



## فصل اوّل

### زمین‌شناسی

#### آشنایی با کلیات زمین‌شناسی

- اهداف رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند:
- ۱- زمین‌شناسی را تعریف کند.
  - ۲- اطلاعات مختلف مربوط به زمین را بررسی کند.
  - ۳- عناصر و ترکیبات عمده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی سطح زمین را نام برد.
  - ۴- روش‌های مختلف تشکیل سنگ‌های سطحی زمین را بیان کند.
  - ۵- خواصّ مواد موجود پوسته‌ی زمین را با یکدیگر مقایسه کند.
  - ۶- هوازگی و آثار آن را بیان نماید.
  - ۷- کاربرد مواد مختلف مورد مصرف در صنعت سرامیک را بیان نماید.

#### ۱- زمین‌شناسی

##### مقدمه

زمین، این کره‌ی آبی رنگ منظومه‌ی شمسی، قطره‌ای بسیار کوچک در دریای سیارات و ستارگان است. با این وجود، با گذشت هزاران سال از تاریخ بشر و تلاشی که انسان در راه شناخت زمین داشته است، هنوز بسیاری ناشناخته‌های این سیاره در پیشِ رو می‌باشد.

#### ۱-۱- زمین‌شناسی چیست؟

علم و شناخت زمین که درباره‌ی منشأ تشکیل این سیاره، موادّ به‌وجودآورنده، سنّ زمین،

اشکال و تغییر و تحولات داخلی و خارجی زمین و دلایل به وجود آمدن این تغییرات و هم چنین بررسی جاندارانی است که روزگاری بر روی آن می زیسته اند «زمین شناسی» نامیده می شود. در این علم از سنگ شناسی، کانی شناسی، رسوب شناسی و دیرین شناسی گرفته تا مسائل مربوط به آب و هوا، اقیانوس ها، آتشفشان ها، یخچال ها و حتی مطالعه ی تغییرات و آشفته گی های آب و هوا و اوضاع و احوال کره ی زمین توسط ماهواره ها (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- تصویر ماهواره ای از کره ی زمین

مطالعه ی سنگ های تشکیل دهنده ی زمین، نحوه ی به وجود آمدن آن ها، رسوبی بودن، تشکیل از مذاب و یا تغییر شکل یافتگی آن ها، همه نشانه هایی برای محققان این علم است تا تغییر و تحولات و آنچه را که می توان مورد بهره برداری قرار داد بهتر بشناسند و در نهایت، آینده را قابل پیش بینی تر نمایند.

شاید بتوان ترس از حوادث طبیعی چون آتشفشان، زمین لرزه، سیل و وزش بادهای ویرانگر را از نخستین دلایل توجه انسان به آنچه که در محیط اطراف او می گذرد، دانست. تلاش در شناسایی بهتر این پدیده ها و طرق مبارزه با آن ها بوده که انسان را مجبور به شناخت بیشتر و بهتر از دنیای اطراف خود کرده است.

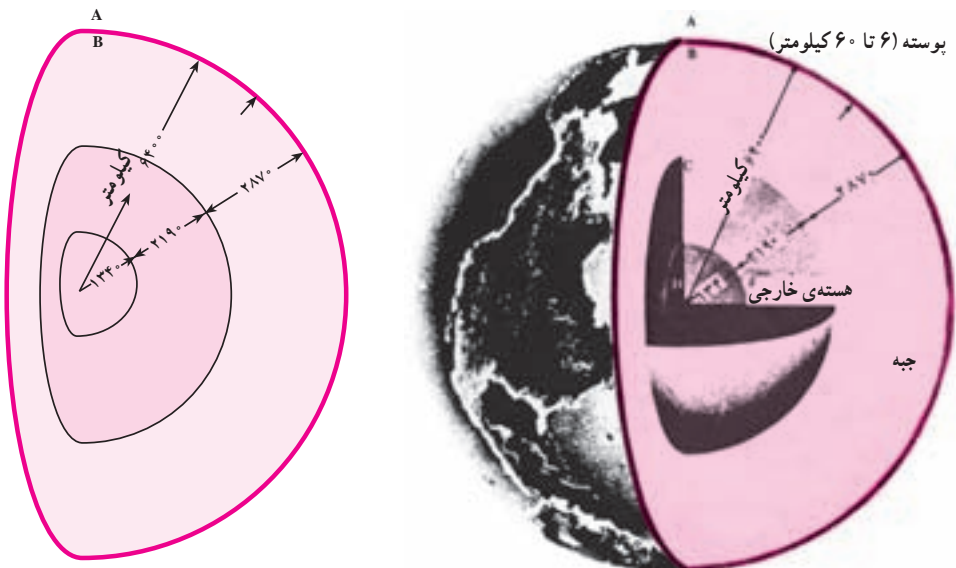
## ۱-۲- ساختار درونی زمین

در صورتی که از فضای اطراف زمین به طرف آن حرکت کنیم اولین لایه‌ای که به آن وارد می‌شویم، جو یا اتمسفر است.

پس از لایه‌ی جو که شامل گازهای ازت، اکسیژن، گازهای بی‌اثر (Ne, Ar)، گاز کربنیک و سایر گازها و رطوبت هوا، اعم از ابر، مه، باران و برف می‌شود، به سطح زمین می‌رسیم که از آب‌ها (اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و یخچال‌ها) و خشکی‌ها تشکیل شده است. از آنجایی که مطالعه‌ی مستقیم مواد داخل زمین و پوسته‌های تشکیل دهنده‌ی آن به‌طور مستقیم نیست (طولانی‌ترین چاه مطالعاتی که تاکنون انسان حفر نموده، ۱۲ کیلومتر است در حالی که شعاع زمین ۶۴۰۰ کیلومتر می‌باشد) با بررسی دقیق امواج حاصل از زمین‌لرزه‌های طبیعی و مصنوعی و سرعت و چگونگی رفت و برگشت این امواج، می‌توان تا حدود زیادی به ساختار لایه‌های زیرزمین و ماهیت مواد تشکیل دهنده‌ی آن‌ها پی برد.

در مطالعاتی که با اندازه‌گیری درجه‌ی حرارت چاه‌های حفر شده به‌عمل آمده، مشاهده گردیده که به‌ازای هر ۱۰۰ متر که به‌طرف مرکز زمین پیش می‌رویم، گرما به‌اندازه‌ی سه درجه‌ی سلسیوس زیاد می‌شود که البته میزان این تغییر در اعماق، بیشتر است.

همان‌گونه که ذکر شد براساس ویژگی‌های امواج زلزله (و یا انفجارات مصنوعی) می‌توان به ساختمان درونی زمین پی برد (شکل ۱-۲). با اندازه‌گیری سرعت عبور این امواج از داخل سنگ‌ها

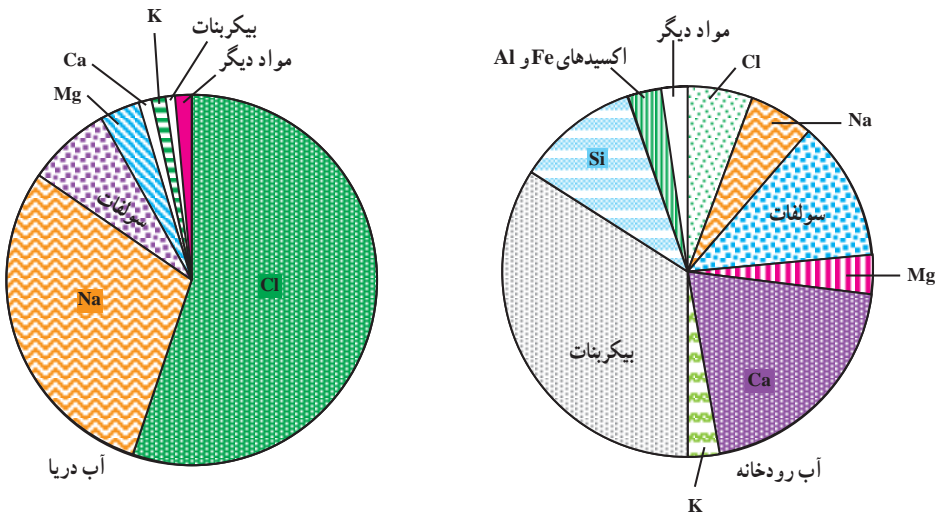


شکل ۱-۲- ساختار درونی زمین

می توان میزان تراکم و یا سختی سنگ را تعیین کرد. امواج زلزله از سنگ های سخت تر و متراکم تر با سرعت بیشتری عبور می کند. مشاهدات نشان داده که در پاره ای از نقاط داخل زمین، تغییراتی ناگهانی در سرعت سیر امواج پدید می آید.

### ۳-۱- مواد تشکیل دهنده ی پوسته ی زمین

پوسته ی زمین علاوه بر بخش جامد، شامل آب های روزمینی و زیرزمینی نیز می شود. آب های روزمینی بسته به شور و شیرین بودن و یا به عبارتی چگونگی و منشأ به وجود آمدنشان، دارای املاح متنوعی هستند که درجه ی شوری آب براساس میزان آن ها مشخص می شود. به عنوان مثال در صورتی که یک کیلوگرم از آب دریا را تبخیر کنیم، حدود ۳۵ گرم نمک های مختلف از آن به دست می آید. پس می توان گفت که درجه ی شوری آب دریا، ۰/۰۳۵ است. در شکل (۳-۱)، مقایسه ی میزان یون های مختلف، در آب دریا و آب یک رودخانه نشان داده شده است.

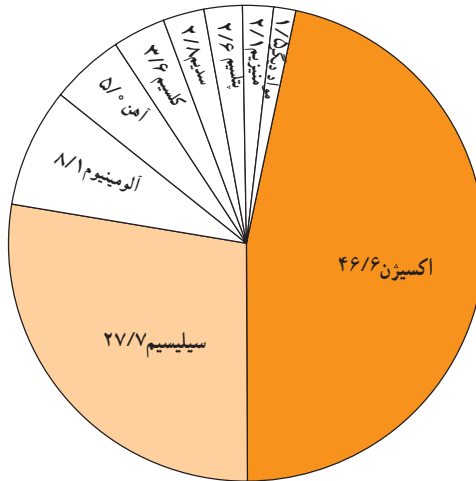


شکل ۳-۱- مقایسه ی میان ترکیب یونی آب دریا و آب رود معمولی

آزمایش های دقیق شیمیایی، وجود حدوداً ۶۰ عنصر مختلف را در آب دریاها ثابت کرده است که تنها یون های ۶ عنصر از ۶۰ عنصر، بیش از ۹۹٪ نمک های دریاها را تشکیل می دهد. این یون ها به ترتیب فراوانی عبارتند از:

کلر (۲/۵۵٪)، سدیم (۴/۳۰٪)، سولفات (۷/۷٪)، منیزیم (۷/۳٪)، کلسیم (۲/۱٪) و پتاسیم (۱/۱٪).

عناصر اصلی تشکیل دهنده ی پوسته ی جامد زمین، اکسیژن و سیلیسیم می باشد که بر روی هم حدود ۷۰٪ عناصر را تشکیل می دهند. به همین دلیل، سیلیکات ها یعنی موادی که جزء اصلی آن ها سیلیسیم و اکسیژن است، فراوان ترین مواد معدنی پوسته ی زمین را تشکیل می دهند. میزان فراوانی نسبی عناصر اصلی تشکیل دهنده ی پوسته ی جامد زمین در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- نسبت فراوانی عناصر در پوسته ی جامد زمین

ترکیب سنگ های به وجود آورنده ی پوسته در زیر خشکی ها، گرانیت و بازالت و در زیر اقیانوس ها، بازالت است. به طور کلی قسمت های خارجی را خانواده های کوارتز و فلدسپات های اسیدی تشکیل می دهند که با زیاد شدن عمق از میزان کوارتز کاسته می شود و سنگ ها خواص بازی پیدا می کنند و فلدسپات های بازی را تشکیل می دهند.

