فصل یازدهم

سنگ‌های رسوبی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ کلیات سنگ‌های رسوبی را توضیح دهد.

۲ــ ویژگی‌های مهمّ سنگ‌های رسوبی را برشمارد.

۳ــ اهمیت سنگ‌های رسوبی را به منزله‌ی منابع مهمّ توضیح دهد.

۴ــ ساخت موجود در سنگ‌های رسوبی (افقی بودن لایه‌ها، لایه‌بندی متقاطع، ریپل‌مارک و ترک‌های گلی) را توضیح دهد.

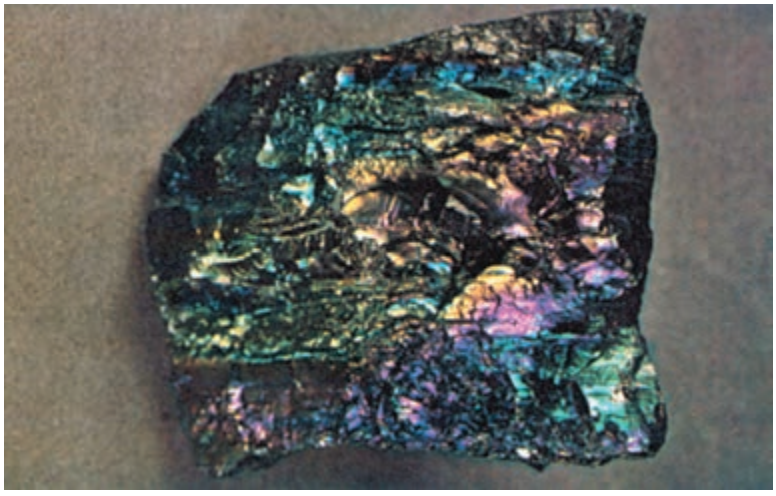
۵ــ بافت‌های موجود در سنگ‌های رسوبی (بافت آواری، بافت بلورین و بافت اسکلتی) را تشریح نماید.

۶ــ سنگ‌های رسوبی را به سنگ‌های «رسوبی آواری»، «رسوبی شیمیایی غیرآلی» و «رسوبی شیمیایی آلی» طبقه‌بندی کند.

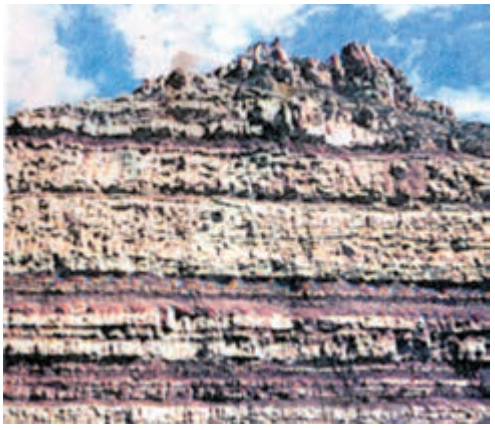
۷ــ انواع سنگ‌های رسوبی آواری (شیل، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومرا) را توضیح دهد.

۸ــ انواع سنگ‌های رسوبی شیمیایی غیرآلی (آهک، هالیت، ژیپس، دولومیت و چرت) را نام ببرد.

۹ــ سنگ‌های آهکی بیوشیمیایی (گل سفید، چرت آلی و زغال‌سنگ) را توضیح دهد.



سنگ‌های رسوبی



شکل ۱ــ۱۱

آشنایی

فرایند هوازدگی مواد خام سنگ‌های رسوبی را فراهم می‌کند. رودخانه‌ها ذرات هوازده را به حوضه‌های رسوبی مانند دریاها، دریاچه‌ها، درّه‌های رودخانه‌ای و دیگر حوضه‌ها به‌صورت لایه‌لایه ته‌نشین می‌سازد. سنگ‌های رسوبی ۵ درصد از حجم پوسته‌ی زمین را تشکیل می‌دهد. این سنگ‌ها دارای فسیل هستند که یکی از ابزارهای مهم در مطالعه‌ی تاریخ گذشته‌ی زمین به‌شمار می‌آید.

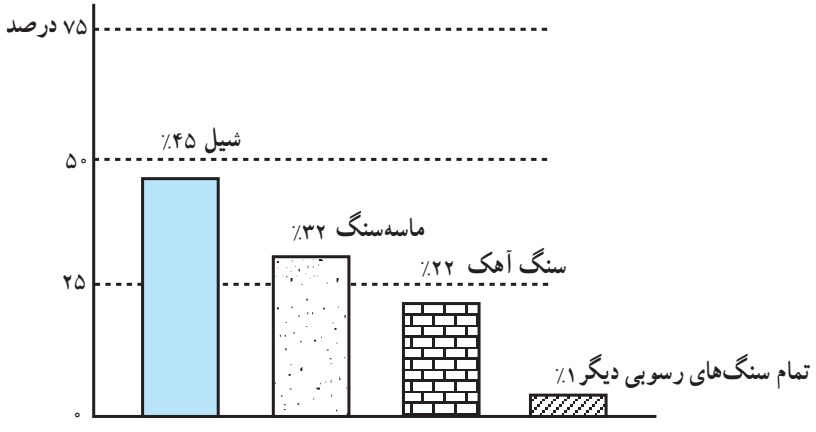
بسیاری از سنگ‌های رسوبی از نظر اقتصادی اهمیت دارند. زغال‌سنگ و سایر منابع انرژی مانند نفت و گاز طبیعی به‌سنگ‌های رسوبی ارتباط دارد.

گروهی از سنگ‌های رسوبی منبع مهمّی از آهن، آلومینیوم، منگنز، کود و مواد لازم دیگر برای صنعت به‌شمار می‌آیند. سنگ‌های رسوبی محل ذخیره و انتقال آب‌های زیرزمینی است که از نظر مصارف صنعتی، کشاورزی و آب آشامیدنی اهمیت فراوان دارد.

ساخت‌های موجود در لایه‌های رسوبی

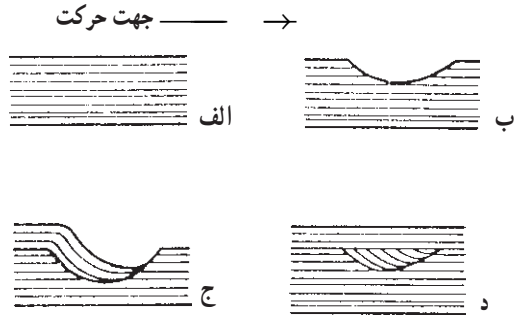
در حوضه‌های رسوبی، رسوبات به‌صورت لایه‌لایه و افقی روی هم ته‌نشین می‌شوند. پس از سخت شدن لایه‌ها، سنگ‌های رسوبی به‌وجود می‌آید.

لایه یا طبقه، جسم ورقه مانندی است که طول و عرض آن در مقایسه با ضخامت لایه، زیاد است. ضخامت هر لایه ممکن است از یک سانتی‌متر کم‌تر تا چندین متر تغییر کند و به‌وسیله‌ی سطحی به‌نام «سطح لایه‌بندی» از لایه‌ی مجاور جدا شود. هر لایه، از طبقات رویی و زیرین خود به‌وسیله‌ی تغییرات سنگ‌شناسی، رنگ و اندازه‌ی دانه‌ها متمایز است.



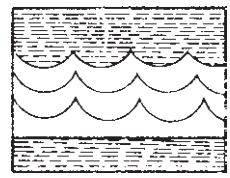
شکل ۲ــ۱۱ــ نسبت فراوانی سنگ‌های رسوبی در روی زمین

لایه‌بندی متقاطع[1]: این لایه‌بندی ساختی است که درنتیجه‌ی موقعیت ویژه‌ی رسوب‌گذاری و لایه‌بندی نازک و شیب‌دار در داخل لایه‌های سنگی ضخیم به‌وجود می‌آید. لایه‌بندی متقاطع در تپه‌های ماسه‌ای، دلتاها و رودخانه‌ها تشکیل می‌شود.



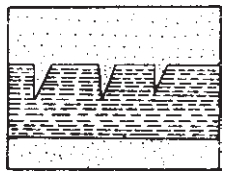
شکل ۳ــ۱۱ــ لایه‌بندی متقاطع ــ طرز تشکیل لایه‌بندی متقاطع: الف ــ لایه‌های اولیه، ب ــ ایجاد فرورفتگی به‌وسیله‌ی جریان‌های شدید، ج ــ ته‌نشین شدن لایه‌ها در مسیر شیب‌دار، د ــ ته‌نشین شدن لایه‌های اولیه بعد از پرشدن فرورفتگی

ریپل مارک یا موج‌نشان[2]: ریپل‌مارک سطح موج‌دار یا چین و شکن‌هایی است که به‌وسیله‌ی رودخانه یا جریان‌های جزر و مدی در یک بستر ماسه‌ای ساخته می‌شود، این ساخت بر اثر حرکت باد در تپه‌های ماسه‌ای یا در اعماق کم دریاها، بر اثر حرکت موج به‌وجود می‌آید.



شکل ۴ــ۱۱ــ ریپل مارک

ترک‌های گلی[3]: وقتی ترک‌های گلی در رسوباتی پیدا شوند، نشان‌دهنده‌ی آن است که آن‌ها به‌طور متناوب تر و خشک می‌شده‌اند. گِل‌های تر وقتی در معرض هوا قرار گیرند خشک شده ترک‌هایی در آن‌ها ایجاد می‌شود. ترک‌های گلی در محیط‌های کم‌عمق مانند دریاچه‌ها، بستر رودخانه‌ها و نظایر آن تشکیل می‌شوند.



۵ــ۱۱ــ ترک‌های گلی

بافت سنگ‌های رسوبی

بافت به اندازه‌ی ذرات تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌ها گفته می‌شود. «بافت‌های آواری» یا تخریبی (کانی‌ها و خرده‌سنگ‌ها)، و «بافت غیرآواری»، دو نوع بافت اصلی در سنگ‌های رسوبی به‌شمار می‌آیند.

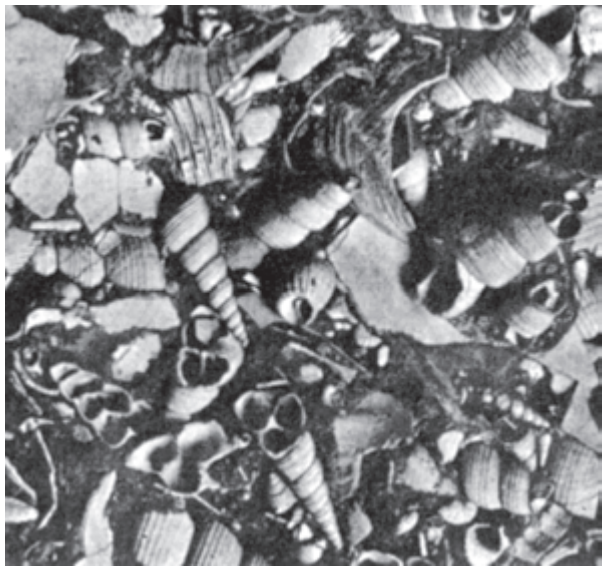
۱ــ بافت آواری: اندازه‌ی ذرات در سنگ‌های رسوبی متفاوت بوده دارای بافت دانه درشت بزرگ‌تر از ۲ میلی متر، دانه متوسط ۲ تا $\frac{۱}{۱۶}$ میلی متر و دانه‌ریز کم‌تر از $\frac{۱}{۱۶}$ میلی‌متر است. مواد تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های رسوبی شامل دو دسته‌ی «دانه[4]» و «سیمان[5]» است. میزان سیمان‌شدگی از ویژگی‌های مهمّ سنگ‌های رسوبی آواری به‌شمار می‌آید. سیمان اصلی این گونه بافت‌ها، آهک، سیلیس، اکسیدهای آهن و رس است.

