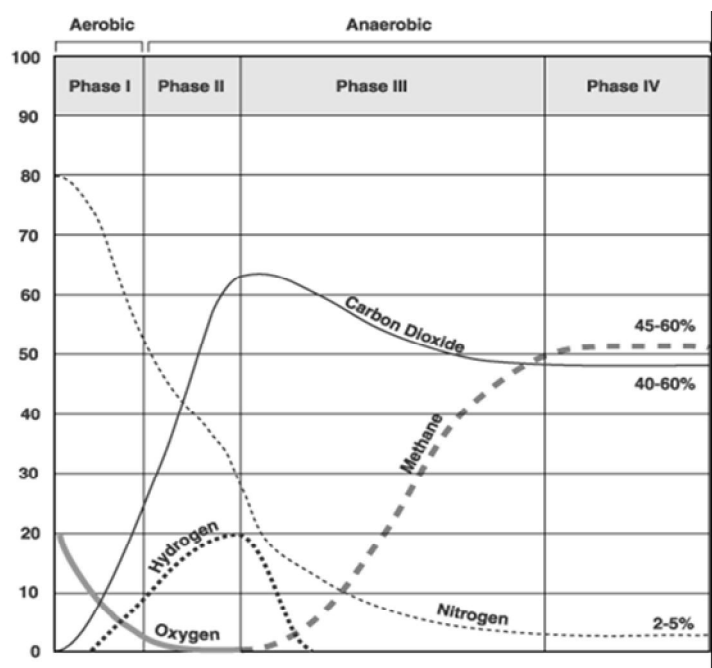


- ریختن لایه شن و ماسه



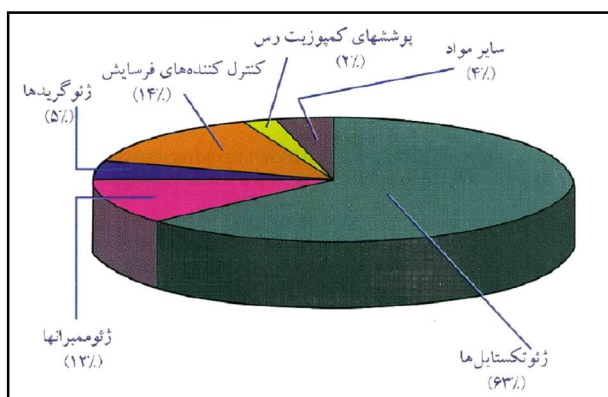
8-7-1- استفاده اقتصادی از لندفیل

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



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

8-8- ژئوسنتتیک



اصطلاح ژئوسنتتیک ها برای آن بخش از مواد ساختمانی ابداع شده که بوسیله صنایع نساجی و شیمی تولید می شوند. این مواد شامل ساختارهای صفحه ای مانند ژئوممبرانها، ژئوتکستایلها، ژئومت ها، ژئوگریدها، ژئونت ها و ساختارهای سه بعدی شامل ژئوسل ها، ژئوفوم ها و تشک های بتنی می باشند. صنعت

ژئوسنتتیک در دهه های اخیر رشد نمایی داشته است. کاربردهای آن در زمینه های مهندسی عمران مانند راه، راه آهن، مخازن آب، کنترل فرسایش و محیط زیست قابل توجه بوده است. استفاده از ژئوسنتتیک ها از روشهای تجربی در دهه 1960 تا روشهای علمی خوب بر پایه مطالعات تحلیلی و آزمون مواد در حال حاضر، به طور تصاعدی گسترش پیدا کرده است. ژئوسنتتیک ها امروزه به طور بی سابقه ای امکان طراحی و ساخت سدهای خاکی کوتاه را فراهم آورده اند. تطبیق پذیری، انعطاف و استحکام بالای ژئوسنتتیک ها کاربرد آنها را روز به روز بیشتر کرده است. در شکل روبرو سهم گروه های مختلف ژئوسنتتیک آورده شده است.

تجارت مواد ژئوسنتتیک در آمریکا در سال 2001 بیش از 1.1 بیلیون دلار با رشد سالانه 4% بوده است. ژئوتکستایل ها حدود دو سوم تجارت آمریکای شمالی را در اختیار دارند. کاربرد ژئوممبرانها شامل زهکشی، کنترل فرسایش، جلوگیری از انتشار مواد آلوده کننده و به عنوان جداکننده در کارهای بزرگ مانند خاکریزی جاده ها، راه آهن و پروژه های مشابه می باشد. مهمترین نقش ژئوممبران ها ایجاد لایه غیرقابل نفوذ در مقابل آب است و اصلی ترین کاربرد آن در حفاظت محیط زیست در خاکریزهای دفع زباله می باشد که حدود 64% بازار این مواد را در اختیار دارد. کاربرد این مواد در کارهای هیدرولیکی (شامل سد، مخازن و کانال ها) حدود 11.5% می باشد. در حال حاضر تولید پلی اتیلن های با چگالی زیاد و پلی اتیلن های با انعطاف پذیری بالا، حدود 60 تا 65 درصد بازار ژئوممبران ها را تشکیل می دهند، در حدود 20 تا 25% می باشد در حالی که این سهم برای ژئوممبران های PVC، 20 تا 25% می باشد. دیگر ژئوممبران ها از قبیل پلی پروپیلن های انعطاف پذیر یا ژئوممبران های قیری مابقی بازار ژئوسنتتیک ها را به خود اختصاص می دهند.

ژئوگریدها موادی هستند که غالباً برای مسلح سازی خاک به کار می روند. مواد قابل تجزیه حدود 60% ترکیبات ژئوسنتتیک مورد استفاده در کنترل فرسایش را تشکیل می دهند. این مواد که ژئومت نامیده می شوند قبل از تجزیه شدن امکان رشد گیاهان را فراهم می سازد. ژئوفوم ها برای جلوگیری از آسیب های یخ زدگی و در جاهایی که مواد بسیار سبک مورد نیاز است، به کار می روند. از الیاف ژئوسنتتیک نیز برای تقویت پوشش بتنی کانالها و قطعات پیش ساخته استفاده می شود.