#### ۴-۱- طرز تشکیل سنگ های پوسته ی زمین

سنگ، جسمی است که از اجتماع یک یا چند نوع ماده ی معدنی (کانی) تشکیل شده باشد به نحوی که در سطح وسیعی از زمین گسترش یافته و در صورت تخریب و تجزیه، کانی های مختلف از آن ها آزاد بشود. بررسی بیشتر کانی ها و انواع مختلف آن ها را به فصل دوم کتاب مוקول می کنیم و در ادامه ی این فصل از انواع مختلف سنگ ها و چگونگی تشکیل آن ها صحبت می کنیم. سنگ ها را از روی خواص و منشأ تشکیل آن ها به سه دسته ی بزرگ تقسیم می نمایند:

۱- سنگ های آذرین

۲- سنگ های رسوبی

### ۳- سنگ‌های متامورفیک یا دگرگونه

#### ۱-۴-۱- ماگماتیسیم و سنگ‌های آذرین : همان‌گونه که پیش از این نیز گفته شد، هر قدر

که به عمق زمین پیش برویم دما بالاتر می‌رود و در اعماق زیاد به حدی می‌رسد که برای ذوب بسیاری از سنگ‌ها در شرایط عادی کافی و حتی بالاتر از آن است و لیکن امروزه برخلاف گذشته که تصور می‌شد که به دلیل دمای بالا، قسمت‌های زیر پوسته‌ی زمین تماماً حالتی مذاب داشته باشد، می‌دانیم که با وجود این دمای بالا، فشار لایه‌های بالاتر به قدری زیاد است که اجازه‌ی ذوب را به این سنگ‌ها نمی‌دهد مگر در مواردی که مانند پیدایش گسل و یا ایجاد شکستگی در پوسته‌ی زمین، از میزان این فشار کاسته شود و مواد تحت دمای بالا به حالت مذاب درآیند.

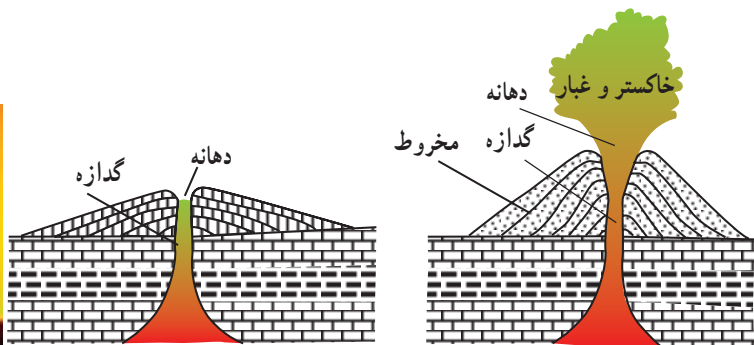
در هر جا که این سنگ‌های تحت دمای بالا، ذوب شوند، ماده‌ی مذاب به وجود آمده، به دلیل سیال بودن، به سمت بالا حرکت کرده راه خود را به بیرون از پوسته باز می‌کند و گدازه را به وجود می‌آورد. در صورت انجماد ماگما (مواد مذاب و گازی درون و سطح زمین) که به بیرون راه پیدا کرده و دمای حدود ۱۲۰۰ درجه‌ی سلسیوس را دارد، سنگ‌های «بیرونی» و یا آذرین را تشکیل می‌دهد. در صورتی که این ماده‌ی مذاب بتواند به سطح زمین برسد، در داخل پوسته‌ی زمین منجمد می‌شود و تشکیل سنگ‌های آذرین «درونی» را می‌دهد.

**الف - ولکانیسم :** ولکانیسم و یا به عبارتی فعالیت‌های آتشفشانی زمین هنگامی رخ می‌دهد که ماده‌ی مذاب به سطح زمین برسد. در صورتی که راهیابی این ماده‌ی مذاب به سطح زمین به آرامی صورت گیرد به آن آتشفشان آرام، و در صورتی که خروج، با انفجار همراه باشد به آن، آتشفشان انفجاری می‌گویند (شکل ۵-۱).

بخار و گازهای دیگر



(ج)



(ب)

(الف)

شکل ۵-۱- آتشفشان انفجاری (الف) و آرام (ب) و تصویر آتشفشان واقعی (ج)

آتشفشان‌های آرام بیشتر در اقیانوس‌ها وجود دارند. گدازه‌ای روان با حرارت زیاد و گازهای محلول در مذاب، از مشخصات بارز این نوع آتشفشان‌هاست. در مقابل، آتشفشان‌های انفجاری، در خشکی‌ها، به‌خصوص حاشیه‌ی آن‌ها، وجود دارد. برخلاف نوع آرام، گدازه‌های این نوع آتشفشان از روانی کمتری برخوردارند (ویسکوزیته‌ی بالا) و با سرعت نسبتاً زیاد بر روی زمین به‌صورت جامد درمی‌آیند. علت انفجار، در این نوع آتشفشان‌ها، بسته شدن دهانه‌ی آن‌ها توسط گدازه‌های قدیمی و مسدود شدن راه خروج گازهاست. هنگامی که فشار گازهای محبوس و متراکم شده به حدی برسد که دهانه‌ی منجمد، قدرت نگهداری آن‌ها را نداشته باشد، دهانه منفجر شده و گازها به‌همراه مواد دیگر، خارج می‌شوند. این مواد ممکن است کیلومترها در هوا صعود کنند. در این نوع آتشفشان‌ها میزان گدازه کم است و مواد خارج شده از دهانه می‌توانند به‌سه حالت جامد، مایع و یا گاز باشند.

**ب – پلوتونیسیم:** از آن جایی که فعالیت‌های درونی کره‌ی زمین (پلوتونیسیم) در زیر پوسته‌ی آن انجام می‌شود، اطلاع از آن (نسبت به چگونگی فعالیت‌های بیرونی) کمتر است. لذا در این زمینه ناچاریم با توجه به شواهد و مشاهدات غیرمستقیم که همانا ماگمای سرد شده و منجمد در اعماق زمین است استناد کنیم؛ شواهدی که گاه ممکن است میلیون‌ها سال از عمر آن‌ها گذشته باشد.

**۲-۴-۱- سنگ‌های آذرین:** همان گونه که متوجه شدید، پدیده‌ی ولکانیسم و پلوتونیسیم – که هر دو منشأ ماگمایی دارند تفاوت اساسی آن‌ها در راهیابی و عدم راهیابی ماگمای آن‌ها به خارج از پوسته‌ی زمین و سرد شدن مذاب است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که میان سنگ‌های حاصل از این فعالیت‌ها که به‌طور عمومی «آذرین» نامیده می‌شوند منشأ ماگمایی (شکل ۶-۱) دارند.



شکل ۶-۱- تصویر ماگمای واقعی

سنگ‌های آذرینی که در روی زمین تشکیل شده‌اند و مواد اولیه‌ی آن‌ها، گدازه‌های آتشفشانی می‌باشند را سنگ‌های آذرین بیرونی (Volcanic) می‌گویند و آن‌هایی که حاصل فعالیت‌های درونی زمین و در درون پوسته سرد و سخت شده‌اند، سنگ‌های آذرین درونی (Plutonic) می‌نامند. به‌عنوان مثال، بازالت یکی از اصلی‌ترین و عمده‌ترین سنگ‌های آذرین بیرونی است که از سرد شدن مواد مذاب خارج شده از دهانه‌ی آتشفشان‌ها تشکیل شده است. به‌طور متوسط ۹۵٪ سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی زمین را از نظر وزنی، سنگ‌های آذرین تشکیل می‌دهد.

نحوه‌ی انجماد ماگما به‌صورت بلور (کریستال) یا بی‌شکل (آمورف) حاصله بستگی به ۱- ترکیب شیمیایی ۲- نحوه و سرعت سرد شدن مذاب دارد. در صورتی که سرعت سرد شدن ماگما کند باشد بلورهای درشت و در صورتی که سرعت سرد شدن مذاب سریع باشد بلورهای ریز تشکیل می‌شود. اگر مذاب در زیر پوسته‌ی زمین منجمد شود (سنگ‌های آذرین درونی) از آن‌جایی که انتقال حرارت به‌کندی انجام می‌شود و در نتیجه سرعت انجماد کم است، به بلورهای به‌وجودآمده از مذاب، فرصت کافی جهت رشد داده می‌شود، لذا ماده‌ای منجمد با بلورهای درشت به‌وجود خواهد آمد. گرانیت یا سنگ خارا از بلورهای درشت کوارتز، فلدسپات و میکای سیاه تشکیل شده که نمونه‌ای از این نوع سنگ‌هاست.

اگر ماگما در حین عبور از پوسته‌ی زمین منجمد شده باشد فرصت کمتری برای رشد کافی بلورها در اختیار داشته، لذا بلورهای آن نسبتاً کوچک‌تر است و در صورتی که ماگما به‌طور کامل به سطح زمین رسیده باشد و سپس شروع به انجماد کرده باشد، از آن‌جایی که ماده‌ی مذاب سریعاً خنک شده است، با بلورهای بسیار ریز که فرصت کافی برای رشد نداشته‌اند، تشکیل می‌شوند مانند بازالت (شکل ۷-۱) و چه بسا که اصلاً بلوری تشکیل نشود و ماده، کاملاً بی‌شکل و شیشه‌ای باشد.



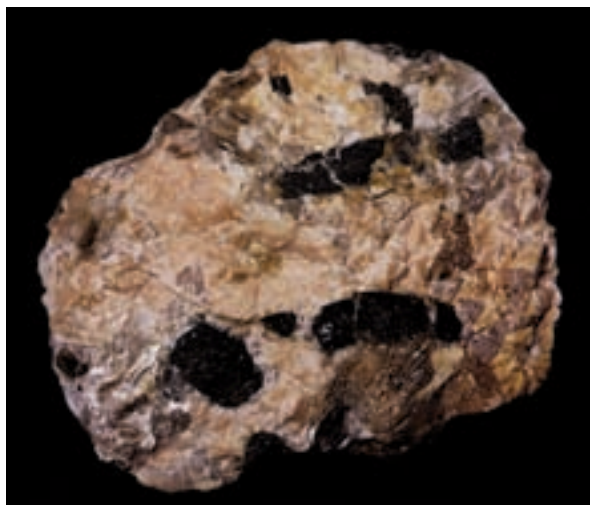
شکل ۷-۱- بازالت



ابسیدین، و سنگ پا مثال‌هایی از سنگ‌های آذرین بی‌شکل هستند (شکل ۸-۱). علاوه بر انواع حالت‌های بلوری و غیربلوری که ذکر شد، حالت و یا اصطلاحاً بافتی تحت عنوان «پورفیری» هم وجود دارد که در آن بلورهایی درشت در زمینه‌ای بی‌شکل و یا ریزبلور قرار دارند؛ وجود این بافت حاکی از آن است که سنگ در دو مرحله، سرد شده است، یعنی ماگمایی که در حال سرد شدن آهسته و تدریجی در اعماق بوده است، ناگهان به بیرون ریخته شده و منجمد گشته است (شکل ۹-۱).



شکل ۸-۱- افسیدین



شکل ۹-۱- بافت پورفیری در نوعی سنگ آذرین

به‌طور کلی مهم‌ترین مواد تشکیل‌دهنده‌ی ماگما منشأ سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی هستند، سیلیکات‌های فلزاتی چون آلومینیوم، آهن، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم همراه سیلیس آزاد می‌باشند که حدوداً ۹۹٪ حجم سنگ‌های آذرین را تشکیل می‌دهند. مواد غیرسیلیکاتی چون فسفات‌ها، سولفات‌ها، اکسیدها و سولفیدها و چند عنصر آزاد و نیز به مقدار بسیار جزئی در سنگ‌های آذرین وجود دارد که در مبحث مربوط به کانی‌ها به‌طور مفصل در مورد آن‌ها صحبت خواهیم کرد.

**الف – ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین :** موادی که سنگ‌های آذرین را پدید آورده‌اند شباهت زیادی به نوع موادی دارد که در پوسته‌ی زمین مشاهده می‌شوند. این مواد پس از آزمایش کردن سنگ‌های مختلف و تعیین میانگین آن‌ها، بدین صورت مشخص شده است (جدول ۱-۱).

همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود ۹۹٪ حجم سنگ‌های آذرین از اکسیدهای موجود در جدول می‌باشد که در این میان  $SiO_2$  فراوان‌تر است. به همین دلیل میانگین ترکیب سنگ‌های آذرین را با توجه به درصد سیلیس آن‌ها به چهارگروه طبقه‌بندی می‌کنند :

$SiO_2$  بیشتر از ۶۶٪ : اسیدی  
 $SiO_2$  بین ۵۲٪ تا ۶۶٪ : خنثی  
 $SiO_2$  بین ۴۵٪ تا ۵۲٪ : بازی  
 $SiO_2$  کمتر از ۴۵٪ : بازی شدید

جدول ۱-۱ – مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی پوسته‌ی زمین و سنگ‌های آذرین

نوع مواد	میانگین در ترکیب سنگ‌های آذرین	میانگین در ترکیب پوسته‌ی زمین
$SiO_2$	۵۹/۱۲	۵۵/۲
$Al_2O_3$	۱۵/۳	۱۵/۳
$Fe_2O_3$	۳/۰۸	۲/۸
FeO	۳/۸	۵/۸
MgO	۳/۴۹	۵/۲
CaO	۵/۰۸	۸/۸
$Na_2O$	۳/۸۴	۲/۹
$K_2O$	۳/۱۳	۱/۹
$H_2O$	۱/۱۵	-
$TiO_2$	۱/۰۵	۱/۶
$P_2O_5$	۰/۳	۰/۳
MnO	۰/۱۲	۰/۲

**ب - کانی‌های سنگ‌های آذرین :** کانی به مواد طبیعی جامد و معمولاً متبلوری گفته می‌شود که دارای ترکیب شیمیایی ثابتی است و یا در حدّ معینی تغییر می‌کند (در مورد کانی‌ها به‌طور کامل در فصل دوم شرح داده خواهد شد). یک سنگ می‌تواند از یک و یا ترکیبی از چند کانی مختلف تشکیل شده باشد. نوع کانی‌هایی که در سنگ‌های آذرین یافت می‌شود کاملاً بستگی به ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها دارد.

سیلیکات‌ها که در واقع خانواده‌ی گسترده‌ای از ترکیبات سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) اند، عمده‌ترین کانی‌های سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی می‌باشند. همان‌گونه که پیش از این ذکر شد هنگامی که میزان ( $\text{SiO}_2$ ) ماده در ترکیب سنگ، نسبتاً زیاد باشد سنگ آذرین را اسیدی می‌نامند که دارای رنگ روشنی می‌باشد. گرانیته یکی از مثال‌های بارز این نوع سنگ است. هنگامی که میزان سیلیس در سنگ، بسیار کم و رنگ آن تیره باشد، این سنگ‌ها را سنگ‌های آذرین قلیایی می‌نامند که پری‌دوتیت از این جمله می‌باشد. سینیت، گابرو و دیوریت، سنگ‌های حدّ واسط بین دو دسته‌ی تیره و روشن می‌باشند. هنگامی که در ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین میزان آهن و منیزیم فراوان باشد مانند آمفیبول و پیروکسن، رنگ‌های تیره‌ی سیاه، قهوه‌ای، سبز و یا سبز زیتونی ایجاد می‌شود و در صورتی که میزان این مواد، به‌خصوص آهن، کم باشد رنگ سنگ‌ها روشن‌تر شده و به سفید، گلی، کرم و خاکستری متمایل می‌شود. برای مثال کوارتز و سیلیکات‌های قلیایی محتوی پتاسیم، سدیم، کلسیم و یا میکای سفید را می‌توان نام برد.

درواقع سیلیس موجود در ماگما، نوع کانی‌هایی را که تشکیل می‌شوند، در کنترل دارد. مثلاً ماگمایی که  $\text{SiO}_2$  کم دارد، الیون را که در سنگ‌های بازی و بازی شدید دیده می‌شود، می‌سازد. مهم‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های آذرین عبارتند از : کوارتز، ارتوکلاز و پلاژیوکلاز، میکاها، آمفیبول‌ها، پیروکسن‌ها و الیون.

قبلاً گفته شد، ظاهر سنگ‌های آذرین، تحت تأثیر فراوانی کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن است. لذا می‌توان با توجه به رنگ و وزن سنگ تا حدّی درباره‌ی نوع کانی‌های آن قضاوت کرد. مثلاً کوارتز عموماً بی‌رنگ و شفاف است ولی فلدسپات‌ها کدر و دارای رنگ روشنی می‌باشند. سنگ‌هایی که از اجتماع این نوع کانی‌ها تشکیل شده باشند، (سنگ‌های اسیدی و خشتی) دارای رنگ روشن و نسبتاً سبک وزن می‌باشند. در عوض کانی‌های آهن و منیزیم‌دار در سنگ‌های باز و بازی شدید، تیره‌رنگ و با وزن نسبتاً زیاد مثل الیون، پیروکسن و آمفیبول، یافت می‌شوند.

## ۵-۱- هوازدگی

عوامل مهم تغییر شکل دهنده‌ی سطح کره‌ی زمین عبارتند از ۱- فرسایش ۲- هوازدگی، که عوامل فرسایش عبارتند از وزش باده‌ها و طوفان‌ها، امواج کوبنده‌ی دریاها، حرکت یخچال‌ها، جاری شدن آب‌ها و رودخانه‌ها که سبب فرسودگی و جابه‌جایی مواد سطحی زمین می‌شود. عامل دوم تغییردهنده سطح کره‌ی زمین هوازدگی که بدون آن که سبب جابجایی مواد حاصل از فرسایش شود، تأثیر به‌سزایی بر روی تغییرات سطحی کره‌ی زمین دارد، «هوازدگی» در نتیجه‌ی تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی سنگ‌ها به‌وجود می‌آید. صاف و هموار شدن خطوط و برجستگی‌ها و نقوش آثار باستانی و فرسوده شدن دیوارهای سنگی قدیمی، از نشانه‌های تأثیر همیشگی و بی‌وقفه‌ی عوامل هوازدگی است (شکل ۱-۱۰).



شکل ۱-۱۰- ساختمان آتشکده‌ای در نزدیکی تخت جمشید، نمونه‌ای از فرآیند هوازدگی است.

هوازدگی با دو روش عمده بر روی سنگ‌های سطح زمین اثر می‌گذارد:  
هوازدگی مکانیکی و شیمیایی.

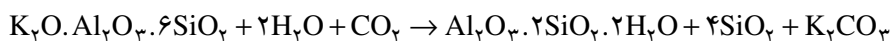
۵-۱-۱- هوازدگی مکانیکی: در طی این فرآیند، قطعات بزرگ سنگ‌ها به قطعات

کوچک تری که دارای همان ساختمان و ترکیب هستند شکسته و خرد می شوند. خرد شدن سنگ گرانیت و تبدیل آن به دانه های ریزتر، مثال بارزی از این مورد است. هواز دگی مکانیکی، در اثر تغییراتی که در اتمسفر زمین پیش می آید مانند تغییرات دما و یا رطوبت هوا، اتفاق می افتد. تأثیر تغییرات دما بر روی سنگ های بدون پوشش مناطق کوهستانی و دشت ها، به صورت خرد شدن و از هم پاشیدگی آن ها است. از آن جایی که معمولاً در این مناطق، اختلاف دمای روز و شب نسبتاً زیاد است، گرمای روز، سبب انبساط و سرمای شب، سبب انقباض سنگ ها می گردد و چون انبساط حرارتی کانی های تشکیل دهنده ی یک سنگ به دلیل تفاوت های ساختاری، یکسان نیست، از یکدیگر تبعیت نکرده در نهایت سست و متلاشی شدن سنگ را به دنبال خواهد داشت. البته این عمل به تنهایی اهمیّت زیادی ندارد و تأثیر آن در تخریب سنگ ها جزئی است. ولی رطوبت هوا از عوامل مهمّ هواز دگی مکانیکی است که در اثر انجماد آب در درون شکاف ها، درزها و تخلخل های سنگ ها سبب تخریب آن ها می شود. وقتی که آب یخ می بندد، افزایش حجمی خواهد داشت. این افزایش حجم، موجب وارد آمدن فشار بسیار زیاد به دیواره های شکاف ها و تخلخل هایی می شود که آب به داخل آن ها نفوذ کرده و در نهایت سبب خرد شدن و متلاشی شدن این سنگ ها می شود.

میزان این فشار گاه در دماهای زیر صفر به هزاران کیلوگرم بر سانتی متر مربع می رسد. در نقاط سردسیر و سنگ های پرحفره، این عامل هواز دگی، تخریب بیشتری را نسبت به عوامل دیگر در پی خواهد داشت. ریزش خرده سنگ ها از قلل کوه ها در اثر همین پدیده ی هواز دگی به وقوع می پیوندد.

۲-۵-۱- هواز دگی شیمیایی: در این فرآیند ترکیب شیمیایی سنگ تغییر پیدا کرده، و موادّ جدیدی به وجود می آید. مثلاً از هواز دگی فلدسپات ها، خاک رُس (و یا مشخصاً کانی کائولینیت) به وجود می آید که در جای خود به تفصیل در مورد آن بحث خواهد شد. تأثیر آب، اکسیژن و دی اکسید کربن از عوامل مؤثر در هواز دگی شیمیایی است.

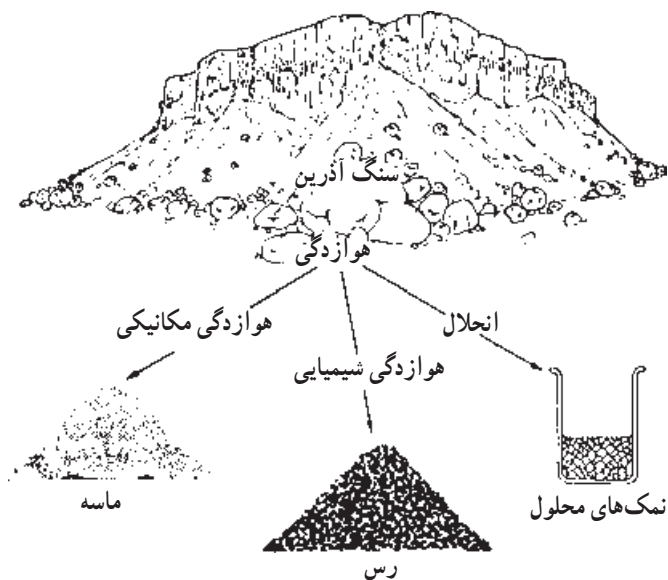
اگرچه کوارتز به تنهایی تحت تأثیر هواز دگی شیمیایی قرار نمی گیرد ولیکن کانی های سیلیکاتی کمایش تحت اثر فرایند هیدرولیز (آبگیری) تجزیه می شوند. در صورتی که کانی هایی که تحت تأثیر هیدرولیز قرار می گیرند، در ساختار خود علاوه بر سیلیس، آلومینیوم هم داشته باشند (آلومینوسیلیکات ها)، از تجزیه ی آن ها کانی های رسی حاصل می آید که مورد زیر یک مثال مشخص و با اهمیّت از این حالت است:



ارتوکلاز

کائولینیت

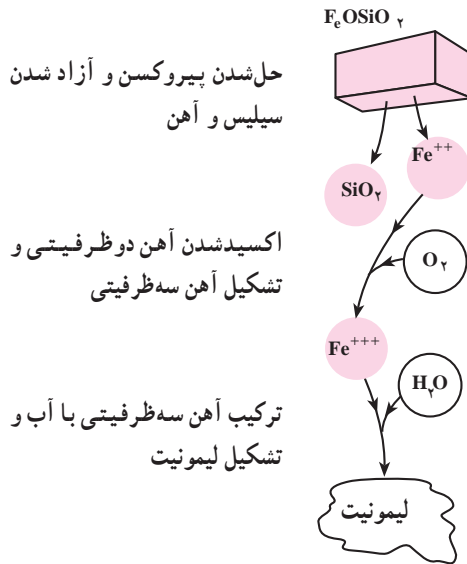
وجود  $CO_2$  و قابلیت حل آن در آب، سبب تسریع واکنش، در اثر افزایش خاصیت اسیدیته آب می‌شود. «اکسیداسیون» (که عبارت است از ترکیب اکسیژن با یک ماده‌ی دیگر) نیز از عوامل مؤثر در هوازدگی برخی سنگ‌هاست. ترکیبات آهن‌دار مانند پیریت و منیتیت بیش از سایر کانی‌ها تمایل به ترکیب با اکسیژن دارند. در صورتی که عمل ترکیب تنها بین آهن و اکسیژن باشد، رنگ ماده‌ی حاصل، قرمز رنگ است، مانند هماتیت. اما در صورتی که علاوه بر اکسیداسیون، عمل آگیری نیز انجام شود، اکسید آبدار آهن که زرد رنگ است، (لیمونیت) حاصل می‌شود. رنگ زرد و یا قرمز اغلب خاک‌ها، به علت وجود همین دو ماده است. دی‌اکسید کربن نیز از عوامل مؤثر در هوازدگی شیمیایی است که اگرچه به تنهایی تأثیری بر سنگ‌ها ندارد ولیکن در ترکیب با آب و حل شدن در آن، تولید اسید کربنیک ضعیف می‌کند که بر فلدسپات‌ها، آمفیبول، پیروکسن و میکای سیاه، اثر دارد. هم‌چنین دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) با کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم حاصل از تجزیه‌ی سنگ‌ها ترکیب می‌شود و کربنات‌های مربوط را ایجاد می‌کند. اثر اسید کربنیک بر کلسیت شدیدتر بوده آن را به طور کامل در خود حل می‌کند (شکل‌های ۱۱-۱ و ۱۱-۱۲).



