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

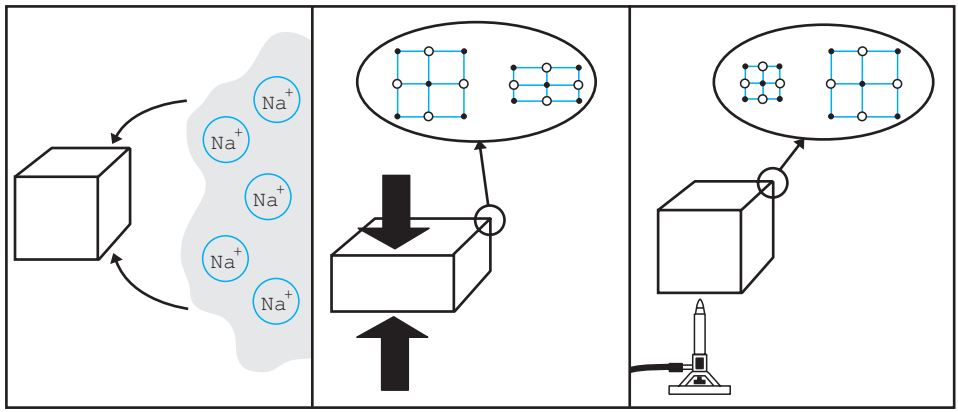
شکل ۱ ــ ۸ ــ حد قلمرو دگرگونی

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.

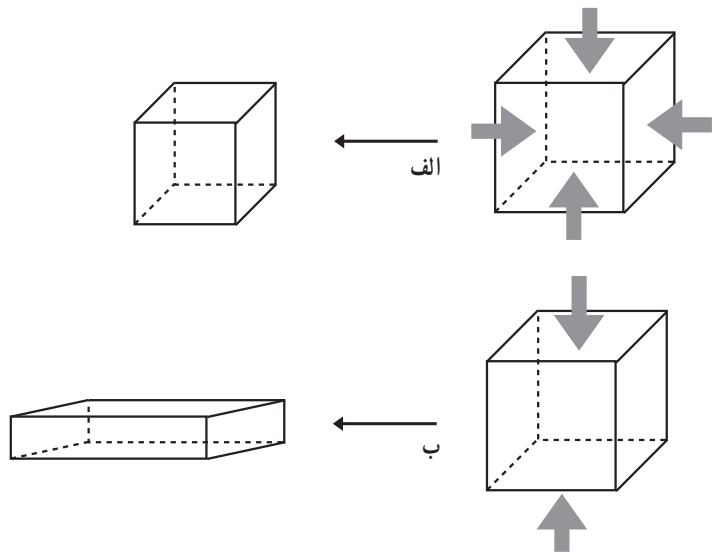
اصولاً دگرگونی در درجات شدید بیشتر نتیجهٔ افزایش دما است تا فشار.

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.



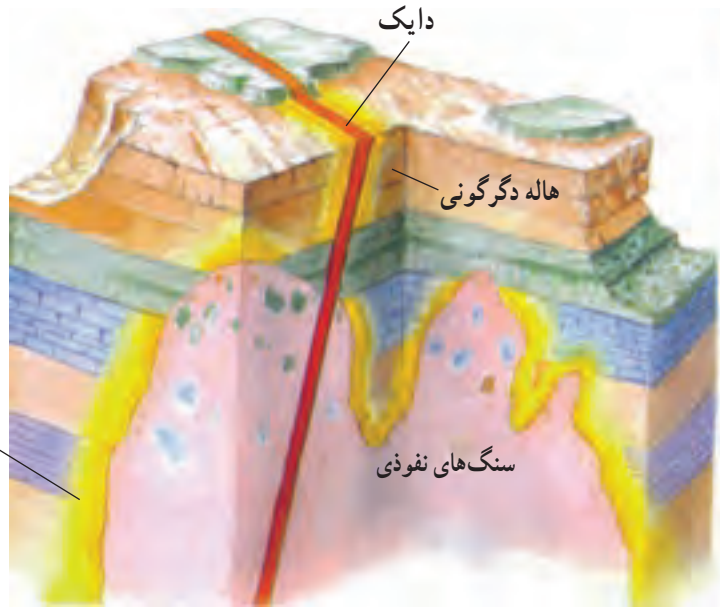
شکل ۴ ــ ۸ ــ تغییر شکل جسم که تحت فشار همه جانبه (الف) و جهت‌دار (ب) قرار داشته باشد.
الف) فشار مساوی یا فشار همه جانبه موجب تغییر حجم جسم شده است.
ب) فشار نامساوی یا جهت‌دار موجب تغییر شکل و حجم شده است.

