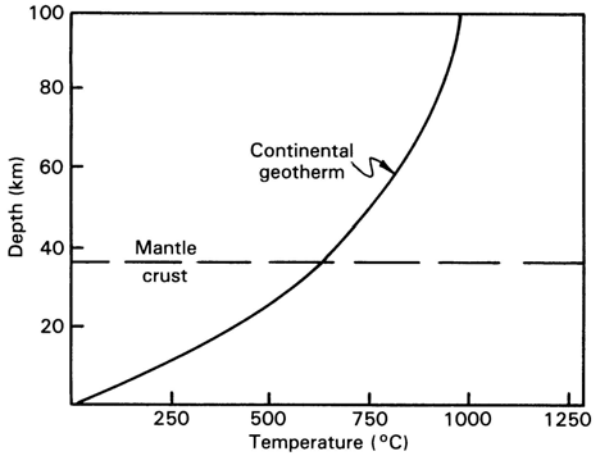
سنگهای دگرگونی (Metamorphic Rocks)

سنگهای دگرگونی، گروه سوم سنگها را تشکیل میدهند. آنها از تغییر و تبدیل سنگهای دیگر از طریق فرایندهای دگرگونی که اغلب پائین تر از سطح زمین رخ می دهند، بوجود می آیند. در طی دگرگونی، سنگها در معرض گرما و فشار و فعالیت سیالات قرار می‌گیرند که سبب تغییر ترکیبات و یا بافت آنها می‌شود که منجر به تشکیل سنگ های جدید می شود، این تغییرات در حالت جامد اتفاق می افتند. نوع سنگ جدید تشکیل شده در اثر دگرگونی به ترکیب و بافت سنگ اصلی، عوامل دگرگونی و مدت زمانی که سنگ اصلی در معرض عوامل دگرگونی قرار گرفته است، بستگی دارد.

گرما یک عامل مهم دگرگونی میباشد زیرا سرعت واکنشهای شیمیایی را افزایش می دهد که منجر به تولید کانیهایی میشود که با کانیهای موجود در سنگ اصلی، متفاوت است. زمانی که سنگها در معرض مواد مذاب و گدازه قرارمی گیرند، در معرض گرمای شدیدی قرار می گیرند که بر روی آنها تأثیر می‌گذارد. بیشترین و شدیدترین گرمایش در نزدیکی و مجاورت بدنه ماگما اتفاق می افتد و به تدریج با دور شدن از ماگما کاهش می یابد. منطقه ای که سنگهای دگرگونی در مجاورت سنگهای آذرین قرار دارند، اغلب واضح می باشد.

دما با عمق افزایش می یابد و شیب گرمایی متوسط زمین ۲۵ C/km میباشد. درشکل ۵-۲، میزان افزایش دما براثرافزایش عمق (گرادیان ژئوترمی) نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می گردد، طبق این نمودار دما درعمق ۱۵ کیلومتری از سطح زمین حدودا ۳۰۰ درجه سانتی گراد است که این دما برای آغاز فرایند تغییر ساختار بلوری برخی ازکانی ها کافی است.



شکل ۵-۲ نمودار افزایش دما بر اثر افزایش عمق در نواحی قاره ای

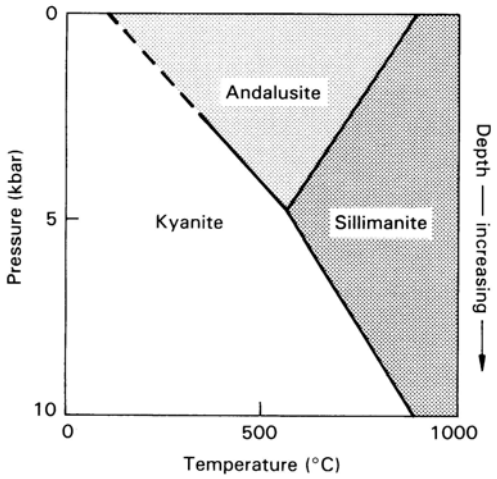
ازآنجا که گرادیان ژئوترمی (شیب نمودار دما برحسب عمق) درهرمنطقه متفاوت است، عمق مورد نیاز برای یک دمای خاص نیز ثابت نمی باشد.
اثر فشار در اعماق مختلف زمین تغییر می کند. دراعماق کم، سنگها نسبتا سخت و شکننده می باشند، بنابراین تحت فشار شدید، خرد شده و می شکنند. دراعماق بیشتر، سنگها به علت دمای بالاتر، بسیار نرمتر می باشند. چنانچه تحت تاثیر دما قرارگیرند، مانند گلی که میان انگشتان فشرده شوند، با حالت پلاستیکی تغییر شکل می یابند. درمناطقی که تغییر شکل پلاستیکی صورت می گیرد، نوع کانی تشکیل شونده به فشار وارده بستگی دارد. معمولا هنگامی که فشار شدیدی اعمال می شود، اتم‌ها در ساختار کانی به صورت فشرده تر در کنار هم قرار می گیرند و باید توجه داشت که تغییر ساختار بلوری کانی دریک فرآیند دگرگونی، عمدتا فرآیندی در فاز جامد است. درحقیقت سنگ برای تغییرساختار بلوری ذوب نمی شود.