شکل ۱۱-۱- تأثیر هوازدگی مکانیکی و شیمیایی بر روی گرانیت

«باران اسیدی» واژه‌ای که در چند سال اخیر متداول گشته و از مشکلات کشورهای صنعتی به شمار می‌آید، در اثر آلودگی بیش از حد هوا به گازهایی چون  $H_2S$ ،  $CO_2$ ،  $SO_2$ ،  $SO_3$ ،  $HCl$

پدید می‌آید. حل شدن این گازها در آب باران، سبب اسیدی شدن آن شده و علاوه بر لطمه‌ی فراوان به محیط زیست و درختان و موجودات زنده‌ی آبی می‌زند سبب خوردگی فلزات نیز می‌گردد. این پدیده که بشر مسبب آن است نیز خود یک هوازدگی است. گرما و رطوبت، دو عامل مهم، در تسریع هوازدگی شیمیایی هستند لذا تأثیر این دو عامل در مناطق گرم و مرطوب، بیشتر مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲-۱- مراحل تجزیه‌ی یک کانی آهن‌دار مانند پیروکسن و تبدیل آن به مینرال جدید لیمونیت

۳-۵-۱- مقاومت سنگ‌ها در برابر هوازدگی: سنگ‌ها و کانی‌های گوناگون در برابر هوازدگی شیمیایی و مکانیکی مقاومت یکسانی ندارد. به‌عنوان مثال کوارتز، هم در برابر آب و اسیدها (هوازدگی شیمیایی) و هم به‌علت سختی زیاد، در برابر هوازدگی مکانیکی مقاوم است. لذا بلورها، ذرات و یا توده‌های کوارتز در میان دانه‌های ماسه، هم‌چنان بدون تغییر باقی می‌مانند و تنها ممکن است در اثر عوامل فرسایشی به ذرات ریزتر تبدیل گردند. اما در عوض کانی‌هایی مانند ارتوکلاز، آلبیت، هورن‌بلاند، میکا، اوژیت و کلسیت، همگی تحت تأثیر عوامل هوازدگی مکانیکی و شیمیایی قرار می‌گیرند. هوازدگی مکانیکی سبب ریزش آن‌ها و تبدیل شدن به سنگ‌ریزه و ماسه می‌شود و هوازدگی شیمیایی آن‌ها را به دانه‌های ریزتری در حد رُس تبدیل می‌کند. کلسیت تقریباً در آب حل می‌شود و توسط آب‌های سطحی و زیرزمینی به دریاچه‌ها و دریاها برده می‌شود.

هوازدگی شیمیایی و مکانیکی بخصوص در حضور اکسیژن و دی اکسید کربن و در هوای گرم و مرطوب (وجود آب) سبب تبدیل سنگ‌ها به قلوه‌سنگ‌های کوچک‌تر، شن، ماسه و رُس می‌شود. با گذشت زمان قلوه‌سنگ‌ها و قطعات درشت‌تر هم بالاخره تبدیل به ذرات ریزتر می‌شوند. شن و ماسه تنها در صورتی باقی می‌مانند که در آن‌ها کوارتز یا کانی‌های مقاوم در برابر هوازدگی شیمیایی، موجود باشد. سنگ‌هایی که در آن‌ها ذرات و قطعات، در میان نوعی ماده‌ی زمینه‌ای قرار داشته باشند، تنها تا زمانی پایدار می‌مانند که سیمان (ماده‌ی پیونددهنده) لابلای ذرات و قطعات باقی باشد (شکل ۱۳-۱)؛ هنگامی که این سیمان از جنس سیلیس باشد مسلماً مقدار مقاومت سنگ نیز زیاد خواهد بود. می‌دانیم که سنگ‌های رُسی از جمله سنگ‌های رسوبی است که مقاومتش بسیار کم است لذا به آسانی ورقه‌ورقه می‌شود و از آن مواد آوایی سازنده‌اش حاصل می‌آید. سنگ مرمر و سنگ آهک، تا حدودی در برابر هوازدگی مکانیکی مقاومند اما کلسیت موجود در آن‌ها به تدریج در آب حل می‌شود لذا این سنگ‌ها هم، در آب و هوای مرطوب، از جمله سنگ‌های کم مقاومت به حساب می‌آیند.

خرد شدن سنگ‌ها، در اثر عوامل هوازدگی، به یک صورت نیست و شدیداً تحت تأثیر ساختار، بافت و اجزای تشکیل دهنده‌ی سنگ می‌باشد. سنگ‌هایی که از بلورهای مختلف تشکیل شده باشند مانند سنگ‌های آذرین درشت بلور، سنگ‌های دگرگون شده و ماسه‌سنگ‌های دانه درشت، به هنگام خرد شدن، به صورت «دانه‌دانه» خرد می‌شود اما هم چنان هریک از ذرات جدانشده از سنگ، شکل اولیه خود را محفوظ نگه می‌دارد. برخی از سنگ‌ها با توجه به ساختار بلوری کانی‌های تشکیل دهنده‌شان، به صورت «ورقه‌ورقه» از آن جدا می‌شوند که این ورقه‌ها می‌تواند اندازه‌های مختلفی، از پولک‌های کوچک گرفته تا لایه‌های وسیع را، شامل شود.

پاره‌ای از سنگ‌های رسوبی دارای درزها و ترک‌های موازی‌اند لذا به صورت «قطعه قطعه» (دارای اشکال منظم) خرد می‌شوند که در کنار آن‌ها ممکن است حالت دانه‌دانه شدن و یا ورقه شدن هم، مشاهده شود (شکل ۱۳-۱).

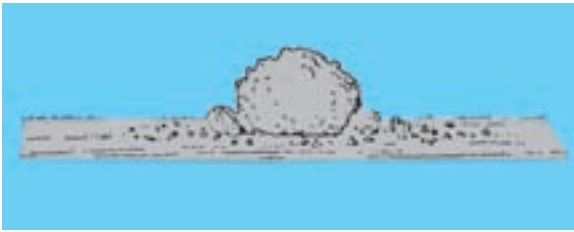


شکل ۱۳-۱- مراحل خرد شدن سنگ گرانیت



و بالاخره سنگ‌هایی مانند گرانیت که بسیار سخت هستند اگر تحت فشارهای زیاد حاصل از انجماد آب قرار گیرند، به صورت کاملاً «نامنظم» و به شکل قطعات کوچک و بزرگ بازوای نامساوی خرد می‌شوند.

۴-۵-۱- تدریجی بودن هوازدگی: هوازدگی در شرایط طبیعی یک پدیده‌ی کند است و حتی برای تخریب سنگ‌هایی مانند سنگ آهک که از کم‌مقاومت‌ترین سنگ‌ها در برابر هوازدگی می‌باشد، به سال‌ها زمان نیاز است. میزان انحلال این ماده، حتی در هوای مرطوب از نیم سانتی‌متر در صد سال تجاوز نمی‌کند و چندین هزار سال وقت لازم است تا خطوط و نقوش برجسته‌ی آثار باستانی حالت اولیه و تیز خود را از دست بدهند (شکل ۱۴-۱).



دانه‌دانه شدن



ورقه‌ورقه شدن



قطعه قطعه شدن



شکستن نامنظم

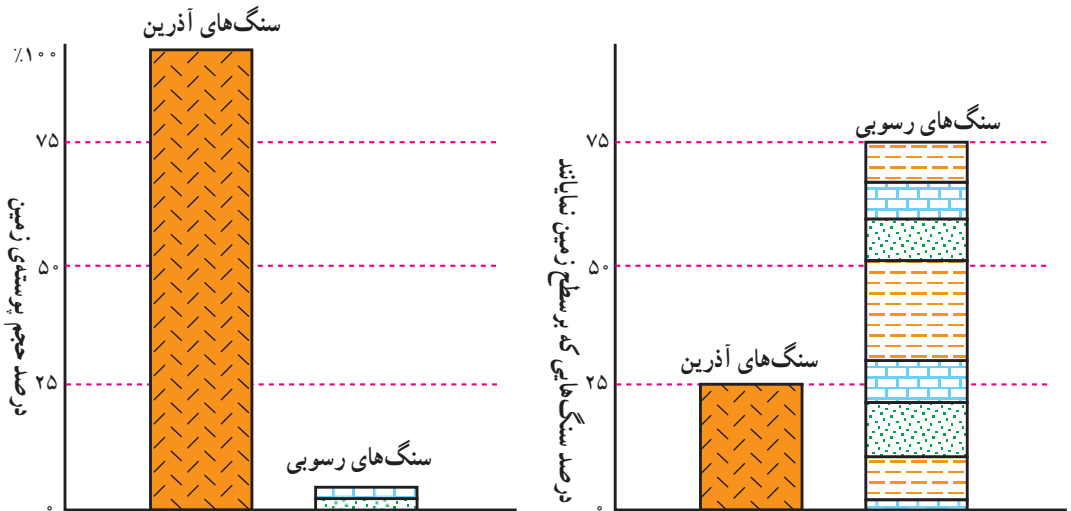
شکل ۱۴-۱- انواع خرد شدن سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی

## ۱-۶- سنگ‌های رسوبی

همان‌گونه که در بحث پیشین دیده شد، هوازدگی یکی از اصلی‌ترین عوامل تخریب و از هم‌پاشیدگی سنگ‌هاست. مواد حاصل از هوازدگی عموماً کمتر در محلّ اولیه خود باقی می‌مانند و اکثراً توسط عواملی چون آب، باد، یخچال‌ها و غیره که خود از عوامل فرسایشی به‌شمار می‌روند، حمل‌شده به درون دریاها و دریاچه‌ها و سواحل رودها برده می‌شوند.

پرسش: چرا در طیّ میلیون‌ها سال فرسایش و هوازدگی، دریاها و اقیانوس‌ها از موادّ تخریبی پُر نشده‌اند؟

پاسخ این پرسش در ایجاد سنگ‌هایی جدید از این موادّ است که به آن‌ها سنگ‌های رسوبی می‌گویند. به عبارت دیگر سنگ‌های رسوبی از موادّی حاصل می‌آیند که پیش از آن در سنگ‌های دیگر وجود داشته‌اند. همین نکته می‌تواند توجیهی برای این مسأله باشد که چرا با وجود آن‌که حدود ۹۹٪ سنگ‌های پوسته‌ی زمین را، سنگ‌های آذرین تشکیل می‌دهند، حدود ۷۵٪ سنگ‌هایی که بر روی سطح زمین نمایان است از نوع سنگ‌های رسوبی می‌باشند (شکل ۱۵-۱).



شکل ۱۵-۱- مقایسه‌ی نوع سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی زمین و سطح نمایان زمین

## ۱-۶-۱- رسوب‌گذاری:

رسوب چیست؟ به موادی که توسط عوامل فرسایشی حمل می‌شود و در محیط‌های رسوبی ته‌نشین گردند، رسوب می‌گویند. در واقع رسوب‌گذاری وقتی آغاز می‌گردد که عامل حرکت و حمل

مواد، از حرکت باز ایستد و مواد همراه با خود را برجای گذارد. هنگامی که باد از جریان می‌افتد و یا آب از حرکت باز می‌ایستد و یا با سرعت کمتری به حرکت خود ادامه می‌دهد، مواد همراه آن ته‌نشین می‌شوند. از آنجایی که عمل حمل مواد، توسط آب تحت تأثیر نیروی گرانشی زمین است، همیشه از سمت بلندی‌ها به سوی فرورفتگی‌ها صورت می‌گیرد. لذا معمولاً مواد رسوبی درشت و سنگین‌وزن، در نیمه‌های راه باقی می‌مانند و هرچه از مبدأ دور گشته به مقصد رسوب‌گذاری نزدیک‌تر شویم، از اندازه و وزن قطعات و ذرات رسوبی کاسته می‌شود.

مواد دانه‌درشت و سنگین که ممکن است هرگز به دریاها نرسند، آبرفت‌های رودخانه‌ای را پدید می‌آورند. اما مواد سبک‌وزن، هم‌چنان به همراه آب پیش می‌روند تا به محیط‌های آرامی مانند دریاها برسند و در آنجا ته‌نشین شوند. البته ممکن است در مواردی جدایی رسوبات، برحسب درشتی و ریزی آن‌ها، مطابق با آنچه که ذکر شد، نباشد. چون گاهی به همراه قله سنگ‌ها، ماسه و به همراه ماسه‌ها، مقداری گل ولای (دانه‌ریزتر) نیز دیده می‌شود.

