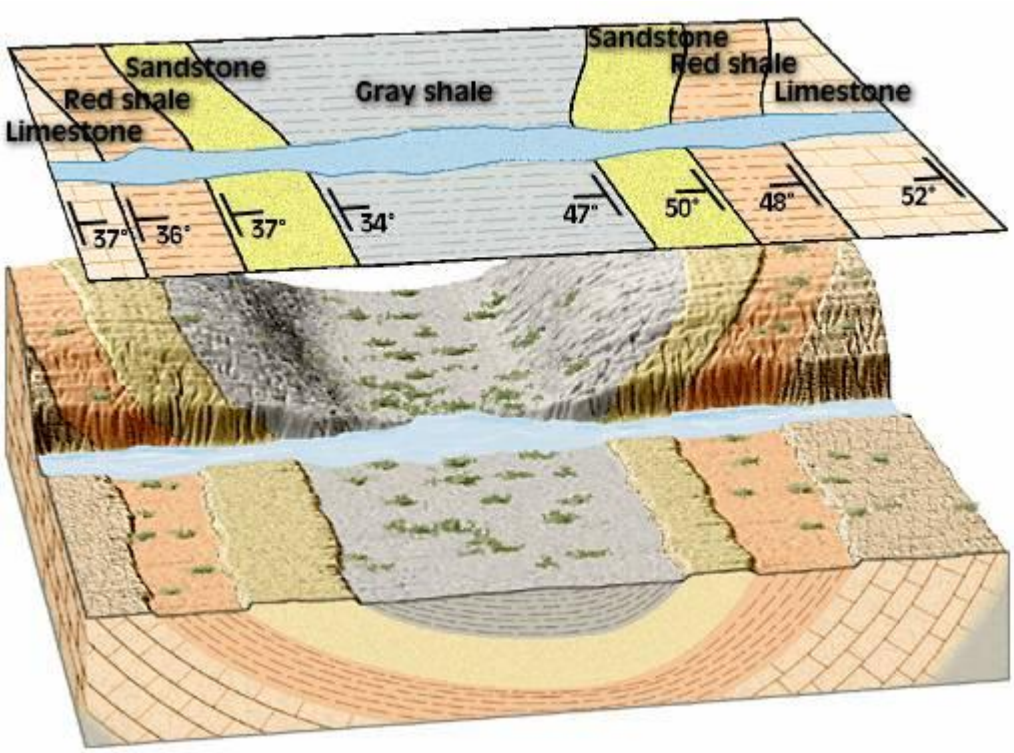
بسم اللّه الرحمن الرحیم

زمین شناسی مهندسی



استاد :

گروه عمران

فهرست

1- تشکیل زمین 1

1-1- جهان و کهکشان راه شیری 1

1-2- منظومه شمسی 1

2- کانی ها و سنگ ها 3

2-1- کانی‌شناسی 3

2-2- تشکیل کانی ها 4

2-2-1- تشکیل کانی های آذرین 4

2-2-2- تشکیل کانی های رسوبی 5

2-2-3- تشکیل کانی های دگرگونی 5

2-3-روش شناسایی کانی‌ها 5

3- سنگ ها 8

3-1- سنگ های آذرین 9

3-1-1- سنگ های آذرین درونی و بیرونی 9

3-1-2- توف 10

3-1-2-پوکه معدنی 10

3-2- سنگ های رسوبی 11

3-2-1- سنگ های رسوبی تخریبی 11

3-2-2- سنگ های رسوبی تبخیری 13

3-2-3- سنگ های دگر گونی 13

4- خصوصیات مهندسی سنگ ها 14

4-1- خصوصیات فیزیکی 14

4-2- خصوصیات مکانیکی 15

4-2-1- تعیین مقاومت فشاری سنگ (مقاومت تک محوری) 15

4-2-2- مدول الاستیسیته 18

3-4- عوامل موثر بر مقاومت سنگ 21
5- خاک 23
5-1- دانه بندی خاک ها 23
5-1-1- روش دانه بندی 23
5-2- خصوصیات مهندسی خاکها 26
5-3- خاک های مسئله دار 28
5-3-1- خاک های رسی 28
5-3-2- خاک های خورنده 30
5-3-3- خاک های انحلال پذیر 31
5-3-4- خاک های رمبنده 31
5-3-5- خاک های واگرا 31
6- زمین شناسی ساختمانی 32
6-1- نظریه تکتونیک صفحه ای: Plate Tectonic Theory 32
6-1-1- نظریه و فرضیه های آن 33
6-2- مشخصات هندسی لایه های زمین 36
6-2-1- امتداد 36
6-2-2- شیب و جهت شیب 37
6-3- ساختمان های شکل پذیر (چین ها) 38
6-3-1- طبقه بندی چین ها 39
6-4- ساختار های شکننده 39
6-4-1- گسل 40
6-4-1-1- مشخصات گسل ها 40
6-4-2-2- انواع گسل 40
7- زمین لرزه 42
7-1- اصطلاحات 43

2-7- امواج لرزه ای 44
1-2-7- امواج درونی..... 44
2-2-7- امواج سطحی..... 45
3-7- تعیین مرکز سطحی زمین لرزه..... 46
4-7- شدت زمین لرزه..... 46
5-7- بزرگی زمین لرزه..... 47
6-7- انرژی زمین لرزه..... 48
7-7- دوره بازگشت زمین لرزه ها 49
8-7- تقسیم بندی گسل ها از نظر فعالیت 49
8- آبهای زیرزمینی..... 50
1-8- منطقه بندی 50
2-8- اشکال مختلف آب در خاک 51
3-8- لایه آبدار (آبخوان یا سفره آب زیرزمینی)..... 52
4-8- پارامتر های هیدرودینامیکی آب زیرزمینی..... 53
1-4-8- تخلخل..... 53
2-4-8- آبدهی ویژه (تخلخل موثر)..... 53
3-4-8- نگهداشت ویژه 53
4-4-8- ضریب ذخیره..... 54
5-8- حرکت آب های زیرزمینی..... 55
6-8- قنات 56
7-8- آلودگی آبهای زیرزمینی 57
1-7-8- لندفیل..... 57
1-7-8- استفاده اقتصادی از لندفیل..... 61
8-8- ژئوسنتتیک..... 61
1-8-8- ژئوتکستایل 62

8-8-2- جی سی ال 63
8-8-3- ژئوممبران 63
8-8-4- ژئوگرید 64
8-8-5- ژئومت 64
9- طبقه بندی مهندسی توده سنگ 66
9-1- روش R MR 66
9-2-روش های نگهداری تونل ها 69
10- زمین شناسی در سدسازی 71
10-1- انواع سد بر اساس نوع مصالح 71
10-1-1- سدهای خاکی 71
10-1-2- سدهای بتنی 73
10-2- اجزای سد 74
10-3- آب بندی سدها 75
10-4- زمین شناسی سدها 75
10-4-1- عوامل مؤثر در انتخاب ساختگاه سد 76
11-تونل 80
10-1- بررسی ها و اطلاعات زمین شناسی 81
10-2- روش های حفاری تونل 85
10-2-1- روش های حفاری سنتی 85
10-2-2- روش های حفاری مکانیزه 86
10-3- حفاری در زمین های نرم 87
10-3-1- دیوار با سپر فولادی 87
10-3-2- دیوار برلین 87

فصل اول

تشکیل زمین

1- تشکیل زمین

1-1- جهان و کهکشان راه شیری

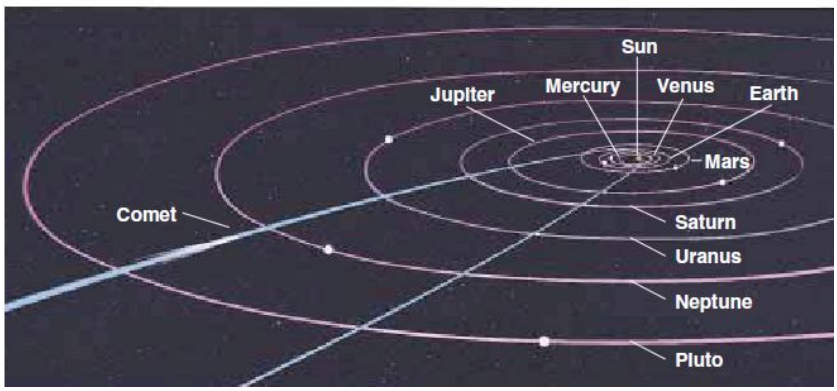
با توجه مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته سن جهان در حدود 16 میلیارد سال می باشد. کره زمین بخشی از منظومه شمسی است که از خورشید، سیارات و اقمار و سیاره مانند ها و ستاره های دنباله دار تشکیل شده است. خورشید یکی از ستارگان کهکشان راه شیری است. یکی از 10^{11} ستاره ای که در این کهکشان وجود دارد. کهکشانی عدسی شکل که قطری معادل 70000 سال نوری دارد. (هر سال نوری فاصله ای است که نور در مدت یک سال می پیماید.)

1-2- منظومه شمسی

خورشید، سیارات داخلی و خارجی، ستاره های دنباله دار و شهابسنگ ها از تشکیل دهنده های این مجموعه اند. خورشید 99.98% کل جرم منظومه شمسی را دربردارد. از خورشید که به سمت خارج حرکت می کنید سیارات کوچک با وزن مخصوص بالا می بینید که به سمت خارج بلعکس می شود. جرم خورشید 332 هزار برابر زمین و چگالی 1.41 دارد ولی چگالی زمین 5.5 است که در منظومه شمسی از بقیه بیشتر است. در کنار زمین بین دیگر سیارات منظومه شمسی، مریخ هم دارای میدان مغناطیسی است.

از مهمترین نظریه های تشکیل زمین و منظوه شمسی می توان به نظریه ستاره های دوتایی(*Double Star*) اشاره کرد. فرضیه این نظریه بر این اساس استوار است که در نتیجه بر خورد دو ستاره و انفجار رخ داده (انفجار سوپر نوا) منظوه شمسی تشکیل شده است.

سیاره های موجود در منظومه شمسی به دو دسته سیارات خاکی غیر خاکی تقسیم بندی می شوند. سیارات خاکی شامل عطارد، زهره، زمین و مریخ و سیارات غیر خاکی مشتری، زحل، اورانوس و نپتون و پلوتو تقسیم می شوند. بر اساس فرضیات موجود سن منظومه شمسی حدود 4.6 میلیارد سال تخمین شده شده است. مهمترین روش های سن یابی استفاده از روش رادیو اکتیو است.



سیارات منظومه شمسی

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

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

فصل دوم

کانی ها و سنگ ها

2- کانی ها و سنگ ها

2-1- کانی‌شناسی

کانی یا مینرال واحد اصلی تشکیل دهنده سنگ هاست. ماینا (*Mina*) یک واژه یونانی به معنای کندن است. ریشه کلمه *Mineral* از همین واژه استخراج شده است.

کانی را در تعریف میتوانیم اینگونه معرفی کنیم:

کانی یک ماده جامد، طبیعی، غیر آلی، با ساختمان‌های بلوری منظم و ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابت است. به این ترتیب یخ(می تواند مایع شود)، زغال(آلی است)، الماس های مصنوعی(طبیعی نیست) کانی محسوب نمی شوند.

سنگ ها ممکن است از یک یا چند کانی مختلف تشکیل شده باشند. برای مثال سنگ آهک از کانی کلسیت با فرمول شیمیایی Caco3 تشکیل شده است و سنگی مانند گرانیت از چند کانی مختلف (کوارتز، مسکویت، ارتوز و ...) تشکیل شده است.

اغلب کانی های فراوان روی سطح زمین از 8 عنصر اصلی تشکیل شده اند . این عناصر عبارتند از:

ELEMENT	CHEMICAL SYMBOL	COMMON ION(S)
Oxygen	O	O^{2-}
Silicon	Si	Si^{4+}
Aluminum	Al	Al^{3+}
Iron	Fe	Fe^{2+} and Fe^{3+}
Calcium	Ca	Ca^{2+}
Magnesium	Mg	Mg^{2+}
Potassium	K	K^{1+}
Sodium	Na	Na^{1+}

2-2- تشکیل کانی ها

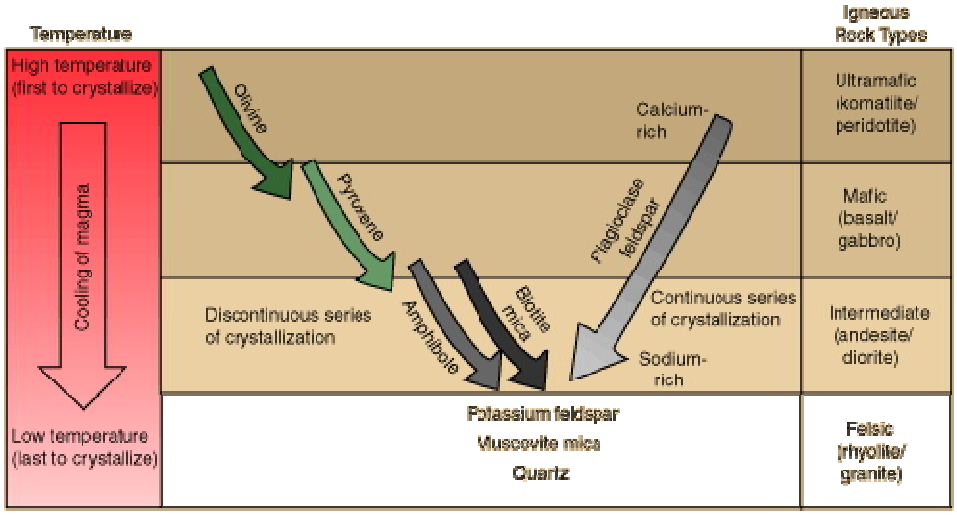
سه مکانیزم برای تشکیل کانی ها وجود دارد:

1- آذرین 2- دگرگونی 3- رسوبی

2-2-1- تشکیل کانی های آذرین

در این روش کانی‌ها از ماده‌ی مذاب جدا شده و ته‌نشین می‌شوند. ترتیب تشکیل کانی‌ها در این روش به نقطه ذوب آنها بستگی دارد و از قانون بوون تبعیت می کند. به این ترتیب که ابتدا کانی‌هایی تشکیل می‌شوند که نقطه‌ی ذوب بالاتری دارند و با کاهش دمای مذاب کانی‌هایی با نقطه‌ی ذوب پایین‌تر تشکیل می‌شوند کانی‌هایی که دمای ذوب بالاتری دارند، عمدتاً حاوی عناصر آهن ، منیزیم و کلسیم بوده (مانند اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز) و با کاهش دما شاهد حضور و افزایش عناصر آلومینیوم . Na و k و Si در ترکیب کانی‌ها هستند و کانی هایی همانند مسکویت، کوارتز و آلبیت تشکیل می شوند.

افزایش Si, AL,k ,Na درترکیب کانی‌ها	کاهش Mg , fe در ترکیب کانی‌ها	اولیوین	1500 C°	کاهش دما
		پیروکسن		
		آمفیبول		
		مسکویت		
		کوارتز	600 C°	



- قانون گلدیش

کانی‌هایی که در دما و فشار بالاتر تشکیل می‌شوند زمانی که به سطح زمین می‌رسد- به دلیل اختلاف دمای تشکیل کانی‌ها با دمای سطح زمین - زودتر تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش قرار می‌گیرند است و کانی هایی که در دما و فشار پایین تر تشکیل می شوند، در سطح زمین پایداری بیشتری دارند. این قانون به **اصل گلدیش** معروف است. بنابراین کوارتز پایدار ترین کانی در سطح زمین است.

2-2-2- تشکیل کانی های رسوبی

این کانی‌ها حاصل ته‌نشینی یون ها و ترکیبات اشباع شده در حوزه‌ی رسوبی می‌باشد. به این کانی ها، کانی های رسوبی شیمیایی گفته می شود.

مانند کلسیت (حاصل ترکیب یون های کلسیم و کربنات: تشکیل کانی کلسیت)

نمک(ترکیب یونهای کلر و سدیم:تشکیل کانی هالیت)

گچ یا ژیپس(ترکیب یون های سولفات و کلسیم: تشکیل ژیپس).

2-2-3- تشکیل کانی های دگرگونی

در این روش کانی‌ها اولیه (آذرین- درگونی یا رسوبی) که حاصل فرآیندهای آذرین ، دگرگونی یا رسوبی هستند، زمانی که تحت تأثیر عوامل دگرگونی قرار می‌گیرند (دما ، فشار، سیالات) با تغییر ترکیب و یا ساختمان بلوری، به کانی جدیدی تبدیل می شوند. به این فرآیند اصطلاحاً دگرگون شدن گفته می شود.

2-3-روش شناسایی کانی‌ها

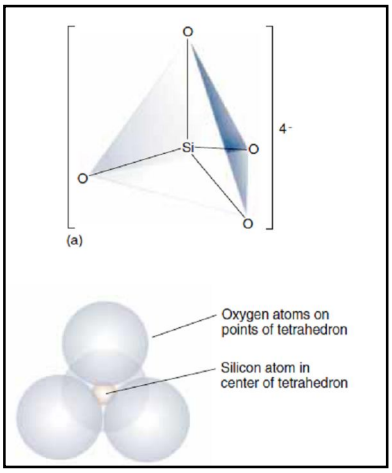
1- رنگ

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

2- ترکیب شیمیایی

هرکانی ترکیب شیمیایی تقریبا ثابتی دارد. مثلا گچ با ترکیب $Ca\ So_4$، کلسیت با ترکیب $CaCo_3$

کانی ها را از نظر ترکیب شیمیایی به رده های مختلفی تقسیم بندی می کنند. که فراوان ترین آنها سیلیکات ها می‌باشد یعنی دارای بنیان Sio_2 هستند، مانند اکثر کانی‌های آذرین.



در کنار سیلیکات‌ها رده های کربنات با بنیان Co_3 ، سولفید So_4 ، نیترات No_3 و ... وجود دارد.

3- ساختمان بلوری

تمام کانی‌ها در یکی از 7 شبکه‌ی بلوری ممکن تشکیل می‌شوند. به عبارت دیگر هر کانی ساخار بلری مختص خود دارد. در شکل روبرو انواع ساختار های بلوری نشان داده شده است.

4- بو

5- جلاء

جلا حاصل برخورد نور به سطح کانی و بازتاب آن است. دو دسته اصلی انواع جلا را می توان فلزی و غیر فلزی نامید.

جلای غیر فلزی خود به انواع صمغی و ابریشمی و ... تقسیم می شود.

6- رنگ خاکه

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

7- سختی

یکی ویژگی مهم کانی ها سختی آنهاست. که مقاومت سنگ حاصل را نیز تحت تاثیر قرار می دهد . برای سختی کانی‌ها **معیار مووس** ارائه می‌شود که سختی کانی‌ها به 10 رده‌ی اصلی تقسیم می‌شود . در جدول زیر این مقیاس آورده شده است. همچنین سختی اشیاء طبیعی معادل آنها نیز در ستون سمت راست آورده شده است. برای مثال ناخن سختی برابر با ژیپس دارد.