۲ــ بافت بلورین (غیرآواری): کانی‌های تشکیل‌دهنده در آب‌ها به‌صورت محلول درمی‌آیند؛ سپس براثر تبخیر یا واکنش‌های شیمیایی در دریاچه‌ها و دریاها ته‌نشست حاصل کرده، بافت بلورین را تشکیل می‌دهند. این بافت ازنظر اندازه شامل سه دسته‌اند. «بافت درشت بلور بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر»، «بافت متوسط بلور ۲ تا $\frac{۱}{۱۶}$ میلی‌متر» و «بافت ریزبلور کم‌تر از $\frac{۱}{۱۶}$ میلی‌متر».

بافت اسکلتی: بافت اسکلتی عبارت است از تجمع پوسته‌ی بی‌مهرگان دریایی که بعد از مرگ آنان در بستر دریا ته‌نشین می‌شود. این بافت شبیه بافت آواری است.

---

۱ ــ Crossing bedding ۲ ــ Ripple mark ۳ ــ Mud craks ۴ ــ Grain ۵ ــ Matrix



۶ــ۱۱ــ بافت اسکلتی

انواع سنگ‌های رسوبی

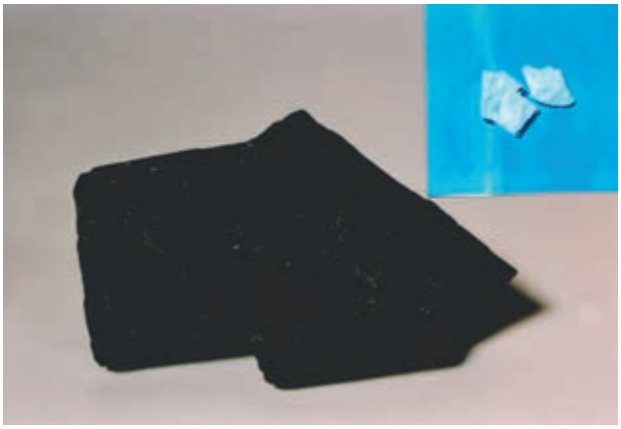
سنگ‌های رسوبی را به سه گروه «آواری»، «شیمیایی» و «آلی» طبقه‌بندی می‌کنند. اما هریک از این گروه‌ها، شامل اقسام مختلفی از سنگ‌ها می‌شوند و از لحاظ طرز انتقال، رسوب‌گذاری و سنگ شدن باهم فرق دارند.

سنگ‌های رسوبی آواری: این سنگ‌ها بیش‌ترین نوع سنگ‌های رسوبی هستند که از سیمان شدگی خرده‌سنگ‌های حاصل از سنگ‌های قبلی به‌وجود آمده‌اند. براساس طبقه‌بندی، خرده‌سنگ‌ها شامل شن، ریگ، قلوه‌سنگ و مانند آن بوده که شیل‌ها دانه‌ریزترین سنگ‌های آواری، ماسه‌سنگ‌ها، دانه متوسط، و کنگلومراها دانه درشت‌ترین این گروه از سنگ‌ها هستند.

جدول ۱ــ۱۱ــ طبقه‌بندی سنگ‌های تخریبی براساس اندازه‌ی دانه‌ها

اندازه برحسب میلی‌متر	نام ذرات	رسوبات	نام عمومی رسوبات	سنگ رسوبی تخریبی
بیش‌تر از > ۲۵۶	درشت سنگ	دانه درشت	گراول	کنگلومرا
۶۴ تا ۲۵۶	قلوه‌سنگ			یا
۴ــ ۶۴	ریگ			برش
۴ تا ۴	شن			
$\frac{۱}{۱۶}$ ــ ۲	ماسه	دانه متوسط	ماسه	ماسه‌سنگ
$\frac{۱}{۱۶}$ تا $\frac{۱}{۲۵۶}$	سیلت	دانه ریز	گل	سیلت سنگ
کوچک‌تر از < $\frac{۱}{۲۵۶}$	سیلت + رس			گِل سنگ
	رس			شَیل

شیل[1]: شیل سنگ رسوبی است و از ذرّاتی به اندازه‌ی رس ساخته شده است. این سنگ‌ها بیش از نصف تمام سنگ‌های رسوبی است. شیل‌ها از نوعی رس و میکا هستند که حالت ورقه‌ای دارند و به آسانی خرد می‌شوند. این سنگ‌ها در محیط‌های رسوبی نسبتاً آرام و جریان‌های غیرآشفته رسوب کرده‌اند رنگ شیل‌ها متفاوت بوده به نوع کانی‌های موجود در سنگ بستگی دارند.



شکل ۷ــ۱۱ــ شیل (در بالا سمت راست، تصویر تورق شیل را نشان می‌دهد).

شیل‌های سیاه دارای مقدار زیادی مواد آلی هستند. شیل‌های قرمز اکسیدآهن دارند.

از انواع دیگر سنگ‌های رسوبی تخریبی دانه‌ریز، «سیلتستون» است که از ذرات سیلت که درشت‌تر از ذرات رس است تشکیل شده است.

شکل ۸ــ۱۱ــ سیلتستون

ماسه‌سنگ[2]: به سنگی که اندازه‌ی دانه‌های آن به اندازه‌ی ماسه باشد، «ماسه‌سنگ» می‌گویند. ماسه‌سنگ‌ها بعد از شیل فراوان‌ترین سنگ های رسوبی به‌شمار می‌آیند. دانه‌های ماسه‌سنگ‌ها به‌وسیله‌ی سیمانی از جنس سیلیس یا کربنات به‌هم چسبیده‌اند.

ماسه‌سنگ کوارتزی[3]، بیش از ۹۰٪ کوارتز و اندکی سیمان دارد.

«آرکوز»، ماسه‌سنگی است که حداقل ۲۵٪ فلدسپات دارد و کوارتز از ذرات اصلی آن است. اندازه‌ی ذرات در آرکوز اغلب بزرگ و زاویه‌دار است، از این‌رو، ذرات کم‌تر در معرض جریان آب بوده مسافت کمی را طی کرده‌اند.

در ماسه‌سنگ کوارتزی دانه‌ها در معرض جریان آب، مسافت زیادی را طی کرده‌اند ؛ بنابراین، دانه‌ها حالت گردشدگی دارند.

ب الف

شکل ۹ــ۱۱ــ الف ــ ماسه سنگ کوارتزی، ب ــ آرکوز

کنگلومرا[4]: کنگلومراها از سیمان‌شدگی ذرات درشت رسوبی بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر ــ با گردشدگی خوب و ماده‌ی زمینه‌ای از سیلیس و رس ــ تشکیل شده‌اند. دانه‌ها ممکن است از هر جنس باشند، اما کوارتز از کانی‌های مقاوم در کنگلومراها به‌حساب می‌آید(شکل ۱۰ــ۱۱).

شکل ۱۰ــ۱۱ــ کنگلومرا

۱ ــ Shale ۲ ــ Sandstone ۳ ــ Quartz Sandstone ۴ ــ Conglomerate

برش[1]: برش از سیمان شدگی ذرات درشت و زاویه‌دار، با زمینه‌ای از ذرات ریزتر تشکیل شده است.

دانه‌های برش زاویه‌دار بوده، نشان‌دهنده‌ی طی مسافت کم است.

۱۱ــ۱۱ــ برش

سنگ‌های رسوبی شیمیایی غیرآلی: این رسوبات از موادّی پدید آمده‌اند که به‌صورت محلول به دریاچه‌ها و دریاها وارد شده‌اند. مواد همیشه به‌حالت محلول باقی نمی‌مانند، بلکه قسمتی از آن به‌صورت ذرّاتی رسوب نموده روی هم انباشته می‌شوند و رسوبات شیمیایی را به‌وجود می‌آورند. مواد محلول در آب بر اثر تغییر یا تغییرات شدید دما رسوب می‌کنند.

سنگ‌های آهکی: سنگ آهک از کانی کلسیت ($CaCO_3$) تشکیل شده که در نتیجه‌ی فرایندهای شیمیایی به‌وجود می‌آید. میزان رسوب آهک در حوضه‌های رسوبی به میزان CO_2 بستگی دارد. آهک در آب‌های گرم، به علت خروج CO_2 زودتر رسوب می‌کند.

«تراورتن» نوعی سنگ آهک است که در دهانه‌ی چشمه‌ها با خارج شدن گاز CO_2 از آب، تشکیل می‌شود. سنگ آهک پرحفره‌ی تراورتن و ستون‌های آهکی درون غارها به همین شکل به‌وجود آمده‌اند.

شکل ۱۲ــ۱۱ــ تراورتن

سنگ‌های تبخیری: گروهی از سنگ‌های رسوبی، حاصل تبخیر آب مناطق کم‌عمق و گرم هستند و در محیط‌هایی مانند دریاچه‌ها که مقدار تبخیر بیش‌تر از مقدار آب‌های ورودی است پدید می‌آیند ؛ مانند هالیت و ژیپس. «هالیت» سازنده‌ی اصلی سنگ نمک[2] و «ژیپس» سازنده‌ی اصلی سنگ گچ[3] که هردو دارای ارزش اقتصادی هستند، در حوضه‌های تبخیری رسوب می‌کنند.

سنگ نمک: سنگ نمک در حالت خاص بی‌رنگ است، و در صورت وجود ناخالصی به رنگ‌های مختلف دیده می‌شود و در صورت داشتن اکسید آهن به رنگ قرمز روشن درمی‌آید. مزه‌ی شور، ویژگی اصلی شناخت این سنگ است.

سنگ گچ آب‌دار(ژیپس): این سنگ اغلب به رنگ سفید دیده می‌شود و در صورت داشتن اکسیدآهن به رنگ قرمز روشن درمی‌آید. بهترین معرف آن میزان سختی آن است (با ناخن خراش برمی‌دارد). این سنگ بدون مزه بوده، اسید بر آن تأثیر ندارد. سنگ گچ بی‌آب را «انیدریت»[4] گویند که سختی آن بیش‌تر از سختی سنگ گچ آب‌دار است و با ناخن خراش برنمی‌دارد.

دولومیت: دولومیت بسیار شبیه به سنگ آهک است و

---

۱ ــ Breccias ۲ ــ Rock Salt ۳ ــ Rock gypsum ۴ ــ Anhydrite

از کانی دولومیت یعنی کربنات کلسیم و کربنات منیزیم ساخته شده است. دولومیت‌ها هنگامی تشکیل می‌شوند که منیزیم جانشین کربنات کلسیم سنگ آهک شود.

چرت (Chert) : چرت به سنگ‌های متراکم سختی اطلاق می‌شود که از سیلیس بسیار ریز ساخته شده‌اند. نوع شیمیایی آن محصول رسوب کردن سیلیس در آب‌هایی است که از این ماده اشباع گشته‌اند(شکل ۱۳ــ۱۱).

