



## 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 به دست 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.

در باره چگونگی فعالیت‌های بیرونی (آتشفشانی) در سطح زمین مطالب بیشتری می‌دانیم، زیرا امکان آزمایش‌های مستقیم و مشاهدات فراوان درباره آنها در نقاط مختلفی از زمین فراهم است. اما در مورد چگونگی فعالیت‌های درونی که در اعماق پوسته 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 پوسته زمین سرد می‌شوند و در مقایسه با سنگ‌های اطراف خود (سنگ‌های درونگیر) ساخت‌های مختلفی ایجاد می‌کنند. به این ساخت‌ها براساس شکل، اندازه و نحوه قرار گرفتن آنها در بین لایه‌ها نام‌های مختلفی داده‌اند مانند؛ باتولیت، لاکولیت، دایک، سیل و ...

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



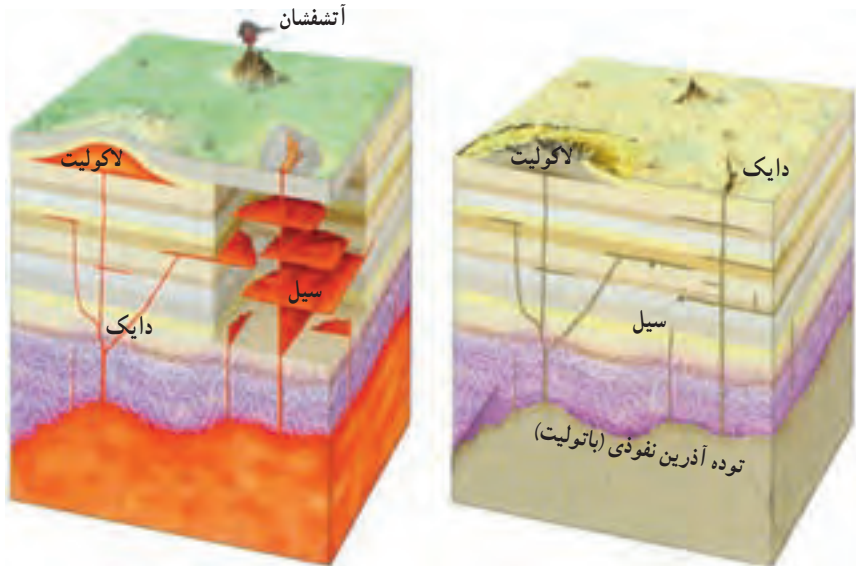
شکل ۱-۶- گاهی بر اثر فرسایش لایه‌های رسوبی، باتولیت‌ها بر سطح زمین ظاهر می‌شوند.

از آنجا که بلور سنگ‌های تشکیل دهنده باتولیت‌ها اغلب درشت است، تصور می‌شود زمان تشکیل و تبلور آنها بسیار کند و طولانی بوده باشد، و فرسایش لایه‌های فوقانی باتولیت‌ها،

سبب ظاهر شدن آنها در سطح زمین می‌شود (شکل ۱-۶).

به جز باتولیت‌ها، ساخت‌های محدودتری نیز از مواد آذرین در داخل پوسته پدید می‌آید. این پدیده‌ها حاصل تزریق شدن ماگما در بین سنگ‌های مجاوراند (شکل ۲-۶).

؟ تفاوت و تشابه سیل و دایک در چیست؟



شکل ۲-۶ - شکل‌هایی از انجماد مواد مذاب در پوسته زمین

**ذوب و تبلور:** اگر بخواهیم یک کانی متبلور را در آزمایشگاه ذوب کنیم لازم است آن را در کوره قرار دهیم و دمای آن را تدریجاً زیاد کنیم و آن را به نقطه ذوب برسانیم. در حالت 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:

- ۱- نظم و ترتیب ساختمان بلورین از بین می‌رود.
- ۲- حجم ماده بیشتر شده و در نتیجه چگالی مایع مذاب کمتر از چگالی جامدی است که از آن به وجود 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.



ابسیدین



گرانیت

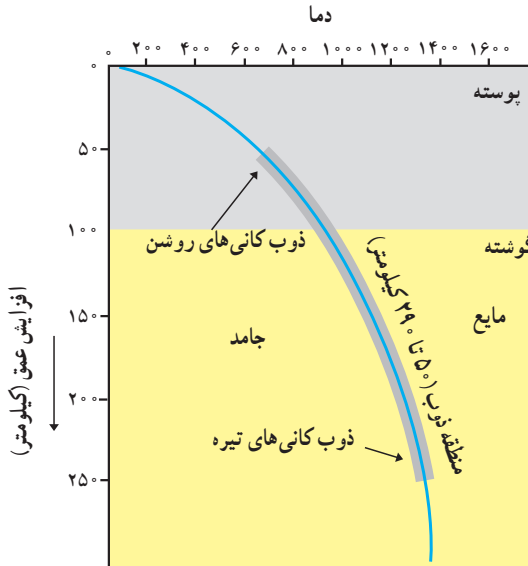
شکل ۳-۶- دو نمونه سنگ آذرین درونی و بیرونی