8-8-1 ژئوتکستایل



ژئوتکستایل پارچه ای از جنس پلی استر یا پلی پروپیلن است که مهمترین خصوصیت آن مقاومت کششی بالا و همچنین سازگاری با انواع خاک و دوام 50 ساله در انواع خاک ها می باشد. کاربرد گسترده آن در رابطه با مسلح کردن خاک، زهکشی، جداسازی انواع لایه های خاک و فیلتراسیون در جاده ها، راه آهن، فرودگاه، خطوط مترو و خطوط لوله، مخازن نفتی و انواع دریاچه های مصنوعی، موج شکن ساحل دریا و انواع سدها و غیره کاربرد دارد.

8-8-2- جی سی ال



جی سی ال یا ژئوسنتتیک چندلایه متشکل از ورقه های ژئوسنتتیک با میان لایه های رسی (بتنونی) بوده و برای جلوگیری از نشت آب و آب بندی مورد استفاده قرار می گیرند. نوع متداول آن متشکل از یک لایه بتنویت در میان دو ورقه ژئوتکستایل یا در میان یک لایه ژئوتکستایل و ژئوممبران می باشد. لندفیل (سایت دفن زباله)، دریاچه های مصنوعی و کانال های آب، انواع استخر

های ذخیره آب کشاورزی و پرورش ماهی و...، حوضچه های تبخیر مواد شیمیایی، راه سازی، عایق ثانویه برای مخازن سوخت و ذخیره مواد نفتی و سوخت جهت جلوگیری از نشت به داخل خاک و آلودگی خاک و محیط زیست و غیره موارد استفاده اصلی این نوع از ژئوسنتتیک ها می باشد.

8-8-3- ژئوممبران

ژئوممبران ها ورقه های غشایی سنتتیک با نفوذپذیری بسیار پایین می باشند که به صورت پخش در محل یا پیش ساخته بوسیله غلتک زنی، گرم کردن یا دیگر فرایندها آماده شده و در محل نصب می گردند. ژئوممبرانها در کارهای مهندسی به عنوان ماده ای برای جلوگیری از جریان سیال در مواردی از قبیل زه های ذخیره آب، کانالهای آبیاری، خاکریزهای دفع زباله

شهری، تالاب های فاضلاب مایع، دیواره های آب بند، روکشهای محافظ سد، پوشش نهایی خاکریز های دفع زباله، و امثال آن مورد استفاده قرار می گیرند. ژئوممبران ها می توانند مسلح یا غیرمسلح باشند.



4-8-8- ژئوگرید

بنابر تعریف موسسه تحقیقات ژئوسنتتیک، ژئوگریدها ورقه های پلیمری سخت یا انعطاف پذیر مشبک با روزنه های بزرگ هستند که اصولاً به عنوان تقویت کننده خاک های ناپایدار مورد استفاده قرار می گیرند. مهمترین کاربردهای ژئوگریدها عبارتست از:

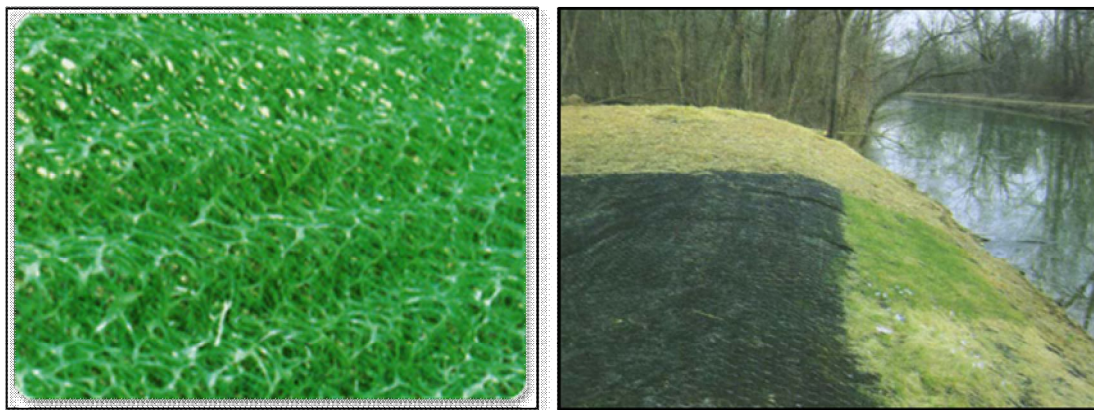


- مسلح کردن خاکریزها و سدهای خاکی
- تعمیر شیب ها و دیوار ههای تخریب شده کنار جاده ها
- به عنوان گابیون برای کنترل فرسایش سازه ها
- کاربرد در طراحی ترکیبی همراه با ژئوتکستایل ها و ژئوممبران ها
- به عنوان ورقه مهاري در سطح دیوارهای حائل

5-8-8- ژئومت

ژئومت (Geomat) این مواد حصیرهای سه بعدی هستند که برای کنترل فرسایش و پوشش کانال ها به کار می روند. ژئومت ها با هدف تولید مواد کنترل کننده فرسایش با استحکام مناسب و سازگار با محیط زیست توسعه یافته اند. ژئومت ها، مقاومت خاک نسبت به فرسایش را با فراهم نمودن محیط مناسب برای رشد و از دیاد گیاهان، افزایش می دهند. این حصیرها در ابتدا و قبل از آنکه گیاهان پوششی فرصت استقرار داشته باشند، از شیب خاک در مقابل اثرات باد و باران محافظت و از شستشوی

ذرات آن جلوگیری می کنند. رشد گیاهان و استقرار ریشه ها در خاک به عنوان لنگری حصیر را محکم بر روی خاک نگاهداشته و مقاومت خاک را در برابر جریان هایش دید رواناب بالا می برد. شیب ها ممکن است قبل یا بعد از کارگذاری این حصیرها بذریابی شوند.



