سنگ‌های آذرین (Igneous Rocks)

وقتی که سنگی مورد بررسی قرار می گیرد با مشاهده رنگ، بافت و کانی های آن می توان درباره ماهیت و منشا آن سنگ اظهار نظر کرد. اصطلاح بافت به معنی اندازه، شکل و شیوه قرار گرفتن ذرات کانی های درون سنگ است. در این فصل ما با سنگ های آذرین، سنگ هایی که بر اثر سرد شدن مواد مذاب داخل زمین به نام ماگما (magma) تشکیل می شوند، سر و کار داریم. البته اگر ماگما به سطح زمین برسد، گدازه (lava) نامیده می شود.

ما گما و لاوا

ماگما نسبت به سنگی که از آن تشکیل شده است چگالی کمتری دارد، در نتیجه تمایل دارد تا به سمت بالا و به طرف سطح زمین حرکت کند. برخی از ماگما ها در سطح زمین فوران میکنند که جریان لاوا نامیده میشوند و برخی هم با نیروی زیاد به هوا پرت میشوند که به مواد پیروکلاستیک (pyroclastic) معروف می باشند (پیروکلاستیک کلمه ای یونانی و به معنی خرده آتش می‌باشد).

ماگمایی که به سطح زمین رسیده باشد مثل لاوا یا مواد پیروکلاستیک تشکیل سنگ های اذرین بیرونی (خروجی) (extrusive) یا آتشفشانی(volcanic) را میدهند، حال ان که ماگمایی که در پوسته زمین(قبل از رسیدن به سطح زمین) سرد و متبلور شود، تشکیل سنگ آذرین درونی (نفوذی) (intrusive) یا پلوتونی (plutonic) را می‌دهد.

رنگ و ترکیب

ماگماها در ترکیب وبخصوص در مقدار سیلیس متفاوت‌اند. تغییرات مقدار سیلیس از کمتر از ٪۴۵ تا بیش از ٪۶۵ می باشد. سنگ هایی که دارای مقدار زیادی سیلیس باشند سیلیسیک (silicic) یا فلسیک (felsic) نامیده می شود و سنگ‌هایی که دارای مقدار کمتری سیلیس‌اند مافیک (mafic) نام دارند.

جدول ۳-۱ معمولترین انواع ماگما

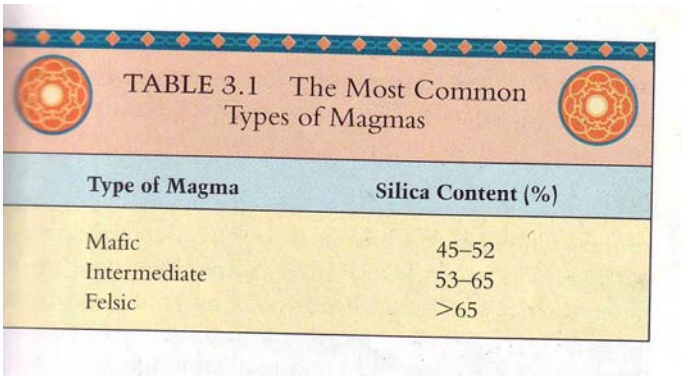


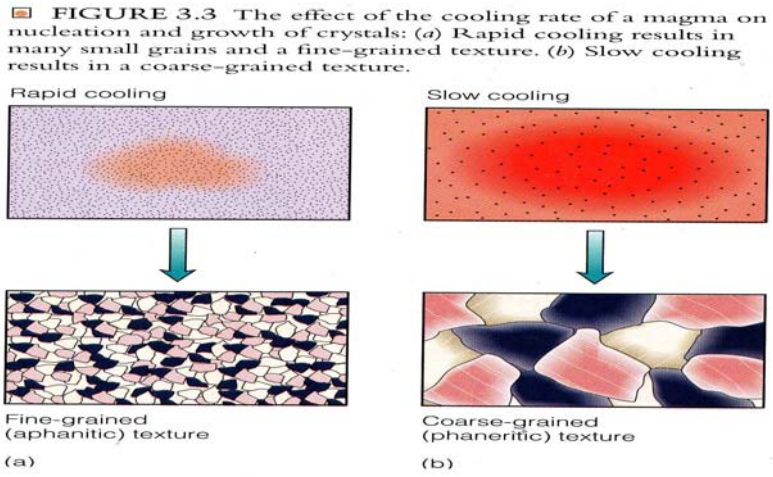
TABLE 3.1 The Most Common Types of Magmas