اصلی‌ترین منشأ رسوبات، همان گونه که گفته شد، مواد حاصل از عوامل تخریبی مانند هوازدگی و فرسایش است که به صورت مقادیر زیادی شن و ماسه و رس از خشکی‌ها به درون دریاها برده می‌شوند. علاوه بر این‌ها، مواد معینی وجود دارند که در روی خشکی‌ها به صورت محلول در آب درآمده سپس طی فعل و انفعال شیمیایی در زمان خیلی طولانی رسوب می‌کنند و نمک طعام، کربنات‌های کلسیم و منیزیم، برخی سولفات‌ها و ترکیبات آهن از آن جمله‌اند.

بقایای بدن جاندارانی که برای تشکیل پوشش محافظ بدن (پوسته و صدف) و اسکلت خود، به مواد معدنی از قبیل کربنات‌های کلسیم، منیزیم، سیلیس و گاهی فسفات‌ها، سولفیدها و اکسید آهن محتاجند، منشأ دیگری برای تشکیل سنگ‌های رسوبی است.

رسوبات حاصل از آتشفشان‌های درون دریاها و هم‌چنین بقایای غبار مانند حاصل از سوختن و اکسیدشدن شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جو زمین شده‌اند از عوامل دیگر تشکیل رسوبات بر روی سطح زمین هستند.

۲-۶-۱- کانی‌های موجود در سنگ‌های رسوبی: سنگ‌های رسوبی از کانی‌هایی مانند کوارتز، کلسیت و کانی‌های خانواده‌ی رس‌ها، تشکیل شده‌اند (شکل ۱۶-۱) که به ندرت ممکن است در یک سنگ رسوبی، تنها یک نوع کانی یافت شود. به‌عنوان مثال، سنگ آهک، سنگی است که کانی کلسیت در آن به وفور یافت می‌شود اما حتی در خالص‌ترین سنگ‌های آهک نیز درصدهایی از کانی‌های دیگر مانند رس‌ها و یا کوارتز دیده می‌شود. هم‌چنین اگرچه ماده‌ی اصلی تشکیل دهنده‌ی



شکل ۱۶-۱- توده‌ای از سنگ کالسدون<sup>۱</sup>

بسیاری از ماسه‌سنگ‌ها از جنس دانه‌های کوارتز است اما خمیره و یا اصطلاحاً سیمانی که این دانه‌ها را بهم می‌چسباند می‌تواند متفاوت بوده و از جنس سیلیس، کلسیت، دولومیت و یا اکسید آهن باشد.

همان‌گونه که در مبحث هوازدگی عنوان کردیم کانی‌های رُسی (یکی از اصلی‌ترین مواد اولیه در ساخت محصولات سرامیکی) از تجزیه و تخریب سیلیکات‌ها به ویژه فلدسپات‌ها حاصل می‌شوند. در صورتی که این کانی‌های رُسی به وجود آمده در اثر عمل هوازدگی در جای خود باقی بمانند به آن‌ها «رُس‌های اولیه» و یا «برجای مانده» می‌گویند؛ اما در صورتی که این رُس‌های اولیه در اثر عوامل فرسایشی از محل تشکیل خود جدا شده به صورت رسوب درآیند، «سنگ‌های رُسی» و یا «شیل‌ها» را به وجود می‌آورند. در مورد تفاوت‌های اساسی این دو رُس، چگونگی ساختار و کاربرد اصلی هریک از این دو نوع رُس، در فصل سوم کتاب به تفصیل صحبت خواهیم کرد.

کوارتز نیز از تجزیه‌ی سنگ‌های آذرین به وجود می‌آید. زیرا هنگامی که سنگ‌های گرانیتی در اثر هوازدگی مکانیکی و شیمیایی تجزیه می‌شوند، دانه‌های کوارتز موجود در آن‌ها آزاد می‌گردد. بیشتر حجم ماسه‌سنگ‌ها را کوارتز تشکیل می‌دهد.

هم چنین ممکن است مقادیر سیلیس که اندازه‌ی دانه‌های آن بسیار کوچک (در حد کلئیدی) کلئیدها از ذراتی به اندازه‌ی  $10^{-1}$  تا  $10^{-7}$  انگستر<sup>۲</sup> تشکیل شده‌اند به صورت محلول درآید

۱- Mineralogy By: Milovsky and Kononov

۲- Shale

۳- انگستر واحد طول، برابر با  $10^{-8}$  سانتی‌متر ( $10^{-10}$  متر) است.

دراثر هوازدگی گرانیت) و بعداً با ایجاد پیوندی سیمان مانند، سنگ‌های رسوبی دانه‌درشت را بوجود آورد یا آن‌که به شکل کانی جدیدی به نام اوپال<sup>۱</sup> با فرمول  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  درآید. این ماده متبلور نیست و کمی از کوارتز نرم‌تر است.

از سنگ‌های رسوبی دیگری که منشأ آن‌ها، بلورهای دانه‌ریز سیلیس است می‌توان از فلینت<sup>۲</sup> (سنگ آتش‌زنه) و کالسدون<sup>۳</sup> نام برد (شکل ۱۷-۱).



شکل ۱۷-۱-ب - فلینت



شکل ۱۷-۱-الف - اوپال

اگرچه اشکال مختلف کوارتز یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی بدنه‌های سرامیکی هستند (چه سنتی و چه نوین) ولیکن به‌طور خاص می‌توان به کاربرد سنگ آتش‌زنه به‌عنوان گلوله‌های بال‌میل در صنایع سرامیک اشاره کرد که این به‌لحاظ سختی بسیار بالای آن است. درعین حال از آن جایی که این سنگ‌ها عمدتاً در رودخانه‌ها یافت می‌شوند، به‌دلیل غلطیدن‌های متمادی و عوامل فرسایشی، همواره به‌شکل کره و یا چیزی نزدیک به آن، بدون وجود لبه‌های تیز هستند. احتمالاً نام بال‌میل<sup>۴</sup> نیز از همین جا مشتق شده است.

سنگ‌های آهک از دیگر سنگ‌های رسوبی هستند که کلسیت، کانی اصلی تشکیل‌دهنده‌ی آن است. کربنات کلسیم که ماده‌ی شیمیایی به‌وجودآورنده‌ی کانی کلسیت است، ازجمله موادی است که می‌تواند در بین ذرات و قطعات سنگ‌ها نفوذ کند و آن‌ها را به‌هم بچسباند.

منشأ تشکیل کلسیت، پلاژیوکلاز کلسیم‌دار و برخی کانی‌های آهن و منیزیم‌دار است. کلسیم، ابتدا به‌صورت محلول بی‌کربنات کلسیم  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ، از فرآیندهای هوازدگی حاصل می‌شود سپس تحت اثر عوامل بیولوژیکی و واکنش‌های شیمیایی، تبدیل به  $\text{CaCO}_3$  نامحلول می‌شود.

۱- Opal

۲- Flint

۳- Calcedony

۴- Ballmill

سیمان یکی از عمده‌ترین محصولات سرامیکی است که در ساخت آن از سنگ آهک استفاده می‌شود. به‌طور کلی، سیمان معمولی (سیمان پرتلند) ترکیبی است که آهک و سیلیس، ۸۵٪ حجم آن را تشکیل می‌دهد.

علاوه بر کانی‌های رُسی، کوارتز و کلسیت، سنگ‌های مهم رسوبی دیگری که برخی از آن‌ها از مواد اولیه ضروری برای صنایع سرامیک هستند عبارتند از:

۱- دولومیت  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  که همان کربنات دوگانه (مضاعف) کلسیم و منیزیم است و در صنایع شیشه‌سازی و لعاب‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (شکل ۱۸-۱).



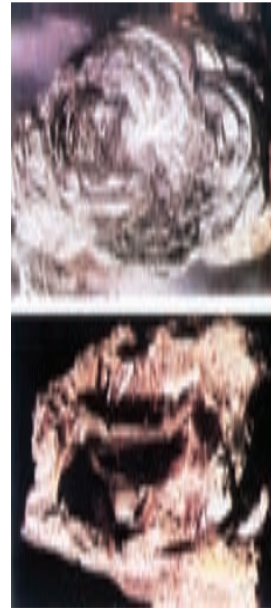
شکل ۱۸-۱- دولومیت

۲- فلدسپات‌های مختلف که از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی مواد اولیه صنایع سرامیک هستند و بسته به نوع کاتیون موجود ( $\text{Ca}^{++}$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$  و ...)، درصد خلوص و یا مرگب بودنشان، می‌توانند کاربردهای گسترده‌ای داشته باشند.

۳- آهن که طبعاً منشأ آن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار بوده است که به‌صورت هماتیت و لیمونیت درآمده‌اند (شکل ۱۹-۱).



شکل ۱۹-۱-ب - لیمونیت



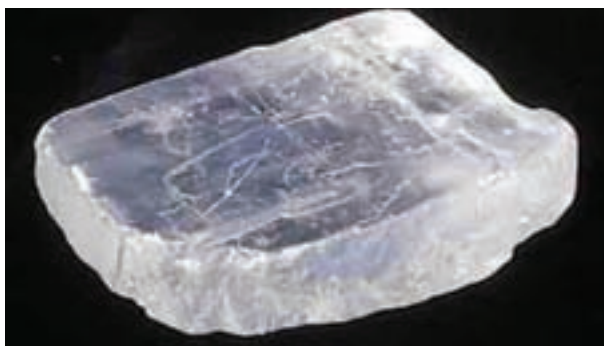
شکل ۱۹-۱-الف - هماتیت

۴- هالیت (NaCl) که از تبخیر آب‌های محتوی نمک به صورت سنگ‌های نمک برجای می‌ماند (شکل ۲۰-۱).



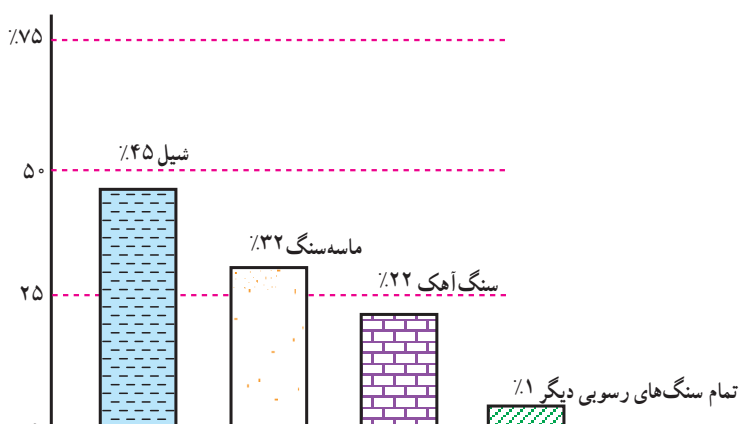
شکل ۲۰-۱- هالیت

۵- ژپس - سولفات کلسیم آبدار با فرمول  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  که همان سنگ گچ است و در اثر تبخیر آب‌های حاوی سولفات کلسیم به وجود می‌آید. این ماده با فرآیندهایی که در فصل‌های بعدی توضیح داده خواهد شد به صورت یکی از مواد اولیه ضروری صنایع سرامیک درمی‌آید. هنگامی که میزان شوری آبی که منشأ این کانی هاست از ۳ برابر حد طبیعی بیشتر شود کانی ژپس رسوب می‌کند و اگر این شوری به  $1^\circ$  برابر حد طبیعی برسد، ته‌نشین شدن حالت آغاز می‌گردد (شکل ۱-۲۱).



شکل ۱-۲۱- ژپس

۶- قطعات ریز و درشت مواد آتشفشانی و همچنین مواد آلی ممکن است در میان سنگ‌های رسوبی یافت شوند (شکل ۱-۲۲).