**تشکیل ماگما :** در حالت کلی، ماگما از ذوب سنگ‌های پوسته و یا گوشته طی فرایند بسیار پیچیده به وجود 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 فزّار 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 همه 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 نقطه ذوب آنها با هم تفاوت دارد، لذا در هنگام ذوب، بعضی از کانی‌های زودگداز ذوب می‌شوند و بقیه کانی‌ها، یعنی



شکل ۴-۶ - رابطه میان دما و عمق. به منطقه ذوب مواد توجه کنید.

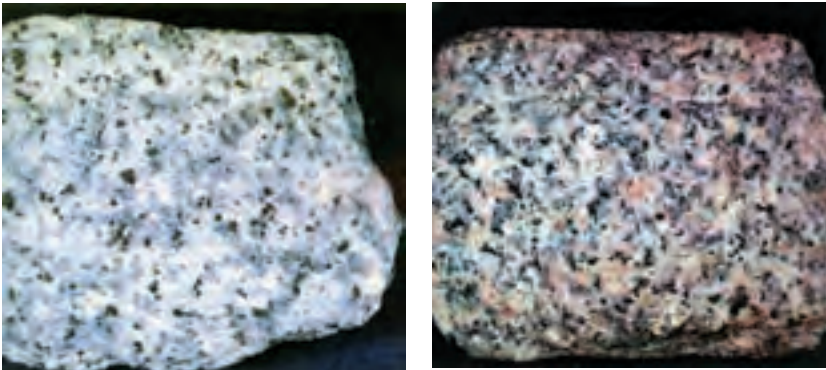
انواع دیرگداز آنها در تشکیل ماگما وارد نمی شوند. این قبیل ذوب را باید ذوب ناقص نامید. یکی از علل اختلاف ترکیب ماگماها، همین مقدار ذوب سنگ اصلی است که ممکن است ۵، ۱۰ یا ۲۰ درصد از سنگ اصلی و یا بیشتر ذوب شود (شکل ۴-۶).

جدول ۱-۶ - ترکیب عمومی سنگ های آذرین

| نمونه            | دمای ذوب     | درجه غلظت نسبی | عناصر مهم دیگر | درصد سیلیس             | ترکیب            |
|------------------|--------------|----------------|----------------|------------------------|------------------|
| گرانیت<br>ریولیت | ~۶۰۰-۸۰۰°C   | بالا           | Al, K, Na      | SiO <sub>2</sub> > ۶۶% | اسیدی            |
|                  |              |                |                |                        | دیوریت<br>آندزیت |
| گابرو<br>بازالت  | ~۱۰۰۰-۱۲۰۰°C | پایین          | Al, Ca, Fe, Mg | SiO <sub>2</sub> > ۴۵% | بازی             |
|                  |              |                |                |                        | پریدوتیت         |

## 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 به علت 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 منیزیم دار رنگ تیره‌تر از خود ظاهر می‌سازند (جدول ۱-۶). به این ترتیب، با توجه به رنگ سنگ (به شرط آنکه منظره تازه شکسته شده سنگ در نظر گرفته شود) می‌توان تا اندازه‌ای به ترکیب سنگ پی برد.



شکل ۵-۶- 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  $1600^\circ$  درجه اولین کانی است که از یک ماگمای بازیک (بازالت) متبلور می‌شود و پیروکسن در دمای کمتر از آن، مثلاً در حدود  $1400^\circ$  درجه سانتیگراد به وجود می‌آید. پس، وقتی که ماگمای داغ، شروع به سرد شدن کند، در دماهای مختلف، کانی‌هایی با ترکیب‌های متفاوت می‌توانند از مایع جدا شوند. با ادامه 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 ۶-۶، ضمن سرد شدن تدریجی، کانی‌های مختلف و در نتیجه سنگ‌های آذرین متفاوت به وجود می‌آید.

