بسم الله الرحمن الرحیم

زمین‌شناسی

سال سوم آموزش متوسطه

رشتهٔ علوم تجربی

۱۳۹۳

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری**

نام کتاب : **زمین‌شناسی ـ ۲۶۲/۱**

بازنگری و اصلاح : **خدیجه امانی، علیرضا امری کاظمی، پرویز انصاری‌راد، محمدحسن بازوبندی، سهیلا بوذری، هاله تیمورزاده، فرزانه رجایی، مریم عابدینی، سروش مدبری و مازیار نظری**

مؤلّفان : **علی درویش‌زاده، حسن مدنی، محمود صداقت، احمد حسینی و علی هاشمی**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران :خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : **سیّد احمد حسینی**

صفحه‌آرا : **مریم نصرتی**

طراح جلد : **محمدحسن معماری**

حروفچین : **فاطمه محسنی**

مصحح : **نوشین معصوم‌دوست، شهلا دالایی**

امور آماده‌سازی خبر : **فاطمه پزشکی**

امور فنی رایانه‌ای : **حمید ثابت کلاچاهی، پیمان حبیب‌پور**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

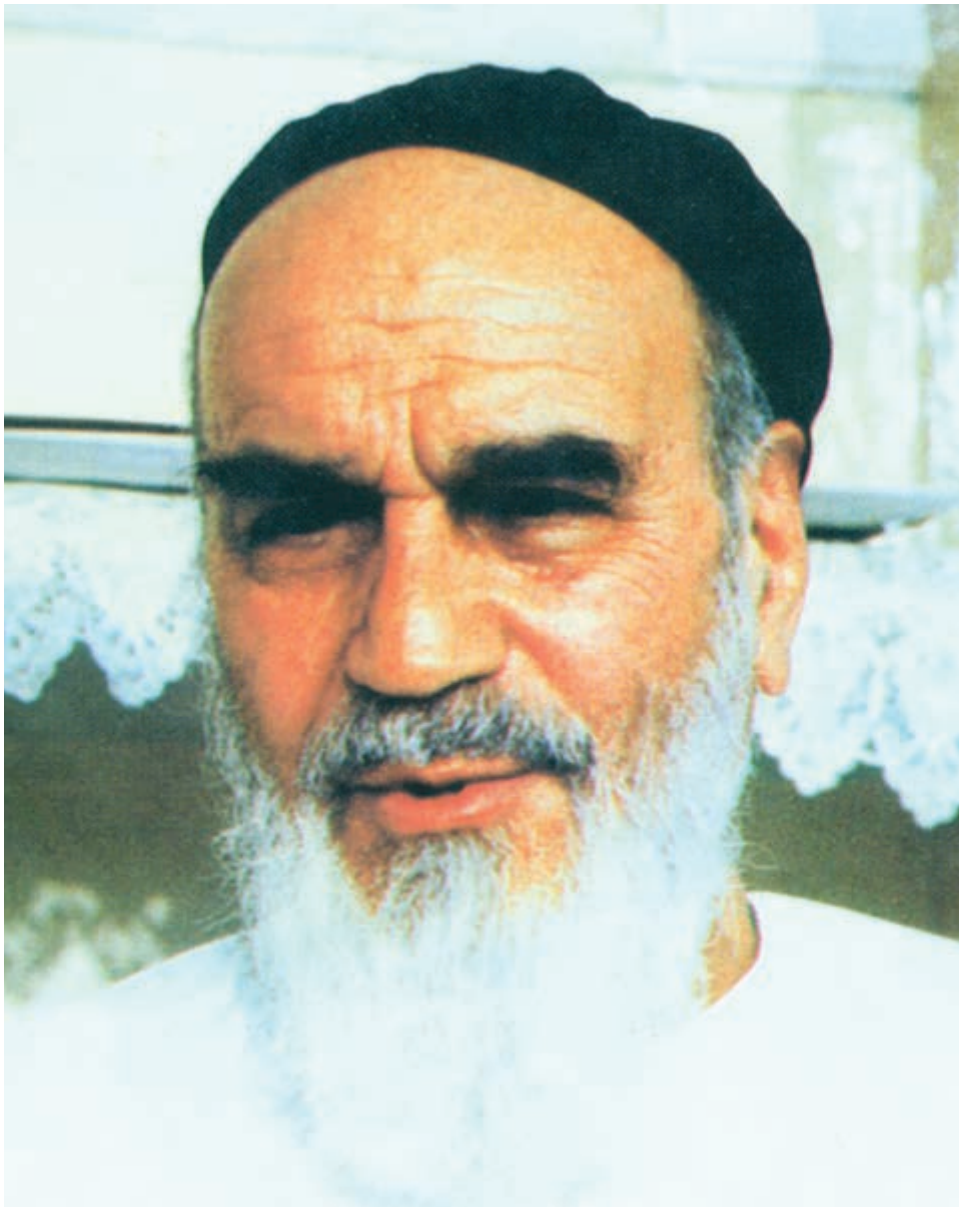
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱ ، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰ ، صندوق پستی : ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ شانزدهم ۱۳۹۳**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۵-۰۴۴۷-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-0447-5



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورید و از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست مطالب

فصل ۱ــ علم زمین‌شناسی و شاخه‌های آن ۱
زمین سیارهٔ ارزشمند ما ۲
زمین و ذخایر معدنی ۴
زمین پویا ۶
زمین و محیط زیست ۷
زمین‌شناسی چیست؟ زمین‌شناس
چه‌کار می‌کند؟ ۸
شاخه‌های علم زمین‌شناسی ۹

بخش ۱ ــ چرخه آب

فصل ۲ــ آب در هوا ۱۴
بخار آب در هوا ۱۴
اقسام ابر ۱۹
آب و هوا ۲۰

فصل ۳ ــ آب در دریا ۲۲
اقیانوس‌ها ۲۲
ویژگی‌های آب دریا ۲۳
شکل‌شناسی بستر اقیانوس‌ها ۲۹

فصل ۴ ــ آب در خشکی ۳۲
آب‌های جاری ۳۲
آب زیرزمینی ۳۴
یخچال ۴۰
دریاچه‌ها ۴۳

بخش ۲ ــ چرخه سنگ

فصل ۵ ــ کانی‌ها ۴۸
تشکیل کانی‌ها ۴۹
شناسایی کانی‌ها ۵۰
طبقه‌بندی کانی‌ها ۵۷
کاربرد کانی‌ها ۶۵

فصل ۶ــ ماگماتیسم و سنگ‌های آذرین ۶۹
ذوب و تبلور ۷۰
بافت ۷۵
طبقه‌بندی ۷۶
موارد استفاده ۷۹

فصل ۷ ــ سنگ‌های رسوبی ۸۱
منشأ رسوبات ۸۲
حمل رسوبات ۸۴
بافت ۸۷
طبقه‌بندی ۸۸

فصل ۸ ــ فرآیند دگرگونی و سنگ‌های دگرگون شده ۹۴
عوامل دگرگون‌ساز ۹۵
اقسام دگرگونی ۹۷
طبقه‌بندی ۱۰۱
دگرگونی و منابع طبیعی ۱۰۴

فصل ۹ ــ تغییرات سنگ‌ها ۱۰۶
هوازدگی ۱۰۶
خاک ۱۱۰
فرسایش ۱۱۲
رسوبگذاری ۱۲۴

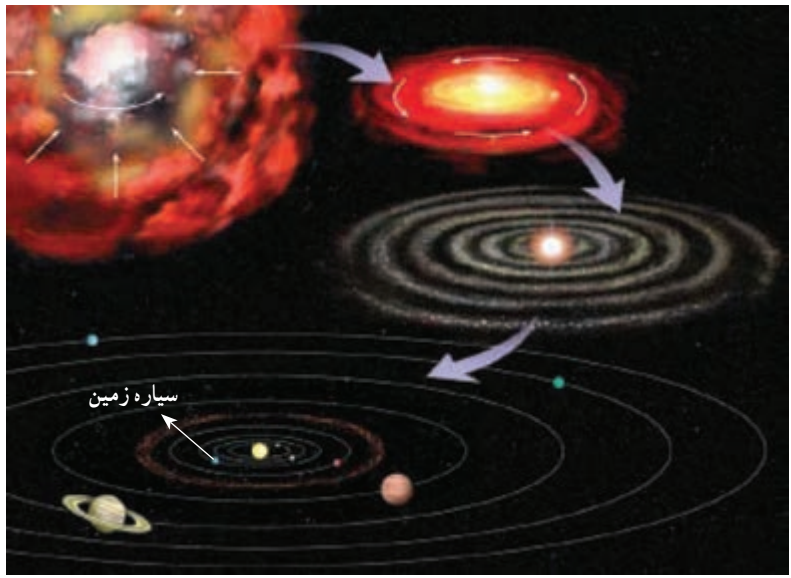
۱ علم زمین‌شناسی و شاخه‌های آن

شاید وقتی کتاب زمین‌شناسی را بین کتاب‌های درسی سال سوم خود می‌بینید از خود می‌پرسید، چرا این درس را باید بخوانیم؟ مگر زمین‌شناسی چه اهمیت و کاربردی دارد که باید آن را بخوانیم؟

همیشه از زمین‌شناسی تصویری همچون دایناسورها را در ذهن داریم. شاید دراین‌باره کتاب‌های زیادی خوانده و اسامی عجیب و غریبی را از حفظ باشیم. آیا زمین‌شناسی همین است؟

واقعاً از زمین‌شناسی چه می‌دانیم؟ کاربرد آن در زندگی ما چیست؟ چقدر زمین را می‌شناسیم؟ و سؤالات بی‌شمار دیگری که ذهن مارا به خود مشغول کرده است. آیا شما نیز علاقه‌مند هستید درمورد موضوعی خاص از زمین اطلاعات بیشتری داشته باشید؟

براساس آخرین دستاوردهای علمی، زمین تنها سیاره در بین سیارات منظومه شمسی است که انسان و سایر موجودات زنده برروی آن زندگی می‌کنند. (شکل ۱ــ۱)



شکل ۱ــ۱ــ جایگاه سیاره زمین

به‌نظر شما چه شرایط و عواملی زندگی برروی سیارهٔ زمین را فراهم نموده است؟

زمین سیارهٔ ارزشمند ما

به‌نظر شما کرهٔ زمین از چه بخش‌هایی تشکیل شده است؟ وجود هواکره در اطراف زمین آن را از هرگونه آسیبی در امان نگه داشته است. گرچه منشأ حیات از آب بوده است، ولی وجود هواکره، زندگی برروی زمین را برای ما امکان‌پذیر ساخته است. از سوی دیگر مطالعه بقایای باقیماندهٔ موجودات زنده در سنگ‌ها نشان می‌دهد که امکان تداوم حیات برروی زمین وقتی میسر شد که در هواکره لایهٔ ازون تشکیل گردید و با جلوگیری از ورود اشعهٔ مضر به بخش‌های سطح زمین، اکسیژن کافی برای نفس‌کشیدن در اختیار موجودات زنده قرار گرفت. خداوند بزرگ برای زندگی برروی زمین از قبل شرایطی فراهم نموده است.

اما اگر به آنچه بشر طی سال‌های گذشته انجام داده بنگریم باید اظهار تأسف کرد، زیرا تولید حجم زیاد گازهای مضر از سوی صنایع برخی کشورهای پیشرفته سبب شده که همین لایهٔ ازون آسیب جدی ببیند، که نتیجه آن خطرناک شدن برخی مناطق کرهٔ زمین برای زندگی است. سیل‌های ویرانگر سال‌های اخیر و بسیاری از مشکلات زیست‌محیطی دیگر، همه و همه از نشانه‌های بی‌توجهی ما نسبت به هواکره است.

از موفقیت‌های بشر در قرن بیستم سفر به فضا و ارسال ماهواره‌های تحقیقاتی است. تصاویر زمین که توسط ماهواره‌ها تهیه شده، شناخت انسان از زمین را افزایش داده است. این تصاویر نشان می‌دهد که بخش اعظم کره زمین پوشیده از آب است.

مطالعه و شناخت آب کره در کشور ما از اهمیتی خاص برخوردار است، زیرا بخشی از ذخایر نفتی جنوب ایران و همچنین بخشی از ذخایر گازی شمال کشورمان در حوضه‌های دریایی خلیج‌فارس و دریای خزر تجمع یافته است (شکل ۲ــ۱). این مناطق از نظر تنوع آبزیان و صنعت گردشگری نیز اهمیت ویژه‌ای دارند (شکل ۳ــ۱).

شکل ۲ــ۱ــ سکوی نفتی در خلیج فارس

شکل ۳ــ۱ــ سواحل جنوبی ایران

کره خاکی تنها مکان مناسب برای سکونتگاه بشر بر روی سیارهٔ زمین می‌باشد. خارجی‌ترین بخش زمین معمولاً از خاک تشکیل شده است. خاک محصول هوازدگی و فرسایش سنگ‌هاست و محل رویش گیاهان می‌باشد (شکل ۴ــ۱). پس غذای انسان و تعداد زیادی از موجودات زنده وابسته به خاک است.

شکل ۴ــ۱ــ خاک محل رویش گیاه

زمین و ذخایر معدنی

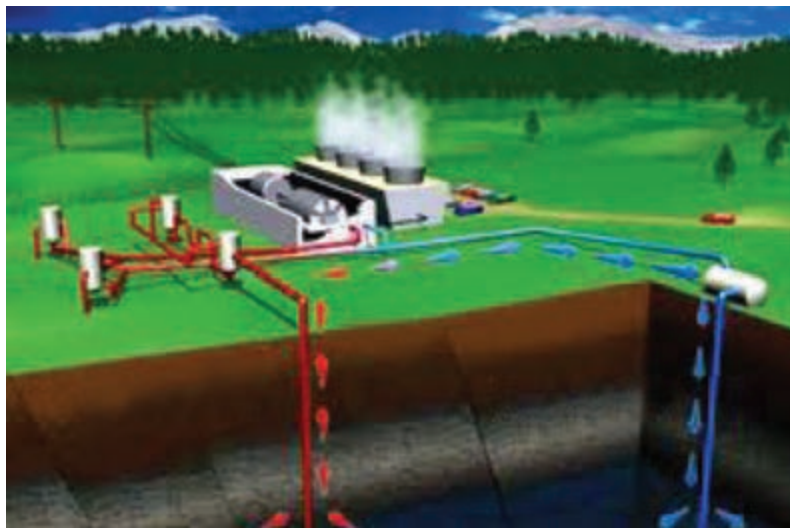
شکل ۵ــ۱ــ ادوات نظامی هخامنشیان

انواع ذخایر معدنی فلزی و غیرفلزی از دیگر ویژگی‌های بخش بیرونی پوستهٔ زمین است که آگاهی نسبی از نحوهٔ تشکیل آنها نیاز به کسب تخصص در رشتهٔ زمین‌شناسی دارد.

توجه به ذخایر معدنی در ایران به هزاران سال قبل باز می‌گردد. به‌عنوان مثال ایرانیان در زمان هخامنشیان با دسترسی به ذخایر سنگ آهن، از آن در ساخت وسایل و ابزار جنگی بهره جسته و بدین طریق از سرزمین پهناور ایران در مقابل هجوم بیگانگان محافظت کردند (شکل ۵ــ۱).

در دهه‌های اخیر کشف ذخایر باارزش اورانیم سبب گردید تا با دستیابی به توان هسته‌ای، ایران نیز مانند سایر کشورهای پیشرفته جهان از آن در صنایع دارویی و تولید انرژی استفاده نماید.

علاوه بر انرژی هسته‌ای، انرژی زمین گرمایی، خورشیدی، بادی و ... از دیگر موهبت‌های الهی است که نصیب کشور عزیزمان شده است (شکل ۶ــ۱ و ۷ــ۱).



شکل ۶ــ۱ــ نمایی از چگونگی استفاده از انرژی زمین گرمایی

شکل ۷ــ ۱ــ نیروگاه زمین گرمایی مشکین‌شهر ــ اردبیل

استفاده از موادمعدنی تنها محدود به همین موارد نمی‌گردد. اگر به اطرافمان خوب نگاه کنیم، مثلاً مدادی که با آن می‌نویسیم، عینکی که به کمک آن می‌بینیم، وسایلی که با آن زندگی می‌کنیم، داروهایی که برای التیام دردهایمان از آن استفاده می‌کنیم و حتی خمیردندانی که هرروز از آن استفاده می‌کنیم، همه و همه در گروه موادی است که از زمین استخراج می‌شود.

هیچ با خود اندیشیده‌اید، که اگر این معادن شناخته نشده بودند آیا زندگی بر روی کرهٔ زمین به این سادگی مقدور بود؟ خوشبختانه کشور ایران از جمله کشورهای معدنی جهان است که دارای معادن متعدد آهن، مس، سرب و روی، طلا و ... است. همچنین بیش از صدسال قبل تاکنون با کشف نفت در حوالی مسجدسلیمان اقتصاد کشورمان متوجه این نعمت خدادادی شده است (شکل ۸ــ۱ــ الف وب). این قابلیت‌ها سبب گردیده تا ایران در بین کشورهای جهان، کشوری قدرتمند و تأثیرگذار باشد.

شکل ۸ــ۱ــ الف ــ فوران نفت از اولین چاه نفت خاورمیانه در سال ۱۹۰۸م ــ مسجد سلیمان

شکل ۸ــ۱ــ ب ــ موزه نفت در محل اولین چاه نفت خاورمیانه ــ مسجد سلیمان

زمین پویا

زمین جنبه‌های دیگری نیز دارد که اطلاع از آنها جهت زندگی امن برروی کرهٔ زمین ضروری است. شناخت جنس زمین و رفتار مواد سازندهٔ آن سبب گردیده تا افق تازه‌ای در پیش روی بشر گشوده شود. تجربهٔ زمین‌لرزه‌های ژاپن به ما آموخت که تنها داشتن ساختمان‌های محکم برای مواجهه با پدیدهٔ طبیعی مانند زمین‌لرزه کافی نیست، بلکه رفتار موادسازندهٔ زمینی که برروی آن سازه‌ای احداث شده، نیز مهم می‌باشد.

امروزه جهت احداث انواع پروژه‌های عمرانی مانند سدها، نیروگاه‌ها، بزرگراه‌ها، بیمارستان‌ها، مکان‌یابی شهرک‌ها، مجتمع‌های تجاری و مسکونی، آسمانخراش‌ها و ... همه نیازمند شناخت جنس و ساختار تشکیل‌دهنده زمین پی آن است. پس برای در امان ماندن از پدیده‌های طبیعی مانند زمین‌لرزه، رانش زمین، سقوط سنگ و غیره باید خصوصیات زمین را بطور جدی بررسی کرد. امروزه اهمیت این موضوع تا آن حد است که حضور کارشناس زمین‌شناس در شهرداری‌ها و محیط زیست قطعی و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (شکل ۹ــ۱).

شکل ۹ــ۱ــ ورودی تونل توحید ــ تهران

شاید اگر پویا بودن زمین را می‌پذیرفتیم و زمین‌لرزه را به عنوان پدیدهٔ طبیعی آفریدهٔ خداوند باور داشتیم و این شناخت را در ساخت و سازها منظور می‌کردیم، دیگر شاهد خسارت مالی و تلفات جانی فراوان نبوده و در این‌صورت زمین‌لرزه را بلا نمی‌نامیدیم و کوتاهی خود را به بی‌رحمی زمین نسبت نمی‌دادیم.

زمین و محیط زیست

بشر برای زندگی بر روی کرهٔ زمین علاوه بر آب، هوا، غذا به انرژی نیز نیاز دارد که همهٔ آنها را باید در زمینی جستجو کند که خداوند بزرگ آن را آفریده و به رایگان در اختیار او قرار داده است. واضح است که این منابع محدود بوده و ما نمی‌توانیم بی‌رویه از آن استفاده کنیم. اجزاء تشکیل‌دهندهٔ کرهٔ زمین مانند حلقه‌های یک زنجیر به یکدیگر متصل می‌باشند و آسیب به هر حلقه، سبب نابودی این مجموعه منسجم می‌شود.

آیا بشر مجاز است، به هر میزان که می‌خواهد گازهای آلاینده تولید نماید؟ چرا باید دمای زمین به صورت غیرعادی افزایش یابد؟ آیا حق استفادهٔ بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی را دارد؟ حجم زباله‌های دفن شده در خاک باید چه مقدار باشد؟ همه و همه نیاز به بازنگری مجدد رفتار بشر در مواجهه با کرهٔ زمین دارد. در همین رابطه سازمان علمی ــ فرهنگی یونسکو، سال ۲۰۰۸ میلادی را سال سیارهٔ زمین نامگذاری کرد، هدف از این اقدام، توجه انسان‌ها به کرهٔ زمین به عنوان تنها مکان برای زندگی است که استفادهٔ نادرست از آن موجب نابودی زمین خواهد شد.

شکل ۱۰ــ۱ــ تخریب و حفاظت از محیط زیست

به‌نظر می‌رسد که شناخت قابلیت‌های زمین‌شناسی کشورمان برای همهٔ ما ایرانیان ضروری است. جالب است بدانید که به گفتهٔ زمین‌شناسان دیگر کشورها، ایران نگین زمین‌شناسی جهان است. رشته‌کوه البرز در شمال و زاگرس در جنوب و جنوب غرب، آتش‌فشان‌های دماوند، سهند، سبلان،

تفتان (شکل ۱۱ــ۱) و بزمان، معادن متنوع، گسل‌ها، دریاچه‌ها و هم‌چنین رشته قنات‌ها که نخستین بار توسط ایرانیان ایجاد شده است و پدیده‌های بی‌شمار دیگر، همگی جاذبه‌های منحصر به فرد کشورمان هستند که مشاهده و بررسی آنها آرزوی قلبی زمین‌شناسان سرتاسر دنیا است.

خوشبختانه دانشمندان و محققان کشورمان از زمان ابوریحان بیرونی، ابوعلی‌سینا تا امروز در شناخت و معرفی پدیده‌های زمین‌شناسی همت والایی داشته‌اند. امید آن می‌رود در آینده نیز شما یکی از آن محققان باشید.

شاید اینک پذیرفته باشید که برای زندگی بر روی کرهٔ زمین لازم است تا حدی با خصوصیات کرهٔ زمین در قالب درس زمین‌شناسی آشنا شوید.

شکل ۱۱ــ۱ــ دهانهٔ اصلی آتشفشان تفتان

زمین‌شناسی چیست؟ زمین‌شناس چه‌کار می‌کند؟

زمین‌شناسی علم مطالعهٔ سیارهٔ زمین است. زمین‌شناسان چگونگی تشکیل زمین، ویژگی‌ها، ساختار، ترکیب سنگ‌ها و کانی‌ها و تاریخچهٔ رویدادهایی که از زمان پیدایش زمین بر آن گذشته است را، مطالعه می‌کند. بسیاری از زمین‌شناسان با شناخت شگفتی و نظم حاکم بر زمین و فضای اطراف آن، به کشف راز هستی و تعمیق تفکر توحیدی می‌پردازند.

زمین‌شناسان در تمام نقاط زمین، از قله‌های یخ‌زده و آتش‌فشان‌های فعال تا اعماق اقیانوس کار می‌کنند و به دنبال شناسایی تاریخ پیچیدهٔ زمین و فرایندهایی هستند که بر روی آن عمل می‌کنند. محل اصلی کار زمین‌شناس در طبیعت است. اما زمین‌شناسان، بخشی از مطالعات خود را در آزمایشگاه و با میکروسکوپ‌های مخصوص و دستگاه‌های پیشرفته انجام می‌دهند.

در سال‌های اخیر با سفر انسان به فضا، مطالعه و شناخت ماه و دیگر سیاره‌ها نیز به قلمروی دانش زمین‌شناسی اضافه شده است.

بخشی از زمین‌شناسی که به مطالعهٔ مواد تشکیل‌دهندهٔ زمین مانند کانی‌ها و سنگ‌ها و هم‌چنین فرایندهایی که در زیر زمین و یا سطح آن رخ می‌دهند می‌پردازد، «**زمین‌شناسی فیزیکی**» می‌گویند. به عنوان مثال مطالعهٔ آتش‌فشان‌ها، کوه‌ها، زمین‌لرزه‌ها، رودخانه‌ها و سیلاب‌ها از این جمله‌اند.

بخشی از زمین‌شناسی که به منشأ و تحولات زمین، تاریخچهٔ قاره‌ها و اقیانوس‌ها، جانوران، گیاهان، هواکره و رویدادهای گذشتهٔ زمین می‌پردازد، «**زمین‌شناسی تاریخی**» گفته می‌شود. در این بخش پاسخ به پرسش‌هایی مانند؛ اقیانوس‌های زمین چه موقع تشکیل شدند؟ دایناسورها در چه زمانی زندگی می‌کردند؟ شیوهٔ زندگی آنها چگونه بوده؟ کوه‌های زاگرس و البرز چه موقع برافراشته شدند؟ یا اولین درختان در چه زمانی به‌وجود آمدند و چه مشخصاتی داشتند؟ مطرح می‌گردد.

شاخه‌های علم زمین‌شناسی

علم زمین‌شناسی دامنهٔ گسترده‌ای دارد که به شاخه‌های متعددی تقسیم می‌شود و روزبه روز قلمرو و کاربردهای آن افزایش می‌یابد. مهم‌ترین شاخه‌های آن عبارتند از :

زمین‌شناسی اقتصادی : زمین‌شناسانی که در موضوع زمین‌شناسی اقتصادی تخصص دارند، به دنبال مکان‌هایی هستند که در آن ذخایر معدنی ارزشمند مانند مس، آهن، طلا، نقره، الماس و دیگر گوهرها و ... قرار دارند (شکل ۱۲ــ۱).

شکل ۱۲ــ۱ــ معدن سرب و روی ایرانکوه ــ اصفهان

زمین‌شناسی آب : زمین‌شناسانی که در زمینه تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی، حرکت آب در درون زمین و چگونگی یافتن آنها تحقیق و مطالعه می‌کنند، آب زمین‌شناس (هیدروژئولوژیست) نامیده می‌شوند.

زمین‌شناسی نفت : در این شاخه از زمین شناسی، زمین‌شناس نفت از تخصص خود در شناخت چگونگی تشکیل و مهاجرت نفت در اعماق چندکیلومتری زمین استفاده می‌کند. هم‌چنین مکان‌هایی که نفت می‌تواند در آنجا انباشته شود، شناسایی کرده و جاهایی از یک میدان نفتی یا گازی که برای حفاری و استخراج نفت مناسب است را مشخص می‌کند.

زمین‌شناسی مهندسی : شاخه‌ای از زمین‌شناسی است که رفتار و ویژگی‌های مواد سطحی زمین را از نظر مقاومت در برابر فشارهای وارده، نفوذپذیری و امکان ساخت یک سازه را در محلی خاص از زمین، بررسی می‌کند.

زمین شناسی زیست محیطی : شاخه‌ای از زمین‌شناسی است که با استفاده از اصول زمین‌شناسی، به حل مسائل زیست‌محیطی می‌پردازد.

زمین‌شناسی پزشکی : منشأ همه عناصر از درون زمین است و آلودگی‌های طبیعی و انسان‌زاد می‌تواند از سنگ و خاک به آب و گیاه و دام و از طریق غذا به بدن انسان انتقال یابند. برخی عناصر، برای بدن انسان و دیگر موجودات ضروری هستند. آهن در هموگلوبین، فسفر و کلسیم در دندان و استخوان، نقش اساسی دارد اما برخی ترکیب‌ها مانند نیترات‌ها و عناصری مانند جیوه، آرسنیک، سرب، کادمیم و... برای سلامت انسان مضر هستند. در سراسر جهان بیش از ۱۰۰ میلیون نفر در معرض آب آشامیدنی آلوده به آرسنیک هستند. مطالعه تأثیر عناصر، کانی‌ها و مواد زمین بر سلامت انسان، در قلمرو دانش جدید زمین‌شناسی پزشکی قرار دارد. هم‌اکنون در برخی کشورها، زمین‌شناسان پزشکی در گروه‌های کاری مشترک با پزشکان، زیست‌شناسان، شیمیدانان و تخصص‌های دیگر، به حل مشکلات مختلف مانند شیوع سرطان و برخی بیماری‌های دیگر در نقاط مختلف می‌پردازند.

تکتونیک (زمین‌ساخت) : زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک علم شناسایی و بررسی ساختارهای تشکیل‌دهندهٔ پوستهٔ زمین و علت به‌وجود آمدن آنهاست. زمین ساخت به مطالعه ساختار درونی زمین، چگونگی تشکیل رشته‌کوه‌ها، اقیانوس‌ها، گسل‌ها، چین‌خوردگی‌ها، زمین‌لرزه‌ها و دیگر رخدادهای سطح زمین می‌پردازد.

پترولوژی (سنگ‌شناسی) : شاخه‌ای از زمین‌شناسی است که در آن شیوهٔ تشکیل، منشأ، رده‌بندی و ترکیب سنگ‌ها بررسی می‌شود. فرایندهای دگرگونی، آتش‌فشانی، نفوذ توده‌های آذرین در

درون زمین و حتی بر روی ماه و دیگر سیاره‌ها در شاخهٔ سنگ‌شناسی آذرین و دگرگونی بررسی می‌شود.

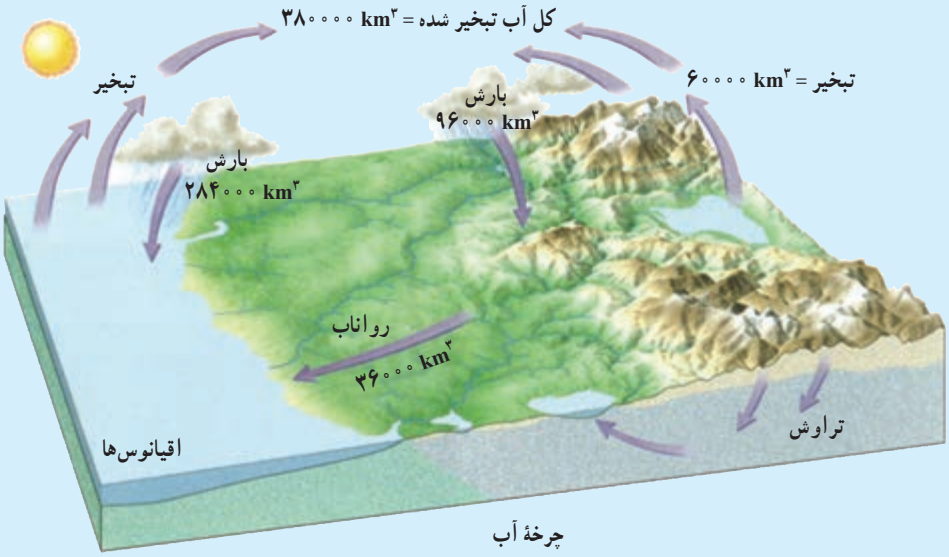
ژئوشیمی : این شاخه از زمین‌شناسی به پراکندگی عناصر در زمین و سیاره‌های دیگر، ترکیب کانی‌ها، سنگ‌ها و دیگر مواد زمین می‌پردازد و به دنبال پاسخی برای علت توزیع غیریکنواخت عناصر در زمین است.

ژئوفیزیک : زمین‌شناسان در مناطق قابل دسترس، به مشاهدهٔ مستقیم پدیده‌ها می‌پردازند. ولی برای مطالعهٔ ساختمان درونی زمین و شناسایی ذخایر و معادن زیرزمینی، از امواج لرزه‌ای، بررسی مغناطیس، مقاومت الکتریکی و شدت گرانش سنگ‌ها استفاده می‌شود. به شاخه‌ای از زمین‌شناسی که به مطالعهٔ این موارد می‌پردازد، ژئوفیزیک می‌گویند.

رسوب‌شناسی : مواد حاصل از فرسایش کوه‌ها توسط آب، باد و یخ به مناطق پست یا حوضه‌های رسوبی انتقال یافته و در آنجا بر روی هم انباشته می‌شوند و پس از سنگ شدن، به سنگ‌های رسوبی تبدیل می‌شوند. در رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، فرایندهای انتقال و ته‌نشینی و تبدیل رسوبات به سنگ‌های رسوبی مطالعه می‌شود.

دیرینه شناسی : دیرینه‌شناسان، زمین‌شناسانی هستند که با بررسی فسیل‌ها و دیگر شواهد موجود در سنگ‌ها و رسوبات، به دنبال یافتن اطلاعاتی دربارهٔ آب و هوای گذشته، تاریخچهٔ حیات، سرگذشت زمین از آغاز تا امروز و موجوداتی که در هر دوره می‌زیسته‌اند، می‌باشند.

بخش ۱



چرخهٔ آب

در اواسط قرن هفدهم، دانشمندان توانستند مقدار آب دریافتی زمین را به‌دقت اندازه‌گیری کنند و مقایسه‌ای میان مقدار آن، با مقدار آبی که در رودها جریان دارد به عمل آورند. این اندازه‌گیری‌ها نشان داد که زمین شاید ۵ برابر بیشتر از آنچه که در رودها جریان دارد، آب دریافت می‌کند. در این صورت، مسئله، پیچیده‌تر شد. «بقیه آب‌ها به کجا می‌رود؟»

آب، در حرکتی مداوم است و از هوا به زمین و از زمین به هوا می‌رود. به این حرکت دوره‌ای، **چرخهٔ آب** گفته می‌شود. همه ساله، حدود ۵۰۰ هزار کیلومترمکعب آب تبخیر می‌شود و به هوا می‌رود که در حدود ۸۶ درصد آن، از سطح اقیانوس‌هاست. بقیه، از سطح خاک، دریاچه‌ها و رودها به هوا برمی‌خیزد.

متجاوز از ۹۷ درصد ذخیرهٔ آب زمین دراقیانوس‌هاست و از ۳ درصد باقیمانده هم، مقدار زیادی در قطبین و به‌صورت یخ ذخیره است. مقدار آب‌های موجود در زیر زمین در مقایسه با آب‌های سطحی، بسیار زیادتر است. در این صورت، آبی که در اتمسفر وجود دارد، در مقایسه با بقیه بسیار اندک است، زیرا کم بودن ظرفیت هوا برای نگهداری بخار آب سبب کاهش آب در اتمسفر می‌شود.

ــ آب، وضع هوای زمین را تنظیم می‌کند. اگر آب وجود نداشت، دمای هوا در طول روز به بیش از ۱۰۰°C و در شب به کمتر از ۱۰۰°C– می‌رسید. در آن صورت اختلاف دمای فصل‌های مختلف و نیز تفاوت دمای نقاط قطبی و استوایی بسیار بیشتر می‌شد. آب‌ها بخشی از انرژی خورشید را جذب می‌کنند و وقتی هوا سرد باشد، این انرژی ذخیره شده به آهستگی آزاد می‌شود. این عمل همراه با اثر جریان‌های عمومی هوا کره در جابه‌جایی و اختلاط هوا، موجب تعدیل آب و هوای کلی زمین می‌شود.

ــ آب‌ها از طریق «فرسایش»، «حمل» و «رسوبگذاری» بیشترین تغییرات را در سطح زمین به‌وجود می‌آورند. آب‌ها به کمک دیگر عوامل طبیعی مثل باد، دائماً سنگ‌های سطح زمین را می‌فرسایند و آنها را در گودی‌های زمین ته‌نشین می‌کنند. این رسوبات سرانجام سنگ‌های رسوبی را به وجود می‌آورند.

ــ آبکره از نظر تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی، تولید انرژی و حمل ونقل، فراهم آوردن غذا و مواد معدنی، نقش مهمی در زندگی انسان دارد.

اکنون چرخهٔ آب را در ۳ قسمت، آب در هوا، آب در دریا و آب در خشکی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲ آب در هوا

بخار آب در هوا

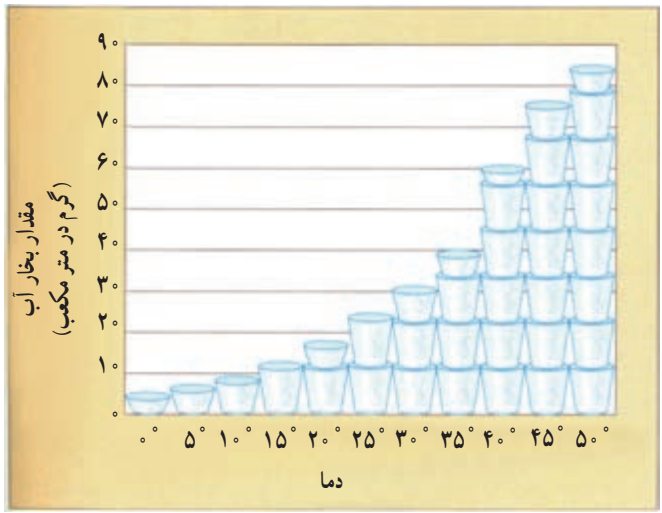
تقریباً در تمام نقاط زمین، هوا همیشه مقداری بخار آب همراه دارد و می‌توان گفت که هوای خشک عملاً وجود ندارد. ولی مقدار بخار آب موجود در هوا در نقاط مختلف، متفاوت است. آیا تاکنون در ماه‌های گرم سال به شهرهای سواحل خلیج‌فارس سفرکرده‌اید؟

آیا در مورد هوای شرجی اطلاعات و یا تجربه‌ای دارید؟ مسلماً هموطنان ما در استان‌های جنوبی و شمالی، که در نزدیک دریا زندگی می‌کنند، با این نوع آب و هوا آشنایی دارند.

شرجی بودن هوا به میزان بخار آب موجود در هوا و دمای محیط بستگی دارد. برای بیان وضعیت بخار آب موجود در هوا از دو اصطلاح **رطوبت مطلق** و **رطوبت نسبی** استفاده می‌کنند.

رطوبت مطلق : جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوا را، رطوبت مطلق می‌گویند.

باید توجه داشت که ظرفیت جذب بخار آب هوا محدود است و در هر دما، هوا قادر است مقدار مشخصی بخار آب را به خود جذب کند. به‌عنوان مثال مقدار رطوبت لازم برای اشباع هوا در چند دمای مختلف، در شکل ۱ــ۲ درج شده است. اعداد به‌خوبی نشانگر این واقعیت‌اند که هرچه دمای هوا بالاتر باشد، قابلیت جذب بخار آن نیز بیشتر می‌شود.



شکل ۱ــ۲ــ چه نوع رابطه‌ای میان افزایش دمای هوا و مقدار بخار آب اشباع وجود دارد؟

؟ چرا در زمستان‌ها روی قسمت داخلی شیشه‌های اتاق قطره‌های ریز آب می‌نشیند؟

رطوبت نسبی : رطوبت مطلق هوا برای بیان کیفیت هوا کافی نیست، زیرا گاهی در هوایی که رطوبت آن ۵ گرم در مترمکعب است، به‌آسانی تنفس می‌کنیم، حال آنکه ممکن است در دمای بالاتر، با رطوبت ۸ گرم در مترمکعب، احساس خشکی کنیم. برای بیان کیفیت هوا از نقطه نظر مقایسه آن با حالت اشباع، از اصطلاح رطوبت نسبی استفاده می‌کنند. برای به‌دست آوردن رطوبت نسبی از روش‌های زیر استفاده می‌شود :

۱ــ استفاده از رابطهٔ رطوبت نسبی :

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{رطوبت مطلق هوا}}{\text{رطوبت مطلق لازم برای اشباع هوا در آن دما}} \times ۱۰۰$$

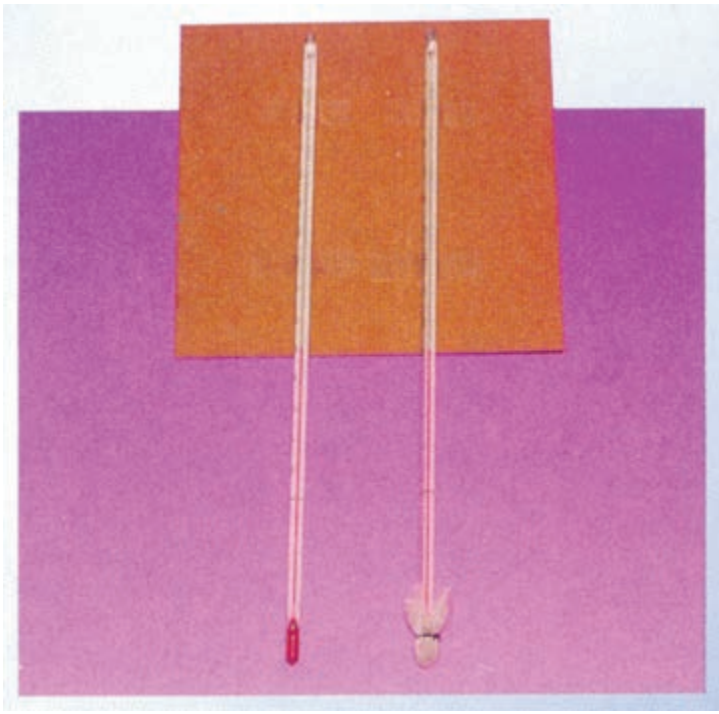
به‌عنوان مثال، اگر رطوبت مطلق هوایی در دمای ۳۵ درجه، ۱۰ گرم در مترمکعب باشد، با توجه به شکل ۱ــ ۲، رطوبت نسبی آن ۲۵ درصد خواهد شد :

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{۱۰}{۴۰} \times ۱۰۰ = \text{درصد } ۲۵$$

یعنی، مقدار رطوبت موجود در هوا، ۲۵ درصد مقدار رطوبت لازم برای اشباع آن است.

۲ــ استفاده از دماسنج تر و خشک : ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوا، استفاده از دو دماسنج مشابه است که در کنار هم قرار گرفته‌اند (شکل ۲ــ۲).

مخزن جیوه یکی از دو دماسنج را در پارچه‌ای می‌پیچند و پارچه را داخل ظرف آب قرار می‌دهند و به آن **دماسنج تر** می‌گویند. این دماسنج معمولاً دمای کمتری را نسبت به دماسنج دیگر (**دماسنج خشک**) نشان می‌دهد، زیرا آبی که از اطراف پارچه تبخیر می‌شود، مقداری گرما از مخزن می‌گیرد.



شکل ۲ــ ۲ــ دماسنج خشک و تر

فعالیت

ــ آیا می‌توانید بگویید در چه صورتی هر دو دماسنج یک دما را نشان می‌دهند؟

برای به دست آوردن رطوبت نسبی، ابتدا تفاضل دمای دماسنج خشک و دماسنج تر را به‌دست می‌آوریم. عدد حاصل نشان‌دهندهٔ شمارهٔ ستون و دمای دماسنج خشک نشان‌دهندهٔ ردیف در جدول صفحهٔ بعد می‌باشد. محل تلاقی ستون و ردیف مذکور رطوبت نسبی را نشان می‌دهد.

طرز تعیین رطوبت نسبی										
دمای دماسنج خشک	دمای دماسنج مرطوب									
	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱۰°C		۶	۱۵	۲۴	۳۴	۴۴	۵۵	۶۶	۷۷	۸۸
۱۱°C		۹	۱۸	۲۷	۳۶	۴۶	۵۶	۶۷	۷۸	۸۹
۱۲°C		۱۲	۲۱	۲۹	۳۹	۴۸	۵۸	۶۸	۷۸	۸۹
۱۳°C	۷	۱۵	۲۲	۳۲	۴۱	۵۰	۵۹	۶۹	۷۹	۸۹
۱۴°C	۱۰	۱۸	۲۶	۳۴	۴۲	۵۱	۶۰	۷۰	۷۹	۹۰
۱۵°C	۱۳	۲۰	۲۷	۳۶	۴۴	۵۳	۶۱	۷۱	۸۰	۹۰
۱۶°C	۱۵	۲۳	۳۰	۳۸	۴۶	۵۴	۶۳	۷۱	۸۱	۹۰
۱۷°C	۱۸	۲۵	۳۲	۴۰	۴۷	۵۵	۶۴	۷۲	۸۱	۹۰
۱۸°C	۲۰	۲۷	۳۴	۴۱	۴۹	۵۷	۶۵	۷۳	۸۲	۹۱
۱۹°C	۲۲	۲۹	۳۶	۴۳	۵۰	۵۸	۶۵	۷۴	۸۲	۹۱
۲۰°C	۲۶	۳۲	۳۹	۴۶	۵۳	۵۹	۶۸	۷۴	۸۳	۹۱
۲۱°C	۲۶	۳۲	۳۹	۴۶	۵۳	۶۰	۶۷	۷۵	۸۳	۹۱
۲۲°C	۲۸	۳۴	۴۰	۴۷	۵۴	۶۱	۶۸	۷۶	۸۳	۹۲
۲۳°C	۳۰	۳۶	۴۲	۴۸	۵۵	۶۲	۶۹	۷۶	۸۴	۹۲
۲۴°C	۳۱	۳۷	۴۳	۴۹	۵۶	۶۲	۶۹	۷۷	۸۴	۹۲
۲۵°C	۳۳	۳۹	۴۴	۵۰	۵۷	۶۳	۷۰	۷۷	۸۴	۹۲
۲۶°C	۳۴	۴۰	۴۶	۵۱	۵۸	۶۴	۷۱	۷۸	۸۵	۹۲
۲۷°C	۳۶	۴۱	۴۷	۵۲	۵۸	۶۵	۷۱	۷۸	۸۵	۹۲
۲۸°C	۳۷	۴۲	۴۸	۵۳	۵۹	۶۵	۷۲	۷۸	۸۵	۹۳
۲۹°C	۳۸	۴۳	۴۹	۵۴	۶۰	۶۶	۷۲	۷۹	۸۶	۹۳
۳۰°C	۳۹	۴۴	۵۰	۵۵	۶۱	۶۷	۷۳	۷۹	۸۶	۹۳

فعالیت

رطوبت نسبی کلاس خود را به‌دست آورید.