واکنشهای میان کانی ها درفاز جامد، با کمک محلول های مایع یا گازی شکلی که در میان سنگها جابجا می شوند، تسهیل می‌گردد. این محلولها ازمنافذ و شکاف های موجود درسنگها عبور کرده، یونها و مولکولهای مختلفی را درحین انجام واکنش جابجا می کنند.

دگرگونی ناحیه‌ای (منطقه‌ای) (regional metamorphism)

این دگرگونی به فرآیندی اطلاق می شود که می تواند سنگها را در بخش عظیمی ازپوسته زمین تغییر دهد. عوامل به وجود آمدن دگرگونی ناحیه ای، هم شامل دما و هم شامل فشار است. بنابراین دگرگونی ناحیه ای باید دراعماق زمین صورت گیرد. حداقل عمق لازم برای به وقوع پیوستن این نوع فرآیند ۱۰ کیلومتر است.

تحقیقات زمین شناسی برروی سنگهای دگرگونی نشان می دهد که ترکیبات و محتوای کانی ها در سنگهایی که تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته اند، به طور سیستماتیک و منظم تغییر می یابد. دسته های مشخصی از کانی های موجود در این سنگها، برای تعیین درجه دگرگونی در آن ناحیه به کار می‌رود. به عنوان مثال درجه زیاد بدین معنی است که سنگ درمعرض دما و فشار شدیدی قرار داشته است. تحت تاثیر درجات مختلفی از دگرگونی، ممکن است از یک سنگ، کانیهای دگرگونی متفاوتی پدید آید. درشکل ۵-۴، شرایط لازم دما و فشار برای تشکیل کانیهای کیانیت (kyanite)، سیلیمانیت (sillimanite)، آندالوسیت (andalusite) نشان داده شده است.



شکل ۵-۴ کانی‌های دگرگون شده تحت شرایط مختلف دمایی و فشاری که همگی از Al_2SiO_5 تشکیل یافته‌اند.

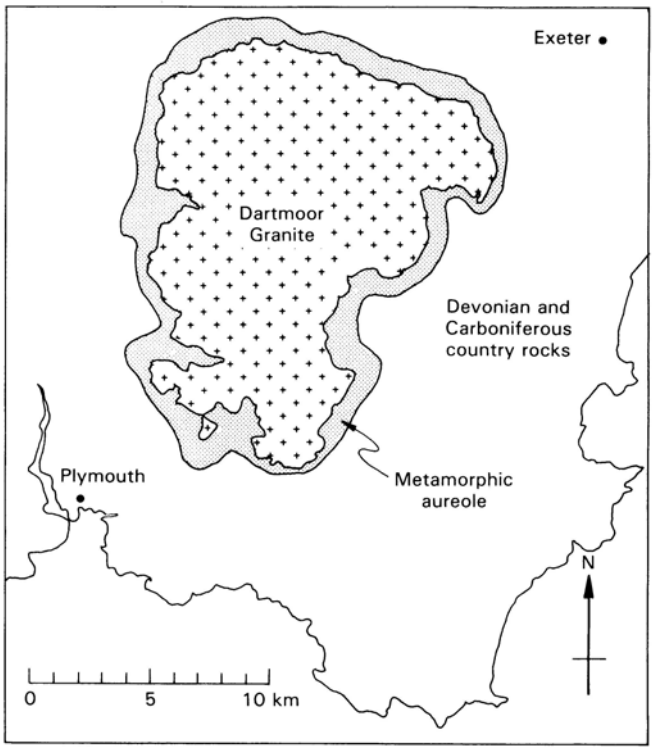
با اینکه ترکیب شیمیایی این سه کانی یکسان است (Al_2SiO_5) ولی ساختار درونی آنها متفاوت است. دگرگونی ناحیه‌ای منطقه‌ای را پدید می آورد که درجه دگرگونی زیادی دارد. البته درجه دگرگونی از نقاطی که شدیدترین تغییرات رخ داده است، به تدریج در تمامی جهات کاهش می یابد.