شکل ۱۳ــ۱۱ــ چرت

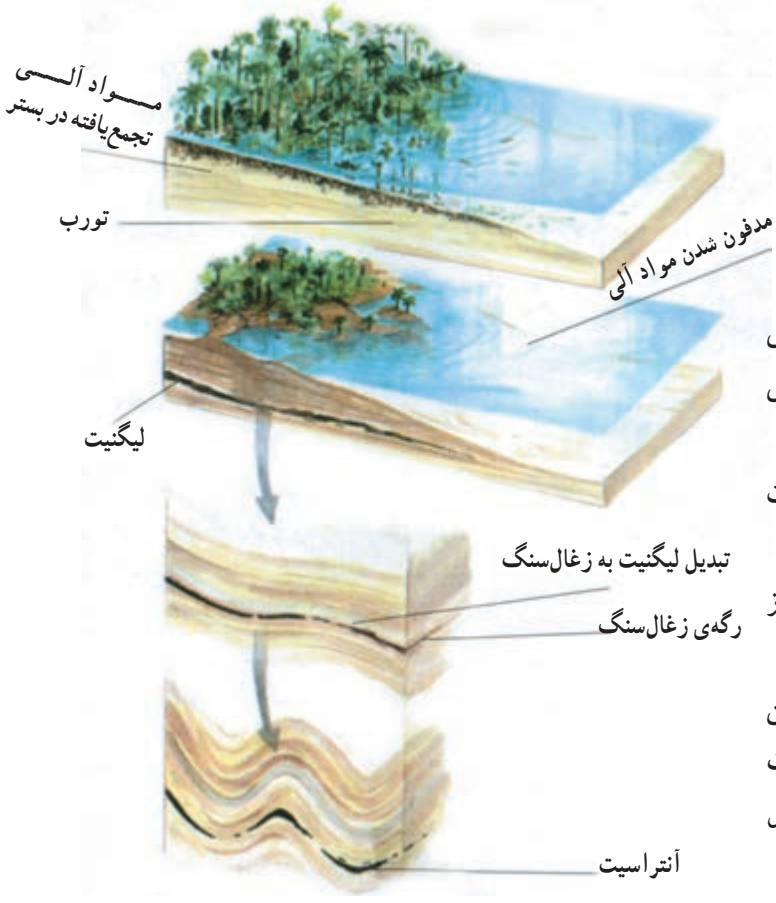
سنگ‌های رسوبی شیمیایی آلی: مهم‌ترین سنگ‌های این گروه عبارت است از سنگ آهک آلی و چرت که از بقایای اسکلت جانوران و گیاهان دریازی حاصل شده‌اند.

گل سفید: گل سفید سنگی است که از پوسته‌ی موجودات ریز میکروسکوپی تشکیل شده است.

چرت آلی: نوعی سنگ رسوبی شیمیایی آلی است که از سیلیس باقی مانده‌ی جانداران دریایی تشکیل می‌شود.

زغال‌سنگ: با بررسی دقیق یک تکه زغال‌سنگ با ذرّه‌بین مشخص می‌شود که ساختمان‌های گیاهی، مانند برگ‌ها، پوست درخت و چوب در آن وجود دارد ؛ بنابراین، زغال‌سنگ محصول نهایی دفن مواد گیاهی در دوره‌های طولانی است.

مرحله‌ی اصلی تشکیل زغال‌سنگ، تجمع و انباشتگی بقایای گیاهی به‌مقدار زیاد است. با وجود این، برای تجمع باید وضعیت خاصّی فراهم شود، مهم‌ترین محیط مناسب برای حفظ موادّ گیاهی محیط باتلاقی است. این محیط فاقد اکسیژن است و تجزیه‌ی کامل مواد گیاهی در آن انجام نمی‌شود. مواد گیاهی تحت تأثیر عمل باکتری‌ها قرار می‌گیرند و مواد آلی آن‌ها تا اندازه‌ای تجزیه شده، اکسیژن و هیدروژن آزاد می‌شود. با خروج این عناصر، درصد کربن به‌تدریج افزایش می‌یابد. تجزیه‌ی ناقص موادگیاهی در محیط باتلاقی، ایجاد لایه‌ای از «تورب[1]» می‌شود که مادّه‌ای نرم و قهوه‌ای است با افزایش تدریجی فشار و گرما مواد فشرده‌تر و سخت‌تر حاصل می‌شود. این مواد به ترتیب درجه‌ی خلوص لیگنیت، زغال‌سنگ و آنتراسیت هستند.



شکل ۱۴ــ۱۱ــ تشکیل زغال‌سنگ از رسوبات مردابی

۱ ــ Peat

خودآزمایی

۱ــ دو ویژگی مهمّ سنگ‌های رسوبی را توضیح دهید.

۲ــ هر لایه با کدام ویژگی از لایه‌های دیگر جدا می‌شود؟

۳ــ لایه‌بندی متقاطع، ریپل‌مارک و ترک‌های گلی را با مثال توضیح دهید.

۴ــ اندازه‌ی ذرات در بافت آواری را با اندازه‌ی بلورهای سنگ‌های رسوبی شیمیایی مقایسه کنید.

۵ــ علت تورّق در سنگ شیل چیست؟

۶ــ «کنگلومرا» و «برش» را از نظر شکل ذرّات و اندازه‌ی ذرات تشکیل‌دهنده، گردشدگی و مسافت طی شده مقایسه کنید.

۷ــ هریک از این توضیحات مربوط به چه سنگی است؟

۱ــ سنگ رسوبی آواری دانه ریز.

۲ــ سنگ متبلور که با ناخن خراش برمی‌دارد.

۳ــ نوعی سنگ رسوبی دارای بقایای گیاهی فراوان.

۴ــ سنگی که با اسید می‌جوشد.

فصل دوازدهم

سنگ‌های دگرگونی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ فرایند دگرگونی را توضیح دهد.

۲ــ عوامل مؤثر در دگرگونی را بیان نماید.

۳ــ دگرگونی مجاورتی را شرح دهد.

۴ــ دگرگونی عمومی را توضیح دهد.

۵ــ انواع بافت سنگ‌های دگرگونی را برشمارد.

۶ــ اقسام سنگ‌های دگرگونی را طبقه‌بندی کند.

۷ــ اقسام سنگ‌های دگرگونی دارای جهت‌یافتگی و فاقد جهت‌یافتگی را توصیف کند.

سنگ‌های دگرگونی[1]

۱ــ۱۲ــ دگرگونی

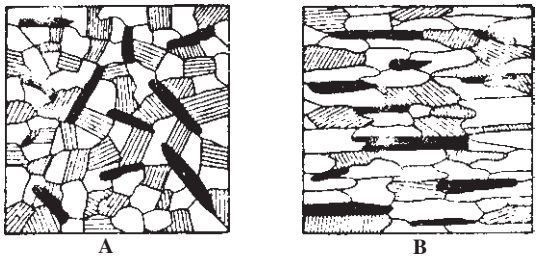
فرایند دگرگونی شامل تغییر حالت سنگ‌های موجود در زمین است. سنگ‌های رسوبی، آذرین، و حتی سنگ‌های دگرگونی، براساس وضعیت خاص زمین‌شناسی به سنگ‌های دگرگونی تبدیل می‌شوند. عوامل تغییردهنده‌ی سنگ‌ها شامل حرارت و فشار است؛ بنابراین، دگرگونی عبارت است از «مجموعه‌ی فرایندهای درونی که براساس موقعیت خاص باعث تغییر ساختمان و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌ها می‌شود و یک سنگ را در حالت جامد به سنگ دیگری تبدیل می‌کند».

عوامل دگرگونی

عوامل دگرگونی شامل حرارت و فشار بوده، سنگ‌ها اغلب تحت تأثیر هردو عامل قرار می‌گیرند، امّا درجه‌ی دگرگونی از یک محیط به محیط دیگر متفاوت است.

حرارت: مهم‌ترین عامل دگرگونی، حرارت است، اگر سنگ‌های نواحی مختلف پوسته‌ی زمین تحت تأثیر حرارت زیاد قرار گیرند، دگرگون می شوند. انتقال حرارت به سنگ‌های اطراف ممکن است بر اثر نفوذ توده‌ی مذاب (ماگما) به سنگ‌های درون‌گیر ایجاد شود یا سنگ‌های درون زمین تحت تأثیر درجه‌ی زمین گرمایی[2] قرار گیرند.

فشار: سنگ‌های درون زمین تحت فشار طبقات رویی قرار می‌گیرند سنگ‌های اعماق زمین کاملاً نرم و در هنگام تغییر شکل حالت خمیری دارند. اگر فشار و نیروهای وارده به اطراف سنگ‌ها متفاوت باشند، کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ «جهت‌یافتگی» پیدا می‌کنند.



۲ــ۱۲ــ در قسمت A بلورها هیچ‌گونه جهتی ندارند، اما در قسمت B بلورها بر اثر دگرگونی کشیده و جهت‌دار شده‌اند.

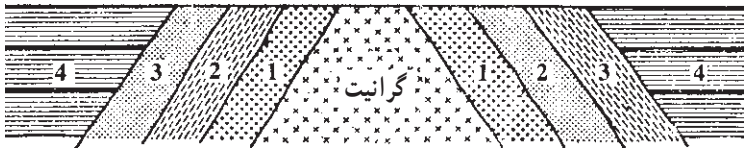
۱ ــ Metamorphic rocks

۲ــ افزایش دما به اندازه‌ی ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد در هر کیلومتر است.

انواع دگرگونی

دگرگونی در وضعیت‌های مختلف صورت می‌گیرد.

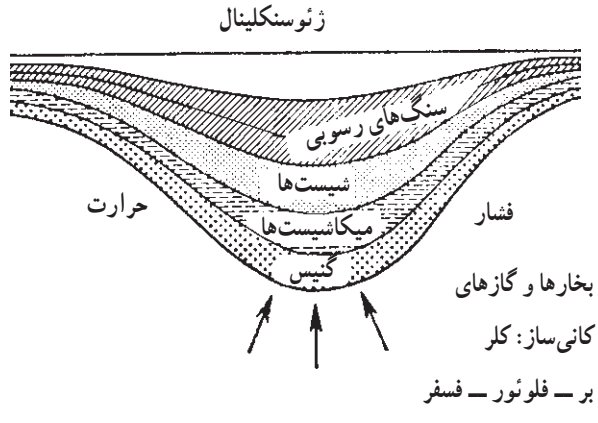
دگرگونی مجاورتی[1]: این نوع دگرگونی براثر نفوذ ماگما در سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی زمین پدید می‌آید. سنگ‌های درون‌گیر به ترتیب فاصله تحت تأثیر اعمال مختلف ماگما قرار می‌گیرند و دگرگون می‌شوند. مقدار تغییر به دمای ماگما و طول زمانی که با سنگ‌های اطراف در تماس است بستگی دارد. هنگام دگرگونی مجاورتی، منطقه‌ی تغییر شکل یافته‌ای به نام «هاله[2]ی دگرگونی» در اطراف توده‌ی ماگمایی تشکیل می شود.



۱ــ هورنفلس
۲ــ میکاشیست
۳ــ شیست
۴ــ سنگ‌های رسی

شکل ۳ــ۱۲ــ دگرگونی مجاورتی

دگرگونی ناحیه‌ای[3]: در صورتی که سنگ‌ها در وسعت زیاد، تحت تأثیر حرارت و فشار قرار گیرند و تغییرشکل یابند، دگرگونی ناحیه‌ای به‌وجود می‌آید. مناطق مهمّ دگرگونی در قاره‌ها از نوع دگرگونی ناحیه‌ای هستند.



