



Engineering Geology

For Civil Engineers



علم ژئوتکنیک

رشته ژئوتکنیک که یکی از زیر شاخه های علم مهندسی عمران می باشد شامل سه گرایش مجزا زمین شناسی مهندسی، مکانیک خاک، مکانیک سنگ می باشد. در علم زمین شناسی به بررسی و شناخت ویژگی فنی زمین و در علوم مکانیک خاک و مکانیک سنگ با استفاده از شناخت ویژگی های فنی زمین با استفاده از آزمایشهای لازم بر روی نمونه خاک و سنگ در آزمایشگاه و در صحرا خصوصیات فیزیکی و رفتاری آنها را در برابر بارهای وارده مطالعه نموده و تجزیه و تحلیل های لازم را انجام می دهند

تعریف علم زمین شناسی مهندسی

عبارتست از کاربرد زمین شناسی در طرح های بزرگ مهندسی مانند سدسازی، حفر تونل، جاده سازی، احداث پالایشگاه ها، نیروگاه، کارخانجات و نظایر اینها. به عبارت دیگر از ترکیب دو علم زمین شناسی و مهندسی (مهندسی عمران)، علم زمین شناسی مهندسی بوجود آمده است که در آن مباحث زمین شناسی را به زبانی که مورد استفاده مهندسین و طراحان پروژه باشد، تعریف می نمایند. به طور کلی بدون همکاری مهندسین و زمین شناسان مهندس ممکن است که خسارات و پیامدهای زیان باری در طول عمر مفید سازه ها به بار آید.

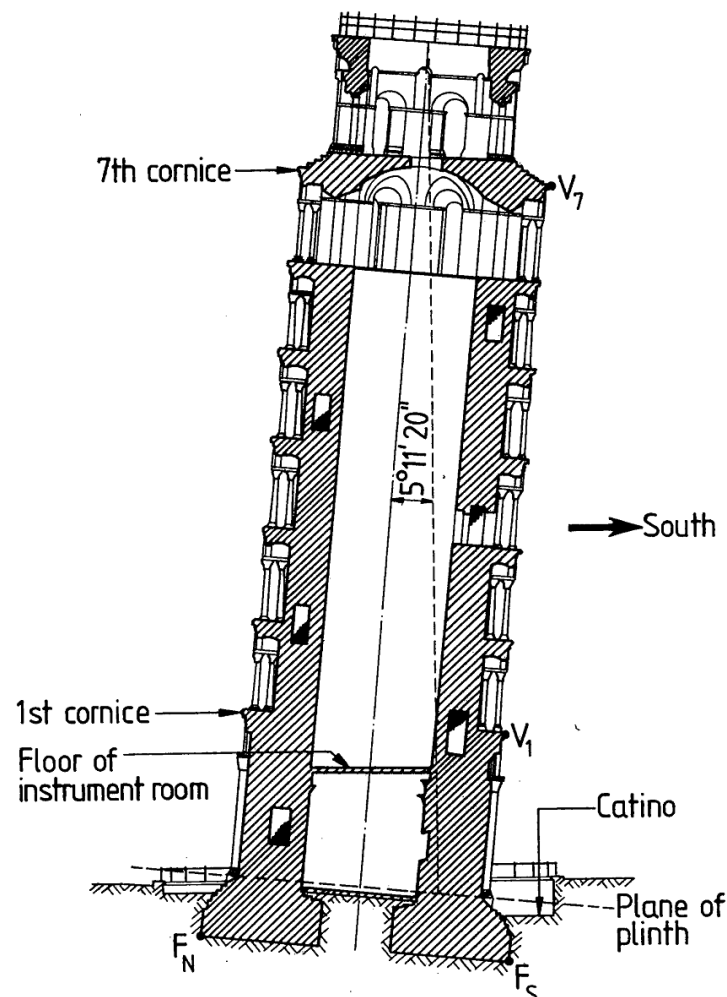
لازمه همکاری بین مهندسین طراح و زمین شناسان دانستن اطلاعات اولیه زمین شناسی توسط مهندسین و دانستن اطلاعات مهندسی توسط زمین شناسان می باشد. که زمین شناسان مهندس دارای چنین قابلیت می باشند. مقایسه ی دیدگاه های زمین شناسی و مهندسین طراح پروژه ها (مهندسین عمران) از لحاظ روع فعالیت، برداشت اطلاعات و هدف از مطالعات در زیر آمده است:

زمین شناسی		مهندسین طراح
مطالعات بیشتر جنبه توصیفی و کیفی دارد	نوع مطالعات	مطالعات بیشتر جنبه تحلیلی و کمی دارد.
اطلاعات بیشتر به صورت برداشت های صحرایی، مشاهدات و اندازه گیری بدست می آید.	برداشت اطلاعات	اطلاعات مهندسین بیشتر از طریق انجام آزمون های در شرایط صحرایی و آزمایشگاهی
شناخت واقعیت های زمین شناسی و منعکس کردن در گزارش ها و نقشه ها	هدف از مطالعات	هدف طراحی و اجرای پروژه بر مبنای نتایج آزمایشگاهی و بکارگیری راه حل های ریاضی

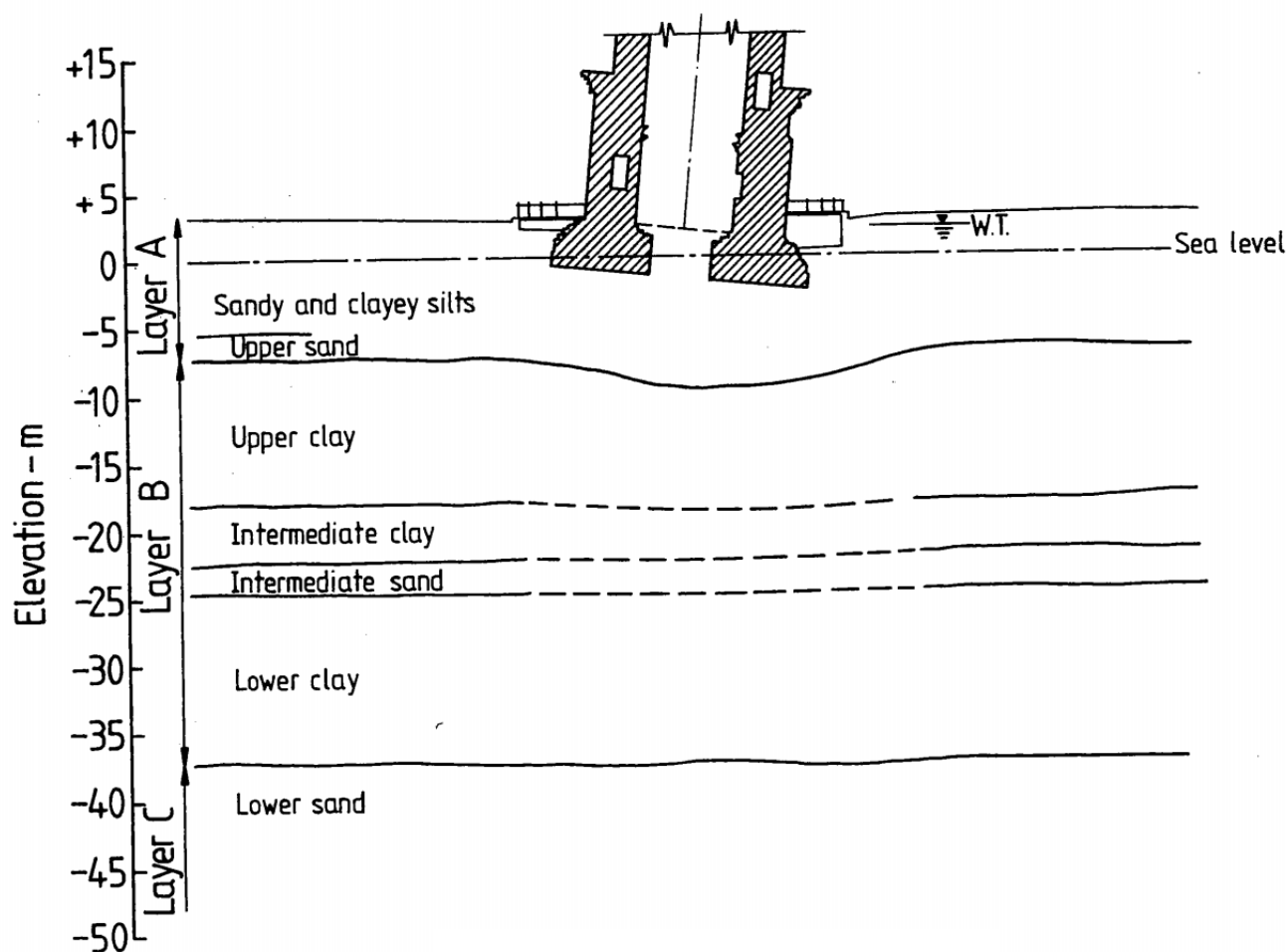
کاربرد علم زمین شناسی مهندسی:

در علم حمل و نقل و راهسازی با حذف نقاط حادثه خیز از نظر ریزش و نشست می توانند اقتصادی ترین مسیر را انتخاب کنند. انتخاب بهترین روش حفاری در جهت احداث تونل، پایدارسازی ریزش ناشی از استخراج معادن، انتخاب مصالح مناسب برای ساخت و ساز، اطلاعات مربوط به منابع قرضه (سنگ، شن، ماسه، رس و سیلت)، ناپایداری شیبهای سنگی و خاکی، پیش بینی رفتار سنگ و خاک در حین اجرای طرح های عمرانی و نیز در مرحله بهره برداری و نگهداری و ... از جمله کاربرد های علم زمین شناسی مهندسی می باشد.

*** یک نمونه از سهل انگاری هایی که به دلیل بی توجهی به شرایط زمین شناسی و عدم انجام آزمایش های مکانیک خاک به وقوع پیوست، برج Pisa یا Pizza در ایتالیا می باشد.



پروفیل خاک زیر برج به صورت زیر می باشد:



یکی از اشتباهات در احداث برج پیزا که منجر به کج شدن آن شده مکان یابی نادرست محل احداث آن بوده چرا که خاک زیر برج پیزا را لایه هایی از ماسه و خاک رس تشکیل داده و به دلیل وزن بالای سازه برج نشست نحکیمی در لایه رس اتفاق افتاد.

وظایف زمین شناسی مهندسی:

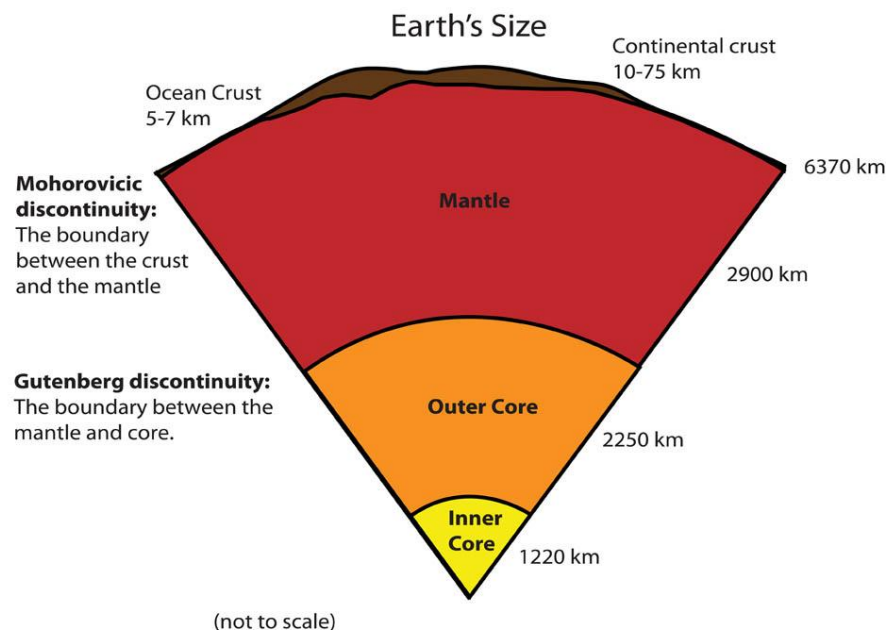
- 1- شناسایی خصوصیات زمین در شرایط حاکم بر منطقه
- 2- بررسی وضعیت آبهای زیرزمینی و تاثیر آن بر طرح های مهندسی
- 3- نمونه برداری از مصالح و انجام آزمایش های مناسب جهت ارزیابی ویژگی های مهندسی آن (به طور مثال در سدهای خاکی ...)
- 4- پیش بینی خطرات احتمالی زمین شناسی و ارزیابی روش های مقابله با آن
- 5- بررسی و تحلیل فونداسیون سازه ها مانند سدها، پل ها، دکل ها، ساختمان های مرتفع
- 6- بررسی وضعیت زمین شناسی در طول سازه های خطی مانند تونل ها، جاده ها، خطوط انتقال نیرو، گاز و ...

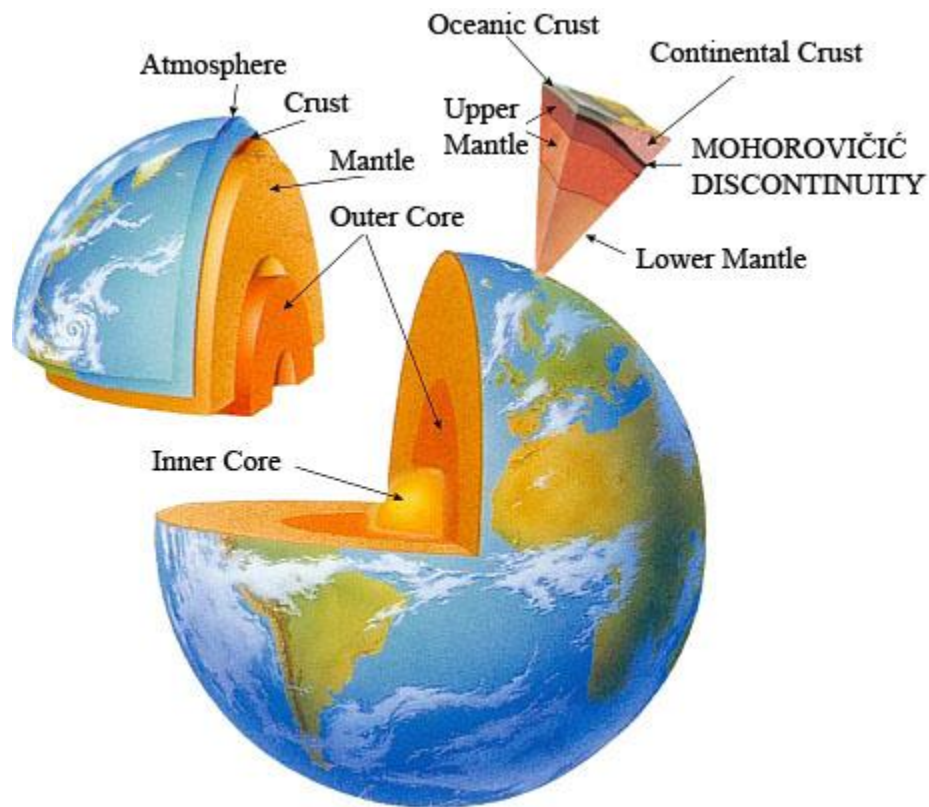
شکل و ساختمان درونی زمین:

کره زمین سومین سیاره منظومه شمسی می باشد. تنها سیاره ایست که به دلیل فاصله مناسب از خورشید، تکامل بخش های داخلی، اقیانوس ها و اتمسفر حیات در آن وجود دارد شعاع متوسط زمین 6370 Km، حجم 1083 میلیارد کیلومتر و مساحت 509.9 میلیون کیلومتر مربع است. با توجه به مطالعاتی که تا کنون صورت گرفته سن زمین 4.54 میلیارد سال تخمین زده شده است.