دگرگونی جنبشی (dynamic metamorphism)

دگرگونی جنبشی مرتبط با مناطق گسلی میباشد که در آن مناطق سنگها در معرض فشارهای مختلف قرار گیرند. در دگرگونی جنبشی تاثیر دما بسیار جزئی است. از جمله سنگهای دگرگونی که از دگرگونی جنبشی تشکیل میشوند، برش گسلی **(fault breccia)** و میلونیت **(mylonite)** را می‌توان نام برد.

دگرگونی تماسی (مجاورتی) (contact metamorphism)

دگرگونی درموارد متعددی از وقایع زمین شناختی رخ میدهد. به عنوان مثال برخورد ماگما با سنگهای پوسته زمین و نفوذ ماگما به درون آن سبب تشکیل پلوتون (pluton) می شود (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۳ محدوده دگرگونی مجاورتی که گرانیت Dartmoor را در Devon انگلستان احاطه میکند.

تغییرات سنگها بر اثر تماس با ماگما را دگرگونی مجاورتی می نامند. گرما مهمترین عامل در دگرگونی مجاورتی است؛ درحالیکه فشار تاثیر بسیار ناچیزی دراین نوع دگرگونی دارد. محدوده دگرگونی مجاورتی، منطقه سنگهای دگرگون یافته یا هاله دگرگونی (metamorphic aureole)، در اکثر موارد بیش از چند صد متر از توده ماگما فاصله ندارد. بنابراین دگرگونی مجاورتی به پوسته نازکی دراطراف پلوتون منتهی می شود. البته اگر محلول و بخاراتی که از ماگما منتشر میشود در شکستگی های سنگهای اطراف نفوذ کنند، گستره بیشتری تحت تاثیر قرارخواهد گرفت. این محلولهای هیدروترمال (hydrothermal)، ترکیبات فراری دارند که از ماگمای درحال سرد شدن جدا می شوند. بر اثر جریانات این محلولها، ممکن است درحین فرآیندهای دگرگونی مجاورتی، سنگهای رسوبی رشته‌ای شکل (vein-type) قابل توجهی تشکیل شوند.

خصوصیات سنگهای دگرگونی

یک تقسیم بندی کلی سنگهای دگرگونی بر مبنای بافت آنها صورت می گیرد. یکی ازجنبه های مهم بافت، ساخت ورقه ای یا فولیاسیون (foliation) است که به جهت گیری موازی ذرات کانی های موجود دریک سنگ دگرگونی اطلاق میشود. فولیاسیون، ظاهری لایه لایه یا نواری به سنگهای دگرگونی می‌بخشد زیرا فولیاسیون همانند لایه بندی درسنگهای رسوبی است (شکل ۵-۷).

شکل ۵-۷ فولیاسیون (جهت گیری کانی های صفحه ای که به سنگ دگرگونی ظاهری لایه لایه می بخشد).

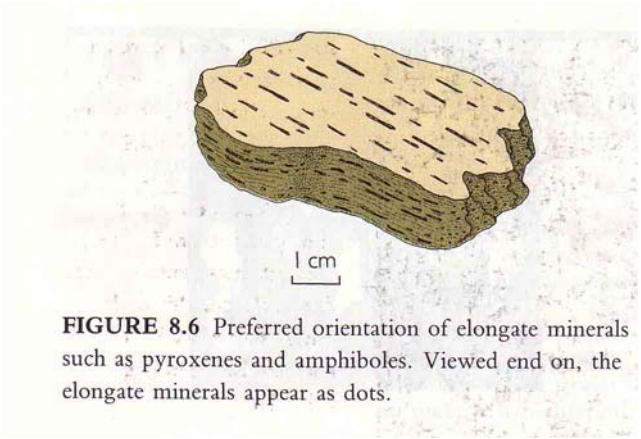
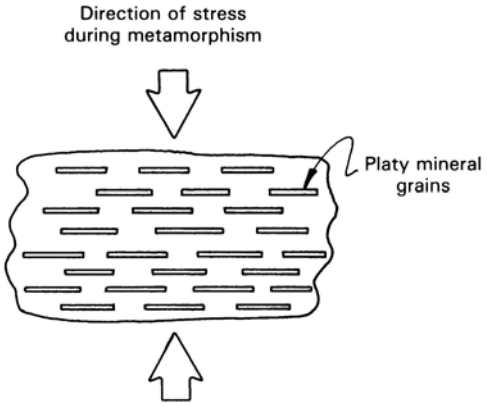