شکل ۴ــ۱۲ــ دگرگونی ناحیه‌ای

بافت

درجه‌ی دگرگونی در بافت و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های دگرگونی نمایان می‌شود. نحوه‌ی رشد و استقرار کانی‌ها براثر فشار، بافت‌های متنوعی را در سنگ‌های دگرگونی ایجاد می‌کند.

اندازه‌ی دانه‌ها: فشار زیاد باعث تبلور دوباره‌ی دانه‌های کانی موجود در سنگ می‌شود. آب نیز در این فرایند موجب رشد کانی‌ها می‌گردد.

شکل دانه‌ها: بعضی از کانی‌ها مانند میکا، با ساختمان ورقه‌ای، هورنبلاند با بلورهای طویل و سوزنی و کوارتز و فلدسپات در سنگ، با جهت‌یافتگی مشخصی متبلور می‌شوند. نحوه‌ی جهت‌یافتگی کانی‌ها به‌صورتی است که به سنگ منظره‌ی لایه‌ای یا نواری می‌دهد اگر تنها با رشد کانی‌های ورقه‌ای، سنگ به شکل ورقه ورقه یا به‌صورت فلس باشد، به آن «شیستوزیته»[4] می‌گویند و سنگ دارای چنین نامی را «شیست»[5] می‌نامند.

انواع سنگ‌های دگرگونی

سنگ‌های دگرگونی را به دو گروه عمده طبقه‌بندی می‌کنند :

۱ــ انواعی که دارای جهت‌یافتگی هستند ؛ از این‌گروه «سنگ لوح»، «شیست‌ها» و «گنیس» را می‌توان نام برد.

سنگ لوح[6]: این دسته از سنگ‌ها از دگرگونی خفیف سنگ‌های رسی (شیل) به‌وجود می‌آید. در این سنگ نوعی تورّق ساده و خوب وجود دارد که باعث می‌شود سنگ به شکل صفحات

---

۱ ــ Contact metamorphism
۲ ــ Aureole
۳ ــ Regional metamorphism
۴ ــ Schistosity
۵ ــ Schist
۶ ــ Slate

تقریباً صاف و منظّم شکسته شود. رنگ سنگ لوح خاکستری یا سیاه است و برحسب وجود کانی‌های مختلف، به رنگ‌های متنوعی مانند قرمز و سبز درمی‌آید. «فیلیت»[1] نوعی سنگ لوح است که به علت فراوانی میکا، ظاهری برّاق پیدا می‌کند.

شکل ۵ــ۱۲ــ سنگ لوح

شکل ۶ــ۱۲ــ فیلیت

شیست‌های دگرگونی[2]: این سنگ‌ها دارای کانی‌های ورقه‌ای یا سوزنی و کانی‌های فرعی مانند «گرونا» هستند و از دگرگونی شیل‌ها به‌وجود می‌آیند، درجه‌ی دگرگونی این سنگ‌ها شدیدتر از سنگ لوح است.

شیست‌ها را براساس ترکیب کانی‌شناسی نام‌گذاری می‌کنند.

میکاشیست‌ها[3]: عمدتاً از مسکویت (میکای سفید) و میکای سیاه، ترکیب یافته‌اند و دارای مقدار کمی کوارتز و فلدسپات هستند.

شکل ۷ــ۱۲ــ مسکویت شیست

گارنت شیست[4]: کانی اصلی این سنگ‌ها گرونا است.

شکل ۸ــ۱۲ــ دانه‌های گرونا در سنگ نمایان است.

آمفیبولیت شیست[5]: سنگ‌های دگرگونی با بلورهای سوزنی هورنبلاند تشکیل شده است.

---

۱ ــ Phillite ۲ ــ Metamorphic Schists ۳ ــ Micaschists ۴ ــ Garnet Schist ۵ ــ Amphibolite Schist

گنیس[1]: بیشتر کانی‌های این سنگ به‌جای ورقه‌ای از نوع دانه‌ای است.

گنیس‌ها ترکیب گرانیتی دارند. کانی‌های اصلی گنیس همان انواعی است که در گرانیت یافت می‌شود و دارای جهت‌یافتگی هستند.

۲ــ سنگ‌های دگرگونی که فاقد جهت‌یافتگی هستند : مرمر، کوارتزیت و هورنفلس از انواع این سنگ‌ها به‌شمار می‌آیند.

شکل ۹ــ۱۲ــ گنیس

مرمر[2]: سنگ‌های آهکی هنگامی که تحت تأثیر حرارت و فشار قرار می‌گیرند سنگی به‌وجود می‌آید که به آن «مرمر» گویند.

شکل ۱۰ــ۱۲ــ مرمر آبی

«مرمر خالص» سفید است و فقط از کانی کلسیت تشکیل یافته است. سنگ‌های آهکی تشکیل‌دهنده‌ی مرمر ممکن است با داشتن ناخالصی‌ها رنگ‌های متنوع در مرمر ایجاد کند.

کوارتزیت : ماسه‌ی سنگی دگرگون شده است که فاصله‌ی تمام ذرات آن را خمیری متبلور شده از جنس کوارتز، پرکرده است.

شکل ۱۱ــ۱۲ــ کوارتزیت

هورنفلس[3]: از دگرگونی مجاورتی شیل‌ها و یا شیست‌ها حاصل می‌شوند. اصولاً به علت دمای بسیار در هاله‌ی دگرگونی، سنگ‌های سخت، دانه‌ریز، متراکم و غالباً سیاه رنگ ــ فاقد هر نوع جهت‌یافتگی ــ به‌وجود می‌آید.

شکل ۱۲ــ۱۲ــ هورنفلس گرونادار

۱ ــ Gneiss ۲ ــ Marble ۳ ــ Hornfels

خودآزمایی

۱ــ فرایند دگرگونی را تعریف کنید.

۲ــ عوامل مؤثّر در دگرگونی را نام ببرید.

۳ــ انواع بافت سنگ‌های دگرگونی را توضیح دهید.

۴ــ دگرگونی مجاورتی و دگرگونی ناحیه‌ای را از نظر موقعیت منبع حرارتی مقایسه کنید.

۵ــ سنگ گرانیت و گنیس را از نظر ترکیب کانی‌شناسی و تفاوت ظاهری مقایسه کنید.

۶ــ علت تنوع رنگ در مرمرها و سنگ لوح را توضیح دهید.

فرایندهای تغییردهنده‌ی سطح کره‌ی زمین
(فرسایش، هوازدگی، حمل و نقل مواد)

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ درباره‌ی فرایندهای تغییردهنده‌ی سطح کره‌ی زمین توضیح دهد.

۲ــ فرسایش را شرح دهد.

۳ــ هوازدگی و انواع آن، شامل هوازدگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را تشریح کند.

۴ــ پایداری سنگ‌ها و کانی‌ها در برابر هوازدگی را شرح دهد.

۵ــ حمل و نقل مواد هوازده و عوامل مؤثر در آن را بیان کند.

۶ــ تغییر شکل فرسایشی پوسته‌ی جامد زمین را شرح دهد.

۷ــ عمل فرسایشی آب‌های جاری را شرح دهد.

۸ــ عمل فرسایشی باد را بیان کند.

۹ــ عمل فرسایش دریاها و اقیانوس‌ها را شرح دهد.

۱۰ــ عمل فرسایش یخچال‌ها را شرح دهد.

فرایندهای تغییردهنده‌ی سطح کره‌ی زمین

مقدمه

کره‌ی زمین در طول چهار میلیارد سالی که از عمر آن می‌گذرد همواره دست‌خوش تحوّلات و تغییرات بسیاری در درون و بیرون خود گردیده و چهره‌ی آن به‌طور دایم تحت تأثیر عوامل گوناگون تغییر یافته است. انسان با توجه به عمر کوتاهی که در مقایسه با سن زمین دارد ممکن است تصور کند که وضعیت پستی و بلندی‌ها و عوارض سطح زمین همواره به همین شکل بوده، هیچ‌گونه تغییری در آن‌ها صورت نگرفته است. در حالی که امروزه می‌دانیم که چه‌بسا کوه‌های بلند و سربه‌فلک کشیده‌ای، تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش درطول زمان به تپه‌های کم‌ارتفاع و زمین‌های مسطح تغییر شکل داده‌اند یا دره‌های عمیقی که در گذشته‌های دور وجود نداشته‌اند به مرور زمان درسطح زمین ظاهر شده‌اند یا این که دریاها و دریاچه‌هایی در دوران قدیم وجود داشته‌اند که امروزه هیچ اثری از آن‌ها باقی نمانده است. تمام این نکات بیانگر آن است که عوامل گوناگونی همواره موجب پیدایش تغییراتی در پوسته‌ی زمین می‌شوند ؛ پدیده‌هایی نظیر زلزله، آتش‌فشان و فشارهای داخلی زمین باعث برآمدگی سطح آن می‌شوند و فرایندهایی مانند هوازدگی و فرسایش به‌طور پیوسته در جهت مخالف پدیده‌های یادشده عمل می‌کنند و فعالیت آن‌ها باعث می‌گردد ارتفاعات و بخش‌های برآمده سطح زمین فرسوده شوند و بلندی‌های قاره‌ها تا حد تراز دریاها پایین بیایند. در کنار عوامل یادشده فرایندهایی نیز براثر عملکرد نیروهای خارجی، سنگ‌ها و مواد و قطعات تخریب شده را از محل اوّلیه به‌حرکت درآورده پس از جابه‌جا کردن و طی مسافتی معین به‌مکان دیگری انتقال می‌دهند. با توجه به آن چه گذشت اینک شرح سه پدیده‌ی فرسایش هوازدگی و حمل و نقل مواد درپی خواهد آمد.

فرسایش

به عواملی که موجب تغییراتی در پوسته‌ی زمین و فرسوده شدن آن می‌شوند «فرسایش» می‌گویند. آب و هوا در تغییر شکل زمین و متلاشی کردن سنگ‌ها تأثیر بسیار مهمی دارد. کوه‌ها و رودخانه‌ها، دره‌ها و سواحل دریاها، بستر رودخانه‌ها، هم‌چنین کف اقیانوس‌ها همواره تحت تأثیر فرسایش و عوامل آن قرار دارند. علاوه بر عوامل طبیعی فرسایش، انسان نیز با احداث جاده‌ها، ساختمان‌ها، سدها، استخراج معادن و نظایر آن باعث تخریب زمین و تغییر سطح پوسته‌ی آن می‌گردد. از لحاظ کلی در فرایند فرسایش زمین، دو مرحله‌ی جداگانه مطرح هستند که عبارت‌اند از «هوازدگی»[1] و «حمل و نقل مواد تخریب شده»[2].

در فرایند هوازدگی با پدیده‌هایی آشنا می‌شویم که براثر آن‌ها تخریب سطح زمین با سهولت و سرعت بیش‌تری انجام می‌شود و حمل و نقل مواد فرسایش یافته در واقع دربرگیرنده‌ی عواملی است که موجبات جابه‌جا شدن و آمادگی مواد را برای رسوب‌گذاری و ته‌نشینی[3] فراهم می‌آورد.