فصل نهم

طبقه بندی مهندسی توده سنگ

9- طبقه بندی مهندسی توده سنگ

9-1 روش RMR

پیش از این راجع به طبقه بندی دیر و میلر در مورد سنگ ها صحبت شد ولی کاملاً مشخص است که تنها با یک یا دو پارامتر نمی توان راجع به رفتار توده سنگ صحبت کرد. بنابراین در یک طبقه بندی خوب باید از چندین پارامتر برای پیش بینی رفتار سنگ استفاده کرد. بنیاد ووسکی طبقه بندی RMR (Rock Mass Rating) را به همین منظور ارائه داد. وی در این طبقه بندی تمام عوامل موثر در رفتار توده سنگ را در نظر گرفت و برای طبقه بندی به هر یک از آنها با توجه به اهمیت آن امتیاز داد. مهمترین پارامتر های مورد بررسی در این طبقه بندی عبارتند از:

1- مقاومت سنگ با امتیاز 1 تا 15

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

2- شاخص کیفیت توده سنگ RQD با امتیاز 3 تا 20

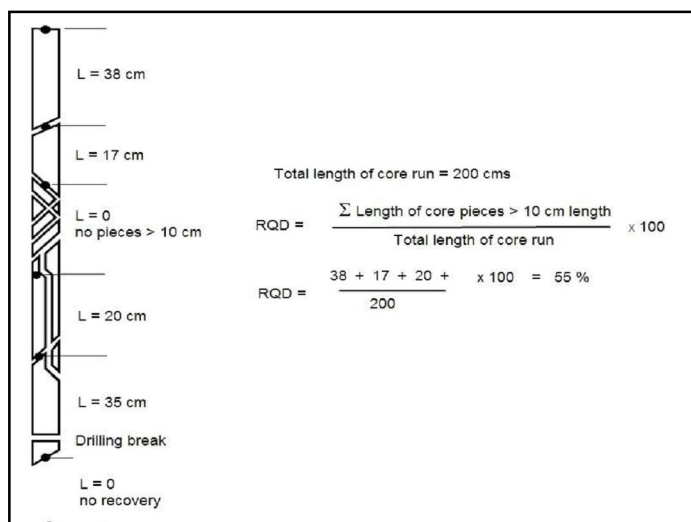
RQD %	>90	75-90	50-75	25-50	<25
Rating	20	17	13	8	3

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

طول مغزه های بزرگتر از 10 سانتی متر

کل طول حفاری

شاخص کیفیت توده سنگ را به 5 رده اصلی تقسیم بندی می کنند.



RQD%	توصیف
90-100	عالی
75-90	خوب
50-75	متوسط
25-50	ضعیف
0-25	خیلی ضعیف

عیب های روش تعیین **RQD** معیار مغزه های با طول 10 سانتی متر است، به عبارتی اگر یک مغزه سنگی از 10 شکستگی با فاصله 10 سانتی متر یا 3 شکستگی با فاصله 30 سانتی متر تشکیل شده باشد یا بدون شکستگی باشد، RQD برابر با 100 خواهد داشت. بنابراین در به کار بردن عدد شاخص کیفی توده سنگ در این رده بندی باید دقت لازم را به کار برده و همواره قضاوت مهندسی داشته باشیم. منظور از قضاوت مهندسی در اینجا بررسی تمام جوانب است و تنها با در اختیار داشتن تنها یک عدد راجع به کل توده سنگ قضاوت نکنیم.

3- فاصله شکستگی ها با امتیاز 5 تا 20

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

4- شرایط شکستگی ها با امتیاز 0 تا 30

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

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

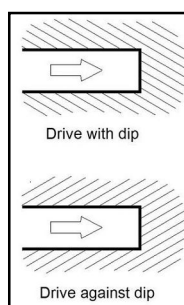
5- آب زیرزمینی با امتیاز 0 تا 15

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

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

مجموع این 5 فاکتور 100 امتیاز خواهد داشت که معرف عدد RMR اولیه می باشد. این عدد توسط فاکتور ششم (یعنی تصحیح جهت حفاری) تغییر می کند تا در نهایت به RMR نهایی برسیم.

6- جهت و امتداد شکستگی



این امتیاز مربوط به جهت شکستگی و جهت حفاری می باشد. بالاترین امتیاز مربوط به حفاری در جهت شیب و لایه های با شیب 45 تا 90 درجه است. بدترین حالت شیب کم و حفاری در خلاف جهت شیب است. این امتیاز از 0 تا 25 تغییر می کند.

در نهایت عدد RMR بدست می آید و در یکی از 5 رده زیر قرار می گیرد.

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

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

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

بنابراین چنانچه میبینید RMR بین 80 تا 100 زاویه اصطکاک 45 درجه، چسبندگی بیش از 400 کیلو پاسکال، شیب پایدار در زاویه شیب بیشتر از 70 درجه داشته و تونل با عرض دهانه 15 متر تا 20 سال پایدار است.

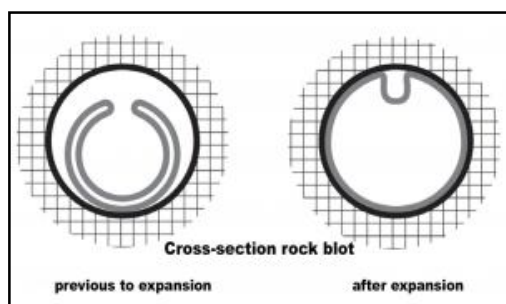
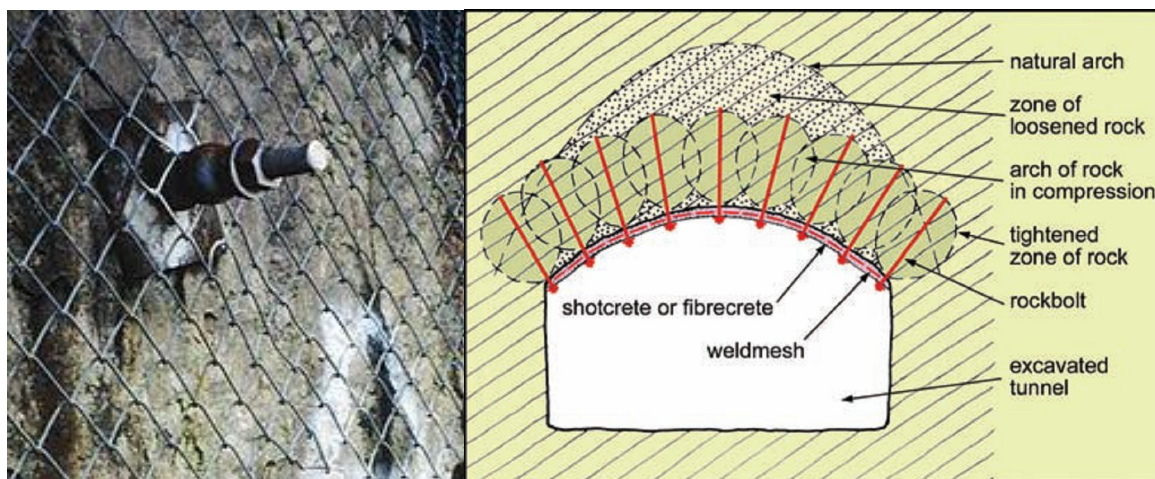
9-2- روش های نگهداری تونل ها