از آنجایی که ساختمان داخلی زمین در هیچ محلی در معرض دید مستقیم نبوده است با استفاده از امواج زلزله در هنگام عبور از بین سنگ ها می توان به ساختار درونی زمین پی برد بر این اساس ساختمان درونی زمین شامل سه لایه گوناگون است که به ترتیب: پوسته (Crust)، گوشته (Mantle)، هسته (Core) نامیده می

شوند





□ پوسته (Crust)

بیرونی ترین بخش کره زمین پوسته نامیده می شود که به طور متوسط در زیر قاره ها 35 کیلومتر و در زیر اقیانوسها 8 کیلومتر ضخامت دارد. پوسته از دو قسمت، پوسته بالایی یا قاره ای یا گرانیتی و پوسته پایینی یا اقیانوسی یا بازالتی تشکیل گردیده است.

✚ مطالعات لرزه ای نشان می دهد که پوسته زمین با یک ناپیوستگی از گشته جدا می شود که به نام کشف آن **Mohorovičić** نام گذاری گردید که با **ناپیوستگی موهو** معروف می باشد.

□ گوشته (Mantle)

گوشته حدود 83 درصد حجم زمین را شامل می شود و به دو قسمت تقسیم می شود:

- **گوشته فوقانی (Upper Mantle):** که ضخامتی حدود 700 کیلومتر را از زیر سطح موهو به خود اختصاص می دهد و از سیلیکات های دارای فلزات تقریباً سنگین تشکیل شده است. این قسمت حال جامد و سخت دارد.
- **گوشته تحتانی (Lower Mantle):** که حالت خمیری و پلاستیک دارد و به آستونسفر معروف است. گوشته پایینی که عمق 700 تا 2900 کیلومتری را شامل می شود و از ترکیبات اکسیدی و سولفور های فلزی تشکیل شده است.

□ هسته (Core):

هسته که سومین لایه یا بخش داخلی کره زمین را تشکیل می دهد بسیار متراکم است و از عمق 2900 کیلومتری آغاز شده و تا عمقی حدود 6400 کیلومتر ادامه می یابد. هسته از دو بخش خارجی و داخلی تشکیل شده است.

- بخش خارجی یا هسته بیرونی با ترکیباتی از آهن و نیکل و به علت داشتن حرارت زیاد شبیه مایعات است و 2270 کیلومتر ضخامت دارد.
- بخش داخلی یا هسته داخلی نیز ترکیبی از آهن و نیکل است و به صورت جامد می باشد، ضخامت تقریبی آن 1216 کیلومتر می باشد.

تقسیم بندی زمان در زمین شناسی مهندسی

اولین کسی که عمر زمین را میلیارد ها سال عنوان کرد شخصی به نام جیمز هاتن (James Hutton) بود که او را پدر زمین شناسی جدید نیز نامیده اند که البته به خاطر این اعتقادش بارها مورد انتقاد قرار گرفت. زمین 4.6 میلیارد سال عمر دارد که از قسمت اعظم آن اطلاعات کمی در دست است. یعنی از 4.6 میلیارد تا 600 میلیون سال پیش. این دوره 4 میلیارد ساله دوره پرکامبرین نام گرفته است که در واقع هفتم هشتم تاریخ زمین را به خود اختصاص می دهد. از این دوره سنگواره هایی شناخته شده است که گاهی یافت می شود. این سنگواره ها بقایای موجودات حقیقی نبوده بلکه موادی هستند که توسط جلبک ها رسوب یافته اند این ساختمان ها استروماتولیت (Stromatolite) نام دارد. اگرچه استروماتولیت ها غالباً ساختمان های نسبتاً بزرگی هستند ولی اکثر سنگواره های دوره پرکامبرین در حد میکروسکوپی اند که با کشف این موجودات میکروسکوپی قدمت حیات به قبل از 3/1 میلیارد سال پیش می رسد. بسیاری از این سنگواره های خیلی قدیمی در سنگ های رسوبی به نام چرت (که نوعی سنگ سخت

و متراکم رسوبی شیمیایی است) محفوظ مانده اند. هنگامیکه دوره بعدی یعنی کامبرین آغاز می شود صحنه برای ظهور موجودات پیچیده تر مهیا می شود .

از 570 میلیون سال پیش برگی جدید در تاریخ زمین ورق می خورد که شامل 4 دوران می شود: **دوران پرکامبرین، دوران پالئوزوئیک (دیرینه شناسی)، دوران مزوزوئیک (میان زیستی) و دوران سنوزوئیک (نوزیستی).**

- **دوران پالئوزوئیک (دیرینه زیستی):** شامل شش دوره که از 570 میلیون سال پیش آغاز شده و در 245 میلیون سال پیش پایان می گیرد می شود؛ این دوران با طول زمانی 325 میلیون سال که شامل کامبرین (Cambrian)، اوردوئیسین (Ordovician)، سیلورین (Silurian)، دونین (Devonian)، کربونفر (Carboniferous)، پرمین (Permian) می باشد. خزندگان در دوره کربونفر پا به عرصه حیات می گذارند که زمینه را برای ظهور خزندگان غول پیکر در دوران بعدی یعنی مزوزوئیک آماده می کنند .

- **دوران مزوزوئیک (میان زیستی):** این دوران از 240 میلیون سال پیش آغاز شده تا 65 میلیون سال پیش ادامه دارد و به سه دوره تقسیم می شود: تریاس، ژوراسیک و کرتاسه. این بخش شامل آخرین روزهای پانگه آ و اولین گسستگی و تقسیم شدن آن است. مشخصات این دوره عبارت است از ظهور نخستین تک لپه ها، فراوانی بازدانگان، از تک لپه ای ها نخل و از دو لپه ای ها بید و بلوط. بتدریج ماهیان و دوزیستان خزندگان هوایی و دریایی و نخستین پرندگان (آرکئوپتریکس) ظهور پیدا کردند. قدیمی ترین سنگواره دایناسورها از رسوبات ژوراسیک یافت شده است .

آب و هوا تدریجاً سرد می شود. آب و هوا برای نیمکره شمالی به معتدل و برای نیمکره جنوبی از نیمه استوایی به نیمه حاره ای تبدیل گردیده است. خشکی شمال آمریکای شمالی، آسیا و اروپا بوده و خشکی واحدی به نام انگا را تشکیل می داده اند در اواخر کرتاسه است که با تشکیل اقیانوس اطلس بنظر می رسد که اروپا و آسیا از آمریکای شمالی جدا شده است. خشکی جنوبی گندوانا نام داشته است ؛ ضمناً بین دو خشکی دریای عظیمی به نام تتیس وجود داشته است؛ در طول دوران دوم تقسیمات زیر در آن صورت گرفته است: جدا شدن آمریکای جنوبی در کرتاسه تحتانی با تشکیل اقیانوس اطلس جنوبی که بنظر قدیمی تر از اطلس شمالی بشمار می آید. در اواخر دوران مزوزوئیک است که خزندگان غول پیکر انقراض یافتند و زمین را برای ظهور موجودات دیگر یعنی پستانداران خالی کردند. هنوز علل انقراض دایناسورها در پرده ای از ابهام است اما بنابر یک نظر جدید حدود 65 سیارک بزرگی با زمین تصادم کرد و طبق آن فرض شده است که دایناسورهای بزرگ تحت تاثیر این سلسله حوادث واقع شده اند. دانشندانی هستند که با این نظریه مخالفند اینان با بررسی شواهد فسیل شناسی در مرز دوران های مزوزوئیک و سنوزوئیک نتیجه گرفتند که زوال دایناسورها تدریجی بوده است .

- **سنوزوئیک یا دوران حیات جدید:** دورانی است که پرندگان در هوا و پستانداران در روی زمین تنوع و گسترش یافتند و زمین خود را برای فرمانروایی انسان آماده کرد. این دوران شامل تاریخ زمین از پایان کرتاسه به بعد است. محدوده زمانی 65.5 میلیون سال قبل یعنی زمانی معادل 65.5 میلیون سال را دربرمی گیرد ضخامت متوسط رسوبات این دوران حدود 30 کیلومتر تخمین زده شده است. در اواخر کرتاسه داینوسورها، آمونوئیدها و رودستها Rudists و خزندگان دریایی به کلی نابود شدند و تعدادی از گونه های دیگر موجودات زنده کاهش یافتند. فقط گروههایی از نرمتنان، ماهیهای استخوانی و گونه هایی دیگر که شبیه نمونه های عهد حاضر باقی ماندند. اغلب گیاهان سنوزوئیک در کرتاسه وجود داشته اند. اما در جانوران خشکی تغییرات مهمی روی داده است. پستانداران که در ابتدای این دوران دارای جثه ای کوچک بوده اند کامل گسترش یافتند و به وضوح کنونی در آمده اند. نهنگها در این دوران ظهور و تکامل یافتند. کوههای جوان که ارتفاعات امروزی را تشکیل می دهند مانند آلپ (Alpe)، هیمالیا (Himalaya) و راکی (Rockies) در این دوران شکل گرفتند. به سبب یخبندان قسمتی از آبهای دریایی عمیق در اواسط سنوزوئیک آب و هوای نقاط زیادی سرد شد و اقیانوسها محدود شدند. دوران سنوزوئیک به دو دوره ترشیاری (Tertiary) و کوaternary (Quaternary) تقسیم می شود.

□ **دوران ترشیاری (Tertiary)** خود شامل دورانهای پالئوژن (Paleogene) و نئوژن (Neogene) می شود.

دوره پالئوژن (Paleogene)

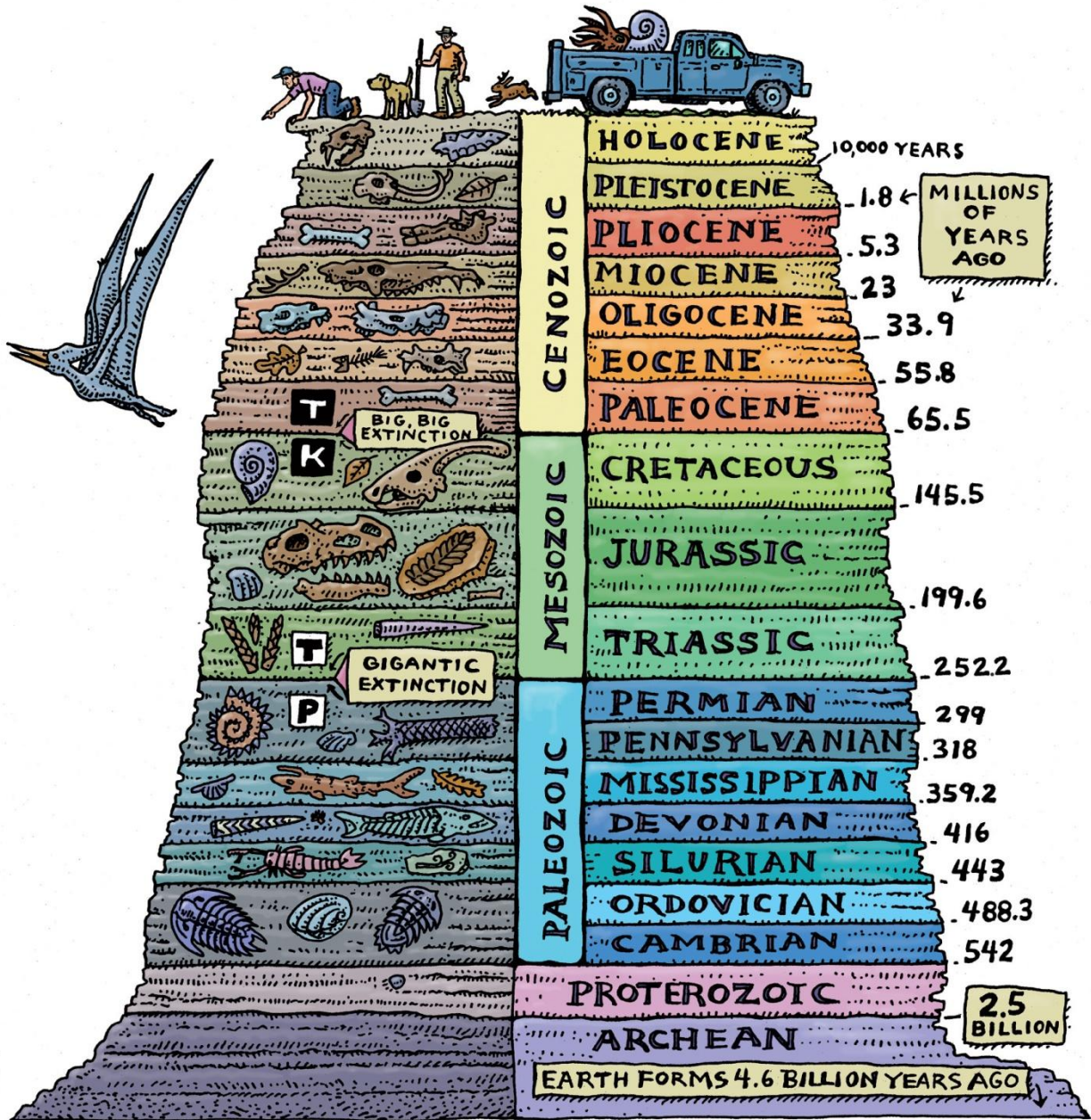
این دوره از 65.5 تا 23.03 میلیون سال قبل را شامل می شود. در پالئوژن موجودات دریایی عهد حاضر که اغلب گروههایی از موجودات زنده تک سلولی هستند گسترش و تکامل یافته اند. از موجودات شاخص پالئوژن می توان نهنگها (Whales) را نام برد که به تعداد زیاد در دریاها می زیسته اند. از دیگر موجودات این دوره می توان به شکم پایان، ستاره های دریایی و انواع دو کفه ایهای جدید را نام برد که در قسمتهای کم عمق ماسه ای زندگی می کرده اند. پرماتها از پستاندارانی هستند که در این دوره می زیسته اند. حرارت سالیانه در ائوسن میانی حدود 22 درجه سانتی گراد بوده است وجود گیاهان مختلف در جنوب آلاسکا بیانگر این موضوع است.

دوره نئوژن (Neogene)

از 65.5 تا 23.03 میلیون سال قبل را شامل می شود. چارلز داروین طی مطالعات خود پی برد که تکامل مهره داران سریعتر از بی مهره گان صورت می گیرد. در عمر نسبتاً کوتاه نئوژن بی مهرگان تغییر چندانی نیافته اند. تغییرات آب و هوایی باعث پیدایش گروههای جدید گیاهی در خشکی شد مثل گیاه علفی (Herbs) از مهمترین گونه هایی که در این دوره ظهور یافتند می توان گونه های جدید میمونها را نام برد. برخی از تغییرات آب و هوایی در نئوژن را به علت حرکات تکتونیکی در بعضی نقاط زمین دانسته اند. بر اثر این حرکات از میزان بارندگی کاسته شده و جانورانی از قبیل گوزنها، گاوها، زرافه، خرس و خوک افزایش قابل ملاحظه ای یافتند. تغییرات آب و هوایی در این دوره باعث تشکیل یخچالها و پیشروی یخها در قطب شمال شد.