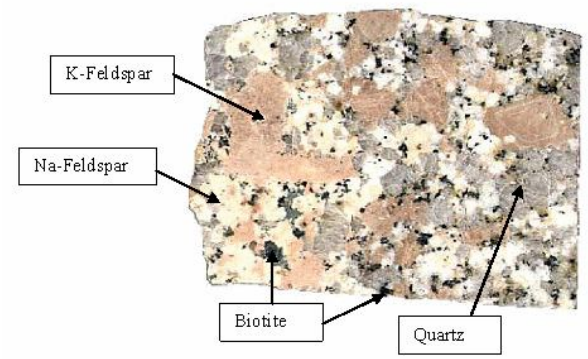
MINERALS OF MOHS SCALE	COMMON OBJECTS
1. Talc	
2. Gypsum	Fingernail
3. Calcite	Copper penny
4. Fluorite	
5. Apatite	Knife blade
	Window glass
6. Orthoclase	Steel file
7. Quartz	
8. Topaz	
9. Corundum	
10. Diamond	

فصل سوم

سنگ‌ها

3- سنگ ها

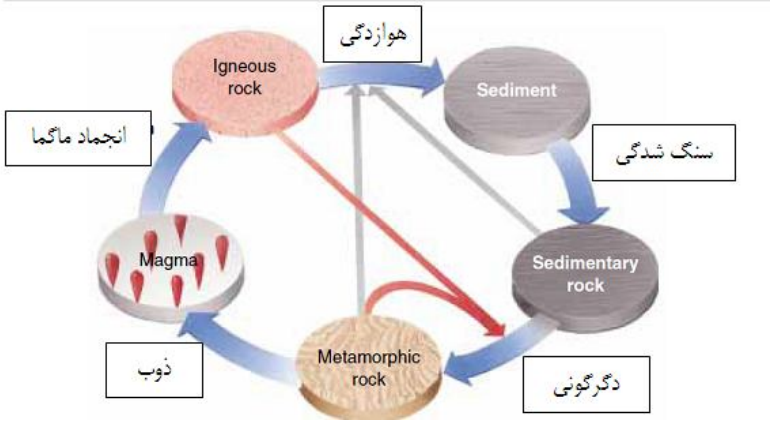
چنانچه در فصل دوم اشاره شد، حاصل ترکیب یک یا چند کانی سنگ ها تشکیل می شوند. به شکل زیر دقت کنید. سه کانی فلدسپات، بیوتیت و کوارتز در کنار هم ، سنگ گرانیت را تشکیل داده اند.



تمامی سنگهای زمین را از نظر منشا یا مکانیسم تشکیل می توان به 3 دسته اصلی تقسیم کرد:

1- سنگهای آذرین 2- سنگهای دگرگونی 3- سنگهای رسوبی

در حقیقت بین این سنگ ها ارتباط وجود دارد، به طوری که به علت پویایی کره زمین مدام تشکیل شده و به انواع دیگر تبدیل می شوند. چرخه تشکیل سنگها را در شکل زیر مشاهده می کنید.

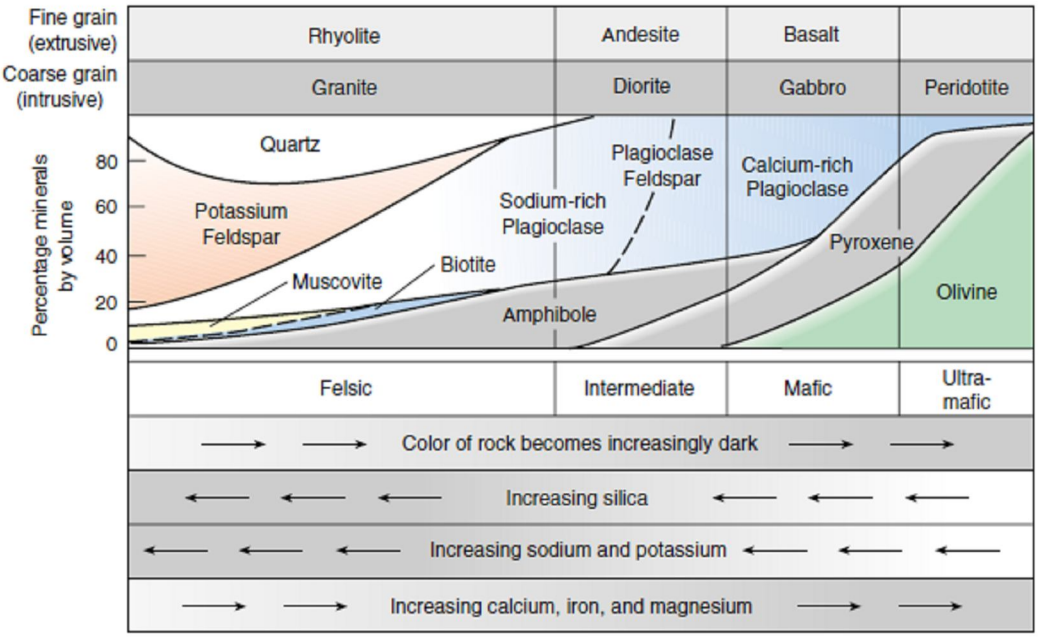


1-3- سنگ های آذرین

1-1-3- سنگ های آذرین درونی و بیرونی

تمامی این سنگها(*Igneous Rocks*) از ماده ای مذاب به نام ماگما تشکیل می شوند. ماگما، به مذاب حاصل از ذوب سنگ ها گفته می شود. چنانچه ماگما درون زمین سرد شود و به سنگ جامد تبدیل شود سنگ آذرین درونی تشکیل می شود در حالی که اگر این ماگما به صورت آتشفشان به سطح زمین راه یابد و پس از آن سرد شود، سنگ آذرین خروجی یا بیرونی تشکیل می شود. تفاوت اصلی سنگ های آذرین درونی و بیرونی در اندازه بلور های آنهاست. سنگهای آذرین درونی به دلیل اینکه در زمان طولانی سرد می شوند، فرصت کافی برای رشد بلور های آن وجود دارد بنابراین بلورهای آن رشد کرده و با چشم غیر مسلح به راحتی قابل تشخیص هستند. در حالی که در سنگ های آذرین بیرونی به دلیل سرعت سرد شدن، بلورها فرصت رشد کردن ندارند و بافت سنگ ریز بلور خواهد بود. در جدول زیر انواع سنگ های آذرین و تفاوت های اصلی آنها آورده شده است.

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



در این لینک می توانید تصاویر انواع مختلف سنگ های آذرین درونی و بیرونی را مشاهده کنید.

http://geology.com/rocks/igneous-rocks.shtml

3-1-2- توف

توف ها خاکسترهای آتشفشانی هستند که عمدتاً حاصل آتشفشانهای با ترکیب اسیدی یا حد واسط هستند. این آتشفشان ها به علت اینکه گاز و مواد فرار زیادی در ماگما دارند به علت فشار زیادی که ای گازها ایجاد می کند عمدتاً حالت انفجاری دارند و مواد مذاب به صورت خاکستر به هوا پرتاب می شوند. این مواد مذاب پس از ته نشینی روی زمین به یکدیگر جوش خورده و توف ها را تشکیل می دهند. توف های سبز کرج نمونه ای از این سنگ ها هستند. در صورتی که خاکستر های آتشفشانی در حوضه های رسوبی ته نشین شوند با رسوبات وارد شده به حوضه ترکیب شده و سنگی تحت عنوان **توفیت** را ایجاد می کنند.

3-1-2-پوکه معدنی

پوکه های معدنی (سنگ پا) سنگ های آتشفشانی سبکی هستند که به علت خروج گاز از درون ماده مذاب در هنگام تبدیل به سنگ ، حفره های زیادی در آن ایجاد شده است و به همین دلیل چگالی آن بسیار پایین است. مکانیسم تشکیل این سنگ ها به توف ها شباهت دارد با این تفاوت که پوکه های معدنی قطعات مذابی هستند که پس از پرتاب

شدن از دهانه آتشفشان، گاز از آن خارج شده و سنگ متخلخلی را ایجاد کرده است. اگر ماگمای اولیه ترکیب بازیک داشته باشد سنگ تشکیل شده را **اسکوری** و در صورتی که ترکیب مذاب اسیدی باشد آن را **پامیس** می نامند.

3-2- سنگ های رسوبی

سنگ های رسوبی (*Sedimentary Rock*) به دو دسته اصلی تقسیم می شوند:

1-سنگ های رسوبی تخریبی

2- سنگ های رسوبی تبخیری یا شیمیایی

پیش از معرفی سنگ های رسوبی تخریبی، فرآیند هوازدگی و فرسایش را معرفی می کنیم. **هوازدگی** عبارتست از خرد شدن سنگ‌ها و تجزیه آنها به همراه رسوبات و **فرسایش** حمل این قطعات توسط عامل گرانش، آب یا باد است.
سنگی‌هایی که در سطح زمین می‌بینیم در شرایطی متفاوت با شرایط اولیه تشکیل خود قرار دارند (حرارت و فشار و ... نسبت به زمان تشکیل آنها تغییر کرده است) بنابراین می‌بایست خود را با شرایط جدید مطابقت دهند و این زمینه را برای هوازدگی فراهم می‌کند. فرآیند هوازدگی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود.

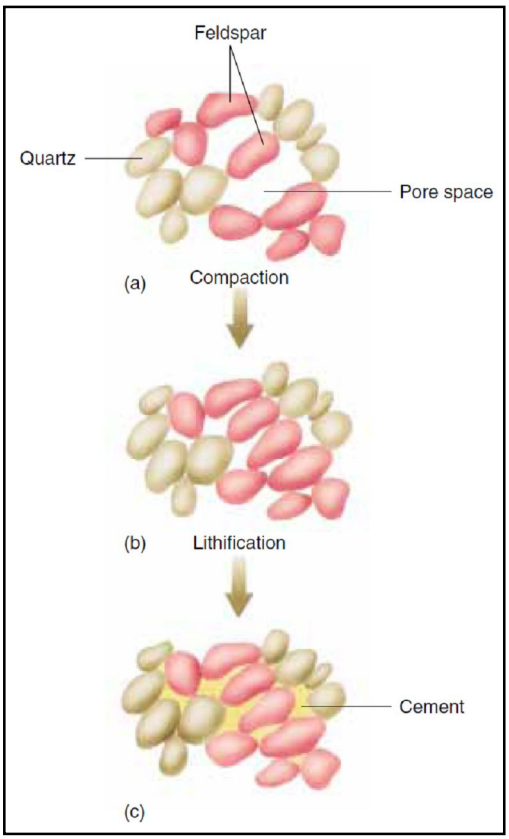
- هوازدگی فیزیکی
- هوازدگی شیمیایی

هوازدگی فیزیکی به خردشدگی مکانیکی سنگ‌ها گفته می‌شود. منظور از خرد شدگی مکانیکی فرآیندهایی است که با تغییر دما و فشار منجر به شکسته شدن سنگ‌ها می‌شود. یخ زدن آب و افزایش حجم آن مثالی از این نوع هوازدگی است. **هوازدگی شیمیایی** نیز تحت تاثیر واکنش های شیمیایی است که منجر به خرد شدن سنگ ها می شود. آبگیری مهمترین نمونه این نوع هوازدگی است.

3-2-1- سنگ های رسوبی تخریبی

سنگ های رسوبی تخریبی حاصل هوازدگی و فرسایش سنگ‌های اولیه می‌باشند. هر سنگی می تواند تحت تاثیر عوامل هوازدگی خرد شود و توسط عوامل فرسایش (آب ، باد) به سمت حوضه‌های رسوبی حمل شود و در نهایت پس از طی مراحل سنگ شدگی(*lithification*) به سنگ‌های رسوبی تخریی تبدیل می‌شوند.

فرآیند سنگ‌شدگی دو مرحله‌ی متراکم شدن و سیمان شدن را شامل می‌شود.



متراکم شدن حاصل قرار گرفتن رسوبات روی یکدیگر و فشار آوردن توسط وزن لایه های فوقانی بر روی آنهاست.

در مرحله **سیمانی شدن** یونهای اشباع در محیط رسوبی یا ذرات ریز رسوبات مانند رس ها فضاهای خالی بین ذرات رسوبی را پر کرده و باعث چسباندن ذرات رسوبی به یکدیگر می شوند. سیمانی که بین ذرات رسوبی را طی می‌کند می‌تواند از جنس سیلیس، آهک ، ترکیبات آهن، رس و یا ترکیبات دیگر) باشد. در این بین سیمان سیلیسی دارای بیشترین مقاومت و سیمان رسی و کمترین مقاومت را دارند .

به سنی که در این مرحله ایجاد می شود سنگ رسوبی تخریبی گفته می شود. نامگذاری این سنگ ها بر اساس اندازه و شکل رسوبات تشکیل دهنده آنهاست. بر این اساس در اینجا ابتدا طبقه بندی رسوبات را بر اساس اندازه معرف می کنیم:

سه دسته اصلی رسوبات بر اساس اندازه عبارتند از:

1- شن 2- ماسه 3- رس و سیلت

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

ماسه‌ها ذراتی هستند که اندازه‌ی آن‌ها بین 2 تا 1/16 میلی متر است.

شن‌ها ذراتی هستند که اندازه‌ی آن‌ها بزرگتر از 2mm است .

بر این اساس اگر رسوب تشکیل دهنده سنگ غالبا از نوع **شن** باشد، نام سنگ **کنگلومرا** خواهد بود.

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

اگر رسوب تشکیل دهنده سنگ غالبا از نوع **رس** باشد نام سنگ، **رس سنگ** خواهد بود. همچنین به رس سنگی که دارای لایه بندی ظریفی هستند **شیل** (*Shale*) گفته می شود.

3-2-2- سنگ های رسوبی تبخیری

این سنگ ها که در حقیقت همان کانی های تبخیری هستند که در کنار یکدیگر قرار گرفته و سنگ ها را به وجود آورده اند، یعنی حاصل ته‌نشینی از یک محلول اشباع در یک حوضه‌ی رسوبی هستند.

مهمترین انواع سنگ های رسوبی تبخیری یا شیمیایی عبارتند از

آهک ($Caco_3$) دولومیت $Ca,Mg\,(co_3)_2$ گچ $CaSo_4$ نمک NaCl

اگر آهک در چشمه های آب سرد تشکیل شود به آن **تراورتن** و اگر در چشمه های آب گرم تشکیل شود به آن **آراگونیت** گفته می شود.

تصاویری از انواع سنگ های رسوبی را می توانید در لینک زیر مشاهده فرمائید.

http://geology.com/rocks/sedimentary-rocks.shtml

3-2-3- سنگ های دگر گونی

پیش از این گفته شد که سنگ های دگرگونی(*Methamorphic Rock*) از دگرگون شدن سایر سنگها به وجود می آیند. مهمترین انواع سنگ های دگرگونی بر اساس نوع سنگ مادر آنها عبارتند از:

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

تصاویری از انواع سنگ های دگرگونی را می توانید در لینک زیر مشاهده فرمائید.

http://geology.com/rocks/metamorphic-rocks.shtml

فصل چهارم

خصوصیات مهندسی سنگ ها

4- خصوصیات مهندسی سنگ ها

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

1- خصوصیات فیزیکی مانند دانسیته، تخلخل، جذب آب و ...
2- خصوصیات مکانیکی مثل مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ...

4-1- خصوصیات فیزیکی

دانسیته: به وزن واحد حجم سنگ گفته می شود. واحد آن گرم بر سانتی متر مکعب یا تن بر متر مکعب بوده و آن را با γنشان می دهند. برای تعیین دانسیته یک نمونه سنگ وزن را به کمک ترازو بدست آورده و حجم آب را هم از میزان آب خارج شده از ظرف پر از آب که نمونه سنگ را در آن قرار دادیم بدست می آید.

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

دانسیته معمول سنگ ها 2.7 تا 3 گرم بر سانتی متر مکعب است. هر چه درصد آهن سنگ بیشتر باشد، دانسیته آن نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین انتظار می رود که سنگ های اسیدی دانسیته کمتری نسبت به سنگ های بازیک داشته باشند.

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

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

تخلخل در سنگ ها بسیار متفاوت است. برای مثال اگر چه سنگ های آذرین تخلخل پائینی دارند(معمولا کمتر از 1%) ولی در برخی بازالت ها تخلخل بالایی (حدود 50%) نیز مشاهده می شود. در سنگهای رسوبی نیز این موضوع صادق است. ماسه سنگ و سنگ آهک تخلخلی متغیر دارند. برای مثال دو نمونه آهک می تواند تخلخل 5 تا 40% داشته باشند.

درصد جذب آب: به میزان آب جذب شده توسط نمونه سنگ گفته می شود. طبیعتاً هرچه تخلخل سنگ بیشتر باشد میزان آب جذب شده توسط آن بیشتر خواهد بود.

4-2- خصوصیات مکانیکی

برای اینکه خصوصیات مکانیکی سنگ ها را بررسی کنیم، ابتدا با سنگ بکر و توده سنگ آشنا می شویم.

سنگ بکر(Intact rock**)** به نمونه کوچکی از سنگ گفته می شود که فاقد شکستگی باشد. میزان مقاومت این سنگ تحت عنوان مقاومت فشاری بیان می شود.

توده سنگ (Rock mass**)** چنانچه از اسم آن مشخص است، به توده سنگی گفته می شود که در محیط پیرامون خود مشاهده می کنیم و طبیعتاً دارای اشکال ساختمانی از جمله شکستگی می باشد.

4-2-1- تعیین مقاومت فشاری سنگ (مقاومت تک محوری)

آزمایش مقاومت فشاری سنگ(*Uniaxial* compression *tests*) به منظور تعیین حداکثر مقاومت سنگ قبل از شکست طراحی شده است. علاوه بر این در این آزمایش رفتار سنگ پیش از شکسته شدن نیز بررسی می شود. علت انتخاب این نام برای این آزمایش این است که فشار تنها در یک محور به نمونه سنگی وارد می شود.

استاندارد: برای تعیین آزمایش های مختلف باید از استاندارد های جهانی معتبر مانند ASTM (*American Society for Testing and Materials*) یا ISRM(*International Society for Rock Mechanics*) استفاده کرد تا علاوه بر

اینکه نتیجه آزمایش برای تمام مهندسان در سرتاسر جهان قابل استناد باشد، قابل درک و استفاده نیز باشد. استاندارد ها معمولاً شرایطی را برای انجام آزمایش ها در نظر می گیرند تا در نهایت نتیجه بدست آمده از آزمایش قابل استناد و استفاده باشد.

استاندارد های آزمایش تعیین مقاومت فشاری:

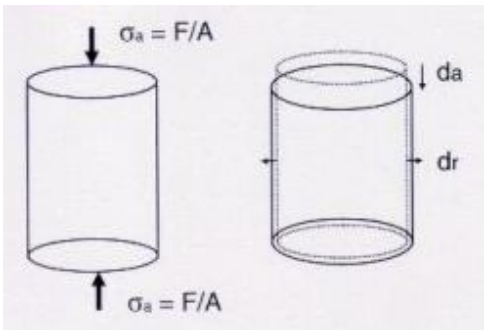
- نمونه سنگی که برای آزمایش به کار می‌رود باید استوانه ای باشد.

- نسبت طول به قطر آن باید 3-2برابر باشد

- سطح نمونه کاملا صاف و صیقلی باشد.