❓ اگر دمای دماسنج خشک و دماسنج تر به ترتیب ۲۸ و ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد باشد، رطوبت نسبی چنددرصد می‌باشد؟

❓ در فصل سرما، وقتی راننده‌ها ملاحظه می‌کنند که شیشه‌های اتومبیل از داخل «عرق کرده» است، یکی از شیشه‌ها را پایین می‌آورند تا بخار روی شیشه برطرف شود. علت چیست؟

نقطه شبنم : در بعضی روزها در صبح زود، بر روی برگ گیاهان و گلبرگ گل‌ها، قطرات ریز آب را می‌بینیم که به آن شبنم می‌گویند. درواقع بدون آنکه باران باریده باشد، زمین خیس است، علت تشکیل شبنم چیست؟

مقدار رطوبت لازم برای اشباع هوا در دماهای مختلف فرق می‌کند. فرض می‌کنیم که در ابتدای شب، دمای هوا ۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت مطلق آن ۱۲/۸ گرم در مترمکعب باشد. واضح است که چنین هوایی با توجه به شکل ۱ ــ ۲، اشباع نیست. در طول شب دما کاهش می‌یابد. هنگامی که دما به ۱۵ درجه سانتیگراد برسد، رطوبت موجود در هوا و رطوبت لازم برای اشباع آن در این دما برابر می‌شوند. بنابراین، هوا به حالت اشباع درمی‌آید.

دمایی را که در آن، رطوبت هوای غیراشباع به حالت اشباع درمی‌آید، **نقطه شبنم** می‌گویند که در مثال مورد نظر، این دما ۱۵ درجه سانتیگراد است. حال اگر دما از این حد هم کمتر شود، رطوبت موجود در هوا بیش از ظرفیت آن است و بنابراین مازاد آن به‌صورت مایع (شبنم) در جاهای سرد (مثل برگ گیاهان) می‌نشیند.

مه و ابر : ابر، مجموعه‌ای از قطرات خیلی ریز آب یا تکه‌های کوچک یخ است. برای تشکیل ابر، باید هوای مرطوب، سرد شود و دمای آن به پایین‌تر از نقطه شبنم برسد. با تشکیل قطرات آب یا تکه‌های یخ، این ذرات در هوا معلق می‌مانند و مجموعه آنها، ابرها را تشکیل می‌دهند.

عواملی چون مخلوط شدن هوای مرطوب با هوای سردتر، رفتن هوا به منطقه سردتر، سرد شدن هوا به علت باریدن قطرات باران سرد بر روی آن و یا انبساط فوری هوا باعث پایین آمدن دمای هوا می‌شوند.

از نظر کلی، ابر و مه تفاوتی ندارند، فقط مه در قسمت‌های پایین و ابر در نواحی بالا تشکیل می‌شود. ارتفاع مه در بعضی موارد بسیار کم است و در سطح زمین هم ممکن است تشکیل شود. به‌عنوان مثال، گردنه‌های مرتفع مثل گردنه‌های حیران در اردبیل، خوش ییلاق در حوالی شاهرود و گردنه ورسک در جاده فیروزکوه، در بیشتر مواقع مه‌آلود هستند.

قطر ذرات آب تشکیل دهنده ابر و مه از ۰/۰۲ میلیمتر تجاوز نمی‌کند. گرچه این قطرات با سرعت کم به سمت زمین حرکت می‌کنند، اما جریان هوای بسیار ضعیف هم آنها را مجدداً به سمت بالا می‌کشاند.

البته ممکن است این ذرات به توده‌ای از هوا برخورد کنند که دمای بالا و رطوبت کم داشته باشد، که در این صورت مجدداً به بخار آب تبدیل می‌شوند.

مشاهده و تفسیر کنید

تشکیل ابر

با انجام آزمایش سادهٔ زیر می‌توانید طرز تشکیل ابر را ببینید.

مقدار کمی آب در یک ظرف شیشه‌ای دهان گشاد و بزرگ بریزید. دهانهٔ ظرف را ببندید و آن‌را چند ساعت به همان حال بگذارید. سپس، کبریتی را روشن کنید و بعد شعله را با فوت خاموش کنید و کبریت را فوراً داخل شیشه ببرید و چند ثانیه در آنجا نگهدارید. دهانه شیشه را این‌بار، با لایه‌ای لاستیکی و نازک (مانند بادکنک) که به آسانی کش بیاید، محکم ببندید. پس از چند دقیقه، یکباره این لایه را بالا بکشید. آنچه را که اتفاق می‌افتد، تفسیر کنید. اگر دودی به داخل شیشه نمی‌فرستادید، آیا باز هم همان پدیده رخ می‌داد؟

اقسام ابر : ابرها در آسمان به شکل‌های مختلفی دیده می‌شوند، از نظر ارتفاع با هم تفاوت دارند و از نظر تولید برف و باران نیز متفاوت‌اند.

اصولاً ابرها را به سه دسته کلی لایه‌ای (استراتوس)، توده‌ای (کومولوس) و پر مانند (سیروس) تقسیم می‌کنند. ابری که مشخصات دو دسته از این ابرها را داشته باشد، به‌نام هر دو نامیده می‌شود. (مثل ابرهای سیرواستراتوس و سیروکومولوس)، از سوی دیگر، اگر ارتفاع تشکیل ابر بیش از ارتفاع معمولی ابرها باشد در جلو نام آن پیشوند آلتو قرار می‌دهند و اگر ابر قدرت بارندگی داشته باشد، در جلو نام آن کلمهٔ نیمبوس را به‌کار می‌برند.

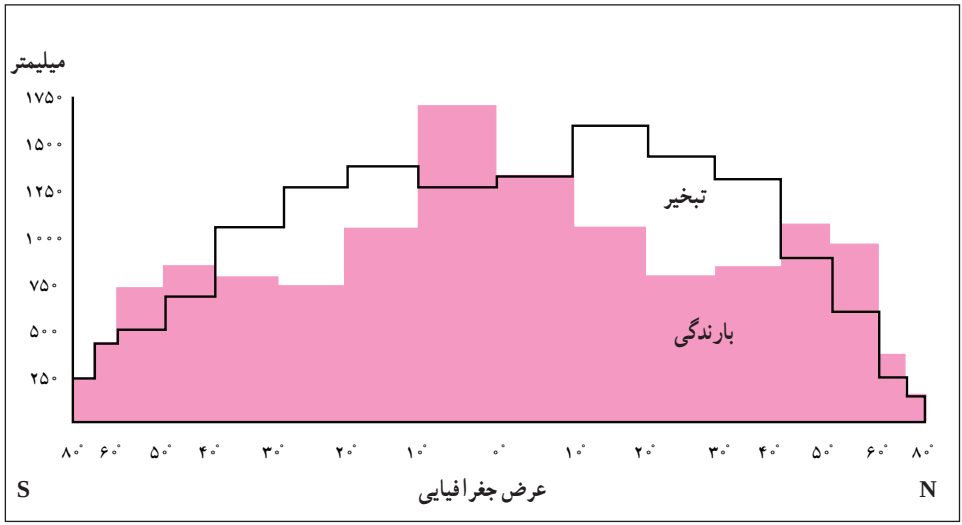
معمولاً بخار آب موجود در هوا، به‌طور مستقیم به باران تبدیل نمی‌شود. برای آنکه بارندگی رخ دهد، ذرات تشکیل‌دهندهٔ ابر باید به قدر کافی بزرگ و سنگین شوند تا بتوانند سقوط کنند. درنتیجه، برای ایجاد بارش‌های قابل توجه، باید قطرات و بلورهای داخل ابر، بر اثر برخورد و پیوستن به هم، به اندازهٔ کافی رشد کنند.

شکل ۳ــ ۲ ــ اقسام ابرها

وزن قطرات اولیه باران به هنگام سقوط ممکن است در اثر جمع شدن با سایر ذرات اضافه شده و قطرهٔ باران درشت‌تر شود. گاهی نیز ممکن است برعکس، در ضمن سقوط، قطرهٔ اولیه گرم شده و تمام یا قسمتی از آن تبخیر شود.

آب و هوا (اقلیم)

آب و هوا یا اقلیم هر منطقه، تابع دو عامل اصلی **دما** و **بارش** است. از آنجا که مقدار بارندگی، رطوبت و دمای هوا در قسمت‌های مختلف متفاوت است، در مناطق مختلف زمین، آب و هوای متفاوتی وجود دارد. در شکل۴ــ۲، میزان بارندگی و تبخیر در عرض‌های جغرافیایی مختلف نشان داده شده است. همانطور که در این شکل می‌بینید، مناطق کم باران در عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجهٔ شمالی و ۳۰ درجهٔ جنوبی واقع‌اند و در این نواحی، میزان تبخیر بیش از مقدار بارندگی است. از سوی دیگر، بادهای این مناطق خشک‌اند و می‌توانند رطوبت زیادی را جذب کنند. بیشتر بیابان‌های دنیا در این مناطق قرار دارند.



شکل ۴ ــ ۲ ــ مقدار بارندگی و تبخیر سالانه در عرض‌های جغرافیایی مختلف

در اطراف استوا، مقدار بارندگی بیشتر از میزان تبخیر است. این وضعیت در عرض‌های جغرافیایی ۴۰ تا ۵۰ درجه نیز دیده می‌شود. علت آن برخورد بادهای مخالفی است که از جانب قطب و منطقهٔ معتدله می‌وزند و در این مناطق جبهه‌های پربارانی را تشکیل می‌دهند.

۳ آب در دریا

اولین فضانوردانی که از فاصله‌های دور زمین را دیدند به آن نام «سیارهٔ آبی» دادند. زیرا بیشتر سطح زمین را آب پوشانده است. آب اقیانوس‌ها، دریاها و دریاچه‌ها، رودها، آب‌های زیرزمینی، توده‌های یخ و برف و حتی بخار آب موجود در هوا را که پوشش ناپیوسته‌ای از آب در سطح یا در نزدیک سطح زمین تشکیل داده‌اند مجموعاً «آب کره» می‌گویند.

اقیانوس‌ها

۹۷/۲ درصد حجم آب کرهٔ زمین در اقیانوس‌ها و دریاها ذخیره است. اقیانوس‌ها و دریاها از جهات مختلف در زمین‌شناسی اهمیت دارند. امواج اقیانوسی موجب تغییرشکل سواحل می‌شوند. جریان‌های اقیانوسی در تعدیل آب و هوای خشکی‌های مجاور مؤثرند. اقیانوس‌ها محل ته‌نشست نهایی بیشتر رسوباتی هستند که از خشکی‌های زمین حمل می‌شوند. بسیاری از سنگ‌هایی که امروزه قسمت‌های وسیعی از سطح خشکی‌ها را پوشانده‌اند از رسوبات دریایی تشکیل شده‌اند.

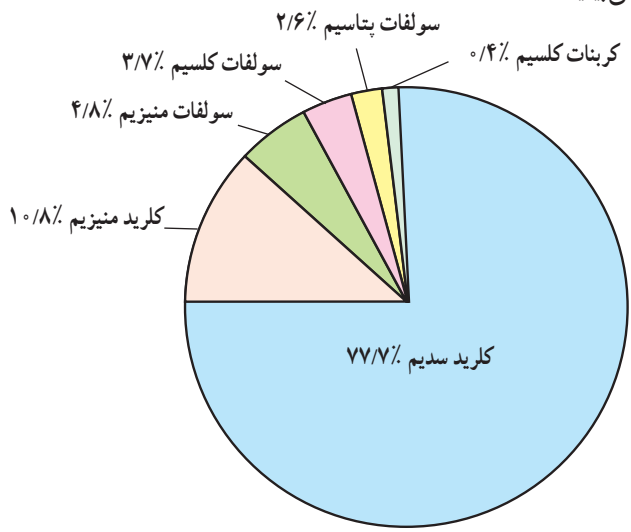
مطالعهٔ بستر اقیانوس‌ها در چند دههٔ اخیر، به روشن‌شدن وضعیت زمین‌شناسی سیاره ما کمک شایانی کرده است.

شکل ۱ ــ ۳ ــ اولین فضانوردانی که از فاصله‌های دور زمین را دیدند به آن نام «سیارهٔ آبی» دادند.

ویژگی‌های آب دریا

گرچه ممکن است خصوصیات آب دریا بطور محلی تغییرات چندانی نشان ندهد، ولی در مقیاس وسیع، این تغییرات زیاد است. گذشته از نوع جانداران، آب دریا از نظر ترکیب، شوری، گازهای محلول، دما، چگالی و میزان ذرات معلق تغییر می‌کند.

املاح : تقریباً تمام عناصر موجود در پوستهٔ زمین هرچند به مقدار ناچیز، در آب اقیانوس‌ها هم یافت می‌شود. آدمی از هزاران سال قبل می‌دانست که اگر آب دریا را تبخیر کند یا بجوشاند، مقداری نمک‌های مختلف به دست می‌آورد و از همین راه نمک خوراکی خود را تأمین می‌کرد. اگر یک لیتر آب دریا تبخیر شود، بطور متوسط حدود ۳۴/۵ گرم نمک به‌جای می‌ماند. فراوانی نمک‌های مختلف آب دریا را در جدول زیر می‌بینید.



شکل ۲ ــ۳ ــ نمودار درصد املاح فراوانتر آب دریا

مقدار نمک‌های محلول در آب اقیانوس‌ها را معمولاً برحسب گرم بر کیلوگرم آب بیان می‌کنند و به آن «درجهٔ شوری» می‌گویند. بنابراین، شوری متوسط آب اقیانوس‌ها ۳۴/۵ گرم بر کیلوگرم است.

؟ درجهٔ شوری آب خلیج فارس ۴۰ گرم بر کیلوگرم است. چگونه آن را توجیه می‌کنید؟ به نظر شما درجهٔ شوری چه مناطقی باید از مقدار متوسط آن کمتر باشد؟ برای گفته خود دلیل بیاورید.

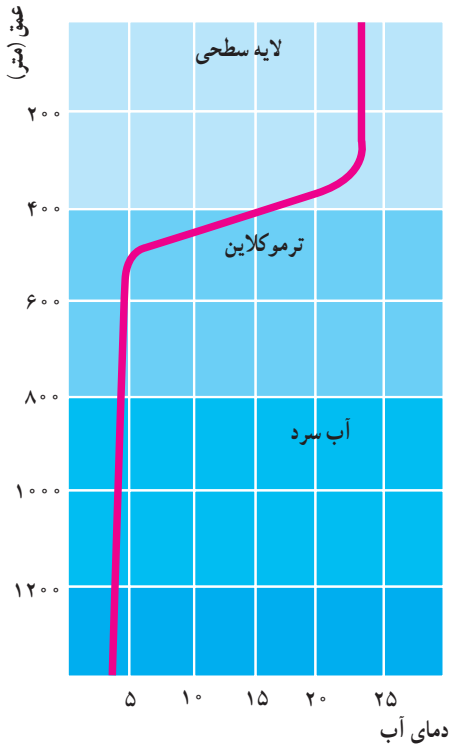
؟ برای به‌دست آوردن ۶۲ گرم نمک طعام از آب خلیج فارس، به تبخیر حدود چند کیلوگرم آب نیاز است؟

امروزه علاوه بر نمک طعام، عناصری چون منیزیم و برم را هم از آب دریا به دست می‌آورند،

منیزیم با چگالی نسبتاً کم خود در هواپیماسازی، و برم در تهیهٔ محصولات عکاسی کاربرد دارد.

گازها : گازها هم مانند مواد جامد در آب دریا یافت می‌شوند و در این میان اکسیژن و دی‌اکسیدکربن مهمتر از بقیه‌اند. وجود این گازها برای جانداران ساکن آب اهمیت بسیار دارد. تمام جانوران باید اکسیژن آزاد به دست آورند تا تنفس کنند. وقتی که ماهی‌ها و سایر جانوران آبزی اکسیژن محلول درآب را مورد استفاده قرار می‌دهند، اکسیژن اتمسفری جانشین آن می‌شود. به علت فرآیند فتوسنتز گیاهان و جلبک‌های فراوان موجود در سطح آب، مقداری اکسیژن از آب وارد هوا می‌شود. درضمن، جریان‌های دریایی، اکسیژن را از سطح به عمق آب می‌برند.

فقط مقدار کمی از دی‌اکسیدکربن آب اقیانوس به صورت مولکول CO_2 باقی می‌ماند. مقدار زیادی از این گاز با آب واکنش کرده، به صورت یون‌های کربنات $(CO_3)^{-2}$ و بیکربنات $(HCO_3)^{-}$ در می‌آید. از آنجا که توانایی آب در نگهداری چنین یون‌هایی زیاد است، اقیانوس‌ها نسبت به اتمسفر مقدار بیشتری دی‌اکسیدکربن و اکسیژن دارند. همچنین، آب سرد در مقایسه با آب گرم توانایی زیادتری در نگهداری گازها و یون‌های آن دارد.



شکل ۳ــ۳ــ تغییرات دمای آب متناسب با عمق

دما : در دریاهای باز، دمای سطحی آب از حدود ۳- درجه سانتیگراد در نواحی قطبی تا ۳۲+ درجه سانتیگراد در مناطق استوایی می‌رسد.

عامل اصلی گرم کننده آب دریا اشعه خورشید است که تا عمقی متجاوز از صدمتر در آب دریا نفوذ می‌کند و بیشتر گرمای آن در نزدیکی سطح آب جذب می‌شود. درضمن، جریان‌های دریایی با جابه‌جاکردن آب‌های سرد و گرم دما را در نواحی مختلف و اعماق متفاوت تاحدی متعادل می‌سازند.

برخلاف لایه‌های سطح آب که دمایی تغییرپذیر دارد، در عمق بیشتر از ۵۰۰ متر، دمای آب ثابت و معادل ۴ درجهٔ سانتیگراد است. به افت ناگهانی دما از ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد در آب‌های سطحی مناطق استوایی به ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در عمق بیش از ۵۰۰ متر، **ترموکلاین** می‌گویند. به‌طوری که مثلاً حتی در آب‌های گرم استوایی دما یکباره از ۳۲ به ۴ درجهٔ سانتیگراد می‌رسد.

فشار : فشار آب با افزایش عمق، زیاد می‌شود. در مقابل هر ده متر عمق، یک اتمسفر بر فشار آب اضافه می‌شود. با این ترتیب، در نقاط عمیق اقیانوس، فشار بسیار زیاد است.

بیشتر بدانید

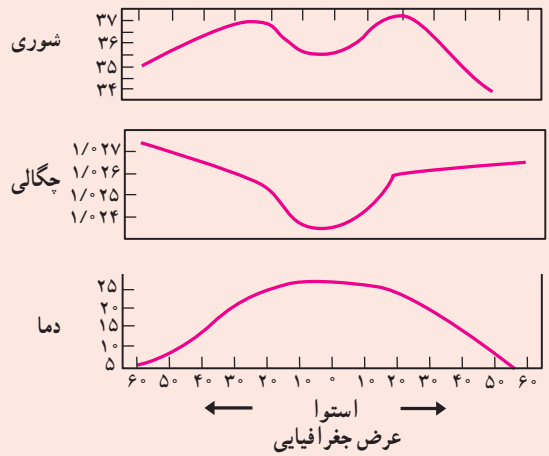
سفر به ژرفای اقیانوس‌ها

اکتشافات در بستر دریاها و کشف اسرار آن ابتدا به وسیلهٔ غواصان انجام می‌گرفت. لباس‌های سنگین و کلاه‌های آهنی، این غواصان را در برابر فشارهای زیاد آب محافظت می‌کرد. امروزه دانشمندان قادرند با استفاده از سفینه‌ها یا زیردریایی‌های کوچک به عمیقترین بخش‌های اقیانوس‌ها سفر کنند. انواع مختلفی از این‌گونه سفینه‌ها وجود دارد. برخی چند و بعضی یک مسافر را می‌تواند با خود پایین ببرد و پاره‌ای نیز بدون سرنشین‌اند و از سطح دریا کنترل می‌شوند. از این وسایل برای عکسبرداری، مشاهدهٔ مستقیم، نمونه‌برداری از رسوبات، تعمیر سازه‌های زیرآبی، حتی یافتن کشتی‌های غرق شده و پیداکردن جواهرات گم شده در اعماق اقیانوس‌ها استفاده می‌شود. برخی از این وسایل برای سفر به ژرفترین نقاط اقیانوسی طراحی شده‌اند. گودال ماریانا (ژرفترین نقطه در اقیانوس‌ها به ژرفای بیش از ۱۱ کیلومتر) با یکی از همین وسایل مورد مطالعه قرار گرفته است. در سال ۱۹۶۰ نیز دونفر توانستند به کف گودال چالنجر (به عمق بیش از ۱۰۹۰۰ متر)، در غرب اقیانوس آرام برسند. فولادی که برای ساختن کابین این دستگاه به کار رفت به ضخامت ۱۵ سانتیمتر بود.

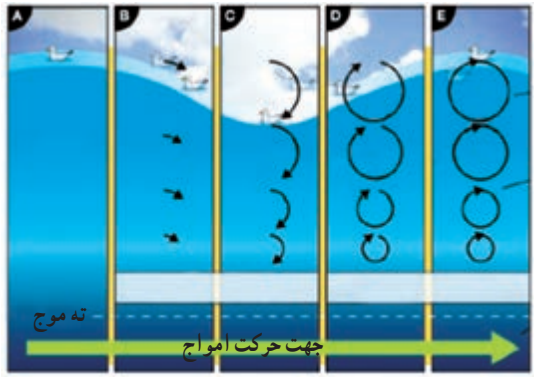
چگالی : چگالی آب دریاها به عوامل مختلفی مثل شوری، دما و مقدار مواد معلق در آن بستگی دارد. هرچه آب شورتر، سردتر و دارای مواد معلق بیشتری باشد چگالتر است.

مقایسه کنید

منحنی‌های مقابل تغییرات شوری، چگالی و دما را در آب‌های سطحی اقیانوس اطلس از ۶۰ درجهٔ شمالی تا ۶۰ درجهٔ جنوبی نشان می‌دهند. بین منحنی‌ها چه رابطه‌ای وجود دارد؟



حرکات : آب اقیانوس‌ها و دریاها دائماً درحال حرکت است. این حرکت علل مختلفی دارد که از میان آنها می‌توان اثر باد (موج)، نیروی گرانشی ماه و خورشید (جزر و مد)، را نام برد. حرکات آب دریاها در تغییر شکل پوسته زمین، تغییرات اقلیمی نقاط مختلف زمین و تولید منابع غذایی دریایی اهمیت فراوانی دارد. مهمترین حرکت‌های آب دریا عبارتند از : امواج و جریان‌های دریایی سطحی و عمقی.



شکل ۴ ــ ۳ ــ حرکت ذرات آب و تشکیل موج

امواج : موج آب عبارت از حرکت منظم ذرات آب به طرف بالا و پایین است که به صورت چین‌هایی در سطح آب دیده می‌شود. وقتی که باد بر سطح آب می‌وزد، در اثر اصطکاک این‌دو باهم، چین‌هایی در سطح آب پدید می‌آید که در جهت حرکت باد پیوسته به جلو رانده می‌شود. وقتی که موجی از سطح آب می‌گذرد، ذرات آب در قسمت سطحی حرکت دایره مانندی انجام می‌دهند. قطر دایره‌ها با افزایش عمق کاهش می‌یابد و در عمقی معادل نصف طول موج، ذرات آب تقریباً دیگر حرکتی ندارند.

طوفان‌های شدید می‌توانند امواجی با طول و ارتفاع زیاد ایجاد کنند که در این صورت آب دریاها تا عمق زیادی دارای حرکت خواهد شد.

جریان‌های اقیانوسی : عوامل مختلفی موجب می‌شوند که توده‌های آب در امتداد سطح یا در عمق اقیانوس‌ها به حرکت درآیند. این گونه حرکات آب را جریان‌های سطحی و عمقی می‌خوانند.

جریان‌های سطحی : عامل مهم جریان‌های سطحی اقیانوس‌ها، بادهای عمومی کرهٔ زمین‌اند. زمانی که باد در امتداد سطح آب می‌وزد، علاوه بر تولید موج، می‌تواند آب‌های سطحی را به آهستگی به‌جلو براند و جریان اقیانوسی ایجاد کند. این جریان‌ها وسعت بسیار ولی معمولاً عمق کمی دارند. در ایجاد جریان‌های سطحی اقیانوسی عوامل دیگری از قبیل حرکت وضعی زمین، اختلاف چگالی آب و شکل بستر اقیانوس‌ها نیز مؤثرند.

بعضی از جریان‌های دریایی مانند **گلف استریم**، آب‌های گرم مناطق استوایی را به عرض‌های بالاتر و بعضی دیگر مانند **لابرادور** آب‌های سرد قطبی را به عرض‌های پایینتر می‌برند.

شکل ۵ ــ ۳ ــ جریان‌های دریایی گرم و سرد در اقیانوس‌های جهان

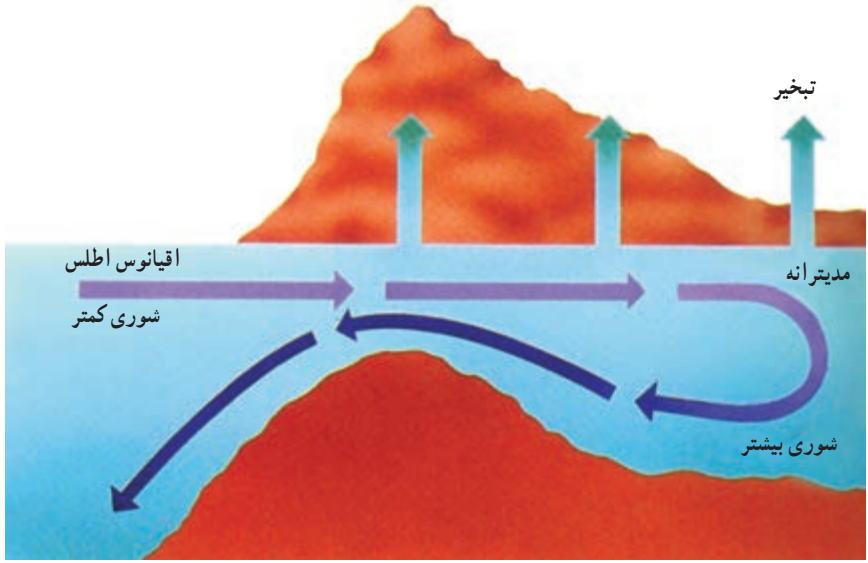
؟ اگر جریان‌های سطحی اقیانوس‌ها وجود نداشتند چه تغییری در اقلیم کرهٔ زمین به وجود می‌آمد؟

جریان‌های عمیق : چنانکه دیدیم، چگالی آب دریاها و اقیانوس‌ها به علت تغییر دما، شوری و میزان مواد معلق موجود در آنها در نقاط مختلف متفاوت است. اختلاف چگالی آب اقیانوس‌ها درنقاط مختلف، موجب جابه‌جایی آب و تشکیل جریان‌های قائم می‌شود.

جریان‌های تنگه جبل‌الطارق (بین مدیترانه و اقیانوس اطلس) بهترین نمونه جریان‌های حاصل از اختلاف چگالی است. در این دریای گرم، میزان تبخیر بیشتر از میزان بارندگی یا آبی است که از راه رودها وارد آن می‌شود. به‌همین علت، میزان شوری آب در دریای مدیترانه بیشتر از اقیانوس اطلس است (میزان شوری اقیانوس اطلس ۳۵ و دریای مدیترانه ۳۹ گرم در کیلوگرم است).

؟ اگر دریای مدیترانه از راه تنگه جبل‌الطارق با اقیانوس اطلس در ارتباط نبود، چه پدیده‌ای رخ می‌داد؟

این اختلاف سبب می‌شود آب‌های شور و سنگین دریای مدیترانه در امتداد کف تنگه حرکت کنند و در آب‌های سبکتر اقیانوس اطلس فرورند. همزمان با آن، آب‌های سبکتر اقیانوس اطلس به مدیترانه جریان می‌یابند و جانشین آب‌های شوری می‌شوند که از آن خارج شده‌اند.



شکل ۶ ــ ۳ ــ آب بسیار شور دریای مدیترانه در مقایسه با آب اقیانوس، جریان عمقی ویژه‌ای پدید می‌آورد.

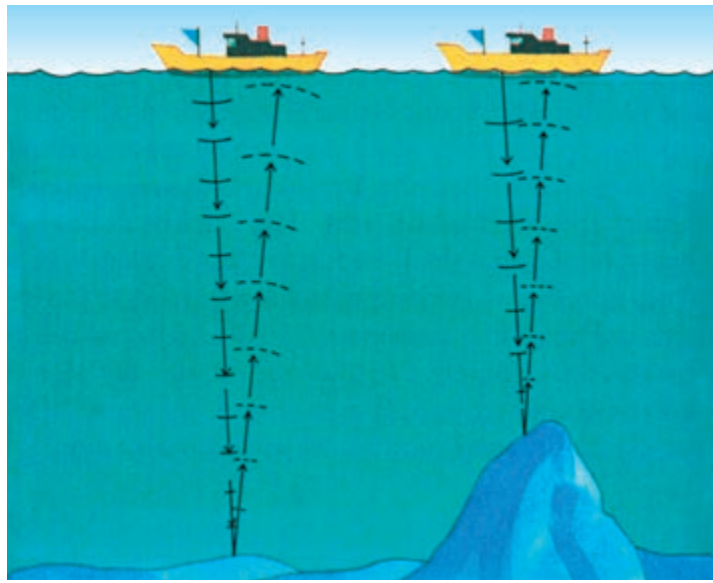
راه دیگر برای به‌وجود آمدن این‌گونه جریان‌ها، سردشدن آب است. مثلاً آب‌های سرد نواحی قطب شمال و جنوب در اقیانوس اطلس به علت سنگینی به عمق می‌روند و آب‌های نواحی عمیق این اقیانوس به سمت مناطق گرمتر حرکت می‌کنند. وجود این نوع جریان‌ها برای جانداران دریازی بسیار مهم است، زیرا به همراه آبی که به سوی اعماق دریا می‌رود مقدار زیادی اکسیژن محلول وجود دارد. درضمن، هنگامی که آب‌ها از عمق به سطح می‌آیند، مقدار زیادی ترکیبات نیترات و فسفات‌دار به‌همراه می‌آورند. پلانکتون‌های گیاهی که خود اولین زنجیره غذایی دریاها را تشکیل می‌دهند به این مواد نیاز فراوانی دارند.

نوعی دیگر از جریان‌های مربوط به اختلاف چگالی، مخلوط شدن گل و لای با آب دریاست که در مناطق حاشیهٔ قاره‌ها صورت می‌گیرد. طبعاً آب گل‌آلود از آب صاف سنگین‌تر است و در زیر آب‌های سبک‌تر جریان پیدا می‌کند. این قبیل جریان‌ها را معمولاً در نقاطی می‌توان یافت که رودی گل‌آلود وارد دریایی آرام می‌شود و یا رسوبات نزدیک لبه فلات قاره براثر زلزله به لرزش درآیند و در شیب قاره حرکت کنند.

؟ به علت فراوانی ماهی در سواحل کشور پرو در امریکای جنوبی، این کشور یکی از بزرگترین صادرکنندگان ماهی به‌شمار می‌آید، آیا می‌توانید دلیلی برای این پدیده پیدا کنید؟

شکل‌شناسی بستر اقیانوس‌ها

تا چند دهه قبل اطلاعات زیادی از شکل بستر اقیانوس‌ها در دست نبود. در گذشته برای اندازه‌گیری عمق اقیانوس‌ها از ریسمان و وزنه استفاده می‌شد که کاری بس سخت و خسته‌کننده بود و به همین جهت اطلاعات کمی از این راه به دست می‌آمد. اما از اواسط قرن بیستم میلادی با استفاده از دستگاه‌هایی که زمان رفت و برگشت امواج صوتی را از سطح تا کف دریا به آسانی تعیین می‌کرد، دانشمندان توانستند ژرفای آب اقیانوس‌ها را در هر نقطه به آسانی و به سرعت اندازه‌گیری کنند. به‌این ترتیب نقشهٔ بستر اقیانوس‌ها تهیه شد. همچنین با استفاده از زیردریایی‌های تحقیقاتی، بهره‌گیری از وسایل نمونه‌گیری و دستگاه‌های حفاری پیشرفته اطلاعات با ارزشی از رسوبات و سنگ‌های بستر اقیانوس‌ها به‌دست آمد (شکل ۷ــ۳).



شکل ۷ ــ ۳ ــ اندازه‌گیری و ثبت ژرفای آب اقیانوس‌ها. علائم صوتی تولید شده در کشتی پس از برخورد و بازتاب، به وسیله گیرنده‌های موجود در کشتی دریافت می‌شود. با معلوم بودن سرعت صوت در آب و اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت امواج صوتی، ژرفای آب قابل محاسبه است.

مطالعات و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که بستر اقیانوس‌ها مانند سطح خشکی‌ها دارای پستی و بلندی‌ها و عوارض متنوعی است که به ترتیب از ساحل به سمت پشتهٔ اقیانوسی عبارتند از : فلات قاره، شیب قاره، خیز قاره، دشت مغاکی و پشتهٔ اقیانوسی.

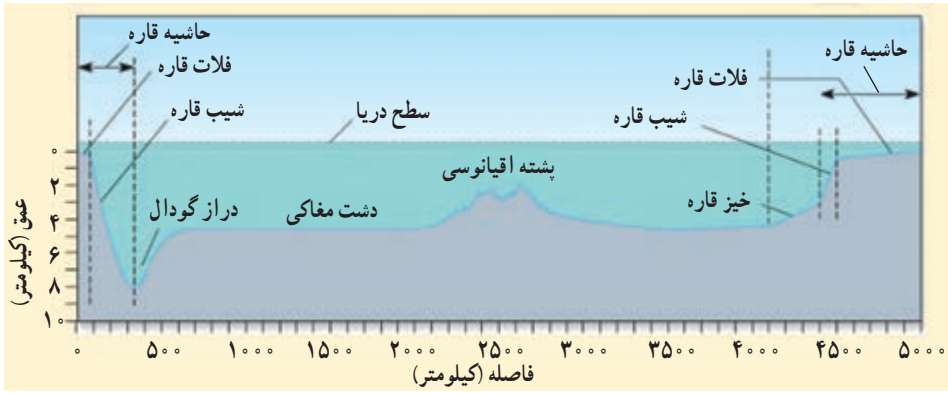
فلات قاره : به بخش کم‌شیب حاشیهٔ قاره‌ها گفته می‌شود که از خط ساحلی تا شیب قاره ادامه دارد. این بخش بیشتر از لایه‌های رسوبی ضخیم ساخته شده است. این رسوب‌ها حاصل فرسایش خشکی‌های مجاورند که در زمان‌های طولانی روی هم انباشته شده است. حداکثر عمق فلات قاره در نقاط مختلف، متفاوت است. ولی معمولاً عمق ۲۰۰ متر را برای آن درنظر می‌گیرند. فلات قاره در اطراف برخی قاره‌ها دارای پهنای زیاد و در برخی مناطق، بسیار باریک است. این بخش اگرچه توسط آب پوشیده شده است، ولی از نظر زمین‌شناسی جزء قاره محسوب می‌شود. آن بخش از ذخایر نفتی دنیا که در دریاها قرار دارند، در این بخش واقع شده‌اند.

شیب قاره : به بخش نسبتاً پرشیب‌تر از بستر اقیانوس که از فلات قاره تا خیز قاره ادامه دارد، شیب قاره می‌گویند. بنابراین حد زمین‌شناسی حوضه‌های اقیانوسی، خط ساحلی نیست، بلکه شیب قاره است. به مجموع فلات قاره و شیب قاره، حاشیهٔ قاره می‌گویند.

خیز قاره : در دامنهٔ شیب قاره نیز معمولاً منطقه‌ای با شیب نسبتاً آرام به نام خیز قاره وجود دارد که شیب قاره را به دشت مغاکی متصل می‌کند.

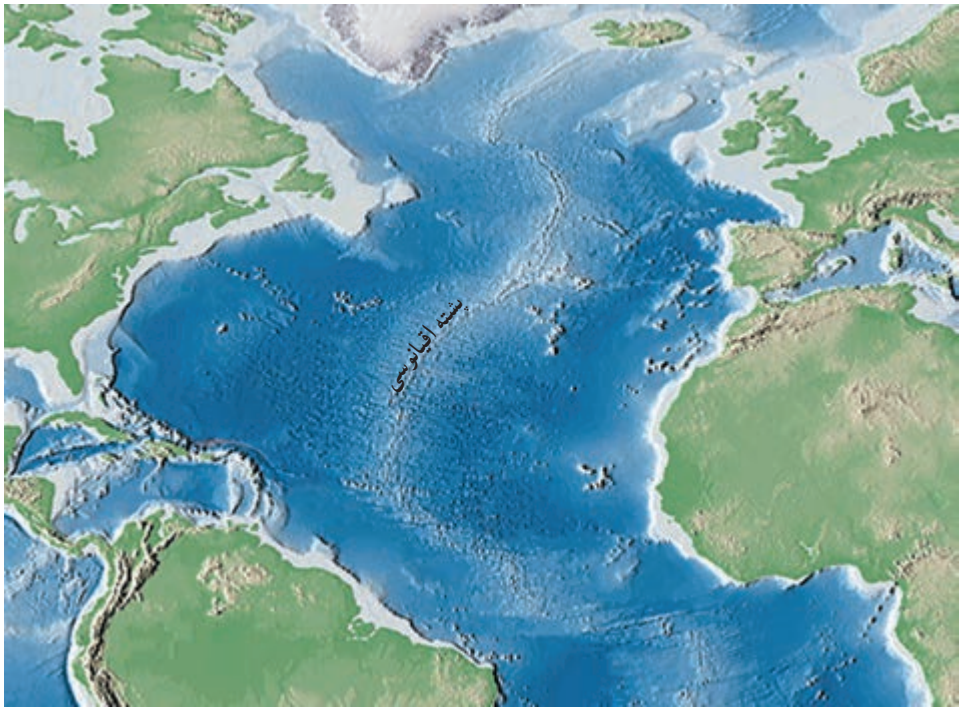
البته در حاشیهٔ برخی اقیانوس‌ها مانند اقیانوس آرام، شیب قاره به گودال‌های عمیقی که به موازات حاشیهٔ قاره امتداد دارند، منتهی می‌شوند. این گودال‌ها را دراز گودال اقیانوسی می‌گویند. مانند درازگودال ماریانا به عمق حدود ۱۱۰۰۰ متر در غرب اقیانوس آرام که عمیق‌ترین بخش شناخته شدهٔ کرهٔ زمین است.

دشت مغاکی : به مسطح‌ترین و عمیق‌ترین بخش حوضهٔ اقیانوسی دشت مغاکی می‌گویند.



شکل ۸ ــ۳ ــ برشی فرضی از بستر اقیانوس

پشته‌های اقیانوسی : به رشته کوه‌های خطی و طویل کف اقیانوس‌ها، پشتهٔ اقیانوسی می‌گویند. این رشته‌کوه‌های مرتفع زیردریایی شکل متقارنی داشته و در امتداد محور مرکزی آنها، دره‌های عمیقی وجود دارد. محل پشته‌های اقیانوسی، فعالیت‌های آتش‌فشانی و زمین‌لرزه‌ای، فراوان است. به عنوان مثال می‌توان به پشتهٔ اقیانوسی اطلس اشاره نمود.



شکل ۹ ــ۳ــ پشتهٔ اقیانوسی در اقیانوس اطلس

۴ آب در خشکی

آب‌های جاری

گرچه مقدار آبی که هر لحظه در روی زمین جریان دارد در مقایسه با حجم آب کره بسیار ناچیز است، ولی بسیاری از تغییرات سطح زمین توسط همین آب‌ها انجام می‌گیرد. آب‌های جاری از نظر تأمین آب مصرفی انسان، در کشاورزی، صنعت، تولید نیروی الکتریسیته ارزان، ماهیگیری، کشتی‌رانی و به عنوان مرزهای طبیعی و ... اهمیت خاصی دارند.

بخشی از باران را که در سطح زمین به سوی مناطق پست‌تر جاری می‌شود «رواناب» می‌گویند. عوامل مختلفی بر میزان رواناب حاصل از یک بارندگی مؤثر است.

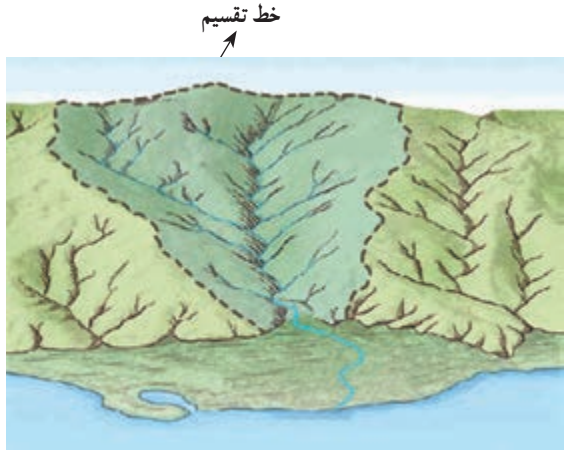
؟ تحقیق کنید چه عواملی بر مقدار رواناب تأثیر دارند؟

گیاهان حرکت آب را کند می‌کنند و سبب نفوذ آب بیشتری به زمین می‌شوند. بعضی از انواع خاک‌ها مقدار رواناب را کاهش می‌دهند. اگر خاک متراکم نباشد یا گیاخاک فراوانی داشته باشد آب به‌آسانی در آن نفوذ می‌کند.

حوضه آبریز

بدنه اصلی هر رودخانه مرکب از تعدادی رودهای کوچک است و این رودها هریک به نوبه خود از انشعابات کوچکتری تشکیل شده‌اند که رواناب‌ها قسمت اعظم آب آنها را تأمین می‌کنند. همهٔ شاخه‌ها و انشعابات یک رود، به صورت یک مجموعه، موجب تخلیه یا زهکشی آب از سطح زمین می‌شوند.

منطقه‌ای که به وسیله یک رود و شاخه‌های آن زهکشی می‌شود «حوضه آبریز» نام دارد. در واقع برای هریک از انشعابات رود نیز می‌توان یک حوضه آبریز در نظر گرفت. خطی که یک حوضه آبریز را از حوضه مجاور جدا کند **خط تقسیم** نامیده می‌شود (شکل ۱ــ۴).



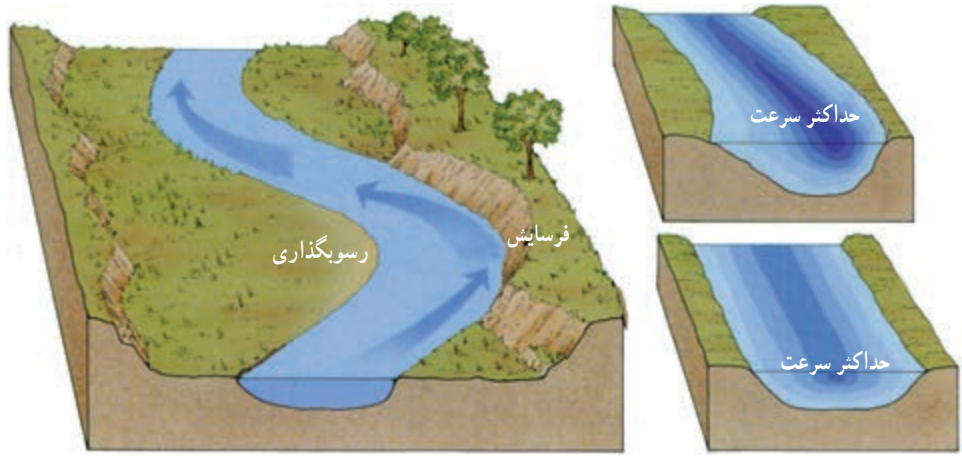
شکل ۱ ــ۴ــ مسیری که رود در حوضهٔ آبریز می‌پیماید.

سرعت آب

سرعت آب، یعنی فاصله‌ای که هر ذرهٔ آب در واحد زمان طی می‌کند، در نقاط مختلف یک رودخانه در طول یا عرض و عمق آن متغیر است.

در مقطع یک رودخانه مستقیم، بیشترین سرعت جریان آب در وسط و نزدیک سطح آب است ولی نزدیک کف و دیواره‌ها، به علت اصطکاک آب با بستر و دیواره‌ها، سرعت آب به میزان حداقل است. علت کاهش ناچیز سرعت در سطح آب نیز اصطکاک آن با هوا است. وقتی مسیر رودخانه دارای انحنا باشد، بیشترین سرعت از وسط رودخانه به طرف دیواره مقعر آن منتقل می‌شود (شکل ۲ــ۴).

چه عواملی تعیین کننده سرعت رودند؟



شکل ۲ ــ۴ ــ تفاوت در سرعت آب، بر تخریب جانبی بستر تأثیر دارد.

آبدهی

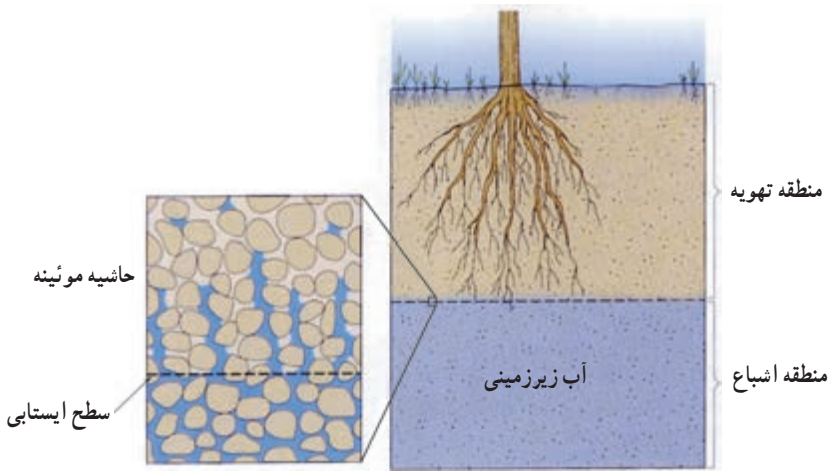
حجم آبی که در واحد زمان از مقطع عرضی یک رودخانه عبور می‌کند آبدهی «دبی» خوانده می‌شود که آن را معمولاً به متر مکعب در ثانیه بیان می‌کنند.

- حجم آبی که در مدت ۵ دقیقه از مقطع عرضی رودخانه با آبدهی ۲ متر مکعب در ثانیه عبور می‌نماید را محاسبه کنید.
- آیا آبدهی یک رود در تمام مناطق آن ثابت است؟
- مقدار بارندگی سالیانه یک حوضه آبریز را چگونه محاسبه می‌کنند؟
- چه عواملی بر آبدهی یک رود اثر دارند؟

آب زیرزمینی

بخش بزرگی از آب مورد استفاده انسان از زیرزمین تأمین می‌شود. حجم آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری، گرچه فقط حدود ۰/۳ درصد آب کره را تشکیل می‌دهد، ولی همین مقدار، بزرگترین ذخیره آب شیرین قابل بهره‌برداری در سطح خشکی‌های زمین است (با فرض بر آنکه تمام باران به زمین نفوذ کند). به همین جهت امروزه بهره‌برداری از آب زیرزمینی، به ویژه در کشور ما که با کمبود آب‌های سطحی مواجه است، برای مصارف مختلف گسترش زیادی یافته است.