- قاب های فلزی

این روش بعد از چوب نسل دوم وسائل نگهداری محسوب می شوند. این قاب ها از مقطع تونل تبعیت می کنند و از سه یا چهار قطعه که در کنار یکدیگر قرار می گیرند تشکیل شده است. علاوه بر این به منظور جلوگیری از سقوط قطعات از سقف یا جناحین، بر روی آنها توری های سیمی یا ورق های فلزی قرار می گیرد.

- راک بولت یا میل مهار

راک بولت عبارت است از وارد کردن یک میله در چال حفاری شده و سپس مستحکم کردن آن از طریق گیر انداختن یا اصطکاک. به این ترتیب قطعات ناپایدار سنگی اصطلاحاً به توده سنگ دوخته شده و میل مهار گیر دار مانع از افتادن آنها می شود. میل مهار ها را بر همین اساس به انواع میل مهار گیر دار و اصطکاکی تقسیم بندی می شوند.



میل مهار گیر دار در انتهای خود که در چال قرار می گیرد گیر دارد و انتهای دیگر آن با پیچی به زمین محکم می شود. محکم کردن پیچ باعث وارد شدن فشار به دیواره چال و نگهداشتن بلوک سنگی می شود. میل مهار های اصطکاکی لوله چاک دار یا خمیده هستند که با ورود به چال به دیواره فشار وارد کرده و باعث نگه داشتن آن می شود.

- شاتکریت



شاتکریت بتن یا ملاتی است که توسط هوای فشرده بر روی دیواره پاشیده می شود. در این جا حدود 400 کیلوگرم سیمان با حدود 200 لیتر آب در هر متر مکعب بتن مخلوط می شود. ضخامت شاتکریت به وسیله طراح تعیین می شود و معمولاً با تور سیمی و الیاف و ... همراه می شود. شاتکریت ها هم نقش حفاظت و نگهدارنده و هم نقش باربر دارند.

فصل دهم

زمین شناسی در سد

10- زمین شناسی در سدسازی

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

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

- مهار سیلابهای فصلی و کاهش خطر تخریبی آنها

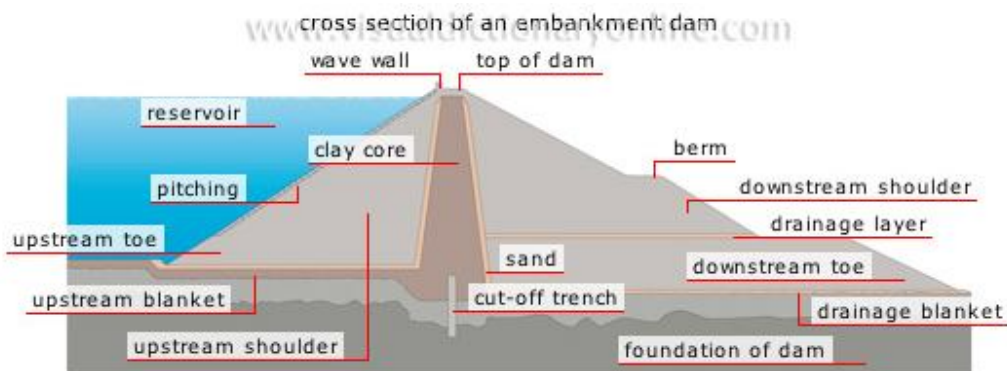
- تولید برق با احداث نیروگاههای آبی در محدوده سدها

10-1- انواع سد بر اساس نوع مصالح

10-1-1- سدهای خاکی

1- سدهای خاکی با هسته رسی

این سدها دارای 2 بخش اصلی هسته نفوذ ناپذیر (عموما از رس) و پوسته (عامل پایداری - عموماً از شن و ماسه) تشکیل شده اند. بخش های مختلف یک سد خاکی در شکل زیر نشان داده شده است.

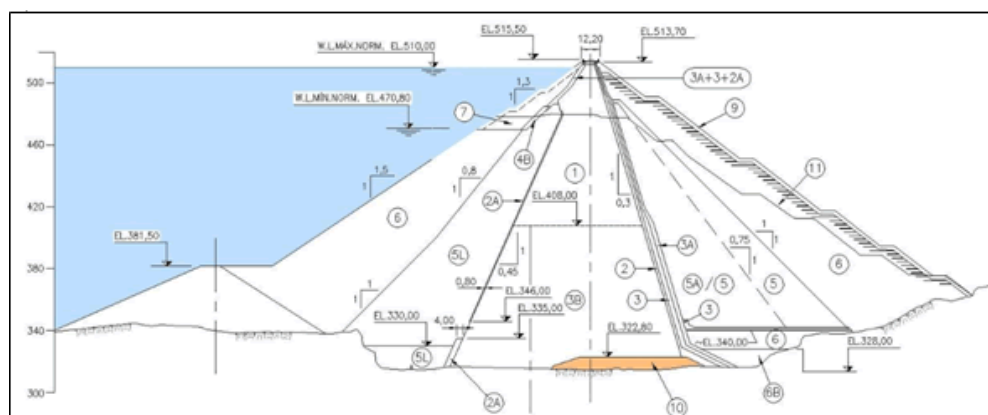


2- سد های همگن

این سد ها چنانچه از نامشان پیداست از ترکیبی همگن از خاک شنی و ماسه ای و خاک رسی تشکیل شده اند.

3- سدهای سنگریزه ای

این سد ها از سنگریزه ها تشکیل شده اند و برای نفوذ ناپذیری آنها از رویه بتنی، فولادی یا اسفالت یا روش های دیگر استفاده می شود.