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

| نوع سنگ                    | سری بوون                                   | دما                               |
|----------------------------|--|-----------------------------------|
| فوق بازی<br>(پریدوتیت)     | کلسیم زیاد                                 | دمای بالا<br>(اولین مرحله تبلور)  |
| بازی<br>(بازالت / گابرو)   | پیروکسن<br>آمفیبول<br>میکای سیاه           |                                   |
| خشی<br>(آندزیت / دیوریت)   | سدمیم<br>زیاد                              |                                   |
| اسیدی<br>(ریولیت / گرانیت) | فلدسپات پتاسیم دار<br>میکای سفید<br>کوارتز | دمای پایین<br>(آخرین مرحله تبلور) |

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

معادل درونی آن گابرو به وجود 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 (سدمیم 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 پایین تر از خود را به وجود می‌آورند و این وضع ادامه می‌یابد. این توالی تشکیل کانی‌ها را سری واکنشی بوون می‌گویند. در شکل ۶-۶ در سمت چپ و بالا، کانی الیوین تشکیل شده و با مایع مذاب باقی مانده واکنش نموده و پیروکسن به وجود آمده است.

به‌عنوان مثال

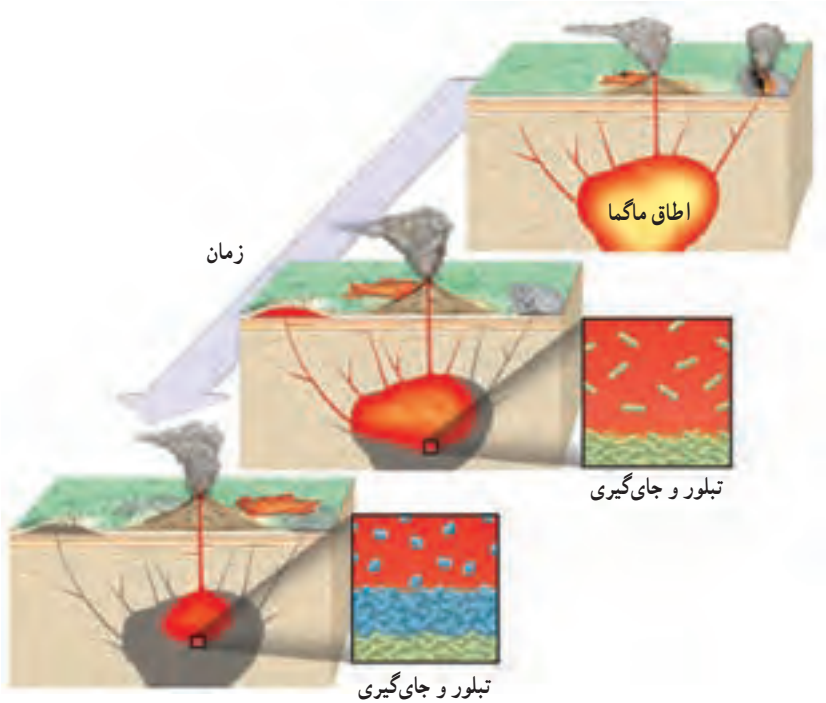
پیروکسن → مایع مذاب باقیمانده + الیوین

آمفیبول → مایع مذاب باقیمانده + پیروکسن

بیوتیت → مایع مذاب باقیمانده + آمفیبول

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

متن شکل، لا اقل چهار نوع سنگ با ترکیب کانی شناسی متفاوت به وجود می آیند و به این طریق می توان ثابت کرد که بر اثر جدا شدن بلورهای اولیه (مثلاً ته نشین شدن در کف اطاق ماگمایی) و عدم واکنش با مایع باقیمانده و انجماد، سنگ های آذرین مختلفی به وجود می آیند (شکل ۷-۶).



شکل ۷-۶— جدا شدن بلورهای اولیه و ته نشین شدن در کف اطاق ماگمایی

## بافت

بافت یک سنگ آذرین به اندازه، شکل و آرایش کانی های موجود در سنگ اشاره می کند. نخستین چیزی که در سنگ مشاهده می شود اندازه یا درشتی بلور است. به کمک بافت می توان یک سنگ آذرین درونی را از انواع بیرونی مشخص کرد. آیا می توانید چگونگی آن را ذکر کنید؟ به طور کلی سنگ های آذرین را از روی بافت، به انواع درشت بلور، ریز بلور، شیشه ای (فاقد بلور)، پورفیری و اسفنجی طبقه بندی می کنند. هر قدر سرعت سرد شدن کندتر باشد، تعداد مراکز تبلور کمتر بوده و یون ها فرصت کافی برای مهاجرت به سوی مراکز تبلور را خواهند داشت. در نتیجه، تعداد بلورها اندک، ولی اندازه آنها بزرگ می شود. در عوض، اگر سرعت سرد شدن زیاد باشد، عکس حالت فوق اتفاق می افتد، به طوری که سنگ ها فاقد بلور بوده و به اصطلاح شیشه ای 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 با و پوک معدنی دیده می‌شود که به علت خروج گازها از گدازه در حال انجماد، چنین سنگ‌های حفره‌داری به وجود می‌آید.