آب زیرزمینی بخشی از منافذ خالی سنگ‌ها و خاک‌ها را در زیرزمین اشغال می‌کند. آب زیرزمینی نیز مانند رودها و دیگر عوامل طبیعی با فرسایش سنگ‌ها، جابه‌جایی مواد حاصل و ته‌نشینی آنها در نقاط دیگر، در تغییر شکل سطح و بخش‌های خارجی زمین دخالت می‌کنند.



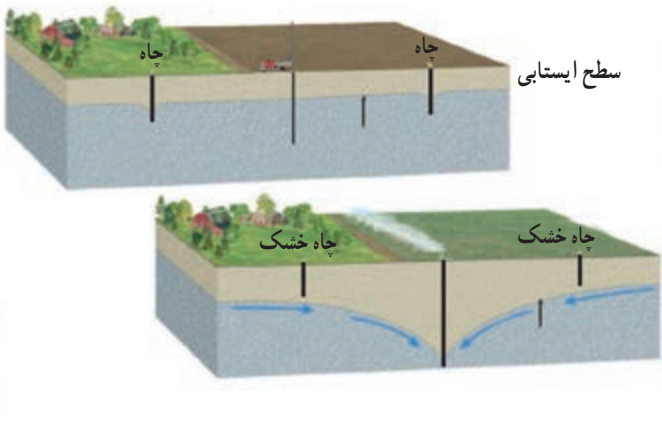
شکل ۳ ــ ۴ ــ توزیع آب زیرزمینی در خاک

سطح ایستابی

پس از هر بارندگی، براثر نفوذ آب‌های سطحی قسمتی از آب به زمین نفوذ می‌کند. بخشی از آب نفوذی، به علت وجود نیروهای جاذبه مولکولی، در فضاهای خالی خاک‌ها و سنگ‌ها و چسبیده به ذرات خاک یا سنگ باقی می‌ماند. در نتیجه، منطقه‌ای در بالا به‌وجود می‌آید که در آن منافذ خالی، هم با آب و هم با هوا پر شده است. این منطقه را اصطلاحاً «منطقه تهویه» می‌گویند.

بخشی از آب نفوذی نیز از لابه‌لای منافذ خاک و سنگ به راه خود به طرف پایین ادامه می‌دهد، تا جایی که تمام فضاهای خالی از آب پر شود. این منطقه «منطقه اشباع» خوانده می‌شود. سطح فوقانی منطقه اشباع را، اگر با لایه نفوذناپذیری محصور نشده باشد، «سطح ایستابی» می‌گویند (شکل ۳ ــ ۴).

موقعیت سطح ایستابی در هر محل به عوامل مختلفی وابسته است. معمولاً سطح ایستابی در نقاط مرتفع و دامنه کوه‌ها در عمق بیشتر و در دره‌ها و نقاط پست در عمق کمتر قرار دارد. سطح ایستابی، در برخی از نقاط استان پرباران گیلان نزدیک به سطح زمین و در بعضی نقاط خشک مرکز ایران در اعماق بیش از ۱۰۰ متر قرار دارد. در نقاط پست، سطح ایستابی به علت تغییرات عواملی چون میزان بارش سالانه و فصلی، و میزان نفوذ آب به زمین (تغذیه) تغییرات میزان بهره‌برداری و عوامل دیگر در طول زمان نیز در حال نوسان است (شکل ۴ــ۴).



دکل حفاری چاه آب

شکل ۴ ــ ۴ ــ بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی

تخلخل و نفوذپذیری

برای تشکیل منبع آب زیرزمینی، لازم است که سنگ‌ها و رسوبات دارای فضاهای خالی باشند. این فضاهای خالی، یا مانند منافذ یک رسوب رودخانه‌ای از ابتدای تشکیل در آن وجود داشته (منافذ اولیه)، یا پس از تشکیل سنگ بر اثر شکستگی، هوازدگی، انحلال و غیره در آن به‌وجود آمده‌اند (منافذ ثانویه). مقدار فضاهای خالی یک رسوب یا سنگ را با اصطلاح «تخلخل» بیان می‌کنند.

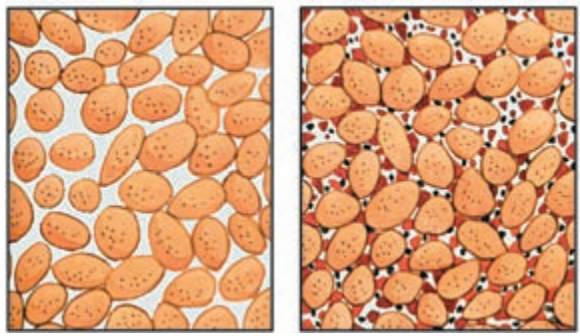
تخلخل عبارت است از حجم فضاهای خالی یک نمونه سنگ یا رسوب به حجم کل آن، که معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود.

$$\text{تخلخل} = \frac{\text{حجم فضاهای خالی}}{\text{حجم کل}} \times ۱۰۰$$

تخلخل در رسوبات و سنگ‌ها به عوامل مختلفی مانند شکل، اندازه و آرایش دانه‌ها، درجه سیمان شدگی، میزان هوازدگی و تعداد درز و شکاف‌ها بستگی دارد.

وقتی می‌گوییم سنگی متخلخل است، یعنی آنکه می‌تواند مقدار قابل توجهی آب در خود نگهدارد، اما این به آن معنا نیست که سنگ لزوماً قادر به عبور آب از خود باشد. مثلاً چوب پنبه بسیار متخلخل است، امّا آب از آن عبور نمی‌کند. رس‌ها، مانند چوب پنبه بسیار متخلخل‌اند (تخلخل ۵۰

درصد یا بیشتر)، ولی به علت ریز بودن منافذشان نفوذپذیر نیستند. نفوذپذیری توانایی یک سنگ یا رسوب را برای عبور آب نشان می‌دهد. نفوذپذیری به اندازه منافذ و به ارتباط آنها با هم بستگی دارد. آبرفت‌ها معمولاً تخلخل و نفوذپذیری زیادی دارند.

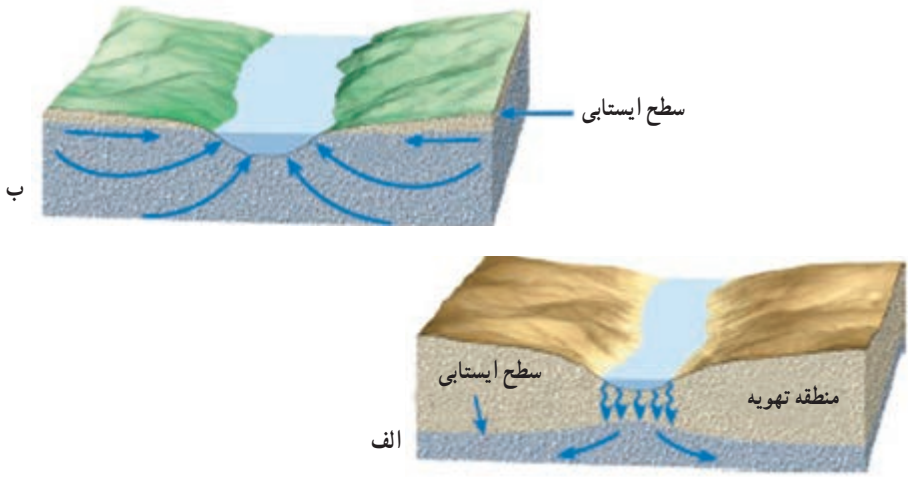


(ب) (الف)

شکل ۵ ــ ۴ ــ در کدام رسوبات آب بیشتری نفوذ می‌کند؟

حرکت آب زیرزمینی

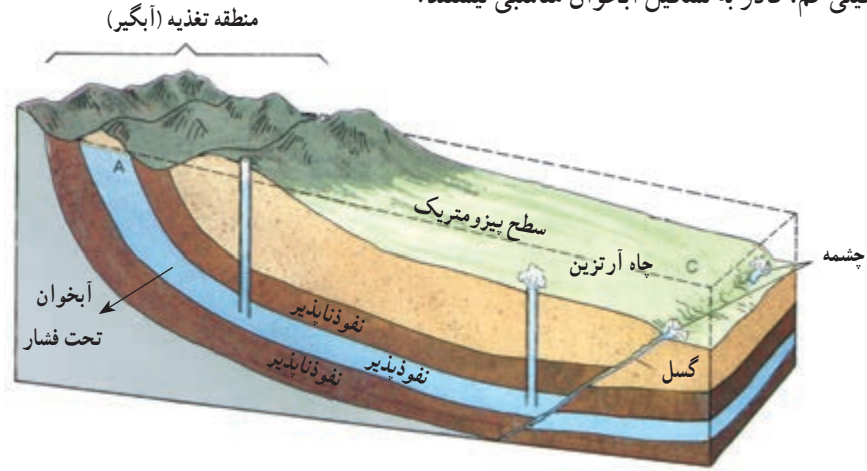
آب زیرزمینی تقریباً در همه جا در حرکت است، ولی این حرکت خیلی کندتر از حرکت آب در رودخانه‌هاست. حرکت آب در منطقه اشباع مخازن آب زیرزمینی از کمتر از ۱ تا بیش از ۵۰۰ متر در سال تغییر می‌کند. آب از جایی که ارتفاع و فشار بیشتری دارد به سمت منطقه‌ای که ارتفاع و فشار آن کمتر است حرکت می‌کند. بنابراین، آب از جایی که سطح ایستابی بالاتر است به سمت محلی که سطح ایستابی پایین‌تر است جریان می‌یابد (شکل ۶ــ۴ــ الف). البته فقط بخشی از آب مستقیماً در امتداد شیب سطح ایستابی حرکت می‌کند. بیشتر جریان آب در امتداد مسیرهای منحنی شکل است. حتی در بعضی نقاط مسیر آب به سمت بالا برمی‌گردد و وارد رودخانه‌ها یا دریاچه‌ها می‌شود زیرا آب مایل است به نقطه‌ای حرکت کند که فشار کمتر است (شکل ۶ــ۴ــ ب).



شکل ۶ ــ ۴ ــ مسیرهای حرکت آب‌های زیرزمینی

آبخوان (لایه آبدار)

وقتی بخواهیم مقدار قابل توجهی آب از زیر زمین برداشت کنیم، به دنبال یک آبخوان می‌گردیم. آبخوان «لایه آبدار» یا «سفره آب زیرزمینی» لایه یا لایه‌هایی از رسوبات یا سنگ‌های نفوذپذیر اشباع از آب در زیر زمین است که آب بتواند نسبتاً به آسانی در آن حرکت کند. رسوبات سخت نشده ماسه، شن، ریگ و غیره معمولاً ازنظر تشکیل آبخوان بسیار مناسب‌اند. برخی از سنگ‌ها، مثل سنگ آهک، ماسه سنگ و حتی سنگ‌های آذرین و دگرگون شده نیز در صورت داشتن منافذ انحلالی، شکستگی، یا هوازدگی می‌توانند آبخوان تشکیل دهند. رس‌ها، گرچه تخلخل زیادی دارند، به علت نفوذپذیری خیلی کم، قادر به تشکیل آبخوان مناسبی نیستند.



شکل ۷ــ۴ــ آبخوان تحت فشار

آبخوان را معمولاً به دو نوع **آزاد** و **تحت فشار** تقسیم می‌کنند. در آبخوان آزاد، سطح ایستابی سطح فوقانی منطقه اشباع را تشکیل می‌دهد، در واقع آنچه که در شکل ۳ ــ ۴ نشان داده‌ایم یک آبخوان آزاد است. وقتی چاهی در یک لایه آبدار آزاد حفر شود، تراز آب در چاه نمایانگر سطح ایستابی در آن نقطه است. فشار در سطح فوقانی لایه آبدار آزاد (در سطح ایستابی) برابر فشار اتمسفر است.

در آبخوان تحت فشار، لایهٔ نفوذپذیر بین لایه‌های نسبتاً نفوذناپذیری محصور شده است، (شکل ۷ــ۴) بنابراین، سطح فوقانی منطقه اشباع تحت فشاری بیش از فشار اتمسفر است. آب باران و غیره از جایی که لایه نفوذپذیر در سطح زمین بیرون زدگی دارد وارد آن می‌شود، که به آن **منطقه تغذیه** یا **آبگیری** می‌گویند. وقتی چاهی تا یک سفره تحت فشار حفر شود آب در آن بالا می‌آید. ارتفاعی که آب تا آنجا بالا می‌آید با **سطح پیزومتریک** مشخص می‌شود. در برخی نقاط، سطح پیزومتریک بالاتر

از سطح زمین است و در نتیجه، آب خود به خود از دهانه چاه بیرون می‌ریزد. چنین چاهی را معمولاً **آرتزین** می‌خوانند.

گاهی برخی از آبخوان‌ها به طور طبیعی به سطح زمین راه پیدا می‌کنند و در نتیجه آب در سطح زمین تخلیه می‌شود که به آن **چشمه** می‌گویند(شکل ۷ـ۴).

ترکیب شیمیایی

مطالعهٔ ترکیب شیمیایی آب چاه‌ها و چشمه‌ها نشان می‌دهد که آب زیرزمینی عمدتاً حاوی کلریدها، سولفات‌ها و بیکربنات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و آهن است. البته بسیاری از عناصر و مواد دیگر نیز به مقدار بسیار کم در آب وجود دارد. ترکیب آب زیرزمینی از محلی به محل دیگر تغییر می‌کند. غلظت نمک‌های محلول در آب زیرزمینی به جنس کانی‌ها و سنگ‌ها، سرعت نفوذ آب و مسافت طی شده توسط آب بستگی دارد. آب ضمن حرکت آهسته در زیرزمین فرصت زیادی برای حل کردن کانی‌های مسیر خود دارد. به همین جهت، میزان نمک‌های محلول در آب‌های زیرزمینی به‌طور کلی بیشتر از مقدار املاح آب رودهاست. در یک لایه آبدار، هر چه از محل تغذیه به طرف محل تخلیه آن نزدیک شویم شوری آب زیرزمینی بیشتر می‌شود.

مقدار نمک‌های محلول در آب‌های زیرزمینی موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگون شده معمولاً کم (کمتر از ۱۰۰ و به ندرت بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) است. این گونه سنگ‌ها اگر آبدار باشند، غالباً برای آشامیدن و مصارف دیگر کاملاً مطلوبند. آب موجود در سنگ‌های کربناتی، معمولاً از نوع آب‌های سخت است، یعنی یون‌های کلسیم و منیزیم بالایی دارد. این گونه آب‌ها به خوبی با صابون کف نمی‌کنند و رسوباتی را در لوله‌ها و ظرف‌ها ته‌نشین می‌کنند، به همین جهت، استفاده از آنها در صنعت و آشامیدن دارای محدودیت‌هایی است. سنگ‌های تبخیری مثل سنگ نمک و سنگ گچ قابلیت انحلال زیادی دارند و از این رو آب‌های موجود در این گونه سنگ‌ها عموماً نمک‌های زیادی دارند.

لایه‌های آبدار موجود در رسوبات آبرفتی معمولاً حاوی آب شیرین‌اند. دره‌های آبرفتی رودخانه‌ها غالباً آب‌های زیرزمینی مطلوبی دارند. اما آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های بسته، که محلی برای خروج وجود ندارد، نمک‌های محلول بالایی دارند. در نواحی خشک، مثل مناطق کویری ایران، در برخی نقاط شوری آب چنان بالاست که برای بسیاری از مصارف نامناسب است. در این نواحی تبخیر آب از منطقه تهویه منجر به ته‌نشینی موادی در خاک می‌شود که آن را برای کشاورزی نامناسب می‌کند.

تحقیق کنید

۱ ــ در کدام استان‌های ایران از آب‌های زیرزمینی بیشتر استفاده می‌کنند؟
۲ ــ آیا تعداد چاه‌های عمیق یک منطقه می‌تواند نامحدود باشد؟
۳ ــ مقدار آب مصرفی کشور ما، بیشتر از آب‌های سطحی است یا آب‌های زیرزمینی؟

مقایسه کنید

آب‌های زیرزمینی را از نظر آلودگی میکروبی و املاح با آب‌های جاری مقایسه کنید.

یخچال

حدود دو درصد آب‌های روی زمین، به صورت یخ، ۱۰ درصد از سطح خشکی‌ها را می‌پوشانند، این مقدار یخ، بزرگترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد.

بزرگترین پوشش یخی زمین در قاره قطب جنوب قرار دارد و با مساحتی در حدود ۱۳ میلیون کیلومتر مربع، ۸۶ درصد وسعت یخچال‌های زمین را تشکیل می‌دهد. یخچال‌های جزیره گرینلند ده درصد از سطح یخچال‌های زمین را تشکیل داده‌اند. چهار درصد بقیه یخچال‌های سطح زمین به‌صورت پراکنده در نقاط مختلف زمین مانند کوه‌های آلپ، کوه‌های شمال امریکا، حتی کوه‌های مرتفع نواحی گرمسیری وجود دارند.

تحقیق کنید

ــ در کدام کوه‌های ایران یخچال دایمی وجود دارد؟
ــ امروزه، از گرم شدن جهانی هوای کره زمین و احتمال ذوب مقدار زیادی از یخ‌های مناطق قطبی صحبت می‌شود. در صورت درست درآمدن این پیش‌بینی، ذوب یخ‌ها چه وقایعی را به دنبال خواهد داشت؟

تشکیل یخچال : یخچال‌ها در مناطق سردی که در آنها برف دایمی وجود دارد تشکیل می‌شوند. در این مناطق، مقدار برفی که در سال می‌بارد، بیش از مقداری است که ذوب می‌شود. در نتیجه، هر سال مقداری برف به بازمانده برف سال‌های قبل افزوده می‌شود. بنابراین، پس از مدتی دره‌ها و شیارهای کوه از برف پر می‌شوند و ضخامت برف در این نقاط به صدها متر می‌رسد. انباشته شدن تدریجی برف سبب متراکم شدن برف‌های عمقی می‌شود. گاهی نیز بر اثر گرمی هوا برف‌های سطحی ذوب می‌شوند و به درون برف‌های عمقی نفوذ می‌کنند. این امر خود سبب تراکم برف‌های قدیمی‌تر می‌شود. نتیجه آنکه پس از مدتی، برفی فشرده و یخ مانند به نام **یخ برفی** تشکیل می‌شود. به تدریج بر فشردگی یخ برفی افزوده می‌شود و **یخ حبابدار** پدید می‌آید. یخ حبابدار نیز کم‌کم متراکم‌تر می‌شود و حباب‌های هوای بیشتری از آن خارج می‌شوند تا **یخ بلوری** به‌وجود آید. در این حال یخچال تشکیل شده است.

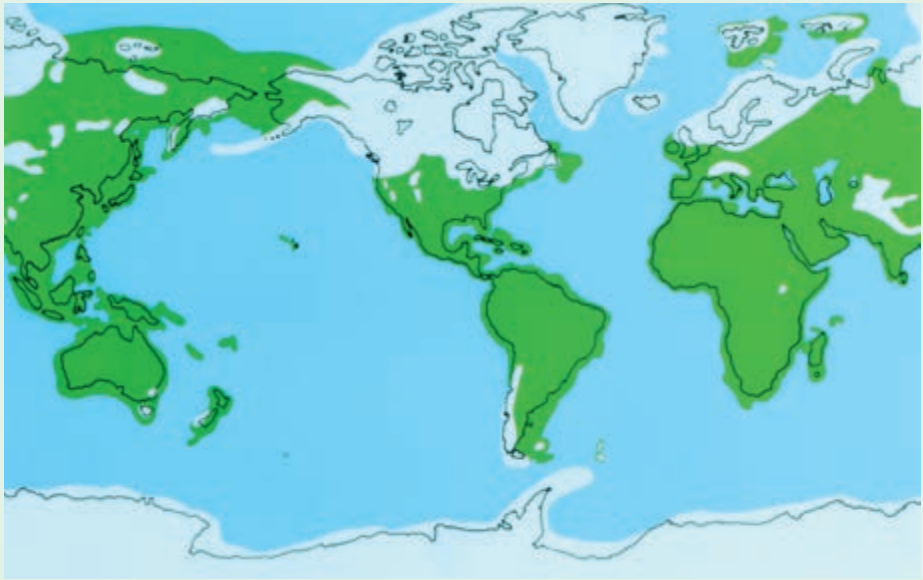
بیشتر بدانید

عصرهای یخبندان

زمین‌شناسان معتقدند که در گذشته، در روی زمین یخبندان‌های شدیدی اتفاق افتاده است و گسترش یخچال‌ها بسیار بیشتر از امروز بوده و آن یخچال‌ها چندین بار نیز پیشروی و پسروی کرده‌اند.

آنچه عقیده وجود یخچال‌های قدیمی را محکم می‌کند، این است که بعضی از پدیده‌ها در طبیعت وجود دارند که فقط توسط یخچال ممکن است رخ دهند. مثلاً هیچ جریان آبی قادر نیست بعضی از قطعه‌سنگ‌های بسیار بزرگ را به حرکت درآورد، به ویژه آنکه بعضی از این قبیل سنگ‌ها در بالای ارتفاعاتی قرار دارند که آب فقط به هنگام طغیان می‌تواند تا آن حد بالا بیاید.

بعضی از محققان ثابت کرده‌اند که یخچال‌ها در طی یک میلیون سال گذشته چهار بار گسترش یافته‌اند و متناوباً عصرهای یخبندان و بین یخبندان را پیش آورده‌اند. هر عصر یخبندان ۳۰ تا ۱۰۰ هزار سال و هر عصر بین یخبندان از ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار سال طول کشیده است. برخی از زمین‌شناسان بر این عقیده‌اند که آخرین عصر یخبندان یازده هزار سال قبل تمام شده و ما اکنون در حال گذراندن یک عصر بین یخبندان هستیم و بار دیگر پس از پنجاه هزار سال عصر یخبندان دیگری آغاز خواهد شد. اما عده‌ای دیگر معتقدند که این عصر بین یخبندان میلیون‌ها سال طول خواهد کشید.



در حدود یک میلیون سال پیش، یخچال‌ها در بیشتر نقاط شمالی زمین پیشروی زیادی کردند.

علل یخبندان‌ها

تاکنون فرضیه‌های زیادی در مورد چگونگی به وقوع پیوستن یخبندان‌ها بیان شده است که هیچ‌یک قانع کننده نیست. مهمترین آنها عبارتند از :

۱ــ شمال اروپا و امریکای شمالی که در گذشته از یخچال‌ها پوشیده شده بودند، نسبت به بقیه نقاط دنیا مرتفع‌تر و در نتیجه سردتر بوده‌اند.

۲ــ آب‌های حاصل از ذوب یخ اقیانوس منجمد شمالی تبخیر و سبب ریزش برف‌های زیادی شده است. از این برف‌ها یخچال‌هایی تشکیل شده‌اند.

۳ــ پیدایش انحراف محور زمین نسبت به سطح مدارش، علت سرد شدن بعضی از مناطق زمین و تشکیل یخچال‌ها در آن مناطق بوده است.

۴ــ خاکسترها و غبارهای آتشفشانی فراوان که همزمان با تشکیل یخچال‌ها پراکنده شده‌اند، جلوی نور و گرمای خورشید را گرفته و سبب سرد شدن مناطقی از زمین شده‌اند.

۵ــ مقدار انرژی گرمایی که از خورشید به زمین می‌رسد، در زمان‌های مختلف فرق می‌کند. وقتی که این انرژی به حداقل برسد، یخبندان اتفاق می‌افتد.

دریاچه‌ها

آب‌های ساکن داخل خشکی‌ها را که ارتباط مستقیم با دریاها ندارند دریاچه می‌گویند. دریاچه‌ها در فرورفتگی‌ها و نواحی پست زمین، در قله کوه‌ها و به‌طور کلی در همه‌جا و در شرایط زمین‌شناسی گوناگون ممکن است تشکیل شوند.

شکل ۸ ــ ۴ــ دریاچه سبلان، که بر فراز قله کوه قرار دارد.

دریاچه‌ها به همراه باتلاق‌ها و مرداب‌ها ازنظر تشکیل بعضی از انواع رسوبات و پاره‌ای از مواد باارزش اقتصادی مثل نمک طعام، کربنات سدیم، سولفات سدیم، گچ، زغال‌سنگ و غیره اهمیت خاصی دارند.

دریاچه‌ها از راه‌های گوناگونی به‌وجود می‌آیند. دریاچهٔ خزر که بزرگترین دریاچهٔ کره زمین است باقیماندهٔ یک دریای قدیمی است، دریاچهٔ بایکال در روسیه حاصل فروافتادگی قسمتی از زمین است. دریاچه‌های شمال اروپا و امریکا براثر رسوبگذاری یخچال‌ها به‌وجود آمده‌اند دریاچه‌هایی مانند تار، ولشت و لاسم در کشور خودمان براثر ریزش کوه‌ها و مسدود شدن مسیر رودها به‌وجود آمده‌اند. در دهانهٔ پاره‌ای از آتشفشان‌های خاموش نیز دریاچه تشکیل می‌شود، که دریاچهٔ کوچک دهانهٔ آتشفشان سبلان از آن جمله است. فعالیت رودها، انحلال سنگ‌ها به وسیله آب‌های زیرزمینی و فعالیت‌های انسان نیز در به وجود آمدن تعدادی از دریاچه‌ها مؤثر بوده است.

جمع‌آوری اطلاعات

۱ــ انسان از چه راه‌هایی سبب تشکیل دریاچه‌ها می‌شود؟
۲ــ نزدیکترین دریاچه به محل زندگی شما چه نام دارد، در یک صفحه آن را معرفی کنید.
۳ــ شورترین و شیرین‌ترین دریاچه‌های ایران کدامند؟

ترکیب شیمیایی آب دریاچه‌ها : آب دریاچه‌ها از نظر مقدار نمک‌های محلول بسیار متفاوتند و ممکن است شیرین یا بسیار شور باشد. نوع ترکیب آب دریاچه‌ها و میزان شوری آنها به عوامل مختلفی بستگی دارد :

۱ ــ جنس سنگ‌هایی که آب رودها و آب‌های زیرزمینی برای تغذیه دریاچه، از آنها عبور می‌کند و همچنین بستر خود دریاچه

۲ ــ میزان تبخیر در منطقه

۳ ــ میزان آب‌های ورودی و خروجی

۴ ــ پوشش گیاهی منطقه

؟ در چه صورتی آب یک دریاچه با گذشت زمان شورتر می‌شود و در چه صورتی میزان شوری آن تغییر چندانی نخواهد کرد؟

پرسش

۱ــ فعالیت‌های انسانی چه تغییراتی در هوا کره ایجاد کرده است؟

۲ــ انرژی‌های لازم برای انجام چرخه آب در طبیعت کدام‌اند؟

۳ــ رطوبت نسبی با تغییر دمای هوا چگونه تغییر می‌کند؟

۴ــ دمای نقطه شبنم چگونه به رطوبت نسبی مربوط می‌شود؟

۵ــ چرا در هوای ناآرام احتمال تشکیل شبنم کمتر است؟

۶ــ شرایط اساسی برای ایجاد بارش چیست؟

۷ــ چه رابطه‌ای بین چگالی آب دریا، دما و شوری آن وجود دارد؟

۸ــ تغییرات اکسیژن را در آب دریا از سطح به عمق و علل این تغییرات را توضیح دهید.

۹ــ چه عواملی سرعت جریان آب رودخانه را کنترل می‌کنند؟

۱۰ــ آیا متخلخل بودن یک رسوب یا سنگ لزوماً به معنای نفوذپذیربودن آن است؟ با ذکر مثال توضیح دهید.

۱۱ــ نوسانات سطح ایستابی در طول یک سال و در سال‌های مختلف تابع چه عواملی است؟

۱۲ــ آیا تمام آب موجود در زیر سطح زمین را می‌توان از راه چاه یا قنات استخراج کرد؟

۱۳ــ میزان شوری آب دریاچه‌ها به چه عواملی بستگی دارد؟

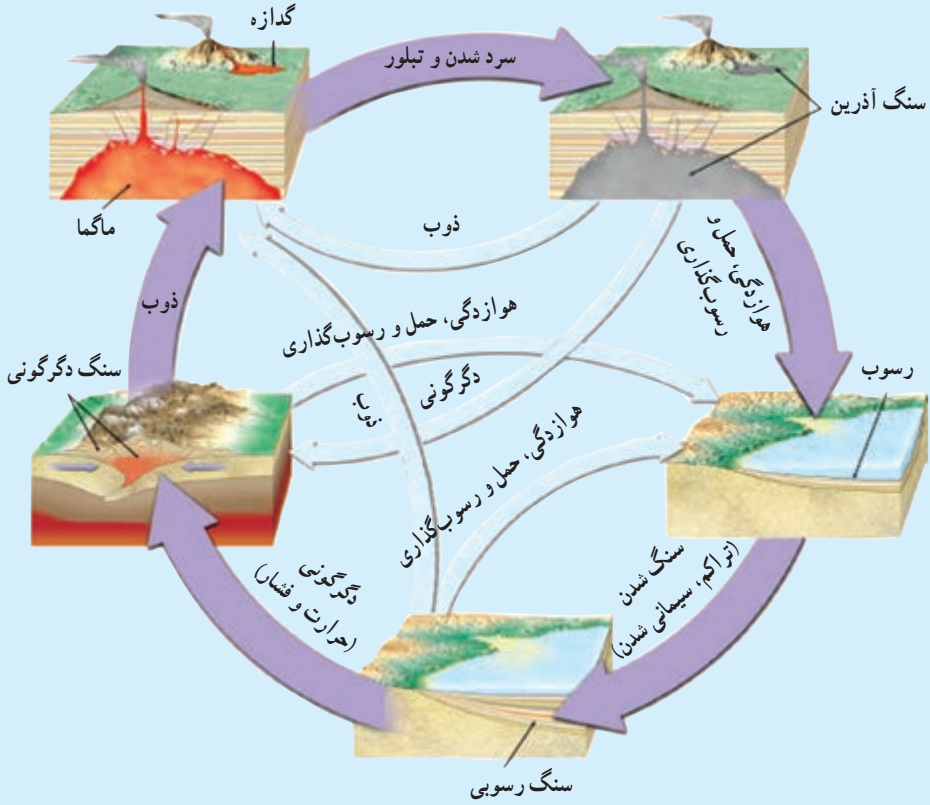
بخش ۲

چرخه سنگ

سنگ به موادی گفته می‌شود که به طور طبیعی از اجتماع یک یا چند نوع کانی تشکیل شده باشند. در زمین، سه گروه سنگ، با سه روش تشکیل و منشأ جداگانه وجود دارد : **سنگ‌های آذرین**، محصول انجماد مواد مذاب درونی زمین‌اند که در داخل یا سطح پوسته سرد و تبدیل به سنگ شده‌اند. **سنگ‌های رسوبی**، ممکن است از فرسایش و هوازدگی سنگ‌های قبلی و رسوب آنها در جای مناسب به‌وجود آیند، یا از بقایای موجودات زنده قدیمی تشکیل شوند. بعضی از سنگ‌های رسوبی هم حاصل تبخیر شدید آب‌های اشباع از املاح خاص و برجای ماندن آن املاح‌اند. **سنگ‌های دگرگون شده**، در صورتی تشکیل می‌شوند که ترکیب شیمیایی یا ساختار یک سنگ در حالت جامد، در درون زمین و تحت تأثیر گرما، فشار و واکنش‌های شیمیایی خاص عوض شود.

در طول زمان‌های دراز و دخالت عوامل مختلف فیزیکی و شیمیایی، سنگ‌های هر گروه به سنگ‌های دیگر تبدیل می‌شوند، چنانکه سنگ‌های مختلف، در روی زمین تحت تأثیر عوامل فرساینده‌ای چون هوا، آب، یخچال، باد و غیره قرار می‌گیرند و خرد می‌شوند. مواد حاصل به قسمت‌های دیگری حمل می‌شوند و در آنجا به صورت رسوب درمی‌آیند و سرانجام، سنگ‌های رسوبی جدیدی را می‌سازند. سنگ‌های رسوبی ممکن است در

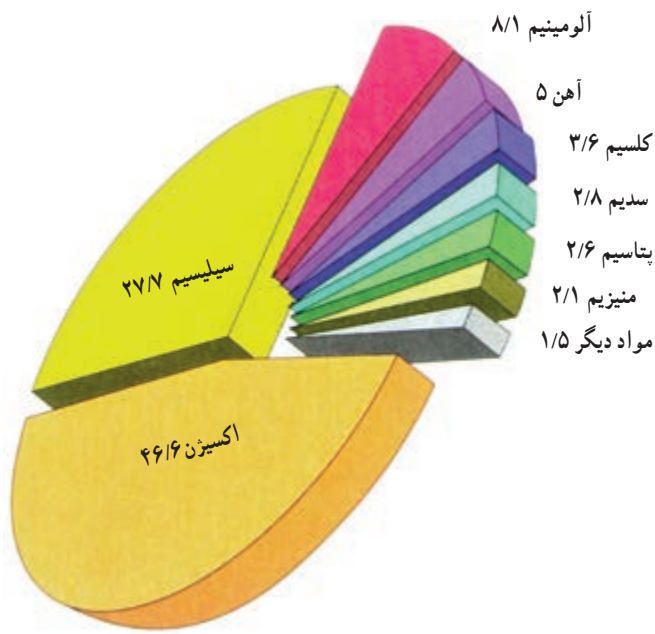
اعماق زمین مدفون شوند و در آنجا تحت تأثیر گرما و فشار به سنگ‌های دگرگون شده مبدل شوند. یا آنکه پس از ذوب، سنگ‌های آذرین جدیدی را حاصل آورند. سنگ‌های آذرین هم تحت تأثیر فشار و حرارت دگرگون می‌شوند. به مجموعه این تغییرات و تبدیل حالت‌ها، چرخه سنگ گفته می‌شود.



چرخه سنگ

۵ کانی‌ها

قسمت‌های مختلف زمین، از ۸۸ نوع عنصر طبیعی به نسبت‌های بسیار متفاوت ساخته شده است. در ترکیب پوسته زمین ۸ عنصر اکسیژن، سیلیسیم، آلومینیم، آهن، کلسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم حدود ۹۸/۵ درصد و بقیه عناصر هم حدود ۱/۵ درصد را تشکیل می‌دهند (شکل ۱ ــ ۵).



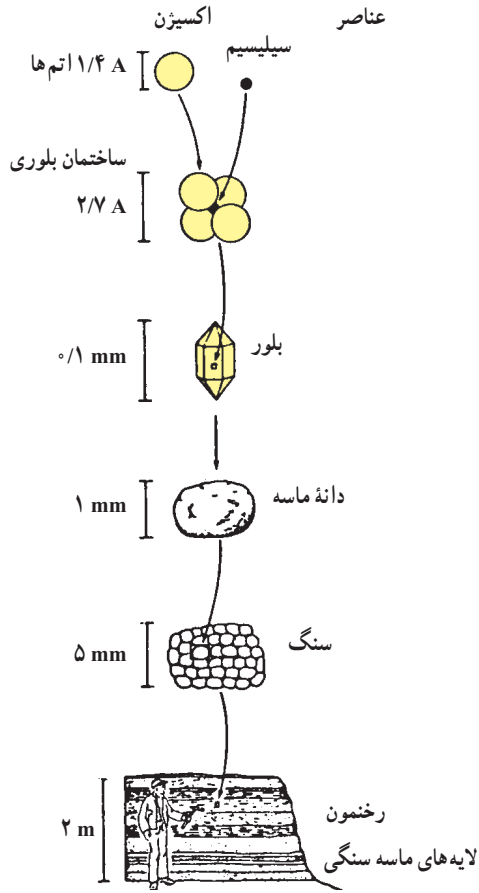
شکل ۱ــ۵ ــ درصد فراوانی عناصر در پوستهٔ جامد زمین

کانی‌ها

کانی‌ها مواد طبیعی، متبلور و جامدی هستند که ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابتی دارند[۱].

کانی‌ها از اجتماع اتم‌ها به وجود می‌آیند. از تجمع کانی‌ها هم سنگ ساخته می‌شود و آنچه که در طبیعت مشاهده می‌کنیم سنگ‌های مختلفی هستند که در شکل ۲ ــ ۵ رابطه بین آنها را مشاهده می‌کنید.

۱ــ در تقسیم‌بندی جدید کانی‌ها، گروهی تحت عنوان کانی‌هایی با ترکیب شیمیایی آلی معرفی شده‌اند.



شکل ۲ ــ۵ــ رابطه بین عناصر، کانی‌ها و سنگ‌ها

فراوانی کانی‌ها در همه جا یکسان نیست. بعضی در سطح زمین و بعضی در درون زمین فراوان‌ترند. علت نیز مربوط به فراوانی عناصر در بخش‌های مختلف زمین است. مثلاً در پوسته زمین ۸ عنصر فراوان‌ترند (شکل ۱ ــ ۵). بنابراین، در حالت کلی ترکیبات متفاوت این ۸ عنصر را باید کانی‌های فراوان پوسته زمین به شمار آورد.

فراوانی یک کانی به شرایط تشکیل و پایداری آن در محیط نیز وابسته است.

❓ شما انتظار دارید کانی‌هایی که محلول در آب هستند در چه مناطقی و کانی‌هایی که با اکسیژن هوا ترکیب می‌شوند در چه مناطقی یافت شوند؟

❓ چرا شیشه و آب را نمی‌توان کانی به حساب آورد، اما یخ را یک کانی می‌دانند؟

تشکیل کانی‌ها

در طبیعت حدود ۳۰۰۰ نوع کانی پیدا می‌شود که از لحاظ ترکیب، شکل ظاهری، رنگ، اندازه و... بسیار متفاوتند. یک علت عمده این تفاوت، چگونگی تشکیل آنهاست. بعضی از کانی‌ها از انجماد مواد مذاب به وجود می‌آیند (مانند کوارتز و فلدسپات که در تشکیل سنگ‌های آذرین دخالت دارند). بعضی، از سرد شدن بخارها در سطح یا شکاف‌های موجود در سنگ‌ها به وجود می‌آیند (تشکیل گوگرد در قله کوه آتشفشان دماوند). برخی از کانی‌ها از تبخیر محلول‌هایی که به حد اشباع رسیده‌اند به وجود می‌آیند. مثلاً از تبخیر شدید آب دریا، نمک و گچ تشکیل می‌شود. بعضی از کانی‌ها نیز از تخریب کانی‌های دیگر به وجود می‌آیند. مثلاً از تجزیه و تخریب کانی‌های سنگ‌های آذرین، کانی‌های رسی غیر محلول و کانی‌های کربناتی و حتی سیلیس به وجود می‌آید. بعضی دیگر هم در نتیجهٔ وارد آمدن فشار و گرمای زیاد بر روی کانی‌های دیگر به وجود می‌آیند مثلاً گرافیت بر اثر گرما و فشار زیاد از آنتراسیت به وجود می‌آید.

کار عملی

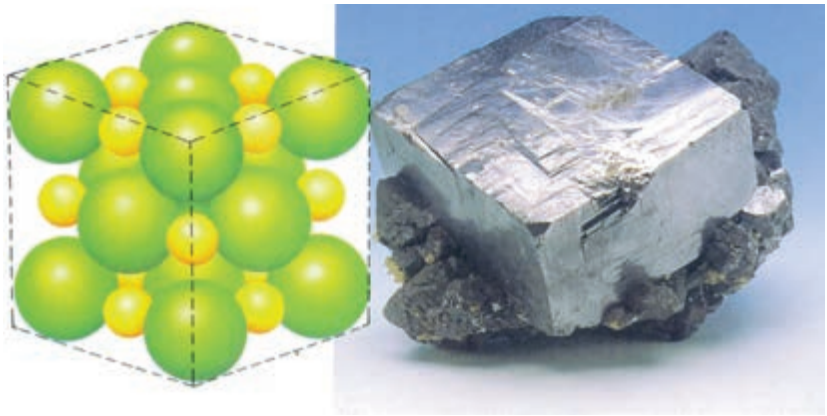
۱ــ محلول اشباع شده‌ای از زاج سفید تهیه کنید و با گرم کردن محلول، باز هم مقدار بیشتری زاج را در آن حل کنید تا محلول فوق اشباع زاج حاصل آید. یک قطعه کوچک زاج را مطابق شکل مقابل به عنوان هسته در درون محلول آویزان کنید و ظرف را در جایی قرار دهید که اصلاً تکان نخورد. برای آنکه از ورود ذرات گرد و غبار به درون این محلول جلوگیری شود، دهانهٔ آن را هم با یک قطعه دستمال کاغذی تمیز ببندید (چرا؟). پس از یکی دو روز خواهید دید که به دور قطعه زاجی که در انتهای نخ آویخته‌اید، بلور درشتی از زاج پدید آمده است.

۲ــ نظیر همین آزمایش را با محلول نمک یا شکر تکرار کنید و نتایج حاصل را با هم مقایسه کنید.

شناسایی کانی‌ها

برای مطالعه و شناسایی سنگ‌ها لازم است اجزای سازنده آنها یعنی کانی‌ها را بشناسیم. با استفاده از بعضی خواص فیزیکی کانی‌ها که معمولاً نیاز به ابزارهای پیچیده ندارد، شما می‌توانید برخی از کانی‌ها را شناسایی کنید. در اینجا مهم‌ترین خواص فیزیکی کانی‌ها را که در شناسایی آنها مؤثّر است بررسی می‌کنیم :

۱ ــ شکل بلور : تقریباً همهٔ کانی‌ها به صورت متبلور دیده می‌شوند (شکل ۳ ــ ۵). جسم متبلور، دارای نظم درونی سه بعدی است. یعنی در آن، اتم‌های سازنده مطابق نظم معینی پهلوی هم قرار می‌گیرند. در نتیجه، بلور دارای سطوح صاف است و به یال‌ها و سطوح خارجی محدود می‌شود. اگر ذرات شکر یا سنگ نمک را با ذره‌بین نگاه کنید، می‌بینید که دارای شکل هندسی منظم و سطوح صاف هستند.



شکل ۳ــ۵ــ آرایش اتم‌ها در کانی مکعبی شکل گالن

بلورها در اندازه‌های متفاوتی تشکیل می‌شوند. گاهی بلورها به حدی درشت هستند که با چشم قابل مشاهده‌اند. در این صورت به آنها **درشت بلور** می‌گویند. در بعضی موارد بلورها فقط توسط میکروسکوپ قابل مشاهده هستند که به آنها **ریزبلور** گفته می‌شود و گاهی بلورها به حدی ریز هستند که فقط با پرتوهای X قابل تشخیص‌اند که در این صورت به آنها **نهان بلور** گویند، مانند کانی‌های رسی که در تشکیل خاک شرکت دارند.

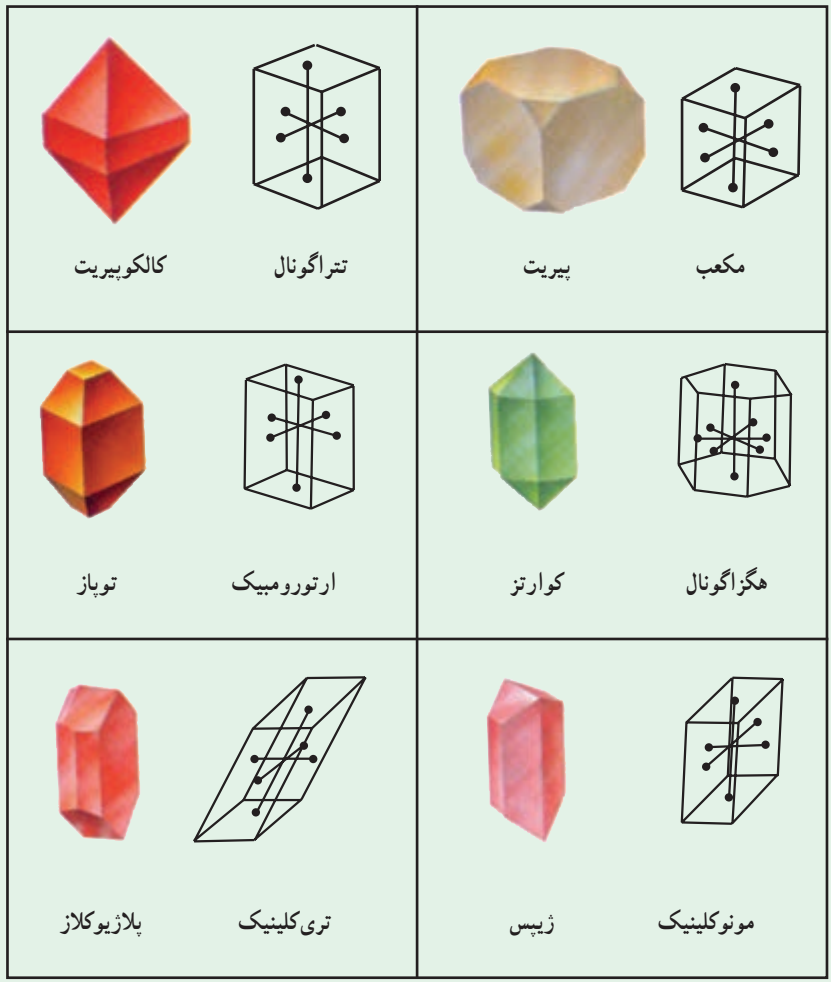
اندازه بلورها به شرایط تشکیل آنها بستگی دارد. هر چه برای تشکیل یک بلور زمان بیشتری صرف شده باشد، بلور درشت‌تر می‌شود. نکته بسیار مهم و جالب در مورد بلورها آن است که گرچه شکل و اندازه ظاهری آنها ممکن است متفاوت باشد، اما زوایای بین سطوح مشابه آن در تمام بلورهای یک کانی معین، یکسان و تغییر ناپذیر است. از این خصوصیت برای شناسایی کانی‌ها استفاده می‌شود.

اندازه بلورها : در طبیعت گاهی بلورهای عظیمی پیدا می‌شود. بعضی از اقسام بریل که یک کانی قیمتی محسوب می‌شود وزنی تا چندین تن دارند. بلورهای ژیپس در کشور خودمان به اندازه‌هایی حدود ۵۰ سانتیمتر یافت می‌شود که در دنیا بی‌نظیرند.