نحوه انجام آزمایش:

نمونه استوانه ای تهیه شده (مطابق استاندارد) را در دستگاه قرار می دهیم. با شروع آزمایش نیرو را در راستای محور طولی استوانه وارد می کنیم. در حین آزمایش علاه بر میزان نیروی وارد شده، تغییر شکل طولی و جانبی نمونه سنگی نیز اندازه گیری می شود. شایان توجه است که نمونه درجهت اعمال بار کاهش طول(ΔL) و در جهت عمود بر اعمال بار افزایش طول خواهیم خواهد داشت(ΔD).

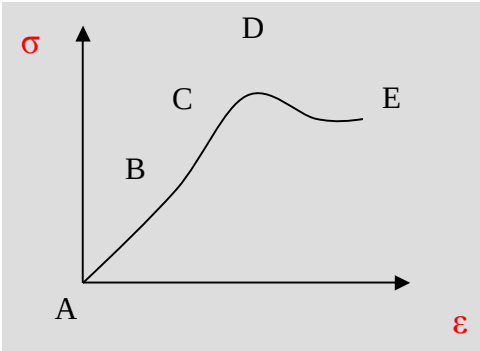


مقدار **تنش** (نیرو بر واحد سطح) که با علامت σ نشان داده می شود، بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع یا پاسکال اندازه گیری می شود (با تقسیم نیروی وارده بر سطح استوانه مقدار تنش محاسبه می شود). $\sigma = \frac{F}{A}$

میزان تغییر شکل (**کرنش**) از تقسیم تغییر طول در هر لحظه به طول اولیه به دست می‌آید. کرنش را با علامت ε نشان می دهیم. که اگر این تغییر شکل در راستای محور استوانه باشد آن را کرنش محوری و اگر در راستای قطر باشد آن را کرنش جانبی می نامیم.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta D}{D_0}$$

در نهایت منحنی تنش کرنش تیپیک مطابق شکل زر بدست می آید. اگر منحنی را به 4 قسمت تقسیم کنیم:



بخش A-C: به این بخش از منحنی، بخش الاستیک گفته می شود و منظور از آن این است که در صورتی که در هر بخش از آن، تنش را از روی سنگ برداریم، سنگ بدون اینکه تغییری حاصل کند دوباره به شکل اول خود باز می گردد. به عبارت دیگر منحنی به نقطه A باز می گردد. تفاوت بخش های AB و BC در این است که در بخش AB منحنی تقعر رو به بالا دارد (به علت بسته شدن شکاف ها و تخلخل های موجود در سنگ در اثر فشار اولیه) در صورتی که در محدوده BC نمودار خطی است.

به نقطه C ، نقطه تسلیم گفته می شود. در این نقطه رفتار سنگ از حالت الاستیک به پلاستیک تغییر می کند. محدوده ان نقطه تقریبا 70% مقاومت نهایی است. به عبارتی ار مقاومت سنگ 100 مگاپاسکال باشد، در حدود تنش 70 مگاپاسکال رفتار سنگ از حالت الاستیک به پلاستیک تغییر می کند.

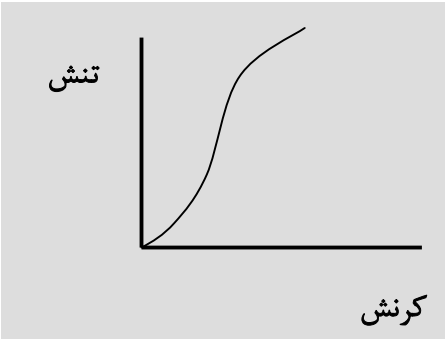
بخش CD که در آن تحدب منحنی رو به بالا است محدوده پلاستیک است. منظور از محدوده پلاستیک این است که در صورتی که در هر نقطه از این بخش فشار را از روی سنگ برداریم، سنگ به نقطه A باز نمی گردد و مقداری تغییر شکل در سنگ باقی می ماند.

به نقطه D نقطه شکست گفته می شود و مقدار تنش در این نقطه برابر مقاومت فشاری تک محوری سنگ (UCS) است.

محدوده DE نیز رفتار سنگ بعد از گسیختگی را نشان می‌دهد.

4-2-2- مدول الاستیسیته

اگر نمودار مربوط به تنش و کرنش را رسم کنیم نموداری بدست می‌آید که شیب آن را مدول الاستیسیته یا مدول یانگ می‌گویند.



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

مدول‌ها یانگ به سه صورت محاسبه می‌شود:

روش اول: در نقطه 50% خطی مماس و شیب آنرا محاسبه می‌کنیم.

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

روش سوم: شیب خطی که ابتدای منحنی را به نقطه شکست متصل می کند را محاسبه می کنیم.

با توجه به اینکه روش سوم کمترین مقدار است، محافظه کارانه تر می باشد.

4-3- طبقه‌بندی مهندسی سنگ بکر

دیر و میلر به منظور طبقه‌بندی سنگ بکر از دو پارامتر مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی استفاده کردند (به نسبت مدول الاستیسیته به مقاومت سنگ نسبت مدولی گفته می شود).

در این طبقه بندی سنگ‌ها بر اساس مقاومت فشاری به پنج گروه A تا E تقسیم می شوند:

نشانه گروه	شرح	MPa	Kg/cm^2	Ib/in^2
A	مقاومت خیلی بالا	220	〉2250	**〉32000**
B	مقاومت بالا	110-220	1125-2250	**16000-32000**
C	مقاومت متوسط	55-110	562-1125	**8000-16000**
D	پایین	28-55	281-562	**4000-8000**
E	مقاومت خیلی پایین	<28	〈 281	〈 4000

گروه A :

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

گروه B :

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

گروه C :

شیل ها، ماسه سنگ های متخلخل و سنگ آهک ها و شیست ها در این رده قرار می گیرند.

گروه D و E :

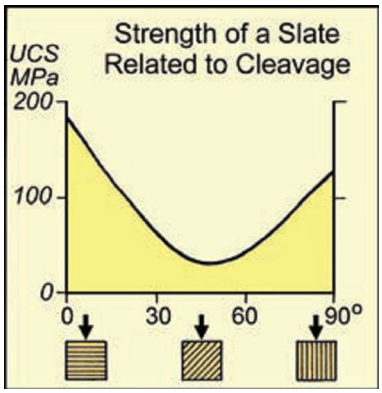
سنگ های خرد شده و هوازده مثل شیل های رسی، نمک ها و توف های متخلخل در این گروه جای می گیرند.

چناچه ملاحظه می شود، در بین سنگهای مختلف برخی از سنگ ها دارای مقاومت کاملاً متغیر می باشند که از جمله آنها می توان به شیست ها و آهک ها اشاره کرد.

- شیست

شیست (*schist*) نوعی سنگ دگرگونی است که از دگرگون شدن رس سنگ ها ایجاد میشود. این سنگ دارای لایه بندی مشخصی است.

علت مقاومت متفاوت در شیست ها روش آزمایش است. همنطور که در شکل زیر می بینید، اگر محور بارگذاری عمود بر لایه بندی یا در راستای لایه بندی باشد، مقاومت سنگ بیشتر خواهد بود و اگر محور بارگذاری با لایه بندی حدود 45 درجه زاویه داشته باشد، کمترین مقاومت حاصل می شود. علت این موضوع سطح ضعف یا همان لایه بندی است که در برابر فشار تحمل بسیار کمی داشته و به راحتی می لغزند. به عبارت دیگر در این حالت، جهت لغزش در راستای لایه بندی است.



- آهک

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

در طبقه بندی دیر و میلر سنگ ها بر اساس نسبت مدولی به سه دسته اصلی تقسیم می شوند.

نسبت مدولی	توضیحات	علامت
500<	مدول بالا	**H**
500-200	مدول متوسط	**M**
200>	مدول پایین	**L**

به طور کلی می توان گفت که اغلب سنگ ها نسبت مدولی متوسط (M) دارند ولی مرمر ها عمدتاً نسبت مدولی بالا (H) دارند.

در نهایت پس از اینجام این دسته بندی ها، نام سنگ به صورت دو حرفی بیان می شود.

مثال :

سنگ گرانیتی که مقاومت 150 مگاپاسکال دارد و نسبت مدولی آن 210 است را با نام BM معرفی می کنیم.

سنگ مرمری که مقاومت 70 مگاپاسکال دارد و نسبت مدولی آن 320 است را با نام CH معرفی می کنیم.

سنگ آهک که مقاومت 60 مگاپاسکال دارد و مدول الاستیسته آن 16 گیگا پاسکال است را با نام CM معرفی می کنیم.

3-4- عوامل موثر بر مقاومت سنگ

عوامل متعددی بر مقاومت سنگ تاثیر گذارند که مهمترین آنها عبارتند از:

1. ترکیب کانی شناسی
2. وزن مخصوص و وزن واحد جرمی
3. تخلخل
4. شکل و اندازه دانه‌ها
5. هوازدگی
6. میزان شکستگی‌های خیلی ریز سنگ

- بطور کلی میتوان گفت بالاترین مقاومت در بین کانی ها متعلق به کوارتز است در حالی که مقاومت تراکمی فلدسپارها، پیروکسن، اوژیت، هورنبلاند و سایر کانی‌های فرومنیزین کمتر است. بطور کلی مقاومت سنگ‌هایی که دارای کانی‌های سست مثل کلسیت و ژیپس باشد کم است و مقاومت سنگ حاوی کوارتز بالا هست.

- در سنگ‌هایی رسوبی که دارای سیمان باشند، تاثیر سیمان بیش‌تر از تاثیر ویژگی ذرات است. برای مثال دو نوع ماسه سنگ با ترکیب یکسان ولی سیمان رسی و سیلیسی به ترتیب مقاومت فشاری در حدود 120 تا 5 مگاپاسکال دارند.

- هر چه مقاومت بالاتر می رود وزن مخصوص هم بیشتر می‌شود.

- با افزایش تخلخل هم مقاومت سنگ و هم مدول الاستیسیته کاهش پیدا می‌کند.

- هر چه سنگ ریزتر باشد، مقاومتر است و سطح تماس ذرات افزایش می‌یابد چون اتصال ذرات بیشتر می‌شود. بنابراین انتظار می رود که ریولیت نسبت به گرانیت مقاومت کمتری داشته باشد 0هر دو با یک ترکیب ولی ریولیت سنگ بیرونی و ریزدانه و گرانیت سنگ درونی و درشت دانه).

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

- عوامل بیرونی موثر در خواص مهندسی و مقاومتی سنگ شامل رطوبت و حرارت است. عملاً هر قدر میزان رطوبت در سنگ بیشتر باشد باعث کاهش مقاومت می‌شود و تاثیر منفی بر ویژگی های مهندسی سنگ دارد.

فصل پنجم

خاک

(این فصل طبقه بندی خاک به طور بسیار کلی شرح داده شده و در آینده در درس مکانیک خاک به طور مفصل با این بخش آشنا خواهید شد)

5- خاک

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

5-1- دانه بندی خاک ها

به منظور شناخت خصوصیات مختلف خاک ها به ناچار باید آنها را طبقه بندی کرد. یکی از بهترین روش ها استفاده از نتایج آزمایش دانه بندی است. منظور از دانه بندی، طبقه بندی خاک ها بر اساس اندازه دانه ها و برخی خصوصیات آنها می باشد. روش های مختلفی برای طبقه بندی خاک ها وجود دارد که از مهمترین آنها می توان به طبقه بندی یونیفاید(*UNIFIED*) و آشتو (*AASHTO*) اشاره کرد. طبقه بندی یونیفاید بیشتر در کارهای مهندسی و طبقه بندی آشتو بیشتر در راه سازی کاربرد دارد. در تمام طبقه بندی های مهندسی، خاک را به دو دسته اصلی خاک ریزدانه(یا چسبنده) و درشت دانه (یا غیر چسبنده) تقسیم بندی می کنند.

5-1-1- روش دانه بندی

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

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

	شماره الک	قطر ذرات(mm)	وزن خاک روی هر الک	درصد وزنی خاک روی هر الک	درصد وزنی تجمعی	درصد وزنی عبوری
شن	3 in	75	0	0.00	0.00	100.00
	2 in	50	22	7.43	7.43	92.57
	1in	25	18	6.08	13.51	86.49
	3/8 in	9.5	30	10.14	23.65	76.35
	4 #	4.75	25	8.45	32.09	67.91
ماسه	10 #	2	32	10.81	42.91	57.09
	20 #	0.85	23	7.77	50.68	49.32
	40 #	0.425	12	4.05	54.73	45.27
	60 #	0.25	42	14.19	68.92	31.08
	140 #	0.14	33	11.15	80.07	19.93
	200 #	0.075	14	4.73	84.80	15.20
ریزدانه (سیلت و رس)		<0.075	45	15.20	100.00	0.00
مجموع			296	100.00		

دریافت فایل دانه بندی از لینک زیر

http://s1.picofile.com/file/7551052682/Gradation_test.xls.html

در طبقه بندی خاک 4 نوع اصلی خاک با نام اختصاری لاتین شناخته می شوند:

خاکهای درت دانه:

شن G

ماسه S

خاک های ریز دانه

رس C

سیلت M

قطر 0.075 میلی متر (الک شماره 200) برای جدا کردن خاک ریز دانه از درشت دانه است و قطر 4.75 میلی متر (الک شماره 4) برای جدا کردن شن از ماسه به کار می رود. به عبارتی ذرات ریز دانه (سیلت و رس) ریز تر از 0.075 میلی متر هستند، شن ذرات با قطربزرگتر از 4.75 میلی متر و ماسه ذرات با قطر بین 0.075 تا 4.75 میلی متر قطر است.

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

1- ابتدا درصد خاک در هر رده را تعیین می کنند. اگر درصد وزنی ذرات عبور کرده از الک 0.075میلیمتر بیشتر از درصد وزنی ذراتی بود که بالاتر از آن الک قرار گرفته اند، آن خاک ریز دانه است و اگر خلاف این موضوع باشد خاک درشت دانه خواهد بود.

2- درصورتی که خاک درشت دانه باشد یا شن است یا ماسه. برای تشخیص این موضوع درصد ذرات با قطر بین 0.075 تا 4.75 میلی متر (یعنی ماسه) را با درصد وزنی ذرات با قطر بزرگتر از 4.75 میلی متر (یعنی شن) را با یکدیگر مقایسه می کنیم. هر یک بیشتر بود خاک همان نام را به خود می گیرد.

3 درصورتی که خاک درشت دانه باشد و میزان درصد ذرات ریزدانه در خاک بیش از 12% باشد، حرف C را به نام خاک اضافه می کنیم. به مثال زیر توجه کنید:

نام اصلی خاک	درصد وزنی شن	درصد وزنی ماسه	درصد وزنی درشت دانه	درصد وزنی ریز دانه
SC	25	30	55	45
C	20	29	49	51
G	70	20	90	10
S	40	45	95	5

2-5- خصوصیات مهندسی خاکها

اطلاع از نوع خاک یک منطقه به ما کمک می کند تا خصوصیات آنها را بیشتر بشناسیم. برای پی بردن به این موضوع ابتدا به چند خصوصیت مهندسی خاک اشاره می کنیم و سپس راجع به مشکلات خاک ها و راهکار های مقابله با آن اشاره خواهیم کرد. رفتار خاک های مختلف تحت تاثیر خصوصیات مهندسی آنها می باشد. مقاومت و نفوذپذیری از مهمترین خصوصیات خاک ها به شمار می آیند که تاثیر قابل توجهی در رفتار خاک دارند.

مقاومت تحت تاثیر دو پارمتر اصلی می باشد: 1- زاویه اصطکاک داخلی 2- چسبندگی

اگر بخواهیم **زاویه اصطکاک داخلی** (*Angle of internal Friction*) را خیلی ساده بیان کنیم می توانیم به اصطکاک قابل توجهی که بین ذرات درشت دانه وجود دارد. زاویه اصطکاک داخلی را با علامت φ نشان می دهند. میزان زاویه اصطکاک داخلی متوسط سنگ و خاک ها در جدول روبرو آورده شده است.

Angle of internal friction (ϕ)	
Rock	30°
Sand	30-40°
Gravel	35°
Silt	34°
Clay	20°

چسبندگی (Cohesion) پارامتری است که در خاک های ریزدانه مانند رس ها نقش مهمی در مقاومت آنها ایفا می کند. چسبندگی خاخک های رسی پس از مخلوط شدن آنها با آب قابل مشاهده است در صورتی که ماسه های ساحلی هیچ گاه چنین خصوصیتی را از خود نشان نمی دهند. واحد اندازه گیری چسبندگی کیلوپاسکال می باشد. مقدار چسبندگی در خاک های مختلف در جدول روبرو مشاهده می شود.

Rock	10,000 kPa
Silt	75 kPa
Clay	10-20 kPa
Very soft clay	0- 48 kPa
Soft clay	48-96 kPa
Medium clay	96-192 kPa
Stiff clay	192-384 kPa
Very stiff clay	384-766 kPa
Hard clay	>766 kPa

نفوذپذیری (*Permeability*) به توانایی خاک در عبور آب گفته می شود. این پارامتر اولین بار توسط دارسی اندازه گیری شد. خاک های درشت دانه نفوذپذیری بالایی دارند و به راحتی آب را از خود عبور می دهند در حالی که رس ها به سختی آب را از خود عبور می دهند به نحوی که آنها را خاک های نفوذ ناپذیر می نامند. میزان نرخ نفوذپذیری خاک های مختلف در زیر آورده شده است.

Well-sorted gravel	10^{-2} to 1 cm/sec
Well-sorted sands, glacial outwash	10^{-3} to 10^{-1} cm/sec
Silty sands, fine sands	10^{-5} to 10^{-3} cm/sec
Silt, sandy silts, clayey sands, till	10^{-6} to 10^{-4} cm/sec
Clay	10^{-9} to 10^{-6} cm/sec

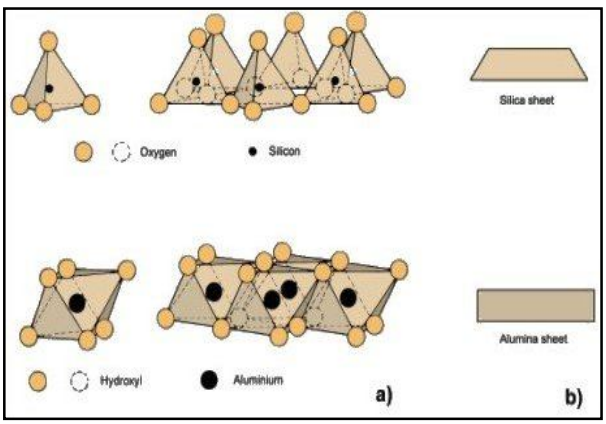
3-5- خاک های مسئله دار

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

5-3-1- خاک های رسی

پیش از صحبت راجع به خاک های رسی باید تفاوت خاک های رسی (دارای کانی های رسی) را با خاک های با اندازه رس را درک کنیم. اغلب خصوصیات مربوط به کانی های رسی (مانند جذب آب، خاصیت خمیری، نشست، تورم و ...) مربوط به کانی های رسی موجود در ترکیب خاک و نه ذرات در اندازه رس است. برای فهم این موضوع به بررسی کانی های رسی می پردازیم:

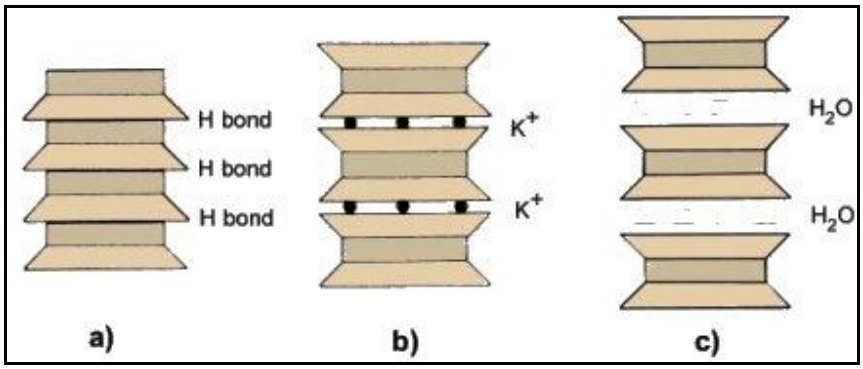
سه دسته اصلی کانی های رسی عبارتند از: 1- کائولینیت 2- ایلیت 3- مونت موریونیت



تمام کانی های رسی از ورقه های سیلیکا و آلمونا تشکیل شده اند. این دو نوع ورقه در شکل زیر نشان داده شده است.