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

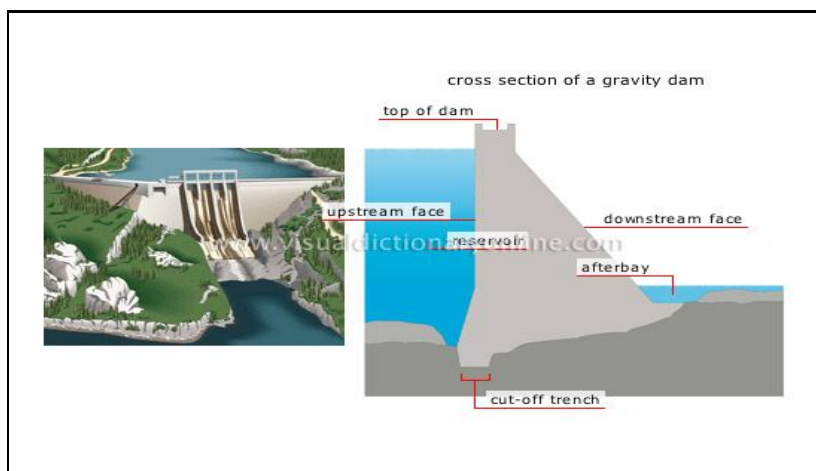
برای احداث سدهای خاکی نیاز ضروری به وجود پی مقاوم نمی باشد. در مناطق با عرض دره زیاد و لرزه خیزی بالا و پی آبرفتی بهترین گزینه می باشند. البته در احداث این سد ها می بایست مصالح خاکی مورد نیاز در نزدیکی محل

احداث سد وجود داشته باشد. این سد ها با توجه به سطح مقطع بزرگی که دارند (شیب دامنه 1 به 3) فشار کمی به پی وارد می کنند، بنابراین به راحتی بر روی پی های ضعیف و آبرفتی قرار می گیرند. با توجه به تغییر شکل پذیری خاک نسبت به بتن، این سد ها در برابر زلزله مقاومت می کنند و برای مناطق لرزه خیز توصیه می شوند.

10-1-2- سدهای بتنی

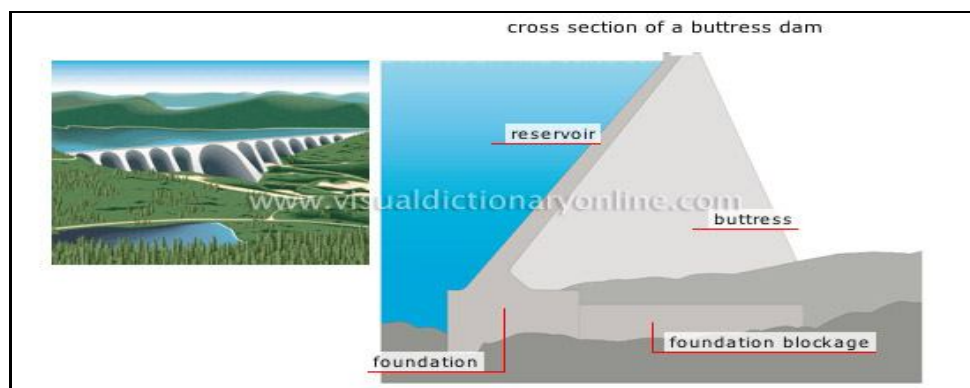
1- سدهای بتنی وزنی

این سد ها دارای سطح مقطع مثلثی با نسبت شیب افقی به قائم 1 به 1 هستند. در این سد ها بیشترین مقدار بتن مصرف می شود و پایداری سد با وزن سد تامین می شود.



2- سدهای پشت بند دار

این سد ها همانند سد های وزنی هستند ولی میزان بتن آنها کمتر است.

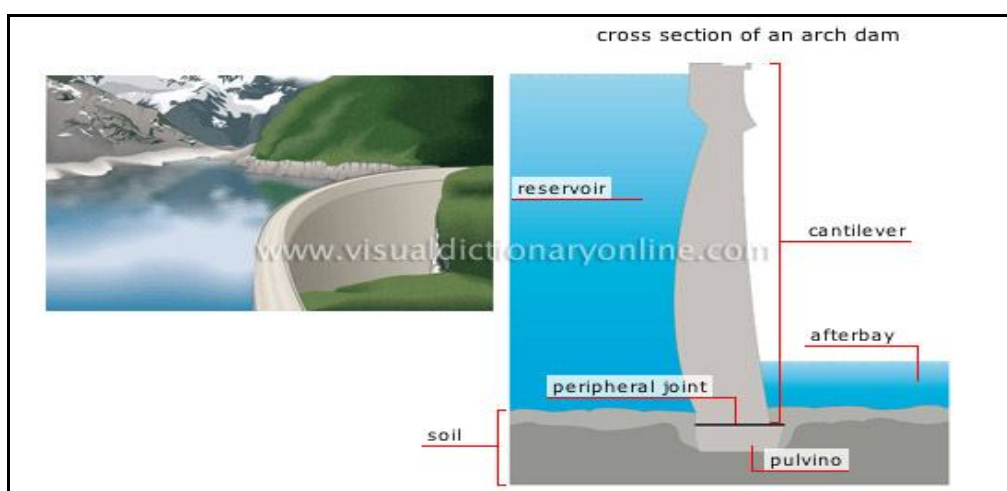


3- سدهای قوسی

- تک قوسی

- دو قوسی

در محل دره های باریک و V شکل بهترین گزینه برای احداث سد، سدهای بتنی است. این سد ها بر خلاف سد های خاکی فشار زیادی را به زمین وارد می کنند (سطح مقطع کوچکتر). سد های قوسی فشار زیادی به پی و تکیه گاه های سد وارد می کنند، بنابراین در محل احداث این سد ها می بایست تکیه گاه ها نیز مقاومت زیادی داشته باشند. همچنین با توجه به سطح مقطع کمتر نسبت به سایر سدهای بتنی پی نیز باید مقاومت بیشتری داشته باشد. به طور کلی مقاوت پی در این سدها باید بیش از 5 مگاپاسکال باشد در صورتی که در سایر سدها مقاومت حدود 2 مگاپاسکال نیز کفایت می کند.



10-2- اجزای سد

در این بخش اجزای مختلف یک سد معرفی می شود. این بخش ها در سدهای مختلف دیده می شود.

تاج سد: به بالاترین نقطه سد گفته می شود.