بلورهای مصنوعی : امروزه بلورهایی از کانی‌های گوناگون را به طور مصنوعی تهیه می‌کنند که از بلورهای طبیعی زیباترند و ممکن است چندین برابر بلورهای طبیعی باشند. از این بلورهای مصنوعی در جواهرسازی، پزشکی، الکترونیک و ... استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین موارد استفاده از بلورهای مصنوعی استفاده از بلور گارنت در تولید لیزرها و یا کوارتز در ساختن ساعت‌های دقیق است.

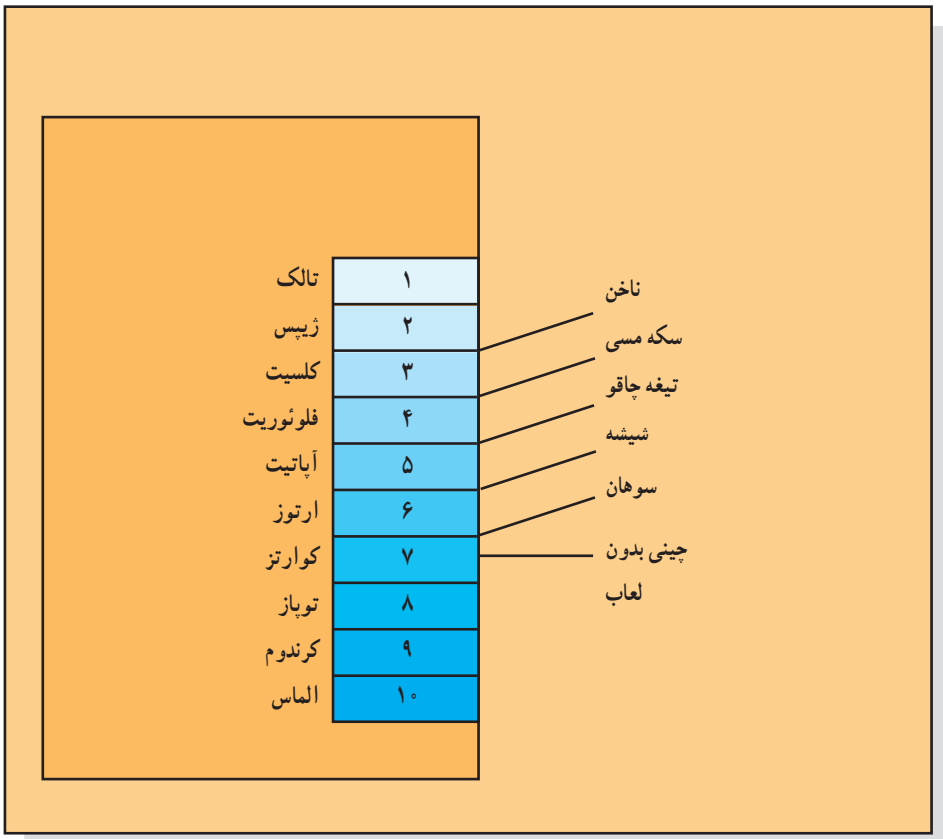
بیشتر بدانید

برای بلورها، ۶ شکل یا سیستم اصلی در نظر گرفته می‌شود که عناصر تقارن در آنها متفاوتند. هر سیستم دارای یک شکل اصلی مانند مکعب یا منشور شش وجهی و غیره است، اما کمتر دیده می‌شود که یک کانی به شکل اصلی سیستم متبلور شده باشد (بلورهای مکعبی نمک خوراکی، پیریت)، بلکه اغلب روی قواعد مشخص ریاضی، مشتقاتی از آن ۶ سیستم وجود دارد که بلورها به آن شکل‌ها دیده می‌شوند. نمونه‌هایی از سیستم‌های اصلی و بعضی از مشتقات آنها را در شکل‌های زیر می‌بینید.



۲ ــ سختی : سختی کانی‌ها را می‌توان به عنوان مقاومت آنها در برابر خراشیده شدن به وسیله سایر اجسام تعریف کرد. سختی کانی‌ها بیشتر به طرز قرار گرفتن اتم‌ها در شبکه بلورین و نوع پیوندهای اتمی در کانی بستگی دارد تا ترکیب شیمیایی آنها؛ به طور مثال، در حالی که الماس و گرافیت هر دو از کربن خالص ساخته شده‌اند، اولی سخت‌ترین جسم و دومی جسمی بسیار نرم است، زیرا نیروی پیوندهایی که اتم‌های کربن را در الماس به یکدیگر متصل می‌کند به مراتب بیشتر از نیروهایی است که اتم‌های کربن را در گرافیت به هم وصل می‌کند.

برای تعیین سختی کانی‌ها از مقیاسی به نام مقیاس موس (Mohs) استفاده می‌شود (از نام فردریخ موس کانی‌شناس آلمانی). در این مقیاس نرم‌ترین کانی سختی یک دارد (تالک) و سخت‌ترین کانی، دارای درجه سختی ۱۰ است (الماس). هر کانی که به وسیلهٔ کانی دیگر خراش بردارد نسبت به آن نرم‌تر است (شکل ۴ ــ ۵).



شکل ۴ ــ ۵ ــ مقیاس سختی کانی‌ها

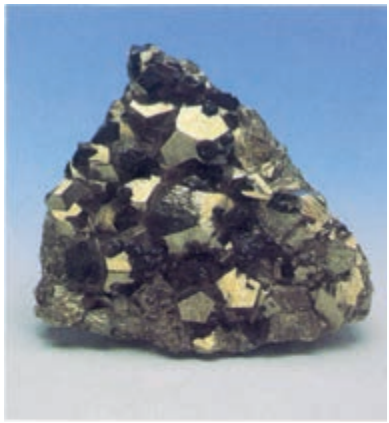
تحقیق کنید

۱ ــ جواهر را چگونه برش و چگونه صیقل می‌دهند؟
۲ ــ سرمته حفاری، چرخ سمباده و کاغذ سمباده را از چه موادی می‌سازند؟
۳ــ آگاهی از سختی اجسام در چه کارهایی به ما کمک می‌کند؟

برای اطمینان از سختی اندازه‌گیری شده، باید درجه سختی را در جهات مختلف آزمایش کنیم. به علاوه، باید در خراشیدن و تعیین درجه سختی، عمل عکس را نیز انجام داد.

۳ــ جلا : توانایی کانی در منعکس ساختن، عبور یا جذب نور را جلا می‌گویند. هر قدر انعکاس و انکسار نور از سطح کانی و یا سطح شکستگی آن زیادتر باشد، جلای آن مشخص‌تر است. یکی از علل گرانی الماس، جلای زیبای آن است که به جلای الماسی معروف است. جلای کانی‌ها را می‌توان به دو گروه فلزی و غیر فلزی تقسیم کرد.

در جلای فلزی (که خاص بسیاری از کانی‌های فلزی است) نور، مانند سطح فلز براق به خوبی منعکس می‌شود (مانند پیریت FeS_2).



جلای فلزی در پیریت

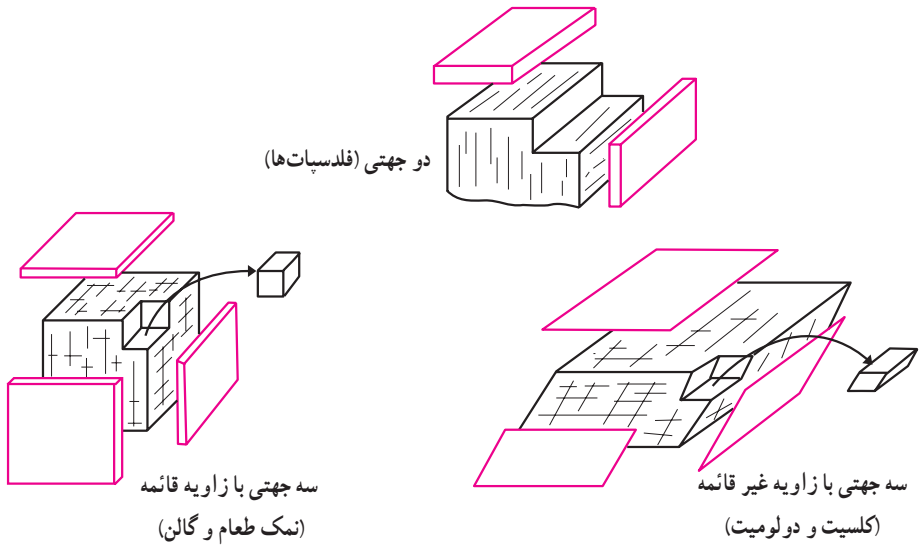
در جلای غیر فلزی نور به‌خوبی منعکس نمی‌شود و برای بیان آن از اصطلاحات گوناگونی استفاده می‌کنند. مثلاً : در جلای شیشه‌ای نور به خوبی از کانی عبور می‌کند (مانند کوارتز و هالیت) در جلای الماسی، نور در داخل الماس بازتابش کُلی پیدا می‌کند و سبب درخشندگی الماس می‌شود.

جلای غیر فلزی در فلدسپات

شکل ۵ ــ ۵ ــ کانی‌ها ممکن است جلای فلزی یا غیر فلزی داشته باشند.

گاهی از منظره ظاهری کانی‌ها برای بیان جلای آنها استفاده می‌کنند و اصطلاحاتی مانند صمغی، چرب، ابریشمی، خاکی و ... به کار می‌برند.

۴ــ کلیواژ (رَخ) : طلق نسوز (میکا) به آسانی



شکل ۶ ــ ۵ ــ انواع رَخ در کانی‌های مختلف

ورقه ورقه می‌شود (شکل ۱۱ ــ ۵). حتی به کمک چاقو می‌توان هر ورقه آن را به ورقه‌ای نازک‌تر هم تقسیم کرد.

یک ضربه چکش به بلور کلسیت، آن را به صورت متوازی‌السطوح‌های کوچک در می‌آورد (شکل ۶ ــ ۵). بلورهای مکعبی نمک نیز به صورت مکعب‌های کوچک‌تر یعنی در سه جهت فضایی شکسته می‌شوند.

این خاصیت بستگی به نحوه پیوندهای اتم‌ها در جهات مختلف دارد. هر قدر قدرت پیوند اتمی در امتداد سطوحی ضعیف‌تر باشد، کانی در آن جهت آسان‌تر می‌شکند. فلدسپات‌ها در دو جهت، نمک‌طعام در سه جهت قائم و کلسیت در سه جهت با زاویه غیر قائمه رخ دارند (شکل ۶ ــ ۵).

۵ــ چگالی نسبی : جرم نسبی کانی‌ها را می‌توان تا اندازه‌ای با در دست گرفتن حجم‌های مساوی از آنها با هم مقایسه کرد. اما راه دقیق‌تر، تعیین چگالی نسبی آنها است.

چگالی نسبی یک کانی را می‌توان از تقسیم کردن چگالی یک کانی به چگالی آب به دست آورد. با این کار تعیین می‌کنیم که یک کانی چند بار از جرم آب هم حجم خود سنگین‌تر است. چگالی نسبی بیشتر کانی‌های سیلیکاتی که بخش اعظم پوسته زمین را تشکیل می‌دهند، حدود ۲/۵ تا ۳/۵ است. چگالی نسبی زیادتر، مربوط به کانی‌هایی است که در ترکیب خود عناصر سنگین مانند سرب، باریم و ... دارند (گالن PbS با چگالی ۷/۵ و باریت $BaSO_4$ با چگالی ۴/۵). مسلماً کانی‌هایی که اتم‌های سازنده

آنها به هم نزدیک‌تر و فشرده‌تر باشد، چگالی نسبی بیشتری خواهند داشت (مانند چگالی نسبی الماس در مقایسه با چگالی نسبی گرافیت).

۶ــ رنگ و رنگ خاکه : می‌توان کانی‌ها را از روی رنگ آنها نیز تشخیص داد ولی این قاعده، کلّی نیست. مثلاً کوارتز در اصل بی‌رنگ است، اما به رنگ‌های شیری، بنفش، زرد و دودی هم دیده می‌شود. این رنگ‌ها مربوط به ناخالصی‌های موجود در کانی است. اما کانی‌هایی هم وجود دارند که با رنگ خود به آسانی قابل شناسایی هستند مثلاً فیروزه به رنگ آبی فیروزه‌ای، گرافیت همیشه سیاه و مالاکیت همیشه سبز دیده می‌شوند.

شکل ۷ــ۵ــ رنگ خاکه یک کانی، همیشه همرنگ خود آن نیست.

رنگ گرد کانی، گاهی در تشخیص کانی‌ها مؤثرتر است. برای این کار کانی را به چینی بدون لعاب می‌کشند و از روی رنگ خطی که بر جای می‌گذارد نوع کانی را تشخیص می‌دهند. چنانکه یکی از راه‌های شناسایی طلا رنگ خاکه زرد طلایی آن است، ولی پیریت با رنگ و جلایی شبیه به طلا دارای رنگ خاکه سیاه است، یا آنکه اثر مانیتیت (Fe_3O_4) سیاه و اثر هماتیت (Fe_2O_3) قهوه‌ای نمایان می‌شود (شکل ۷ــ۵)، در حالی که ظاهر این دو کانی معمولاً سیاه است.

۷ــ راه‌های شناسایی دیگر : بعضی از کانی‌ها مانند مس و طلا چکش‌خوارند، در صورتی که گوگرد ترد و شکننده است. بعضی کانی‌ها مانند میکا (طلق نسوز) در برابر گرما مقاوم‌اند و بعضی مانند ژیپس در مقابل شعله، کدر و به پودر سفید رنگی تبدیل می‌شوند. هالیت (NaCl) مزه‌ای شور و سیلویت (KCl) مزه‌ای تلخ دارد.

برخی از کانی‌ها مانند مانیتیت خاصیت مغناطیسی دارند، و بعضی مانند کائولینیت (خاک چینی) به زبان می‌چسبند. برخی مانند گرافیت و تالک در لمس با دست حالت چرب دارند (در صورتی که واقعاً چرب نیستند).

بعضی از واکنش‌های شیمیایی می‌تواند در شناسایی کانی‌ها مفید باشد، مثلاً کلسیت با اسید کلریدریک سرد و رقیق و دولومیت با اسید کلریدریک گرم و غلیظ ترکیب می‌شوند و گاز CO_2 آزاد می‌کنند. رنگ شعله نیز در شناسایی بعضی از کانی‌ها (در واقع، عنصری که در ترکیب دارند) مؤثر است.

البته، امروزه کانی شناسان با وسایل جدیدی مانند میکروسکوپ پلاریزان، دستگاه اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی و طیف‌سنج‌های نوری، آسان‌تر می‌توانند کانی‌ها را تشخیص بدهند.

طبقه‌بندی کانی‌ها

کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها یا به اصطلاح کانی‌های سنگ‌ساز، بر حسب انواع سنگ‌ها به سه گروه کانی‌های ماگمایی، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند.

۱ــ کانی‌های ماگمایی

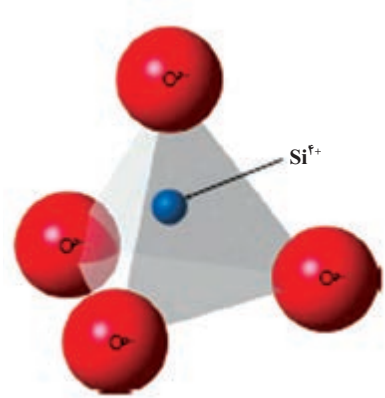
۹۵ درصد از وزن پوستهٔ زمین را سنگ‌های آذرین تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها از سرد شدن مواد مذاب درونی به نام **ماگما** به وجود آمده‌اند.

مطالعه ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین و آتشفشان‌های فعال نشان می‌دهند که ماگما یک ترکیب سیلیکاتی با مقداری اکسیدهای فلزی، بخار آب و دیگر مواد فرّار است.

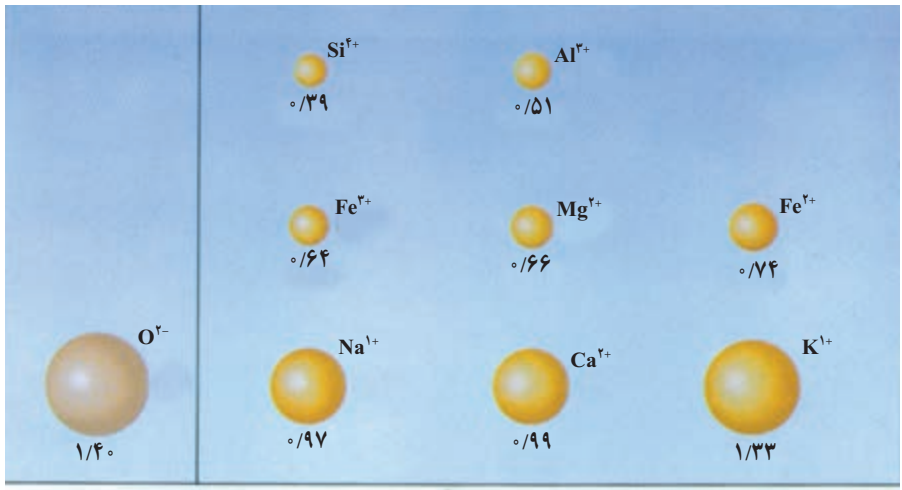
مهم‌ترین کانی‌های ماگمایی، سیلیکات‌های فلزاتی چون آلومینیم، آهن، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم است که به آنها کانی‌های **سیلیکاتی** می‌گویند. علاوه بر اینها، گروه دیگری از کانی‌ها مانند اکسیدها، فسفات‌ها، سولفات‌ها، سولفیدها و بعضی عناصر خالص که **غیر سیلیکات** نام دارند نیز به مقدار بسیار کم در این‌گونه سنگ‌ها یافت می‌شوند.

سیلیکات‌ها

کوچک‌ترین واحد سازنده سیلیکات‌ها به شکل یک هرم چهار وجهی است که سطوح آن را مثلث های متساوی‌الاضلاع تشکیل می‌دهند (شکل ۸ــ۵). این واحدها یا بنیان‌های چهاروجهی سیلیکات، بار الکتریکی منفی دارند $(SiO_4)^{-4}$ و باید یکدیگر را دفع کنند، لیکن در ساختمان بلورین کانی‌ها، این بنیان‌ها به وسیله یون‌های مثبت چون آلومینیم، آهن، منیزیم و غیره طوری به یکدیگر پیوند داده شده‌اند که واحد سازنده بلور در مجموع دارای بار خنثی است. یون‌های پیوند دهنده بنیان‌ها دارای اندازه و بار الکتریکی متفاوتند (شکل ۹ــ۵). به طور کلی یون‌های تقریباً هم اندازه می‌توانند جانشین یکدیگر شوند (آهن و منیزیم که شعاع یونی نزدیک به هم دارند یا سدیم و کلسیم که جای یکدیگر را در



شکل ۸ ــ ۵ ــ از اتصال چهار اتم اکسیژن به یک اتم سیلیسیم، هرم چهاروجهی تشکیل می‌شود، که واحد بنیادی سیلیکات‌ها است.



شکل ۹ ــ ۵ــ یون‌های پیوند دهنده ساختمان‌های سیلیکاتی دارای اندازه و بار الکتریکی متفاوتند. اندازه آنها بر حسب آنگستروم در زیر آنها نوشته شده است. این اعداد شعاع یونی نامیده می‌شوند.

ساختمان بلورین کانی اشغال می‌کنند). این وضع تغییر مهمی را در ساختمان کانی به‌وجود نمی‌آورد.

بنیان‌های چهار وجهی ممکن است منفرد و بدون پیوند (الیوین) یا به صورت حلقوی (زمرد)، زنجیری و به شکل‌های دیگر به هم متصل شوند. به این ترتیب ساختمان‌های پیچیده‌ای از سیلیکات‌های مختلف به وجود می‌آید (جدول ۱ــ۵).

رنگ کانی به ترکیب شیمیایی آن ارتباط دارد، چنانکه در ترکیب انواع **تیره**، آهن و منیزیم وجود دارد، در حالی که انواع **روشن** فاقد این دو عنصراند. اقسام مهم کانی‌های سیلیکاتی عبارتند از :

الف) سیلیکات‌های تیره

الیوین : الیوین، سیلیکات آهن و منیزیم و بلورهای آن سبز زیتونی است. الیوین جلای شیشه‌ای دارد، فاقد رخ است (شکل ۱۰ــ۵). نوع شفاف و خوش‌رنگ الیوین تحت نام زبرجد به‌عنوان جواهر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۱۰ــ۵ــ کانی الیوین

پیروکسن : این گروه از سیلیکات‌ها، کلسیم، آهن و منیزیم دارند. مهم‌ترین نوع پیروکسن **اوژیت** نام دارد که بلورهای آن به شکل منشور است.

آمفیبول‌ها : سیلیکات‌های کلسیم، منیزیم و آهن آبدارند. بلور این دسته از کانی‌ها منشوری‌شکل و طویل است و به اصطلاح سوزنی نامیده می‌شود. از مهم‌ترین آمفیبول‌ها، **هورنبلاند** است.

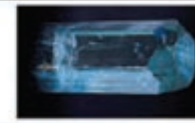
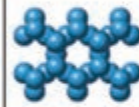
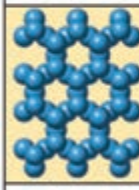
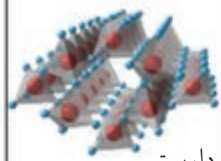
میکای سیاه یا بیوتیت : سیلیکات آهن، منیزیم و پتاسیم آبدار است. میکاها به دلیل داشتن ساختمان اتمی ورقه‌ای به آسانی ورقه ورقه می‌شوند و به اصطلاح رخ یک جهتی دارند (شکل ۱۱ــ۵).

شکل ۱۱ــ۵ــ ساختمان ورقه‌ای در میکا

ب) سیلیکات‌های روشن

میکای سفید (مسکوویت) : کلیه مشخصات میکای سیاه به جز رنگ و ترکیب شیمیایی آن در مورد میکای سفید نیز صدق می‌کند. این کانی به جای آهن و منیزیم، دارای Al است، لذا می‌توان آن را سیلیکات آلومینیم و پتاسیم آبدار درنظر گرفت. رنگ آن سفید تا بور، ولی ورقه‌های نازک آن بی‌رنگ است. از این ورقه‌ها در صنایع تولید محصولات نسوز و عایق‌های حرارتی استفاده می‌شود.

فلدسپات‌ها : در اکثر سنگ‌های آذرین یافت می‌شوند و گوناگونی فراوان دارند. بعضی سیلیکات آلومینیم و پتاسیم (اُرتوکلاز) و بعضی‌ها سیلیکات سدیم و کلسیم‌دار (پلاژیوکلاز) هستند. از فلدسپات‌ها در صنایع تولید چینی و کاشی و سرامیک استفاده می‌شود.

تصویر کانی	نام کانی	ساختمان سیلیکاتی
	الیوین	چهار وجهی منفرد
	بریل	حلقوی
	پیروکسن	زنجیری ساده
	آمفیبول	زنجیری مضاعف 
	میکا	ورقه‌ای 
	فلدسپات	داربستی 
	کوارتز	

جدول ۱ــ۵ ــ ساختمان سیلیکاتی کانی‌ها

شکل ۱۲ــ۵ــ کوارتز بنفش (آمتیست)

کوارتز : این کانی در حالت خالص بی‌رنگ است (دُرکوهی). سختی آن زیاد و شیشه را خط می‌اندازد. این کانی رخ ندارد و جلای آن شیشه‌ای است.

فرمول شیمیایی کوارتز SiO_2 است، یعنی تنها کانی سیلیکاتی که از سیلیسیم و اکسیژن ترکیب یافته است. از کوارتز در صنعت شیشه‌سازی، تهیه کاغذ سمباده و ابزارهای نوری و الکترونیکی استفاده می‌شود (شکل ۱۲ــ۵).

غیر سیلیکات‌ها

این گروه از کانی‌های سنگ‌ساز شامل فسفات‌ها، سولفات‌ها، اکسیدها و چند عنصر آزاد از قبیل مس، طلا و گوگردند. در مقایسه با سیلیکات‌ها به میزان بسیار کمتری در سنگ‌های آذرین یافت می‌شوند و به همین دلیل به آنها **کانی‌های فرعی** نیز می‌گویند. مهم‌ترین انواع کانی‌های غیرسیلیکاتی عبارتند از :

آپاتیت : این کانی فسفات کلسیم با کمی کلر یا فلوئور است که به صورت کانی فرعی در سنگ‌های آذرین یافت می‌شود. از آپاتیت در تهیه کودهای شیمیایی فسفردار و اسید فسفریک استفاده می‌شود.

فیروزه : این کانی هم فسفاتی به رنگ آبی فیروزه‌ای است که بهترین نوع آن در حوالی نیشابور از داخل سنگ‌های آتشفشانی استخراج می‌شود (شکل ۱۳ــ۵).

شکل ۱۳ــ۵ــ فیروزه

باریت : این کانی با ترکیب سولفات باریم معمولاً به صورت رگه‌های معدنی یافت می‌شود. چگالی آن زیاد است. رنگ آن سفید و یا خاکستری روشن است. این کانی پس از آسیاب شدن به صورت پودر در ترکیب گل حفاری چاه‌های نفت و گاز به کار برده می‌شود. در ایران ذخایر معدنی باریت

فراوان است. در اکثر معادن سرب و روی به عنوان ناخالصی موجود بوده و علاوه بر آن، به عنوان کانسارهای مستقل در نقاط دیگر وجود دارد.

شکل ۱۴ــ۵ــ بلورهای پیریت

پیریت : ترکیب شیمیایی آن سولفید آهن (FeS_2) است. بیش از تمام سولفیدهای فلزی در پوسته زمین یافت می شود. بلورهای آن غالباً مکعبی شکل (شکل ۱۴ــ۵)، جلای آن فلزی و بسیار شبیه طلا است. در ایران در بسیاری از معادن، پیریت همراه با سایر کانی‌ها یافت می‌شود.

۲ــ کانی‌های رسوبی

مواد حاصل از تخریب سنگ‌های آذرین، دگرگون شده و رسوبی توسط آب‌های جاری به حوضه‌های رسوب‌گذاری حمل و در دریاچه‌ها یا دریاها ته‌نشین می‌شوند. پاره‌ای از کانی‌ها ابتدا در آب‌ها به حالت محلول در می‌آیند و سپس در اثر تبخیر و یا واکنش‌های شیمیایی در دریاچه‌ها و دریاها کانی‌های رسوبی را پدید می‌آورند. بنابراین، در سنگ‌های رسوبی بسیاری از کانی‌های سازنده سنگ‌های آذرین و دگرگون شده را می‌توان یافت. در این میان، کانی‌های رسی از همه فراوان‌ترند. از سایر کانی‌های مهم رسوبی می‌توان کربنات‌ها، کلریدها و برخی از سولفات‌ها را نام برد.

کانی‌های رسی : از تجزیه شیمیایی پاره‌ای از سیلیکات‌ها در اثر هوازدگی شیمیایی به‌وجود می‌آیند. این کانی‌ها همراه با مواد آلی گیاهی و جانوری و پاره‌ای از باکتری‌ها، خارجی‌ترین قشر پوستهٔ زمین یعنی خاک را به‌وجود می‌آورند. کانی‌های رسی بسیار دانه‌ریزند و مانند میکاها ساختمان ورقه‌ای دارند. برخی از کانی‌های رسی مانند کائولن که از تجزیه فلدسپات‌ها طبق رابطه زیر حاصل می‌شوند، در صنعت کاشی‌سازی و چینی‌سازی کاربرد زیادی دارند.

$$2KAlSi_3O_8 + 2H_2O + CO_2 \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + K_2CO_3$$

فلدسپات — کائولن — سیلیس — کربنات

نظیر همین تجزیه و دگرسانی موجب تخریب بسیاری از سیلیکات‌های سنگ‌های آذرین می‌شود و خاک به وجود می‌آید. به دلیل اهمیت خاک در کشاورزی و مصالح ساختمانی، اهمیت کانی‌های رسی روز به روز بیشتر می‌شود.

شکل ۱۵ــ۵ــ واکنش کلسیت با اسید کلریدریک

کربنات‌ها : از کربنات‌ها، کانی کلسیت ($CaCO_3$) را می‌توان نام برد که کانی اصلی سنگ‌های آهکی و مرمر است. کلسیت با اسید کلریدریک به سهولت می‌جوشد، در زیر ضربه چکش به صورت قطعات متوازی‌السطوح کوچک در می‌آید که نشانه وجود سه جهت رخ در این کانی است. از دیگر کانی‌های کربناته، می‌توان **دولومیت** را نام برد [$(Ca,Mg)(CO_3)_2$] که از بسیاری جهات شبیه کلسیت است. تنها راه تشخیص دولومیت با کلسیت اثر اسید کلریدریک بر این دو است که کلسیت به سرعت می‌جوشد (شکل ۱۵ــ۵) و تنها پودر دولومیت با این اسید واکنش می‌دهد.

شکل ۱۶ــ۵ــ بلور نمک

کلریدها و سولفات‌ها : بر اثر تبخیر آب دریا یا دریاچه‌ها در حوضه‌های رسوبی بسته، املاح آنها به صورت لایه‌هایی ته‌نشین می‌شود و رسوبات تبخیری یا شیمیایی به‌وجود می‌آید. آن دسته از نمک‌هایی که در دریاچه‌های نواحی گرم زمین (مانند نواحی مرکزی و جنوبی ایران) رسوب می‌کنند، شامل کلریدسدیم (هالیت)، سولفات سدیم و سولفات کلسیم است. **هالیت** از مهم‌ترین و فراوان‌ترین رسوبات شیمیایی است که از تبخیر آب به وجود می‌آید. بلورهای آن مکعبی شکل (شکل ۱۶ــ۵) و شور مزه است. در زیر چکش به‌صورت مکعب‌های کوچک در می‌آید.

سولفات‌ها، معمولاً همراه با کلریدها در رسوبات تبخیری یافت می‌شوند. مهم‌ترین نوع این مواد، انیدریت که سولفات کلسیم بدون آب ($CaSO_4$) است که بلورهایی به شکل قوطی کبریت دارد. نوع آبدار سولفات کلسیم **ژیپس** یا **گچ** ($2H_2O.CaSO_4$) نامیده می‌شود که در اکثر نواحی ایران یافت می‌شود. برای تهیه گچ بنایی ژیپس را در کوره کمی حرارت می‌دهند تا قسمتی از آب تبلور خود را از دست بدهد. ژیپس با ناخن به آسانی خط برمی‌دارد و بلورهای آن نیز به آسانی ورقه ورقه می‌شوند.

۳ــ کانی‌های دگرگونی

بسیاری از کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین و رسوبی، در اثر فشار لایه‌های فوقانی و دمای زیاد موجود در قشر زیرین پوسته یا در مجاورت توده‌های ماگمایی تغییر شکل و حالت می‌دهند و به‌صورت کانی‌های دگرگونی درمی‌آیند. تعداد این کانی‌ها زیاد است که از بین آنها، دو نمونه را در اینجا ذکر می‌کنیم.

گارنت‌ها (گروناها) : از انواع سیلیکات‌ها است که از انواع شفاف آن پس از تراش به عنوان سنگ قیمتی در جواهرسازی به کار برده می‌شود. انواع کدر این کانی به علت سختی نسبتاً زیادی که دارد (درجه سختی ۷/۵) در تهیّه کاغذ سمباده نیز به‌کار می‌رود. گارنت به رنگ‌های یاقوتی، سبز، سیاه و به اندازه‌های مختلف در سنگ‌های دگرگون شده یافت می‌شود (شکل ۱۷ــ۵). بلورهای نسبتاً درشت گرونا در سنگ‌های دگرگونی اطراف کوه الوند وجود دارد.

شکل ۱۷ــ ۵ ــ جواهرات تراشیده شده از انواع گارنت

گرافیت : این کانی دگرگونی غالباً منشأ زیستی دارد. گرافیت مانند الماس از کربن خالص تشکیل شده، ولی برخلاف آن بسیار نرم است (درجه سختی یک) به طوری که دست را سیاه می‌کند. گرافیت از دگرگون شدن بعضی از انواع زغال سنگ پدید می‌آید. گرافیت در صنایع مختلف شیمیایی و الکتریکی، در ساختن مداد، «زغال» دینام الکتروموتورها، در رآکتورهای اتمی به عنوان کم‌کننده سرعت نوترون‌ها و در ماشین‌هایی که حرارت بسیار زیادی تولید می‌کنند به جای روغن (کم کردن نیروی اصطکاک) به کار می‌رود.

کاربرد کانی‌ها

۱ــ کانی‌های قیمتی : بعضی از کانی‌ها به علت‌دارا بودن رنگ، جلا، شکل ویژه بلور و سختی زیاد، قیمتی یا نیمه قیمتی محسوب می‌شوند. چنین کانی‌هایی را می‌توان برش و صیقل داد و به عنوان جواهر به کار برد. بعضی از جواهرات مانند الماس و زمرد، بسیار کمیابند و برخی از سیلیکات‌ها، بلورهای بسیار کاملی دارند.

آمتیست (کوارتز بنفش) جواهری است که رنگ بنفش زیبایی دارد. بعضی از غیر سیلیکات‌ها هم مانند کرندوم (Al_2O_3) با درجه سختی ۹، در صورتی که متبلور و رنگی باشند از جواهرات محسوب می‌شوند. کرندوم به رنگ‌های مختلفی دیده می‌شود که نوع قرمز آن را یاقوت گویند.

الماس، تحت فشار و گرمای فوق‌العاده زیاد و در عمق بیشتر از ۱۵۰ کیلومتری، از تغییر شکل گرافیت که کربن خالص است حاصل می‌آید. الماس را معمولاً در نقاطی از زمین می‌توان یافت که سنگ‌های مذاب توسط گازهای فوق حرارت معمولی به قسمت‌های سطحی زمین رانده می‌شوند و الماس را به همراه می‌آورند.

بیشتر بدانید

خاصیت پیزوالکتریک

بعضی از کانی‌ها مانند کوارتز را اگر در امتداد معینی فشار دهیم، در دو انتهای آن الکتریسیته تولید می‌شود و اگر آن را بکشیم بازهم در آن الکتریسیته ولی با علامت مخالف دفعه قبل پدید می‌آید. هرچه فشار بیشتر باشد مقدار جریان الکتریسیته بیشتر خواهد شد. از این خاصیت برای اندازه‌گیری فشار و تعیین عمق آب در نقاط مختلف و اندازه‌گیری فشار بر بدنه موتورها و بدنه توپ و تانک استفاده می‌کنند. البته اگر به این بلور، جریان الکتریسیته بدهیم، به طور مرتب شروع به نوسان می‌کند که از این خاصیت در ساعت‌سازی و تنظیم فرکانس امواج رادیویی فرستنده‌ها و گیرنده‌ها استفاده می‌شود.

۲ ــ کانی‌ها و تاریخچه گذشته زمین : زمین‌شناسان، برای درک بعضی از وقایع گذشته، از کانی‌ها هم استفاده می‌کنند. مثلاً وجود کانی‌های فراوان نمک و گچ، علامتی مبنی بر وجود دریاچه‌های گرم و کم‌عمق در گذشته و تبخیر فراوان در آن زمان‌ها هستند. **گلوکوفان**، که نوعی آمفیبول است، فقط در شرایطی که فشار زیاد و گرما کم باشد تشکیل می‌شود. پس می‌توان قضاوت کرد که محل یافت

شدن گلوکوفان، قبلاً در شرایط فشار زیاد بوده است.

۳ــ کانسنگ‌ها : کانسنگ یا سنگ معدن ماده‌ای است که به منظور بهره‌برداری از فرآورده‌های ارزشمند معدنی، استخراج و پالایش می‌شود. هر کانسنگ از دو بخش کانه یا کانی‌های ارزشمند و باطله یا کانی‌های بی‌ارزش تشکیل شده‌است. در کانسنگ آهن، هماتیت (Fe_2O_3) کانه یا کانی ارزشمند است و بقیه کانی‌های همراه آن باطله هستند. هماتیت پس از فرآوری از کانی‌های باطلهٔ کانسنگ آهن جدا شده و پس از انتقال به کارخانجات ذوب آهن، فلز آهن مورد نیاز صنعت از آن به دست می‌آید.

به محلی که یک یا چند کانسنگ از آن استخراج می‌شود، کانسار می‌گویند. آنچه استخراج یک کانسار را مقرون به‌صرفه اقتصادی می‌کند نسبت بالای کانه به باطله، نوع کانی‌های ارزشمند و پائین بودن هزینه‌های عملیات استخراج است.

شکل ۱۸ــ ۵ ــ یک معدن روباز. بسیاری از فلزات را از چنین معادنی استخراج می‌کنند.

مسئله آزبست

امروزه، آزبست تبدیل به مسئله‌ای جدی شده است و در بعضی از کشورها هرگز اجازه نمی‌دهند محصولات ساخته شده از این ماده در ساختمان‌های عمومی (مدرسه، اداره و ...) به کار برده شود.

آزبست (پنبه نسوز)، دارای الیاف انعطاف‌پذیری است و آن را در عایق‌کاری و تهیه پوشش‌های ضد آتش به کار می‌برند. الیاف آزبست، برای تهیه لنت ترمز، پارچه، یا ورقه‌ها هم مناسبند. مواد آزبست‌دار، به آسانی نمی‌سوزند و گرما و الکتریسیته را خوب هدایت نمی‌کنند.

اما با وجود این فایده‌ها، الیاف آزبست خطرناک هم هستند اگر تارهای آزبست از هم باز و شکسته شوند، ممکن است در هوا شناور بمانند و همراه هوای تنفسی وارد شش‌ها شوند. این الیاف توسط سلول‌های جدار کیسه‌های هوایی گرفته می‌شوند و در همانجا می‌مانند و در نتیجه، این سلول‌ها و سلول‌های سالم را تبدیل به سلول‌های سرطانی می‌کنند و صاحب خود را مبتلا به سرطان شش یا بیماری‌های تنفسی شدید می‌سازند. علت مخالفت با استفاده از آزبست نیز همین است.

الف ب

شکل ۱۹ــ۵ــ الف : کانی آزبست با رشته‌های نخ مانند آن. ب : استفاده از آزبست در تهیه لباس ضد آتش

شما تصمیم بگیرید :

بعضی عقیده دارند باید آزبست‌های به کار رفته در ساختمان‌ها را جمع‌آوری کرد. در مقابل، عده‌ای هم می‌گویند با این کار، ذرات آزبست بیشتری در هوا پراکنده خواهد شد و لزومی ندارد خرج بیهوده‌ای شود، به ویژه که با گذشت زمان، این ماده کم‌کم از میان می‌رود. شما با استدلال کدام گروه موافقید؟

فعالیت

تشخیص کانی‌ها

مواد لازم : نمونه‌های کانی‌ها، ذره‌بین، سکه مسی، یک قطعه شیشه، یک قطعه چینی بدون لعاب (قطعه بشقاب شکسته)، سوهان فولادی، اسید کلریدریک ۵ درصد، قطره چکان.

با استفاده از ذره‌بین، نمونه کانی‌ها را به دقت مشاهده کنید و جلا، درجه سختی، رنگ خاکه، رخ یا نوع شکستگی و رنگ هر یک را مشخص کنید.

ــ تأثیر اسید کلریدریک را بر کانی‌ها تعیین کنید (توجه : اسید کلریدریک سوزاننده است، بنابراین، در صورت ریخته شدن روی پوست یا لباس، فوراً محل را با آب زیاد بشویید.)

ــ یافته‌ها را در جدولی مانند جدول زیر بنویسید.

ــ کدام خاصه‌ها شما را بیشتر از بقیه در تشخیص کانی‌ها کمک می‌کند؟

ــ انجام کدام آزمایش مشکل‌تر از بقیه است :

نوع کانی	جلا	درجه سختی	اثر خاکه	شکستگی	رنگ	خواص دیگر
کوارتز	شیشه‌ای	۷	ــ	صدفی	سفید، شفاف	ــ

بیشتر بدانید

اورانیوم در طبیعت

اورانیوم در طبیعت به صورت خالص وجود ندارد ولی به صورت ترکیبات اکسید، سیلیکات، کربنات، فسفات و غیره تحت نام کانی‌های اورانیوم در بعضی از سنگ‌های رسوبی، آذرین و حتی دگرگونی یافت می‌شوند. کانی‌های اورانیوم همانند فلز خالص آن دارای پرتوزایی هستند. البته به غیر از کانی‌های اورانیوم کانی‌های فلزات دیگری مثل توریوم، رادیوم و غیره نیز پرتوزا هستند که نوع و درصد هر یک از این مواد در کانی‌های پرتوزا به‌وسیله تجزیه شیمیایی و یا دستگاهی مشخص می‌گردد.

مهم‌ترین کانسارهای اورانیوم شامل انواع دگرشیبی، ماسه‌سنگی، کنگلومرایی، رگه‌ای و تمرکز سطحی می‌باشند.

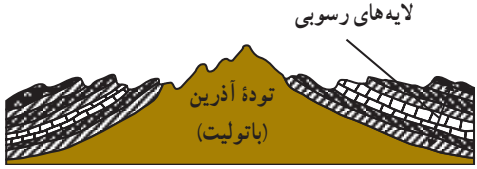
۶ ماگماتیسم و سنگ‌های آذرین

در گذشته‌ای نه چندان دور، زمین‌شناسان بر این باور بودند که آنچه در زیر پوسته زمین پنهان است حالتی مذاب دارد. بعدها شواهد به‌دست آمده نشان داد که مواد مذاب فقط در بخش‌هایی از داخل زمین دیده می‌شود که گرمای موجود، برای ذوب سنگ‌ها کافی است. این مواد مذاب پس از تشکیل شدن ممکن است به سطح زمین برسند، یا اینکه در درون زمین سرد شوند. در این موارد، سنگ‌های آذرین **بیرونی** و **درونی** حاصل می‌آیند.

دربارهٔ چگونگی فعالیت‌های بیرونی (آتشفشانی) در سطح زمین مطالب بیشتری می‌دانیم، زیرا امکان آزمایش‌های مستقیم و مشاهدات فراوان دربارهٔ آنها در نقاط مختلفی از زمین فراهم است. اما در مورد چگونگی فعالیت‌های درونی که در اعماق پوستهٔ زمین صورت می‌گیرند اطلاعات ما اندک است و در این زمینه ناچاریم به شواهد غیرمستقیم قناعت کنیم. بخصوص که در این زمینه، مطالعات ما پس از سرد شدن ماگما در تشکیل سنگ‌ها در آن اعماق انجام می‌گیرد و چگونگی انجام این عمل را به چشم نمی‌بینیم. از طرفی، ممکن است که از زمان پایان آن فعالیت‌ها میلیون‌ها سال هم گذشته باشد.

ماگما ضمن بالا آمدن از درز و شکاف‌های درون پوستهٔ زمین سرد می‌شوند و در مقایسه با سنگ‌های اطراف خود (سنگ‌های درونگیر) ساخت‌های مختلفی ایجاد می‌کنند. به این ساخت‌ها براساس شکل، اندازه و نحوهٔ قرار گرفتن آنها در بین لایه‌ها نام‌های مختلفی داده‌اند مانند؛ باتولیت، لاکولیت، دایک، سیل و ...

باتولیت‌ها بزرگ‌ترین و وسیع‌ترین توده‌های آذرین عمقی‌اند، به‌طوری که حداقل وسعتی معادل یکصدکیلومتر مربع را دربرمی‌گیرند (مانند کوه الوند در همدان). عمق باتولیت‌ها را به کمک یافته‌های ژئوفیزیکی بین ۱۰ تا ۳۰ کیلومتر تخمین می‌زنند.

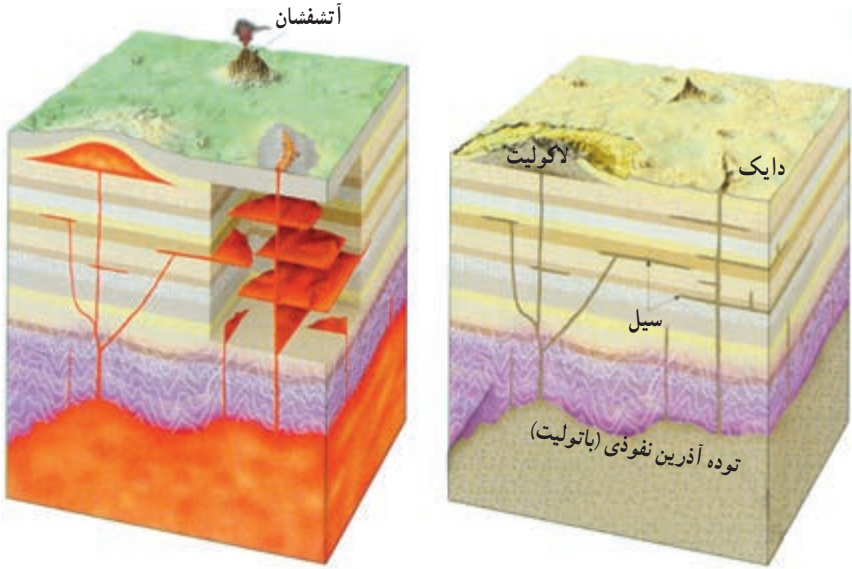


شکل ۱ــ۶ ــ گاهی بر اثر فرسایش لایه‌های رسوبی، باتولیت‌ها بر سطح زمین ظاهر می‌شوند.

از آنجا که بلور سنگ‌های تشکیل‌دهندهٔ باتولیت‌ها اغلب درشت است، تصور می‌شود زمان تشکیل و تبلور آنها بسیار کند و طولانی بوده باشد، و فرسایش لایه‌های فوقانی باتولیت‌ها، سبب ظاهرشدن آنها درسطح زمین می‌شود (شکل ۱ــ۶).

به‌جز باتولیت‌ها، ساخت‌های محدودتری نیز از مواد آذرین در داخل پوسته پدید می‌آید. این پدیده‌ها حاصل تزریق شدن ماگما در بین سنگ‌های مجاوراند (شکل ۲ــ۶).