Type of Magma	Silica Content (%)
Mafic	45–52
Intermediate	53–65
Felsic	>65

رنگ راهنمای خوبی برای شناسایی سنگ های آذرین است چرا که سنگ های سیلیسیک عمدتاً از کانی هایی با رنگ روشن مانند کوارتز و فلدسپارتشکیل شده اند حال آن که سنگ های مافیک به خاطر مقدار زیاد کانی های فرومنیزین تیره رنگ اند. کانی های فرومنیزین همچنان که از نامشان پیداست محتوی مقدار زیادی آهن و منیزیم می باشند و شامل اولیوین (olivine)، پیروکسن (pyorxene) و هورنبلند (hornblende) می باشند. تقسیم‌بندی سنگ های آذرین بر حسب مقدار سیلیس به صورت زیاد، متوسط و کم می باشد.

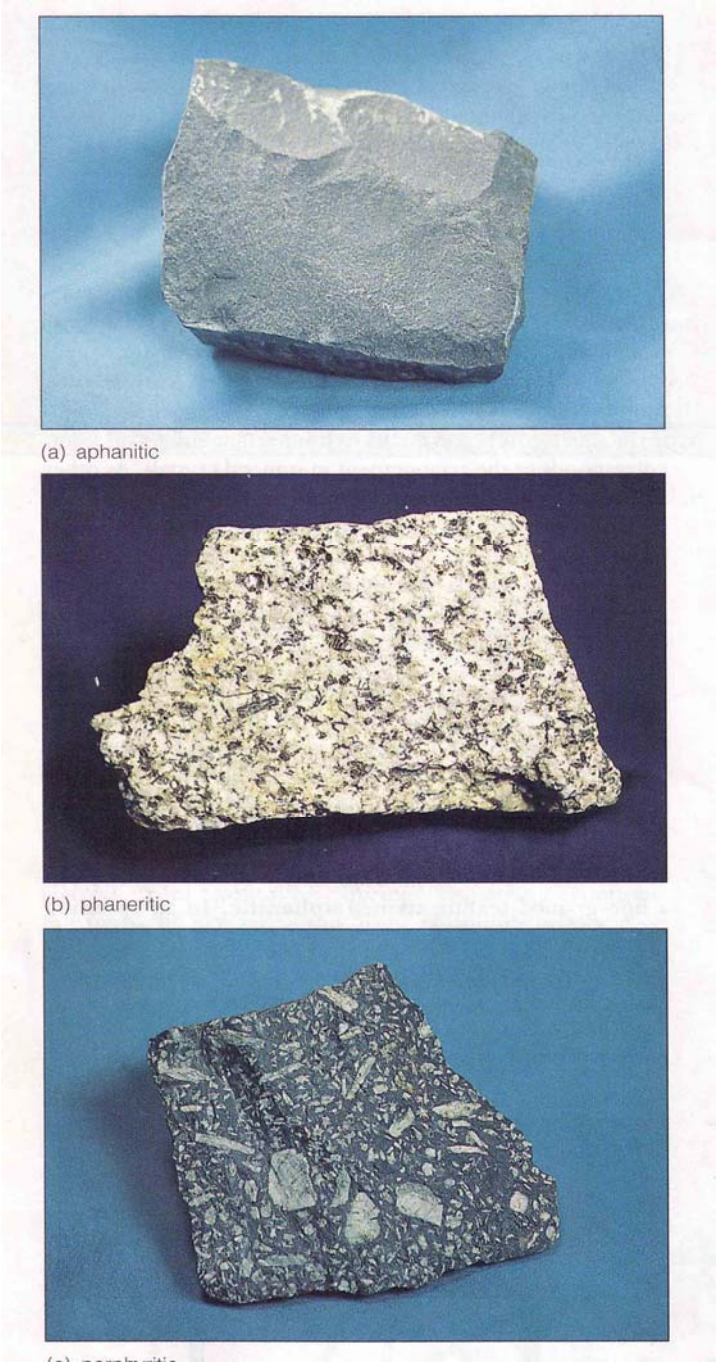
بافت

انواع مختلف بافت ها در سنگ های آذرین مربوط به نحوه سرد شدن ماگما یا لاوا می باشد. مثلا سرد شدن سریع که در جریان های لاوا یا نفوذهای نزدیک سطح زمین رخ می دهد، منجر به بافت هایی با دانه بندی ریز می شود که اصطلاحا بافت ریز بلور(aphanitic) نامیده می شود.در یک بافت ریز بلور، بلورها کوچکتر از آن هستند که بدون بزرگ نمایی دیده شوند. در نقطه مقابل بافت های ریزبلور، سنگ های آذرین با دانه های بزرگ که اصطلاحا بافت درشت بلور (phaneritic) نامیده می شود قرار دارند که، بلورهای کانی های آن ها به راحتی با چشم (بدون بزرگ نمایی) قابل دیدن است. این بلورهای درشت نشان دهنده سرد شدن آهسته و در نتیجه اغلب منشا درونی (نفوذی) می باشند. بافت درشت بلور میتواند در قسمت های داخلی لاواهایی که با ضخامت زیاد جریان می‌یابند نیز تشکیل شود.



شکل ۳-۳ اثر شدت سردشدن ماگما بر تشکیل و رشد کریستال ها. a) سردشدن سریع موجب تولید دانه های کوچک و بافت با دانـه بنـدی ریـز میشود. b) سردشدن تدریجی بافت درشت دانه را به وجود می آورد.