□ کواترنری (Quaternary)

در بین دوره های زمین شناسی این دوره بسیار کوتاه، و بیش از یک ورهم میلیون سال از عمر آن می گذرد. بطور کلی دوره کواترنری با عقب نشینی دریا و پیدایش دوره های یخچالی و ه مچنین پیدایش انسان آغاز می گردد. دوره کواترنری به دو زیر سیستم پلیستوسن (Pleistocene) و عصر حاضر (Recent) تقسیم می شود. در نواحی خارج از محیط های یخچالی دوره کواترنری در دریاها دو گروه از موجودات تشخیص داده شده است. یکی مربوط به محیط های گرم و دیگری موجوداتی که مربوط به محیط های سرد هستند. بطور کلی گیاهان کواترنری شیه گیاهان دوره نئوژن و گیاهان امروزی بوده اند. یکی از مهمترین مراکز آتشفشانی دوره کواترنری آتشفشان ایسلند است که گدازه های بازالتی از آن بیرون رانده شده است .



دوره های زمین شناسی به طور خلاصه:

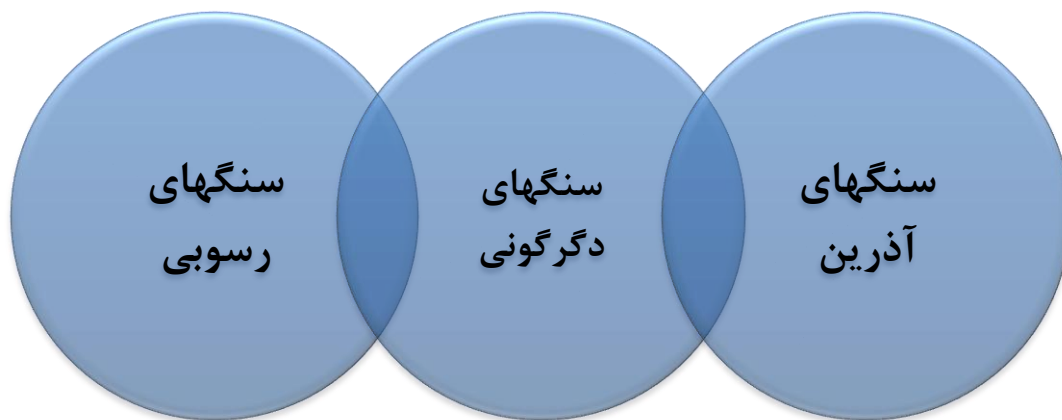
دوره های زمین شناسی		
از ۵۷۰ الی ۵۰۰ میلیون سال پیش	کامبرین - Cambrian	پالئوژئیک Paleozoic
از ۵۰۰ الی ۴۳۵ میلیون سال پیش	اردوئیسین - Ordovician	
از ۴۳۵ الی ۴۱۰ میلیون سال پیش	سیلورین - Silurian	
از ۴۱۰ الی ۳۶۰ میلیون سال پیش	دیونین - Devonian	
از ۳۶۰ الی ۲۹۰ میلیون سال پیش	کاربونیفرس - Carboniferous	
از ۲۹۰ الی ۲۴۰ میلیون سال پیش	پرمن - Permian	
از ۲۴۰ الی ۲۰۵ میلیون سال پیش	تریاس - Triassic	مئوزوژئیک Mesozoic
از ۲۰۵ الی ۱۳۸ میلیون سال پیش	ژوراسیک - Jurassic	
از ۱۳۸ الی ۶۵ میلیون سال پیش	کرتاسه - Cretaceous	
از ۶۵ الی ۱.۶ میلیون سال پیش	ترتاری - Tertiary	سنوژئیک Cenozoic
از ۱.۶ میلیون سال پیش تا به حال	کواترناری - Quaternary	

کانی شناسی

کانی یا Mineral واحد اصلی تشکیل دهنده سنگ ها است. کانی در حقیقت ماده ایست جامد، طبیعی، دارای ساختمان بلوری، ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابت و غیر آلی که اتمها به طور منظم و با آرایش خاصی در آن قرار گرفته اند. به طور معمول کانی ها از ترکیب عناصر مختلف تشکیل شده اند. کانی ها از واحدهایی به نام بلور تشکیل شده است که دارای شکل هندسی معین می باشند.

سنگ ها ممکن است از یک یا چند کانی مختلف تشکیل شده باشند. برای مثال سنگ آهک از کانی کلسیت با فرمول شیمیایی CaCO_3 تشکیل شده است و سنگی مانند گرانیت از چند کانی مختلف (کوارتز، مسکویت و) تشکیل شده است.

مکانیزم تشکیل کانی سنگ های پوسته زمین:



ماگما Magma

ماگما به مواد مذاب سیلیکاتی گفته می شود که محتوی مقادیر زیادی گاز و بخار می باشد. اکسید های سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آهن از جمله عناصری هستند که در تشکیل ماگما نقش دارند. محل تشکیل مواد مذاب در اعماق 100 تا 120 کیلومتری می باشد. از آنجایی که اندازه گیری درجه حرارت ماگما ممکن نمی باشد. ولی می توان با استفاده از **لاوا** (مواد مذاب جاری در سطح زمین) که دمایی حدود 1700 درجه سانتیگراد دارد دمای ماگما را حدس زد.

سنگ ها:

کمتر کسی است که در اطراف خود متوجه سنگها نشده باشد شاید سنگ های پله خانه خودتان را دیده اید و یا درنمای بعضی از ساختمانها سنگ ها زیبا نظر شما را جلب کرده باشد آیا از خود سوال کرده اید که این سنگ ها چگونه بوجود آمده اند؟ از کجا این سنگ ها را تهیه می کنند؟ چرا رنگ بعضی ها روشن و بعضی ها تیره است.

* 70 الی 80 درصد سطح زمین را سنگ تشکیل می دهد.

بطور کلی سنگ ها را به سه گروه اصلی تقسیم می کنند:

الف) سنگ های آذرین

ب) سنگ های رسوبی

ج) سنگهای دگرگونی

الف) سنگ های آذرین:

این سنگ از سرد شدن مواد مذاب درون زمین بوجود می آیند که خود آن ها به دو دسته تقسیم می شوند.

1 - آذرین درونی:

این سنگ ها بر اثر سرد شدن مواد مذاب در داخل زمین بوجود می آیند مثل سنگ گرانیت - گابرو و ویژگی این سنگ ها این است که دارای بلورهای درشت می باشند و بیش تر رنگ روشن دارند

2 - آذرین بیرونی:

سنگ هایی هستند که بر اثر سرد شدن مواد مذاب در خارج از زمین بوجود می آیند چون این مواد مذاب توسط آتشفشان از زمین خارج می شوند به این سنگ ها آتشفشانی نیز می گویند .
مثال: بازالت - زیولیت

*** علت تیره و روشن بودن سنگ بستگی به عناصر موجود در آن دارد مثلاً سنگ ها تیره دارای آهن - منیزیم - کلسیم است و سنگ های روشن آلومینیوم - سدیم - پتاسیم دارند

علت گرمای درون زمین چیست؟

دانشمندان در مورد گرمای درون زمین نظریه های متعددی داده اند اما امروزه تقریباً مطمئن شده اند که علت گرمای درون زمین فعالیت مواد رادیو اکتیو است.

مواد رادیواکتیو چیست؟

موادی هستند که بعضی از آن ها ناپایدار بوده و می تواند به مواد دیگر تبدیل شود و مقدار زیادی انرژی تولید کنند .
مثل اورانیوم

آتشفشان چگونه به وجود می آید؟

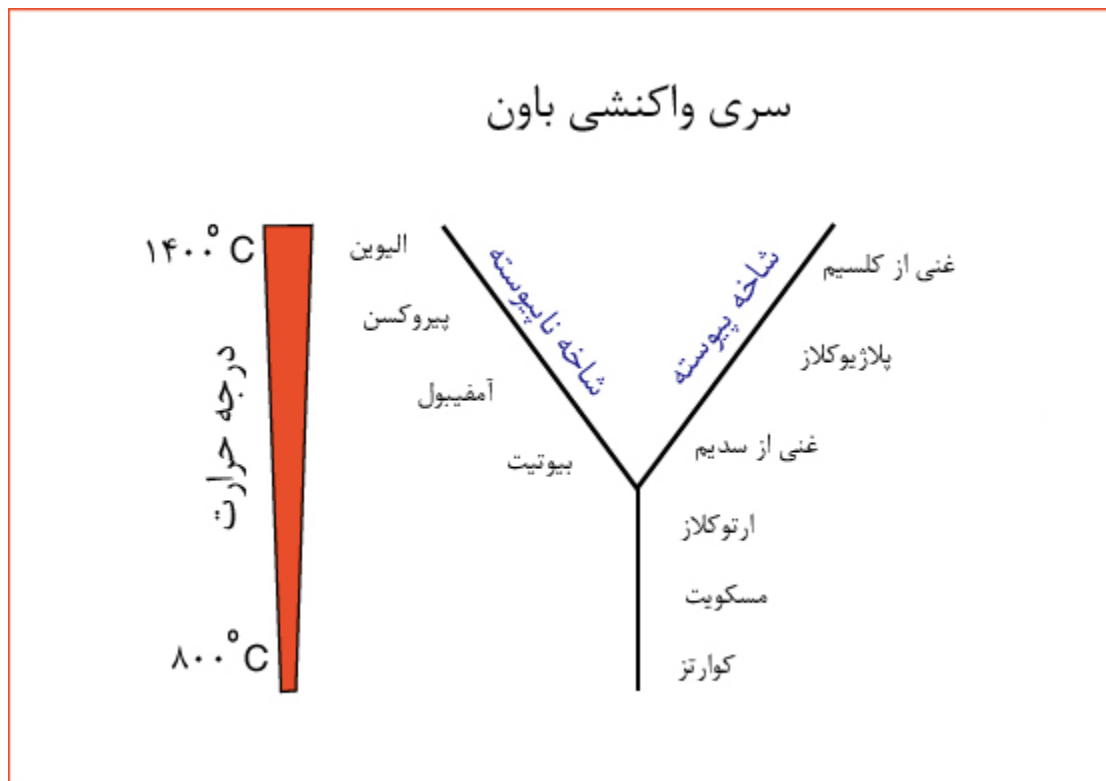
در شرایط خاصی مقداری از مواد درون پوسته یا گوشته ذوب شده و مواد مذاب چون سبک تر هستند به سمت بالا حرکت می کنند وقتی راهی به سطح زمین پیدا کنند از درون زمین به بیرون فوران می کنند که به آن آتشفشان می گویند.

*** لازم به ذکر است سنگ های آذرین بیرونی از لحاظ مقاومت دارای استحکام کمتری نسبت به سنگ های آذرین دورنی می باشد.

اصل گلدیش: کانی هایی که در دما و فشار بالاتر تشکیل می شوند زمانیکه به سطح زمین می رسد و زودتر تحت تاثیر هوازدگی و فرسایش قرار می گیرد به دلیل اختلاف دمای نقطه تشکیل کانی ها با دمای سطح زمین است و همین طور کانی هایی که در دما و فشار پایین تشکیل می شوند در سطح زمین پایداری بیشتری دارند.

سری باون:

بلون آزمایش خود را بر روی سنگهای سخت شروع کرد. وی ابتدا سنگ را تا حد ذوب شدن گرما داد و سنگ را ذوب کرد سپس اجازه داد تا مذاب سرد شود و در دماهای خاصی مشاهده کرد که انواعی از کانیها که سنگ را تشکیل داده اند، ایجاد شدند. او این آزمایش را با کاهش تدریجی دما تکرار کرد و نتیجه ای که او بدست آورد منجر به ایجاد یک قاعده ای شد.



سری باون به دو شاخه تقسیم میشود، که یکی **شاخه پیوسته** و دیگری **شاخه ناپیوسته** می باشد. شاخه ای که در سمت راست قرار دارد، شاخه پیوسته می شد، کانیهایی که در بالای شکل قرار دارند، اولین کانیهایی هستند که متبلور می شوند. و به طرف پایین که دما کاهش می یابد کانیهای دیگر تشکیل می شوند. در دماهای بالا که سری کلی به دو شاخه تقسیم می شود، ماگما، مافیک و حد واسط است. شاخه پیوسته تحول فلدسپارها را از پلاژیوکلازهای غنی از کلسیم به طرف غنی از سدیم نشان می دهد. یعنی در ابتدا که دما زیاد است پلاژیوکلاز غنی از کلسیم که معمولاً آنورتیت می باشد، تشکیل می شود و به تدریج که دما کاهش می یابد پلاژیوکلازهای حد واسط و در نهایت پلاژیوکلاز غنی از سدیم یا آل بیت ایجاد می شود. شاخه ناپیوسته هم تشکیل کانیهای مافیک به ترتیب الیوین، پیرکسن، آمفیبول و بیوتیت را نشان می دهد.

ب) سنگ های رسوبی :

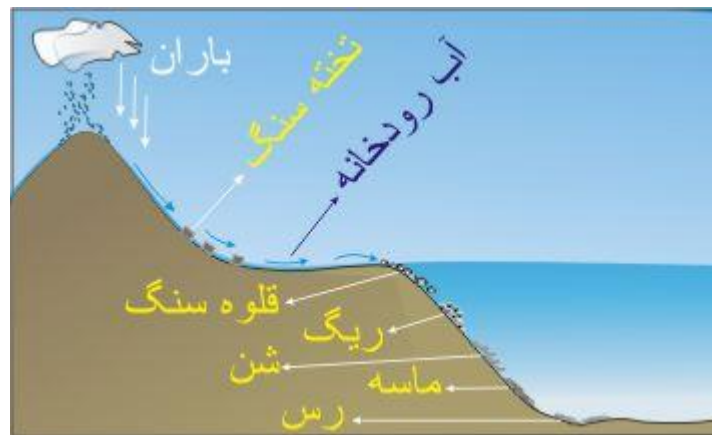
آب و باد و یخ از عوامل فرسایش دهنده هستند که موجب خرد شدن سنگ می شوند و مواد حاصل توسط آب به دریا منتقل می شود و به صورت لایه لایه روی هم ته نشین می شوند و رسوبات را تشکیل می دهند عوامل گوناگونی این رسوبات سست و ناپیوسته را به سنگ سخت تبدیل می کنند که به این سنگ ها رسوبی می گویند.