بالادست: شیبی که در سمت مخزن سد قرار دارد.

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

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

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

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

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

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

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

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

10-3- آب بندی سدها

آب بندی سد ها به سه صورت انجام می شود

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

2- ترانشه آب بند: بخش نفوذپذیر زیر هسته برداشته می شود و هسته از عمق بیشتر قرارداده می شود.

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

10-4- زمین شناسی سدها

هرچند در پروژه‌های سدسازی پایه تمام محاسبات بر تضمین موفقیت اجرای سد قرار دارد اما با وجود این مطلب تعدادی از سدها با مشکلاتی در زمان اجرا و بهره‌برداری مواجه می‌شوند.

10-4-1- عوامل مؤثر در انتخاب ساختگاه سد

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

1- تأمین پایداری بدنه و مخزن

2- آب‌بندی محدوده احداث سد

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

- شرایط توپوگرافی

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

- ساختار زمین‌شناسی

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

- امتداد لایه‌ها

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

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

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

- لایه های سنگی سست و ضعیف مانند سنگهای شیلی و مارنی

- لایه های سنگی دربر گیرنده حفرات و دیگر پدیده های کارستی حاصل از انحلال توده سنگ

- لایه های سنگی کاملاً خرد شده و یا کاملاً هوا زده شده.

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

ب) در صورتی که محور سد موازی با امتداد لایه ها باشد سنگهایی با شرایط و خصوصیات یکسان در محدوده تکیه گاهها و پی سد قرار می گیرند. بنابراین سنگها رفتار مشابهی در طول محل بار گذاری خواهند داشت و پایداری سد بیشتر خواهد بود. در چنین شرایطی طراحی سد نیز ساده تر خواهد بود.

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

- شیب لایه ها

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

* تأثیر جهت شیب لایه ها در انتخاب ساخت گاه سد

برای توصیه این انتخاب می توان به موارد زیر اشاره کرد:

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

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

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

- چین خوردگی

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

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

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

- نسبت پهنا به عمق

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

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

الف - پهنای دره در محل تاج سد (B)

ب - عمق دره در محل احداث سد (H)

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

1- دره عمیق Gorge Valley دره‌ای است که در آن B/H کمتر از 3 می‌باشد.

2- دره تنگ Narrow Valley دره‌ای است که در آن B/H بین 3 تا 6 می‌باشد.

3- دره باز Wide Valley دره‌ای است که در آن B/H بیش از 6 می‌باشد.

بر این اساس هرچه دره بازتر باشد گزینه انتخابی سد خاکی و هر چه دره تنگ تر باشد گزینه اصلی سد بتنی خواهد بود.

11-تونل

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

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

تونل یکی از پروژه های عمرانی است که در آن نقش زمین شناسی بسیار زیاد است. اطلاع یافتن از وضعیت درون زمین بدون دسترسی به آن بر عهده زمین شناس است. زمین های سست و ریزشی، مناطق خرد شده و گسل خورده، زون های هوازده و آبدار بیشترین مشکلات را در حین حفر تونل ها ایجاد می کنند. البته در برخی شرایط مانند مسیر راه ها ما به اجبار باید از یک مسیر مشخص تونل را عبور دهیم. نکته ای که ما در مطالعات تونل ها باید مد نظر داشته باشیم این است که بر خلاف سازه های سطحی که مصالح ساخت آن را ما انتخاب می کنیم، در تونل ها باید به گونه ای حفاری را انجام دهیم که کمترین صدمه ممکن به سنگ یا خاک مسیر ایجاد شود تا بتوانیم از آن به عنوان مصالح اصلی ساخت فضای تونل بهره برداری کنیم. با توجه به شرایط ژئوتکنیکی زمین، تونل ها از اهمیت متفاوتی برخوردار هستند.

طبقه بندی تونل ها به شرح زیر خواهد بود:

A: فضاهای موقت زیرزمینی

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

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

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

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

F: ایستگاه های مترو و نیروگاه های اتمی

10-1- بررسی ها و اطلاعات زمین شناسی

1- عکس های هوایی و نقشه های زمین شناسی

با توجه به اهمیت پروژه و نقشه های موجود می توان از عکس ها و نقشه های با مقیاس مختلف استفاده کرد. هر چه اهمیت تونل بیشتر باشد، از نقشه های بزرگ مقیاس تر استفاده کرد. برای تونل های کم اهمیت یا در شروع مطالعات احداث تونل ها مقیاس 1:100000 تا 1:10000 و برای تونل های مهم یا مراحل اجرایی تونل ها، از نقشه های با مقیاس 1:10000 تا 1:100 استفاده می شود. نکته مهم این است که هر چه مراحل به مرحله اجرا نزدیکتر می شود دقت نقشه ها بالاتر می رود.

نکته:

در پروژه های اجرایی معمولاً قبل از اجرای پروژه مطالعات در سه مرحله شناخت، فاز 1 و فاز 2 انجام می شود و پس از آن پروژه اجرا خواهد شد. تفاوت این مراحل در هزینه صرف شده و دقت کار انجام شده می باشد. به طوری که در مرحله شناخت تنها به موارد کلی پرداخته می شود و طراحی ها از دقت چندانی برخوردار نمی باشد، در حالی که در مطالعات فاز 1 و 2 نقشه های تهیه شده و طرح های ارائه شده دقیق تر بوده و مطالعات صورت گرفته با انجام آزمایش های بیشتر، حفر گمانه ها و ... دقیق تر بوده و پروژه بر اساس نتایج آن قابل اجرا می باشد. در این مرحله با رسم پروفیل های زمین شناسی مهندسی در طول مسیر تونل اطلاعات زمین شناسی همچون جنس و ضخامت لایه ها، شیب آن ها، شکستگی، خرد شدگی، نفوذپذیری، سطح آب و ... آورده خواهد شد. همچنین در نهایت طبقه توده سنگ تعیین و روش های پایدار سازی و ... نیز پیشنهاد می شود.