سنگ هایی که از ترکیب بلورها با اندازه های کاملا متفاوت تشکیل شده اند پورفیریتیـک (porphyritic) نامیده میشوند. این سنگ ها دارای تاریخچه سرد شدن پیچیده تری هستند، ابتـدا ماگمـا کـه در داخـل زمین جریان دارد به آرامی شروع به سرد شدن می کند، برخی کریستالها تشـکیل شـده و چـون فرآینـد سرد شدن به‌کندی صورت میگیرد بلورها فرصت کافی برای رشـد دارنـد و در نتیجـه دانـه هـای بلـورین درشت دانه تشکیل میشوند، اگر در این هنگام قبل از اینکه ماگما کاملا کریستاله شـود بـه سـطح زمـین رسیده، در معرض هوا قرار گرفته و با سرعت زیاد سرد شود بخشی از ماگما که هنوز مایع است و متبلـور نشده است در معرض هوا سریع کریستاله می شود و چون بلورها فرصت کافی برای رشد ندارند دانه هـای بلورین ریزی تشکیل می شوند و در نهایت سنگ حاصـل، شـامل بلورهـای درشـت اولیـه یـا فنوکریسـت (phenocryst) ، احاطه شده به وسیله بلورهای ریز می باشد.



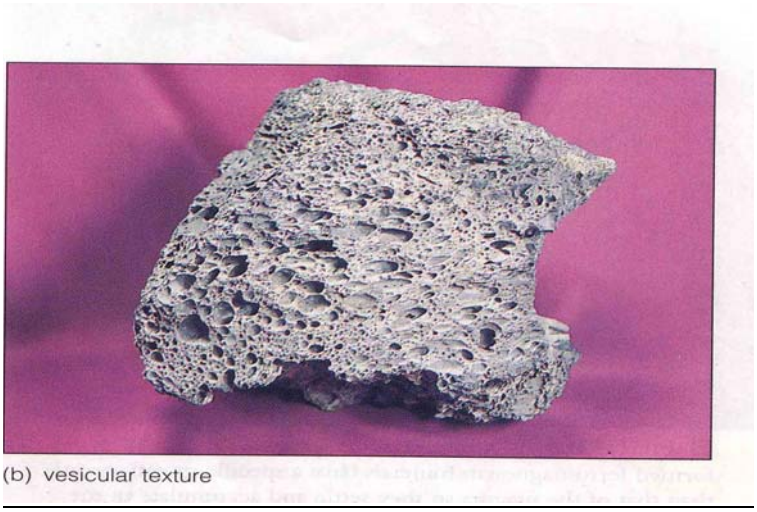
(a) aphanitic

(b) phaneritic

علاوه بر این ماگما شامل مقدار قابل توجهی از گازها می باشد که توسط فشار سنگ های سطحی بر روی ماگمای درون زمین در ترکیب ماگما نگه داشته می شوند. اگر چه گازهـایی، ماننـد دی اکسـید کـربن و دی‌اکسید گوگود در ماگما وجود دارند اما گاز عمده موجود بخار آب می باشد. وقتی ماگما به سطح زمین می رسد در اثر کاهش فشار، گازها به سطح گدازه آمده و سپس به سـمت جـو خـارج مـی شـوند. سـطح گدازه ی جامد شده ظاهری مانند پنیر سویسی با سوراخهای کوچک و اسفنج‌ماننـد بـه خـود مـی گیـرد. سنگ هایی که بدین ترتیب تشکیل می شوند دارای بافت اسفنجی(vesicular) هستند.