ورقه های سیلیکا از هرم هایی تشکیل شده اند که سیلیس در مرکز آن و یون های اکسیژن در گوشه های آن قرار گرفته اند. در حالی که ورقه های آلومینا، هشت وجهی هایی هستند که آلومینیوم در مرکز آن و یون های هیدروکسید در گوشه های هشت وجهی قرار گرفته اند.

تفاوت سه کانی رسی مذکور تنها در نحوه اتصال این ورقه ها است. کائولینیت ها از تکرار این ورقه ها روی یکدیگر تشکیل می شوند(شکلa)، در ایلیت ها، یون های پتاسیم هر دو ورقه آلومینا- سیلیکا را به یکدیگر وصل می کند (شکل b) و در مونت موریونیت مولکول های آب این اتصال را برقرار می کنند(شکل c).



گلدشمیت ثابت کرد که خاصیت پلاستیکی در کانی های رسی به علت وجود ذرات پولکی شکلی است که در سطح خود دارای ذرات باردار هستند. بر اساس تئوری او، ذرات آب به صورت الکترولیتی دوقطبی هستند که به ذره باردار کانی رسی نزدیک می شوند. مهمترین دلایل جذب آب توسط کانی های رسی را این طور می توان توضیح داد:

1- در لبه و گوشه های شکسته شده کای های رسی بار های خنثی نشده ای وجود دارد که آب را جذب می کند.

2- جانشینی یون ها در کانی های رسی توازن بار الکتریکی را بر هم زده باعث جذب دو قطبی های آب می شود.

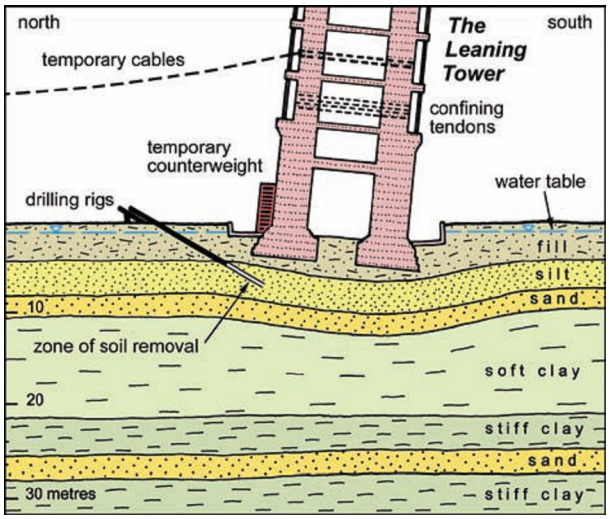
3- توزیع نا متوازن بار در سطح کانی های رسی

در این بین کانی های رسی نوع مونت مورینیت توانایی به مراتب بیشتری در جذب آب نسبت به سایر کانی های رسی دارند، پس از آن ایلیت و کائولینیت قرار دارند. در نهایت می توان به این نتیجه رسید که این خاصیت جذب آب توسط کانی های رسی باعث ایجاد خصوصیات خاص آن ها می شود که این خصوصیات عبارتند از:

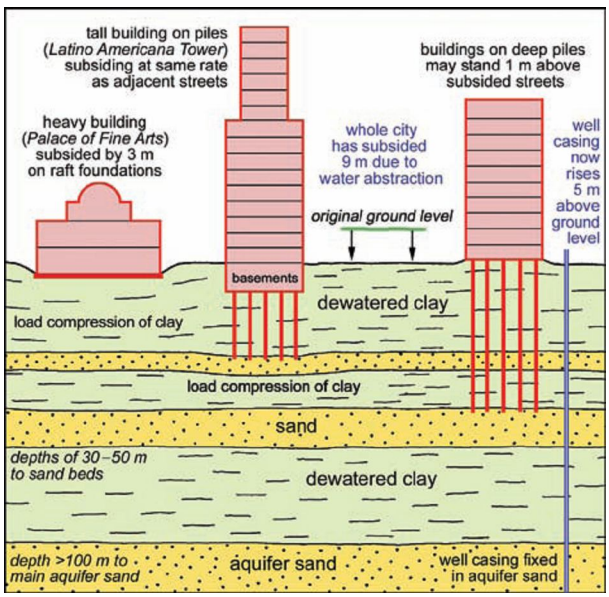
1- حالت خمیری

چناچه می دانید با مخلوط کردن رسها با آب، گلی شکل پذیر و البته چسبنده ایجاد می شود. این موضوع در خاک های رسی از نوع مونت موریونیت اثری دو چندان دارد.

2- تورم و نشست



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



راهکار برای مقابله با مشکل نشست در خاکهای رسی

1- برداشت آنها در صورتی که ضخامت کمی داشته باشند

2- استفاده از پی های عریض و گسترده

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

2-3-5- خاک های خورنده

خاک های خورنده(*Corrosive Soils*) عمدتاً بر روی فلزاتی همچون آهن اثر گذاشته و با خورندگی آنها را از بین می برند. این خاک ها، خاکهایی قلیایی هستند که اسیدیته بالایی دارند. علت این موضوع درصد بالای املاح کلرور و

سولفات در این خاکها می باشد که علت آن وجود گچ در خاک می باشد. در صورتی که خطوط فلزی انتقال آب ، گاز یا نفت از روی این خاک ها عبور کند باید با توجه به شرایط موجود یکی از راهکار های زیر را استفاده کنیم:

1- خاک را تعویض کنیم

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

3- لوله های غیر فلزی به کار بریم

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

5-3-3- خاک های انحلال پذیر

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

5-3-4- خاک های رمبنده

خاک هایی با اندازه ماسه ریز (لُس) که به رنگ قهوه ای دیده می شود. ذرات این خاک ها توسط سیمان کربناته به یکدیگر متصل شده اند. این خاک‌ها در حالت خشک مقاومت خوبی دارند ولی در بارندگی‌ها و یا بالا آمدن سطح ایستابی به علت انحلال کربنات کاهش حجم یافته و فرو می‌ریزند.

5-3-5- خاک های واگرا

خاک های واگرا(*Dispersive Soil*) خاک های ریزدانه ای هستند که درصد بالایی سدیم در ساختمان آنها وجود دارد. این خاک ها در تماس با آب به راحتی شسته می شوند(این موضوع به علت وجود یونهای بزرگ سدیم است که باعث پراکنده شدن ذرات خاک می شود). آب عبوری روی این خاک ها خیلی زود گل آلود می شود و آبراهه هایی را در بخش هایی از خاک به وجود می آورد. در صورتی که این خاک ها در بستر کانال ها وجود داشته باشد باید آنها را تعویض کرد.

فصل ششم

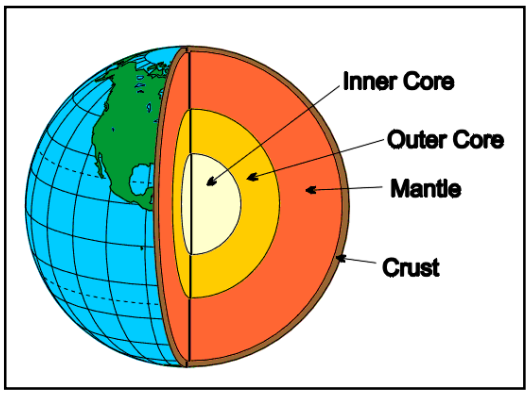
زمین شناسی ساختمانی

6- زمین شناسی ساختمانی

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

6-1- نظریه تکتونیک صفحه ای؛ Plate Tectonic Theory

سالانه بیش از یک میلیون زمین لرزه در سطح زمین رخ می دهد، انسان های زیادی کشته می شوند و درکنار آن شاهد حوادث دیگری هچون سونامی و آتشفشان هستیم. علت این رخداد ها چه می تواند باشد. نظریه زمین ساخت جهانی یا تکتونیک صفحه ای اولین بار در سال 1967 به طور کامل توضیح داده شد. این تئوری علت اصلی تشکیل ساختمان های زمین (چین ، گسل) آتشفشان و رخداد زمین لرزه ها را توضیح داده است. به منظور بیان ساده این نظریه می بایست به ساختمان درونی زمین توجه کنیم. کره زمین با شعاع حدود 6370 کیلومتر از سه بخش اصلی تشکیل شده است:



1- پوسته ای (Crust) به ضخامت متوسط حدود 100 کیلومتر در بخش بیرونی که بخش تقریباً جامد زمین بوده و از سیلیکات های مختلف تشکیل شده است.

2- گوشته (Mantle) بخش نیمه مذاب با ضخامت 2800 کیلومتر

گوشته گفته می شود.

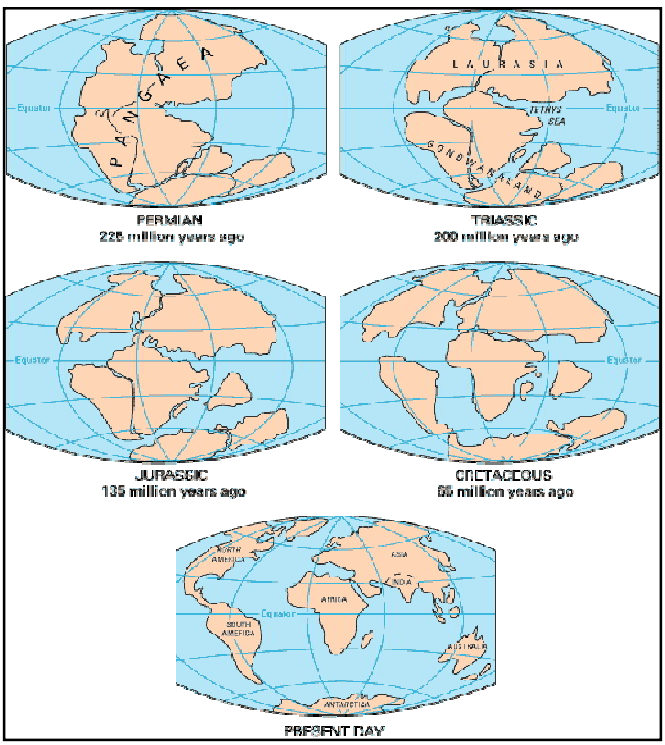
3- هسته(Core) با ضخامت 3500 کیلومتر که بخش مرکزی آن غیر مذاب و بخش بیرونی آن به صورت مذاب است و بر همین اساس به دو بخش هسته داخلی و خارجی تقسیم بندی می شود. علت اینکه بخش مرکزی زمین مذاب نمی باشد، فشار بسیار بالا و وجود فلزاتی چون آهن در مرکز زمین می باشد.

پوسته زمین به دو دسته اصلی قاره ای و اقیانوسی تقسیم بندی می شوند که تفاوت آنها در نوع مواد تشکیل دهنده، ضخامت و چگالی است.

- پوسته قاره ای ضخامت بیشتری دارد (حدود 70 کیلومتر) و چون از سیلیکات های آلومینیوم تشکیل شده، چگالی کمی دارد (حدود 2.7)

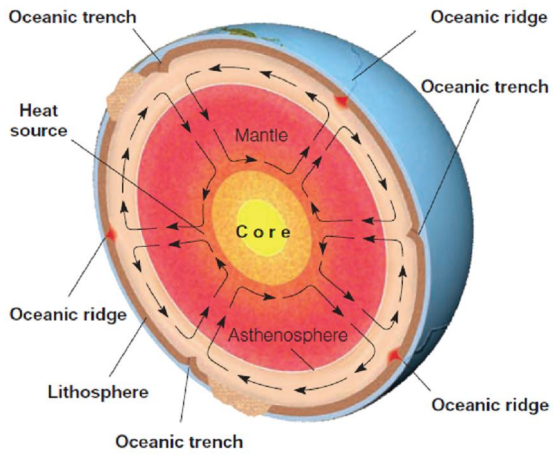
- پوسته اقیانوسی ضخامتی حدود 10 کیلومتر دارد و به علت وجود سیلیکات های آهن و منیزیم (کانی های بازیک) عمدتاً چگالی بیشتری نسبت به پوسته قاره ای دارد(بیش از 3).

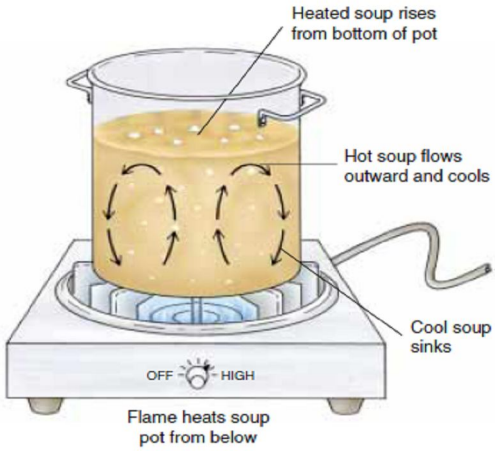
6-1-1- نظریه و فرضیه های آن



بر طبق نظریه تکتونیک صفحه ای کره زمین در ابتدا از یک قاره واحد به نام گندوانا تشکیل شده بوده ولی به مرور زمان به قطعاتی تقسیم شده است. پس از آن قاره های مختلف از یکدیگر دور شده یا به یکدیگر نزدیک شده اند. در شکل ظاتفاقات رخ داده در صفحات در طول تاریخ نشان داده شده است. این نظریه بر این فرض استوار است که گرما از مرکز زمین به سوی بخش بیرونی حرکت می کند و رسیدن این گرما به پوسته جامد باعث ایجاد یک حرکت همرفتی در بخش بالایی گوشته می شود و این موضوع سبب می شود که پوسته جامد بر روی گوشته نیمه مذاب تا مذاب حرکت کند. صفحات مختلف به همین ترتیب حرکت می کنند. در شکل های

زیر این موضوع نشان داده شده است.





بنابراین دو مرز اصلی بین صفحات تعریف می شود.

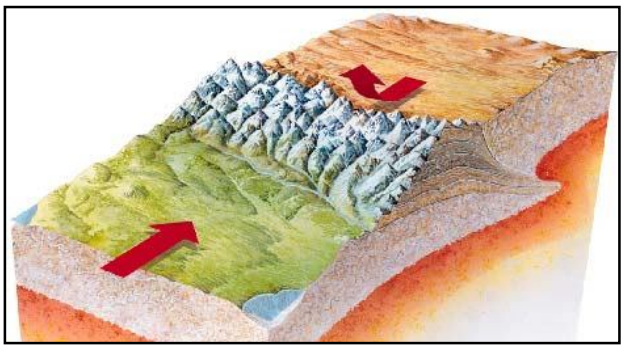
1- مرزهای واگرا 2- مرزهای همگرا

مرزهای واگرا به محل جدایش دو صفحه گفته میشود. این مرزها که معمولاً باعث جدایش دو قاره می شوند، باعث پیدایش یک حوضه اقیانوسی در بین دو قاره می شوند. این مرز امروزه در وسط اقیانوس آرام (جدا کننده صفحات آفریقا و آمریکا- شکل روبرو) یا دریای سرخ دیده می شود. در این حالت مواد مذاب درون زمین در محل جدایش دو قاره (در وسط اقیانوس) خارج می شوند و باعث تشکیل پوسته اقیانوسی جدیدی می شوند. نرخ حرکت در این مرز متفاوت است ولی به طور معمول حدود 3 تا 4 سانتی متر در سال برآورد شده است.

دسته دوم **مرز های همگرا** هستند. در این حالت دو مرز پوسته ای یا قاره ای به یکدیگر نزدیک می شوند. در این مرزها دو نوع اصلی برخورد داریم:

1- برخورد پوسته قاره ای- قاره ای 2- برخورد پوسته قاره ای - اقیانوسی

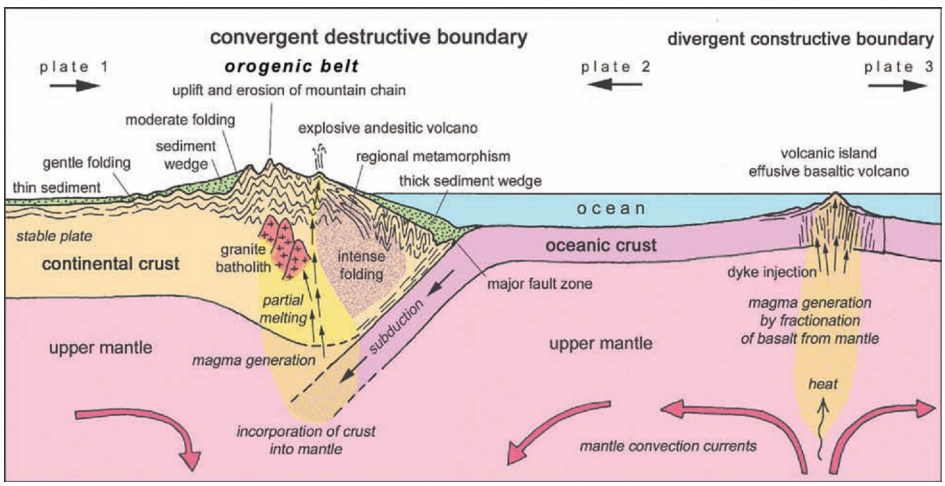
برخورد از نوع قاره ای- قاره ای



در این حالت دو پوسته قاره ای به یکدیگر برخورد می کنند که در این صورت به علت ضخامت قابل توجه پوسته های قاره ای، کوه های مرتفعی در محل برخورد دو قاره تشکیل می شود. نمونه بارز این گونه برخوردها، برخورد صفحه قاره ای هند به صفحه قاره ای آسیا می باشد که باعث تشکیل ارتفاعات تبت و رشته کوه های هیمالیا شده است. این اتفاق در کشور ایران نیز رخ داده و حاصل آن ایجاد زون زاگرس بوده است. در اینجا با بازشدگی دریای سرخ، صفحه قاره ای عربی به سمت صفحه قاره ای ایران حرت کرده است و ماحصل برخورد دو صفحه قاره ای بوجود آمدن ارتفاعات زاگرس بوده است. این موضوع یکی از دلایل اصلی قرار گیری کشور ایران بر روی کمربند جهانی زلزله است.