FIGURE 8.6 Preferred orientation of elongate minerals such as pyroxenes and amphiboles. Viewed end on, the elongate minerals appear as dots.

شکل ۸-۶ جهت‌گیری خاص کانی های طویل مانند پیروکسن و آمفیبول

فرآیند به‌وجود آمدن ساختار ورقه‌ای، کاملا با فرآیند رسوب‌گذاری متفاوت است. تنش‌های تکتونیکی وارد بر سنگها درطی فرآیند دگرگونی، اغلب دریک جهت اصلی وارد می شوند. تنش یا فشار وارده در جهات دیگر بسیار ناچیز است. هنگامی که ساختار بلوری کانی ها تحت این فشار تغییر می‌کند، کانیهای ورقه‌ای درامتداد کمترین فشار وارده جهت گیری می کنند (شکل ۵-۸). درنتیجه امتداد محور ذرات کانی عمود بر امتداد بیشترین فشار و امتداد جهت گیری این ذرات (مانند میکا) همان امتداد ورقه‌ای بودن (فولیاسیون) است.



شکل ۵-۸ جهت گیری ذرات کانی صفحه ای با در نظرگرفتن راستای بیشترین فشار در هنگام دگرگونی

سنگهای دگرگونی را می توان به دودسته ورقه‌ای یا دارای فولیاسیون (foliated) و غیرورقه‌ای یا بدون فولیاسیون (non foliated) تقسیم کرد.

سنگهای دارای فولیاسیون به دگرگونی هایی مرتبط می‌باشند که تنش های ساختمانی درآن ها نقش اساسی دارند. اما سنگهای بدون فولیاسیون براثر دگرگونی های مجاورتی و یا هنگامی که کانی های صفحه‌ای به علت عدم وجود ترکیبات شیمیائی مورد نیاز امکان تشکیل بلور نمی یابند، بوجود می آیند.

در سنگهای دارای فولیاسیون، سنگ درطول جهت فولیاسیون بیش از سایر جهات امکان شکستن و یا جدا شدن دارد. به این فرآیند که سنگ در راستای صفحات ضعیف خاصی تمایل به شکستن دارد (و یا جدا شدن) کلیواژ (cleavage) می‌گویند. گرچه باید به یاد داشت که صفحات ضعف اصولا با کلیواژ کانی‌ها متفاوت است.

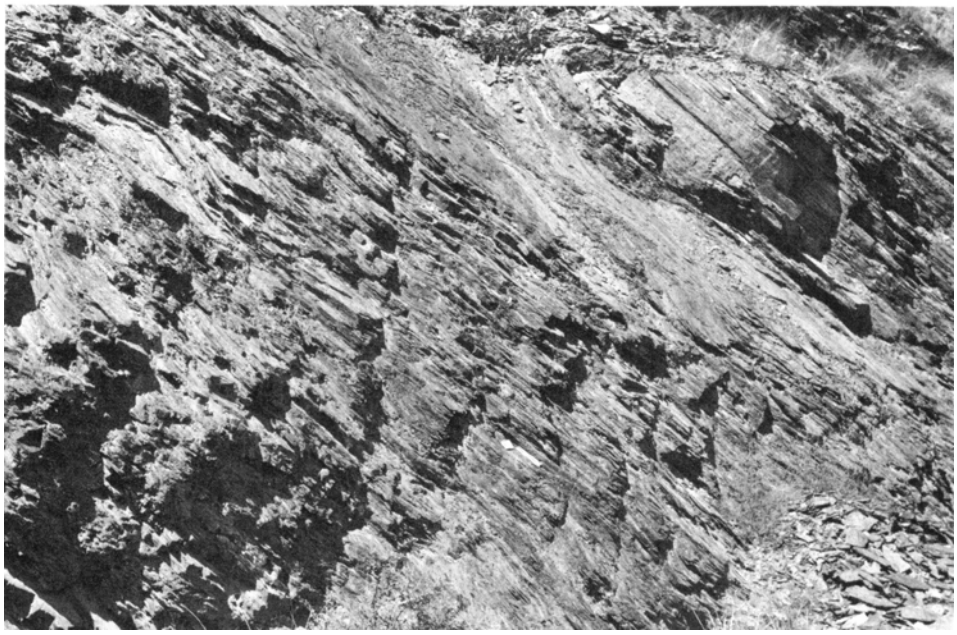
برخی از سنگهای دگرگونی دارای فولیاسیون، با توجه به نوع کلیواژ آنها نام گذاری شده اند: اگر صفحات کلیواژ نازک بوده و سنگ دانه ریز باشد، کلیواژ به کلیواژ اسلیتی (slaty cleavage) معروف است. به این نوع سنگ سنگ لوح (slate) می گویند (شکل ۵-۹).