وقتی که آتشفشان فوران می کند، ماگمای آورده شده به سطح زمین در تماس با اتمسفر که سردتر از لایه ماگمای قبل از فوران می باشد قرار می گیرد و به سرعت سرد می گردد. بعضی اوقات سرد شدن به قدری سریع است که مانع از تبلور می گردد. تترا هیدرید سیلیکات (بلورهای سیلیکات با ۴ مولکول آب) قبل از رسیدن به نظم لازم برای رشد کانی ها منجمد می شود. این نوع سرد شدن باعث به وجود آمدن بافت شیشه ای که طبیعی و بدون کریستال است می شود. ابسیدین (obsidian) نمونه خوبی از سنگ دارای این نوع بافت است.

a) obsidian



(b) vesicular texture

تقسیم بندی سنگ های آذرین

بافت و محتوای سیلیس دو عامل مهم در تقسیم بندی سنگ های آذرین به حساب می آیند. سنگ‌های درشت بلور و ریز بلور با محتوای سیلیس و کانی یکسان دارای نام های متفاوتی‌اند برای مثال گرانیت و ریولیت هر دو سنگ های سیلیسی با رنگ روشن و به طور عمده شامل کوارتز و اورتوکلاز می‌باشند. اما این دو سنگ (گرانیت و ریولیت) نام های متفاوتی دارند زیرا که گرانیت درشت بلور درونی است ولی ریولیت ریز بلور بیرونی است.

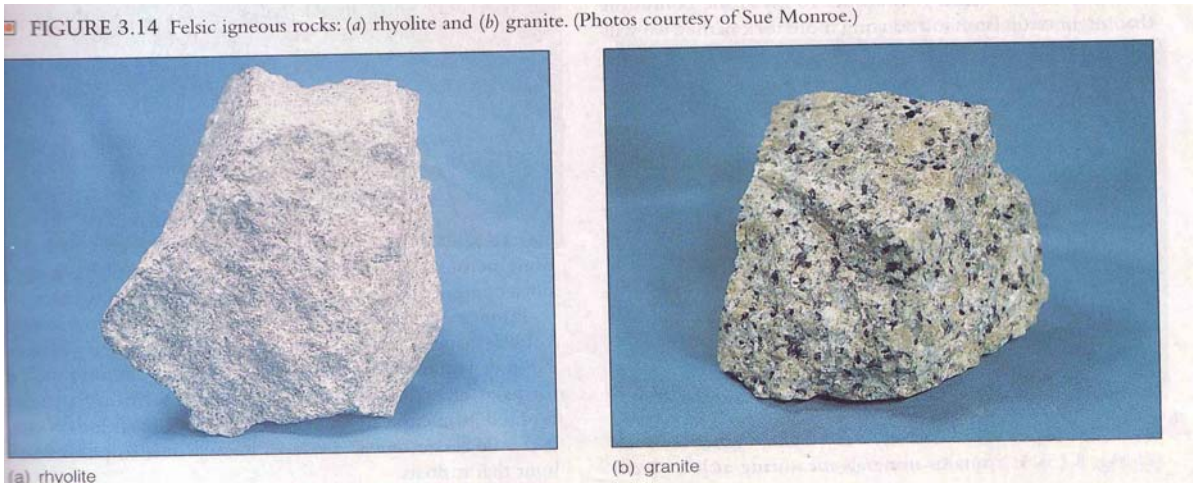
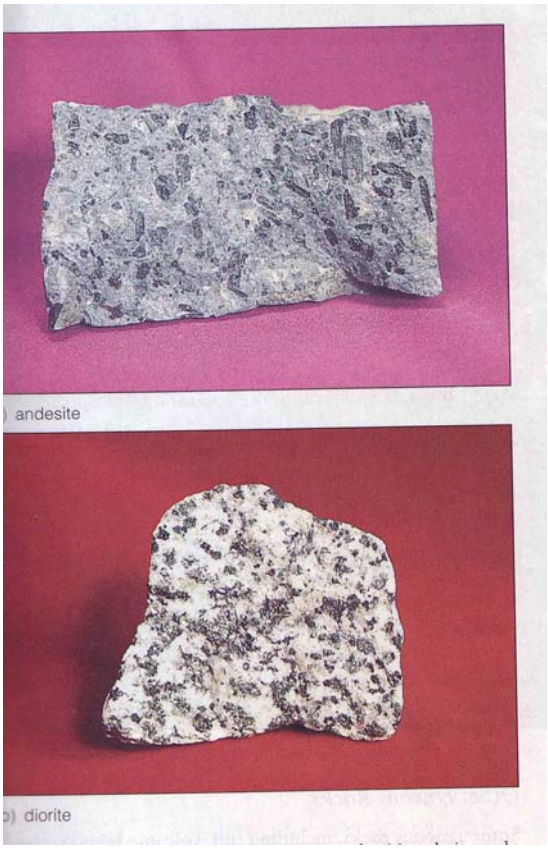