برخورد از نوع قاره ای - اقیانوسی

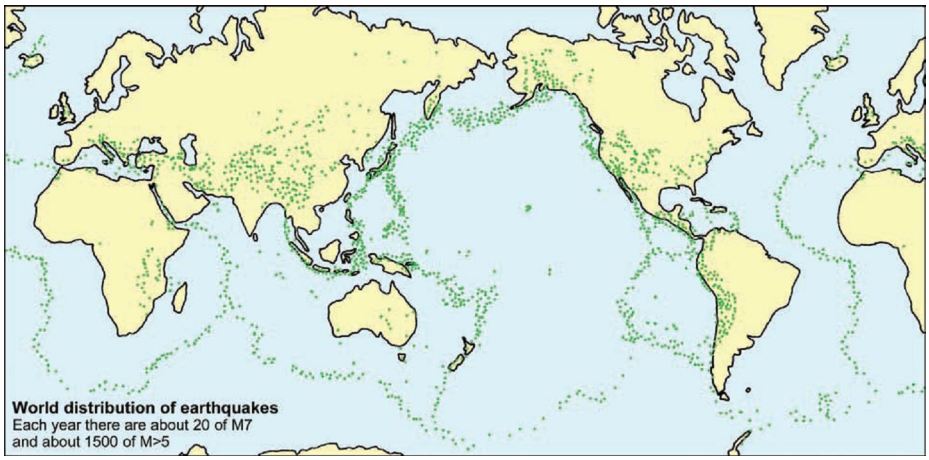
در این برخورد پوسته قاره ای به پوسته اقیانوسی برخورد می کند. در این حالت به دلیل ضخامت کمتر و چگالی بالاتر پوسته اقیانوسی، این پوسته به زیر صفحه قاره ای فرو می رود(فرورانش). هم اکنون اقیانوس آرام در حال فرورانش به زیر قاره آمریکا و آسیا است. مکانیسم و نحوه فرورانش در شکل زیر نشان داده شده است.



در محل این نوع برخورد ها معمولاً دو پدیده به چشم می خورد: آتشفشان و زمین لرزه

- آتشفشان های زیادی در محل این مرزها رخ می دهد که علت آن ذوب شدن سنگها و رسوبات فرو رفته در محل برخورد دو صفحه است (شکل فوق).

- علاوه بر این در محل مرز صفحات زلزله های متعددی رخ می دهد. علت این موضوع فشار بسیار زیادی است که در محل برخورد دو صفحه به سنگ ها وارد می شود. به طور کلی می توان گفت که بیشتر زمین لرزه ها در محل مرز صفحات رخ می دهد. در شکل زیر موقعیت مرکز سطحی زمین لرزه های کره زمین نشان داده شده است. به این مناطق **کمربند زلزله** گفته می شود.



6-2- مشخصات هندسی لایه های زمین

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

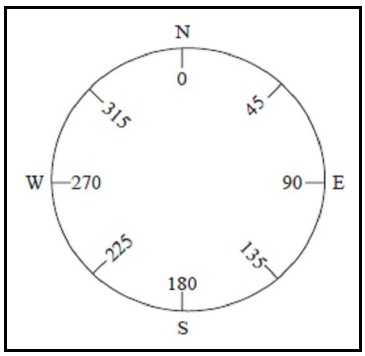
1- رفتار شکل پذیر (چین ها) 2- رفتار شکننده (شکستگی ها و گسل ها)

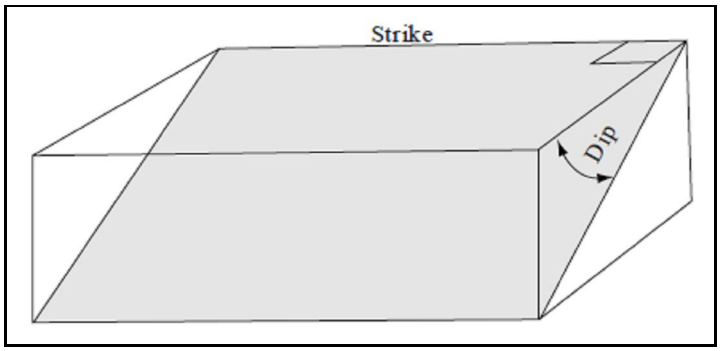
قبل از اینکه راجع به این ساختار ها صحبت کنیم، نیاز داریم با دو اصطلاح شیب و امتداد آشنا شویم. برای معرفی هر صفحه ای در فضا از این دو اصطلاح استفاده می کنیم.

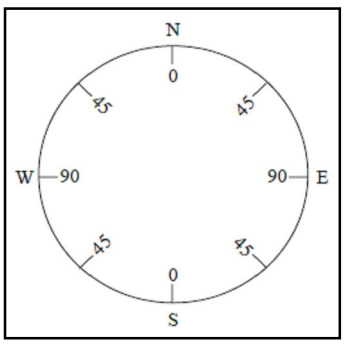
6-2-1- امتداد

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

1- زاویه آن خط را نسبت به شمال جغرافیایی در راستای ساعت گرد محاسبه می کنیم و با 3 عدد معرفی می کنیم. برای مثال 015، 085، 124، 345 . با توجه به اینکه امتداد دو راستا دارد هر صفحه را با 2 عدد می توانیم معرفی کنیم. برای مثال امتداد 000 با امتداد 180 و امتداد های 045 و 090 به ترتیب با امتداد های 225 و 270 برابر است.

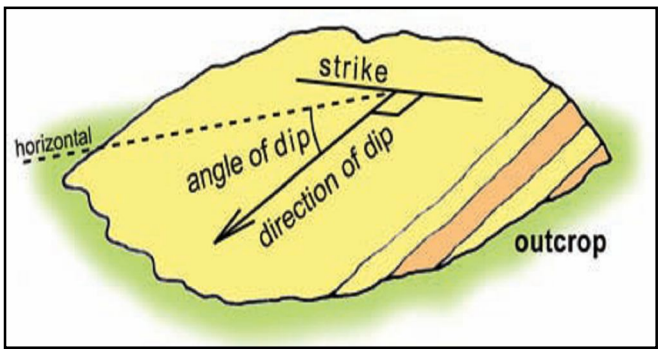




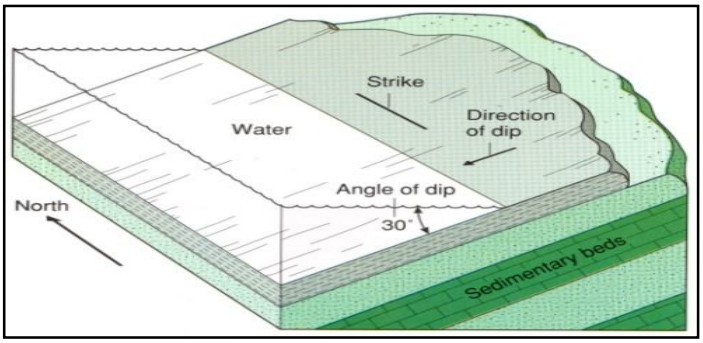


2- روش دوم این است که زاویه آن خط را نسبت به شمال یا جنوب جغرافیایی (یا مغناطیسی) به سمت شرق یا غرب بیان کنیم. برای مثال اگر بخواهیم زاویه **015** در روش اول را معرفی کنیم آن را به صورت **N15E** معرفی می کنیم زیرا آن خط از شمال 15 درجه به سمت شرق حرکت کرده است. همچنین **124** را به صورت **S56E** و **185** را با **S05W** معرفی می کنیم. در این روش با توجه به چهار جهت اصلی حداکثر عددی که می تواند بیان شود 90 درجه است. چنانچه در بالا توضیح داده شد امتداد را در دو راستا می توانیم معرفی کنیم. برای مثال **S56E** با **N56W** و امتداد **N10E** با امتداد **S10W** برابر است.

6-2-2- شیب و جهت شیب

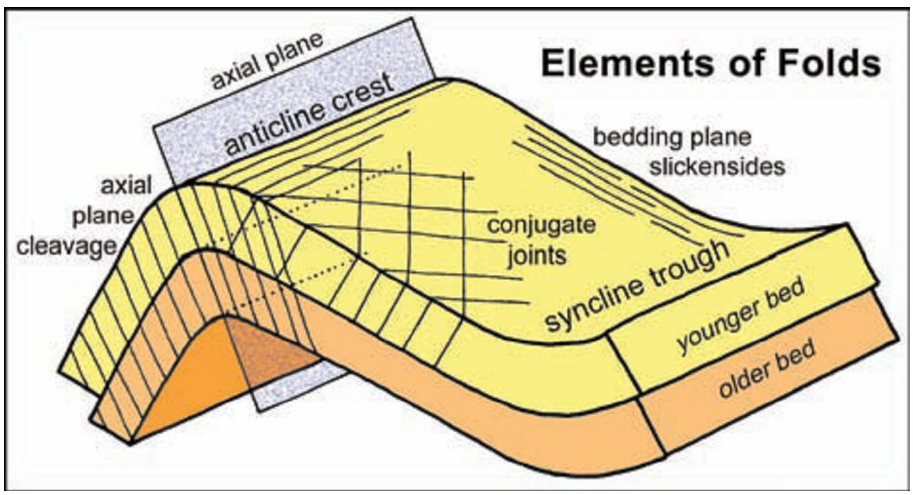


شیب(*Dip*) زاویه ای است که هر صفحه با سطح افق می سازد. برای معرفی هر صفحه باید **جهت شیب** (*Dip Direction*) را هم مشخص کنیم. منظور از جهت شیب، جهت جغرافیایی است که شیب در آن راستا است. در شکل روبرو امتداد، شیب و جهت شیب یک صفحه نشان داده شده است.



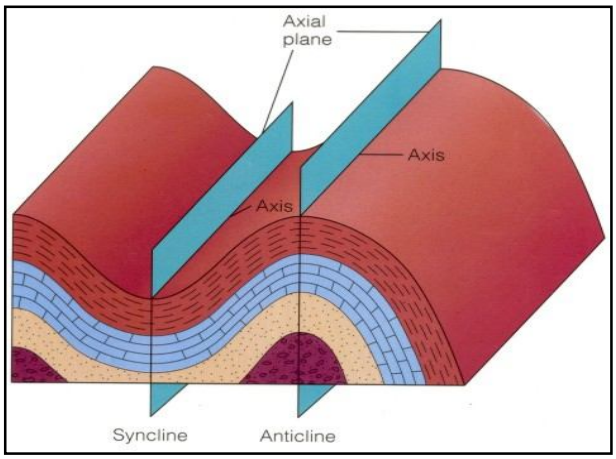
برای معرفی مشخصات فضایی هر صفحه از امتداد، شیب و جهت شیب استفاده می شود. در شکل روبرو مفهوم امتداد، شیب و جهت شیب نشان داده شده است.

3-6- ساختمان های شکل پذیر (چین ها)



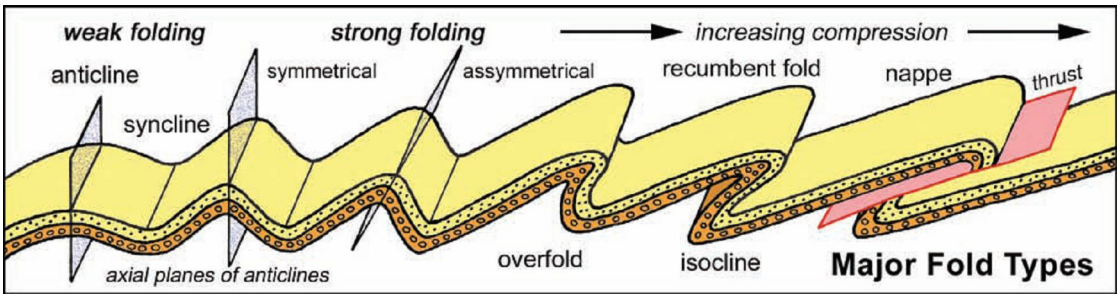
در نتیجه نیروهای فشارشی موجود در پوسته زمین، رسوبات کف حوضه های رسوبی از حالت افقی خارج شده و چین می خورند. سنگهایی که چین می خورند مقاومت زیادی در برابر نیروهای وارده دارند و پیش از شکسته شدن تا حد امکان توسط چین خوردگی در برابر تنش های وارده مقاومت می کنند. در شکل زیر اجزای یک چین نشان داده شده است. هر چین دارای دو یال یا پهلو می باشد که محل تقاطع آنها **محور چین** نامیده می شود. همچنین به سطحی که از محل محور چین آن را به دو قسمت متقارن تقسیم می کند **سطح محوری** (Axial Plane) گفته می شود. برای معرفی چین ها خصوصیات هندسی سطح محوری آن معرفی می شود. این موضوع در طبقه بندی مهندسی سنگ ها، انتخاب مسیر راه ها و تونل ها، محور سدها و ... اهمیت بسزایی دارد.

6-3-1- طبقه بندی چین ها



چین ها طبقه بندی های مختلفی دارند ولی مهمترین طبقه بندی چین ها، بر اساس شکل آنها صورت می گیرد، به این ترتیب که آنها را به دو دسته تاقدیس (Anticline) و ناودیس(syncline) تقسیم بندی می کنند. در شکل روبرو این دو نوع چین نشان داده شده است. تاقدیس ها چین هایی گنبدی شکل هستند که در آن لایه های قدیمی در مرکز چین قرار می گیرد و لایه های جدید در بخش بیرونی چین واقع می شود. ناودیس ها بر خلاف تاقدیس ها، چین هایی کاسه ای شکل که در آن لایه های جدید در مرکز چین قرار می گیرند و لایه های قدیمی در بخش بیرونی قرار می گیرند.

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



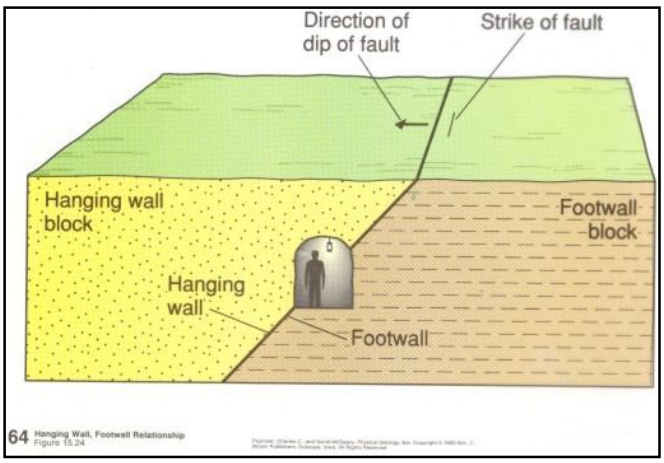
6-4- ساختار های شکننده

در صورتی که سنگ های شکننده تحت فشار قرار گیرند و بر خلاف سنگ های شکل پذیر شکسته می شوند. شکستگی سنگ ها را می توان به دو دسته درز (Joint) و گسل(Fault) تقسیم بندی کرد. تفاوت اصلی درزه با گسل در این است که در درزه ها، سنگ های دو طرف شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت نمی کنند در صورتی که در گسل ها، سنگ های دو طرف شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت می کنند.

6-4-1- گسل

گسل ها در حقیقت عامل زلزله هستند. چنانچه توضیح داده شد، صفحات زمین مدام در حال جابجایی هستند. جابجایی صفحات، برخورد آنها به یکدیگر باعث رخداد گسل می شود. به عبارتی سنگ ها تحمل فشار های تکتونیکی را نداشته و در نهایت در امتداد یک صفحه ضعیف گسیخته می شود و گسل ایجاد می شود. حرکت سنگها در امتداد صفحه گسل با آزاد شدن انرژی ذخیره شده در سنگ (زمین لرزه) همراه است.

6-4-1-1- مشخصات گسل ها



گسل ها را عموما با واژه هایی چون امتداد و شیب گسل، فرادیواره و فرودیواره معرفی می کنند. صفحه گسل، صفحه ای است که لایه بر روی آن صفحه جابجا شده اند. مخصات هندسی گسل ها با صفحه گسل تعریف می شود. فرادیواره یا کمر بالا(Hanging wall) به لایه هایی گفته می شود که روی صفحه گسل قرار می گیرند. فرودیواره یا کمر پائین (Foot wall) به طبقات زیرین صفحه گسل گفته می شود.

6-4-2-2- انواع گسل

- **گسل نرمال یاعادی یا کششی (Normal)**

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

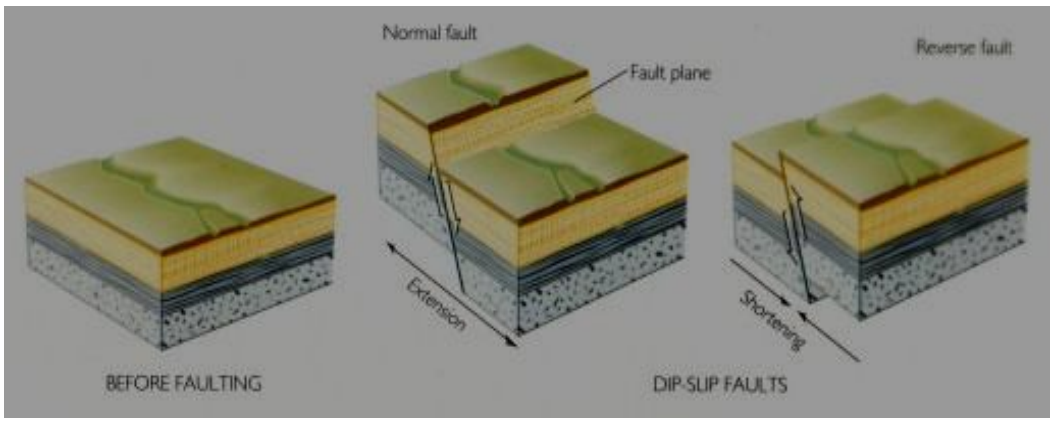
- **گسل معکوس یا فشارشی یا رانده (Reverse)**

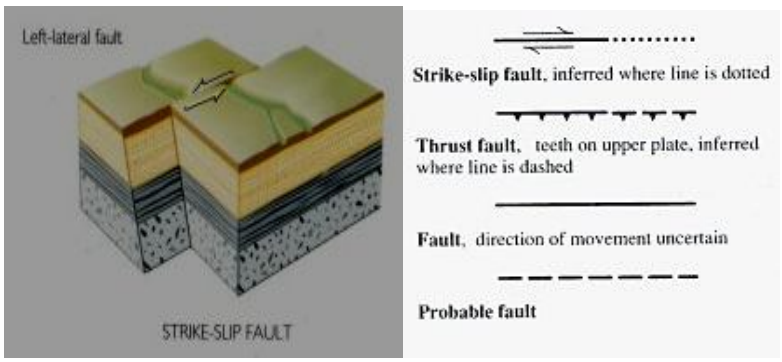
این گسل ها همانطور که از نامشان پیداست در اثر نیروهای فشاری به وجود می آیند و در آن فرادیواره نسبت به فرودیواره به طرف بالا حرکت می کند.

- **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.



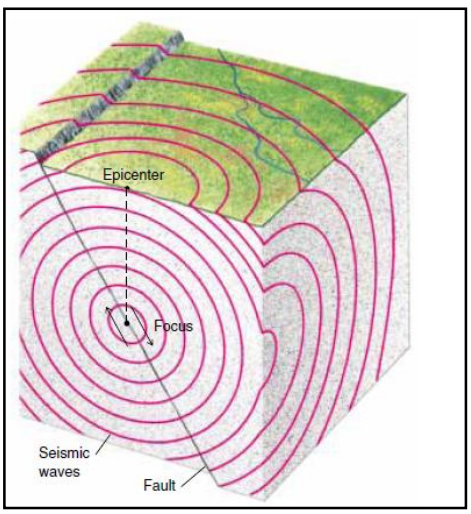


فصل هفتم

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 نشات 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.