سنگ های رسوبی به روش های متعددی بوجود می آیند. ولی بیش ترین آن ها بر اثر فشار لایه های رسوبی بر روی همدیگر حاصل می شوند



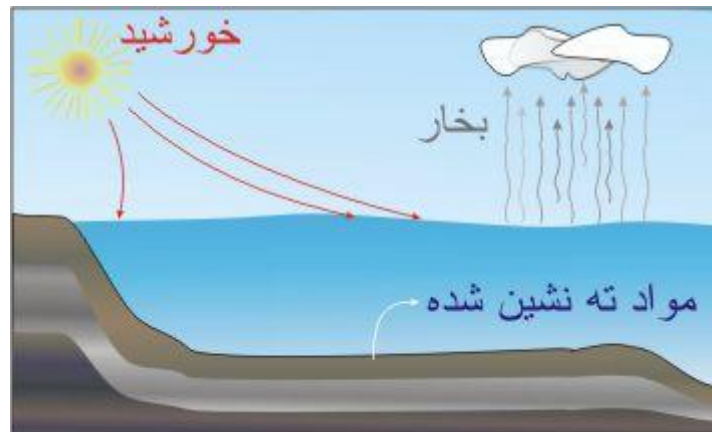
سنگ های رسوبی چگونه بر اثر رسوبگذاری تشکیل می شوند؟

وقتی رسوبات توسط رودخانه ها به دریا منتقل می شوند در کف دریا به ترتیب درستی و ریزی روی هم انباشته می شوند بر اثر فشار لایه های بالایی بر روی لایه های پایین آب درون آن ها خارج شده و مواد سفت سخت می شوند مثل سنگ رسی



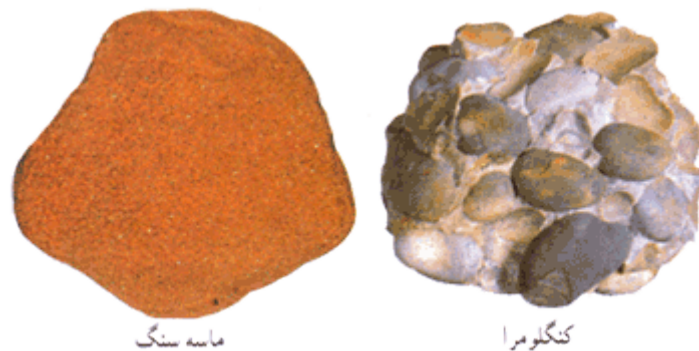
چگونه بر اثر تبخیر آب دریا سنگ رسوبی حاصل می شود؟

چون آب دریاها و دریاچه ها به مقدار زیادی مواد محلول دارند (حدود 35٪). وقتی آب آن ها بر اثر گرما تبخیر شود مقدار زیادی از املاح محلول در آب رسوب می کنند و به سنگ تبدیل می شوند مثل سنگ گچ ، سنگ نمک



چگونه از بهم پیوستن ذرات ، سنگ های رسوبی تولید می شوند؟

همه مواد رسوبی بر اثر فشار به هم نمی چسبند مثلا ماسه هر چه تحت فشار قرار بگیرد سخت نمی شود و این مواد توسط یک ماده چسبنده ای مثل سیمان به هم می چسبند و به سنگ تبدیل می شوند مثل ماسه سنگ و کنگرما.



بعضی از سنگ های رسوبی چگونه بر اثر واکنش شیمیایی تولید می شوند؟

آب دارای مواد محلول زیادی است بعضی از این مواد بر اثر انجام واکنش های شیمیایی پیچیده ای رسوب می کنند و مواد سفت و سختی تولید می کنند که سنگ رسوبی نام دارد مثل سنگ آهک

ویژگی های سنگ های رسوبی:

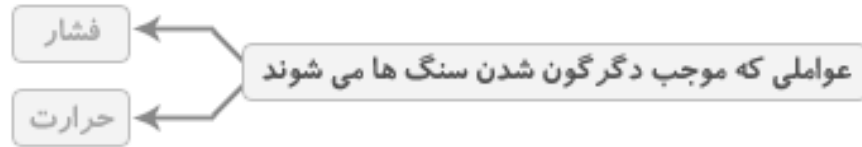


فسیل چیست؟

آثار و بقایای جانداران گذشته که بین سنگ های رسوبی یافت می شوند فسیل نام دارند. فسیل بیش تر در بین سنگ های رسی، آهکی، ماسه سنگ ها یافت می شود تاریخ گذشته زمین با استفاده از فسیل ها تعیین می گردند.

ج) سنگ های دگرگونی:

سنگ هایی هستند که از دگرگون شدن سنگ های آذرین یا رسوبی حاصل می شوند مثل مرمر، کوارتزیت و ...



وقتی سنگی دچار دگرگونی می شود ممکن است دو نوع تغییر در ساختمان آن بوجود بیاید

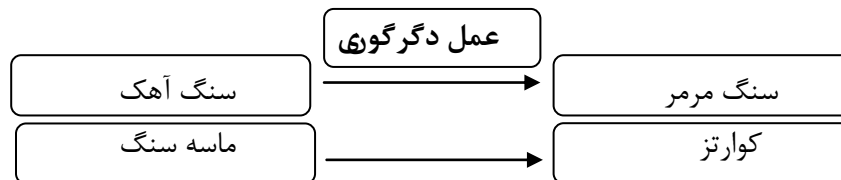
1) تغییر در نوع کانی ها موجود در سنگ

2) تغییر در طرز قرار گرفتن کانی ها

مرغوبیت یک سنگ دگرگونی به چه چیز بستگی دارد؟

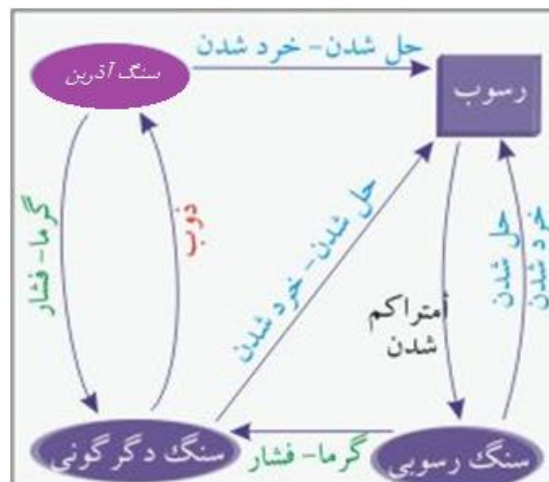
به میزان فشار و گرمایی که سنگ تحمل کرده است.

در نمودار زیر دگرگون شدن چند سنگ را مشاهده می کنید.



چرخه سنگ ها:

بین انواع سنگ ها وابستگی وجود دارد که در اثر گذشت زمان هر کدام به سنگ های دیگری تبدیل می شوند.



نکته: منشأ تمام سنگ های روی زمین سنگ های آذرین هستند.

روش های شناسایی کانی ها:

1- رنگ:

با توجه به عناصر تشکیل دهنده کانی های هر سنگ، رنگ آن نیز متغیر می باشد.

2- ترکیب شیمیایی

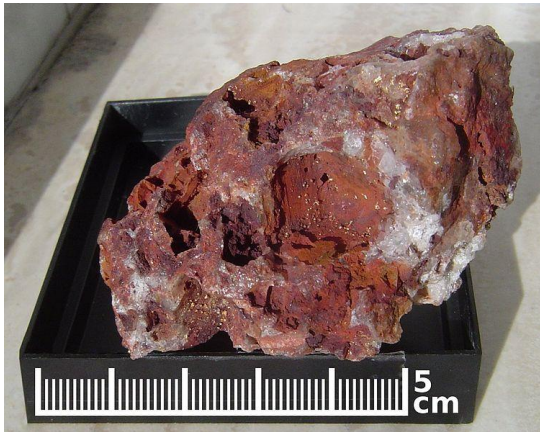
هر کانی ترکیب شیمیایی تقریباً ثابتی دارد مثلاً گچ با ترکیب CaSO_4 ، یریت FeS_2 ، کلسیت CaCO_3 و ...

3- ساختمان بلوری

به طور کلی می توان کانی ها را از لحاظ بلوری در 7 گروه اصلی قرار داد. این 7 سیستم بلوری شامل:



1) مکعبی (Cubic) مانند کانی پیریت (Pyrite)



2) دستگاه بلوری تتراگونال یا چهار گوشه (Tetragonal crystal system) مانند

کانی بلور وولفنیت (Wulfenite)



کانی روتیل rutile



(3) دستگاه بلوری شش گوشه (Hexagonal crystal system) مانند کانی کوارتز Quartz



(4) ارتورمبیک Orthorhombic مانند کانی باریت Barite



(5) مونوکلین Monocline مانند کانی ژیپس Gypsum



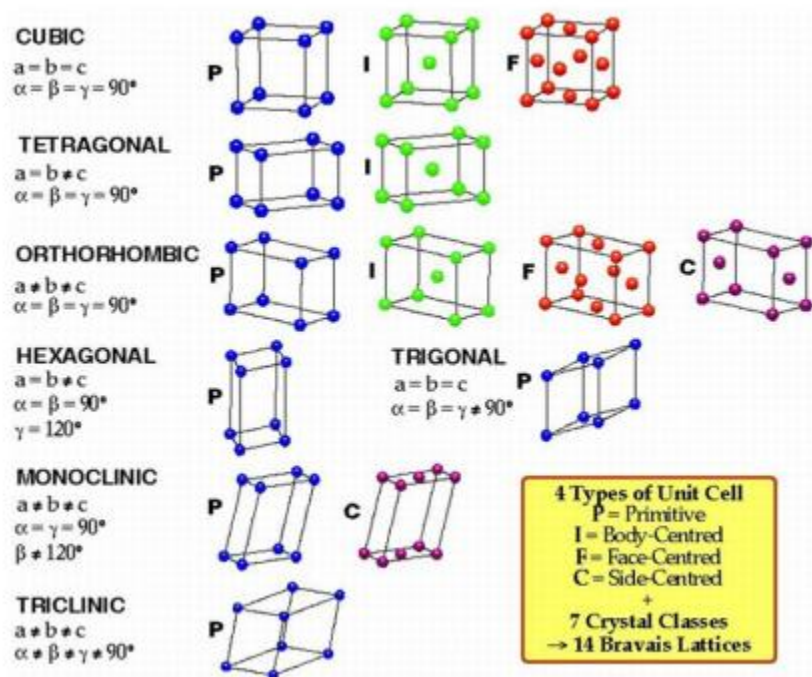
(6) تریکلین Tricline مانند پلاژیوکلازها Plagioclase



7) تری گونال Trigonal مانند کانی هماتیت Hematite



شکل قرار گیری عناصر در بلور کانی ها



4 جلا

جلای هر کانی در واقع توانایی آن در منعکس ساختن ، متفرق کردن یا جذب نور است . شاید یک مثال بتواند مفهوم جلا را بهتر نشان دهد. دو کانی پیریت و گوگرد هر دو زرد رنگ هستند. ولی به دلیل بازتاب متفاوت نور از آنها ، جلاهای مشخص و متفاوتی را از خود نشان می دهند. بطور کلی هر چه انعکاس و انکسار نور از سطح کانی و سطوح رخ و شکستگی داخل آن شدیدتر باشد، جلای آن نیز قویتر و شدیدتر خواهد بود. از طرفی چون جلا در نمونه های مختلف یک کانی کم و بیش پایدار است، از این رو وسیله مناسبی برای تشخیص کانیها است. جلای کانیها را می توان به دو گروه فلزی و غیر فلزی تقسیم کرد. تفاوت بین جلای فلزی و غیر فلزی کم و بیش مشابه تفاوت بین رنگ متالیک و رنگ عادی اتومبیلها است.

گوگرد



پیریت




5- سختی

به منظور سنجش سختی کانی‌ها و یا سنگ‌ها ده کانی را به عنوان مبنای سختی انتخاب کرده‌اند که از لحاظ سخت بودن هر کدام یک درجه کامل فرق دارند. زیرا بعضی سنگ‌ها از هم دیگر نیم درجه قیاسی فرق دارند. و با مالش دادن این ده سنگ میتوان سختی سایر کانی‌ها را با آنها مقایسه کرد. این مقیاس به نام مقیاس موس معروف است این مقیاس توسط کانی شناس آلمانی فردریک موس ابداع شد و در این مقیاس، نرم‌ترین کانی و یا تالک با درجه سختی ۱ و سخت‌ترین کانی الماس با درجه سختی ۱۰ می‌باشد. سنگ‌ها در طبیعت به سه شکل ساخته شده‌اند. کانی، رسوبی، و متحوله از جمله سنگ‌های سخت زیاده در میان سنگ‌های کانی است. مثلاً یاقوت زمرد و غیره

مقیاس موهس:**1- تالک****2- ژیپس****3- کلسیت****4- فلوریت****5- آپاتیت****6- ارتوکلاز****7- کوارتز****8- توپاز****9- کروندوم****10- الماس**

رده بندی مقیاس موس که بر اساس درجه سختی کم به زیاد در جدول زیر مشاهده می شود.

درجه سختی	کانی	سختی مطلق	تصویر
۱	تالک $(\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2)$	۱	
۲	ژیپس $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$	۲	
۳	کلسیت (CaCO_3)	۹	
۴	فلوئوریت (CaF_2)	۲۱	
۵	آپاتیت $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F}))$	۴۸	
۶	فلدسپار $(\text{KAlSi}_3\text{O}_8)$	۷۲	
۷	کوارتز (SiO_2)	۱۰۰	
۸	تویاز $(\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH}, \text{F})_2)$	۲۰۰	
۹	کروندم (Al_2O_3)	۴۰۰	
۱۰	الماس (C)	۱۵۰۰	

6- رنگ شعله:

برای شناسایی جنس کانی ها از آزمایش شعله نیز می توان استفاده کرد . زیرا هر عنصری شعله را به رنگ مخصوص درمی آورد.

مثلا:

عنصر سدیم رنگ شعله را زرد می کند

عنصر کلسیم رنگ شعله را سرخ آجری می کند

عنصر مس رنگ شعله را سبز می کند

عنصر پتاسیم رنگ شعله را بنفش می کند

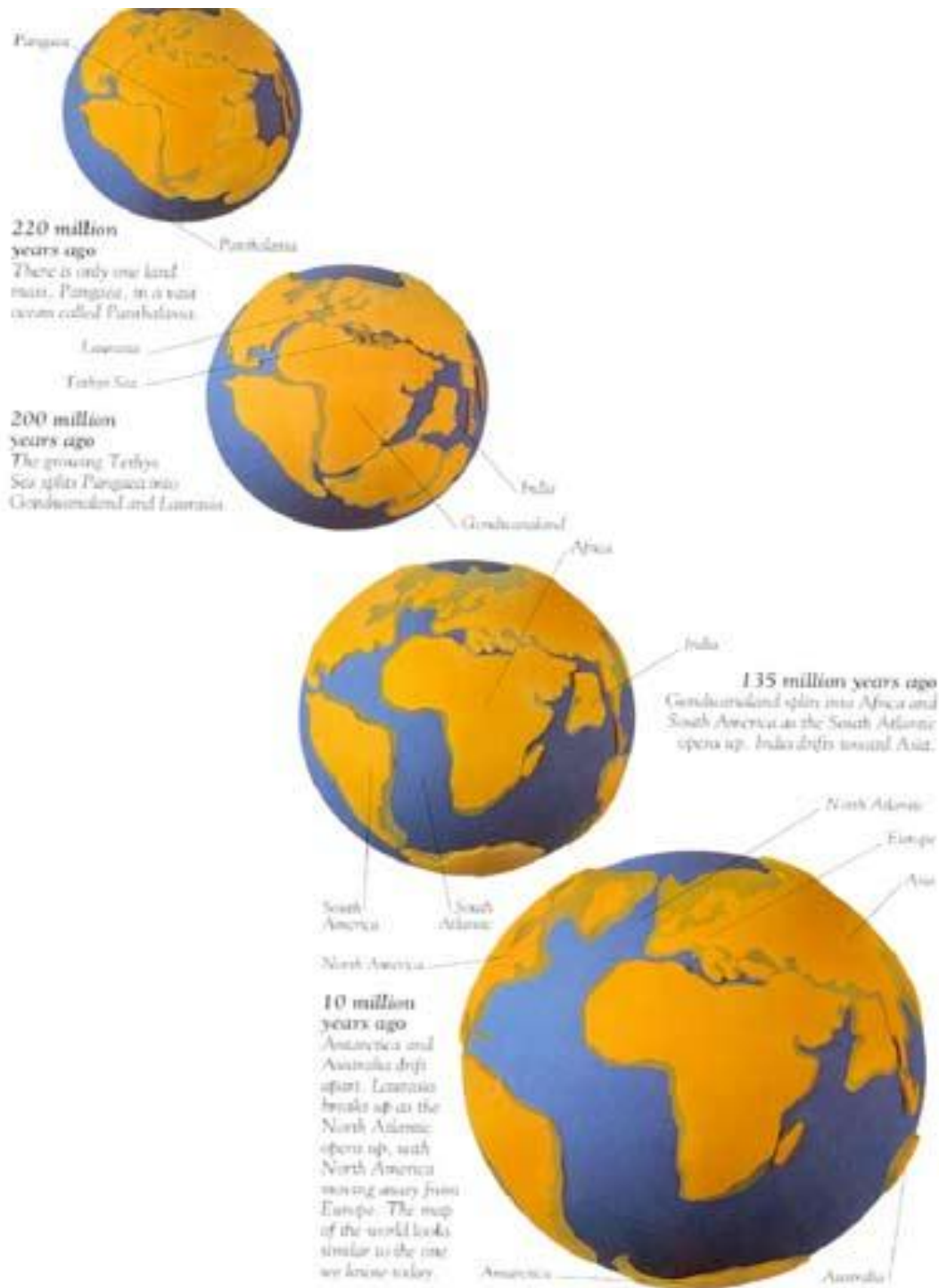


ساختمان زمین شناسی:

در سال 1912 آلفرد وگنر ژئوفیزیکدان و هواشناس آلمانی با ارائه یک سخنرانی و انتشار کتابی با عنوان "منشا قاره ها و اقیانوس ها" نظریه اشتقاق قاره های را برای اولین بار و به طور جدی مطرح کرد. وی بر اساس شواهد گردآوری کرده خود اعتقاد داشت که در گذشته قاره ها توده ای یکدست و به هم پیوسته بوده اند و قاره های جنوبی امروزی در پیرامون قطب جنوب آن زمان و قاره های شمالی نیز در استوا قرار داشته اند. وگنر این مجموعه قاره ای را پانژه آ (Pangaea) به معنی "تمام زمین" نامید و اقیانوس دربرگیرنده آن را پانتالاسا (Panthalassa) نام نهاد. این ابر قاره در حدود 200 میلیون سال پیش یعنی اوائل دوران دوم در مناطق گوناگونی دچار شکستگی شد و قطعات حاصل، از آن زمان به کنده اما پیوسته در حال پراکنده شدن بر روی سطح کره زمین هستند.



Alfred Wegner ادعا نمود بین دو قاره آمریکا و آفریقا گونه های طبیعی مشترک وجود دارد و همچنین وجود گونه های فسیل مشترک و همچنین از لحاظ زمین شناسی Formation شبیه به هم دارند.



سطح زمین دارای 7 خشکی بزرگ است که از شکسته شدن یک قاره واحد بزرگ در طول زمان و بر اثر پدیده پلیت تکتونیک به دست آمده است. هر کدام از این صفحات که به قاره موسوم است سالیانه حدود 50 مایل حرکت می کنند. بر اثر این حرکتها مرزهای قاره ها دارای مدلهای مختلفی است که به ترتیب زیر است :

صفحات واگرا و صفحات همگرا و مرزهای انتقالی گسلی

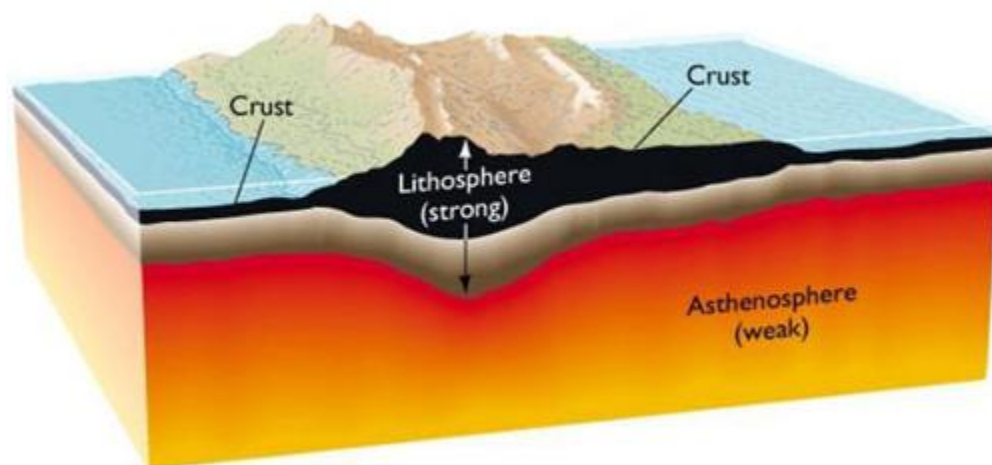
صفحات همگرا توسط حرکت صفحات و برخورد و تصادم آنها به یکدیگر به وجود می آید. وقتی که صفحات اقیانوسی با صفحات قاره ای تصادف می کند، صفحات اقیانوسی به زیر صفحات قاره ای کشیده می شود و می لغزد و باعث به وجود آمدن چاله ها و حفرات عمیق در کف اقیانوسها می شود. به این مدل از حرکت ساب داکشن یا فرو رانش گفته می شود. نمونه ای از این نوع فرو رانش در بین صفحه اقیانوسی Nazca و صفحه قاره ای آمریکای جنوبی اتفاق افتاده است. بر اثر تصادم دو صفحه قاره ای کوهزایی های مهم به وجود می آید که هیمالیا از مهمترین آنها است .

صفحات واگرا بر اثر حرکت صفحه ای قاره های به وجود می آید نمونه ای از این صفحات واگرا را می توان به برآمدگی آتلانتیک اشاره نمود. وقتی صفحات از هم دور شوند سنگهای ذوب شده و داغ که دمای آنها از خیلی بالا سرد می شود و باعث به وجود آمدن مواد جدید در صفحات اقیانوسی می شود. این فرایندهای در کف دریا پخش شده و شناخته شده است .

مرزهای صفحات گسلی انتقالی به صورت افقی حرکت می کند. به عنوان مثال از این حرکت صفحه ای می توان زون گسلی سن آندریاس San Andreas را نام برد .

پلیت تکتونیک شاخه ای از علم زمین شناسی ساختمانی است که با فرایندهای حرکات صفحه ای در ارتباط است و در اثر این حرکات صفحه ای و برخوردها و تصادم قاره ها با یکدیگر مواد مذاب داغ به وجود می آید در مقیاس جهانی زمین شناسی به وجود آورنده پدیده هایی مثل سازندهای زمین شناسی و کوهزایی ها و توزیع زمین لرزه و آتشفشان است.

ساختار زمین و اتمسفر:

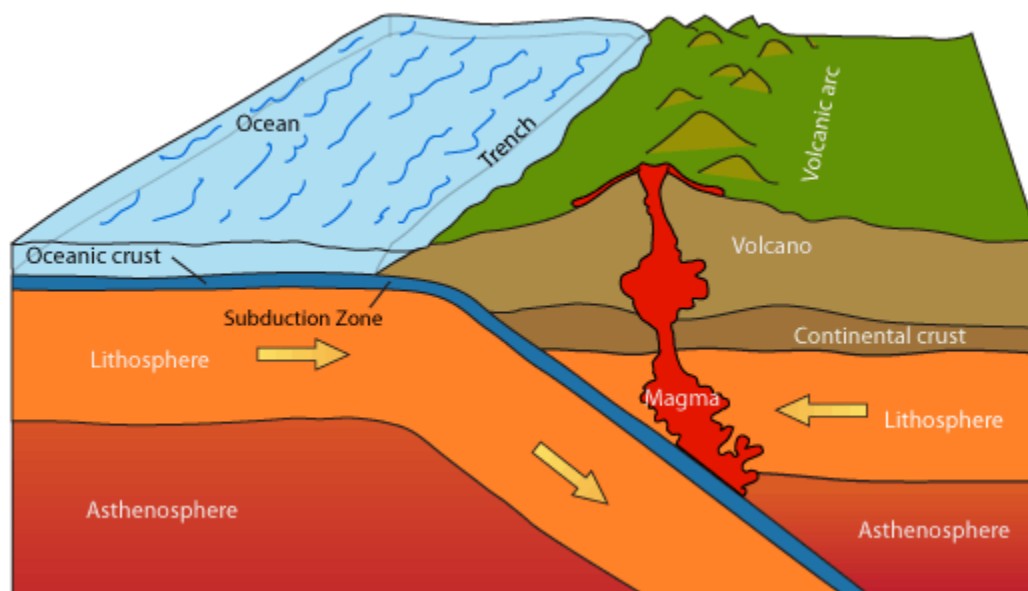


سنگ کره یا لیتوسفر Lithosphere

بخش خارجی و جامد زمین می باشد. لیتوسفر شامل پوسته و لایه خارجی و جامد گوشته است. میانگین ضخامت آن 100 است اما از چند کیلومتر در زیر اقیانوس ها تا 300 کیلومتر در زیر قاره ها تغییر می کند. از 12 تا 20 صفحه تشکیل شده است.

سست کره یا استنوسفر

بخش نرم زمین که در زیر لیتوسفر قرار دارد، دمای درونی زمین با افزایش عمق زیاد می شود از لحاظ ساختار زمین در ناحیه گوشته تحتانی قرار گرفته. در عمق یکصد کیلومتری دما به حدود 1400 درجه می رسد. در نتیجه سنگ به آرامی روان می شود و لایه ای به قطر 200 کیلومتر به نام استنوسفر را پدید می آورد که لیتوسفر جامد مانند یخ در روی آب در بالای آن شناور است. البته لازم به ذکر است استنوسفر حال پلاستیک جامد مانند خمیر بازی (Play-doh) دارد.



پوسته خارجی ترین لایه ی زمین و شامل دو نوع **قاره ای Continental** و **اقیانوسی Oceanic** است و تنها جایی است که زندگی بر روی آن جریان دارد. پوسته ی قاره ای زیر توده های زمین یافت می شود ۱۰ تا ۷۵ کیلومتر (۶ تا ۴۷ مایل) ضخامت دارد. پوسته ی اقیانوسی نیز در کف اقیانوس ها یافت می شود و از سنگ های چگال مانند بازالت تشکیل شده است و حدود ۷ کیلومتر (۴ مایل) ضخامت دارد. پوسته ی قاره ای تقریباً همیشه از پوسته ی اقیانوسی قدیمی تر است. پوسته ی اقیانوسی که بالای منطقه ی فروانش تشکیل شده است، از چند لایه ساخته شده و رسوبات پوشاننده را شامل نمی شود. بالاترین لایه حدود ۵۰۰ متر (۰٫۳۱۰ مایل) ضخامت دارد و شامل گدازه های ساخته شده از بازالت است. پوسته ی اقیانوسی از پوسته ی قاره ای سنگین تر است و به طور مداوم و به آرامی در حال فرو رفتن به زیر قاره ی

سبک‌تر قاره‌ای است که این فرآیند مهم را فرورانش می‌نامند. در این فرآیند، مجموعه و زنجیره‌ای از آتشفشان‌ها شکل می‌گیرد که قوس آتشفشانی نامیده می‌شود. در پایان، پوسته ی اقیانوسی به اندازه‌ای به زیر پوسته ی قاره‌ای فرو می‌رود تا این که وارد گوشته می‌شود. هنگامی که این رخداد روی می‌دهد، پوسته ذوب می‌شود و ماگما تا پشته ی میانی اقیانوسی بالا می‌آید و پوسته ی اقیانوسی جدید ساخته می‌شود. این رخداد هر ۲۰۰ میلیون سال یا بیشتر روی می‌دهد.

حرکت در مرزها:

خلاصه ای از مرزهای دور شونده و نزدیک شونده و با حرکت جانبی در زیر آورده شده است.

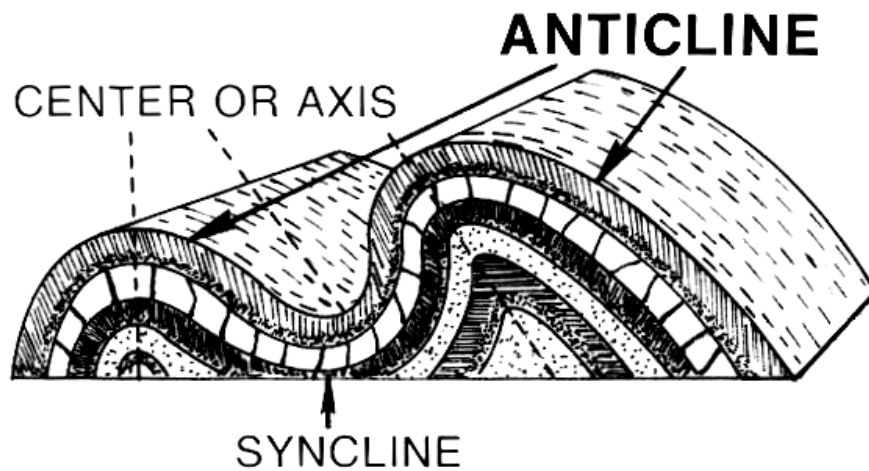
Type of Margin	Divergent	Convergent	Transform
Motion	Spreading	Subduction	Lateral sliding
Effect	Constructive (oceanic lithosphere created)	Destructive (oceanic lithosphere destroyed)	Conservative (lithosphere neither created or destroyed)
Topography	Ridge/Rift	Trench	No major effect
Volcanic activity?	Yes	Yes	No

<p>(a)</p>	<p>(b)</p>	<p>(c)</p>
------------	------------	------------

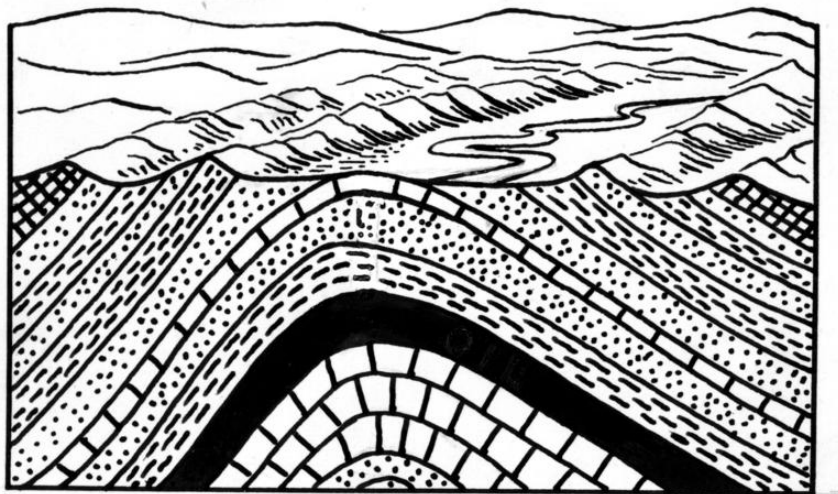
ساختارهای زمین شناسی:

1 چین خوردگی (Fold):

اگر پوسته زمین تحت نیروهایی که به آن وارد می شود که منجر به تغییر شکل هایی می شود که این تغییر شکل ها اشکالی را به وجود می آورد که به آن ها **تاق دیس** و **ناودیس** گفته می شود.