FIGURE 3.14 Felsic igneous rocks: (*a*) rhyolite and (*b*) granite. (Photos courtesy of Sue Monroe.)

(a) rhyolite (b) granite

در محدوده وسط (مقدار سیلیس بین ٪۶۵ - ٪۵۳) دیوریت (diorite) و آندزیت (andesite) که به ترتیب درشت بلور و ریزبلورند، قرار گرفته اند.



سنگ معروف و درونی گرانودیوریت از حیث مقدار سیلیس در بین گرانیت و دیوریت قرار دارد. گرانودیوریت شامل مقدار بیشتری فلدسپار پلاژیوکلاز به جای اورتوکلاز می باشد. گابرو و بازالت دو گونه مهم از سنگ های موجود در دسته ی سنگ های مافیک می باشند و باید خاطرنشان کرد بازالت متداول‌ترین سنگ آذرین موجود در سطح زمین است. سنگ درونی معادل آن گابرو می باشد. حتی سنگ هایی که از گابرو (gabbro) مقدار سیلیس کمتری دارند در پوسته زمین و نیز به مقدار بیشتر در جبه زمین یافت میشوند. این سنگ ها که از مقدار زیادی مواد فرومنیزین تشکیل شده اند با نام مافوق‌مافیک (ultramafic) شناخته می‌شوند.

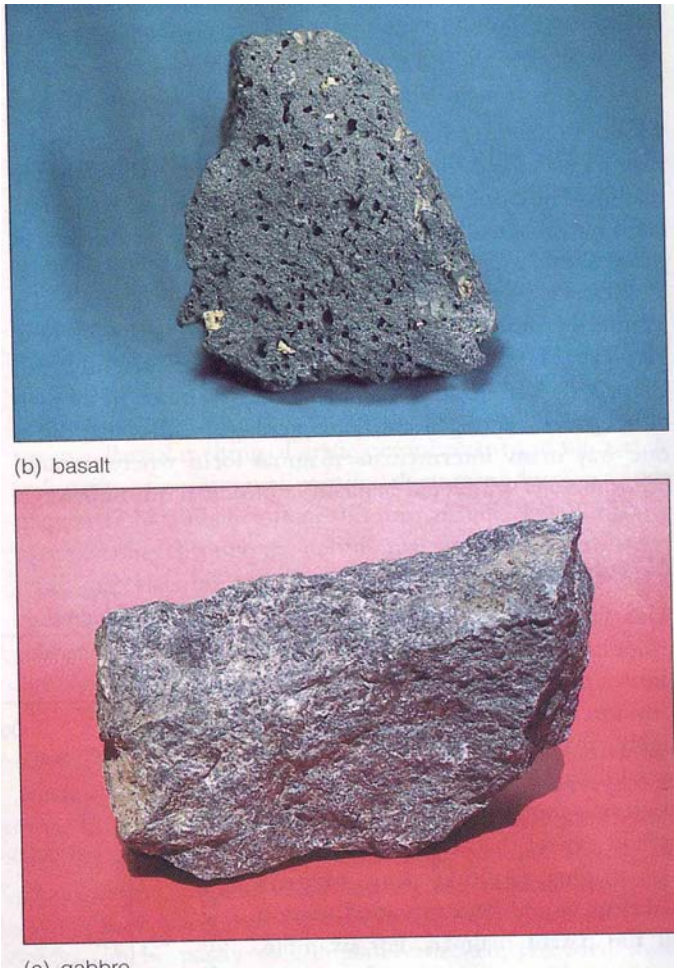
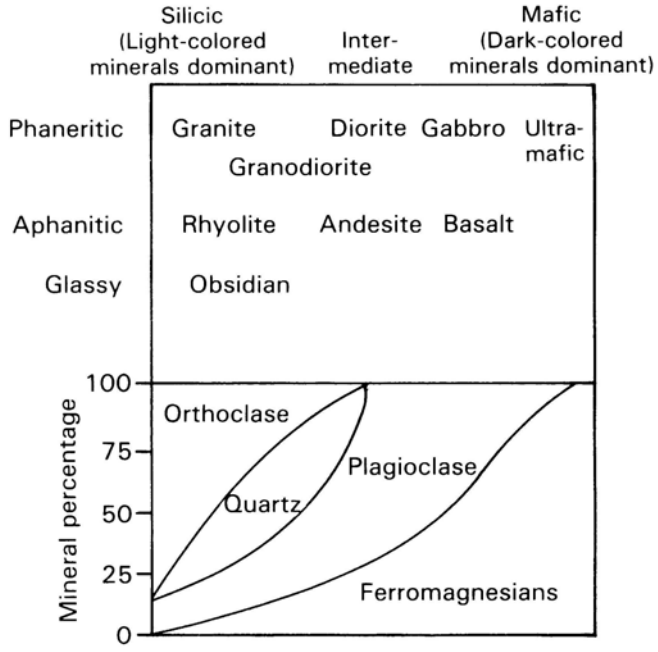