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).

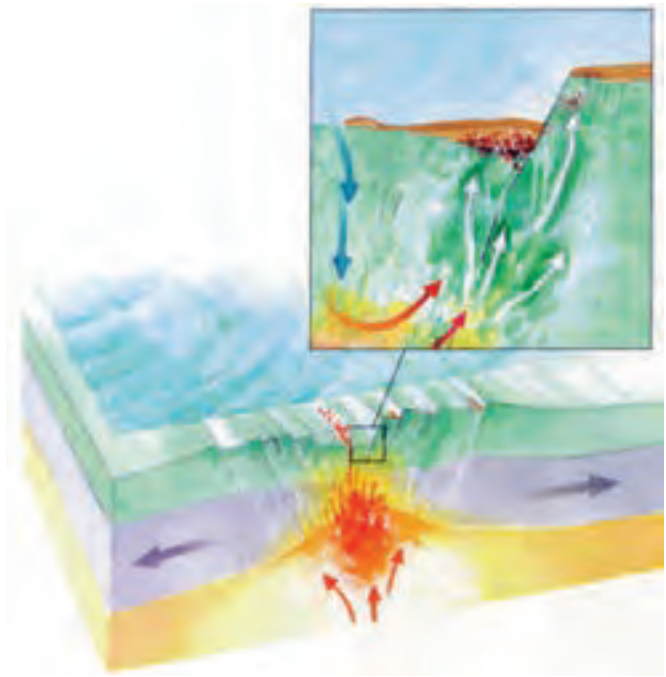
۲ــ دگرگونی ناحیه‌ای : این نوع دگرگونی، برخلاف دگرگونی مجاورتی که تأثیری محلی دارد، ممکن است بر سنگ‌های منطقه‌ای به‌وسعت چندین هزار کیلومتر مربع اثر بگذارد. مناطق دگرگونی مهم زمین در روی قاره‌ها، حاصل این نوع است. دگرگونی ناحیه‌ای به دو صورت دفنی و حرکتی ــ حرارتی اتفاق می‌افتد.

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.

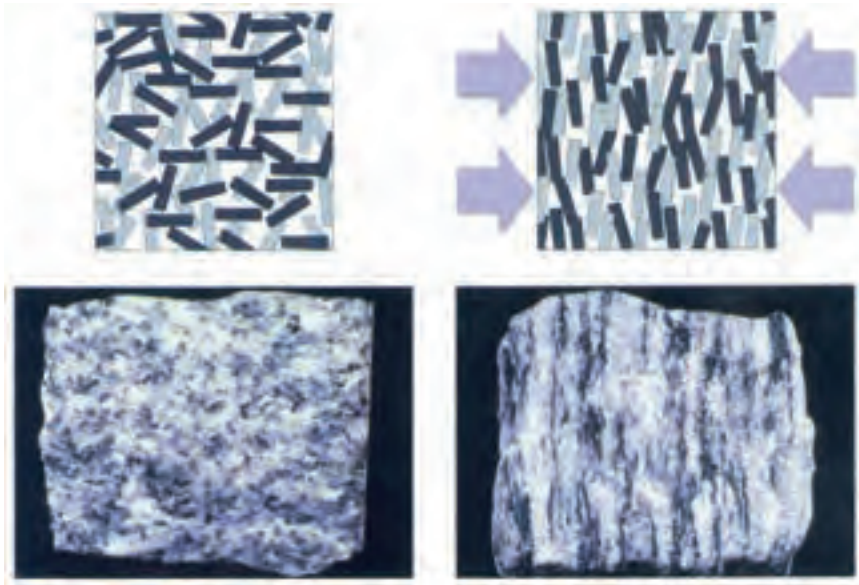
تغییر در بافت

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 گرمایی) 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 ۱۰ــ ۸ 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.