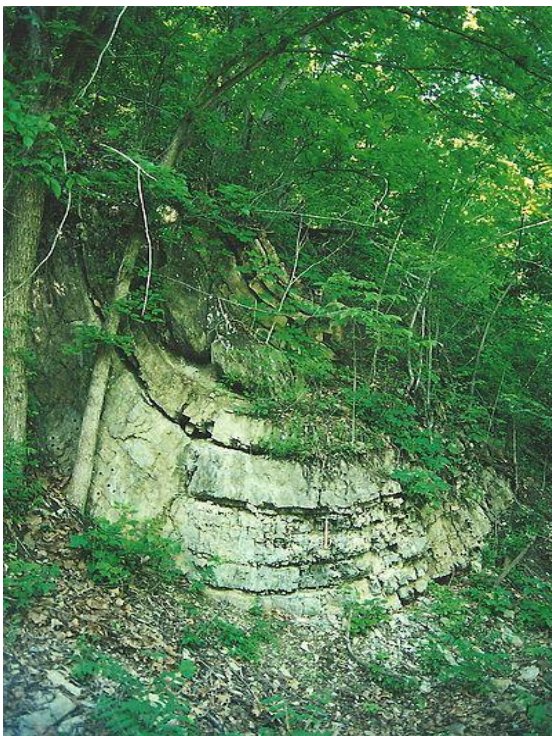


- **تاق دیس** Anticline به تاق یا سر یک چین در طبقات زمین گفته می شود.





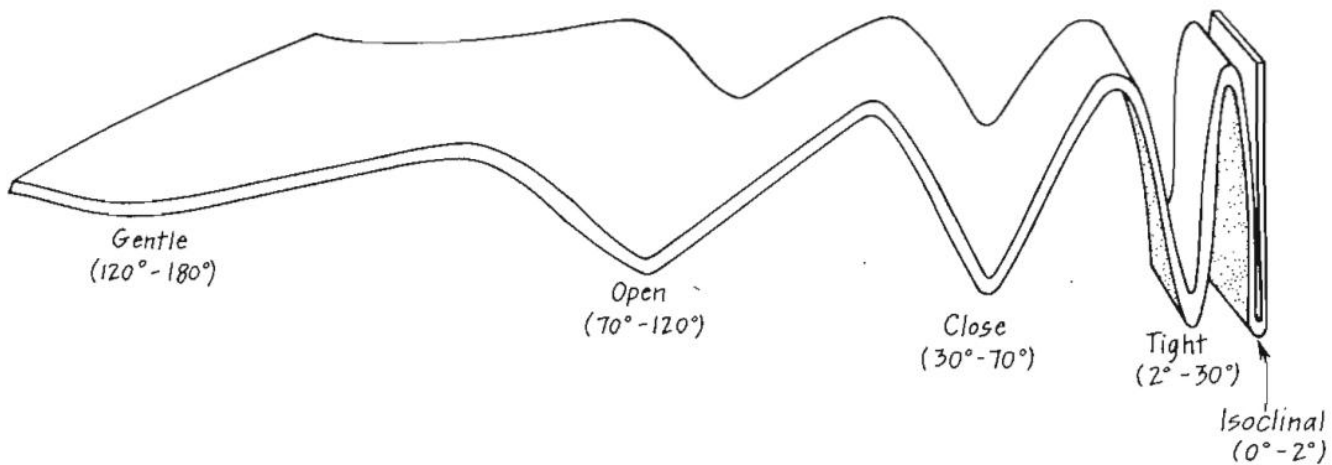
- **ناودیس Syncline** به چاله یا طاق معکوس یک چین در طبقات سنگ گفته می شود و به معنی شیب به طرف یکدیگر است. ناودیس، چینی است که به طرف بالا مقعر است.



پارامترهایی که برای شناسایی یک چین خوردگی شناسایی می شود:

- 1 خط الراس در تاقدیس ها (Crestal Line of an Anticline)
- 2 خط القعر در ناودیس ها (Through Line of a Syncline)
- 3 دامنه چین خوردگی ها (Amplitude of a Fold)
- 4 طول چین خوردگی (Length of a fold)
- 5 جایی که بیشترین چین خوردگی را دارد یا لولا (Hinge of a Fold)
- 6 باله (Limb)

تقسیم بندی چین خوردگی ها بر اساس زاویه :



(2) گسل (Fault):

گسل یا **گسله** به شکستگی‌هایی اطلاق می‌شود که سنگ‌های دو طرف صفحه‌ی شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت کرده باشند. این جابه‌جایی می‌تواند از چند میلی‌متر تا صدها متر باشد. انرژی آزادشده به هنگام حرکت سریع گسل‌های فعال، عامل وقوع اغلب زمین‌لرزه‌ها است.

زمین‌شناسان گسل‌ها را بر اساس لغزش به سه دسته تقسیم می‌کنند:

1. در صورتی که لغزش کلی در جهت شیب گسل باشد، گسل شیب‌لغز (Dip-slip fault) نامیده می‌شوند.
2. در صورتی که لغزش کلی به موازات امتداد گسل باشد، گسل امتدادلغز (Strike-slip fault) نامیده می‌شوند.
3. در صورتی که لغزش دارای هر دو مؤلفه‌ی امتدادی و شیبی باشد، گسل مورب‌لغز Diagonal-slip fault نامیده می‌شوند.



این عکس یک گسل کوچک را در سن متئو کانتی آمریکا را نشان می‌دهد. تطبیق دادن لایه‌ها در سراسر شکستگی، انحراف لایه‌های روشن‌تر و لایه‌های تیره‌تر را به میزان حدود ده پا نشان می‌دهد



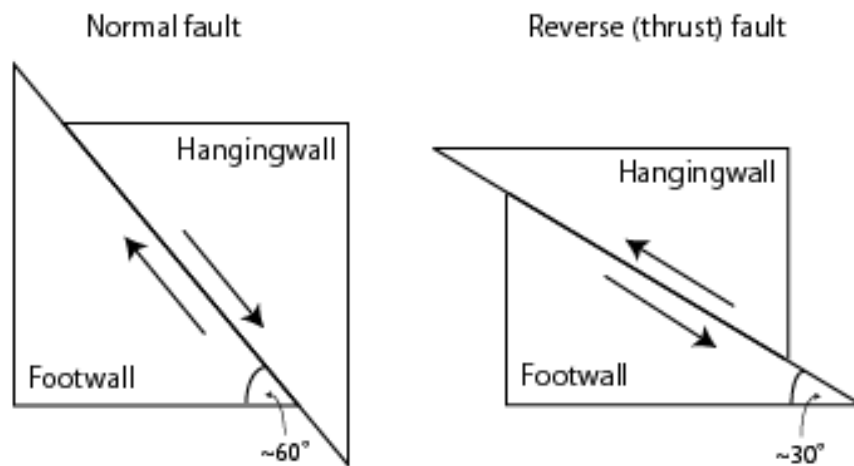
San Andreas Fault in southern California

هر شکافی در زمین **گسل** نیست. آن چه که معرف یک گسل است حرکت سنگ در دو طرف آن است. موقعی که حرکت سنگ ناگهانی است، انرژی آزاد شده موجب زلزله می شود. بعضی از گسل ها بسیار کوچکنند. اما گسل هایی هم وجود دارند که بخشی از سیستم های گسلی بزرگ هستند که سنگ ها به موازات آنها صدها کیلومتر از همدیگر می لغزند و دور می شوند. این سیستم های گسلی خط مرزی صفحات عظیمی هستند که پوسته زمین را تشکیل می دهند.

گسل شیب لغز (Dip-slip fault): با توجه به نحوه قرار گیری بلوکها که به صورت عمودی نسبت به یکدیگر حرکت می نمایند گسل شیب لغز می گویند.

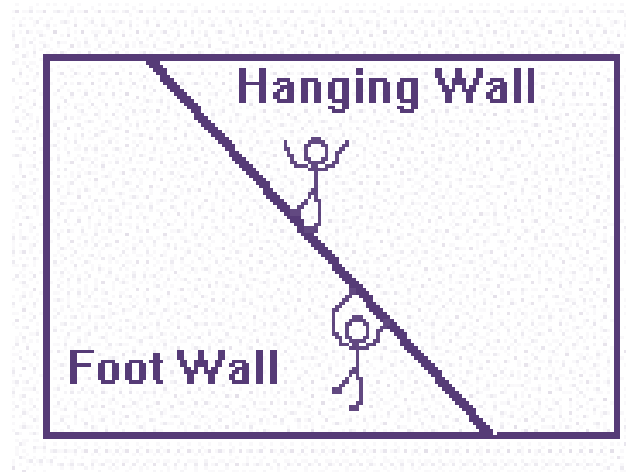
- **گسل نرمال (Normal Fault):** زمانی که بلوک footwall نسبت به صفحه لغزش به سمت بالا حرکت نماید گسل نرمال می باشد. زمانی که زاویه Dip بزرگتر از 45 درجه باشد گسل نرمال در مرزهای کششی اتفاق می افتد. در حقیقت دو بلوک Hanging wall و Foot wall تحت تنش کششی نسبت به یکدیگر لغزش می نمایند.

- گسل معکوس (Reverse Fault): زمانی که بلوک foot wall نسبت به Hanging wall به سمت پایین حرکت نماید و همچنین زاویه شیب صفحه گسیختگی نسبت به افق کمتر از 45 درجه باشد و در مرزهای فشاری این نوع گسل اتفاق می افتد. در حقیقت دو بلوک Hanging wall و Foot wall تحت تنش فشاری نسبت به یکدیگر لغزش می نمایند.



تعریف Hanging wall و Foot wall :

Hanging wall و Foot wall دو قسمت از یک بلوک سنگی می باشند که توسط یک صفحه شکستگی از یکدیگر جدا شده اند. که قسمت بالایی این صفحه را Hanging wall و قسمت پایینی آنرا Foot wall می گویند. مطابق شکل زیر.



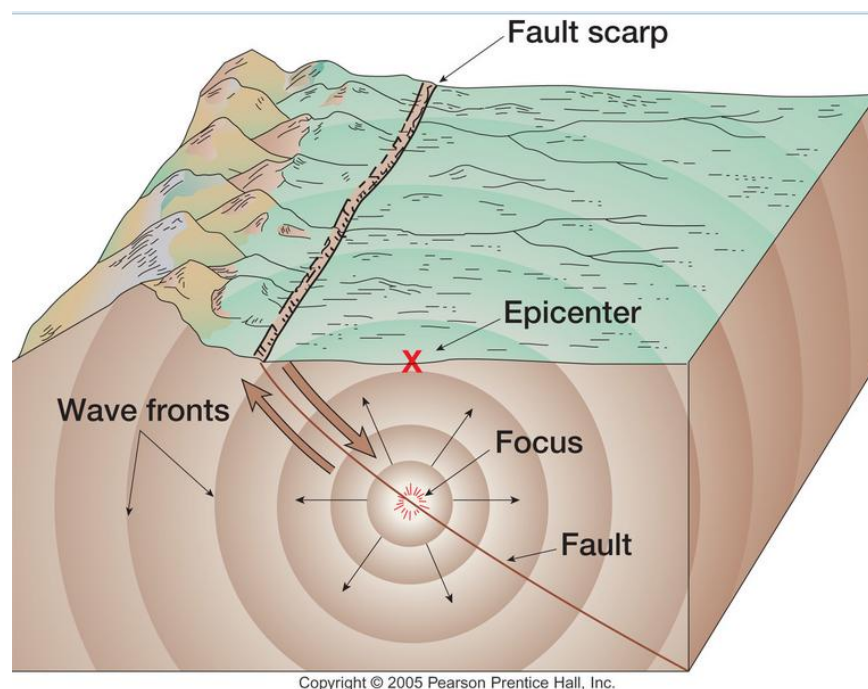
روش های شناسایی گسل ها

- ناپیوستگی و تکرار در لایه بندی های خاک
- سطح آینه ای گسل
- کشیدگی سطحی بر روی زمین
- برش گسلی
- قطع شدن لایه های خاک به صورت ناگهانی
- وجود لایه های سیمانته شده بین دو سطح مشابه
- وجود دره ها
- وجود چشمه ها
- تغییر مسیر رودخانه ها
- تغییر و جابجایی پوشش های گیاهی
- و

زمین لرزه Earthquake :

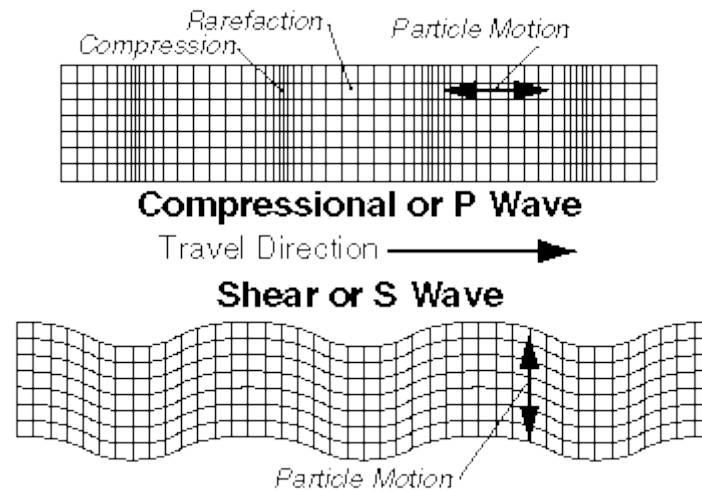
به علت مقادیر زیادی انرژی در درون زمین و با توجه به نظریه جابجایی قاره ها، تغییرات عمده ای در قسمت سطحی زمین رخ می دهد که زمین لرزه یکی از این تغییرات است. به عبارت دیگر زمین لرزه پدیده انتشار امواج در زمین به علت آزاد شدن مقدار زیادی انرژی ناشی از اغتشاش سریع در پوسته زمین و یا در قسمت بالائی گوشته در مدت زمان کوتاه می باشد. یک زلزله شدید ممکن است ناشی از شکست سنگ بستری به طول بیش از 100 تا 400 کیلومتر و عرض و ضخامت چندین کیلومتر باشد.

محلی که منشاء زلزله بوده و در حقیقت انرژی به یکباره از آنجا رها و آزاد می گردد کانون زلزله (Focus یا Hypocenter) و نقطه ای واقع بر سطح زمین که در بالای کانون قرار دارد مرکز زلزله (Epicenter) نامیده می شود.