FIGURE 4.4 Basic igneous rocks: basalt (*upper left*), gabbro (*upper right*), rhyolite (*lower left*), and granite (*lower right*). *Chip Clark.*

شکل ۴-۴ سنگ های آذرین متداول: بازالت (چپ بالا)، گابرو (راست بالا)، ریولیت (چپ پایین)، و گرانیت (راست پایین)



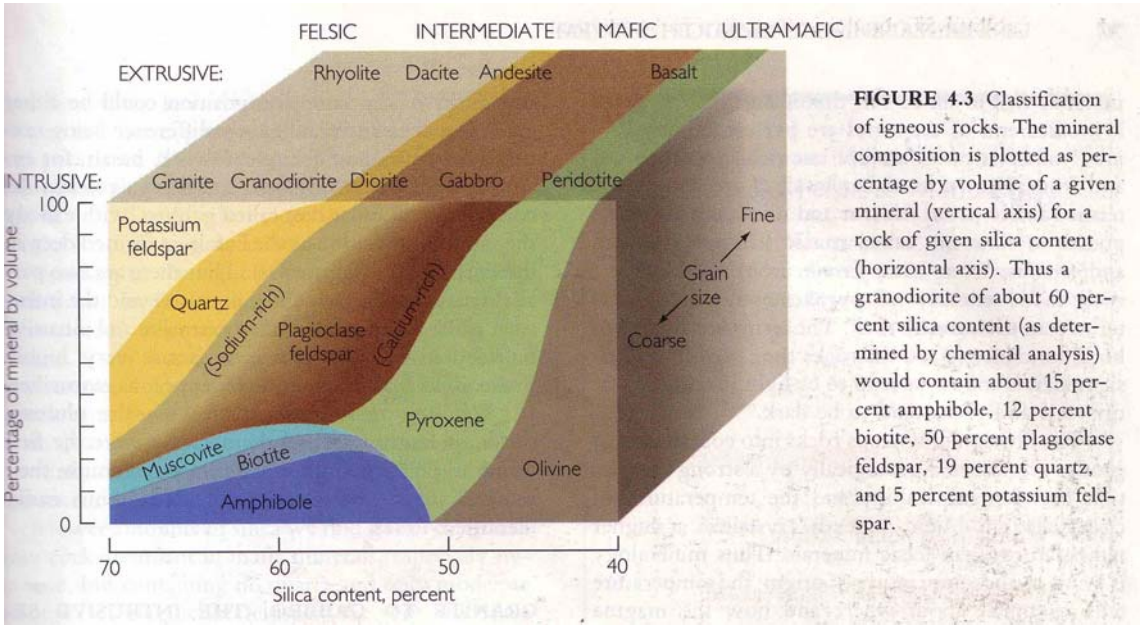


FIGURE 4.3 Classification of igneous rocks. The mineral composition is plotted as percentage by volume of a given mineral (vertical axis) for a rock of given silica content (horizontal axis). Thus a granodiorite of about 60 percent silica content (as determined by chemical analysis) would contain about 15 percent amphibole, 12 percent biotite, 50 percent plagioclase feldspar, 19 percent quartz, and 5 percent potassium feldspar.