هوازدگی

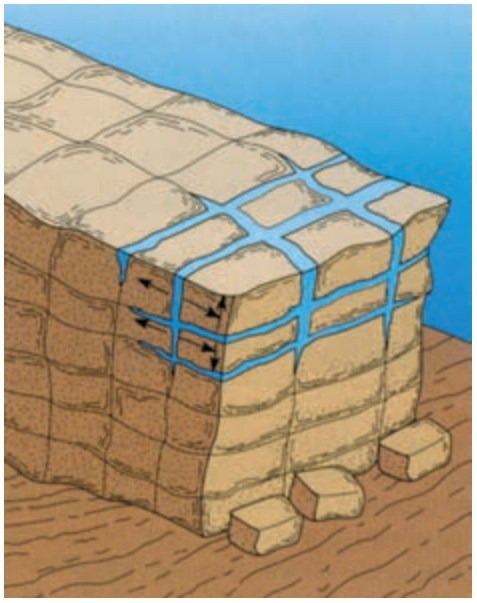
هوازدگی عبارت است از مجموعه‌ی فرایندهایی که سبب خرد شدن فیزیکی و تجزیه‌ی شیمیایی و بیولوژیکی سنگ‌ها و کانی‌ها در سطح یا نزدیک سطح زمین می‌شوند بی‌آن که مواد از محل خود جابه‌جا شوند. همان‌گونه که از نام هوازدگی برمی‌آید «هوا» و یا «آب و هوا» عامل اصلی تغییراتی است که عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی نیز برای تخریب و تجزیه‌ی سنگ‌ها به آن افزوده می‌شود. برای مثال، تغییراتی که در نمای ظاهری یک ساختمان درطول زمان رخ می‌دهد و آن را با یک ساختمان جدید که با همان مصالح ساخته شده متمایز می‌سازد حاصل پدیده‌ی هوازدگی است. برحسب این که هوازدگی تحت تأثیر کدام دسته از عوامل صورت بگیرد هوازدگی را به سه نوع تقسیم می‌کنند. «هوازدگی فیزیکی»، «هوازدگی شیمیایی» و «هوازدگی بیولوژیکی[4]».

---

۱ ــ Weathering
۲ ــ Transportation
۳ ــ Sedimentation
۴ ــ Physical, Chemical and Biological Weathering

هوازدگی فیزیکی: در هوازدگی، توده‌های بزرگ سنگ‌ها و صخره‌ها به‌طور مکانیکی خرد می‌شوند و به قطعات بزرگ و کوچک تا ذرات ریز تبدیل می‌شوند که هریک از آن‌ها دارای ویژگی‌های مواد اصلی خود بوده تغییری در ترکیب شیمیایی و نظام مولکولی آن‌ها صورت نمی‌گیرد. برای ایجاد این نوع هوازدگی نیروهای فیزیکی مختلفی مؤثر واقع می‌شوند که از آن جمله‌اند : یخ بستن آب در شکاف سنگ‌ها، تغییرات درجه‌ی حرارت محیط و رشد بلورهای کانی.

ـــ یخ بستن آب در شکاف صخره‌ها و سنگ‌ها: براساس آزمایش‌های علمی ثابت شده که هرگاه آب یخ بزند تقریباً ۹ درصد بر حجم آن افزوده می‌شود. هنگامی که آب جمع شده در لابه‌لای شکاف‌ها و حفره‌های صخره‌ها و کوه‌ها یخ بزند بر اثر افزایش حجم به دیواره‌ی خود فشار می‌آورد و باعث شکستن سنگ‌های اطراف خود و خرد کردن آن‌ها می‌شود. هرچه تعداد دفعات یخ بستن و ذوب شدن آن در شکاف کوه‌ها و صخره‌ها بیش‌تر باشد میزان خرد شدن و قطعه قطعه شدن سنگ‌ها بیش‌تر می‌شود. فشار وارد بر دیواره‌ی سنگ‌ها گاهی تا هزاران کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تخمین زده شده است[1]. چنین فشاری ممکن است سخت‌ترین و مقاوم‌ترین سنگ‌ها را درهم بشکند.



شکل ۱ـ۱۳ـ تخریب صخره‌ها در اثر انجماد آب در حفره‌ها و شکاف سنگ‌ها

ـــ تغییرات متناوب درجه‌ی حرارت سنگ‌ها: همان‌گونه که می‌دانید تغییرات دما در اجسام باعث انبساط و انقباض آن‌ها می‌شود. صخره‌ها و کوه‌ها نیز درنتیجه‌ی تغییرات شبانه‌روزی یا سالیانه‌ی درجه‌ی حرارت، چنین واکنشی نشان می‌دهند که تکرار آن باعث تولید درزهای کوچک در سنگ‌ها می‌شود که به تدریج عمق و اندازه‌ی آن‌ها بیش‌تر می‌گردد و سرانجام، باعث خرد شدن سنگ‌ها و تبدیل آن‌ها به قطعات کوچک‌تر می‌شود.

ـــ رشد بلوری کانی‌ها: بر اثر نفوذ آب‌های حاوی نمک‌ها و املاح مختلف مانند کلرورها، کربنات‌ها و سولفات‌ها به داخل شکاف‌ها، منافذ سنگ‌ها و تبخیر تدریجی آب، عمل تبلور املاح صورت می‌گیرد که با انجام آن فشار رشد بلوری به دیواره‌ی سنگ‌ها وارد می‌شود و تکرار این عمل پس از مدتی باعث خرد شدن سنگ‌ها می‌گردد. این پدیده در مناطق کویری به چشم می‌خورد.

ـــ پوسته پوسته شدن : هرگاه در اثر فرسایشِ طبقات، سنگ‌های فوقانی و سنگ‌های زیرین در سطح زمین ظاهر شوند، حذف فشار طبقات فوقانی باعث انبساط تدریجی قسمت بیرون زده می‌شود و در نتیجه درزهایی بر روی آن‌ها پیدا می‌گردد که به پوسته پوسته شدن قسمت‌های سطحی توده‌ی سنگ می‌انجامد و به‌عبارتی، لایه‌های نازک متوالی در طول زمان از توده‌ی اصلی جدا می‌شود.

شکل ۲ـ۱۳ـ پوسته پوسته شدن سنگ‌ها در نتیجه‌ی هوازدگی فیزیکی

۱ـ برای مثال فشار حاصل از انجماد آب در دمای حدود $-22^{\circ}C$ برابر $2100 kg/cm^2$ است.

علاوه بر عوامل یادشده تخریب مکانیکی سنگ‌ها به‌وسیله‌ی باد، ریشه‌ی درختان و یخچال‌های طبیعی نیز صورت می‌گیرد که از شرح آن‌ها در این‌جا صرف نظر می‌شود.

هوازدگی شیمیایی: در این نوع هوازدگی، کانی‌های سنگ از نظر شیمیایی تغییر می‌کنند هوازدگی شیمیایی بیش‌تر در مناطقی رخ می‌دهد که دارای آب و حرارت کافی باشند. افزون بر آن، وجود انیدریدکربنیک، اکسیژن و دیگر گازهای موجود در هواکره بر هوازدگی شیمیایی تأثیرگذار هستند. در میان کانی‌های معمولی موجود در سنگ‌ها تنها کانی کوارتز است که تحت تأثیر هوازدگی شیمیایی قرار نمی‌گیرد. هوازدگی شیمیایی انواع مختلفی دارد که شرح آن‌ها در پی خواهد آمد :

***انحلال*[1]:** برخی از کانی‌ها به راحتی در آب حل می‌شوند قابلیت انحلال کانی‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است ؛ برای مثال، میزان حل شدن نمک طعام درآب ده‌ها برابر کانی‌های کربناته مانند سنگ آهک است. آب خالص به تنهایی در انحلال چندان مؤثر نیست، اما هنگامی که گازهایی مانند دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد و گازهای ناشی از مناطق صنعتی، در آب باران حل می‌شود اسیدهایی را تشکیل می‌دهند که خورندگی بیش‌تری دارند و مواد و کانی‌های بیش‌تری را در خود به صورت شیمیایی حل می‌کنند.

شکل ۳ــ۱۳ــ انحلال صخره‌ها به‌وسیله‌ی باران

***هیدراته شدن*[2]:** تغییر شیمیایی در بعضی از کانی‌ها با جذب آب ایجاد می‌شود که به این عمل «هیدراته شدن» می‌گویند ؛ برای مثال، سولفات کلسیم بدون آب (انهیدریت) بر اثر جذب دو مولکول آب به سولفات کلسیم آب‌دار (ژیپس) تبدیل می‌شود :

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \ , \ 2H_2O$$

انهیدریت ژیپس

***دهیدراتاسیون*[3]:** دهیدراتاسیون عکس عمل هیدراته شدن است ؛ به این ترتیب که تغییر شیمیایی با خروج مولکول‌های آب از کانی‌های خاصی صورت می‌گیرد :

$$CaSO_4 \ , 2H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

ژیپس انهیدریت

***هیدرولیز*[4]:** عمل هیدرولیز عبارت از واکنش شیمیایی بین یک کانی و آب است، به دیگر سخن، واکنش شیمیایی بین یون‌های کانی و یون‌های H^+ و OH^- است که در سیلیکات‌ها اهمیت بسیاری دارد ؛ برای نمونه، در فرمول شیمیایی فلدسپات‌های پتاسیم‌دار یون هیدروژن، یون پتاسیم را از شبکه‌ی بلوری خارج می‌کند و جایگزین آن می‌شود. بر اثر این واکنش فلدسپات پتاسیم‌دار به‌نوعی خاک رس خالص به نام «کائولن» یا خاک چینی تبدیل می‌شود.[5] البته نقش آب را در این فعل و انفعال نباید از نظر دور داشت.

اکسیداسیون: در این پدیده‌ی شیمیایی اکسیژن هوا با انجام واکنش شیمیایی روی کانی‌ها و سنگ‌ها ترکیب آن‌ها را تغییر می‌دهند. واکنش‌های اکسیداسیون در مجاورت آب و با همراهی گرما بهتر صورت می‌گیرد ؛ بنابراین، در مناطق حارّه و گرم و مرطوب بیش‌تر دیده می شود در معادن سنگ آهن، هوازدگی شیمیایی اکسیداسیون تا اعماق نسبتاً زیادی صورت می‌گیرد و قشری از اکسیداسیون به‌صورت نوعی پوشش روی تمام ماده‌ی معدنی را می‌پوشاند که به اصطلاح به این پوشش «کلاهک آهنی»[6] می‌گویند.

---

۱ ــ Solution ۲ ــ Hydratation ۳ ــ Dehydratation ۴ ــ Hydrolysis

فلدسپات پتاسیم‌دار — یون پتاسیم

۵ــ $KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 2H_2O \rightarrow 2K^+ + Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2$

آب — یون هیدروژن — کائولن — سیلیس

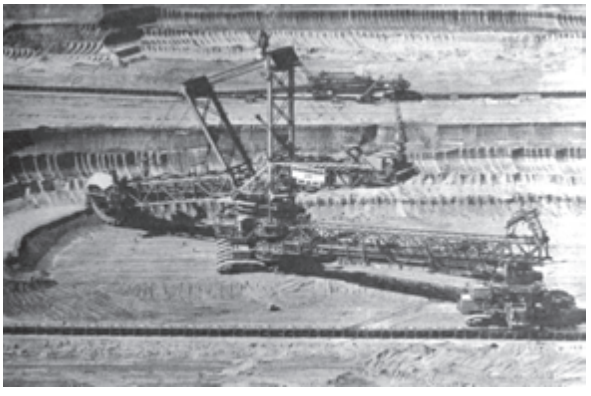
۶ ــ Iron hat

تبدیل کانی پیریت (سولفورطبیعی آهن) به هماتیت (اکسیدآهن Fe_2O_3) تحت تأثیر پدیده اکسیداسیون است.[1]

کربناته شدن[2]: کربناته شدن از مراحل مهم هوازدگی شیمیایی است که به موجب آن انیدریدکربنیک موجود در هوا و آب باران با یک‌دیگر ترکیب شده تشکیل اسیدکربنیک[3] می‌دهند سنگ‌های آهکی در نتیجه‌ی تماس با اسیدکربنیک با آن، فعل و انفعال شیمیایی انجام می‌دهد[4] و سبب حل کردن کامل آن می‌شود. حفره‌های موجود در سنگ‌های آهکی و غارهای آهکی زیرزمینی به این ترتیب شکل می‌گیرند.