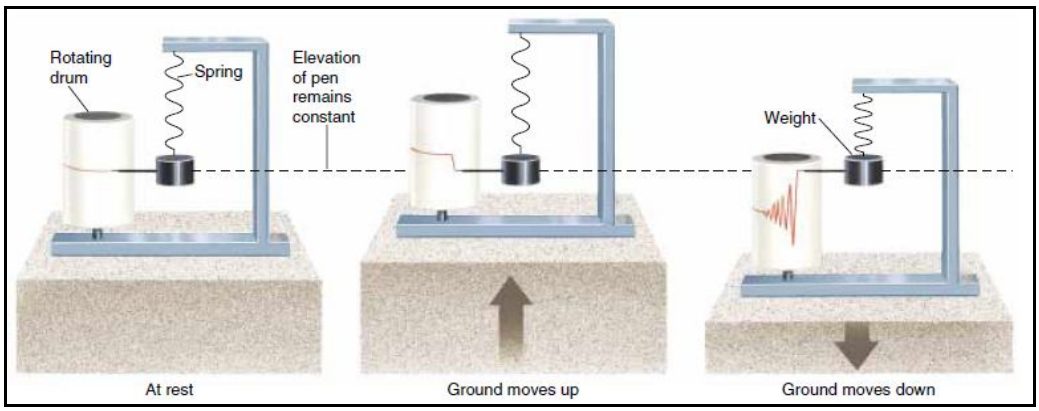
- **پس لرزه**

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 سایزموگراف (لرزه نگاشت)بدست می آید. در شکل زیر نحوه کارکرد لرزه نگار و یک لرزه نگاشت نشان داده شده است.



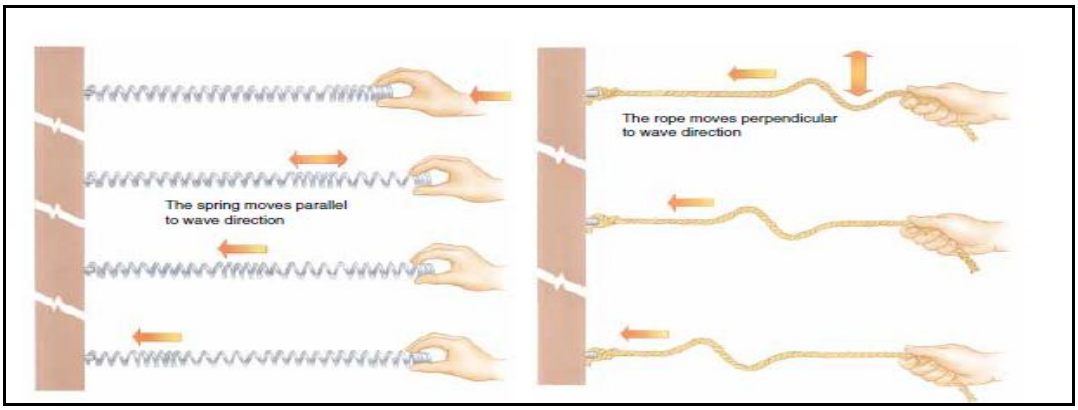
7-2- امواج لرزه ای

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

7-2-1- امواج درونی

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

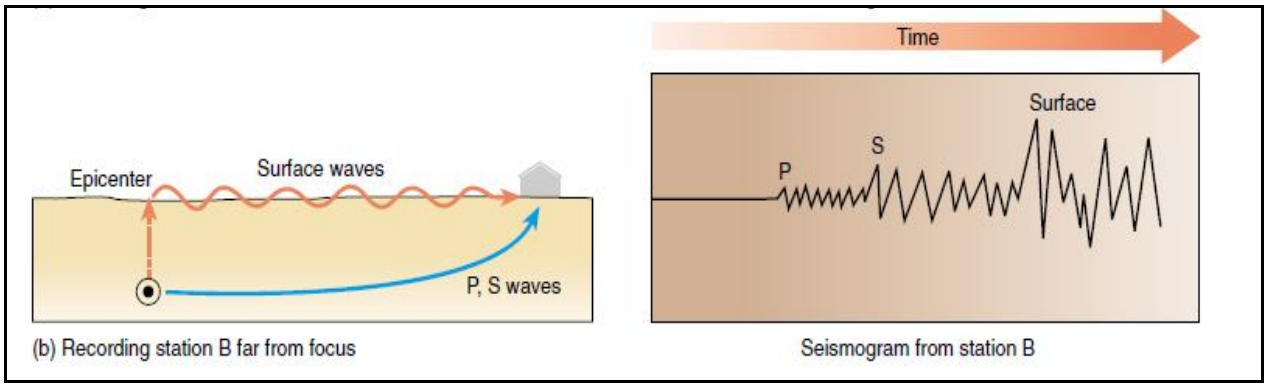
امواج فشارشی سرعت زیادی دارند (30000km/h) و به دلیل اینکه اولین امواجی هستند که به لرزه نگار ها می رسند به آنها امواج اولیه گفته می شود. این امواج توانایی این را دارد که از تمام بخش های کره زمین عبور کند. **امواج برشی** یا ثانویه با سرعت 14000 km/h حرکت می کنند. این امواج توانایی عبور از هسته خارجی زمین (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.



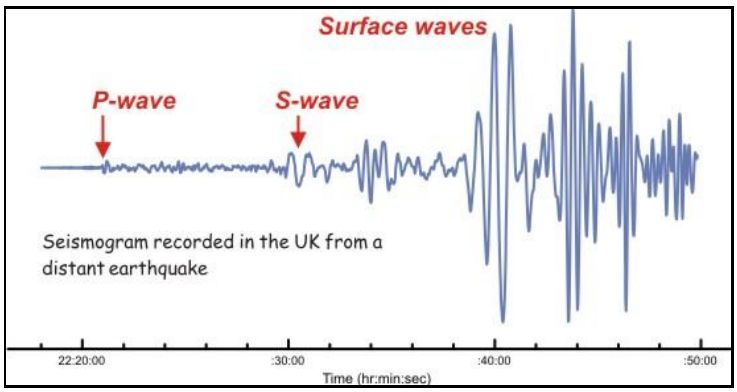
7-2-2- امواج سطحی

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.

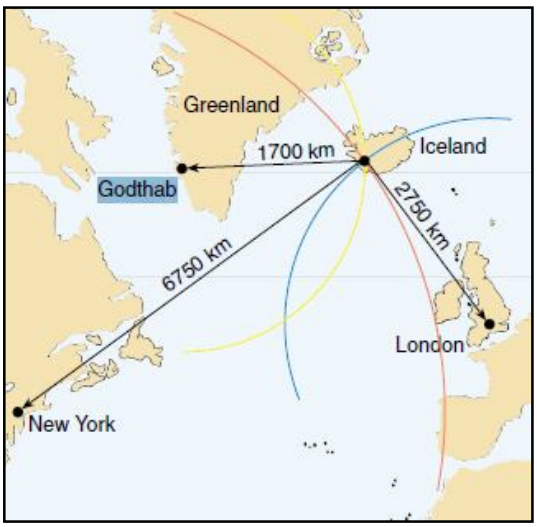
با توجه به سرعت امواج درونی و سطحی، در هنگام زلزله، سه نقطه پیک بر روی لرزه نگاشت ها ثبت ی شود که به ترتیب زمانی نشانگر زمان رسید امواج اولیه، ثانویه و سطحی می باشد. به کمک اطلاعات ثبت شده بر روی لرزه نگاشت ها می تواون مرکز سطحی و بزرگی زمین لرزه ها را تعیین کرد.



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



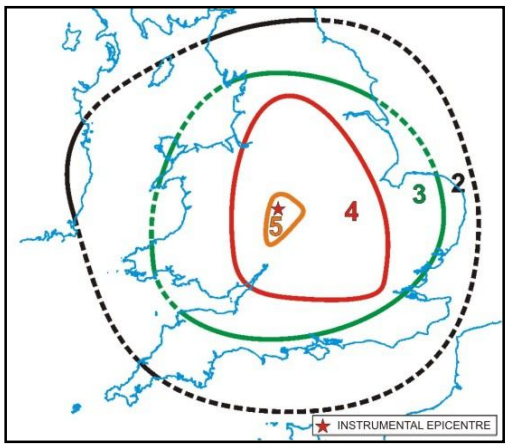
7-3- تعیین مرکز سطحی زمین لرزه



با توجه به اختلاف زمان رسید امواج P و S و مشخص بودن سرعت این امواج می توان فاصله مرکز سطحی را با محل لرزه نگاشت تعیین کرد که نقطه ای بر روی دایره ای با شعاع فاصله تعیین شده واقع شده است. بنابراین با در اختیار داشتن حداقل سه لرزه نگاشت و ترسیم 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.

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

7-4- شدت زمین لرزه

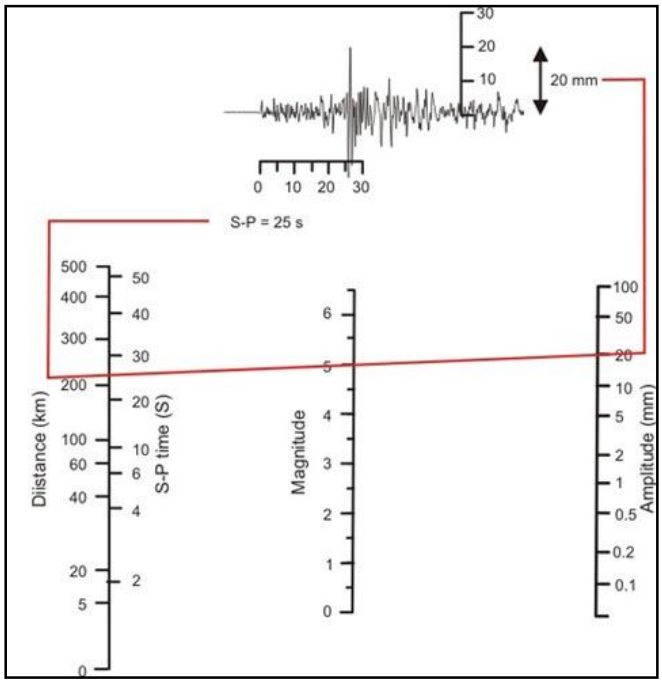


شدت زمین لرزه(Intensity) که با مقیاس مرکالی معرفی می شود، یک مقیاس نسبی است که در آن اثرات وقوع زمین لرزه در یک موقعیت خاص را نشان می دهد. این مقیاس شدت خرابی ایجاد شده توسط زمین لرزه را به 12 رده تقسیم کرده است. مشخص است که

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

7-5- بزرگی زمین لرزه



بزرگی زمین لرزه(Magnetude) 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.

$$LogE = 11.4 + 1.5M$$

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 30برابر 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

- **گسلهای 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:

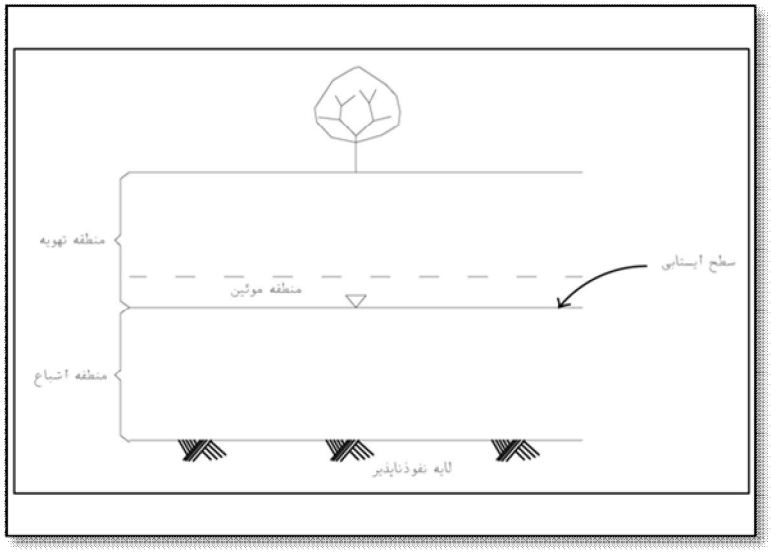
1- **آبهای جوان**: این آبها مثل آب های محبوس بین رسوبات (در هنگام رسوبگذاری، آبهای ماگمایی) هستند که درصد ناچیزی از آبهای زیرزمینی را تشکیل می دهند.
2- **آبهای جوی**: آبهای ناشی از بارندگی که در زمین نفوذ می کند و به آبهای زیرزمینی می پیوندد را گویند.

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 ایستابی تا سطح زمین را **منطقه تهویه** می گویند.



نمایی از مدل ساده آب زیرزمینی

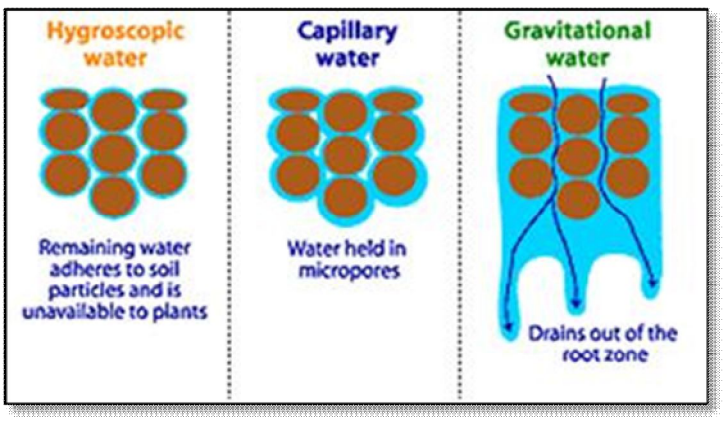
2-8- اشکال مختلف آب در خاک

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

1-2- **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 نمی‌کند. این آب که آب **هیگروسکوپیک**(Hygroscopic Water) نامیده می‌شود در اثر نیروی ثقل جابجا نمی شود.



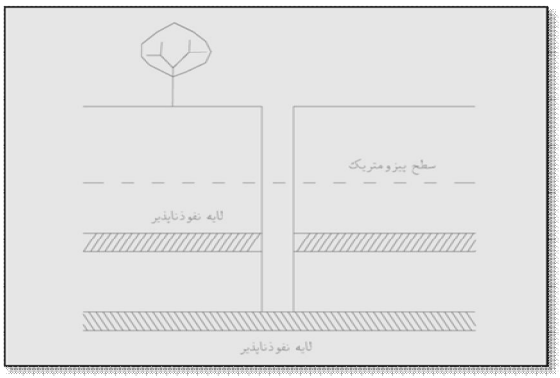
2- **آب موئین**: هرگاه رطوبت خاک از حد هیگروسکوپیک بیشتر شد، آب در داخل لوله هایی که بین ذرات خاک تشکیل می شود(تحت اثر نیروی کاپیلاریته) بالا می آید ولی نیروی ثقل نمی تواند آن را جابجا کند. به این آب آب موئین(Capillary Water) گفته می شود.

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

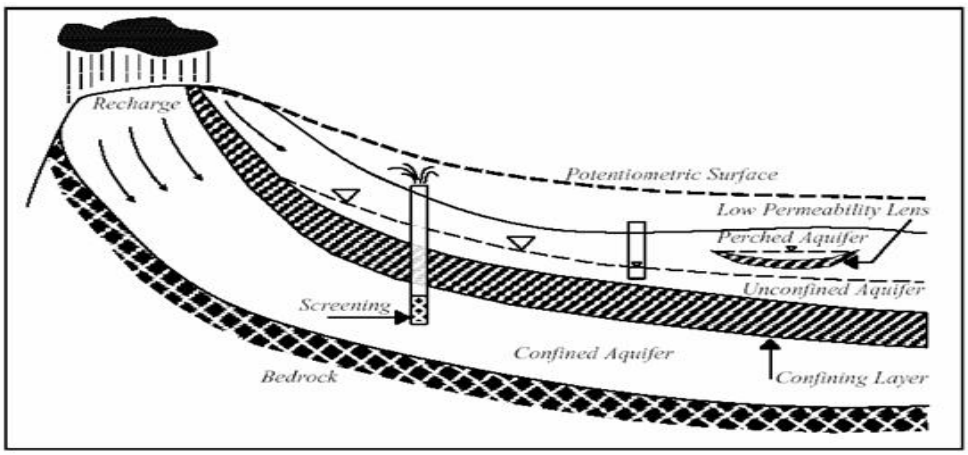
Water) که آب اشباعی نامیده می شود، میزان آبی است که خلل و فرج غیر موئین خاک را پر کرده و تحت تاثیر نیروی ثقل در خاک حرکت می کند.

3-8- 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.



8-4- پارامتر های هیدرودینامیکی آب زیرزمینی

8-4-1- 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.

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

8-4-2- 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

8-4-3- 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

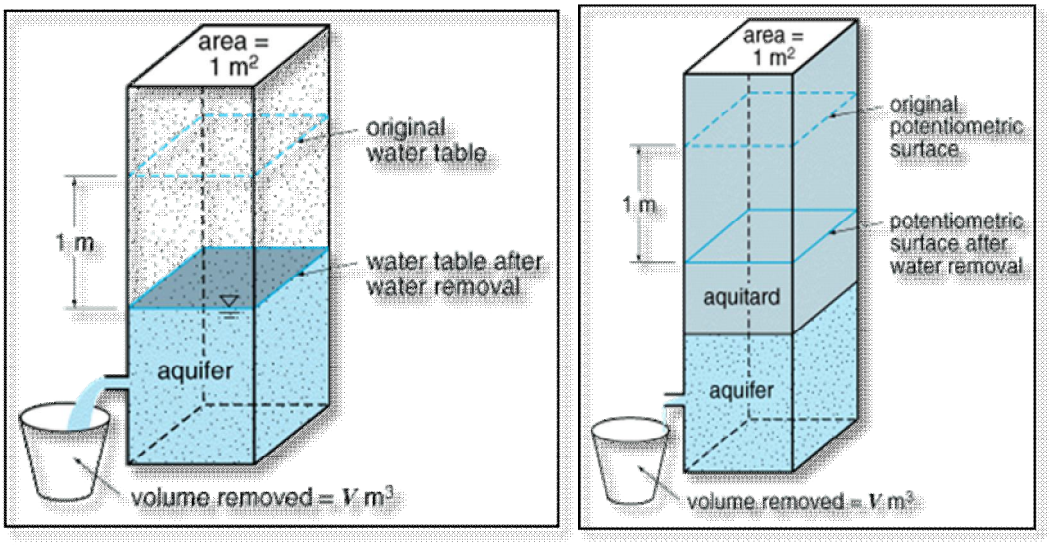
مجموع نگهداشت ویژه و آبدهی ویژه میزان تخلخل خاک را نشان می دهد

$$n = S_r + S_y$$

8-4-4- ضریب ذخیره

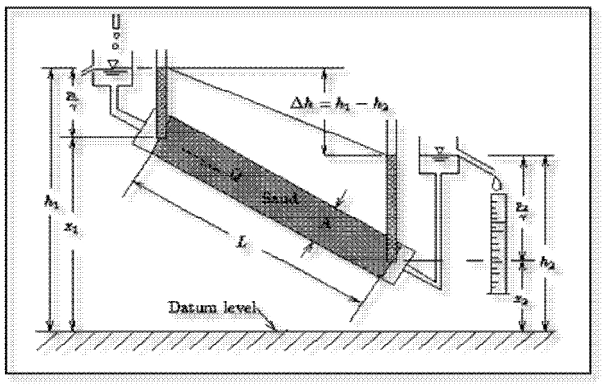
ضریب ذخیره(Specific Storage) عبارتست از نسبت حجم آبی که یک منشور قائم آبدار به سطح مقطع واحد به ازای واحد ارتفاع پیزومتری پس می دهد یا ذخیره می کند، به حجم کل منشور. این پارامتر را با S نشان می دهند.