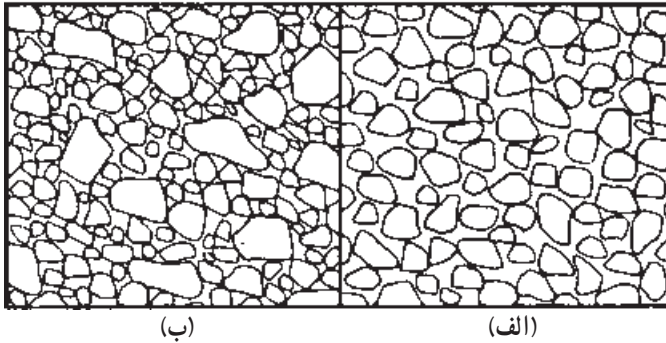


شکل ۱-۲۲- نسبت فراوانی سنگ‌های رسوبی در روی زمین



سنگ‌های رسوبی نیز مانند سنگ‌های آذرین می‌توانند دارای بافت‌های گوناگون باشند که در ارتباط با ظاهر سنگ، اندازه و شکل بلورها و آرایش آن‌ها می‌باشد. دو بافت اصلی سنگ‌های رسوبی، تخریبی (آواری) و غیرتخریبی (غیرآواری) نامیده می‌شوند.

بافت تخریبی را در سنگ‌هایی می‌یابیم که از اجتماع ذرات و قطعات سنگ‌های دیگر پدید آمده باشند. اندازه و شکل این دانه‌ها، هم‌چنین نوع دانه‌بندی، طبعاً بر نوع بافت سنگ اثر مستقیم دارد. مثلاً سنگی که از رسوبات یخچالی حاصل می‌آید، دارای دانه‌های مخلوط ریز و درشت است. درحالی‌که وقتی سنگی از مواد حمل‌شده توسط باد تشکیل شود، دانه‌های آن کم‌و بیش یک اندازه ریز هستند (شکل ۲۳-۱).



شکل ۲۳-۱- بافت تخریبی در سنگ‌های رسوبی با دانه‌بندی یکنواخت (الف) و غیریکنواخت (ب)

یکی از راه‌های تقسیم‌بندی سنگ‌های رسوبی اندازه‌ی آن‌ها و یا درواقع اندازه‌ی تقریبی قطر آن‌هاست که براساس جدول ۲-۱ می‌باشد:

جدول ۲-۱

قطعه‌سنگ	۲۰۰ میلی‌متر
قلوه‌سنگ	
ریگ درشت	۶۰ میلی‌متر
ریگ ریز	۲ میلی‌متر
شن	
ماسه	۰/۰۶ میلی‌متر
سیلت	
غبار رس	۰/۰۰۲ میلی‌متر

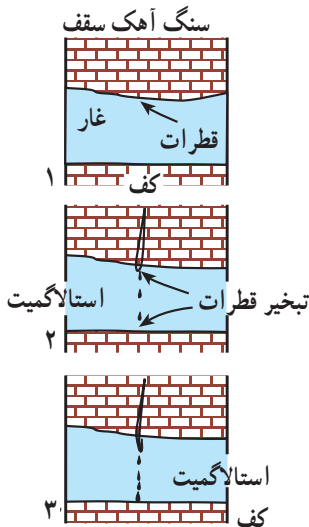
بافت غیر تخریبی در سنگ‌هایی دیده می‌شود که تحت اثر فرایندهای شیمیایی پدید آمده باشند. در این سنگ‌ها همانند سنگ‌های آذرین، بلورها به یکدیگر پیوسته‌اند.

۳-۶-۱- سنگ‌شدن (دیازنز): اصطلاح دیازنز به مراحل گفته می‌شود که طی آن از رسوبات نرم و منفصل، سنگ‌های سخت و متصل پدید می‌آید. این پدیده شامل صورت‌های زیر است:

**الف - سیمان‌شدن:** عبارت است از پرشدن فواصل موجود در بین قطعات و ذرات سنگ، توسط مواد شیمیایی و چسبیدن آن‌ها به هم. این مواد شیمیایی که توسط آب در بین ذرات، نفوذ می‌کند عمدتاً کلسیت، دولومیت و کوارتز هستند.

**ب - متراکم‌شدن و خشک‌شدن:** در رسوبات ریزی که جنس آن‌ها سیلت (دانه‌های کمی درشت‌تر از رُس) یا رُس باشند، فضای میان ذرات چنان کوچک است که آب نمی‌تواند به آزادی از میان آن‌ها بگذرد. لذا ماده‌ی سیمانی هم نمی‌تواند خود را به آن فضاها برساند و چسبیدن ذرات به یکدیگر تحت فرآیند متراکم‌شدن که در اثر فشار لایه‌های فوقانی است و خشک‌شدن تدریجی صورت می‌گیرد. هردوی این فرایندها باعث کم‌شدن فضای مابین ذرات و در نتیجه فشردگی آن‌ها می‌شود.

**ج - تبلور مجدد:** متبلورشدن بعضی از مواد رسوبی، خود یک نوع تشکیل سنگ به حساب می‌آید. در طی این فرآیند که اکثراً در اثر از دست دادن آب محلول‌های نمک‌ها، سولفات‌ها و... رخ می‌دهد، کانی‌های تازه‌ای متبلور می‌شوند و یا آن‌که بلورهای موجود، رشد پیدا کرده بزرگ‌تر می‌گردند. بسیاری از سنگ‌های آهکی و دولومیتی از این گونه سنگ‌ها هستند (شکل ۲۴-۱).



شکل ۲۴-۱- تشکیل ستون‌های آهکی در درون پاره‌ای از غارها، نمونه‌ای از رسوبگذاری آب‌های زیرزمینی و عمل تبلور مجدد است.



شکل ۲۵-۱- کنگلومرا

همان گونه که مشاهده کردید، سنگ‌های رسوبی یا در اثر تخریب سنگ‌های دیگر یا براساس واکنش‌های شیمیایی به وجود می‌آیند. لذا می‌توان سنگ‌های رسوبی را به دو دسته‌ی تخریبی و شیمیایی تقسیم‌بندی کرد.

— سنگ‌های رسوبی تخریبی را معمولاً براساس قطر قطعات و ذرات تشکیل دهنده‌شان تقسیم‌بندی می‌کنند.

درشت‌دانه‌ترین این سنگ‌ها که از قطعات گردشده با قطر بیش از ۲ میلی‌متر می‌باشد کنگلومرا<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (شکل ۲۶-۱- الف). به گونه‌ای از این سنگ که قطعات آن زاویه دارد (دارای لبه‌های تیز باشد) پرش<sup>۲</sup> می‌گویند (شکل ۲۶-۱- ب).



ب



الف

شکل ۲۶-۱- الف و ب — نمونه‌هایی از سنگ‌های رسوبی

ماسه‌سنگ‌ها که ابعاد سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی آن‌ها کوچک‌تر از حالت قبل می‌باشد از دانه‌های ماسه تشکیل شده‌اند که به وسیله‌ی سیمانی به همدیگر متصل شده‌اند. معمولاً جنس دانه‌ها کوارتز است اما فلدسپات، میکا و کانی‌های دیگر هم ممکن است میان آن‌ها موجود باشد. سختی ماسه‌سنگ‌ها و درجه‌ی مقاومت آن‌ها در برابر اثر عوامل فرسایشی و هوازدگی به نوع سیمان آن‌ها بستگی دارد. در صورتی که این سیمان از جنس مواد آهکی باشد مسلم است که میزان تخریب آن از ماسه‌سنگی که سیمان آن نیز از جنس سیلیس باشد بسیار بیشتر است (چرا؟).

۱- Conglomerate

۲- Breccia

باید دانست که سیمان ذکر شده، هرگز نمی‌تواند تمامی فضای موجود بین ذرات و دانه‌های کوارتز (ماسه) را پُر کند، لذا همواره با جسمی متخلخل سر و کار داریم که گاه تا ۳۰٪ حجم سنگ را این تخلخل‌ها دربر می‌گیرد. موارد استفاده‌ی ماسه‌سنگ‌ها اغلب در ساختمان‌سازی است و از انواع مرغوب و خالص آن (از نظر سیلیس) در صنایع شیشه‌سازی استفاده می‌شود. سنگ‌های رسی دانه‌ریزترین سنگ‌های رسوبی تخریبی هستند. معروف‌ترین این سنگ‌ها شیل<sup>۱</sup> نام دارد که به صورت لایه‌لایه است و قسمت اعظم آن مواد رُسی است. رنگ شیل بستگی به نوع مواد همراه آن دارد. به‌عنوان مثال کلسیت یا سیلیس رنگ آن را روشن می‌کند و ترکیبات آهن سبب قرمز شدن آن می‌شود. در صورتی که همراه شیل، مواد آلی پوسیده وجود داشته باشد، رنگ سنگ متمایل به خاکستری و سیاه خواهد بود.

عمده‌ترین سنگ‌های رسوبی شیمیایی عبارتند از:

**الف – سنگ‌های آهکی:** این سنگ‌ها می‌توانند محصول فرایندهای شیمیایی باشند. مانند تراورتن، دولومیت و مارن<sup>۲</sup> که علاوه بر کربنات کلسیم مقدار زیادی مواد رسی به‌همراه دارد و در تهیه‌ی سیمان کاربرد فراوان دارد. این سنگ‌ها می‌توانند در اثر فرایندهای آلی نیز به‌وجود آمده باشند. در این صورت، سنگ از به هم پیوستن قطعات صدف و پوسته‌ی نرم‌تنان و نوعی خمیر، حاصل شده است (شکل ۱-۲۷).



شکل ۱-۲۷- ب – مارن



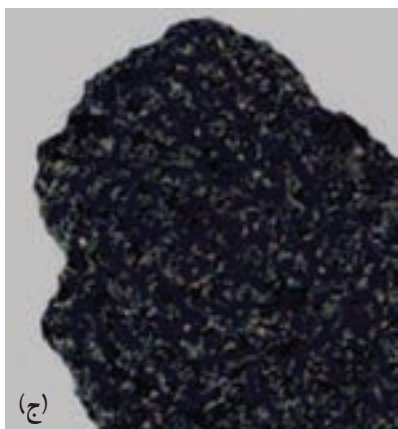
شکل ۱-۲۷- الف – تراورتن

۱- Shale

۲- Marn

ب — سنگ‌های تبخیری: تبخیر آب دریاها و دریاچه‌ها و تالاب‌های قدیمی و برجای ماندن نمک‌های مختلف آن‌ها از قبیل کلریدها و سولفات‌ها سنگ‌های تبخیری را تشکیل می‌دهد. سنگ گچ و سنگ نمک از مثال‌های بارز این نوع سنگ‌ها هستند.

ج — سنگ‌های سوختی (سوخت‌های فسیلی): این سنگ‌ها از بقایای برخی جانوران و گیاهان ادوار گذشته به وجود آمده‌اند و امروزه به‌عنوان اصلی‌ترین منبع سوخت و انرژی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. مثال‌هایی از این نوع سنگ‌ها زغال‌سنگ، شیل نفتی و قیر طبیعی می‌باشد (شکل ۱-۲۸).



شکل ۱-۲۸ — (الف) زغال سنگ (ب) شیل نفتی (ج) قیر طبیعی

در انتهای مبحث سنگ‌های رسوبی باید متذکر شد که اصلی‌ترین مشخصه و حالت اختصاصی سنگ‌های رسوبی، لایه‌لایه بودن آن‌ها در اثر تغییر جنس رسوبات و امکان وجود فسیل در بین این لایه‌هاست (شکل ۱-۲۹).



شکل ۱-۲۹ — لایه‌لایه بودن سنگ‌های رسوبی از مشخصه‌های بارز این سنگ‌هاست.

جدول ۳-۱- طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی براساس ترکیب و بافت  
الف: سنگ‌های تخریبی

نام سنگ	ترکیب	بافت
کنگلو مریا برش	قطعات گرد شده‌ی سنگ‌های دیگر قطعات تیزولبه‌دار سنگ‌های دیگر	دانه‌ها بزرگتر از ۲ میلی‌متر
ماسه‌سنگ کوارتزی	کوارتز همراه کانی‌های دیگر	دانه‌ها بین ۰/۰۶ تا ۲ میلی‌متر
سنگ شیلی	کوارتز و کانی‌های رسی	دانه ریز ۰/۰۶ تا ۰/۰۰۲ میلی‌متر
شیل	کوارتز و کانی‌های رسی	بسیار دانه ریز

ب: سنگ‌های شیمیایی

نام سنگ	ترکیب	بافت
سنگ آهک متبلور	کلسیت	دانه‌ها متوسط تا درشت‌اند
کوکینا		قطعات فسیل توسط سیمانی به هم چسبیده‌اند
سنگ آهک فسیل‌دار		فسیل‌های فراوان در زمین‌های آهکی
گل سفید		پوسته‌های آهکی جانداران ذره‌بینی
تراورتن		کلسیت نواردار
دولومیت	دولومیت	بافت‌ها مشابه موارد بالا
چرت	کلسدون	متراکم، با بلورهای مخفی
ژیپس	ژیپس	متبلور دانه ریز تا دانه‌درشت
نمک طعام	هالیت	متبلور دانه ریز تا دانه‌درشت

۷-۱- متامورفیزم- سنگ‌های دگرگون‌شده

در گفتارهای پیش، طرز تشکیل سنگ‌های آذرین و رسوبی بررسی گردید. مشاهده شد که دمای زیاد اعماق زمین، انرژی لازم برای ذوب سنگ‌ها را فراهم می‌کند، لذا در اثر کاهش فشار طبقات فوقانی و آزادی حرکت، این سنگ‌ها به مذابی تبدیل خواهند شد که در اثر سنگ‌شدن، سنگ‌های آذرین را به وجود می‌آورند. همچنین مشاهده شد که سنگ‌های موجود بر روی سطح زمین چگونه دستخوش فرسایش و تغییرات در اثر پدیده‌ی هوازدگی می‌شوند و در نهایت سنگ‌های رسوبی را پدید می‌آورند. متأسفانه بررسی دسته‌ی سوم سنگ‌ها که به سنگ‌های دگرگون‌شده موسومند،

بدین سادگی نیست.