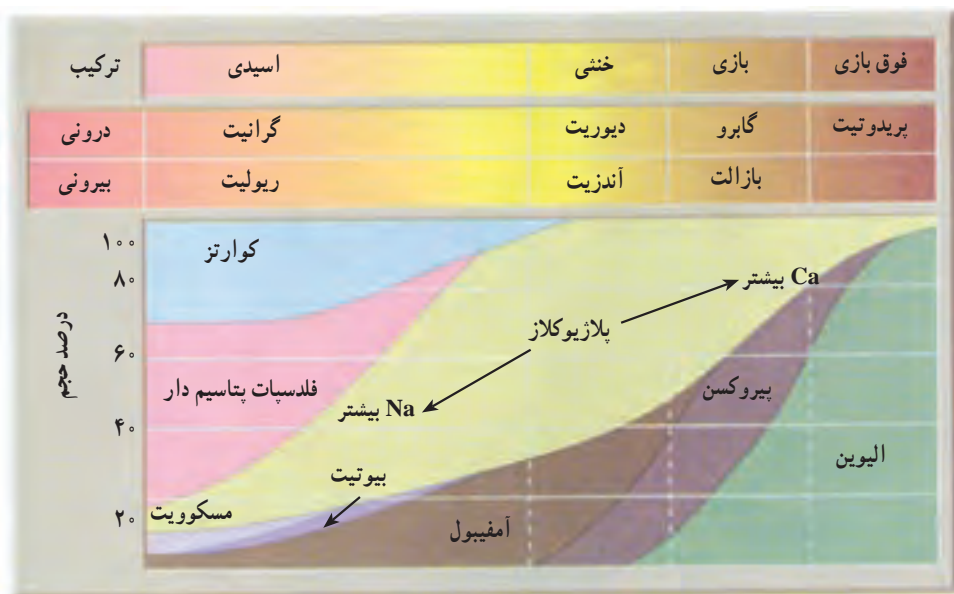


شکل ۸-۶ - انواع بافت سنگهای آذرین متناسب با شرایط تشکیل آنها

## طبقه‌بندی

- سنگ‌های آذرین را می‌توان بر اساس ملاک‌های زیر طبقه‌بندی کرد:
- ترکیب شیمیایی که به مقدار سیلیس موجود در سنگ وابسته است.
  - نوع کانی‌های تشکیل دهنده سنگ.
  - بیرونی و درونی بودن آنها (بافت سنگ).





شکل ۹-۶- رده بندی و ترکیب کانی شناسی اقسام مهم سنگ های آذرین

در شکل ۹-۶، با ادغام سه مورد فوق، اقسام مهم سنگ های 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 به وجود می آید که از نظر شیمیایی و کانی شناسی شبیه به هم هستند، ولی از نظر بافت با هم تفاوت دارند. بنابراین، هر سنگ آذرین درونی یک معادل بیرونی خواهد داشت.

ب) در این شکل، اقسام سنگ هایی که بافت تماماً شیشه ای و حفره دار دارند، دیده نمی شود. مسلماً این سنگ ها معادل درونی هم دارند.

ج) رنگ سنگ های آذرین تابع کانی های موجود در آنها و وسیله خوبی برای تشخیص و نام گذاری سنگ هاست. در اینجا برای توجه به اینکه کدام یک از سنگ ها دارای رنگ روشن و کدام یک تیره رنگ است از رنگ های مختلف استفاده کرده ایم.

## بیشتر بدانید

### پگماتیت

پگماتیت، به سنگ‌های آذرینی گفته می‌شود که بلورهای تشکیل دهنده 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 شده است. 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 گرانیبی 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

– چند نوع سنگ آذرین مختلف را از آزمایشگاه دبیرستان بگیرید و آنها را با ذره بین 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.

۱- تفاوت میان اندازه بلورها در سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی در چیست؟

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

– اکنون، به رنگ سنگ‌ها توجه کنید. آیا سنگ‌ها روشن، تیره یا متوسط‌اند؟ یک بار هم

سنگ‌ها را بر این اساس طبقه‌بندی کنید.

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

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

- چرا سنگ‌های آذرین دارای یک ترکیب، گاهی دانه‌هایی در اندازه‌های نامساوی دارند؟
- اصولاً تشخیص سنگ آذرین به کدام مبنا صورت می‌گیرد؟
- فرق اسیدین 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 تزئینی استخراج می‌کنند. از رگه‌های سیلیس در صنایع شیشه‌سازی و از رگه‌های فلدسپات در صنعت چینی‌سازی استفاده می‌کنند. از پوک معدنی که سنگ سبک و متخلخل است و سیمان‌گیری خوبی دارد، به عنوان عایق در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. از سنگ پا 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 کرم 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 بر اثر 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 به وجود 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 به وجود نمی‌آمد.

### تمقیق کنید

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