؟ تفاوت و تشابه سیل و دایک در چیست؟



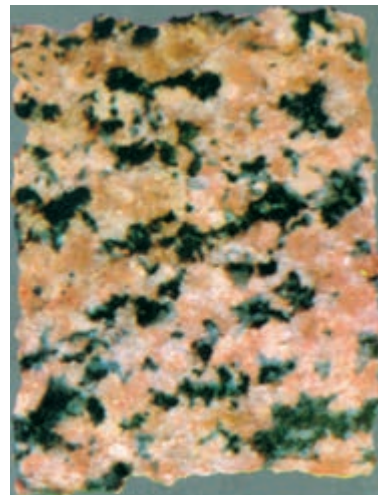
شکل ۲ــ۶ ــ شکل‌هایی از انجماد مواد مذاب در پوستهٔ زمین

ذوب و تبلور : اگر بخواهیم یک کانی متبلور را در آزمایشگاه ذوب کنیم لازم است آن را درکوره قرار دهیم و دمای آن را تدریجاً زیاد کنیم و آن را به نقطهٔ ذوب برسانیم. درحالت متبلور، یون‌های سازنده کانی با نظم و ترتیب معینی پهلوی هم چیده شده‌اند و حول یک نقطه ثابت ارتعاشات اندکی از خود بروز می‌دهند. با افزایش دما، یون‌ها دچار ارتعاش بیشتر می‌شوند و در نتیجه به یکدیگر برخورد می‌کنند، پس فضای بیشتری نیاز دارند. این وضع، سبب افزایش فاصله بین یون‌ها و انبساط ماده جامد می‌شود. در نقطه ذوب، فاصله یون‌ها، از هم زیادتر شده و شدت ارتعاشات بر نیروی پیوند شیمیایی یونی فایق می‌آید، نتیجه آنکه :

۱ــ نظم و ترتیب ساختمان بلورین از بین می‌رود.

۲ــ حجم ماده بیشتر شده و در نتیجه چگالی مایع مذاب کمتر از چگالی جامدی است که از آن به‌وجود می‌آید.

در حالت **تبلور**، عکس پدیده ذوب رخ می‌دهد. با کاهش دمای ذوب ، یون‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند و حرکت آزادانه خود را تقریباً از دست می‌دهند.



گرانیت

ابسیدین

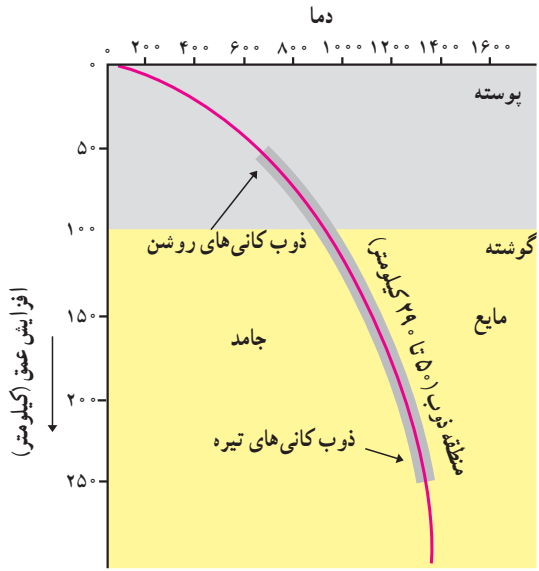
شکل ۳ــ۶ــ دو نمونه سنگ آذرین درونی و بیرونی

تشکیل ماگما : در حالت کلی، ماگما از ذوب سنگ‌های پوسته و یا گوشته طی فرایند بسیار پیچیده به‌وجود می‌آید. علاوه بر افزایش دما که پیوندهای یونی را در کانی‌ها سست و از هم جدا می‌کند و به اصطلاح موجب ذوب سنگ‌ها می‌شود، عوامل دیگری نیز در ذوب سنگ‌ها دخالت می‌کنند که یکی فشار و دیگری حضور مواد فرّار و به ویژه، آب است.

افزایش **فشار** برخلاف گرما، باعث استحکام پیوندهای شیمیایی شده و در نتیجه مانع ذوب سنگ‌ها می‌شود و چون هر چه عمق زیاد شود فشار هم افزایش پیدا می‌کند، برای ذوب سنگ‌ها در اعماق زیاد، دمای بیشتری نسبت به سطح زمین لازم است. بنابراین در عمق معینی از زمین، اگر دما ثابت فرض شود ولی از مقدار فشار کاسته شود، ماده به حالت ذوب نزدیک‌تر می‌شود، و سرانجام عمل ذوب رخ می‌دهد.

آب نیز به علت ساختمان خاص مولکولی خود می‌تواند مانند گرما، جدا شدن پیوندهای یونی را در کانی‌ها آسان کند. چون آب در همهٔ سنگ‌های پوسته زمین کم و بیش وجود دارد، لذا افزایش فشار بخار آب را باید عاملی در ذوب سنگ‌ها به حساب آورد.

اصولاً ذوب سنگ‌های درونی زمین به هر علت که اتفاق افتاده باشد شامل تمام کانی‌های سنگ نمی‌شود. به عبارت دیگر، سنگ‌های درون زمین از کانی‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که نقطهٔ ذوب آنها با هم تفاوت دارد، لذا در هنگام ذوب، بعضی از کانی‌های زودگداز ذوب می‌شوند و بقیه کانی‌ها، یعنی



شکل ۴ــ۶ــ رابطه میان دما و عمق. به منطقه ذوب مواد توجه کنید.

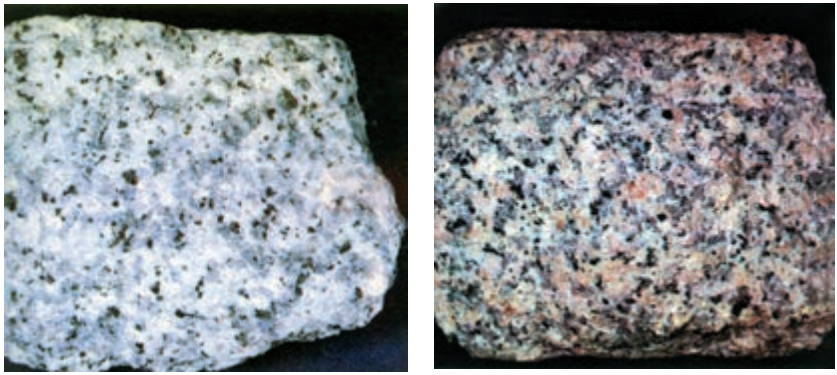
انواع دیرگداز آنها در تشکیل ماگما وارد نمی‌شوند. این قبیل ذوب را باید ذوب ناقص نامید. یکی از علل اختلاف ترکیب ماگماها، همین مقدار ذوب سنگ اصلی است که ممکن است ۵، ۱۰ یا ۲۰ درصد از سنگ اصلی و یا بیشتر ذوب شود (شکل ۴ــ۶).

جدول ۱ــ۶ــ ترکیب عمومی سنگ‌های آذرین

نمونه	دمای ذوب	درجه غلظت نسبی	عناصر مهم دیگر	درصد سیلیس	ترکیب
گرانیت، ریولیت	~۶۰۰–۸۰۰°C	بالا	Al, K, Na	SiO_2> ۶۶٪	اسیدی
دیوریت، آندزیت	~۶۰۰–۱۰۰۰°C	متوسط	Al, Ca, Na, Fe, Mg	۶۶٪ > SiO_2 > ۵۲٪	متوسط
گابرو، بازالت	~۱۰۰۰–۱۲۰۰°C	پایین	Al, Ca, Fe, Mg	۵۲٪ > SiO_2 > ۴۵٪	بازی
پریدوتیت	> ۱۲۰۰°C	خیلی پایین	Mg, Fe, Al, Ca	۴۵٪ > SiO_2	فوق بازی

نوع کانی‌ها

نوع کانی‌های سنگ‌های آذرین کاملاً بستگی به ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها دارد. کانی‌هایی که در یک سنگ آذرین فراوان‌تر باشند بر ظاهر سنگ اثر می‌گذارند. چنانکه سنگ‌های پُرسیلیس به‌علت وفور کوارتز و فلدسپات، ظاهری روشن داشته (سنگ‌های اسیدی) و سنگ‌های کم سیلیس و به اصطلاح بازیک (و خیلی بازیک) به علت وفور کانی‌های آهن و منیزیم‌دار رنگ تیره‌تر از خود ظاهر می‌سازند (جدول ۱ــ۶). به این ترتیب، با توجه به رنگ سنگ (به شرط آنکه منظره تازه شکسته شده سنگ درنظر گرفته شود) می‌توان تا اندازه‌ای به ترکیب سنگ پی برد.

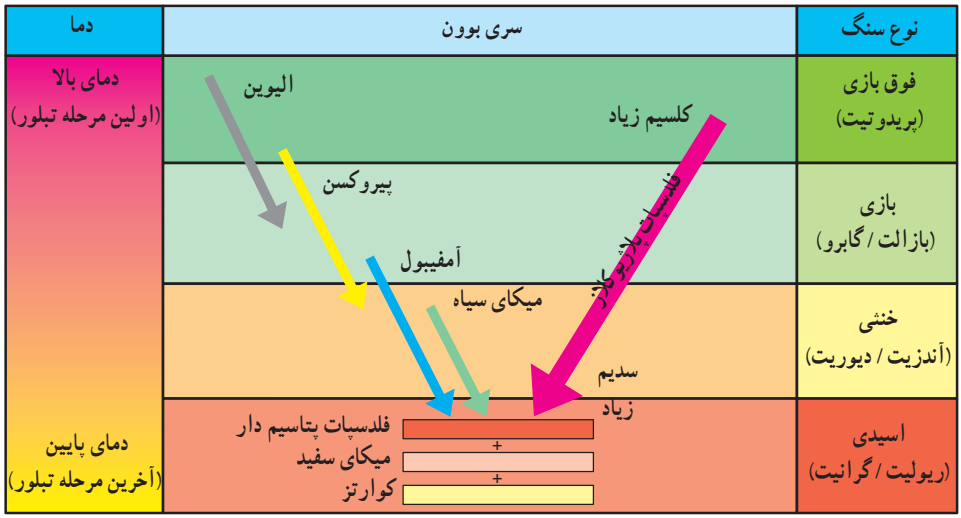


شکل ۵ ــ ۶ ــ دو نمونه سنگ گرانیت

همه کانی‌های موجود در یک سنگ آذرین در یک زمان از ماگمای مذاب جدا نمی‌شوند، یعنی هر کانی در دمای خاص متبلور می‌شود. چنانکه الیوین در دمای ۱۶۰۰ درجه اولین کانی است که از یک ماگمای بازیک (بازالت) متبلور می‌شود و پیروکسن در دمای کمتر از آن، مثلاً در حدود ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد به‌وجود می‌آید. پس، وقتی که ماگمای داغ، شروع به سرد شدن کند، در دماهای مختلف، کانی‌هایی با ترکیب‌های متفاوت می‌توانند از مایع جدا شوند. با ادامهٔ این عمل، ترکیب مایع مذاب باقیمانده تغییر می‌کند.

یکی از پژوهش‌های بی‌سابقه در مورد تبلور ماگما، به وسیله بوون (Bowen) ژئوفیزیک‌دان امریکایی انجام شد. به عقیده او بیشتر ماگماها ترکیب بازالتی دارند. از این ماگما مطابق شکل ۶ ــ ۶، ضمن سرد شدن تدریجی، کانی‌های مختلف و در نتیجه سنگ‌های آذرین متفاوت به‌وجود می‌آید.

بوون در آزمایش‌های خود مشاهده کرد نخستین کانی‌هایی که از سرد شدن ماگما حاصل می‌شود الیوین و پلاژیوکلاز کلسیم‌دار است. از تجمع این دو کانی همراه با مقداری پیروکسن، سنگ بازالتی یا



شکل ۶ ــ۶ــ واکنش‌هایی که بر اساس نظریه بوون در ماگمای بازالتی صورت می‌گیرد.

معادل درونی آن گابرو به‌وجود می‌آید. با ادامه تبلور، ترکیب ماده مذاب باقیمانده تغییر می‌کند. یعنی تقریباً قسمت مهمی از آهن، منیزیم و کلسیم خود را از دست می‌دهد. در عوض ماده مذاب از عناصری که تا کنون در ساختمان ماده‌ای وارد نشده‌اند (سدیم و پتاسیم) غنی می‌شود و در عین حال مقدار سیلیس نیز در مایع مذاب زیاد شده است.

ولی اگر نخستین بلورها (یعنی الیوین و پلاژیوکلاز کلسیم دار) در محلول باقی بمانند و با مایع وارد واکنش شوند، کانی‌هایی با درجات حرارت پایین‌تر از خود را به‌وجود می‌آورند و این وضع ادامه می‌یابد. این توالی تشکیل کانی‌ها را **سری واکنشی بوون** می گویند. در شکل ۶ ــ۶ در سمت چپ و بالا، کانی الیوین تشکیل شده و با مایع مذاب باقی مانده واکنش نموده و پیروکسن به‌وجود آمده است.

به‌عنوان مثال

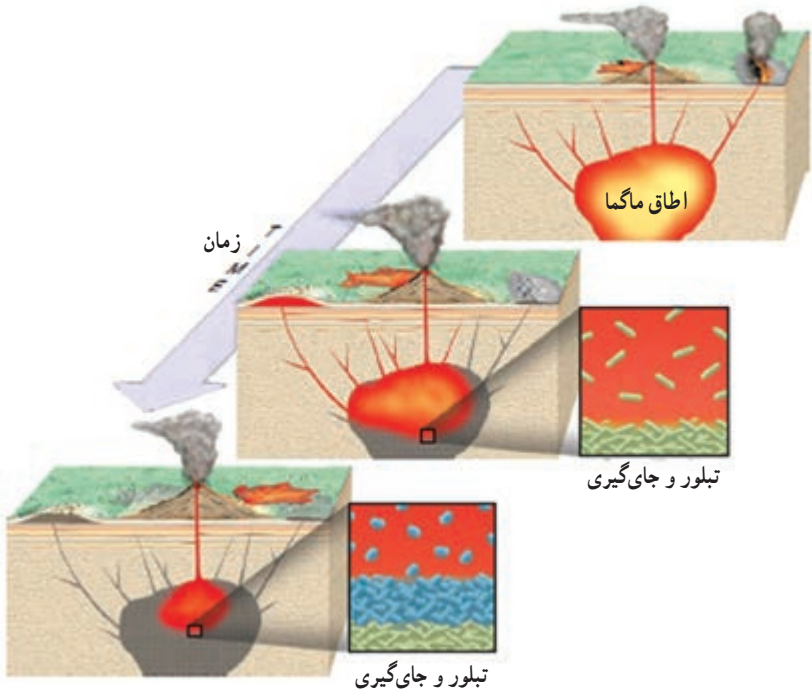
پیروکسن ← مایع مذاب باقیمانده + الیوین

آمفیبول ← مایع مذاب باقیمانده + پیروکسن

بیوتیت ← مایع مذاب باقیمانده + آمفیبول

در انتها، یعنی پس از انجماد قسمت اعظم ماگما، بلورهای ارتوکلاز، مسکوویت و کوارتز از باقیمانده ماده مذاب متبلور می‌شوند. در قسمت راست نیز ابتدا پلاژیوکلاز کلسیم‌دار و سرانجام پس از واکنش‌های متعدد پلاژیوکلاز سدیم‌دار حاصل می‌شود. به این ترتیب با توجه به رنگ‌های مختلف در

متن شکل، لااقل چهارنوع سنگ با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت به‌وجود می‌آیند و به این طریق می‌توان ثابت کرد که بر اثر جدا شدن بلورهای اولیه (مثلاً ته‌نشین شدن در کف اطاق ماگمایی) و عدم واکنش با مایع باقیمانده و انجماد سنگ‌های آذرین مختلفی به‌وجود می‌آیند (شکل ۷ــ۶).



شکل ۷ ــ۶ــ جدا شدن بلورهای اولیه و ته‌نشین شدن در کف اطاق ماگمایی

بافت

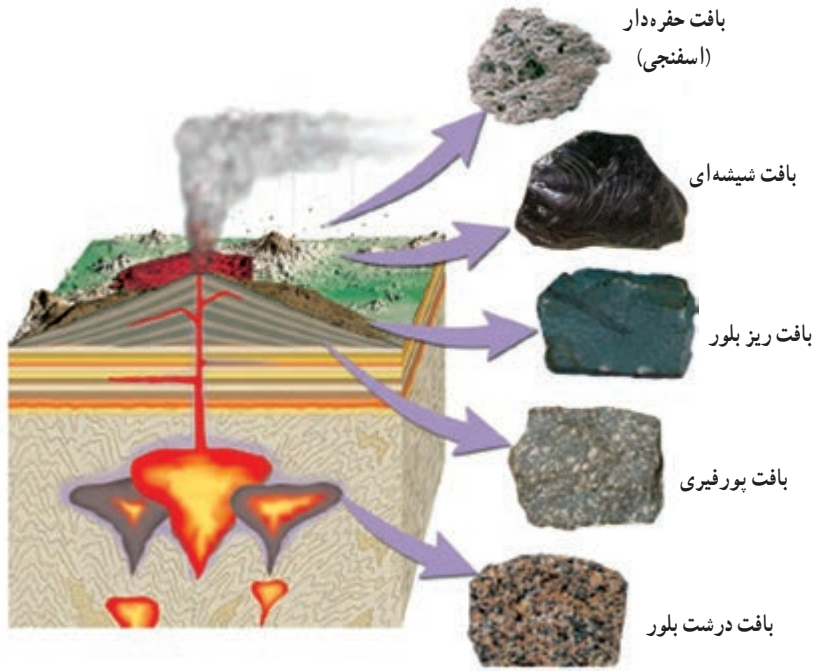
بافت یک سنگ آذرین به اندازه، شکل و آرایش کانی‌های موجود در سنگ اشاره می‌کند. نخستین چیزی که در سنگ مشاهده می‌شود اندازه یا درشتی بلور است. به کمک بافت می‌توان یک سنگ آذرین درونی را از انواع بیرونی مشخص کرد. آیا می‌توانید چگونگی آن را ذکر کنید؟

به طور کلی سنگ‌های آذرین را از روی بافت، به انواع درشت بلور، ریز بلور، شیشه‌ای (فاقد بلور)، پورفیری و اسفنجی طبقه‌بندی می‌کنند. هرقدر سرعت سرد شدن کندتر باشد، تعداد مراکز تبلور کمتر بوده و یون‌ها فرصت کافی برای مهاجرت به سوی مراکز تبلور را خواهند داشت. در نتیجه، تعداد بلورها اندک، ولی اندازهٔ آنها بزرگ می‌شود. در عوض، اگر سرعت سرد شدن زیاد باشد، عکس حالت فوق اتفاق می‌افتد، به طوری که سنگ‌های فاقد بلور بوده و به اصطلاح شیشه‌ای هستند یعنی چون به

سرعت سرد می‌شوند، لذا در آنها ساختمان منظم بلورین وجود ندارد. (مانند اُبسیدین).

در بافت پورفیری بلورهای درشت در زمینه‌ای فاقد بلور یا ریز بلور قرار دارند. وجود این بافت حاکی از آن است که سنگ در دو مرحله سرد شده است. مرحله اول در اعماق (درشت بلورها)، مرحله دوم در مسیر حرکت و نزدیک شدن به سطح زمین (ریز بلورها) و یا در سطح زمین که خمیره سنگ، سریعاً انجماد یافته است.

بافت حفره‌دار و اسفنجی نیز در سنگ پا و پوکه معدنی دیده می‌شود که به علت خروج گازها از گدازه در حال انجماد، چنین سنگ‌های حفره داری به‌وجود می‌آید.



شکل ۸ــ۶ ــ انواع بافت سنگهای آذرین متناسب با شرایط تشکیل آنها

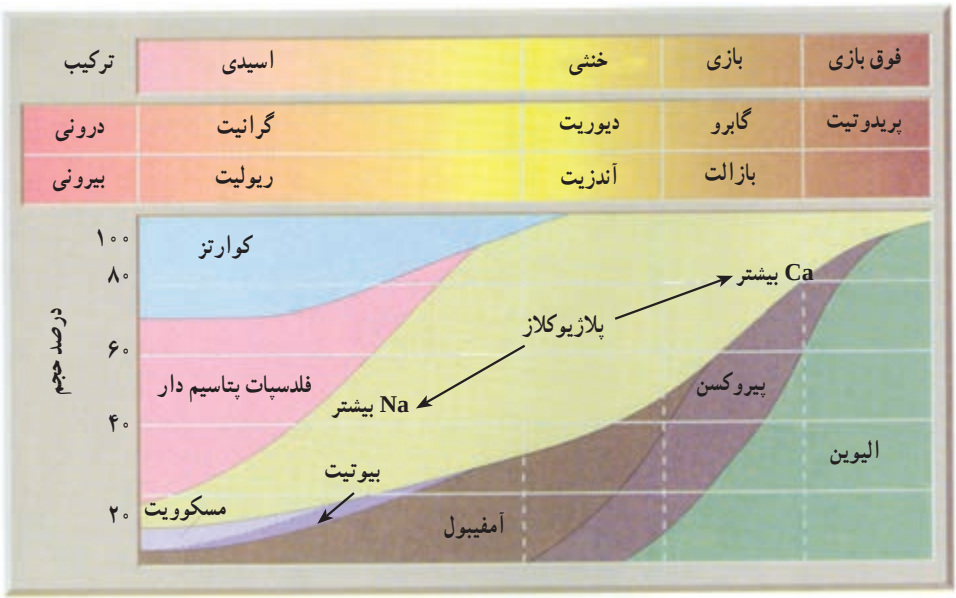
طبقه‌بندی

سنگ‌های آذرین را می‌توان براساس ملاک‌های زیر طبقه‌بندی کرد :

ــ ترکیب شیمیایی که به مقدار سیلیس موجود در سنگ وابسته است.

ــ نوع کانی‌های تشکیل دهندهٔ سنگ.

ــ بیرونی و درونی بودن آنها (بافت سنگ).



شکل ۹ ــ ۶ــ رده‌بندی و ترکیب کانی شناسی اقسام مهم سنگ‌های آذرین

در شکل ۹ ــ ۶، با ادغام سه مورد فوق، اقسام مهم سنگ‌های آذرین، نشان داده شده است. در بررسی این شکل به ۳ نکته زیر توجه کنید :

الف) یک ماده مذاب ممکن است در اعماق و یا در سطح زمین سرد شود. در این حالت دو نوع سنگ به‌وجود می‌آید که از نظر شیمیایی و کانی شناسی شبیه به هم هستند، ولی ازنظر بافت با هم تفاوت دارند. بنابراین، هر سنگ آذرین درونی یک معادل بیرونی خواهد داشت.

ب) در این شکل، اقسام سنگ‌هایی که بافت تماماً شیشه‌ای و حفره‌دار دارند، دیده نمی‌شود. مسلماً این سنگ‌ها معادل درونی هم دارند.

ج) رنگ سنگ‌های آذرین تابع کانی‌های موجود در آنها و وسیله خوبی برای تشخیص و نام‌گذاری سنگ‌هاست. در اینجا برای توجه به اینکه کدام یک از سنگ‌ها دارای رنگ روشن و کدام یک تیره رنگ است از رنگ‌های مختلف استفاده کرده‌ایم.

بیشتر بدانید

پگماتیت

پگماتیت، به سنگ‌های آذرینی گفته می‌شود که بلورهای تشکیل دهندهٔ آنها به طور غیرطبیعی بزرگ باشد. بلورهای موجود در بیشتر پگماتیت‌ها قطری بیشتر از یک سانتیمتر دارند، اما در بعضی از این سنگ‌ها، بلورهای یک متری و بزرگ‌تر هم دیده شده‌است. در اونتاریوی کانادا، پگماتیت‌هایی با بلورهای چند متر مربعی میکای سفید یافت شده است. فلدسپات‌های بعضی از این سنگ‌ها هم گاهی چندین متر مکعب حجم داشته‌اند.

بیشتر پگماتیت‌ها ترکیب گرانیتی دارند و محتوی بلورهای درشت کوارتز، فلدسپات و میکای سفیدند. این سنگ‌ها را به خاطر محتوای کانی‌های آنها استخراج می‌کنند. در بعضی از پگماتیت‌ها، علاوه بر کانی‌های فوق، عناصری چون لیتیم، سزیم، اورانیم و جواهرات نیمه قیمتی مانند توپاز و تورمالین هم یافت شده‌اند.

بیشتر پگماتیت‌ها در میان توده‌های بزرگ آذرین، یا درون دایک‌ها و رگه‌ها قرار دارند و در اواخر مراحل متبلور شدن ماگما تشکیل می‌شوند.

در ایران پگماتیت را می‌توان در نقاطی از کوه الوند و خواجه مراد مشهد مشاهده کرد.

فعالیت

تشخیص سنگ‌های آذرین و طبقه‌بندی آنها

ــ چند نوع سنگ آذرین مختلف را از آزمایشگاه دبیرستان بگیرید و آنها را با ذره‌بین به دقت مشاهده کنید. بافت هر سنگ را تعیین کنید. اگر دانه‌ها درشت‌اند و با چشم دیده می‌شوند، بافت را دانه درشت محسوب کنید. اگر دانه‌ها چنان ریزند که به سختی تشخیص داده می‌شوند بافت از نوع دانه ریز است. سنگ‌ها را بر همین اساس، به دو گروه تقسیم کنید.

۱ــ تفاوت میان اندازهٔ بلورها در سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی در چیست؟

۲ــ اگر اندازهٔ بلورهای یک سنگ به طور قابل توجهی متفاوتند، سنگ از چه گروهی است؟

ــ اکنون، به رنگ سنگ‌ها توجه کنید. آیا سنگ‌ها روشن، تیره یا متوسط‌اند؟ یک بار هم سنگ‌ها را بر این اساس طبقه‌بندی کنید.

۱ــ کانی‌هایی که سنگ را تیره می‌کنند، از کدام نوعند؟
۲ــ زمینهٔ سنگ را کدام کانی‌ها تشکیل داده‌اند؟
ــ سعی کنید نوع بلورهای درشت تشکیل دهندهٔ سنگ را تشخیص دهید.
با استفاده از نمودار صفحه ۷۷ بر اساس ترکیب و اندازهٔ دانه‌ها، نامی برای سنگ انتخاب و جدول زیر را کامل کنید.

نمونه سنگ	بافت	رنگ	نوع کانی‌ها	نام احتمالی
۱ــ				
۲ــ				
۳ــ				
۴ــ				
نتیجه‌گیری :				

ــ چرا سنگ‌های آذرین دارای یک ترکیب، گاهی دانه‌هایی در اندازه‌های نامساوی دارند؟
ــ اصولاً تشخیص سنگ آذرین به کدام مبنا صورت می‌گیرد؟
ــ فرق ابسیدین با سنگ‌های آذرین دیگر در چیست؟

موارد استفاده

بعضی از سنگ‌های آذرین به‌ویژه گرانیت‌ها و گابروها را پس از برش و صیقل دادن به علت زیبایی، مقاومت زیاد و دوام طولانی به عنوان سنگ‌های تزیینی استخراج می‌کنند. از رگه‌های سیلیس در صنایع شیشه‌سازی و از رگه‌های فلدسپات در صنعت چینی‌سازی استفاده می‌کنند. از پوکه معدنی که سنگ سبک و متخلخل است و سیمان‌گیری خوبی دارد، به عنوان عایق در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. از سنگ‌پا نیز که نوعی سنگ حفره‌دار است، جهت سائیدن و پرداختن چوب استفاده می‌کنند.

بعضی از فلزات اقتصادی و با ارزش نظیر طلا، نقره، مس، جیوه، سرب، پلاتین، اورانیم و کُرم توسط فرایندهای آذرین فراهم می‌شود. مثلاً در محل آستانه اراک در قدیم، صنعت طلاشویی جهت استخراج طلا از رسوبات آبرفتی (که خود از فرسایش گرانیت بوجود می‌آید)، رواج داشته است. در معدن مس سرچشمه نیز توسط فرایندهای آذرین و براثر جریان محلول‌های داغ، مس در شکستگی‌ها

و حفره‌ها متمرکز شده است. بسیاری از چشمه‌های آبگرم در مجاورت مناطق آتشفشانی جوان قرار دارند از آن جمله در اردبیل (نزدیک آتشفشان سبلان)، بسیاری از چشمه‌های آبگرم اطراف دماوند و یا بستان‌آباد آذربایجان شرقی.

از فرسایش و هوازدگی کانی‌های سنگ‌های آذرین، خاک به‌وجود می‌آید که در واقع تکیه‌گاه و محل زیست و منبع تغذیه موجودات زنده در سطح زمین است و اگر فعالیت‌های آذرین وجود نداشت خاک که غذای انسان از آن تأمین می‌شود، به صورت فعلی به‌وجود نمی‌آمد.

تحقیق کنید

دربارهٔ سنگ‌های آذرین اطراف شهر خود (در صورت وجود) اطلاعاتی جمع‌آوری کنید. این سنگ‌ها بر اثر فعالیت‌های بیرونی به‌وجود آمده‌اند یا فعالیت‌های درونی؟ موارد استفادهٔ آنها چیست؟

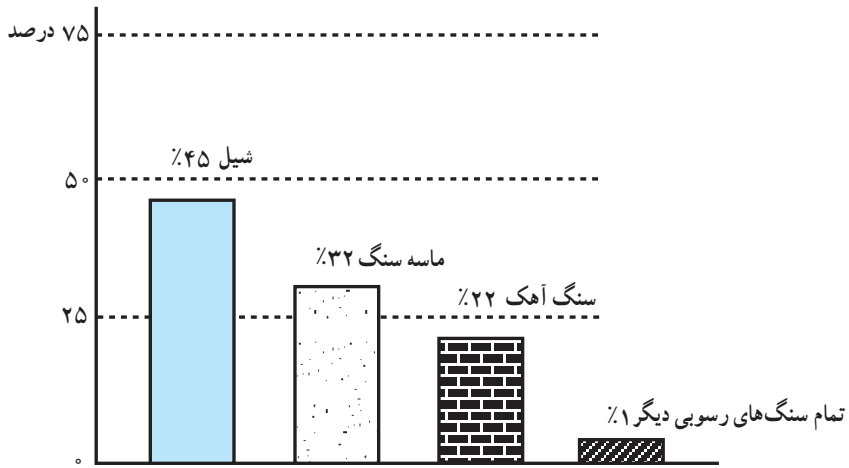
۷ سنگ‌های رسوبی

بیشتر ما در محل‌هایی زندگی می‌کنیم که به آسانی نمی‌توانیم فعالیت یک آتشفشان یا طرز انجماد مادهٔ مذاب را ببینیم. اما مشاهدهٔ ساحل ماسه‌ای، یا رودی که مقداری گل به همراه می‌برد، آسان است. می‌دانید که مواد همراه اغلب رودها، سرانجام به دریا می‌رسند و در ته آن **رسوب** می‌کنند. شما در هر نقطه از کشور که زندگی کنید، فاصلهٔ چندانی از رسوباتی که قبلاً تشکیل شده‌اند، یا امروزه در حال تشکیل‌اند، ندارید. این رسوبات به وسیلهٔ عواملی مانند آب، یخچال یا باد به‌وجود آمده و پس از جابه‌جایی، معمولاً به شکل **لایه‌لایه** روی هم ته‌نشین شده‌اند. (شکل ۱ ــ ۷) بیشتر رسوبات، سرانجام به **سنگ‌های رسوبی** تبدیل می‌شوند. سنگ‌های رسوبی، لایه نازکی را در سطح زمین تشکیل می‌دهند (۵ درصد از ۳۵ کیلومتر اولیه پوسته قاره‌ای)، اما همین سنگ‌ها، در سطح زمین فراوان‌تر از سنگ‌های دیگرند.

شکل ۱ ــ ۷ ــ یکی از مشخصات ظاهری سنگ‌های رسوبی، لایه لایه بودن آنهاست.

سنگ‌های رسوبی، منابعی چون نفت، زغال‌سنگ، گازطبیعی، معادن آهن، آلومینیم، سنگ‌های ساختمانی و مصالح ساختمانی دیگر را تشکیل می‌دهند، یعنی در زندگی ما اثر زیادی دارند.

سنگ‌های رسوبی، شواهد مربوط به تاریخچهٔ گذشته زمین را هم در بر دارند (فسیل‌ها و غیره) و نشان می‌دهند که وضع دریاها و خشکی‌ها، رشته‌کوه‌ها و غیره در گذشته چگونه بوده است.



شکل ۲ ــ۷ ــ نسبت فراوانی سنگ‌های رسوبی در روی زمین

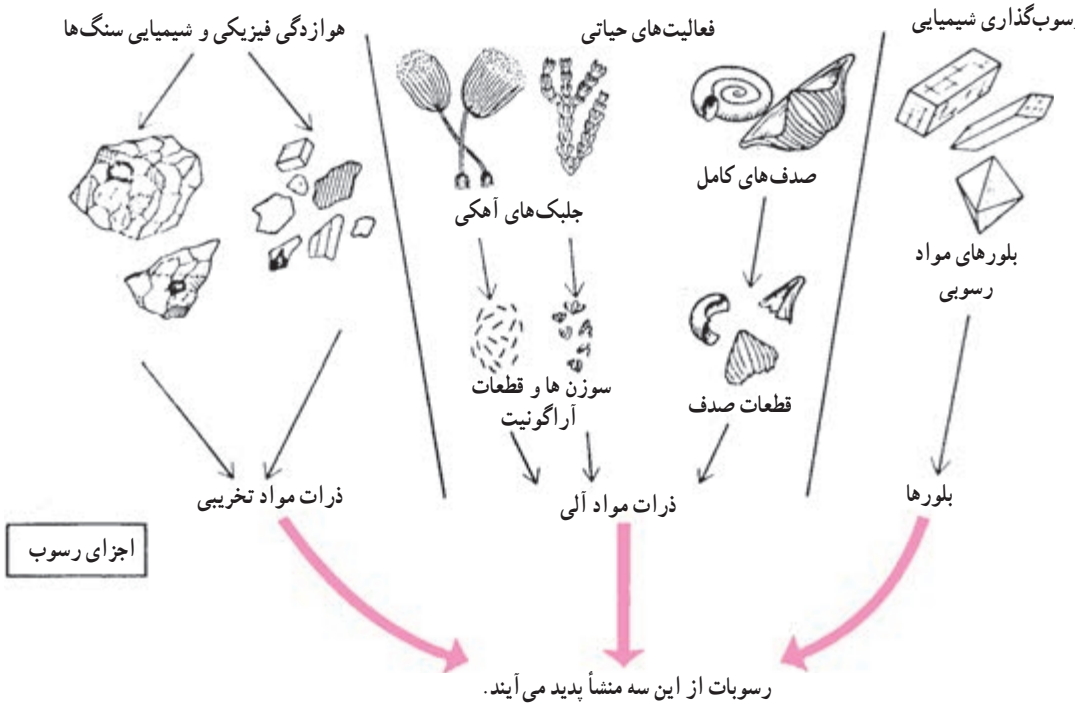
منشأ رسوبات

به‌طورکلی منشأ رسوبات دریایی را به ترتیب زیر می‌توان ذکر کرد. (شکل ۳ ــ ۷)

۱ــ مواد تخریب شده : مقدار زیادی شن، ماسه و رس از خشکی‌ها به درون دریاها برده می‌شوند که حاصل تخریب سنگ‌های قاره‌ها هستند.

۲ــ بقایای بدن جانداران : جانداران زیادی وجود دارند که برای تشکیل پوشش محافظ بدن (پوسته وصدف) و اسکلت خود به مواد معدنی از قبیل کربنات‌های کلسیم، سیلیس و گاهی فسفات‌ها، سولفیدها و اکسیدهای آهن محتاجند. طبعاً این مواد بعد از مرگ جانداران بر جای می‌مانند و در آب رسوب می‌کنند.

۳ــ مواد شیمیایی : بعضی از موادی که در روی خشکی‌ها در آب حل می‌شوند، به طریقه شیمیایی در دریا رسوب می‌کنند. نمک طعام، کربنات‌های کلسیم و منیزیم، بعضی سولفات‌ها، ترکیبات آهن و غیره را باید از این جمله شمرد.



شکل ۳ــ ۷ــ رسوبات مخلوطی از مواد تخریبی، شیمیایی یا آلی‌اند.

منشأ و نوع کانی‌های موجود در سنگ‌های رسوبی

سنگ‌های رسوبی هم مانند سنگ‌های آذرین، یا دگرگون شده، مجموعه‌ای از کانی‌ها هستند. در این سنگ‌ها، سه کانی از همه بیشتر یافت می‌شود که عبارت‌اند از : **رس**، **کوارتز** و **کلسیت**. اما البته در برخی از سنگ‌های ویژه، کانی‌های دیگری عمومیت دارند. به‌ندرت ممکن است در یک سنگ رسوبی فقط یک نوع کانی یافت شود. مثلاً در سنگ‌آهک، کانی کلسیت بسیار فراوان است، اما در خالص‌ترین سنگ‌های آهکی هم مقداری کانی‌های دیگر مانند رس یا کوارتز، علاوه بر کلسیت دیده می‌شود. همچنین، دانه های بسیاری از ماسه‌سنگ‌ها از جنس کوارتز است، اما خمیره‌ای که این دانه‌ها را به هم می‌پیوندد ممکن است رس، سیلیس، کلسیت، دولومیت یا اکسید آهن باشد.

کانی‌های رسی از تجزیه سیلیکات‌ها، به‌ویژه فلدسپات‌ها حاصل می‌آیند. همین کانی‌ها بعداً ممکن است اجزای اصلی سنگ‌های رسی یا شیل‌ها را تشکیل دهند.

کوارتز هم از تجزیه سنگ‌های آذرین به‌وجود می‌آید، زیرا وقتی بر اثر هوازدگی، یک سنگ گرانیتی تجزیه می‌شود، دانه‌های کوارتز موجود در آن آزاد می‌شوند. بیشتر حجم ماسه‌سنگ‌ها را کوارتز

تشکیل می‌دهد. در عین حال مقداری سیلیس محلول و در اندازه‌های کلوئیدی هم در نتیجه هوازدگی شیمیایی سنگ‌های گرانیتی یا انحلال اسکلت موجوداتی که اسکلت سیلیسی دارند (دیاتوم‌ها) حاصل می‌آید، که این سیلیس بعداً ممکن است سیمان سنگ‌های رسوبی دانه درشت را پدید آورد، یا آنکه به شکل کانی جدیدی به نام اوپال (SiO_2, nH_2O) درآید. اوپال متبلور نیست و سختی آن از کوارتز کمتر است. البته گاهی نیز سیلیس در بعضی از سنگ‌های رسوبی به‌صورت بلورهای بسیار دانه‌ریزی دیده می‌شود. از سنگ‌هایی که بدین صورت حاصل می‌شوند، می‌توان نوعی سنگ آتش‌زنه «فلینت» و کلسدونی (Calcedony) را نام برد (سنگ آتش‌زنه را آدمیان نخستین برای تهیه ابزارهای خود به کار می‌برده‌اند).

کلسیت، کانی اصلی تشکیل‌دهندهٔ سنگ‌های آهکی است. کربنات کلسیم نیز یکی دیگر از مواد شیمیایی است که می‌تواند در بین ذرات و قطعات سنگ‌ها نفوذ کند و آنها را به‌هم بچسباند. بیشتر آب‌های زیرزمینی مقداری CO_2 در خود محلول دارند. با این ترتیب این آب‌ها تا حدی خاصیت اسیدی می‌یابند.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

این اسید هم به نوبه خود با کلسیت ترکیب می‌شود و آن را به بیکربنات محلول تبدیل می‌کند.

$$\underset{\text{نامحلول}}{CaCO_3} + H_2CO_3 \rightleftharpoons \underset{\text{محلول}}{Ca^{++}} + 2HCO_3^-$$

و البته صورت نامحلول این ماده،در بین ذرات رسوبی تشکیل سیمان آهکی را می‌دهد.

به‌جز سه کانی رس، کوارتز و کلسیت، کانی‌های دیگری که در میان سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند عبارت‌اند از : ۱) دولومیت، $CaMg(CO_3)_2$ یا کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم. ۲) مقداری فلدسپات‌های مختلف و میکا. ۳) اکسیدهای آهن، که طبعاً منشأ آن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار بوده است و به‌صورت هماتیت و لیمونیت درآمده‌اند. ۴) هالیت (NaCl) و ژیپس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$، که از تبخیر آب‌های محتوی این مواد برجای مانده‌اند. به عنوان مثال اگر این شوری به ۱۰ برابر حد طبیعی برسد، ته‌نشین شدن هالیت آغاز می‌شود. ضمناً قطعات ریز و درشت مواد آتشفشانی و همچنین مواد آلی هم ممکن است در میان سنگ‌های رسوبی یافت شوند.

حمل رسوبات

مواد سازنده رسوبات شیمیایی، به‌صورت محلول در آب حمل می‌شوند. این مواد، تا زمانی که

دما، فشار یا ترکیب شیمیایی آب عوض نشود، یعنی شرایط برای رسوب‌گذاری فراهم نباشد، همچنان به‌صورت محلول می‌مانند.

❓ بعضی از جانداران، درکم و زیاد کردن املاح محلول در آب دخالت دارند. به نظر شما نوع این دخالت چگونه است؟

بیشتر رسوبات از نوع تخریبی‌اند و به طریقه مکانیکی از خرد شدن سنگ‌ها در روی خشکی یا سواحل حاصل آمده‌اند. در حمل این مواد، آب جاری، باد یا یخچال دخالت دارند. مقدار رسوباتی که در طول یک سال به دریا برده می‌شوند، حدود ۱۰ میلیارد تن تخمین زده می‌شود، که بیشتر این مواد را رودها به دریا می‌برند.

شکل ۴ ــ ۷ ــ موادی که رودها با خود حمل می‌کنند معمولاً متناسب با وزن ته‌نشین می‌شوند. در این صورت، چرا مواد ریز و درشت را در کنار هم می‌یابیم؟

اندازهٔ دانه‌هایی که به محیط رسوبی برده می‌شوند، به نوع سنگ اولیه و میزان مقاومت آن در برابر عوامل تخریب‌کننده و همچنین نوع عامل حمل‌کننده، مسافت طی شده و وضعیت مسیر بستگی دارد. سنگ‌های مختلف، دانه‌هایی در اندازه‌ها و شکل‌های مختلفی ایجاد می‌کنند. مثلاً، از گرانیت‌های دانه درشت، در مقایسه با خاکسترهای آتشفشانی، ذرات درشت‌تری حاصل می‌آید.

❓ موادی که توسط عوامل مختلف فرسایشی حمل می‌شوند، گاهی «**جورشدگی**» (یعنی از نظر قطر هم‌اندازه بودن) خوبی را از خود نشان می‌دهند. به نظر شما، این جورشدگی‌ها در کدام نوع رسوبات زیاد و در کدام‌ها کم است؟

شکل دانه‌هایی که از خرد شدن سنگ‌ها در مراحل نخست حاصل می‌آیند، زاویه‌دار و نامنظم است. اما همان دانه‌ها ممکن است در ضمن حمل، با ایجاد ساییدگی، گرد و بدون زاویه شوند. رودها یکی از عوامل مهم تغییردهندهٔ شکل دانه‌های رسوب‌اند.

دانه‌های مربوط به کانی‌های نرم از قبیل ژیپس و کلسیت، زودتر گرد می‌شوند تا دانه‌های سیلیسی و سخت. در مطالعه‌ای معلوم شد که دانه‌های نرم بعد از طی ۱۱ کیلومتر به همراه آب، صاف شدند، در صورتی که دانه‌های کوارتز، پس از طی ۸۵ تا ۳۳۵ کیلومتر لبه‌های تیز خود را از دست دادند.

دیاژنز : پس از ته‌نشین شدن ذرات رسوبی (آواری، شیمیایی و زیستی) در محیط رسوبی، تغییراتی در مشخصات، ویژگی‌ها و ترکیب رسوبات ایجاد می‌شود.

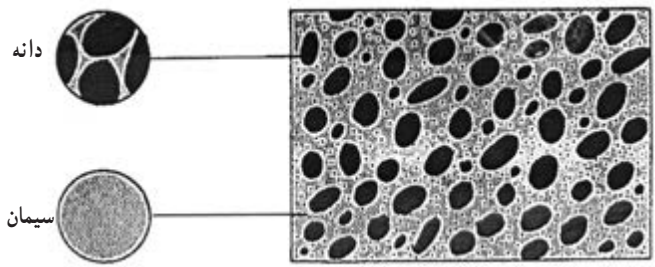
مجموعه فرایندها و فعل و انفعالاتی که پس از رسوبگذاری ذرات و در طی سنگ شدن آنها به‌وقوع می‌پیوندد و باعث تغییرات فیزیکی و شیمیایی رسوبات می‌گردد، دیاژنز نام دارد. عمل دیاژنز بلافاصله پس از رسوبگذاری آغاز می‌شود و تا قبل از دگرگونی ادامه پیدا می‌کند. محدوده دمایی دیاژنز را معمولاً بین صفر تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد درنظر می‌گیرند که این شرایط معادل عمق حدود ۱۰ الی ۱۵ کیلومتر است.

دیاژنز در مخازن نفت، گاز و آب‌های زیرزمینی با تأثیر بر میزان تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌ها، اهمیت ویژه‌ای دارد.

فرایندهای دیاژنز شامل سیمانی شدن، فشردگی، انحلال، تبلور مجدد و جانشینی می‌باشند.

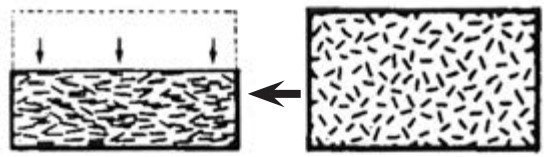
الف) سیمانی شدن : در این مورد، فواصل موجود در بین قطعات و ذرات سنگ را نوعی ماده شیمیایی پر می‌کند و آنها را به هم می‌چسباند. از میان مواد مختلفی که می‌توانند سیمان سنگ‌های رسوبی شوند، کلسیت، دولومیت و کوارتز فراوان‌تر از بقیه‌اند، اما اکسیدهای آهن، اوپال و انیدریت هم می‌توانند سیمان پاره‌ای از سنگ‌های تخریبی رسوبی را تشکیل دهند.

مواد سیمانی اصولاً توسط آب‌های نافذ در فضای میان ذرات نفوذ می‌کنند و پس از سخت شدن باعث اتصال ذرات جدا از هم می‌شوند (شکل ۵ــ۷).