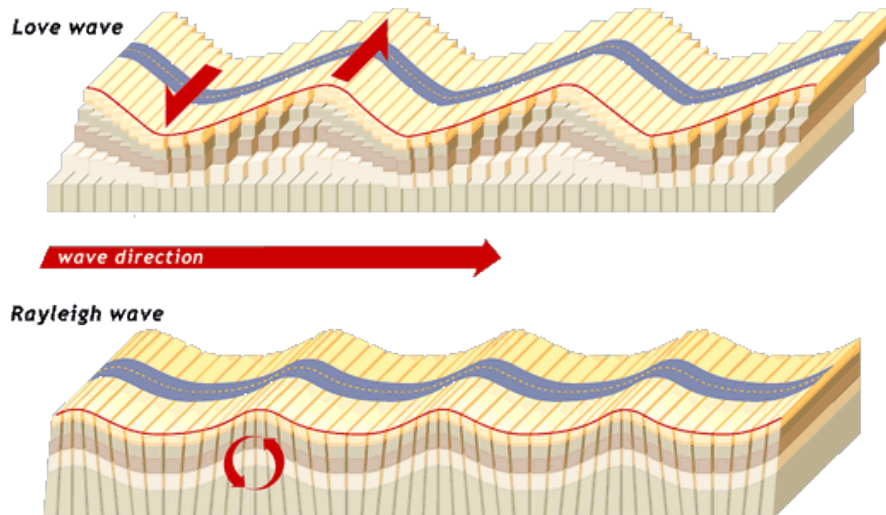


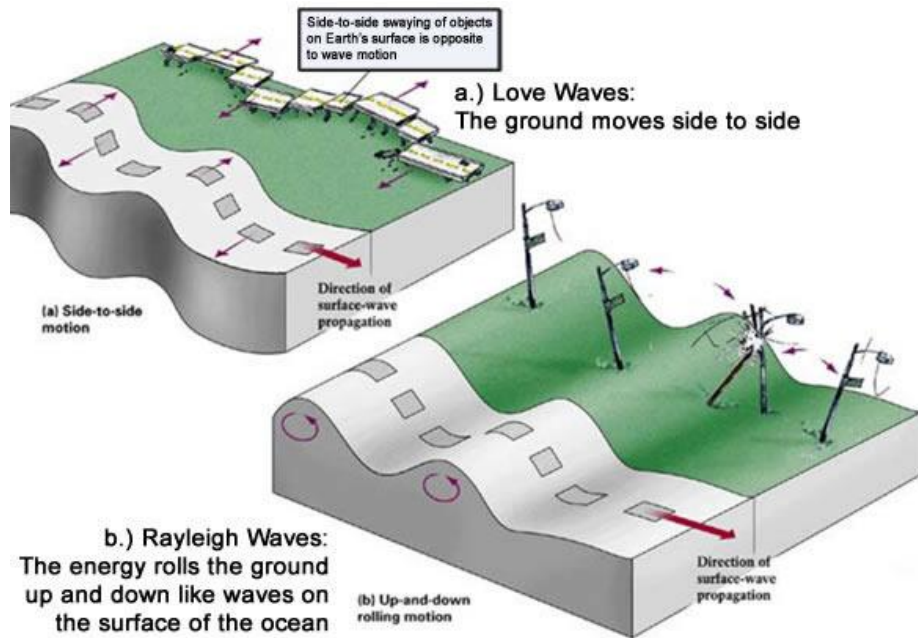
دامنه حرکت زمین در روی سطح، ابتدا شامل لرزه های جزئی است که به یکباره افزایش می یابد و پس از مدت کوتاهی حرکت تدریجاً فروکش می کند.

دو نوع موج در زمان وقوع زلزله در داخل زمین حرکت می نمایند که مشتمل بر امواج طولی (اولیه) و امواج عرضی (ثانویه) می باشد. که امواج اولیه به نام P-Wave و امواج ثانویه را (S-Wave) می نامند. به طور کلی به دو موج گفته شده امواج حجمی می گویند.



انواع دیگر امواج سطحی می باشند. زمانیکه امواج حجمی در داخل لایه های مختلف پوسته زمین منتشر می شوند در سطح مشترک انواع لایه ها منعکس می شوند که در این حالت مقداری از انرژی یک نوع موج به انرژی موج دیگر تبدیل می شود. بعضی از امواج فقط در سطح زمین منتشر می شود که حرکتی را در سطح زمین به وجود می آورد و از آنجا که محدوده انتشار آنها فقط در قسمت سطحی می باشد به امواج سطحی معروفند. که به دو نوع موج لایو و رایله تقسیم بندی می شوند.

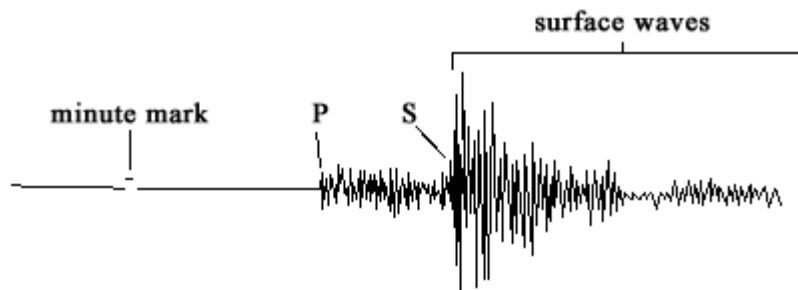




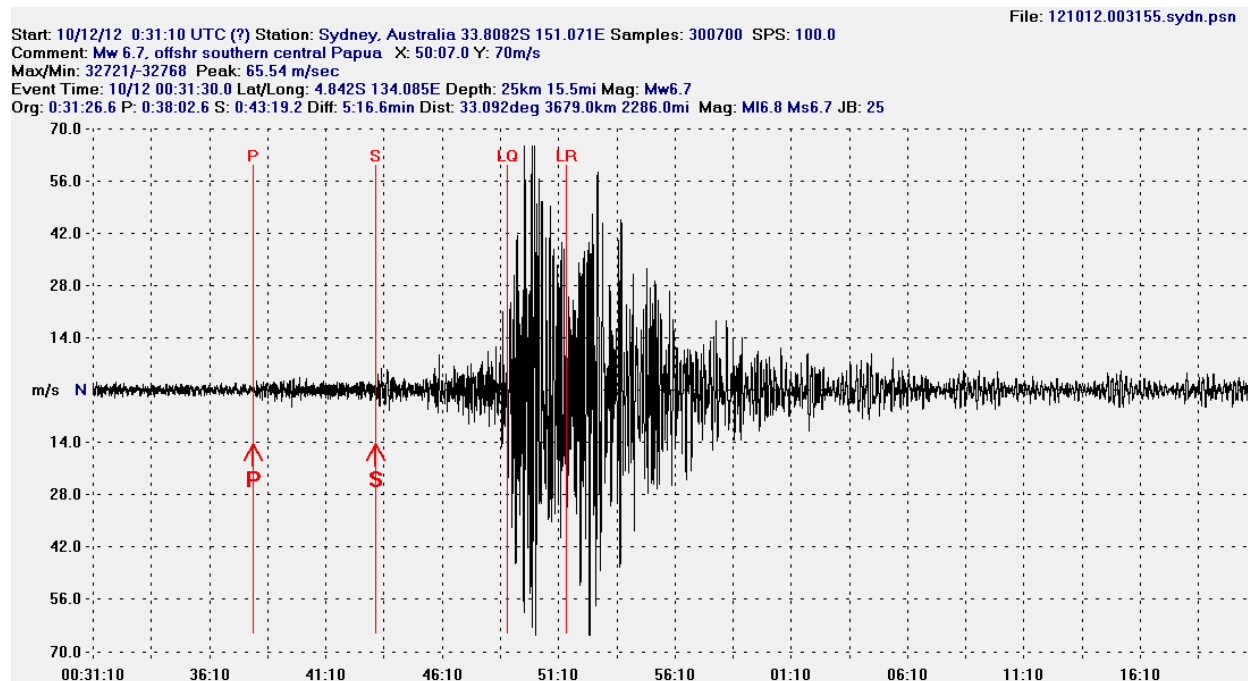
حرکات زلزله:

حرکات ناشی از زلزله ترکیبی از نواسانات امواج می باشد که توسط دستگاه های ویژه ای که شتاب مطلق زمین (شتاب سنج) و یا تغییر مکان نسبی زمین (لرزه سنج) را اندازه می گیرند، ثبت می شوند. نمودار شتاب ثبت شده را شتاب نگار و نمودار لرزش را لرزه نگار می نامند.

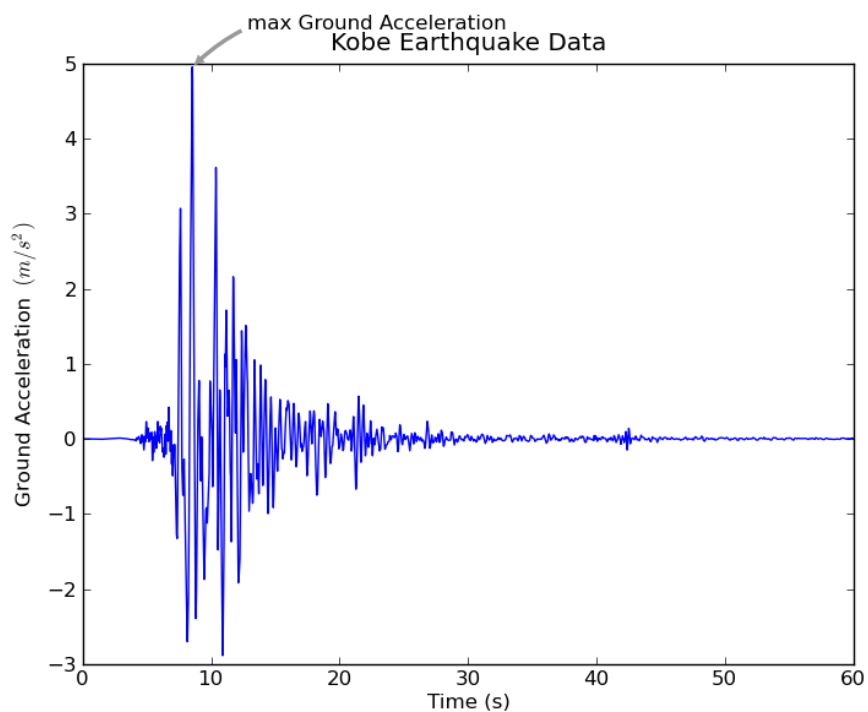
در شکل زیر یک نمونه از نمودار زلزله نگار ثبت شده را مشاهده می نماییم.



یک نمونه از لرزه نگار واقعی ثبت شده:



نمونه ای از شتاب نگاشت ثبت شده در زلزله کوبه ژاپن:



مقیاس شدت زلزله:

منظور از شدت زلزله میزان خطرناکی یک زمین لرزه یا میزان درجه لرزش در محل وقوع می باشد. مقیاس های متفاوتی توسط افراد متفاوت ارائه گردید. مقیاسی که به صورت مشاهده خرابی در محل مورد استفاده قرار می گیرد مقیاس مرکالی می باشد. که بعد ها این مقیاس اصلاح گردید و به نام اختصاری MM نمایش داده شد. این مقیاس یک مقیاس دقیق مهندسی نیست بلکه یک مقیاس نظری برای اثرات ناشی از تکان زمین است و مقیاس مرکالی اصلاح شده (MM) مشتمل بر دوازده درجه می باشد که با اعداد یونانی I تا XII نشان داده می شود.

رده بندی شدت مرکالی (اصلاح شده) MMI

شدت	تأثیرها
I	احساس نمی شود
II	توسط شخص در حال استراحت یا در طبقات بالای ساختمان احساس می شود.
III	در داخل ساختمان احساس می شود. اشیاء آویزان تکان می خورند ارتعاشی مثل گذر کامیونهای سبک دارند. مدت لرزش قابل برآورد است. ممکن است زلزله به حساب نیاید.
IV	اشیاء آویزان تاب می خورند. ارتعاشی مثل گذر کامیونهای سنگین یا احساس ضربتی مثل برخورد یک توپ سنگین به دیوار دارد. ماشینهای پارک شده تکان می خورند. پنجره ها، بشقابها و درها به صدا در می آیند. شیشه ها به صدا در می آیند. ظروف سفالی به هم می خورند.
V	در خارج ساختمان احساس می شود. جهت آن قابل برآورد است. افراد خواب بیدار می شوند. مایعات به حرکت در می آیند و برخی از آنها به خارج ظرف خود می ریزند. اشیاء ناپلیدار کوچک جا به جا یا واژگون می شوند. درها تکان می خورند و باز و بسته می شوند. ساعت های آونگی متوقف شده، به حرکت آمده یا سرعتشان تغییر می کند.
VI	توسط همه احساس می شود. بسیاری مضطرب شده و از ساختمانها خارج می شوند. اشخاص به طور نامتعادلی حرکت می کنند. پنجره ها، بشقابها و ظروف شیشه ای می شکنند. اشیاء، کتابها و چیزهای دیگر از قفسه ها به خارج می ریزند. عکسها از دیوارها فرو می افتند. مبلمان جا به جا شده یا واژگون می شوند. گچهای ضعیف ترک برمی دارند. زنگهای کوچک کلیساها و مدارس به صدا در می آیند. درختان و بوته ها تکان می خورند.

VII	ایستادن مشکل می شود. توسط رانندگان وسایل نقلیه احساس می شود. اشیاء آویزان شدیداً نوسان می کنند. مبلمان و وسایل چوبی می شکنند. دودکشهای ضعیف در محل اتصالشان به سقف می شکنند. قطعات گچ، آجرهای سست، سنگ و کاشی سقوط می کنند. امواج آب در سطح حوضها و آبگیرها گل آلود می شود. لغزشها و حفرات کوچکی در سواحل شنی و ماسه ای ایجاد می شود. زنگهای بزرگ کلیساها به صدا در می آیند. نهرهای آبیاری صدمه می بینند.
VIII	هدایت وسایل نقلیه مشکل می شود. گچ کاریها و برخی از دیوارها فرو می ریزند. دودکشها و بناهای یادبود، برجها و مخازن مرتفع می چرخند و فرو می ریزند. دیوارهای جداکننده ای که محکم نباشد از محل خود خارج می شوند. شمعهای فرسوده شده می شکنند. شاخه های درختان می شکنند. میزان دم و جریان آب چشمه ها و چاهها تغییر می کند. در زمینهای مرطوب و دامنه های پرشیب ترکهایی ایجاد می شود.
IX	عموم مردم احساس وحشت می کنند. ساختمانهای پیش ساخته، اگر خوب به هم متصل نشده باشند، از محل پی جا به جا می شوند مخازن شدیداً صدمه می بینند. لوله های زیرزمینی می شکنند. ترکهای آشکاری در زمین ایجاد می شود. در زمین های آبرفتی، ماسه و گل به خارج فوران می کنند.
X	پی اغلب بناهای معمولی و پیش ساخته تخریب می شود. برخی از سازه های چوبی خوب ساخته شده و پلها تخریب می شوند. سدها و خاکیزها صدمه جدی می بینند. زمین لغزه های بزرگ به وقوع می پیوندد. آب از ساحل کانالها، رودخانه ها، دریاچه ها و غیره به خارج می ریزند. ماسه و گل در سواحل و زمینهای هموار به طور افقی جا به جا می شوند. ریلهای راه آهن کمی خم می شوند.
IX	ریلها به شدت خم می شوند. خطوط لوله زیرزمینی کاملاً از سرویس خارج می شوند.
XII	خسارت تقریباً به طور کامل است. توده های سنگی بزرگ جا به جا می شوند. اشیاء به هوا پرتاب می شوند.