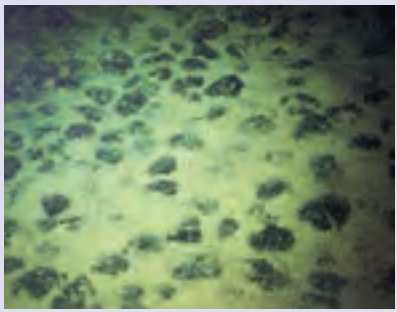
جمع‌آوری اطلاعات

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.

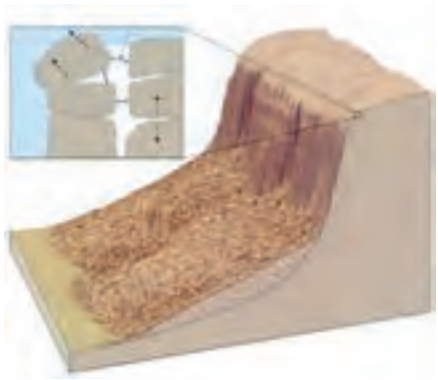
در هرجا که سنگ کره و هوا کره در تماس باشند، تخریب فیزیکی و شیمیایی در سنگ‌ها روی می‌دهد. محل تماس آنها در واقع یک سطح نیست، بلکه منطقه‌ای است که از سطح تا عمقی که هوا و آب می‌توانند نفوذ کنند، گسترش دارد. در این منطقه، آب کره و زیست کره نیز فعال‌اند. وجود شبکه‌ای از منافذ و درز و شکاف‌ها در این منطقه 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.

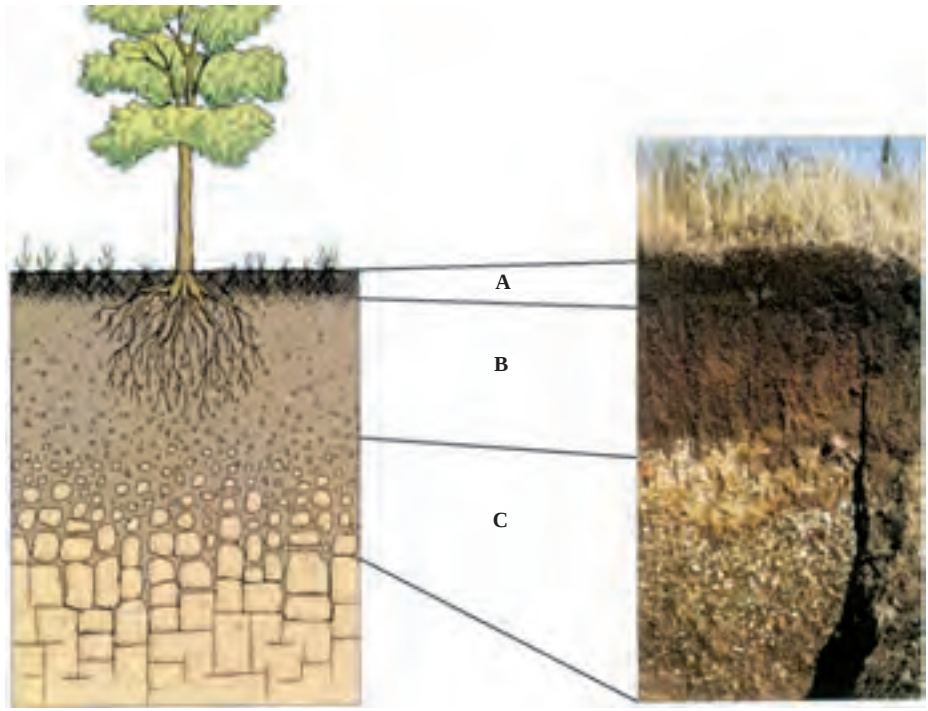
شکل ۵ ــ ۹ ــ سنگ نبشته دوره هخامنشی در گنج‌نامه (همدان)

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 هواکره 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 هواو 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.