2- گمانه های اکتشافی

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

3- مطالعات ژئوفیزیکی

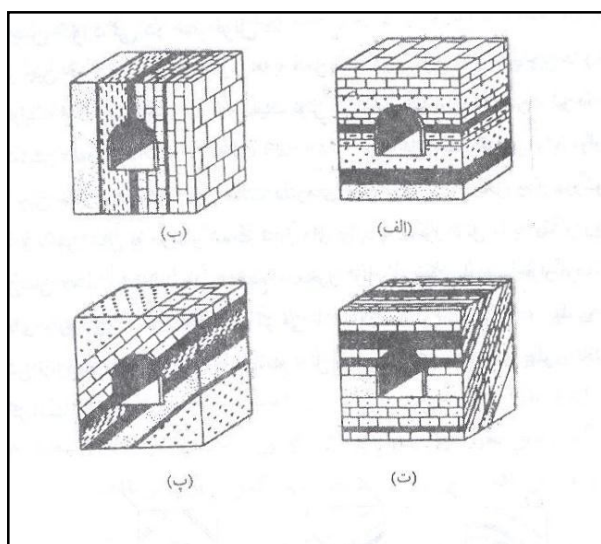
با توجه به پرهزینه بودن حفر گمانه های اکتشافی و اینکه گمانه نمی تواند معرف مسیری طولانی باشد، از مطالعات ژئوفیزیکی و روش لرزه نگاری استفاده می شود.

4- زمین شناسی ساختمانی

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

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

* تاثیر لایه بندی بر حفر تونل ها



الف- لایه ها افقی هستند و فشار عمودی نسبتاً یکنواختی به تونل وارد می شود.

ب- به علت عمودی بودن لایه های مقدار زیادی فشار را روی محور و انحنای سقف تونل وارد می کند.

پ - شیب لایه ها در یک جهت نسبت به محور تونل قرار دارد. بنابراین فشار وارده قرینه نخواهد بود و در جهت شیب لایه بندی متمرکز خواهد بود.

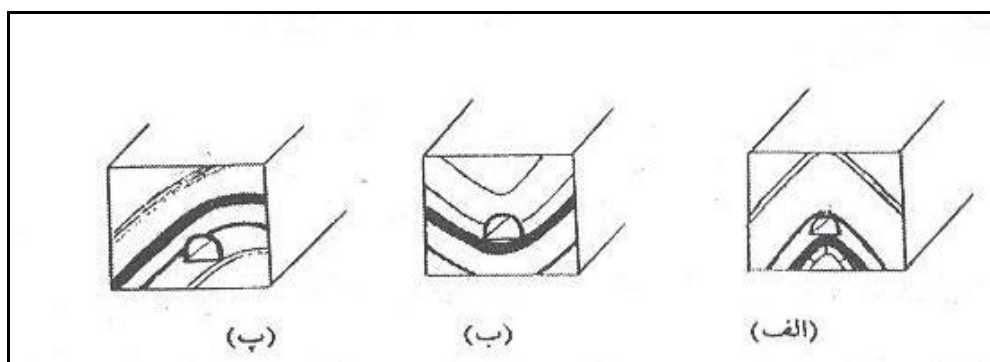
ت - شیب لایه نسبت به محور تونل قرینه است و در نتیجه فشار عمودی نسبتاً یکنواختی را به تونل وارد می کند

* تاثیر چین خوردگی در حفر تونل ها

الف - تونل در داخل یک تاقدیس و به موازات چین حفاری شده است. در این حالت فشار های عمودی نسبت به محور چین دور شونده هستند و پخش تنش به دو پهلو، شدت تنش وارده به محور تونل را تا حدود زیادی کاهش می دهد.

ب - تونل در داخل یک ناودیس و به موازات چین حفاری شده است. در این حالت فشار های وارده روی محور تونل متمرکز هستند.

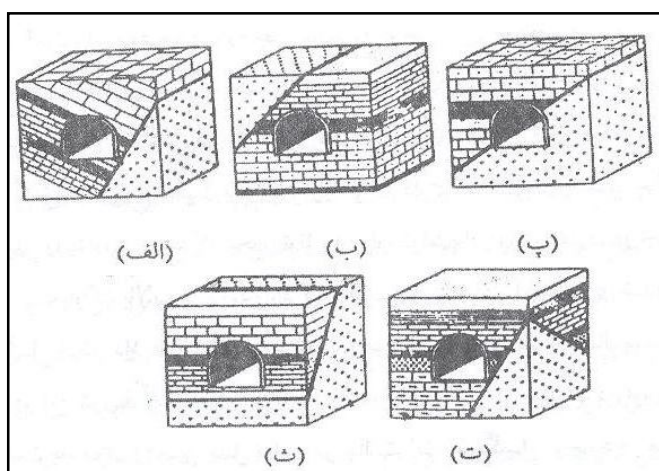
پ - تونل در پهلوی یک تاقدیس قرار دارد و فشار های وارده به مقطع تونل در جهت شیب لایه های پهلوی تاقدیس متمرکز است.



* تاثیر گسل در حفر تونل ها

الف - محور تونل در امتداد گسل واقع شده است. در سقف و دیواره چپ ناپایداری وجود دارد. به خصوص در تونلی که در زیر سطح ایستابی حفاری شود.

ب- گسل دور از محور تونل و به موازات آن قرار دارد. در این حالت نیز اثر گسل از نظر نوع فعالیت بر پایداری



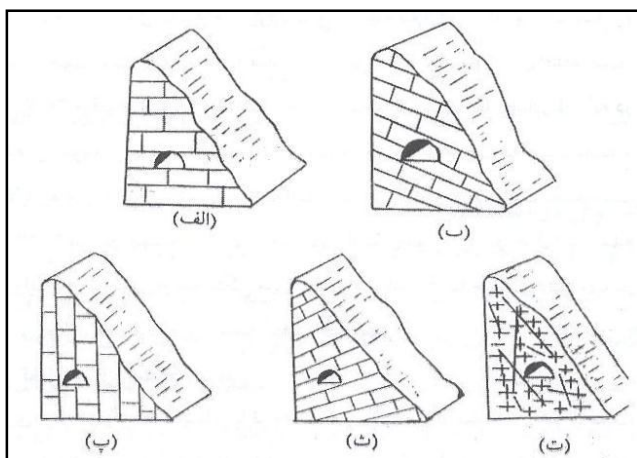
تونل اهمیت دارد.

پ - گسل مایلی محور تونل به موازات امتداد آن قرار دارد. در این حالت ممکن است بلوک بالایی که بخشی از تونل در آن حفر شده، لغزش داشته باشد.