شکل ۴-۳ طبقه بندی سنگ های آذرین

دما

اندازه گیری دقیقی از دماهای ماگما در زیر سطح زمین تا به حال انجام نشده است. لاواهای در حال فوران همه در حالت کلی دارای دمای بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشند. اگر چه دمای ۱۳۵۰ درجه نیز در بالای دریاچه های لاوای هاوایی (در این محل گازهای آتشفشانی با جو واکنش میدهند) گزارش شده است.

اندازه گیری های دقیق و مستقیم دمای لاوا در کوه های اتشفشانی که فعالیت ناچیزی دارند، صورت میگیرد (زیرا زمین شناسان با اطمینان خاطر می توانند به لاوا نزدیک شوند) به همین خاطر در باره لاواهای فلسیک اطلاعات کمی موجود است، زیرا فوران این لاواها بسیار کم است و وقتی هم که ظاهرمی‌شوند، تمایل به انفجار دارند.

ویسکوزیته

ماگما همچنین به وسیله ویسکوزیته (چسبندگی) خود یا مقاومت آن دربرابر جریان مشخص می گردد. ویسکوزیته بعضی از مایع ها مثل آب خیلی پائین می باشد. بنابراین این گونه مایعات به سادگی جاری می شوند. ویسکوزیته برخی از مایع ها نیز خیلی بالا می باشد و جریان آهسته تری را دارند. روغن موتور وقتی گرم باشد به سادگی جاری میشود، در حالیکه وقتی سرد است سفت و سخت می شود و به آهستگی جریان می یابد.از اینجا ممکن است که حدس بزنیم که دما ویسکوزیته ماگما را کنترل میکند.چنین حدسی تا حدودی درست است.ما می توانیم این قانون را تعمیم بدهیم و بگوییم که ماگمای گرم با امادگی بیشتری نسبت به ماگمای سرد جریان می یابد. اما دما تنها عامل کنترل کننده ویسکوزیته نیست.

ویسکوزیته ماگما به شدت توسط مقدار سیلیکات آن کنترل می شود. در یک لاوای فلسیک، شبکه های عظیمی از سیلیکات های منفرد جریان را به تعویق می اندازند، زیرا برای جریان یافتن، پیوندهای محکم باید شکسته شوند.از طرف دیگر، لاواهای مافیک سیلیکات های منفرد کمتری دارند و در نتیجه با امادگی بیشتری جریان می یابند.

فرآیندهای نفوذی

این فرآیند به حرکات ماگما از درون مخزن ماگما به یک سطح بالا ترمتفاوت برمی گردد. توده های سنگی که بوسیله ماگمای نفوذی شکل می‌گیرند، پلوتون (pluton) نامیده می شوند. سنگ های تشکیل دهنده پلوتون دارای بافت درشت بلور(phaneritic) بوده زیرا زمان سرد شدن در راستای تشکیل بلورهای درشت، کافی است. درست بعد از اینکه فرسایش باعث جابجایی محل لایه های بالایی سنگ ها شود، ما می‌توانیم سنگهای نفوذی را در سطح زمین مشاهده کنیم.

انواع پلوتون

پلوتون ها بسیار متنوعند نه تنها در اندازه بلکه در شکل و موقعیتی که نسبت به سنگ اطراف (country rock) خود دارندا ین تنوع و گوناگونی تا حد زیادی به روش های گوناگونی که ماگما هنگام حرکت به سمت پوسته زمین برای خودش جا پیدا می کند بستگی دارد.

یک گروه بزرگ و عمده از پلوتون ها به عنوان مسطح (tabular) شناخته شده اند به دلیل اینکه در یک بعد در مقایسه با ابعاد دیگر نازک هستند.

اگر یک پلوتون تقریبا موازی لایه های سنگ اطراف خود باشد، پلوتون متوازن (concordant) نامیده می‌شود. سیل(sill) یک نوع پلوتون متوازن است. پلوتون های نامتوازن (discordant) لایه‌بندی سنگ های اطراف را قطع می‌کنند. یک پلوتون مسطح از این نوع دایک (dyke) نامیده می شود. دایک ممکن است شکاف های تقریبا مسطحی که ماگما از بین آنها به سمت سطح زمین حرکت کرده بوده است را نشان دهد که نهایتا ماگمای باقی مانده در شکاف منجمد شده و به دایک تبدیل شده است.