شکل ۵ ــ ۷ ــ دانه و سیمان در سنگ‌های رسوبی

ب) فشردگی و تراکم : در فرایند متراکم شدن، به علت فشاری که از لایه‌های فوقانی وارد می‌آید، فضاهای میان ذرات به‌تدریج تقلیل حاصل می‌کند. بدین‌ترتیب، از قطر لایه رسوبی کاسته و بر تراکم و چسبندگی آنها افزوده می‌شود. در طی این فرایند، آبی که فواصل میان ذرات را پر کرده، بیرون رانده می‌شود. در رسوبات دانه ریزی که اندازه آنها سیلت (دانه‌های کمی درشت‌تر از رس) یا رس باشند، فضای میان ذرات چنان کوچک است که آب به آزادی نمی‌تواند از آنها بگذرد. بدین‌ترتیب، ماده سیمانی هم نمی‌تواند خود را به آن فضاها برساند. در این حال، چسبیدن ذرات به همدیگر، تحت اثر فرایندهای متراکم شدن خواهد بود (شکل ۶ــ۷).



شکل ۶ ــ ۷ ــ تراکم رسوبات ریزدانه

فرایندهای سیمانی شدن و متراکم شدن را سنگی شدن می‌نامند.

ج) تبلور دوباره : متبلور شدن بعضی از مواد رسوبی خود یک نوع تشکیل سنگ محسوب می‌شود. در این میان ممکن است کانی‌های تازه‌ای متبلور شوند، یا بلورهای موجود درشت شوند. به عنوان مثال تبدیل آراگونیت به کلسیت، یا در سنگ‌های آهکی ، تبدیل گل‌های ریز آهکی به بلورهای درشت کلسیت و یا گاهی در ماسه‌سنگ‌ها و سیمان سیلیسی موجود در اطراف دانه‌های کوارتز پس از تبلور دوباره باعث درشت شدن دانه‌های کوارتز می‌شود.

د) انحلال : این فرایند موجب حل شدن کربنات کلسیم شده و فضای خالی درسنگ ایجاد می‌کند.

هـ) جانشینی : در این فرایند، قسمتی یا تمامی یک کانی از بین رفته و کانی دیگری جانشین آن می‌شود، مانند جانشینی کربنات کلسیم به‌جای سیلیس یا تشکیل دولومیت بر اثر جانشینی یون منیزیم در سنگ آهک.

بافت

بافت در سنگ‌های رسوبی اهمیت ویژه‌ای دارد، چون شاهد خوبی در تعیین مسافت حمل شده و نوع محیط رسوب‌گذاری است. دو نوع بافت اصلی در سنگ‌های رسوبی تشخیص داده شده است : بافت آواری (تخریبی) و بافت غیر آواری (بلورین)

بافت آواری : اندازهٔ ذرات در سنگ‌های رسوبی متفاوت است و ممکن است دانهٔ درشت

(بزرگ‌تر از ۲ میلیمتر)، متوسط (۲ تا $\frac{۱}{۱۶}$ میلیمتر)، و ریز (کمتر از $\frac{۱}{۱۶}$ میلیمتر) باشند. خرده‌سنگ‌ها و ذرات کانی‌ها براساس میزان ساییدگی، ممکن است صاف یا زاویه‌دار باشند.

جورشدگی از ویژگی‌های بافتی مهم در سنگ‌های رسوبی است، که نشان‌دهنده نوع عامل حمل و نوع محیط رسوب‌گذاری است. میزان سیمان شدگی نیز از ویژگی‌های بافتی مهم در سنگ‌های تخریبی است.

سیمان اصلی این‌گونه سنگ‌ها از آهک، سیلیس و اکسیدهای آهن و رس است.

بافت غیر آواری(بلورین) : بافت بلورین به‌صورت شبکه بلورهای به هم پیوسته است. کانی‌های حاصل از ته‌نشست شیمیایی در آب‌ها، بافت بلورین را تشکیل می‌دهند. مواد تقریباً نامحلول، زودتر جدا شده و ته‌نشین می‌شوند. این بافت را از نظر اندازه بلورها به اقسام درشت‌بلور (بزرگ‌تر از ۲ میلیمتر)، متوسط بلور (۲ تا $\frac{۱}{۱۶}$) و ریزبلور (کمتر از $\frac{۱}{۱۶}$) تقسیم می‌کنند.

طبقه‌بندی

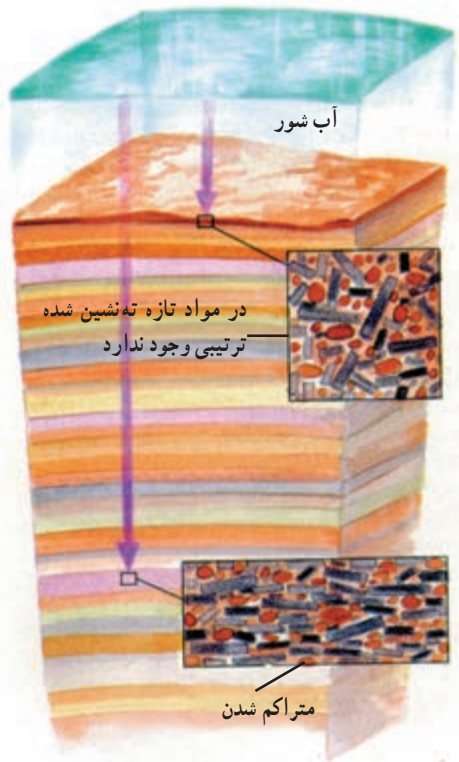
سنگ‌های رسوبی را معمولاً به دو گروه **آواری** و **شیمیایی** طبقه‌بندی می‌کنند، اما هر کدام از این گروه‌ها، شامل اقسام مختلفی از سنگ‌ها می‌شوند که از لحاظ طرز انتقال، اندازهٔ ذرات، جنس، رسوب‌گذاری و سنگ‌شدن با هم تفاوت دارند.

الف ــ سنگ‌های رسوبی آواری : این گروه از سنگ‌ها، براساس اندازه قطعات یا ذرات طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱ــ۷) شیل‌ها دانه‌ریزترین سنگ‌های آواری، ماسه‌سنگ‌ها دانه متوسط و کنگلومراها دانه درشت‌ترین این گروه از سنگ‌ها هستند. توجه داشته باشید که همهٔ سنگ‌های آواری، اجتماعی از دانه‌های منفصل‌اند که معمولاً توسط سیمانی به‌هم چسبیده شده‌اند.

جدول ۱ــ۷ــ طبقه‌بندی ذرات رسوبی برای سنگ‌های رسوبی آواری

سنگ‌های رسوبی آواری	رسوبات (ناپیوسته)	ذرات	اندازهٔ ذرات (میلیمتر)
کنگلومرا (ذرات گرد) یا برش (ذرات زاویه‌دار)	دانه درشت	درشت‌سنگ قلوه‌سنگ ریگ شن	> ۲۵۶ ۶۴ــ۲۵۶ ۴ــ۶۴ ۲ــ۴
ماسه‌سنگ	دانه متوسط	ماسه	$\frac{۱}{۱۶}$ ــ ۲
سیلت سنگ گلسنگ شیل	دانه ریز	سیلت سیلت + رس رس	$\frac{۱}{۲۵۶}$ ــ $\frac{۱}{۱۶}$ $< \frac{۱}{۲۵۶}$

شیل‌ها : فراوان‌ترین سنگ‌های رسوبی‌اند و دانه‌های تشکیل‌دهنده آنها فقط در آب‌های بسیار ساکن و بدون تلاطم رسوب می‌کنند. کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ شیل‌ها از نوع رسی و میکا هستند که حالتی ورقه‌ای دارند و در اعماق زیاد، تحت تأثیر فشارهای فوقانی، به‌صورت موازی درمی‌آیند (شکل ۷ــ۷). از مشخصات سنگ‌های رسی آن است که وقتی به زبان زده شوند، خاصیت چسبندگی از خود نشان می‌دهند.



شکل ۷ــ۷ــ کانی‌های ورقه‌ای در ابتدای ته‌نشین شدن، نظم معینی ندارند، اما پس از مدتی این نظم حاصل می‌آید.

رنگ شیل‌ها کاملاً متفاوت است و به نوع کانی‌های موجود در سنگ بستگی دارد. شیل‌های قرمز، اکسید آهن دارند. شیل‌های سبز محتوی اکسیدهای آهنی هستند که در محیط دارای اکسیژن اندک رسوب کرده‌اند. شیل‌های سیاه نیز در آب‌های دارای اکسیژن اندک رسوب کرده‌اند. در این گونه محیط‌ها، ترکیبات کربن‌دار به‌خوبی تجزیه نشده‌اند. رنگ سیاه به علت وجود کربن است.

رس‌ها موارد مصرف گوناگون دارند. رس لازم برای کارهای سفالگری و سرامیک را از همین سنگ‌ها می‌گیرند. از اختلاط رس با کربنات کلسیم، سیمان پرتلند حاصل می‌آید. در شیل‌های نفتی هم مقداری نفت ذخیره است که شاید انسان ناچار شود روزی برای تأمین انرژی به آنها روی بیاورد.

از انواع دیگر سنگ‌های رسوبی تخریبی دانه‌ریز، سیلت سنگ و گِلسنگ را می‌توان نام برد که اولی از ذرات سیلت که درشت‌تر از ذرات رس است، تشکیل شده است و دومی از ذرات تقریباً مساوی سیلت و رسی تشکیل شده ، مثل شیل لمس صاف دارد، تورق‌پذیر نیست و به‌صورت توده‌ای یافت می‌شود.

ماسه‌سنگ‌ها، که درحدود ۳۲ درصد از سنگ‌های رسوبی را تشکیل می‌دهند، دانه‌هایی دارند که توسط سیمانی از جنس سیلیس یا کربنات به هم متصل شده‌اند.

دو نوع ماسه سنگ هم وجود دارد که از لحاظ ترکیب و ظاهر، با هم متفاوتند. ماسه سنگی که بیشتر از ۹۰ درصد آن کوارتز باشد، سیمان اندکی دارد و **کوارتزآرنیت** نامیده می‌شود. این ماسه‌سنگ‌ها

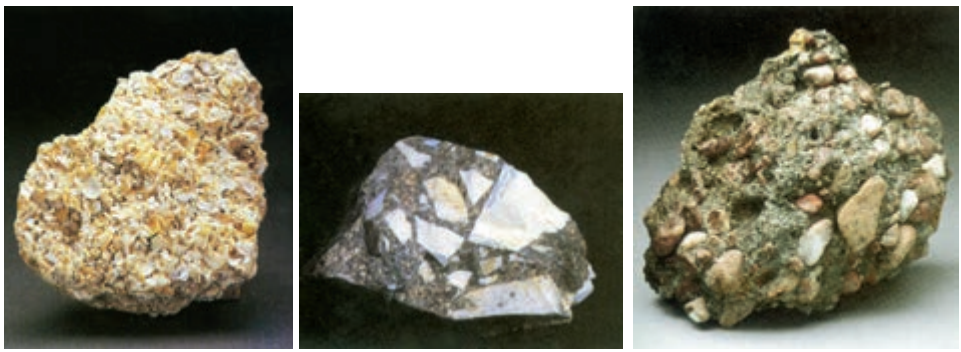
رنگی روشن دارند. دانه‌های آنها گرد شده وجور شده است، یعنی معلوم است که مسافت زیادی را طی کرده‌اند. **آرکوزها**، بیشتر از ۲۵ درصد فلدسپات دارند. این سنگ‌ها، از تخریب گرانیت‌های محتوی فلدسپات زیاد حاصل می‌آیند. جورشدگی دانه‌ها خوب نیست و در ضمن، دانه‌ها زاویه دارند (یعنی، جابه‌جایی زیادی نداشته‌اند).

؟ آرکوزها مخصوص مناطق خشک‌اند. آیا علت آن‌را می‌توانید حدس بزنید؟

ماسه سنگ‌ها، در کارهای ساختمانی، جاده‌سازی و پل‌سازی کاربرد زیادی دارند. بیشتر نفت خام جهان، گاز طبیعی و منابع آب زیرزمینی در میان ماسه سنگ‌ها ذخیره است، زیرا این سنگ‌ها، پرحفره‌اند.

کنگلومرا، از سیمان‌شدگی ذرات درشت رسوبی (بزرگ‌تر از ۲ میلیمتر) با گردشدگی خوب و مادهٔ زمینه‌ای از سیلیس و رس تشکیل شده است (شکل ۸ــ۷ــ الف). قلوه‌سنگ‌ها و ریگ‌های موجود در کنگلومرا ممکن است از جنس هر کانی یا سنگی باشند، ولی اغلب، از مواد مقاوم مثل کوارتز هستند. از آنجا که قطعات کنگلومرا گردشدگی دارند، زمین‌شناسان معتقدند که عواملی مثل جریان‌های سریع آب‌های جاری و امواج، آنها را تا مسافتی که برای گرد شدن کافی بوده، حمل کرده‌اند.

بِرِش، از سیمان‌شدگی ذرات درشت و زاویه‌دار، با زمینه‌ای از ذرات ریزتر تشکیل شده است (شکل ۸ــ۷ــ ب). ذرات برش جورشدگی ضعیف دارند. و از آنجا که ذرات درشت و زاویه‌دارند، فاصله حمل آنها کم بوده است. برش‌ها اغلب از تجمع رسوبات در اثر زمین لغزه، یا خردشدن سنگ‌ها در امتداد سطح گسل‌ها و سیمان‌شدگی بعدی آنها ایجاد شده‌اند.



الف ــ کنگلومرا　　ب ــ بِرِش　　ج ــ کوکینا

ج : بعضی از بی‌مهره‌های دریازی، کربنات کلسیم یا سیلیس را از آب دریا جذب می‌کنند. صدف‌ها و قسمت‌های سخت این جانداران، بعد از مرگ در بستر دریا ته‌نشین می‌شوند و یا ممکن است به‌صورت قطعاتی تجمع یابند. بافت سنگ‌های حاصل از این رسوبات، شبیه بافت آواری است، با این تفاوت که این سنگ‌ها از تجمع قطعات سخت موجودات زنده حاصل آمده‌اند.

شکل ۸ــ ۷ ــ نمونه‌هایی از سنگ‌های رسوبی آواری

ب ــ سنگ‌های رسوبی شیمیایی : این سنگ‌ها، بر خلاف سنگ‌های رسوبی آواری که از تجمع قطعات و ذرات سنگ‌های قدیمی‌تر حاصل آمده‌اند، مجموعه‌ای از بلورهای متصل به هم هستند که قبلاً به‌صورت محلول در آب بوده‌اند. این سنگ‌ها، دو دسته‌اند : بعضی، مستقیماً از محلول‌ها جدا شده و رسوب کرده‌اند (غیرآلی) و بعضی دیگر حاصل فعالیت‌های زیستی گیاهان و جانوران هستند (آلی).

ا ــ سنگ‌های رسوبی شیمیایی غیرآلی: این گونه سنگ‌ها زمانی تشکیل می‌شوند که مواد حل شده در آب، به علت تبخیر یا انجام واکنش‌های شیمیایی رسوب کنند.

سنگ آهک، که ترکیب اصلی آن کربنات کلسیم است، حدود **۲۲**درصد سنگ‌های رسوبی را شامل می‌شود. بعضی سنگ‌های آهکی در شرایط خاص بر اثر واکنش‌های شیمیایی حاصل می‌شوند. مواد حل شدنی معمولاً با بالا رفتن دما زودتر حل می‌شوند، اما قابلیت انحلال کربنات کلسیم، به مقدار دی‌اکسیدکربن موجود در آب بستگی دارد. از آنجا که دی‌اکسیدکربن موجود در آب گرم کمتر از مقدار این گاز در آب سرد است، آهک در آب گرم زودتر به حدّ اشباع می‌رسد و زودتر هم رسوب می‌کند.

البته به‌جز دما، عوامل دیگری هم در مقدار رسوب کربنات کلسیم در آب دخالت دارند. از آن جمله می‌توان به آشفتگی آب، وجود گیاهان فتوسنتزکننده، عمق و فشار آب اشاره کرد؛ مثلاً آبی که آرام نباشد، CO_2 بیشتری از دست می‌دهد و کربنات کلسیم موجود در آن رسوب می‌کند. کاهش فشار آب هم، CO_2 بیشتر را به هوا می‌فرستد. پس، رسوب کربنات کلسیم در آب‌های کم‌عمق بیشتر از آب‌های عمیق است.

سنگ‌آهک شیمیایی، در شرایط ویژه‌ای، در خشکی هم تشکیل می‌شود؛ مثلاً در دهانهٔ چشمه‌های آهکی، وقتی آب زیرزمینی به سطح زمین می‌رسد، با محیط کم‌فشاروگرم‌تری روبه‌رو می‌شود و به علت جاری شدن، آشفتگی آن افزایش می‌یابد. همهٔ این عوامل، در متصاعد شدن CO_2 و رسوب کربنات کلسیم مؤثرند. سنگ‌آهک پر حفره و شیری‌رنگ تراورتن و ستون‌های آهکی درون غارها به همین شکل به‌وجود می‌آیند. تراورتن به‌عنوان سنگ‌نما، کف‌پوش و پله کاربرد زیادی دارد.

دولومیت، در اثر عبور محلول‌های غنی از منیزیم از سنگ‌های آهکی، منیزیم جانشین قسمتی از کلسیم شده و دولومیت تشکیل می‌شود. این فرایند جانشینی، باعث تبلور دوباره سنگ‌های آهکی می‌شود :

$$Mg^{++} + 2CaCO_3 \rightarrow CaMg(CO_3)_2 + Ca^{++}$$

کلسیم محلول + دولومیت → کلسیت + منیزیم محلول

چرت (Chert)، به سنگ‌هایی گفته می‌شود که در آنها سیلیس (SiO_2) زیاد به‌صورت بلورهای میکروسکوپی وجود دارد. چرت با منشأ شیمیایی آن محصول رسوب کردن سیلیس در آب‌هایی است که از این ماده اشباعند. چرت سنگی بسیار سخت است و هنگام شکسته شدن لبه‌های تیزی پیدا می‌کند. به همین دلیل، آدمیان نخستین از آن ابزارهای گوناگونی می‌ساخته‌اند.

سنگ‌های تبخیری، آب می‌تواند مقدار زیادی نمک را در خود حل کند. هر جا که آب کم‌عمق و گرم باشد، یا در محیط‌هایی مانند بعضی کولاب‌ها و دریاچه‌ها که مقدار تبخیر بیشتر از مقدار آب‌های ورودی است، وقتی نمک طعام یا گچ به حدّ اشباع می‌رسد، ته‌نشین می‌شود و سنگ‌های تبخیری را به‌وجود می‌آورد. سنگ‌های تبخیری نشانهٔ وجود آب‌وهوای گرم و خشک هستند. در بیشتر نقاط کشور ما منابع عظیم گچ و نمک در بین سنگ‌های رسوبی قدیمی یافت می‌شود. این سنگ‌ها امروزه نیز در نقاط مختلف کویر مرکزی و کولاب‌ها ودریاچه‌های داخلی تشکیل می‌شوند.

سنگ نمک، اغلب بی‌رنگ است، اما به علت وجود اکسید آهن گاهی به رنگ قرمز روشن نیز دیده می‌شود. مزهٔ شور این سنگ بهترین وسیلهٔ تشخیص آن است.

سنگ گچ آبدار (ژیپس)، اغلب سفیدرنگ است و گاهی به علت وجود مقدار کمی اکسیدآهن به رنگ قرمز روشن دیده می‌شود. سختی آن کم و با ناخن خط برمی‌دارد. سنگ گچ بی‌آب را «انیدریت» می‌گویند که سنگی متراکم و به رنگ سفید مایل به خاکستری است.

۲ــ سنگ‌های رسوبی شیمیایی آلی: چنین سنگ‌هایی، قاعدتاً محصول فعالیت جاندارانند. مهم‌ترین سنگ‌های این گروه عبارت‌اند از : سنگ‌آهک آلی و چرت که از بقایای اسکلت جانوران و گیاهان دریازی حاصل می‌آیند و زغال‌سنگ، که محصول گیاهان خشکی‌زی است.

بیشتر سنگ آهک‌های آلی در آب‌های کم‌عمق و گرم استوایی تشکیل می‌شوند؛ زیرا به‌دلیل وجود شرایط مساعد و غذای کافی، جانداران زیادی در این آب‌ها زندگی می‌کنند که از تجمع اسکلت و پوسته‌های آهکی آنها (بیشتر از همه جلبک‌های آهکی) پس از مرگ، سنگ آهک حاصل می‌آید. البته، در آب‌های سرد وعمیق هم از تجمع پوسته‌های آهکی **روزن‌داران** که زندگی پلانکتونی دارند، **گل‌سفید** که نوعی سنگ آهک است، تشکیل می‌شود.

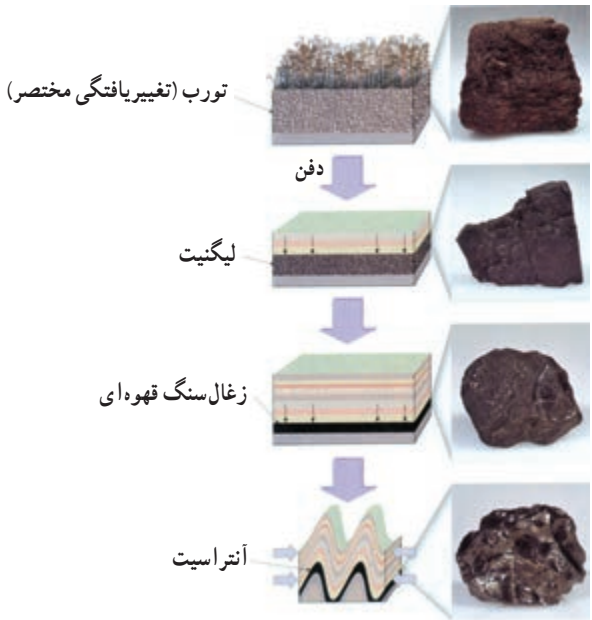
چرت آلی، که بیشتر آن را سیلیس بازمانده از جانداران دریازی چون **شعاعیان** و **دیاتوم‌ها** تشکیل می‌دهد.

؟ چرا بیشتر نرم‌تنانی که پوسته آهکی دارند در آب‌های گرم و بیشتر موجوداتی که پوسته سیلیسی دارند در آب‌های سرد زندگی می‌کنند؟

زغال‌سنگ، نوعی سنگ‌رسوبی است که بقایای گیاهی فراوان دارد. مواد گیاهی معمولاً در روی زمین به سرعت تجزیه می‌شوند، اما در محیطی که اکسیژن اندک باشد، ممکن است آن مواد تا زمان مدفون شدن و تبدیل به زغال‌سنگ باقی بمانند. آب ساکن و گرم مناطق مردابی، برای ایجاد زغال‌سنگ بسیار مناسب است، زیرا به‌دلیل جریان نداشتن هوا، اکسیژن چندانی وارد آب نمی‌شود تا به مواد آلی تجمع یافته در بستر برسد. به این ترتیب، این مواد به صورت تجزیه نشده باقی می‌ماند.

در طول میلیون‌ها سال، با افزایش فشار و وزن رسوبات فوقانی، آب، CO_2 و گازهای دیگر از بازمانده‌های گیاهی خارج می‌شوند و در نتیجه، به نسبت درصد کربن آنها افزوده می‌شود. در مراحل اولیهٔ این فرایند، ساختار گیاه حفظ می‌شود و ماده‌ای قهوه‌ای رنگ و نرم به نام تورب ایجاد می‌شود. با افزایش تدریجی فشار و گرما، موادی فشرده‌تر و سخت‌تر حاصل می‌آیند. این مواد به ترتیب درجه خلوص **لیگنیت**، **زغال‌سنگ قهوه‌ای** و **آنتراسیت** هستند (شکل ۹ــ۷).

رگه‌های زغالی را معمولاً در میان لایه‌های رسوبی دیگر می‌توان یافت؛ زیرا مناطق مردابی و مناسب برای تشکیل زغال‌سنگ که عموماً در کنار دریاهای قدیمی قرار داشته‌اند، گاهگاه، با بالا آمدن سطح آب دریا، به زیر آب می‌رفته‌اند و رسوبات دریا روی آنها را می‌پوشانده است.



شکل ۹ــ۷ــ تشکیل زغال‌سنگ از رسوبات مردابی. مراحل تشکیل این لایه‌ها را شرح دهید.

۸ فرایند دگرگونی و سنگ‌های دگرگون شده

دگرگونی عبارت است از مجموعه فرایندهایی که تحت شرایط خاص باعث تغییر ساختمان و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌ها شده و یک سنگ را در حالت جامد به سنگ دیگر تبدیل می‌نمایند. این سنگ‌ها ممکن است از نوع آذرین، رسوبی و حتی دگرگونی باشند.

اصولاً سنگ‌های دگرگون شده، در درون زمین و دور از چشم ما و در مدت زمان بسیار طولانی به‌وجود می‌آیند. طی این فرایند، کانی‌های سنگ ذوب نمی‌شوند بلکه با حفظ حالت جامد سنگ بر اثر دخالت عوامل دگرگون‌ساز تغییر می‌کنند.

حد دگرگونی

محدوده‌ای که سنگ‌ها دگرگون می‌شوند، از پایان دیاژنز شروع می‌شود و در ابتدای ذوب سنگ خاتمه می‌یابد (البته این مرز کاملاً نسبی است، (شکل ۱ ــ ۸) زیرا نمی‌توان درجات گرما و فشار وارد بر یک سنگ را در چنین محدوده‌هایی مشخص کرد).

دما حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد
فشار در حدود ۲ کیلو بار

دما حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد و در هر فشار

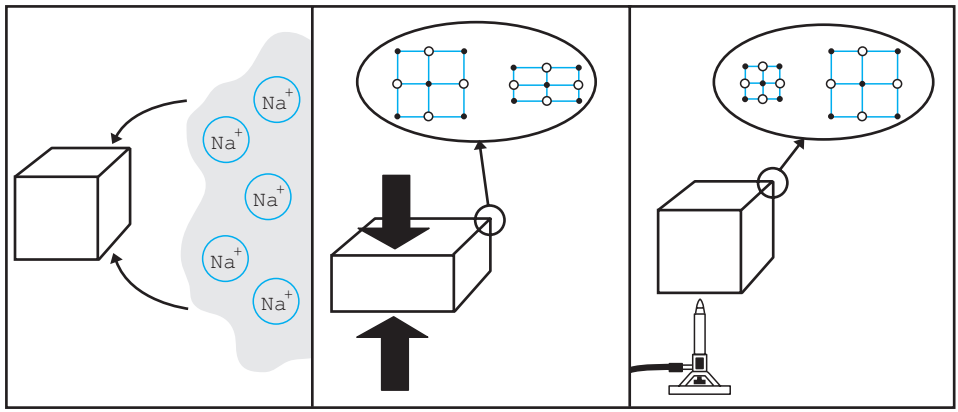
شکل ۱ ــ ۸ ــ حد قلمرو دگرگونی

گاهی، تغییرات سنگ اندک است و دگرگون شدگی ضعیفی اتفاق می‌افتد. ولی گاهی تغییرات چنان شدید است که تشخیص سنگ اولیه غیرممکن خواهد بود. در دگرگونی درجات شدید، سطح لایه‌بندی رسوبات، آثار موجود زنده (فسیل‌ها) و حفره‌های موجود در سنگ مادر به‌کلی از بین می‌رود و گاهی هم کانی‌های جدیدی در آن به‌وجود می‌آید که با شرایط جدید سازگارترند (شکل ۲ــ ۸).

شکل ۲ ــ ۸ ــ تأثیر فشارهای جهت‌دار بر سنگ‌های دگرگون شده چنین مناظری را پدید می‌آورد.

عوامل دگرگون‌ساز

عوامل دگرگون‌ساز شامل گرما، فشار و سیالاتی مانند آب است که از لحاظ شیمیایی فعالند (شکل ۳ ــ ۸).



الف) ازدیاد گرما، موجب انبساط جسم و افزایش فاصله اتم‌های سازنده می‌شود و ممکن است نوع کانی تغییر کند.

ب) ازدیاد فشار در یک جهت (در اینجا به آن فشار جهت‌دار می‌گوییم)، موجب تغییر شکل شبکه تبلور و در نتیجه ظهور کانی مقاوم‌تر می‌شود. در اینجا فاصله اتم‌ها کمتر شده است.

ج) با ورود محلول‌ها (در اینجا سدیم‌دار) به محیطی که کانی در آن وجود دارد، یون سدیم وارد ساختمان کانی می‌شود و در عوض بعضی از یون‌های کانی از محیط تبلور خارج می‌شود.

شکل ۳ ــ ۸ ــ چگونگی تأثیر عوامل دگرگون‌ساز بر ساختمان تبلور کانی‌ها

طی دگرگونی، سنگ‌ها ممکن است تحت تأثیر هر یک از سه عامل و یا مجموعه‌ای از آنها قرار گیرند. در بعضی از دگرگونی‌ها، تأثیرات گرما زیادتر و فشار ناچیز و یا بالعکس است. گاهی نیز فقط سیالات داغ وارد عمل می‌شوند.

نقش گرما : برای ساختن آجر و ظرف‌های سفالی گل رس را (که خود از کانی‌های رسی تشکیل می‌شود) با آب خمیر می‌کنند در این صورت می‌توان خمیر را به هر شکل درآورد. سپس خمیر را در کوره می‌گذارند تا گِل‌رس پخته شود و جسم سختی مانند آجر حاصل آید. در این فرایند، کانی‌های رسی قسمتی از آب ساختمانی خود را از دست می‌دهند و به کانی‌های بی‌آب مبدل می‌شوند.

وقتی سنگ‌ها در معرض گرمای زیاد قرار گیرند تغییراتی در آنها بروز می‌کند و به سنگ‌های دگرگون شده مبدل می‌شوند. اصولاً افزایش دما موجب :

الف) تحرک مواد سیال سنگ می‌شود.

ب) بروز واکنش‌های دگرگونی (همانند واکنش‌های شیمیایی) می‌شود که بسیاری از آنها در دمای بالا اتفاق می‌افتند.

سنگ‌ها در درون زمین به‌علت گرمایی که دریافت می‌کنند انبساط حاصل کرده، انعطاف‌پذیر می‌شوند و حالتی شبیه خمیر به‌خود می‌گیرند و حتی ممکن است به‌آرامی جریان پیدا کنند.

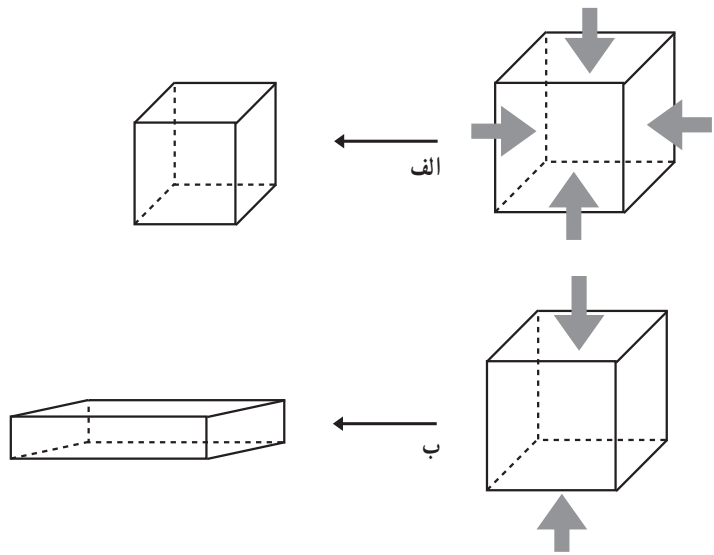
اصولاً دگرگونی در درجات شدید بیشتر نتیجهٔ افزایش دما است تا فشار.

نقش فشار : فشار نیز مانند گرما با افزایش عمق زمین زیاد می‌شود. سنگ‌های درون زمین، تحت فشار وزن طبقات رویی خود قرار دارند. در این حالت سنگ تحت تأثیر **فشار همه جانبه** یا **محصورکننده** (مانند فشار هوا) قرار دارد و مطابق (شکل ۴ ــ ۸) نیروهای وارد بر آن، از تمام جهات یکسان است. نتیجه این عمل، متراکم شدن جسم و تبلور کانی‌هایی با وزن حجمی زیادتر است. گاهی فشارهای وارد بر سنگ، در بعضی جهات بیشتر از جهات دیگر است. این قبیل فشار را **فشار جهت‌دار** می‌گویند. در این حالت، برحسب مقدار فشار و دمای سنگ و مسلماً زمان، تغییراتی در سنگ بروز می‌کند که پیدایش چین‌خوردگی و شکستگی از مهم‌ترین آنها است، اما بروز این تغییرات، به میلیون‌ها سال زمان نیاز دارد. اصولاً چین‌خوردگی در اعماق زیادتر و شکستگی در اعماق کمتر و نزدیک به سطح زمین اتفاق می‌افتد (شکل ۲ــ۸).

در سنگ‌های دگرگون شده، تأثیر فشار جهت‌دار، با جهت‌یافتگی در کانی‌های سنگ مشخص می‌شود. چنان‌که کانی‌های ورقه‌ای (میکاها)، موازی هم و عمود بر جهت فشار قرار می‌گیرند، سنگ منظره لایه‌لایه ظریفی پیدا می‌کند.

نقش سیالات : سیالات فعال و به‌ویژه آب که دارای یون‌های محلول باشند، در فرایندهای دگرگونی تأثیر مهمی دارند. آب، در منافذ و شکاف‌های ریز سنگ وجود دارد. ضمناً با افزایش دما، آب از کانی‌های آبدار خارج شده و می‌تواند به انجام واکنش‌های شیمیایی کمک کند. یکی از مهم‌ترین نقش‌های آب (یا سیالات)، جدا کردن بعضی از یون‌های فلزی از ساختمان کانی و برجا گذاشتن یون‌هایی است که به حالت محلول در ترکیب سیال وجود دارند (شکل ۳ ــ ۸ ــ ج). به این ترتیب سیالات با نقش کاتالیزوری خود بدون آنکه حالت جامد سنگ دستخوش تغییر شود، **ترکیب کانی‌ها را عوض می‌کنند**.

به جز آب، دی‌اکسیدکربن، اکسیژن، گوگرد و اسیدها هم در دگرگون کردن سنگ‌ها نقش دارند.



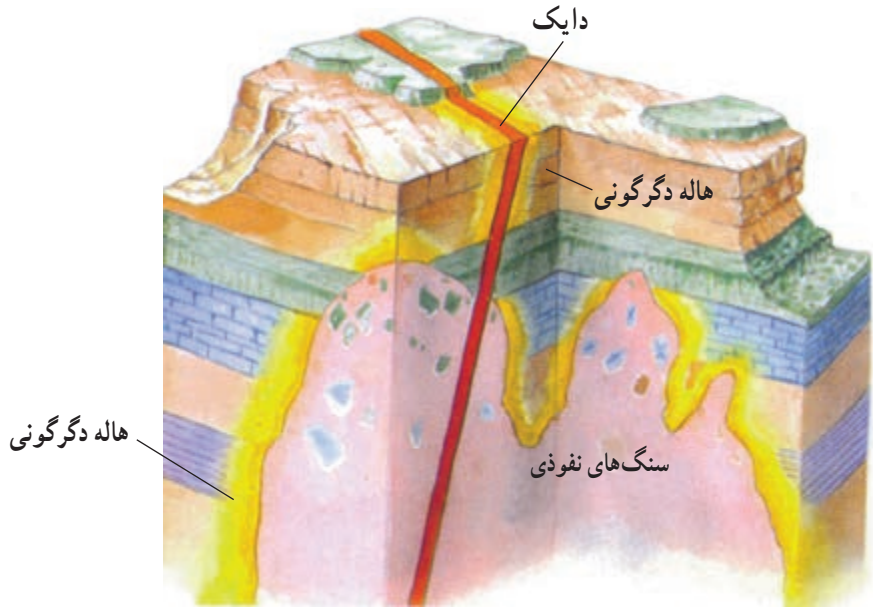
شکل ۴ ــ ۸ ــ تغییر شکل جسم که تحت فشار همه جانبه (الف) و جهت‌دار (ب) قرار داشته باشد.
الف) فشار مساوی یا فشار همه جانبه موجب تغییر حجم جسم شده است.
ب) فشار نامساوی یا جهت‌دار موجب تغییر شکل و حجم شده است.

اقسام دگرگونی

دگرگونی را می‌توان بر حسب اهمیت هر یک از عوامل دگرگون‌ساز، شکل و پراکندگی آنها طبقه‌بندی کرد.

۱ــ دگرگونی مجاورتی : هر سنگی که در تماس با گرمای زیاد حاصل از توقف ماگما در زیر زمین قرار داشته باشد دگرگون می‌شود. این نوع دگرگونی، محصول مستقیم گرمای ماگما یا سیالات فعال در حال چرخش است. پس فشار، در پیدایش این نوع دگرگونی، نقش مهمی ندارد.

با توجه به اینکه سنگ‌ها گرما را به خوبی هدایت نمی‌کنند، هرچه سنگ‌ها از ماگما دورتر باشند، کمتر تحت تأثیر دمای آن قرار می‌گیرند. ضمناً مقدار آب موجود در ساختار سنگ‌های دگرگون شده از این طریق را گاهی به عنوان مقیاس میزان نزدیکی به ماگما در نظر می‌گیرند، زیرا هرچه سنگ به ماگما نزدیک‌تر باشد، مقدار آب زیادتری را از دست می‌دهد.



شکل ۵ ــ ۸ ــ دگرگونی مجاورتی زمانی رخ می‌دهد که ماگما در لابه‌لای سنگ‌های قبلی نفوذ کند.

محدوده دگرگونی مجاورتی (هاله دگرگونی) ممکن است فقط چند سانتیمتر در اطراف دایک‌ها و سیل‌ها، تا چند صد متر در اطراف باتولیت‌های بزرگ باشد (مانند تأثیر توده گرانیتی کوه الوند در همدان، بر سنگ‌های اطراف خود).

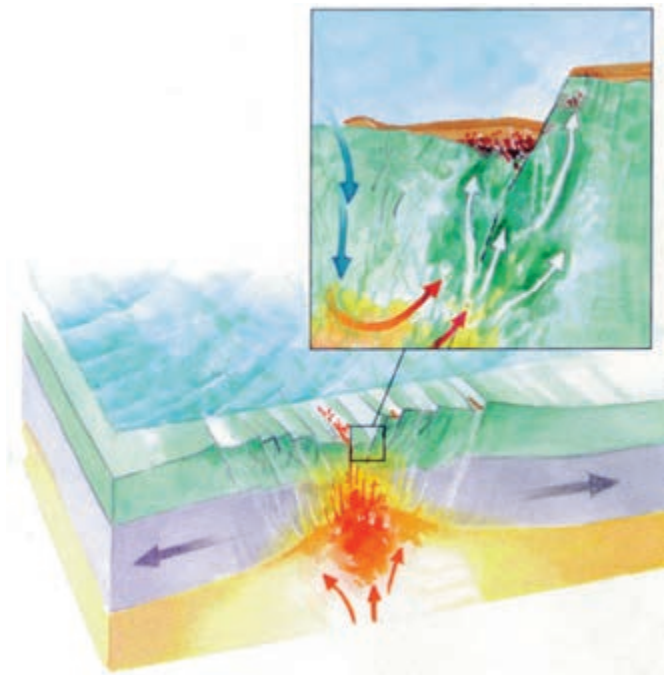
۲ــ دگرگونی ناحیه‌ای : این نوع دگرگونی، برخلاف دگرگونی مجاورتی که تأثیری محلی دارد، ممکن است بر سنگ‌های منطقه‌ای به‌وسعت چندین هزار کیلومتر مربع اثر بگذارد. مناطق دگرگونی مهم زمین در روی قاره‌ها، حاصل این نوع است. دگرگونی ناحیه‌ای به دو صورت دفنی و حرکتی ــ حرارتی اتفاق می‌افتد.

الف) دگرگونی دفنی : زمانی رخ می‌دهد که سنگ‌ها در زیر لایه‌ای به قطر بیشتر از ۱۰ کیلومتر رسوب یا سنگ قرار بگیرند. در این اعماق، تأثیر توأم فشار و گرمای درونی زمین باعث تبلور مجدد کانی‌های موجود در سنگ می‌شود. به سبب آنکه در این میان هیچ‌گونه فشار جهت‌داری در کار نیست،

سنگ‌های حاصل از دگرگونی دفنی، **بدون لایه‌اند**.

ب) دگرگونی حرکتی ــ حرارتی، مربوط به نقاطی است که سنگ‌ها در میان دو نیروی جانبی که باعث ایجاد چین خوردگی‌ها و رشته‌کوه‌ها می‌شود، به دام افتند. در این حال، فشاری جهت‌دار بر سنگ‌ها وارد می‌آید و به اصطلاح، سنگ به جریان می‌افتد. در نتیجه، بعضی از آن سنگ‌ها به بالا و بعضی به پایین حرکت می‌کنند. سنگ‌هایی که به اعماق بیشتر بروند، با فشار و گرمای زیادی روبرو خواهند بود. این قبیل سنگ‌ها با تحمل فشار، حالت **لایه‌دار** به خود می‌گیرند.

۳ــ دگرگونی گرمابی (هیدروترمال)، این نوع دگرگونی حاصل تأثیر آب بسیار داغ بر سنگ‌ها و ایجاد تغییراتی شیمیایی در آنهاست. منشأ آبی که ایجاد کننده تغییر در سنگ‌هاست، ممکن است از ماگما، نفوذ آب‌های زیرزمینی به اعماق زیاد و داغ شدن در اثر مجاورت با سنگ‌های عمقی، یا آبی باشد که در بستر اقیانوس نفوذ می‌کند و به ماگمای داغ نزدیک می‌شود. در هر صورت، آب در چنین اعماقی بسیار داغ می‌شود (تا ۴۰۰ درجه) و سپس، به‌صورت بخار در می‌آید و در حین بالا آمدن، می‌تواند در میان سنگ‌های بین راه نفوذ کند و باعث حل کردن بعضی از مواد، یا دگرسانی کانی‌هایی از قبیل الیوین و پیروکسن شود و آنها را به **سرپانتین** مبدل کند.



شکل ۶ــ۸ــ دگرگونی هیدروترمال ممکن است، در محل رشته‌کوه وسط اقیانوس‌ها و به هنگام نفوذ آب سرد به داخل سنگ‌های بازالتی داغ موجب دگرسانی سنگ‌ها شود.

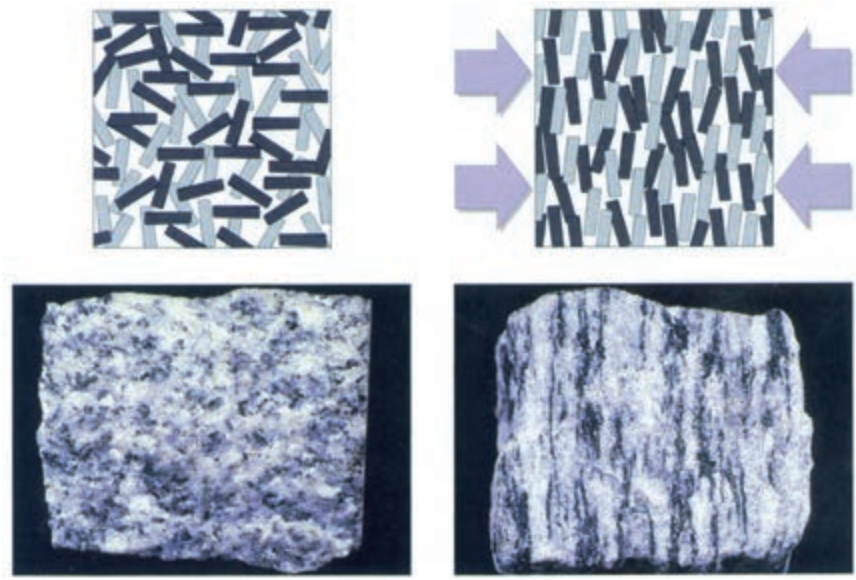
تغییر در بافت

چون سنگ‌های دگرگون شده از تغییر شکل سنگ‌های دیگر (آذرین، رسوبی و دگرگونی) به‌وجود می‌آیند، بافت این سنگ‌های قدیمی دستخوش تغییر می‌شود، یعنی شکل، اندازه دانه و رابطه بین دانه‌های مجاور تغییر می‌کند. همچنین، به علت تأثیر فشار جهت‌دار، ممکن است کانی‌ها جهت‌یافتگی پیدا کنند.

الف) اندازه دانه‌ها : عموماً در طی دگرگونی، کانی‌های دانه‌ریز با هم یکی می‌شوند و کانی دانه درشت‌تر به‌وجود می‌آورند. به این عمل **تبلور دوباره** گفته می‌شود. گاهی بر اثر نیروهای وارده، سنگ‌ها خرد می‌شوند و دانه‌ها شکسته شده و به انواع دانه‌ریزتر تبدیل می‌شوند.

ب) شکل دانه‌ها : اگر کانی‌های ورقه‌ای در جهت عمود بر فشار جهت‌دار قرار بگیرند، اندازه آنها بزرگ‌تر می‌شود و شکل و نحوه قرار گرفتن آنها تغییر می‌کند. به این ترتیب، سنگ شکل ورقه‌ورقه یا فلس مانند پیدا می‌کند که به آن **شیستوزیته** می‌گویند.

در دگرگونی درجات شدید، کانی‌های غیر ورقه‌ای مانند کوارتز و فلدسپات نیز تاحدی پهن و کشیده می‌شوند و سنگ منظره‌ای نواری یا لایه‌ای به‌خود می‌گیرد. این قبیل جهت یافتگی را **فولیاسیون** (Foliation) می‌گویند.



شکل ۷ ــ ۸ ــ کانی‌های موجود در گرانیت تحت‌فشار جهت‌دار در جهت خاصی ردیف می‌شوند و سنگ گنیس را حاصل می‌آورند.

تغییر در کانی‌ها

در طی دگرگونی ممکن است کانی‌های سازنده سنگ به صورت‌های مختلف تغییر کند :

۱ــ کانی‌ها بدون تغییر ترکیب شیمیایی رشد می‌کنند، مانند رشد بلورهای کوارتز در سنگ.

۲ــ کانی‌ها بدون آنکه ترکیب آنها تغییر کند براثر شدت درجات دگرگونی به کانی دیگر تبدیل می‌شوند، مثلاً گرافیت (معرف درجات ضعیف) به الماس (معرف درجات شدید دگرگونی) تبدیل می‌شود.