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^{-3} تا 10^{-7} 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.



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

$$V = Ki$$

که در آن:

K: نفوذپذیری(بر حسب متر بر روز)

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

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

V:سرعت جریان (بر حسب متر بر روز)

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

$$Q = KAi$$

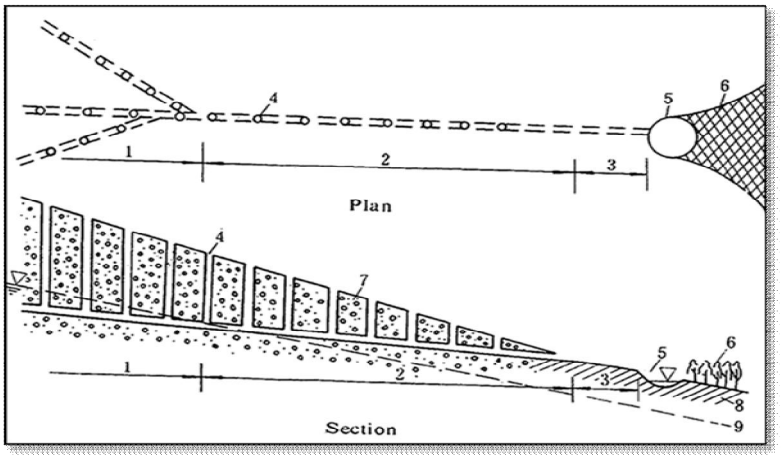
که در آن

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

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

6-8- 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 اب 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 قنوات های مهریز نشان داده شده است.

8-7- آلودگی آبهای زیرزمینی

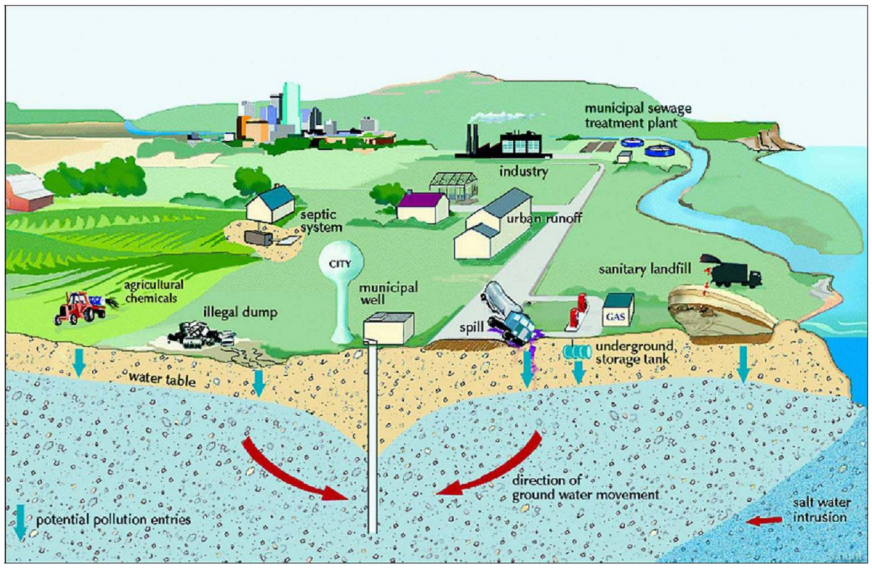
با افزایش جمعیت نیاز به آبهای زیرزمینی دو چندان شده است ولی به گسترش صنایع مختلف و پیشرفت تکنولوژی آبهای زیرزمینی همواره در معرض آلودگی قرار دارند. مهمترین روش های آلودگی آبهای زیرزمینی عبارتند از:

- آلودگی توسط کودهای کشاورزی

- چاه های دفع فاضلاب

- آلودگی حاصل از دفن زباله های صنعتی

- مناطق دفن زباله



8-7-1- 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

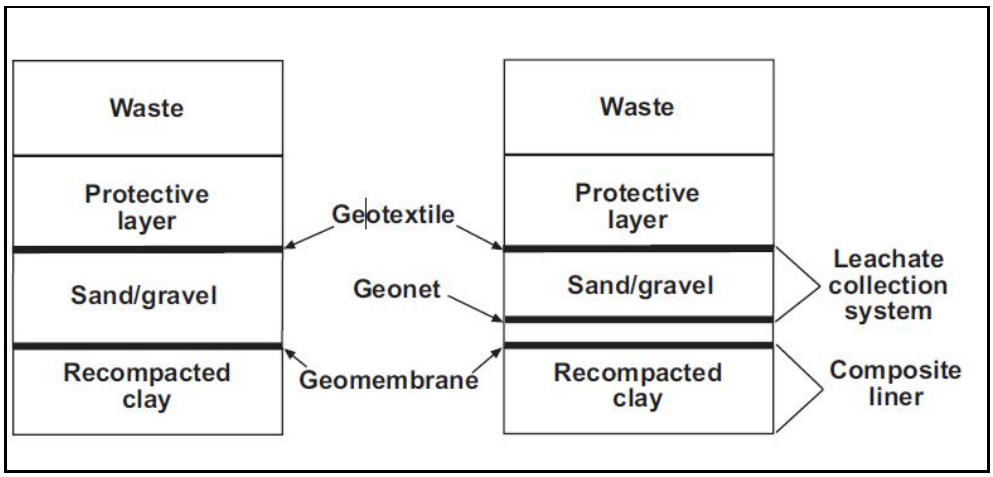
- از نواحی سیل خیز و گسل های فعال فاصله داشته باشد.

- 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.

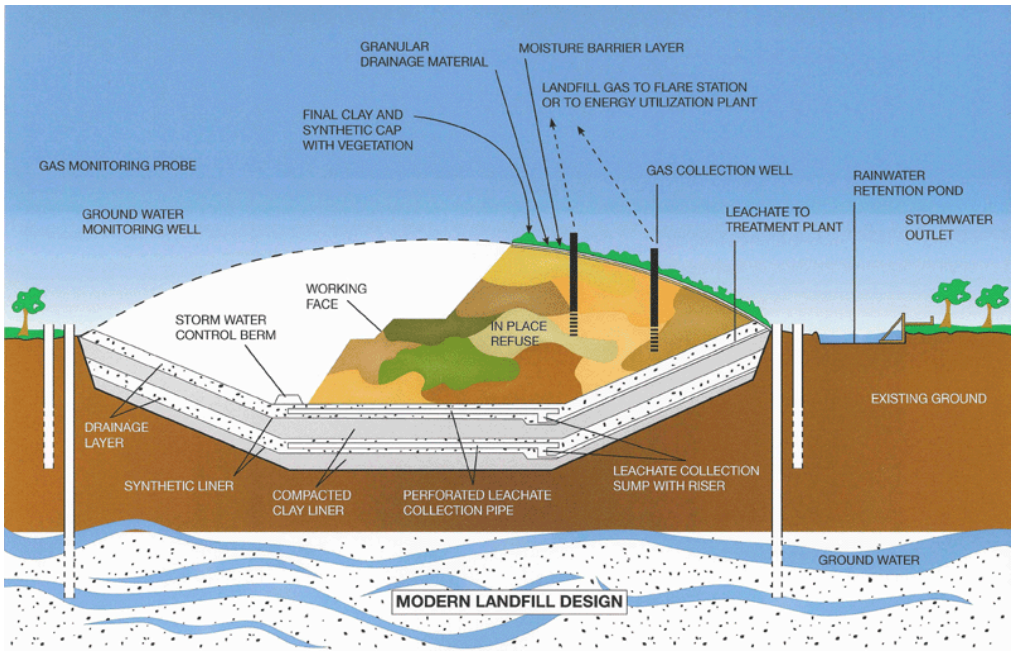
- سطح آب زیرزمینی در این مناطق باید تا حد امکان پائین باشد تا در صورت نشت به راحتی وارد آب زیرزمینی نشود.

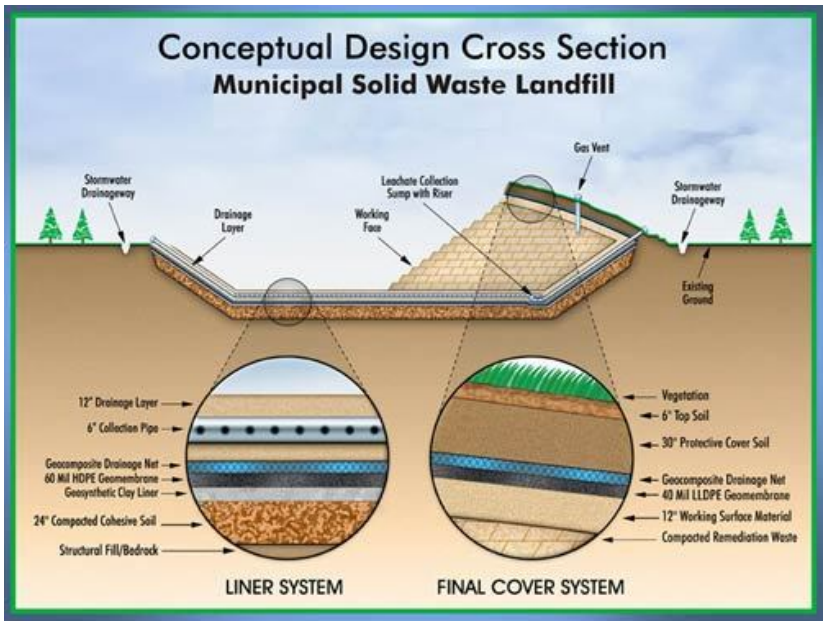
- این محل نباید محل تغذیه باشد ، به عبارت دیگر جهت جریان آب زیرزمینی به سمت این نقطه باشد تا در صورت ورود شیرابه به آب زیرزمینی سرعت انتشار آن به حداقل برسد.

در شکل زیر ساختمان یک لند فیل نشان داده شده است



چنانچه شاهده می شود، در بخش تحتانی محل خاک رس کاملا 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.





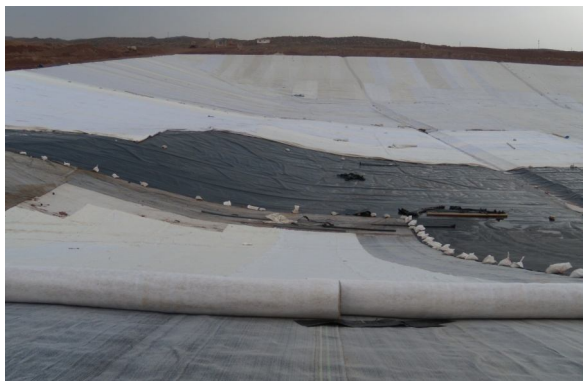
برای مشکل شیرابه تولید شده در لند فیل ها معمولا دو راهکار اصلی وجود دارد:

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

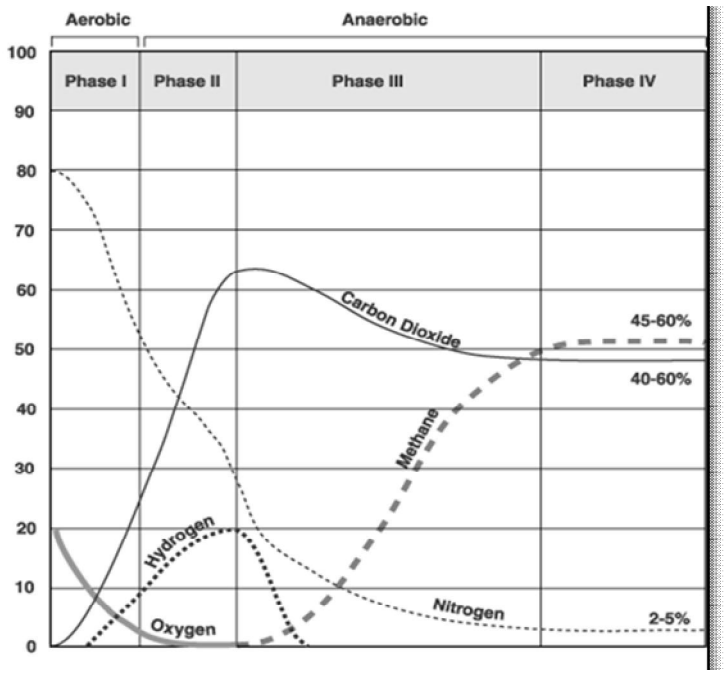


- قراردادن لوله های زهکش

- ریختن لایه شن و ماسه

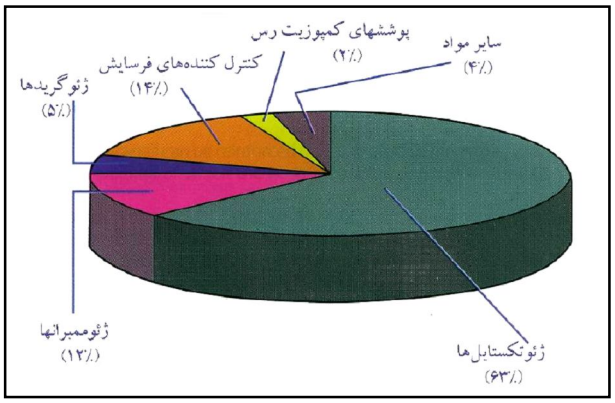
8-7-1- استفاده اقتصادی از لندفیل

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 ژئوممبرا نها، ژئوتکستایل ها، 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 ژئوممبرا نها شامل زهکشی، کنترل فرسایش، جلوگیری از انتشار مواد آلوده کننده و به عنوان جداکننده در کارهای بزرگ مانند خاکریزی جاده ها، راهآهن 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 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 حدود60% 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 ژئوسنتیک با میان لایه های رسی(بنتونیتی) بوده و برای جلوگیری از نشت آب و آب بندی مورد استفاده قرار می گیرند. نوع متداول آن متشکل از یک لایه بنتونیت 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 فرآیندها آماده شده و در محل نصب می گردند. ژئوممبرانها در کارهای مهندسی به عنوان ماده ای برای جلوگیری از جریان سیال در مواردی از قبیل زه های ذخیره آب، کانالهای آبیاری، خاکریزهای دفع زباله

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

8-8-4- ژئوگرید

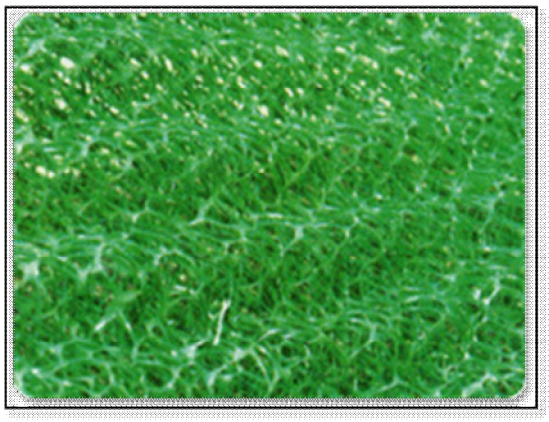
بنابر تعریف موسسه تحقیقات ژئوسنتتیک، ژئوگریدها ورقه های پلیمری سخت یا انعطاف پذیر مشبک با روزنه های بزرگ هستند که اصولاً به عنوان تقویت کننده خاک های ناپایدار مورد استفاده قرار می گیرند. مهمترین کاربردهای ژئوگریدها عبارتست از:

- 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 مهاری در سطح دیوارهای حائل

8-8-5- 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 بذرپاشی شوند.



فصل نهم

طبقه بندی مهندسی توده سنگ

9- طبقه بندی مهندسی توده سنگ

9-1- روش R MR

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. بنیاووسکی 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

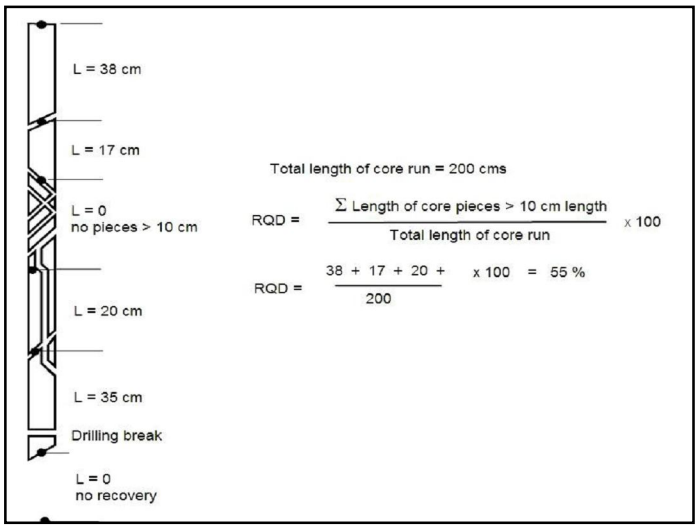
RQD %	>90	75–90	50–75	25–50	<25
Rating	20	17	13	8	3

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

$$\frac{\text{طول مغزه های بزرگتر از 10 سانتی متر}}{\text{کل طول حفاری}}$$

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 ستگ 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

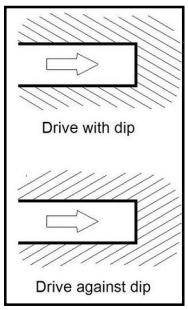
5- آب زیرزمینی با امتیاز 0 تا 15

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

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

مجموع این 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. بد ترین 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.