شکل ۵-۹ گسترش مناسب کلیواژ اسلیتی در اسلیتی که در نزدیک کودیاک در آلاسکا روی زمین پدیدار شده است.

سالیان زیادی است که ازاسلیت به عنوان مصالحی برای پوشش سقفها استفاده می شود، زیرا سطوح کلیواژ صاف و منظمی دارد. اسلیت معمولا بر اثر دگرگونی درجه پایین شیل در فشار کم و دمای پایین بوجود می آید.

بر اثر دگرگونی با درجه بیشتر، اسلیت میتواند به فیلیت (phyllite) تبدیل شود، کلیواژ مربوط به فیلیت را کلیواژ فیلیتی می‌نامند. فیلیت از اسلیت دانه درشت تراست و دانه های صفحه ای آن جلای ابریشمی بخصوصی دارد.

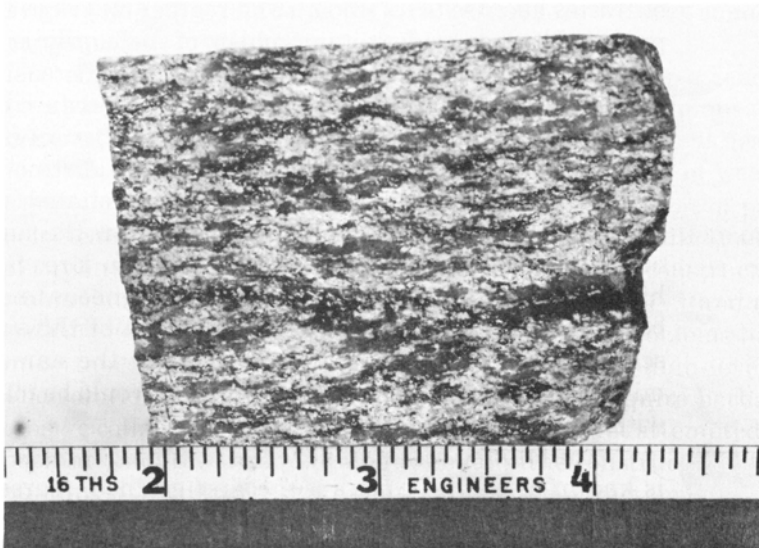
شیست (schist) (شکل۵-۱۰) سنگی دارای فولیاسیون است که دانه های آن از اسلیت و فیلیت درشت‌تر است و علاوه براین سطح صفحات کلیواژ به علت دانه‌های درشت آن نسبتا ناهمواراست.



شکل ۵-۱۰ :برون زدگی شیست روی سطح زمین- فولاسیون کاملا مشهود است.

درجه دگرگونی شیست نسبت به اسلیت و فیلیت بیشتر است. بسیاری ازانواع سنگهای آذرین و رسوبی بر اثر دگرگونی به شیست تبدیل می شوند. به علت تنوع کانی‌ها در شیست‌ها، سنگ‌ها را بر اثر نام فراوان‌ترین کانی یا کانی‌های موجود نام‌گذاری می کنند. به عنوان مثال یک بیوتیت شیست (biotite schist) بیشتر از کانیهای دیگر از بیوتیت تشکیل شده است.