۳ــ کانی‌ها با هم واکنش می‌کنند که نتیجه آن تشکیل کانی جدید است. مثلاً از ترکیب کلسیت ($CaCO_3$) و کوارتز (SiO_2) کانی دگرگونی به نام ولاستونیت (Wollastonite) که خود، نوعی پیروکسن است به‌وجود می‌آید.

$$CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2$$

کلسیت سیلیس ولاستونیت

۴ــ آب و یا سیالات به ترکیب کانی وارد و یا از آنها خارج شود. تجزیه فلدسپات‌ها توسط محلول‌های داغ (محلول‌های گرمابی) که نتیجه آن ایجاد کانی‌های آبدار است و ایجاد سرپانتین از دگرسانی الیوین نمونه بارز آن است. بعضی از رگه‌های معدنی در نتیجه همین فعل و انفعالات به‌وجود می‌آید. چنان‌که قبلاً گفته شد، در دگرگونی مجاورتی، بعضی از کانی‌های آبدار، آب خود را از دست می‌دهند که خود نوعی تغییر ترکیب در کانی است.

طبقه‌بندی

سنگ‌های دگرگونی به دو گروه عمده زیر تقسیم می‌شوند :

۱ــ دارای جهت یافتگی : از این گروه، سنگ لوح، شیست و گنیس را می‌توان نام برد.

شکل ۸ــ۸ــ سنگ دگرگونی ــ دارای جهت‌یافتگی

سنگ لوح (Slate) : سنگی است که به آسانی به صورت ورقه‌های نازک متورق می‌شود. رنگ آن خاکستری یا سیاه است. کانی‌های این سنگ بسیار دانه‌ریز است و با چشم قابل تشخیص نیست. **فیلیت نوعی سنگ لوح** است و

به علت وفور میکا در سطح شیستوزیته، جلای براق دارد که وسیلهٔ خوبی برای تشخیص آن است. این سنگ‌ها از دگرگونی شیل‌ها در درجات ضعیف به‌وجود می‌آیند.

شیست : این سنگ نیز از دگرگونی شیل‌ها به‌وجود می‌آید ولی درجه دگرگونی آن شدیدتر از سنگ لوح است. کانی اساسی آن میکا است. شیست‌ها اقسام مختلف دارند و معمولاً از روی کانی فراوان‌تر، آنها را نام‌گذاری می‌کنند. مثلاً میکاشیست دارای میکای سفید، میکای سیاه و کوارتز است. یا گرافیت شیست، گرافیت زیاد دارد و یا تالک شیست حاوی تالک است.

گنیس (Gneiss) : سنگ دگرگون شده‌ای است که معمولاً از دگرگونی گرانیت‌ها و ماسه‌سنگ‌های فلدسپات‌دار به‌وجود می‌آید. کانی‌های اصلی آن همان انواعی است که در گرانیت یافت می‌شود (کوارتز، فلدسپات و میکا) ولی فولیاسیون دارد، یعنی کانی‌های غیر ورقه‌ای آن نیز در امتداد خاصی طویل یا پهن شده‌اند (شکل ۷ ــ ۸ و ۸ــ۸). این مسئله باعث تشکیل منظره متناوبی از لایه‌های سفید (فلدسپات و کوارتز) و لایه‌های سیاه (غالباً میکای سیاه) در سنگ می‌شود.

۲ــ فاقد جهت یافتگی : از این گروه مرمر، کوارتزیت و هورنفلس را می‌توان نام برد (شکل ۹ــ۸).

شکل ۹ــ۸ــ سنگ دگرگونی ــ فاقد جهت‌یافتگی

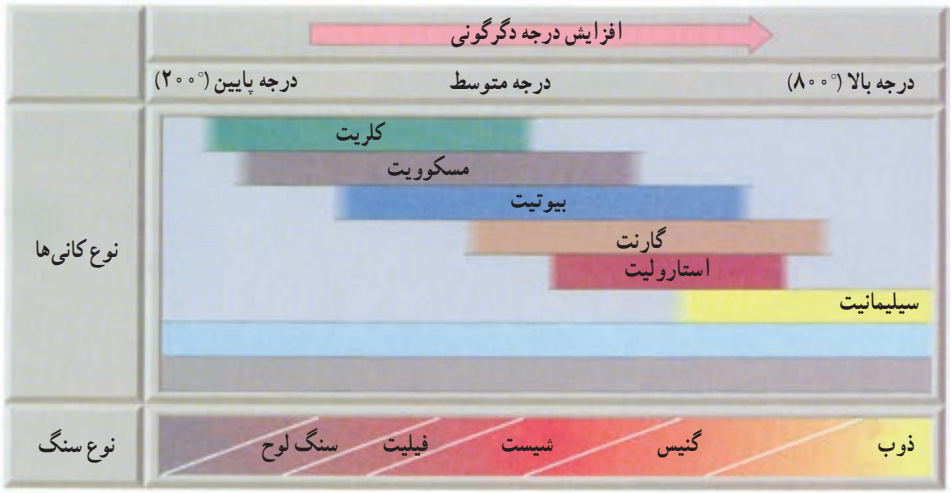
مرمر سنگ آهک دگرگون شده است. در این سنگ، بلورهای ریز کلسیت، مجدداً متبلور شده، و به صورت بلورهای دانه درشت‌تر درآمده‌اند. رگه‌های موجود در سنگ مرمر مربوط به ناخالصی‌ها در سنگ‌آهک اولیه است. به علت اینکه، مرمر عموماً از یک نوع کانی (کلسیت یا دولومیت) تشکیل یافته، فاقد جهت‌یافتگی مشخص است و غالباً منظره دانه قندی دارد.

کوارتزیت : ماسه سنگ دگرگون شده است. این سنگ نیز مانند مرمر از یک نوع کانی تشکیل شده است به نحوی که فاصله بین دانه‌های درشت کوارتز، از سیمان سیلیس متبلور پر شده است. استحکام سیمان کوارتزیت به حدی است که وقتی سنگ شکسته شود این شکستگی از بین دانه‌ها عبور نمی‌کند بلکه خود دانه نیز شکسته می‌شود. رنگ کوارتزیت مشابه رنگ ماسه سنگ‌ها و اکثراً سفید تا خاکستری رنگ است. این سنگ، از سیلیس تقریباً خالص تشکیل یافته، درشیشه‌سازی از آن استفاده می‌کنند.

هورنفِلس (Hornfels) : از دگرگونی مجاورتی سنگ‌هایی مانند شیل‌ها و یا شیست‌ها به‌وجود می‌آیند. اصولاً به علت دمای زیاد در هالهٔ دگرگونی، سنگ‌های سخت، دانه‌ریز، متراکم و غالباً سیاه‌رنگی با بافت مضرسی دندانه‌دار و فاقد هر نوع جهت‌یافتگی به‌وجود می‌آید. هورنفلس سنگ تزیینی سیاه رنگ و درخشندهٔ خوبی است.

درجات دگرگونی و کانی‌های شاخص

از آنجا که مشاهدهٔ مستقیم محیطی که فرایند دگرگونی به‌طور طبیعی در آن رخ می‌دهد ممکن نیست، زمین شناسان در محیط آزمایشگاه، کانی‌ها را در معرض فشارها و گرمای در حال ازدیاد قرار می‌دهند. همچنین، می‌توان در آزمایشگاه ترکیبات شیمیایی موجود در سنگ‌های معمولی را در درجات مختلف فشار و گرما قرار داد. در این حال، معلوم می‌شود کدام کانی‌ها می‌توانند در دما و فشارهای معین و کنترل شده‌ای شکل بگیرند. با این آزمایش‌ها معلوم شده است که هر سنگ دگرگون شده‌ای دارای **درجه** معینی از دگرگونی است و از این راه، میزان تغییر نسبت به سنگ اولیه معلوم می‌شود. سنگ‌های دارای **درجه پایین** دگرگونی هنوز هم بسیاری از مشخصات اولیه (بعضی از آثار لایه‌بندی، فسیل‌ها و کانی‌های اصلی) را حفظ کرده‌اند. پس تشخیص سنگ اولیه آسان است. درجه پایین، حدی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد و فشاری حدود ۲ تا ۶ کیلو بار است. در **درجه بالای** دگرگونی، به علت تحمل فشار و دمای بیشتر، عملاً ساختار اولیه سنگ از میان می‌رود و سنگ‌هایی که دمای ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد و فشار ۸ تا ۱۰ کیلو بار را تحمل کنند، در این گروه قرار می‌گیرند. بین این‌دو محدوده هم سنگ‌های مختلف دیگری قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰ــ۸ ــ تغییراتی که کانی‌های موجود در شیل در درجات مختلف دگرگونی به خود می‌بینند.

دگرگونی و منابع طبیعی

بر اثر فرایندهای دگرگونی، منابع طبیعی با ارزشی به‌وجود می‌آید که می‌توان آنها را به دو دسته کانی‌ها و سنگ‌های با ارزش تقسیم کرد. این منابع در درجات متفاوت دگرگونی حاصل می‌شوند.

به موارد استفاده انواعی از کانی‌های دگرگونی (گرافیت، گارنت، آزبست و تالک) در صفحات قبل اشاره شد. علاوه بر این نمونه‌ها می‌توان از **کیانیت** نام برد که به علت تحمل حرارت زیاد، برای ساختن چینی شمع خودروها استفاده می‌شود.

سنگ‌های دگرگون شده معمولاً محکم و با دوام‌اند، زیرا گرما و فشار فضاهای بین دانه‌های آنها را از میان برده و بر تراکم آنها افزوده شده است. واکنش‌های دگرگون کننده، کانی‌های ناپایدار را با کانی‌های پایدارتر عوض می‌کنند و تبلور مجدد، پیوند میان دانه‌های رسوبی و سیمان بین آنها را مستحکم‌تر می‌سازد. به همین سبب است که از سنگ‌های دگرگون شده در نمای بیرونی ساختمان‌ها، سدها و پل‌ها استفاده می‌کنند.

بعضی از سنگ‌های دگرگون شده، به خاطر ظاهر زیبای خود با ارزش شده‌اند. **سرپانتی‌نیت** یکی از این سنگ‌هاست. **مرمر** هم همواره از جمله سنگ‌های مورد توجه مجسمه‌سازان بوده است. مرمر خالص، سفید است و با کمی ناخالصی به رنگ‌های متنوعی در می‌آید. این شکل‌ها به علت استحکام خوب و منظره زیبا به عنوان سنگ‌های تزیینی استخراج می‌شوند.

گاهی نیز سنگ‌های دگرگون شده، منابع فلزی پر ارزشی را دربردارند که مس، نیکل، روی، سرب، آهن و طلا، نمونه‌هایی از آنها هستند.

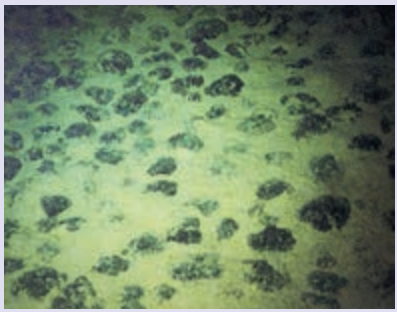
جمع‌آوری اطلاعات

دانش زمین‌شناسی، ارتباط نزدیکی با سایر شاخه‌های علوم دارد. به مثال‌های زیر توجه کنید و درباره آنها، اطلاعات لازم را جمع‌آوری کنید.

۱ــ بهداشت: چه عناصری در بدن ما و در ساختمان آن به‌کار رفته‌اند که آنها را از زمین به‌دست می‌آوریم. نقش این عناصر در بدن چیست؟ این عناصر به چه شکل از زمین به‌دست می‌آیند؟

۱

۲ــ اقیانوس‌شناسی : در بعضی از نقاط بستر اقیانوس قطعات فلزی خاصی پراکنده است این قطعات یا گرهک‌ها، شامل فلزاتی مانند منگنز، نیکل، کبالت و مس‌اند. استخراج آنها چه مشکلاتی را دربر دارد؟



۲

۳ــ زیست‌شناسی : باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، این عنصر را از هوا می‌گیرند و آن را در ریشه گیاهانی از قبیل نخود و لوبیا به‌صورت نیترات درمی‌آورند. دربارهٔ سرنوشت این عنصر و چرخهٔ آن اطلاعات لازم را جمع‌آوری کنید.

۳

۴ــ فیزیک : در قدیم، ساعت‌ها را با چرخ و دنده به‌کار می‌انداختند، اما امروزه از بلورهای کوارتز برای ساعت‌سازی استفاده می‌کنند و عقیده دارند که ساعت‌های جدید، از ساعت‌های قدیمی دقیق‌ترند. کدام خاصیت بلور کوارتز این امکان را در اختیار انسان گذاشته است؟

۴

۹ تغییرات سنگ‌ها

سطح زمین در تغییری همیشگی است. برخی از فرایندهای تغییر، چنان کُند عمل می‌کنند که مشاهده آنها بسیار مشکل است. مثلاً، هوازدگی سنگ‌ها را به آسانی نمی‌توان دید. در عوض، بعضی از تغییرات بسیار سریع صورت می‌گیرند، چنان‌که، مشاهده تغییراتی که یک زمین‌لغزه ایجاد می‌کند بسیار آسان است.

۱ ــ هوازدگی

هوازدگی نتیجه فعالیت عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی است که همه با هم بر سنگ‌های سطح زمین اثر می‌کنند، ولی سبب جابه‌جایی مواد حاصل نمی‌شوند.

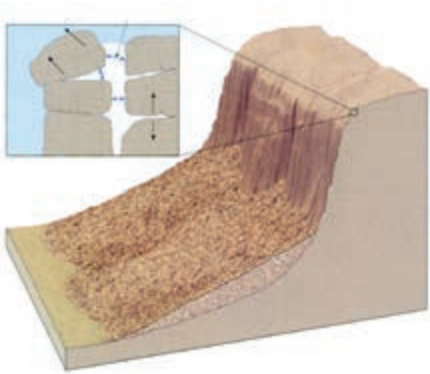
در هرجا که سنگ کره و هوا کره در تماس باشند، تخریب فیزیکی و شیمیایی در سنگ‌ها روی می‌دهد. محل تماس آنها در واقع یک سطح نیست، بلکه منطقه‌ای است که از سطح تا عمقی که هوا و آب می‌توانند نفوذ کنند، گسترش دارد. در این منطقه، آب کره و زیست کره نیز فعال‌اند. وجود شبکه‌ای از منافذ و درز و شکاف‌ها در این منطقه باعث می‌شود که سنگ‌ها همواره در معرض حمله فیزیکی و شیمیایی هوا و آب قرار گیرند و درنتیجه، به تدریج خرد و متلاشی یا به سخن دیگر هوازده شوند.

نتیجه عمل هوازدگی را، غالباً می‌توان دربریدگی جاده‌ها یا دیواره رودخانه‌ها مشاهده کرد. براثر هوازدگی، معمولاً قشری از مواد نرم و ناپیوسته بر روی سنگ بستر (سنگ‌های اصلی سازنده پوسته زمین) تشکیل می‌شود. در بسیاری از نقاط، به ویژه در مناطق مرطوب (مثل استان پر باران گیلان) سنگ بستر ممکن است در سطح زمین دیده نشود، چون در زیر مواد ناشی از هوازدگی خود مدفون شده است.

معمولاً هوازدگی را به دو نوع فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌کنند :

هوازدگی فیزیکی : هوازدگی فیزیکی عبارت است از خرد شدن فیزیکی سنگ‌ها به قطعات و ذرات کوچک‌تر بدون آنکه ترکیب آنها تغییر کند. برای ایجاد این نوع هوازدگی، نیروهایی فیزیکی لازم است. آزمایش نشان می‌دهد که وقتی آب یخ می‌زند تقریباً ۹ درصد به حجمش اضافه می‌شود.

به‌همین جهت با یخ بستن آب در شکاف سنگ‌ها و بر اثر تکرار چرخه‌های ذوب و انجماد، سرانجام ممکن است قطعه‌ای از سنگ شکسته شود (شکل ۱ ــ ۹).



شکل ۱ــ ۹ ــ تأثیر نفوذ آب و انجماد آن ، در خرد شدن سنگ‌ها

ضمناً تغییرات دمای هوا سبب انبساط و انقباض قشر نازکی از سطح سنگ‌ها می‌شود که تکرار آن ممکن است موجب متلاشی شدن سطحی سنگ‌ها شود. گرچه مطالعات آزمایشگاهی این موضوع را دقیقاً تأیید نمی‌کند، اما تصور می‌شود که تغییرات دما در هوازدگی فیزیکی سنگ‌ها در مناطق بیابانی، (که تفاوت دمای هوا در شب و روز زیاد است) مؤثر باشد. ریشه گیاهان نیز ممکن است با نفوذ و رشد خود در داخل ترک‌های سنگ‌ها فشاری ایجاد کند که به خرد شدن سنگ‌ها منجر شود (شکل ۲ ــ۹).

شکل ۲ ــ ۹ ــ رشد ریشه درختان در ترک‌های سنگ‌ها می‌تواند موجب انبساط این ترک‌ها شود و حتی قطعاتی از سنگ را جدا کند.

به هر حال علت هوازدگی فیزیکی سنگ‌ها هرچه که باشد موجب می‌شود که توده‌های بزرگ سنگ به قطعات کوچکتری شکسته شود. هرچه سنگ به قطعات کوچک‌تری تقسیم شود، نسبت سطح به حجم آن بیشتر می‌شود و چون سطح بزرگ‌تری از سنگ در معرض هجوم عوامل هوازدگی شیمیایی قرار می‌گیرد، سریع‌تر هوازده می‌شود.

هوازدگی شیمیایی : در هوازدگی شیمیایی کانی‌های سنگ از نظر شیمیایی تغییر می‌کنند. انجام هوازدگی شیمیایی غالباً مستلزم وجود آب است، زیرا آب قادر است بسیاری از کانی‌ها را حل کند. مثلاً کانی هالیت به آسانی به‌وسیله آب حل و به یون‌های سدیم و کلر تفکیک می‌شود البته اکثر کانی‌ها به سرعت هالیت در آب حل نمی‌شوند. کلسیت که کانی اصلی سنگ‌های آهکی است به‌وسیله آب خالص به کندی حل می‌شود، ولی آب‌های اسیدی این سنگ‌ها را خیلی سریع‌تر حل می‌کنند. آب باران مقدار

کمی از دی‌اکسید کربن هوا را در خود حل می‌کند و اسید ضعیفی تشکیل می‌دهد (اسید کربنیک). این اسید با کلسیت واکنش کرده و آن را به‌طور کامل حل می‌کند حفرات موجود در سنگ‌های آهکی و غارهای بزرگ آهکی به‌همین ترتیب تشکیل می‌شوند.

کانی‌های سیلیکاتی در مقابل هوازدگی شیمیایی کمتر آسیب پذیرند. تمام محصولات ناشی از هوازدگی آنها هم قابل حل نیست. مثلاً براثر هوازدگی شیمیایی فلدسپات‌ها، کانی‌های رسی به‌وجود می‌آید. چون فلدسپات‌ها فراوان‌ترین کانی‌های سازندهٔ پوسته زمین‌اند، رس‌ها در خاک‌ها و رسوبات فراوان‌اند. براثر هوازدگی شیمیایی سیلیکات‌های آهن و منیزیم‌دار، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های رسی ایجاد می‌شود که برجای می‌مانند و مواد دیگری که محلول‌اند، از محل دور می‌شوند. این ترکیبات آهنی به‌جای مانده سبب رنگ قرمز و زرد بسیاری از خاک‌ها هستند. کوارتز در مقابل هوازدگی شیمیایی فوق‌العاده پایدار است و فقط به‌طور جزیی حل می‌شود.

نوع دیگر هوازدگی شیمیایی براثر ترکیب مستقیم اکسیژن با یک عنصر، طی فرایند اکسایش انجام می‌گیرد. در این مورد نیز آب موجب سرعت بیشتر واکنش می‌شود. اشیای آهنی در مناطق مرطوب خیلی سریع‌تر از مناطق خشک اکسیده می‌شوند. آهن که میل ترکیبی زیادی با اکسیژن دارد، در بسیاری از کانی‌ها مثل الیوین، بیوتیت و آمفیبول‌ها یافت می‌شود. وقتی آهن این قبیل کانی‌ها براثر هوازدگی آزاد شود، اگر اکسیژن موجود باشد، بلافاصله به اکسیدهای آهن تبدیل می‌شود.

گیاهان و جانوران نیز در هوازدگی شیمیایی سنگ‌ها مؤثرند. گیاهان در حال پوسیدگی، اسیدهایی تولید می‌کنند که می‌توانند سنگ‌ها را تخریب کنند. هرچه گیاهان بیشتری در یک منطقه رشد کنند، هوازدگی شیمیایی تا عمق بیشتری نفوذ می‌کند، سنگ‌ها بیشتر متلاشی می‌شوند و خاک بیشتری می‌سازند. باکتری‌ها نیز با اکسایش و فاسد کردن باقیمانده‌های گیاهی و ایجاد محیط اسیدی به هوازدگی شیمیایی کمک می‌کنند.

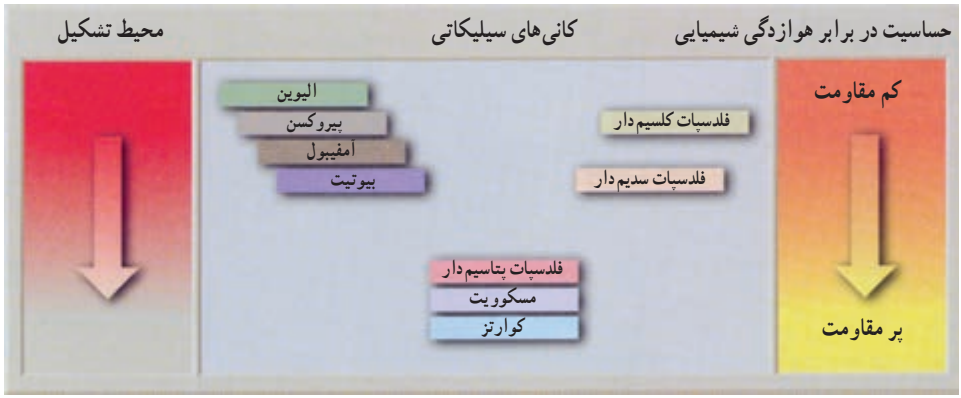
پایداری سنگ‌ها در برابر هوازدگی

میزان پایداری سنگ‌ها در برابر هوازدگی به عوامل مختلف بستگی دارد :

ترکیب و ساختمان سنگ : سنگ‌ها از کانی‌های مختلف درست شده‌اند و چنان که دیدیم کانی‌های مختلف در مقابل هوازدگی به یک اندازه مقاوم نیستند. بنابراین پایداری یک سنگ به ترکیب کانی‌شناسی آن وابسته است. مثلاً میزان نسبی پایداری بسیاری از سیلیکات‌ها را در مقابل هوازدگی شیمیایی می‌توان به شرایط اولیه تشکیل آنها ارتباط داد. از کانی‌های سیلیکاتی مختلفی که از ماگما متبلور

می‌شوند، آنهایی که در بالاترین دما و فشار تشکیل می‌شوند، در مقابل هوازدگی مقاومت کمتری نشان می‌دهند. کوارتز که در مراحل نهایی انجماد ماگما تشکیل می‌شود مقاوم‌ترین کانی در مقابل هوازدگی است. می‌توان پایداری نسبی کانی‌های معمولی سیلیکاتی را در مقابل هوازدگی شیمیایی براساس سری واکنشی بوون برآورد کرد (شکل ۳ــ۹).

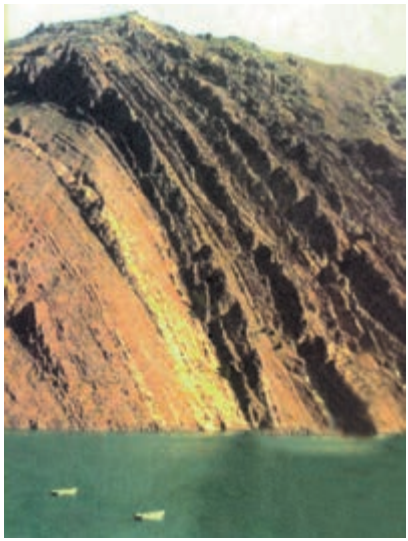
سرعت هوازدگی سنگ‌ها به بافت و ساخت آنها نیز بستگی دارد. روشن است که هرچه سنگ منافذ و شکاف‌های بیشتری داشته باشد آسان‌تر هوازده می‌شود.



شکل ۳ ــ ۹ ــ هوازدگی کانی‌های سیلیکاتی معمولی

اختلاف مقاومت سنگ‌ها در برابر هوازدگی موجب پیدایش مناظر گوناگونی در آنها می‌شود (شکل ۴ ــ ۹). مثلاً هر گاه در منطقه‌ای تناوبی از ماسه سنگ و سنگ‌های رسی وجود داشته باشد به علت آنکه ماسه‌سنگ‌ها معمولاً در مقابل هوازدگی پایدارترند، برجستگی‌ها و سنگ‌های رسی فرورفتگی‌ها را می‌سازند.

اقلیم: رطوبت و گرما دو عامل مهم تشدید واکنش‌های شیمیایی‌اند. بنابراین، هوازدگی در مناطق گرم و مرطوب نسبت به نواحی سرد و خشک خیلی شدیدتر است و تا عمق بیشتری نفوذ می‌کند. در مناطق گرم و پرباران استوایی، هوازدگی شیمیایی فوق‌العاده فعال است و درنتیجه قشر مواد هوازده ممکن است به بیش از ۱۰۰ متر برسد. در حالی که



شکل ۴ ــ ۹ ــ قسمتی از دریاچه و سنگ‌های اطراف سدّ کرج. به اختلاف پایداری سنگ‌ها در برابر تأثیر عوامل هوازدگی توجه کنید.

در مناطق گرم و خشک بیابانی به علت کمبود رطوبت و گیاهان، هوازدگی شیمیایی توسعه چندانی ندارد و آنچه که بیشتر دیده می‌شود خردشدگی فیزیکی سنگ‌هاست. در مناطق سرد قطبی، هوازدگی شیمیایی بسیار کند صورت می‌گیرد.

شیب زمین : وقتی در شیب‌های تند یک کانی بر اثر هوازدگی از سنگ بستر جدا می‌شود، به حرکت درمی‌آید و در نتیجه، قسمت تازه‌ای از سنگ بستر در معرض هجوم عوامل هوازدگی قرار می‌گیرد. در این نقاط، ضخامت پوشش هوازده ممکن است کم یا ناچیز باشد. در حالی‌که در شیب‌های کم و افقی محصولات هوازدگی به آسانی از محل دور نمی‌شوند و ممکن است ضخامت‌های زیادی پیدا کنند.

زمان : صدها، بلکه هزاران سال وقت لازم است تا یک سنگ سخت به عمق چند میلیمتر هوازده شود. سنگ نبشته‌های موجود در کوه الوند (گنج‌نامه)، که بر روی سنگ گرانیت حک شده‌اند، در طی چند هزار سال تغییرات چندانی نشان نمی‌دهند (شکل ۵ ــ۹). به هر حال بعضی از سنگ‌ها در برخی اقلیم‌ها ممکن است در طی هزاران سال اساساً بدون تغییر باقی بمانند و بعضی دیگر در مدت خیلی کمتر هوازدگی قابل توجهی تحمل کنند.

؟ سرعت هوازدگی با گذشت زمان زیادتر می‌شود یا کمتر؟ دلیل بیاورید.

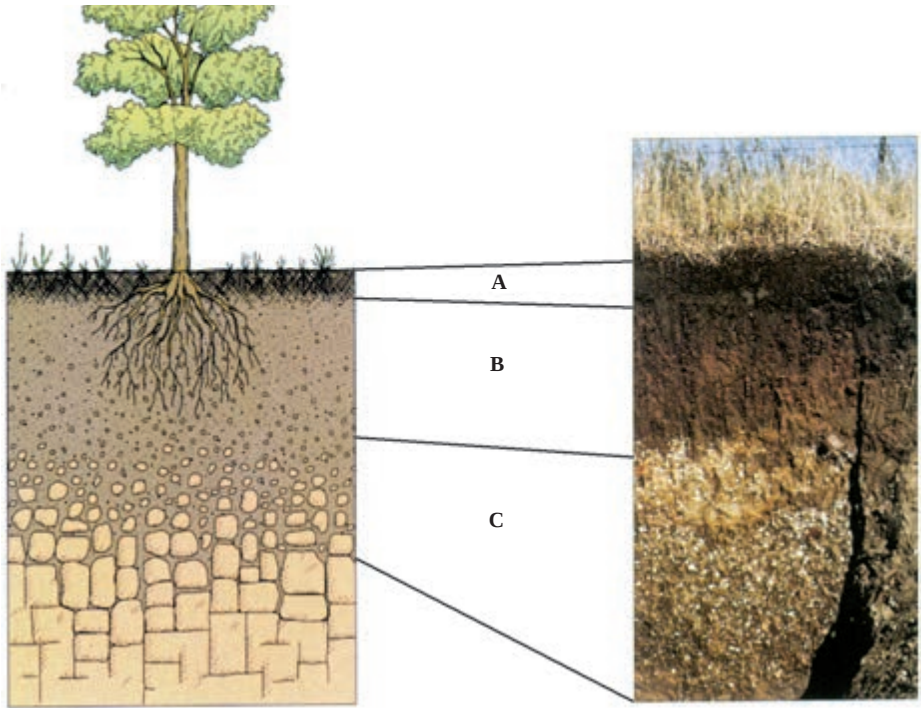
شکل ۵ ــ ۹ ــ سنگ نبشته دوره هخامنشی در گنج‌نامه (همدان)

خاک

خاک محصول نهایی هوازدگی و نتیجه تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها همراه با تجمع باقیمانده‌های

در حال فساد جانداران است که لایه‌ای را بین سنگ بستر و هوا کره تشکیل می‌دهد.

خاک متشکل از مواد معدنی (غیرآلی) و مواد آلی است. البته حداقل ۸۰ درصد خاک را موادمعدنی حاصل از هوازدگی سنگ‌ها تشکیل می‌دهد. کوارتز، کانیهای رسی و ترکیبات عناصری چون پتاسیم، فسفر و نیتروژن مهم‌ترین مواد معدنی موجود در خاک‌اند. خاک‌ها عموماً دارای هوا و آب نیز هستند. خاک ماده پرارزشی است. زندگی انسان و بسیاری از موجودات زندهٔ دیگر بدون وجود خاک، ناممکن به نظر می‌رسد. از آنجا که فرایند تشکیل خاک بسیار آهسته است و تشکیل یک سانتیمتر آن به ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال زمان نیاز دارد، باید در بهره‌برداری از خاک و نگهداری از آن دقت‌های لازم را به عمل آورد. در تشکیل خاک، علاوه بر عوامل پیش گفته (سنگ اولیه، اقلیم، شیب زمین و زمان)، زندگی گیاهی و جانوری موجود در خاک عامل مهمّی است. مثلاً حفره‌هایی که به‌وسیله جانوران در زمین ایجاد می‌شوند امکان نفوذ آب و هوا و درنتیجه هوازدگی بیشتر خاک را فراهم می‌کنند. باقیمانده‌های گیاهان و اجساد جانوران پس از مرگ آنها می پوسد و موجب افزایش «هوموس» در خاک می‌شود. هوموس (گیاخاک) به بخش آلی خاک گفته می‌شود.



شکل۶ ــ ۹ ــ نیمرخ خاک. در خاک کامل، لایه‌های مختلفی را می‌توان مشاهده کرد.

نیمرخ خاک : خاک به صورت لایه‌هایی افقی تشکیل می‌شود که به آن «افق‌های خاک» می‌گویند. هر یک از افق‌های خاک را با یکی از حروف لاتین نشان می‌دهند (شکل ۶ ــ ۹). بالاترین لایه، افق A است. این لایه حاوی هوموس و مقدار کمی رس و ماسه است. ریشه‌های بسیاری از گیاهان محدود به همین افق‌اند. در زیر آن افق B قرار دارد که حاوی رس، ماسه و مقدار کمی هوموس است. افق B همچنین حاوی عناصر محلولی است که به‌وسیله آب از افق فوقانی شسته شده‌اند. در زیر افق B، لایه ضخیم‌تری متشکل از سنگ‌هایی که بخشی از آن هوازده‌اند، قرار دارد. اغلب ریشه‌های گیاهی به این لایه نمی‌رسد. نفوذ آب و هوا نیز به این افق محدود می‌شود. در زیر افق C سنگ بستر قرار گرفته است.

گرچه افق‌های پیش گفته را در بسیاری از خاک‌ها می‌توان مشاهده کرد، ولی خاک‌های نواحی مختلف با هم تفاوت دارند. در مناطق سرد، خاک کمی تشکیل می‌شود، زیرا سطح یخ‌زده زمین مانع از هوازدگی بیشتر است. به‌علاوه، در این نواحی به علت نبودن پوشش گیاهی محافظ، سطح تازه سنگ‌ها در بیشتر نقاط دیده می‌شود.

در مناطق مرطوب حاره‌ای به علت بالا بودن دما و باران فراوان، خاک‌های ضخیمی تشکیل می‌شود. ولی در این مناطق بسیاری از کانی‌ها از لابه‌لای خاک شسته می‌شوند و از این‌رو، این خاک‌ها برای رشد فراوان محصولات کشاورزی به قدر کافی غنی نیستند.

خاک‌های نواحی بیابانی به علت هوازدگی شیمیایی کم و فرسایش آبی و بادی زیاد، معمولاً نازک و به صورت تکه‌تکه‌اند. این خاک‌ها غالباً دارای کانی‌های محلول ولی فاقد مواد آلی‌اند، یا مواد آلی کمی دارند. افق‌های خاک معمولاً وجود ندارد یا به خوبی توسعه پیدا نکرده است.

در مناطق معتدل، معمولاً میزان بارش کمتر از نواحی پرباران استوایی است با وجود این، مناطق معتدل غالباً آن‌قدر باران دریافت می‌کنند که خاک‌های ضخیمی پدید آورند. رشد فراوان گیاهان در این نواحی، خاک‌های غنی، سیاه‌رنگ و با هوموس فراوان تولید می‌کند. به همین جهت خاک‌های نواحی معتدل از حاصلخیزترین خاک‌ها هستند و بیشتر غذای مردم جهان از همین نواحی تأمین می‌شود.

۲ ــ فرسایش

فرسایش عبارت است از فرایندهایی که درطی آن مواد هوازده و متلاشی شده سنگ‌های سطح زمین جابه‌جا می‌شوند. هوازدگی مقدمه فرسایش است و در طی فرسایش، هوازدگی نیز همچنان ادامه دارد (شکل ۷ــ۹).

شکل ۷ــ۹ــ فرسایش لایه‌های رسوبی

عواملی چون نیروی جاذبه، آب‌های جاری، آب‌های زیرزمینی، یخچال‌ها، دریا و باد در فرسایش سنگ‌ها دخالت دارند.

نیروی جاذبه : توده‌های سنگ و خاک در سراشیبی ممکن است بدون دخالت یک عامل حمل‌ونقل مثل آب، باد یا یخ به حرکت درآیند. با این حال آب نقش مهمّی در حرکت مواد در سراشیبی‌ها دارد. اشباع ذرات خاک‌ها یا رسوبات با آب، اصطکاک بین آنها را کاهش می‌دهد و حرکت را آسان‌تر می‌کند. به همین جهت است که پس از بارندگی‌های شدید و طولانی، احتمال حرکت توده‌های خاک و سنگ در سراشیبی‌ها بیشتر است. به هرحال فرایندهای هوازدگی،حرکت توده‌های سنگ و خاک در دامنه‌ها فرایندهای وابسته به هم‌اند و اثر متقابل برهم دارند. نتیجه نهایی عمل آنها متلاشی شدن تدریجی سنگ بستر و پراکندگی مواد حاصل است.

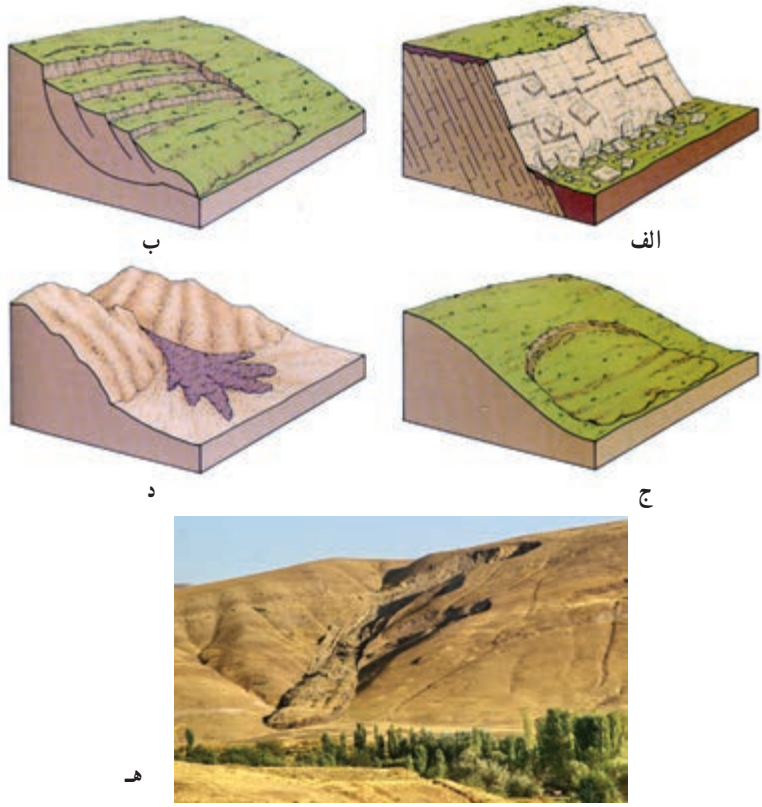
ذرّه‌ای که بر اثر هوازدگی از سنگ بستر جدا می‌شود، دارای انرژی پتانسیلی است که آن را در جهت شیب زمین به حرکت درمی‌آورد. این آغاز مسافرت ذره است که می‌تواند خیلی تند یا خیلی کند باشد. این ذره دیر یا زود در اختیار یک رود یا عامل حمل‌کننده دیگری قرار می‌گیرد که آن را به فواصل دورتری می‌برد.

در تقسیم‌بندی حرکت مواد در دامنه‌ها، عوامل مختلفی مثل جنس، نوع مواد و سرعت حرکت را در نظر می‌گیرند. این حرکات را به‌طور کلی می‌توان به سه نوع «ریزش»، «لغزش» و «جریان» تقسیم کرد.

«ریزش» عبارت از حرکت و سقوط ذرات سنگ و خاک از پرتگاه‌ها و سراشیب‌های خیلی تند است (شکل ۸ــ۹ــ الف).

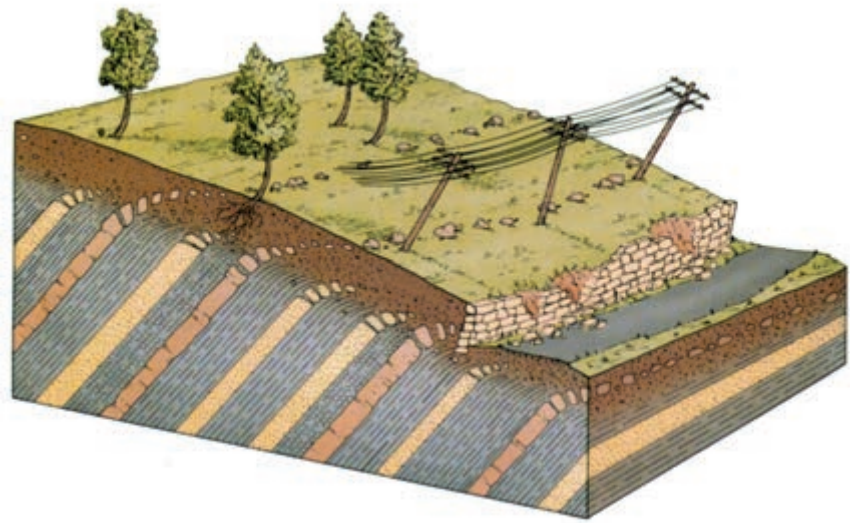
حرکت توده‌های سنگ یا رسوب در امتداد سطوح لغزشی را «لغزش» می‌خوانند. «زمین‌لغزه» نیز اصطلاحی کلی است که معمولاً شامل حرکات لغزشی و ریزشی توده‌های نسبتاً خشک سنگ و خاک می‌شود. سطوح لغزشی معمولاً سطح لایه‌بندی یا سطح شکستگی‌هاست (شکل ۸ــ ۹ــ ب و هــ). معمولاً وجود یک لایه رسی در زیر قطعات و توده‌های سنگ، لغزش آنها را آسان‌تر می‌کند، زیرا لایه رسی بر اثر نفوذ آب حالت صابونی و لغزنده پیدا می‌کند. پایداری سنگ‌ها در بریدگی‌های طبیعی و مصنوعی به جهت شیب لایه‌ها بستگی دارد.

در نوع سوم حرکات دامنه‌ای، مواد به صورت خمیری (پلاستیک) یا نیمه مایع به سمت پایین جریان می‌یابند(شکل ۸ــ۹ ــ ج). جریان‌ها گاهی بسیار تندند، مانند «جریان‌های گل» که در مناطق کوهستانی نواحی خشک و نیمه‌خشک صحرایی، پس از رگبارهای کوتاه مدت، عمومیت دارند (شکل ۸ ــ ۹ ــ د). باران‌های تند، پوشش خاک و مواد هوازده را به سرعت به توده‌هایی از گل تبدیل می‌کند که همراه با قطعات سنگ، رو به پایین به حرکت درمی‌آیند و قدرت فرسایشی زیادی دارند.



شکل ۸ــ ۹ــ انواع حرکات دامنه‌ای

اهمیت مطالعه حرکات دامنه‌ای در کارهای مهندسی : حرکت توده‌های سنگ و خاک گاهی ممکن است به ساختمان‌ها و دیگر سازه‌هایی که در دامنه سراشیبی‌ها و پرتگاه‌ها قرار گرفته‌اند صدمه بزند یا آنها را تخریب کند، جاده‌ها و خطوط آهن را مسدود سازد و در مسیر رودها، سدها و دریاچه‌هایی به‌وجود آورد. به این جهت مطالعه حرکت سنگ‌ها در بسیاری از کارهای مهندسی مربوط به ایجاد جاده‌ها، پل‌ها، سدها و ساختمان‌ها اهمیت اساسی دارد. این‌گونه سازه‌ها باید در نقاطی بنا شوند که زمین به قدر کافی پایدار باشد، یا تدابیر لازم از پیش اندیشیده شود. بی‌توجهی به مسئله ریزش و لغزش سنگ‌ها و محاسبه دقیق شیب بریدگی‌ها گاهی می‌تواند خسارات فراوانی به بار آورد. امروزه به روش‌های مختلف، مثل ایجاد دیواره‌های حایل، استفاده از تورهای سیمی، محاسبه دقیق شیب بریدگی‌ها، ایجاد زهکشی برای تخلیه آب اضافی، ایجاد بهمن‌گیرها و بسیاری اقدامات دیگر، کوشش می‌شود که شیب‌ها تثبیت شود و آثار نامطلوب ریزش‌ها و لغزش‌ها ازبین برود.



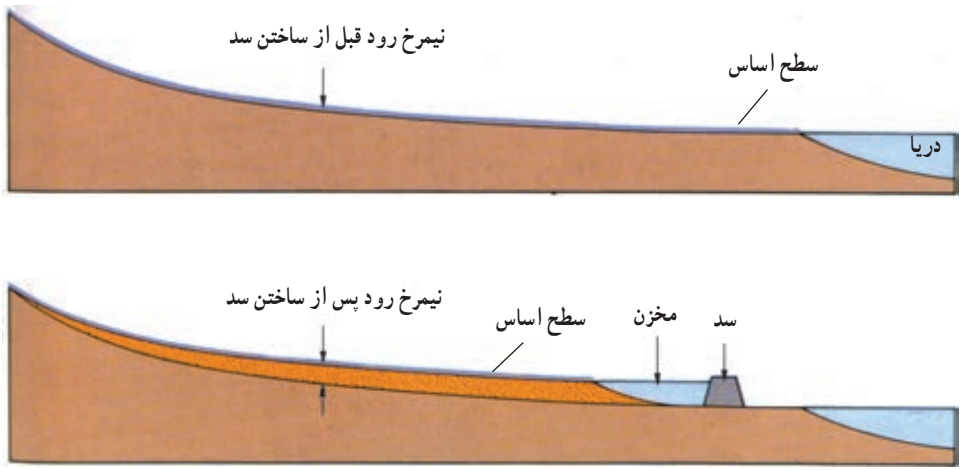
شکل ۹ــ ۹ ــ خزش ملایم مواد

آب‌های جاری : حتماً تاکنون رودهای کوچک یا بزرگی را دیده‌اید. بعضی از رودها، آب تقریباً زلالی دارند. ولی برخی دیگر گل‌آلودند. رودها، چه کوچک و چه بزرگ، همواره سطح زمین را در جایی می‌فرسایند و مواد حاصل را در جای دیگر ته‌نشین می‌کنند. فرسایش سطح زمین از لحظه فرود

قطرات باران شروع می‌شود. هر قطره باران، در لحظه برخورد به زمین، دارای مقداری انرژی جنبشی است که می‌تواند ذرات خاک را سست و پراکنده کند. آن‌گاه این ذرات توسط آب‌های سطحی شسته می‌شوند. این‌گونه فرسایش، که «فرسایش ورقه‌ای» خوانده می‌شود، نقش مهمّی در فرسایش و شستشوی خاک در سطح حوضه آبریز دارد. اگر سطح زمین به‌وسیله رستنی‌ها محافظت نشده باشد فرسایش بیشتری پیدا می‌کند. وقتی زمین به قدر کافی فرسایش پیدا کند، مجاری و آبراهه‌های کوچکی ایجاد می‌شود. با ادامه فرسایش، این مجاری وسیع‌تر و عمیق‌تر شده و بسترهای بزرگ‌تری به‌وجود می‌آید.