شکل ۴ــ۱۳ــ حفره‌های انحلالی در سنگ آهک

هوازدگی بیولوژیکی (زیستی): موجودات زنده نیز در فرایند هوازدگی و ایجاد تغییرات در سطح کره‌ی زمین مؤثرند و به‌دو طریق فیزیکی و شیمیایی در تخریب سنگ‌ها و پوسته‌ی زمین وارد عمل می‌شوند :



شکل ۵ــ۱۳ــ نقش انسان در ایجاد تغییرات در پوسته‌ی زمین

روش فیزیکی: انسان با انجام فعالیت‌هایی مانند راه‌سازی، سدسازی، احداث ساختمان‌ها، مسطح کردن اراضی و تخریب جنگل‌ها، خاک‌برداری و خاک‌ریزی، استخراج معادن روباز و زیرزمینی، به‌گونه‌ی فیزیکی و مکانیکی تغییرات فراوانی در پوسته ایجاد می‌کند. جانوران نیز با حفر سوراخ‌ها و دهلیزهای زیرزمینی و زیرورو کردن خاک‌ها در تخریب سنگ‌ها و خاک‌ها مؤثر واقع می‌شوند. از سوی دیگر گیاهان نیز با فشار ناشی از رشد و نمو ریشه‌های خود که نیروی زیادی به سنگ‌های اطراف وارد می‌کنند، باعث تخریب فیزیکی سنگ‌ها و کانی‌ها می‌شوند.

روش شیمیایی: گیاهان و جانوران در هوازدگی شیمیایی به این ترتیب تأثیر می‌گذارند که گیاهان در حال فساد اسیدهایی تولید می‌کنند که می‌توانند سنگ‌ها را تخریب کنند. هرچه گیاهان بیش‌تری در منطقه وجود داشته باشند هوازدگی شیمیایی تا عمق بیش‌تری عمل می‌کند. باکتری‌ها نیز که از طریق اکسیداسیون و فاسدکردن بقایای گیاهان و جانوران که اسیدهای خورنده‌ای برای تخریب سنگ‌ها و کانی‌ها تولید می‌کنند در هوازدگی شیمیایی نقش مهمی برعهده دارند. بعضی از باکتری‌ها انرژی لازم را برای ادامه‌ی حیات خود، از اکسیداسیون گوگرد، آهن، منگنز و غیره به‌دست می‌آورند. اکسیداسیون گوگرد به‌وسیله‌ی باکتری‌ها موجب تشکیل اسیدسولفوریک می‌شود. این اسید می‌تواند در هوازدگی بیش‌تر کانی‌ها مؤثر واقع شود.

مطالعه‌ی پایداری سنگ‌ها و کانی‌ها در برابر هوازدگی

سنگ‌ها و کانی‌های مختلف در برابر هوازدگی مقاومت‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند. اغلب سنگ‌های آذرین در برابر هوازدگی تخریب می‌شوند ؛ برای مثال، اگر گرانیت‌ها در معرض هوازدگی شیمیایی قرار گیرند فلدسپات آن‌ها به کائولن و میکای سیاه آن‌ها به کانی‌های رستی تغییر حالت می‌دهند، اما کوارتز موجود در آن‌ها تغییری نمی‌یابد. سنگ بازالت که دارای کانی‌های فرومنیزین و فلدسپات‌های کلسیم و سدیم‌دار است در نتیجه‌ی هوازدگی شیمیایی به کانی‌های رستی همراه با اکسیدهای آهن،

۱ــ براساس رابطه‌ی : $2FeS_2 + 4H_2O + \frac{15}{2}O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 4H_2SO_4$

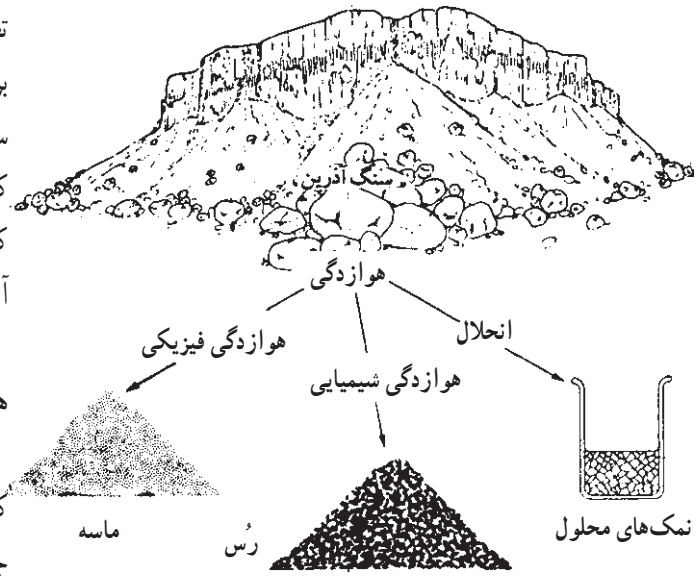
۲ ــ Carbonation

۳ــ H_2CO_3

۴ــ طبق رابطه‌ی : بی‌کربنات کلسیم $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)$

تبدیل می‌شود. مقاومت ماسه سنگ‌ها در برابر هوازدگی نیز به جنس ماده‌ی سیمانی که ذرات ماسه را به‌هم چسبانده است. بستگی دارد. هرگاه سیمان از نوع سیلیس باشد ماسه‌سنگ مقاومت بیش‌تری نشان خواهد داد، اما سیمان آهکی به سادگی با آب‌های اسیدی حل می‌شود و دانه‌های ماسه آزاد و جدا می‌گردند. ماسه‌سنگ‌های دارای سیمان، اکسیدآهن و رس نیز مقاومت چندانی در برابر هوازدگی ندارند وبه راحتی تخریب می‌شوند.

کانی‌های فلدسپات، میکا، هورنبلاند و کلسیت در نتیجه‌ی هوازدگی شیمیایی به ذرات ریزی درحد رس تبدیل می‌شوند.



شکل۶ــ۱۳ــ نتایج حاصل از هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های آذرین

حمل و نقل مواد هوازده[1]

هنگامی که هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌ها رخ می‌دهد اگر سطح زمین شیب اندکی داشته باشد یا پوشش گیاهی زیاد باشد مواد فرسایش یافته در محل خود باقی می‌ماند. در این صورت، این مواد به تدریج به شن، ماسه و خاک تبدیل می‌شوند یا آن که برحسب کانی‌های با ارزش ذخیره‌ای از یک ماده‌ی معدنی تشکیل می‌گردد. حالت دیگر این است که مواد هوازده بر اثر نیروهایی خارجی، مانند آب‌های جاری، باد و نیروی جاذبه‌ی زمین حرکت کرده در محل دیگری تجمع پیدا کند که در این حالت نیز گاه ذخایر مواد معدنی جدیدی تشکیل می‌شود.

عوامل مؤثر در حمل و نقل مواد هوازده: جابه‌جایی سنگ‌ها و کانی‌های هوازده از محلی به محل دیگر درپی عوامل طبیعی گوناگونی انجام می‌شود که آب‌های جاری، باد، نیروی جاذبه‌ی زمین و یخچال‌های طبیعی از عوامل اصلی آن به شمار می‌آیند.

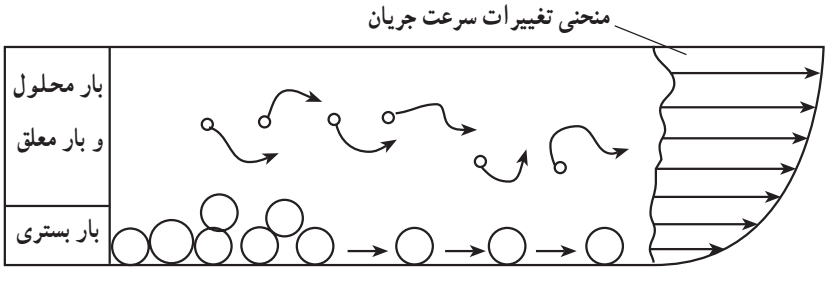
آب‌های جاری: آب‌های جاری مهم‌ترین عامل تغییردهنده‌ی خشکی‌های سطح زمین هستند. در ابتدای بارش برف و باران و آغاز جریان یافتن آب، ذرات ریزی مانند رس، سیلت[2] و خاک‌های نرم به‌وسیله‌ی آن حمل می‌شوند. به‌تدریج که آب‌های جاری به‌هم می‌پیوندند و به‌صورت جویبار، نهر و کانال‌های طبیعی و رودخانه‌ها درمی‌آیند قدرت حمل مواد در آن‌ها بیش‌تر می‌شود.

موادی که با رودخانه حمل می‌شوند، شامل سه قسمت هستند :

۱ــ باربستری: عبارت است از سنگ‌ها و موادی که در کف رودخانه قرار دارند و روی هم در حال غلتیدن، لغزیدن یا جهیدن هستند.

۲ــ بار معلق: شامل ذرات ریز و شناوری است که با آب در جریان است.

۳ــ بار محلول: موادی هستند که در آب رودخانه انحلال یافته‌اند.



شکل ۷ــ۱۳ــ مقطع طولی رودخانه و وضعیت بارهای محلول معلق و بستری در آن

۱ ــ Transportation

۲ ــ Silt

هنگامی که بر اثر سیلاب، گذر و شدت آب رودخانه‌ها افزایش می‌یابد بر قدرت حمل مواد هوازده نیز به میزان چشم‌گیری اضافه می‌شود و در چنین حالتی در رودخانه قطعات بزرگ‌تر و مواد بیش‌تر جابه‌جا می‌گردد. رودخانه‌های جهان هر ساله میلیاردها تن سنگ و خاک و مواد محلول را جابه‌جا می‌کنند و بخش اعظم آن‌ها را به دریاها و اقیانوس‌ها می‌ریزند. این مواد نیز سرانجام تحت فرایندهایی دوباره به سنگ تبدیل می‌شوند.

باد: گسترده‌ترین عامل تغییردهنده‌ی سطح زمین «باد» است، زیرا در تمام کره‌ی زمین باد می‌وزد. باد مواد موجود در سطح زمین را با توجه به سرعت و قدرت خود از محلی به محل دیگر منتقل می‌کند و در آن‌جا انباشته می‌سازد. چگونگی حمل مواد از طریق باد تا حدودی به آب جاری شباهت دارد. در این‌جا نیز ذرات به بار معلق و بار بستری تقسیم می‌شوند که بار معلق حاوی ذرات سبک وزن و بار سنگین شامل ذرات و دانه‌های درشت‌تری است که در سطح زمین جابه‌جا می‌شوند و اغلب در حد ماسه هستند. ذرات معلق می‌توانند به مدت زیاد و تا مسافت‌های طولانی حمل شوند.