پلوتون‌های غیر مسطح شامل لاکولیت (laccolith) ، استاک (stock) و باتولیت (batholith) می‌باشد. لاکولیت یک پلوتون متوازن است که باعث گنبدی شدن (doming) لایه‌های بالای خود می‌شود. پلوتون‌های غیر مسطح نامتوازن در صورتی که سطحی کمتر از ۱۰۰کیلومتر مربع را پوشش دهند استاک واگر سطح بزرگتری را پوشش دهند باتولیت نامیده می شود.

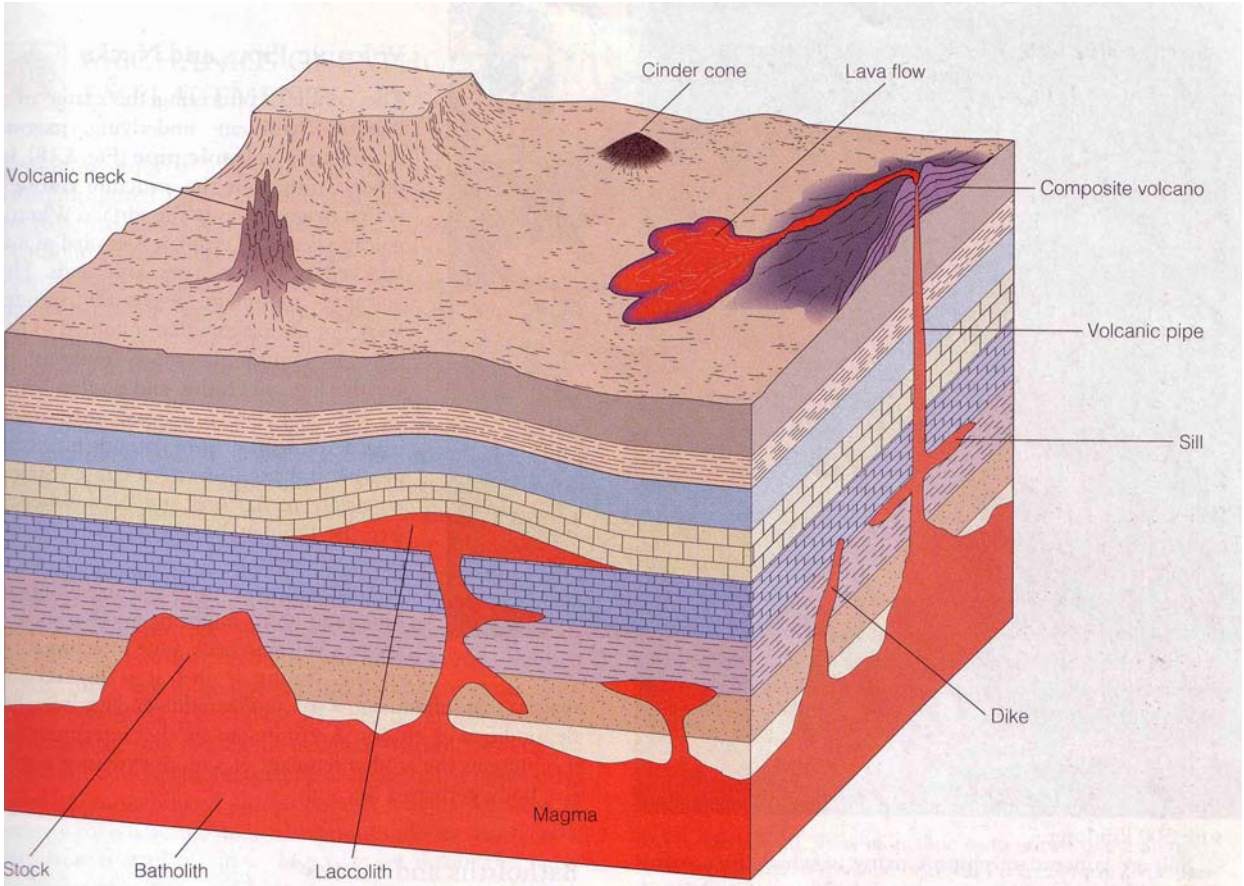


FIGURE 3.18 Block diagram showing the various types of plutons. Notice that some of these plutons cut across the layering in the country rock and are thus discordant, whereas others parallel the layering and are concordant.

شکل ۳-۱۸ دیاگرام بلوکی که انواع گوناگون پلوتون را نشان می دهد.