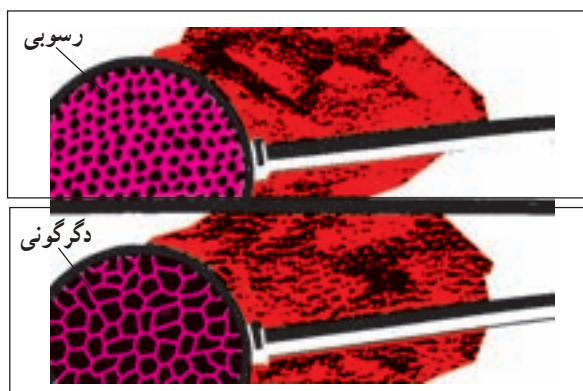
عمده‌ترین مشکل در این راه آن است که تا به امروز کسی مستقیماً طرز تشکیل این سنگ‌ها را ندیده است زیرا در اعماق زمین و دور از چشم انجام می‌شود. محدوده‌ی تشکیل سنگ‌های دگرگون‌شده را می‌توان در حد فاصل منشأ تشکیل سنگ‌های آذرین و سطح هوازده‌ی زمین دانست. در فاصله‌ی این دو حد دامنه‌ی تغییرات شیمیایی فشار و دما زیاد است لذا برخی از سنگ‌ها در اثر بروز پدیده‌هایی مانند رسوب‌گذاری، جنبش‌های کوه‌زایی و غیره دچار دگرگونی‌های اساسی می‌گردند. به عبارتی همان سنگ‌هایی که در محیط‌های خاص خود از لحاظ ترکیب کانی‌ها و میزان آن‌ها ثابت بوده‌اند حال در محیطی جدید قرار می‌گیرند که تحت تأثیر شرایط تازه حالتی نائبات و ناپایدار پیدا کرده‌اند لذا تغییر یافته و دگرگون می‌شوند. به چنین سنگ‌هایی «دگرگون‌شده» و به چنین پدیده‌ای «دگرگونی (متامورفیزم)» می‌گویند.

ممکن است تصور شود که پدیده‌هایی مانند هوازدگی و یا سیمانی‌شدن سنگ‌ها و فشرده‌شدن گل‌های نرم به یکدیگر و تشکیل سنگ‌های سخت که همگی سبب تغییر حالت سنگ می‌شوند خود نیز نوعی متامورفیزم هستند. اگرچه این تصور درستی است اما برطبق تعاریفی که دانشمندان در این زمینه ارائه می‌کنند هنگامی که دماها و فشارهای بالاتر از سطح زمین وجود دارد فرایند دگرگونی رخ می‌دهد. ولی درعین حال سنگ، حالت جامد خود را حفظ کرده، به صورت مذاب درنیامده باشد. ذوب‌شدن سنگ و دگرگونی آن با وجود حفظ حالت جامد از مشخصه‌های اساسی این سنگ‌ها می‌باشد. با توجه به آن که در دما و فشارهای بالا امکان آمیخته‌شدن فرایند دگرگونی با فرایندهای ماگماتیسم وجود دارد مشاهده می‌شود که تعیین حدفاصل دقیقی میان فرایندهای یادشده کار آسانی نیست.

۱-۷-۱ عوامل دگرگون‌ساز: دما، فشار و محلول‌هایی که از لحاظ شیمیایی فعالند (مانند آب) مهمترین عوامل ایجاد دگرگونی در سنگ‌ها می‌باشند. هم دما و هم فشار با افزایش عمق و پیشروی به طرف مرکز زمین، زیاد می‌شوند. البته این روند، ثابت نیست و تا مرکز زمین نیز ادامه نمی‌یابد بلکه در محدوده‌هایی تقریباً به صورت ثابت باقی می‌ماند.

همین عوامل دگرگونی یعنی فشار، دما و آب‌های محلول که حاوی یون‌های خاصی هستند سبب کاهش یافتن حجم سنگ و تغییرات ساختاری آن می‌شوند. بدقت به دو نمونه‌ی سنگ ارائه‌شده در شکل ۱-۳۰ نگاه کنید هر دو این سنگ‌ها از کوارتز ساخته شده است ولی یکی از آن‌ها ماسه‌سنگ یعنی یک سنگ رسوبی و دیگری کوارتزیت که از انواع مشخص سنگ‌های دگرگونی

است می‌باشد. تعیین آن که کدام یک از این دو سنگ رسوبی و کدام یک دگرگونی است با توجه به بافت آن‌ها کار آسانی است. به فواصل میان دانه‌های تشکیل دهنده‌ی این دو سنگ توجه کنید. وجود فشارهای زیاد و دمای بالا سبب فشردگی ذرات سنگ به هم شده و در عین حال پدیده‌ی «رشد» دانه‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ را به همراه داشته است. هر دوی این عوامل سبب آن گردیده است تا فواصل میان ذرات از بین برود و دانه‌ها به صورت کاملاً فشرده و با حداقل فضای میانی و خالی به یکدیگر بچسبند (شکل ۳۰-۱).



شکل ۳۰-۱- مقایسه‌ی بافت یک سنگ رسوبی و یک سنگ دگرگون شده

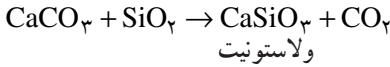
شاید بتوان این پدیده را بسیار مشابه با آن چیزی دانست که در پخت بسیاری از سرامیک‌های سنتی و نوین اتفاق می‌افتد. در واقع اعمال دمای زیاد و در پاره‌ای موارد فشار بالا، سبب متراکم شدن بدنه‌ی سرامیکی و ایجاد پیوندهای قوی بین ذرات آن می‌شود که در نهایت استحکام بالای قطعه‌ی پخته شده را به دنبال خواهد داشت.

در پاره‌ای موارد، وجود آبی که مقادیری یون‌های محلول به همراه داشته باشد، تغییرات یادشده را تشدید می‌کند و سرعت می‌بخشد، به عبارتی تشکیل کانی‌های جدید و یا رشد دانه‌های موجود سریع‌تر خواهد شد.

پیوند موجود بین یون‌های تشکیل دهنده‌ی یک کانی، ممکن است در حضور آبی که یون‌های خاصی را در خود حل کرده است سست شده از هم گسسته شود. این دگرگونی می‌تواند در نهایت تشکیل کانی‌هایی با ترکیب جدید را به دنبال داشته باشد. کنار هم چیده شدن یون‌های جدید بوجود آمده، به دلیل وجود دما و بخصوص، فشار زیاد به گونه‌ای خواهد بود که ساختاری تازه با فشردگی و تراکم



بیشتر را سبب گردد. به عبارتی سنگ متراکم تری تشکیل خواهد شد. مثال بارز این نوع فرایندها را می توان بین یون های سیلیسیم و Ca و CO<sub>۳</sub> موجود در ترکیبات آهکی مشاهده کرد که سبب پیدایش کانی جدیدی تحت عنوان ولاستونیت<sup>۱</sup> می شود. این ماده از کلسیت متراکم تر و سخت تر است:

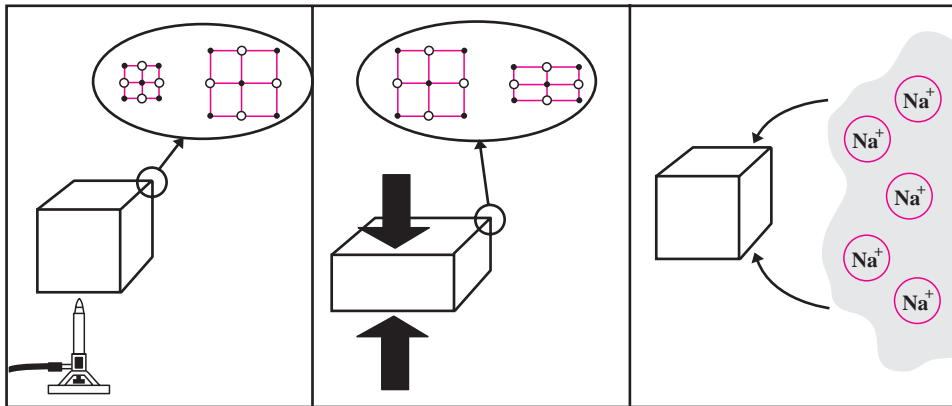


به طور کلی عوامل مؤثر در دگرگونی سنگ ها عبارتند از:

الف - انبساط حاصل از حرارت، دور شدن یون ها از هم و در نتیجه سست شدن پیوندها را به دنبال خواهد داشت که سبب ناپایداری کانی می شود (شکل ۳۱-۱-الف).

ب - افزایش فشار با متراکم ساختن ساختار یونی و با گسستن برخی پیوندها، تشکیل کانی های تازه ای را سبب می شود (شکل ۳۱-۱-ب).

ج - حضور برخی یون ها در مایعات شیمیایی فعال و ورود آن ها به ساختار درونی کانی ها (و یا برعکس خروج برخی یون ها از کانی) می تواند سبب تغییر ترکیب کانی ها شود (شکل ۳۱-۱-ج).



شکل ۳۱-۱- عوامل مؤثر در دگرگونی سنگ ها

سنگ های دگرگون شده نیز مانند سنگ های رسوبی و آذرین دارای بافت های گوناگونی هستند. از آنجایی که بیشتر این سنگ ها فشار و دمای زیادی را تحمل کرده اند، معمولاً در جهات خاصی که عمود بر راستای بیشترین فشار بوده رشد کرده اند و اصولاً دارای خاصیت «تورق یافتگی» می باشند. انواع میکاها که کانی هایی ورقه ای هستند از این نوع می باشند. البته تمامی سنگ های دگرگون شده از

<sup>۱</sup> - Wollastonite

این امر تبعیت نمی‌کند و برخی از آن‌ها دارای بافت متراکم یا دانه‌دانه می‌باشند. در گروه اول سنگ به‌هنگام شکسته‌شدن، در امتداد سطوح موازی ورقه‌ورقه می‌شود که به این خاصیت سنگ، شیستوزیتی<sup>۱</sup> می‌گویند. درحالی‌که سنگ‌های گروه دوم به‌هنگام شکست، شکلی کاملاً نامنظم را ارائه می‌کنند.

۲-۷-۱- انواع سنگ‌های دگرگون‌شده: سنگ‌های دگرگون‌شده در اثر دگرگونی سنگ‌های آذرین و بارسوبی تشکیل می‌شوند. این سنگ‌ها می‌توانند شامل کانی‌هایی با جهت‌گیری‌های خاص باشند، مانند: سنگ مرمر، کوارتزیت و گنایس و با آن‌که دارای ظاهری یکنواخت باشند مانند سنگ لوح و شیست.



شکل ۳۲-۱- سنگ لوح

**الف - سنگ لوح:** سنگی است که در اثر دگرگونی سنگ‌های رسوبی دانه‌ریز مانند شیل به وجود می‌آید. این سنگ به راحتی متورق می‌گردد و معمولاً خاکستری یا سیاه است. اما انواع قرمز، سبز، ارغوانی و قهوه‌ای آن نیز دیده می‌شود که به دلیل حضور ناخالصی‌ها در ساختار آن است. سنگ لوح، بسیار ظریف‌تر و صاف‌تر از شیست می‌باشد (شکل ۳۲-۱).