نیروی جاذبه‌ی زمین: این نیرو را می‌توان یک نیروی ذاتی زمین دانست که حرکت آب، حرکت و لغزش سنگ‌ها و خاک‌ها از نقاط بلند به سطوح پایین‌تر به‌وسیله‌ی آن صورت می‌گیرد ؛ بنابراین، نقش آن کاستن از ارتفاعات و پرکردن نقاط گود و عمیق است. در دامنه‌ی کوه‌ها نیروی جاذبه‌ی زمین کاملاً در فرسایش، تأثیرگذار است. سقوط سنگ‌های بزرگ و کوچک از بالای کوه‌ها و دامنه‌های پرشیب به پایین تقریباً در هر دامنه‌ای رخ می‌دهد و آثار آن را در همه‌جا می‌توان مشاهده کرد.

گاهی ممکن است سنگ‌های فرسایش‌یافته‌ای که در مدت زمان طولانی در دامنه‌ی کوه جمع شده‌اند براثر فشار زیاد به‌طور ناگهانی به‌طرف پایین ریزش کنند. این پدیده گاه منجر به مسدود شدن جاده در نقاط کوهستانی می‌شود. ریزش کوه در یکی از شهرهای سوئیس در سال ۱۸۸۱ منجر به آن شد که در حدود ۱۰ تا ۱۱ میلیون متر مکعب سنگ به یک‌باره ریزش کند و خساراتی را به‌بار آورد.

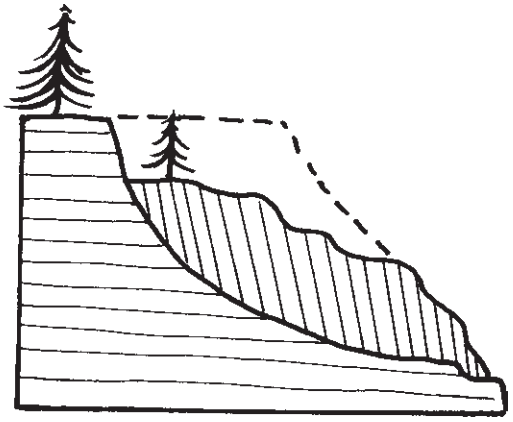
شکل ۸ــ۱۳ــ ریزش قطعات سنگ بر اثر نیروی جاذبه‌ی زمین

پدیده‌ی دیگری که بر اثر نیروی جاذبه‌ی زمین رخ می‌دهد «لغزش»[1] نام دارد. در چنین حالتی توده‌ای از سنگ و خاک یا قطعه‌ی بزرگی از زمین در امتداد یک سطح لغزنده، مانند یک لایه‌ی رسی خیس، به سمت پایین شیب حرکت می‌کند که گاه به‌وقوع حوادث زیان‌باری منجر می‌شود. این پدیده « زمین[2] لغزه» نام دارد.

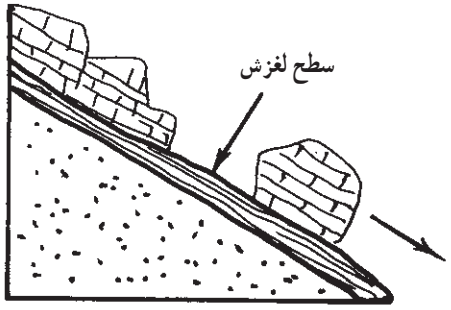
نیروی جاذبه‌ی زمین به‌گونه‌های دیگری در فرسایش سطح آن مؤثر واقع می‌شود. از جمله آن که یخچال‌های طبیعی تحت تأثیر وزن خود و شیب زمین از نقاط مرتفع به‌طرف نقاط پایین‌تر به حرکت درمی‌آیند. درحین این حرکت درسرازیری‌ها، یخچال با نیروی عظیم خود سنگ‌های بستر یخچال و گذرگاه آن را از جا کنده با خود حمل می‌کند. این سنگ‌ها را «مورن»[3] می‌گویند. قدرت حمل یخچال‌ها در مقایسه با آب‌های جاری بسیار بیش‌تر است و می‌تواند قطعات بزرگ‌تری از سنگ‌ها را حمل کند، اما در این جابه‌جایی قطعات ریز و درشت باهم و به‌طور همزمان صورت می‌گیرد.

---

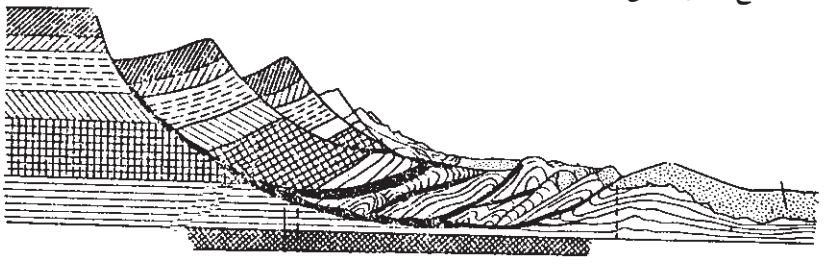
۱ ــ Sliding ۲ــ Land Sliding ۳ ــ Moraine



الف) زمین‌لغزه‌ای که در آن سطح لغزش منحنی است.



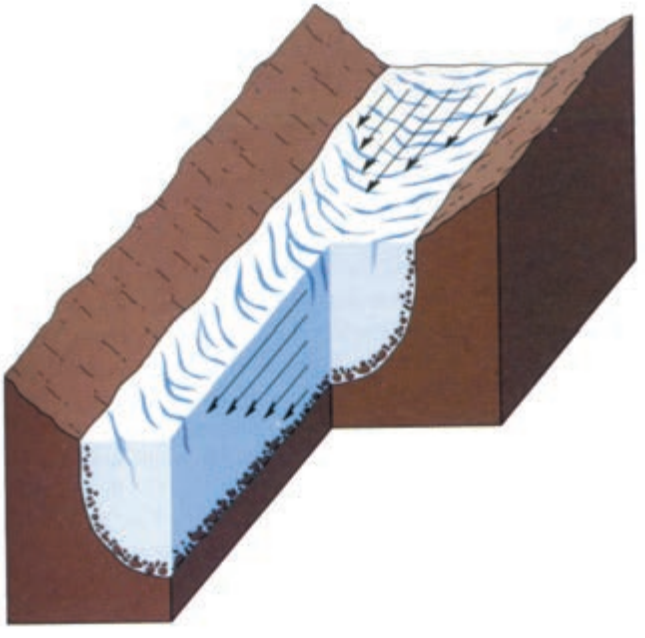
ب) وجود لایه‌ی رسی که سبب لغزش سنگ‌ها و قطعات بالایی می‌شود.



ج) تصویری از یک لغزش مرکب[1]

شکل ۹ــ۱۳ــ پدیده‌ی زمین‌لغزه

«جریان‌های گل»[2] نیز از دیگر آثار نیروی جاذبه زمین در حمل مواد به‌شمار می‌رود. این جریان‌ها عموماً پس از بارندگی‌های شدید در دره‌ها شروع به حرکت نموده هر لحظه بر غلظت آن‌ها افزوده می‌شود تا آن که در نواحی مسطح متوقف می‌شوند. جریان‌های گل همراه خود مقدار زیادی از ذرات و خرده سنگ‌ها را نیز حمل می‌کنند.



شکل ۱۰ــ۱۳ــ جابه‌جایی یخچال‌ها بر اثر نیروی ثقل

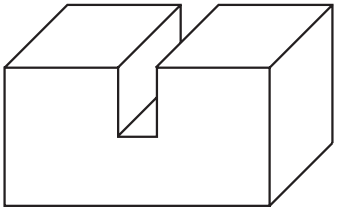
شکل ۱۱ــ۱۳ ــ شکل جریان گل

۱ــ Composit Land slide ۲ ــ Mudflow

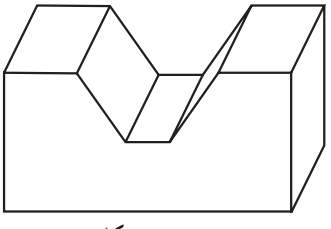
تغییرشکل فرسایشی پوسته‌ی جامد زمین

تاکنون دیدیم که پوسته‌ی جامد زمین بر اثر عوامل گوناگونی که به آن‌ها اشاره شد همواره در حال تغییر و تحول است. براساس بررسی‌های زمین‌شناسی این موضوع، نه تنها در طی دوران گذشته بلکه در عصر حاضر نیز مصداق دارد. در این قسمت به نقش فرسایشی آب‌های جاری، باد و عمل دریاها و اقیانوس‌ها می‌پردازیم :

عمل فرسایشی آب‌های جاری: آب‌های جاری حجم بسیاری از سنگ‌ها و خاک‌های بستر خود را جابه‌جا می‌کنند. این عمل که به سرعت، مقدار آب و جنس زمین‌های مسیر بستگی دارد، در طی سالیان بسیار طولانی سبب می‌شود که درّه‌های عمیقی در کوه‌ها و دشت‌ها ایجاد شود. آب‌های جاری به هر شکلی که در سطح زمین جریان پیدا کنند، ابتدا سطح بستر خود را تخریب می‌کنند ؛ چنان‌چه عمل حفر و کنده شدن بستر رودخانه بدون دخالت سایر عوامل تخریبی صورت بگیرد تنها کف رودخانه پایین می‌آید و درّه‌هایی به شکل U تشکیل می‌دهد. با دخالت سایر فعالیت‌های فرسایشی مانند هوازدگی، ریزش و سقوط دیواره‌های اطراف، رودخانه از شکل U خارج شده و به‌شکل V تبدیل می‌شود.



دره‌ی U شکل



دره‌ی V شکل

شکل ۱۲ــ۱۳

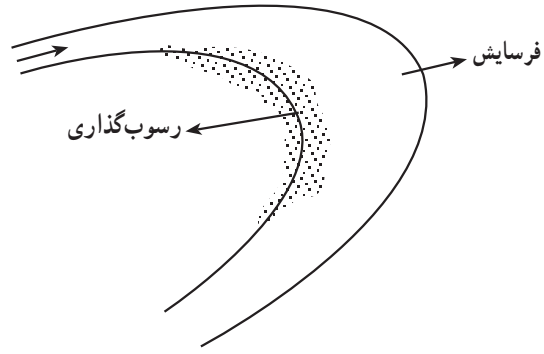
مئاندر[1] ***(رود پیچ)*** : در زبان یونانی «مئاندر» به معنی خمیدگی است. ضمن آن که مئاندر نام رودی در یونان نیز هست که از خمیدگی‌های زیادی تشکیل شده است. بدین ترتیب، این اصطلاح از آن‌جا پیدا شده که رودخانه‌ها همواره در مسیر خود و هم‌زمان با عمل پهن‌تر کردن بستر خود اشکال مارپیچی به‌خود می‌گیرند و هلالی‌های خمیده و تقریباً منظمی را به‌وجود می‌آورند.

شکل ۱۳ــ۱۳ــ مئاندر تشکیل شده در رودخانه‌ی «سن جون» در ایالت یوتا در امریکا

۱ ــ Meandire

آن‌چه در مسیر خمیدگی‌های جریان آب صورت می‌گیرد بسیار مهم است، زیرا سرعت آب در محل انحنا برای دو دیواره‌ی اطراف رودخانه یکسان نیست و در سمت محدّب پیچ رودخانه سرعت عبور آب از سمت مقعر آن کم‌تر است و در آن عمل رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد.