گنایس (gneiss) سنگی دارای فولیاسیون است که در دگرگونی درجه بالا (high grade) بوجود می‌آید (شکل ۵-۱۱).

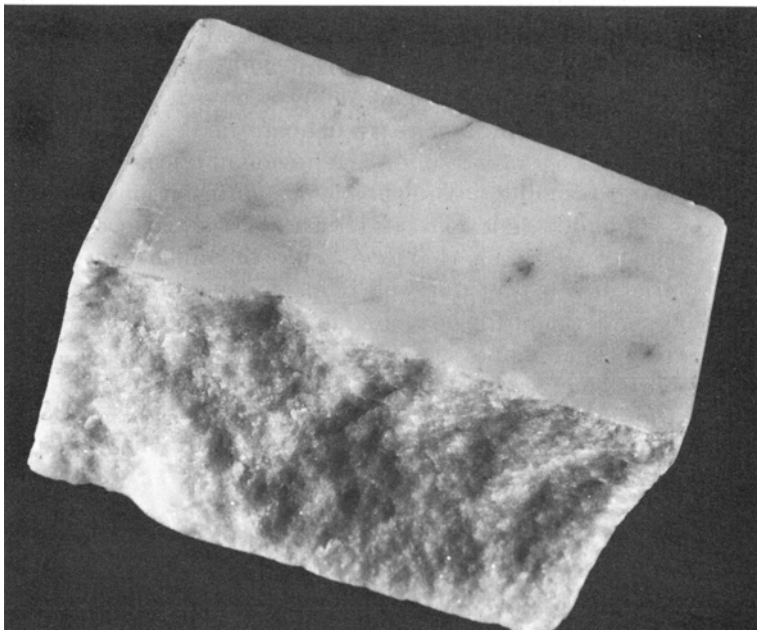


شکل ۵-۱۱ گنایس، سنگی دگرگونی، دانه درشت و دارای فولیاسیون ؛ متشکل از نوارهایی با رنگ روشن و تیره.

فولیاسیون گنایس به طور متناوب از نوارهایی از کانی های متفاوت با رنگ هـای روشـن و تیـره تشـکیل شده است. نوارهای روشن عمدتا از کوارتز (quartz) و فلدسپار (feldspar) تشکیل شـده انـد، درحالیکـه نوارهای تیره معمولا شامل بیوتیت (biotite)، هورنبلند (hornblende)، اوژیت (augite) و سایر کـانی‌هـا می‌باشند. گنایس ها علاوه بر این که از سنگ های آذرین سیلیسیک تشکیل می شوند از انواع مختلفی از سنگ های رسوبی نیز بوجود می‌آیند.

متداول‌ترین سنگهای بدون فولیاسیون، کوارتزیت (quartzite) و مرمر (marble) می باشند. کوارتزیت بـه سنگی اطلاق می شود که ازدگرگونی ماسه سنگ غنی از کـوارتز بوجـود آیـد. در حـین دگرگـونی ماسـه سنگ، تبلور مجدد (recrystallization) کوارتز باعث می شود که حفره های موجود بین دانه هـای اولیـه پر شود و در نتیجه سختی و تراکم سنگ افزایش یابد. کوارتزیت یکی از سخت‌ترین انواع سنگ می‌باشـد. از آنجا که کوارتزیت عمدتا از دانه های غیر مسطح کوارتز تشکیل می شود، دارای فولیاسـیون نمـی‌باشـد. درعین حال برخی از کوارتزیت ها ممکن است به علت ساختار لایه بندی سنگ، دارای فولیاسیون به نظـر آیند.

مرمر (شکل ۱۳-۵) از تبلور مجدد سنگ آهک (limestone) یا دولومیت (dolomite) بوجـود مـی‌آیـد. از مرمر به عنوان سنگ ساختمانی تزئینی، بسیار استفاده می‌شود.



شکل ۵-۱۳ از دگرگونی سنگ آهک و دولومیت مرمر تولید می شود، ظاهر زبر مرمر در قسمت شکسته شده از خصوصیات آن بشمار می آید.