شکل ۳۳-۱- شیست

**ب - شیست:** در این سنگ دگرگون‌یافته بلورهای پولک‌مانند میکا و با سوزنی شکل هورن‌بلاند دیده می‌شود. این نوع سنگ‌ها را معمولاً از روی فراوانی نوع کانی که در آن‌ها یافت می‌شود نامگذاری می‌کنند. مانند میکاشیست که دارای میکای سیاه و سفید و کوارتز است، تالک شیست، کلریت شیست و غیره (شکل ۳۳-۱).



ج- گنایس: از دگرگونی گرافیت، ماسه سنگ های فلدسپاتدار و کنگلومرای فلدسپاتدار حاصل می شود. کانی های موجود در این سنگ به صورت ردیف های موازی یکدیگر قرار گرفته اند (شکل ۱-۳۴).

د- مرمر: نوعی سنگ آهک است که تحت عوامل و دگرگونی (دما و فشار) قرار گرفته و بلورهای ریز کلسیت موجود در آن، رشد یافته اند، رگه های رنگی همراه با سنگ مرمر، مربوط به ناخالصی های موجود در سنگ آهک اولیه است (شکل ۱-۳۵).

شکل ۳۴- ۱- قرار گرفتن کانی های تیره رنگ به صورت موازی در گنایس به راحتی قابل مشاهده است.



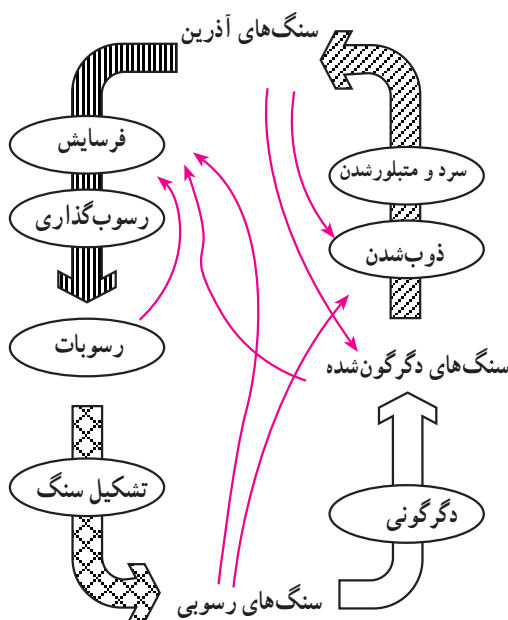
شکل ۳۵- ۱- سنگ مرمر



ه- کوارتزیت: ماسه سنگی که در اثر دگرگونی، سیمان خمیری شکل موجود در بین ذرات آن - که خود از جنس کوارتز می باشد - به صورت متبلور درآمده است. لذا تمامی سنگ به صورت یکپارچه و بسیار محکم و متراکم می باشد. کوارتزیت را می توان از جمله سخت ترین سنگ ها به حساب آورد (شکل ۱-۳۶).

شکل ۳۶- ۱- کوارتزیت

حال که در پایان این فصل از کتاب، با انواع سنگ‌ها و منشأ و طرز تشکیل آن‌ها و بخصوص نحوه‌ی تبدیل آن‌ها به یکدیگر آشنا شدید می‌توان چرخه‌ی تبدیل سنگ‌ها به یکدیگر را به گونه‌ی شکل ۱-۳۷ مطرح نمود. این شکل با بیانی بسیار ساده، خلاصه و درعین حال کلی، ارتباط میان انواع سنگ‌ها را با هم نشان داده است.



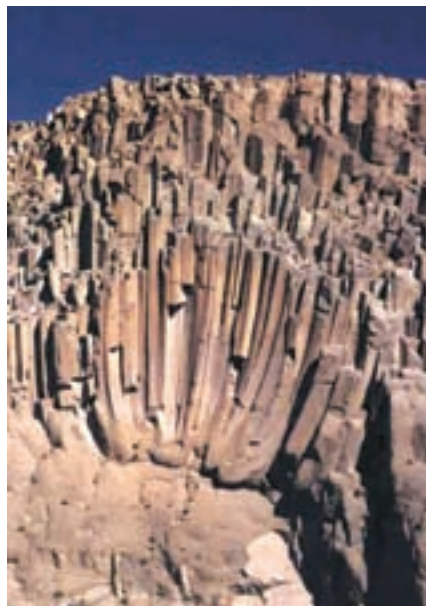
شکل ۱-۳۷- چرخه‌ی سنگ‌ها و رابطه‌ی میان سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگون شده

مواد خارج شده از دهانه‌ی آتشفشان می‌تواند به سه حالت جامد، مایع و یا گاز وجود داشته باشد.

**مواد جامد** - مواد جامد خارج شده از دهانه‌ی آتشفشان می‌تواند دارای اندازه‌ها و اشکال متفاوتی باشد. از خاکستر آتشفشانی (توف) (شکل ۱-۳۸) گرفته - که گاهی توسط باد تا هزاران کیلومتر از محل اصلی خود دور می‌شود- تا ذرات درشت تری به نام لاپیلی<sup>۱</sup> (شکل ۱-۳۹) که قطرش به حدود ۴ تا ۳۲ میلی‌متر می‌رسد و در نهایت بمب‌های آتشفشانی که اندازه‌هایی هستند که در اثر چرخش در هوا به شکل دوک درآمد و حجم آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چند متر مکعب متغیر است.



شکل ۳۹-۱- لاپیلی



شکل ۳۸-۱- توف

— مواد مایع (گدازه) — از آنجایی که دمای گدازه‌ها و مواد تشکیل دهنده‌ی آن‌ها می‌تواند با یکدیگر تفاوت داشته باشد، خصوصیات و ظاهر آن‌ها با یکدیگر فرق دارد. گدازه‌ی خروجی از دهانه‌ی آتشفشان می‌تواند قرمز رنگ و یا از شدت گرما زرد و سفید رنگ باشد که پس از سرد شدن بر روی زمین به مرور تیره تر می‌گردد.

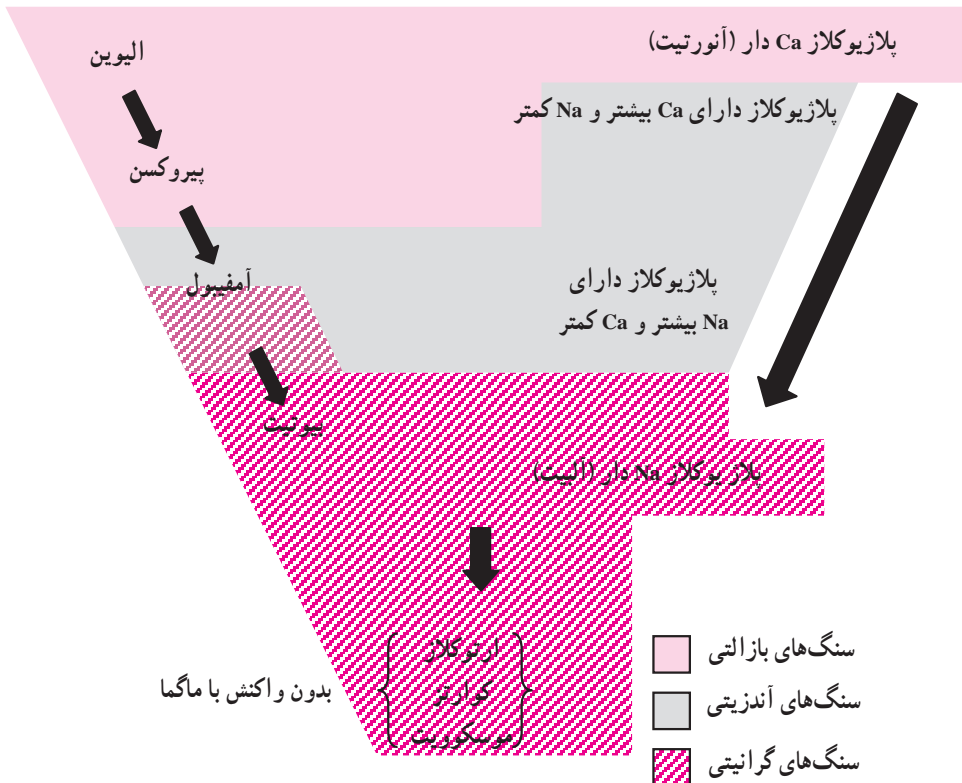
گدازه‌هایی که دارای میزان سیلیس زیادی هستند (درواقع اسیدی) غلیظ ترند و ویسکوزیته‌ی بیشتری نسبت به گدازه‌های دارای آهن و منیزیم زیاد (بازی) دارند.

گازها — دی‌اکسید و منواکسید کربن، سولفید هیدروژن، بخار آب و بخارهای دیگری مانند اسید کلریدریک و اسید فلوئوریدریک از جمله گازهای مهمی هستند که از دهانه‌ی آتشفشان‌ها خارج می‌شوند.

باید توجه داشت که تمام کانی‌های موجود در یک سنگ آذرین که از انجماد ماگما به وجود آمده‌اند به یکباره و باهم تشکیل نشده‌اند. به عبارتی هر کانی با توجه به ترکیب شیمیایی و مشخصات خاص فیزیکی در یک دمای خاص، متبلور شده است. لذا در حین سرد شدن ماگما، در دماهای مختلف کانی‌های متفاوت از آن جدا شده است. براساس نظریه‌ی «نورمن باون» (N. Bowen) ژئوفیزیکدان (فیزیک زمین) امریکایی، بیشتر ماگما در اصل ترکیبی بازالتی دارند که طبق شکل

۴-۱ کانی‌های متفاوت را پدید می‌آورند.

باون در آزمایش‌های خود مشاهده کرد که نخستین کانی‌هایی که از سرد شدن ماگما حاصل می‌گردند، الیوین و پلاژیوکلاز کلسیم دارند. او هم‌چنین دید که اگر نخستین بلورهای الیوین را در محلول باقی بگذارد، بعضی از آن‌ها با ماگما واکنش کرده پیروکسن را به وجود می‌آورند. بدین ترتیب سنگی که حاصل می‌شود محتوی الیوین، پیروکسن و فلدسپات کلسیم دار است. اما اگر الیوین از محیط دور می‌شود، واکنش‌ها به صورت دیگری ادامه می‌یافتند. بدیهی است که با دور شدن الیوین، مقدار آهن و منیزیم ماگما کم می‌شود و در عوض، درصد بقیه‌ی عناصر بالا می‌رود و این وضع با خارج شدن هر کانی، هم‌چنان تکرار می‌شود و سرانجام آنچه که باقی می‌ماند ماگمایی است که چیزی جز کوارتز، میکا و ارتوکلاز ندارد و همان‌گونه که پیش از این نام برده شد، سنگی که از اجتماع این کانی‌ها تشکیل شده باشد، گرانیت نام دارد.



شکل ۴-۱- واکنش‌هایی که بر اساس نظریه‌ی باون در ماگمای بازالتی صورت می‌گیرد.

- ۱- علم زمین‌شناسی را تعریف کنید. به نظر شما کدام یک از شاخه‌های این علم بیش از همه، مربوط به علم و صنعت سرامیک است؟
- ۲- عناصر و ترکیبات عمده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی سطح زمین را نام ببرید.
- ۳- روش‌های تشکیل سنگ‌های سطحی کره‌ی زمین چه می‌باشند؟
- ۴- ماگما را تعریف کرده، روش‌های خروج موادّ گدازه از زمین را بیان نمایید.
- ۵- تفاوت ولکانیسم و پلوتونیسم چه می‌باشد؟ آیا خواصّ سنگ‌های به‌دست‌آمده طیّ این دو فرایند با یکدیگر مشابه می‌باشند؟
- ۶- ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین را با پوسته‌ی زمین مقایسه کنید.
- ۷- هوازدگی و انواع آن را بیان نمایید.
- ۸- تأثیر هوازدگی در پدیدآمدن موادّ رُسی چگونه است؟
- ۹- منشأ و نوع کانی‌های موجود در سنگ‌های رسوبی را توضیح دهید.
- ۱۰- کاربردهای گوناگون سنگ‌های رسوبی را در صنعت سرامیک بیان نمایید (با توجه به اطلاعاتی که تاکنون کسب نموده‌اید).
- ۱۱- متامورفیسم و عوامل دگرگونی را بیان نمایید.
- ۱۲- حالات و انواع گوناگون موادّ خروجی از آتشفشان را بیان نمایید.
- ۱۳- چرخه‌ی تبدیل سنگ‌ها به یکدیگر در طبیعت به چه نحو می‌باشد؟