مقیاس بزرگای زلزله:

بمنظور اندازه گیری زمین لرزه و بدست آوردن معیاری برای مقایسه و سنجش زمین لرزه ها، از بزرگای زلزله استفاده می شود که می توان آن را با در نظر گرفتن دامنه نوسانات روی نگاشت محاسبه نمود. مقیاسهای متفاوتی برای اندازه گیری بزرگای زلزله وجود دارد. اولین مقیاس بزرگا، توسط چارلز ریشتر در سال 1935 برای زلزله های جنوب کالیفرنیا تعریف شد که بزرگای محلی یا ML نامیده می شود. علاوه بر مقیاس ریشتر، مقیاسهای مختلف دیگری نیز وجود دارند که هر کدام کاربردهای خاص خود را در مهندسی زلزله و زلزله شناسی ایفا می کنند. هر زلزله فقط و فقط یک بزرگا دارد و بزرگا با فاصله از محل وقوع زلزله تغییر نمی یابد. ذکر این نکته ضروری است که بزرگای زلزله، بتنهایی نمی تواند معیاری برای سنجش میزان خرابی در زلزله باشد. همانطور که گفته شد، بزرگای زلزله فقط بر اساس میزان انرژی آزاد شده در زلزله محاسبه می گردد و عمق و یا سایر پارامترها در محاسبه آن دخیل نمی باشد. از این رو دو زلزله با بزرگاهای یکسان ولی عمقهای متفاوت میزان خرابیهای متفاوتی را بار می آورند. چرا که با عمیقتر شدن کانون زلزله،

امواج لرزه ای فاصله بیشتری را تا سطح زمین طی می کنند که در این فاصله مقداری از انرژی آزاد شده کاهیده شده و از بین می رود. لازم به ذکر است اغلب زلزله های ایران، از نوع کم عمق می باشند، لذا انتظار می رود میزان خرابی و آسیب ناشی از این زلزله ها بیشتر باشد.

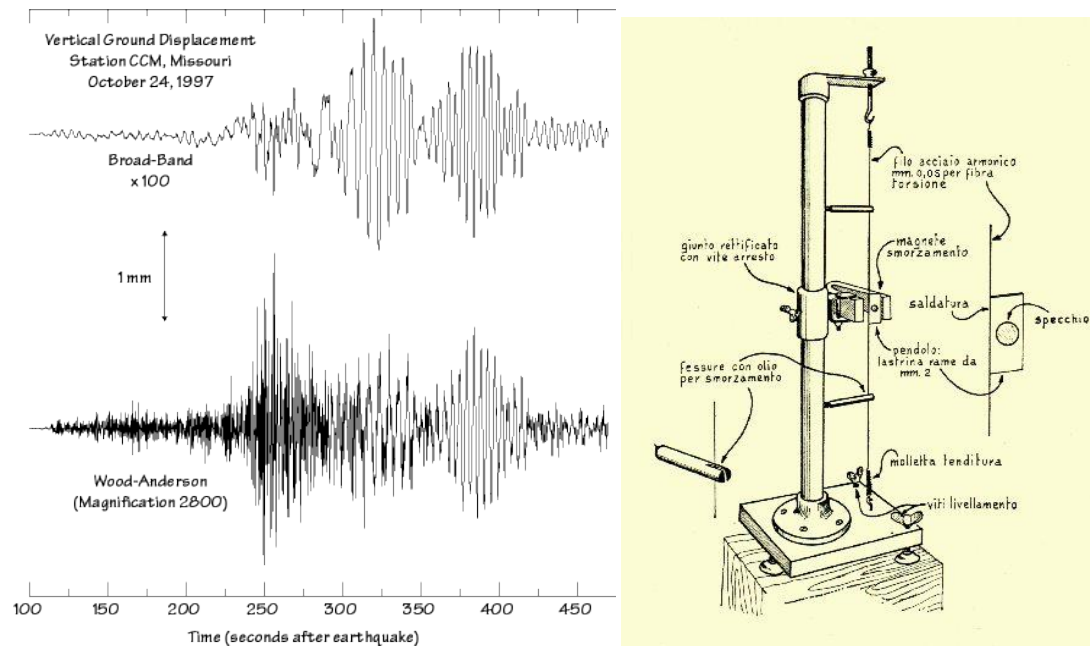
- مقیاس ریشتر (M_L)

این مقیاس برای زلزله های کم عمق و محلی می باشد که در سال 1935 توسط ریچارد ریشتر Richard Richter در زلزله کالیفرنیا جنوبی ارائه گردید. از آنجایی که این مقیاس در منطقه کالیفرنیا جنوبی و مختص آن منطقه در آن زمان ارائه گردید به این مقیاس محلی Local گفته می شود. رابطه ریشتر عبارتست از:

$$M_L = \log A/A_0$$

که در رابطه فوق A ماکزیمم دامنه ثبت شده توسط دستگاه وود اندرسون Wood-Anderson در پیوند زلزله 0.8 ثانیه و ضریب میرایی 0.8 در محل و فاصله 100 کیلومتری از مرکز زلزله می باشد. A_0 برای دستگاه در حال استاندارد برابر 0.001 می باشد.

دستگاه لرزه نگار وود اندرسون و زلزله ثبت شده توسط دستگاه فوق در زیر مشاهده می نمایید.



(شرح موارد تکمیلی در کلاس)

- مقیاس گوتنبرگ-ریشتر (M_s):

این مقیاس در سال 1956 توسط گوتنبرگ و ریشتر معرفی گردید که برای زلزله های با طول موج های سطحی می باشد. رابطه این روش به قرار زیر است:

که در رابطه فوق A' ماکزیمم حرکت زمین می باشد که واحد آن میکرومتر (μm) است. Δ فاصله لرزه نگار تا مرکز زلزله را شامل می گردد که مقیاس آن درجه است. به طور کلی این مقیاس مناسب برای زلزله های با احتمال رخداد متوسط تا بزرگ و سطحی مناسب می باشد.

- مقیاس بزرگای گشتاوری:

این مقیاس که بهترین و ناسب ترین رابطه برای تعیین آن در سال 1977 توسط Kanamori و رابطه تکمیلی و اصلاح شده آن در سال 1979 توسط Hank و Kanamori جهت تعیین مقیاس بزرگای گشتاوری ارائه گردید به شرح زیر می باشد:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D$$

که M_0 معروف به Scalar Seismic Moment می باشد. و μ مدول برشی واحد آن $\frac{Dyn}{cm^2}$ ، A سطح کل گسل که جابجایی در آن رخ داده بر حسب cm^2 ، D متوسط جابجایی فاصله بین دو صفحه A .

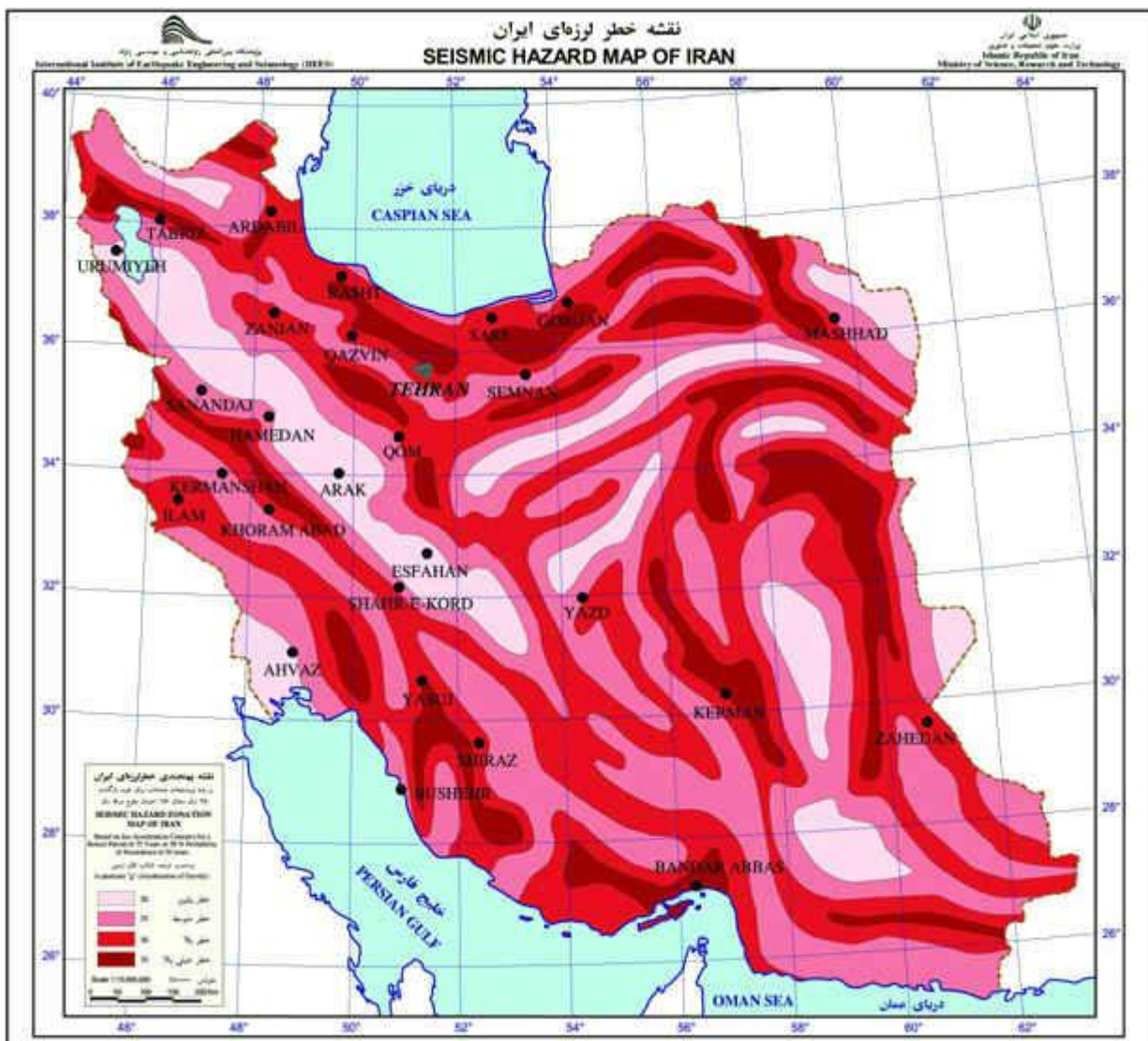
- مقیاس بزرگای امواج حجمی m_b :

این مقیاس برای امواج با طول موج با پریود پایین در حدود 1 ثانیه می باشد. این رابطه برای امواج P با مدت زمان حرکت پریودیک 10 ثانیه می باشد.

که در رابطه فوق A دامنه امواج P ، T پریود، $\sigma(\Delta)$ فرمول بر حسب Δ بر حسب درجه می باشد.

(لازم به ذکر است روابط فوق صرفاً جهت آشنایی شما عزیزان با روابط مهندسی زلزله می باشد و دانشجو در درس مهندسی زلزله توضیحات کامل و روابط و نمودارهای تکمیلی را خواهد آموخت)

با توجه به آمار زلزله های ثبت شده در ایران می توان نقشه های پهنه بندی خطر لرزه ای هر منطقه را تهیه نمود. برا ایران این نقشه توسط سازمان و ارگان های مختلف تهیه گردیده است. در زیر یک نمونه از نقشه لرزه خیزی ایران که توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله تهیه گردیده است مشاهده می نمایید.



هوازدگی در سنگ ها:

هوازدگی نتیجه فعالیت عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی است که همه با هم بر سنگهای سطح اثر می کنند، ولی سبب جابه جایی مواد حاصل، نمی شوند. وجود منافذ و درزها و شکافها در سنگها باعث می شود که سنگها در معرض حمله فیزیکی و شیمیایی آب و هوا قرار گیرند و به تدریج خرد و متلاشی یا هوازده شوند. هوازدگی به زبان ساده عبارت است از پاسخی که مواد سطح زمین در مقابل تغییر محیط از خود بروز می دهند و شامل از هم پاشیدن سنگها و تجزیه آنها در سطح زمین و یا نزدیک به سطح زمین است. بعد از میلیونها سال ، بالا آمدگی و فرسایش ، سنگهای موجود در سقف توده های نفوذی از بین رفته و توده در سطح زمین هوازده می شود. این توده متبلور که در دما و فشار زیاد و احتمالاً در چند کیلومتری زیر زمین تشکیل شده بود، اکنون در سطح زمین و در معرض شرایطی کاملاً متفاوت قرار دارد.

وجود منافذ و درزها و شکافها در سنگها باعث می شود که سنگها در معرض حمله فیزیکی و شیمیایی آب و هوا قرار گیرند و به تدریج خرد و متلاشی یا هوازده شوند.

- هوازدگی فیزیکی:

هوازدگی فیزیکی عبارت است از خرد شدن فیزیکی سنگها به قطعات و ذرات کوچکتر بدون آنکه ترکیب آنها تغییر کند. عوامل موثر بر هوازدگی فیزیکی یخبندان ، انبساط حاصل از برداشته شدن بار فوقانی ، انبساط حرارتی و فعالیت موجودات زنده رشد ریشه گیاهان و نفوذ آنها به داخل ترکهای سنگها

- هوازدگی شیمیایی

در هوازدگی شیمیایی، ترکیب سنگ ها و کانیها تغییر می کند و در نتیجه آن ، مواد جدید بوجود می آید . انجام هوازدگی در خود حل کند. ترکیب کانی ها با آب ، یکی از مهم ترین واکنشهای شیمیایی به خصوص در کانیهای سیلیکاتی است. در اثر این واکنش ، از فلدسپات ها خاک رس بوجود می آید. در هوازدگی شیمیایی آب مهمترین عامل به شمار می رود. ولی لازم به ذکر است که آب خالص غیرفعال بوده و نمی تواند هیچ تغییری در سنگها ایجاد کند .افزایش مقدار کمی از مواد محلول می تواند آب را فعال سازد .اکسیژن و دی اکسید کربن محلول در آب باعث ایجاد تغییرات اساسی در سنگها می شوند.

سرعت هوازدگی سنگ ها:

عوامل آب و هوایی ، بویژه رطوبت اهمیت ویژه ای در سرعت هوازدگی سنگها دارد. بهترین محیط برای هوازدگی شیمیایی آب و هوای گرم و فراوانی رطوبت است. در نواحی قطبی و در عرضهای جغرافیایی بالا چون برودت هوا ، رطوبت مورد نیاز برای هوازدگی را به صورت یخ در می آورد لذا هوازدگی شیمیایی در این نواحی بی تاثیر است. در نواحی خشک نیز به علت وجود رطوبت کافی هوازدگی شیمیایی نقش ندارد.

ناپایداری دامنه ها:

توده های سنگ و خاک در سرایشی ممکن است بدون دخالت یک عامل حمل و نقل مثل آب، باد یا یخ، به حرکت درآیند. می توان این حرکات مواد در دامنه ها را به چهار نوع تقسیم کرد: نوع اول عبارت است از حرکت و سقوط ذرات سنگ و خاک از سرایشهای خیلی تند که «ریزش» نامیده می شود. نوع دوم حرکت توده های سنگ یا رسوب در امتداد سطح لغزشی است که «لغزش» نامیده می شود. در نوع سوم حرکات دامنه ای مواد به صورت خمیری یا نیمه مایع به سمت پایین جریان پیدا می کنند که «جریان» نامیده می شود مانند جریانهای گِل . نوع چهارم خزش ذرات تشکیل دهنده یک دامنه ، دانه دانه به پایین می افتند . برای این کار باید پوشش دامنه از سازندهای قابل انتقال مثل ماسه و خاک تشکیل شده باشد . این جابجایی مختص شیب های ملایم است . رشد و نمو واز بین رفتن گیاهان و عمل جانوران زمین کاو و همچنین تغییرات حجم مواد به علت تغییر درجه حرارت و رطوبت و بخصوص یخ زدن و آب شدن یخ خاک موجب شدت جابجایی نامرئی ذرات شده و بالخره موجب پایین ریختن سریع آن ها می شود . باید دانست که عمل خزش فوق العاده ضعیف و به نسبت سانتیمتر در قرن است . می توان عمل خزش را از خم شدن تیرها و دکل های برق روی دامنه ها فهم ید. عمل خزش در سرزمین هایی که یخبندان فراوان است بیش از مناطقی که هرگز یخبندان ندارند، اتفاق می افتد.