کانسارهای فلزات سنگین مانند طلا و پلاتین، نیز بعضی از کانسارهای الماس به این نحو تشکیل می‌شوند.

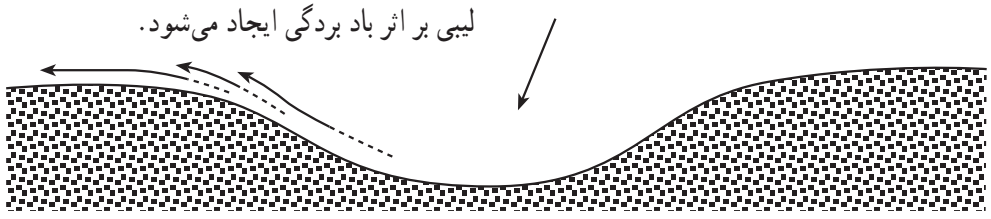


شکل ۱۴ــ۱۳

با توجه به سرعت متفاوت آب و فرسایش نابرابر دیواره‌ی رودخانه در محل‌های محدّب و تقعّر رودخانه، انحنای پیچ پیوسته در حال افزایش است و گاهی این خمیدگی‌ها چنان به‌هم نزدیک می‌شوند که سرانجام، جریان آب در دوسوی آن، باعث پیدایش مسیر و بستر جدیدی می‌شود. در چنین حالتی که ارتباط یک هلال با جریان آب قطع می‌شود دریاچه‌ی هلالی شکلی پدید می‌آید و به آن «دریاچه‌ی شاخ گاوی[1]» نیز گفته می‌شود.

عمل فرسایشی باد: هرچند باد ازنظر فرسایش در مقایسه با آب از اهمیت کم‌تری برخوردار است، نقش مهمی در فرسایش صحراها و مناطق بدون پوشش گیاهی ایفا می‌کند وسعت عمل باد نیز از سایر عوامل بیش‌تر است، زیرا در اغلب نقاط زمین در ایام مختلف سال درحال وزیدن است. عمل فرسایشی باد روی پوسته‌ی زمین به دو گونه صورت می‌گیرد.

۱ــ *باد بردگی*[2]: عمل از جاکندن وحرکت دادن ذرات و دانه‌های ریز از زمین را «بادبردگی» می‌گویند. در نتیجه‌ی بادبردگی، گاهی قسمت‌هایی از زمین‌های یک منطقه و گاه تا عمق بیش از ۱۰۰ متر گود می‌شود، مانند گودال‌هایی که در صحرای لیبی بر اثر باد بردگی ایجاد می‌شود.



شکل ۱۵ــ۱۳ــ ایجاد گودال به‌وسیله‌ی عمل باد در صحرا

در بعضی مناطق نیز که سطح زمین از سنگ ها و ذرات ریز و درشت پوشیده شده باشد باد با عمل فرسایشی خود می‌تواند تنها ذرات ریز و سبک را جابه‌جا کند، اما سنگ‌ها و قطعات بزرگ‌تر درجای خود باقی می‌مانند و اطراف آن‌ها خالی می‌شود. منظره‌ای که از حاصل این فعالیت فرسایشی باد ایجاد می‌شود به سنگ‌فرش شباهت دارد از این‌رو، آن را «سنگ‌فرش بیابان[3]» می‌نامند.

شکل ۱۶ــ۱۳ــ پدیده سنگ‌فرش بیابان

۱ ــ Oxbow lake ۲ ــ Deflation به آن دفلاسیون هم می‌گویند ۳ ــ Desert Pavement

ساییدگی[1]: ذراتی که با باد حمل می‌شوند بر اثر برخورد با یک‌دیگر یا برخورد با هرگونه مانعی در مسیر خود موجبات ساییدگی را فراهم می‌کنند. ذرات یا دانه‌های ماسه‌ای که باد آن‌ها را جابه‌جا می‌کند به دلیل سختی زیاد، کوه‌ها، صخره‌ها و ساختمان‌ها را سایش می‌دهند. سنگ‌ها و قلوه‌سنگ‌هایی که در سطح زمین پراکنده هستند نیز ممکن است بر اثر چنین فرسایشی سطحی صاف پیدا کنند. گاه اتفاق می‌افتد که یک قطعه سنگ ناصاف اوّلیه به سنگی تبدیل شود که دارای چند سطح صاف و صیقلی باشد. این امر در نتیجه‌ی چرخیدن سنگ در مکان اولیه‌ی خودیا تغییر جهت باد است. سنگ‌هایی که با باد ــ به علت خاصیت ساییدگی ذرات ماسه ــ به‌صورت صیقلی، نقطه‌نقطه یا شیاردار درمی‌آیند سنگ‌های «بادساب» نامیده می‌شوند.

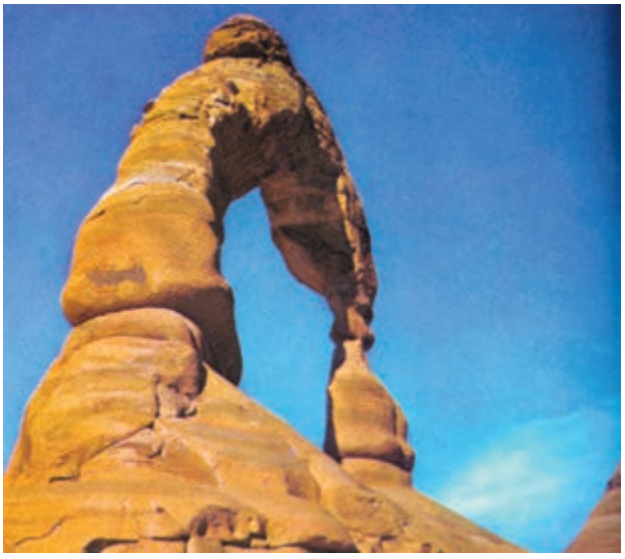
گاهی فرسایش بادی در مناطق صحرایی سبب تشکیل

شکل ۱۷ــ۱۳ــ سنگ بادساب

شیارهایی در امتداد وزش بادهای اصلی منطقه می‌شود که در رسوبات نرم فرورفتگی‌های عمیق و طویلی را به‌وجود می‌آورد این شیارها را «بادکند» می‌نامند. به دیواره یا تیغه‌های بین شیارها نیز یاردانگ[3] گفته می‌شود. در شرق استان کرمان و قسمت‌هایی از دشت لوت باد در رسوبات نرم رسی و گچی شیارهایی به عمق ۸۰ سانتی‌متر ایجاد کرده است.

عمل فرسایش دریاها و اقیانوس‌ها: آب دریاها و اقیانوس‌ها به سبب حرکات تند و خفیف امواج در فرسایش سواحل

شکل ۱۸ــ۱۳ــ منظره‌ی حاصل از بادبردگی باقی ماندن قطعات بزرگ



شکل ۱۹ــ۱۳ــ شکل یک طاق طبیعی که بر اثر باد تراشیده شده و به حال تعادل روی پاهای خود ایستاده است.

نقش مهمی دارد. امواج دریا از نیرومندترین عوامل فرسایش است. نیروی زیاد امواج وقتی به ساحل سنگی وارد می‌شود باعث ریزش و تخریب آن می‌شود. فشار موجی که بر اثر طوفان پدید می‌آید ممکن است به بیش از هزار کیلوگرم نیرو بر مترمربع برسد. چنین نیرویی صخره‌های بزرگ سنگی را به‌ویژه در سواحلی که عمق آب در کناره‌ها زیاد است، به تدریج متلاشی می‌کند و دیواره‌ی آن‌ها را فرو می‌ریزد. به این ترتیب، ساحل رفته‌رفته دچار عقب‌نشینی می‌شود. قطعات بزرگ مواد تخریبی نیز بر اثر امواج آب کم‌کم به قطعات کوچک‌تری تبدیل می‌شوند که با امواج دریا و جریان‌های دریایی حمل می‌شوند و به تدریج رسوب می‌کنند، اما هرچه از ساحل به طرف دریا جلوتر برویم از قدرت امواج به‌تدریج کاسته می‌شود ؛ از این‌رو، قطعات درشت و سنگین در

۱ ــ Abrasion ۲ ــ Ventifact Rocks ۳ ــ Yardang

نزدیکی ساحل برجا می‌مانند و قطعات کوچک‌تر و دانه‌های شن و ذرات رسی به قسمت‌های عمیق‌تر دریا کشانده شده در آن‌جا رسوب می‌کنند.

فرسایش یخچال‌ها: یخچال‌ها نیز مانند رودخانه‌ها باعث تغییر پوسته‌ی جامد زمین می‌شوند. براساس مطالعاتی که درباره‌ی یخچال‌های طبیعی در کشور سوئیس صورت گرفته هر مترمربع از بستر یخچال وزنی معادل ۱۵۰ تن تحمل می‌کند و بر این اساس، معمولاً تخریب در قسمت کف یخچال شدید است. یخچال‌ها با حمل سنگ‌های درشت و خرد در طول مسیر که به آن‌ها «مورن» می‌گویند، عمل تخریب را تشدید می‌کنند. در کوهستان‌های سوئیس گاهی یخچال‌ها تا خیابان‌ها و دهکده‌های اطراف آن پیش می‌آیند.

الف) تصویری از توده‌های برف و یخ که در اثر نیروی ثقل به سمت پایین لغزش نموده‌اند.

ب

ج

شکل ۲۰ــ۱۳ــ فرسایش یخچالی

خودآزمایی

۱ــ هوازدگی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.

۲ــ آب تحت تأثیر چه عاملی و چگونه در هوازدگی فیزیکی عمل می‌کند؟

۳ــ هیدراته شدن و دهیدراته شدن چه تفاوتی دارند؟ مثالی بزنید.

۴ــ کلاهک آهنی چیست؟ تحت تأثیر کدام عامل هوازدگی کلاهک آهنی بوجود می‌آید؟

۵ــ گیاهان و جانوران چگونه به طریق شیمیایی در پدیده‌ی هوازدگی عمل می‌کنند؟

۶ــ چرا ماسه سنگ‌ها درمقابل هوازدگی مقاومت‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند؟ مثالی بزنید.

۷ــ کانی‌های موجود در سنگ گرانیت بر اثر هوازدگی به چه کانی‌های دیگری تبدیل می‌شوند؟

۸ــ پدیده‌ی زمین لغزه چه تفاوتی با پدیده‌ی ریزش قطعات سنگ در دامنه‌ی کوه‌ها دارد؟ چه تشابهی بین این دو پدیده وجود دارد؟

۹ــ مورن چیست؟

۱۰ــ تفاوت درّه‌های U شکل و V شکل از کجا ناشی می‌شود؟

۱۱ــ مئاندر چیست؟ چگونگی تبدیل مئاندر به دریاچه‌ی شاخ گاوی را توضیح دهید.

۱۲ــ بادبردگی چیست؟ چگونه این پدیده سنگ‌فرش بیابان را شکل می‌دهد؟

۱۳ــ بادکند و یاردانگ چیست؟

۱۴ــ حمل و نقل مواد از طریق آب‌های جاری و باد چه تفاوتی باهم دارند؟

۱۵ــ ترتیب نشست قطعات فرسایش یافته از طریق دریاها و اقیانوس‌ها، چگونه است؟