شکل ۵-۱۴ برش گسلی متشکل از قطعه های دولومیت

سنگهایی که از دگرگونی جنبشی بوجود می آیند، یا دارای فولیاسیون هستند یا فولیاسیون ندارند. اگر سنگهای محدوده گسل، بر اثر فشار و جابجایی برشی (shear displacement)، خرد شوند برش گسلی (fault breccia) (شکل ۵-۱۴) تولید می شود که فاقد ساختار (structureless) معینی است. اگر منطقه جابجائی برشی در معرض درجه شدیدی از خرد شدن قرار گیرد سنگی دانه ریز به نام میلونیت (mylonite) ممکن است تولید شود که دارای ساختار نواری (banded structure) است.

جدول ۶-۲ طبقه بندی سنگ های دگرگونی متداول

TABLE 6.2 Classification of Common Metamorphic Rocks

Texture	Metamorphic Rock	Typical Minerals	Metamorphic Grade	Characteristics of Rocks	Parent Rock
Foliated	Slate	Clays, micas, chlorite	Low	Fine grained, splits easily into flat pieces	Shale, claystones, volcanic ash
	Phyllite	Fine-grained quartz, micas, chlorite	Low to medium	Fine grained, glossy or lustrous sheen	Mudrocks
	Schist	Micas, chlorite, quartz, talc, hornblende, garnet, staurolite, graphite	Low to high	Distinct foliation, minerals visible	Variable mudrocks, impure carbonates, mafic igneous rocks
	Gneiss	Quartz, feldspars, hornblende, micas	High	Segregated light and dark bands visible	Mudrocks, sandstones, felsic igneous rocks
	Amphibolite	Hornblende, plagioclase	Medium to high	Dark colored, weakly foliated	Mafic igneous rocks
	Migmatite	Quartz, feldspars, hornblende, micas	High	Streaks or lenses of granite intermixed with gneiss	Felsic igneous rocks mixed with sedimentary rocks
Nonfoliated	Marble	Calcite, dolomite	Low to high	Interlocking grains of calcite or dolomite, reacts with HCl	Limestone or dolostone
	Quartzite	Quartz	Medium to high	Interlocking quartz grains, hard, dense	Quartz sandstone
	Greenstone	Chlorite, epidote, hornblende	Low to high	Fine grained, green color	Mafic igneous rocks
	Hornfels	Micas, garnets, andalusite, cordierite, quartz	Low to medium	Fine grained, equidimensional grains, hard, dense	Shale
	Anthracite	Carbon	High	Black, lustrous, subconcoidal fracture	Low-grade coal

مهندسی در زمین هایی از جنس سنگ های دگرگونی

خصوصیات مهندسی سنگهای آذرین دگرگونی به دو دسته عمده تقسیم می شود. خصوصیات مهندسی سنگهایی که فولیاسیون ندارند و به سنگهای آذرین درونی شباهت دارد. این سنگها درشرایط عادی برای استفاده درپی ها، تونل ها وسدها موادی با مقاومت بالا به حساب می آیند، شیب‌های قائم ترانشه‌ها در این سنگ‌ها معمولا پایدار باقی می‌مانند.

اما سنگهای دگرگونی که دارای فولیاسیون هستند، به علت تمایل به شکستگی و ناپایداری درطول صفحاتی معین، بیشتر به سنگهای رسوبی شباهت دارند. دراین مورد صفحات فولیاسیون مانند صفحات لایه‌بندی عمل می کنند. درنتیجه جهت گیری صفحات فولیاسیون نسبت به شیب طبیعی خاک برداری، وضعیت پایداری را مشخص می کند. همانند سنگهای رسوبی و آذرین، رفتار نهایی توده سنگهای دگرگونی تابع شدت و امتداد شکستگی و همچنین وضعیت هوازدگی است. قبل از شروع هر پروژه عمران این خصوصیات باید مورد بررسی قرار گیرد.

در ۱۲ مارس سال ۱۹۲۸، فقط پس از چند ماه از اتمام ساخت، سد سنت فرانسیس **(St. Francis)** واقع در کالیفرنیای آمریکا ویران و سیل ناشی از آن منجر به کشته شدن بیش از ۴۵۰ نفر و خرابی خانه ها، پلها، جاده ها، و زمینهای کشاورزی بسیار در پایین دست سد شد. تکیه گاه شرقی این سد متشکل از شیست بود که فولیاسیون آن به سمت دره بود. اگرچه علت خرابی سد بصورت دقیق مشخص نگردید ولی بنظر میرسد دلیل اصلی، کم شدن مقاومت شیست بویژه در امتداد فولیاسیون در اثر آبگیری سد بوده است (شکل زیر).