رودها طی فرایندی که «فرسایش قهقرایی» خوانده می‌شود، طول خود را روبه عقب نیز می‌افزایند. به عبارت دیگر رودها با فرسایش هرچه بیشتر سنگ‌ها در مبدأ یا سرچشمه خود، دائماً زمین را به طرف بالای رود حفر می‌کنند. انتهای دیگر رود، که مصب یا دهانه رودخانه خوانده می‌شود، جایی است که رود وارد توده‌ای از آب مثل دریا یا دریاچه می‌شود و موادی را که با خود حمل می‌کند ته‌نشین می‌سازد.

هیچ رودی نمی‌تواند پایین‌تر از ارتفاع دهانه خود، سطح زمین را فرسایش دهد. سطحی که در آن رودخانه انرژی خود را از دست می‌دهد و نمی‌تواند بیش از آن بستر خود را روبه پایین حفر کند، **سطح مبنا** یا **سطح اساس** خوانده می‌شود. سطح مبنای نهایی رودها معمولاً سطح دریاست. یک دریاچه یا لایه‌ای از یک سنگ مقاوم ممکن است به عنوان یک سطح مبنای موقتی یا محلی عمل کند (شکل ۱۱ــ ۹).



شکل ۱۰ــ ۹ ــ بالا رفتن سطح اساس با ساخته شدن سد

وقتی یک رودخانه با لایه‌ای از یک سنگ مقاوم روبرو شود، معمولاً تشکیل آبشار یا تندآب می‌دهد. سنگ مقاوم به عنوان یک سطح مبنای موقتی عمل می‌کند. با فرسایش آهسته سنگ مقاوم، آبشار یا تندآب به طرف بالای رود عقب‌نشینی می‌کند.

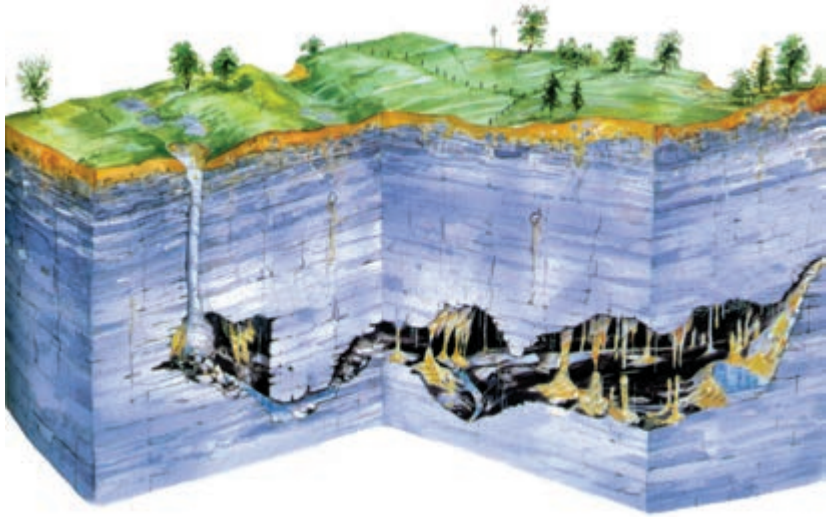
تشکیل دره : تشکیل و توسعه دره رودخانه‌ها را می‌توان به سه مرحلهٔ جوانی، بلوغ و پیری تقسیم کرد، دره رودهای جوان، v شکل با دیواره‌های پرشیب است. زیرا بیشتر انرژی فرسایشی آنها صرف عمیق‌تر کردن بسترشان می‌شود (شکل ۱۱ــ۹). وقتی رود جوانی به سطح مبنای خود نزدیک می‌شود، شروع به «فرسایش جانبی» سواحل خود می‌کند و دره‌ای پهن‌تر به‌وجود می‌آورد. هوازدگی و ریزش و لغزش دیوارهای دره و فرسایش توسط انشعابات رود به پهن‌تر شدن بیشتر دره کمک می‌کند و درنتیجه رودی بالغ تشکیل می‌شود.

شکل ۱۱ــ ۹ ــ یک دره V شکل. این دره‌ها در چه نوع زمین‌هایی تشکیل می‌شود؟

آب‌های زیرزمینی : آب‌های فرورو ضمن عبور از لایه‌های خاک و سنگ، مقدار زیادی از مواد را در خود حل می‌کنند، به‌خصوص که حرکت آب نیز به کندی صورت می‌گیرد. مقدار و نوع مواد معدنی محلول در آب بستگی به جنس و ضخامت لایه‌های خاک و سنگ و دمای آبی دارد که از

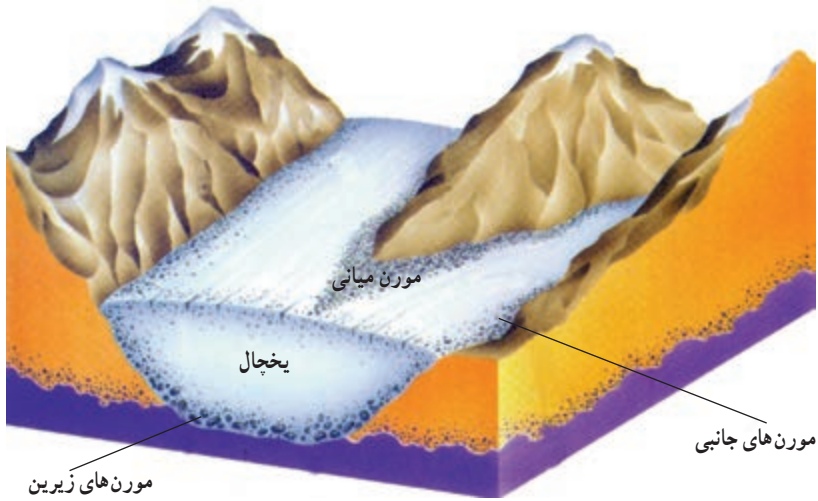
میان آنها می گذرد.

آب‌های فرورو با عمل انحلال خود سبب تخریب بعضی از قسمت‌های درونی زمین می‌شوند. به ویژه اگر جنس زمین از لایه‌های آهکی و محلول در آب باشد عمل تخریب آسان‌تر صورت می گیرد. لایه‌هایی که جنس آنها از آهک باشد غالباً شکافدارند. وقتی که آب‌های دارای دی‌اکسیدکربن که حالت اسیدی دارند به درون این شکاف‌ها راه‌یابند، کم کم آهک را در خود حل می کنند. ادامه این عمل طی هزاران سال منجر به پیدایش حفره بزرگی به نام غار می‌شود که ممکن است طول و عرض آن به کیلومترها برسد (شکل ۱۲ــ ۹). گرچه اغلب غارها کوچک‌اند، ولی برخی نیز اندازه‌های استثنایی پیدا می کنند و متشکل از شبکه پیچیده‌ای از مجاری، محفظه‌ها، گذرگاه‌ها و تالارهای زیرزمینی‌اند. در برخی از غارها مثل غار علی‌صدر (حوالی همدان) سطح ایستابی بالاتر از کف غار قرار گرفته و ایجاد دریاچه‌ای زیرزمینی کرده است.



شکل ۱۲ــ ۹ ــ تشکیل غار در داخل سنگ‌های آهکی صورت می‌گیرد.

یخچال‌ها : یخچال‌ها با نیروی زیادی سنگ‌های بستر خود را فرسایش می‌دهند و این کار به‌وسیله مورن‌ها صورت می گیرد. تمام موادی که به‌وسیله یخچال حمل می‌شوند به نام **مورن** موسومند مورن‌ها ممکن است در زیر، کنار و یا در میان یخچال باشند، در جلوی یخچال هم موادی به‌وسیله یخ آورده می‌شوند که درنتیجه ذوب یخ، آن مواد روی هم انباشته می‌شوند و مورن‌های جبهه‌ای را به‌وجود می‌آورند (شکل ۱۳ــ ۹).



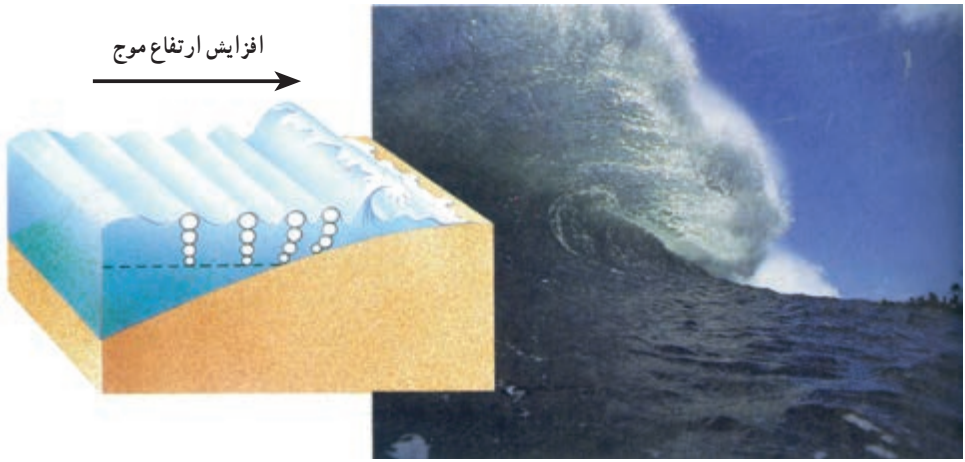
شکل ۱۳ــ ۹ ــ برخورد دو یخچال دره‌ای و تشکیل مورن‌های میانی

مورن‌ها در زیر و اطراف یخچال به‌طور ثابت در یخ قرار دارند و همچنان که با یخ به جلو می‌روند، بستر یخچال را می‌سایند. ذرات شن، مانند سمباده عمل می‌کنند و سبب صاف و صیقلی شدن بستر یخچال می‌شوند. مورن‌های درشت‌تر در سنگ‌های بستر، خطوط موازی ایجاد می‌کنند، این خطوط امتداد حرکت یخچال را نشان می‌دهند. بدیهی است که مورن‌ها خود نیز مخطط می‌شوند.

یخچال‌های قطبی چون نواحی کوهستانی را یکسره می‌پوشانند از ارتفاع قلل می‌کاهند و آنها را صاف و ساییده می‌کنند، درحالی که یخچال‌های دره‌ای ارتفاعات را می‌برند و آنها را تیزتر می‌کنند.

دریاها : وقتی که موج به سوی ساحل پیش می‌آید، به نقطه‌ای می‌رسد که عمق آب بسیار کم است. در اینجا ته موج با زمین برخورد می‌کند و از سرعت قسمت پایین آن کاسته می‌شود، اما قسمت سطحی آن با سرعت قبلی به حرکت خود ادامه می‌دهد. نتیجه آن می‌شود که موج می‌شکند (شکل۱۴ــ ۹) وقتی که موج شکسته شد، نیروی زیادی در لبه آن جمع می‌شود که به کمک این نیرو می‌تواند موادی را در ساحل جابه‌جا کند و اگر به ساحل سنگی برخورد، باعث ریزش و تخریب آن می‌شود.

امواج را باید از نیرومندترین عوامل فرسایش دانست. مخصوصاً در سواحل سنگی که عمق آب در کناره‌ها نیز زیاد است، تمام نیروی موج در اولین نقطه برخورد جمع می‌شود. فشار موجی که از طوفان پدید می‌آید ممکن است متجاوز از هزار کیلوگرم نیرو بر متر مربع باشد. امواج دریا باعث



شکل ۱۴ــ ۹ ــ وقتی طول موج کاهش یابد، ارتفاع آن زیاد خواهد شد.

پراکنده‌شدن شن، سنگ‌ریزه و گل‌های رسی روی ساحل می‌شوند و سنگ‌های بزرگ را به قطعات کوچک‌تر تقسیم می‌کنند. این قطعات نیز ضمن حرکات متوالی کم‌کم بدون زاویه می‌شوند، این مواد به عمل تخریبی امواج کمک می‌کنند، زیرا آب آنها را به سنگ‌های دیگر می‌کوبد. با این عمل، خود آنها نیز خردتر و به ماسه مبدل می‌شوند. در سواحل سنگی نیز نفوذ آب در شکاف سنگ‌ها که توسط موج صورت می‌گیرد، سبب فروریختن سنگ‌ها می‌شود (شکل ۱۵ــ ۹). همچنین، اگر در سنگ‌های ساحلی املاح محلول وجود داشته باشند، آن املاح در آب دریا حل می‌شوند و تخریب سواحل سرعت بیشتری پیدا می‌کند.

آب دریا می‌تواند مواد حاصل از تخریب ساحل، هوازدگی و مواد حل شده توسط رودها را جابه‌جا کند. همه این مواد از قطعات بزرگ گرفته تا ذرات کوچک رس به وسیله امواج و جریان‌های دریایی حمل می‌شوند تا آنجا که دور از تأثیر این عوامل قرار گیرند و رسوب کنند. از آنجا که در کنار ساحل قدرت امواج زیاد است، قطعات ریز و درشت حمل می‌شوند، اما هر چه از ساحل دورتر می‌شویم، از قدرت امواج به تدریج کاسته می‌شود و بالطبع قطعات بزرگ‌تر در نزدیکی ساحل می‌مانند و آنها که کوچک‌ترند جلوتر برده می‌شوند (شکل۱۶ــ ۹). دانه‌های شن در قسمت‌های کم عمق رسوب می‌کنند و ذرات رس به نواحی عمیق‌تر آب کشانده می‌شوند.

باد : باد یکی از عوامل تغییر سیمای زمین به‌ویژه در نواحی خشک و بیابانی است. در بیابان‌ها بارندگی کم و رستنی‌ها پراکنده و محدودند. به همین جهت سطح زمین بیشتر در معرض فرسایش باد

شکل ۱۵ــ ۹ ــ اثر امواج بر سواحل

شکل ۱۶ــ ۹ ــ فرسایش سواحل جنوبی کشور

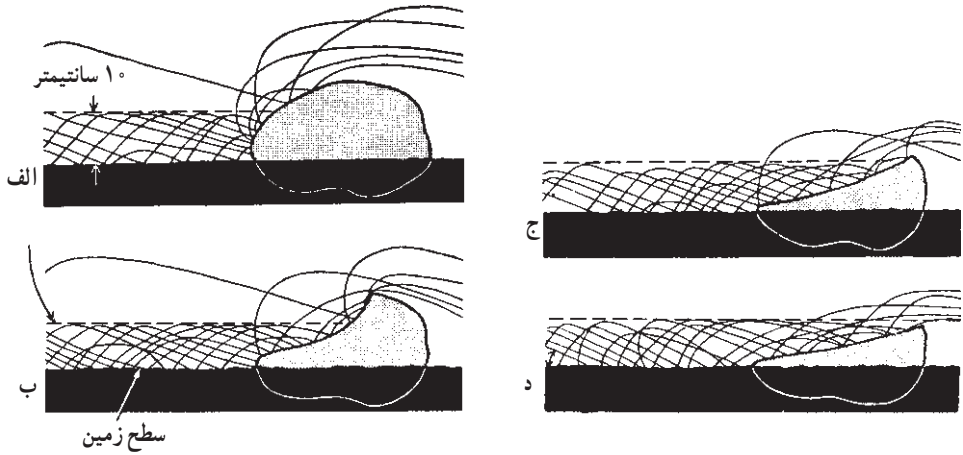
قرار می‌گیرد و آثار فرسایشی و رسوبی باد بهتر از هر جای دیگر نمایان است. ولی بیابان‌ها تنها قلمرو فعالیت باد نیست. باد در مناطق دیگر، ازجمله مناطق قطبی، سواحل دریاها، نواحی کوهستانی و حتی در مناطق معتدل و مرطوب، در کنار سایر عوامل طبیعی فعال است. گرچه باد عامل زمین‌شناسی مهمّی است، ولی در مقایسه با آب یا یخ نقش کوچک‌تری در تغییرات سطح زمین دارد. بادها از نظر شیمیایی تأثیری بر سنگ‌ها ندارند و قادر به انحلال کانی‌ها نیستند و به علاوه، قدرت فرسایش و توان حمل آنها

بسیار کمتر از رودها و یخچال‌هاست.

ذراتی که به‌وسیله بادها به حرکت درمی‌آیند شامل دو بخش **بار بستری** و **بار معلق** است. ذراتی که در سطح یا نزدیک سطح زمین و بر اثر غلتیدن یا جهش‌های متوالی به جلو رانده می‌شوند، «باربستری» و ذرات دانه‌ریزتری که باد قادر است به صورت معلق در هوا حمل کند، «بار معلق» خوانده می‌شوند. چگالی خیلی کمتر هوا نسبت به آب و یخ، موجب می‌شود که باد در حمل رسوبات خیلی کمتر از رودها و یخچال‌ها مؤثر باشد. درنتیجه، در سرعت‌های یکسان، باد قادر به حمل ذرات دانه‌ریزتری است. ذراتی که به‌صورت بار بستری جابه‌جا می‌شوند اکثراً در حد ماسه‌اند. ذرات ماسه به ندرت ممکن است خیلی از زمین بلند شوند. ذرات دانه ریزتر (معمولاً کوچک‌تر از ۰/۰۲ میلیمتر) می‌توانند به‌صورت معلق جابه‌جا شوند، ذرات خیلی دانه‌ریز گرد و غبار ممکن است مدت‌های طولانی در هوا معلق باقی بمانند.

حمل ذرات دانه‌ریز توسط باد : مواد دانه‌ریزی که به صورت معلق توسط بادها جابه‌جا می‌شوند، غالباً به فاصله کمی از منشأ خود دوباره در سطح زمین رسوب می‌کنند. ولی گاهی بادهای قوی قادرند این ذرات را مدت‌های طولانی در هوا کره نگه‌دارند و در فواصل دوری برجای بگذارند. پس از فوران آتشفشان کراکاتوا نزدیک جزیره جاوه در اندونزی به سال ۱۸۸۳ میلادی، خاکسترهای دانه‌ریز آتشفشانی چند سال در لایه‌های فوقانی هواکره باقی ماندند و چندبار به دور زمین چرخیدند و در نقاط دوردستی مانند اروپای غربی به زمین نشستند.

برخورد مداوم باد با سطح خاک و سنگ موجب فرسایش آنها می‌شود. روشن است که باد، خاک‌ها و رسوبات را خیلی آسان‌تر از سنگ‌های سخت و یک‌پارچه می‌فرساید. در واقع باد به تنهایی اثر چندانی بر سطح سنگ‌ها ندارد. ولی ذراتی که به‌وسیله بادها حمل می‌شوند با برخورد مداوم به سنگ‌ها و موانعی که در سر راهشان قرار دارد، می‌توانند موجب «سایش» سطح آنها شوند. (شکل ۱۷ــ ۹). چون عمل سایش بیشتر به‌وسیله ذرات ماسه انجام می‌گیرد، به آن «سایش ماسه‌ای» نیز می‌گویند. به این‌ترتیب در تکه سنگ‌های پراکنده در سطح زمین بر اثر برخورد مداوم ذرات ماسه در یک یا چند جهت، ممکن است سطح یا سطوح صافی ایجاد شود. برحسب شرایط، سطح سنگ‌ها ممکن است شیاردار، نقطه‌نقطه یا صیقلی شود. سنگ یا تکه‌سنگی را که تحت اثر سایش بادی قرار گرفته باشد اصطلاحاً «بادساب» می‌گویند (شکل ۱۸ــ ۹).



شکل ۱۷ــ ۹ ــ ذرات ماسه سطح سنگ‌ها را می‌خراشند.

شکل ۱۸ــ ۹ ــ قطعات بادساب

فرسایش بادی در نواحی بیابانی گاهی موجب پیدایش شیارهای عمیقی در رسوبات نرم می‌شود، که به آنها شیارهای «بادکند» و تیغه‌های بین آنها را «یاردانگ» می‌گویند. در قسمت‌هایی از دشت لوت در شرق کرمان، باد در رسوبات نرم رسی و گچی شیارهایی به عمق ۸۰ متر حفر کرده است.

۳ــ رسوب‌گذاری

وقتی که باد از جریان می‌افتد یا زمانی که آب از حرکت می‌ایستد و یا یخچال ذوب می‌شود، یعنی انرژی خود را از دست می‌دهند، مواد همراه آنها ته‌نشین می‌شوند. در روی زمین، عمل حمل مواد توسط آب، باد و یخچال، تحت تأثیر نیروی گرانشی همیشه از بلندی‌ها به سوی فرورفتگی‌ها صورت می‌گیرد. به‌طور کلی، به موادی که توسط عوامل فرسایشی حمل شده و در محیط‌های رسوبی ته‌نشین می‌شوند، رسوب می‌گویند.

آب‌های جاری: وقتی که سرعت آب جاری کاسته شود، مقداری از مواد همراه آن رسوب می‌کنند. سرعت رود وقتی کم می‌شود که درجه شیب مسیر آن کاهش یابد، بسترش عریض شود، یا مقدار آب آن کاهش یابد رودها مخصوصاً زمانی سرعت خود را از دست می‌دهند که وارد دریا شوند و در اینجاست که تمام مواد همراهشان رسوب خواهد کرد. ولی رودها بخشی از رسوبات سنگین وزن و درشت خود را نیز در خشکی‌ها، در بستر یا کناره‌های آن، به جای می‌گذارند. این‌گونه رسوبات را به‌طور کلی «آبرفت» می‌گویند. آبرفت‌ها به ترتیب جرم و حجم ته‌نشین می‌شوند و اغلب گردشدگی و جورشدگی خوبی دارند. تشکیل **مخروط افکنه، دلتا، تراس آبرفتی** و **دشت سیلابی** از اعمال رسوب‌گذاری آب‌های جاری است (شکل‌های ۱۹ــ ۹ و ۲۰ــ ۹).

شکل ۱۹ــ ۹ ــ تراس آبرفتی و دشت سیلابی

شکل ۲۰ــ ۹ ــ مخروط افکنه

آب‌های زیرزمینی : آب‌های زیرزمینی معمولاً موادی را به صورت حل شده حمل می کنند. این مواد محلول به صورت سیمان بین ذرات منفصل ته‌نشین می‌شوند و آنها را تبدیل به سنگ می کنند.

عمل دیگر آب‌های زیرزمینی «جانشینی» است. بر اثر این فرایند ممکن است یک ماده در آب حل شود و هم‌زمان جای آن با ماده معدنی جدیدی پُر شود. به این ترتیب صدف‌ها، استخوان، برگ‌ها، ساقه درختان و غیره ممکن است به‌طور کامل به‌وسیله یک ماده معدنی جدید جانشین شوند.

آب‌های زیرزمینی با رسوب‌گذاری کربنات کلسیم بر سقف، کف و دیواره‌های غارها سبب پدید آمدن شکل‌های بسیار زیبایی می‌شوند. رسوبات سقف غارها را **استالاکتیت** و رسوبات کف غارها را **استالاکمیت** گویند (شکل ۲۱ــ ۹).

آب‌های زیرزمینی با ظاهر شدن در سطح زمین نیز بخشی از مواد محلول خود را ممکن است به‌صورت رسوب ته‌نشین کنند. این‌گونه رسوبات، بیشتر به‌وسیله چشمه‌های آب گرم تشکیل می‌شوند. آب‌گرم چون از نظر شیمیایی فعال‌تر از آب سرد است، بیشتر می‌تواند کانی‌های مسیر خود را حل کند. با رسیدن آب گرم به سطح زمین و درنتیجه تغییر شرایط، مقداری از کانی‌های محلول در آب در سطح زمین ته‌نشین می‌شوند. در دهانه بسیاری از چشمه‌های آب گرم (مثلاً چشمه‌های آب اسک در اطراف کوه آتشفشان دماوند، یا چشمه‌های سرعین در اطراف آتشفشان سبلان)، رسوبات کربنات کلسیم ته‌نشین می‌شود.

الف

ب

شکل ۲۱ــ ۹ ــ تشکیل ستون‌های آهکی در داخل غار (الف) مقطع یک ستون آهکی (ب)

یخچال‌ها : یخچال نیز کاری مشابه کار آب‌های جاری را انجام می‌دهد. اما آب‌های جاری موقعی مواد را ته‌نشین می‌کنند که از سرعت جریان آنها کاسته شود، در صورتی که کاهش سرعت حرکت یخچال تأثیری در عمل رسوب‌گذاری ندارد و ته‌نشین شدن مواد حمل شده به‌وسیلهٔ یخچال را باید نتیجهٔ مستقیم ذوب یخ و برف دانست (شکل ۲۲ــ ۹).

موادی که به‌وسیلهٔ یخچال رسوب‌گذاری می‌شوند دو دسته‌اند :

۱ ــ موادی که در موقع ته‌نشین شدن، صورت لایه‌لایه به خود نمی‌گیرند و شامل ذرات میکروسکوپی رس تا سنگ‌هایی به وزن چندین تن هستند که با هم مخلوط شده‌اند. این مواد را جمعاً **رسوبات درهم یخچالی** (تیل) می‌نامند.

شکل ۲۲ــ ۹ ــ مواد همراه یخچال، پس از ذوب یخ، در روی بستر آن بر جای می‌مانند.

۲ ــ آبی که درنتیجهٔ ذوب یخ، در زیر یخچال‌ها جاری می‌شود، رسوبات دانه‌ریزی به‌همراه دارد که آنها را پس از ته‌نشین شدن، باید **رسوبات مطبق یخچالی** نامید. این رسوبات تقریباً صورت لایه‌لایه دارند.

اقیانوس‌ها : منابع اصلی رسوبات اقیانوسی عبارت‌اند از : ۱) قاره‌ها، که مواد حاصل از هوازدگی و فرسایش آنها به‌وسیله آب، باد و یخ به

دریاها حمل می‌شود، ۲) آب دریا همراه با مواد شیمیایی محلول در آنها، ۳) جاندارانی که در دریا زندگی می‌کنند و پوسته و اسکلت آنها بخش زیستی رسوبات دریایی را تشکیل می‌دهد، ۴) خاکسترهای آتشفشانی، ۵) مقدار کمی رسوباتی که از خارج از سیاره زمین منشأ گرفته و به صورت عمدتاً غبارهای شهاب‌سنگی وارد آب اقیانوس‌ها می‌شود.

رسوبات حاشیه قاره‌ها عموماً از نوع رسوبات آواری هستند که از قاره‌ها منشأ گرفته‌اند. چون رسوبات دانه درشت‌تر زودتر ته‌نشین می‌شوند، به ساحل نزدیکترند و به تدریج رسوبات به طرف دریا دانه‌ریزتر می‌شوند. این رسوبات معمولاً در محل خود ثابت نیستند و به‌وسیله جریان‌هایی که در فلات قاره و شیب قاره وجود دارد و بر اثر لغزش‌های زیردریایی پراکنده و جابه‌جا می‌شوند و حتی به آن سوی خیز قاره برده می‌شوند. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی رسوبات آواری به جنس سنگ‌هایی وابسته است که بر اثر هوازدگی از آنها منشأ گرفته‌اند. ولی ریزترین بخش آنها را کانی‌های رسی تشکیل می‌دهد. این ذرات دانه‌ریز به آسانی به صورت معلق باقی می‌مانند و ممکن است تا فواصل دوری حمل شده و در دشت‌های مغاکی ته‌نشین شوند و بخشی از **رسوبات پلاژیک** را تشکیل دهند. رسوبات پلاژیک، صرف‌نظر از منشأ آنها، به رسوبات اقیانوس‌های باز (دور از حاشیه قاره‌ها) گفته می‌شود. البته بیشتر رسوبات پلاژیک کف اقیانوس‌ها منشأ زیستی دارند.

مهم‌ترین جاندارانی که در تشکیل رسوبات پلاژیک شرکت دارند، دو گروه از آغازیان جانورمانند به نام روزن داران و شعاعیان‌اند. بخش‌های سخت بدن بیشتر روزن‌داران، آهکی (غنی از $CaCO_3$) و شعاعیان، سیلیسی (غنی از SiO_2) است. اجساد این جانوران، که در نزدیک سطح آب زندگی می‌کنند، پس از مرگ به اعماق اقیانوس فرومی‌رود و در کف آن ته‌نشین می‌شود. مواد آلی نرم بدن آنها به تدریج می‌پوسد و بخش‌های سخت به جای می‌ماند. گرچه هر پوسته یا صدف خیلی کوچک است، ولی تعداد بی‌شمار این جانداران روی‌هم، تجمع عظیمی از رسوبات را می‌سازد، که حاصل آن تشکیل رسوبات دانه‌ریز آهکی و سیلیسی اشباع از آب است که به آن لجن آهکی و سیلیسی گفته می‌شود.

نوع دیگری از رسوبات زیستی دریاها، **ریف‌های آهکی** است. ریف‌ها، توده‌های آهکی بزرگی هستند که به‌وسیلهٔ جانداران دریایی آهک‌ساز به‌ویژه مرجان‌ها، ایجاد می‌شوند. این جانداران با جذب بی‌کربنات کلسیم محلول در آب دریا اسکلتی آهکی برای خود می‌سازند. مرجان‌ها به صورت کلنی با هم زندگی می‌کنند و از اجتماع اسکلت‌های باقی‌مانده میلیون‌ها جانور مرجانی، توده‌های آهکی بزرگی در اطراف جزایر و سواحل دریاها (به‌ویژه در مناطق استوایی اقیانوس آرام)

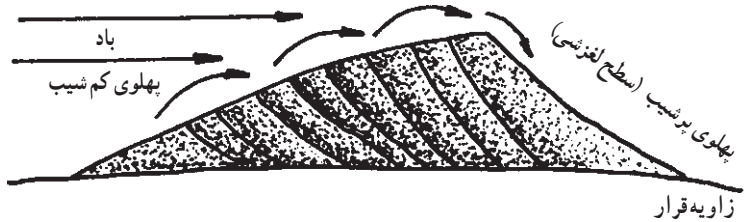
به‌وجود می‌آورند.

در بخش‌های خیلی عمیق کف اقیانوس‌ها، در جایی که سرعت رسوب‌گذاری بسیار کم است، بر اثر واکنش‌های شیمیایی بین یون‌های محلول در آب و مواد موجود در کف دریا، اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز به صورت **گرهک‌های منگنز** ته‌نشین می‌شوند. این گرهک‌ها توده‌های مدور و غنی از منگنز، به قطر ۵ تا ۱۰ سانتیمتراند که مناطق وسیعی از کف دریاها را می‌پوشانند. این گرهک‌ها شامل لایه‌های اکسیدهای منگنز و آهن مخلوط با ذرات رسوبی‌اند. دانشمندان تصور می‌کنند که این گرهک‌ها علاوه بر منگنز و آهن حاوی مقادیر عظیمی از نیکل و کبالت باشند. طرح‌هایی برای استفاده از این منابع درآینده، تهیه شده است.

باد : ذراتی که به‌وسیله بادها حمل می‌شوند، سرانجام رسوبات بادی را به‌وجود می‌آورند. ذرات ماسه که در نزدیک سطح زمین و نسبتاً آهسته حرکت می‌کنند، خیلی زود با کم شدن سرعت باد از حرکت باز می‌مانند. ذرات دانه‌ریزتر رس و سیلت که به صورت معلق و سریع‌تر حرکت می‌کنند، قبل از ته‌نشینی، مسافت‌های طولانی‌تری را می‌پیمایند.

باد معمولاً ذرات درشت‌تر را به صورت تپه‌ها یا پشته‌هایی از ماسه به جای می‌گذارد که «تلماسه» خوانده می‌شوند. بخش‌های وسیعی از بیابان‌ها، مثل صحرای بزرگ در افریقا، ربع‌الخالی در عربستان و دشت‌لوت ایران پوشیده از تلماسه‌هاست. تلماسه‌ها همچنین در سواحل دریاها (مثل بخش‌هایی از سواحل دریای خزر و خلیج‌فارس) نیز تشکیل می‌شوند.

ذرات ماسه، که به صورت بار بستری حرکت می‌کنند، در برخورد با موانعی که بر سر راه آنها قرار گرفته‌اند به روی هم انباشته می‌شوند. با جمع شدن تدریجی ماسه، سرانجام تلماسه به‌وجود می‌آید. ارتفاع تلماسه‌ها گاهی از ۱۰۰ متر تجاوز می‌کند. در دشت‌لوت تلماسه‌هایی با ارتفاع بیش از ۲۰۰ متر نیز مشاهده می‌شود. تلماسه‌ها در مقطع، شکلی نامتقارن دارند و پهلوی کم شیب آنها رو به باد قرار گرفته است. ذرات ماسه از پهلوی رو به باد به بالا رانده می‌شوند و در پهلوی دیگر سقوط می‌کنند. وقتی تجمع ماسه در پهلوی پرشیب از حد معینی، که زاویه قرار خوانده می‌شود (شکل ۲۳ــ ۹)، تجاوز کند ماسه‌ها به سمت پایین می‌لغزند. از این‌رو شیب پهلوی پرشیب (سطح لغزشی) همیشه تقریباً ثابت و حدود°۳۴ باقی می‌ماند. به این ترتیب حرکت مداوم ماسه‌ها از سطح کم‌شیب و سقوط آنها در دامنه پرشیب موجب می‌شود که کل تلماسه نیز به آهستگی در جهت وزش باد به حرکت درآید (شکل۲۴ــ ۹). رسوبات تلماسه‌ای عموماً از ماسه‌های دانه‌ریز، گرد شده با جورشدگی خوب تشکیل شده‌اند و معمولاً از جنس کوارتزند.



شکل ۲۳ ــ ۹ ــ برشی از یک تلماسه، نحوه حرکت ذرات ماسه به‌وسیله باد و ساختمان داخلی تلماسه

شکل ۲۴ــ ۹ ــ الف ــ تلماسه در کویر لوت

شکل ۲۴ــ۹ــ ب ــ تلماسه در کویر داخلی کشور

مسئلهٔ ماسه‌های روان : اندازه‌گیری موقعیت تلماسه‌ها در طول زمان نشان می‌دهد که در مناطق بیابانی تلماسه‌ها تا ۲۵ متر در سال نیز جابه‌جا می‌شوند. پیشروی ماسه‌ها در نواحی اطراف بیابان‌ها و در امتداد سواحل ماسه‌ای گاهی موجب وارد آمدن خسارات فراوانی به شهرها، مزارع، جاده‌ها، کانال‌های آبیاری و غیره می‌شود و حتی ممکن است موجودیت یک شهر یا روستا را به خطر اندازد. پوشش گیاهی پیوسته، همان‌طور که می‌تواند مانع عمل رویش شود می‌تواند از مهاجرت تلماسه‌ها نیز جلوگیری کند. ساکنان اطراف کویر مرکزی ایران که همواره با خطر هجوم ماسه‌های روان مواجه‌اند برای تثبیت ماسه‌ها و جلوگیری از پیشروی ماسه‌ها روش‌های مختلفی را به کار می‌بندند. ازجمله ایجاد دیوارهای حصیری به نام «بادشکن» در مسیر باد یا کاشتن گیاهانی که با آب و هوای خشک سازگارند و می‌توانند در ماسه‌ها رشد کنند (مانند گیاه تاغ یا گز).

پرسش

۱ــ چرا کانی‌های ماگمایی فراوان‌ترین کانی‌ها در پوستهٔ زمین‌اند؟

۲ــ منظور از سنگ‌های درونگیر چیست؟

۳ــ دو کانی مهم سنگ‌های رسوبی را که به طریق شیمیایی به‌وجود می‌آیند نام ببرید. چرا این دو کانی در سنگ‌های آذرین یافت نمی‌شوند؟

۴ــ به کمک چه خواصی می‌توان باریت را از کلسیت تشخیص داد؟

۵ــ ماگما چگونه به‌وجود می‌آید و عوامل تولید آن کدام است؟

۶ــ چرا رنگ خاک‌ها متفاوت است؟

۷ــ بافت سنگ آذرینی که هم دارای بلورهای درشت و هم دارای بلورهای ریز همراه با شیشه باشد، چه نام دارد و نحوه تشکیل آن چیست؟

۸ ــ پوکه معدنی چگونه حاصل می‌شود؟ موارد استفاده آن‌را ذکر کنید.

۹ــ یک کانسنگ برای آنکه ارزش بیشتری داشته باشد به نظر شما باید واجد چه شرایطی باشد؟

۱۰ــ چرا سنگ‌های رسوبی در سطح زمین فراوان‌اند، ولی در حجم پوسته زمین چنین نیست؟

۱۱ــ چه کانی‌هایی در سنگ‌های رسوبی تخریبی فراوان‌ترند و چرا؟

۱۲ــ چگونه بافت آواری را از بافت غیرآواری تشخیص می‌دهید؟

۱۳ــ چگونه می‌توانید ثابت کنید که ماسه‌سنگ‌ها در سطح زمین تشکیل شده‌اند؟

۱۴ــ چرا ماسه سنگ‌ها در محیط‌های مختلفی تشکیل می‌شوند؟

۱۵ــ چرا کانی الیوین در ماسه‌سنگ‌ها به‌ندرت یافت می‌شود؟

۱۶ــ محیط تشکیل شیل چه تفاوتی با محیط‌های دیگر دارد؟

۱۷ــ رس به چه موادی گفته می‌شود؟

۱۸ــ اهمیت اقتصادی شناسایی سنگ‌های رسوبی چیست؟

۱۹ــ یک بادکنک را در هوا رها کنید. این بادکنک رو به مشرق حرکت می‌کند. آیا فشار هوا را باز هم همه‌جانبه می‌گویید یا جهت‌دار؟ چرا؟

۲۰ــ چه نوع سنگ‌های دگرگونی درنتیجه فشار جهت‌دار به‌وجود می‌آید؟

۲۱ــ وقتی می‌گوییم سیالات و آب در دگرگونی نقش کاتالیزوری دارند، منظور چیست؟

۲۲ــ کدام سنگ دگرگونی را در هاله دگرگونی می‌توان یافت؟ مشخصات آن چیست؟

۲۳ــ در دگرگونی مجاورتی دما عامل تعیین‌کننده است یا فشار؟

۲۴ــ شیستوزیته را تعریف کنید. کدام یک از سنگ‌های زیر دارای شیستوزیته‌اند؟ گنیس، سنگ لوح و هورنفلس.

۲۵ــ یکی از مشخصات بارز اسلیت‌ها را با ذکر دلیل بیان کنید.

۲۶ــ مرمر و کوارتزیت هر دو سنگ دگرگون‌شده‌اند. مرمر سخت‌تر و متراکم‌تر است یا کوارتزیت؟ چرا؟

پاره‌ای از مشخصات کانی‌های معروف

نام و فرمول شیمیایی	درجهٔ سختی	وزن مخصوص	رنگ	اثر بر چینی بدون لعاب	نوع شکستگی	جلا	خاصه‌های مهم
آپاتیت $Ca_5(F, Cl)(PO_4)_3$	۵ـ۴/۵	۳/۲ ـ ۳/۱	قرمز، سبز، قهوه‌ای، آبی، زرد	سفید	تورق ضعیف دارد، شکستگی صدفی	شیشه‌ای	یکی از منابع کم اهمیت کودهاست، نوعی از آن در جواهرسازی به کار می‌رود، اما نرم است.
آسبست (پنبهٔ نسوز) یا کریزوتیل $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	۲/۸ ـ ۲/۵	۲/۵	سبز، زرد، سفید	بی‌رنگ	رشته‌رشته می‌شود	چرب یا ابریشمی	از آن پنبهٔ نسوز به‌دست می‌آید.
ارتوکلاز (از فلدسپات‌ها) $K(AlSi_3O_8)$	۶	۲/۵۷	سفید، خاکستری، صورتی	سفید	در دو جهت تورق خوب دارد	شیشه‌ای	خاصه‌های سنگ‌های آذرین را دارد.
الماس C	۱۰	۳/۵	بی‌رنگ تا زرد کمرنگ، گاهی به رنگ‌های دیگر	بی‌رنگ	تورق چهار وجهی دارد	شیشه‌ای، چرب	جواهر است. برای سنباده کاری و حفاری هم به کار می‌رود.
اُلیوین (بریدو) $(Mg.Fe)_2SiO_4$	۷ ـ ۶/۵	۳/۳۷ ـ ۳/۲۷	سبز زیتونی	سبز کمرنگ ـ سفید	صدفی	شیشه‌ای	یکی از کانی‌های تشکیل دهندهٔ سنگ‌های آذرین است.
اوژیت (نوعی پیروکسن) $Ca(Mg.Fe.Al)(AlSi_2O_6)$	۶ ـ ۵	۳/۶ ـ ۳/۲	سبز تیره تا سیاه	خاکستری مایل به سبز	منشورهای آن در امتداد زاویهٔ ۹۰ درجه در دو سطح می‌شکنند	شیشه‌ای	از کانی‌هایی است که در ترکیب سنگ‌های آذرین زیاد یافت می‌شود.
بیوتیت (میکای سیاه) $(Al_2O_3, 2H_2O)$	۳ـ۲/۵	۳/۲ ـ ۲/۸	سیاه، قهوه‌ای، سبز تیره	بی‌رنگ	در یک جهت تورق دارد	شیشه‌ای	در سنگ‌های آذرین و دگرگون شده زیاد است.
پیریت (سولفید آهن) FeS_2	۶ـ۶/۵	۵/۰۲	زرد	سیاه مایل به سبز یا قهوه‌ای	نامنظم	فلزی	در ساختن اسید سولفوریک به عنوان منبع گوگرد به کار می‌رود.
تالک $Mg_3Si_4O(OH)_2$	۱	۲/۸ ـ ۲/۷	خاکستری، سفید، سبز کمرنگ	سفید	در یک جهت تورق دارد	چرب	از تغییر شکل سیلیکات منیزیم حاصل می‌شود و در سنگ‌های دگرگون شده زیاد است.
توپاز $Al_2SiO_4(F.OH)_2$	۸	۳/۶ ـ ۳/۴	زردکاهی ـ صورتی، سبز، آبی	بی‌رنگ	در یک جهت تورق دارد	شیشه‌ای	نوعی جواهر است.
دولومیت $Ca.Mg(CO_3)_2$	۴ـ۳/۵	۲/۸۵	صورتی، سفید، خاکستری، سبز، سیاه	بی‌رنگ	در سه جهت تورق دارد	شیشه‌ای تا مرواریدی	در سنگ‌های آهکی دولومیتی فراوان است، نسبت به کلسیت در برابر اسید کلریدریک رقیق دیرتر تحت تأثیر واقع می‌شود.
زیپس (گچ) $CaSO_4, 2H_2O$	۲	۲/۳۲	بی‌رنگ، سفید و در اثر ناخالصی زرد و قرمز	بی‌رنگ	در یک جهت تورق خوب دارد	شیشه‌ای	در سنگ‌های رسوبی فراوان است.
فلوئوریت CaF_2	۴	۳/۲ ـ ۳	سفید، زرد، سبز، قرمز، ارغوانی، آبی	بی‌رنگ	تورق چهار وجهی دارد	شیشه‌ای	بعضی گونه‌ها خاصیت فلورسانس دارند، در سنگ آهک‌ها فراوان است.

نام و فرمول شیمیایی	درجهٔ سختی	وزن مخصوص	رنگ	اثر بر چینی بدون لعاب	نوع شکستگی	جلا	خاصه‌های مهم
کائولینیت (خاک چینی) $Al_2Si_2O_5(OH)_4$	۲ـ۲/۵	۲/۶	سفید	بی‌رنگ	نامنظم	خاکی	از هوازدگی فلدسپات بدید می‌آید، جاذب الرطوبهٔ شدید است.
کلسیت $CaCO_3$	۳	۲/۷	معمولاً سفید یا بی‌رنگ، گاهی خاکستری، صورتی، آبی و زرد	بی‌رنگ	در سه جهت تورق دارد	شیشه‌ای	نوعی کانی بسیار فراوان است. در ترکیب سنگ‌های آهکی شرکت می‌کند. اسید کلریدریک بر آن اثر دارد.
کوارتز SiO_2	۷	۲/۶۵	بی‌رنگ، سفید و بر اثر ناخالصی به رنگ‌های مختلف	بی‌رنگ	صدفی	شیشه‌ای	یکی از اجزای اصلی سنگ‌های آذرین است
گالن PbS	۲/۵	۷/۴ـ۷/۶	سربی	سربی	در سه جهت تورق دارد	فلزی	کانسنگ اصلی سرب است
گرافیت C	۱ـ۲	۲/۳	سیاه	سیاه	در یک جهت تورق دارد	فلزی یا خاکی	در سنگ‌های دگرگون یافت می‌شود.
لیمونیت (اکسید آبدار آهن) Fe_2O_3,nH_2O	۵ـ۵/۵	۴ـ۳/۶	زرد، قهوه‌ای تا سیاه	زرد ـ قهوه‌ای	نامنظم	شیشه‌ای ـ خاکی	نوع کانسنگ فرعی آهن است
مانیتیت (اکسید مغناطیسی آهن) Fe_3O_4	۶	۵/۱۸	سیاه	سیاه	نامنظم	فلزی	خاصیت آهن‌ربایی دارد.
موسکوویت (میکای سفید) $KAl_2Si_3O_{10}(OH)_2$	۲/۵ ـ ۲	۳/۱ ـ ۲/۷۶	نازک : بی‌رنگ ضخیم : زرد کمرنگ، قهوه‌ای، سبز و قرمز	بی‌رنگ	تورق خوب در یک جهت	شیشه‌ای	به عنوان طاق‌نسوز مورد مصرف دارد.
هالیت (نمک طعام) NaCl	۲/۵	۲/۱۶	بی‌رنگ : سفید و در اثر ناخالصی زرد و قرمز و آبی	بی‌رنگ	در سه جهت تورق دارد	شیشه‌ای	استفادهٔ خوراکی دارد.
هماتیت (اکسید آهن) Fe_2O_3	۶/۵ ـ ۵/۵	۵/۲۶	قرمز مایل به قهوه‌ای تا سیاه	قرمز آجری	نامنظم	فلزی	مهم‌ترین کانسنگ آهن است.
هورنبلاند (از آمفیبول‌ها) سیلیکات دو همی از Al ,Ti, Mg, Na, Ca	۶ـ۵	۳/۲	سبز تیره تا سیاه	بی‌رنگ	تورق تحت زاویهٔ ۵۶ درجه و ۱۲۴ درجهٔ	شیشه‌ای و گاهی ابریشمی	در سنگ‌های آذرین و دگرگون یافت می‌شود.
یاقوت $R_2R'_4(SiO_4)_3$ R ممکن است Mg , Fe و R′ Ti , Fe, Al یا Cr باشد	۷/۵ـ۶/۵	۴/۳ـ۳/۵	قرمز، قهوه‌ای، زرد، سفید، سبز	بی‌رنگ	نامنظم	شیشه‌ای	در سنگ‌های دگرگون‌شده زیاد است. نوعی جواهر است.