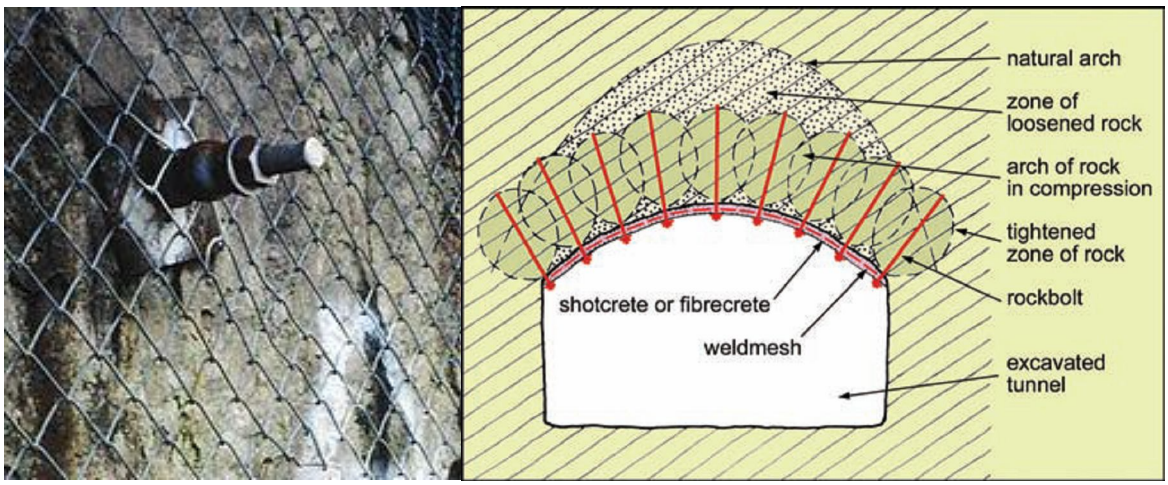
2-9-روش های نگهداری تونل ها

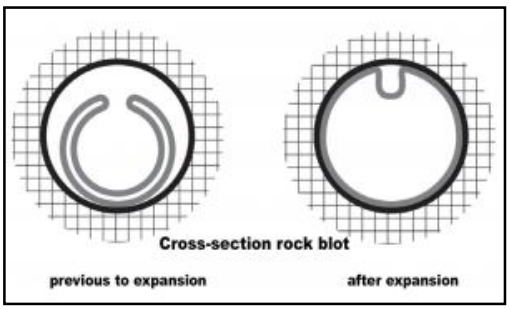
- قاب های فلزی

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 اصطلاحا 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 حدودد 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 می‌آید که در ارتباط مستقیم با زمین ساخته می‌شوند. مطالعات زمین شناسی مهندسی در تمامی مراحل اجرای یک طرح سد سازی مؤثر می‌باشند. ناکامی و گسیختگی بیش از یک سوم از سدها در سطح جهان نتیجه ضعف مطالعات زمین‌شناسی مهندسی محل اجرای آنها بوده است که دلیل روشنی بر اهمیت دیدگاههای زمین‌شناسی در اجرای موفق طرحهای سدسازی می‌باشد. سدها سازه‌های هیدرولیکی هستند که عمود بر مسیر جریان آب احداث می‌شوند. هدفهای متعددی با احداث یک سد برآورده می‌شوند که می‌توان 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

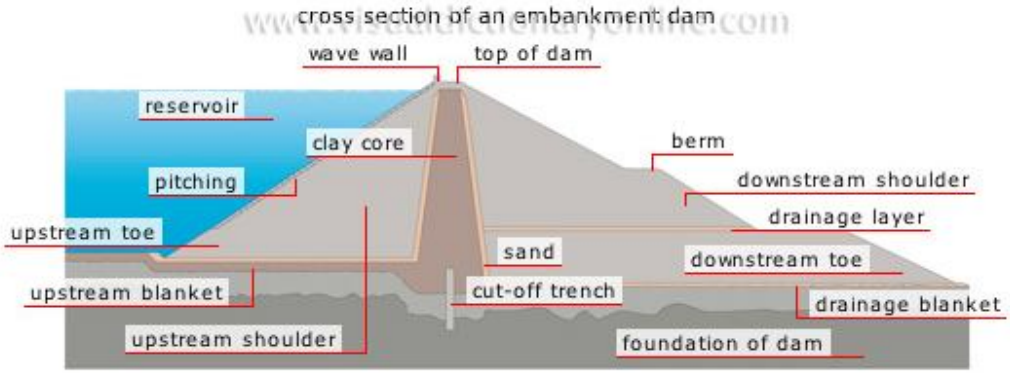
- تولید برق با احداث نیروگاههای آبی در محدوده سدها

10-1- انواع سد بر اساس نوع مصالح

10-1-1- سدهای خاکی

1- سد های خاکی با هسته رسی

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

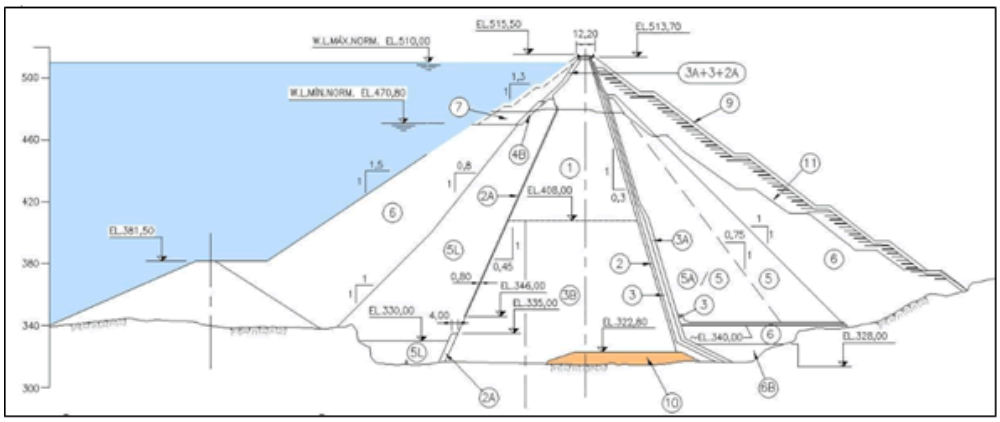


2- سد های همگن

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 ناپزیری آنها از رویه بتنی، فولادی یا اسفالت یا روش های دیگر استفاده می شود.



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

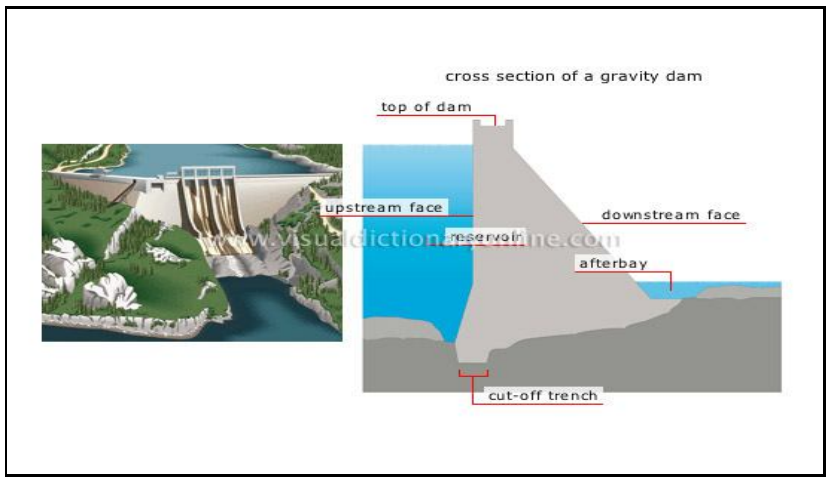
برای احداث سدهای خاکی نیاز ضروری به وجود پی مقاوم نمی باشد. در مناطق با عرض دره زیاد و لرزه خیزی بالا و پی آبرفتی بهترین گزینه می باشند. البته در احداث این سد ها می بایست مصالح خاکی مورد نیاز در نزدیکی محل

احداث سد وجود داشته باشد. این سد ها با توجه به سطح مقطع بزرگی که دارند (شیب دامنه 1به 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

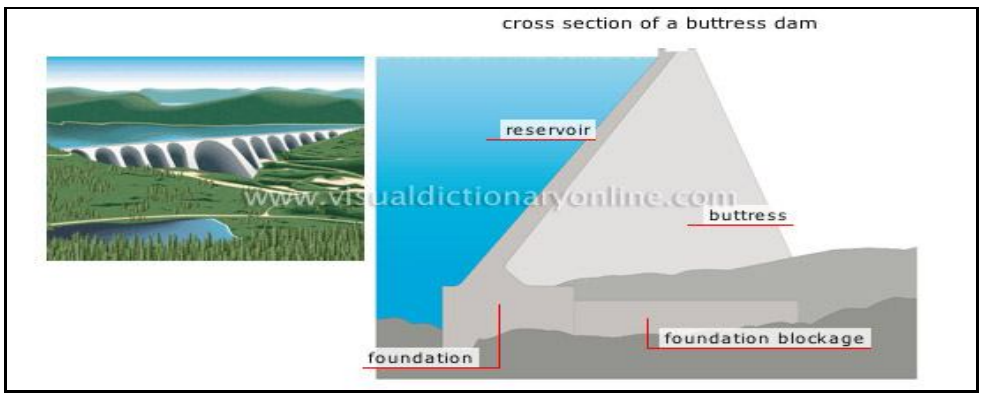
1- سدهای بتنی وزنی

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.

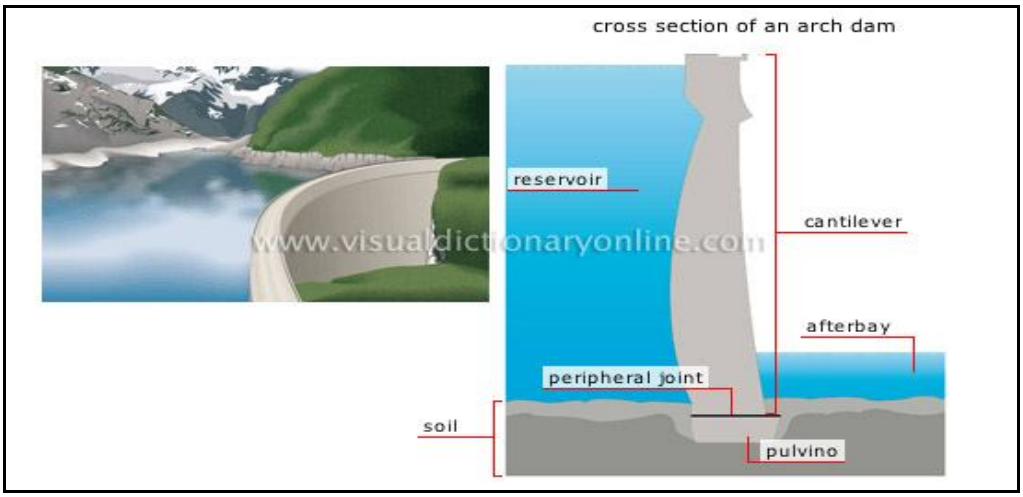


3- سدهای قوسی

- 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.



2-10- 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 عمدتا 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 عمدتا 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 لایه‌بندی سنگ مشخص باشد بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها و یا دارای زاویه کمتری با امتداد لایه‌ها باشد. علت این انتخاب را می‌توان در موارد زیر توجیه کرد:

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

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

- لایه‌های سنگی سست و ضعیف مانند سنگهای شیلی و مارنی

- لایه‌های سنگی دربر گیرنده حفرات و دیگر پدیده‌های کارستی حاصل از انحلال توده سنگ

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

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

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

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

- شیب لایه‌ها

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

*** تأثیر جهت شیب لایه‌ها در انتخاب ساخت گاه سد**

برای توصیه این انتخاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

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

ب- پایداری پی و تکیه‌گاههای سد 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.

فصل یازدهم

تونل

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 متر، 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 ان 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 برقابی

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 معمولا 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 1و 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 ان 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

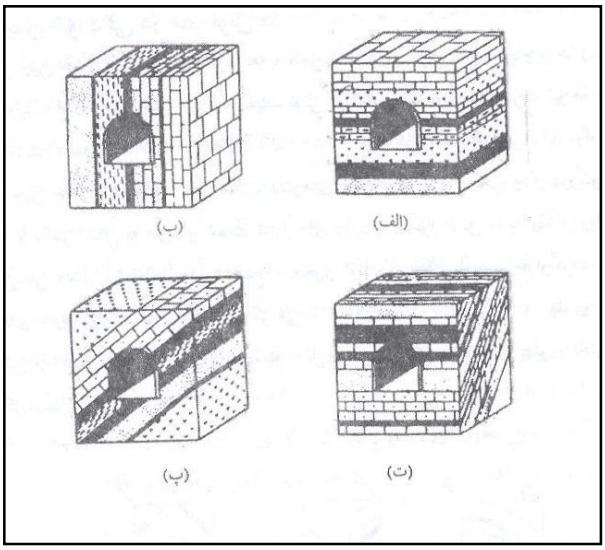
با توجه به پرهزینه بودن حفر گمانه های اکتشافی و اینکه گمانه نمی تواند معرف مسیری طولانی باشد، از مطالعات ژئوفیزیکی و روش لرزه نگاری استفاده می شود.

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 لایه‌بندی بر حفر تونل‌ها**



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.

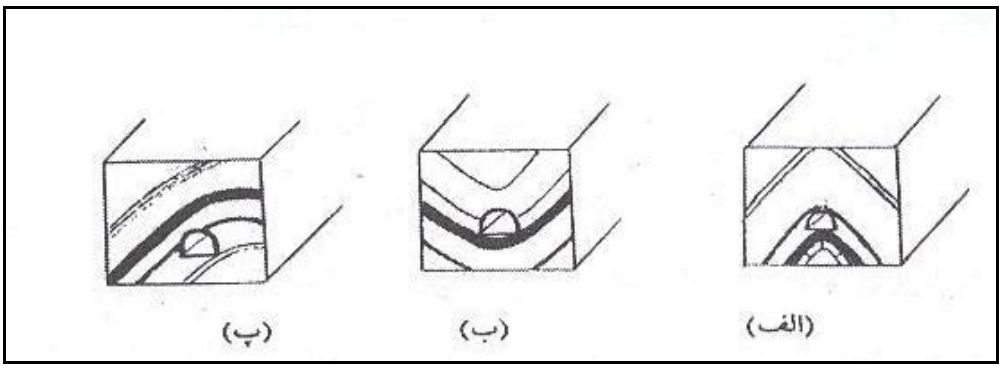
ت – شیب لایه نسبت به محور تونل قرینه است و در نتیجه فشار عمودی نسبتا یکنواختی را به تونل وارد می کند.

*** تاثیر چین خوردگی در حفر تونل‌ها**

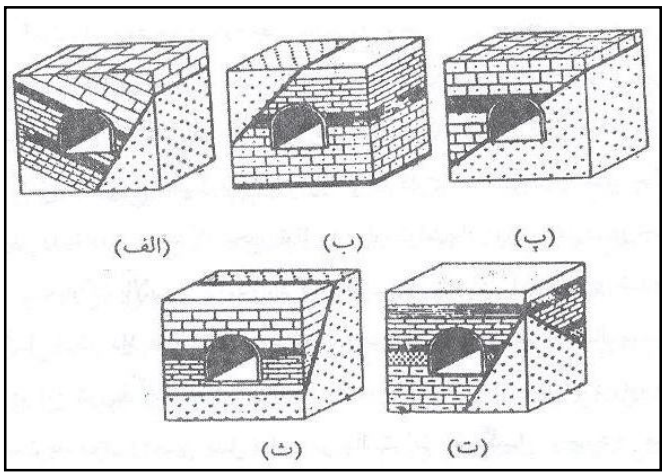
الف – تونل در داخل یک تاقدیس و به موازات چین حفاری شده است. در این حالت فشار های عمودی نسبت به محور چین دور شونده هستند و پخش تنش به دو پهلو، شدت تنش وارده به محور تونل را تا حدود زیادی کاهش می دهد.

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 تونل‌ها**



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

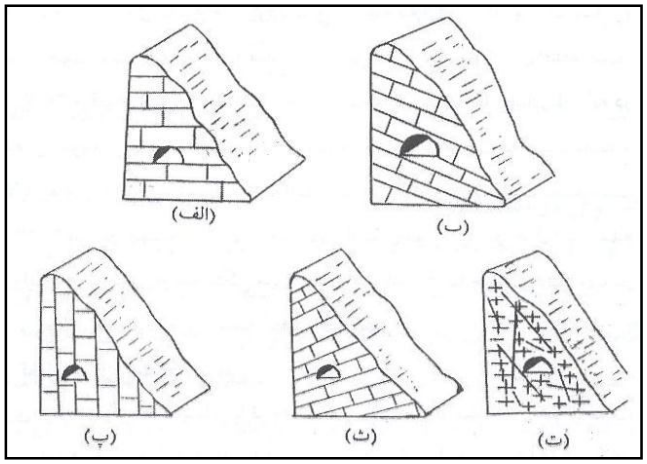
تونل اهمیت دارد.

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 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**



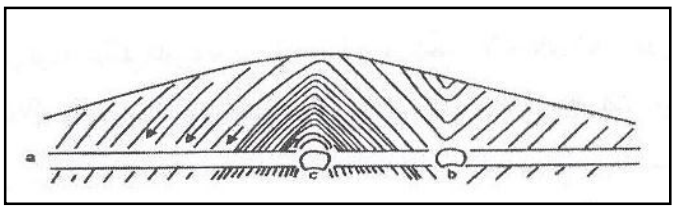
در حالت های الف و پ و ث تونل با توجه به شرایط دامنه و لایه بندی پایدار است.

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

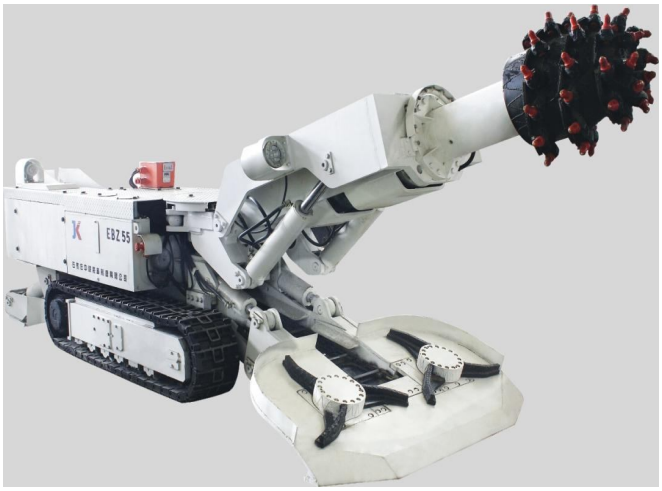
زمین های سخت زمین هایی هستند که از سنگ های سخت تشکیل شده اند و به سختی حفاری می شوند. روش های حفاری در این زمین ها به دو دسته **روش های سنتی** و **مکانیزه** تقسیم بندی می شود.

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

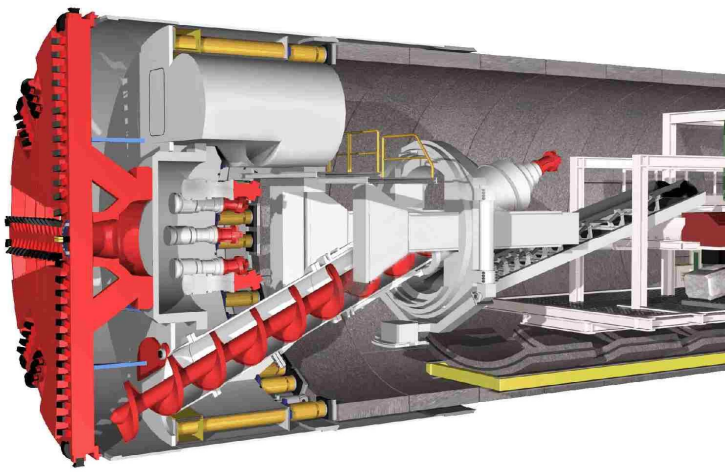
1- ماشین آلات جزء مقطع



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

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 دوایر متحد المرکزی حرکت می کنند. کله حفار به محور اصلی دستگاه متصل است و نیروی وارده از طرف دستگاه را از طریق ابزار برنده به سنگ اعمال می کند و اعمال نیرو باعث ایجاد ترک و سپس خرد شدن سنگ می شود.



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 ان 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، دکترحسن 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