ت - دو گسل موجود در مسیر تونل باید بررسی شوند زیرا نسبت به محور تونل فاصله دارند.

ث - گسلی مایل تونل را قطع کرده است که شیب و امتداد آن با حالت پ متفاوت است.

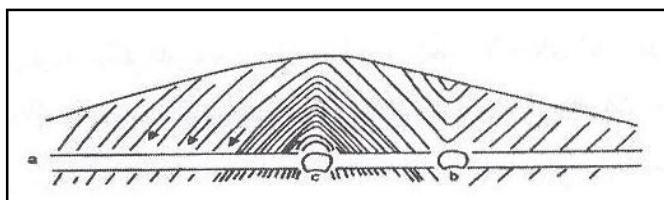
* تاثیر وضعیت دامنه در حفر تونل‌ها



در حالت های الف و پ و ث تونل با توجه به شرایط دامنه و لایه بندی پایدار است.
در حالت ب شیب لایه ها در جهت شیب دامنه است و امکان رانش زمین وجود دارد
در حالت ت عدم استحکام تونل به علت شکستگی ها و احتمالا جریان یافتن آب است.

* تاثیر سطح ایستابی در حفر تونل‌ها

در تاقدیس ها در صورتی که حفر تونل در راستای عمود بر محور تاقدیس باشد، جریان و فشار آب نسبت به محور تونل دور شونده هستند و در دهانه های تونل متمرکز می شوند . در حالی که در ناودیس ها در این حالت جهت جریان و فشار آب به صورت عمده بر روی محور تونل متمرکز خواهد بود.



10-2- روش های حفاری تونل

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

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

1- حفاری در زمین های سخت

2- حفاری در زمین های نرم

- حفاری در زمین های سخت

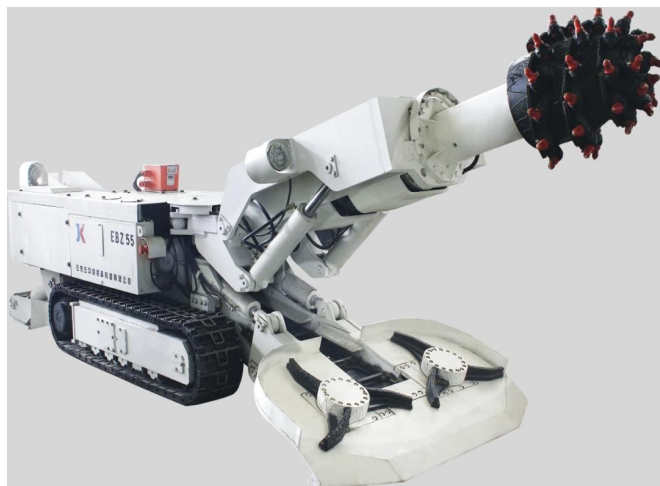
زمین های سخت زمین هایی هستند که از سنگ های سخت تشکیل شده اند و به سختی حفاری می شوند. روش های حفاری در این زمین ها به دو دسته روش های سنتی و مکانیزه تقسیم بندی می شود.

10-2-1- روش های حفاری سنتی

حفاری در زمین های سخت به روش سنتی به وسیله ایجاد حفره در سنگ و انفجار مواد منفجره صورت می گیرد. در گذشته از روش های دستی برای حفر گودال ها استفاده می شده است ولی امروزه از روش های چالزنی پیشرفته استفاده می شود. مراحل مختلف روش حفاری انفجاری شامل چالزنی، خرج گذاری، آتش گذاری، تهویه و کنترل، لق گیری، تخلیه و حمل مصالح می باشد. امروزه سعی شده همزمان با پیشرفت روش های مکانیزه، روش های حفاری انفجاری نیز پیشرفت کرده است.

10-2-2- روش های حفاری مکانیزه

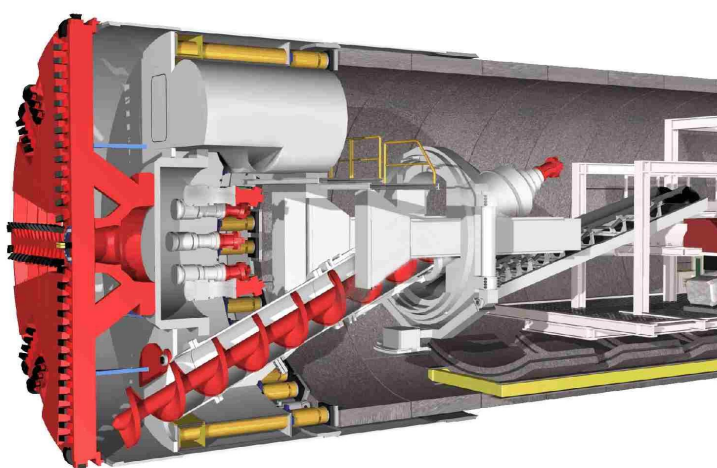
1- ماشین آلات جزء مقطع



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

2- ماشین آلات تمام مقطع TBM

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



10-3- حفاری در زمین های نرم

مرسوم ترین روش حفاری در زمین های نرم روش کند و اکند یا حفر و پوشش (cut & fill) می باشد. در این روش روباره برداشته می شود و پس از ساخت کف و دیواره ها و سقف، روی آنها پوشیده می شود. دیواره با سپر فولادی و دیوار برلین مهمترین این روش ها هستند.

10-3-1- دیوار با سپر فولادی

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

10-3-2- دیوار برلین

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

منابع اصلی برای مطالعه بیشتر

زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، دکتر معماریان، انتشارات دانشگاه تهران

زمین شناسی مهندسی، ترجمه دکتر فاطمی عقدا، دانشگاه هرمزگان

زمین شناسی مهندسی، دکتر قبادی، دانشگاه بوعلی

مصالح ساختمانی، دکتر حسن رحیمی، دانشگاه تهران

آب در زمین، دکتر صداقت، انتشارات پیام نور

نقش زمین شناسی در بهینه سازی اقتصادی تونل ها، سید جمال الدین جهرمی، کمیته ملی سد های بزرگ ایران

اصول طراحی و نگهداری تونل ها، مجید معظمی، دانشگاه صنایع و معادن ایران

Foundation of engineering Geology , Tony Waltman

Introduction to physical geology, Thompson& turk